669.1
Л39
Н

ЛАБОРАТОРИЯ
Патентного дела
Инв. № 554

МЕТАЛЛУРГІЯ
ЧУГУНА, ЖЕЛѢЗА И СТАЛИ

А. Ледебура

Л

ТОМЪ ПЕРВЫЙ

ЧАСТЬ ОБЩАЯ

Изданіе
В. ЭРИКСОНЪ
С.-Петербургъ

НБ УДУНТ (ИПБТ)

ЛАБОРАТОРИЯ
Литейного д. 1а
Инв. № 754

НБ
УДУНТ
(ІПБТ)

V/57-754

МЕТАЛЛУРГІЯ ЧУГУНА, ЖЕЛѢЗА и СТАЛИ

1971 г.
ПРОВЕРЕНО

А. ЛЕДЕБУРА

ПРОФЕССОРА ФРЕЙБЕРГСКОЙ ГОРНОЙ АКАДЕМІИ.

СО ВТОРАГО НѢМЕЦКАГО ИЗДАНІЯ ПЕРЕВЕДЕНО ПОДЪ РЕДАКЦІЕЙ

Н. А. ІОССА

Заслуженнаго Профессора Горнаго Института.

168603

ТОМЪ ПЕРВЫЙ.

ЧАСТЬ ОБЩАЯ.

ИЗДАНІЕ
Книжнаго магазина В. ЭРИКСОНЪ,
С.-Петербургъ, Вознесенскій пр., 28.
1896.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Типо-Литографія А. Э. ВИНЕКЕ, Екатерингофскій пр., д. 15.

НБ
УДУНТ
(ІПБТ)

ОГЛАВЛЕНІЕ.

ТОМЪ ПЕРВЫЙ.

Введеніе въ металлургію желѣза.

	стр.
I. Классификація продуктовъ желѣзной промышленности. Историческій очеркъ развитія желѣзной промышленности	1
1. Классификацій продуктовъ желѣзной промышленности	1
2. Историческія очеркъ развитія желѣзной промышленности	6
3. Литература	12
II. Горѣніе, возстановленіе, теплопроизводительная способность, передача теплоты	13
1. Горѣніе и возстановленіе	13
a) Общія положенія	13
b) Главнѣйшіе возстановители	14
c) Вліяніе присутствія третьихъ тѣлъ на ходъ возстановленія	17
2. Полное и неполное горѣніе	—
a) Общія положенія	18
b) Углеродъ и окись углерода. Возстановленіе углекислоты углемъ	18
c) Водородъ	24
d) Углеводороды	24
e) Условія благопріятствующія полному горѣнію	25
3. Теплопроизводительность и температура горѣнія	26
a) Теплопроизводительность	26
b) Температура горѣнія	32
4. Передача теплоты	35
Литература	36
III. Горючіе матеріалы	36
1. Твердые горючіе матеріалы	37
a) Дерево	37
b) Торфъ	39
c) Бурый уголь	42
Ископаемое смолистое дерево 42. Землистый бурый уголь 43. Настоящій бурый уголь 43.	
d) Каменный уголь и антрацитъ	44

НБ УДУНТ (ІПБТ)

стр.

Сухіе каменные угли – 15. Полужирные угли—46. Кузнечные угли – 47. Коксовые угли—17. Тощіе угли и антрациты 48

e) Общій взглядъ на различные сорта твердыхъ естественныхъ горючихъ матеріаловъ 49

2. Горючіе матеріалы, полученные путемъ переугливанія и ихъ полученіе 51

a) Общія положенія 51

b) Углежженіе и древесный уголь 52

Углежженіе въ кучахъ – 52. Углежженіе въ печахъ 55. Углежженіе въ ретортахъ 56. Свойства древеснаго угля 57

c) Переугливаніе торфа. Торфяной уголь. 58

d) Коксованіе каменныхъ углей. Коксъ 59

Коксованіе въ кучахъ—61. Старыя коксовальныя печи – 62. Новѣйшія коксовальныя печи—64. Печь Аппольта—66. Печь Смэ—70. Печь Гальди – 71. Печь Франсуа – 70. Печь Коппе – 72. Пользованіе побочными продуктами коксованія—76. Вспомогательныя устройства—80. Свойства кокса 82

3. Газообразные горючіе матеріалы и ихъ полученіе 85

a) Общія понятія. 85

b) Газы встрѣчающіеся въ природѣ. 87

c) Горючіе газы побочные продукты другихъ процессовъ . 89

d) Генераторный газъ и его полученіе 90

Общія понятія—91. Генераторы—98. Устройства для сгущенія водянаго пара 106

e) Водяной газъ. 109

Литература 112

IV. Печи и огнеупорные матеріалы 113

1. Общія понятія. Коэфиціентъ полезнаго дѣйствія печей . . . 113

2. Различныя видоизмѣненія печей 114

a) Горна. 114

b) Шахтныя печи 116

c) Пламенныя (отражательныя) печи. 119

Пламенныя печи съ колосниковой рѣшеткой—121. Печи съ газовой топкой—126. Печи Сименса—128. Разновидности печей Сименса—144. Новѣйшія газовыя печи безъ регенераторовъ —148. Пламенныя печи съ подвижнымъ подомъ – 152. Коэфиціентъ полезнаго дѣйствія пламенныхъ печей 156

3. Устройство стѣнъ печей 156

4. Огнеупорные матеріалы. 159

A) Огнеупорные матеріалы кремнистые 161

B) Огнеупорные матеріалы глинистые. 162

C) Огнеупорные матеріалы основные 166

D) Углеродистые кирпичи. 171

E) Огнеупорные цементы 172

Литература 173

НБ УДУНТ (ІПБТ)

стр.

V. Шлаки желѣзнаго производства 174
1. Составъ шлаковъ 174
2. Классификація шлаковъ и ихъ номенклатура 179
3. Температура плавленія, степень плавкости и жидкости шлаковъ 181
4. Строеніе шлаковъ 190
5. Цвѣтъ шлаковъ 192
6. Удѣльный вѣсъ шлаковъ 194
Литература. 194
VI. Руды и флюсы и подготовка ихъ къ плавкѣ. . 194
1. Руды 194
A) Шпатовый желѣзнякъ 196
B) Глинистые сидериты и близкія къ нимъ руды 199
C) Бурые желѣзняки. 201
D) Красные желѣзняки 207
E) Магнитные желѣзняки 209
F) Богатые желѣзомъ побочные продукты 212
2. Марганцовыя руды. 214
3. Флюсы 215
4. Подготовка рудъ къ плавкѣ 218
A) Измельченіе 218
a) Толчея. b) Валки—220. Рудодробилка 222
B) Промывки 224
C) Обжиганіе. 228
a) Общія понятія—228. b) Способы обжиганія—235. Обжиганіе въ кучахъ—236. Обжиганіе въ печахъ—238. Примѣры устройства рудообжигательныхъ печей . . 245
D) Вывѣтриваніе и выщелачиваніе 257
Литература 260
VII. Химическо-металлургическія свойства желѣза и его спутниковъ 247
1. Общія понятія 247
2. Желѣзо и кислородъ. 267
Различныя кислородныя соединенія желѣза—267. Окисленіе желѣза при высокой температурѣ—270. Образованіе ржавчины и разъѣданіе желѣза жидкостями — 275. Возстановленіе окисловъ желѣза углеродомъ и окисью углерода. 282
3. Желѣзо и углеродъ 268
Поглощеніе углерода желѣзомъ — 287. Способность желѣза насыщаться углеродомъ 288. Различные виды углерода—290. Графитъ—291. Углеродъ карбида—295. Графитовидный углеродъ отжига—298. Углеродъ закала—299. Анализы—301. Микроскопическія изслѣдованія—303. Вліянія содержанія углерода на свойства желѣза 308
4. Желѣзо и кремній. 306
5. Желѣзо и фосфоръ 311

НБ УДУНТ (ІПБТ)

стр.
6. Желѣзо и сѣра 314
7. Желѣзо и марганецъ 320
8. Желѣзо и мѣдь 325
9. Желѣзо и никкель или кобальтъ 326
10. Желѣза и хромъ 328
11. Желѣзо и волчецъ 330
12. Желѣзо и мышьякъ, сурьма, олово и висмутъ. 331
13. Желѣзо и аллюминій. 333
14. Желѣзо и титанъ, ванадій 334
15. Желѣзо и свинецъ, серебро, цинкъ, золото, платина, осмій, иридій, палладій и молибзенъ 335
16. Желѣзо и кальцій, магній, барій, стронцій, калій, натрій. . . 337
17. Желѣзо и водородъ 337
18. Желѣзо и азотъ 343
19. Желѣзо и окись углерода. 345
Литература. 347

НБ УДУНТ (ПБТ)

Предлагаемая книга представляетъ собою переводъ перваго тома сочиненія Ледебура «Handbuch der Eisenhüttenkunde», т. е. наиболѣе употребительнаго въ Германіи руководства для изученія металлургіи чугуна, желѣза и стали. Такая популярность объясняется извѣстными достоинствами сочиненія, достаточною для западно-европейскаго техника полнотою фактическаго матеріала, сжатостью изложенія и изящной внѣшностью. Достоинства эти объясняютъ намъ, почему книга Ледебура въ сравнительно непродолжительный срокъ выходитъ уже вторымъ изданіемъ и переведена нынѣ на французскій языкъ. Качества эти побудили и насъ согласиться на предложеніе фирмы В. Эриксона взять на себя трудъ редакціи перевода означеннаго выше сочиненія на русскій языкъ.

Выходящій нынѣ первый томъ заключаетъ въ себѣ предварительныя свѣдѣнія, необходимыя для изученія самыхъ способовъ полученія чугуна, желѣза и стали, а именно: ученіе о возстановленіи и окисленіи, о горѣніи и горючемъ матеріалѣ, о печахъ и огнеупорныхъ матеріалахъ, о рудахъ, флюсахъ и шлакахъ. Здѣсь-же собраны свѣдѣнія о химическо-металлургическихъ свойствахъ желѣза и его спутниковъ, особенно важныя для техника, и всему этому предпосланъ краткій обзоръ исторіи постепеннаго развитія желѣзной промышленности. Въ нѣмецкомъ оригиналѣ кромѣ свѣдѣній историческихъ приводятся еще краткія статистическія свѣдѣнія о же-

НБ УДУНТ (ІПБТ)

лѣзной промышленности различныхъ странъ. Главу эту мы считаемъ возможнымъ выпустить, какъ не представляющую особеннаго интереса для лицъ, изучающихъ собственно технику заводскаго дѣла. Быть можетъ, по окончаніи перевода всего сочиненія Ледебура окажется возможнымъ взамѣнъ этой главы издать дополненіе, посвященное очерку тѣхъ естественныхъ богатствъ различныхъ странъ земного шара, присутствіе которыхъ является важнѣйшимъ условіемъ развитія въ нихъ желѣзнаго производства, и привести тутъ же нѣсколько типическихъ примѣровъ дѣйствія доменныхъ печей различныхъ странъ.

Томъ второй, посвященный металлургіи чугуна, въ настоящее время уже переведенъ, такъ, что къ печатанію его можетъ быть приступлено въ непродолжительномъ времени.

Въ третьемъ томѣ описываются различные способы полученія желѣза и стали и обработки ихъ.

Въ концѣ каждой главы оригинала подъ рубрикою „литература“ приводится списокъ важнѣйшихъ сочиненій и отдѣльныхъ статей повременныхъ изданій, относящихся до разсматриваемаго предмета. Имѣя въ виду, что русскій переводъ книги Ледебура назначается по преимуществу для лицъ, мало знакомыхъ съ иностранными языками, мы сочли возможнымъ опустить указанія на журнальныя статьи за исключеніемъ поименованныхъ въ выноскахъ.

Н. Іосса.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

ГЛАВА ПЕРВАЯ.

Классификація продуктовъ желѣзной промышленности. Историческій очеркъ развитія желѣзнаго производства.

1. Классификація и номенклатура.

Желѣзо, полученное заводскимъ путемъ и поступающее въ торговлю всегда содержитъ въ себѣ большія или меньшія количества постороннихъ тѣлъ, которыя вводятся въ него частью намѣренно, а частью ненамѣренно и вліяютъ на его свойства. Самое важное изъ этихъ тѣлъ, которое находится во всякомъ продажномъ желѣзѣ, хотя-бы даже иногда въ весьма незначительномъ количествѣ, это углеродъ; другими обыкновенными спутниками желѣза являются кремній, фосфоръ, сѣра, марганецъ, мѣдь; менѣе замѣтными являются кобальтъ и никкель, хотя присутствіе ихъ въ очень малыхъ количествахъ почти всегда, можетъ быть доказано. Иногда встрѣчаются мышьякъ, сюрьма, хромъ, и нѣкоторыя другія тѣла. Сорта желѣза съ различнымъ содержаніемъ этихъ постороннихъ тѣлъ часто болѣе отличаются другъ отъ друга по своей наружности и другимъ качествомъ, чѣмъ совершенно различные металлы. Поэтому, продукты желѣзнаго производства обращающіеся въ торговлѣ дѣлятъ прежде всего на двѣ большія группы: **чугунъ,** съ большимъ содержаніемъ указанныхъ постороннихъ тѣлъ, и **ковкіе продукты,** (желѣзо и сталь) съ меньшимъ ихъ содержаніемъ. Физическія отличія этихъ двухъ группъ сводятся частью къ различію ихъ температуръ плавленія, частью же къ различнымъ отношеніямъ ихъ къ дѣйствію механическихъ силъ, какъ при обыкновенной температурѣ, такъ и въ нагрѣтомъ состояніи: Чугунъ плавится легче, т. е. при болѣе низкой температурѣ и съ меньшей затратой теплоты, чѣмъ ковкое желѣзо и **быстро** переходитъ изъ твердаго состоянія въ жидкое, какъ скоро онъ нагрѣлся до температуры плавленія, и наоборотъ, быстро твердѣетъ при охлажденіи ниже температуры плавленія. При всѣхъ температурахъ ниже его точки плавленія онъ хрупокъ, пока при нагрѣваніи не наступитъ внезапное плавленіе, т. е. не будучи расплавленъ, онъ не переноситъ даже

НБ УДУНТ (ІПБТ)

въ нагрѣтомъ состояніи никакихъ измѣненій своей формы дѣйствіемъ внѣшнихъ силъ, а ломается. Ковкіе продукты (желѣзо и сталь), какъ показываетъ самое названіе, куются при нагрѣваніи, предъ расплавленіемъ они **постепенно** размягчаются, даже въ холодномъ состояніи они часто обладаютъ высокою степенью тягучести; точка ихъ плавленія лежитъ выше чѣмъ у чугуна и вообще говоря повышается съ уменьшеніемъ въ нихъ количества постороннихъ примѣсей. Если въ желѣзѣ кромѣ углерода нѣтъ замѣтныхъ качествъ постороннихъ тѣлъ, то граница между чугуномъ и ковкимъ желѣзомъ соотвѣтствуетъ содержанію углерода=2,3%. Если на ряду съ углеродомъ въ желѣзѣ находятся и другія тѣла, особенно металлоиды (кремній, фосфоръ, сѣра), то они тоже вліяютъ на его ковкость; въ этомъ случаѣ желѣзо теряетъ свою способность коваться уже при сравнительно меньшемъ содержаніи углерода и получаетъ характеръ чугуна.

Переходные продукты между чугуномъ и ковкимъ желѣзомъ довольно рѣдки: они находятъ себѣ мало примѣненія и потому намѣренно не изготовляются. Большая часть сортовъ чугуна содержитъ въ себѣ значительно болѣе 2,3% постороннихъ тѣлъ, ковкое желѣзо—значительно менѣе. Обѣ группы продуктовъ желѣзнаго производства распадаются въ свою очередь на нѣсколько видовъ. Вслѣдствіе извѣстныхъ причинъ, которыя будутъ указаны ниже, нѣкоторые сорта чугуна обладаютъ способностью выдѣлять при застываніи большую часть своего углерода какъ самостоятельное тѣло, въ видѣ графита, который располагается между частицами металла и придаетъ излому чугуна сѣрый цвѣтъ. Такой чугунъ называется сѣрымъ чугуномъ. Въ другихъ сортахъ чугуна углеродъ и по застываніи ихъ остается въ такъ называемомъ соединенномъ состояніи, т е. представляетъ изъ себя составную часть, которую нельзя отличить глазомъ или замѣтить безъ химическаго анализа чугуна, и которую невозможно механическимъ путемъ отдѣлить отъ желѣза. Цвѣтъ такого чугуна въ изломѣ въ этомъ случаѣ бѣлый, и чугунъ называется поэтому бѣлымъ чугуномъ. Въ иныхъ случаяхъ заводы приготовляютъ для своихъ цѣлей углеродъ содержащіе сплавы желѣза и марганца, похожіе по своей внѣшности и качествамъ на бѣлый чугунъ, которые однако вслѣдствіе высокаго содержанія марганца, достигающаго иногда болѣе 80%, нельзя причислить къ чугунамъ въ обыкновенномъ смыслѣ этого слова и которые называются желѣзо-марганцами или ферроманганами.

При классификаціи различныхъ видовъ ковкаго углеродистаго желѣза можно имѣть въ виду двѣ точки зрѣнія: способъ его полученія — въ жидкомъ или въ тѣстообразномъ состояніи, и различіе его физическихъ свойствъ.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Нѣкоторые сорта ковкаго желѣза получаются при температурѣ, которая лежитъ ниже ихъ точки плавленія, но выше точки плавленія получающагося при процессѣ шлака.

Они состоятъ изъ многочисленныхъ, сварившихся зеренъ или кристалловъ желѣза, между которыми всегда запутываются большія или меньшія количества шлака. Чтобы освободить желѣзо отъ шлака, надо подвергнуть металлъ сильной механической обработкѣ, при температурѣ, при которой желѣзо дѣлается мягкимъ и пластичнымъ и пріобрѣтаетъ способность свариваться, вслѣдствіе чего отдѣльныя зерна его, подъ вліяніемъ давленія или ударовъ молота, соединяются въ одно цѣлое. Заключавшійся же между ними шлакъ при данной температурѣ жидокъ, и, подъ вліяніемъ механической обработки, выжимается изъ желѣза. Такое желѣзо называется сварочнымъ желѣзомъ. Однако полнаго выдѣленія всего запутаннаго въ желѣзѣ шлака достичь указаннымъ путемъ невозможно, и всякое сварочное желѣзо содержитъ въ себѣ шлакъ.

Другіе сорта ковкаго желѣза получаются въ жидкомъ состояніи и потому почти не содержатъ шлака, такъ какъ послѣдній, благодаря меньшему удѣльному вѣсу своему, быстро отдѣляется отъ металла. Желѣзо, полученное такимъ образомъ и не содержащее въ себѣ шлака называется литымъ желѣзомъ. Сварочное желѣзо, какъ уже сказано, состоитъ изъ отдѣльныхъ зеренъ, сварившихся между собою, причемъ составъ этихъ зеренъ не всегда одинаковъ. Застывшее же литое желѣзо представляетъ съ самаго момента остыванія одну сплошную, однородную массу. Это обстоятельство, равно какъ отсутствіе въ металлѣ шлака, обусловливаютъ существенную разницу въ свойствахъ обоихъ указанныхъ выше сортовъ желѣза.

Сварочное и литое желѣзо рѣзко различаются между собою по способу ихъ полученія. Литое углеродистое желѣзо заводскимъ путемъ стали приготовлять лишь со второй половины прошлаго столѣтія, а выдающееся положеніе заняло производство литаго желѣза лишь со второй половины XIX столѣтія.

Другое раздѣленія ковкаго желѣза на двѣ группы, примѣнявшееся прежде всегда, а теперь еще очень часто, основано на различной степени вязкости и твердости. Болѣе вязкое, твердое, хорошо закаливающееся[1]), но въ то же время болѣе хрупкое видоизмѣненіе называется сталью; менѣе вязкое, менѣе твердое, не принимающее замѣтной закалки, но зато болѣе гибкое и болѣе тягучее желѣзо называется

[1]) Желѣзо называется закаливающимся, если оно, будучи нагрѣто до краснаго каленія и потомъ быстро опущено въ воду, становится значительно тверже.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

обыкновеннымъ желѣзомъ или просто желѣзомъ. Причина различныхъ свойствъ обоихъ сортовъ желѣза лежитъ въ ихъ различномъ химическомъ составѣ, особенно по отношенію къ содержанію углерода: сталь болѣе богата углеродомъ, мягкое желѣзо содержитъ его менѣе. Если кромѣ углерода нѣтъ никакихъ другихъ постороннихъ тѣлъ въ замѣтныхъ количествахъ, то граница ясной закалки наблюдается при содержаніи углерода около 0,5%; въ присутствіи же постороннихъ тѣлъ (марганецъ, хромъ) металлъ можетъ обладать способностью закаливаться уже при меньшемъ содержаніи углерода и по своей вязкости имѣть свойства стали.

Если мы хотимъ, удерживая первую указанную нами классификацію разныхъ видовъ ковкаго желѣза, принять во вниманіе и упомянутыя физическія свойства его, то нужно различать: сварочную сталь и сварочное желѣзо (собственно сварочное мягкое желѣзо), литую сталь и литое желѣзо (литое мягкое желѣзо.)

Нижеслѣдующая таблица даетъ картину всѣхъ отдѣльныхъ группъ и сортовъ, раздѣленныхъ согласно указаннымъ выше принципамъ.

I. Чугунъ.

Не куется, хрупокъ, при нагрѣваніи плавится сразу. Содержаніе углерода (кремнія, фосфора и др.) по крайней мѣрѣ 2,3%.

1. Сѣрый чугунъ.

Часть углерода при остываніи выдѣляется въ видѣ графита. Цвѣтъ излома сѣрый.

2. Бѣлый чугунъ.

Углеродъ остается въ связанномъ состояніи. Цвѣтъ излома бѣлый. Болѣе твердъ и хрупокъ чѣмъ сѣрый чугунъ.

3. Ферромарганъ.

Углеродъ содержаніе сплавы желѣза съ марганцемъ, богатые содержаніемъ послѣдняго. Углеродъ остается въ связанномъ состояніи. Цвѣтъ излома бѣлый или желтоватый.

II. Ковкое углеродистое желѣзо.

Куется, при обыкновенной температурѣ менѣе хрупко чѣмъ чугунъ. При нагрѣваніи размягчается постепенно до расплавленія. Содержаніе углерода менѣе 2,3%.

1. Сварочное желѣзо.

Получается не въ жидкомъ, а тѣстообразномъ состояніи. Содержитъ примѣсь шлака.

a) Сварочная сталь.

Болѣе богатый углеродомъ продуктъ (0,5% C и болѣе), тверда; принимаетъ закалку.

b) Сварочное желѣзо.

Сварочное ковкое желѣзо менѣе богато углеродомъ (менѣе 0,5% C.) и менѣе твердо, но тягучѣе стали; не принимаетъ ясной закалки.

2. Литое желѣзо.

Получается въ жидкомъ состояніи, не содержитъ въ себѣ шлаковъ.

a) Литая сталь.

Болѣе богата углеродомъ (0,5% C и болѣе), тверда; принимаетъ закалку.

b) Литое желѣзо.

Менѣе богата углеродомъ (менѣе 0,5% и C), менѣе твердо, но вязче и мягче чѣмъ литая сталь; не принимаетъ ясной закалки.

НБ УДУНТ (ПБТ)

Указанное раздѣленіе выработано въ 1876 г., на всемірной выставкѣ въ Филадельфіи, комиссіей выдающихся знатоковъ желѣзнаго производства, изъ всѣхъ странъ производящихъ значительное количество желѣза. Съ тѣхъ поръ оно принято въ Германіи администраціей (напримѣръ при взиманіи пошлинъ) а также въ наукѣ. Но нельзя не замѣтить однако, что при рѣзкомъ раздѣленіи сварочнаго и литаго желѣза не всегда можно провести границу между сталью и мягкимъ желѣзомъ. Если въ основу дѣленія мы положимъ способность закаливаться, то нужно замѣтить, что точныя измѣренія обнаруживаютъ увеличеніе твердости металла послѣ закалки, тамъ гдѣ обыкновенное наблюденіе этого не показываетъ; если же въ основу дѣленія, положимъ цифру сопротивленія разрыву, то нужно принять во вниманіе, что вязкость одного и того-же матеріала можетъ испытывать не малыя измѣненія вслѣдствіе различныхъ случайностей (обработка при болѣе высокой или низкой температурѣ) и т. д. Отсюда ясно видно, на сколько трудно всегда строго отличать выраженія сталь и желѣзо (мягкое желѣзо) согласно принципамъ приведенной выше номенклатуры. Трудность эта увеличивается еще тѣмъ обстоятельствомъ, что въ Великобританіи, Сѣверной Америкѣ, Франціи и другихъ странахъ, со времени введенія новыхъ способовъ полученія литого желѣза, вошло въ обычай именемъ стали (steel, acier, Stahl) называть все ковкое желѣзо полученное въ жидкомъ состояніи — т. е. наше литое желѣзо—несмотря на то, закаливается-ли оно или нѣтъ; сталью-же (сварочною) называется и сварочное желѣзо, принимающее закалку. Въ Германіи и Россіи въ обыденной жизни этотъ способъ обозначенія также вошелъ въ общее употребленіе. Многочисленные заводы называются сталелитейными заводами, несмотря на то, что получаютъ на нихъ почти исключительно только мягкое и не закаливающееся литое желѣзо. Названіе „желѣзо-литейный“ заводъ совершенно неупотребительно. Объясненіемъ этому служатъ многія обстоятельства. Впродолженіе долгаго времени получали только литую сталь, но не литое желѣзо; даже послѣ изобрѣтенія новыхъ способовъ лишь постепенно научились получать литое желѣзо, температура плавленія котораго еще выше чѣмъ стали. Такимъ образомъ привыкли называть сталью все ковкое желѣзо, получаемое въ жидкомъ состояніи, а между тѣмъ постепенно перешли къ полученію тѣмъ-же самымъ путемъ и болѣе мягкаго металла. Мысль оставить названіе стали и для него, явилась частью вслѣдствіе большей краткости слова, а частью и вслѣдствіе того, что втеченіи вѣковъ привыкли соединять съ названіемъ стали понятіе о чемъ-то лучшемъ, болѣе дорогомъ. До сихъ поръ люди, незнакомые основательно съ дѣломъ, считаютъ сталь лучшимъ во всѣхъ отношеніяхъ

НБ УДУНТ (ІПБТ)

сортомъ желѣза. Изъ этого слѣдуетъ, что понятіе „сталь“ въ настоящее время довольно неопредѣленно, и что вѣрнаго пониманія его значенія можно достичь лишь при ближайшемъ разсмотрѣніи обстоятельствъ при которыхъ оное употреблено. Согласно-же указанному выше раздѣленію (Филадельфійской комиссіи) названіе стали будетъ употребляться ниже только тогда, когда будетъ идти рѣчь о богатомъ углеродомъ желѣзѣ, принимающемъ ясную закалку. Названіе „желѣзо“ въ болѣе общемъ смыслѣ будетъ обнимать всѣ сорта ковкихъ продуктовъ желѣзнаго производства.

2. Историческій очеркъ развитія желѣзной промышленности.

Мы коснемся исторіи развитія желѣзной промышленности лишь въ самыхъ короткихъ чертахъ. Историческія свѣдѣнія относительно изобрѣтенія и усовершенствованія отдѣльныхъ способовъ полученія желѣза и чугуна будутъ приведены при ихъ разсмотрѣніи.

Время появленія желѣзнаго производства съ точностью неизвѣстно. У большинства народовъ его относятъ къ доисторическимъ временамъ. Нѣсколько десятковъ лѣтъ тому назадъ господствовало общее убѣжденіе, сохранившееся отчасти и теперь, что знакомству человѣка съ желѣзомъ предшествовалъ всегда такъ называемый бронзовый вѣкъ. Но новѣйшія изслѣдованія твердо установили тотъ фактъ, что въ странахъ, гдѣ встрѣчались чистыя желѣзныя руды, желѣзо было извѣстно раньше бронзы и большею частью даже раньше мѣди. Это объясняется тѣмъ, что полученіе желѣза въ своемъ простѣйшемъ видѣ, въ которомъ оно существуетъ еще и теперь у нѣкоторыхъ дикихъ народовъ, требуетъ болѣе простыхъ приспособленій и манипуляцій, чѣмъ полученіе мѣди изъ большинства ея рудъ. Бронза, какъ извѣстно, есть сплавъ двухъ металловъ: мѣди и олова, которые лишь въ исключительныхъ случаяхъ встрѣчаются въ непосредственномъ сосѣдствѣ. Полученіе бронзы стало возможнымъ лишь тогда, когда человѣкъ пріобрѣлъ уже значительныя свѣдѣнія по полученію и обработкѣ металловъ и когда завязались торговыя сношенія сдѣлавшія возможнымъ перевозку указанныхъ двухъ металловъ. Считается несомнѣнно доказаннымъ, что орудія для обработки камня, дерева, для земледѣлія и другихъ цѣлей приготовленныя изъ желѣза и стали употреблялись культурными народами древности еще прежде чѣмъ желѣзо и сталь получили всеобщее употребленіе, какъ матеріалъ для приготовленія оружія оборонительнаго и наступательнаго. Это объясняется тѣмъ, что бронзѣ невозможно придать ту степень твердости, которая нужна для обработки

НБ УДУНТ (ІПБТ)

тѣхъ твердыхъ горныхъ породъ, которыя во многихъ случаяхъ давали матеріалъ для огромныхъ построекъ древности. Тоже самое доказываетъ нахожденіе желѣзныхъ орудій и утвари. Одна изъ самыхъ замѣчательныхъ находокъ этого рода, это инструментъ найденный англичаниномъ Гиллемъ въ 1837 г. при взрывѣ нѣсколькихъ камней большой пирамиды Хеопса и находившійся во внутреннемъ стыкѣ ихъ. Теперь онъ сохраняется въ Британскомъ музеумѣ. Тамъ же, гдѣ была извѣстна бронза, ей отдавали вѣроятно во многихъ случаяхъ преимущество передъ желѣзомъ, напр. при изготовленіи домашней утвари, украшеній и т. д. какъ матеріалу болѣе красивому и удобному чѣмъ желѣзо и сталь.

Такъ она отличается пріятнымъ цвѣтомъ, способностью противостоять вліянію сырости, а кромѣ того относительно легко отливается въ формы, а этимъ же свойствомъ желѣза въ древности не умѣли пользоваться. Чѣмъ больше становилась потребность людей въ металлахъ, тѣмъ важнѣе должно было сдѣлаться для нихъ желѣзо, которое, благодаря своему широкому распространенію, одно могло соотвѣтствовать громаднымъ потребностямъ человѣчества.

Во всякомъ случаѣ честь отысканія способа полученія желѣза изъ руды и распространенія этого изобрѣтенія по землѣ принадлежитъ не одному человѣку или народу. Сохранившіяся до сего времени слѣды работъ показываютъ, что добываніе желѣза производилось въ различныхъ странахъ земнаго шара, племенами не имѣвшими ни малѣйшаго понятія другъ объ другѣ. Еще въ настоящее время путешественники встрѣчаютъ иногда народы совершенно отрѣзанные отъ сношеній съ остальнымъ міромъ, которымъ однако-же хорошо извѣстно полученіе желѣза, въ его простѣйшемъ видѣ. Вмѣстѣ съ тѣмъ имъ часто совершенно незнакомо полученіе бронзы и мѣди. Въ письменныхъ памятникахъ большинства историческихъ народовъ, можно найти ясное доказательство ихъ знакомства съ желѣзомъ еще до самаго начала письменности вообще. Въ книгахъ Моисея, желѣзо упоминается часто, и Тубалкаинъ (Фовелъ), потомокъ Каина въ шестомъ колѣнѣ, называется первымъ ковачемъ мѣди и желѣза (книга Бытія глава IV ст. 22)—доказательство того, что повѣствователь самъ считаетъ знакомство съ желѣзомъ весьма древнимъ. Такъ какъ эти книги во всякомъ случаѣ были написаны вскорѣ послѣ выхода евреевъ изъ Египта (1600 л. до Р. Х.), то изъ этого можно заключить, что тамъ, гдѣ евреи жили 430 лѣтъ, желѣзо было уже извѣстно. Кромѣ того іероглифическія надписи египтянъ упоминаютъ также о желѣзѣ. Гомеръ также говоритъ о желѣзѣ и стали, но болѣе какъ о матеріалѣ для орудій земледѣльческихъ чѣмъ для оружія, каковое въ то время по большей части приготовлялось изъ бронзы. Въ Италіи желѣзо было извѣстно еще за долго до

НБ УДУНТ (ІПБТ)

римлянъ. Въ 1853 г. въ Виллановѣ близъ Болоньи, было найдено кладбище до-этрусскаго періода, и въ немъ нашли большое количество сосудовъ и орудій сдѣланныхъ изъ желѣза. Въ древности, особенно у грековъ, славилась сталь Халибійцевъ, народа, жившаго на Черномъ морѣ въ современной Арменіи. Самое названіе χάλυφ для желѣза показываетъ, что народъ этотъ былъ учителемъ грековъ въ дѣлѣ полученія стали. Греки считали ихъ изобрѣтателями стали, тогда какъ изобрѣтателями желѣза Стробонъ называетъ Дактилійцевъ, на островѣ Критѣ. Въ римскую эпоху, когда желѣзо представляло необходимый матеріалъ для оружія, доспѣховъ, земледѣльческихъ орудій, всевозможныхъ инструментовъ и т. д. въ различныхъ римскихъ провинціяхъ, богатыхъ желѣзными рудами, желѣзное производство было сильно развито. Это относилось въ особенности къ Испаніи, Галліи, Англіи, Каринтіи и провинціямъ по Рейну. До сихъ поръ находятся въ этихъ странахъ шлаковые отвалы, даже печи и приборы для плавки, относящіеся къ римской эпохѣ. Особенной славой пользовалось у Римлянъ, въ эпоху Плинія, желѣзо Серовъ, по всей вѣроятности народа восточно-азіатскаго, которое привозилось въ Римъ вмѣстѣ съ драгоцѣнными тканями и соотвѣтствовало, быть можетъ, дамасской стали и вутцу (стали индусовъ).

Съ развитіемъ цивилизаціи и промышленности народовъ росло потребленіе желѣза; бронза, которая еще въ древнемъ Римѣ имѣла широкое примѣненіе, все болѣе и болѣе теряла свое значеніе, уступая его желѣзу. Но несмотря на это, полученіе желѣза ограничивалось кустарною промышленностью. Было извѣстно только сварочное желѣзо; оно получалось непосредственно изъ рудъ, въ низкихъ печахъ или горнахъ, въ которыхъ за одинъ разъ получалось всего нѣсколько килограммовъ. Мѣха въ простѣйшемъ своемъ видѣ были въ употребленіи у многихъ народовъ, съ незапамятныхъ временъ, тогда какъ другіе народы пользовались въ своихъ печахъ естественной тягой. Мѣха приводились въ движеніе силой человѣка, обыкновенно съ помощью ножнаго привода, другіе двигатели были неизвѣстны, вслѣдствіе чего производительность печей была ограничена. Точно также и обработка желѣза совершалась отъ руки, помощью молота. Кузнецъ нуждавшійся въ желѣзѣ для своихъ цѣлей, нерѣдко получалъ его самъ, даже у крестьянъ, иногда были собственныя кузницы. въ которыхъ они получали желѣзо изъ рудъ и обработывали его для собственныхъ потребностей.

Въ такомъ положеніи находилась желѣзная промышленность со времени своего появленія до конца среднихъ вѣковъ. Этотъ періодъ, продолжавшійся у нѣкоторыхъ народовъ цѣлыя тысячелѣтія, можно назвать первымъ періодомъ желѣзной промышленности. Отличительной его чертой яв-

НБ УДУНТ (ІПБТ)

ляется полученіе сварочнаго желѣза прямо изъ рудъ, помощью работы человѣка.

Въ XIII вѣкѣ была впервые примѣнена для дѣйствія мѣховъ сила воды, которою уже въ древнемъ Римѣ, во время Юлія Цезаря, пользовались для приведенія въ движеніе мельницъ. Слѣдствіемъ этого нововведенія были многозначущія измѣненія въ желѣзной промышленности, которыя означаютъ начало втораго періода ея исторіи. Прежде руды проплавлялись у своего мѣстонахожденія; теперь-же выборъ мѣста для желѣзодѣлательнаго завода сталъ обусловливаться присутствіемъ водяной силы. Старые заводы должны были прекратить свое дѣйствіе, новые были построены въ новыхъ мѣстахъ. Потребность въ рабочихъ рукахъ, нужныхъ прежде для приведенія въ движеніе мѣховъ, сократилась. Но съ другой стороны отсутствіе иутей сообщенія, необходимыхъ для перевозки плавильныхъ матеріаловъ, задерживало развитіе желѣзной промышленности. Наши предки вѣроятно не безъ колебанія рѣшились на измѣненія въ способахъ полученія желѣза и сдѣлали вѣроятно этотъ шагъ лишь тогда, когда постоянно возроставшій спросъ на желѣзо заставилъ ихъ расширить свое производство.

Упомянутое нововведеніе вызвало еще другія, болѣе важныя послѣдствія. Возможность получать дутье въ большихъ количествахъ и большей упругости, чѣмъ это было раньше примѣненіи силы человѣка, дало поводъ увеличить высоту печей, для лучшей утилизаціи тепла и большей ихъ производительности. Но въ большихъ печахъ происходитъ болѣе полное возстановленіе желѣза и насыщеніе его углеродомъ, такъ что вмѣсто глыбы ковкаго желѣза получили чугунъ, жидкое состояніе котораго указывало на его пригодность для отливки. Такъ началось полученіе чугуна заводскимъ путемъ. Вскорѣ затѣмъ нашли что при многократной переплавкѣ отбросовъ чугуннаго литья они постепенно превращаются въ ковкое желѣзо. Примѣнявшееся дотолѣ полученіе желѣза прямо изъ рудъ отодвигалось этимъ открытіемъ на второй планъ и былъ найденъ путь для современныхъ способовъ массоваго полученія желѣза.

Отличительные признаки втораго періода исторіи желѣзнаго производства, начинающагося какъ сказано съ XIII вѣка, слѣдующіе: Плавка желѣзныхъ рудъ въ высокихъ шахтныхъ (доменныхъ) печахъ, съ помощью мѣховъ, приводимыхъ въ движеніе машинами, и употребленіе получающагося чугуна для полученія сварочнаго желѣза въ особыхъ печахъ. Прежній, до сихъ поръ исключительно примѣнявшійся способъ полученія сварочнаго желѣза изъ рудъ, съ каждымъ столѣтіемъ въ продолженіе этого періода все болѣе и болѣе отступалъ на задній планъ, хотя и до настоящаго времени онъ не исчезъ совершенно.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Полученіе отливокъ изъ чугуна открыло примѣненію желѣза совершенно новое обширное поле.

Этотъ второй періодъ исторіи желѣзной промышленности длится до половины XIX столѣтія и онъ ознаменованъ изобрѣтеніями высокой важности. Въ продолженіи тысячелѣтій полученіе желѣза было связано съ употребленіемъ древеснаго угля, но чѣмъ гуще становилось населеніе странъ, тѣмъ рѣже становились лѣса, дававшіе древесный уголь. Спросъ же на желѣзо все возрасталъ. Подъ давленіемъ этихъ обстоятельствъ въ XVIII вѣкѣ, послѣ многочисленныхъ неудачныхъ попытокъ, научились примѣнять минеральный уголь вмѣсто древеснаго, сначала для полученія чугуна, а потомъ къ концу столѣтія и для полученія сварочнаго желѣза. Безъ этихъ изобрѣтеній, которыя будутъ детально описаны при изложеніи отдѣльныхъ производствъ, желѣзная промышленность была бы совершенно не въ состояніи получить хотябы приблизительно свое современное значеніе.

Не меньшими послѣдствіями для желѣзной промышленности сопровождалось изобрѣтеніе паровой машины, во второй половинѣ XVIII столѣтія. Изобрѣтеніе это повліяло на желѣзную промышленность во многихъ отношеніяхъ. Желѣзодѣлательные заводы быстро замѣнили новою двигательною сплою силу воды. Этимъ они освобождались отъ оковъ, привязавшихъ ихъ въ продолженіе цѣлыхъ столѣтій къ теченію водъ, вслѣдствіе чего дѣлалось невозможнымъ увеличеніе завода за предѣлы опредѣляемые силою развиваемой водой въ данномъ мѣстѣ. Заводы начали устраивать тамъ, гдѣ имѣлись руда и каменный уголь, не заботясь о томъ, можно-ли въ этомъ мѣстѣ получить водяную силу. Размѣры предпріятія стали обусловливаться лишь коммерческими соображеніями. Это обстоятельство пріобрѣло особенное значеніе потому, что вслѣдствіе изобрѣтенія паровой машины спросъ на желѣзо еще повысился. Дѣло въ томъ, что вся промышленность сильно разцвѣла; машиностроеніе достигло такого развитія, о которомъ раньше нельзя было и мечтать, вслѣдствіе чего съ каждымъ годомъ стали предъявляться новыя, все большія требованія къ производительности желѣзодѣлательныхъ заводовъ. Но все-таки, несмотря на все это, желѣзная промышленность никогда не получала того распространенія, которымъ она пользуется теперь, если-бы вслѣдъ за открытіемъ силы пара, 50 лѣтъ, спустя не послѣдовало изобрѣтеніе, примѣнившее эту силу, которое должно было оказать сильнѣйшее вліяніе на образованіе и хозяйство народовъ: мы говоримъ о примѣненіи силы пара, къ желѣзнодорожному дѣлу въ 1825 г. Сѣть желѣзныхъ дорогъ, удлиняющаяся съ каждымъ годомъ и, вслѣдствіе изнашиванія рельсовъ, требующая постояннаго ремонта, распространяется до сего дня по всей населенной землѣ. Но кромѣ рельсовъ и другія многочислен-

НБ УДУНТ (ІПБТ)

ныя принадлежности желѣзнодорожнаго дѣла дѣлаются изъ желѣза. Примѣненію желѣза открылось поле, о которомъ едва ли кто могъ мечтать, поле расширявшееся съ невообразимой быстротой изъ года въ годъ. Ясную картину увеличенія спроса на желѣзо можно представить себѣ изъ цифръ: Въ 1800 году ежегодная производительность желѣза по всей землѣ равнялась 825000 тонн. Въ 1850, т. е. примѣрно 20 лѣтъ спустя, послѣ постройки первой желѣзной дороги — 4.750,000 тонн., а теперь около 27.500,000 тонн. Слѣдовательно впродолженіе 90 лѣтъ производительность желѣза увеличилась въ 30 разъ.

Третій періодъ въ исторіи желѣзной промышленности начинается съ того времени, когда выступаетъ на сцену третій продуктъ желѣзнаго промысла: литое желѣзо. Въ малыхъ количествахъ литое желѣзо (тигельная сталь) готовилось уже въ послѣднихъ десятилѣтіяхъ прошлаго столѣтія; полученіе же литого желѣза въ такихъ количествахъ, чтобы вся желѣзная промышленность могла претерпѣть значительныя измѣненія, стало возможнымъ лишь тогда, когда были найдены новые способы для его полученія. 1860 годъ можетъ служить границею между вторымъ и третьимъ періодамъ. Мы находимся еще въ началѣ послѣдняго, но уже теперь можно ясно видѣть, въ чемъ состоятъ измѣненія, которымъ подверглась желѣзная промышленность. Полученіе чугуна сохранило свое прежнее значеніе: теперь, какъ и прежде чугунъ является первымъ продуктомъ получаемымъ изъ рудъ, изъ котораго уже другими способами приготовляютъ ковкое желѣзо. Мѣсто сварочнаго желѣза заняло литое, которое во многихъ отношеніяхъ превосходитъ его качественно и полученіе котораго часто обходится дешевле. Съ каждымъ годомъ растетъ количество полученнаго литого желѣза, количество же сварочнаго уменьшается и уже теперь первое значительно превышаетъ второе. Устроены многочисленные заводы, занимающіеся полученіемъ литаго металла, — такъ называемые стале-литейные заводы — обладающіе иногда колоссальной производительностью. Не далеко то время, когда сварочное желѣзо, имѣющее теперь еще несомнѣнно важное значеніе, будетъ имѣть лишь второстепенное значеніе. Литейное производство также подверглось вліянію времени: въ литейныхъ фабрикахъ чугунъ уже часто замѣняется литымъ желѣзомъ и сталью, которые превосходятъ его значительно въ прочности и твердости, хотя нѣсколько менѣе удобны для отливокъ. Можно съ увѣренностью сказать, что и въ этомъ отношеніи, въ недалекомъ будущемъ, литой металлъ получитъ огромное значеніе.

Такимъ образомъ желѣзо въ теченіе тысячелѣтій сдѣлалось господствующимъ, самымъ необходимымъ изъ всѣхъ металловъ. Значеніе его въ хозяйствѣ народовъ видно изъ

НБ УДУНТ (ІПБТ)

того, что несмотря на то, что онъ самый дешевый изъ всѣхъ металловъ, цѣнность ежегодно получаемаго желѣза почти въ полтора раза превосходитъ цѣнность всѣхъ остальныхъ металловъ, включая сюда золота и серебро; вѣсъ-же ежегодно получаемаго желѣза превосходитъ вѣсъ остальныхъ металловъ разъ въ двадцать. Безъ желѣза невозможна высокая степень развитія культуры человѣчества. У насъ не было-бы инструментовъ для обработки камня, который нуженъ намъ для нашихъ зданій, не было-бы машинъ для изготовленія множества предметовъ, безъ которыхъ мы не можемъ прожить ни одного дня, не было-бы средствъ легкаго сообщенія людей между собою, могучаго рычага благосостоянія и образованія народовъ. Нѣтъ ни одного металла столь незамѣнимаго какъ желѣза.

Литература.

a) Классификація и номенклатура различныхъ видовъ желѣза.

M. A. Greiner, Ueber die Definition des Stahls. Berg- und hüttenmännische Ztg. 1876, S. 175; Revue universelle des mines 1875, p. 564.

R. Akerman, Ansichten über den richtigen Begriff von Stahl. Berg- und hüttenmännische Ztg. 1876, S. 337; Jern-Kontorets Annaler, Bd. 67, Heft 3.

H. Wedding, Die Nomenclatur des Eisens. Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbefleisses 1887, S. 46.

Classification von Eisen und Stahl. Sitzungberichte des Vereins zur Beförderung des Geverbefleisses 1876, S. 60; Ztshr. des berg- und hüttenmännischen Vereins für Steiermark und Kärnten 1878, S. 252.

H. Wedding, Die heutigen Methoden der Eisenerzeugung und die Benenung der daraus hervorgehenden Eisengattungen. Glasser's Annalen, Bd. XXII, S. 167 оттуда въ „Stahl und Eisen" 1888, S. 457.

b) Историческія свѣдѣнія.

Dr. Ludwig Beck, Die Geschichte des Eisens in technischer und kulturgeschichtlicher Beziehung. Zweite Auflage. Braunschweig 1891.

Rich. Andree, Die Metalle bei den Naturvölkern. Leipzig 1884.

A. Frantz, Eisen und Stahl im Altherthume. Berg- und hüttenmännnische Ztg. 1882, S. 178.

H. Wedding, Beiträge zur Geschichte des Eisenhüttenwesens im Harz. Zeitschrift des Harzvereins 1881.

Georg Mehrtens, Das Eisen im Altherthum. „Stahl und Eisen" 1887, S. 375.

Victor Tahon, Les origines de la métallurgie au pays d'entre Sambre et Meuse. Revue universelle, série II, tome 29, p. 268.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

ГЛАВА ВТОРАЯ.

Горѣніе, возстановленіе, теплопроизводительная способность, передача теплоты.

1. Горѣніе и возстановленіе.

а) Общія положенія.

Горѣніемъ въ широкомъ смыслѣ слова называется всякое химическое соединеніе какого нибудь тѣла съ кислородомъ (окисленіе); въ болѣе узкомъ значеніи слова, мы говоримъ о горѣніи только тогда, когда при этомъ выдѣляется такъ много теплоты, что горящее тѣло раскаляется.

Возстановленіемъ называется процессъ, обратный горѣнію. Слѣдовательно это будетъ процессъ выдѣленія или простого тѣла изъ его соединенія съ кислородомъ, или же соединенія менѣе богатаго кислородомъ изъ соединенія болѣе имъ богатаго. Въ болѣе широкомъ смыслѣ слова возстановленіемъ называется вообще выдѣленія какого нибудь тѣла, особенно металла изъ его соединенія (съ сѣрой, мышьякомъ и т. д.).

Если при сгораніи тѣла выдѣляется теплота, то для возстановленія его изъ соединеніе требуется израсходовать какъ разъ то же количество ея, какое получалось при сгораніи. Поэтому для пониманія и вѣрной оцѣнки процессовъ, какъ металлургическихъ вообще, такъ и касающихся полученія желѣза въ частности, необходимо знать количества тепла выдѣляющагося при образованіи различныхъ соединеній. Рядомъ съ процессомъ возстановленія идетъ процессъ горѣнія, т. е. для возстановленія какого нибудь тѣла употребляется другое тѣло, сродство котораго къ кислороду (или также къ сѣрѣ и т. д.) при данныхъ обстоятелствахъ больше чѣмъ перваго, отъ котораго оно и отнимаетъ кислородъ и т д., соединяясь съ нимъ химически. Если при сгораніи возстановляющаго тѣла развивается больше теплоты, чѣмъ развивалось при сгараніи возстановляемаго тѣла, то процессъ возстановленія сопровождается выдѣленіемъ теплоты и повышеніемъ температуры. Въ противномъ случаѣ теплота поглощается, и поглощеніе это должно быть возмѣщено извнѣ, т. е. изъ другого источника теплоты, во избѣжаніе остыванія, которое при нѣкоторыхъ обстоятельствахъ можетъ прекратить самый процессъ возстановленія.

При обыкновенной температурѣ только немногія тѣла дѣйствуютъ окислительно или возстановительно. При всѣхъ почти металлургическихъ процессахъ — нужна возвышенная

НБ УДУНТ (ІПБТ)

температура, увеличивающая сродство къ кислороду тѣлъ служащихъ возстановителями. Само собою разумѣется однако, что при такомъ повышеніи температуры, востановленіе тѣла удается лишь въ томъ случаѣ, если сродство его къ кислороду не возрастаетъ въ такой же степени какъ сродство возстановителя.

Другими словами: возстановленіе при взаимодѣйствіи двухъ тѣлъ въ нагрѣтомъ состояніи, есть слѣдствіе увеличенія, посредствомъ нагрѣванія, сродства къ кислороду только возстановляющаго тѣла, при извѣстныхъ же обстоятельствахъ оно можетъ быть и слѣдствіемъ уменьшенія посредствомъ высокой температуры сродства къ кислороду только возстановляемаго тѣла [1]).

Эти обстоятельства часто оставляются безъ вниманія при изученіи металлургическихъ процессовъ, вслѣдствіе чего; значительно затрудняется ихъ пониманіе. Изъ вышеуказаннаго соотношенія между температурой и химическимъ сродствомъ тѣлъ можно сдѣлать слѣдующій выводъ, подтверждаемый также и практикой: температура возстановленія для различныхъ тѣлъ весьма различна; возстановитель, примѣнимый въ одномъ случаѣ, можетъ въ другомъ случаѣ, когда нужно возстановить другое тѣло, не оказать никакого дѣйствія, это происходитъ въ томъ случаѣ, если путемъ нагрѣванія не удается повысить сродство возстановителя къ кислороду болѣе чѣмъ сродство возстановляемаго тѣла къ этому-же элементу. Выборъ возстановителя, равно какъ и температура, которую нужно примѣнить, зависитъ отъ всѣхъ этихъ обстоятельствъ.

b) Главнѣйшіе возстановители.

При различныхъ способахъ полученія желѣза главнѣйшими возстановителями служатъ углеродъ и окись углерода, представляющая наименѣе богатый кислородомъ продуктъ горѣнія углерода и способная къ дальнѣйшему горѣнію. Второстепенное значеніе какъ возстановитель имѣетъ водородъ, получающійся иногда какъ побочный продуктъ и дѣйствующій тогда возстановляющимъ образомъ на различныя кислородныя соединенія. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ, которые будутъ разобраны при описаніи отдѣльныхъ процессовъ, возстановляющимъ образомъ могутъ дѣйствовать также металлическое желѣзо, марганецъ, кремній, фосфоръ, аллюминій.

---

[1]) Извѣстно, что нѣкоторыя тѣла разлагаются, диссоціируютъ, уже при простомъ нагрѣваніи, безъ воздѣйствія другаго тѣла. Чѣмъ ближе температура къ этой точкѣ разложенія, тѣмъ болѣе уменьшается взаимное сродство соединенныхъ тѣлъ, тѣмъ легче достигнуть возстановленія.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Возстановляющее дѣйствіе каждаго изъ трехъ первыхъ тѣлъ—углерода, окиси углерода и водорода—представляетъ особенности заслуживающія полнаго вниманія техниковъ.

Низшая температура, при которой могутъ соединяться углеродъ и кислородъ, колеблется между 400 и 800° С. [1]), смотря по внѣшнимъ свойствамъ углерода (древесный уголь, коксъ, антрацитъ, графитъ); ниже этой температуры, слѣдовательно, углеродъ не можетъ дѣйствовать какъ возстановитель. Стремленіе углерода химически соединяться съ кислородомъ, его сродство къ нему, возрастаетъ, начиная съ этой температуры возгоранія, въ весьма сильной степени и только при температурѣ бѣлаго каленія достигаетъ высшаго предѣла.

Первый, т. е. бѣднѣйшій кислородомъ, продуктъ горѣнія углерода есть окись углерода. Это есть тѣло постоянное даже при высшихъ температурахъ, достижимыхъ въ нашихъ печахъ, т. е. при обыкновенныхъ условіяхъ оно не диссоціируетъ въ замѣтной степени и не дѣйствуетъ окислительно на другія тѣла, имѣющія значеніе въ металлургическихъ процессахъ. Это обстоятельство находится въ близкомъ соотношеніи къ только что указанному увеличенію сродства углерода къ кислороду съ повышеніемъ температуры и безъ него послѣдній процессъ ие могъ бы имѣть мѣста [2]). Тѣла, сродство которыхъ къ кислороду при нагрѣваніи возрастаетъ не въ такой степени какъ сродство углерода, могутъ слѣдовательно часто, при сильномъ нагрѣваніи, возстановляться изъ своихъ окисловъ, если даже при менѣе высокихъ температурахъ — напримѣръ при красномъ каленіи — они совершенно хорошо противостоятъ дѣйствію углерода. Это наблюдается напримѣръ надъ каліемъ, натріемъ, марганцемъ и др. Характерная же особенность углерода, состоящая въ томъ, что при нагрѣваніи сродство его къ кислороду увеличивается сильнѣе чѣмъ многихъ другихъ тѣлъ, и дѣлаетъ его однимъ изъ лучшихъ возстановителей при высокой температурѣ.

---

[1]) Свободнымъ кислородомъ углеродъ сжигается въ окись углерода уже при обыкновенной температурѣ, но такъ медленно, что процессъ этотъ едва-ли имѣетъ практическое значеніе (см. Poggendorf, Annalen. Band CLX, стр. 353).

[2]) Совершенно особыя обстоятельства, напримѣръ треніе объ шероховатыя поверхности, или-же просто соприкосновеніе съ нѣкоторыми тѣлами могутъ, правда, способствовать распаденію окиси углерода на углеродъ и углекислоту ($2CO = C + CO_2$). Подобный случай (распаденіе въ прикосновеніи съ окислами желѣза) будетъ спеціально разобранъ въ VII отдѣлѣ книги (химически-металлургическія свойства желѣза). Диссоціаціи-же въ тѣсномъ смыслѣ слова, т. е. распаденіе окиси углерода на углеродъ и углекислоту только дѣйствіемъ сильнаго нагрѣванія не происходитъ при температурахъ, достижимыхъ на землѣ. О диссоціаціи см. v. Fehling, Neues Handwörterbuch der Chemie. Band III S. 988; Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft. Band. XVII. S 1361; Comptes rendus, T. LX, p. 322.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Напротивъ того окись углерода при болѣе низкихъ температурахъ обладаетъ большой склонностью присоединять къ себѣ второй атомъ кислорода и образовать углекислоту. При температурѣ въ 400° она начинаетъ сгорать, но получающаяся при ея окисленіи углекислота тѣмъ менѣе постоянна, чѣмъ выше температура. Согласно опытамъ С. Клеръ-Девиля уже при температурѣ въ 1000—1200° С. она начинаетъ распадаться на окись углерода и свободный кислородъ, хотя въ началѣ явленіе это происходитъ въ весьма слабой степени; съ возвышеніемъ температуры ея стремленіе къ распаденію увеличивается; приблизительно около 2600° она вовсе не можетъ существовать [1]). Отсюда легко вывести заключеніе, что начиная съ указанной температуры сгоранія окиси углерода въ углекислоту становится все болѣе затруднительнымъ.

Точно также понятно выведенное путемъ практики явленіе, почему при болѣе высокихъ температурахъ углекислота дѣйствуетъ сильно окисляющимъ образомъ на многія тѣла, сродство которыхъ къ кислороду при этихъ температурахъ сильнѣе чѣмъ у углерода.

По этой же причинѣ окись углерода тѣмъ больше теряетъ свою возстановительную силу, чѣмъ температура болѣе превысила указанную границу. Кромѣ собственно дѣйствующей, т. е. служащей возстановителемъ окиси углерода, для хода возстановительнаго процесса необходимъ еще избытокъ окиси углерода. Избытокъ этотъ долженъ быть тѣмъ больше, чѣмъ выше температура процесса, такъ какъ одна и та-же смѣсь углекислоты и окиси углерода при нисшей температурѣ можетъ дѣйствовать возстановительно на извѣстное тѣло, тогда какъ при высшей температурѣ она будетъ на то же тѣло дѣйствовать окислительно. По опытамъ Л. Белля смѣсь обоихъ газовъ относится нейтрально къ металлическому желѣзу, т. е. не дѣйствуетъ ни окислительно, ни возстановительно, если она содержитъ:

при бѣломъ каленіи: 90 ч. CO и 10 ч. CO_2 (по объему)
при свѣтло-красномъ кал.: 68 „ CO и 32 „ CO_2 „
при темно-красномъ кал.: 40 „ CO и 60 „ CO_2 „

Газообразное состояніе окиси углерода облегчаетъ ея соприкосновеніе съ возстановляемыми твердыми тѣлами. Тѣла эти окружаются газомъ, пропускаютъ его въ свои поры и т. д. Соприкосновеніе твердыхъ тѣлъ съ углемъ тѣмъ несовершеннѣе, чѣмъ крупнѣе куски этихъ веществъ. Плавленіе обрабатываемаго вещества значительно облегчаетъ дѣйствіе на него угля. Указанное различіе въ дѣйствіи углерода и окиси углерода достаточно объясняетъ намъ что при

[1]) Comptes rendus LVI p. 729; Grüner. Traité de Metallurgie стр. 59.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

болѣе низкихъ температурахъ окись углерода наиболѣе пригодна въ качествѣ возстановителя. Вліяніе-же углерода какъ возстановителя тѣмъ сильнѣе, чѣмъ выше температура и при самыхъ высокихъ температурахъ нашихъ печей онъ одинъ употребляется какъ возстановитель. Металлы окиси которыхъ возстановляются окисью углерода называются легко возстановимыми, и наоборотъ, трудно возстановимыми называютъ металлы которые возстановляются только углеродомъ, при бѣломъ каленіи.

Подобно окиси углерода дѣйствуетъ водородъ. При его сгораніи образуется водяной паръ, но уже при 1000° С., по опытамъ Девиля, начинается диссоціація послѣдняго, а при 2500° онъ уже не можетъ существовать. Поэтому при сравнительно низкой температурѣ онъ дѣйствуетъ окислительно, если встрѣчается съ тѣлами, сродство которыхъ къ кислороду повышено нагрѣваніемъ. При примѣненіи водорода какъ возстановителя, какъ и при окиси углерода, необходимо должно имѣть тѣмъ большій избытокъ газа, чѣмъ выше температура. Раскаленный уголь при дѣйствіи водянаго пара сгораетъ при болѣе высокой температурѣ въ окись углерода, а при болѣе низкой — въ углекислоту:

$$C + H_2O = CO + 2H$$
$$C + 2H_2O = CO_2 + 4H$$

Продуктомъ этого процесса является водяной газъ, о которомъ рѣчь будетъ ниже.

Изъ сказаннаго слѣдуетъ, что водородъ, являющійся случайною составною частью газовъ нѣкоторыхъ печей, можетъ служить возстановителемъ только для легко возстановимыхъ окисловъ.

c) Вліяніе присутствія третьихъ тѣлъ на ходъ возстановленія.

Присутствіе третьихъ тѣлъ, обладающихъ стремленіемъ образовать соединенія съ продуктами процессовъ возстановленія или окисленія, часто въ значительной степени помогаетъ ходу этихъ процессовъ; иногда-же эти послѣдніе становятся возможными только благодаря присутствію постороннихъ тѣлъ. Кремній, напримѣръ, невозстановляется изъ кремнекислоты однимъ углеродомъ, даже при самомъ сильномъ бѣломъ каленіи, но при этомъ онъ обладаетъ сильнымъ сродствомъ къ желѣзу. Отсюда понятно, почему, уже при свѣтло-красномъ каленіи, кремній можетъ возстановляться углеродомъ, въ присутствіи металлическаго желѣза и поглощаться послѣднимъ. Еще болѣе сильнымъ сродствомъ къ желѣзу, чѣмъ кремній, обладаетъ фосфоръ. Самымъ сильнымъ окисляющимъ средствомъ нельзя выдѣлить фосфора

НБ УДУНТ (ІПБТ)

изъ расплавленнаго желѣза, пока присутствуютъ кислые шлаки, неимѣющіе стремленія воспринимать фосфорную кислоту; въ присутствіи же основаній склонныхъ образовать фосфаты, выдѣленіе фосфора удается. Многія другія явленія практики объясняются подобными процессами, и при изученіи отдѣльныхъ способовъ полученія желѣза часто придется обращать вниманіе на этотъ законъ природы.

2. Полное и неполное горѣніе.

a) Общія положенія.

Горѣніе тѣла называется полнымъ, когда продукты его, (которые при обыкновенныхъ горючихъ матеріалахъ газообразны) не содержатъ въ себѣ горючихъ составныхъ частей.

Если сожигаютъ чистый уголь, то продукты его полнаго горѣнія содержатъ только углекислоту, азотъ (происходящій изъ воздуха необходимаго для горѣнія) и, можетъ быть, избытокъ кислорода, необходимаго для горѣнія; при сожиганіи горючихъ дающихъ пламя, къ указаннымъ продуктамъ горѣнія присоединяется еще водяной паръ. Горѣніе было-бы неполнымъ если-бы среди продуктовъ его находились еще окись углерода, углеводороды, продукты перегонки и разложенія (деготь, дымъ).

Если при сожиганіи какого нибудь горючаго желаютъ получить возможно большее количество теплоты, то нужно стремиться къ возможно полному сожиганію его, такъ какъ каждая не сгорѣвшая часть продуктовъ горѣнія равносильна потерѣ части развиваемой теплоты.

Правда, химическія особенности даннаго процесса не всегда позволяютъ намъ примѣнить полное горѣніе. Если-бы напримѣръ, при возстановительной плавкѣ желѣзной руды мы пожелали сожигать углеродъ вполнѣ т. е. въ углекислоту, то, въ силу указанныхъ уже окислительныхъ свойствъ этого газа, самое возстановленіе сдѣлалось-бы невозможнымъ. Средства, примѣняемыя для достиженія полнаго или, въ нѣкоторыхъ случаяхъ, неполнаго горѣнія—зависятъ отъ отношенія сжигаемыхъ тѣлъ къ кислороду при температурѣ ихъ сожиганія. При разсмотрѣніи этихъ условій наибольшаго вниманія заслуживаютъ углеродъ, окись углерода, водородъ и углеводороды.

b) Углеродъ и окись углерода. Возстановленіе углекислоты углемъ.

При сожиганіи углерода можетъ образоватся какъ окись углерода, такъ и углекислота.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Въ продуктахъ горѣнія часто находятся оба эти тѣла вмѣстѣ; преобладаніе того или другаго зависитъ отъ многихъ, обыкновенно совокупно дѣйствующихъ, обстоятельствъ.

Во всякомъ случаѣ для сгоранія нѣкотораго количества углерода въ углекислоту (CO_2) требуется вдвое большее количества кислорода, чѣмъ для сгоранія того-же количества углерода въ окись углерода или, выражаясь иначе, одно и тоже количество кислорода требуетъ вдвое большаго количества углерода для образованія окиси углерода, чѣмъ для образованія углекислоты. Поэтому, вообще говоря, при избыткѣ кислорода, назначеннаго для сожиганія углерода, скорѣе образуется углекислота, а при значительномъ отношеніи между углеродомъ и кислородомъ — легче образуется окись углерода.

Этотъ общій законъ подтверждается довольно разнообразными наблюденіями.

Простѣйшій случай представился бы намъ, если бы оба тѣла, — притомъ уголь въ видѣ порошка, — были смѣшаны другъ съ другомъ и подвергнуты нагрѣванію, что и дѣлается иногда въ топкахъ для порошкообразныхъ горючихъ. Чѣмъ больше будетъ отношеніе кислорода (воздуха) къ горючему въ смѣси, тѣмъ легче достигается полное сгораніе угля въ углекислоту, при одинаковости прочихъ условій.

Чаще наблюдается случай, когда воздухъ, назначенный для горѣнія долженъ пройти черезъ болѣе или менѣе значительный слой горючаго (какъ это бываетъ напримѣръ въ шахтныхъ печахъ), или неподвижнаго, или медленно движущагося на встрѣчу воздуху. Горючее состоитъ въ этомъ случаѣ главнѣйше изъ чистаго углерода. Чѣмъ толще слой, черезъ который долженъ пройти воздухъ, т. е. чѣмъ выше въ разсматриваемомъ случаѣ шахтная печь, тѣмъ больше отношеніе углерода къ кислороду; (одно и то же количество кислорода встрѣчается съ большими количествами углерода) и тѣмъ больше образуется окиси углерода [1]). Изъ сказаннаго видно вліяніе взаимнаго соприкосновенія между углеродомъ и кислородомъ, на составъ продуктовъ горѣнія. Въ разсматриваемомъ случаѣ, воздуху приходится проникать черезъ значительный слой горючаго. То же самое вліяніе на образованіе окиси углерода обнаруживается и въ томъ случаѣ, когда вслѣдствіе замедленія теченія воздуха увеличится время соприкосновенія углерода съ касающимся его кислородомъ. Это тоже благопріятствуетъ образованію окиси углерода.

Еще въ большей степени вліяютъ на ходъ горѣнія внѣшнія качества горючаго — его плотность и величина его кус-

[1]) Опыты поэтому поводу: H. Bunte, Comnissionsarbeiten, betreffend die Versuche über die Leistungs fähigkeit der Koksgeneratoren. Schlussbericht S. 142.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

ковъ. Чѣмъ меньше поверхность, представляемая углеродомъ дѣйствію кислорода, тѣмъ меньше углерода, при одинаковости прочихъ условій, сжигается однимъ и тѣмъ-же количествомъ кислорода, тѣмъ больше отношеніе углекислоты къ окиси углерода въ продуктахъ горѣнія. Но чѣмъ плотнѣе горючее, тѣмъ больше куски его, тѣмъ меньше поверхность, представляемая углеродомъ дѣйствію одного и того-же количества кислорода, тѣмъ больше слѣдовательно количество образующейся углекислоты. Поэтому плотный коксъ наиболѣе пригоденъ для достиженія возможно полнаго горѣнія (въ углекислоту). Пористый коксъ менѣе пригоденъ для этой цѣли, но при данныхъ обстоятельствахъ онъ всетаки даетъ больше углекислоты, чѣмъ еще менѣе илотный древесный уголь. Точно также горючій матеріалъ, находящійся въ крупныхъ кускахъ, болѣе пригоденъ для достиженія полнаго горѣнія, чѣмъ находящійся въ видѣ мелкихъ кусковъ. Эти соображенія находятъ себѣ практическое примѣненіе при многихъ процессахъ.

Указанное значеніе взаимнаго соприкосновенія между горючимъ и воздухомъ объясняетъ намъ также, почему, въ тѣхъ случаяхъ, когда воздухъ долженъ прійти черезъ слой горючаго, находящагося въ кускахъ, иногда образуетъ больше окиси углерода иногда-же больше углекислоты. Большая упругость газовъ въ области горѣнія и воздуха потребнаго для горѣнія способствуетъ образованію окиси углерода, малая-же упругость газовъ, и воздуха—образованію углекислоты. Точно также значительное количество воздуха, распредѣляющагося по поверхности горючаго способствуетъ образованію углекислоты, и наоборотъ. Очевидно, что чѣмъ выше упругость воздуха и газа, тѣмъ меньше поверхность, представляемая кислородомъ дѣйствію углерода, тѣмъ больше отношеніе между поверхностью углерода и поверхностью кислорода. Въ данномъ случаѣ, слѣдовательно, одно и то же количество кислорода сжигаетъ большее количество углерода, т. е. образуется больше окиси углерода и менѣе углекислоты. Обратно, значительное количество воздуха увеличиваетъ поверхность кислорода, т. е. способствуетъ образованію углекислоты. Поэтому, вообще говоря, въ шахтныхъ печахъ, дѣйствующихъ на твердомъ горючемъ, получающихъ воздухъ изъ воздуходувныхъ машинъ, отношенія образовавшейся при горѣніи окиси углерода къ углекислотѣ тѣмъ больше, чѣмъ выше упругость дутья. Большая скорость дутья значительной упругости уже сама по себѣ облегчаетъ образованіе окиси углерода: частички кислорода съ большею механическою силою налетаютъ на куски горючаго, лучше проникаютъ между

НБ УДУНТ (ІПБТ)

отдѣльными кусками его и въ ихъ поры. При этомъ они проходятъ въ соприкосновеніи, съ большимъ количествомъ углерода, чѣмъ при слабой упругости дутья. Слѣдовательно, одно и то-же количество кислорода сжигаетъ большее количество углерода, слѣдствіемъ чего является обильное образованіе окиси углерода.

Всѣ только что разобранныя явленія зависятъ отъ отношенія количества углерода и кислорода, приходящихъ въ соприкосновеніе. На ряду съ ними ходъ горѣнія обусловливается также и температурой того пространства, въ которомъ происходитъ горѣніе. Указанные выше законы, по которымъ происходитъ возстановленіе кислородныхъ соединеній углеродомъ и окисью углерода, сохраняютъ свое значеніе и при сожиганіи угля свободнымъ кислородомъ. Высокая температура вообще говоря способствуетъ химическому соединенію разсматриваемыхъ тѣлъ. Нужно только помнить при этомъ, что тогда какъ окись углерода постоянна при высшихъ температурахъ, достижимыхъ въ нашихъ печахъ, углекислота уже около 1200° начинаетъ распадаться на окись углерода и свободный кислородъ и при обыкновенномъ давленіи вовсе не можетъ существовать при 2600° [1]).

Вслѣдствіе этого высокая температура въ пространствѣ гдѣ происходитъ горѣніе способствуетъ сгоранію углерода въ окись углерода, если только имѣется достаточное для образованія этого соединенія количество углерода.

Подобный случай бываетъ, напримѣръ, въ шахтныхъ печахъ, въ которыхъ воздухъ долженъ пройти черезъ толстый слой горючаго. Чѣмъ ниже температура, тѣмъ больше образуется углекислоты, хотя-бы даже остальныя условія оставались тѣже, что и въ первомъ случаѣ. При высокой температурѣ, вслѣдствіе усиленной химической дѣятельности и увеличеннаго стремленія тѣлъ соединяться, два атома углерода соединяются съ двумя атомами кислорода ($2C + 2O = 2CO$), тогда какъ при болѣе низкой температурѣ только одинъ атомъ углерода сгораетъ съ двумя атомами кислорода въ углекислоту ($C + 2O = CO_2$). Этотъ законъ вліянія температуры на образованіе окиси углерода и углекислоты крайне важенъ для пониманія многихъ процессовъ, и находитъ себѣ потвержденіе при дальнѣйшемъ разсмотрѣніи отдѣльныхъ производствъ [2]).

---

[1]) Позднѣйшія изслѣдованія французскихъ ученыхъ показали что вліяніе высокой температуры на ходъ диссоціаціи углекислоты не такъ сильно и что при 2600° Ц. большая часть углекислоты остается еще неразложенною. *Примѣчаніе переводчика.*

[2]) Во многихъ техническихъ сочиненіяхъ и журналахъ высказывается совершенно противуположное невѣрное мнѣніе что углекис-

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Если однако количество кислорода, соприкасающагося съ углеродомъ больше того, которое требуется для образованія окиси углерода, или если, иначе говоря, для образованія окиси углерода не хватаетъ углерода, то во всякомъ случаѣ образуется углекислота, пока господствующая температура не перейдетъ границы ея диссоціаціи. Въ послѣднемъ-же случаѣ въ образующихся газахъ находится тѣмъ больше неизрасходованнаго кислорода, вмѣстѣ съ окисью углерода, чѣмъ выше температура пространства горѣнія. При этомъ однако всякое охлажденіе газовой смѣси обусловливаетъ пропорціональное соединеніе нѣкоторой части присутствующаго кислорода съ окисью углерода въ углекислоту, и, въ присутствіи достаточнаго количества кислорода, конечнымъ результатомъ будетъ полное сгораніе углерода въ углекислоту.

Каковы будутъ результаты взаимодѣйствія окиси углерода (какъ самостоятельнаго горючаго) съ кислородомъ при высокой температурѣ — это само вытекаетъ изъ приведенныхъ выше законовъ.

Особеннаго вниманія заслуживаетъ процессъ возстановленія углекислоты углемъ, основанный конечно на тѣхъ же самыхъ законахъ. Съ одинаковымъ правомъ можно было-бы назвать его процессомъ сожиганія углерода углекислотою въ окись углерода. Намъ уже извѣстно, что углекислота тѣмъ легче распадается на окись углерода и кислородъ, чѣмъ больше переходитъ температура за 1200°; между тѣмъ стремленіе углерода соединяться съ кислородомъ въ окись углерода увеличивается съ увеличеніемъ температуры, не достигая однако предѣла въ нашихъ печахъ. Отсюда легко можно было-бы заключить, что если освобождающійся атомъ кислорода встрѣтитъ возможность сжечь второй атомъ углерода, по уравненію $CO_2+C=CO$, то это будетъ только способствовать распаденію углекислоты. Выше уже было упомянуто, что углекислота при высокой температурѣ можетъ дѣйствовать сильно окисляющимъ образомъ и на другія тѣла, кромѣ угля, напримѣръ, на металлическое желѣзо.

Сожиганіе угля углекислотой на самомъ дѣлѣ наблюдается уже при температурѣ лежащей ниже температуры ея диссоціаціи. Науманъ и Писторъ нашли, напримѣръ, что углекислота начинаетъ дѣйствовать на древесный уголь уже при 550° С. Другіе опыты показываютъ, что при извѣстныхъ усло-

---

лота является продуктомъ горѣнія угля при высокой температурѣ, что для образованія ея необходима высокая температура. Подробное опроверженіе этого мнѣнія, противурѣчаго даннымъ практики, читатель найдетъ въ статьѣ автора озаглавленной: „Благопріятствуетъ-ли высокая температура образованію углекислоты или окиси углерода“ и помѣщенной въ Stahl und Eisen 1882 г., стр. 356.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

віяхъ это воздѣйствіе становится возможнымъ при еще болѣе низкой температурѣ. Вообще ходъ этого процесса обусловливается тѣми же обстоятельствами, которыя играютъ роль при сгораніи угля въ свободномъ кислородѣ. Такимъ образомъ продолжительность воздѣйствія газа на уголь, малая плотность и небольшая величина кусковъ горючаго, съ которымъ соприкасается углекислота, и высокая температура особенно способствуютъ возстановленію углекислоты углемъ въ окись углерода. Что касается вліянія плотности горючаго приходящаго въ соприкосновеніе съ углекислотой, на ходъ возстановленія послѣдней, то въ этомъ отношеніи особенно интересны опыты Белля надъ дѣйствіемъ углекислоты, пропускаемой надъ раскаленнымъ горючимъ различныхъ качествъ, причемъ всѣ прочія условія оставались постоянными[1]). Изслѣдуя составъ получавшейся смѣси газовъ, онъ получилъ слѣдующіе результаты.

Смѣсь эта содержала:

	CO_2	CO
при плотномъ коксѣ . .	94,56 ч.	5,44 частей по объему
„ пористомъ „ . .	69,81 „	30,19 „ „ „
„ древесномъ углѣ . .	35,20 „	64,80 „ „ „

Вліяніе температуры показываютъ нижеслѣдующіе результаты опытовъ Окермана, который пропускалъ чистую углекислоту надъ древесными углями при различной температурѣ и опредѣлялъ содержаніе окиси углерода въ получавшихся газахъ [2]). Онъ нашелъ:

при 319^0 C — 0,0 ч. по объему окиси углерода
„ 393^0 C — 0,4 „ „ „ „ „
„ 918^0 C — 13,0 „ „ „ „ „

Опыты относительно вліянія продолжительности соприкосновенія (толщины слоя горючаго, съ которымъ приходитъ въ соприкосновеніе углекислота) дѣлались Науманомъ и Писторомъ; результаты ихъ приведены въ указанной выше статьѣ.

Возстановленіе углекислоты углемъ имѣетъ важное значеніе во многихъ процессахъ. При сожиганіи угля свободнымъ кислородомъ процессъ этотъ часто происходитъ слѣдующимъ образомъ: При первомъ соприкосновеніи обоихъ тѣлъ образуется сначала углекислота, т. е. сожигается только одинъ атомъ углерода. Образовавшаяся-же углекислота сожигаетъ второй атомъ углерода и превращается въ окись углерода. Если помѣшать этому возстановленію углекислоты, получается полное горѣніе; въ противномъ-же случаѣ неполное.

---

[1]) The journ. of Iron and Steel Institute 1872 т. I стр. 74.

[2]) Lowthian Bell. Principles of the manufacture of Iron and Steel 1884, стр. 288.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Водородъ.

Указанныя выше свойства водорода какъ возстановителя обусловливаютъ также и явленія сожиганія его свободнымъ кислородомъ. Онъ легко загорается, но образующійся водяной паръ распадается уже при 1000°С, а при 2500° при обыкновенномъ давленіи соединенія водорода съ кислородомъ уже не происходитъ. При этой температурѣ слѣдовательно сожиганіе водорода кислородомъ невозможно, но едва температура смѣси свободнаго водорода съ свободнымъ кислородомъ, нѣсколько понизится, какъ процессъ горѣнія снова возобновляется.

Изъ этого видно, что водяной паръ относится къ другимъ тѣламъ подобно углекислотѣ. Чѣмъ выше температура, тѣмъ сильнѣе окислительное дѣйствіе его. Возстановленію углекислоты въ окись углерода углемъ соотвѣтствуетъ указанное уже распаденіе водянаго пара на водородъ и кислородъ, когда онъ приходитъ въ соприкосновеніе съ раскаленнымъ углемъ.

Водяной паръ въ большомъ избыткѣ дѣйствуетъ на окись углерода окислительно ($CO + H_2O = 2H + CO_2$). Въ присутствіи же большаго избытка водорода углекислота можетъ быть обратно возстановлена водородомъ въ окись углерода ($CO_2 + 2H = CO + H_2O$).

d) Углеводороды.

Изъ двухъ составныхъ частей этихъ соединеній водородъ воспламеняется и сгораетъ легче, чѣмъ углеродъ. Поэтому если обстоятельства не благопріятствуютъ полному горѣнію, то углеводороды распадаются: водородъ сгораетъ, углеродъ же или остается въ свободномъ состояніи (въ видѣ сажи) или же въ видѣ углеводородовъ, болѣе бѣдныхъ водородомъ (въ видѣ дегтя). Дымъ и сажа, образующіяся во многихъ топкахъ обязаны своимъ происхожденіемъ этому процессу. Въ этомъ случаѣ уже простымъ глазомъ можно убѣдиться въ неполномъ горѣніи.

Высокая температура способствуетъ и здѣсь, какъ при сожиганіи свободнаго угля, химическому соединенію его съ кислородомъ. Подобно тому, какъ и въ первомъ случаѣ, и здѣсь образуется сначала тѣмъ больше окиси углерода рядомъ со свободнымъ кислородомъ, чѣмъ выше температура, въ области горѣнія, хотя-бы даже количество кислорода было достаточно для образованія углекислоты и только при пониженіи температуры оба тѣла соединяются въ углекислоту. Образованіе дегтя и сажи тѣмъ въ меньшей степени будетъ имѣть мѣста, чѣмъ полнѣе происходитъ сожиганіе угля т. е. чѣмъ болѣе будетъ въ продуктахъ горѣнія углекислоты и чѣмъ меньше окиси углерода.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

е) Условія благопріятствующія полному горѣнію.

1) При сгораніи горючихъ матеріаловъ, дающихъ пламя, особенно же богатыхъ углеводородами, полное сгораніе достижимо лишь при избыткѣ кислорода. Такимъ образомъ, если газообразныя тѣла, сожигаются въ атмосферномъ воздухѣ, то количство послѣдняго должно быть такъ велико, что-бы въ немъ былъ избытокъ кислорода противъ необходимаго для полнаго горѣнія. Если на колосниковой рѣшеткѣ сожигается твердое горючее, дающее пламя, то количество воздуха проходящаго, должно не только быть достаточнымъ для сожиганія газовъ, поднимающихся съ рѣшетки и образующихъ пламя, но въ улетающей газовой смѣси долженъ содержаться еще избытокъ кислорода.

Полное сожиганіе горючихъ не дающихъ пламени (древеснаго угля, кокса, антрацита) возможно при тѣмъ меньшемъ избыткѣ кислорода, чѣмъ больше куски горючаго и чѣмъ оное плотнѣе. Тому-же способствуетъ свободное распредѣленіе воздуха по пространству горѣнія и его малая упругость, равно какъ быстрое охлажденіе образующейся углекислоты, до той температуры при которой прекращается возстановленіе ея раскаленнымъ горючимъ.

2) Высокая температура пространства горѣнія способствуетъ химическому соединенію кислорода съ горючими элементами, согласно даннымъ выше объясненіямъ: при употребленіи пламенныхъ горючихъ способствуетъ достиженію полнаго горѣнія. Избытокъ кислорода, нужный въ этомъ случаѣ, какъ указано въ 1, можетъ быть меньше; если температура высока. Чѣмъ она выше, тѣмъ легче избѣжать образованія дыма и сажи.

Въ томъ случаѣ, когда воздухъ долженъ пройти черезъ толстый слой горючаго не дающаго пламени, высокая температура оказываетъ какъ-бы противоположное вліяніе: вслѣдствіе повышенія химической энергіи, одно и то же количество кислорода сожжетъ вдвое большее количество углерода, т. е. образуется окись углерода вмѣсто углекислоты, какъ это будетъ подробно объяснено ниже. Кажущееся противорѣчіе легко объясняется если вспомнить, что въ подобныхъ случаяхъ количество кислорода недостаточно для достиженія полнаго горѣнія. Напротивъ того, въ пространствѣ гдѣ идетъ горѣніе, притекающій кислородъ встрѣчаетъ больше углерода, чѣмъ онъ вообще въ состояніи сжечь.

3) Тѣсное смѣшеніе горючаго съ воздухомъ способствуетъ достиженію полнаго горѣнія

Причины этого легко понять. Тѣсное смѣшеніе горючаго съ воздухомъ, вызываетъ предолжительное ихъ со-

НБ УДУНТ (ІПБТ)

прикосновеніе между собою, а послѣднее обстоятельство, какъ и при всякомъ другомъ химическомъ процессѣ, облегчаетъ ихъ соединеніе. Поэтому газообразные горючіе матеріалы, которые легко смѣшиваются съ воздухомъ, сгораютъ вообще легче и съ меньшимъ избыткомъ воздуха, чѣмъ твердые. Газообразнымъ горючимъ подобны порошкообразные, которые смѣшиваются съ избыткомъ воздуха и вводятся въ сильно нагрѣтое пространство.

4) Смѣшеніе химически дѣятельныхъ тѣлъ (кислорода съ одной стороны, углерода и водорода съ другой) съ посторонними, нейтральными тѣлами затрудняетъ полное горѣніе.

Атмосферный воздухъ состоитъ, какъ извѣстно, приблизительно изъ 77 частей по вѣсу азота и только 23 частей кислорода. Слѣдовательно послѣдній дѣйствуетъ въ сильно разжиженномъ состояніи, чѣмъ и объясняется гораздо болѣе сильное дѣйствіе чистаго кислорода. Если-же при сгораніи тѣла оно даетъ пламя, причемъ образуются и улетаютъ горючіе газы, то кислородъ находящійся еще въ какой-либо части пламени тѣмъ болѣе разжиженъ образовавшимися продуктами горѣнія (кромѣ азота), чѣмъ дальше находится это мѣсто отъ мѣста воспламененія, т. е. отъ основанія пламени. Горѣніе становились-бы къ концу пламени все затруднительнѣе, если-бы ему не способствовало повышеніе температуры, дѣйствующее въ томъ-же направленіи, что является слѣдствіемъ самаго горѣнія. Несмотря на это нерѣдко образуется, какъ извѣстно, коптящее на концѣ пламя, если только не примѣнить особыхъ искусственныхъ средствъ, облегчающихъ горѣніе въ этомъ мѣстѣ

Судя по вредному вліянію разжиженія сгорающихъ тѣлъ посторонними веществами слѣдуетъ заключить, что всякій избытокъ воздуха, необходимый по 1 закону для полнаго горѣнія, съ другой стороны затрудняетъ его. Слѣдовательно, другими словами, для избытка кислорода существуетъ предѣлъ, зависящій отъ свойства горючаго, устройства топки и т. д., за которымъ дальнѣйшее увеличеніе количества его будетъ неблагопріятно дѣйствовать на полноту горѣнія.

3. Теплопроизводительность и передача теплоты.

а) Теплопроизводительность.

Достоинства тѣла служащаго горючимъ матеріаломъ (цѣль сожиганія коего сводится главнѣйше къ полученію тепла) опредѣляется главнѣйше количествомъ теплоты, выдѣляющейся при горѣніи. Количество теплоты, развитое одной частью по вѣсу тѣла при ея сожиганіи называютъ его абсолютною нагрѣвательною способностью или лучше его теплопроизводительностью.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Это количество теплоты измѣряется тепловыми единицами или калоріями. Подъ единицей тепла разумѣютъ такое количество его, которое необходимо для повышенія температуры единицы по вѣсу (1 kg.) воды на 1° Ц.

Надо замѣтить однако, что и теплота освобождающаяся при горѣніи многихъ другихъ тѣлъ, которыя собственно не причисляются къ классу горючихъ матеріаловъ, играетъ значительную роль.

Если, напримѣръ, при какомъ нибудь металлургическомъ процессѣ, произойдетъ окисленіе отдѣльныхъ составныхъ частей обрабатываемыхъ металловъ или металлическихъ соединеній, и при этомъ выдѣляется теплота, то она можетъ оказать вліяніе на ходъ даннаго процесса. Съ другой стороны, для возстановленія тѣла изъ его соединеній необходимо израсходовать точно такое-же количество теплоты, какое освободилось при ихъ образованіи. Для того-же, чтобъ возстановленіе могло имѣть мѣсто, необходимо покрыть этотъ расходъ теплоты.

Къ сожалѣнію наши знанія относительно количества тепла, образующагося при горѣніи тѣлъ, или потребнаго для возстановленія ихъ, далеко не полны, по отношеніи къ многимъ тѣламъ, имѣющимъ значеніе въ производствѣ желѣза. Вслѣдствіе этого нерѣдко приходится довольствоваться приблизительными цифрами. Такъ приходится дѣлать напримѣръ, если мы желаемъ изучить утили цію теплоты при томъ или другомъ процессѣ. Примѣненіе уже имѣющихся свѣдѣній относительно теплоты горѣнія особенно затруднительно въ тѣхъ случаяхъ, когда данное тѣло можетъ образовать съ кислородомъ нѣсколько соединеній (желѣзо, марганецъ и др.), такъ какъ во многихъ случаяхъ теплота горѣнія опредѣлена только для одной изъ этихъ степеней окисленія. Съ другой стороны опытъ и теорія говорятъ, что при образованіи нѣсколькихъ степеней окисленіе одного и тогоже тѣла, а особенно металла, одно и тоже количество кислорода вступающаго въ реакцію не всегда развиваетъ одно и тоже количество теплоты[1]).

Теплота выдѣляется впрочемъ не только при соединеніи тѣла съ кислородомъ. Образованіе другихъ соединеній и простыхъ растворовъ весьма часто сопровождается выдѣленіемъ теплоты, иногда-же и ея поглощеніемъ. При разложеніи соединенія снова имѣетъ значеніе то же количество теплоты, являясь впрочемъ величиною отрицательною.

---

[1]) Томсенъ въ своихъ Thermochemischen Untersuchungen. Band III, § 527, говоритъ: Если металлъ можетъ образовать нѣсколько степеней окисленія, то почти всегда наблюдается, что нормальный продуктъ горѣнія металла обладаетъ наибольшей теплотой образованія, т. е. на одно и тоже количество кислорода приходится наибольшее количество теплоты.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Поглощеніе или выдѣленіе теплоты происходитъ, при соединеніяхъ (сплавахъ) желѣза съ марганцемъ или обоихъ этихъ металловъ съ углеродомъ, кремніемъ, фосфоромъ, сѣрой и т. д., имѣющихъ громадное значеніе въ металлургіи желѣза, равно какъ при образованіи фосфорнокислыхъ солей, при разложеніи гидратовъ и углекислыхъ солей желѣза и марганца, представляющихъ важныя руды, а также и въ другихъ подобныхъ случаяхъ Однако, наши знанія этихъ термическихъ явленій, особенно-же для огнежидкихъ растворовъ или соединеній, пока еще довольно ограничены.

Слѣдующія цифры, составленныя насколько позволяютъ наши знанія, относятся до теплоты горѣнія тѣлъ, имѣющихъ наибольшее значеніе въ желѣзномъ производствѣ.

Углеродъ. Различныя видоизмѣненія углерода (графитъ, древесный уголь, алмазъ и т. д.) развиваютъ при своемъ сгораніи не одинаковыя количества теплоты: 1 килограммъ углерода развиваетъ поэтому отъ 7770 до 8080 единицъ тепла [1]). Но при расчетахъ теплоты въ различныхъ процессахъ желѣзнаго производства, этой незначительной разницей можно тѣмъ болѣе пренебречъ, что по вышеприведеннымъ причинамъ, расчеты эти основаны только на приблизительныхъ цифрахъ.

Поэтому для подобныхъ вычисленій можно принять слѣдующія цифры:

1 килограммъ углерода (въ твердомъ состояніи) развиваетъ при сгораніи съ $^4/_3$ клгр. кислорода въ $^7/_3$ клгр. окиси углерода **2473** ед. т. при сгоран. съ $^8/_3$ клгр. кислорода въ $^{11}/_3$ углекислоты **8080** ед. т.

Въ обоихъ этихъ случаяхъ, сгораетъ-ли углеродъ въ окись углерода, или въ углекислоту, происходитъ превращеніе углерода въ газъ, сопровождаемое поглощеніемъ тепла.

Отсюда понятно то обстоятельство, что углеродъ при сгораніи въ углекислоту развиваетъ втрое большее количество теплоты, чѣмъ при сгораніи въ окись углерода, хотя кислорода при этомъ расходуется только въ два раза больше.

Окись углерода. Количество теплоты развивающееся при ея сгораніи въ углекислоту, можно вычислить изъ предыдущаго. Такъ какъ $^7/_3$ клгр. окиси углерода развиваютъ при своемъ сгораніи въ углекислоту 8080 — 2473 = 5607 ед. т., то

---

[1]) Annales de chimie et de physique, série III, tome XXXIV. Объясненіе этихъ отклоненій. Hans Jahn. Die Grundsätze der Thermochemie, 2 Auflage, S. 15.

НБ УДУНТ (ПБТ)

1 клгр. окиси углерода развиваетъ при сгораніи съ $^4/_7$ клгрм. кислорода въ $^{11}/_3$ клгрм. углекислоты—**2403** ед. т. [1]).

Водородъ. По Реньо 1 клгрм. водорода, сгорая съ восьмернымъ количествомъ (по вѣсу) кислорода и давая водяной паръ (такъ какъ только послѣдній, а не вода, можетъ образоваться въ печахъ) развиваетъ 28780 ед. т.

Углеводороды. Въ широкомъ смыслѣ слова къ этимъ тѣламъ относятся и естественные горючіе матеріалы. Такъ какъ теплота, поглощенная или освободившаяся при образованіи углеводородовъ намъ неизвѣстна, то вычисленіе ихъ теплопроизводительной способности по теплопроизводительной способности ихъ составныхъ частей невозможно.

Данныя, касающіяся теплоты горѣнія естественныхъ горючихъ матеріаловъ, будутъ сообщены ниже; изъ собственно углеводородовъ опредѣленнаго химическаго состава упомянемъ о метанѣ (болотный, рудничный газъ, легкій углеводородный газъ) и этиленѣ (тяжелый углеводородный, маслородный газъ).

Метанъ (CH_4) развиваетъ при сгораніи съ четвернымъ количествомъ по вѣсу кислорода въ углекислоту и водяной паръ 12000 ед. т. [2])

Этиленъ (C_2H_4) сгораетъ также въ углекислоту и водяной паръ и развиваетъ 11200 ед. т. [3]).

Желѣзо. Теплота горѣнія желѣза имѣетъ важное значеніе какъ при тѣхъ процессахъ, ири которыхъ оно возстановляется изъ своихъ кислородныхъ соединеній, такъ и при тѣхъ, въ которыхъ происходитъ его горѣніе. Надо однако помнить, что желѣзо, какъ извѣстно, можетъ образовать нѣсколько соединеній съ кислородомъ Изъ этихъ соединеній закись желѣза (FeO) и окись его (Fe_2O_3) отличаются опредѣленнымъ химическимъ составомъ, тогда какъ составъ магнитный окиси желѣза, для котораго въ учебникахъ химіи приводится формула Fe_3O_4, непостояненъ и колеблется между FeO и Fe_2O_3.

Согласно приведенному уже выше наблюденію при образованіи этихъ различныхъ окисловъ одно и то-же количество кислорода развиваетъ тѣмъ меньше теплоты, чѣмъ соединеніе богаче кислородомъ.

Дюлонгъ нашелъ, что при сгораніи желѣза съ кислородомъ въ закись-окись (магнитную окись) на 1 клгр. сгорѣв-

---

[1]) По Бертело (Berthelot) $^7/_3$ клгр. окиси углерода развиваютъ 5783 ед. т. Слѣдовательно 1 клгр.—2436 ед. т. Annales de chimie et de physique, serie V, tome XIII, p. 13.

[2]) Thomsen, Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft, Bd. XIII, S. 1324.

[3]) Naumann, Die Heizungsfrage, S. 49.

НБ УДУНТ (ПБТ)

шаго желѣза развивается 1648 ед. т. [1]); Андрью (Andrews) тѣмъ-же способомъ нашелъ 1582 ед. т. [2])

Разница между этими цифрами объясняется тѣмъ обстоятельствомъ, что при сгораніи желѣза не всегда образуется одна и та-же степень его окисленія; въ обоихъ-же упомянутыхъ случаяхъ, не было произведено изслѣдованія полученнаго окисла на содержаніе кислорода. Высшая степень окисленія, въ которую переходитъ желѣзо при сгораніи съ кислородомъ, имѣетъ составъ, которому соотвѣтствуетъ формула Fe_3O_4. Поэтому можно съ достаточной вѣроятностью принять, что при опытахъ Дюлонга составъ продукта горѣнія по крайней мѣрѣ приблизительно соотвѣтствовалъ этой формулѣ, и что при опытахъ Андрью получался окиселъ съ нѣсколько меньшимъ содержаніемъ кислорода. Вслѣдствіе того найденная Дюлонгомъ цифра (1648 ед. т. при сгораніи въ Fe_3O_4) будетъ служить основаніемъ для всѣхъ дальнѣйшихъ вычисленій.

При образованіи закиси желѣза воднымъ путемъ Фавръ и Зильберманъ нашли, что на 1 клгр. желѣза развивается 1352 ед. т. [3]). Такъ какъ магнитную окись желѣза можно представить состоящей изъ $FeO + Fe_2O_3$, то изъ данныхъ Дюлонга, Фавра и Зильбермана можно вычислить, что при образованіи окиси желѣза Fe_2O_3 1 клгр. желѣза, развиваетъ 1796 ед. т. Такое же количество тепла поглощается при возстановленіи этого соединенія.

Изъ всего сказаннаго получаются слѣдующія цифровыя данныя относительно теплоты, развиваемой при сгораніи, или поглощаемой при возстановленіи желѣза.

a) Относя все къ 1 клгр. желѣза:

При образованіи или возстановленіи закиси желѣза
FeO — **1352** ед. т.

При образованіи или возстановленіи магнитной окиси желѣза
Fe_3O_4 — **1648** ед. т.

При образованіи или возстановленіи окиси желѣза
Fe_2O_3 — **1796** „ „

b) Относя все къ 1 клгр. израсходованнаго или отнятаго кислорода:

При образованіи или возстановленіи закиси желѣза
FeO — **4732** ед. т.

При образованіи или возстановленіи закись-окиси желѣза
Fe_3O_4 — **4326** ед. т.

При образованіи или возстановленіи окиси желѣза
Fe_2O_3 — **4190** ед. т.

---

[1]) Poggendorffs Annalen Band 45, S. 161.
[2]) Тамъ-же. Band. 75, S. 45.
[3]) Annales de chimie et de physique, série III, tome 34.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Марганецъ. Изъ различныхъ кислородныхъ соединеній марганца при полученіи желѣза наибольшее значеніе имѣетъ закись марганца (MnO) и перекись его (MnO_2). Первое какъ соединеніе, въ формѣ котораго марганецъ встрѣчается во всѣхъ шлакахъ и изъ котораго при возстановительной плавкѣ выдѣляется металлическій марганецъ. Второе-же какъ главная составная часть важнѣйшей марганцевой руды.

По Томсену при сгораніи марганца въ закись 1 клгрм. марганца развиваетъ 1723 ед. т. [1]). При сгораніи же въ перекись то-же количество марганца (1 клгрм.) развиваетъ 2115 ед. т. [2]).

Если отсюда подсчитать образующуюся (или поглощаемую при возстановленіи) теплоту, приходящуюся на 1 клгрм. израсходованнаго или отнятаго кислорода, то получимъ:
при образованіи или возстановленіи MnO . . . 5918 ед. т.
" " " " MnO_2 . . . 3635 " "

Алюминій, который съ недавняго времени стали прибавлять къ расплавленному желѣзу, чтобы удалить изъ послѣдняго поглощенный имъ кислородъ, развиваетъ при сгораніи въ окись алюминія (глиноземъ, (Al_2O_3) по Томсену 7090 ед. т. (1 клгрм.). Относя все къ 1 клгрм. израсходованнаго кислорода, получимъ 8124 ед. т. [3]).

Кремній. При процессахъ желѣзнаго производства имѣетъ значеніе только одинъ окиселъ этого тѣла, ангидридъ кремневой кислоты SiO_2 (обыкновенно для краткости называемый кремневой кислотой). По опытамъ Трооста (Troost) и Готефейля (Hautefeulle) [4]) при образованіи этого соединенія 1 клгрм. кремнія развиваетъ **7830** ед. т., а слѣдовательно на 1 клгрм. кислорода причитается **6850** ед. т.

Фосфоръ. Для металлургіи желѣза имѣетъ значеніе только теплота образованія и разложенія ангидрида фосфорной кислоты P_2O_5. Дюлонгъ [5]) нашелъ, что 1 клгрм. фосфора даетъ при этомъ 5760 ед. т.; поэтому на 1 клгрм. кислорода при образованіи съ фосфоромъ этого соединенія выдѣляется **4462** ед. т. [6]).

---

[1]) Thermochemische Untersuchungen, Band III, S. 269 und 526. Цифра приводимая Томсеномъ относится къ атомному вѣсу марганца и равно 94770 ед. т.

[2]) Цифра, отнесенная къ атомному вѣсу 116330.

[3]) Thermochemische Untersuchungen, Band III, S. 239. По Бертело образуется 7900 ед. т. (Journal of the Iron and Steel Institute 1890, II p. 172).

[4]) Comptes rendus, Tome LXX (1870), p. 254.

[5]) Poggendorffs Annalen. Band 45. 5 461.

[6]) Томсенъ, Абріа, Андрью, нашли нѣсколько другія цифры. См. Thomsen. Thermochemische Untersuchungen. Bd. II. S. 226.

НБ УДУНТ (ИПБТ)

b) Температура горѣнія.

Теплота, развиваемая при горѣніи, воспринимается прежде всего продуктами горѣнія, а также и азотомъ употребленнаго атмосфернаго воздуха, избыткомъ кислорода, находящимся въ газовой смѣси, образовавшейся золой и т. д. Температура, до которой нагрѣваются эти тѣла, зависитъ отъ количества ихъ и ихъ теплоемкости. Обозначимъ черезъ W все количество развитой теплоты, выраженное въ единицахъ тепла, черезъ T—температуру продуктовъ горѣнія (температуру горѣнія), черезъ Q, Q_2. Q_3,—вѣсъ, а черезъ S_1, S_2, S_3, ихъ теплоемкость. Очевидно, будемъ имѣть:

$$W = T \times (Q_1 S_1 + Q_2 S_2 + Q_3 S_3 + \ldots)$$

Отсюда получимъ теоретическую температуру горѣнія.

$$T = \frac{W}{Q_1 S_1 + Q_2 S_2 + Q_3 S_3 + \ldots}$$

Въ дѣйствительности температура горѣнія бываетъ всегда ниже теоретической потому, что всегда часть теплоты тотчасъ-же расходуется на нагрѣваніе постороннихъ тѣлъ, стѣнокъ печей и т. д. Если вѣсъ и теплоемкость этихъ тѣлъ, воспринимающихъ тепло, извѣстно, то дѣйствительную температуру горѣнія можно вычислить прибавивъ къ знаменателю приведенной формулы произведенія изъ вѣса на теплоемкость названныхъ постороннихъ тѣлъ. Во всякомъ случаѣ эта формула даетъ намъ возможность сравнивать между собою температуры, получающіяся при употребленіи различныхъ горючихъ матеріаловъ. Посредствомъ такого сравненія можно опредѣлить пригодность того или другого горючаго для той или другой цѣли [1]) Изъ этой-же формулы можно вывести слѣдующія заключенія относительно тѣхъ обстоятельствъ, которыя вліяютъ на температуру горѣнія.

Прежде всего мы видимъ, что теоретическая температура горѣнія не зависитъ отъ количества израсходованнаго горючаго. Дѣйствительно развитое количество теплоты (въ числителѣ формулы) увеличивается и уменьшается въ томъ-же отношеніи, какъ и количество продуктовъ горѣнія (въ знаменателѣ формулы), т. е. пропорціонально количеству горючаго. Но легко можно также придти къ заключенію, что при сожиганіи въ какой нибудь точкѣ большаго количества горючаго дѣйствительная температура, получаемая при горѣніи, тотчасъ же увеличится, если только поглощеніе теплоты посторонними тѣлами, напримѣръ стѣнками печи и т. д. не

[1]) Въ прежнихъ сочиненіяхъ называли обыкновенно эту теоретическую температуру горѣнія пирометрическою способностью даннаго горючаго.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

возр стетъ въ такой-же степени. Явленіе это можно часто наблюдать и въ обыкновенной жизни [1]).

Замѣтное повышеніе температуры происходитъ также, если мы къ теплотѣ горѣнія прибавимъ еще теплоту заимствованную извнѣ, напримѣръ, посредствомъ предварительнаго подогрѣва воздуха для горѣнія или самаго горючаго. Очевидно, что въ этомъ случаѣ мы получимъ большее количество теплоты, не увеличивая этимъ количества продуктовъ горѣнія и употребляя то-же количество горючаго, какъ и прежде. Значеніе W въ приведенной выше формулѣ увеличится тогда, какъ знаменатель ея останется безъ измѣненія. Поэтому величина T увеличивается пропорціонально увеличенію количества W. Примѣненіе этой мѣры даетъ намъ возможность получать высокую температуру, необходимую для многихъ процессовъ желѣзнаго производства.

Для большаго уясненія вліянія различныхъ обстоятельствъ на температуру горѣнія, вычислимъ ее прежде всего для слѣдующаго, невозможнаго, правда, въ дѣйствительности случая: углеродъ, температура котораго=0°, сожигается воздухомъ той-же температуры въ окись углерода. По приведеннымъ даннымъ 1 клгрм. углерода развиваетъ при этомъ 2473 ед. т., продукты горѣнія состоятъ изъ 2,33 клгрм. окиси углерода съ теплоемкостью 0,248 и 4,46 клгр. азота [2]) съ теплоемкостью 0,244.

Поэтому теоретическая температура горѣнія будетъ:

$$T = \frac{2473}{2{,}33 \cdot 0{,}248 + 4{,}46 \cdot 0{,}244} = 1486^{\circ}\,\text{C}.$$

Какъ упомянуто, подобный случай соединенія углерода съ кислородомъ при 0° немыслимъ въ дѣйствительности. Допустимъ теперь, что въ приведенномъ примѣрѣ уголь, назначенный для сожиганія, находится въ печи, наполненной углемъ и плавильнымъ матеріаломъ и постепенно двигается навстрѣчу поднимающимся продуктамъ горѣнія. При этомъ пусть онъ самъ нагрѣется до температуры въ 1200° С прежде, чѣмъ попадетъ въ область горѣнія. Теплоемкость угля — 0,22. Каждый килограммъ угля приноситъ, слѣдовательно, въ пространство горѣнія $1200 \cdot 0{,}22 = 264$ ед. т.

Кромѣ того, пусть воздухъ, назначенный для горѣнія, нагрѣтъ предварительно въ особомъ нагрѣвательномъ приборѣ до 400° С. Теплоемкость воздуха 0,237. Слѣдовательно, количество воздуха, нужное для сожиганія 1 клгр. угля ($1{,}33 + 4{,}46 = 5{,}79$ клгр.) принесетъ съ собой печь $5{,}79 \cdot 400 \cdot 0{,}237 =$

---

[1]) Если поэтому въ плавильной печи увеличить отношенія вѣса горючаго къ вѣсу плавящихся тѣлъ, то дѣйствительная температура въ ней повысится, въ обратномъ случаѣ она понизится.

[2]) Для сожиганія 1 клгр. углерода требуется $^4/_3$ клгр. кислорода, который, находясь въ атмосферномъ воздухѣ, смѣшанъ съ $^4/_3 \cdot {}^{77}/_{33} = 4{,}46$ клгр. азота.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

548 ед. т. Тогда все количество тепла, полученное при сожиганіи 1 клгрм. угля, будетъ:

$$2473 + 264 + 548 = 3285 \text{ ед. т.}$$

Количество-же получающихся продуктовъ горѣнія остается то-же, что и въ первомъ случаѣ. Поэтому температура горѣнія

$$T = \frac{3285}{2{,}33 \,.\, 0{,}248 + 4{,}44 \,.\, 0{,}244} = 1973^{\circ} \text{ C.}$$

Этотъ примѣръ ясно показываетъ, насколько увеличивается температура, если привести извнѣ теплоту, не увеличивая количества продуктовъ горѣнія, въ частномъ случаѣ слѣдовательно, если предварительно нагрѣть горючее и воздухъ. Въ послѣднее время такой подогрѣвъ имѣетъ широкое примѣненіе, какъ средство для полученія высокихъ температуръ, какъ при сожиганіи твердыхъ, не дающихъ пламени горючихъ (въ доменной печи), такъ и при сожиганіи газовъ.

Напротивъ того, каждое увеличеніе количества продуктовъ горѣнія безъ соотвѣтственнаго увеличенія количества теплоты вызываетъ пониженіе температуры области горѣнія. Изъ двухъ горючихъ съ одинаковой теплопроизводительностью то горючее вообще даетъ болѣе высокую температуру горѣнія, для сожиганія котораго нужно меньшее количество воздуха. Всякій избытокъ воздуха въ смѣси продуктовъ горѣнія ионижаетъ температуру. Выше однако было упомянуто, что полное горѣніе, при которомъ только и возможна полная утилизація горючаго, недостижимо безъ избытка кислорода, но что избытокъ этотъ можетъ быть уменьшенъ при высокой температурѣ пространства горѣнія. Отсюда можно вывести заключеніе еще о другой полезной сторонѣ вліянія упомянутаго выше увеличенія количества теплоты, путемъ приведенія ея извнѣ (предварительнымъ подогрѣвомъ горючаго и воздуха). Особенно сильно это вліяніе въ газовыхъ топлахъ. Вызывая прежде всего повышеніе температуры, мы облегчаемъ горѣніе, т. е. уменьшаемъ количество необходимаго избытка кислорода. Вслѣдствіе-же послѣдняго обстоятельства температура увеличивается еще болѣе до тѣхъ поръ, пока не достигнетъ границы, гдѣ другіе процессы, особенно-же упомянутая выше диссоціація, не остановятъ дальнѣйшаго повышенія ея.

Водяной паръ, происходящій изъ воды, содержащейся въ горючемъ и воздухѣ, переходя безъ разложенія въ газовую смѣсь, понижаетъ, подобно избытку воздуха, температуру горѣнія, но вліяніе его сильнѣе, такъ какъ его теплоемкость (0,475) больше теплоемкости всѣхъ другихъ продуктовъ горѣнія. Этимъ легко объясняется, почему горючіе матеріалы, содержащіе воду, никогда не могутъ дать высокой температуры горѣнія.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Напротивъ того, по тѣмъ-же самымъ причинамъ можно было-бы достичь значительнаго повышенія температуры горѣнія, если-бы было возможно выдѣлить изъ воздуха, служащаго для горѣнія, содержащійся въ немъ азотъ (или увеличивать содержаніе въ немъ кислорода). Въ этомъ случаѣ можно было-бы также достигнуть полнаго горѣнія и при меньшемъ избыткѣ кислорода. Къ сожалѣнію до сихъ поръ неизвѣстно такого дешеваго средства, которое бы давало намъ возможность достигать этой цѣли.

4. Передача теплоты.

Въ большинствѣ случаевъ ближайшая цѣль развитія теплоты сожиганіемъ горючаго—это нагрѣваніе постороннихъ тѣлъ. Тѣла передающія тепло это, продукты горѣнія—въ большинствѣ случаевъ, а при обыкновенныхъ горючихъ матеріалахъ, даже всегда, это тѣла газообразныя. На передачу теплоты могутъ вліять многія обстоятельства.

Ей способствуютъ слѣдующія условія:

1) Большая разница между температурами тѣлъ, отдающихъ теплоту и тѣлъ ее воспринимающихъ, слѣдовательно, вообще говоря высокая температура первыхъ. Если разница между температурами тѣлъ нагрѣвающихъ и нагрѣваемыхъ, $= t$, то по опытамъ Дюлонга и Пти (Petit)[1]), скорость передачи теплоты съ увеличеніемъ ея увеличивается въ отношеніи $t^{1,232}$. Отсюда слѣдуетъ, что всѣ указанныя выше обстоятельства, способствующія полученію высокой температуры, облегчаютъ также и передачу теплоты.

2. Продолжительность взаимодѣйствія. Положеніе это не требуетъ доказательства, но объясняетъ многіе случаи практики. Чѣмъ дольше соприкасаются газообразные продукты горѣнія внутри печи съ нагрѣваемыми тѣлами, тѣмъ больше теплоты могутъ имъ отдать и тѣмъ болѣе охлажденными уходятъ изъ печи.

3. Большая поверхность, соприкосновенія между тѣлами отдающими тепло и тѣлами, его воспринимающими.

4. Большая теплопроводность тѣлъ, подвергающихся нагрѣванію, такъ какъ оныя воспринимаютъ теплоту сначала своей поверхностью, а потомъ передаютъ ее внутреннимъ частямъ.

5. Взаимно противоположное встрѣчное движеніе нагрѣвающихся и отдающихъ тепло тѣлъ. Этотъ законъ, извѣстный подъ именемъ *закона встрѣчнаго теченія*, имѣетъ большое значеніе для передачи теплоты въ какомъ бы то ни было процессѣ.

---

[1]) Annales de chimie et de physique ser. I, t., VII, p. 225, а также тамъ же ser. III,. XVI, p. 337.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Приэтомъ является не только болѣе долгое взаимодѣйствіе тѣлъ, отдающихъ теплоту и ея воспринимающихъ, но несравненно медленнѣе уменьшается разница температуръ движущихся тѣлъ, чѣмъ въ противуположномъ случаѣ. Представимъ себѣ, что на одномъ концѣ закрытаго помѣщенія (печи) входятъ горячіе продукты горѣнія и двигаются навстрѣчу нагрѣвающихся тѣлъ, которыя вступаютъ туда-же, но съ противоположнаго конца. Очевидно, что на своемъ пути они будутъ безпрерывно отдавать этимъ тѣламъ свою теплоту, и при достаточно долгомъ воздѣйствіи на нихъ покинутъ печь въ охлажденномъ состояніи, т. е. при начальной температурѣ нагрѣвающихся тѣлъ. Если-же оба тѣла войдутъ въ печь съ одного конца и будутъ двигаться въ одномъ направленіи, или, если нагрѣваемое тѣло находится въ покоѣ, то тѣло отдающее теплоту очевидно охладится только до той температуры, которую приметъ тѣло нагрѣвающееся. Въ первомъ случаѣ тѣло, воспринимающее теплоту, нагрѣвалось почти до начальной температуры тѣла отдающаго тепло, во второмъ-же случаѣ оно нагрѣется въ меньшей степени, слѣдовательно утилизація теплоты будетъ менѣе совершенна.

Литература.

Подробныя свѣдѣнія о явленіяхъ горѣнія и способахъ измѣренія количествъ выдѣляющейся при этомъ теплоты можно найти въ любомъ учебникѣ физики, а сверхъ того въ поименованныхъ ниже сочиненіяхъ:

L. Gruner. Traité de metallurgie. Paris. 1887, стр. 36—67.

A. Ledebur. Печи для металлургическихъ процессовъ. Пер. Шуппе.

C. Schinz. Dokumente betreffend den Hochofen. Berlin. 1868.

Fr. Siemens. Ueber den Verbrennungsprocess mit besonderer Berücksichtigung der praktischen Erfordernisse. Berlin 1887.

F. Fischer. Feuerungsanlagen für hausliche und gewerbliche Zwecke: Karlsruhe 1889.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ.

Горючіе матеріалы.

Горючими матеріалами въ широкомъ смыслѣ слова называются тѣла, теплотою горѣнія которыхъ можно воспользоваться для практическихъ цѣлей. Съ этой точки зрѣнія къ горючимъ матеріаламъ можно отнести также желѣзо, марганецъ, кремній, фосфоръ и алюминій, такъ какъ развиваемая при горѣніи этихъ тѣлъ теплота играетъ важную роль въ раз-

НБ УДУНТ (ІПБТ)

личныхъ процессахъ желѣзнаго производства: безъ нея эти процессы были-бы иногда невозможны.

Въ нижеслѣдующемъ изложеніи, однако, будетъ говориться лишь о тѣхъ горючихъ матеріалахъ, которые заслуживаютъ этого названія и въ болѣе тѣсномъ значеніи слова, т. е. примѣненіе которыхъ въ желѣзной промышленности единственно или главнымъ образомъ основано на ихъ способности развивать при своемъ горѣніи теплоту.

1. Твердые горючіе матеріалы.

а) Дерево.

Дерево состоитъ главнѣйше изъ древесины или клѣтчатки, составъ которой выражается химической формулой $C_6H_{10}O_5$, изъ извѣстнаго количества неорганическихъ тѣлъ, остающихся послѣ сгоранія дерева въ видѣ золы и воды.

Содержаніе золы составляетъ въ среднемъ 1%, но подвержено различнымъ измѣненіямъ даже въ одномъ и томъ-же деревѣ. Наибольшей своей величины оно достигаетъ въ корняхъ и листьяхъ. Зола состоитъ главнѣйше изъ углекислаго кальція (50—70%), кромѣ того въ ней содержатся углекислыя щелочи (до 25%), кремнекислота (содержаніе которой колеблется между 2—13%) и незначительныя количества сѣрнокислыхъ и фосфорнокислыхъ солей. Содержаніе фосфора рѣдко бываетъ болѣе 2%, обыкновенно оно еще менѣе. Количество воды различно для различныхъ породъ дерева. Его можно понизить, оставляя срубленное дерево лежать нѣкоторое время на воздухѣ.

Въ среднемъ свѣжесрубленное зрѣлое дерево содержитъ слѣдующія количества воды:

Грабъ	19%
Кленъ	27
Ясень	29
Береза	31
Дубъ	35
Букъ	40
Сосна	40
Ель	45
Лиственница	49

Въ болѣе молодыхъ деревьяхъ количество воды достигаетъ иногда 60%.

При лежаніи расколотаго дерева въ теченіе нѣкотораго времени (по крайней мѣрѣ въ продолженіи двухъ лѣтъ) въ сухомъ и открытомъ мѣстѣ содержаніе воды понижается до 20%, а въ нѣкоторыхъ породахъ даже до 17%. Дальнѣйшее уменьшеніе содержанія ея возможно лишь при сушкѣ дерева при температурѣ въ 125—150°C. Составъ этого уже совершенно сухого дерева, состоящаго исключительно изъ клѣт-

НБ УДУНТ (ІПБТ)

чатки, золы и азотъ содержащихъ остатковъ соковъ, выражается приблизительно такъ:

	Дерево, содержащее золу.	Дерево, не содержащее золы.
Углерода . . .	49,7%	50,5%
Водорода . . .	6,0%	6,2
Кислорода . . .	41,4	42,3
Азота.	1,0	1,0
Золы	1,9	0,0
	100%	100%

Составъ этотъ приблизительно одинаковъ для различныхъ породъ дерева.

Для самосохлаго дерева его легко вычислить, прибавивъ въ среднемъ 20% воды.

Если нагрѣвать дерево выше 150° С. то оно начинаетъ разлагаться. При нагрѣваніи дерева безъ доступа воздуха до краснаго каленія (сухая перегонка) получается послѣ выдѣленія газовъ остатокъ (древесный уголь), вѣсъ котораго составляетъ въ среднемъ 25% вѣса самосохлаго дерева. Лиственныя породы лѣса, особенно букъ, дубъ, ива, береза, имѣютъ твердую, хвойныя, а также и липа, ива и тополь — мягкую древесину.

Вѣсъ самосохлаго дерева (вмѣстѣ съ промежутками между отдѣльными полѣньями) равняется для

твердыхъ породъ—350—450 клгр. въ 1 куб. метрѣ,
мягкихъ „ —250—300 „ „ 1 „ „

и зависитъ отъ формы и величины полѣньями и отъ содержанія оставшейся воды.

Теплопроизводительность. Теплопроизводительная способность дерева, отнесенная къ единицѣ по вѣсу (1 клгрм.), очевидно, тѣмъ больше, чѣмъ меньше содержаніе въ немъ воды, т. е. чѣмъ суше дерево. За среднія величины ея можно принять: для совершенно сухаго дерева (при совершенномъ отсутствіи воды) . . . . . 3800 ед. т.
для самосохлаго дерева съ 20% воды . . . . . 2900 „ „

Сушка дерева. Содержаніе воды, довольно значительное даже въ самосохломъ деревѣ, не только уменьшаетъ его теплопроизводительную способность, какъ мы это видѣли, но и понижаетъ въ значительной степени температуру, получаемую при сожиганіи дерева, такъ какъ, переходя въ продукты горѣнія и превращаясь въ паръ, вода поглощаетъ значительное количество теплоты. Въ тѣхъ случаяхъ, когда необходимо получить высокую температуру, можно поэтому примѣнять только дерево, изъ котораго искусственной сушкой при температурѣ немного большей 100° С. удалена большая часть воды, заключавшейся въ самосохломъ деревѣ. Конечно, стоимость дерева въ этомъ случаѣ значительно повышается.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Для сушки дровъ служатъ каменныя камеры, нагрѣваемыя какимъ нибудь способомъ до требуемой температуры; въ нихъ помѣщаютъ дрова (лучше всего на легкихъ желѣзныхъ вагончикахъ) и держатъ болѣе или менѣе долго, до полнаго высыханія. При этомъ нужно позаботиться, чтобы въ камерѣ не застаивался воздухъ и чтобы образующіеся водяные пары выводились изъ нея. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ для сушки пользуются нагрѣтымъ воздухомъ, проводимымъ въ камеру трубами; въ другихъ случаяхъ устраиваютъ на подходящемъ мѣстѣ ея топку съ колосниками, причемъ продукты горѣнія проходятъ чрезъ камеру и уносятъ съ собой выдѣлившуюся изъ дерева влажность; наконецъ въ камерѣ кладутъ чугуннныя трубы, по которымъ проходятъ продукты горѣнія, нагрѣвая такимъ образомъ камеру.

Нужно замѣтить, что высушенное дерево, какъ скоро оно будетъ подвержено дѣйствію воздуха при обыкновенной температурѣ, тотчасъ-же снова поглощаетъ влагу и постепенно переходитъ въ состояніе самосохлаго. Чтобы воспользоваться выгодами сушки, нужно употреблять высушенныя дрова вскорѣ послѣ того, какъ они будутъ выгружены изъ камеры.

Благодаря быстрому увеличенію средствъ сообщенія, дерево, благодаря своей дороговизнѣ, съ каждымъ годомъ теряетъ свое значеніе какъ горючій матеріалъ въ желѣзномъ производствѣ и замѣняется ископаемыми горючими матеріалами—даже въ тѣхъ мѣстностяхъ, куда минеральное топливо нужно привозить издалека.

b) Торфъ.

Торфъ представляетъ собою образующійся и въ настоящее время продуктъ разложенія нѣкоторыхъ видовъ растеній подъ вліяніемъ воздуха и воды, причемъ изъ органической массы растенія выдѣляется часть кислорода и увеличивается въ ней содержаніе углерода. Вмѣстѣ съ тѣмъ масса эта поглощаетъ значительное количество воды, а благодаря механической подмѣси землистыхъ веществъ, приносимыхъ водою, измѣненное такимъ образомъ вещество оказывается болѣе богатымъ золою. Торфъ встрѣчается преимущественно въ умѣренномъ климатѣ и залегаетъ частью въ долинахъ, частью на возвышенностяхъ. Особенно богата торфомъ Германія, какъ Сѣверная, такъ и Южная. Въ нѣкоторыхъ частяхъ ея торфъ примѣняется и для металлургическихъ цѣлей. Во Франціи, Великобританіи, Россіи и на Скандинавскомъ полуостровѣ встрѣчаются также большія залежи торфа или такъ-называемыя торфяники. Добыча торфа производится ручнымъ или машиннымъ способомъ. При первомъ изъ нихъ торфъ рѣжутъ особыми лопатами, въ видѣ призма-

НБ УДУНТ (ІПБТ)

тическихъ кусковъ (кирпичей), которые затѣмъ просушиваются или на воздухѣ, или въ особыхъ сараяхъ. Этотъ способъ приготовленія торфа (рѣзнаго) примѣняется впрочемъ лишь въ томъ случаѣ, если масса торфа довольно однородна и частицы его имѣютъ извѣстную связь. Для рѣзки торфа б. ч. приходится, хотя отчасти (до извѣстнаго горизонта) осушить торфяникъ.

Если-же свойства торфа не допускаютъ добычи его указаннымъ образомъ, если, напримѣръ, онъ неоднороденъ, и имѣетъ видъ каши или тѣста, то его вычерпываютъ, перемѣшиваютъ въ особой ямѣ ногами или инструментами и наполняютъ этой „торфяной массой“ (кашей) особыя формы. Получаются призматическіе куски торфа (торфянные кирпичи) которые затѣмъ сушатъ (формованный торфъ). Съ „торфяной кашей“ можно поступать и такъ: ее раскладываютъ и разравниваютъ на выровненномъ торфяномъ полѣ и даютъ ей здѣсь высохнуть, уплотняя ее или ногами или-же трамбовками. Затѣмъ всю массу разрѣзаютъ длинными пожами на отдѣльные куски, которые затѣмъ складываютъ въ кучи, чтобы высушить окончательно. Стоимость такого наливнаго и формованнаго торфа на 15—20% выше стоимости рѣзного торфа, но эти сорта торфа отличаются зато большою плотностью и крѣпостью.

Машины для добычи и обработки торфа довольно разнообразны. Старинныя машины имѣли цѣлью единственно добычу торфа и рѣзку его на кирпичи, болѣе новыя машины не ограничиваются этимъ. Они перерѣзаютъ волокна добытаго торфа, перемѣшиваютъ тщательно массу его, подобно тому, какъ это дѣлается при ручномъ способѣ приготовленія наливнаго торфа. Иногда торфъ еще отмываютъ, чтобы удалить неорганическія примѣси.

Затѣмъ прессуютъ его подъ незначительнымъ давленіемъ въ куски (прессованный торфъ), или-же, послѣ прибавленія къ нему воды, располагаютъ его равномѣрно по полю для сушки и, подобно тому какъ при ручной работѣ, вырѣзаютъ изъ полученной массы отдѣльные куски (машинный торфъ). Свѣдѣнія, относящіяся до устройства различныхъ машинъ, можно найти ниже въ спеціальной литературѣ по этому вопросу.

Машинный торфъ отличается отъ торфа, приготовленнаго ручнымъ способомъ, своею большею однородностью и прочностью, допускающею перевозку его на значительныя разстоянія безъ большихъ потерь.

Передъ обыкновеннымъ рѣзнымъ торфомъ прессованный торфъ имѣетъ то преимущество, что онъ болѣе плотенъ и обладаетъ меньшею способностью поглощать влагу.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Химическій составъ органической массы торфа (безъ воды и золы) различенъ, смотря по его возрасту, но въ среднемъ его можно выразить такъ:

Углерода	60%
Водорода	6%
Кислорода и азота . .	34%

Тамъ, гдѣ нужно получить высокую температуру, примѣненію торфа препятствуетъ значительное содержаніе въ немъ воды и золы. Содержаніе воды въ свѣжемъ (не высушенномъ) торфѣ достигаетъ по крайней мѣрѣ 80%. Торфъ, хорошо просушенный на воздухѣ, содержитъ еще обыкновенно 25% воды. Сушкою при 100% С. удаляютъ, правда, изъ него почти всю воду, за исключеніемъ малыхъ количествъ, но высушенный такимъ образомъ торфъ, оставаясь на свѣжемъ воздухѣ быстро поглощаетъ снова прежнее количество воды. Подобнымъ-же свойствомъ отличается, какъ мы видѣли, высушенное искусственно дерево. При нагрѣваніи торфа свыше 120° С. онъ начинаетъ разлагаться.

Содержаніе золы въ торфѣ лишь въ рѣдкихъ случаяхъ не превышаетъ 0,5%. Торфъ въ которомъ менѣе 5%, считается очень чистымъ но гораздо чаще содержаніе золы колеблется между 5 и 10% (среднее содержаніе) и нерѣдко достигаетъ 20 и болѣе процентовъ. При содержаніи золы свыше 25% торфъ едва-ли можетъ быть примѣняемъ какъ горючій матеріалъ.

Зола обыкновенно состоитъ главнымъ образомъ изъ кремнезема, окиси желѣза, глинозема и окиси кальція; въ меньшихъ количествахъ въ ней находятся щелочи, магнезія, фосфорная кислота; содержаніе послѣдней рѣдко превышаетъ 2% по вѣсу всего количества золы и часто бываетъ значительно меньше. Получающійся при сухой перегонкѣ самосохлаго торфа остатокъ въ среднемъ равняется 35% вѣса всей массы торфа (безъ золы). Теплопроизводительная способность чистаго торфа равняется приблизительно 5300 ед. т., тогда какъ самосохлый торфъ со среднимъ содержаніемъ золы можетъ самое большее развить 3500 ед. т. По опытамъ Брикса 1 клгр. торфа, сод. 8—10% золы и 25% воды, испаряетъ въ паровомъ котлѣ приблизительно въ 1,2 раза больше воды, чѣмъ дерево. Принявъ теплопроизводительность послѣдняго, какъ сказано выше, равною 2900 ед. т., получимъ приблизительно теплопроизводительность торфа равною 3500 ед. т.

Для того, чтобы сдѣлать торфъ примѣнимымъ и въ тѣхъ случаяхъ, когда требуется высокая температура горѣнія, а слѣдовательно въ желѣзной промышленности, его подвергаютъ для удаленія воды сушенію при 100° С. въ сушилахъ, подобныхъ тѣмъ которыя примѣняются для сушки дерева.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Форма и устройство этихъ сушилъ довольно разнообразны. Болѣе подробныя свѣдѣнія по этому предмету читатель найдетъ въ сочиненіяхъ Гаусдинга (Hausding) и Бирнбаума Birnbaum), указанныхъ въ „литературѣ".

Примѣняя подобную сушку торфа, надо помнить однако, какъ это было указано раньше, что высушенный торфъ долженъ быть пущенъ въ дѣло вскорѣ послѣ окончанія сушки, т. е. еще въ тепломъ состояніи, чтобы онъ не поглотилъ снова влагу изъ атмосферы.

По этой причинѣ устройства для сушки его должны находиться непосредственно около мѣста потребленія торфа.

c) Бурый уголь.

Бурый уголь состоитъ изъ остатковъ растеній третичнаго періода и является самымъ новымъ изъ числа видовъ собственно минеральнаго горючаго. По внѣшнему виду и химическому составу можно различить нѣсколько видоизмѣненій бураго угля.

Ископаемое смолистое дерево.

Этотъ видъ бураго угля сохранилъ еще ясное сложеніе дерева, изъ котораго онъ образовался. Образовался-же онъ, очевидно, изъ древесныхъ стволовъ, обугленныхъ разложеніемъ и раздавленныхъ тяжестію породъ, надъ нимъ лежащихъ. Ископаемое дерево можно колоть и сожигать, какъ обыкновенное дерево.

Химическій составъ собственно органической массы ископаемаго дерева колеблется въ слѣдующихъ границахъ:

Углерода	57—67	въ среднемъ	61,5%
Водорода	6— 5	„ „	5,5%
Кислорода и азота. .	37—28	„ „	33,0%

Ископаемое дерево, наиболѣе богатое водородомъ и кислородомъ и наиболѣе бѣдное углеродомъ, является наименѣе разложившимся. Важнѣйшимъ недостаткомъ этого вида бураго угля является значительное содержаніе въ немъ воды, которое въ свѣже добытомъ углѣ едва-ли бываетъ ниже 30%, а достигаетъ иногда 50%, понижая существенно его достоинства какъ горючаго матеріала. Правда, при храненіи угля на воздухѣ большая часть этой воды изъ него удаляется, но при этомъ является другое неудобство: уголь при сушкѣ распадается въ порошокъ, и дѣлается въ этомъ видѣ менѣе пригоднымъ для различныхъ цѣлей, чѣмъ въ кускахъ.

Теплопроизводительная способность чистой органической массы такого угля въ среднемъ около 5500 ед. т.; настоящій же уголь едва-ли можетъ развить болѣе 3400 ед. т.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Содержаніе золы въ ископаемомъ деревѣ всегда значительнѣе, чѣмъ въ свѣже-срубленномъ деревѣ и, по крайней мѣрѣ, равно 4%, но въ нѣкоторыхъ случаяхъ достигаетъ 15 и болѣе процентовъ. Одинъ куб. метръ ископаемаго дерева вѣситъ 550—570 клгрм., смотря по содержанію въ немъ воды и золы.

Землистый бурый уголь.

Онъ представляетъ мягкую растирающуюся массу, происшедшую отъ разложенія нисшихъ растеній (подобно торфу). Этотъ уголь богатъ водою, а иногда и золою, подобно ископаемому дереву, къ которому онъ стоитъ весьма близко по своему химическому составу. Вслѣдствіе своего плотнаго землистаго сложенія онъ не имѣетъ большаго значенія для металлургичекихъ цѣлей.

Собственно бурый уголь.

По внѣшности онъ отличается отъ разсмотрѣнныхъ видовъ большею твердостью и прочностью, раковистымъ изломомъ и большею способностью сопротивляться вывѣтриванію. По химическому составу онъ разнится отъ нихъ большимъ содержаніемъ углерода и меньшимъ — воды, соотвѣтственно чему увеличивается его значеніе, какъ горючаго матеріала.

Цвѣтъ его бурый до чернаго, черта бурая. Рѣже встрѣчается разновидность бураго угля, которая отличается особенно высокимъ содержаніемъ углерода и водорода при маломъ содержаніи кислорода. Эта разновидность называется жирнымъ или смолистымъ бурымъ углемъ.

Чистая угольная масса всѣхъ этихъ разновидностей бураго угля содержитъ:

	Обыкновенный бурый уголь.	Жирный бурый уголь.
Углерода	65—75 въ ср. 69,5%	70—80 въ ср. 75,5%
Водорода	6— 4 „ „ 5,5%	6— 8 „ „ 6,5%
Кислорода и азота	29—21 „ „ 25,0	24—12 „ „ 19,0

Содержаніе воды рѣдко превосходитъ 10%, содержаніе-же золы по крайней мѣрѣ 3%, но въ нѣкоторыхъ разновидностяхъ достигаетъ и 30. Часто въ видѣ примѣсей встрѣчается сѣра и сѣрный колчеданъ; фосфаты-же даже и въ золѣ встрѣчаются рѣдко въ замѣтныхъ количествахъ. Твердый остатокъ послѣ сухой перегонки въ среднемъ равняется 45% по вѣсу чистаго и сухаго бураго угля. Теплопроизводительная способность чистой угольной массы, смотря по ея химическому составу, равна 7000—8000 ед. т. Обыкновенные-же угли, содержащіе воду и золу, развиваютъ въ среднемъ всего 5500 ед. т. Одинъ куб. метръ бураго угля въ кускахъ средней величины вѣситъ

НБ УДУНТ (ІПБТ)

въ среднемъ 700 клгрм. На многочисленныхъ желѣзодѣлательныхъ заводахъ разсматриваемая разновидность бураго угля является драгоцѣннымъ горючимъ матеріаломъ для различныхъ цѣлей.

d) Каменный уголь и антрацитъ.

Эти горючіе матеріалы имѣютъ наибольшее значеніе не только для металлургическихъ заводовъ, но и для всей промышленности. Они встрѣчаются въ верхнихъ первичныхъ и нижнихъ вторичныхъ образованіяхъ земной коры, особенно же въ образованіяхъ, носящихъ по нимъ названіе каменноугольной почвы. Пластовыя залежи ихъ достигаютъ огромнаго распространенія и мощности; въ Сѣв. Америкѣ, напримѣръ, они тянутся на сотни квадратныхъ миль, и мощность ихъ нерѣдко превосходитъ 15 метровъ.

Отъ бурыхъ углей, болѣе новыхъ по образованію, они отличаются своимъ чернымъ цвѣтомъ (лишь немногіе виды бурыхъ углей обладаютъ такимъ темнымъ цвѣтомъ), черной чертою, большимъ удѣльнымъ вѣсомъ и тѣмъ, что даютъ больше углистаго остатка при сухой перегонкѣ. Сложенія дерева, изъ котораго образовался первоначально и каменный уголь, уже не замѣтно.

Каменные угли распадаются на цѣлый рядъ различныхъ видовъ, весьма сильно отличающихся другъ отъ друга, какъ въ физическомъ, такъ и химическомъ отношеніи.

Вообще химическій составъ каменнаго угля обусловливаетъ и его свойства, какъ это будетъ указано ниже, но встрѣчаются и исключенія. Остатокъ сухой перегонки двухъ разновидностей каменнаго угля, имѣющихъ одинаковый химическій составъ, не всегда одинаковъ, что служитъ доказательствомъ, что группировка частицъ массы можетъ быть различна.

Нѣкоторые виды каменнаго угля обладаютъ свойствомъ, весьма важнымъ для многихъ примѣненій: при нагрѣваніи масса ихъ дѣлается клейкою, тѣстообразною, каменный уголь спекается.

Виды каменнаго угля, стоящіе близко къ бурымъ углямъ, а также и тѣ, которые приближаются къ антрациту, лишены этой способности, что имѣетъ весьма важное значеніе для примѣненія ихъ въ извѣстныхъ случаяхъ, особливо для коксованія. Хорошо спекающіеся угли называются жирными углями.

Содержаніе гигроскопической воды въ каменныхъ угляхъ значительно менѣе, чѣмъ во всѣхъ другихъ естественныхъ горючихъ матеріалахъ и рѣдко бываетъ болѣе 5%. Содержаніе золы въ хорошемъ углѣ—0,5—7% (рѣдко менѣе 4%), въ угляхъ средняго качества—7—14% и, наконецъ, еще боль-

НБ УДУНТ (ІПБТ)

ше въ угляхъ богатыхъ золою. Зола содержитъ обыкновенно около 50% кремнекислоты (въ среднемъ), окись желѣза и глиноземъ, часто въ значительныхъ количествахъ (иногда до 20%), небольшія количества щелочей, фосфорной кислоты — (до 1,5%), и сѣрную кислоту, происшедшую отъ разложенія сѣрнаго колчедана и связанную съ известью. Вредною примѣсью въ каменномъ углѣ является иногда значительное содержаніе сѣры, находящейся въ видѣ колчедановъ, заключенныхъ въ углѣ, или-же представляющей составную часть самаго угля [1]). Содержаніе сѣры достигаетъ нерѣдко 2% вѣса каменнаго угля, а иногда доходитъ и до 3%. При нагрѣваніи угля съ цѣлью коксованія часть сѣры улетучивается съ газомъ, другая-же часть остается въ остаткѣ отъ сухой перегонки. Кромѣ всѣхъ этихъ примѣсей въ каменномъ углѣ находятъ слѣды мышьяка, цинка и свинца.

Для классификаціи каменныхъ углей было предложено много системъ. Въ нижеслѣдующемъ положеніи мы воспользовались классификаціей Грюнера, являющейся, можетъ быть, самой ясной и удобной. Надо только помнить, какъ уже сказано, что могутъ быть случаи, когда физическія свойства угля не такъ согласуются съ его химическимъ составомъ, какъ это должно было-бы быть по классификаціи Грюнера.

Сухіе угли съ длиннымъ пламенемъ (песочные).

Угли эти отличаются главнымъ образомъ длиннымъ пламенемъ, указывающимъ на большое содержаніе летучихъ горючихъ тѣлъ, сравнительно малымъ количествомъ остатка при сухой перегонкѣ, и свойствомъ этого остатка сохранять первоначальный видъ куска, совсѣмъ не спекаясь. Большіе куски, правда, распадаются и растрескиваются, мелкій-же уголь всегда остается въ видѣ порошка.

Химическій составъ ихъ обыкновенно слѣдующій:

Углерода	75 —80%	въ среднемъ	77,5%
Водорода	5,5— 4,5 „	„	5,5
Кислорода и азота.	19,5—15,5 „	„	170,

Остатокъ сухой перегонки=50—60% вѣса угля; количество, летучихъ продуктовъ=50—40%.

Теплопроизводительная способность чистой угольной массы равна 8000—8500 ед. т.

Одинъ куб. метръ этихъ углей вѣситъ въ среднемъ 700 клгр.

Въ Германіи эти угли, или переходы отъ нихъ къ слѣдующему классу, находятся въ верхнихъ горизонтахъ угольныхъ бассейновъ Верхней Силезіи и (въ меньшемъ количествѣ) Саарбрюкена; въ Великобританіи значительныя мѣсторожденія находятся въ Шотландіи, гдѣ угли эти въ сыромъ видѣ употребляются при доменной плавкѣ, а кромѣ того въ Дербишейрѣ, Стаффордшейрѣ и другихъ мѣстахъ.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Разновидность этого класса углей, называемая сажистымъ углемъ (Russkohle), встрѣчающаяся преимущественно въ каменноугольныхъ образованіяхъ Саксоніи, отличается своимъ совершенно чернымъ цвѣтомъ, способностью легко растираться, волокнистымъ сложеніемъ и малымъ содержаніемъ водорода.

Послѣдняго бываетъ часто менѣе 3%, тогда какъ содержаніе углерода соотвѣтственно этому значительно болѣе (76—82%).

Полужирные или газовые угли съ длиннымъ пламенемъ.

Подобно углямъ предыдущаго класса горятъ длиннымъ, коптящимъ пламенемъ, при нагрѣваніи однако куски ихъ измѣняютъ свою форму, размягчаются и спекаются другъ съ другомъ, причемъ даже значительное количество мелкихъ кусковъ соединяется въ одно цѣлое. Переходные между этимъ классомъ углей и предыдущимъ, т. е. такіе угли, которые размягчаются не вполнѣ и сохраняютъ свою первоначальную форму, но въ то-же время имѣютъ стремленіе спекаться называются слабо-спекающимися (у нѣмцевъ Sinterkohlen). Химическій составъ газовыхъ полужирныхъ углей выражается слѣдующими цифрами:

Углерода	80 —85%,	въ средн. 82,0%
Водорода	5,8— 5 „	„ 5,5
Кислорода и азота. .	14,2—10 „	„ 12,5

Остатокъ сухой перегонки=60—68% вѣса угля; количество выдѣляющихся летучихъ тѣлъ 40—32%.

Получающееся при сухой перегонкѣ количество газовъ меньше, чѣмъ при сухихъ пламенныхъ угляхъ, но газы даютъ болѣе яркое пламя. Поэтому эти угли составляютъ главный матеріалъ для полученія свѣтильнаго газа. Ради этого уголь подвергается сухой перегонкѣ въ ретортахъ. Улетучивающійся газъ проходитъ черезъ различныя очистительныя устройства, для удаленія смолы, воды, углекислоты и сѣрнистыхъ соединеній и собирается въ особомъ пріемникѣ (газгольдерѣ). Въ ретортахъ же остается пористый коксъ.

Теплопроизводительная способность чистой угольной массы, по Шейреру-Кестнеру (Scheurer-Kestner) и Менье (Mennier), равняется 8500—8800 ед. т. Одинъ куб. метръ углей этого класса, находящихся въ видѣ большихъ кусковъ, вѣситъ 700—750 клгрм.

Этотъ классъ углей въ Германіи встрѣчается преимущественно въ Верхней Силезіи, Вестфаліи и Саарбрюкенѣ. Кромѣ того онъ добывается въ довольно большихъ количествахъ во Франціи (угольные бассейны Па-де-Кале и Луары), въ Бельгіи—въ бассейнѣ Монса, а въ Великобританіи близъ Ньюкестля и въ Шотландіи.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Обыкновенные жирные или кузнечные угли.

Они воспламеняются труднѣе чѣмъ угли, принадлежащіе обоимъ предыдущимъ классамъ и горятъ не такимъ длиннымъ и менѣе коптящимъ пламенемъ. Накаливаніе дѣйствуетъ на нихъ такъ же, какъ и на пламенные угли, но характерныя свойства всѣхъ спекающихся углей являются въ нихъ еще въ болѣе рѣзкой формѣ. Угли при накаливаніи плавятся почти, какъ смола, и сильно вздуваются вслѣдствіе образованія газовъ. Сильная спекаемость дѣлаетъ ихъ особенно пригодными для кузнечнаго производства, причемъ мелкіе куски угля этого сорта (въ продажѣ называемые кузнечнымъ углемъ) засыпаемые на раскаленный кусокъ металла спекаются надъ нимъ, и образуютъ такимъ образомъ сплошную покрышку; время отъ времени кузнецъ разрушаетъ эту покрышку, засыпаетъ сверху свѣжаго угля и такимъ образомъ достигаетъ того, что съ желѣзомъ приходятъ въ соприкосновеніе лишь раскаленные и лишенные сѣры куски угля. Угли эти годны и для многихъ другихъ цѣлей: напримѣръ, для полученія газа, приготовленія кокса и т. д.

Химическій составъ ихъ колеблется въ слѣдующихъ границахъ:

Углерода	84—89%	въ среднемъ	86,5%
Водорода	5— 5,5 „	„	5,0
Кислорода и азота.	11— 5,5 „	„	8,5

Твердый остатокъ сухой перегонки=68—74% вѣса угля, количество летучихъ тѣлъ 32—26%.

Теплопроизводительная способность чистой угольной массы, по Шейреру-Кестнеру и Менье, 8800—9300 ед. т. одинъ куб. метръ угля въ кускахъ вѣситъ 750—800 клгрм.

Крупныя залежи такихъ спекающихся углей, имѣющихъ большое промышленное значеніе, встрѣчаются на Нижнемъ Рейнѣ, въ Вестфаліи (напр. близъ Эссена и Бохума), въ Бельгіи, Франціи и Англіи.

Жирные, дающіе короткое пламя, или коксовые угли.

Растираются легко между пальцами, воспламеняются труднѣе чѣмъ предыдущіе и горятъ короткимъ, свѣтящимся и мало коптящимъ пламенемъ. При нагрѣваніи эти угли еще вздуваются и спекаются, но остатокъ, получающійся при этомъ, плотнѣе, чѣмъ у обыкновенныхъ спекающихся углей. Чѣмъ ближе подходятъ они по своимъ свойствамъ къ слѣдующему классу, тѣмъ труднѣе они спекаются и тѣмъ сильнѣе надо ихъ накаливать, чтобы получить хорошо спекающійся коксъ. Точно также эти угли теряютъ свою способность спекаться при продолжительномъ лежаніи на воздухѣ.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

При этомъ происходитъ повидимому нѣкоторое измѣненіе состава органической массы угля, влекущее за собою улетучиваніе тѣхъ составныхъ частей углей, которыя способствуютъ спеканію. Химическій составъ этихъ углей слѣдующій:

Углерода	88 —91%	въ среднемъ	89,5%
Водорода	5,5— 3,5 „	„	4,5
Кислорода и азота.	6,5 — 4,5 „	„	6,0

Остатокъ отъ сухой перегонки=74 - 82% вѣса угля; количество улетучивающихся частей=26—18% органической массы угля. Угли этого класса, наиболѣе богатые углеродомъ, образуютъ уже переходъ къ слѣдующему классу и спекаются очень трудно.

Теплопроизводительная способность этихъ жирныхъ, но съ корсткимъ пламенемъ, углей равна 9300—9600 ед. т. и является наибольшей среди каменныхъ углей различныхъ классовъ.

Главнѣйшія мѣсторожденія ихъ находятся въ Германіи, именно въ Вестфаліи и на Нижнемъ-Рейнѣ, во Франціи около Крезо, С-тъ Этіенна, въ д. Гарда, въ Бельгіи у Шарлеруа, въ Великобританіи въ Южномъ Валлисѣ, особливо около Кардифа.

Тощіе или антрацитовые угли и антрациты.

Угли эти обыкновенно легко ломаются, трудно воспламеняются и горятъ короткимъ, почти бездымнымъ пламенемъ, которое скоро потухаетъ. Въ огнѣ они часто растрескиваются на мелкіе куски, что затрудняетъ конечно ихъ примѣненіе. При накаливаніи ихъ остается рыхлая, мало связанная, часто даже порошкообразная масса. Спекаются они также мало, какъ и сухіе угли съ длиннымъ пламенемъ, о которыхъ говорилось раньше.

Химическій составъ ихъ приблизительно слѣдующій:

Углерода	90—95	въ среднемъ	92,0%
Водорода	4,5— 2 „	„	3,0%
Кислорода и азота	5,5— 3 „	„	5,0%

Остатокъ сухой перегонки=82—92%.

Количество улетучивающихся веществъ 18—8%.

Теплопроизводительная способность органической массы угля колеблется между 9200—9500 ед. т.

Въ Европѣ эти угли встрѣчаются сравнительно рѣдко. Въ Германіи они встрѣчаются вблизи Аахена и въ нѣкоторыхъ мѣстностяхъ Вестфаліи; во Франціи—на сѣверной границѣ бассейна Валенсіена и въ нѣкоторыхъ другихъ мѣстностяхъ; въ Бельгіи близъ Шарлеруа, въ Англіи у Merthyr Tydwill.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Угли эти, почти не дающіе дыма при горѣніи, примѣняются въ Европѣ болѣе для отопленія паровыхъ котловъ и домашнихъ печей, чѣмъ для собственно металлургическихъ цѣлей. Большее значеніе имѣютъ мѣсторожденія ихъ въ Америкѣ (въ Пенсильваніи), гдѣ они занимаютъ пространство около 120000 гектаровъ и добываются въ громадномъ количествѣ. Довольно малое содержаніе въ нихъ золы и незначительное — количество влажности въ американскихъ антрацитахъ [1]) ставитъ ихъ по химическому составу рядомъ съ лучшими сортами кокса. Поэтому, въ крайнемъ случаѣ, они могутъ замѣнять коксъ при доменномъ производствѣ, хотя и обладаютъ тѣмъ недостаткомъ сравнительно съ коксомъ, что при нагрѣваніи распадаются въ куски и трудно воспламеняются. Эти два недостатка очевидно затрудняютъ ихъ примѣненіе, какъ въ доменномъ процессѣ, такъ и въ другихъ производствахъ.

e) Общій взглядъ на различные сорта твердыхъ естественныхъ горючихъ матеріаловъ.

При изученіи состава и физическихъ свойствъ разсмотрѣнныхъ горючихъ матеріаловъ мы замѣтимъ, какъ это будетъ ясно видно изъ нижеслѣдующей таблицы, что они образуютъ цѣлый рядъ, въ которомъ содержаніе кислорода, начиная съ перваго члена его, дерева, и кончая послѣднимъ, антрацитомъ, постоянно уменьшается, тогда какъ сообразно этому содержаніе углерода увеличивается. Понятно, что при этомъ увеличивается вѣсъ остатка сухой перегонки и уменьшается количество летучихъ тѣлъ. Кромѣ этого послѣдняго обстоятельства можно замѣтить еще, что и самый составъ улетучивающихся веществъ испытываетъ замѣчательныя колебанія. Это объясняется тѣмъ, что изъ всего количества водорода, содержащагося въ горючемъ, опредѣляемаго посредствомъ анализа, нѣкоторая часть тотчасъ-же соединяется съ кислородомъ, содержащимся въ горючемъ и переходитъ въ видѣ водянаго пара въ улетучивающіеся продукты, разжижая горючія составныя части ихъ и понижая температуру горѣнія. Только остатокъ водорода, образующій въ улетучивающихся веществахъ соединенія съ углеродомъ—углеводороды, обладаетъ теплопроизводительною способностію. Количество этого полезнаго водорода (свободнаго водорода) можно приблизительно вычислить по содержанію кислорода въ горючемъ, такъ какъ двѣ части по вѣсу водорода соеди-

1) По Веддингу (Das Einsenhüttenwesen der Vereinigten Staaten Zeitschrift für Berg, Hütten- und Salinenwesen im Preussichen Staate Bd XXIV), средній составъ пенсильванскихъ антрацитовъ слѣдующій:

Угля.	Лет. вещ.	Золы.	Сѣры.	Фосфора.	Влажности.
82,50	5,50	10,50	0,35	0,012	1,15

Лучшіе сорта содержатъ только 5,8% золы при 89,0% углерода.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

няются съ 16 частями по вѣсу кислорода. Результаты такихъ вычисленій также приведены въ таблицѣ [1]). Наиболѣе богаты полезнымъ водородомъ жирные угли съ длиннымъ пламенемъ и обыкновенные жирные угли, наиболѣе бѣдно—дерево. Длинное пламя, наблюдаемое при горѣніи выдѣляющихся изъ нихъ газовъ, является результатомъ присутствія большаго количества сравнительно трудно воспламеняющихся углеводородовъ. Количество полезнаго водорода имѣетъ большее значеніе при опредѣленіи годности горючаго, какъ для непосредственнаго сожиганія, такъ и для полученія свѣтильнаго и горючаго газовъ, чѣмъ общее содержаніе водорода въ горючемъ.

Теплопроизводительная способность органической массы горючаго увеличивается, начиная отъ дерева до жирныхъ, дающихъ короткое пламя углей, и снова нѣсколько уменьшается въ антрацитныхъ угляхъ и антрацитахъ.

Сводная таблица различныхъ видовъ естественныхъ горючихъ матеріаловъ.

	Химическій составъ органической массы горючаго.				Чистой массы горючаго.				Обыкновенное содержаніе влажности въ самосохломъ состояніи.	Обыкновенное содержаніе золы.
	Углеродъ.	Водородъ.	Кислородъ.	Азотъ.	Твердый остатокъ газсификаціи.	Летучіе продукты газсификаціи.	Полезный водородъ.	Теплопроизводительная способность чистой органич. массы.		
	%	%	%	%	%	%	%	ед. т.	%	%
Дерево	50,5	6,2	42,3	1,0	25,0	75,0	0,91	3600	20	2
Торфъ	60,0	6,0	32,0	2.0	35,0	65,0	2,00	5000	25—30	6—20
Болѣе новый бурый уголь . . .	61,5	5,5	33,0		40,0	60,0	1,37	5500	25—40	5—15
Собственно бурый уголь	69,5	5,5	25,0		45,0	55,0	2,37	7000	5—10	3—15
Смолистый бурый уголь	75,5	5,5	19,0		50,0	50,0	3,13	8000	4—8	3—10
Каменный уголь:										
a) Пламенный сухой уголь . . .	77,5	5,5	17,0		55,0	45,0	3,38	8200		
b) Полужирные или газовые съ длиннымъ пламенемъ	82,0	5,5	12,5		65,0	35,0	3,94	8600		
c) Обыкновенные жирные (кузнечные) угли . . .	86,5	5,0	8,5		70,0	30,0	3,94	9000	2—4	2—15
d) Жирные или коксовые угли, дающіе короткое пламя	89,5	4,5	6,0		78,0	22,0	3,75	9400		
e) Тощіе, антрацитовые угли . .	92,0	3,0	5,0		85,0	15,0	2,37	9200		
Антрациты . . .	94,0	2,0	4,0		92,0	8,0	1,50	9200		

[1]) Расчеты эти количества полезнаго водорода не совсѣмъ вѣрны, такъ какъ часть кислорода образуетъ окись углерода, а часть водорода расходуется на образованіе амміака. Кромѣ того ходъ разложенія въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ зависитъ отъ господствующей температуры и отъ различной группировки элементовъ горючаго. Два каменныхъ угля одинаковаго состава могутъ, напримѣръ, какъ это было уже упомянуто, дать довольно различные летучіе продукты разложенія.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

2. Горючіе матеріалы, полученные путемъ переугливанія, и ихъ полученіе.

а) *Общія положенія.*

Горючіе матеріалы, о которыхъ до сихъ поръ была рѣчь, будучи подвергнуты нагрѣванію до температуры приблизительно въ 150°, начинаютъ разлагаться, причемъ происходитъ улетучиваніе изъ нихъ газообразныхъ тѣлъ: воды, углеводородовъ различнаго состава, окиси углерода, амміака и др. Ходъ разложенія зависитъ, какъ это было указано выше, главнымъ образомъ отъ температуры, но во всякомъ случаѣ, если нагрѣваніе продолжалось безъ доступа воздуха до раскаленія горючаго, то въ остаткѣ получается вмѣстѣ съ золою почти чистый углеродъ [1]).

Такъ какъ улетучивающіеся газы содержатъ значительное количество горючихъ тѣлъ, то подобное разложеніе несомнѣнно влечетъ за собою потерю въ горючемъ, особенно если не пользоваться теплопроизводительной способностью газовъ, такъ это и случается нерѣдко на практикѣ. Но несмотря на это обстоятельство, обугливаніе представляетъ удобное средство для полученія такого горючаго, которое горѣло бы безъ пламени и было-бы болѣе пригодно для многихъ процессовъ, чѣмъ тотъ сырой горючій матеріалъ, изъ котораго оно получено. Дѣло въ томъ, что разложеніе сыраго горючаго матеріала обусловливаетъ собою расходъ теплоты, который очень часто можетъ сильно мѣшать процессу. Если горючій матеріалъ лежитъ толстымъ слоемъ (напр. въ шахтныхъ печахъ) и сожигается воздухомъ, вводимымъ снизу, то продукты разложенія, образующіеся наверху, затрудняютъ подниманіе продуктовъ горѣнія, образующихся внизу. Кромѣ того при разложеніи, горючій матеріалъ нерѣдко значительно измѣняетъ свою форму, что тоже можетъ затруднить употребленіе сыраго горючаго матеріала. Такъ напримѣръ, спекающіеся каменные угли были-бы вовсе непригодны во многихъ случаяхъ тамъ, гдѣ коксъ, полученный изъ нихъ, является наиболѣе пригоднымъ горючимъ матеріаломъ. Наконецъ нужно замѣтить, что температура горѣнія большинства сырыхъ горючихъ матеріаловъ, даже наиболѣе богатыхъ кислородомъ, ниже чѣмъ температура горѣнія остатковъ ихъ сухой перегонки, т. е. обугленныхъ горючихъ матеріаловъ. Отсюда становится понятно, отчего они весьма часто являются болѣе пригодными для различныхъ цѣлей.

---

[1]) Малыя количества водорода и азота удерживаются углемъ даже при температурѣ бѣлаго каленія.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Однако не всѣ сырые горючіе матеріалы, о которыхъ мы говорили, даютъ при нагрѣваніи остатокъ, могущій служить какъ топливо. Чтобы обугленные матеріалы могли исполнять свое назначеніе необходимо, чтобы они обладали извѣстной, не слишкомъ малой величиной кусковъ, условіе, которое вызывается устройствомъ нашихъ топокъ. Порошкообразные горючіе матеріалы примѣнимы лишь въ рѣдкихъ случаяхъ, въ большинствѣ-же случаевъ примѣненія обугленныхъ матеріаловъ цѣна послѣднихъ тѣмъ выше, чѣмъ больше величина ихъ кусковъ.

Дерево и торфъ переугливаются хорошо. Всѣ-же бурые угли, наоборотъ, переугливанію подвергаться не могутъ, такъ какъ при нагрѣваніи распадаются на мелкіе куски, какъ это было замѣчено выше. Не мало было сдѣлано опытовъ ради отысканія вполнѣ цѣлесообразнаго способа обугливанія бурыхъ углей, но всѣ эти опыты успѣха не имѣли[1]). Среди каменныхъ углей тѣ, которые въ выше приведенномъ ряду стоятъ наиболѣе близко къ бурымъ углямъ, т. е. угли сухіе съ длиннымъ, пламенемъ близко подходятъ къ нимъ и по ихъ отношенію къ сухой перегонкѣ. Нужно однако замѣтить, что нѣкоторые изъ нихъ могутъ подвергаться умѣренному переугливанію, т. е. изъ нихъ можно удалить большую часть ихъ летучихъ составныхъ частей, если нагрѣваніе вести медленно и не слишкомъ сильно. Хорошо обугливаются всѣ спекающіеся каменные угли. Антрациты-же и близкіе къ нимъ каменные угли распадаются при нагрѣваніи и совсѣмъ непригодны или весьма мало пригодны для обугливанія. Такъ какъ содержаніе летучихъ тѣлъ въ этихъ видахъ горючаго вообще весьма мало, то обугливаніе не имѣетъ для нихъ важнаго значенія.

b) *Углежженіе и древесный уголь.*

Для полученія древеснаго угля въ большихъ количествахъ существуютъ три главнѣйшихъ способа.

Углежженіе въ кучахъ.

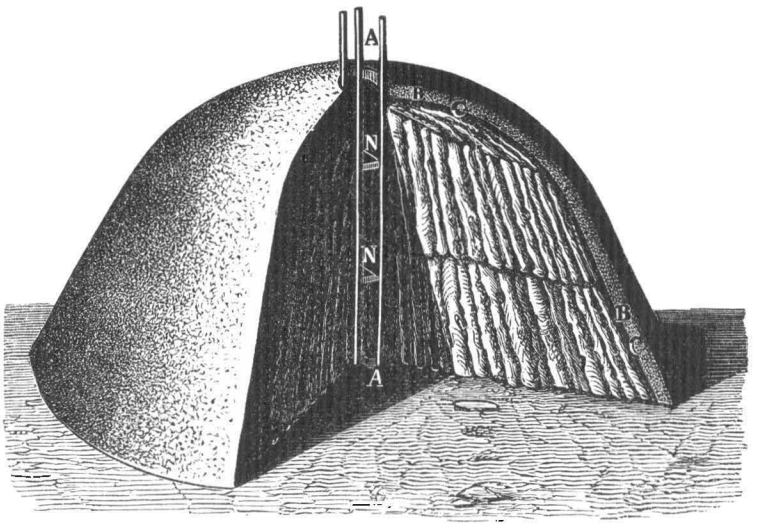
Углежженіе въ кучахъ является самымъ древнимъ способомъ полученія угля и до сихъ поръ наиболѣе распространеннымъ въ Европѣ. Изъ дровъ складываются по извѣстнымъ правиламъ куча, которая покрывается со всѣхъ сторонъ покрышкой изъ дерна или какого нибудь инаго матеріала и зажигается изъ-нутри. Регулируя горѣніе посредствомъ отверстій въ покрышкѣ кучи, развиваютъ внутри теплоту, насколько это необходимо лишь для обугливанія дерева. На рис. 1 изо-

[1]) См. „Литературу“.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

браженъ наиболѣе употребительный видъ кучи для углежженія. Для ея устройства прежде всего выравниваютъ и утрамбовываютъ почву, на которой предполагаютъ сложить кучу, т. е. устраиваютъ токъ. Гдѣ можно стараются пользоваться старыми токами, такъ какъ жженіе на новыхъ токахъ нерѣдко

Рис. 1.



идетъ хуже, благодаря неравномѣрному просачиванію воздуха чрезъ почву. Затѣмъ устанавливаютъ два или три кола A, которые распираются расколотами N или-же связываются другъ съ другомъ ивовыми прутьями. Пространство между этими колами наполняется сухимъ хворостомъ. Внизу кладутъ вокругъ нихъ нѣсколько сухихъ досчечекъ стоймя, чтобы облегчить разжиганіе кучи. При складываніи кучи кладутъ на почву толстое бревно такъ, чтобы оно доходило отъ центральной трубы до окружности кучи. Впослѣдствіи бревно это вытаскиваютъ, и такимъ образомъ получаютъ непрерывный каналъ служащій для зажиганія кучи.

Послѣ этого, какъ это видно изъ рисунка, вокругъ центральной трубы ставятъ по возможности близко другъ къ другу дрова, которыя надо обуглить. Сверху складываютъ такъ называемый чепецъ изъ болѣе мелкихъ полѣньевъ такъ, что куча принимаетъ приблизительно параболическую форму. Вся высота кучи равна обыкновенно 3—4 метрамъ, объемъ ея 100—150 куб. метр., иногда, правда, кучи бываютъ значительно меньше, тогда какъ въ другихъ случаяхъ объемъ ихъ достигаетъ 300 куб. м. Когда куча сложена, то заполняютъ промежутки, оставшіяся на поверхности кучи мелкими кусками дерева, что дѣлается по возможности тщательно, и затѣмъ, какъ уже упомянуто, начинаютъ покрывать кучу снаружи дерномъ, зелеными вѣтвями, мхомъ. Внизу у под-

НБ УКУНТ (ІПБТ)

ножія кучи, приблизительно до высоты въ 15 сантим., кучу не покрываютъ ничѣмъ и предохраняютъ верхнюю часть крыши отъ осыпанія поддерживая ее вѣнцомъ изъ сучьевъ или мелкихъ полѣньевъ, лежащихъ на камняхъ. Наконецъ куча покрывается слоемъ земли или, еще, лучше землей смѣшанной съ угольнымъ мусоромъ изъ старыхъ кучъ. Слой земли, толщиною отъ 3 до 12 сант., набрасывается лопатой. Со стороны господствующихъ вѣтровъ устраиваютъ обыкновенно ширму, сплетенную изъ хвороста. На приложенномъ рисункѣ буквой В обозначаютъ покрышку, изъ дерна, а черный слой на самой поверхности кучи означаетъ обсыпку изъ земли съ угольнымъ мусоромъ.

Вскорѣ послѣ того, какъ куча зажжена черезъ зажигательный каналъ, какъ отверстіе его, такъ и основаніе кучи забрасывается землей, и угольщикъ регулируетъ распространеніе огня посредствомъ отдушинъ въ одеждѣ кучи такимъ образомъ, чтобы горѣніе постепенно распространялось отъ вершины кучи къ ея основанію. Отдушины представляютъ собой отверстія, которыя протыкаются ручкой лопаты въ покрышкѣ кучи вплоть до самыхъ дровъ. Эти отверстія въ видѣ поясовъ располагаются вокругъ кучи обыкновенно въ два ряда. Забрасывая верхній рядъ отверстій и протыкая новый, ниже перваго, заставляютъ огонь переходить все ниже и ниже. Въ началѣ процесса происходятъ иногда взрывы, вслѣдствіе выдѣленія пара—„куча стрѣляетъ“. Взрывы эти сбрасываютъ часть покрышки кучи. Само собою разумѣется, что въ такихъ случаяхъ нужно обратить все вниманіе на возможно скорое исправленіе покрышки, такъ какъ въ противномъ случаѣ вся куча можетъ воспламениться, благодаря свободному доступу воздуха внутрь ея. По мѣрѣ хода обугливанія сама куча осѣдаетъ, въ нѣкоторыхъ мѣстахъ образуются пустыя пространства, которыя слѣдуетъ заполнять прибавленіемъ свѣжихъ дровъ. Кучи съ покрышей описаннаго устройства обладаютъ тѣмъ преимуществомъ, что при всякомъ измѣненіи формы ихъ они остаются всегда одинаково хорошо покрытыми. Наконецъ по свѣтлому цвѣту дыма угольщикъ узнаетъ, что куча „поспѣла“, т. е. переугливаніе кончилось. Отверстія въ покрышкѣ тщательно закрываются, чтобы заглушить огонь. Затѣмъ наступаетъ послѣдній періодъ работы „выгребъ“ угля. Ежедневно выгребаютъ однако не болѣе 3 куб. м. угля изъ одного и того-же мѣста. Затѣмъ это мѣсто снова тщательно закрываютъ, чтобы предупредить воспламененіе всей кучи. Переугливаніе кучи средней величины длится 15—20 дней.

Въ нѣкоторыхъ мѣстностяхъ выжигаютъ уголь способомъ отличнымъ отъ описаннаго,—именно кладутъ дрова лежмя въ кучи трапецоидальнаго сѣченія и прямоугольной формы (Выжиганіе угля въ лежачихъ кучахъ или баганахъ). Способъ этотъ впрочемъ примѣняется сравнительно рѣже перваго.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Нужно замѣтить, что даже при полномъ отсутствіи доступа воздуха, чего въ кучахъ никогда нельзя достигнуть, часть углерода органической массы дерева всетаки соединяется съ кислородомъ и водородомъ и улетучивается. Кромѣ того часть дерева необходимо сжечь для того, чтобы получить достаточное количество теплоты. Очевидно, слѣдовательно, что выходъ угля никогда даже приблизительно не можетъ равняться количеству углерода, которое было въ употребленномъ на переугливаніе деревѣ. Выходъ угля равенъ обыкновенно 22% по вѣсу дерева; онъ бываетъ больше при медленномъ, чѣмъ при ускоренномъ ходѣ операціи, больше при старыхъ и сухихъ дровахъ, чѣмъ при молодыхъ и сырыхъ, и понижается иногда до 17%, достигая въ другихъ случаяхъ 28%. Однако послѣдняго результата можно достигнуть лишь тогда, когда переугливаніе не доведено до конца. Вообще изъ 1 куб. м. дровъ получается около 0,6 куб. м. древеснаго угля.

Углежженіе можетъ производиться въ лѣсу близъ мѣста рубки дровъ, а такъ какъ разница въ вѣсѣ получаемаго угля и израсходованнаго дерева, согласно приведеннымъ цифрамъ, весьма значительна, то этимъ путемъ можно достигнуть значительнаго сбереженія въ расходахъ на доставку угля на заводъ. Это сбереженіе по сравненію съ переугливаніемъ дерева на самомъ заводѣ тѣмъ значительнѣе, чѣмъ больше разстояніе отъ мѣста заготовки дровъ до завода и чѣмъ затруднительнѣе сообщеніе. При надлежащемъ управленіи огнемъ въ кучахъ получается уголь превосходныхъ качествъ, но летучіе продукты сухой перегонки (древесный уксусъ и др.) теряются безвозвратно. Въ виду-же особенностей самого процесса переугливанія въ кучахъ надо думать, что едва ли будетъ возможно съ выгодой получать эти продукты, хотя неоднократно производились опыты въ этомъ направленіи. Такъ напримѣръ, въ кучу втыкались трубки для отвода и сгущенія кислыхъ газовъ и т. д.

Углежженіе въ печахъ.

Мы видѣли, что при углежженіи въ кучахъ необходимъ почти постоянный надзоръ за ними для избѣжанія воспламененія всей кучи. Работа угольщика оказывается поэтому весьма утомительной. Это обстоятельство въ связи съ небольшимъ выходомъ угля (несмотря на всѣ предосторожности) побудило перейти отъ углежженія въ кучахъ къ переугливанію дерева въ печахъ. Печи представляютъ собою закрытыя пространства, въ которыхъ процессъ переугливанія идетъ точно такимъ-же образомъ, какъ и въ кучахъ, только подвижная покрышка послѣднихъ замѣнена въ печахъ каменной кладкой. Этимъ устраняется возможность образованія боль-

НБ УДУНТ (ІПБТ)

шихъ трещинъ въ покрышкѣ кучи и воспламененія ея, благодаря свободному доступу воздуха внутрь кучи.

Въ З. Европѣ разсматриваемый способъ углежженія примѣняется довольно рѣдко; въ Сѣв. Америкѣ-же, напротивъ того, печи для углежженія сильно распространены. Надо замѣтить, что Америка заимствовала этотъ способъ первоначально изъ Швеціи. Печи имѣютъ въ нѣкоторыхъ случаяхъ прямоугольную форму и перекрыты сверху цилиндрическимъ сводомъ. Длина ихъ равняется обыкновенно 15 м., ширина 3,5—5 метр. Въ другихъ случаяхъ печи имѣютъ форму цилиндрическую и перекрыты купольнымъ сводомъ. Діаметръ ихъ 8,5 м., высота 3,2 м. Наконецъ, иногда форма ихъ бываетъ конической при діаметрѣ внизу 8,5—9 м. и высотѣ 6—8,5 м. Всѣ печи имѣютъ по окружности два или три ряда отверстій для управленія притокомъ воздуха [1]).

Газообразные летучіе продукты въ большинствѣ печей, по крайней мѣрѣ во всѣхъ Сѣверо-Американскихъ, не улавливаются. Опыты въ этомъ направленіи произведенные, при которыхъ устраивали въ стѣнахъ печи трубы для отвода и сгущенія такихъ продуктовъ, какъ кажется, къ удовлетворительнымъ результатамъ не привели, вѣроятно, вслѣдствіе ухудшенія качествъ получаемаго угля и уменьшенія его выхода.

Печи для выжега угля кромѣ расходовъ на постройку, которые нужно впослѣдствіи погасить, требуютъ еще ежегоднаго ремонта,—при углежженіи въ кучахъ ничего подобнаго нѣтъ. Кромѣ того нужно подвозить дрова къ печамъ, а чѣмъ больше разстояніе, тѣмъ чувствительнѣе становится разница стоимости доставки дровъ и угля. Съ другой стороны печи дозволяютъ вести углежженіе во всякое время года, плата рабочимъ при нихъ ниже, и выходъ угля нѣсколько выше, чѣмъ при кучахъ.

Послѣднее обстоятельство, увеличеніе выхода угля, объясняется отчасти тѣмъ, что обугливаніе въ данномъ случаѣ менѣе совершенно, чѣмъ въ кучахъ, вслѣдствіе же этого качества получаемаго угля, по мнѣнію американскихъ техниковъ, ниже чѣмъ кучнаго угля.

Углежженіе въ ретортахъ.

Стремленіе воспользоваться и парообразными продуктами сухой перегонки дерева, въ особенности древеснымъ уксусомъ, давно уже привело техниковъ къ примѣненію ретортъ для выжега угля.

Реторты представляютъ собою замкнутые сосуды, нагрѣваемые снаружи особыми топками. Изъ ретортъ не трудно посредствомъ трубъ отвести образующіеся продукты разло-

[1]) Изображеніе углеобжигательныхъ печей можно найти въ сочиненіяхъ и статьяхъ, указанныхъ въ литературѣ.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

женія въ конденсаціонные аппараты. Въ большинствѣ случаевъ примѣненіе этого способа ограничивалось, правда, тѣми случаями, когда полученіе древеснаго уксуса и др. продуктовъ являлось главною цѣлью, полученіе-же древеснаго угля лишь побочною. Однако-же способъ этотъ неоднократно рекомендовался и для удовлетворенія потребностей желѣзной промышленности. Въ Германіи, на Гарцѣ, существуютъ два такихъ завода (Рюбеландъ и Зорге). Болѣе точныя указанія объ этомъ способѣ и его веденіи можно найти въ сочиненіяхъ, поименованныхъ въ указателѣ литературы.

Въ среднемъ на упомянутыхъ Гарцевскихъ заводахъ изъ 100 килгр. дровъ получается 20 килгр. угля, 1 килгр. древеснаго (метиловаго) спирта и 4 килгр. уксуснокислаго кальція.

Съ одной стороны углежженіе въ ретортахъ представляетъ возможность получать кромѣ древеснаго угля и химическіе продукты. Съ другой стороны оно имѣетъ много недостатковъ, какъ-то: доставка дерева, расходы по погашенію стоимости ретортъ и завода, расходы по химической части производства, расходъ горючаго на нагрѣвъ ретортъ, и, наконецъ, въ особенности меньшая теплопроизводительная способность угля, получаемаго въ ретортахъ, въ сравненіи кучнымъ углемъ. Этимъ обусловливается большій расходъ ретортнаго угля въ однихъ и тѣхъ же случаяхъ по сравненію съ кучнымъ. Мѣстныя обстоятельства поэтому всегда будутъ играть рѣшающее значеніе для опредѣленія степени выгодности замѣны кучнаго способа углежженія углежженіемъ въ ретортахъ для удовлетворенія потребности желѣзной промышленности.

Во всякомъ случаѣ, принимая во вниманіе уже упомянутое обстоятельство, что примѣненіе дровъ и древеснаго угля въ желѣзномъ дѣлѣ съ каждымъ годомъ сокращается по мѣрѣ распространенія путей сообщенія, нельзя ожидать обширнаго распространенія углежженія въ ретортахъ на металлургическихъ заводахъ.

Свойства древеснаго угля.

Древесный уголь, состоящій главнымъ образомъ изъ углерода, всегда содержитъ кромѣ золы еще извѣстныя, хотя и незначительныя количества водорода, кислорода и азота. Это бываетъ даже въ тѣхъ случаяхъ, когда его получаютъ при температурѣ бѣлаго каленія, т. е. при значительно высшей той, какая наблюдается въ описанныхъ выше приборахъ для выжега угля.

При лежаніи на воздухѣ древесный уголь довольно быстро поглощаетъ значительное количество водянныхъ паровъ и газовъ. Средній составъ древеснаго угля, лежащаго на открытомъ воздухѣ, приблизительно слѣдующій:

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Углерода	80,1%
Водорода	1,8
Кислорода и азота .	3,1
Влажности	12,0
Золы	3,0

Теплопроизводительная способность его 6.900 ед. т. Вѣсъ кубическаго метра угля въ кускахъ (вмѣстѣ съ промежутками) по Грюнеру можно принять равнымъ:

Сосноваго угля . . .	125—140 клгрм.
Еловаго „ . . .	140—180 „
Твердаго лиственнаго угля	200—240 „

Меньшія цифры относятся къ углю, полученному изъ молодаго, но быстро выросшаго лѣса, или же полученному при дурномъ веденіи выжега (слишкомъ скоромъ).

Болѣе высокія цифры относятся напротивъ того къ углю, полученному изъ болѣе старыхъ, медленно росшихъ деревьевъ, и свидѣтельствуютъ о хорошемъ веденіи работы. Хорошій древесный уголь имѣетъ цвѣтъ черный, твердъ, звонокъ, мало блестящъ.

Если полученіе угля велось слишкомъ быстро, или-же при доступѣ воздуха, то уголь получается рыхлымъ, легко растирается между пальцами и сильно маретъ ихъ и обладаетъ малой теплопроизводительной способностью. Уголь, полученный при низкой температурѣ, т. е. состоящій изъ невполнѣ переугленнаго дерева, отличается коричневымъ цвѣтомъ, большою твердостью и, будучи зажженъ, горитъ съ выдѣленіемъ пламени. Онъ называется краснымъ углемъ. При лежаніи угля въ сараяхъ происходитъ отъ измельченія его, а также и вслѣдствіе медленнаго окисленія углерода въ углекислоту, потеря его, достигающая 5 и болѣе процентовъ.

c) Переугливаніе торфа и торфяной уголь.

Торфъ обугливается подобно дереву въ кучахъ, печахъ и ретортахъ. Такъ какъ для желѣзной промышленности торфяной уголь имѣетъ лишь очень второстепенное значеніе, то мы ограничимся лишь ссылкою на спеціальную литературу по этому предмету.

Торфяной уголь сохраняетъ сложеніе торфа, изъ котораго онъ полученъ; онъ легокъ, имѣетъ губчатое сложеніе. Хорошій торфяной уголь, пригодный для металлургическихъ цѣлей, можно получить только изъ прессованнаго машиннаго торфа. Рѣзной торфъ даетъ только легкій, малоцѣнный уголь. Упомянутый уже недостатокъ большинства сортовъ торфа—большое содержаніе въ нихъ золы, еще болѣе обнаруживается въ торфяномъ углѣ, такъ какъ содержаніе золы въ немъ остается неизмѣннымъ. По этой причинѣ переугливанію подвергаютъ лишь лучшіе, бѣдные золой сорта торфа.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Подобно древесному углю и торфяной содержитъ еще нѣкоторое количество водорода, кислорода и азота, при лежаніи онъ также поглощаетъ газы и влажность. Средній составъ хорошаго торфянаго угля слѣдующій:

Углерода	70%
Водорода	2%
Кислорода и азота . .	11%
Влажности.	12%
Золы.	5%

Теплопроизводительная способность—6200 ед. т. Одинъ куб. метръ торфянаго угля съ незначительнымъ содержаніемъ золы вѣситъ 230—250 клгрм., съ бо́льшимъ содержаніемъ золы—300—350 клгрм.

d) Переугливаніе (коксованіе) каменныхъ углей и коксъ.

Общія положенія.

Судя по свѣдѣніямъ, сообщаемымъ древнѣйшими писателями, первымъ поводомъ къ обугливанію (коксованію) каменнаго угля было стремленіе освободиться отъ содержавшейся въ немъ сѣры [1]).

По всѣй вѣроятности отвратительный запахъ неразложившихся углеводородовъ, распространяемый каменнымъ углемъ при его сжиганіи въ топкахъ несовершеннаго устройства, принимали за запахъ улетучивающейся сѣры и, основываясь на этомъ, опредѣляли неточно самую цѣль коксованія. Еще въ прошломъ столѣтіи на переугливаніе каменнаго угля смотрѣли, какъ на удаленіе изъ него сѣры.

Впервые процессъ этотъ, какъ кажется, введенъ въ Великобританіи, именно въ 16 столѣтіи; въ 1619 Dud. Dudley взялъ привиллегію на примѣненіе кокса въ чугуноплавильномъ дѣлѣ [2]).

Переугливаніе каменнаго угля называется коксованіемъ, продуктъ его—коксомъ.

Въ коксованіе идутъ, какъ уже сказано выше, преимущественно спекающіеся, жирные угли и въ рѣдкихъ случаяхъ пламенные, сухіе угли. Совсѣмъ не употребляются или-же лишь въ смѣшеніи со спекающимися углями антрацитовые угли.

Способность спекаться различныхъ каменныхъ углей имѣетъ огромное значеніе и представляетъ значительныя удобства для ихъ употребленія. Благодаря способности спекаться, уголь, нахо-

[1]) R. C. Galloway, History of Coal Mining. London 1882. Извлеченіе оттуда содержится въ книгѣ F. Simmersbach, Die Koksfabrikation im Oberbergamtsbezirke Dortmund, Berlin, 1887, Seite 5.

[2]) Тамъ-же.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

дящійся даже въ состояніи тонкаго измельченія, сплавляется при коксованіи въ большіе куски. Это свойство спекающихся углей даетъ возможность подвергнуть ихъ до коксованія механической обработкѣ—измельченію и промывкѣ для уменьшенія содержанія въ нихъ золы. Многіе сорта угля, которые содержали-бы безъ такой обработки слишкомъ много золы, чтобы дать хорошій коксъ, могутъ съ выгодой идти въ коксованіе послѣ примѣненія упомянутаго выше средства. Современному спросу на коксъ съ малымъ содержаніемъ золы не было бы никакой возможности удовлетворить, если-бы не употреблять для коксованія спекающихся углей, которые можно подвергнуть механической подготовкѣ. Механическая подготовка каменнаго угля къ коксованію предложена была еще въ 1830 г., но лишь съ начала шестидесятыхъ годовъ вошла въ общее употребленіе [1]).

Чѣмъ больше выходъ кокса, тѣмъ выгоднѣе вообще коксованіе. По этой причинѣ очень охотно употребляются для коксованія богатые углеродомъ каменные угли, стоящіе близко къ антрацитамъ, хотя они спекаются хуже, чѣмъ газовый и кузнечный уголь, менѣе богатые углеродомъ. Отъ спекаемости употребленнаго для коксованія угля зависятъ отчасти и свойства получаемаго кокса. Легко спекающіеся, богатые газами угли сильно вздуваются при нагрѣваніи, а потому получаемый коксъ очень пористъ, сравнительно легко раздавливается и склоненъ при сожиганіи давать окись углерода; угли, которые при нагрѣваніи выдѣляютъ меньше газовъ, вздуваются слабѣе, спекаются труднѣе, но даютъ коксъ болѣе плотный и крѣпкій, болѣе способный давать при сгораніи углекислоту. Коксъ такого рода въ большинствѣ случаевъ болѣе пригоденъ, чѣмъ первый.

Часто смѣшиваютъ нѣсколько сортовъ каменнаго угля, трудно спекающіеся и легко спекающіеся, которые предварительно подвергаютъ механической обработкѣ. Такимъ образомъ получаютъ матеріалъ болѣе пригодный для коксованія, чѣмъ каждый сортъ въ отдѣльности [2]).

---

[1]) Вотъ нѣкоторыя сочиненія объ механич. обработкѣ каменнаго угля: R. Lamprecht, Die Aufbereitung der Steinkohlen, Leipzig 1888; A. Burat, Epuration de la houille, criblage, triage et lavage, Paris 1881; Kreischer, Die Lührigsche Kohlenwäsche, Jahrbuch für das Berg- und Hüttenwesen in Königreiche Sachsen 1878, Seite 83, 1881, 1881, Seite 123; F. Simmersbach, Die Koksfabrication, Seite 22; Nimax, Ueber Anlage von Kohlenwäschen, „Stahl und Eisen" 1884, Seite 9.

[2]) На большихъ заводахъ для такого перемѣшиванія устраиваютъ особыя зданія снабженныя различными машинами, въ которыхъ уголь поднимается, перемѣшивается и сваливается въ расположенныя внизу вмѣстилища или вагоны. Изображеніе подобнаго устройства можно найти въ Bulletin de la societét de l'industrie minérale, tome V Табл. XVI.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

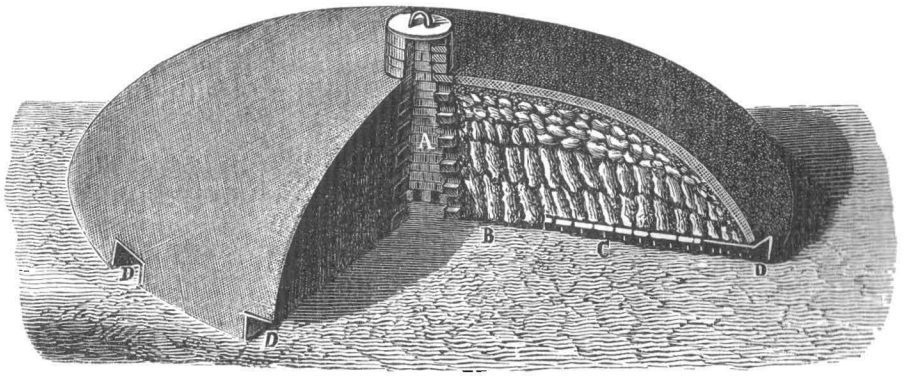
Выборъ способа коксованія долженъ зависѣть отъ свойства употребляемаго для коксованія каменнаго угля или смѣси различныхъ сортовъ каменнаго угля.

Коксованіе въ кучахъ.

Коксованіе въ кучахъ представляетъ собою древнѣйшій способъ полученія кокса, предложенный очевидно по аналогіи съ переугливаніемъ дерева. Оно не допускаетъ, конечно, примѣненія каменнаго угля въ видѣ мелкихъ кусковъ, т. е. механически обработаннаго, напротивъ, оно требуетъ примѣненія угля въ видѣ крупныхъ кусковъ. Спекающіеся угли также непригодны для этой цѣли, ибо при спеканіи массы прекращается доступъ воздуха внутрь кучи, тогда какъ это необходимо для самаго процесса.

Для самаго процесса коксованія въ кучахъ необходимо сжечь часть каменнаго угля точно такъ, какъ необходимо сжечь часть дерева при выжиганіи въ кучахъ древеснаго угля. По-

Рис. 2.



этому выходъ кокса не великъ. Это обстоятельство объясняетъ намъ, почему этотъ способъ примѣняется сравнительно рѣдко — за исключеніемъ Англіи и нѣкоторыхъ мѣстъ Верхней Силезіи — и то только тамъ, гдѣ имѣется дешевый, бѣдный золой уголь, добываемый въ видѣ большихъ кусковъ. Въ Верхней Силезіи (Königshütte, Borsigwerk и др.) такимъ способомъ коксуютъ богатые летучими тѣлами слабоспекающіеся угли, о которыхъ была рѣчь выше и получаютъ коксъ, годный для шахтныхъ печей, для которыхъ сырой, уголь, благодаря своему содержанію летучихъ тѣлъ, менѣе пригоденъ.

На рис. 2 изображена куча для коксованія каменнаго угля [1]).

Для полученія тяги, которая должна быть въ данномъ случаѣ сильнѣе, чѣмъ при древесномъ углѣ, въ виду болѣе

[1]) Изъ книги Kerl, Grundriss der allgemeinen Hüttenkunde, 2 Aufl, Seite 123.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

трудной воспламеняемости каменнаго угля и болѣе плотнаго складыванія кусковъ, въ срединѣ кучи устраиваютъ трубы съ вытяжными отверстіями. Сверху у трубы имѣется крышка, которую можно закрывать для прекращенія тяги. Вокругъ трубы уголь располагается такимъ образомъ, какъ это показано на рисункѣ: DD—каналы для зажиганія кучи продуха, ведущія отъ окружности кучи къ трубѣ. Вблизи трубы они складываются изъ крупныхъ кусковъ угля, тогда какъ ближе къ поверхности кучи ихъ дѣлаютъ изъ кирпича. Основаніе кучи сложено изъ крупныхъ кусковъ, на которыхъ располагаютъ средней величины куски угля. Верхняя часть кучи складывается изъ мелкаго угля, причемъ въ слоѣ послѣдняго устраиваютъ изъ кирпича нѣсколько горизонтальныхъ каналовъ, ведущихъ въ трубу. Снаружи вся куча покрывается коксовой мелочью. Такая куча бываетъ обыкновенно 1,5—2 метра высотою и вмѣщаетъ отъ 10 до 30 тоннъ каменнаго угля. Зажиганіе кучи производится черезъ продуха или-же черезъ трубу. Наконецъ кучу можно зажигать съ обоихъ концовъ сразу.

Выходъ кокса при коксованіи въ кучахъ равняется обыкновенно 60—65% вѣса каменнаго угля. Необходимо замѣтить, что здѣсь, какъ и вообще при всякомъ коксованіи, содержаніе золы въ углѣ остается почти безъ измѣненія такъ, что послѣдняя цѣликомъ переходитъ въ коксъ.

Поэтому, вообще говоря, при углѣ богатомъ золою, выходъ кокса будетъ больше, чѣмъ при углѣ бѣдномъ золою.

Кромѣ того при коксованіи въ кучахъ переугливаніе каменнаго угля никогда не бываетъ полнымъ. Эти обстоятельства объясняютъ намъ, почему выходъ кокса почти равняется или-же даже превосходитъ вѣсъ остатка при сухой перегонкѣ угольной массы, несмотря на то, что часть угля неизбѣжно сжигается.

Старыя коксовальныя печи.

Чѣмъ больше становилась потребность въ коксѣ, тѣмъ яснѣе становилась необходимость найти такой способъ коксованія, который бы не былъ связанъ подобно кучному способу съ примѣненіемъ не спекающагося крупнаго угля. Такимъ способомъ явилось коксованіе въ печахъ.

Среди различныхъ типовъ старинныхъ коксовальныхъ печей самой простой печью является печь извѣстная подъ названіемъ Шаумбургской, впервые построенная еще въ началѣ текущаго вѣка. Она открыта сверху и состоитъ изъ стѣнокъ представляющихъ какъ бы ограду лежачей кучи съ продолговатымъ основаніемъ.

Стѣнки эти способствуютъ лучшему сохраненію теплоты; притокъ же воздуха регулируется черезъ отверстія заклады-

НБ УДУНТ (ІПБТ)

ваемыя въ случаѣ надобности кирпичемъ. Шаумбургскія печи могутъ примѣняться и для коксованія мелкаго угля. Вообще однако онѣ примѣняются еще рѣже, чѣмъ кучи, съ которыми имѣютъ тотъ общій недостатокъ, что выходъ кокса въ нихъ сравнительно не великъ. Благодаря простотѣ устройства и дешевизнѣ этими печами пользуются и до сихъ поръ въ тѣхъ случаяхъ, когда нужно быстро устроить приспособленіе для полученія значительныхъ количествъ кокса[1]).

Другой типъ старинныхъ коксовальныхъ печей представляютъ булочныя печи, названныя въ Великобританіи, благодаря своей формѣ—печами ульевыми (bee-hiveoven).

Каждая изъ этихъ печей представляетъ замкнутое, перекрытое сверху сводомъ, пространство, съ круглой или продолговатой формой основанія. Внизу находятся однѣ или двѣ дверцы для разгрузки печи, наверху засыпное отверстіе и отверстіе для выхода газовъ. Печь накаливаютъ сначала, сжигая въ ней нѣкоторое количество угля. Затѣмъ, когда стѣнки печи раскалятся, ее нагружаютъ углемъ, который тотчасъ-же начинаетъ разлагаться. Черезъ каналы, идущіе внутри стѣнъ печи, вводятъ въ нее воздухъ надъ углемъ, что-бы сожигать образующіеся газы и этимъ поддерживать печь въ раскаленномъ состояніи. По окончаніи коксованія открываютъ дверцы печи и вытаскиваютъ клюшками изъ нея коксъ, послѣ чего раскаленная печь тотчасъ же снова нагружается углемъ. При этомъ однако невозможно избѣгнуть сгоранія части самаго кокса вмѣстѣ съ газами; это необходимо для полученія нужной температуры. Благодаря значительному горизонтальному сѣченію печи, нагрѣваніе ея бываетъ довольно неравномѣрное. Выпускать газы прямо изъ печи является неудобнымъ, такъ какъ они даютъ много дыма и непріятны для окрестности. Вслѣдствіе описанныхъ качествъ булочныя печи болѣе пригодны для хорошо спекающагося, коксующагося при низкой температурѣ угля, съ длиннымъ пламенемъ, чѣмъ для углей, болѣе богатыхъ углеродомъ, которые труднѣе спекаются и требуютъ для коксованія болѣе высокой температуры, чѣмъ та, какую можно получить въ этихъ печахъ. Булочныя печи стали примѣняться сравнительно рѣдко съ тѣхъ поръ, какъ научились коксовать угли послѣдняго рода, являющіеся безусловно выгоднѣйшими для полученія кокса. Чаще всего эти печи встрѣчаются въ Великобританіи, гдѣ существованіе ихъ оправдывается свойствами каменнаго угля, несмотря на сравнительно низкій выходъ и неравномѣрныя свойства получающагося кокса. Точно также ихъ можно встрѣтить и въ Верхней Силезіи, гдѣ легко спекающійся уголь добывается

[1]) Подобная Шаумбургская печь изображена въ книгѣ: B. Kerl. Grundriss der allgemeinen Hüttenkunde, 2. Auflage, Seite 124.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

въ большомъ количествѣ. Кое гдѣ они существуютъ и въ Вестфаліи [1]).

Въ печи помѣщается около 6 тоннъ угля; время потребное для его ококсованія три дня.

Новѣйшія коксовальныя печи.

Каменный уголь, болѣе богатый углеродомъ, дающій большій выходъ кокса и притомъ болѣе плотнаго, вообще хуже спекается. Поэтому для коксованія его необходимо подвергнуть болѣе сильному и равномѣрному нагрѣванію; было это чѣмъ возможно сдѣлать въ печахъ старинной конструкціи. Съ тѣхъ поръ, какъ обстоятельство это стало извѣстно, а вмѣстѣ съ тѣмъ выяснилось и значеніе подобныхъ углей для фабрикаціи кокса, было предложено много различныхъ системъ коксовальныхъ печей, которыя въ отличіе отъ описанныхъ выше можно назвать новѣйшими. Во всѣхъ этихъ печахъ перерабатываемый каменный уголь заключенъ въ сравнительно узкомъ пространствѣ, камерѣ, нагрѣваемой извнѣ подобно ретортѣ. Горючимъ матеріаломъ при этомъ служатъ выдѣляющіеся изъ самаго угля газы, которые проходятъ по каналамъ вокругъ камеръ. При раціональномъ устройствѣ печей, даже при коксованіи углей бѣдныхъ газомъ, остается обыкновенно извѣстный избытокъ теплоты, который можетъ быть употребляемъ для другихъ цѣлей (напр. отопленія котловъ).

Нагрѣваніе печей извнѣ является главнымъ отличіемъ этихъ печей отъ булочныхъ. Каждая отдѣльная печь имѣетъ форму пустотѣлой призмы съ вертикальною а чаще горизонтальною осью. Для того-же, что-бы при нагрѣваніи печи извнѣ имѣть внутри ея достаточно высокою и равномѣрную температуру, нужно чтобы ширина печи не была значительна. Она измѣняется въ предѣлахъ между 0,4 м. и до 1,00 метр. и бываетъ тѣмъ меньше, чѣмъ труднѣе спекается уголь и чѣмъ сильнѣе онъ долженъ быть нагрѣтъ. И наоборотъ каменный уголь легко спекающійся и выдѣляющій много газовъ, будучи подвергнутъ слишкомъ скорому и сильному нагрѣванію, сильно вздулся-бы въ печи и далъ бы малоплотный коксъ. Поэтому детальное устройство печи должно зависить отъ свойствъ коксуемаго каменнаго угля.

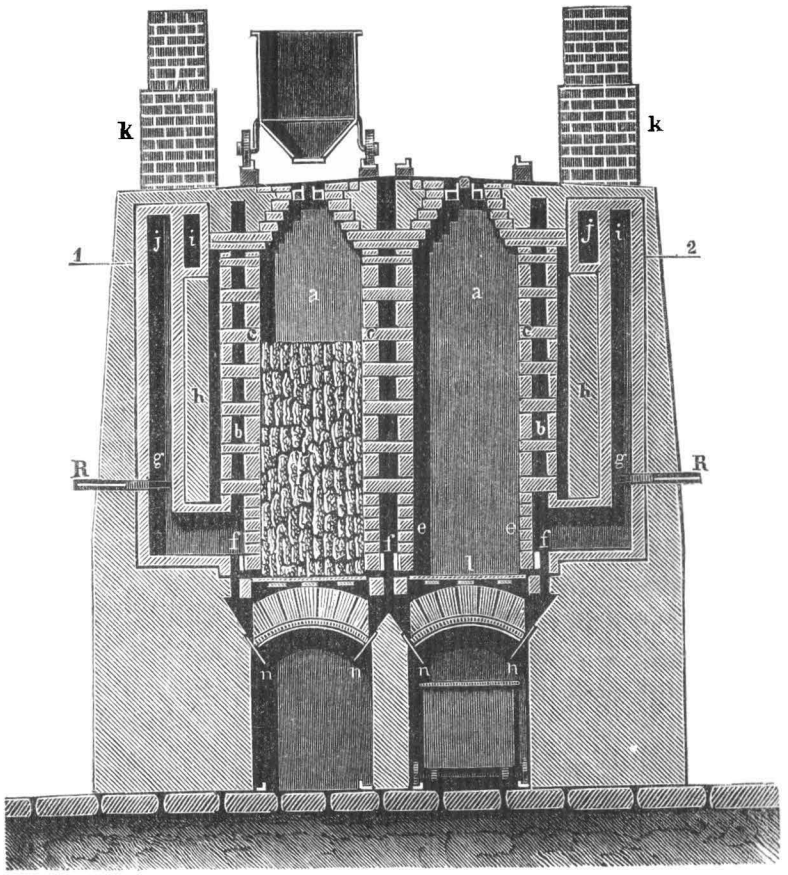
Смотря по устройству печи и свойствамъ угля, время потребное для коксованія угля колеблется отъ 24 до 60 часовъ, такъ какъ производительность каждой такой печи, благодаря ея малой вмѣстимости, довольно незначительна и обыкновенно

[1]) Изображеніе булочныхъ печей можно найти въ большинствѣ старинныхъ учебниковъ металлургіи, напр. у Percy-Knapp. Metallurgie Band. I. Seite 179—184. B. Kerl, Grundriss der allgemeinen Hüttenkunde Seite 126. Данныя относительно размѣровъ и результатовъ дѣйствія ихъ у Simmersbach. Die Koksfabrication 328.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

не превосходитъ 40 — 45 тоннъ въ мѣсяцъ, то приходится соединять большое число расположенныхъ рядомъ печей въ общую группу, называемую обыкновенно батареей. Печи эти, разъ они находятся въ раскаленномъ состояніи, дѣйствуютъ непрерывно, такъ какъ послѣ засыпи свѣжаго угля тотчасъ начинается его разложеніе и выдѣленіе горючихъ газовъ. Холодную-же печь надо предварительно нагрѣть прежде, чѣмъ

Рис. 3.



засыпать въ нее уголь. Выходъ кокса изъ этихъ печей значительно выше, чѣмъ въ описанныхъ старинныхъ. Это происходитъ отчасти потому, что самый уголь въ нихъ больше защищенъ отъ сгоранія, но главнымъ образомъ по той причинѣ, что остатокъ сухой перегонки углей, идущихъ на коксованіе, въ нихъ самъ по себѣ больше. Обыкновенный выходъ кокса равняется 70—73% вѣса употребленнаго каменнаго угля.

Изъ большаго числа ретортныхъ печей, вошедшихъ въ употребленіе, мы опишемъ ниже только нѣсколько, имѣя въ виду, что они могутъ служить прототипомъ цѣлой серіи

НВ УДУНТ (ІПБТ)

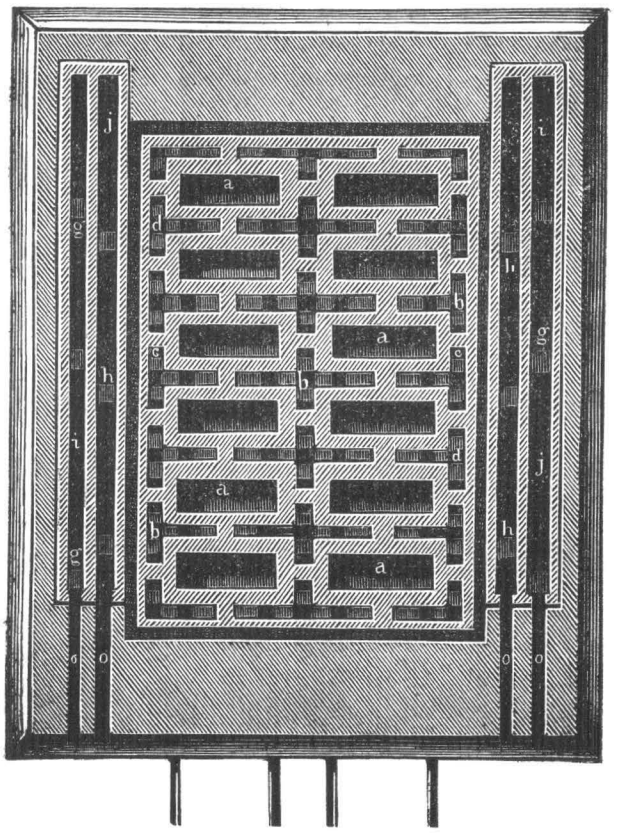
печей, или-же отличаются выгодными результатами дѣйствія. Свѣдѣнія, касающіеся другихъ печей, можно найдти въ спеціальной литературѣ этого предмета.

Коксовальная печь Аппольта.

Эта печь, впервые устроенная въ 1854 году и принадлежащая къ старѣйшимъ печамъ этой группы, можетъ служить представителемъ коксовыхъ печей съ вертикальною осью. Рисунокъ 3 и 4 поясняетъ ея устройство.

Двѣнадцать а иногда 18 печей или камеръ аа, прямоугольномъ сѣченіи, съуживающіяся немного къ верху, окружены общимъ кожухомъ изъ краснаго кирпича. Высота отдѣльной камеры, включая сюда верхнее ея горло, образованное 6-ю выступающими рядами кладки, равняется 5,00—5,25 метрамъ, ширина и длина основанія 0,43 × 1,26 м., сѣченіе печи ниже горла= 0,29×1,12 м. а сѣченіе самаго горла (квадратное) 0,29×0,29 м. Камеры тщательно складываются изъ огнеупорнаго кирпича, спеціально для этой цѣли отформованнаго и связываются для большей устойчивости между собою особыми кирпичами сс, идущими отъ одной камеры къ другой. Длинные стѣны камеръ покоются на желѣзныхъ балкахъ, которыя лежатъ концами въ кладкѣ изъ краснаго кирпича и кромѣ того поддерживаются каменными сводами. Такимъ образомъ подъ каждымъ изъ двухъ рядовъ камеръ получается ходъ, высотой около 1,8 м., идущій черезъ всю постройку, изъ котораго имѣется доступъ къ камерамъ для выгрузки изъ нихъ кокса. Засыпное отверстіе каждой камеры закрывается крышкой,

Рис. 4.



НБ УДУНТ (ІПБТ)

вымазанной изнутри огнеупорной массой. Подъ камеръ чугунный, защищается отъ сгоранія слоемъ мелкаго кокса, насыпаемаго въ камеру въ количествѣ 125—130 клгрм. При опусканіи пода коксъ высыпается изъ камеръ въ подставленные вагончики. Уклонъ боковыхъ стѣнъ камеръ способствуетъ вываливанію изъ нихъ кокса, а чугунныя доски *пп* направляютъ коксъ непосредственно въ вагончики.

Образующіеся въ камерахъ газы выходятъ изъ нихъ черезъ щели *ее*, расположенныя обыкновенно въ 2 ряда и находящіеся на небольшой высотѣ 0,6 м. надъ подомъ. Такимъ образомъ прежде, чѣмъ покинуть камеру, газы должны пройти черезъ весь слой угля. Обыкновенно въ каждой камерѣ бываетъ 18 отверстій, расположенныхъ преимущественно на обѣихъ длинныхъ сторонахъ ея (на каждой широкой сторонѣ — 7 отверстій, на каждой изъ короткихъ — 2). Въ верхней части камеръ, на разстояніи 1,5 м. отъ засыпнаго отверстія, находится также нѣсколько отверстій, которыя служатъ только для пуска въ ходъ печи и закрываются потомъ камнями.

Вышедшіе изъ камеръ газы соединяются въ каналахъ, идущихъ между—и вокругъ камеръ. Здѣсь они смѣшиваются съ атмосфернымъ воздухомъ, проводимымъ частью черезъ отверстія *ff*, а частью черезъ отверстія въ красной кирпичной кладкѣ, и сожигаются. Затѣмъ продукты горѣнія, черезъ каналы *g* (по 3 въ каждой изъ длинныхъ сторонъ печи) и *h*, поступаютъ въ горизонтальные каналы *j* и *i* и улетаютъ въ трубы *kk*. Заслонкой R можно регулировать тягу въ каналахъ.

Какъ у всѣхъ коксовальныхъ печей, работа въ печи Аппольта начинается нагрѣваніемъ ея до каленія; послѣ этого печь наполняется каменнымъ углемъ, и затѣмъ работа можетъ идти безостановочно, если наполнять печь снова, тотчасъ послѣ ея разгрузки. Въ каждую камеру заваливается 1200—1400 клгрм. угля.

Преимущество печей Аппольта состоитъ въ значительной величинѣ нагрѣвательной поверхности по отношенію къ объему камеры; замѣтимъ еще что, за исключеніемъ верхней и нижней частей, каждая камера цѣликомъ обхватывается снаружи пламенемъ. Дюрре вычислилъ, что на каждый куб. метръ внутренняго объема камеры приходится отъ 6 до 7 квадр. метровъ поверхности нагрѣва. По Керпели поверхность нагрѣва на каждыя 100 клгрм. садки болѣе 1 кв. метр. Во всякомъ случаѣ у печей Аппольта отношеніе поверхности нагрѣва къ объему почти вдвое больше, чѣмъ у всѣхъ коксовальныхъ печей съ горизонтальной осью. Столбъ каменнаго угля, за исключеніемъ двухъ узкихъ поверхностей камеры, плотно прилегаетъ къ стѣнамъ, что не только спо-

НБ УДУНТ (ІПБТ)

собствуетъ передачѣ теплоты, но и ограничиваетъ по возможности сгораніе угля. Вслѣдствіе этого разложеніе идетъ быстро, и выходъ кокса сравнительно великъ. Но, на ряду съ этими неоспоримыми преимуществами, у печей Аппольта имѣются и значительные недостатки. Сюда относятся прежде всего большая стоимость ихъ. По вычисленію Жильона стоимость эта по отношенію къ производительности въ $^5/_3$ до 2 разъ больше чѣмъ для всѣхъ печей съ лежачею осью [1]) Кромѣ того ремонтъ печи затруднителенъ и особенно невыгодно то обстоятельство, что въ случаѣ необходимости произвести ремонтъ нѣсколькихъ камеръ нужно останавливать всю печь.

Въ новѣйшее время были сдѣланы различныя измѣненія въ первоначальной формѣ печей Аппольта. К. Гедеке (C. Goedecke) предложилъ строить вмѣсто двухъ рядовъ камеръ—четыре. Вмѣсто отдѣльныхъ кирпичей, связывающихъ стѣнки камеръ въ печи Аппольта, онъ устроилъ сплошныя вертикальныя кирпичныя перегородки точно также способствующія устойчивости камеръ, но образующія при этомъ вертикальные каналы, въ которыхъ газы должны двигаться вверхъ и внизъ прежде, чѣмъ попасть въ общіе дымовые ходы. Каждыя четыре камеры выпускаютъ газы въ одинъ общій каналъ. Щели для выхода изъ камеръ расположены въ нѣкоторыхъ печахъ этого рода по всей высотѣ камеръ. Другое усовершенствованіе печей стараго устройства состоитъ въ примѣненіи чугунныхъ стоекъ и балокъ для поддержки всего зданія, вмѣсто каменныхъ устоевъ: при такомъ устройствѣ пространство подъ камерами просторнѣе и доступнѣе, а поэтому и разгрузка печи удобнѣе [2]).

К. Пальмъ также старался улучшить нагрѣваніе камеръ печей Аппольта. Съ этою цѣлью онъ устроилъ между камерами каменныя перегородки, которыя въ отличіе отъ печи Гедеке расположены горизонтально другъ надъ другомъ. Газы движутся взадъ и впередъ, постепенно поднимаясь, и затѣмъ изъ высшаго горизонтальнаго канала поступаютъ въ дымовую трубу [3]).

Бауеръ наконецъ вовсе уничтожилъ неудобную нижнюю часть печи, придалъ нижней части камеръ закругленную форму и перенесъ разгрузочное отверстіе на переднюю сторону печи [4]).

Въ общемъ печи съ вертикальною осью встрѣчаются гораздо рѣже чѣмъ съ горизонтальной.

---

[1]) Стоимость печи съ 18 камерами—30000—40000 марокъ

[2]) Подобная печь изображена у Dürre. Die Anlage und Betrieb der Eisentötten. Band I. E. 2 H. ff.; см. также Patentschrift № 9853 и 7825.

[3]) D. R. P. № 10934.

[4]) Glaser: Annalen für Gewerbe und Bauwesen Band XXI, Seite 93.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Рис. 5.

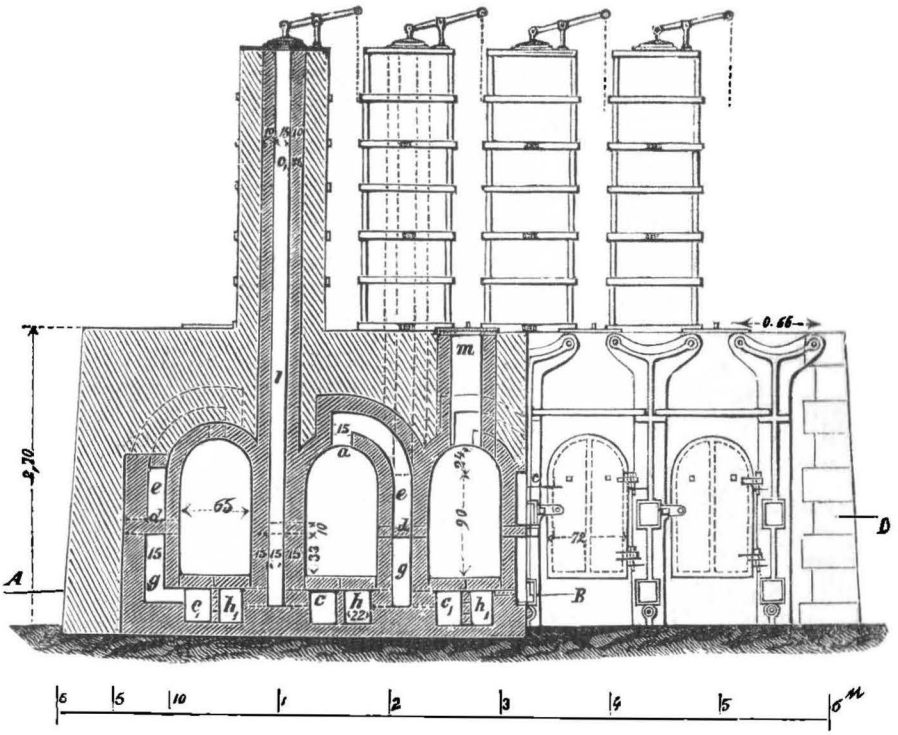
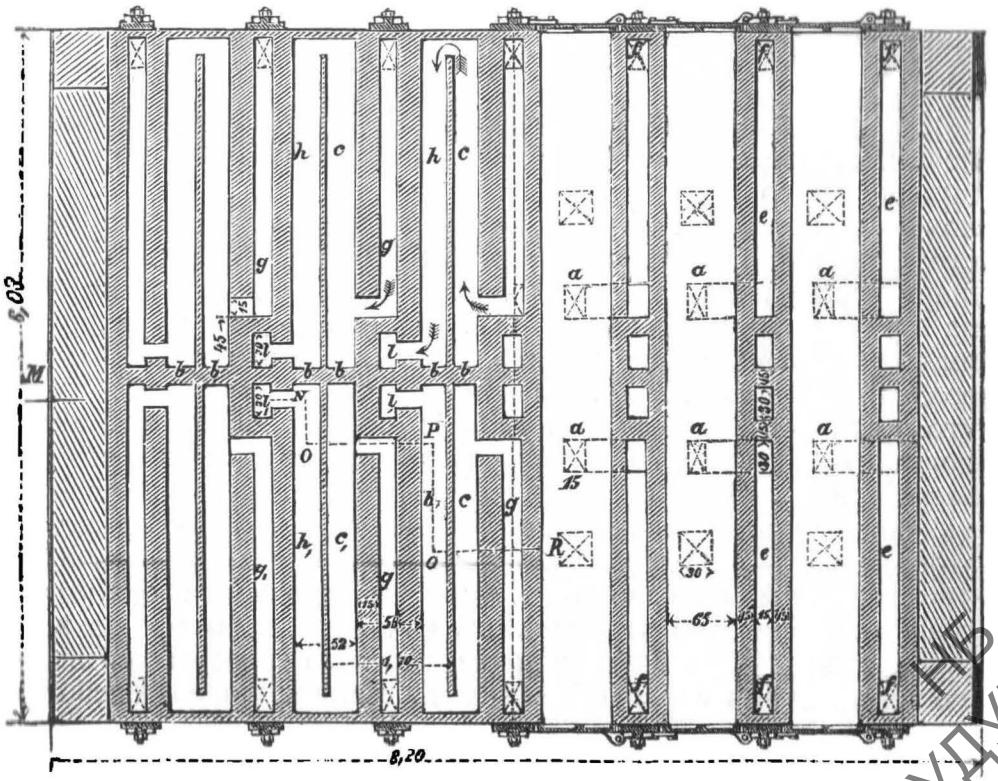


Рис. 6.



НБ УДУНТ (ІПБТ)

Коксовальная печь Смэ.

Печь эта, изображенная на рис. 5 и 6, принадлежитъ къ типу печей съ горизонтальною осью. Впервые она была устроена еще въ пятидесятыхъ годахъ нашего столѣтія и существуетъ еще до сихъ поръ на нѣсколькихъ заводахъ бассейновъ Саврбрюкенскаго и Рурскаго [1]). Газы поступаютъ черезъ два отверстія *aa* въ сводѣ печи въ каналы *ee*, раздѣленные другъ отъ друга вертикальными стѣнами *bb* и находящіеся на правой сторонѣ каждой печи. Каждая струя газа проходитъ затѣмъ надъ горизонтальной перегородкой *d* отъ средины печи къ ея концамъ и черезъ отверстія *ff* въ каналы *g*, по которымъ движется въ обратномъ направленіи. Затѣмъ каналами *cc*, *hh* газы поступаютъ въ дымовую трубу, устроенную посрединѣ длины печи и раздѣленную на двѣ половины вертикальной перегородкой. У каждой печи, слѣдовательно, имѣется, какъ это видно на рис. 5, своя труба. Буква *m* на рис. 5, обозначаетъ одно изъ засыпныхъ отверстій. Такихъ засыпныхъ отверстій у каждой печи два на соотвѣтственномъ разстояніи другъ отъ друга (на рис. 6 они обозначены пунктиромъ). Длина этихъ печей—6—7 метровъ, высота 1,1—1,2 м., ширина—0,65 м. Въ печи помѣщается около 2500 клгрм. каменнаго угля, коксованіе котораго продолжается 24 часа. Стоимость постройки каждой отдѣльной печи зависитъ отъ размѣровъ всего устройства, а также отъ мѣстныхъ условій и составляетъ б. ч. отъ 1000 до 2000 марокъ.

На рис. 5 видны также скрѣпленіе и устройство дверецъ печи. Для предохраненія дверецъ печи отъ дѣйствія жара они выложены со внутренней стороны огнеупорнымъ матеріаломъ, для лучшаго удержанія котораго снабжены на этой сторонѣ выступающимъ ребромъ. Дверцы вращаются на шарнирахъ и запираются щеколдами. Щели замазываются на время работы глиною. Въ верхней половинѣ дверецъ имѣются два отверстія для наблюденія, а также и для впуска воздуха въ печь (надъ углемъ). Послѣднее объясняется тѣмъ, что количество и составъ газовъ, образующихся въ печи, могутъ быть весьма различны, а этими то газами и нагрѣвается печь. Чѣмъ большее количество газовъ поступаетъ въ каналы, тѣмъ меньше воздуха будетъ всосано. Вслѣдствіе этого можетъ случиться, что газы будутъ улетать изъ печи не сожженными, мало того, можетъ произойти отложеніе графито-образнаго углерода въ каналахъ и засореніе ихъ. Впуская-же воздухъ въ камеры черезъ отверстія въ дверцахъ, въ случаѣ сильнаго выдѣленія газовъ, можно ослабить

[1]) Изъ A. v. Kerpely, Anlage und Einrichtung der Eisenhütten.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

указанное выше неудобство, хотя и не вполнѣ уничтожить его[1]).

Коксовальная печь Гальди.

И въ этой печи газы движутся сначала по горизонтальному направленію между двумя сосѣдними камерами. Вертикальной перегородки печи Смэ здѣсь вовсе нѣтъ, но подобно тому какъ въ этой печи, и тутъ боковой каналъ дѣлится горизонтальной перегородкой на двѣ части: верхнюю и нижнюю. Газы поступаютъ въ верхнюю часть канала черезъ 12 отверстій, расположенныхъ довольно равномѣрно по всей длинѣ печи, затѣмъ движутся къ одному концу печи и поступаютъ въ нижнюю часть канала, подъ горизонтальною перегородкою, пройдя которую въ обратномъ направленіи уходятъ подъ подъ печи. Здѣсь они снова проходятъ по двумъ каналамъ и поступаютъ въ общій главный каналъ, расположенный подъ землею.

Отсутствіе вертикальной перегородки упрощаетъ конструкцію печи, но уменьшаетъ устойчивость стѣнъ, вслѣдствіе чего ихъ необходимо складывать изъ крупнаго кирпича толщиною въ 160 мм. Ширина печи довольно значительна=0,8—1 м., процессъ длится 48 часовъ. Печи эти, вообще нѣсколько устарѣлыя, непригодны [2]) для полученія плотнаго кокса, изъ тощихъ каменныхъ углей.

Коксовальная печь Франсуа-Рекерота.

(Francais-Rexcrot). Печь эта представляетъ собою первообразъ такихъ печей, у которыхъ каналы между камерами идутъ не горизонтально, а вертикально. Боковыя стѣнки камеръ получаютъ вслѣдствіе перегородокъ между каналами большую устойчивость, и могутъ быть сдѣланы изъ болѣе тонкаго кирпича, чѣмъ при печахъ Смэ и Гальди. Этимъ облегчается нагрѣваніе камеръ. Газы поступаютъ черезъ 14 боковыхъ отверстій во столько-же вертикальныхъ параллельныхъ каналовъ, раздѣленныхъ тонкими перегородками. Отсюда они непосредственно идутъ подъ лещадь печи, гдѣ проходятъ два раза по двумъ взаимно противоположнымъ направленіямъ и выходятъ въ общій подземный дымовой каналъ. Печъ Франсуа были первоначально назначены для углей, дающихъ много газовъ но хорошо спекающихся, въ виду чего

[1]) Болѣе благопріятные результаты можно получить, если до поступленія газовъ въ каналы соединить газы нѣсколькихъ камеръ, нагруженныхъ въ различное время. Въ новѣйшихъ коксовальныхъ печахъ, особенно въ тѣхъ, которыя служатъ для пользованія побочными продуктами и которыя будутъ описаны ниже, это всегда и дѣлается.

[2]) Печь Гальди изображена между проч. въ „Eisen und Stahl 1887. № 7. Табл. I.

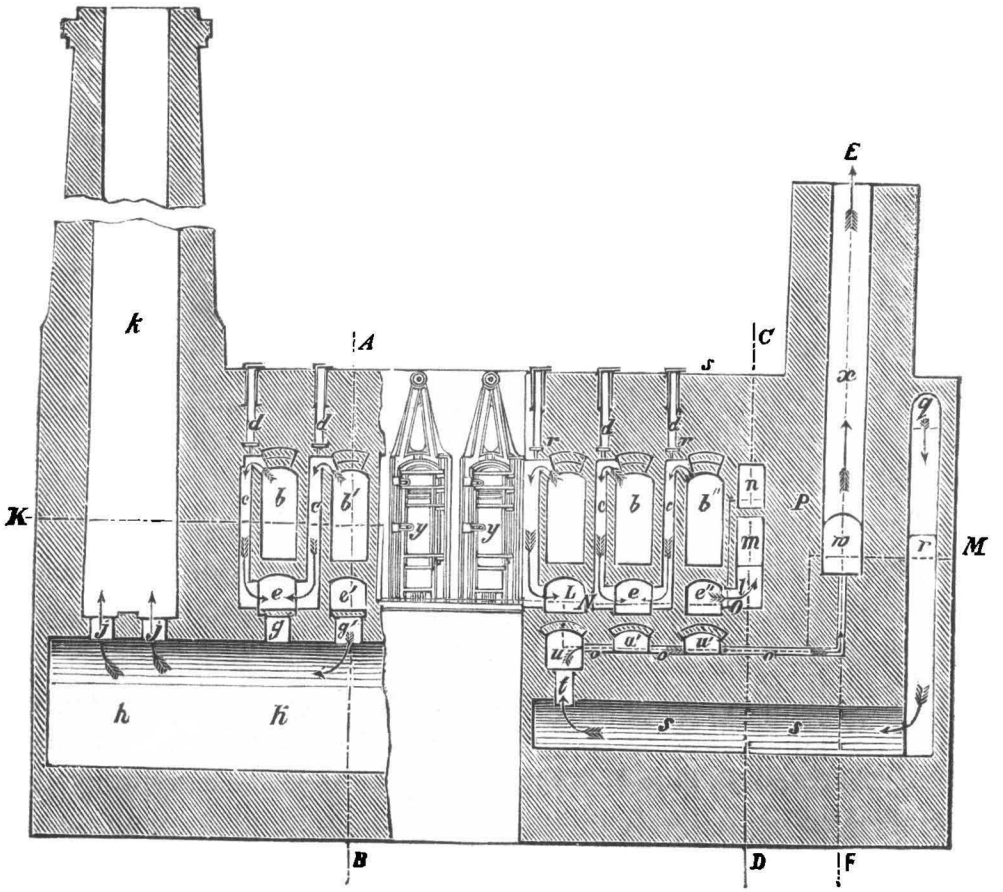
НБ УДУНТ (ІПБТ)

ширина ихъ принята = 0,9 м.; процессъ длился 48 часовъ. Впослѣдствіи подобныя печи были построены для углей менѣе хорошо спекающихся. Ширина печи была уменьшена до 0,6 м., и процессъ длился всего 24 часа [1]).

Коксовальная печь Коппэ (Соррее).

Печь Коппэ можно разсматривать какъ улучшенную и предназначенную для коксованія тощихъ углей печь Фран-

Рис. 7.



суа. Впервые она была устроена въ началѣ шестидесятыхъ годовъ, а получила сильное распространеніе на желѣзодѣлательныхъ заводахъ и каменноугольныхъ копяхъ въ началѣ семидесятыхъ годовъ. Теперь въ Германіи, Франціи и Бельгіи она представляетъ наиболѣе распространенный типъ коксовальныхъ печей.

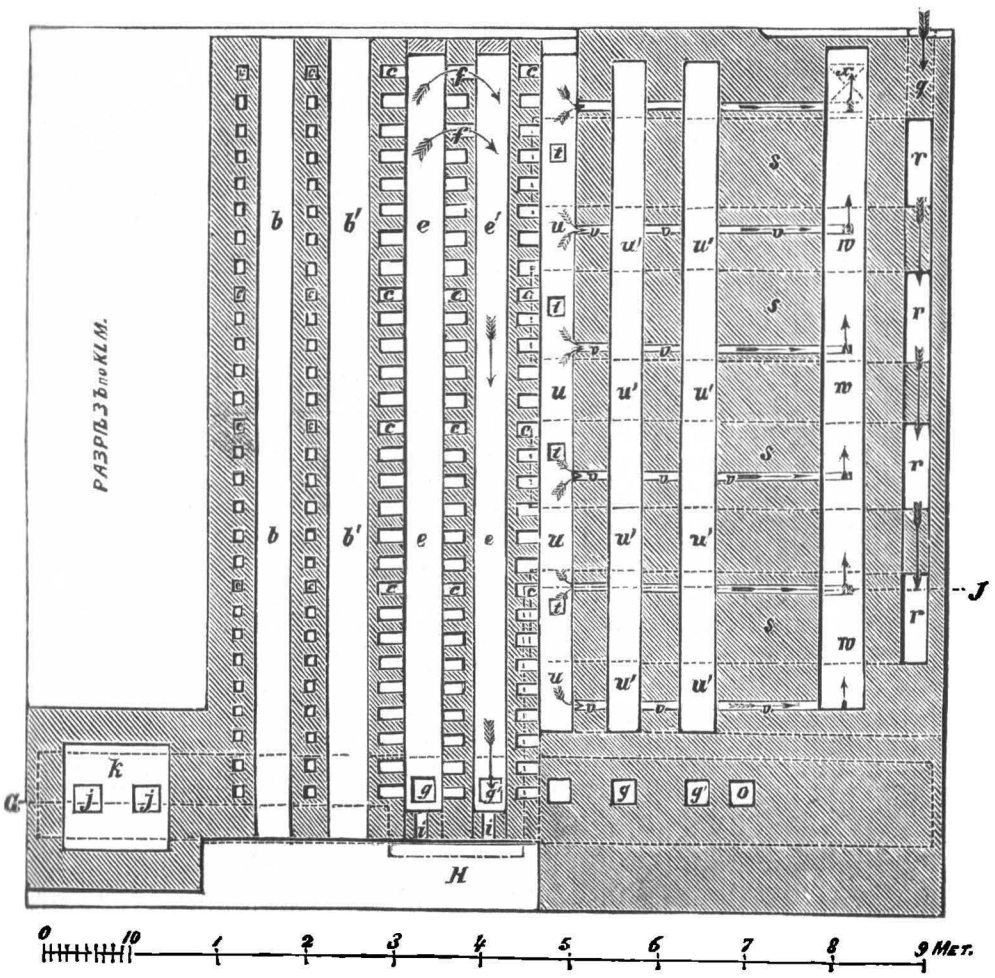
Печи Коппэ, построенныя въ различное время, отличаются, правда, другъ отъ друга въ частностяхъ въ силу тѣхъ из-

[1]) Изображеніе можно найти въ Stahl und Eisen 1883. № 7. Табл. 1.

РБ УДУНТ (ПБТ)

мѣненій, которыя сдѣланы благодаря указаніямъ опыта. Однако общее устройство ихъ приблизительно одинаково и сходно съ устройствомъ печей, поставленныхъ на заводѣ Ebb-Vale, каковыя изображены на рис. 7—9. Газы изъ печей поступаютъ черезъ большое число отверстій (28—30), расположенныхъ по одной сторонѣ печи, въ вертикальные каналы *c. c.* а отсюда въ широкій каналъ *e.* подъ подомъ

Рис. 8.

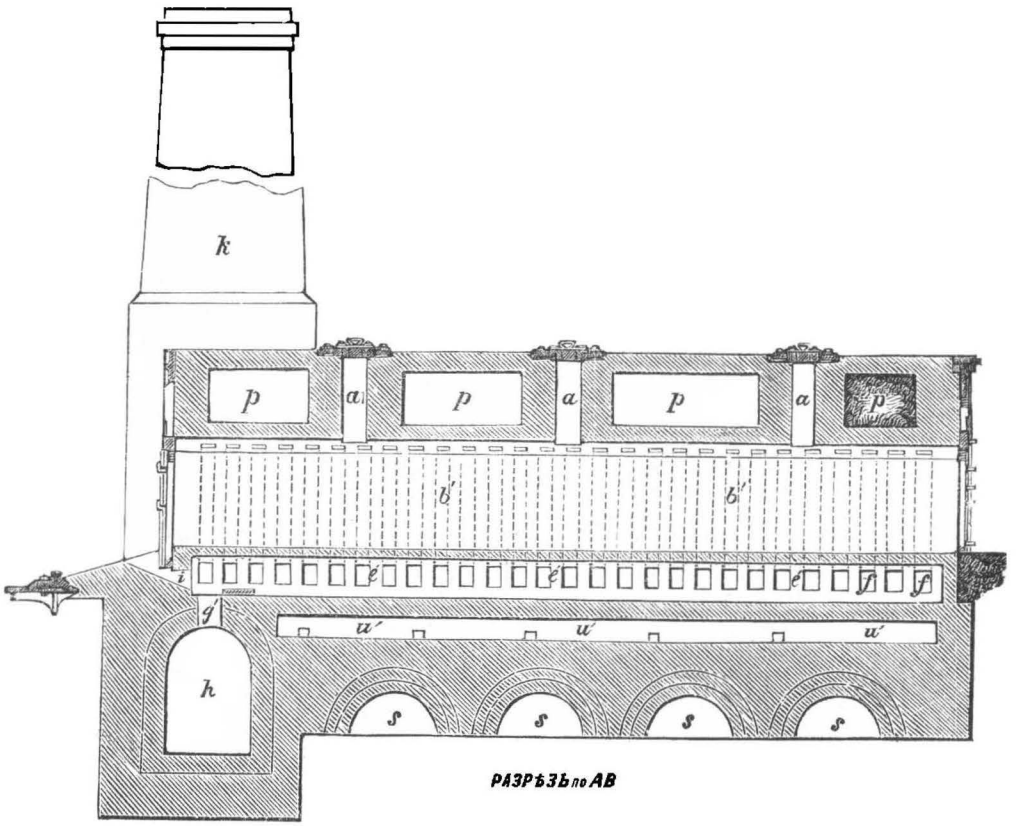


печи. Здѣсь они соединяются съ газами изъ сосѣдней печи b, нагрѣваютъ подъ первой печи, затѣмъ поступаютъ подъ подъ второй и уходятъ черезъ отверстіе g_1, (которое можно закрывать и открывать черезъ отверстія *i*) въ общій каналъ *h*; откуда черезъ щели *jj* идутъ въ общую дымовую трубу *k* (или иногда еще подъ паровой котелъ). Отверстіе g въ каналѣ *e* подъ первой печью обыкновенно закрыто кирпичемъ, положеннымъ черезъ отверстіе *i* и открывается лишь тогда, когда вслѣдствіе случайныхъ неполадокъ въ ходѣ печи b_1 газы не

должны идти подъ эту печь. Само собой разумѣется, что въ послѣднемъ случаѣ соединительные каналы *ff* должны быть закрыты. Соединеніемъ газовъ двухъ печей устраняется, по крайней мѣрѣ отчасти, неудобства проистекающія отъ неравномѣрнаго образованіи газовъ въ одной печи, о чемъ подробно было сказано выше.

Воздухъ для сожиганія газовъ поступаетъ черезъ отдѣльныя вертикальныя трубы *d d*, снабженныя задвижками, сна-

Рис. 9.



РАЗРѢЗЪ по AB

чала въ горизонтальные каналы, идущіе вдоль печи надъ вертикальными каналами, въ которыхъ происходитъ горѣніе. Здѣсь воздухъ подогрѣвается и проводится затѣмъ черезъ особыя отверстія къ газамъ, выходящимъ изъ печи.

Вертикальное расположеніе газовыхъ каналовъ и раздѣляющихъ ихъ перегородокъ, а также хорошо придуманная форма огнеупорныхъ кирпичей для печи Коппэ, придаютъ ей большую устойчивость, дающую возможность дѣлать стѣнки между самою печью и каналами весьма тонкими (иногда всего въ 90 м.м.), не подвергая печь опасности раздаться подъ давленіемъ вздувающагося угля.

Малая толщина стѣнъ въ связи съ особенностями устройства газопроводныхъ каналовъ, именно малою длиною ка-

НБ УДУНТ (ІПБТ)

наловъ и соединеніемъ газовъ подъ печью, облегчаютъ полученіе высокихъ температуръ, что именно и дѣлаетъ печь Коппэ удобною для коксованія тощихъ углей. Съ другой стороны сильное нагрѣваніе нижней части печи дѣлаетъ возможнымъ порчу фундамента ея, если не принять противъ этого особыхъ мѣръ. Съ этою цѣлью въ кладкѣ основанія печи устраивается цѣлая сѣть каналовъ, черезъ которыя проходитъ воздухъ и охлаждаетъ кладку. Черезъ два отверстія *q* на концахъ группы печей воздухъ поступаетъ въ вертикальные каналы *a*, изъ нихъ въ горизонтальные каналы *ss*, простирающіеся до середины печи. Затѣмъ короткими каналами tt воздухъ идетъ въ собственно охладительные каналы, расположенные надъ ходами, гдѣ происходитъ горѣніе газовъ. Изъ перваго такого канала *u* воздухъ переходитъ постепенно въ u_1 n_1 и, наконецъ, уходитъ общимъ каналомъ *w* въ короткую трубу *x*.

Для достаточнаго нагрѣванія послѣдней или крайней (справа) печи газы должны проходить и вдоль правой ея стѣны. Какъ видно на рисункѣ, газы, нагрѣвъ подъ ее, какъ у всѣхъ другихъ печей, поступаютъ черезъ щели *II* въ горизонтальные каналы *mn*, и отсюда черезъ *o* въ общій каналъ *h*, ведущій въ трубу.

Для болѣе легкой и безопасной (по отношеніи къ порчѣ стѣнокъ) разгрузки камеръ стѣнки ихъ устраиваются не совершенно параллельными, но расходящимися по направленіи къ мѣсту выгрузки кокса. Въ изображенной печи ширина каждой камеры на одномъ концѣ 430, а на другомъ 480 мм.

Для уменьшенія потери теплоты черезъ лучеиспусканіе, печь покрыта слоемъ дурныхъ проводниковъ тепла толщиною въ 0,5—0,6 м., который удерживается на мѣстѣ стѣнками изъ простаго кирпича. Для наполненія каждой камеры служатъ три засыпныхъ отверстія, *a*, закрываемыя, какъ всегда, крышками.

Дверцы печи состоятъ изъ двухъ половинъ. Верхняя половинка высотою около 0,3 м. открывается при выравниваніи засыпаннаго угля, нижняя при разгрузкѣ камеръ. Впрочемъ устройство дверецъ не всегда одинаково. Иногда онѣ устраиваются подъемными.

Длина печи Коппэ — 9 м., высота (въ случаѣ продолжительности процесса въ 24 часа)—1—1,2 м., ширина 0,4—0,5 м. Если процессъ длится 48 часовъ, то ширина печи дѣлается= = 0,6 м., высота=1,7 м. Она длиннѣе и уже, чѣмъ прежнія печи съ горизонтальною осью.

Стоимость каждой камеры около 2500 марокъ.

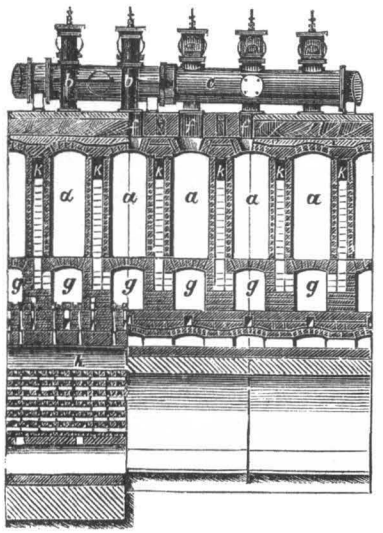
НБ УДУНТ (ІПБТ)

Пользованіе побочными продуктами, получающимися при коксованіи каменнаго угля.

Хотя издавна дѣлались предложенія и опыты утилизаціи побочныхъ продуктовъ коксованія каменнаго угля, улетающихъ вмѣстѣ съ газами, главнѣйше смолы и амміака, но лишь за послѣднее десятилѣтіе на это обстоятельство обращено было серьезное вниманіе, какого оно по справедливости заслуживало. Вычисленія показали, что пользованіе побочными продуктами коксованія на однихъ только англійскихъ заводахъ, расходующихъ ежегодно около 7 милліоновъ тоннъ кокса, дало бы сбереженіе въ 27 милліоновъ марокъ.

Пользованіе побочными продуктами при коксованіи зависитъ, конечно, и отъ свойствъ коксуемаго угля. Чѣмъ богаче уголь газами, тѣмъ больше получится этихъ продуктовъ, тѣмъ выгоднѣе, слѣдовательно, будетъ устройство приборовъ для ихъ улавливанія, хотя-бы и довольно дорогихъ. Впервые подобныя устройства въ большихъ размѣрахъ были примѣнены г-номъ Carvés во Франціи, въ 1867 году, на заводѣ Бессежъ (Bessége) и 1878 въ заводѣ Тернуаръ (Terrenoire). Въ Германіи производство это впервые было введено въ 1882 году; но съ тѣхъ поръ число фабрикъ, занимающихся полученіемъ побочныхъ продуктовъ коксованія значительно выросло.

Рис. 10.

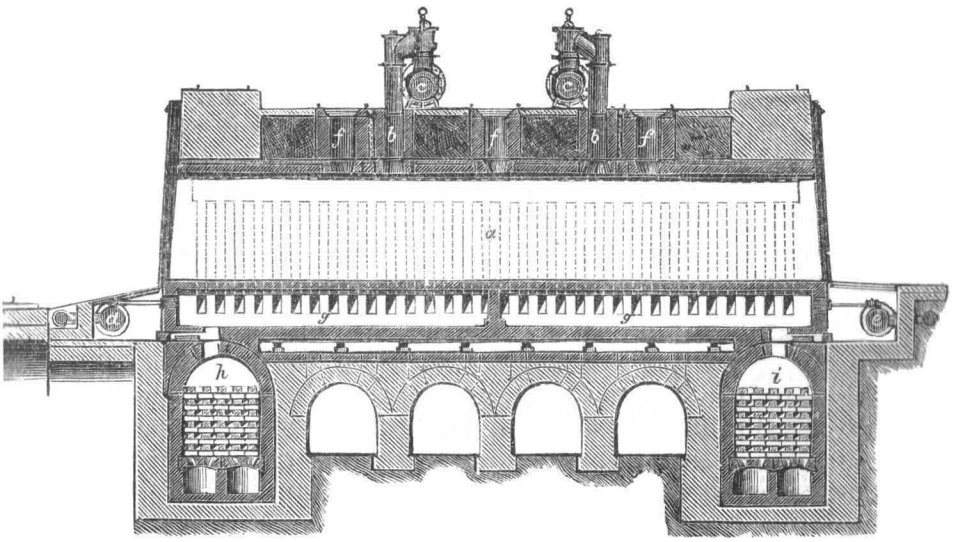


Во всѣхъ коксовальныхъ печахъ, устроенныхъ съ подобною цѣлью, получающіеся газы высасываютъ раньше, чѣмъ они поступятъ въ каналы печи, гдѣ они сжигаются. Затѣмъ они очищаются въ особенномъ помѣщеніи отъ содержащихся въ нихъ смолы и амміака, послѣ чего поступаютъ обратно въ печь, которая ими и отапливается. Приборы для улавливанія побочныхъ продуктовъ коксованія можно устроить какъ при стоячихъ печахъ (Аппгольта), такъ и при лежачихъ, но послѣднія и въ этомъ случаѣ примѣняются гораздо чаще. Одна изъ хорошихъ, испытанныхъ печей этого рода (коксовальная печь Гоффман-Отто) изображена на рис. 10 и 11 [1]). Изъ коксовальнаго пространства *a* съ тремя засыпными отверстіями *f* газы поступаютъ черезъ каналы *bb* (ихъ два въ каждой камерѣ) и подтрубки въ трубы *c c*, идущія надъ всѣмъ рядомъ печей; въ трубахъ этихъ собираются газы изъ всѣхъ камеръ. Въ каждомъ подтрубкѣ, какъ это видно на рис. 11, имѣется клапанъ посредствомъ котораго въ

НБ УДУНТ (ІПБТ)

любой моментъ можно разобщить любую камеру съ трубой *c*. Изъ трубы газы высасываются вентиляторомъ и по трубамъ отводятся въ зданіе, гдѣ они охлаждаются и очищаются. Послѣ этого они направляются къ печамъ и поступаютъ поперемѣнно черезъ нѣкоторые промежутки времени, или слѣва черезъ распредѣлительную трубу *d*, или справа черезъ такую-же трубу *e* въ каналы *g*, проходящіе подъ печами (рис. 11). Притокъ газа въ эти каналы регулируется кранами въ маленькихъ подтрубкахъ, соединяющихъ упомянутыя распредѣлительныя трубы съ каналами *g*. Каждый такой каналъ раздѣленъ, какъ это видно на рис. 11, по серединѣ на двѣ равныхъ половины такъ, что газы поступаютъ всегда только въ одну половину. Сожиганіе газовъ про-

Рис. 11.



изводится воздухомъ, вдуваемымъ въ каналы *g*, но предварительно подогрѣтымъ въ камерѣ *h* или *i* какъ это будетъ описано ниже. Горящіе газы подымаются изъ канала *g* по цѣлой серіи вертикальныхъ канальчиковъ (на рис. 10 они видны въ разрѣзѣ, а на рис. 11 показаны пунктиромъ), проходящихъ между каждыми двумя смежными печами. Затѣмъ газы собираются въ горизонтальныхъ каналахъ *k*, идущихъ по всей длинѣ печи и черезъ такіе же вертикальные канальчики поступаютъ во вторую половину канала *g*. Пройдя и нагрѣвъ затѣмъ камеру *h* или *i* они улетаютъ въ трубу. Камеры *h* и *i* представляютъ собою длинные каналы, идущіе подъ всѣми печами образующими одну группу, перпендикулярно къ длиннымъ стѣнкамъ коксовальныхъ камеръ. Они наполнены огнеупорными кирпичами, сложенными въ клѣтку, представляютъ горячимъ продуктамъ горѣнія весьма большую поверхность.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Поэтому они могутъ принять отъ газовъ значительную долю заключающейся въ нихъ теплоты. Онѣ, стало быть, играютъ роль собирателей теплоты; одинъ изъ нихъ воспринимаетъ теплоту, а другой въ то-же время отдаетъ поглощенную имъ теплоту притекающему въ него воздуху, назначенному для сожиганія газовъ, нагрѣвая его довольно сильно, примѣрно до температуры—около 1000° Ц. [1]). Въ каналахъ, соединяющихъ эти камеры *h* и *i* съ воздуходувной машиной и трубой, устроены клапаны (перекидные), посредствомъ которыхъ возможно поперемѣнно нагрѣвать одну камеру удаляющимися изъ печей газами и пользоваться теплотой другой камеры, для нагрѣванія воздуха. Клапаны перекидываются приблизительно черезъ часъ; нагрѣтая за это время камера служитъ теперь для нагрѣванія воздуха, другая-же снова раскаляется. Съ измѣненіемъ теченія воздуха перемѣняется и направленіе тока газовъ такъ, что газъ и воздухъ всегда поступаютъ въ одну и ту-же половину канала *g*. Температура горѣнія, получаемая при такомъ устройствѣ печи, весьма высока, почему и является возможность нагрѣвать камеры сравнительно малымъ количествомъ газовъ.

Способы полученія смолы и амміака не вездѣ одинаковы. Во всякомъ случаѣ газы сначала охлаждаются. Это дѣлается такимъ образомъ, что ихъ проводятъ черезъ конденсаторы, въ которыхъ расположены въ большомъ числѣ трубы, по которымъ протекаетъ холодная вода. Смола и амміакъ сгущаются. Раздѣленіе этихъ двухъ продуктовъ производится простымъ отстаиваніемъ ихъ въ чанахъ, благодаря разности ихъ удѣльныхъ вѣсовъ. На пути изъ конденсаторовъ газы проходятъ обыкновенно черезъ вентиляторъ, который является двигателемъ, высасывая ихъ изъ печи и заставляя поступать въ топочные каналы печи [2]). Такъ какъ, несмотря на охлажденіе, газы все еще содержатъ въ себѣ амміакъ, то они поступаютъ въ промыватели, гдѣ вслѣдствіе продолжительнаго соприкосновенія съ водою они вполнѣ освобождаются отъ содержащагося въ нихъ амміака. Промыватели устроены такимъ образомъ, что вода, воспринимающая амміакъ и газъ двигаются въ противоположныхъ направленіяхъ, причемъ кромѣ того вода раздѣлена на множество мелкихъ струекъ или капель. Послѣдняго можно, напримѣръ, достигнуть заставляя воду течь черезъ продырявленные желѣзные листы, расположенные въ особомъ помѣщеніи другъ надъ другомъ. Во всякомъ случаѣ промыватели соединяются между собою

[1]) Устройство этихъ собирателей теплоты совершенно то-же, что при печахъ Сименса, о которыхъ подробно будетъ говориться въ слѣдующей главѣ.

[2]) Расположеніе вентилятора не всегда одинаково. Въ старинныхъ фабрикахъ онъ находился сзади промывателей, иногда же онъ помѣщается и между ними.

УБ УКГНТ (ПБТ)

такимъ образомъ, что газъ, выходящій изъ предпослѣдняго, встрѣчается только съ чистой водой, тогда какъ газъ поступающій въ первый промыватель, встрѣчается съ водою, прошедшей и поглотившей уже амміакъ (законъ обратнаго теченія стр. 35). Въ промывателяхъ отнимается у газовъ не только остатокъ содержавшагося въ нихъ амміака, но выдѣляется также и остатокъ смолы.

Первые продукты описаннаго процесса, слѣдовательно, смола и амміачная вода.

Смола поступаетъ въ продажу или же перерабатывается на самыхъ коксовальныхъ фабрикахъ или желѣзодѣлательныхъ заводахъ (Julienhütte, Friedenshütte и др.), на бензинъ, нафталинъ и другіе продукты. Амміачная-же вода идетъ на приготовленіе сѣрнокислаго аммонія. Съ этою цѣлью она подвергается въ закрытыхъ сосудахъ различнаго устройства[1]) дѣйствію пара, имѣющаго обратное по отношенію къ ней движеніе. Свободный амміакъ возгоняется, соли-же его, остающіеся послѣ этого въ водѣ, разлагаются прибавленіемъ известковаго молока, и освободившійся амміакъ точно также возгоняется посредствомъ пара. Пары амміака приводятся въ соприкосновеніе съ крѣпкой сѣрной кислотой въ особыхъ помѣщеніяхъ, обложенныхъ свинцовыми листами. Сѣрная кислота поглощаетъ амміакъ и выдѣляетъ по насыщенію сѣрно-кислый аммоній, который вычерпываютъ и сушатъ[2]).

Количество сѣрнокислаго аммонія, получающагося изъ 100 клгрм. сухаго каменнаго угля различно: Вестфальскій уголь даетъ — 1,1 клгрм. Верхне-Силезскій — до 1,3 к., Саарбрюкенскій — только 0,8 к. Смолы изъ того-же количества угля въ Вестфаліи получается около 2,7 клгрм., съ Верхней-Силезіи — 4,2 клгрм., съ Саарбрюкенскомъ бассейнѣ тоже 4,2 к. Наконецъ выходъ кокса (изъ того же количества угля) въ Вестфаліи равенъ приблизительно 76 клгрм., въ Верхней Силезіи—68 к., Саарбрюкенскомъ бассейнѣ—70 к. Спросъ на смолу и амміакъ на міровомъ рынкѣ такъ великъ, что даже при увеличеніи числа заводовъ, занимающихся ихъ полученіемъ, пока едва-ли возможно опасаться перепроизводства. При описанныхъ выше печахъ Гофмана-Отто только часть

---

1) Устройство Фельдмана, D. R. P. №. 21708, Устройство Грюнбергъ-Блюма, D. R. P. №. 33320.

2) Полученіе этихъ побочныхъ продуктовъ не принадлежитъ уже къ области металлургіи желѣза, хотя и практикуется на многихъ желѣзодѣлательныхъ заводахъ. Поэтому, оно описано здѣсь въ возможно сжатой формѣ. Для основательнаго изученія дѣла можно порекомендовать слѣдующія сочиненія: G. Junge. Die Industrie der Steinkohlen theerdestillation und Ammiakwasserrevarbeitung. Braunschweig 1882. Stahl und Eisen 1883 стр. 403 (Hüssener); 1884 стр. 396. (Otto); 1889. стр. 482; 1892, стр. 186 (Lärmann); Journal of the Ironandsteel Institute. 1884 стр. 486 (Smith).

НБ УДУНТ (ІПБТ)

очищенныхъ газовъ идетъ на нагрѣваніе самыхъ печей: другая часть ихъ можетъ расходоваться съ какою нибудь другою цѣлью, напримѣръ для отопленія котловъ.

Въ началѣ при введеніи улавливанія побочныхъ продуктовъ существовало опасеніе, что отъ этого ухудшатся количества главнаго продукта коксованія—т. е. кокса. Однако опасенія эти не оправдались. Кромѣ того, выходъ кокса въ печахъ, гдѣ пользуются побочными продуктами, весьма часто немного выше, чѣмъ въ обыкновенныхъ печахъ. Это легко объяснить слѣдующими соображеніями: раньше было упомянуто, какое неудобство представляютъ постоянныя измѣненія состава газовъ каждой отдѣльной печи. Когда-же пользуются побочными продуктами коксованія, то газы многихъ печей соединяются вмѣстѣ, а слѣдовательно упомянутое неудобство исчезаетъ. Въ этомъ случаѣ уже не можетъ представляться необходимости впускать воздухъ въ печь, и можно печи закрывать вполнѣ герметично.

Стоимость устройствъ для пользованія побочными продуктами коксованія, какъ уже сказано, весьма значительна и превосходитъ въ полтора—два раза стоимость устройства самыхъ печей съ принадлежностями.

Вспомогательныя устройства при коксовальныхъ печахъ.

При коксовальныхъ печахъ необходимо имѣть, какъ это видно изъ сказаннаго, извѣстное число вспомогательныхъ приборовъ, служащихъ частью для нагрузки печей, частью же и для разгрузки.

Для перевозки каменнаго угля, идущаго въ коксованіе, и для его нагрузки въ печь примѣняютъ четыреугольный вагончикъ воронкообразной формы, подобный изображенному на рис. 3 стр. 65. Дно вагона выдвижное; вагонъ ставятъ надъ открытымъ засыпнымъ отверстіемъ печи, выдвигаютъ его дно — уголь сваливается въ печь. Длинными кочергами выравниваютъ затѣмъ въ печи слой угля.

Въ мѣстностяхъ, гдѣ приходится коксовать плохо спекающійся уголь, который разсыпался бы, если заваливать его обыкновеннымъ образомъ (напримѣръ, на нѣкоторыхъ заводахъ Верхней-Силезіи), нѣсколько лѣтъ тому назадъ нашли возможность получать коксъ въ большихъ кускахъ и вполнѣ пригодный для всякаго употребленія. Для этого поступаютъ такъ: прежде, чѣмъ завалить уголь въ печь, его прессуютъ въ особой формѣ, и потомъ уже полученную плотную массу сажаютъ въ печь. Форма состоитъ изъ желѣзнаго ящика, внутренніе размѣры котораго равняются размѣрамъ печи. Стѣны ящика откидныя, дно же можетъ выдвигаться по направленію своей длины. Весь ящикъ стоитъ на телѣжкѣ, ко-

НБ УДУНТ (ІПБТ)

торую по рельсамъ можно подкатить къ любой печи. Уголь утрамбовывается въ ящикѣ слоями, причемъ 4 — 5 рабочихъ могутъ утрамбовать въ три четверти часа насадку около $3^1/_2$ тоннъ.

Послѣ этого откидываютъ стѣнки ящика, дно же его, лежащее на длинной зубчатой рейкѣ, вдвигается вмѣстѣ съ послѣдней въ печь, что дѣлается помощью зубчатаго привода, соединяющагося съ рейкой и ворота. Воротъ можетъ приводиться въ движеніе рабочими, но чаще для этой цѣли пользуются паровой машиной, помѣщающейся на телѣжкѣ. Весьма удобно примѣнять съ этою цѣлью ту-же самую машину на телѣжкѣ, которая служитъ для выгрузки изъ печи кокса и которая будетъ описана ниже. Какъ скоро угольная призма совершенно вошла въ печь, опускаютъ дверцы послѣдней до пода, на которомъ лежитъ угольная призма, и затѣмъ вытаскиваютъ изъ подъ нея черезъ дверцы печи дно вагончика [1]).

Разгрузка печей съ вертикальною осью (Аппольта) производится собственнымъ вѣсомъ кокса, причемъ онъ падаетъ въ вагонъ, находящійся подъ печью, какъ скоро открыли опускную дверь на днѣ печи. Въ печахъ же съ горизонтальной осью почти всегда примѣняется выше упомянутая машина для выгрузки кокса.

Главную часть ея составляетъ чугунный щитъ, прикрѣпленный къ длинной горизонтальной зубчатой штангѣ, которую посредствомъ ворота и нѣсколькихъ зубчатыхъ сцѣпленій можно вдвигать въ открытую камеру печи. При этомъ призма кокса, находящаяся въ печи, будетъ выдвинута съ противоположной стороны камеры. Весь приборъ помѣщается на желѣзномъ вагончикѣ, двигающемся по рельсамъ, и можетъ передвигаться отъ одной печи къ другой такъ, что можетъ служить для разгрузки всѣхъ камеръ.

Приборъ приводится въ дѣйствіе или отъ руки нѣсколькими рабочими, стоящими у ворота, но чаще для приведенія его въ движеніе служитъ устроенная при немъ паровая машина, помѣщенная вмѣстѣ со своимъ паровымъ котломъ на той-же телѣжкѣ. При машинѣ въ 15 — 20 силъ работа производится гораздо быстрѣе, чѣмъ при ручномъ приводѣ. Чтобы вдвинуть и выдвинуть штангу машины нужно, около 2 минутъ времени.

Паровая машина приводитъ обыкновенно въ движеніе и самую телѣжку. Наконецъ, при печахъ съ вертикально-поднимающимися дверцами тою-же машиной пользуются для

[1]) Подробности объ этомъ устройствѣ съ рисунками см.: Glasers Annalen für Gewerbe und Bauwesen. Band XX, стр. 181. Sitzungsberichte des Vereins für Beförderung des Gewerbefleisses 1892. S.146.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

подъема дверецъ, производимаго помощью крана, установленнаго на телѣжкѣ.

Рельсы, по которымъ движется телѣжка разгрузочной машинки, должны выдерживать полное давленіе угольной призмы, поэтому они должны быть укрѣплены весьма прочно. Обыкновенно телѣжка снабжается тремя парами колесъ, двигающихся по тремъ рельсовымъ путямъ. Для того же, чтобы и при крайнемъ положеніи щита телѣжка не теряла равновѣсіе, она должна быть достаточно длинной. Штанга, къ которой прикрѣпленъ щитъ, движется по роликамъ, устроеннымъ на телѣжкѣ. На верхней части штанги имѣются зубцы, съ которыми сцѣпляются соотвѣтственныя зубчатки.

Для установа и перемѣщенія подобной машины необходимо оставить свободнымъ соотвѣтственно широкое пространство съ той стороны печей, съ которой происходитъ выдавливаніе кокса; на противоположной сторонѣ печей устраивается площадь съ наклономъ въ нѣсколько градусовъ, шириною по крайней мѣрѣ 12 м. для принятія выталкиваемой изъ печи призмы кокса. Площадь выкладывается хорошимъ твердымъ кирпичемъ, положеннымъ на ребро, или же покрывается чугунными плитами. Для охлажденія раскаленнаго кокса, для того чтобы онъ не загорѣлся на воздухѣ на упомянутой площади противъ печи устраиваются насосы высокаго давленія съ брызгалами. Для отправки кокса отъ печей тамъ, гдѣ возможно, охотно устраиваютъ другую еще нижележащую площадку такимъ образомъ, чтобы верхній край вагона, увозящаго коксъ, не приходился выше той площади, на которомъ располагается коксъ по выходѣ изъ печи. Тогда уже легко сгрести коксъ въ вагоны. Въ другихъ случаяхъ съ этою цѣлью примѣняютъ норіи — и другія подобныя устройства.

Стоимость этихъ вспомогательныхъ устройствъ, входящая въ стоимость самыхъ печей, достигаетъ при обширномъ производствѣ 1200 марокъ на каждую печь.

Свойства кокса.

Подобно всѣмъ обугленнымъ горючимъ матеріаламъ коксъ горитъ безъ пламени и безъ дыма, что одно уже дѣлаетъ его, какъ было уже упомянуто, пригоднѣе для многихъ процессовъ, чѣмъ каменный уголь, изъ котораго онъ полученъ. Кромѣ того надо принять во вниманіе, что спекаемость большинства углей, идущихъ въ коксованіе, также нерѣдко затрудняетъ ихъ примѣненіе. Между тѣмъ именно это свойство позволяетъ подвергать ихъ измельченію и механическому очищенію путемъ промывки и всетаки получать изъ нихъ коксъ превосходныхъ качествъ. Возможность механически обрабо-

НБ УДУНТ (ІПБТ)

тывать уголь до его коксованія вполнѣ оправдываетъ и объясняетъ причину, по которой коксованію подвергаютъ даже тѣ угли, которые по составу своему стоятъ близко къ антрацитамъ, трудно спекаются и сгорали-бы сами по себѣ безъ замѣтнаго выдѣленія пламени.

Всѣ каменные угли содержатъ въ себѣ сѣру, содержаніе которой, особенно значительное, можетъ сдѣлать уголь весьма мало пригоднымъ для цѣлей желѣзной промышленности. Сѣра встрѣчается какъ въ видѣ составной части заключенныхъ въ углѣ минераловъ (особенно сѣрнаго колчедана и марказита) или какъ составная часть самой органической массы угля (такъ называемая органическая сѣра). Посредствомъ механическаго обогащенія угля можно выдѣлить большую часть сѣру — содержащихъ минераловъ, хотя полное выдѣленіе ихъ также невозможно, какъ полное выдѣленіе золы. При коксованіи оставшіеся въ углѣ колчеданы — сѣрный и марказитъ, составъ которыхъ одинаковъ: FeS_2, выдѣляютъ еще часть своей сѣры и переходятъ въ соединенія, составъ которыхъ колеблется между формулами Fe_8S_9 и Fe_2S_3. Нѣкоторая, иногда довольно значительная часть сѣры, входящей въ составъ органической массы угля, также выдѣляется при коксованіи, но другая часть ея всегда остается въ коксѣ.

Во всякомъ случаѣ, слѣдовательно, при самомъ коксованіи происходитъ уменьшеніе содержанія сѣры въ углѣ. Обстоятельство это несомнѣнно очень важно, но кокса не содержащаго сѣры нѣтъ. Тоже обстоятельство, что содержаніе сѣры въ коксѣ, выраженное въ процентахъ вѣса горючаго, иногда бываетъ больше, чѣмъ въ самомъ углѣ, легко объяснить, если вспомнить, что 100 вѣсовыхъ частей угля, смотря по своему составу, даютъ всего 65, maximum 80% кокса [1]).

Что свойства кокса—его пористость, плотность и внѣшній видъ, зависятъ частью-же отъ устройства примѣненныхъ печей, это вытекаетъ изъ всего сказаннаго выше. Въ большинствѣ случаевъ примѣненія кокса важно его сопротивленіе раздавливанію. Обыкновенно, хотя и не всегда, качество это совпадаетъ съ большею или меньшею плотностью кокса. Вслѣдствіе этихъ причинъ, особенно при работѣ въ высокихъ шахтныхъ печахъ, гдѣ коксъ выдерживаетъ большее давленіе и при постепенномъ движеніи внизъ подвергается сильному тренію, предпочитаютъ обыкновенно плотный коксъ менѣе плотному. По опытамъ, произведеннымъ на заводѣ Bes-

[1]) О сѣрѣ и ея выдѣленіи во время коксованія каменнаго угля см. Dr. Muck. Die Chemie der Steinkohle, Leipzig 1891 и статью того-автора въ „Stahl und Eisen“ 1886, S. 486.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

séges сопротивленіе раздавливанію кокса, полученнаго въ различныхъ печахъ, равнялось:

Изъ англійскихъ булочн. печей . .	43,9	клгр.	на	1	кв. сант.
„ печей Карвэ шир. въ 0,70 м.	66,5	„	„	1	„ „
„ „ „ „ „ 0,66 „	79,7	„	„	1	„ „
„ „ „ „ „ 0,50 „	92,3	„	„	1	„ „
„ „ Коппэ „ „ 0,50 „	80,5	„	„	1	„ „

Результаты опытовъ надъ коксомъ изъ печей Карвэ ясно показываютъ увеличеніе прочности кокса съ уменьшеніемъ ширины печи [1]).

Коксовая призма по выходѣ изъ печи сильно уменьшается въ объемѣ при остываніи и трескается. Поэтому коксъ получается обыкновенно въ кускахъ похожихъ на призмы базальта. Кромѣ того такіе куски кокса изъ богатыхъ газами углей бываютъ покрыты гроздеобразными образованіями, являющимися результатомъ выдѣленія графита при разложеніи углеводородовъ. Если сломать вполнѣ остывшій кусокъ кокса, то цвѣтъ излома его черный. Нельзя заключать по цвѣту кокса объ его качествахъ, такъ какъ даже свойство воды, которая его охлаждаетъ вліяетъ на его цвѣтъ: чѣмъ чище вода—тѣмъ блестящѣе и свѣтлѣе цвѣтъ кокса.

По отношенію къ химическому составу можно сказать слѣдующее: кромѣ углерода коксъ содержитъ еще золу, содержаніе которой по крайней мѣрѣ = 4%, но достигаетъ нерѣдко 15% и больше; водорода коксъ содержитъ—0,3—0,5%, кислорода и азота 1—2½%, а сверхъ того гигроскопическую воду, содержаніе которой даже въ пористомъ коксѣ, долголежавшемъ на воздухѣ, рѣдко превосходитъ 6%, тогда какъ только что потушенный коксъ можетъ заключать въ себѣ гораздо большія количества ея.

Коксъ, лежавшій въ водѣ, можетъ заключать въ себѣ даже до 50% гигроскопической воды. Л. Белль [2]) сообщаетъ, что англійскій коксъ, шедшій въ доменную плавку, содержалъ:

	Коксъ полученный въ булочныхъ печахъ.	Коксъ полученный въ печахъ Карвэ.
Углерода	87,60%	86,36%
Водорода	0,25	0,51
Кислорода и азота . .	1,2	1,77
Сѣры	1,05	1,07
Золы	8,52	7,94
Воды	1,35	2,35

Для оцѣнки достоинства кокса, конечно, прежде всего важно содержаніе въ немъ золы. Коксъ содержащій болѣе

[1]) Болѣе подробныя свѣдѣнія объ этомъ, а также и объ устройствѣ печей Карвэ можно найти: въ Journal of the Iron and Steel Institute 1880, I, стр. 137; „Stahl und Eisen" 1883. стр. 404.

[2]) Journal of the Iron and Steel Institute, 1885, I, стр. 60, Stahl und Eisen 1885, S. 300.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

12% золы, уже неохотно примѣняютъ для плавки; коксъ, содержащій значительно меньше 10% золы, уже причисляется къ лучшимъ сортамъ. Химическій составъ золы также нужно принимать во вниманіе. Вообще онъ соотвѣтствуетъ составу каменноугольной золы: въ немъ точно также главныя составныя части — кремнеземъ, глиноземъ, окись желѣза, иногда известь. Выше было уже упомянуто, что сѣра никогда не отсутствуетъ совершенно въ коксѣ, несмотря на то, что при коксованіи происходило выдѣленіе сѣры. Содержаніе сѣры въ коксѣ очень сильно вліяетъ на примѣнимость его въ чугуноплавильномъ производствѣ. Лучшіе сорта кокса рѣдко содержатъ менѣе 0,5% сѣры, а большинство ихъ — около 1%, но, несмотря на это, они считаются весьма пригодными для доменной плавки. Коксъ съ 2 и болѣе процентами сѣры уже непригоденъ для плавки чугуна.

Вѣсъ куб. метра кокса въ кускахъ колеблется б. ч. отъ 350 до 450 килограммовъ въ зависимости отъ содержанія золы, плотности кокса и величины кусковъ.

3. Газообразные горючіе матеріалы и ихъ полученіе.

а) Общія понятія.

Въ мѣстностяхъ, гдѣ горючіе газы выдѣляются прямо изъ нѣдръ земли, еще глубокой въ древности примѣняли ихъ для домашняго обихода или для какихъ либо промышленныхъ производствъ. Увѣряютъ, что въ Китаѣ уже нѣсколько тысячъ лѣтъ тому назадъ пользовались горючими газами, выдѣлявшимися изъ нѣдръ земли, для выварки соли [1]). Точно также колошниковымъ пламенемъ доменныхъ печей, т. е. продуктомъ горѣнія окиси углерода, образовавшейся внутри домны вслѣдствіе неполнаго сгоранія углерода, уже нѣсколько сотъ лѣтъ тому назадъ пользовались для сушенія литейныхъ формъ, которыя ставились вокругъ домны. Вѣроятно, пламенемъ этимъ пользовались и для другихъ цѣлей. Но преднамѣренное, искусственное полученіе газообразнаго горючаго изъ твердаго есть изобрѣтеніе XIX вѣка. Первымъ поводомъ къ этому было предложеніе инженера Фабръ-дю-Фора (подробно будетъ описано во второй части книги) улавливать доменные газы, выходившіе до тѣхъ поръ изъ колошника въ видѣ пламени прежде, чѣмъ они загорѣлись, отводить ихъ по трубамъ и сжигать въ другомъ мѣстѣ ради полученія тепла. Убѣдившись при этомъ въ преимуществахъ, которыя представляетъ пользованіе газообразными горючими матеріалами, перешли къ искусственному полученію ихъ. Съ тѣхъ поръ

[1]) Изображеніе подобнаго китайскаго чрена съ газовой топкой можно найти у: Ledebur, Die Gasfeuerungen стр. 2.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

значеніе газообразныхъ горючихъ для всей промышленности и особенно для желѣзнаго производства съ каждымъ десятилѣтіемъ все растетъ и растетъ.

Выгодность пользованія горючими газами, которыя даетъ сама природа или которые образуются неизбѣжно, какъ побочные продукты извѣстныхъ процессовъ (напримѣръ пользованія колошниковыми газами)—очевидна и не требуетъ никакихъ доказательствъ. Не такъ легко отвѣтить на вопросъ, почему во многихъ случаяхъ выгоднѣе предварительно превратить твердое горючее въ газъ и потомъ сжечь этотъ газъ, чѣмъ непосредственно сжечь твердый горючій матеріалъ въ топкѣ на обыкновенной колошниковой рѣшеткѣ.

Прежде всего надо замѣтить, что управленіе притокомъ воздуха въ достаточномъ для полнаго сожиганія горючаго количествѣ легче при газообразномъ горючемъ, нежели при твердомъ. Представимъ себѣ, что въ топку заваленъ горючій матеріалъ—каменный уголь, бурый уголь или какой нибудь другой.

Воздухъ, необходимый для горѣнія долженъ пройти между отдѣльными кусками горючаго. Количество прошедшаго такимъ образомъ воздуха при постоянной тягѣ зависитъ отъ сопротивленія, которое оно встрѣчаетъ; но сопротивленіе растетъ съ увеличеніемъ толщины слоя, засыпаннаго горючаго: тотчасъ послѣ засыпки оно больше, чѣмъ спустя нѣкоторое время, когда часть горючаго уже сгорѣла, а согласно съ этимъ измѣняется и количество притекающаго воздуха. Чтобы, не смотря на это обстоятельство, всетаки достичь возможно полнаго горѣнія, тягу въ топкѣ устраиваютъ такимъ образомъ, чтобы во всѣ періоды въ топку поступало всегда достаточное количество воздуха; результатомъ этого является большой избытокъ воздуха. Анализы продуктовъ горѣнія показываютъ, что въ подобныхъ топкахъ полнаго горѣнія можно достичь только вводя двойное противъ теоретическаго количество воздуха, но, часто избытокъ его бываетъ еще больше [1]).

Изъ вышесказаннаго слѣдуетъ однако, что всякій избытокъ воздуха понижаетъ температуру горѣнія, отчего затрудняется передача теплоты нагрѣваемымъ тѣламъ, и увеличивается потеря теплоты вслѣдствіе увеличенія количества газовъ, улетающихъ при соотвѣтственно высокой температурѣ изъ печи. Слѣдовательно избытокъ воздуха вреденъ во многихъ отношеніяхъ. Между тѣмъ, употребляя газообразное горючее и смѣшивая его надлежащимъ образомъ съ воздухомъ можно устранить всѣ невыгоды неправильнаго при-

[1]) Анализы продуктовъ горѣнія см.: Dinglers polyt. Journal. Band CCXIX S. 281. Band. CCXXXII S. 327; F. Fischer Feuerungsanlagen für häusliche und gewerbliche Zwecke, Karlsruhe. 1889. S. 19.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

тока воздуха, которыхъ нельзя избѣгнуть въ обыкновенной тонкѣ, и можно добиться полнаго сгоранія газовъ съ меньшимъ избыткомъ воздуха.

Газъ и воздухъ смѣшиваются хорошо, что тоже способствуетъ горѣнію при сравнительно маломъ избыткѣ воздуха.

Наконецъ въ газовыхъ топкахъ можно подогрѣвать воздухъ и газъ, что даетъ намъ средство въ значительной степени повышать температуру горѣнія, а это способствуетъ передачѣ теплоты и обусловливаетъ лучшее пользованіе горючимъ; при сожиганіи твердаго горючаго на колосникахъ подобное подогрѣваніе его или даже воздуха было бы совершенно безцѣльнымъ, какъ это и доказали различныя неудачныя попытки въ этомъ направленіи; правда, химическая энергія кислорода воздуха при подогрѣваніи его повышается, но ближайшимъ слѣдствіемъ этого будетъ сжиганіе тѣмъ же количествомъ кислорода большаго количества углерода или, иначе говоря, образованія большаго количества окиси углерода.

Изъ сказаннаго слѣдуетъ, что преимущества газовыхъ топокъ по сравненію съ обыкновенными основываются на возможности сравнительно легко и, главное, съ малымъ избыткомъ воздуха достигнуть полнаго горѣнія и получить очень высокую температуру горѣнія. Оба эти обстоятельства способствуютъ лучшей утилизаціи горячаго.

Опытъ выяснилъ эти преимущества еще прежде чѣмъ удалось разъяснить причины ихъ.

Оказалось возможнымъ съ выгодою превращать въ горючій газъ и подогрѣвая воздухъ, употреблять при нѣкоторыхъ процессахъ такіе горючіе матеріалы, которые, по причинѣ ихъ низкаго пирометрическаго дѣйствія, при сжиганіи въ твердомъ видѣ, считались для этихъ процессовъ непригодными. Именно этотъ результатъ, выведенный путемъ опыта, и способствовалъ быстрому распространенію газовыхъ топокъ въ первыя десятилѣтія ихъ существованія.

Въ заключеніе упомянемъ еще, что горючій газъ, полученный изъ богатаго влагою горючаго и, слѣдовательно, содержащій много паровъ воды, тоже можно примѣнять для полученія высокихъ температуръ. Для этого газъ подвергается охлажденію, отчего онъ лишается большей части содержащейся въ немъ влаги.

Такимъ образомъ оказалось возможнымъ получать изъ самыхъ дешевыхъ горючихъ матеріаловъ горючій газъ сравнительно высокаго достоинства.

b) Газы, встрѣчающіеся въ природѣ.

Хотя горючіе газы выходятъ изъ нѣдръ земли на поверхность ея во многихъ мѣстностяхъ (Баку, Гренобль и др.), но только въ одномъ мѣстѣ, именно въ Сѣверной Америкѣ,

НБ УДУНТ (ІПБТ)

газы получили извѣстное промышленное значеніе. Въ штатѣ Нью-Іоркъ, а также въ Виргиніи наблюдаютъ выдѣленія горючаго газа изъ нѣдръ земли, но особенно богаты имъ окрестности города Питтсбурга въ Пенсильваніи, гдѣ онъ и находитъ себѣ примѣненіе для самыхъ различныхъ цѣлей и, въ особенности, для отопленія отражательныхъ печей, употребляемыхъ въ желѣзномъ производствѣ. Газъ этотъ былъ встрѣченъ при буреніи на нефть; изъ буровой скважины вырвалась съ невѣроятной силой струя газа. Въ началѣ газомъ не пользовались, а просто сжигали его, причемъ онъ давалъ огромное пламя; но впослѣдствіи стали отводить его посредствомъ трубъ ради употребленія на заводахъ и фабрикахъ. Въ 1873 году впервые стали употреблять этотъ газъ на желѣзномъ заводѣ въ Leechburg. На болѣе значительное разстояніе его впервые отвели въ 1875 (къ заводу Etna). Въ Питтсбургъ его провели въ 1883 г., и съ этихъ поръ газомъ, полученнымъ изъ различныхъ скважинъ, пользуются здѣсь въ весьма широкихъ размѣрахъ для самыхъ разнообразныхъ цѣлей [1]).

Самая большая скважина даетъ, какъ увѣряютъ, больше 800.000 куб. м. газа въ сутки; кромѣ того нѣсколько другихъ скважинъ даютъ по 400.000 куб. м. Вычислено, что для того, чтобы замѣнить газъ каменнымъ углемъ только въ одномъ Питсбургѣ нужно было бы сжигать 33.000 тоннъ угля въ сутки; отсюда ясно, что для этой мѣстности естественный газъ имѣетъ высокое экономическое значеніе. Подобную роль играетъ онъ не только благодаря его изобилію, но и благопріятному химическому составу его; составъ этотъ, правда, различенъ у различныхъ источниковъ и даже въ одномъ и томъ-же источникѣ въ различное время, но во всякомъ случаѣ въ немъ содержатся значительныя количества метана (60—80 ч. по объему) и водорода (5—20 ч. на об.), т. е. тѣлъ съ высокой теплопроизводительной способностью. Тѣлъ не горючихъ (азота) въ немъ весьма мало. За средній составъ газа можно принять слѣдующій:

Водорода	20	ч. по объему,		2,7	ч. по вѣсу.	
Метана	70	„	„ „	77,8	„	„ „
Проч. углеводородовъ.	6	„	„ „	11,6	„	„ „
Углекислоты	1	„	„ „	2,0	„	„ „
Азота.	3	„	„ „	5,9	„	„ „
	100,0	ч. по объему,		100,0	ч. по вѣсу	

Одинъ куб. метръ этого газа, при температурѣ нуля градусовъ и 760 м.м. давленія вѣситъ 0,643 клгрм. Теплопроизводительная способность того-же количества газа — 9300 ед. т., а 1 клгрм. его развиваетъ 14.500 ед. т., слѣдовательно тепло-

1) Glasers Annalen Band XXX, стр. 69.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

производительная способность его весьма значительна; ей соотвѣтствуетъ и высокая температура горѣнія, какъ это легко вычислить съ помощью формулы приведенной на стр. 32.

Ниже пересматривая литературные источники можно найти тѣ сочиненія, въ которыхъ заключаются ближайшія свѣдѣнія относительно добыванія газа и пользованія имъ.

c) Горючіе газы—побочные продукты другихъ процессовъ.

Продукты горѣнія, получающіеся во многихъ печахъ, служащихъ для желѣзнаго производства, напримѣръ, въ пудлинговыхъ, сварочныхъ и др., благодаря особенностямъ процесса и устройству самой печи покидаютъ ее въ весьма нагрѣтомъ состояніи. Ими можно нерѣдко пользоваться для нагрѣванія какого нибудь другаго устройства—напримѣръ пароваго котла, но, несмотря на это, имъ нельзя дать названіе горючаго матеріала, такъ какъ они не содержатъ въ себѣ горючихъ частей или же содержатъ ихъ въ весьма маломъ количествѣ [1]). Полезное дѣйствіе ихъ основано не на выдѣленіи теплоты при дальнѣйшемъ горѣніи, но исключительно на отдачѣ ими нѣкоторой части теплоты, которую они поглотили при горѣніи. Въ этихъ случаяхъ, и весьма правильно, не говорятъ о газовыхъ топкахъ, но о пользованіи теряющимся жаромъ печей. Горючіе газы, которые можно сожигать для развитія теплоты, т. е. горючіе матеріалы въ настоящемъ смыслѣ слова, получаются въ желѣзномъ производствѣ, какъ побочные продукты двухъ процессовъ: доменнаго и коксовальнаго. Самая важная горючая составная часть.

Колошниковыхъ доменныхъ газовъ это окись углерода; кромѣ того въ нихъ содержатся всегда небольшія количества водорода и метана; однако эти полезныя составныя части всегда разжижжены значительными количествами азота и углекислоты. Составъ ихъ зависитъ отъ частныхъ особенностей производства, но за средній составъ сухого газа можно принять слѣдующій:

Окиси углерода .	24 ч.	по объему,	24 ч.	по вѣсу.
Углекислоты . .	12 „	„	17 „	„
Азота.	60 „	„	58 „	„
Водорода. . . .	2 „	„	0,2 „	„
Метана	2 „	„	0,8 „	„

Въ колошниковыхъ газахъ различныхъ доменъ содержаніе окиси углерода бываетъ отъ 22 до 30 ч. по вѣсу въ 100 частяхъ сухой смѣси. Одинъ куб. м. колошниковаго газа вышеприведеннаго состава, при температурѣ равной нулю и 760

[1]) Эбельменъ нашелъ въ газахъ пудлинговыхъ и сварочныхъ печей 12,5—17,3% углекислоты; 0,2—7,5% по об. окиси углерод; а78,5—процент. по объему до 82,0 ч. по об. азота; 0,2—4,8 ч. по об. свободнаго кислорода; 0,0—3,0 ч. по об. водорода (Annales des mines, Ser. IV, Tome X, p. 69).

НБ УДУНТ (ІПБТ)

м.м. давленія вѣситъ 1,3 клгрм. и развиваетъ при своемъ сожиганіи 950 ед. т. Способы отведенія, проведенія и очищенія колошниковыхъ газовъ будутъ подробно описаны во второй части этой книги.

Гораздо богаче горючими составными частями газы коксовальныхъ печей, которые выдѣляются изъ каменныхъ углей при накаливаніи ихъ безъ доступа атмосфернаго воздуха и не содержатъ поэтому ни азота, ни углекислоты, которые именно и понижаютъ такъ существенно достоинство доменныхъ колошниковыхъ газовъ какъ горючаго матеріала. Составъ газовъ коксовальныхъ печей подходитъ къ составу свѣтильнаго газа; подобно послѣднему они содержатъ главнымъ образомъ метанъ и водородъ и кромѣ того незначительныя количества углеводородовъ болѣе богатыхъ углеродомъ, окись углерода, азотъ и углекислоту. Составъ коксуемыхъ углей и особенности самаго процесса коксованія вліяютъ и на составъ газовъ. Отто нашелъ, что составъ изъ вышеописанныхъ печей Гофмана-Отто слѣдующій [1]):

Водорода	52,69	ч. по объему.
Метана	35,67	„ „ „
Этилена (C_2H_4) . .	1,61	„ „ „
Бензина.	0,60	„ „ „
Окиси углерода. .	6,41	„ „ „
Углекислоты . . .	1,39	„ „ „
Сѣроводорода. . .	0,42	„ „ „
Водяныхъ паровъ .	1,21	„ „ „

Отъ американскаго естественнаго газа, слѣдовательно, эти газы отличаются главнымъ образомъ меньшимъ содержаніемъ метана и большимъ водорода.

Въ коксовальныхъ печахъ, гдѣ не пользуются побочными продуктами, газы сожигаются обыкновенно, какъ это было описано выше, въ каналахъ печи пускаемымъ въ нихъ воздухомъ. Въ этомъ случаѣ можно обыкновенно еще пользоваться теряющейся теплотой ихъ для отопленія паровыхъ котловъ. Въ тѣхъ-же случаяхъ, когда побочными продуктами коксованія пользуются, лишенныя смолы и амміака газы, какъ это было сказано выше, собираются, и часть ихъ можно употребить на отопленіе коксовальныхъ печей, другою же воспользоваться для другихъ цѣлей, напримѣръ, для сожиганія въ топкахъ паровыхъ котловъ.

d) Генераторный газъ и его полученіе.

Общія понятія. Химическіе процессы.

Генераторный газъ, есть газъ, полученный путемъ неполнаго сожиганія твердыхъ горючихъ матеріаловъ. Благодаря его происхожденію, важнѣйшею составною частью его яв-

[1]) Stahl und Eisen 1884, S. 399.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

ляется окись углерода; но кромѣ нея въ газѣ содержится весь тотъ азотъ, который заключался въ воздухѣ, необходимомъ для не полнаго горѣнія твердаго топлива. Если предположить, что для полученія генераторнаго газа взяты обугленные горючіе матеріалы, и если допустить, что матеріалы эти не содержатъ уже никакихъ летучихъ веществъ, и что воздухъ израсходованный на горѣніе былъ совершенно сухъ, то газъ содержалъ-бы

окиси углерода . 34,3 ч. по вѣсу, 34,3 по объему
азота . . . . . 65,7 „ „ „ 65,7 „ „

1 куб. м. этого газа при температурѣ равной 0° и 760 м.м. давленія вѣсилъ-бы 1,251 клгрм., одинъ клгрм. его развилъ бы при своемъ сгораніи 824 ед. т.

Но упомянутыя выше условія для образованія газа приведеннаго здѣсь состава никогда въ точности не наблюдаются. Уже выше было сказано, что всѣ обугленные матеріалы всегда содержатъ нѣкоторыя количества водорода и азота. Воздухъ, необходимый для полученія газа, содержитъ въ себѣ водяные пары, которые разлагаются въ соприкосновеніи съ углемъ и даютъ окись углерода и водородъ ($H_2O + C = 2H + CO$).

Наконецъ, лишь въ рѣдкихъ случаяхъ при полученіи, генераторнаго газа можно избѣжать образованія нѣкотораго, хотя бы незначительнаго, количества углекислоты, на ряду съ окисью углерода. Поэтому газъ, получаемый въ дѣйствительности, всегда нѣсколько отличается по составу отъ вышеприведеннаго.

Вотъ среднія результаты прежнихъ изслѣдованій [1]) относительно состава такого газа:

	Газъ получ. изъ древесн. угля.		Газъ получен. изъ кокса.	
Содерж. въ 100 ч.	по вѣсу	по объему	по вѣсу	по объему
Окиси углерода .	34,1 ч.	33,3 ч.	33,8 ч.	33,6 ч.
Азота	64,9 „	63,4 „	64,8 „	64,2 „
Углекислоты . . .	0,8 „	0,5 „	1,3 „	0,7 „
Водорода	0,2 „	2,8 „	0,1 „	1,5 „

При неблагопріятныхъ обстоятельствахъ содержаніе углекислоты можетъ значительно превосходить указанную среднюю величину, а съ увеличеніемъ содержанія углекислоты растетъ и содержаніе азота въ газовой смѣси, такъ какъ для образованія углекислоты нужно вдвое большее количество воздуха, чѣмъ для образованія окиси углерода. Содержаніе въ газѣ окиси углерода будетъ, слѣдовательно, уменьшаться въ этомъ случаѣ по двумъ причинамъ [2]).

---

[1]) Annales des mienes, serie IV, tome III, p. 215; tome V, p. 81 (Ebelmen).

[2]) Большое число изслѣдованій газовъ, полученныхъ изъ кокса, содержится въ работахъ Bunte въ Journal für Gasbeleuchtung 1878 и 1879 г.:

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Разсматривая различныя обстоятельства, которыя главнымъ образомъ вліяютъ на составъ получающагося газа, видимъ что таковыми являются особливо температура въ генераторѣ, т. е. въ пространствѣ, гдѣ происходитъ неполное горѣніе, и плотность горючаго. Чѣмъ выше температура, тѣмъ большія количества углерода сожигаются однимъ и тѣмъ же количествомъ кислорода, тѣмъ полнѣе перейдетъ въ окись углерода—углекислота, которая образуется, можетъ быть, въ первый моментъ соприкосновенія воздуха съ горючимъ, (стр. 19) и тѣмъ меньше углекислоты будетъ содержаться, слѣдовательно, въ полученномъ газѣ. При этомъ предполагается, конечно, что имѣется достаточный избытокъ углерода или, иными словами, что вступающій въ генераторъ воздухъ встрѣчаетъ достаточно толстый слой горючаго, чтобы вообще образовалась окись углерода. Чѣмъ меньшую поверхность представляетъ воздуху горючее, чѣмъ оно плотнѣе, тѣмъ больше образуется углекислоты (стр. 21). Изъ приведенныхъ выше среднихъ данныхъ анализовъ генераторныхъ газовъ можно замѣтить вліяніе указанной выше причины: газъ, полученный изъ древеснаго угля нѣсколько, хотя и незначительно, богаче окисью углерода и бѣднѣе углекислотой, чѣмъ газъ, полученный изъ кокса. Газеификація горючихъ матеріаловъ въ изслѣдованныхъ случаяхъ производилась, конечно, при очень высокой температурѣ. Если-бы газеификація шла при болѣе низкихъ температурахъ, то получилась бы болѣе значительная разница въ составѣ газовъ изъ кокса и древеснаго угля. Обугленные горючіе матеріалы примѣняютъ однако-же для полученія генераторнаго газа лишь въ исключительныхъ случаяхъ, обыкновенно только тамъ, гдѣ такія вещества являются побочнымъ продуктомъ какого либо другаго производства, какъ напр. на заводахъ для полученія свѣтильнаго газа. Гораздо чаще для этой цѣли служатъ сырые, твердые, горючіе матеріалы—дерево, торфъ, бурый и каменный угли. Къ этому побуждаетъ насъ не только то обстоятельство, что предшествующее газеификаціи обугливаніе этихъ матеріаловъ увеличило бы стоимость ихъ; гораздо важнѣе для насъ то, что выдѣляющіеся изъ необугленнаго горючаго, при его накаливаніи, горючіе вещества, какъ-то: водородъ, углеводородъ, окись углерода, — смѣшиваются при газеификаціи сырыхъ горючихъ съ продуктами неполнаго горѣнія углерода, повышаютъ теплопроизводительную способность газа и уменьшаютъсодержаніе въ немъ азота. Поэтому газъ получается вообще болѣе высокаго достоинства, чѣмъ это было-бы при полученіи его изъ обугленнаго матеріала. Притомъ расходъ тепла, необходимый для

Commissions arbeiten, betreffend die Versuche über die Leistungsfähigkeit der Koksgeneratoren. Bunte находилъ 1,9—5,8 ч. по объему углекислоты вмѣстѣ съ 28,3—22,6 частями по объему окиси углерода.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

разложенія твердаго горючаго, съ избыткомъ покрывается теплотой, развивающейся при сгораніи углерода въ окись углерода.

Составъ генераторнаго газа, получающагося изъ такихъ сырыхъ горючихъ матеріаловъ зависитъ уже не только отъ господствующей въ генераторѣ температуры и физическихъ свойствъ горючаго, но и отъ химическаго его состава, въ особенности же отъ содержанія въ немъ летучихъ тѣлъ. Слѣдовательно онъ колеблется въ еще большихъ предѣлахъ, чѣмъ въ первомъ случаѣ. За средній его составъ можно принять слѣдующій:

Окиси углерода . . .	29,5	ч.	по вѣсу,	25,5	ч.	по объему
Углеводорода (CH_4). .	1,3	„	„ „	2,0	„	„ „
Водорода.	0,6	„	„ „	8,3	„	„ „
Углекислоты	8,9	„	„ „	4,8	„	„ „
Азота	59,7	„	„ „	59,4	„	„ „

Въ особенно благопріятныхъ случаяхъ содержаніе углекислоты въ такомъ газѣ можетъ унасть ниже 0,5 ч. по вѣсу; въ неблагопріятномъ можетъ быть болѣе 8 ч., по объему.

Одинъ куб. метръ газа вышеприведеннаго состава при температурѣ равной нулю и 760 мм. давленія вѣситъ 1,179 клгрм. 1 клгрм. его, сгорая, развиваетъ 1036 ед. т.

При образованіи подобнаго генераторнаго газа необходимо различать два совершенно разныхъ процесса: *сухую перегонку* горючаго, т. е. его разложеніе на летучія тѣла и углеродъ, и *не полное горѣніе*, т. е. сожиганіе этого углерода въ окись углерода. Выше было сказано, что часть теплоты, освобождающейся при послѣднемъ процессѣ, расходуется на сухую перегонку горючаго.

Ходъ горѣнія (не полнаго) углистаго остатка и составъ получающихся продуктовъ зависитъ отъ тѣхъ-же обстоятельствъ, какъ и при газеификаціи обугленныхъ матеріаловъ.

Однако и процессъ сухой перегонки не всегда идетъ одинаково; господствующая въ генераторѣ температура играетъ здѣсь не меньшую роль, чѣмъ при горѣніи. При низкой температурѣ получаются значительныя количества смолы, т. е. нежелательнаго въ этомъ случаѣ продукта; при болѣе высокой температурѣ количество получаемаго генераторнаго газа больше. Насколько различенъ можетъ быть составъ генераторнаго газа, полученнаго вообще при одинаковыхъ условіяхъ изъ одинаковыхъ горючихъ матеріаловъ, но при различныхъ температурахъ, показываютъ слѣдующіе анализы, опубликованные Штекманомъ (Stöckmann [1]).

[1]) Die Gase des Hochofens und der Simens-Generatoren, Rubrort, 1870 S. 50.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

	Горячій ходъ.	Холодный ходъ
Азота.	67,86 ч. по вѣсу,	68,42 ч по вѣсу.
Окиси углерода	21,73 „ „ „	12,14 „ „ „
Водорода	0,47 „ „ „	0,27 „ „ „
Тяжел. углевод. (этилена) .	2,95 „ „ „	1,32 „ „ „
Легк. углеводорода (метана).	0,58 „ „ „	1,29 „ „ „

Количество теплоты, развиваемое 1 клгрм. газа, получаемаго при горячемъ ходѣ въ 1,2 раза болѣе, чѣмъ при холодномъ ходѣ[1])

Отсюда слѣдуетъ что:

Высокая температура въ генераторѣ одно изъ важнѣйшихъ условій для выгоднаго пользованія горючимъ, назначеннымъ для полученія обыкновеннаго генераторнаго газа.

Значительное вліяніе на составъ генераторнаго газа, получаемаго какъ изъ обугленнаго, такъ и изъ сыраго горючаго, оказываетъ еще водяной паръ, намѣренно или не намѣренно введенный въ генераторъ. Выше было уже упомянуто, что въ генераторахъ, работающихъ на обугленномъ горючемъ, водяные пары всегда въ воздухѣ заключающіеся, соприкасаясь съ раскаленными углями, разлагаются на водородъ и окись углерода. Само собой разумѣется, что процессъ этотъ идетъ точно также, если вмѣсто обугленныхъ матеріаловъ употреблять горючее—въ сыромъ видѣ. Въ обоихъ случаяхъ содержаніе водорода и окиси углерода въ получаемой газовой смѣси увеличивается, причемъ однако въ нее не вводится больше азота.

Если-бы составъ остальной части газа не измѣнялся, то разложеніе воды, особенно при искусственномъ увеличеніи приносимаго воздухомъ количества водянаго пара, значительно-бы повысило значеніе продукта какъ горючаго. Но разложеніе воды достигается лишь съ затратою весьма знательнаго количества теплоты. При реакціи $H_2O+C=2H+CO$ одинъ клгрм. водянаго пара разлагается $^2/_3$ клгрм. углерода. Для разложенія этого количества водянаго пара необходимо то-же количество теплоты, которое образуется при образованіи водянаго пара изъ водорода и кислорода. Но 1 клгрм. воды состоитъ изъ $^1/_9$ килограмма водорода и $^8/_9$ клгрм. кислорода, слѣдовательно при образованіи 1 клгрм. водянаго пара выдѣляется $^1/_9 \times 28780 = 3198$ ед. тепла (стр. 29). Въ то-же время $^2/_3$ клгрм. углерода при своемъ сгораніи въ окись углерода развиваютъ всего $^2/_3 \times 2473 = 1649$ ед. т. Получается стало-быть расходъ тепла=3198—1649=1549 ед. т. на каждый килограммъ разложеннаго водянаго пара. Ближайшимъ послѣдствіемъ сего является постепенное пониже-

[1]) Относительно вычисленія этой теплопроизводительности ср. Ledebur, Die Gasfeuerungen, Seite 29.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

ніе температуры въ генераторѣ, и газы покидаютъ генераторъ въ болѣе охлажденномъ состояніи. Если температура въ генераторѣ сама по себѣ была не выше, чѣмъ необходимо для полученія газа съ малымъ содержаніемъ углекислоты, то при увеличеніи количества водянаго пара, вводимаго съ воздухомъ, увеличится и содержаніе углекислоты въ получаемомъ газѣ. Вмѣсто улучшенія состава газовой смѣси можетъ произойти ея ухудшеніе [1]).

Чѣмъ горячѣе будетъ ходъ генератора, тѣмъ возможнѣе будетъ съ пользою искусственно увеличивать количество вводимаго водянаго пара, особенно если полученный газъ по пути къ мѣсту гдѣ его сожигаютъ, будетъ подвергаться охлажденію. Температура въ генераторѣ зависитъ частью отъ его устройства и способа работы въ немъ, частью же отъ качествъ горючаго, идущаго для полученія газа. Чѣмъ большее количество продуктовъ сухой перегонки (особенно водянаго пара) оно выдѣляетъ, тѣмъ ниже будетъ температура въ генераторѣ при равенствѣ прочихъ условій, тѣмъ вреднѣе будетъ вліять введеніе въ генераторъ водянаго пара. Поэтому паръ вводятъ преимущественно при газеификаціи обугленныхъ горючихъ матеріаловъ. При газеификаціи кокса въ горячо идущихъ генераторахъ по Бунте (Bunte) на каждый килограммъ израсходованнаго на газеификацію кокса можно съ пользою ввести до 0,71 килогрм. водянаго пара [2]) между тѣмъ, какъ при газеификаціи бураго угля по вычисленію Шмидтгаммера, 0,2 клгрм. водянаго пара на каждый килогрм. горючаго, представляетъ уже предѣлъ, далѣе котораго нельзя идти, даже при благопріятныхъ условіяхъ [3]).

Способность воздуха насыщаться водянымъ паромъ растетъ, какъ извѣстно, съ температурой. Нерѣдко подъ рѣшеткой генератора помѣщаютъ чанъ съ водою, служащій также и для тушенія падающихъ черезъ рѣшетку углей, и пропускаютъ надъ нимъ воздухъ, идущій въ генераторъ, для того чтобы онъ насытился водяными парами. Въ другихъ случаяхъ воздухъ вводится въ генераторъ помощью пароструйнаго прибора, стало быть тоже насыщенный паромъ. Однако во всѣхъ этихъ случаяхъ количество введеннаго водянаго пара далеко менѣе приведенныхъ цифръ, указывающихъ высшій допустимый въ обыкновенныхъ случаяхъ предѣлъ [4]). Опасаться, слѣдовательно, что при примѣненіи указанныхъ средствъ ухудшится качество газа, не приходится.

---

[1]) Анализы газовъ, полученныхъ съ водянымъ паромъ и безъ него можно найти у Ledebur, Gasfeuerungen, S. 38.

[2]) Commissionsbericht II, S. 127; извлеченія оттуда: Ledebur, Gasfeuerungen, S. 34.

[3]) „Stahl und Eisen“ 1889, Seite 541.

[4]) Пароструйные приборы, напр. даютъ воздухъ въ 20° С, содержащій водяной паръ въ количествѣ 1,3% собственнаго вѣса. Для сожига-

НБ УДУНТ (ІПБТ)

То количество водянаго пара, которое можетъ способствовать полученію газа болѣе высокихъ качествъ, въ весьма горячо идущихъ генераторахъ, можно получать лишь въ паровыхъ котлахъ. Способъ этотъ въ отдѣльныхъ случаяхъ, особенно при употребленіи кокса или антрацита, примѣняется, хотя выгоды его частью понижаются благодаря расходу горючаго на парообразованіе и другимъ статьямъ расхода. Такой газъ называютъ „смѣшаннымъ газомъ, или „газомъ Даусона". О составѣ такого можно судить по слѣдующему анализу, сообщенному Фишеромъ [1]).

CO_2	CO	H	N	
6,9	26,0	14,1	52,8	ч. по объему.

Въ газовой смѣси заключалось кромѣ того незначительное количество метана.

Хотя для полученія генераторнаго газа и могутъ служить самые разнообразные горючіе матеріалы, но выходъ газа и его составъ въ каждомъ случаѣ зависитъ отъ химическаго состава употребленнаго для газеификаціи горючаго. Горючіе матеріалы, содержащіе въ самосохломъ состояніи значительныя количества влажности даютъ газъ болѣе богатый водянымъ паромъ; притомъ выходъ газа изъ одного и того количества горючаго будетъ сравнительно малъ. Значительное содержаніе кислорода соединяющагося при сухой перегонкѣ горючаго съ соотвѣтственной частью водорода, уменьшаетъ также выходъ газа. Горючіе матеріалы, богатые свободнымъ водородомъ (стр. 49) даютъ тоже газъ, сравнительно богатый водородомъ и углеводородами, тогда какъ въ газѣ, полученномъ изъ угля болѣе бѣднаго газами, содержатся лишь незначительныя количества водорода и углеводородовъ.

Изъ различныхъ сортовъ каменныхъ углей, для полученія генераторнаго газа особенно часто пользуются пламенными, не спекающимися углями. Они даютъ хорошій, сравнительно богатый водородомъ газъ. Спекающіеся каменные угли по своему составу не менѣе пригодны для полученія генераторнаго газа, но ихъ наклонность спекаться въ большіе куски, мѣшающая равномѣрному проходу воздуха, затрудняетъ ихъ газеификацію. Угли, болѣе бѣдные газами, даютъ газъ, бѣдный водородомъ, но какъ сказано выше, являются самыми пригодными матеріалами для коксованія.

Такъ какъ на испареніе содержащагося въ горючемъ водянаго пара необходимо потратить значительныя количества теплоты, то температура въ генераторѣ всегда тѣмъ ниже, чѣмъ больше воды содержитъ въ себѣ горючее. Въ тѣсномъ

нія 1 клгрм. углерода въ окись нужны 5,65 клгр. воздуха, съ которымъ было-бы введено 0,07 клгрм. водянаго пара. Количество углерода, истраченнаго на разложеніе этого количества пара = 0,05 клгрм.

[1]) Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, 1888, S. 19.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

соотношеніи съ этимъ обстоятельствомъ находится то, что газъ, получаемый изъ горючаго съ большимъ содержаніемъ воды, содержитъ болѣе углекислоты, чѣмъ газъ изъ горючаго съ малымъ содержаніемъ воды [1]).

Вмѣстѣ съ кислородомъ, необходимымъ для газеификаціи горючихъ матеріаловъ, воздухомъ приносится больше чѣмъ въ три раза большее количество азота, входящаго въ газовую смѣсь безъ измѣненія: между тѣмъ при сухой перегонкѣ сырыхъ горючихъ матеріаловъ образованіе газовъ происходитъ безъ введенія въ нихъ азота. Этимъ объясняется, почему количество газовъ, образующихся при газеификаціи обугленныхъ горючихъ матеріаловъ (включая сюда и количество азота) больше, чѣмъ масса газовъ, полученныхъ изъ такого же количества сырыхъ матеріаловъ. Къ тому же въ первомъ случаѣ содержаніе азота больше, чѣмъ во второмъ, какъ это видно изъ вышеприведенныхъ среднихъ анализовъ обоихъ видовъ генераторнаго газа. Одинъ килограммъ различныхъ горючихъ матеріаловъ (свободныхъ отъ золы и воды) въ среднемъ даетъ слѣдующія количества генераторнаго газа (считая съ углекислотой и азотомъ, но безъ водянаго пара):

Дерево	2,2	куб. м.	= 2,8	клгрм.
Торфъ и новѣйш. бурые угли.	2,8	„ „	= 3,4	„
Бурый уголъ	3,4	„ „	= 4,0	„
Каменный уголь	4,5	„ „	= 5,4	„
Древесный уголь и коксъ. .	6,5	„ „	= 8,0	„

Такъ какъ, согласно всему сказанному, для образованія газа, богатаго горючими тѣлами, необходима высокая температура въ генераторѣ, то генераторный газъ покидаетъ генераторъ при температурѣ, колеблющейся отъ 300° до 1000°. Богатые водою горючіе матеріалы даютъ болѣе холодный газъ, тогда какъ горючія съ малымъ содержаніемъ воды, особенно-же обугленныя, даютъ газъ горячій. Газы содержатъ въ себѣ соотвѣтствующее ихъ температурѣ количество теплоты, которой можно воспользоваться въ мѣстѣ сжиганія газовъ, если они только вступаютъ туда съ этою температурою. Если-же на пути къ мѣсту сжиганія газы намѣренно или ненамѣренно подвергаются охлажденію, то теплота эта, конечно, теряется. Эта потеря можетъ быть значительной и превосходитъ одну десятую теплопроизводительной способности горючаго, изъ котораго былъ полученъ газъ [2]). Несмотря на это, охлажденіе можетъ быть полезно въ такихъ случаяхъ, когда требуется выдѣлить изъ влажнаго газа посредствомъ сгущенія заключающуюся въ немъ

[1]) Анализы генераторныхъ газовъ изъ разныхъ горючихъ матеріаловъ см. Ledebur, Gasfeuerungen, S. 42.

[2]) Примѣръ см. Ledebur, Gasfeuerungen, S. 38.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

воду, такъ какъ иначе такой газъ не годился-бы для полученія высокихъ температуръ. Охлажденіе даетъ намъ возможность этимъ путемъ получить сравнительно цѣнный горючій газъ изъ плохаго матеріала.

Генераторы.

Генераторъ представляетъ собою пространство, въ которомъ воздухъ, почти всегда поднимаясь снизу вверхъ, проходитъ черезъ слой горючаго. Въ генераторѣ имѣются по крайней мѣрѣ три отверстія: засыпное, служащее для засыпанія въ генераторъ горючаго, и снабженное крышкой, отверстіе, черезъ которое входитъ въ генераторъ воздухъ и отверстіе для выхода газа. Вблизи мѣста входа въ генераторъ воздуха происходитъ газеификація, т. е. сгораніе углерода въ окись. Выдѣлившаяся при этомъ теплота воспринимается газами и частью расходуется на испареніе воды и разложеніе свѣже засыпаннаго горючаго, частью же, какъ это было уже упомянуто, уносится изъ генератора. Процессъ образованія газа происходитъ, слѣдовательно, непрерывно, пока воздухъ будетъ имѣть свободный доступъ внутрь генератора, и туда будетъ засыпаться въ соотвѣтственномъ количествѣ горючій матеріалъ.

Притокъ воздуха въ генераторъ и движеніе газовъ изъ генератора въ печь вызываются или тягой трубы, поставленной у печи, или же дѣйствіемъ воздуходувной машины, доставляющей въ генераторъ воздухъ подъ давленіемъ. Въ первые годы введенія газовыхъ топокъ почти исключительно пользовались дутьемъ; затѣмъ нашли болѣе простымъ устраивать трубы, и въ теченіи нѣсколькихъ десятилѣтій генераторы съ дутьемъ почти совершенно не примѣнялись. Лишь около средины семидесятыхъ годовъ подробнѣе выяснены были выгоды, которыя представляетъ на дѣлѣ примѣненіе дутья, и съ тѣхъ поръ генераторы съ дутьемъ снова стали входить въ употребленіе. Въ настоящее время количество генераторовъ съ дутьемъ, можетъ быть, больше, чѣмъ самодувныхъ.

Первые во многихъ отношеніяхъ оказываются лучше вторыхъ.

Выше (стр. 20) указано было, что при сожиганіи твердыхъ горючихъ матеріаловъ высокая упругость газовъ въ пространствѣ горѣнія способствуетъ образованію окиси углерода, а низкая—углекислоты. При всасываніи воздуха тягою трубы въ пространствѣ горѣнія, изъ котораго высасываются газы, происходитъ разрѣженіе газовъ; если-же воздухъ вдувается въ генераторъ, то тамъ происходитъ нѣкоторое сгущеніе газовъ. Слѣдовательно для полученія газа со значительнымъ содержаніемъ окиси углерода примѣненіе дутья выгоднѣе.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Не менѣе важно то обстоятельство, что при введеніи въ генераторъ воздуха посредствомъ воздуходувной машины количество вводимаго воздуха можно регулировать въ широкихъ предѣлахъ такъ, какъ это окажется наиболѣе выгоднымъ, совершенно независимо отъ существующей тяги трубы.

Тяга-же зависитъ не только отъ сопротивленія въ газопроводахъ и температуры газовъ въ трубѣ, но и отъ состоянія погоды. Одинъ и тотъ же генераторъ, работающій посредствомъ тяги трубы, можетъ при различной погодѣ давать довольно различные результаты.

Наконецъ самое устройство генераторовъ и печей упрощается при примѣненіи дутья. Если генераторы работаютъ тягой трубы, то они должны быть расположены ниже чѣмъ печи, чтобы удовлетворить стремленію газовъ подниматься вверхъ. Обыкновенно приходится при этомъ расположить генераторъ въ углубленіи, сдѣланномъ въ почвѣ, вслѣдствіе чего его постройка становится затруднительною и дорогою. Этихъ соображеній не существуетъ, если пользоваться дутьемъ. Генераторы могутъ быть расположены на поверхности земли, и движеніе газовъ происходитъ безъ всякаго затрудненія вслѣдствіе большаго давленія, господствующаго въ генераторѣ.

Упругость дутья для генераторовъ никогда не бываетъ значительною, она достигаетъ 8 и самое большое 20 сантм. водянаго столба. Поэтому можно обходиться какой либо простой воздуходувной машиной. Иногда, особенно при небольшомъ размѣрѣ производства, пользуются пароструйными приборами[1]). Въ этомъ случаѣ каждый генераторъ имѣетъ свой собственный пароструйный приборъ. При болѣе значительныхъ размѣрахъ производства примѣняютъ вентиляторы (центробѣжные, Рута и др.).

При этомъ каждый вентиляторъ можетъ доставлять нужное дутье въ большое число генераторовъ, допуская въ то-же время возможность регулировать количество и упругость дутья въ болѣе широкихъ предѣлахъ, чѣмъ при паровыхъ инжекторахъ[2]). Въ самодувныхъ генераторахъ воздухъ поступаетъ въ генераторъ черезъ колосниковую рѣшетку. Въ генераторахъ съ дутьемъ или точно также примѣняютъ колосники, закрывая зольникъ и вводя дутье подъ рѣшетку, или-же вводятъ дутье, какъ въ шахтныхъ печахъ съ дутьемъ,

---

[1]) Объ паровыхъ инжекторахъ см.: Ledebur, Verarbeitung der Metalle auf mechanischen Wege, Braunschweig 1877, стр. 82.

[2]) Подробности объ устройствѣ этихъ приборовъ можно найти въ слѣдующихъ сочиненіяхъ: P. Rittinger, Centrifugalventilatoren und Centrifugalpumpen 1858, S. 268; B. Kerl, Grundriss der allgemeinen Hüttenkunde, 2. Auflage, Leipzig 1879, S. 332 и 338; von Hauer, Hüttenwesensmaschinen, 2. Auflage, Leipzig 1876, S. 208, 231; Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Leipzig 1880—1890. Band III, S. 73, 81.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

черезъ боковыя отверстія, сдѣланныя на небольшой высотѣ надъ ходомъ генератора (фурмы). Въ послѣднихъ случаяхъ рѣшетки у генератора не дѣлаютъ; зола горючаго должна плавиться и давать достаточно жидкіе шлаки, которые и выпускаютъ время отъ времени черезъ закрытое глиняной пробкой отверстіе, устроенное въ самой нижней части генератора. Для образованія жидкаго шлака обыкновенно необходимо прибавлять къ засыпаемому горючему матеріалу известнякъ, количество котораго опредѣляется по содержанію золы въ горючемъ и ея химическому составу. Процессъ этотъ представляетъ то удобство, что такой генераторъ можетъ работать при высшей температурѣ, чѣмъ генераторы съ колосниками, такъ какъ при сильномъ нагрѣваніи колосники слишкомъ скоробы портились. Кромѣ того не нужно чистить рѣшетку, ради чего при закрытыхъ зольникахъ ихъ приходится открывать и, слѣдовательно, останавливать дутье. Наконецъ, судя по крайней мѣрѣ по опыту, надо думать, что шлакъ, содержащій много извести, поглощаетъ нѣкоторую часть сѣры, содержащейся въ горючемъ, а это также имѣетъ значеніе для нѣкоторыхъ случаевъ примѣненія получаемаго газа[1]). Выше было упомянуто, что количество прибавляемаго известняка находится въ нѣкоторомъ соотношеніи съ содержаніемъ золы. Слѣдовательно, какъ избытокъ, такъ и недостатокъ прибавленнаго известняка будетъ способствовать образованію трудноплавкаго, и слѣдовательно, густаго шлака, трудно удаляемаго изъ генератора. Поэтому способъ этотъ можно примѣнять лишь въ тѣхъ случаяхъ, когда содержаніе золы въ горючемъ, назначенномъ для полученія газа, не подвергается часто значительнымъ колебаніямъ.

Температура въ генераторѣ, отъ которой, согласно вышесказанному, такъ сильно зависитъ составъ получаемаго газа, въ значительной степени зависитъ, при употребленія одного и того-же горючаго отъ количества воздуха, вводимаго въ опредѣленное время въ генераторъ, и отъ толщины слоя горючаго, между кусками котораго поднимаются образовавшіеся газы. Чѣмъ больше количество введеннаго воздуха, тѣмъ больше горючаго подвергается газеификаціи въ извѣстный промежутокъ времени, тѣмъ большее количество теплоты разовьется, тѣмъ выгоднѣе отношеніе между количествомъ ея и количествомъ тепла потеряннымъ отъ лучеиспусканія черезъ стѣнки, тѣмъ выше температура генератора. Температура въ пространствѣ, гдѣ происходитъ газеификація,

[1]) Замѣчено было, что вліяніе содержанія сѣры въ газеифицируемыхъ угляхъ, которое дѣйствовало весьма невыгоднымъ образомъ въ нѣкоторыхъ случаяхъ примѣненія генераторнаго газа, становилось менѣе замѣтнымъ, если уголь поднергался газеификаціи въ генераторахъ съ дутьемъ и съ прибавленіемъ известняка (Jernkoutorets Annalen, 1885, S. 377).

НБ УДУНТ (ІПБТ)

зависитъ однако также отъ степени, до которой нагрѣвается горючій матеріалъ, съ момента засыпи до момента поступленія его въ пространство, гдѣ происходитъ газеификація [1]). Очевидно, что подогрѣваніе это тѣмъ значительнѣе, чѣмъ дольше соприкасался горючій матеріалъ съ поднимающимися газами, т. е. чѣмъ толще слой горючаго.

Однако при этомъ необходимо обратить вниманіе и на другое обстоятельство. Съ увеличеніемъ толщины слоя горючаго ростетъ и сопротивленіе, встрѣчаемое воздухомъ и газомъ. Соотвѣтственно съ этимъ уменьшается и количество поступающаго въ генераторъ воздуха, если только при опредѣленіи упругости дутья не принято во вниманіе указанное увеличеніе сопротивленія. Выгода, достигнутая значительной толщиной слоя горючаго, парализовалась-бы большей невыгодой отъ уменьшенія количества вступающаго въ генераторъ воздуха.

При доставленіи воздуха мѣхами можно устранять это неудобство увеличеніемъ упругости дутья; но при генераторахъ самодувныхъ тяга, доставляемая трубой, всегда остается ограниченною въ извѣстныхъ, незначительныхъ предѣлахъ.

Это обстоятельство также представляетъ одно изъ преимуществъ генераторовъ съ дутьемъ.

Въ самодувныхъ генераторахъ толщина слоя горючаго, если онъ идетъ въ дѣло въ мелкихъ кускахъ, бываетъ отъ 0,5 до 0,8 м.: толщина-же слоя дровъ и торфа — отъ 1 до 1,5 м. Въ генераторахъ съ дутьемъ слой горючаго, если только вентиляторъ достаточно силенъ, достигаетъ 3 и болѣе метровъ, даже если горючій матеріалъ находится въ неособенно крупныхъ кускахъ, а такая толщина слоя даетъ возможность вести газеификацію при весьма высокихъ температурахъ.

Если слой засыпаемаго горючаго не великъ, то является опасность, что черезъ горючій матеріалъ будетъ проходить непоглощенный кислородъ, или что получится газъ богатый углекислотою.

Для удовлетворительнаго хода процесса газеификаціи необходимо также, чтобы вступающій въ генераторъ воздухъ возможно равномѣрно проникалъ черезъ весь слой горючаго матеріала. У стѣнъ генератора при опусканіи внизъ горючее претерпѣваетъ нѣкоторое треніе, вслѣдствіе чего куски горючаго лежатъ здѣсь болѣе рыхло. Газъ и воздухъ встрѣчаютъ здѣсь меньшее сопротивленіе, и потому имѣютъ стремленіе подниматься главнѣйше по стѣнкамъ генератора. Чѣмъ больше сѣченіе генератора, тѣмъ менѣе затрагивается горючій матеріалъ въ срединѣ генератора токомъ воздуха и газа, тѣмъ замѣтнѣе становится вліяніе неравномѣрнаго рас-

[1]) Относительно вліянія такого подогрѣванія сравнить примѣры на стр. 34.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

предѣленія газа и воздуха. По этой причинѣ сѣченіе генераторовъ не дѣлаютъ болѣе 2 кв. м. въ самомъ узкомъ ихъ мѣстѣ, чаще-же оно бываетъ всего отъ 1 до 1,5 кв. м.

Такъ какъ количество газа, получающагося на такомъ пространствѣ, слишкомъ мало, то соединяютъ нѣсколько генераторовъ въ одну группу, о чемъ ниже будетъ сказано подробнѣе. Количество каменнаго угля, превращаемаго въ газъ въ теченіе часа на 1 кв. м. сѣченія генератора при самодувныхъ генераторахъ, достигаетъ 60—80 клгрм. Въ генераторахъ-же съ дутьемъ, съ большею толщиною засыпи и соотвѣтственной упругостью, и количествомъ дутья количество это можетъ быть втрое больше.

Другимъ средствомъ для достиженія равномѣрнаго распредѣленія газовъ внутри генератора является его съуженіе къ низу, т. е. къ мѣсту входа воздуха. Воздухъ поступаетъ здѣсь въ генераторъ ближе къ его оси, и путь, который онъ долженъ совершить, чтобы попасть къ стѣнамъ нижней части генератора, въ этомъ случаѣ будетъ больше чѣмъ въ томъ, когда генераторъ имѣетъ призматическую или цилиндрическую форму. Этимъ средствомъ пользуются всегда, когда это допускаютъ свойства горючаго [1]).

Если отверстія для входа воздуха въ генераторъ (напримѣръ, ступенчатую рѣшетку) устроить у той стороны генератора, которая противуположна отверстію для выхода газовъ изъ генератора, то этимъ также можно заставить газы въ большемъ количествѣ проходить черезъ слой горючаго. Въ частностяхъ генераторы сильно отличаются другъ отъ друга, что объясняется частью различными свойствами горючихъ матеріаловъ, частью различными способами введенія въ генераторы воздуха и, наконецъ, личными воззрѣніями строителя.

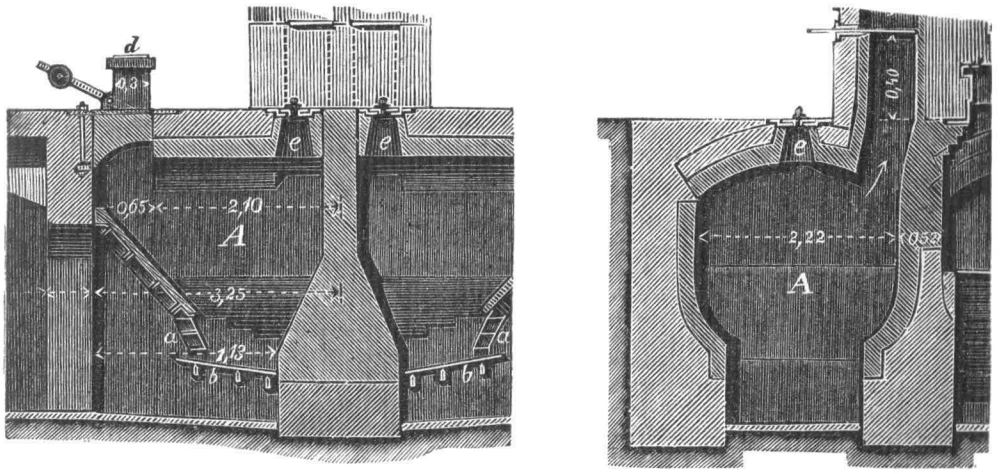
На рис. 12 и 13 изображенъ генераторъ, предложенный еще въ шестидесятыхъ годахъ братьями Вильгельмомъ и Фридрихомъ Сименсами и частью примѣняемый еще и въ настоящее время. Генераторъ дѣйствуетъ на каменномъ или буромъ углѣ. Тяга производится дѣйствіемъ трубы. *A*—группа изъ 4 генераторовъ, поставленныхъ рядомъ другъ съ другомъ въ формѣ квадрата и помѣщенныхъ въ углубленіи почвы. Газы изъ всѣхъ четырехъ генераторовъ поступаютъ въ общій вертикальный каналъ, устроенный посрединѣ квадрата; *d*—засыпная коробка (на рис. 13 справа въ разрѣзѣ изображена половина такой коробки). Каждый такой приборъ

[1]) Напримѣръ, спекающійся каменный уголь вовсе бы не двигался, или-же это движеніе было бы весьма неправильнымъ въ генераторѣ, съуживающимся къ низу. Въ этомъ случаѣ указанное средство непримѣнимо.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

состоитъ изъ чугунной коробки съ желѣзной крышкой, края которой помѣщаются въ жолобкѣ, наполненномъ водою или смолою, и идущемъ вокругъ всей коробки, такъ что затворъ вполнѣ герметиченъ. Снизу коробка закрывается чугуннымъ клапаномъ, приводимымъ въ движеніе рычагомъ съ противовѣсомъ. Съ закрытой снизу посредствомъ клапана коробки снимаютъ крышку, заваливаютъ въ нее горючее, закрываютъ затѣмъ крышкою и открываютъ клапанъ. Горючее падаетъ внизъ. При помощи описаннаго приспособленія устраняютъ, какъ доступъ въ генераторъ воздуха во время засыпи, такъ и выходъ изъ него газа.

Рис. 12 и 13.



Задняя стѣна генератора представляетъ собою плоскость подъ угломъ въ 50—70 градусовъ къ горизонту.

Къ ней примыкаютъ ступенчатыя колосники *a*. Внизу генераторъ ограничивается горизонтальной рѣшеткой съ слабымъ уклономъ; *ee*—отверстія для шурованія; обыкновенно въ каждомъ генераторѣ ихъ 3.

Онѣ служатъ для введенія въ генераторъ ломовъ, которыми можно удалять настыли шлака и помогать равномѣрному осѣданію горючаго. *C* — помѣщеніе для шуровки, общее для двухъ смежныхъ генераторовъ; въ кровлѣ этого помѣщенія устроены отверстія для влѣзанія рабочихъ.

Если изображенный генераторъ долженъ работать съ дутьемъ, то закрываютъ доступъ въ зольникъ желѣзными дверцами и проводятъ дутье подъ рѣшетку колосниковъ.

Группа генераторовъ новѣйшаго устройства, работающихъ съ дутьемъ и назначенныхъ для газеификаціи каменнаго угля, изображена на рис. 14 и 15. Генераторы цилиндрической формы, съ воронкообразнымъ съуженіемъ книзу. (Дутье поступаетъ въ генераторъ черезъ два отверстія фурмы) подъ рѣшетку. Каналомъ *b*, виднымъ на рис. 15 въ продоль-

НБ УДУНТ (ПБТ)

номъ разрѣзѣ газъ проводится въ общій для всѣхъ генераторовъ каналъ *a*, который и отводитъ газъ къ мѣсту употребленія. Клапанъ, устроенный въ каждомъ изъ каналовъ *b* надъ каналомъ *a*, служитъ для разобщенія ихъ, если какой нибудь генераторъ требуется остановить Засыпная коробка и здѣсь закрывается крышкой, которую можно поднимать и опускать помощью цѣпи съ противовѣсомъ (рис. 14). Нижній затворъ коробки состоитъ уже не изъ клапана, какъ у генератора на рис. 12, а изъ конуса, висящаго на штангѣ съ рычагомъ и противовѣсомъ, плотно примыкающаго къ нижнимъ краямъ коробки. Какъ скоро коробка наполнена углемъ и закрыта крышкой, конусъ опускаютъ. Устройство это представляетъ то удобство въ генераторахъ съ круглымъ сѣченіемъ, что засыпаемый горючій матеріалъ скопляется преимущественно у стѣнъ генератора, т. е. какъ разъ тамъ, гдѣ газъ и воздухъ поднимаются въ значительныхъ количествахъ.

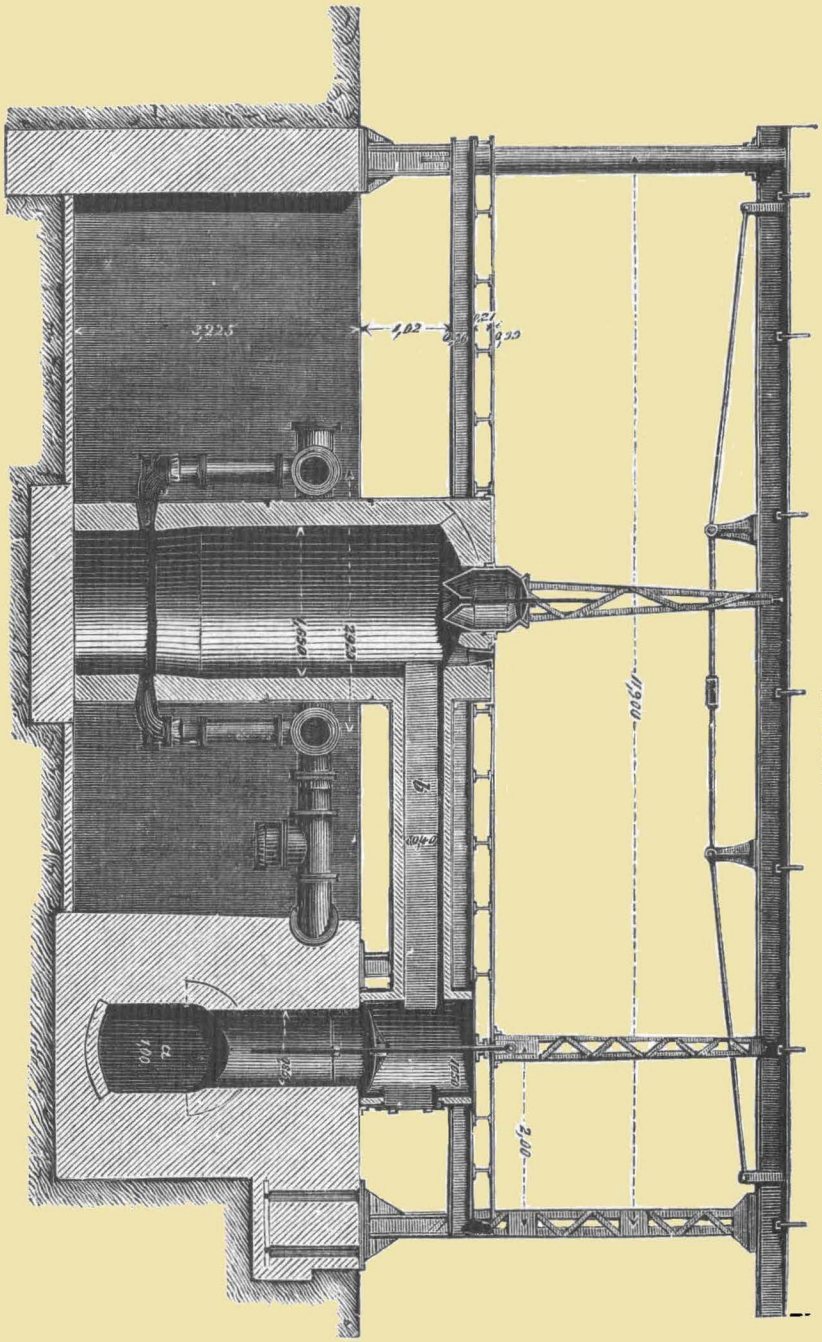
Изображенные генераторы дѣйствуютъ помощью вентилятора, доставляющаго дутье упругостью въ 90 мм. водянаго столба (измѣрено у вентилятора). Получаемый газъ содержитъ 0,5 до 0,7 частей по объему углекислоты и 27 ч. по объему окиси углерода. Слѣдовательно составъ его по сравненію съ приведеннымъ выше (стр. 94) среднимъ составомъ генераторнаго газа, весьма хорошъ. Температура газа, покидающаго генераторъ около, 650° Ц.

Тѣ-же самые генераторы не менѣе пригодны и для газеификаціи бурыхъ углей. Для работы на торфѣ нужно было бы ихъ устроить еще болѣе высокими.

Примѣромъ генератора съ отверстіемъ для выпуска шлаковъ, притомъ назначеннаго для газеификаціи спекающагося угля, можетъ служить генераторъ, изображенный на рис. 16 (генераторъ Сайлера). Чтобы облегчить опусканіе спекающагося угля, генераторъ книзу расширяется. Для того, чтобы дутье могло проникать черезъ спекшуюся массу, требуется сравнительно высокая упругость дутья (100—200 м.м. водянаго столба)—*dd*—отверстія для выпуска образовавшагося шлака. Чтобы дутье въ большемъ количествѣ поступало въ середину генератора, фурмы немного вдвинуты внутрь его, и для предохраненія ихъ отъ быстраго разрушенія ихъ дѣлаютъ полыми и охлаждаютъ водою [1]). *cc*—наполненные водою желѣзные ящики, служащіе для охлажденія стѣнокъ печи, чтобы такимъ образомъ защитить ихъ отъ разъѣдающаго дѣйствія шлака, сдѣлавшагося легкоплавкимъ отъ прибавле-

[1]) Болѣе подробныя свѣдѣнія объ устройствѣ такихъ охлаждаемыхъ водою фурмъ, читатель найдетъ во второй части книги, при описаніи устройства доменныхъ печей.

НБ УДУНТ (ІПБТ)



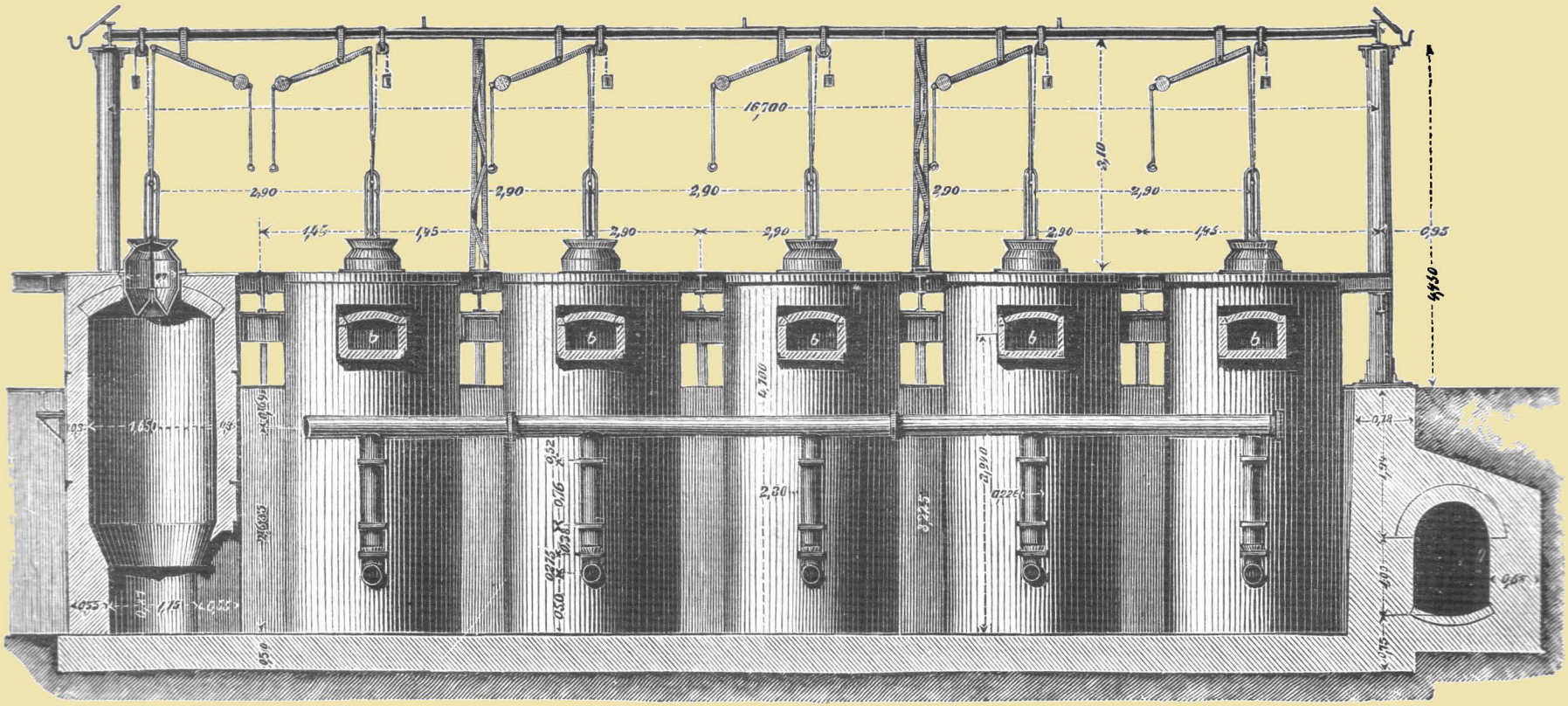
Фиг. 15.

Генераторъ завода Фениксъ.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

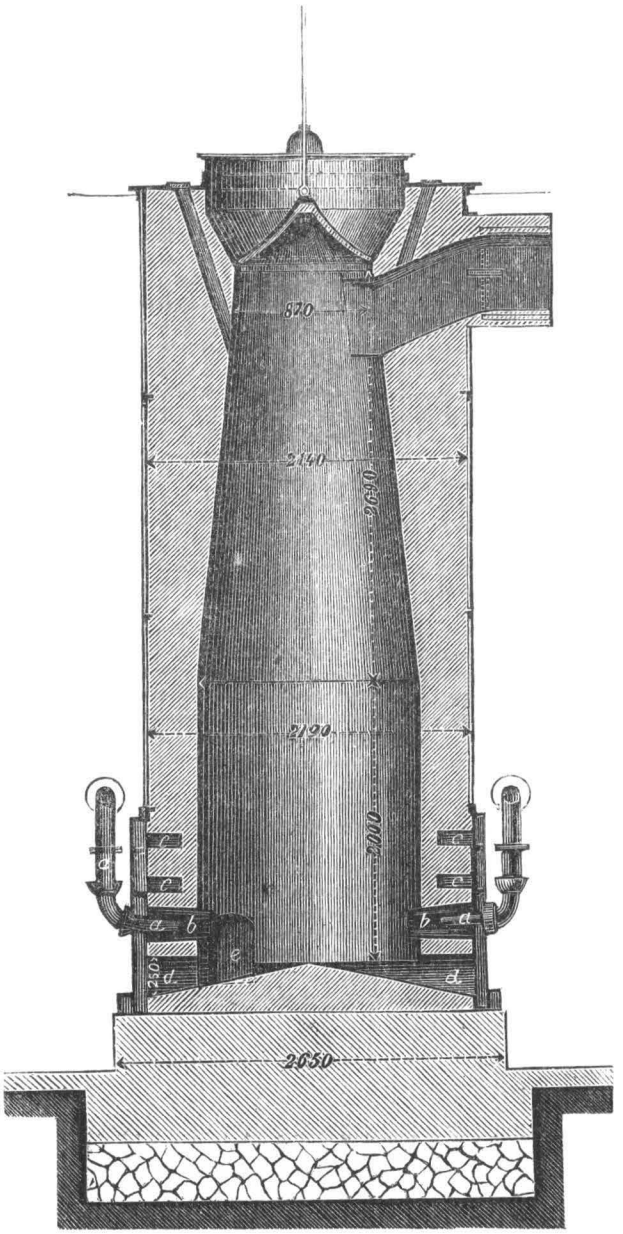
НБ УДУНТ (ПНБТ)

Фиг. 14.



нія известняка, *e*—отверстіе для влѣзанія въ печь въ случаѣ необходимости исправленій внутри ея. Засыпной приборъ точно такой-же какъ у описанныхъ раньше генераторовъ.

Рис. 16.



Газъ удаляется изъ печи при температурѣ отъ 700 —до 900° Ц. Содержаніе углекислоты отъ 1 до 2%.

При каждой загрузкѣ свѣжаго горючаго матеріала температура въ генераторѣ понижается, особенно если при этомъ образуются значительныя количества водянаго пара.

НВ УДУНТ (ІПБТ)

что, конечно, вліяетъ и на самый процессъ газеификаціи. Чтобы устранить этотъ недостатокъ сдѣланы были различныя попытки устраивать генераторы такимъ образомъ, чтобы процессъ сухой перегонки горючаго и процессъ неполнаго сгоранія его происходили въ различныхъ частяхъ генератора. Въ другихъ случаяхъ генераторы устраивали такъ, что пары воды и смолы, образующіеся при разложеніи горючаго и уменьшающіе пирометрическую способность газа, проходили черезъ уже раскаленный уголь, разлагались и превращались въ горючій газъ. Вполнѣ удовлетворительныхъ результатовъ не получилось ни въ одномъ изъ устроенныхъ по такому принципу генераторовъ. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ надежды, возлагаемыя на генераторъ, вовсе не оправдались, въ другихъ стоимость постройки и поддержанія устройства въ порядкѣ была слишкомъ велика, и работа при генераторѣ слишкомъ затруднительна [1]).

При значительномъ размѣрѣ производства оказалось болѣе выгоднымъ соединять нѣсколько генераторовъ въ одну общую группу (рис. 12, 13, 14 и 15) и собирать газы всѣхъ генераторовъ въ одинъ общій каналъ, откуда уже газъ проводится въ каждую работающую имъ печь. Такъ какъ въ различныхъ генераторахъ засыпка происходитъ въ различное время, то при такомъ устройствѣ неправильности въ составѣ газа, происходящія отъ засыпи свѣжаго горючаго, до нѣкоторой степени сглаживаются. Включая же или выключая отдѣльные генераторы изъ группы, можно всегда получить такое количество газа, какое требуется въ данный моментъ для производства.

Устройства для сгущенія водянаго пара.

Раньше еще было указано, что при употребленіи богатаго водою горючаго для полученія газа полезно бываетъ устроить особые конденсаторы, чтобы отнять у газа часть содержащагося въ немъ водянаго пара, и сдѣлать тѣмъ самымъ возможнымъ полученіе высокихъ температуръ при его сжиганіи.

Устройство подобныхъ приспособленій можетъ быть весьма различно. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ достаточно бываетъ устроить длинную желѣзную трубу большаго діаметра, охлаж-

---

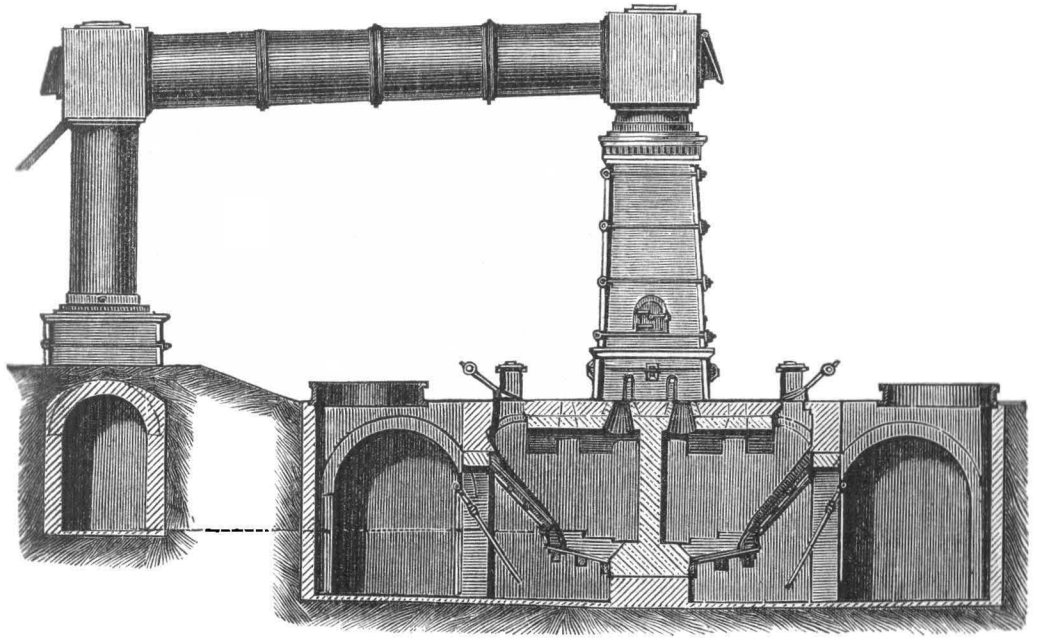
[1]) Самый распространенный генераторъ, въ которомъ разложеніе горючаго и газеификація его происходятъ въ различныхъ мѣстахъ—генераторъ Gröbe Lürmann'a (Гробе-Люрмана). Горючее разлагается въ ретортообразномъ пространствѣ, нагрѣваемомъ извнѣ теряющимся жаромъ печи и затѣмъ поступаетъ помощью механическаго приспособленія въ генераторъ, устроенный обыкновеннымъ образомъ, для газеификаціи. Подробности (съ изображеніемъ) см. Ledebur. Die Gasfeuerungen, стр. 59.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

даемую воздухомъ. По трубѣ медленно течетъ газъ. На рис. 17 изображена подобная труба, впервые устроенная В. Сименсомъ вмѣстѣ съ его генераторомъ (стр. 103), по которой движутся газы нѣсколькихъ (обыкновенно 4) генераторовъ, составляющихъ одну группу. Устраивая подобную колѣнчатую трубу, Сименсъ хотѣлъ кромѣ того усилить тягу въ генераторахъ, работающихъ безъ дутья. Въ правомъ колѣнѣ трубы, построенномъ изъ огнеупорнаго кирпича, газы поднимаются, не подвергаясь охлажденію; въ длинной, верхней, слабонаклонной трубѣ они охлаждаются, причемъ увеличивается ихъ удѣльный вѣсъ и уменьшается ихъ объемъ. Продолжая охлаждаться, они идутъ внизъ по лѣвому колѣну, чтобы поступить въ печь[1]).

Отверстія въ верхней трубѣ служатъ для удаленія осаждающейся смолы. Для удаленія воды легко устроить въ одномъ или въ нѣсколькихъ мѣстахъ соотвѣтственныя приспособленія.

Рис. 17.



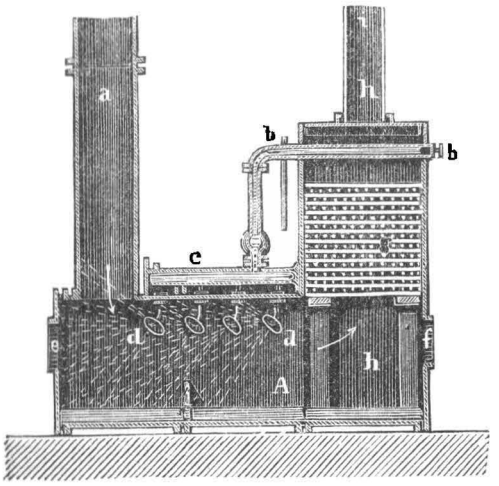
Большихъ результатовъ, чѣмъ простымъ охлажденіемъ извнѣ, можно достигнуть, если привести газъ въ соприкосно-

[1]) В. Сименсъ описываетъ процессъ такимъ образомъ: Смѣсь газовъ подымается по кирпичной трубѣ и поступаетъ въ горизонтальную охладительную трубу, въ которой нѣкоторая часть тепловой энергіи переходитъ въ давленіе. Большая упругость газа необходима по двумъ причинамъ: она дѣлаетъ, во 1-хъ, невозможнымъ всякое проникновеніе воздуха въ газовый каналъ, а 2-хъ способствуетъ тому, чтобы газъ поступалъ въ печь съ нѣкоторымъ избыткомъ давленія. (W. Siemens. Einige wissenschaftlich-technische Fragen der Gegenwart, Berlin 1879, S. 19.

УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (ИПБТ)

веніе съ холодной водой, распредѣленной по большей поверхности. Этого можно достигнуть пуская воду многочисленными мелкими струйками навстрѣчу газу или же заставляя воду, падать на брусья, сложенные въ рѣшетку въ нѣсколько ярусовъ между которыми проходитъ газъ. На рис. 18 [1]) изображено подобное устройство, предназначавшееся сначала для газа, получаемаго изъ древесныхъ опилокъ. Впослѣдствіи такое-же или подобное устройство было примѣнено и для газа изъ бурыхъ углей и другихъ горючихъ матеріаловъ. Газъ поступаетъ изъ трубы *a* въ камеру *d*, гдѣ приходитъ въ соприкосновеніе съ многочисленными мелкими струйками воды. Въ пространствѣ *h* онъ долженъ затѣмъ пройти черезъ рѣшетку изъ крестообразно сложенныхъ другъ надъ другомъ чугунныхъ брусьевъ, на которую сверху течетъ вода. Для правильнаго стока поступившей въ камеры и сгущенной воды, а также и осѣвшей смолы, въ полу камеръ устроенъ соотвѣтственный отводной каналъ; *e* п *f*—отверстія для влѣзанія въ камеры рабочихъ [2]).

Рис. 18.



Во всякомъ случаѣ, однако, всякое охлажденіе газа равносильно потерѣ теплоты, и было-бы нелѣпо намѣренно устраивать такое охлажденіе, если къ этому не понуждаетъ насъ очень значительное содержаніе воды въ газѣ. Пусть, напримѣръ, 1 клгрм. бураго угля съ теплопроизводительной способностью въ 6000 ед. т. даетъ при газеификаціи 3,8 клгрм. сухаго газа, вмѣстѣ съ 0,35 клгрм. водянаго пара. Температура его 300° С. Если охладить этотъ газъ для удаленія большей части содержащейся въ немъ воды до 20°, то у газа такое охлажденіе отниметъ, благодаря его теплоемкости, около 300 ед. т. Слѣдовательно при этомъ теряется $^1/_{20}$ теплопроизводительной способности угля, и потеря ростетъ съ температурой, которой обладалъ газъ до охлажденія. Поэтому въ настоящее время газъ, получаемый изъ каменныхъ и болѣе древнихъ бурыхъ углей не охлаждаютъ нарочно,

[1]) Взято изъ B. Kerl, Grundriss der allgemeinen Hüttenkunde. S. 109.

[2]) Изображеніе болѣе новыхъ приспособленій для удаленія воды посредствомъ охлажденія можно найти въ слѣдующихъ сочиненіяхъ: von Ehrenwerth, Das Eisenhüttenwesen Schwedens, Leipzig 1885, Taf. 1 bis 3; R. Akerman, Bidragtill utredning af fragan om generering utaf bräns-

НБ УДУНТ (ПБТ)

но охлажденіе часто бываетъ необходимо для газа изъ дровъ, торфа или лигнита, если желаютъ получить при его сожиганіи высокую температуру.

е. *Водяной газъ.*

Водяной газъ обязанъ своимъ происхожденіемъ процессу разложенія водянаго пара раскаленнымъ углемъ по формулѣ $H_2O + C = 2H + CO$, о которомъ уже говорилось по поводу смѣшаннаго газа. Если допустить, что возможно провести процессъ указаннымъ формулами путемъ, то составъ водянаго газа былъ бы слѣдующій:

Водородъ. . . . 50 ч. по объему 6.7 ч. по вѣсу
Окиси углерода . 50 „ „ „ 93,3 „ „ „

Но и тутъ температура оказываетъ сильное вліяніе. При бѣломъ каленіи процессъ идетъ приблизительно по указанной формулѣ, между тѣмъ при болѣе низкой температурѣ образуется рядомъ съ окисью углерода и углекислота, а при 500° С., т. е. при темнокрасномъ каленіи окиси углерода не образуется вовсе. Въ послѣднемъ случаѣ процессъ идетъ по формулѣ $2H_2O + C = 4H + CO_2$.

При полученіи водянаго газа въ большемъ видѣ, однако употребляютъ не чистый углеродъ, а коксъ, антрациты, или другіе горючіе матеріалы. Слѣдствіемъ этого являются дальнѣйшія отклоненія въ составѣ водянаго газа. Составъ его колеблется обыкновенно въ слѣдующихъ предѣлахъ:

Водорода. . .	44—53,	въ средн.	48	ч.	по	объем.	или	5.9	ч.	по вѣсу
Окиси углерода	45—40,	„ „	43	„	„	„	„	75,4	„	„ „
Метана . . .	4— 0,	„ „	1	„	„	„	„	1,0	„	„ „
Углекислоты .	1,5— 6,	„ „	3,5	„	„	„	„	9,9	„	„ „
Азота. . . .	8— 1,	„ „	4,5	„	„	„	„	7,8	„	„ „

Одинъ клгрм. водянаго газа подобнаго средняго состава развиваетъ при своемъ сгораніи 3630 ед. т., одинъ куб. метръ его вѣситъ 0,17 килогрм.

Водяной газъ, слѣдовательно, обладаетъ гораздо большею теплопроизводительною способностью, чѣмъ богатый азотомъ обыкновенный генераторный газъ, и гораздо болѣе послѣдняго пригоденъ, даже безъ подогрѣванія, для полученія высокихъ температуръ [1]).

Эти свойства водянаго газа нерѣдко вызывали преувеличенное мнѣніе относительно той пользы, которую можетъ доставить полученіе и примѣненіе его.

Разложеніе водянаго пара раскаленнымъ углемъ, какъ это было упомянуто выше, требуетъ значительной затраты теплоты. При полученіи обыкновеннаго генераторнаго газа теп-

---

legas, Stockholm 1891, Pl. XIII, XIV, XV (отдѣлный оттискъ изъ Jernkonterets Annalen за 1891).

[1]) Теоретическая, вычисленная по формулѣ на стр. 32, температура горѣнія генераторнаго газа—1925° С., а водянаго газа—2740° С.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

лоты, развиваемой углемъ при его сгораніи въ окись углерода, достаточно не только для разложенія (сухой перегонки) употребленнаго горючаго, но и для нагрѣванія образовавшагося газа до болѣе или менѣе высокой температуры.

Легко вычислить, что при полученіи водянаго газа газеификація каждаго килограмма угля сопровождается не развитіемъ, а поглощеніемъ теплоты, количество которой при исключительномъ образованіи окиси углерода равно 2324 ед. т., а при образованіи (исключительномъ тоже) углекислоты — 1513 ед. т.[1]) Этотъ расходъ теплоты необходимо покрыть, чтобы температура въ генераторѣ не понижалась постоянно, слѣдствіемъ чего явилось бы совершенное прекращеніе образованія газа.

Отсюда очевидно, что при полученіи водянаго газа не происходитъ какого либо особенно выгоднаго пользованія горючимъ матеріаломъ, какъ это иногда принимали. Получаютъ, правда, газъ, дающій при своемъ сгораніи большее число единицъ тепла, чѣмъ такое-же количество генераторнаго газа, но избытокъ теплоты, полученный при сожиганіи этого газа сравнительно съ генераторнымъ газомъ, какъ разъ соотвѣтствуетъ тому избытку теплоты, который мы должны были истратить на мѣстѣ полученія водянаго газа. При полученіи водянаго газа затрачиваютъ извѣстное количество теплоты и какъ бы берутъ за это вексель, который и уплачивается при сожиганіи газа. Но точно также, какъ при векселяхъ неизбѣжны проценты, такъ и при полученіи водянаго газа необходимо израсходовать нѣкоторое излишнее количество теплоты, которое уже не возвращается при сожиганіи газа. Правда, пользованіе теплотою, развиваемою при сожиганіи водянаго газа, можетъ быть въ нѣкоторыхъ случаяхъ болѣе благопріятнымъ, чѣмъ въ случаѣ употребленія обыкновеннаго генераторнаго газа. Этому благопріятствуетъ то обстоятельство, что высокая температура горѣнія водянаго газа способствуетъ передачѣ теплоты, и что количество продуктовъ горѣнія уходящихъ изъ области горѣнія и уносящихъ съ собой количество теплоты, соотвѣтствующее температурѣ горѣнія, въ этомъ случаѣ меньше, чѣмъ это бываетъ при горѣніи, генераторнаго газа, если отнести его къ равнымъ количествамъ развитой теплоты[2]).

Неизбѣжную потерю теплоты при образованіи водянаго газа въ большомъ производствѣ покрываютъ слѣдующимъ образомъ. Заставляютъ воздухъ и водяной паръ проходитъ по-очередно черезъ одинъ и тотъ же генераторъ, обыкновенно въ противоположныхъ направленіяхъ, слѣдуя закону

[1]) Расходъ теплоты, отнесенный къ 1 клгрм. разложеннаго водянаго пара, равенъ 1519 ед. т., какъ это было вычислено на стр. 94.

[2]) Подробности объ этомъ, Ledebur, Die Gasfeuerungen, S. 70.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

обратнаго теченія Очевидно, что при этомъ по-очередно будутъ получаться обыкновенный генераторный и водяной газы. При полученіи генераторнаго газа, теплота развивается и уголь постепенно раскаляется до-бѣла; при полученіи же водянаго газа температура быстро падаетъ. Такъ какъ температура при полученіи генераторнаго газа, тѣмъ выше, чѣмъ меньше воды и летучихъ составныхъ частей содержитъ въ себѣ горючее, то при полученіи водянаго газа примѣняютъ обыкновенно только коксъ, антрацитъ или близкіе къ антрациту тощіе каменные угли.

Теоретически необходимо сжечь 0,9 килограммъ угля воздухомъ въ окись углерода, чтобы покрыть расходъ теплоты при образованіи водянаго газа изъ 1 клгрм. угля; но такъ какъ при полученіи генераторнаго, какъ и водянаго газа неизбѣжны потери теплоты и, кромѣ того, газы покидаютъ генераторъ въ сильно нагрѣтомъ состояніи, то дѣйствительный расходъ угля на образованіи генераторнаго газа въ два четыре раза больше, чѣмъ при образованіи водянаго газа, и на 1 куб. м. водянаго газа приходится получать отъ 3 до 5 куб. м. генераторнаго.

Если соединить оба эти газа, то получится ничто иное, какъ упомянутый на стр. 96 смѣшанный газъ, полученіе котораго однако можетъ происходить гораздо болѣе простымъ путемъ. Для этого нужно только впускать въ горячоидущій генераторъ, наполненный коксомъ или антрацитомъ, постоянно незначительное количество водянаго пара вмѣстѣ съ воздухомъ. Если же желаютъ получать водяной газъ и примѣнять въ дѣло отдѣльно, то не остается ничего другаго, какъ оставлять генераторный газъ безъ употребленія, или же примѣнять его для постороннихъ цѣлей.

Это обстоятельство крайне затрудняетъ выгодное употребленіе водянаго газа. Если не пользоваться еще получающимся генераторнымъ газомъ, то общій расходъ горючаго матеріала для достиженія извѣстной конечной цѣли крайне высокъ, выше чѣмъ при какой либо другой системѣ отопленія; найти же примѣненіе образующемуся въ весьма значительныхъ количествахъ обыкновенному генераторному газу, которое бы соотвѣтствовало его качествамъ и стоимости, не всегда бываетъ возможно.

Стоимость полученія водянаго газа, уже по этой причинѣ сравнительно велика, но къ этому присоединяется еще то обстоятельство, что стоимость устройства для полученія водянаго газа значительно превосходитъ стоимость устройствъ для обыкновеннаго генераторнаго газа съ такимъ же тепловымъ эффектомъ. Вотъ, почему, несмотря на всѣ старанія распространить примѣненіе водянаго газа въ желѣзодѣлательномъ производствѣ, его примѣняютъ

УНБ УДУНТ (ІПБТ)

лишь въ рѣдкихъ случаяхъ; опыты-же, дѣлавшіеся время отъ времени съ цѣлью ввести водяной газъ вмѣсто генераторнаго, во многихъ отношеніяхъ оказались неудачными.

Если въ послѣдствіи когда-нибудь обстоятельства сложатся такъ, что окажется цѣлесообразнымъ получать горючій газъ въ значительныхъ количествахъ на мѣстѣ добычи угля и по трубамъ отводить его къ различнымъ мѣстамъ его потребленія то, можетъ быть, водяной газъ будетъ имѣть большее значеніе, чѣмъ теперь.

Объемъ водянаго газа, необходимаго для полученія извѣстнаго тепловаго эффекта, приблизительно вдвое меньше, чѣмъ объемъ генераторнаго газа съ тѣмъ-же тепловымъ эффектомъ, а это обстоятельство тѣмъ важнѣе чѣмъ на большія разстоянія проводится газъ.

Принимая во вниманіе небольшое значеніе, которое имѣетъ въ настоящее время водяной газъ для желѣзнаго производства, считаемъ возможнымъ оставить приборы, употребляемые для его полученія [1]) безъ разсмотрѣнія

Литература.

A. Вообще о горючихъ матеріалахъ.

L. Gruner, Traite de metallurgie, т. I, стр. 36—174. Paris. 1877.
E. F. Dürre, Anlage und der Betrieb der Eisenhüten. т. I, стр. 200 и слѣд.
B. Kerl, Grundriss der Allgemeinen Hüttenkunde, стр. 64—198. Leipzig. 1879.
H. Grothe, Die Brennmaterialien und die Feuerungsanlagen für Fabriken, Gewerbe und Haus. Weimar. 1870.
P. W. Brix, Untersuchungen über die Heizkraft der wichtegeren Brennstoffe des preussischen staates. Berlin. 1853.

B. О деревѣ и переугливаніи дерева.

A. v. Kerpely, Die Anlage und Betrieb der Eisenhütten, стр. 412.
C. v. Berg, Anleitung zum Verkohlen des Holzes. 2 Aufl. Darmstadt. 1860.
Gillot, De la carbonisation du bois. Paris. 1872.
Dromart, Traite de la carbonisation en forets. Paris. 1880.

C. О торфѣ, его подготовкѣ къ употребленію и переугливанію.

A. Vogel, Der Torf, seine Natur und Bedeutung. Braunschweig. 1859.
A. Hausding, Industrielle Torfgewinnung und Torfverwerthung. Berlin. 1873.
E. Birnbaum und K. Birnbaum, Die Torfindustrie und die Moorcultur. Braunschweig. 1880.

D. О буромъ углѣ.

C. F. Zinken, Die Braunkohle und ihre Verwendung. 2 тома. Hannover. 1867 и 1871.

E. О каменномъ углѣ и коксованіи его.

H. B. Geinitz, H. Fleck und Hartig. Die Steinkohlen Deutschlands und anderer Länder Europas, ihre Natur, Lagerungsverhältnisse, Verbrei-

---

[1]) Важнѣйшіе генераторы для водянаго газа описаны и изображены у Ledebur'a. Die Gasfeuerungen стр. 74—80; печи дѣйствующія на водяномъ газѣ, тамъ же стр. 119. Подробности можно найти въ премированномъ сочиненіи: M. Geitel, Das Wassergas und seine Verweddung in der Technik, Berlin 1890, отдѣльный оттискъ изъ Glasers Annalen für Gewerde und Bauwesen, T. XXIV—XXVI.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

tung, Geschichte, Statistik und technische Verwendung. 2 тома. München. 1865.
F. Toula, Die Steinkohlen, ihre Eigenschaften, Vorkommen, Entstehung und nationalökonomische Bedeutung. Wien. 1888.
E. Noeggerath, Untersuchungen über die Heizkraft der Steinkohlen des Niederschlesischen Reviers. Waldenburg. 1881.
A. v. Kerpely, Anlage und Betrieb der Eisenhütten. Стр. 424 и слѣд.
A. Burat, Epuration de la houille, criblage, triage et lavage. Paris. 1881.
F. Muck, Die Chemie der Steinkohle. Leipzig. 1891.
F. Simmersbach, Die Koksfabrikation im Oberbergamtsbezirke Dortmund. Berlin. 1887.

F. О горючихъ газахъ и полученіи газовъ.

L. Ramdohr, Die Gasfeuerung. 2 Aufl. Leipzig. 1881.
H. Stegmann, Gasfeuerungen und Gasöfen. 2 Aufl. Berlin. 1881.
F. Steinmann, Compendium der Gasfeuerung. 2 Aufl. Freiberg. 1876.
C. Stöckmann, Die Gaze des Hochofens und der Siemens-Generatoren. Ruhrort. 1876.
Ledebur, Die Gasfeuerungen für metallurgische Zwecke. Leipzig. 1891.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ.

Печи и огнеупорные матеріалы.

1. Общія понятія. Коэффиціентъ полезнаго дѣйствія печей.

Печью называется всякій приборъ, въ которомъ сожигается горючій матеріалъ съ цѣлью передачи теплоты, развиваемой при этомъ другимъ тѣламъ.

Коэффиціентомъ полезнаго дѣйствія печи называется отношеніе количества тепла, которымъ въ ней или посредствомъ нея дѣйствительно воспользовались, и тѣмъ количествомъ тепла, которое можетъ развить горючій матеріалъ благодаря своей теплопроизводительной способности. Если, напримѣръ, назначеніе печи—переплавлять чугунъ коксомъ, и на 1 клгр. переплавляемаго чугуна расходуется 0,12 клгрм. кокса, то теплотой, которой мы воспользовались въ печи будетъ та, которая будетъ воспринята расплавленнымъ чугуномъ и образовавшимися, тоже жидкими, шлаками. Всего легче опредѣлить это количество теплоты, выливая извѣстное количество расплавленнаго металла и шлака въ извѣстное количество воды, температура которой опредѣляется до и послѣ вливанія въ нее металла и шлака.

Теплопроизводительную-же способность кокса можно опредѣлить приблизительно посредствомъ опредѣленія количества содержащейся въ немъ золы и извѣстныхъ цифръ, выражающихъ теплопроизводительную способность чистой коксовой массы. Положимъ, что 1 клгрм. расплавленнаго чугуна вос-

НБ УДУНТ (ІПБТ)

принимаетъ, напримѣръ, 280 ед. т.; на каждый 1 клгрм. чугуна приходится 0,1 шлака, въ каждомъ килограммѣ котораго содержится 470 ед. т. Теплопроизводительная способность кокса съ 10% золы пусть будетъ = 7200 ед. т. Коэффиціентъ полезнаго дѣйствія печи будетъ =

$$\frac{280 + 0{,}1 \times 470}{0{,}12 \times 72000} = 0{,}37.$$

Однако не всегда опредѣленіе коэффиціента полезнаго дѣйствія печи бываетъ столь просто, какъ въ описанномъ случаѣ. Если въ печи происходитъ цѣлый рядъ химическихъ процессовъ, при которыхъ происходитъ поглощеніе или выдѣленіе теплоты (возстановленіе, окисленіе), то при опредѣленіи коэффиціента полезнаго дѣйствія этой печи необходимо принимать во вниманіе и эти количества теплоты, которыя можно опредѣлить только путемъ вычисленій. Количество теплоты, израсходованной на веденіе процесса, которою въ сущности мы воспользовались при этомъ (безъ нея самый процессъ не былъ-бы возможенъ), прибавляется въ числителѣ дроби къ количеству теплоты, на самомъ дѣлѣ переданной продуктамъ операціи и измѣренной. Число-же, выражающее развитую въ печи теплоту, ставится въ знаменателѣ. Если для одной и той-же цѣли примѣняются печи различнаго устройства, то сравненіе коэффиціентовъ ихъ полезнаго дѣйствія является важнымъ средствомъ для оцѣнки ихъ цѣлесообразности.

2. Различныя видоизмѣненія печей.

а) Горна.

Горна представляютъ старѣйшій и самый простой приборъ для нагрѣванія металловъ.

Куча зажженнаго древеснаго угля, расположенная прямо на почвѣ или-же въ ея углубленіи, служила самымъ простымъ приборомъ для нагрѣванія металла, который просто всовывался въ нея, если нужно было просто накалить металлъ. Если имѣли въ виду расплавленіе нагрѣваемаго вещества, то помѣщали его въ тигель, который уже и ставился въ огонь. У болѣе развитыхъ народовъ примѣнялись уже простые мѣха для поддержанія горѣнія. Изображенія, сохранившіяся въ древнихъ Ѳивахъ, показываютъ намъ, что уже нѣсколько тысячелѣтій тому назадъ въ Египтѣ, подобнымъ образомъ производилась тигельная плавка [1]), и даже въ настоящее время мы находимъ у нѣсколькихъ дикихъ на-

[1]) Подобное изображеніе можно найти у Beck'a: Geschichte des Eisens, Band I. S. 75, а также у Rich. Andree, Die Metalle bei den Naturvelkern, Leipzig 1884, Seite 4.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

родовъ тотъ же самый простой пріемъ для нагрѣванія металловъ. Примѣромъ можетъ служить способъ нагрѣванія желѣза, употребляемый въ странѣ Бари у Бѣлаго Нила, изображенный на рис. 19 [1]). Однако при подобномъ способѣ сожиганія уголь часто разваливался и, кромѣ того, происходила большая потеря теплоты, обусловленная непрерывной циркуляціей воздуха вокругъ угольной кучи. Для устраненія этихъ недостатковъ угольную кучу окружили со всѣхъ сторонъ низкой стѣной. Такимъ образомъ получился простѣйшаго устройства горнъ, часто примѣняемый и нынѣ въ любой кузницѣ—кузнечный горнъ.

Въ данномъ случаѣ—въ кузнечныхъ горнахъ для большаго удобства горнъ располагаютъ на основаніи на высотѣ

Рис. 19.



стола. Горна большихъ размѣровъ устраиваются на уровнѣ почвы.

Такимъ образомъ горна представляютъ собои низкія, открытыя сверху печи, имѣющія видъ ящика или углубленія, обыкновенно четырехугольныя, въ которыхъ переработываемыя тѣла приводятся въ соприкосновеніе съ горящими, твердыми, горючими матеріалами. Горючимъ матеріаломъ для горновъ служатъ большею частью обугленные матеріалы (въ особенности древесный уголь); для горновъ-же кузнечныхъ почти всегда спекающійся каменный уголь (причины этого из-

[1]) W. v. Harners Reise am obern Nil, Darmstadt 1866. Отсюда заимствованно изобрѣтеніе у Andree, Metalle bei den Naturvölkern. S. 9.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

ложены на стр. 47). Воздухъ, необходимый для горѣнія, приводится въ эти горна посредствомъ мѣховъ и вдувается по трубкѣ, направленной черезъ край горна нѣсколько наклонно во внутрь горна или-же снизу вверхъ.

Передача теплоты въ горнахъ весьма несовершенная. Продукты горѣнія, воспринимающіе большую часть развитой при горѣніи теплоты поднимаются кверху и вскорѣ покидаютъ горнъ, не приходя уже въ дальнѣйшее соприкосновеніе съ нагрѣваемыми тѣлами, которыя нагрѣваются поэтому исключительно непосредственнымъ соприкосновеніемъ съ горящими тѣлами и исходящей отъ нихъ лучистой теплотой. Кромѣ того самое устройство горна обусловливаетъ собою сгораніе значительнаго количества угля, не приходящаго вообще вовсе въ соприкосновеніе съ нагрѣваемымъ предметомъ. Коэффиціентъ полезнаго дѣйствія горновъ поэтому всегда весьма малъ и рѣдко превосходитъ 0,05, а часто бываетъ еще ниже. Несмотря на это, до настоящаго времени горна во многихъ случаяхъ незамѣнимы, именно тогда, когда за одинъ разъ нагрѣваются лишь небольшія количества руды или металла. Стоимость устройства горновъ сравнительно весьма незначительна, и уходъ за ними весьма простъ, что служитъ достаточной причиной, чтобы считать ихъ, особенно при малыхъ размѣрахъ производства, самымъ удобнымъ приборомъ для нагрѣванія. Причины, уясняющія и оправдывающія ихъ примѣненіе иногда и при обширныхъ размѣрахъ производства, будутъ изложены при разсмотрѣніи отдѣльныхъ случаевъ.

b) Шахтныя печи.

Изъ горна, окруженнаго каменной стѣной возникла шахтная печь. Для этого стѣнки горна сдѣлали выше и стали вдувать воздухъ въ печь снизу. Высота шахтныхъ печей по крайней мѣрѣ равна наибольшему ихъ діаметру, часто-же бываетъ гораздо больше; главная ось печей вертикальна. Внутренность печи (шахта) имѣетъ форму цилиндрическую, конусообразную или иную, смотря потому, какая изъ нихъ наиболѣе отвѣчаетъ цѣлямъ примѣненія печи. Поперечное сѣченіе шахты большею частью кругъ. Такъ какъ кругъ изъ всѣхъ фигуръ данной площади обладаетъ наименьшимъ периметромъ, то и потеря теплоты черезъ лучеиспусканіе всего меньше для шахты съ круглымъ поперечнымъ сѣченіемъ. То-же самое нужно сказать и относительно сопротивленій, вызываемыхъ въ шахтѣ треніемъ о стѣнки ея находящихся въ ней тѣлъ (газообразныхъ и твердыхъ), правильность движенія которыхъ можетъ быть нарушена этими сопротивленіями.

Горѣніе происходитъ какъ уже сказано въ нижней части шахтной печи. Притокъ воздуха въ печь вызывается иногда

НБ УДУНТ (ІПБТ)

(для болѣе медленнаго горѣнія горючаго, напримѣръ, въ обжигательныхъ печахъ или-же въ очень низкихъ печахъ, хотя бы для тигельной плавки) тягою (всасывающимъ дѣйствіемъ) трубы, причемъ въ нѣкоторыхъ случаяхъ сама печь исполняетъ эту роль.

У большинства-же шахтныхъ печей, гдѣ требуется быстрое сгораніе горючаго, а слѣдовательно поднимающіеся газы встрѣчаютъ большее сопротивленіе, воздухъ доставляется въ печь воздуходувной машиной.

Въ нѣкоторыхъ, хотя и рѣдкихъ случаяхъ, шахтныя печи дѣйствуютъ горючими газами, которые вводятся въ печь черезъ отверстія, лежащіе рядомъ или немного выше отверстій для притока воздуха, необходимаго для горѣнія, съ которымъ затѣмъ и смѣшиваются газы. Въ шахтныхъ печахъ гораздо чаще примѣняютъ твердые горючіе матеріалы, которые засыпаются въ верхнее отверстіе печи, колошникъ, и затѣмъ постепенно спускаются книзу, занимая мѣсто горючаго газеифицированнаго въ пространствѣ горѣнія. Если въ послѣднемъ случаѣ захотѣли-бы употреблять необугленные матеріалы, то получились бы явленія, подобныя тѣмъ, которые происходятъ въ генераторѣ при газеификаціи подобныхъ же горючихъ матеріаловъ: въ верхней части печи происходило бы разложеніе (сухая перегонка) горючаго, а внизу печи оказались-бы лишь обугленные горючіе матеріалы. Обугливаніе горючаго не только было-бы процессомъ, безполезнымъ для хода печи, но и мѣшало-бы ея дѣйствію, поглощая извѣстное количество тепла. Если бы захотѣли примѣнить въ шахтныхъ печахъ спекающійся каменный уголь, то онъ спекся бы, что могло-бы быть причиной загроможденія шахты печи. Поэтому практика выработала правило, что для дѣйствія шахтныхъ печей слѣдуетъ примѣнять переугленные горючіе матеріалы. Сырые-же и не спекающіеся горючіе матеріалы (бурые угли, тощіе угли, антрациты) находятъ себѣ примѣненіе въ шахтныхъ печахъ лишь въ исключительныхъ случаяхъ, когда горючихъ матеріаловъ, пригодныхъ для переугливанія, въ распоряженіи не имѣется, и если особенности процесса не препятствуютъ примѣненію такихъ матеріаловъ.

Если шахтными печами пользуются для плавки въ тигляхъ, то тигли помѣщаются въ нижней части печи непосредственно надъ пространствомъ, гдѣ идетъ горѣніе, т. е. тамъ, гдѣ господствуетъ самая высокая температура. Во всѣхъ остальныхъ шахтныхъ печахъ нагрѣваемые матеріалы засыпаются въ колошникъ и спускаются затѣмъ постепенно книзу по мѣрѣ того, какъ изъ нижней части печи удаляются нагрѣтые тѣла. Такимъ образомъ въ шахтныхъ печахъ можно поддерживать непрерывное правильное ихъ дѣйствіе, если черезъ соотвѣтственныя промежутки времени снизу удалять

НБ УДУНТ (ІПБТ)

изъ нихъ нагрѣтыя тѣла, напримѣръ, позволяя имъ вытекать, а сверху засыпать свѣжіе матеріалы.

Во всякомъ случаѣ газообразные продукты горѣнія, образовавшіеся въ нижней части печи и содержащіе большую часть, развитой въ печи теплоты, всегда поднимаются кверху и удаляются черезъ колошникъ. Движеніе ихъ, слѣдовательно, обратно движенію отпускающихся внизъ твердыхъ тѣлъ, что весьма важно для утилизаціи теплоты въ печи. Результатомъ этого оказывается продолжительное соприкосновеніе между газами, отдающими теплоту и нагрѣваемыми тѣлами, что въ значительной степени облегчаетъ передачу теплоты послѣднимъ. На стр. 35 было подробно указано, насколько сильно вліяютъ въ этомъ смыслѣ именно обратныя направленія движенія газовъ и твердыхъ тѣлъ (законъ обратнаго движенія). Чѣмъ дольше находятся въ печи спускающіеся тѣла и чѣмъ они ниже спустились, тѣмъ больше они поглощаютъ тепла, которое такимъ образомъ снова вносится въ нижнюю часть печи. Горючіе матеріалы, слѣдовательно, поступаютъ въ пространство горѣнія уже сильно нагрѣтыми и теплота, принесенная ими, здѣсь снова утилизируется. Она замѣняетъ собою нѣкоторое соотвѣтственное количество горючаго, причемъ однако не увеличивается количество продуктовъ горѣнія. Получается болѣе высокая температура горѣнія и происходитъ болѣе легкая передача теплоты, какъ это было раньше подробно указано. Точно также и тѣла (руды, металлы), которыя нагрѣваются ради ихъ обработки, въ настоящихъ шахтныхъ печахъ (не служащихъ для тигельной плавки), спускаясь, нагрѣваются *постепенно*, такъ какъ приходятъ въ соприкосновеніе все съ болѣе и болѣе горючими газами. Въ нижнюю часть печи, наконецъ, они поступаютъ въ значительной степени подогрѣтыми, и для нагрѣва ихъ до окончательной температуры требуется сравнительно небольшое количество теплоты.

Въ шахтныхъ печахъ, слѣдовательно, спускающіеся твердыя тѣла въ значительной степени возвращаютъ тепло обратно въ печь, что дѣлаетъ ихъ самымъ совершеннымъ приборомъ для нагрѣванія, если только особенности процесса допускаютъ ихъ примѣненіе. Если между поднимающимися газами и спускающимися твердыми тѣлами должно происходить химическое взаимодѣйствіе (напр. возстановленіе окисью углерода), то продолжительное взаимное ихъ соприкасаніе представляетъ и въ этомъ случаѣ значительныя выгоды.

Коэффиціентъ полезнаго дѣйствія обыкновенныхъ шахтныхъ печей по крайней мѣрѣ равенъ 0,30 и бываетъ иногда значительно больше. Гораздо ниже коэффиціентъ шахтныхъ печей для тигельной плавки. Съ одной стороны въ этомъ случаѣ не происходитъ подогрѣванія переплавляемаго металла,

НБ УДУНТ (ІПБТ)

а съ другой стороны самая передача теплоты гораздо затруднительнѣе. Поэтому коэффиціентъ полезнаго дѣйствія шахтныхъ печей при тигельной плавкѣ рѣдко бываетъ болѣе 0,04, а часто и еще ниже.

c. Пламенныя (отражательныя) печи.

Позднѣе горновъ и шахтныхъ печей возникли пламенныя (отражательныя) печи. Возникновеніемъ своимъ они обязаны стремленію воспользоваться сырыми, горючими матеріалами, горящими пламенемъ, для нагрѣванія тѣлъ, не приводя послѣднія въ непосредственное соприкосновеніе съ горючимъ. Вокругъ нагрѣваемаго тѣла наваливали горючій матеріалъ и, чтобы воспользоваться дѣйствіемъ пламени, покрывали все сводомъ, имѣвшимъ видъ купола, въ которомъ устраивались отверстія для выхода газовъ такимъ образомъ, чтобы пламя по возможности равномѣрно наполняло все пространство. Позднѣе топку стали устраивать на одной сторонѣ печи, но газы и въ этомъ случаѣ, какъ и раньше, удаляли изъ печи черезъ отверстія въ ея сводѣ. Подобная пламенная печь 1647 года, служившая для литья бронзы на одномъ французскомъ орудійномъ заводѣ, изображена на рис. 20 [1]). A— собственно печь; у D расположена топка, состоящая изъ рѣшетки, помѣщенной въ углубленіи. Наполненіе топки горючимъ происходило сверху черезъ особое засыпное отверстіе, закрывавшееся крышкой. По обѣимъ длиннымъ сторонамъ печи находятся отверстія, служившія для насаживанія въ печь металла и закрывавшіяся дверцами, которыя поднимались кверху помощью рычага съ цѣпями. *CC* — упомянутыя отверстія для выхода газовъ. Отверстія для выпуска жидкаго металла находятся на сторонѣ печи противоположной топкѣ. Рабочій только-что открылъ это отверстіе помощью длинной штанги и, на рисункѣ видѣнъ вытекающій изъ печи жидкій металлъ.

Тяга въ подобной печи могла быть лишь довольно слабой; воздухъ поступалъ въ печь въ недостаточномъ количествѣ, горѣніе было неполное, какъ это видно на рисункѣ по массѣ развивающагося дыма. Полученіе хотя до нѣкоторой степени высокихъ температуръ было затруднительно. Значеніе и дѣйствіе трубы, значительно превосходящей высотою высоту печи и расположенной на противуположной топкѣ сторонѣ печи, трубы, которая въ состояніи установить сильную тягу въ печи, было узнано лишь во второй половинѣ восемнадцатаго столѣтія и только съ этого времени

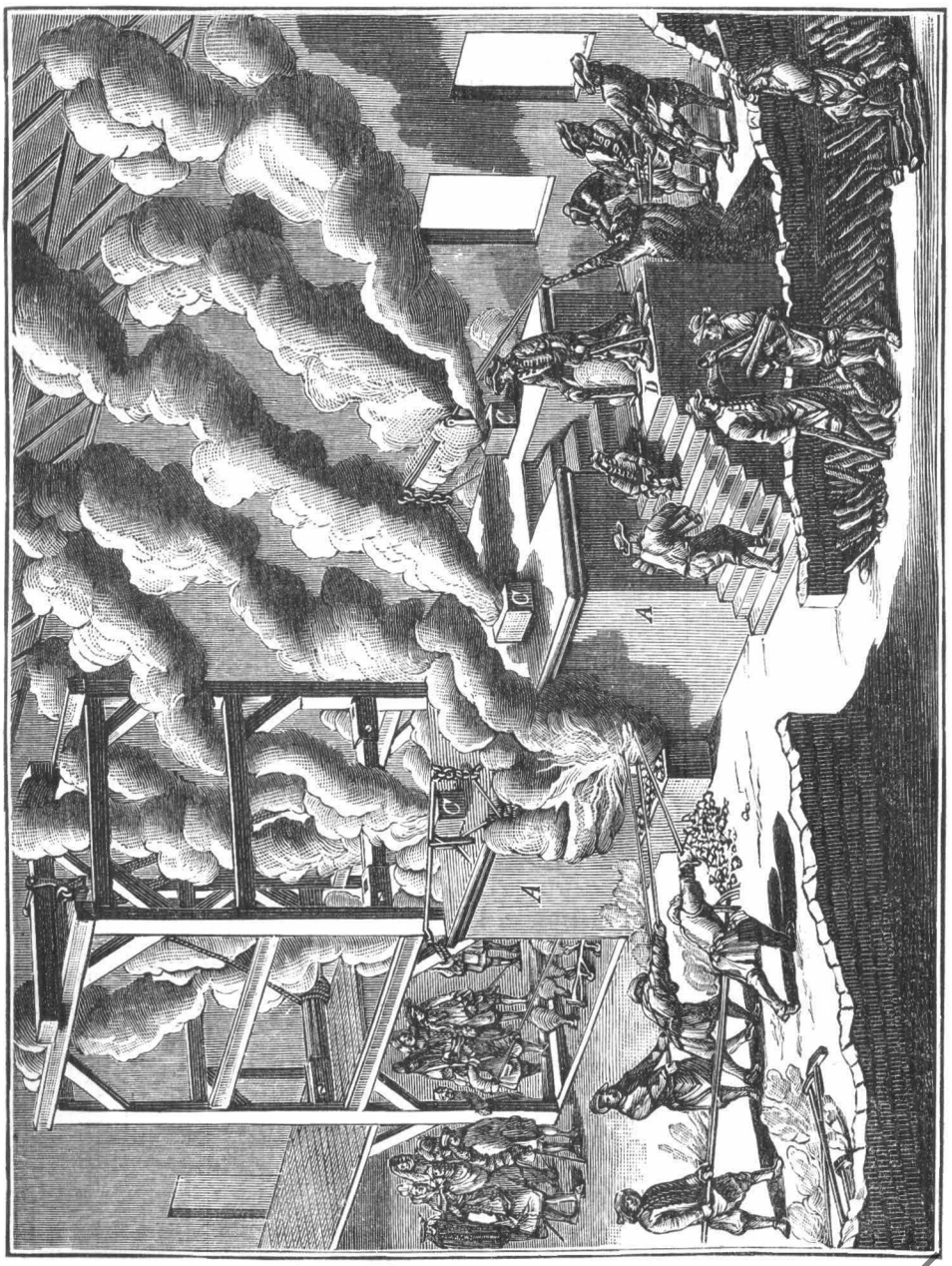
[1]) Memoire d'Artillerie 1647. Отсюда изображеніе заимствовано въ the popular seience monthly vol. XXXVIII, p. 154.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

стало возможнымъ пользоваться пламенными печами при желѣзномъ производствѣ.

Въ настоящее время пламенная печь состоитъ какъ бы изъ горизонтальнаго, наклоннаго или изломаннаго канала,

Рис 20.



начинающагося у топки и оканчивающагося у трубы, въ которомъ помѣщаются нагрѣваемыя тѣла. Для помѣщенія послѣдняго въ каналѣ этомъ дѣлается расширеніе, такъ называемое рабочее пространство печи, легко доступное извнѣ.

НБ УКУНТ (ІПБТ)

Дѣйствіе трубы въ случаѣ необходимости можно усилить, доставляя еще въ печь воздухъ посредствомъ воздуходувной машины.

Изъ этого общаго описанія пламенныхъ печей видно, что движеніе въ нихъ нагрѣваемыхъ тѣлъ въ направленіи обратномъ движенію тока газовъ невозможно, или же возможно въ весьма незначительныхъ размѣрахъ между тѣмъ, какъ въ шахтныхъ печахъ это то обстоятельство и вліяетъ благотворно на увеличеніе коэффиціента полезнаго дѣйствія печи. Нагрѣваемыя тѣла съ самаго начала находятся въ наиболѣе нагрѣтой части печи, въ которую газы поступаютъ въ сильно нагрѣтомъ состояніи. Затѣмъ послѣдніе покидаютъ печь, не приходя уже болѣе въ соприкосновеніе съ нагрѣваемыми тѣлами. Поэтому газы уносятъ съ собою весьма большую часть развитой теплоты, которая лишь отчасти можетъ быть употреблена на пользу самой пламенной печи, если воспользоваться ею для нагрѣванія поступающаго въ печь воздуха, расходуемаго при нагрѣваніи или же при газовой топкѣ и для нагрѣванія газа, и такимъ образомъ ввести эту теплоту обратно въ печь. Указанный здѣсь несомнѣнный недостатокъ пламенныхъ печей нѣсколько ослабляется тѣмъ обстоятельствомъ, что теряющимся жаромъ печей можно съ выгодою пользоваться для различныхъ побочныхъ цѣлей, напр. для отопленія паровыхъ котловъ.

Наряду съ болѣе старыми пламенными печами съ колосниковой рѣшеткой въ девятнадцатомъ столѣтіи появились пламенныя печи съ газовой топкой. Оба эти типа значительно отличаются своимъ устройствомъ другъ отъ друга. Поэтому разсмотрѣніе каждаго типа нужно вести отдѣльно.

Пламенныя печи съ колосниковой рѣшеткой.

Колосниковая рѣшетка расположена непосредственно за рабочимъ пространствомъ печи, гдѣ должна развиваться наивысшая температура. Рис. 21 и 22 показываютъ внутренній абрисъ подобной пламенной печи: *a*—колосниковая рѣшетка, которая, смотря по свойствамъ горючаго, можетъ быть горизонтальной, ступенчатой и т. д., *c*—рабочее пространство печи.

Если въ печи не происходитъ плавленія металла (сварочныя печи, калильныя печи), то подъ ея представляетъ горизонтальную или наклонную плоскость; въ печахъ же, въ которыхъ происходитъ плавленіе металла, поду придаютъ форму углубленную. Между поверхностями рѣшетки и пода рабочаго пространства должно существовать извѣстное отношеніе, зависящее отъ свойствъ горючаго матеріала и температуры, которая должна существовать въ печи. Въ пламенныхъ печахъ, употребляющихся въ желѣзномъ производствѣ, от-

НБ УДУНТ (ІПБТ)

ношеніе это не бываетъ меньше чѣмъ 1 : 4 и рѣдко болѣе чѣмъ 1 : 2. Длина рабочаго пространства должна соразмѣряться съ длиною пламени, но не должна превосходить, даже при горючихъ, дающихъ длинное пламя, 4 метровъ, если только въ рабочемъ пространствѣ должна господствовать равномѣрная температура. Если послѣдняя не требуется, длина рабочаго пространства можетъ достигать 8—9 метровъ.

Границу между топкой и рабочимъ пространствомъ образуетъ такъ называемый большой порогъ *b*. Длина его (поперекъ печи) равна ширинѣ топки; этой-же величинѣ равняется и наибольшая ширина рабочаго пространства. Придавать послѣднему большую ширину, выгибая его стороны, было-бы нецѣлесообразно, если только такой формы не требуютъ какія либо особыя причины.

Рис. 21.

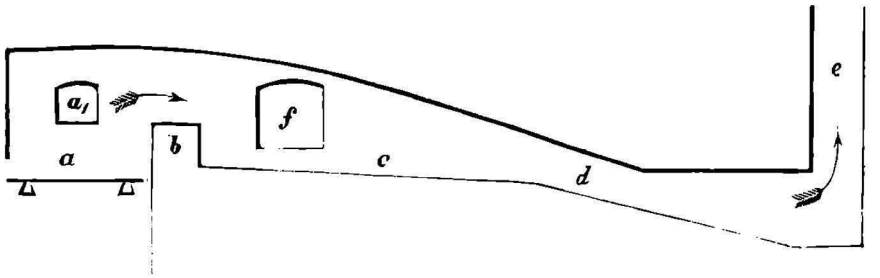
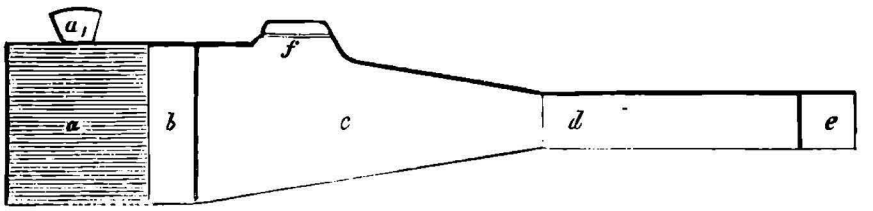


Рис. 22.



Чѣмъ больше разстояніе между верхнимъ краемъ порога и колосниками, тѣмъ болѣе толстый слой горючаго можно на нихъ засыпать, тѣмъ меньше кислорода содержится въ газахъ, проходящихъ чрезъ рѣшетку; въ этомъ случаѣ пламя получается дымное, дѣйствующее возстановительнымъ образомъ, но количество развитой теплоты меньше, и получающаяся температура ниже. Въ тѣхъ случаяхъ, слѣдовательно, гдѣ нужно по возможности избѣгать окисленія тѣлъ, находящихся въ печи, и гдѣ не требуется высокой температуры, (напримѣръ въ калильныхъ печахъ для листоваго желѣза) разстояніе между колосниками и верхнимъ краемъ порога должно быть велико (до 1 метра).

Если-же желательно получить высокую температуру и

НБ УДУНТ (ІПБТ)

окислительное пламя, то разстояніе это уменьшается до 0,3 метра.

Порогъ предохраняетъ находящіяся въ печи тѣла отъ паденія въ топку, а также и отъ непосредственнаго дѣйствія пламени.

Чѣмъ больше разстояніе между верхнимъ краемъ порога и подомъ самой печи, тѣмъ лучше защищены отъ химическихъ воздѣйствій пламени тѣла, находящіяся въ ней, но тѣмъ труднѣе происходитъ передача имъ теплоты, а, слѣдовательно, и ихъ нагрѣваніе. Поэтому величина этого разстоянія колеблется отъ нѣсколькихъ сантиметровъ до 0,5 метра, смотря по тому, требуется ли сильный нагрѣвъ тѣлъ, лежащихъ въ печи, или нужно по возможности избѣжать ихъ окисленія.

Пролетъ или окно надъ порогомъ, черезъ который горящіе газы поступаютъ въ печь, называется пламеннымъ окномъ. Величина его опредѣляется шириною печи въ этомъ мѣстѣ (длиною порога), которая въ виду условій работы у колосниковой рѣшетки рѣдко бываетъ болѣе 1,5 метровъ, и разстояніемъ свода печи отъ верхняго края большаго порога, Послѣднее главнымъ образомъ зависитъ отъ назначенія печи, въ особенности же отъ величины массъ меттала, насаживаемыхъ въ печь. Чѣмъ меньше высота свода надъ порогомъ, тѣмъ сильнѣе будетъ нагрѣваться печь, тѣмъ совершеннѣе будетъ передача теплоты. У большинства печей величина пламеннаго окна равняется 0,3—0,5 величины всей поверхности колосниковой рѣшетки.

Чѣмъ больше удаляется пламя отъ своего источника, т. е. отъ топки, тѣмъ больше содержится въ немъ продуктовъ горѣнія, которые разжижаютъ оставшіеся еще не сгорѣвшими газы. Кромѣ того, по мѣрѣ удаленія отъ топки теплота пламени постепенно передается стѣнкамъ печи и тѣламъ, находящимся въ ней.

Если построить печь, поперечное сѣченіе которой оставалось-бы одинаковымъ отъ пламеннаго порога до ея конца, то вслѣдствіе указанныхъ причинъ температура печи все понижалась бы и понижалась, а это повлекло бы за собой весьма неполное горѣніе. Чтобы устранить этотъ недостатокъ, сѣченіе печи начиная отъ пламеннаго порога должно постоянно уменьшаться. При этомъ скорость движенія газовъ постепенно увеличивается, вслѣдствіе чего замедляется ихъ охлажденіе.

Лучше всего можно достигнуть этой цѣли, если постепенно приближать сводъ печи къ ея поду и, кромѣ того, какъ это показано на рисункѣ, придать основанію печи трапецоидальную форму.

Однако назначеніе печи не всегда позволяетъ придавать ей такую форму. Часто приходится дѣлать ее четырехуголь-

НБ УДУНТ (ІПБТ)

ною или неправильною, и въ этомъ случаѣ нужно стараться получить во всѣхъ частяхъ печи довольно равномѣрную температуру путемъ постепеннаго приближенія свода къ поду.

Печь сверху покрыта сводомъ, производящія линіи котораго параллельны оси ея. Сводъ этотъ отражаетъ нѣкоторую часть теплоты, выдѣленной пламенемъ, на подъ печи. Въ прежнее время этому обстоятельству придавали, можетъ быть, слишкомъ большое значеніе и называли эти печи отражательными печами.

Выпуклый сводъ отражаетъ теплоту въ середину печи, т. е. при этомъ будетъ происходить неравномѣрное нагрѣваніе пода.

На одной изъ сторонъ печи, смотря по ея назначенію, находится отверстіе для насаживанія въ нее нагрѣваемыхъ тѣлъ. Оно закрывается подъемными (обыкновенно) чугунными дверцами съ огнеупорной футеровкой на внутренней сторонѣ.

Въ концѣ печи сѣченіе ея достигаетъ наименьшей величины. Отсюда газы поступаютъ въ сильно съуженный каналъ d, отводящій ихъ изъ печи и называемый боровкомъ. Для поддержанія равномѣрно высокой температуры въ печи, сѣченіе его необходимо дѣлать небольшимъ. Часто оно не превосходитъ $^1/_{10}$ или, самое большое, $^1/_6$ всей поверхности колосниковой рѣшетки. Однако, чѣмъ меньше сѣченіе боровка, тѣмъ съ большими сопротивленіями встрѣчаются здѣсь газы, тѣмъ сильнѣе должна быть тяга трубы, въ которую поступаютъ на конецъ газы. Если боровокъ длинный, то рекомендуется съуживать его лишь на короткомъ протяженіи близъ конца печи, а затѣмъ снова расширить его.

Чтобы понять дѣйствіе боровка, нужно только вспомнить дѣйствіе ламповаго стекла, съуживающагося надъ пламенемъ. Газы и смѣшанный съ ними воздухъ устремляются въ одномъ направленіи и съ увеличенною скоростью улетаютъ въ боровокъ, причемъ происходитъ ихъ тѣсное сближеніе другъ съ другомъ. Стѣнки боровка при быстромъ движеніи газовъ сильно нагрѣваются и дѣйствуютъ также на части печи, лежащія сзади. Всѣ эти обстоятельства вмѣстѣ обусловливаютъ наконецъ полное сгораніе всѣхъ, не сгорѣвшихъ еще частицъ, содержащихся въ газахъ. Если боровокъ слишкомъ широкъ, то точно также, какъ и при слишкомъ широкомъ ламповомъ стеклѣ, получается дымное—коптящее пламя.

Расположеніе боровка не всегда бываетъ такое, какимъ оно изображено на рисункѣ. Иногда, если желаютъ избѣгнуть слишкомъ сильнаго дѣйствія газовъ на нагрѣваемыя тѣла, его устраиваютъ въ сводѣ печи такъ, что газы удаляются кверху изъ печи. Въ другихъ случаяхъ его направляютъ вертикально внизъ изъ печи, и заставляютъ газы пройти подъ подомъ печи, чтобы нагрѣть послѣдніи и снизу.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Если желаютъ воспользоваться удаляющимися изъ печи газами для отопленія паровыхъ котловъ, то послѣдніе располагаютъ между боровкомъ и трубою.

Вмѣсто того, чтобы для каждой печи устраивать отдѣльную трубу, въ подобныхъ случаяхъ устраиваютъ одну общую для нѣсколькихъ печей и котловъ трубу, въ которую газы проводятся подземными каналами. Точно также можно расположить двѣ или нѣсколько печей при одномъ общемъ паровомъ котлѣ, соединяя ихъ газы. Тогда, какъ высоту трубы для одной печи безъ пароваго котла совершенно достаточно сдѣлать равной 15—20 метрамъ, высоту подобныхъ общихъ (главныхъ) трубъ дѣлаютъ по крайней мѣрѣ равною 40—50 метрамъ.

Сѣченіе ихъ разсчитывается такимъ образомъ, чтобы скорость въ нихъ газовъ по крайней мѣрѣ равнялась 2 метрамъ и не была меньше даже, если нѣсколько печей не будутъ дѣйствовать [1]). Для правильнаго дѣйствія подобной общей трубы необходимо, чтобы различныя струи газовъ вступали въ нее въ паралельныхъ направленіяхъ, такъ какъ въ противномъ случаѣ произошелъ-бы ударъ, и замедленіе теченія газовъ. Если, слѣдовательно, съ трубою сообщаются дымовые каналы съ различнымъ направленіемъ, то въ трубѣ устраивается вертикальная перегородка такой вышины, чтобы газы, идущіе по этимъ каналамъ, получили одинаковое движеніе кверху до мѣста ихъ соединенія.

Въ подобныхъ печахъ не пользуются удаляющейся изъ печи теплотою для подогрѣва воздуха для горѣнія. Это было бы безполезно, какъ это указано на стр. 25.

Нерѣдко эти печи дѣйствуютъ съ нижнимъ дутьемъ. Въ этомъ случаѣ въ помощь тягѣ трубы подъ колосниковую рѣшетку съ закрытымъ зольникомъ вводятъ дутье. Подобно тому, какъ при генераторахъ съ дутьемъ, и здѣсь этимъ путемъ достигается большая независимость дѣйствія печи отъ случайностей, отъ которыхъ при тягѣ трубою зависитъ количество поступающаго въ печь воздуха, въ особенности же отъ вліянія измѣняющейся толщины слоя горючаго на колосниковой рѣшеткѣ.

Значеніе этого обстоятельства дѣлается тѣмъ замѣтнѣе, чѣмъ въ болѣе мелкихъ кускахъ находится горючій матеріалъ. Такъ какъ количество поступающаго въ печь воздуха

[1]) Скорость газовъ можно вычислить при данномъ сѣченіи трубы изъ количества горючаго, сжигаемаго въ единицу времени и ихъ температуры. Принимая во вниманіе необходимый для полнаго горѣнія избытокъ воздуха, можно считать, что 1 клгр. каменнаго угля даетъ около 17 куб. м., а 1 клгр. бураго угля — около 15 куб. м. продуктовъ горѣнія при температурѣ равной 0°. Въ большинствѣ случаевъ газы поступаютъ въ трубу съ температурой въ 250—300° С. вслѣдствіе чего объемъ ихъ увеличивается по извѣстной формулѣ: $V_1 = V(1+0{,}0036\,t)$.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

въ случаѣ примѣненія дутья подвержено менѣе сильнымъ колебаніямъ, чѣмъ безъ него, то и избытокъ воздуха, необходимый для полнаго горѣнія, вообще въ среднемъ можетъ быть меньше. Съ уменьшеніемъ же его растетъ температура горѣнія, отдача теплоты происходитъ легче, и уменьшается количество улетучивающихся изъ печи газовъ, уносящихъ съ собой теплоту, слѣдовательно, происходитъ болѣе совершенная утилизація теплоты [1]). Поэтому нерѣдко оказывается возможнымъ посредствомъ примѣненія нижняго дутья для пламенныхъ печей достичь извѣстнаго сбереженія горючаго. Однако, чѣмъ больше золы содержитъ въ себѣ горючій матеріалъ, тѣмъ чаще должна прочищаться колосниковая рѣшетка. Каждая чистка ея гораздо затруднительнѣе при печахъ съ нижнимъ дутьемъ, чѣмъ при печахъ самодувныхъ, такъ какъ въ первомъ случаѣ необходимо каждый разъ открывать закрытый зольникъ, причемъ происходитъ прекращеніе дутья. Поэтому нижнее дутье примѣняютъ особливо въ такихъ мѣстностяхъ, гдѣ въ распоряженіи заводчика имѣются горючіе матеріалы, бѣдные золой [2])

Упругость дутья, поступающаго подъ колосниковую рѣшетку не должна быть велика; она меньше, чѣмъ въ генераторахъ съ нижнимъ дутьемъ, въ которыхъ воздухъ долженъ проходить черезъ болѣе толстый слой горючаго. Упругость дутья при различныхъ печахъ бываетъ отъ 10 до 50 мм. водянаго столба. Величина эта зависитъ отъ величины кусковъ горючаго, отъ сопротивленій, встрѣчаемыхъ продуктами горѣнія при своемъ движеніи, и отъ тяги трубы. Простая воздуходувка будетъ, слѣдовательно, давать дутья требуемой упругости. Если дутье нужно лишь для нѣкоторыхъ печей, то иногда примѣняютъ паростpуйный приборъ, который устанавливаютъ рядомъ съ зольникомъ. Для большаго числа печей лучше поставить общій вентиляторъ.

Пламенныя печи съ газовой топкой.

Изъ различныхъ видовъ горючаго газа, о которыхъ была рѣчь выше, для отопленія пламенныхъ печей преимущественно употребляютъ обыкновенный генераторный газъ. Число печей, дѣйствующихъ на этомъ газѣ, съ каждымъ годомъ все увеличивается. Устраивать ихъ начали съ 1840 года, когда вслѣдствіе благопріятныхъ результатовъ, полученныхъ Фабр-дю-Форомъ при примѣненіи доменныхъ газовъ (стр.

[1]) Практическіе наблюденія надъ примѣненіемъ нижняго дутья: Stahl und Eisen 1884, стр. 169.

[2]) Описаніе и изображеніе устройства колосниковой рѣшетки, очистку которой можно производить, не открывая каждый разъ зольникъ, помѣщено въ Stahl und Eisen 1881, стр. 229. Примѣненіе этого устройства, какъ увѣряютъ, дало хорошіе результаты.

НБ УДУНТ (ГПБТ)

85) приступили къ искусственному полученію генераторнаго газа. Выгоды, получающіяся при замѣнѣ твердаго горючаго газообразнымъ, были подробно изложены выше, на стр. 86. Естественный газъ, какъ уже было упомянуто, какъ горючій матеріалъ для желѣзнаго производства имѣетъ значеніе только въ Сѣверной Америкѣ. Колошниковые (доменные) газы примѣняются только для извѣстныхъ цѣлей (для отопленія паровыхъ котловъ, нагрѣванія дутья доменныхъ печей, иногда для обжига рудъ). Водяной-же газъ, вслѣдствіе вышеизложенныхъ причинъ, пока слишкомъ дорогъ для того, чтобы получить значительное распространеніе. Поэтому все, что будетъ сказано ниже объ устройствѣ пламенныхъ печей съ газовыми топками, относится преимущественно къ употребленію обыкновеннаго генераторнаго газа. Впрочемъ, измѣненія конструкціи печи, которыхъ потребовало-бы примѣненіе какого-нибудь другаго горючаго газа, незначительны.

Устройство разсматриваемыхъ пламенныхъ печей претерпѣло въ теченіи 50 лѣтъ со времени ихъ введенія въ употребленіе довольно много измѣненій.

Выше было уже упомянуто, что сожиганіе газовъ происходитъ легче и съ меньшимъ избыткомъ воздуха, чѣмъ сожиганіе твердаго горючаго. Это обстоятельство и давало часто поводъ къ примѣненію газовыхъ топокъ тамъ, гдѣ употреблялись малоцѣнные горючіе матеріалы—дрова, торфъ, бурый уголь—мало пригодны для полученія высокихъ температуръ горѣнія. Подобныя газовыя пламенныя печи были довольно распространены въ альпійскихъ провинціяхъ Австріи, на Гарцѣ, въ Швеціи и другихъ мѣстахъ. Они дѣйствовали съ дутьемъ, причемъ помощью дутья производилась какъ газеификація горючаго, такъ и сожиганіе получаемаго газа. Несомнѣнно, что дутье, особенно если оно вводится въ газъ въ видѣ мелкихъ струекъ, въ значительной степени облегчаетъ быстрое и полное сгораніе этого газа. Въ прежнихъ печахъ воздухъ для горѣнія верхнее дутье) — подогрѣвали въ особыхъ трубахъ, нагрѣвавшихся теряющейся теплотой печи на нѣсколько сотъ градусовъ. Такимъ образомъ утилизировали теряющуюся теплоту печи, и пріобрѣтали возможность даже въ случаѣ малоцѣннаго горючаго, особенно предварительно высушеннаго, получать такія температуры, которыхъ никогда нельзя было-бы достигнуть при простой топкѣ съ колосниковой рѣшеткой [1])

Однако съ начала шестидесятыхъ годовъ подобныя печи стали исчезать довольно быстро. Искусственное сушеніе го-

[1]) Изображенія подобныхъ печей можно найти въ: Zeichnungen der Hütte, 1860. табл. 18, 1861, табл. 16 d, e; Ledebur. Gasfeurungen. фиг. 3, 4, 5.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

рючихъ матеріаловъ съ обильнымъ содержаніемъ воды требовало большихъ приспособленій и значительныхъ расходовъ на плату рабочимъ. Улучшеніе путей сообщенія часто позволило получать болѣе дорогіе горючіе матеріалы: каменный и бурый уголь по сравнительно низкимъ цѣнамъ изъ такихъ мѣстностей, которыя находились на большихъ разстояніяхъ отъ мѣста добычи рудъ. Кромѣ того убѣдились, что даже въ случаѣ примѣненія каменнаго угля часто бываетъ выгоднѣе предварительно подвергнуть его газеификаціи, чѣмъ сожигать на колосниковой рѣшеткѣ. Затѣмъ нашли, что примѣненіе дутья для сожиганія газа не безусловно необходимо, если только имѣется труба, производящая достаточную тягу. Наконецъ, для подогрѣванія воздуха вмѣсто чугунныхъ, быстро портившихся трубъ, стали пользоваться самой печью, для чего начали проводить воздухъ черезъ нагрѣтыя части ея.

Всѣ новѣйшія газовыя пламенныя печи устроены на этихъ общихъ основаніяхъ. Печи Сименса, къ разсмотрѣнію которыхъ мы сейчасъ приступимъ, были первыми, въ которыхъ основанія эти были примѣнены въ ясно выраженной формѣ.

Печи Сименса (прежде называвшіяся регенеративными печами).

Печи эти были впервые устроены братьями Вильгельмомъ Сименсомъ (въ Лондонѣ) и Фридрихомъ Сименсомъ (въ Дрезденѣ) около 1860 года и въ скоромъ времени получили большое значеніе. Главная особенность ихъ состоитъ въ двухъ парахъ регенераторовъ (собирателяхъ теплоты), т. е. камерахъ построенныхъ изъ огнеупорныхъ кирпичей и заполненныхъ внутри такими-же кирпичами такъ, что газы проходятъ черезъ нихъ совершенно свободно, соприкасаясь съ большею поверхностью кирпичей [1]). На каждомъ концѣ печи расположено по парѣ такихъ регенераторовъ. Черезъ одну пару ихъ удаляются изъ печи горячіе газы и нагрѣваютъ ихъ, т. е. оставляютъ въ нихъ теплоту. По истеченіи извѣстнаго времени, когда камеры эти (регенераторы) достаточно нагрѣлись, перекидываютъ клапана, т. е. заставляютъ газъ двигаться въ направленіи, обратномъ прежнему. Газъ, идущій изъ генератора, поступаетъ въ печь черезъ одну предварительно нагрѣтую камеру, а воздухъ для его сожиганія — черезъ другую.

Проходя по камерамъ газъ и воздухъ подогрѣваются, встрѣчаются другъ съ другомъ въ нагрѣтомъ состояніи и

[1]) Идея, положенная въ основаніе устройства печей Сименса, высказывалась въ различныхъ видахъ съ начала нынѣшняго столѣтія, но не получила практическаго примѣненія. Подробности объ этомъ см. Polytechnische Centralblatt 1872, S. 144; Berg und hüttenmannische Zeitung 1873, S. 27; Zeitschrift der oesterr. Ingenieur- und Architecten Vereins, 1886. Heft. I.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

развиваютъ при горѣніи очень высокую температуру. Газы-же, удаляющіеся изъ печи, нагрѣваютъ камеры, находящіяся на противоположномъ концѣ печи, пока снова не перекипутъ клапана.

Печь Сименса изображена на рис. 23—26: AA_1 и BB_1—регенераторы. Болѣе узкіе изъ нихъ—AA_1—служатъ для нагрѣванія газа, болѣе широкіе—BB_1—для нагрѣванія воздуха. Клапаны *cd* служатъ для приданія перемѣннаго направленія воздуху и газу, притокъ которыхъ регулируется другими клапанами, находящимися надъ первыми *c*—воздушный клапанъ, *d*—газовый. Оба клапана расположены параллельно и приводятся въ движеніе рычагомъ со штангами (рис. 26). Въ положеніи клапановъ, изображенномъ на рис. 26, идущій сверху газъ поступаетъ налѣво черезъ каналъ *l* въ регенераторъ *A*, воздухъ-же черезъ каналъ *m* въ регенаторъ *B*. Соединеніе газа съ воздухомъ происходитъ въ верхней части рабочаго пространства C печи.

Продукты горѣнія идутъ внизъ камеръ A_1 и B_1, откуда и проходятъ подъ клапанами въ каналы *n* и *o* и затѣмъ поступаютъ въ общій каналъ *p*. Если нужно измѣнить направленіе теченія газа и воздуха, то помощью упомянутаго рычага поворачиваютъ клапаны на 90^0. Теперь газъ и воздухъ идутъ направо по каналамъ *o* и *n* въ регенераторы A_1 и B_1, тогда какъ продукты горѣнія идутъ обратно слѣва и поступаютъ, какъ и прежде, въ каналъ *p*.

Такъ какъ во всякомъ случаѣ необходимо перекидывать клапаны задолго до того времени, когда вся теплота собранная въ регенераторахъ будетъ израсходована, то при началѣ дѣйствія печи Сименса съ каждымъ перекидываніемъ клапановъ происходитъ повышеніе температуры горѣнія. Въ началѣ газъ и воздухъ встрѣчаются въ холодномъ состояніи. Горѣніе получается неполное, температура горѣнія низкая. Удаляющіеся изъ печи газы отдаютъ часть своей теплоты регенераторамъ, но, конечно, не могутъ нагрѣть ихъ выше соотвѣтственной температуры. Перекидываютъ клапана. Газъ и воздухъ подогрѣваются, хотя и не особенно сильно. Во всякомъ случаѣ температура горѣнія повышается. Болѣе горячіе газы отдаютъ большія количества теплоты противоположнымъ регенераторамъ, которые поэтому нагрѣваются сильнѣе, чѣмъ первые. Послѣ вторичнаго перекидыванія клапановъ температура горѣнія снова повысится и т. д. Наступающая диссоціація (стр. 17) прекращаетъ наконецъ во всякомъ случаѣ дальнѣйшее повышеніе температуры.

При надлежащемъ управленіи притокомъ газа и воздуха въ печь и при соотвѣтственномъ расходу теплоты въ печи расходѣ горючаго матеріала печи Сименса даютъ намъ возможность полученія самыхъ высокихъ температуръ, дости-

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Рис. 23. Разрѣзъ по A-B.

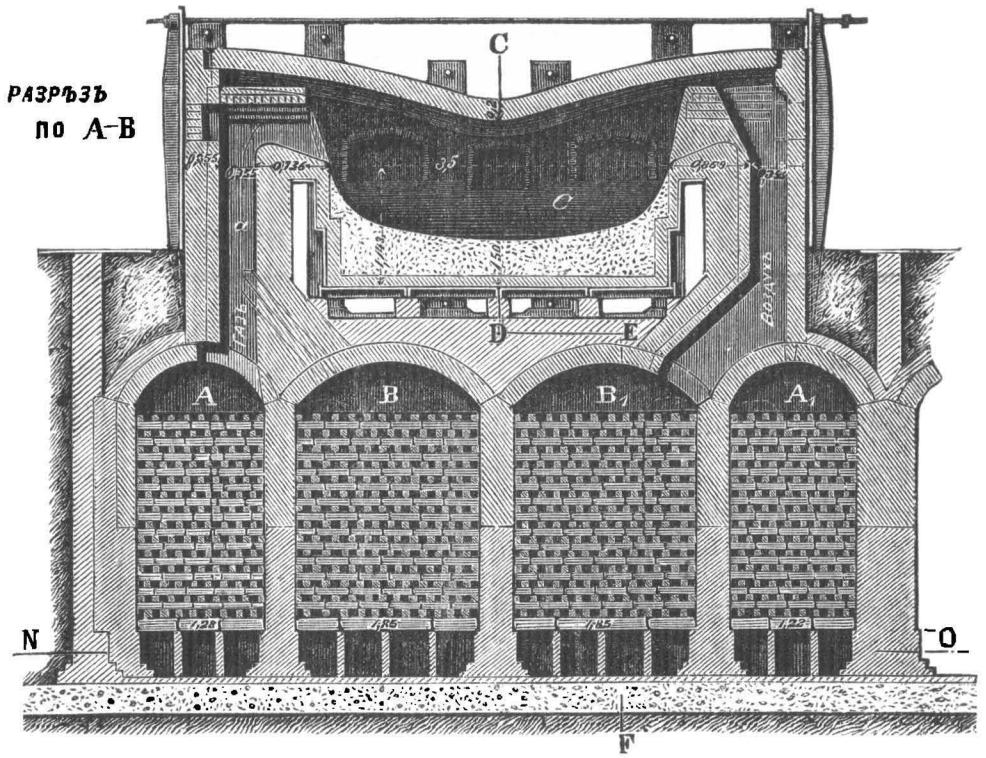
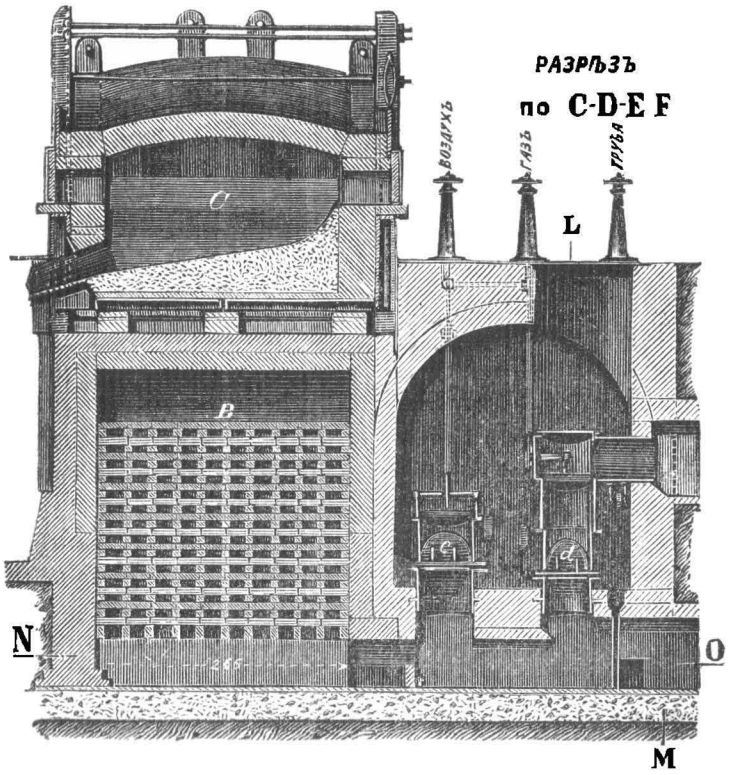


Рис. 24. Разрѣзъ по C-D-E-F.



НБ УДУНТ (ІПБТ)

Рис. 25. Разрѣзъ по N-O.

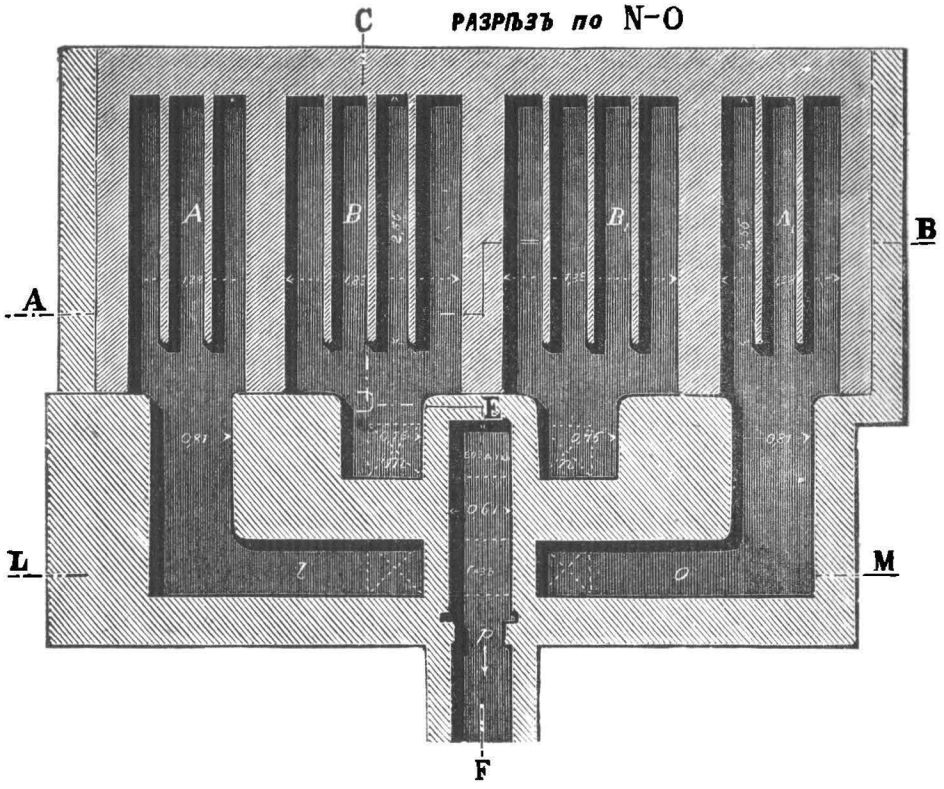
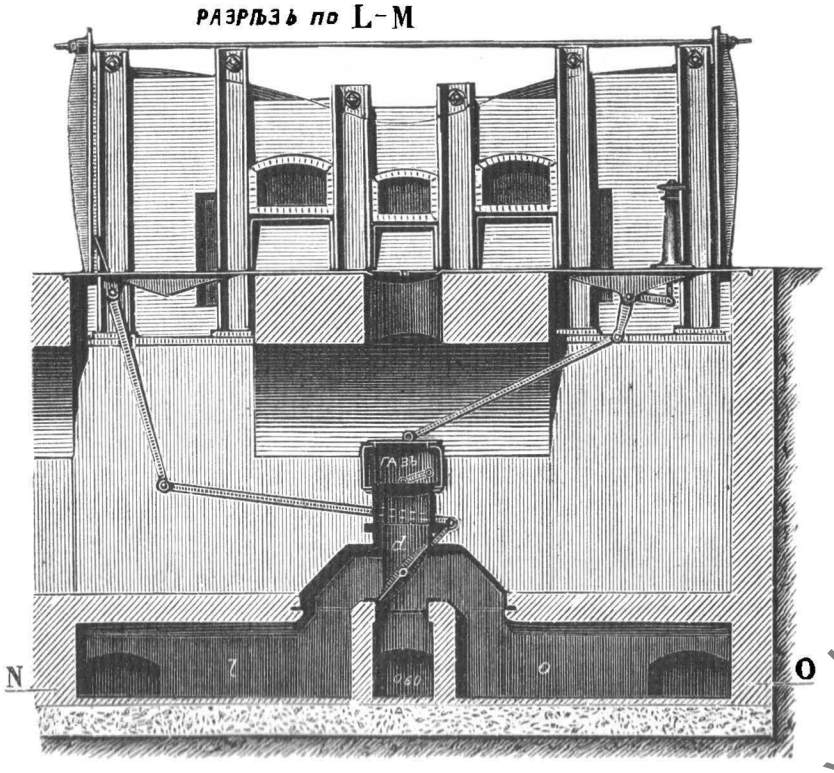


Рис. 26. Разрѣзъ по L-M.



НБ УДУНТ (ІПБТ)

жимыхъ при обычныхъ условіяхъ. Изъ сказаннаго однако слѣдуетъ, что преимущества печей Сименса становятся ощутительными лишь спустя нѣкоторое время послѣ того, какъ ихъ пустили въ ходъ. Поэтому печи эти непригодны въ тѣхъ случаяхъ, когда дѣйствіе ихъ должно продолжаться лишь короткое время, (напримѣръ) въ литейныхъ мастерскихъ, гдѣ печи пускаются въ ходъ лишь на нѣсколько часовъ и послѣ того снова останавливаются.

Развитіе процесса горѣнія въ печахъ Сименса можно прослѣдить простымъ глазомъ. При пускѣ печи въ ходъ пламя длинное и темнокрасное; послѣ перекидыванія клапановъ оно дѣлается короче и свѣтлѣе и, наконецъ, становится ослѣпительно бѣлымъ. Когда будетъ достигнута температура диссоціаціи, то пламя снова удлинняется, течетъ „подобно облаку", какъ выражается В. Сименсъ [1]) и оканчивается лишь въ регенераторахъ. Уменьшая количество притекающихъ газа и воздуха, т. е. дѣлая отношеніе между развивающейся и расходуемой теплотою меньше, можно воспрепятствовать образованію такого, черезъ чуръ горячаго пламени.

Для того, чтобы печь обладала настоящей тягой, газы ея не должны поступать въ трубу слишкомъ охлажденными.

Обыкновенно за наименьшую температуру газовъ при входѣ въ трубу принимаютъ 150° С, но большею частью газы гораздо горячѣе [2]).

Чѣмъ больше то количество теплоты, которое собрано въ регенераторахъ при извѣстной температурѣ, тѣмъ медленнѣе будетъ падать температура въ регенераторахъ при проходѣ черезъ нихъ холоднаго газа или холоднаго воздуха, тѣмъ рѣже можно перекидывать клапана. Количество же теплоты, остающейся въ регенераторахъ, зависитъ отъ теплоемкости матеріала, изъ котораго построены камеры, ихъ объема и величины площади прикосновенія, которую они представляютъ для проходящихъ газовъ или воздуха. Такъ какъ всѣ регенераторы устраиваются изъ одинаковаго матеріала, то теплоемкость ихъ всегда почти одинакова (0,25 — 0,23). Поэтому ее можно не принимать въ соображеніе при дальнѣйшихъ разсужденіяхъ.

Полезное дѣйствіе регенератора прежде всего зависитъ отъ поверхности представляемой ими газамъ и воздуху. Чѣмъ больше эта поверхность, тѣмъ большія количества теплоты отнимаются отъ проходящихъ черезъ регенераторъ горячихъ газовъ, тѣмъ равномѣрнѣе нагрѣваются отдѣльные

[1]) Dr. W. Siemens. Einige wissenschaftliche technische Fragen der Gegenwart. Berlin, 1879 S. 75.

[2]) v. Juptner нашелъ, напримѣръ, при мартеновскихъ печахъ температуру газовъ въ трубѣ равною 500° С. Oesterr. Zeitschrift f. Berg- und Hüttenwesen. 1888, S. 386.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

кирпичи, и тѣмъ легче происходитъ впослѣдствіи нагрѣваніе притекающаго холоднаго газа.

Поэтому, какъ уже было упомянуто, ради полученія большой поверхности нагрѣва, камеры отдѣльныхъ регенераторовъ наполняются огнеупорными кирпичами такимъ образомъ, чтобы получить большую свободную поверхность кирпича, не затрудняя притомъ прохода черезъ нихъ газовъ. На рис. 27 и 28 изображено весьма употребительное расположеніе этихъ кирпичей: *aaa*—каналы, по которымъ притекаетъ газъ или воздухъ, а впослѣдствіи удаляются въ трубу продукты горѣнія (см. также рис. 25). Каналы эти перекрыты кирпичами обыкновенныхъ размѣровъ, поставленными на ребро и расположенными рядами на разстояніи около 65 мм. такъ, что газы могутъ проходить между ними. На этотъ рядъ

Рис. 27.

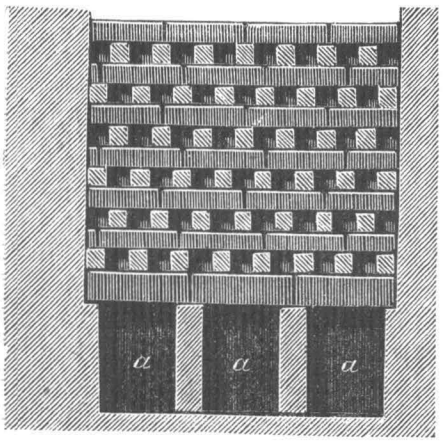
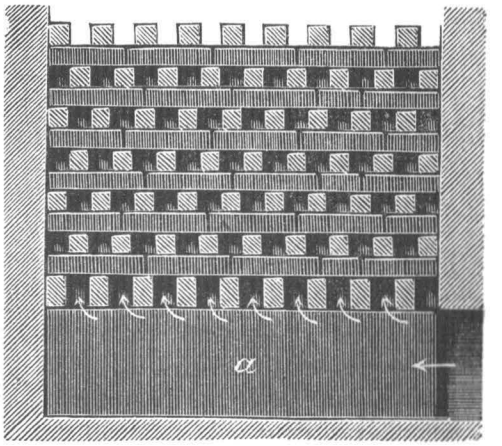


Рис. 28.



кирпичей положены остальные кирпичи, образующіе насадку камеры. Они кладутся паралельными рядами, причемъ въ каждомъ ряду кирпичи кладутся такъ, что разстояніе между ними приблизительно равно ширинѣ кирпича. Направленіе рядовъ кирпичей одного горизонтальнаго ряда перпендикулярно направленію кирпичей двухъ смежныхъ рядовъ, т. е лежащихъ выше и ниже разсматриваемаго ряда.

Въ этомъ случаѣ можно примѣнять кирпичи обыкновенныхъ размѣровъ, но для полученія большей поверхности обыкновенно берутъ спеціально для этой цѣли отформованные кирпичи съ меньшимъ поперечнымъ сѣченіемъ (65 до 85 мм. въ сторонѣ квадрата).

Чтобы удлинить путь газовъ, и получить болѣе тѣсное ихъ соприкосновеніе съ кирпичами, расположенные другъ надъ другомъ, паралельные ряды ихъ располагаютъ такимъ образомъ, какъ это показано на рисункѣ.

У печи, изображенной выше (рис. 23—26), регенераторы расположены подъ нею и находятся совершенно или боль-

НБ УДУНТ (ІПБТ)

шею частью въ землѣ. Печь стоитъ на стѣнахъ регенераторовъ. Подобное расположеніе, которое имѣетъ цѣлью возможно полную защиту регенераторовъ отъ охлажденія и наиболѣе соотвѣтствуетъ стремленію нагрѣвающихся газовъ подниматься, въ настоящее время встрѣчается всего чаще. Но оно имѣетъ нѣкоторыя неудобства. Доступъ къ регенераторамъ затруднителенъ, вслѣдствіе чего ремонтъ ихъ, который необходимо производить время отъ времени (перемѣна насадки кирпичей и т. д.), становится труднымъ. Кромѣ того необходимо устроить вполнѣ водонепроницаемое помѣщеніе въ почвѣ, а это тѣмъ неудобнѣе и дороже, чѣмъ выше стоитъ уровень почвенной воды. Наконецъ, передача вѣса верхней части печи стѣнамъ ея нижней части обусловливаетъ соотвѣтственную толщину стѣнъ. Поэтому пробовали уничтожить эти недостатки, располагая регенераторы не подъ печью, а рядомъ съ нею, вслѣдствіе чего постройка печи велась независимо отъ постройки регенераторовъ.

Нерѣдко ту-же задачу старались рѣшить и такимъ образомъ, что регенераторамъ придавали форму каналовъ, лежащихъ непосредственно передъ печью надъ поверхностью земли. Подобное устройство изображено на рис. 29 и 30 на стр. 133. Наполненіе регенераторовъ кирпичами происходитъ точно такимъ-же способомъ, какъ это было описано выше. Газъ и воздухъ поступаютъ въ регенераторы черезъ клапаны, расположенные по бокамъ печи (рис. 30). Каналы газовый и воздушный идутъ паралельно. Сгоравшіе газы, выходящіе изъ печи, покидая регенераторы поступаютъ въ общій каналъ, идущій надъ обоими клапанами (видѣнъ въ разрѣзѣ на рис. 30), и затѣмъ попадаютъ въ трубу [1]).

Но преимущества большей доступности регенераторовъ въ этомъ случаѣ уравновѣшиваются тѣмъ, что для всего устройства необходимо имѣть большее мѣсто, какъ это особенно ясно видно на рис. 30. Очевидно, что пространство по сторонамъ печи, на которое простираются каналы, теряется для другаго употребленія. Кромѣ того можно думать, что въ данномъ случаѣ одна и та-же поверхность регенераторовъ окажетъ меньшее дѣйствіе, чѣмъ при стоячихъ регенераторахъ, такъ какъ газы будутъ идти преимущественно ближе къ поверхности, нижняя-же половина регенераторовъ будетъ ими затрагиваться меньше.

Поэтому устройство это примѣняется не такъ часто, какъ первое; чаще всего оно встрѣчается на австрійскихъ заводахъ.

Полнаго вниманія заслуживаетъ, напротивъ, расположеніе регенераторовъ, введенное сначала въ Великобританіи, а за-

[1]) Болѣе детальныя изображенія такой печи съ лежащими регенераторами читатель найдетъ у Ledebur'a, Gasfeuerungen. Fig. 40—42.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

тѣмъ получившее за послѣднее время значительное распространеніе. Оно представлено на рис. 31 и 32[1]).

Регенераторы подобно тому, какъ это изображено на фиг. 23, имѣютъ вертикальную ось, но находятся не надъ печью, а рядомъ съ нею. Форма ихъ цилиндрическая. Они снаб-

Рис. 29.

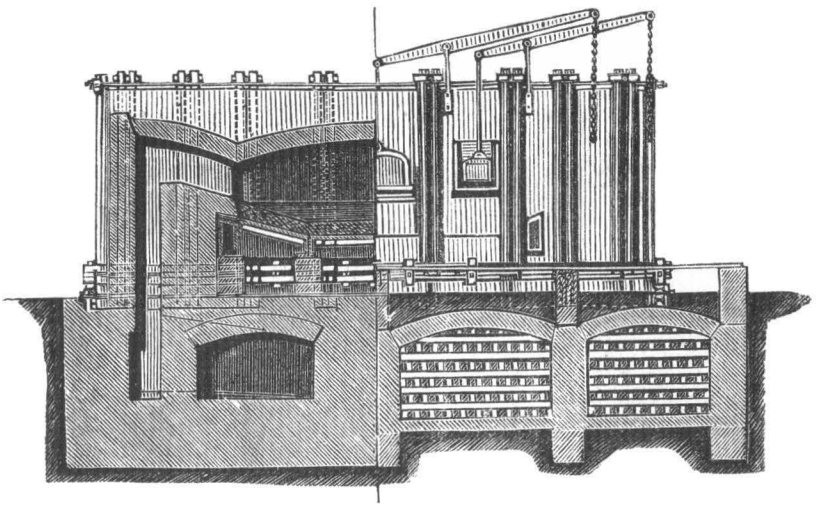
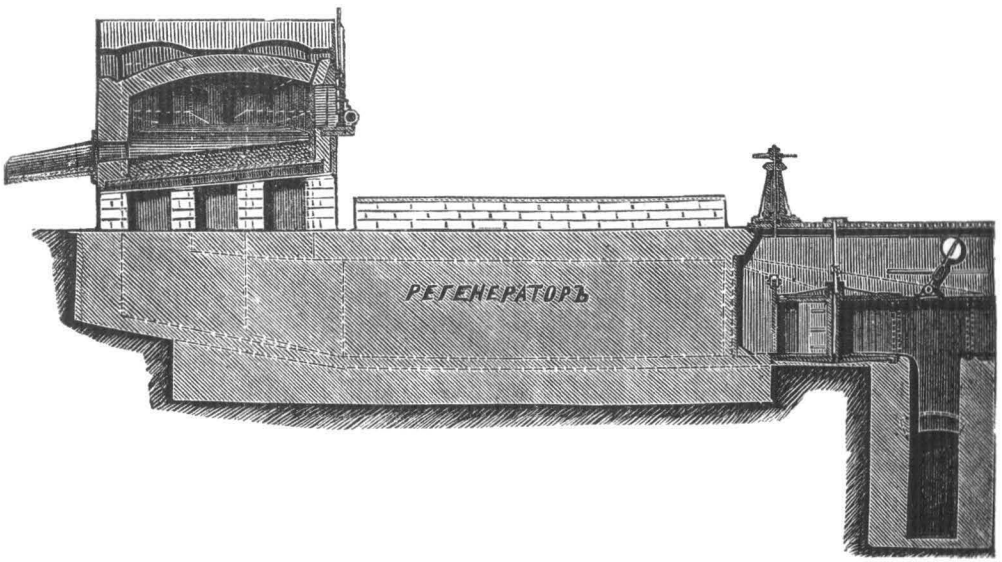


Рис. 30.



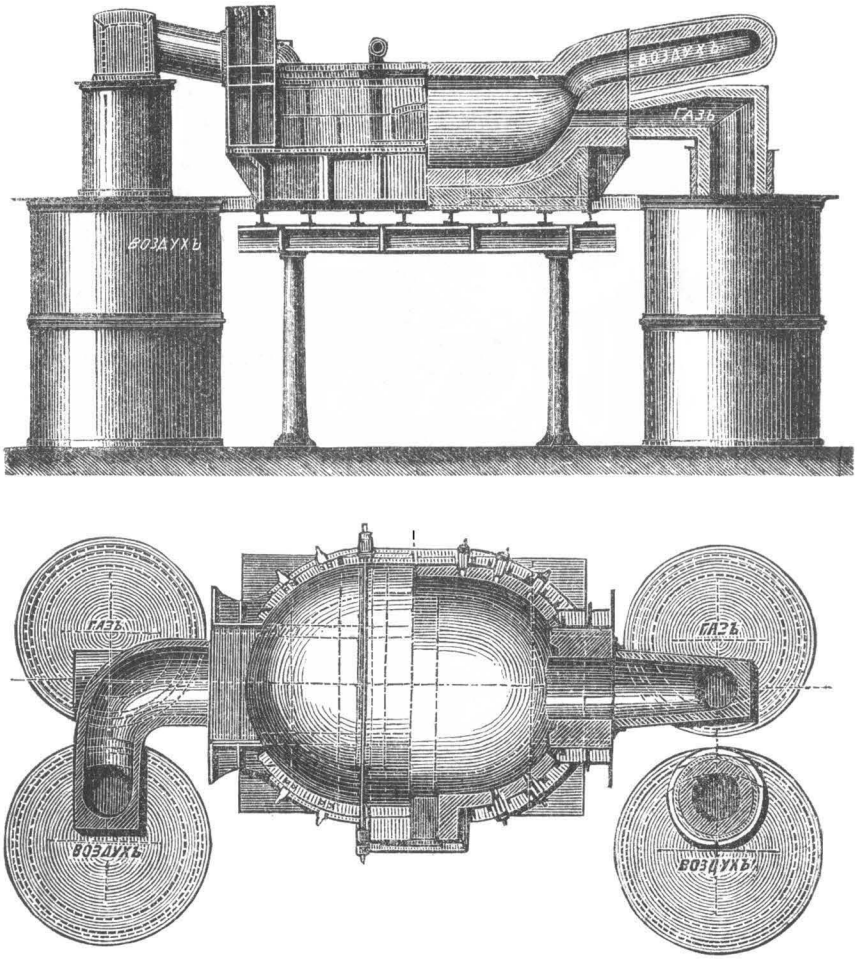
жены желѣзной одеждой. Внутреннее-же ихъ устройство совершенно подобно описанному выше.

[1]) Особенности этихъ печей были придуманы г-ми Бато (Batho), Дикомъ (Dick) и Рилейемъ (Riley). См. Stahl und Eisen 1883, S. 582; 1884, S. 715; 1887, S. 382 и S. 848; Journal of the Iron and Steel Institute 1887. II p. 119; а также Deutsche Reichs patente № 21698, 29488 и 30899.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Устройство каналовъ, идущихъ между регенераторами и печью и также снабженныхъ одеждою изъ листоваго желѣза, видно на чертежахъ. Печь стоитъ совершенно свободно на желѣзныхъ балкахъ и чугунныхъ колоннахъ. Доступъ къ ней—по платформѣ, расположенной на уровнѣ верхняго края регенераторовъ. Кромѣ указанныхъ уже преимуществъ подобное устройство отличается, какъ показалъ опытъ, еще своей большей дешевизной [1]).

Рис. 31 и 32.



Чѣмъ меньше регенераторы, тѣмъ меньшее слѣдовательно количество теплоты въ нихъ собирается, если они приняли извѣстную температуру, тѣмъ чаще приходится перекидывать клапана, чтобы въ самой печи не происходило значительныхъ колебаній температуры. Стало быть, чѣмъ больше расходъ горючаго въ печи, тѣмъ больше должны быть регенераторы при равныхъ промежуткахъ времени между пе-

[1]) Stahl und Eisen 1884, S. 716.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

рекидываніемъ клапановъ. Грюнеръ на основаніи теоретическихъ соображеній вычислилъ, что при употребленіи каменноугольнаго генераторнаго газа кирпичная насадка каждыхъ двухъ регенераторовъ должна равняться 50 клгр. на каждый килограммъ угля, который будетъ газеифицированъ въ промежуткѣ между двумя перекидываніями клапановъ [1]). Чаще принимаютъ 60 килограммовъ и, считаютъ что перекидываніе клапановъ происходитъ черезъ каждый часъ. Объемъ 60 килограм. (удѣльный вѣсъ кирпичей = 1,8), кирпича =0,033 куб. метра, но кирпичи въ регенераторѣ занимаютъ приблизительно половину всего объема, тогда какъ другая половина остается на долю каналовъ (промежутковъ) между ними. Изъ этого слѣдуетъ, что объемъ каждой пары регенераторовъ на каждый килограммъ угля, газеифицированнаго въ промежутокъ времени отъ одного перекидыванія клапановъ до другаго, равняется 0,066 куб. м. Расходъ-же горючаго въ печахъ для различныхъ цѣлей приблизительно извѣстенъ изъ опытныхъ данныхъ. Отсюда можно вычислить нужный объемъ регенераторовъ. Впрочемъ, если дѣйствіе камеръ регенераторовъ вычисленнаго объема не будетъ вполнѣ соотвѣтствовать ожиданіямъ, то недостатокъ этотъ очевидно можно исправить, если уменьшить, или же иногда увеличить, промежутокъ времени между двумя смежными перекидываніями клапановъ.

Въ дѣйствительности на каждый килограммъ каменнаго угля, газеифицированнаго въ теченіи часа, приходится 0,04—0,07 куб. м. объема каждой пары регенераторовъ. Если печь работаетъ на газахъ, полученныхъ изъ другихъ горючихъ матеріаловъ (бурый уголь, торфъ, дерево), то объемъ регенераторовъ уменьшается приблизительно въ томъ же отношеніи, въ какомъ уменьшается выходъ газа изъ этихъ горючихъ матеріаловъ.

Поперечное сѣченіе камеръ должно быть таково, чтобы скорость, проходящихъ черезъ нихъ газовъ, не была слишкомъ велика. Чаще всего на 100 килогр. каменнаго угля, переработаннаго въ часъ времени, общее поперечное сѣченіе двухъ регенераторовъ = 2,5—3 куб. м., на 100 килогрм. бураго угля=1,5—2 куб. м. Изъ этого объема половина приходится на каналы между кирпичами. Иногда, впрочемъ, особенно при лежачихъ регенераторахъ, цифры эти бываютъ еще меньше. Одинъ килогрм. каменнаго угля при сгораніи съ избыткомъ воздуха въ 20—25% даетъ приблизительно 11 куб. м. продуктовъ горѣнія температуры, равной нулю.

Если-же газы эти поступаютъ въ регенераторъ съ температурой въ 1200° С., то объемъ ихъ увеличивается до 48,3

[1]) Gruner, Traite de Metallurgie, Paris. 1877. p. 383.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

куб. м. [1]). Слѣдовательно при расходѣ каменнаго угля въ 100 клгрм. впродолженіи часа и температурѣ въ 1200° С. въ одну секунду получилось бы 1,3 куб. м газа, скорость котораго при 1,25 кв. мет. свободнаго поперечнаго сѣченія каналовъ въ регенераторахъ равняется 1 м.

При этомъ нужно еще замѣтить, что газы при своемъ прохожденіи черезъ регенераторы охлаждаются и двигаются все медленнѣе и медленнѣе. Кромѣ того скорость движенія несгорѣвшаго газа, а также воздуха еще меньше такъ, что даже при гораздо меньшемъ свободномъ сѣченіи каналовъ регенераторовъ едва-ли можетъ получиться слишкомъ большая скорость.

Общее поперечное сѣченіе каждой пары регенераторовъ распредѣляютъ иногда поровну на каждый регенераторъ. Чаще однако принимаютъ во вниманіе то обстоятельство что, хотя объемъ воздуха, теоретически необходимаго для горѣнія, приблизительно равенъ объему сгорающаго газа, но воздухъ поступаетъ въ регенераторъ въ холодномъ состояніи тогда, какъ газъ—въ болѣе или менѣе нагрѣтомъ и что, кромѣ того, въ большинствѣ случаевъ необходимъ нѣкоторый, хотя и незначительный, избытокъ воздуха. На основаніи этихъ соображеній даютъ регенератору, служащему для нагрѣванія воздуха, нѣсколько большее поперечное сѣченіе, чѣмъ регенератору въ которомъ нагрѣвается газъ. Часто можно найти поэтому отношеніе ихъ поперечныхъ сѣченій = 4:3 до 3:2.

Изъ вычисленнаго объема регенераторовъ и ихъ поперечнаго сѣченія можно найти высоту (при лежачихъ регенераторахъ длину). Размѣры эти нерѣдко зависятъ также отъ способа постройки печи. Стоячіе регенераторы, особенно находящіеся подъ печью, рѣдко бываютъ выше 2,5—3 метровъ, считая лишь кирпичную насадку ихъ, т. е. безъ каналовъ, находящихся внизу, и свободнаго пространства между кирпичами и сводомъ регенератора.

Для измѣненія направленія тока газовъ и воздуха Сименсъ предложилъ вращающійся на 90° клапанъ; устройство это получило съ тѣхъ поръ значительное распространеніе. Печи, изображенныя выше, снабжены такими клапанами, устройство которыхъ особенно ясно видно на рис. 24 и 26. Они отлиты изъ чугуна, снабжены для прочности ребрами и находятся въ чугунномъ-же ящикѣ (коробкѣ). Въ верхней части коробки для воздушнаго клапана помѣщенъ клапанъ для регулированія количества притекающаго воздуха; доступъ газа регулируется подобнымъ же клапаномъ въ газо-

[1]) По формулѣ $V_1 = V(1+0{,}00366\,t)$, гдѣ V—объемъ при обыкновенной температурѣ, V_1—объемъ при болѣе высокой температурѣ t.

НБ УДУНТ (ПБТ)

проводѣ [1]). Клапана, изображенные на рис. 24 и 26, имѣютъ, какъ и въ большинствѣ случаевъ, ось горизонтальную, тогда какъ клапана на рис. 30 — ось вертикальную. Противовѣсъ съ рычагомъ удерживаетъ ихъ въ данномъ положеніи.

Подобные клапаны обладаютъ однако тѣмъ недостаткомъ что при сильномъ нагрѣваніи легко коробятся и потомъ не плотно прилегаютъ къ краямъ отверстія. Въ прежнихъ печахъ Сименса устраняли сильное нагрѣваніе клапановъ, охлаждая газы, какъ описано выше. Тамъ, гдѣ подобное устройство осталось отъ прежняго времени, пользуются имъ и теперь. Въ новѣйшихъ-же устройствахъ, назначенныхъ для пользованія горючими матеріалами съ малымъ содержаніемъ влажности, генераторы располагаются недалеко отъ печи, чтобы избѣжать напрасной потери теплоты. Газы проводятся къ клапанамъ по подземнымъ каналамъ.

Въ этомъ случаѣ, слѣдовательно, клапана подвергаются дѣйствію болѣе горячихъ газовъ и, стало быть, увеличивается опасность, что они не будутъ плотно закрывать отверстій.

Вмѣсто перекиднаго клапана, примѣняютъ иногда поворотный. Особенно часто бываетъ это при печахъ съ лежачими регенераторами, которые дозволяютъ расположить клапанъ на поверхности земли такъ, что движеніе его можетъ происходить отъ руки безъ помощи штангъ и рычаговъ. Подобный поворотный клапанъ изображенъ на рис. 33 и 34.

Онъ состоитъ изъ желѣзной цилиндрической коробки *a*, раздѣленной вертикальной перегородкой на два отдѣленія. Нижней своей частью она помѣщается въ кругломъ чугунномъ желобкѣ. Внутри круга помѣщаются также два пересѣкающихся подъ прямымъ угломъ желобка, дѣлящихъ кругъ на четыре отдѣленія, находящіяся въ соединеніи со столькими-же каналами. Желоба для полной герметичности затвора наполнены водою.

Изъ каналовъ, изображенныхъ пунктиромъ на рис. 34, каналъ *b* служитъ для приведенія несгорѣвшаго газа (или свѣжаго воздуха при воздушномъ клапанѣ), клапаны *c* и *d* сообщаются съ двумя регенераторами, служащими для нагрѣва газа (или воздуха), и, наконецъ, каналъ *e* ведетъ въ трубу. Если коробка *a* находится въ такомъ положеніи, какъ это изображено на рис. 34, то очевидно, что каналъ *c* будетъ соединенъ съ каналомъ *c*, а каналъ *d* — съ каналомъ *e*, тогда какъ каналы *b* и *c* отведены перегородкой коробки (*a*) отъ каналовъ *d* и *e*. Газъ (или воздухъ), входящій черезъ *b*, поступаетъ черезъ *c* въ соотвѣтственный регенераторъ, нагрѣвается въ послѣднемъ и поступаетъ въ печь. Продукты

[2]) Изображеніе различнаго рода клапановъ: Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten. Band III, S. 528.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

ручки (видной на рис. 33) на 90°. Когда коробка затѣмъ будетъ опущена, то каналъ *b* будетъ соединяться съ *d*, *c* съ *e*, и движеніе газовъ происходитъ въ обратномъ направленіи.

Для того, чтобы можно было легко поднимать и вращать коробку, рычагъ обхватываетъ штангу, укрѣпленную на коробкѣ такимъ образомъ, что не мѣшаетъ ей вращаться. Штанга проходитъ черезъ поперечину, опирающуюся на двѣ вертикальныхъ подставки. Къ поперечинѣ этой прикрѣплена и ось вращенія рычага, малое плечо котораго охватываетъ штангу (ось вращенія) желѣзной коробки.

Однако при очень горячихъ газахъ описанный вращающійся клапанъ едва-ли былъ-бы пригоднѣе перекидного клапана. Вода въ желобкахъ быстро испарилась-бы, а желѣзныя части, будучи подвержены дѣйствію высокой температуры, скоро бы испортились. Этотъ недостатокъ можно устранить и примѣнять вращающійся клапанъ и для очень горячихъ газовъ, если выложить, согласно предложенія фонъ-Эренверта, внутренность коробки огнеупорнымъ кирпичемъ и уничтожить водяной затворъ между четырьмя каналами. Тогда затворъ будутъ образовать только кирпичи коробки, которые будутъ ложиться на каменныя стѣны каналовъ. Для наружнаго-же затвора можетъ служить желобокъ, наполненный водою, защищенной отъ дѣйствія высокой температуры кладкой. Подобныя выложенныя кирпичемъ коробки дѣйствуютъ вполнѣ удовлетворительно [1]).

Для измѣненія движенія очень горячихъ газовъ съ успѣхомъ примѣняли клапаны, устроенные на подобіе золотниковой коробки. Дискъ изъ огнеупорной массы съ вырѣзанными въ немъ каналами находится въ коробкѣ, тоже сложенной изъ огнеупорнаго матеріала. Для избѣжанія тренія при вращеніи диска его каждый разъ передъ повертываніемъ слегка приподнимаютъ при помощи особыхъ приспособленій [2]).

Для успѣшнаго дѣйствія печей Сименса очень важно расположеніе отверстій для входа газа и воздуха и форма рабочаго пространства. Чѣмъ тѣснѣе смѣшиваются газъ и воздухъ, тѣмъ съ меньшимъ избыткомъ послѣдняго возможно будетъ достичь полнаго горѣнія чѣмъ скорѣе будетъ происходить смѣшеніе, тѣмъ короче будетъ пламя, (допустивъ, что температура диссоціаціи еще не достигнута).

Весьма просто расположеніе газовыхъ и воздушныхъ отверстій у печи изображенной на рис. 29 и 30. Они представляютъ собою два канала, находящихся подъ угломъ въ 90°

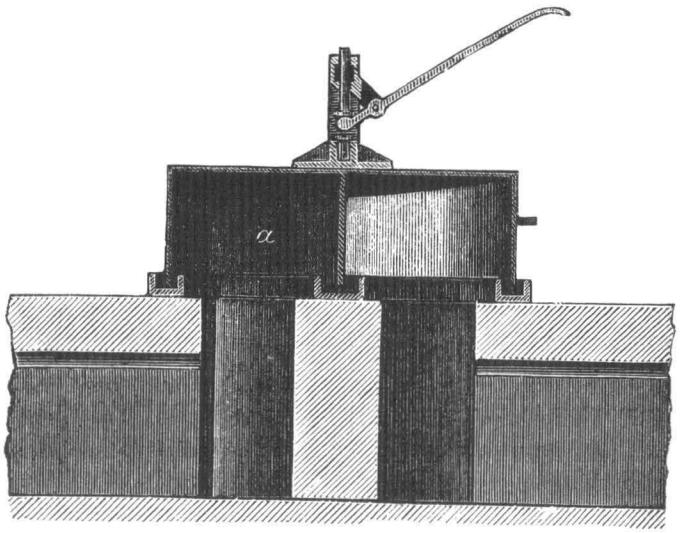
[1]) Подробности: „Stahl und Eisen“ 1885, S. 344; 1886, S. 668.

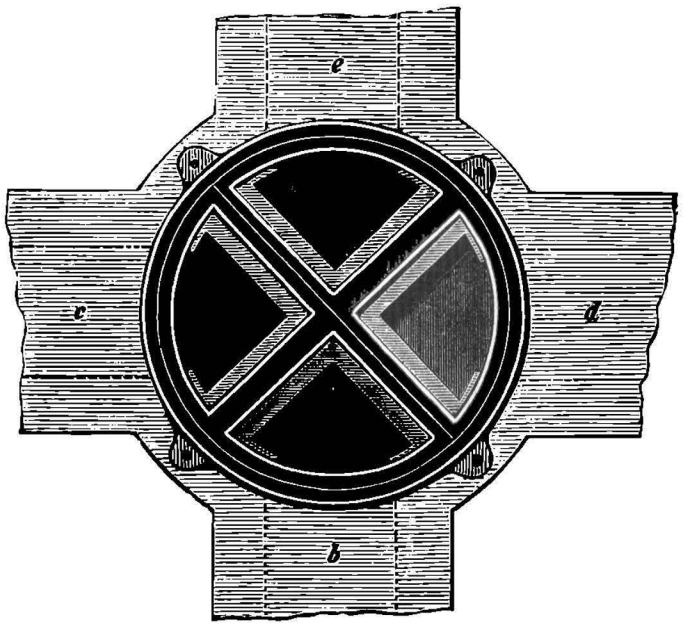
[2]) Изображеніе подобнаго клапана съ соотвѣтственнымъ приборомъ: Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten. Band III Tafel, 27; оттуда: Ledebur, Gasfeuerungen Seite 97.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

горѣнія возвращаются по *d* и черезъ *e* удаляются въ трубу. Когда требуется измѣнить направленіе движенія газовъ, то поднимаютъ помощью рычага (виднаго на рис. 33) коробку до тѣхъ поръ, пока вертикальная перегородка не выйдетъ изъ желобка. Нижній край перегородки приходится выше

Рис. 33 и 34.





чѣмъ край малой коробки такъ, что, когда перегородка вышла уже изъ желобка, окружность коробки находится еще въ водѣ. Такимъ образомъ сохраняется герметичность затвора. Поднявъ коробку, ее поворачиваютъ посредствомъ

НБ УДУНТ (ПБТ)

отверстія этихъ каналовъ видны на рис. 30. Здѣсь смѣшеніе газа и воздуха происходитъ медленно, и получается длинное пламя.

Для облегченія смѣшенія газъ и воздухъ распредѣляютъ на нѣсколько каналовъ, лежащихъ поперемѣнно рядомъ, напримѣръ, 3 газовыхъ канала и между ними 2 воздушныхъ [1]).

Не менѣе часто устраиваютъ отверстія другъ надъ другомъ, причемъ воздушное отверстіе находится всегда сверху, газовое снизу. Такое расположеніе обусловливается тѣмъ, что при одинаковой температурѣ воздухъ тяжелѣе, чѣмъ газъ. Очевидно, что если воздухъ будетъ притекать сверху, полное горѣніе получится скорѣе, чѣмъ въ противномъ случаѣ. Фридрихъ Сименсъ говоритъ по этому поводу: „Вообще лучше всего впускать газъ черезъ сдѣланную въ стѣнкѣ печи горизонтальную щель, надъ которой находится другая подобная же цѣль, черезъ которую входитъ воздухъ. Послѣдняя щель нѣсколько шире, чѣмъ первая и кромѣ того длиннѣе ея. Такъ какъ удѣльный вѣсъ газа гораздо меньше удѣльнаго вѣса воздуха, то газъ стремится подняться вверхъ черезъ воздухъ. Воздухъ же имѣетъ обратное стремленіе. Такимъ образомъ въ большинствѣ случаевъ можно получить довольно быстрое и полное смѣшеніе".

Въ печи, изображенной на рис. 31, воздухъ поступаетъ въ рабочее пространство подобнымъ образомъ надъ газомъ.

И при подобномъ устройствѣ введенія воздуха и газа въ печь иногда дѣлятъ вступающій въ нее газъ на нѣсколько паралельныхъ токовъ, чтобы получить большую поверхность соприкосновенія. Примѣромъ подобнаго устройства можетъ служить печь, изображенная на рис. 23 и 24: *a*—газовые каналы (по два съ каждой стороны), отверстія которыхъ видны на рис. 24. Воздухъ поднимается изъ регенератора *b* черезъ 3 канала (на рисункѣ ихъ не видно отдѣльно), которые соединяются затѣмъ надъ газовыми каналами въ одну общую широкую щель, черезъ которую и поступаетъ въ печь.

Нѣкоторые дальнѣйшіе примѣры расположенія этихъ отверстій будутъ приведены ниже при описаніи печей Сименса (преимущественно въ третьей части настоящаго сочиненія).

Размѣры рабочаго пространства печей Сименса, въ которомъ происходитъ горѣніе соединяющихся газа и воздуха, согласно новѣйшимъ наблюденіямъ, не должны быть слишкомъ малы. Въ печи изображенной на рис. 23 сводъ ея въ серединѣ выгнутъ книзу, согласно углубленію пода; у печи же, изображенной на рис. 26, онъ поднимается къ серединѣ, давая возможность образованію здѣсь пламени. Въ подобной печи газы встрѣчаютъ меньшее сопротивленіе отъ тренія.

[1]) Изображеніе см. Ledebur, Gasfeuerungen. Fig. 40—42.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Склонность ихъ къ диссоціаціи уменьшается. Другое преимущество печей подобнаго устройства состоитъ въ гораздо большей прочности свода печи. Печи съ подобнымъ устройствомъ свода впервые примѣнены были австрійскими инженерами въ металлургіи желѣза. Преимущества же ихъ обратили на себя всеобщее вниманіе послѣ указаній и разъясненій сдѣланныхъ Фр. Сименсомъ во многихъ статьяхъ и лекціяхъ [1]).

Важною составною частью печи Сименса является наконецъ труба. Только въ томъ случаѣ если труба производитъ сильную тягу, можно преодолѣть тѣ многочисленныя сопротивленія, которыя именно въ этихъ печахъ затрудняютъ движеніе газовъ, и достичь достаточно живаго горѣнія. Если движеніе газовъ, какъ было упомянуто выше, можно производить посредствомъ вдуванія воздуха въ регенераторы, то воздухъ, необходимый для горѣнія, долженъ всасываться въ печь исключительно тягой трубы.

Точное вычисленіе всѣхъ сопротивленій невозможно, такъ какъ условія, при которыхъ дѣйствуютъ различныя печи Сименса, бываютъ весьма различны. Вслѣдствіе этого единственнымъ руководствомъ являются опытныя данныя.

Чѣмъ холоднѣе газы, поступающіе въ трубу, тѣмъ сильнѣе должна быть ея тяга. Температура-же газовъ зависитъ отъ свойствъ горючаго матеріала, отъ большей или меньшей степени охлажденія, которой подверглись газы до своего вступленія въ печь, отъ температуры и отъ расхода теплоты въ печи, отъ устройства генераторовъ и отъ устройства газопроводовъ между печью и трубою.

Тамъ, гдѣ работаютъ нѣсколько печей, устраиваютъ для нихъ, изъ экономіи, одну общую трубу. Если струи продуктовъ горѣнія сходятся, имѣя различныя направленія, то нужно устроить вертикальныя перегородки такой высоты, чтобы токи газовъ успѣли принять одинаковое направленіе, такъ какъ въ противномъ случаѣ могутъ происходить замедленія теченія газовъ.

Діаметръ трубы можно вычислить, зная приблизительный расходъ горючаго въ единицу времени. Допустимъ, что 1 клгрм. каменнаго угля даетъ около 20 куб. м. продуктовъ горѣнія съ температурой въ 800° Ц., 1 клгрм. бураго угля—

[1]) Friedrich Siemens, Ueber den Verbrennungs process mit specieller Berücksichtigung der praktischen Erfordernisse. Berlin, 1887. Friedrich Slemens, Ueber ein neuen Verbrennungs- und Heizungs systeme Giasers Annalen. Band XVI. S. 126. Правда, теоріи, предложенныя Фр. Сименсомъ, не безусловно правильны. Точно также невѣрно высказанное имъ въ указанныхъ статьяхъ мнѣніе, что онъ изобрѣтатель этихъ печей. Уже въ началѣ семидесятыхъ годовъ совершенно такія же печи были построены другими техниками.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

15 куб. м. и 1 клгрм. торфа—13 куб. м. [1]) и что скорость газовъ не должна превышать 5 метровъ въ секунду; по этимъ даннымъ не трудно найти живое сѣченіе трубы. Если температура газовъ больше 300° С., то объемъ ихъ будетъ больше, что однако будетъ уравновѣшено тѣмъ, что для нихъ можно допустить большую скорость.

Высота трубъ печей Сименса колеблется отъ 15 до 40 метровъ, смотря потому соединена-ли съ трубою одна или нѣсколько печей и, кромѣ того, въ зависимости отъ температуры, которую нужно получить въ печи. Если труба слишкомъ низка, то тяга сильнѣе мѣняется подъ вліяніемъ погоды.

Разновидности печей Сименса.

Устройство печей Сименса довольно сложно и дорого; поэтому немало сдѣлано было попытокъ упростить его, устраивая напр. не четыре, а два регенератора, служившіе только для нагрѣванія воздуха, не подвергая газъ особенному подогрѣванію, а вводя его въ печь непосредственно изъ генератора.

Если принять во вниманіе, что газы, покидающіе каменноугольный генераторъ, особенно дѣйствующій съ дутьемъ, имѣютъ часто температуру большую 900° С., то можно сказать, что при непосредственномъ сожиганіи такихъ горячихъ газовъ, можно получить такія-же высокія температуры, какъ и въ томъ случаѣ, когда газъ сначала охлаждается и потомъ снова нагрѣвается. И дѣйствительно, подобныя упрощенныя печи Сименса съ двумя регенераторами съ успѣхомъ примѣнялись для различныхъ цѣлей. Нельзя сомнѣваться также въ томъ, что сравнительно съ печами Сименса съ длиннымъ газопроводомъ, въ которомъ (намѣренно или ненамѣренно) происходитъ охлажденіе газовъ, а слѣдовательно во всякомъ случаѣ потеря теплоты, упрощенныя печи Сименса могутъ дать нѣкоторое сбереженіе горючаго. Однако нетрудно впасть въ заблужденіе, придавая подобному сбереженію слишкомъ большое значеніе.

Изъ пространства горѣнія всѣхъ пламенныхъ печей, газы выходятъ съ температурой, которая должна быть выше той, которую должно принять въ печи нагрѣваемое тѣло. Иначе послѣднее не могло-бы нагрѣться до требуемой степени. Печи Сименса примѣняются преимущественно тамъ, гдѣ требуется высокая температура. Поэтому продукты горѣнія покидаютъ ее собственно съ высокой температурой и уносятъ съ собою соотвѣтственное количество теплоты. Большую часть этой теплоты они отдаютъ регенераторамъ, теплота-же

[1]) Цифры эти относятся къ объему горячихъ газовъ.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

эта утилизируется и вводится обратно въ печь, протекающими черезъ регенераторъ не сгорѣвшими газами (послѣ перекидыванія клапановъ).

Опытъ показываетъ, что теплоты этой, которую уносятъ съ собой газы, достаточно, чтобы нагрѣть оба регенератора, предназначенные для подогрѣва газа и воздуха, до такой степени, что дальнѣйшее нагрѣваніе ихъ въ виду ограниченной огнеупорности матеріаловъ, употребленныхъ на постройку печи, едва-ли возможно.

Если отказаться отъ подогрѣва газа, т. е. если устроить только два регенератора и употребить всѣ продукты горѣнія для нагрѣва одного регенератора, то они будутъ покидать его въ болѣе нагрѣтомъ состояніи, чѣмъ въ первомъ случаѣ и уносить съ собой въ трубу большее количество теплоты. Увеличеніе объема регенератора повлекло-бы за собой большую продолжительность промежутка времени между двумя перекидываніями клапановъ; нагрѣваніе-же поступающаго въ печь воздуха едва-ли будетъ больше, чѣмъ это было въ печи съ двумя парами регенераторовъ.

Для печей, въ рабочемъ пространствѣ которыхъ господствуетъ сравнительно низкая температура и газы которыхъ уносятъ съ собой меньшія количества теплоты, напримѣръ, для калильныхъ печей подобное устройство (съ двумя регенераторами) было-бы практичнѣе чѣмъ для печей съ высокой температурой. Однако именно въ подобныхъ случаяхъ стараются устраивать печи болѣе простой конструкціи и избѣгаютъ вообще устройства дорого стоющихъ регенераторовъ [1]).

Нѣкоторые другіе случаи примѣненія печей съ двумя только регенераторами будутъ подробнѣе изложены при описаніи соотвѣтственныхъ процессовъ въ третьей части настоящаго сочиненія (напр. пудлинговая печь Питцка).

Изъ сказаннаго однако слѣдуетъ, что существенно болѣе выгодная утилизація теплоты, удаляющейся изъ печей подобнаго устройства, можетъ происходить лишь въ томъ случаѣ, если теплотою, теряющеюся вслѣдствіе уничтоженія регенераторовъ для газа, можно пользоваться для какихъ-либо другихъ цѣлей. Поэтому общее вниманіе заслужили печи, устроенныя согласно предложенія г-дъ Бидермана и Гарвея, которыми въ послѣднія годы неоднократно пользовались на многихъ желѣзодѣлательныхъ заводахъ. Эти техники предложили пользоваться теряющейся теплотою печи для полученія новаго количества горючаго газа, сожигая углеродъ твердаго горючаго углекислотою и водяными парами, содержащимися въ

[1]) Примѣромъ подобной калильной печи можетъ служить печь, устроенная Пютшемъ, изображенная у B. Kerl's, Grundriss der algemeinen Hüttenkunde, 2 Auflage S. 198; далѣе у Ledebur'a, Gasfeuerungen S. 108.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

продуктахъ горѣнія. Часть продуктовъ горѣнія, ненужная для нагрѣванія регенераторовъ, состоящая изъ углекислоты и водянаго пара, вмѣстѣ съ избыткомъ свободнаго кислорода и введеннаго съ нимъ азота проводится въ печи Бидермана и Гарвея [1]), снова въ генераторъ, гдѣ снова превращается въ горючій газъ. Углекислота, содержащаяся въ газѣ превращается въ окись углерода (по уравненію $CO^2 + C = 2CO$), причемъ нѣкоторое количество газеифицируемаго при этомъ углерода даетъ вдвое больше количество окиси углерода, чѣмъ это было бы при газеификаціи его свободнымъ кислородомъ. Водяной паръ превращается въ водяной газъ ($H_2O + C = 2H + CO$). Расходъ теплоты, которымъ сопровождаются эти процессы въ значительной степени покрывается теплотою, приносимой притекающими горячими газами. Это обстоятельство и представляетъ преимущество описываемаго процесса. Теплота, удаляющаяся изъ печи, которая обыкновенно теряется даромъ, расходуется здѣсь на образованіе новыхъ количествъ газа, который, сгорая въ печи, снова ее выдѣляютъ. Свободный кислородъ, который всегда почти имѣется въ газахъ, удаляющихся изъ печи и вступающихъ въ генераторъ, образуетъ въ то-же время нѣкоторое ограниченное количество генераторнаго газа, причемъ выдѣляется теплота, которой пользуются для покрытія указаннаго расхода ея. Вводя-же въ генераторъ кромѣ продуктовъ горѣнія и атмосферный воздухъ можно въ произвольной степени увеличить количество развивающейся теплоты, если-бы это оказалось нужнымъ.

На рис. 35—38 изображена подобная печь. B—генераторъ снабженный, какъ обыкновенно, двумя засыпными отверстіями и колосниковой рѣшеткой, E—нагрѣваемая печь. Она соединяется съ генераторомъ посредствомъ двухъ каналовъ CG и C_1G_1. Два клапана DD_1 (рис. 35 и 38), на общемъ рычагѣ, поочередно закрываютъ каналы, такъ что газъ поступаетъ въ печь всегда только чрезъ одинъ каналъ. Воздухъ для горѣнія подогрѣвается въ одномъ изъ двухъ регенераторовъ AA_1 и поступаетъ по одному изъ двухъ каналовъ HH_1, находящимся надъ газовыми каналами, въ печь. Если напр. каналъ C между печью и генераторомъ открытъ, а каналъ C_1 закрытъ, то газъ поступаетъ въ печь по первому. Воздухъ-же черезъ клапанъ J, установленный надлежащимъ образомъ, поступаетъ въ регенераторъ A_1, проходитъ черезъ него и посредствомъ канала H вводится въ газъ. Образуется подковообразное пламя. Часть продуктовъ горѣнія уходитъ изъ рабочаго пространства печи черезъ каналъ H_1 въ реге-

[1]) Въ литературѣ послѣднихъ лѣтъ печь эта называется просто „Новой печью Сименса“. Важнѣйшіе аргументы въ пользу и противъ этой печи, указаны ниже, въ концѣ главы.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

нераторъ A_1, нагрѣваетъ его и удаляется мимо клапана J въ трубу. Другая часть продуктовъ горѣнія черезъ каналъ G_1 и отверстіе O_1 проводится подъ колосниковую рѣшетку генератора, благодаря дѣйствію пароструйнаго прибора, отверстіе котораго находится въ O_1. Отверстію O_1 въ нижней части канала G_1 соотвѣтствуетъ точно такое же отверстіе O въ каналѣ G; пока газъ проходитъ черезъ одно отверстіе, другое закрыто вращающимся клапаномъ, который приводится въ движеніе такимъ-же рычагомъ, какъ и клапаны D и D_1.

Рис. 35.

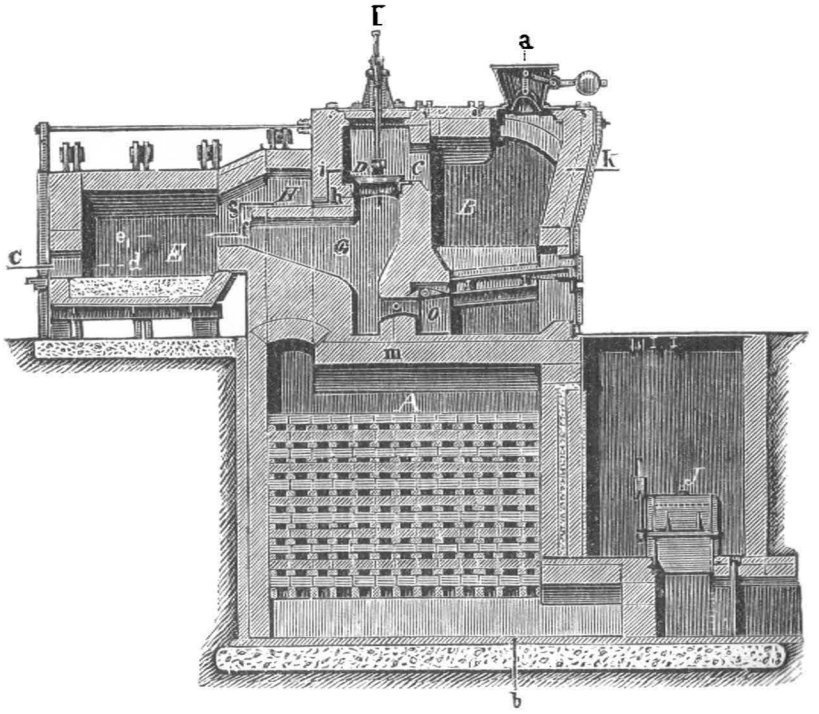
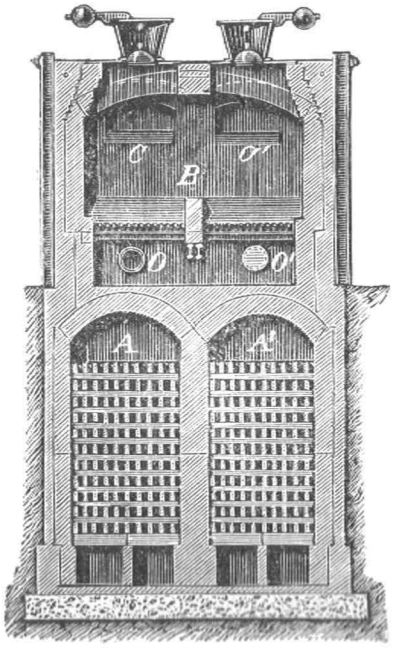


Рис. 36.



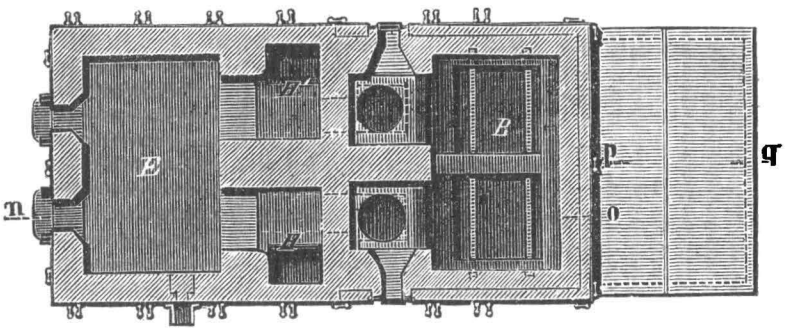
По истеченіи извѣстнаго времени производится, какъ въ печи Сименса, перекидываніе клапановъ. Клапанъ D — закрывается D_1 — открывается, клапанъ J поворачиваютъ на 90°, отверстіе O_1 закрываютъ и открываютъ отверстіе O. Пароструйный приборъ даетъ возможность регулировать количество газовъ, поступающихъ подъ колосниковую рѣшетку.

НБ УДУНТ (ИПБТ)

Относительно состава газа, получающагося въ генераторахъ описаннаго устройства, имѣются пока лишь очень скудныя свѣдѣнія. Въ немъ найдено около 23 процентовъ по объему—окиси углерода, 17—водорода, 2—углеводородовъ, 4,5—углекислоты и въ видѣ остатка 53,—азота.

Печи подобнаго устройства введены на многихъ заводахъ, особенно англійскихъ, и сообщаемыя до сихъ поръ свѣдѣнія относительно результатовъ ихъ дѣйствія очень благопріятны.

Рис. 37.

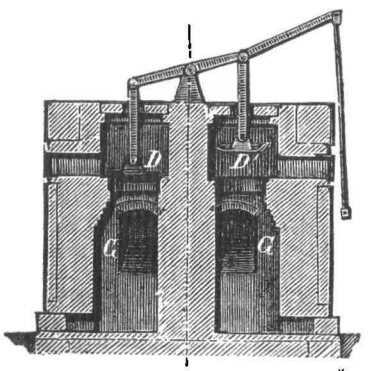


Время покажетъ, нѣтъ-ли непредвидѣнныхъ практическихъ затрудненій, которыя бы затрудняли обширное примѣненіе этихъ печей и выяснитъ насколько велики выгоды ими приносимыя, оправдывающія ихъ устройство.

Новѣйшія газовыя печи безъ регенераторовъ.

Печи Сименса окончательно доказали, что газеификація твердаго горючаго представляетъ выгоды не только тамъ, гдѣ ей подвергаются низшаго сорта горючіе матеріалы, но и тогда, когда газеифицируютъ каменный уголь. Прійдя къ такому заключенію, начали устраивать печи болѣе простой и дешевой конструкціи, чѣмъ печи Сименса, но дѣйствующія также на генераторномъ газѣ изъ каменнаго угля. Подобныя печи получили значительное распространеніе на ряду съ печами Сименса. У всѣхъ такихъ печей генераторъ расположенъ непосредственно около самой печи такъ, что газы поступаютъ въ нее еще въ нагрѣтомъ состояніи; соединенія нѣсколькихъ генераторовъ въ одну группу, что можетъ быть

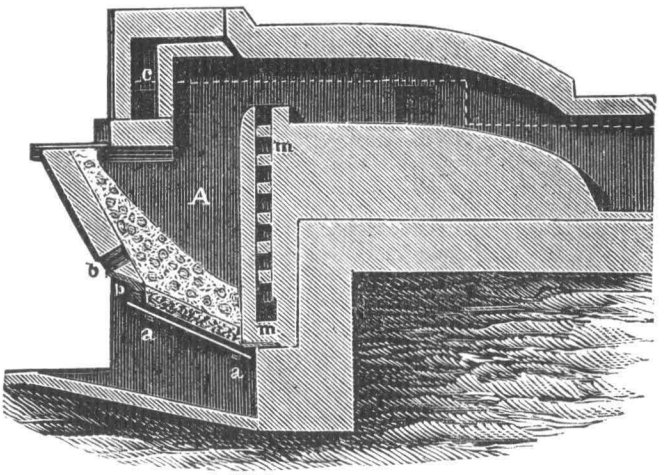
Рис. 38.



НБ УДУНТ (ІПБТ)

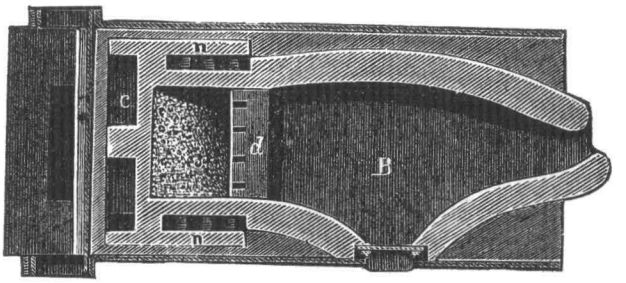
полезно при нѣсколькихъ печахъ Сименса, здѣсь не дѣлаютъ. Воздухъ для горѣнія подогрѣвается не въ регенераторахъ, а въ каналахъ, проходящихъ въ стѣнкахъ печи. Такимъ образомъ направленіе теченія пламени въ печи остается безъ измѣненія. Удаляющіеся-же изъ печи газы покидаютъ ее въ сильно нагрѣтомъ состояніи подобно тому, какъ это бываетъ въ печахъ съ колосниковой рѣшеткой, и ими

Рис. 39.



можно точно также пользоваться для побочныхъ цѣлей, (нагрѣванія паровыхъ котловъ). Конечно утилизація теплоты для цѣлей собственно самой печи въ этомъ случаѣ несомнѣнно хуже, чѣмъ при печахъ Сименса, въ которыхъ боль-

Рис. 40.



шая часть теплоты, собранной въ регенераторахъ, снова вводится въ печь, но пользованіе теряющейся теплотой для побочныхъ цѣлей во многихъ случаяхъ въ экономическомъ отношеніи уравниваетъ этотъ недостатокъ.

Подобныя, болѣе простаго устройства газовыя печи не пригодны въ тѣхъ случаяхъ, когда необходимо получить очень высокую температуру. Здѣсь температура поступаю-

НВ УДУНТ (ІПБТ)

щаго въ печь газа, въ особенности-же температура воздуха для горѣнія, гораздо ниже, чѣмъ въ печахъ Сименса. Въ томъ-же отношеніи понижается и температура продуктовъ горѣнія. Поэтому до сихъ поръ печи Сименса незамѣнимы во всѣхъ тѣхъ процессахъ, которые идутъ только при очень высокой температурѣ (полученіе литаго желѣза).

Изъ числа различныхъ новѣйшихъ газовыхъ пламенныхъ печей безъ регенераторовъ наибольшее значеніе получили печи Боэціуса и Бишеру, къ описанію которыхъ мы и приступаемъ.

Печь Боэціуса. Устройство этой печи, изобрѣтенной въ началѣ шестидесятыхъ годовъ, показано на рис. 39 и 40 (въ $^1/_{75}$ натуральной величины). A — генераторъ, вышиною въ 1,8—2 метровъ, шириною — 0,9 метра. Снизу онъ ограничивается наклонной колосниковой рѣшеткой, съ задней стороны наклонной стѣнкой, устройство которой таково, что между ея верхнимъ краемъ и задней стѣной печи остается узкая щель для засыпанія въ генераторъ горючаго, которое само и закрываетъ ее. Отверстія въ этой стѣнѣ въ небольшомъ разстояніи отъ рѣшетки служатъ для притока еще нѣкотораго количества воздуха, а также для устраненія настылей спекшагося угля или золы. Часть воздуха для горѣнія подогрѣвается въ каналѣ *mm*, идущемъ снизу вверхъ и два раза проходящемъ подъ большимъ порогомъ. Выходя изъ этого канала черезъ щели *d* въ верхней поверхности порога, воздухъ подъ прямымъ угломъ встрѣчается съ газами, проходящими чрезъ пламенное окно. Другая часть воздуха, необходимаго для горѣнія поднимается по каналамъ *nn*, устроеннымъ подобно каналу *mm*, только въ боковыхъ стѣнкахъ генератора, поступаетъ отсюда въ каналы *cc* въ задней стѣнѣ печи и выходя черезъ нѣсколько щелей въ сводѣ печи встрѣчается подъ острымъ угломъ съ протекающими газами [1]).

Высота слоя, засыпаемаго горючаго въ печахъ Боэціуса, сравнительно не велика, вслѣдствіе чего газъ получается довольно богатый углекислотою. Такъ какъ однако образующійся газъ тотчасъ-же поступаетъ въ печь, а слѣдовательно болѣе высокая температура, обусловливаемая образованіемъ углекислоты, идетъ на пользу печи, то обстоятельство это не имѣетъ большого значенія. Иногда даже генераторъ Боэціуса устраивали настолько неглубокимъ, что онъ становился похожимъ на простую топку съ колосниковой рѣшеткой. При подобномъ устройствѣ топки черезъ тонкій слой горючаго проходитъ значительная часть воздуха, необходимаго для горѣнія, а слѣдовательно въ самую печь для полнаго

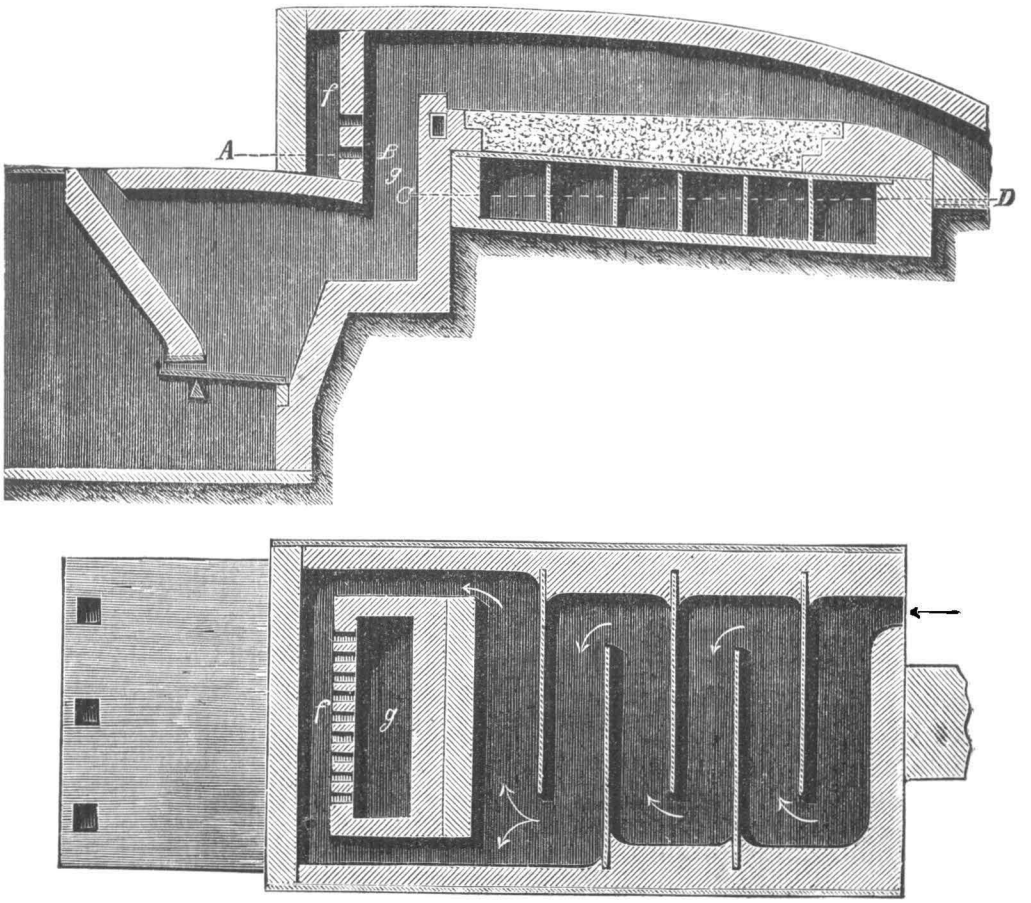
[1]) Печь эта въ большемъ масштабѣ изображена у Ledebur'a. Gasfeuerungen, 517.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

сжиганія газа требуется провести лишь незначительное количество воздуха. Подобныя топки называютъ обыкновенно полугазовыми.

Печи системы Боэціуса примѣнялись часто въ шестидесятыхъ и семидесятыхъ годахъ настоящаго столѣтія и тамъ, гдѣ онѣ были въ то время введены, они нерѣдко существуютъ и до сихъ поръ. Въ настоящее же время ихъ устраиваютъ вновь лишь въ исключительныхъ случаяхъ.

Рис. 41 и 42.



Печь Бишеру. Она изображена на рис. 41 и 42 (въ $^1/_{100}$ натуральной величины) и была впервые устроена въ семидесятыхъ годахъ въ Дюисбургѣ (Duisburg) фирмой Бишеру и К°. Съ тѣхъ поръ она получила значительное распространеніе. Отъ сходной съ нею въ общихъ чертахъ печи Боэціуса она отличается большимъ объемомъ генератора и другимъ расположеніемъ каналовъ, по которымъ протекаетъ воздухъ для горѣнія. Они расположены не въ стѣнкахъ генератора, какъ въ печи Боэціуса, а въ стѣнной кладкѣ самой печи и преимущественно подъ подомъ ея, который покоится

на чугунныхъ плитахъ (какъ это видно на рисункѣ). Фиг. 42 представляетъ разрѣзъ черезъ воздушные каналы по ABCD. Стрѣлы обозначаютъ направленіе движенія воздуха. Онъ вступаетъ въ печь въ задней ея части, мѣняя свое направленіе въ извилинахъ канала, доходитъ до большаго порога печи, причемъ нагрѣвается все болѣе и болѣе. Затѣмъ онъ дѣлится на двѣ струи, которыя затѣмъ снова соединяются въ каналѣ *f* въ передней стѣнкѣ печи, выходятъ черезъ два ряди щелей въ каналъ *g*, гдѣ встрѣчаетъ газъ, идущій непосредственно изъ генератора.

Пламенныя печи съ подвижнымъ подомъ.

Представимъ себѣ, что на поду пламенной печи нужно вызвать нѣкоторыя химическія реакціи, благодаря напримѣръ взаимодѣйствію нѣсколькихъ твердыхъ или жидкихъ тѣлъ, которыя должны вліять другъ на друга, или же, что протекающіе черезъ печь—газы должны оказать на эти тѣла окислительное или возстановительное дѣйствіе. Въ подобномъ случаѣ во всѣхъ описанныхъ до сихъ поръ печахъ съ неподвижнымъ подомъ приходится посредствомъ перемѣшиванія, перегребанія и подобныхъ пріемовъ, достигать возможно тѣснаго соприкосновенія между тѣлами, которыя должны подѣйствовать другъ на друга. Этой работы можно избѣжать, если посредствомъ какого-либо механическаго приспособленія придать самому поду печи такое движеніе, чтобы находящіяся на немъ тѣла начали перемѣщаться и перемѣшиваться.

Для рѣшенія этой задачи неоднократно пытались еще съ конца пятидесятыхъ годовъ устраивать печи съ подвижнымъ (вращающимся или качающимся) подомъ. Печи съ вращающимся подомъ въ просторѣчіи называются вращающимся, печи съ качающимися подомъ, нигдѣ впрочемъ долго не примѣнявшіяся,—качающимся. По формѣ рабочаго пространства печи съ подвижнымъ подомъ можно раздѣлить на два главныхъ типа:

а) Печи цилиндрическія, бочкообразныя или яйцеобразныя.

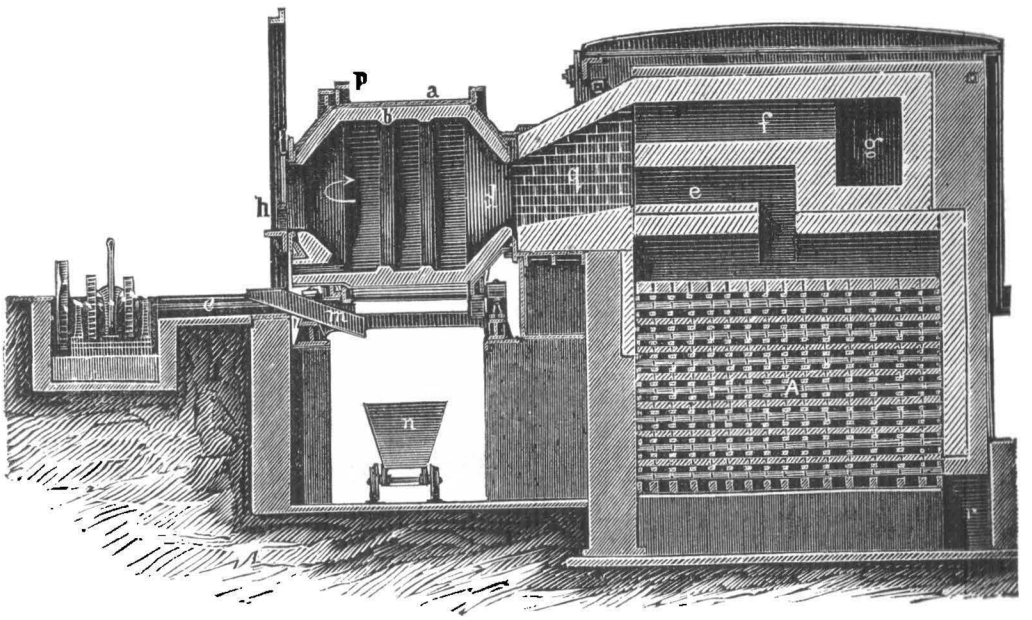
Рабочее пространство имѣетъ форму цилиндрическую (обыкновенно бочкообразную) или яйцеобразную.

Вращеніе всегда происходитъ около оси печи, которая можетъ быть горизонтальной или наклонной. Одна изъ подобныхъ печей, построенная В. Сименсомъ въ началѣ семидесятыхъ годовъ и предназначенная для полученія ковкаго желѣза изъ рудъ, изображена на рис. 43 и 44, а—собственно печь состоящая изъ желѣзнаго кожуха съ огнеупорной фушеровкой внутри. Въ серединѣ она имѣетъ форму цилиндри-

НБ УДУНТ (ІПБТ)

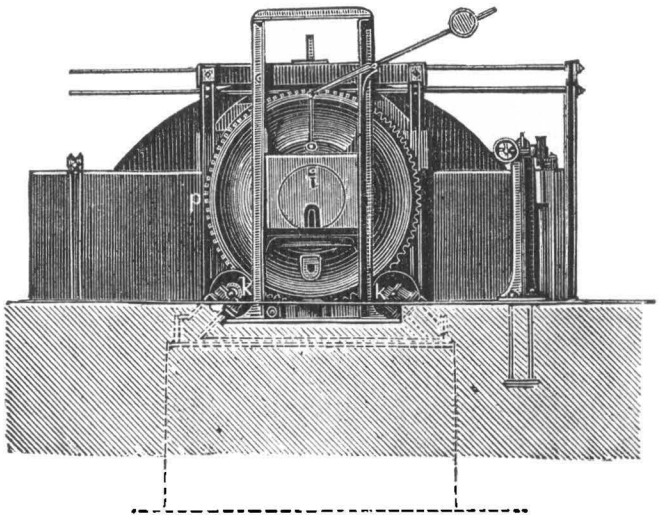
ческую, къ обоимъ концамъ—коническую. Длина ея колеблется отъ 2 до 3,5 метровъ, внѣшній діаметръ приблизительно имѣетъ туже величину. Печь покоится на 4 роликахъ *kk* (рис.

Рис. 43.



44) Движеніе передается ей отъ вала *e*, который сцѣпляется съ зубчатымъ ободомъ *p*, надѣтымъ на кожухѣ печи, посредствомъ безконечнаго винта или зубчатаго колеса.

Рис. 44.



Изображенная печь дѣйствуетъ на газѣ, который, какъ у всѣхъ печей Сименса, подогрѣвается въ регенераторахъ,

НБ УДУНТ (ІПБТ)

вмѣстѣ съ воздухомъ потребнымъ для горѣнія. Всѣ 4 регенератора лежатъ рядомъ. Воздухъ входитъ въ печь черезъ каналъ *f*, газъ—черезъ *e*. Въ пространствѣ *d* происходитъ смѣшеніе. Образуется подковообразное пламя и продукты горѣнія удаляются изъ печи черезъ каналы совершенно подобные *e* и *f*, отдѣленные отъ нихъ вертикальной перегородкой, и идутъ въ регенераторы.

Въ концѣ печи, противоположной регенераторамъ, находится выложенная огнеупорнымъ кирпичемъ дверца *i*, которая однако съ печью вмѣстѣ не вращается, но помѣщается между двумя вертикальными направляющими, между которыми и движется, когда ее приподнимаютъ или опускаютъ. Вагончикъ *n* служитъ для собиранія шлака, текущаго въ него черезъ желобъ *m*.

Въ другихъ подобныхъ вращающихся печахъ примѣняли вмѣсто регенеративной топки Сименса обыкновенную колосниковую рѣшетку и какую либо другую, но болѣе простую газовую топку. Въ такомъ случаѣ на одномъ концѣ печи расположена топка, а на другомъ концѣ газы улетаютъ черезъ боровокъ въ трубу. При этомъ, слѣдовательно, невозможно устроить дверцы, какъ въ описанной печи Сименса. Чтобы однако имѣть доступъ во внутренность печи, боровокъ снабженъ желѣзной одеждой, придающей ему извѣстную подвижность такъ, что помощью крана или какого нибудь другаго устройства, его можно отодвигать и снова ставить на мѣсто.

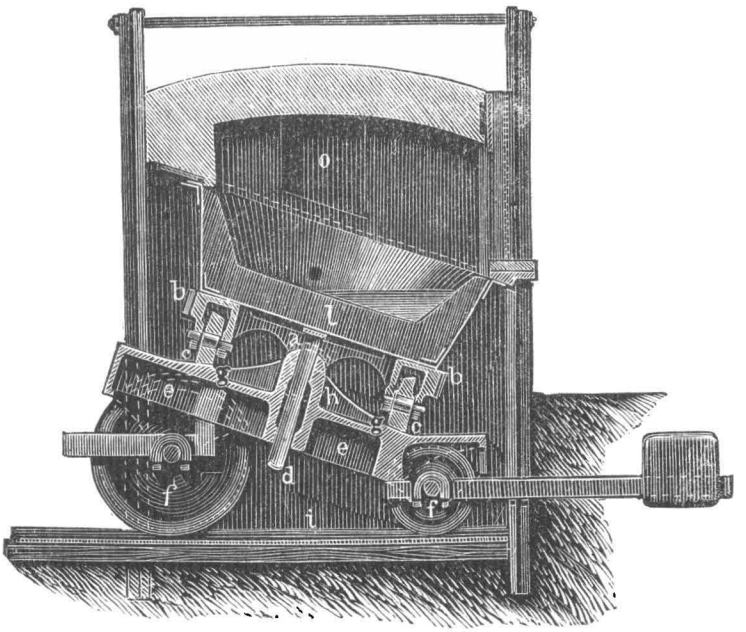
b) Тарелочныя печи. Подъ печи имѣетъ тарелкообразную форму и вращается вокругъ своей оси, поставленной нѣсколько наклонно [1]). Однако изъ печей этого типа получила нѣкоторое распространеніе только одна печь Перно, изображенная на рис. 45, примѣненіе которой не ограничилось одними опытами. Здѣсь *l*—подъ печи, склепанный изъ толстыхъ желѣзныхъ листовъ и выложенный изнутри соотвѣтственнымъ огнеупорнымъ матеріаломъ. Середина пода — прикрѣплена къ оси *d*, вращающейся во втулкѣ *h*—отлитой вмѣстѣ съ массивной чугунной плитой *e*. Для поддерживанія пода служатъ кромѣ того ролики *cc*, движущіеся по пути, устроенному соотвѣтственнымъ образомъ на платформѣ *e*. На окружности чугунной основной рамы *a*, на которой укрѣпленъ подъ, находится зубчатка *b*, сцѣпляющая съ безконечнымъ винтомъ, не показаннымъ впрочемъ на рисункѣ, получающимъ движеніе отъ вала и передающимъ его зубчаткѣ, а слѣдовательно и поду печи. Платформа *e* покоится на колесахъ *ff*, которыя позволяютъ выдвигать въ сторону подобно телѣжкѣ весь

[1]) Были сдѣланы попытки устроить тарелочныя печи съ качающимся подомъ, который висѣлъ на горизонтальныхъ цапфахъ, но примѣненіе ихъ ограничилось опытами.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

подъ со всѣми его принадлежностями для ремонта. Чтобы добиться однако плотнаго примыканія пода печи къ неподвижной ея части, не затрудняя въ тоже время движенія телѣжки, платформу *e* не скрѣпляютъ непосредственно съ колесами, а ставятъ на рычагахъ съ противовѣсомъ, какъ это видно на рисункѣ. Какъ скоро телѣжка находится на мѣстѣ, рычаги поднимаютъ подъ кверху, плотно прижимая его къ верхней части печи: когда-же телѣжку надо выдвинуть, ихъ нетрудно приподнять. *i*—рельсы, по которымъ движется телѣжка. Верхняя часть печи покоится на желѣзныхъ балкахъ, какъ это видно на рисункѣ; съ одной стороны къ ней примыкаетъ топка, которая можетъ быть съ простой колосниковой рѣшеткой или газовою, съ другой—боровокъ 0.

Рис. 45.



Наклонное расположеніе оси печи способствуетъ тому, что, когда въ ней находятся жидкія тѣла, они собираются въ самомъ глубокомъ ея мѣстѣ вмѣсто того, чтобы распространяться по всей ея поверхности или же скопляться во время движеніи печи по ея краямъ. Этимъ достигается равномѣрное смѣшеніе различныхъ тѣлъ и кромѣ того сильное нагрѣваніе пода, высшая часть котораго, не покрытая жидкимъ металломъ, подвергается во время вращенія періодически непосредственному дѣйствію пламени.

Устраненіе работы человѣка вызываетъ конечно расходъ на механическую работу. Кромѣ того самое устройство печи дороже. Затѣмъ нужно замѣтить, что примѣненіе подобныхъ

печей естественно ограничивается лишь тѣми случаями когда нужно смѣшивать жидкія вещества или-же когда требуется постоянно обнажать и освѣжать поверхность жидкаго тѣла. Все это объясняетъ намъ, почему вращающіяся печи примѣняются гораздо рѣже, чѣмъ печи съ неподвижнымъ подомъ.

Коэффиціентъ полезнаго дѣйствія пламенныхъ печей.

Благодаря различію устройства разныхъ пламенныхъ печей, коэффиціентъ ихъ полезнаго дѣйствія довольно различенъ. Онъ бываетъ выше въ тѣхъ случаяхъ, когда теряющаяся теплота печей снова вводится въ печь (печи Сименса) чѣмъ тогда, когда теплота эта теряется для самой печи, какъ это бываетъ въ печахъ съ простой колосниковой рѣшеткой и съ простѣйшими газовыми топками. Кромѣ того онъ будетъ выше и тогда, когда нагрѣваемое тѣло распредѣляется по большой поверхности, чѣмъ тогда, когда оно стѣснено на маломъ пространствѣ или же помѣщено въ тиглѣ.

Однако даже при самыхъ выгодныхъ условіяхъ коэффиціентъ полезнаго дѣйствія пламенныхъ печей всегда гораздо ниже, чѣмъ шахтныхъ печей, гдѣ тѣла отдающія тепло и тѣла нагрѣваемыя движутся въ обратныхъ направленіяхъ. Причина этому явленію кроется отчасти въ томъ обстоятельствѣ, что наружная поверхность пламенныхъ печей весьма значительна по сравненію съ ихъ полезнымъ объемомъ, т. е. по сравненію съ количествомъ тѣлъ, переработываемыхъ въ извѣстный промежутокъ времени. Главной же причиной является отсутствіе движенія нагрѣваемыхъ тѣлъ въ направленіи, противоположномъ движенію горячихъ газовъ, что даетъ возможность постепенно нагрѣвать тѣла теряющимся жаромъ печи и обусловливаетъ поэтому весьма благопріятную утилизацію теплоты. Между тѣмъ именно это явленіе и наблюдается постоянно въ шахтныхъ печахъ.

Коэффиціентъ полезнаго дѣйствія пламенныхъ печей съ колосниковой рѣшеткой и съ непосредственнымъ нагрѣваніемъ тѣлъ находящихся въ печи бываетъ 0,08—0,10. При топкахъ газовыхъ и при пользованіи теряющейся теплотою для нагрѣванія воздуха для горѣнія и газовъ (печи Сименса) коэффиціентъ увеличивается до 0,14—0,18. Въ случаѣ-же примѣненія тиглей онъ падаетъ—ниже, даже въ печахъ Сименса—до 0,03—0,04.

3. Устройство стѣнъ печей.

До сихъ поръ мы говорили лишь о формѣ и назначеніи внутренняго пространства печей, въ коемъ происходитъ развитіе и отдача теплоты. Это внутреннее пространство печи заключено въ корпусѣ печи, состоящей всецѣло или по боль-

НБ УДУНТ (ІПБТ)

шей части изъ кирпичной или каменной кладки. На устройство его техникъ долженъ обратить особое вниманіе, дабы оное соотвѣтствовало своему назначенію. Кладка стѣнъ печей должна быть достаточно прочной, чтобы не разрушиться или не прійти въ негодность отъ дѣйствія физическихъ и химическихъ процессовъ, которые вліяютъ иногда очень сильно (расширеніе отъ теплоты, сжатіе при охлажденіи, оплавленіе) на строительные матеріалы. Однако все устройство печной кладки не должно быть слишкомъ громоздко и дорого и, кромѣ того, не должно допускать такой потери тепла, которой можно было-бы избѣжать.

Чѣмъ выше температура, развитая въ печи, тѣмъ возможнѣе оплавленіе частей печной кладки, которыя будутъ подвергнуты этой температурѣ. Поэтому въ тѣхъ случаяхъ, когда температура, развиваемая въ печи, выше температуры темно-краснаго каленія для постройки печи или, по крайней мѣрѣ, для ея внутреннихъ частей, примѣняютъ такъ называемыя огнеупорные матеріалы. Такъ какъ однако не существуетъ такого тѣла, которое оставалось бы вполнѣ огнеупорнымъ, т е. не плавкимъ при тѣхъ высокихъ температурахъ и при тѣхъ химическихъ вліяніяхъ, которыя часто существуютъ въ печахъ для желѣзнаго производства, то очень часто устраиваютъ искусственное охлажденіе тѣхъ частей кладки, которыя больше всего подвергаются дѣйствію высокой температуры. Иногда эти части поливаютъ съ наружной ихъ стороны водою, иногда въ этихъ мѣстахъ въ стѣнную кладку закладываютъ колоды (полые ящики) изъ чугуна, бронзы или желѣза, черезъ которыя постоянно протекаетъ холодная вода. Послѣднее устройство большею частью цѣлесообразнѣе и безопаснѣе. Необходимо только наблюдать за тѣмъ, чтобы колода всегда была наполнена водою, чего можно достигнуть, впуская воду изъ вышерасположеннаго резервуара въ самую нижнюю часть колоды и выпуская изъ высшей ея части. Вода должна непрерывно протекать по колодѣ—въ такомъ количествѣ, чтобы температура ея по выходѣ изъ колоды не превышала 40—50° С. Конечно подобное охлажденіе обусловливаетъ потерю теплоты, которую нетрудно вычислить, зная повышеніе температуры и количество израсходованной на охлажденіе воды. Это неудобство однако крайне не велико по сравненію съ выгодами происходящими отъ достигаемой этимъ путемъ прочности печей. Многочисленные опыты доказываютъ, что даже слишкомъ сильное охлажденіе печи рѣдко бываетъ въ состояніи замѣтно повліять на утилизацію тепла въ печи, т. е. на коэффиціентъ полезнаго дѣйствія.

Иногда, когда требуется не столь сильное охлажденіе, вмѣсто воды примѣняютъ для охлажденія воздухъ, который при этомъ нагрѣвается и можетъ затѣмъ быть вводимъ въ

НБ УДУНТ (ІПБТ)

печь для горѣнія. Такимъ способомъ часто охлаждаютъ подъ и бока пламенныхъ печей (напр. печей Бишеру, описанныхъ выше), стѣнки генераторовъ (печь Боэціуса) и т. д. Такъ какъ однако воздухъ въ 770 разъ легче, чѣмъ вода, и теплоемкость его всего 0,237, то охлаждающее дѣйствіе нѣкотораго объема воздуха гораздо меньше, чѣмъ такого же объема воды, и, если вообще нужно достигнуть замѣтныхъ результатовъ, то необходимо очень быстро перемѣнять воздухъ.

Очень важно опредѣленіе правильныхъ размѣровъ толщины стѣнъ печи. При этомъ нужно главнымъ образомъ имѣть въ виду два обстоятельства: устойчивость печи и потерю теплоты, передаваемой наружному воздуху, каковая происходитъ при слишкомъ тонкихъ стѣнахъ.

Еще недавно обращали главное вниманіе на послѣднее обстоятельство и придавали поэтому стѣнамъ печей, въ которыхъ развивались большія количества тепла и гдѣ должна была существовать высокая температура, гораздо большую толщину, чѣмъ нужно было для ихъ прочности. Поэтому нерѣдко печь получалась очень громоздкой и стоила дорого. Прочность же печи нерѣдко была меньше, чѣмъ при менѣе толстыхъ стѣнахъ. Чтобы понять послѣднее, необходимо вспомнить, что если толстая стѣна будетъ нагрѣваться или охлаждаться съ одной стороны, она гораздо легче дастъ трещины, чѣмъ болѣе тонкая, которая нагрѣвается равномѣрнѣе и легче поддается расширенію и сжиганію. Кромѣ того тѣ части печи, которыя окружены толстыми, дурно проводящими теплоту стѣнами, будутъ нагрѣваться гораздо сильнѣе, чѣмъ въ томъ случаѣ когда онѣ окружены болѣе тонкими стѣнами, которые кромѣ того сильнѣе охлаждаются атмосфернымъ воздухомъ.

Наконецъ опытъ постепенно привелъ къ заключенію, что то сбереженіе теплоты, котораго естественно ожидали устраивая толстыя стѣны, далеко не такъ значительно, какъ это легко было думать сначала. Не рѣдко даже оказывалось, что для извѣстнаго процесса печь съ болѣе тонкими стѣнами расходовала горючаго матеріала не больше, чѣмъ печь съ толстыми стѣнами.

Чтобы объяснить это обстоятельство, нужно прежде всего замѣтить, что внутренность печи большею частью бываетъ наполнена дурными проводниками тепла. Внутри пламенной печи движутся продукты горѣнія; внутри шахтной печи кромѣ поднимающіюся газовъ находятся еще твердые горючіе матеріалы, по сравненію съ которыми нагрѣваемыя тѣла занимаютъ незначительное пространство. Если нагрѣванію подвергаются руды, то ихъ можно считать за дурные проводники тепла. Поэтому, если бы даже эти тѣла находились въ покоѣ; то охлажденіе печи извнѣ къ серединѣ ея происходи-

НБ УДУНТ (ІПБТ)

ло-бы лишь очень медленно. Между тѣмъ состоянія покоя въ печахъ никогда не наблюдается. Въ шахтной печи твердыя тѣла двигаются постоянно книзу, гдѣ они сожигаются, если они служатъ горючими матеріалами, или удаляются изъ печи какимъ либо другимъ образомъ. Постоянное-же обновленіе тѣлъ, находящихся въ печи, вмѣстѣ съ тѣмъ обстоятельствомъ, что тѣла эти являются дурными проводниками тепла, имѣетъ слѣдствіемъ, что охлажденіе печи извнѣ замѣтно лишь на небольшомъ разстояніи отъ ея стѣнъ и совершенно не распространяется на большую часть поперечнаго сѣченія печи. У стѣнъ образуется какъ-бы узкій кольцеобразный поясъ, въ которомъ температура по направленію снаружи во внутрь печи поднимается весьма быстро. Изъ сказаннаго нетрудно понять, что можно построить печь исключительно изъ желѣзныхъ листовъ, охлаждаемыхъ водою, не употребляя вовсе какихъ нибудь дурныхъ проводниковъ тепла (огнеупорныхъ матеріаловъ).

Въ такой печи возможно будетъ плавить чугунъ и нагрѣвать желѣзо до бѣлаго каленія, и расходъ горючаго не будетъ слишкомъ великъ, а желѣзная одежда не будетъ скоро портиться [1]).

Основываясь на подобныхъ наблюденіяхъ, при новѣйшихъ печахъ можно съ полнымъ правомъ, опредѣляя толщину стѣнъ ихъ, обращать главное вниманіе не на уменьшеніе потерь теплоты, а на прочность печи, благодаря чему получаются печи болѣе легкія и болѣе дешевой конструкціи.

Чтобы уменьшить вредное вліяніе расширенія и сжатія стѣнной кладки печей при измѣненіяхъ температуры, печи снабжаютъ желѣзной арматурой, которая, смотря по наружной формѣ ихъ, бываетъ весьма различна. Для шахтныхъ печей съ круглымъ сѣченіемъ примѣняютъ нерѣдко сплошной кожухъ, склепанный изъ желѣзныхъ листовъ, или же довольствуются желѣзными обручами, охватывающими печь кругомъ. Пламенныя печи окружаются обыкновенно вертикально поставленными чугунными плитами, которыя сдерживаются поперечными желѣзными связями, проходящими въ верхней и нижней части печной кладки и оказывающими необходимое сопротивленіе давленію свода печи. Для болѣе удобнаго расположенія этихъ плитъ, основное сѣченіе пламенныхъ печей дѣлаютъ обыкновенно прямоугольнымъ.

4. Огнеупорныя матеріалы.

Огнеупорными матеріалами называются, примѣняемыя при постройкѣ печей, тѣла, которыя могутъ нѣкоторое время сопротивляться высокимъ температурамъ, получаемымъ въ печи

[1]) Berg und- hüttenm. Zeitung, 1878. S. 149.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

ради цѣлей производства, а также и тѣмъ физическимъ и химическимъ процессамъ, которые происходятъ при этихъ температурахъ. Къ этимъ процессамъ относятся, кромѣ расплавленія еще расширеніе и сжатіе, при измѣненіи температуры, и соприкосновеніе съ другими, нагрѣваемыми до высокой степени тѣлами, причемъ является возможность образованія съ этими тѣлами соединеній съ болѣе низкой температурой плавленія и т. д.

Отсюда слѣдуетъ, что понятіе объ огнеупорности нельзя считать рѣдко опредѣленнымъ, но что оно зависитъ отъ характера процесса, при которомъ примѣняются огнеупорные матеріалы. Тѣло, которое достаточно прочно въ одномъ случаѣ, можетъ оказаться совершенно непригоднымъ въ другомъ, когда измѣнится температура или когда будутъ происходить другіе химическіе процессы. Нерѣдко случается, что тѣло, почти неплавкое само по себѣ, будетъ плавиться сравнительно легко, если будетъ находиться въ соприкосновеніи съ другими извѣстными тѣлами—напримѣръ съ золою или шлакомъ опредѣленнаго состава. Отсюда слѣдуетъ, что выборъ огнеупорнаго матеріала долженъ зависить отъ характера процесса, причемъ абсолютная степень жара развиваемая при этомъ процессѣ имѣетъ такое же значеніе, какъ и химическія реакціи, при немъ происходящія.

Нужно однако замѣтить, что тѣла, употребляемыя въ качествѣ огнеупорнаго матеріала, рѣдко или никогда не бываютъ совершенно чистыми. Они содержатъ въ себѣ случайныя составныя части, которыя могутъ уменьшать ихъ огнепостоянность такимъ же образомъ, только еще сильнѣе, какъ и соприкосновеніе съ другими тѣлами. Такими посторонними, часто встрѣчающимися тѣлами являются щелочи и окислы желѣза и марганца. Если ихъ количество хоть сколько нибудь значительно, то они могутъ понизить огнеупорность кирпича до такой степени, что онъ уже не можетъ считаться огнеупорнымъ. Силикатъ глинозема, почти совершенно не плавкій въ чистомъ состояніи, можетъ сдѣлаться плавкимъ, если онъ будетъ содержать окись желѣза, щелочи, известь, магнезію или же значительныя количества кремневой кислоты (въ видѣ примѣшеннаго песка). Известь и магнезія, два тѣла неплавкія сами по себѣ, съ увеличеніемъ въ нихъ содержанія кремневой кислоты или окиси желѣза дѣлаются плавкими и т. д. Чѣмъ больше число постороннихъ тѣлъ присутствующихъ вмѣстѣ въ огнеупорномъ матеріалѣ, тѣмъ замѣтнѣе ихъ вліяніе.

Огнеупорные матеріалы встрѣчаются въ природѣ въ видѣ камней (горныхъ породъ), которыя прежде чѣмъ употреблять въ дѣло необходимо подвергнуть внѣшней обработкѣ (для приданія формы), но гораздо чаще матеріалы эти приготов-

НБ УДУНТ (ІПБТ)

ляются искусственно изъ сырыхъ матеріаловъ. По своему химическому составу наиболѣе важные огнеупорные матеріалы могутъ быть раздѣлены на слѣдующія категоріи:

А. Огнеупорные матеріалы важнѣйшею соотавною частью коихъ является кремнеземъ.

Кремнекислота сама по себѣ не плавится въ нашихъ печахъ, и горныя породы или искусственные строительные матеріалы, въ коихъ кремнеземъ является главною составною частью, очень часто оказываются наиболѣе огнеупорными, особливо въ тѣхъ случаяхъ гдѣ, оные подвергаются простому накаливанію безъ всякаго вліянія химическихъ агентовъ, какъ это напр. наблюдается при дѣйствіи пламени на матеріалы свода отражательной печи, или при дѣйствіи жара на верхніе ряды кирпичей регенераторовъ и т. д.

Матеріалы эти однако не пригодны въ томъ случаѣ, если они при высокой температурѣ приходятъ въ соприкосновеніе со щелочами или щелочными землями, окислами желѣза или марганца, или шлаками, которые богаты этими тѣлами. Непригодны эти матеріалы и въ томъ случаѣ, когда они подвергаются быстрымъ измѣненіямъ температуры, такъ какъ они легко трескаются.

Изъ огнеупорныхъ матеріаловъ этого рода, употребляемыхъ иногда въ желѣзномъ дѣлѣ и встрѣчающихся въ естественномъ видѣ въ природѣ, упомянемъ слѣдующіе:

Песчаникъ, состоящій изъ зернышекъ кварца, связанныхъ глинистымъ цементомъ, примѣняется иногда для задѣлки древесноугольныхъ доменныхъ печей и въ другихъ случаяхъ, гдѣ онъ не приходитъ въ соприкосновеніе съ основными шлаками. Должно избѣгать употребленіе песчаника съ желѣзистыми включеніями, замѣтными своимъ бурымъ цвѣтомъ. При кладкѣ камней нужно обращать вниманіе на то, чтобы плоскости напластованія (плоскости спайности) шли подъ прямымъ угломъ ко внутренности печи, такъ какъ иначе при нагрѣваніи легко будутъ откалываться куски песчаника.

Пуддингъ, состоящій изъ желваковъ кремня, цементомъ для которыхъ служитъ вещество подобное кремню или реговику. Онъ встрѣчается преимущественно въ Англіи и Бельгіи и употребляется тамъ въ качествѣ огнеупорнаго матеріала.

Кремнистый сланецъ—сланцеватая порода бѣловатосѣраго цвѣта, состоящая преимущественно изъ зеренъ кварца. Какъ хорошій матеріалъ для постройки печей цѣнится очень

НБ УДУНТ (ІПБТ)

высоко сланецъ, встрѣчающійся около Брига въ Силезіи. Его охотно примѣняютъ для постройки пламенныхъ печей, особенно же для устройства ихъ сводовъ.

Иногда, хотя рѣдко, примѣняли въ качествѣ огнеупорнаго матеріала гранитъ, содержащій около 72% кремневой кислоты, 16% глинозема и еще желѣзо, известь, магнезію и щелочи. Это бываетъ лишь при устройствѣ печей, назначенныхъ для работы при не очень высокой температурѣ.

Ганистеръ, встрѣчающійся въ толщахъ каменноугольныхъ образованій близъ Шеффильда, а также и около Дюссельдорфа, состоитъ изъ мелкихъ кварцевыхъ зернышекъ и содержитъ 1—7% глинозема и окиси желѣза. Его часто примѣняютъ для футеровки ретортъ Бессемера. Обыкновенно его дробятъ, смѣшиваютъ съ небольшимъ количествомъ глины, для связи смачиваютъ водой и набиваютъ массой реторту.

Приготовленные искусственно кирпичи, состоящіе главнымъ образомъ изъ зеренъ кварца, называютъ кирпичами динасъ. Названіемъ своимъ они обязаны тому, что первоначально ихъ готовили изъ кварцевой породы, происходившей изъ динасовыхъ скалъ въ долинѣ рѣки Neath въ Гламорганшейрѣ. Порода эта, или чистый кварцъ въ другихъ случаяхъ, измельчается въ порошокъ, смѣшивается съ обожженной известью въ количествѣ около 1%, служащей цементомъ (на нѣмецкихъ заводахъ берутъ иногда вмѣсто извести глину), формуется въ кирпичи и обжигается при температурѣ бѣлаго каленія. Подобно всѣмъ огнеупорнымъ матеріаламъ, приготовленнымъ искусственно, кирпичи динасъ имѣютъ передъ естественными кремнистыми матеріалами то преимущество, что приготовляя ихъ, легче можно избѣжать вредно дѣйствующихъ составныхъ тѣлъ. Кирпичи эти представляютъ превосходный матеріалъ въ тѣхъ случаяхъ, когда, какъ это было уже указано выше, подвергаются лишь сильному нагрѣванію при отсутствіи химическаго воздѣйствія на нихъ другихъ тѣлъ. Кирпичи динасъ очень чувствительны къ быстрымъ перемѣнамъ температуры: они растрескиваются и распадаются на куски, поэтому ихъ по возможности надо оберегать отъ быстраго охлажденія или нагрѣванія.

Б. Огнеупорные матеріалы, главною составною частью которыхъ является глина.

Глина представляетъ собою водный силикатъ глинозема, который лишается при нагрѣваніи содержащейся въ немъ воды. Въ чистомъ видѣ, даже при самыхъ высокихъ температурахъ, которыя мы можемъ получить, силикатъ этотъ

НБ УДУНТ (ІПБТ)

только слабо сплавляется. Химическому воздѣйствію основныхъ тѣлъ глинистые огнеупорные матеріалы сопротивляются лучше, чѣмъ кремне-кислоту содержащіе; кремне-кислота же, или тѣла, богатые ею, напр. шлаки дѣйствуютъ на нихъ слабѣе, чѣмъ на основные огнеупорные матеріалы, о которыхъ рѣчь будетъ ниже. При надлежащемъ изготовленіи они трескаются менѣе легко, чѣмъ кварцъ содержащіе естественные огнеупорные матеріалы и кирпичи динасъ. Преимущество это объясняетъ намъ, почему эти огнеупорные матеріалы примѣняются чаще, чѣмъ какіе либо другіе. Однако для нихъ труднѣе получить свободную отъ вредно дѣйствующихъ постороннихъ тѣлъ основную массу, чѣмъ для кирпичей динасъ. Поэтому въ тѣхъ случаяхъ, когда отъ огнеупорнаго матеріала требуется лишь способность выдерживать очень высокія температуры, а не прочность его по отношенію къ химическимъ воздѣйствіямъ, отдаютъ предпочтеніе послѣднимъ.

Выше было упомянуто, что естественныя глинистыя породы при нагрѣваніи теряютъ химически связанную воду, при чемъ существенно измѣняются ихъ свойства. Поэтому на практикѣ можно употреблять лишь искусственно подготовленные огнеупорные матеріалы съ глинистою основною массою.

Бокситовые кирпичи. Они приготовляются изъ боксита [1]) минерала, встрѣчающагося преимущественно во Франціи, содержащаго отъ 50 до 65% глинозема, 8—12% кремнезема 1—5% окиси желѣза (въ менѣе огнеупорныхъ сортахъ, содержаніе окиси желѣза часто бываетъ гораздо больше) и 12—15% воды. Бокситъ обжигаютъ, смачиваютъ водою, смѣшиваютъ съ небольшимъ количествомъ свѣжей огнеупорной глины и формуютъ изъ смѣси кирпичи, которые затѣмъ обжигаютъ. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ бокситовые кирпичи примѣнялись съ выгодою; обширное же ихъ примѣненіе невозможно вслѣдствіе ограниченнаго распространенія боксита.

Собственно глиняные или шамотовые кирпичи.

Во всѣхъ встрѣчающихся въ природѣ глинахъ, кромѣ главной ихъ составной части—водосодержащаго силиката глинозема—содержатся примѣшанныя къ нимъ постороннія тѣла, въ особенности песокъ (большею частью зерна кварца), окись желѣза, щелочи и щелочныя земли. Всѣ эти тѣла вліяютъ на огнепостоянность матеріала [2]).

---

[1]) Названіе происходитъ отъ мѣсторожденія Бокс (Baux) близъ Араля.

[2]) Глина, употребляющаяся для приготовленія обыкновенныхъ (не огнеупорныхъ) кирпичей, содержитъ такъ много подобныхъ примѣсей, что даже при свѣтло-красномъ каленіи начинаетъ обыкновенно спекаться или даже сплавляется.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Вотъ нѣкоторыя данныя изъ анализовъ Бишофа:

	Глинозема.	Связанной кремне-кислоты.	Песку.	Земель, щелочей, окиси желѣза.	Потеря отъ прокаливанія.
Очень огнеупорная глина изъ Саарау	36,30	38,94	4,90	1,26	17,78
Богемская огнеупорная глина	38,54	40,53	5,15	2,04	13,00
Глина средней огнеупорности изъ Пфальца .	35,05	39,05	8,01	6,75	10,51
Менѣе огнеупорная глина изъ Зигена	28,05	30,71	27,61	4,75	8,66

Глина наиболѣе богатая пескомъ менѣе всего огнепостоянна. При анализѣ глины для сужденія объ ея огнеупорности необходимо связанную кремне-кислоту опредѣлять отдѣльно отъ песка [1]).

Всѣ глины, будучи смочены водою, обладаютъ большою пластичностью, и предметы изъ нихъ отформованные затвердѣваютъ послѣ сушки и обжига. При сушкѣ и обжигѣ глина, въ особенности огнеупорная, теряетъ содержащуюся въ ней воду и сжимается—даетъ усадку, вслѣдствіе чего получаются трещины.

Обожженная глина, даже, если ее снова смочить или размягчить водою, уже не обладаетъ пластичностью, вслѣдствіе потери химически связанной воды и при вторичномъ обжигѣ уже не усѣдаетъ.

Свойство глины давать усадку и трещины при сушкѣ и обжигѣ очень затрудняло бы ея примѣненіе для полученія огнеупорныхъ матеріаловъ. Этотъ недостатокъ въ значительной степени можно параллизовать, смѣшивая ее съ механически измельченными тѣлами, неспособными давать усадку и не плавящимися въ соприкосновеніи съ глиной.

Дѣйствіе [2]) такихъ тѣлъ очень просто. Такъ какъ въ одномъ и томъ-же объемѣ будутъ находиться тѣмъ меньшія количества усѣдающаго тѣла, глины, чѣмъ больше будетъ количество примѣшаннаго къ ней неспособнаго давать усадку вещества, то и усадка будетъ соотвѣтственно меньше. Между примѣшанными къ глинѣ зернышками и окружающей ихъ глиной образуется при усадкѣ послѣдней маленькій промежутокъ. Все тѣло пріобрѣтаетъ поэтому нѣкоторую

[1]) Подробности анализа см. Bischof, Die feuerfesteu Thoue, Leipzig. 1876. стр. 62.

[2]) Очень пластичныя глины называются жирными, менѣе пластичныя—тощими; примѣшиваемыя къ глинѣ тѣла уменьшаютъ ея пластичность.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

пористость, благодаря которой облегчается удаленіе образующихся водяныхъ паровъ. При этомъ уменьшается и хрупкость обожженнаго глинистаго матеріала, вслѣдствіе чего оный легче можетъ переносить измѣненія температуры, не давая трещинъ. Количество прибавляемыхъ къ глинѣ веществъ зависитъ отъ ея свойствъ; вообще оно тѣмъ больше, чѣмъ глина жирнѣе. Нерѣдко количество это бываетъ вдвое болѣе, количества самой сырой глины.

Важнѣйшею изъ этихъ примѣсей является уже обожженная огнеупорная глина, называемая также шамотомъ. Такъ какъ она сама уже не даетъ усадки, то превосходно соотвѣтствуетъ всѣмъ требованіямъ. Ее смѣшиваютъ съ такимъ количествомъ свѣжей глины, чтобы смѣсь, будучи смочена, обладала достаточною пластичностью для формовки. Если масса, приготовленная такимъ образомъ формуется въ кирпичи, которые до употребленія въ дѣло обжигаются при высокой температурѣ, то полученные кирпичи называются глиняными или шамотовыми. Если-же полученную сырую, пластичную смѣсь употребляютъ непосредственно для набивки внутренности печи или для приготовленія литейныхъ формъ (въ литейной мастерской) и только затѣмъ по окончаніи работы сушатъ и обжигаютъ, то въ такомъ случаѣ ее называютъ просто массой, формовой массой или набойкой. Кромѣ шамота, полученнаго обжиганіемъ свѣжей глины, можно съ успѣхомъ употреблять для той же цѣли и шамотовые кирпичи и массу, уже бывшіе въ употребленіи, если только они при этомъ не поглотили постороннихъ тѣлъ. Эти матеріалы измельчаются и снова смѣшиваются со свѣжей глиной.

Наконецъ при приготовленіи матеріала для огнеупорныхъ кирпичей и массы вмѣсто обожженной глины для той же цѣли можно пользоваться иногда и чистымъ кварцемъ, измельченнымъ въ зерна величиною съ горошину. Кварцъ, какъ это было уже упомянуто, въ состояніи мелкаго раздробленія понижаетъ огнепостоянность глины, но чѣмъ крупнѣе его куски и чѣмъ меньшую поверхность представляютъ они глинѣ, тѣмъ слабѣе его вліяніе.

Ради нѣкоторыхъ цѣлей къ огнеупорной глинѣ вмѣстѣ съ шамотомъ, прибавляютъ также углеродъ содержащія тѣла: графитъ, кусочки угля и кокса.

Такъ какъ тѣла эти совершенно не плавятся, то во многихъ случаяхъ они представляютъ весьма подходящія вещества уничтожающія усадку.

Чаще всего употребляется графитъ, въ особенности для приготовленія огнеупорныхъ тиглей; настоящіе графитовые тигли состоятъ нерѣдко изъ двухъ третей по вѣсу графита и одной трети глины. При выборѣ графита необходимо, ко-

НБ УДУНТ (ІПБТ)

нечно, слѣдить за тѣмъ, чтобы онъ самъ не содержалъ тѣлъ, которыя дали бы между собою или съ глиною легкоплавкихъ соединеній: щелочей, земель, окиси желѣза и т. д.

Въ качествѣ цѣннаго матеріала для тиглей извѣстны нѣкоторые сорта графита изъ Пассау въ Баваріи, Цейлона и Сибири (графитъ Алибера). Нѣкоторые сорта графита можно освободить отъ содержащихся въ нихъ вредныхъ примѣсей отмучиваніемъ или прокаливаніемъ ихъ отдѣльно или со щелочами и послѣдующею обработкою кислотами. Отъ свойствъ самого графита зависитъ, конечно, выгодность примѣненія того или другого пути для его очищенія. Нѣкоторыя дальнѣйшія подробности относительно состава графитовыхъ тиглей будутъ сообщены въ третьей части этой книги, при описаніи полученія тигельной стали.

C. Огнеупорные матеріалы основные.

Они употребляются въ тѣхъ случаяхъ, когда огнеупорные матеріалы печи приходятъ въ соприкосновеніе съ сильно основными тѣлами (напримѣръ, со шлаками), которые могли бы сильно дѣйствовать на кремнекислые и глинистые матеріалы, въ особенности же тогда, когда самый металлургическій процессъ требуетъ образованія основныхъ шлаковъ. Находясь въ соприкосновеніи съ кремнистыми и глинистыми матеріалами, шлаки постоянно растворяли бы все новыя и новыя ихъ количества, вслѣдствіе чего лишились бы своихъ основныхъ свойствъ.

Въ нѣкоторыхъ случаяхъ матеріаломъ для внутренней одежды печей служатъ окислы желѣза—руды, окалина и шлаки богатые желѣзомъ. Матеріалы эти примѣняются преимущественно тогда, когда для веденія процесса необходимо прибавленіе или образованіе шлаковъ, богатыхъ желѣзомъ, содержаніе желѣза въ которыхъ тотчасъ же понизилось бы, если бы они стали насыщаться составными частями другихъ огнеупорныхъ матеріаловъ. Однако огнепостоянность окисловъ желѣза ограниченная, а потому они не годятся для тѣхъ процессовъ, которые требуютъ очень высокой температуры.

Болѣе прочный матеріалъ, чѣмъ окись желѣза, представляетъ собою хромистый желѣзнякъ (химическая формула его $Fe\,Cr_2\,O_4$), если только онъ не содержитъ значительныхъ количествъ вредно дѣйствующихъ тѣлъ. За послѣднее время его употребляли въ нѣкоторыхъ мѣстахъ съ большимъ или меньшимъ успѣхомъ для внутренней одежды печей, работающихъ при очень высокой температурѣ (мартеновскія печи). Вообще-же пришли къ заключенію, что его сравнительно высокая стоимость не соотвѣтствуетъ его качествамъ [1]).

[1]) См. между прочимъ Stahl und Eisen 1891, стр. 643.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Съ 1878 года большое значеніе въ желѣзномъ производствѣ получили такіе матеріалы, главною составною частью которыхъ является известь, магнезія или оба эти тѣла одновременно [1]).

Въ чистомъ состояніи оба эти тѣла, какъ отдѣльно, такъ и будучи смѣшаны вмѣстѣ, не плавятся. Небольшія количества кремнезема или гзинозема вліяютъ на ихъ огнепостоянность слабо; большія же количества этихъ тѣлъ сдѣлали-бы примѣненіе ихъ въ качествѣ огнеупорнаго матеріала невозможнымъ. Не менѣе сильно дѣйствуютъ на нихъ значительныя количества окисловъ желѣза, которые образуютъ съ известью и магнезіею легкоплавкія соединенія, тогда какъ небольшое содержаніе въ нихъ этихъ примѣсей часто даже желательно, такъ какъ онѣ облегчаютъ спеканіе массы при обжиганіи. Чаще всего для приготовленія основныхъ огнеупорныхъ матеріаловъ примѣняютъ доломитъ, породу, содержащую около 45% углекислоты, 30% извести, 20% магнезіи, 1—2% кремнекислоты, столько же глинозема и незначительныя количества закиси желѣза и другихъ постороннихъ тѣлъ. Содержаніе закиси желѣза больше 2 процентовъ, вредно отозвалось бы на пригодности доломита точно также, какъ и большее содержаніе въ немъ кремнезема. Чѣмъ доломитъ богаче магнезіею, тѣмъ онъ болѣе пригоденъ для приготовленія огнеупорныхъ матеріаловъ [2]).

Для этого доломитъ прежде всего обжигаютъ при температурѣ бѣлаго каленія такъ, что вещество это спекается. Такое сильное накаливаніе его необходимо потому, что только послѣ такого сильнаго обжига онъ теряетъ способность снова быстро воспринимать на воздухѣ влажность и углекислоту, что сдѣлало бы его непригоднымъ для дальнѣйшаго употребленія.

Поэтому подобное накаливаніе называютъ пережиганіемъ доломита (известняка, магнезита). Обжигъ ведутъ обыкновенно въ шахтныхъ печахъ съ дутьемъ, подобныхъ вагранкамъ для переплавки чугуна, описаннымъ во второй части этой книги.

На ф. 46 и 47 изображена подобная печь для обжига доломита (въ 1/80 н. в.) одного изъ Верхне-Силезскихъ заводовъ.

---

[1]) Впервые эти матеріалы были употреблены въ указанномъ году Томасомъ и Джилькристомъ, въ томасовскомъ или дефосфоризаціонномъ процессѣ, описанномъ въ третьей части этой книги, который только благодаря примѣненію ихъ сдѣлался возможнымъ.

[2]) Напримѣръ, доломитъ, употребляемый на желѣзныхъ заводахъ Средней Германіи для приготовленія основныхъ кирпичей содержитъ:

CaO	MgO	SiO_2	Al_2O_3	FeO	CO_2	H_2O
30,12	19,21	1,35	2,05	0,26	44,97	2,00

Другіе анализы можно найти въ Stahl und Eisen. 1886, стр. 623.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Вся печь, вмѣстѣ съ трубой снабжена одеждой изъ листоваго желѣза въ 10 м.м. толщиною. Дутье, идущее отъ воздуходувной машины, поступаетъ сначала въ распредѣлительный каналъ а, идущій вокругъ печи и приклепанный къ ея одеждѣ, а изъ него входитъ въ печь черезъ шесть круглыхъ отверстій (фурмъ) въ 300 мм. діаметромъ. Сзади каждой фурмы, какъ это видно на ф. 46, въ задней стѣнкѣ канала сдѣлано отверстіе, закрываемое задвижкой со стеклянной или слюдяной пластинкой, которое служитъ для наблюденія за ходомъ процесса внутри печи, а въ случаѣ крайности для очистки фурмъ отъ настылей. Матеріалы засыпаются черезъ два лежащихъ другъ противъ друга отверстія в, находящихся надъ колошниковой площадкой печи, устроенной для этой цѣли. Обожженный доломитъ удаляется изъ печи черезъ шесть отверстій сс, находящихся въ нижней части ея, которыя закрываются во время вдуванія воздуха. Футеровка печи выше фурмъ и, не доходя около 1 метра до засыпнаго отверстія, сдѣлана изъ основныхъ кирпичей; въ другихъ же частяхъ печи она состоитъ изъ шамотовыхъ кирпичей. Горючимъ служитъ коксъ, который перемежающимися слоями съ доломитомъ, засыпается въ колошникъ печи. При пускѣ въ ходъ печь наполняется приблизительно на половину своей высоты коксомъ; затѣмъ слѣдуетъ слой доломита, потомъ снова слой кокса и т. д. Когда верхняя поверхность засыпанныхъ свѣжихъ матеріаловъ понизится, засыпаютъ свѣжихъ матеріаловъ. На 250—300 клгрм. кокса приходится около 550 клгрм. доломита; 1000 клгрм. обожженнаго доломита требуютъ для своего обжига отъ 1200 до 1300 клгрм. кокса. Упругость дутья около 80 м.м. водянаго столба; ежедневная производительность печи около 4000 клгрм. обожженнаго доломита.

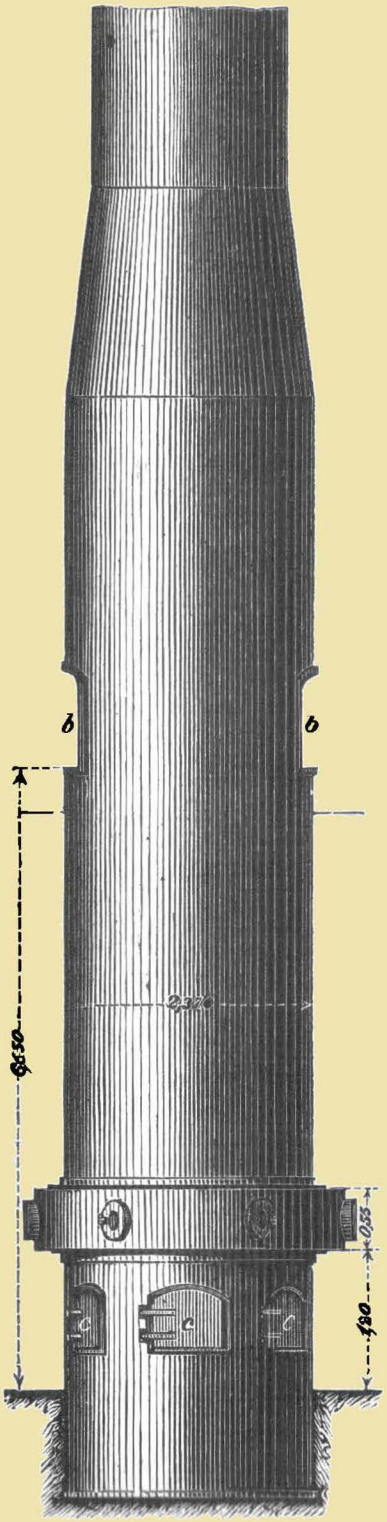
Послѣ обжига доломитъ, содержащій теперь обыкновенно около 55% извести, 35% магнезіи, 5% кремнезема и кромѣ того глиноземъ, слѣды марганца и другихъ тѣлъ [1]), измельчаютъ подъ бѣгунами или въ другомъ подобномъ устройствѣ, отсѣиваютъ, если это нужно, и смѣшиваютъ со смолой, лишенной, посредствомъ кипяченія, содержавшейся въ ней воды. Количество прибавляемой смолы бываетъ отъ 3 до 8 частей по вѣсу на 100 частей доломита, смотря по свойствамъ ея и по спеціальному назначенію массы. Смѣшиваніе производится или рабочими посредствомъ гребковъ, или въ особой машинѣ. Напримѣръ, можно употребить и для перемѣшиванія чашу съ бѣгунами, служащую для измельченія доломита, если снабдить бѣгуны еще лопаточками, которыя перемѣшивали бы смѣсь. Порошокъ доломита дѣлается отъ

[1]) Вотъ напримѣръ, анализъ обожженнаго доломита изъ Дюисбурга CaO = 55,27%, Mgo = 35,12%; SiO_2 = 5,58%, Al_2O_3 = 1,34%, Fc_2O_3 = 2,842% (Stahl und Eisen 1882, § 120).

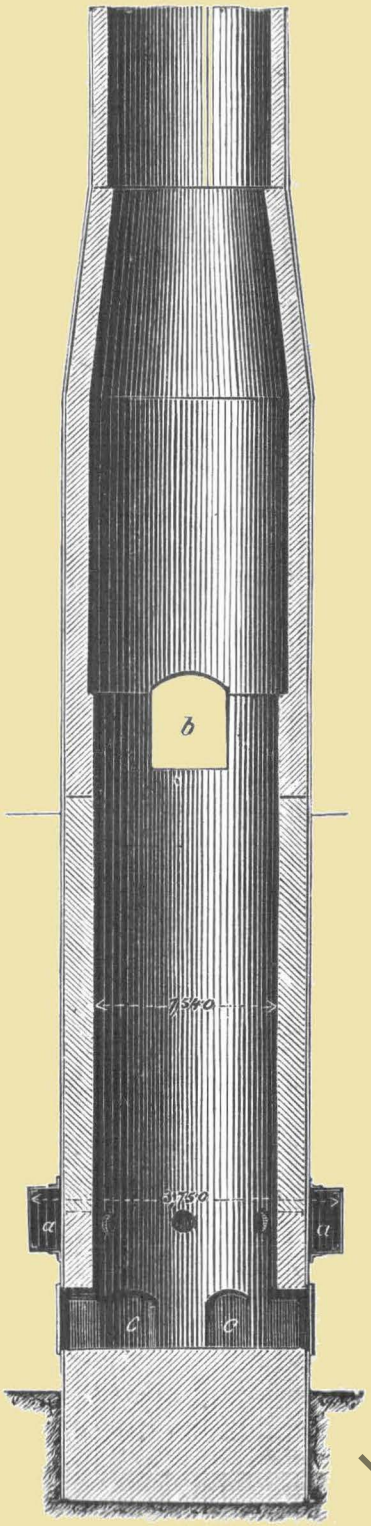
НБ УДУНТ (ІПБТ)

Печь для обжига доломита.

Фиг. 46.



Фиг. 47.



Типо-лит. А. Винеке Екатеринослав. пр., 8.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

примѣси смолы пластичнымъ. Полученную такимъ образомъ смѣсь употребляютъ или для набивки внутреннихъ частей печи, или другихъ предметовъ подобно тому, какъ это дѣлали съ массой изъ шамота и огнеупорной глины, или же формуютъ изъ нея кирпичи, которыми выкладываютъ внутренность печи. Во всякомъ случаѣ прежде, чѣмъ употреблять въ дѣло массу, необходимо обжечь, чтобы удалить летучія составныя части смолы, уголь же остается въ качествѣ цемента, связующаго частицы доломита. При обжиганіи масса сначала размягчается, но потомъ дѣлается твердою какъ камень. Кирпичи и тѣ части печи, которыя приготовляются отдѣльно и потомъ уже помѣщаются въ печь (напримѣръ, днища томасовскихъ ретортъ), обжигаются въ печи обыкновеннаго устройства. Кирпичи, вѣсомъ около 25 клгрм. требуютъ для своего обжига 12 часовъ, причемъ достаточна температура около 300° С.; предметы большей величины остаются въ обжигательной печи отъ 3 до 7 дней и нагрѣваются до температуры краснаго каленія.

Вмѣсто доломита или вмѣстѣ съ нимъ въ настоящее время для приготовленія огнеупорныхъ матеріаловъ употребляютъ магнезитъ, и замѣщеніе доломита магнезитомъ было бы еще употребительнѣе, если-бы послѣдній матеріалъ не встрѣчался гораздо рѣже, вслѣдствіе чего и цѣна его не была бы слишкомъ высока.

Преимущество обожженнаго магнезита, по сравненіи съ доломитомъ состоитъ прежде всего въ большей способности сопротивляться при обыкновенной температурѣ, дѣйствію влажности, а при температурѣ бѣлаго каленія дѣйствію кремне кислоты и шлаковъ. Его можно сохранять болѣе продолжительное время, причемъ онъ не теряетъ своихъ свойствъ, и кромѣ того печная кладка изъ него (футеровка печи) прочнѣе, особенно въ случаѣ дѣйствія упомянутыхъ растворяющихъ тѣлъ.

Важнѣйшее мѣсторожденіе магнезита, которое одно почти удовлетворяетъ потребности въ немъ Австріи, Германіи и другихъ странъ, находится въ долинѣ Вейтшъ (Veitsch), въ Штиріи, гдѣ найдены мощныя залежи этого минерала; меньшее значеніе имѣютъ магнетизовыя отложенія близъ Франкенштейна въ Силезіи и на островѣ Эвбѣе. Штирійскій магнезитъ содержитъ 90—95% углекислаго магнія, незначительныя количества углекислаго кальція, 3—4,5% закиси желѣза и около 1% кремнекислоты; послѣ обжига въ немъ заключается около 85% окиси магнія, 2,5% кремнекислоты и др. [1]).

[1]) Подробныя свѣдѣнія относительно приготовленія доломитовыхъ кирпичей заключается въ статьѣ эглестана, указанной въ „литературѣ".

Примѣры:	MgO	CaO	Mg	Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO	Co_2
Сырой магнезитъ	42,43;	1,68;	0,53;	3,53;	0,03;	0,92;	50,41
Пережженный магнез.	84,26;	2,25;	0,73;	8,40;	—	2,50;	0,50

Другіе анализы можно найти въ: Stahl und Eisen 1886, S. 622; 1890, S. 222.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Содержаніе постороннихъ тѣлъ достигаетъ здѣсь такой степени, что при обжиганіи магнезита при температурѣ бѣлаго каленія происходитъ всегда необходимое спеканіе. Съ этой точки зрѣнія считаютъ полезнымъ содержаніе въ магнезитѣ нѣсколькихъ процентовъ закиси желѣза при незначительныхъ количествахъ кремнезема. Совершенно чистая углекислая магнезія не спекается, даже при самыхъ высокихъ температурахъ и остается вслѣдствіе этого послѣ обжига легко доступной воздѣйствіямъ на нее влажности и углекислоты. Обжиганіе производится въ такихъ же печахъ, какъ и обжиганіе доломита. Обожженный магнезитъ употребляется различнымъ образомъ.

Иногда его измельчаютъ и формуютъ въ кирпичи подъ сильнымъ давленіемъ гидравлическаго пресса. Затѣмъ отформованные кирпичи обжигаются при температурѣ самаго яркаго бѣлаго каленія [1]). Для этого употребляютъ магнезитъ предварительно обожженный лишь при красномъ каленіи и не ошлаковавшійся еще, иногда же прибавляютъ къ нему незначительныя количества какого нибудь связущаго вещества. Кирпичи приготовляются обыкновенно на самомъ мѣстѣ нахожденія магнезита, такъ какъ они настолько прочны, что могутъ выдерживать перевозку на большія разстоянія.

Въ другихъ случаяхъ изъ магнезита готовятъ массу для набивки печей; для этой цѣли можно употреблять лишь пережженный магнезитъ.

Въ этомъ случаѣ можно поступать также, какъ при полученіи такой же массы изъ доломита, т. е. смѣшивать мелко истертый и просѣянный магнезитъ со смолою. Иногда вмѣсто смолы, стоимость которой довольно высока, и которая при нагрѣваніи выдѣляетъ пары, употребляютъ доломитовое молоко, (но не пережженнаго) изъ гашеннаго водою доломита [2]).

Въ другихъ случаяхъ пользуются магнезитовымъ молокомъ, приготовленнымъ совершенно также, какъ и доломитовое. Наконецъ въ нѣкоторыхъ случаяхъ вовсе ничего не прибавляютъ.

Такъ какъ пережженный магнезитъ можно привести въ соприкосновеніе съ водою, причемъ онъ не измѣняется въ своихъ свойствахъ, то для него выборъ примѣсей менѣе ограниченъ, чѣмъ для доломита.

Выше уже было упомянуто, что заслуживающіе разработки залежи магнезита встрѣчаются довольно рѣдко. Поэтому было предложено много способовъ перерабатывать почти ничего не стоющіе растворы хлористыхъ солей магнія, получающіеся при фабрикаціи хлористаго калія на магнезію

[1]) Одна изъ такихъ обжигательныхъ печей описана въ: Oesterreichische Zeitschrift für Berg und Hütten wesen. 1889, § 102.

[2]) Sfahl und Eisen. 1890, стр. 225.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

и пользоваться ею для полученія огнеупорныхъ матеріаловъ.

П. Клоссенъ предложилъ обработывать эти растворы обожженнымъ доломитомъ. При этомъ выдѣлится магнезія раствора и магнезія доломита: $Mg\ Cl_2 + CaO$, $MgO = CaCl_2 + 2\ MgO$. Осажденный гидратъ окиси магнія отфильтровывается, прессуется, отмывается и обжигается; обожженная безводная масса смачивается водою и формуется.

К. Шейблеръ предложилъ прибавлять обожженный и разболтанный съ водою доломитъ къ раствору патоки, содержащей 10—15% сахара. При этомъ образуется растворимый сахаратъ кальція, тогда какъ магнезія садится. Изъ раствора известь выдѣляется углекислотой, вслѣдствіе чего его снова можно употреблять въ дѣло.

Оба эти способа были примѣнены въ нѣкоторыхъ мѣстностяхъ [1]), но не получили серьезнаго распространенія. Изъ полученной при этомъ почти совершенно чистой магнезіи труднѣе получить при температурѣ бѣлаго каленія твердую массу, чѣмъ изъ магнезита, встрѣчающагося въ природѣ. Кромѣ того, по всей вѣроятности, стоимость получившагося продукта была выше, чѣмъ при употребленіи магнезита.

Тамъ, гдѣ имѣется бѣдный кремнекислотой известнякъ, который содержитъ еще и нѣкоторыя количества магнезіи, что особенно благопріятно, и гдѣ трудно получить доломитъ и магнезитъ пытались воспользоваться такимъ матеріаломъ для приготовленія основныхъ огнеупорныхъ кирпичей и набоекъ. Пріемы употреблявшіеся при этомъ были тѣ же самые, что и при обработкѣ доломита. Однако обожженная известь и получающіеся изъ нея продукты еще менѣе сопротивляются химическимъ воздѣйствіямъ въ особенности вліянію влажности, чѣмъ доломитъ. Кромѣ того, пригодный въ этомъ случаѣ известнякъ встрѣчается вообще рѣже чѣмъ доломитъ. Поэтому примѣненіе известняка не получило распространенія и ограничивается отдѣльными случаями.

Д. Углеродистые кирпичи.

Полная неплавкость углерода и нерастворимость его шлаками уже давно побуждали техниковъ готовить кирпичи изъ измельченнаго кокса или графита, смѣшанныхъ предварительно съ какимъ нибудь связующимъ веществомъ (смола, жидкая глина [2]). Во Франціи въ началѣ восьмидесятыхъ годовъ пользовались графитомъ газовыхъ ретортъ для приготовленія кирпичей, которые должны были подвергаться самой высокой температурой [3]). Болѣе широкое распространеніе

[1]) Stahl und Eisen. 1881, стр. 99.

[2]) B. Kerl, Grundriss der allgemeinen Hutten kunde zweite Auflage. S. 204.

[3]) Stahl und Eisen. 1885. S. 478.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

получили такіе углеродистые кирпичи съ 1890 года, когда Бургерсъ усовершенствовалъ способы приготовленія, и когда прочность ихъ была доказана практикой нѣсколькихъ лѣтъ [1]).

По способу Бургерса, вмѣсто дорого стоющаго графита, примѣняютъ высушенный коксъ, съ малымъ содержаніемъ золы, который измельчаютъ, смѣшиваютъ приблизительно съ одной пятой по вѣсу смолы и прессуютъ въ формахъ. Получающіеся кирпичи сначала сушатся въ продолженіи двухъ недѣль, при умѣренной температурѣ, а потомъ обжигаются въ муфеляхъ, безъ доступа воздуха.

Стоимость единицы по вѣсу углеродистыхъ кирпичей приблизительно въ два раза больше, чѣмъ стоимость шамотовыхъ кирпичей; однако имѣя въ виду, что вѣсъ углеродистыхъ кирпичей приблизительно въ $^{11}/_{20}$ разъ меньше вѣса шамотовыхъ кирпичей того-же размѣра, видимъ что большая легкость первыхъ почти совершенно уничтожаетъ эту разницу.

Углеродистые кирпичи оказались очень пригодными во многихъ случаяхъ. Ихъ нельзя употреблять тамъ, гдѣ оные подвергаются дѣйствію сильно нагрѣтаго окислительно дѣйствующаго тока газовъ, или когда съ ними соприкасаются продолжительное время богатые желѣзомъ шлаки, закись желѣза которыхъ, возстановляясь въ желѣзо, сожигаетъ углеродъ кирпичей. Наконецъ ихъ нельзя примѣнять тамъ, гдѣ на нихъ долгое время будетъ дѣйствовать малоуглеродистое желѣзо, которое разрушитъ ихъ, поглощая ихъ углеродъ.

Е. Огнеупорные цементы.

Въ тѣхъ случаяхъ, когда огнеупорные матеріалы употребляются не въ видѣ массы, а когда изъ послѣдней готовятся кирпичи, изъ коихъ складывается печь, необходимо имѣть растворъ, способный связать кирпичи другъ съ другомъ и заполнить промежутки между ними.

Цементъ этотъ долженъ быть достаточно огнеупорнымъ, чтобы не расплавиться при высокой температурѣ, которой подвергаются кирпичи и не вытечь изъ спаевъ между ними.

Желательно кромѣ того, чтобы онъ спекался съ кирпичами, въ одно цѣлое, такъ какъ только въ этомъ случаѣ получится дѣйствительная связь между послѣдними.

Прежде всего при постройкѣ стѣнъ печи необходимо обращать вниманіе на то, чтобы промежутки между кирпичами были не велики и чтобы смежные кирпичи плотно прилегали другъ къ другу. Вслѣдствіе этого самый способъ

[1]) Докладъ Бургерса по этому поводу: Stahl und Eisen. 1890. S. 112.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

кладки существенно разнится отъ обыкновенной кладки, гдѣ каждый отдѣльный кирпичъ окружаютъ толстымъ слоемъ цементнаго раствора. Кирпичи тщательно пригоняются другъ къ другу, причемъ точность пригонки увеличиваютъ притираніемъ отдѣльныхъ кирпичей. Приготовленный такимъ образомъ кирпичъ покрывается на плоскостяхъ соприкосновенія лишь тонкимъ слоемъ раствора и, будучи положенъ на мѣсто посредствомъ притирки, аккуратно пригоняется къ сосѣднимъ уже положеннымъ на мѣсто кирпичамъ.

Для приготовленія огнеупорныхъ цементныхъ растворовъ пользуются обыкновенно тѣмъ же самымъ матеріаломъ, изъ котораго состоятъ кирпичи, но прибавляютъ къ нему связующаго вещества. Напримѣръ при подтескѣ песчаника, кирпичей динасъ, шамотовыхъ кирпичей, получается пыль, которою можно воспользоваться для полученія растворовъ, смѣшивая ее для этого съ нѣкоторымъ количествомъ огнеупорной глины. Въ другихъ случаяхъ съ тою же цѣлью приготовляютъ заранѣе смѣсь обожженной глины, приготовленной спеціально для этого, съ сырой огнеупорной глиной и водою.

Люрманъ для связыванія огнеупорныхъ кирпичей, глиняныхъ и кварцевыхъ, но не основныхъ, чтобы облегчить ихъ сплавленіе другъ съ другомъ, предполагаетъ употреблять смѣсь песку, извести и цемента, а также доменнаго шлака, стекла, шамоты и другихъ подобныхъ тѣлъ, которую смачиваютъ въ мелко истолченномъ состояніи съ такимъ количествомъ воды, чтобы возможно было заполнить смѣсью даже самые тонкіе спаи между кирпичами.

Основные кирпичи связываются смолистымъ цементомъ, состоящимъ изъ смѣси смолы съ обожженнымъ доломитомъ или магнезитомъ, цементъ этотъ употребляютъ въ нагрѣтомъ состояніи. Магнезитовый цементъ часто состоитъ только изъ обожженнаго, измолотаго и отсѣяннаго магнезита, съ водою или доломитовымъ молокомъ, или же изъ сухой магнезитовой муки, которую помѣщаютъ въ промежутки между кирпичами.

Для связыванія между собою углеродистыхъ кирпичей примѣняютъ цементъ, состоящій изъ 4 частей коксоваго порошка, одной части глины и небольшаго количества воды.

Литература.

а) Печи.

L. Gruner, Sraite Metallurgie. Paris 1877. S. 214–415.
Jüptner von Jonsdorff, Die Untersuchung der Feuerungsanlage. Wien 1891.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

б) Огнеупорные матеріалы.

Carl Bischof, Die feuerfesten Thone mit Berücksichtigung der feuerfesten Materialien überhaupt. Leipzig 1876.
Bruno Kerl, Abriss der Thonwaarenindustrie. Zweite stark vermehrte Auflage. Braunschweig 1879 соч. весьма интересную главу объ огнеупорныхъ матеріалахъ.

ГЛАВА ПЯТАЯ.

Шлаки желѣзнаго производства.

1. Составъ шлаковъ.

Шлаками называются побочные продукты, образующіеся при плавкѣ или накаливаніи металловъ и состоящіе главнымъ образомъ изъ окисловъ разныхъ тѣлъ. При высокой температурѣ они жидки, при обыкновенной-же—они тверды [1]).

Всѣ шлаки, образующіеся при полученіи и переработкѣ чугуна и желѣза, содержатъ таковое въ видѣ закиси или магнитной окиси, но содержаніе желѣза въ нихъ можетъ быть весьма различнымъ, смотря по свойствамъ процесса—возстановительнаго или окислительнаго: оно можетъ колебаться отъ нѣсколькихъ десятыхъ процента и почти до 70%. Нѣкоторые шлаки желѣзнаго производства въ самомъ дѣлѣ состоятъ почти изъ чистой магнитной окиси [2]).

Кромѣ желѣза въ шлакахъ желѣзнаго производства, конечно, находятся такія тѣла, которыя при возстановительныхъ процессахъ возстановляются труднѣе, а при окислительныхъ окисляются легче чѣмъ желѣзо. Къ такимъ тѣламъ относятся кремній (въ видѣ кремневой кислоты), щелочи

---

[1]) Подобными же побочными и промежуточными продуктами, не имѣющими, впрочемъ, никакого значенія въ желѣзномъ производствѣ, являются штейны и шнейзы. Первые состоятъ преимущественно изъ сѣрнистыхъ, вторые изъ мышьяковистыхъ и сурьмянистыхъ металловъ.

[2]) Шлаки богатые кремневой кислотой содержатъ только закись желѣза (Fe O), которая представляетъ гораздо болѣе сильное основаніе, чѣмъ окись желѣза ($Fe_2 O_3$); чѣмъ шлакъ болѣе богатъ основаніями, тѣмъ большія количества окиси могутъ въ немъ находиться вмѣстѣ съ закисью. Часто случается, что окись желѣза, найденная въ шлакѣ при анализѣ, образовались лишь при охлажденіи шлака на воздухѣ, тогда какъ шлакъ, будучи въ жидкомъ состояніи, содержалъ только закись желѣза.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

(рѣдко въ количествѣ большемъ, чѣмъ 3%), металлы щелочно-земельные (изъ нихъ особенно кальцій и магній, встрѣчающіеся часто въ значительныхъ количествахъ), аллюминій въ видѣ глинозема, марганецъ, при извѣстныхъ обстоятельствахъ также фосфоръ, иногда въ значительныхъ количествахъ, образующій съ металлами и кислородомъ фосфорнокислыя соли. Сѣра въ небольшихъ количествахъ (приблизительно до 3%) почти всегда входитъ въ составъ извѣстныхъ шлаковъ. Чаще всего она соединяется непосредственно съ металлами (кальцій, марганецъ) и образуетъ сульфиды, чѣмъ съ металлами и кислородомъ—образуя соли сѣрной кислоты. Для уясненія причины этого явленія вспомнимъ, что сѣрнокислыя соли разлагаются при высокой температурѣ съ выдѣленіемъ сѣрной кислоты.

Сульфаты, т. е. сѣрнокислыя соединенія едва-ли могутъ заключаться поэтому въ жидкомъ шлакѣ. Но въ остывшемъ шлакѣ, особенно если онъ богатъ известью, нерѣдко можно доказать присутствіе сѣрной кислоты, и въ одномъ и томъ же шлакѣ содержаніе ея тѣмъ выше, чѣмъ дольше шлакъ подвергался дѣйствію воздуха. Изъ сѣрнистыхъ соединеній образуются сѣрнокислыя. Иногда происходитъ также во влажномъ воздухѣ выдѣленіе сѣроводорода, а не рѣдко даже и сѣры.

Постепенный переходъ сѣрнистыхъ металловъ въ сульфаты становится особенно замѣтнымъ, если изслѣдовать одинъ и тотъ-же шлакъ черезъ значительные промежутки времени, напримѣръ, черезъ годъ. Общее содержаніе въ шлакѣ сѣры можетъ не измѣняться, но содержаніе сѣрной кислоты постоянно увеличивается [1]).

Выдѣленіе изъ шлака сѣры и сѣроводорода объясняютъ обыкновенно слѣдующимъ образомъ:

Прежде всего образуются углекислый кальцій и сѣроводородъ:

$$Ca\,S + H_2O + CO_2 = Ca\,CO_3 + H_2S;$$

и кромѣ того углекислый кальцій вмѣстѣ съ сѣроватистокислымъ кальціемъ:

$$2\,Ca\,S + 4\,O + CO_2 = Ca\,CO_3 + Ca\,S_2O_3;$$

Подъ дѣйствіемъ атмосфернаго кислорода сѣроватистокислый кальцій разлагается на сѣрнокислый (сульфатъ кальція) и свободную сѣру.

$$Ca\,S_2O_3 + O = Ca\,SO_2 + S.$$

Что при продолжительномъ дѣйствіи воздуха можетъ происходить подобное разложеніе, этого отрицать нельзя, но несомнѣннымъ фактомъ является и то обстоятельство,

[1]) Какъ это я неоднократно наблюдалъ въ шлакахъ процесса Томаса.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

что въ пустотахъ, богатыхъ сѣрою шлаковъ, вскорѣ послѣ охлажденія, находятъ иногда значительныя количества выдѣлившейся сѣры. Отсюда можно заключить, что здѣсь уже подъ вліяніемъ охлажденія, происходили измѣненія, вызвавшія выдѣленіе сѣры. Мною былъ изслѣдованъ доменный шлакъ изъ Цельтвега (Zeltweg). Онъ содержалъ:

SiO_2	Al_2O_3	MgO	FeO	MnO	CaO	CaS
30,13	13,21	7,78	0,26	2,44	34,99	8,08

Слѣдовательно 3,59% связанной сѣры, и былъ кромѣ того покрытъ кристаллами ея. Достовѣрнаго объясненія процессовъ, вызывающихъ въ подобныхъ шлакахъ выдѣленіе сѣры, до сихъ поръ не существуетъ.

Весьма вѣроятно, что въ шлакахъ вмѣстѣ съ упомянутыми фосфорнокислыми солями, могутъ иногда встрѣчаться незначительныя количества и фосфористыхъ металловъ. Хлористыя и фтористыя соединенія встрѣчаются рѣдко, такъ какъ при температурѣ плавленія шлаковъ, онѣ большей частью летучи.

Всѣ составныя части шлаковъ, особенно же упомянутые окислы, изъ которыхъ главнымъ образомъ состоитъ шлакъ, находятся въ немъ въ необычайно измѣнчивыхъ вѣсовыхъ отношеніяхъ, совершенно независимо отъ ихъ стехіометрическихъ эквивалентовъ. Изъ этого непосредственно слѣдуетъ, что шлакъ можетъ и не представлять собою опредѣленнаго химическаго соединенія (напримѣръ, силиката опредѣленнаго состава). Его нужно разсматривать какъ застывшій растворъ различныхъ химическихъ соединеній другъ въ другѣ. Выше было уже упомянуто, что соединенія эти по существу своему — кислородныя соединенія металловъ и металлоидовъ.

Теорія эта не представляетъ собою ничего страннаго, если вспомнить, что многія тѣла обладаютъ тѣми-же свойствами. Вода можетъ растворять различныя тѣла и застывать съ ними, не образуя съ ними химическаго соединенія по стехіометрическимъ отношеніямъ. Бура и фосфорная соль въ расплавленномъ состояніи служатъ превосходными растворяющими средствами, для самыхъ различныхъ окисловъ и застываютъ съ ними въ „стекла“ совершенно однороднаго сложенія, не зависимо отъ взаимныхъ вѣсовыхъ отношеній. Нѣтъ никакой причины полагать, что если кремневая и фосфорная кислота соединяется при высокой температурѣ съ известью, магнезіею, закисью желѣза или другими тѣлами, то простое раствореніе тѣлъ другъ въ другѣ невозможно, а непремѣнно должны образоваться болѣе тѣсныя химическія соединенія.

Точно также способность кристаллизоваться многихъ шлаковъ не служитъ доказательствомъ, что здѣсь необходимо должно существовать болѣе тѣсное химическое соединеніе

НБ УДУНТ (ПБТ)

въ атомномъ отношеніи. Если заморозить растворъ, жидкій при обыкновенной температурѣ, то онъ нерѣдко покажетъ склонность къ кристаллизаціи. Сплавы, т. е. растворы металловъ другъ въ другѣ, нерѣдко получаются въ видѣ прекрасныхъ кристалловъ, а между тѣмъ взаимныя вѣсовыя отношенія металловъ между собою вовсе не должны для этого соотвѣтствовать атомнымъ ихъ вѣсамъ.

Свойства шлака: плотность, теплопроводность, температура плавленія и т. д. вовсе не соотвѣтствуетъ всегда среднему арифметическому изъ свойствъ составныхъ частей точно также, какъ это бываетъ при растворахъ жидкихъ при обыкновенной температурѣ. Въ особенности точка плавленія и отвердѣванія лежитъ часто гораздо ниже, чѣмъ получилось бы при вычисленіи ея изъ температуръ плавленія отдѣльныхъ составныхъ частей. Обыкновенно она ниже, чѣмъ температура плавленія каждой отдѣльной составной части [1]).

Однако нельзя сомнѣваться въ томъ, что въ самомъ растворѣ, а поэтому и въ жидкомъ шлакѣ, могутъ образоваться опредѣленныя химическія соединенія. Соединенія эти, правда, становятся для насъ замѣтными лишь по охлажденіи шлака, и мы не знаемъ существовали-ли они въ шлакѣ, пока онъ находился въ совершенно жидкомъ состояніи, или образовались лишь при охлажденіи его. То обстоятельство, что условія охлажденія очень часто вліяютъ на образованіе и составъ этихъ соединеній, позволяетъ думать, что они образуются лишь при остываніи шлака. Въ застывшихъ шлакахъ нерѣдко находили присутствіе такихъ соединеній; напримѣръ, въ шлакѣ процесса Томаса было опредѣлено присутствіе основнаго фосфата кальція съ формулой $4\,CaO, P_2O_5$ коричневаго или голубаго цвѣта въ пластинчатыхъ или столбчатыхъ кристаллахъ [2]).

Кромѣ выдѣленія опредѣленныхъ химическихъ соединеній въ застывающихъ растворахъ нерѣдко можно наблюдать распаденіе раствора, совершенно однороднаго въ жидкомъ состояніи, на нѣсколько растворовъ различнаго состава и съ различной температурой застыванія. Если медленно замораживать жидкій растворъ поваренной соли, то прежде всего изъ раствора выдѣляется и замерзаетъ болѣе слабый растворъ поваренной соли, между тѣмъ, какъ болѣе крѣпкій растворъ остается еще совершенно жидкимъ. Въ сплавахъ такое распаденіе ихъ на части, безъ образованія опредѣленныхъ химическихъ соединеній, или же съ образованіемъ таковыхъ называется ликваціей. Не подлежитъ никакому сомнѣнію,

[1]) Среди обыкновенныхъ растворовъ подобный примѣръ составляютъ, напр. растворы поваренной соли въ водѣ. Поваренная соль плавится и застываетъ при температурѣ около 600° С. Вода – при 0° С., растворы же поваренной соли въ водѣ при температурѣ ниже 0.

[2]) „Stahl und Eisen" 1883, S. 498, S. 141.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

что нѣкоторые шлаки также способны къ ликваціи. Выдѣленіе упомянутаго выше фосфата кальція изъ томасовскаго шлака есть ничто иное, какъ процессъ ликваціи. Однако нерѣдко случается, что одинъ и тотъ-же шлакъ въ различныхъ мѣстахъ, смотря по продолжительности остыванія, обладаетъ весьма различными физическими свойствами—цвѣтомъ, блескомъ, сложеніемъ, твердостью и др., причемъ однако нельзя доказать выдѣленія опредѣленныхъ химическихъ соединеній въ томъ или другомъ мѣстѣ. Что и въ этомъ случаѣ произошла настоящая ликвація, т. е. что растворъ, совершенно однородный въ жидкомъ состояніи, распался при остываніи на растворы различнаго состава, можно доказать только путемъ анализа.

Весьма часто оказывалось при этомъ, что общій составъ шлака въ различныхъ его мѣстахъ не имѣлъ существенныхъ различій. Поэтому всѣ различія физическихъ свойствъ шлака основаны на различномъ расположеніи мельчайшихъ частицъ его [1]).

Итакъ, какъ это было ясно сказано выше, образованіе и составъ шлаковъ не обусловливается опредѣленными атомными отношеніями его составныхъ частей. Теперь возникаетъ вопросъ: какія-же обстоятельства вліяютъ на составъ шлаковъ. Знать эти обстоятельства, конечно, весьма важно, для оцѣнки процесса, при которомъ получился тотъ, либо другой шлакъ. Такихъ обстоятельствъ нѣсколько, и они всѣ вліяютъ одновременно.

Прежде всего, конечно, имѣютъ значеніе въ этомъ отношеніи свойства и взаимныя количества участвующихъ въ процессѣ тѣлъ, пригодныхъ для образованія шлака, причемъ футеровка печи нерѣдко принимаетъ весьма значительное участіе.

Затѣмъ—характерныя отличія процесса, при которомъ образуется шлакъ, въ особенности же его окислительное или возстановительное дѣйствіе, его температура и т. д. Съ составомъ, получающагося шлака, почти всегда въ тѣсномъ соотношеніи находится составъ, получающагося металлическаго продукта. Они взаимно зависятъ другъ отъ друга, и каждое измѣненіе въ свойствахъ одного изъ нихъ влечетъ за собою измѣненіе свойствъ другого.

При доменной плавкѣ, напримѣръ, мы желаемъ получить продуктъ—чугунъ, содержащій нѣсколько процентовъ углерода и кромѣ того часто кремній и марганецъ, а иногда и оба эти тѣла одновременно. Было бы невозможно достигнуть этой цѣли, если-бы при этомъ процессѣ образовался сильножелѣзистый шлакъ. Кремній и марганецъ возстановляются

[1]) Нѣкоторые примѣры, относящіеся сюда приведены ниже при описаніи цвѣта шлаковъ.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

труднѣе и окисляются легче, чѣмъ желѣзо. Поэтому они не возстановляются и не перейдутъ въ желѣзо, пока въ шлакѣ будетъ существовать значительное количество закиси желѣза. Точно также и углеродъ не могъ-бы заключаться въ желѣзѣ, которое находится при высокой температурѣ въ соприкосновеніи со шлакомъ, богатымъ закисью желѣза. Относительно перехода углерода въ желѣзо при доменной плавки существуетъ тотъ-же законъ, который красною нитью проходитъ черезъ всю металлургію желѣза. При повышеніи температуры за ту границу, при которой вообще дѣлается возможнымъ горѣніе углерода, стремленіе его соединяться съ кислородомъ увеличивается быстрѣе, чѣмъ тоже самое стремленіе желѣза, марганца и кремнія. Слѣдовательно, чѣмъ выше температура какого нибудь процесса желѣзнаго производства, тѣмъ меньше углерода будетъ въ состояніи удержать въ себѣ желѣзо, если въ шлакахъ содержится извѣстное количество закиси желѣза. И наоборотъ, въ шлакахъ будетъ заключаться тѣмъ меньше количество закиси желѣза, чѣмъ большее количество углерода поглотило уже желѣзо. Чѣмъ больше содержится въ получаемомъ чугунѣ углерода, кремнія и марганца, тѣмъ меньше желѣза будетъ содержаться въ шлакѣ. Измѣненіе свойствъ одного продукта тотчасъ-же вызываетъ измѣненіе свойствъ другого, какъ въ этомъ можно убѣждаться почти каждый день при наблюденіи за ходомъ доменной печи.

Многочисленные примѣры вліянія указанныхъ обстоятельствъ на составъ шлаковъ, будутъ приведены при разсмотрѣніи отдѣльныхъ процессовъ желѣзнаго производства.

2. Классификація шлаковъ и ихъ номенклатура.

По своему химическому составу шлаки могутъ быть раздѣлены на слѣдующія группы.

Кремнеземистые шлаки съ большимъ содержаніемъ кремнезема (20% и болѣе); фосфористые шлаки, въ которыхъ большая часть кремневой кислоты замѣщена фосфорной кислотой, и окисные шлаки, въ которыхъ находятся лишь сравнительно незначительныя количества кремневой или фосфорной кислотъ, а главною составною частью которыхъ являются окиси металловъ, особенно тяжелыхъ (желѣза и марганца).

Само собою разумѣется однако, что, даже сохраняя въ общемъ подобное подраздѣленіе шлаковъ, мы найдемъ многочисленные случаи перехода одного класса шлаковъ въ другой. Совершенно чистые фосфористые или окисные шлаки едва-ли встрѣчаются на практикѣ. Кремнеземистые шлаки

НБ УДУНТ (ІПБТ)

также лишь въ рѣдкихъ случаяхъ бываютъ совсѣмъ чистыми [1]), но все-таки чистые шлаки этой категоріи встрѣчаются чаще другихъ.

Такъ какъ химическія и физическія свойства этихъ кремнеземистыхъ шлаковъ по отношенію къ различнымъ плавильнымъ процессамъ зависятъ большею частью отъ содержанія въ нихъ кремнекислоты, то съ давнихъ поръ принято раздѣлять ихъ по степени насыщенія кремневой кислоты на группы съ различными наименованіями. Трех-кремнеземиками (трисиликатами) называютъ шлаки, въ которыхъ количество кислорода кремневой кислоты въ три раза больше количества кислорода основаній; двукремнеземиками (бисиликатами) — шлаки, въ которыхъ кислорода кремневой кислоты вдвое больше чѣмъ кислорода основаній; полуторокремнеземиками (сескисиликатами) — шлаки, въ которыхъ отношеніе кислорода кислоты къ кислороду основаній равно $1^1/_2$; однокремнеземиками (моносиликатами) — шлаки, въ которыхъ это отношеніе равно 1. Названія эти образовались въ то время, когда господствовало общее убѣжденіе, что, когда соединяются кремнекислота и основанія всегда образуются опредѣленныя химическія соединенія. Между тѣмъ, намъ теперь извѣстно, что на практикѣ въ рѣдкихъ лишь случаяхъ отношенія кислорода кремнекислоты къ кислороду основаній въ шлакѣ выражается приведенными простыми цифрами и что, наоборотъ, оно колеблется безъ опредѣленнаго закона въ довольно широкихъ предѣлахъ. Но, несмотря на это, и до сихъ поръ довольно часто прибѣгаютъ къ приведенной классификаціи шлаковъ, чтобы въ общихъ чертахъ охарактеризовать любой шлакъ.

Болѣе кислыхъ шлаковъ, чѣмъ трехкремнеземики, въ желѣзномъ производствѣ вообще не встрѣчается, болѣе-же основные, чѣмъ однокремнеземики встрѣчаются довольно часто и образуютъ переходъ отъ кремнеземистыхъ шлаковъ къ шлакамъ состоящимъ изъ окисловъ.

Кромѣ извести, магнезіи и другихъ основаній въ кремнеземистыхъ шлакахъ въ большихъ или меньшихъ количествахъ встрѣчается обыкновенно глиноземъ, который самъ по себѣ не представляетъ сильнаго основанія, дѣйствуетъ въ нѣкоторыхъ случаяхъ, особенно въ основныхъ шлакахъ, подобно кремнекислотѣ. Отсюда можно заключить, что глиноземъ можетъ замѣщать въ этихъ шлакахъ химически равнозначущее, т. е. содержащее равное количество кислорода, количество кремнекислоты [2]). Хотя заключеніе это и не под-

[1]) Большая часть кремнеземистыхъ шлаковъ содержитъ въ себѣ растворенные сѣрнистые металлы.

[2]) Подробности объ этомъ содержатся въ статьяхъ Muirhead'a (Zts. f. Berg-Hütten u. Salinenwesen т. XXVIII стр. 641) и Kosmann'a Stahl und Eisen 1892 г. стр. 270 и кромѣ того въ Stahl und Eisen 1892. S. 1.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

тверждается вполнѣ во всѣхъ отношеніяхъ, оно несомнѣнно можетъ способствовать въ нѣкоторыхъ случаяхъ правильной оцѣнкѣ качествъ шлака на основаніи его химическаго состава. Вопросъ этотъ будетъ подробно разобранъ во второй части книги при разсмотрѣніи доменнаго процесса.

3. Температура плавленія, степень плавкости и жидкости шлаковъ.

Температура плавленія шлаковъ, образующихся при извѣстномъ процессѣ, имѣетъ для него большое значеніе. Нерѣдко бываютъ случаи, когда процессъ становится невозможнымъ или же, когда ходъ его существенно затрудняется слишкомъ высокой или низкой температурой плавленія шлаковъ.

Съ температурой плавленія шлаковъ тѣсно связана степень его (легко) плавкости. Она обратно пропорціональна количеству тепла, которое требуется для расплавленія шлака. Чѣмъ больше это количество, тѣмъ труднѣе плавится шлакъ, тѣмъ больше горючаго надо израсходовать на его расплавленіе. Количество тепла, потребное для расплавленія шлака, зависитъ отъ его теплоемкости и температуры плавленія. Чѣмъ выше эта температура, тѣмъ труднoплавче вообще шлакъ.

Относительно вліянія химическаго состава шлака на его температуру плавленія и его легкоплавкость намъ извѣстны лишь самые общіе законы. Эта недостаточность свѣдѣній объясняется тѣмъ, что каждое измѣненіе состава шлаковъ, каждое прибавленіе къ нему новаго тѣла, вліяетъ на его температуру плавленія и количество тепла потребнаго для расплавленія (легкоплавкость); число-же соединеній, которыя можно получить изъ различныхъ тѣлъ, образующихъ шлакъ, измѣняя ихъ взаимныя вѣсовыя отношенія — можетъ быть названо безграничнымъ. Получить вѣрныя понятія о тѣхъ обстоятельствахъ, которыя имѣютъ вліяніе на свойства шлаковъ всего легче, если исходить изъ вышеизложеннаго положенія, что шлаки представляютъ собою растворы различныхъ тѣлъ, (въ особенности кислородныхъ соединеній) одного въ другомъ.

Способность растворяться различныхъ тѣлъ другъ въ другѣ, какъ извѣстно, весьма различна. Изъ тѣлъ встрѣчающихся въ шлакахъ, кремневая и фосфорная кислоты сравнительно легко сплавляются съ основаніями; глиноземъ образуетъ растворы—аллюминаты съ известью и магнезіею и др., точно также окись желѣза и окись кальція могутъ сплав-

НБ УДУНТ (ІПБТ)

ляться другъ съ другумъ [1]). Изслѣдованіе способности растворяться этихъ тѣлъ часто весьма затрудняется тою высокою температурою, которая необходима для образованія соотвѣтственныхъ растворовъ. Образованіе растворовъ, жидкихъ при обыкновенной температурѣ, происходитъ, какъ извѣстно, гораздо легче, если одно изъ данныхъ тѣлъ, называемое въ данномъ случаѣ растворителемъ, находится уже въ жидкомъ состояніи. Точно также образованіе шлака начинается большею частью при такой температурѣ, при которой происходитъ размягченіе по крайней мѣрѣ одного изъ соединяющихся тѣлъ. Взаимное соприкасаніе ихъ въ твердомъ состояніи недостаточно тѣсно для быстраго ихъ соединенія. Между тѣмъ, какъ это было замѣчено выше, температура застыванія (или температура плавленія) вполнѣ образовавшагося раствора, сплава, шлака часто бываетъ гораздо ниже, чѣмъ температура плавленія или застыванія каждой изъ составныхъ частей. Поэтому въ металлургіи вполнѣ основательно говорятъ, что температура образованія шлаковъ выше чѣмъ температура ихъ плавленія [2]).

Но разъ при раствореніи одного тѣла въ другомъ, температура плавленія соединенія оказывается ниже температуры плавленія каждаго отдѣльнаго тѣла, то очевидно должно существовать нѣкоторое опредѣленное отношеніе вѣсовъ, растворенныхъ другъ въ другѣ тѣлъ между собою, при которомъ температура застыванія и плавленія соединенія будетъ наименьшая, всякое же увеличеніе содержанія той или другой составной части будетъ ее повышать. Для различнаго рода сплавовъ удалось опредѣлить отношенія количествъ ихъ составныхъ частей, соотвѣтствующихъ самой низкой температурѣ плавленія ихъ. Для тѣлъ, образующихъ шлакъ, достичь положительныхъ результатовъ въ этомъ отношеніи было труднѣе, вслѣдствіе гораздо болѣе высокой температуры, потребной для опытовъ. Наблюдая условія образованія шлаковъ, можно однако твердо установить для нихъ тотъ-же законъ, который имѣетъ мѣсто и для сплавовъ, а также, вѣ-

[1]) Фактъ этотъ, замѣченный раньше всѣхъ Перси, Шинцомъ и др. многократно оспаривался. Толандеръ (Experimentelle Untersuchungen über die Reduction von Eisenerzen, 159) нашелъ, что уже при температурѣ малопревосходящей температуру плавленія серебра, т. е. около 1000° С., окись желѣза и известь сплавляются совершенно; Вазумъ (Wasum) въ изслѣдованіи своемъ объ огнеупорности основныхъ матеріаловъ (Zeitschrif. d. Ver. z. Beförderung. Gewerbfl. 1884. S. 104) замѣтилъ, что футеровка печи, богатая известью, сильнѣе разъѣдается окислами желѣза, чѣмъ кремневой или фосфорной кислоты.

[2]) Законъ этотъ, впервые установленный Платтнеромъ, оспаривался Шинцомъ, но съ практической точки зрѣнія сов. вѣренъ. Бишофъ также подтверждаетъ его справедливость въ своихъ изслѣдованіяхъ надъ огнеупорными глинами.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

роятно, и для большинства растворовъ. Законъ этотъ слѣдующій: Температура застыванія вообще тѣмъ ниже, чѣмъ больше число тѣлъ, вступающихъ во взаимное соединеніе.

Это обстоятельство имѣетъ для металлургіи большое значеніе.

Если бы доменные шлаки состояли исключительно изъ извести и кремнезема, то они часто не плавились бы вовсе; температура ихъ плавленія понижается, если въ составъ ихъ войдутъ еще: магнезія, глиноземъ, закись желѣза и марганца. Подобные случаи наблюдаются весьма часто.

Изъ этого слѣдуетъ, что для того, чтобы судить о легкоплавкости какого нибудь шлака на основаніи химическаго анализа, недостаточно знать отношеніе кремнекислоты (иногда кремнекислоты вмѣстѣ съ глиноземомъ и въ нѣкоторыхъ случаяхъ напримѣръ въ шлакѣ Томаса, кремнекислоты вмѣстѣ съ фосфорной кислотой) къ основаніямъ, но необходимо принимать во вниманіе также число основаній находящихся въ шлакѣ.

Чѣмъ больше это число, тѣмъ ниже, какъ это было упомянуто лежитъ при равной степени насыщенія шлака кремнекислотой точка его плавленія. Замѣщеніе нѣкоторой части кремнекислоты другими тѣлами, играющими въ этомъ случаѣ роль кислоты (глиноземъ, фосфорная кислота), понижаетъ температуру плавленія шлака лишь потому, что при этомъ увеличивается общее число, растворенныхъ другъ въ другѣ тѣлъ.

Наиболѣе обширные опыты надъ плавкостью шлаковъ, содержащихъ кремнекислоту, глиноземъ известь и магнезію, изъ сдѣланныхъ до сихъ поръ, принадлежатъ Окерману [1]).

Онъ выливалъ расплавленный шлакъ въ воду и опредѣлялъ количество теплоты, поглощенное имъ.

Чѣмъ меньше это количество, тѣмъ болѣе шлакъ легкоплавокъ.

Выше же было упомянуто, что въ близкомъ соотношеніи съ количествомъ теплоты, потребнымъ для расплавленія шлаковъ, стоитъ температура ихъ плавленія.

Шлакъ, требующій меньше тепла для своего расплавленія, имѣетъ обыкновенно нисшую температуру плавленія.

Относительно вліянія различной степени насыщенія шлака кремнекислотой изъ опытовъ Окермана можно вывести слѣдующія заключенія. Изъ силикатовъ извести и магнезіи, не содержащихъ или содержащихъ лишь небольшія количества глинозема, тѣ наиболѣе легкоплавки, (требуютъ меньше тепла для расплавленія), которые стоятъ между дву— и трех- кремнеземиками. При увеличеніи содержанія въ шлакѣ основа-

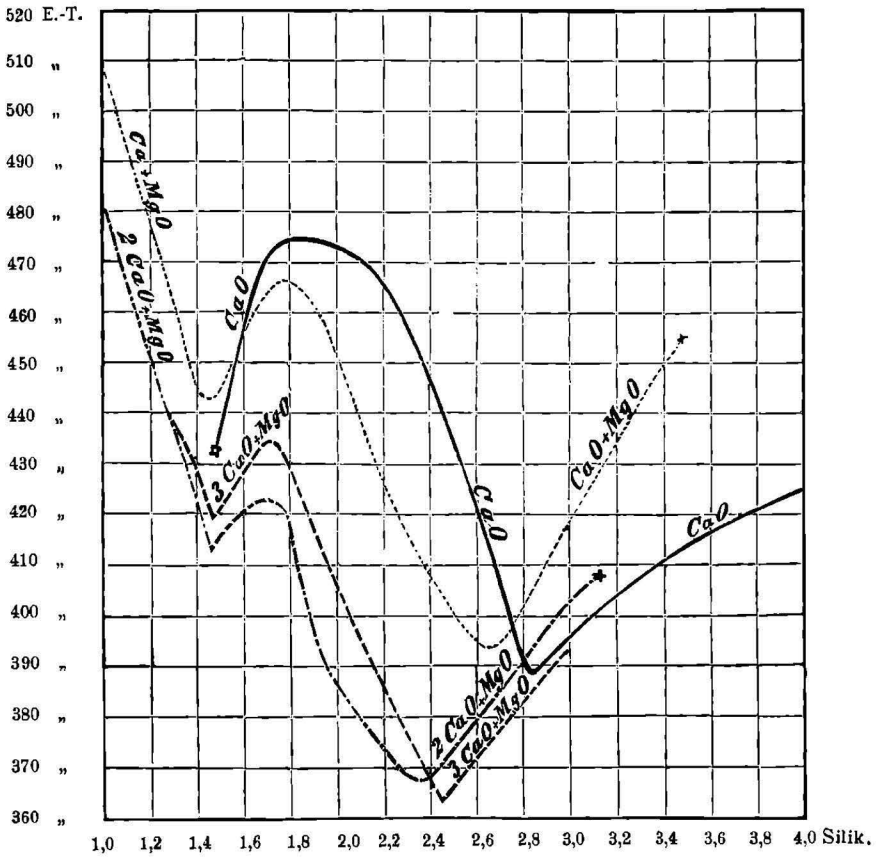
[1]) См. Горный Журналъ 1886 г. т. IV, стр. 220 и 375.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

ній точно также, какъ и кремнекислоты, количество теплоты потребное для расплавленія шлака увеличивается. Страннымъ является однако то обстоятельство, что шлаки, въ которыхъ отношеніе кислорода кремнекислоты къ кислороду основаній =1,5 (полуторо-кремноземики), также отличаются своею легкоплавкостью по сравненію съ болѣе основными или болѣе кислыми шлаками такъ, что они совершенно выходятъ изъ ряда.

На рис. 48 графически изображена степень плавкости, какъ чистыхъ силикатовъ извести, такъ и трехъ двойныхъ

Рис. 48.



силикатовъ извести и магнезіи [1]). Діаграма эта ясно указываетъ на исключеніе, которое представляютъ полуторо-кремнеземики; согласное же направленіе всѣхъ 4 линій служитъ доказательствомъ, что при опытахъ не произошло ошибки.

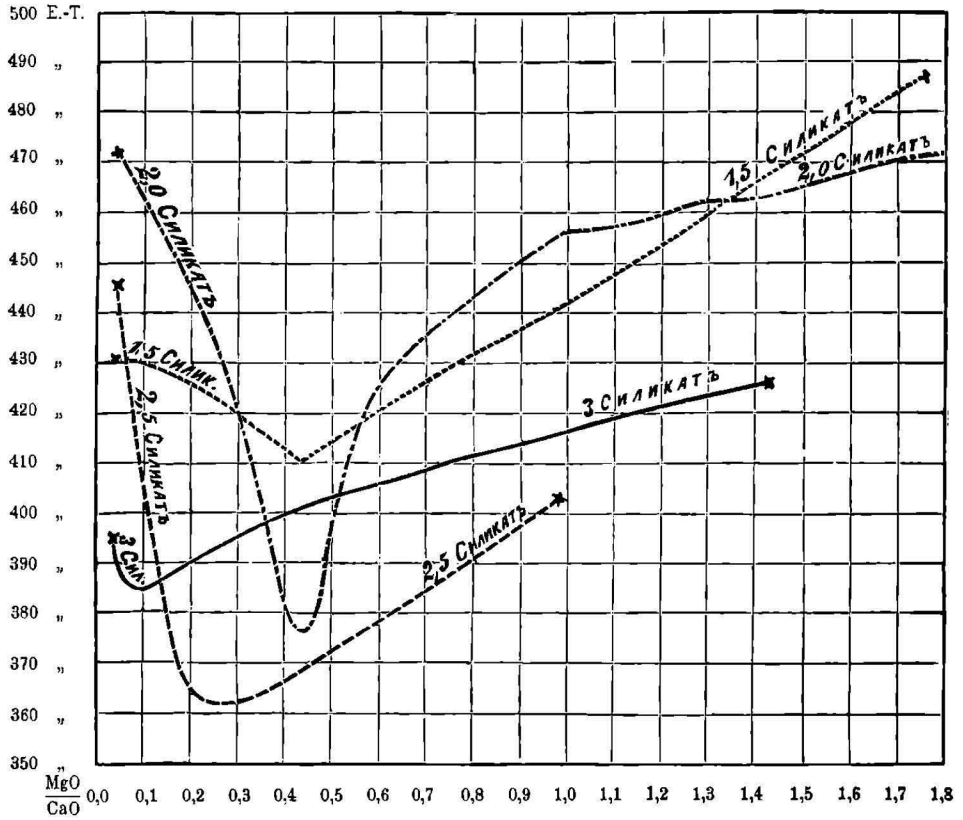
[1]) Обозначенія CaO, CaO + MgO и т. д. рядомъ съ линіями, показываютъ отношеніе между известью и магнезіею. Линія, обозначенная CaO показываетъ плавкость чистаго силиката кальція при различномъ содержаніи въ немъ кремнекислоты. Въ силикатахъ линіи CaO + MgO содержится одна частица извести съ одной частицей магнезіи (т. е.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Если содержаніе кремнекислоты опускается ниже границъ полуторо-кремнеземика, то трудноплавкость шлака быстро увеличивается.

Однокремнеземики вообще болѣе трудноплавки, чѣмъ самые богатые кремнеземомъ изслѣдованные шлаки.

Рис. 49.



Количество кремнекислоты въ наиболѣе легкоплавкихъ изъ изслѣдованныхъ шлаковъ, выраженное въ процентахъ вѣса шлака, равняется:

	CaO	3CaO+MgO	2CaO+MgO	CaO+MgO.
При 1,5 кремнеземикахъ	45,	46,5	47,1	48,4
При еще болѣе легкоплавкихъ кремнеземикахъ заключающихся между 2 и 3-хъ кремнеземиками	61	59,1	58,5	63,2

процентовъ.

количество кислорода извести равно количеству кислорода магнезіи) и т. д. Отношеніе кислорода кремнекислоты къ кислороду основаній отложено на абсциссѣ, количество теплоты, воспринятой шлакомъ – на ординатѣ.

НБ УДУНТ (ПБТ)

Слѣдовательно изъ шлаковъ, содержащихъ известь и магнезію, но не содержащихъ глинозема, наиболѣе легкоплавки тѣ, въ которыхъ содержаніе кремнекислоты около 60%. Въ болѣе же основныхъ шлакахъ этой группы легкоплавкостью отличаются шлаки съ содержаніемъ кремнекислоты около 47%.

Вліяніе измѣненія отношенія между известью и магнезіею на легкоплавкость шлака при одномъ и томъ же содержаніи въ немъ кремнекислоты графически изображено на рис. 49. На абсциссѣ отложены отношенія изображено на рис. 49. На абсциссѣ отложены отношенія кислорода магнезіи къ кислороду извести (т. е. частицъ магнезіи къ частицамъ извести). Легко можно замѣтить, что чистые силикаты извести тотчасъ же дѣлаются болѣе легкоплавкими, какъ скоро нѣкоторая часть извести будетъ замѣщена магнезіею. Это увеличеніе легкоплавкости весьма замѣтно при 2 и 2,5 кремнеземикахъ и менѣе замѣтно при 1,5 и 3-хъ кремнеземикахъ. Однако довольно быстро достигается предѣлъ, при коемъ дальнѣйшее увеличеніе содержанія магнезіи и соотвѣтственное уменьшеніе содержаніе извести уже не увеличиваетъ легкоплавкости шлака, но, наоборотъ, дѣлаетъ его болѣе трудноплавкимъ.

Вскорѣ послѣ того, какъ отношеніе $\frac{MgO}{CoO}$ сдѣлается больше 1, а при 1,5 и, трех- кремнеземикахъ еще раньше, силикаты извести и магнезіи дѣлаются даже болѣе трудноплавкими, чѣмъ чистый силикатъ извести. Наибольшая степень легкоплавкости для 1, 5 и дву- кремнеземиковъ соотвѣтствуетъ отношенію $\frac{MgO}{CaO} = 0{,}44$ или $9CaO + 4MgO$.

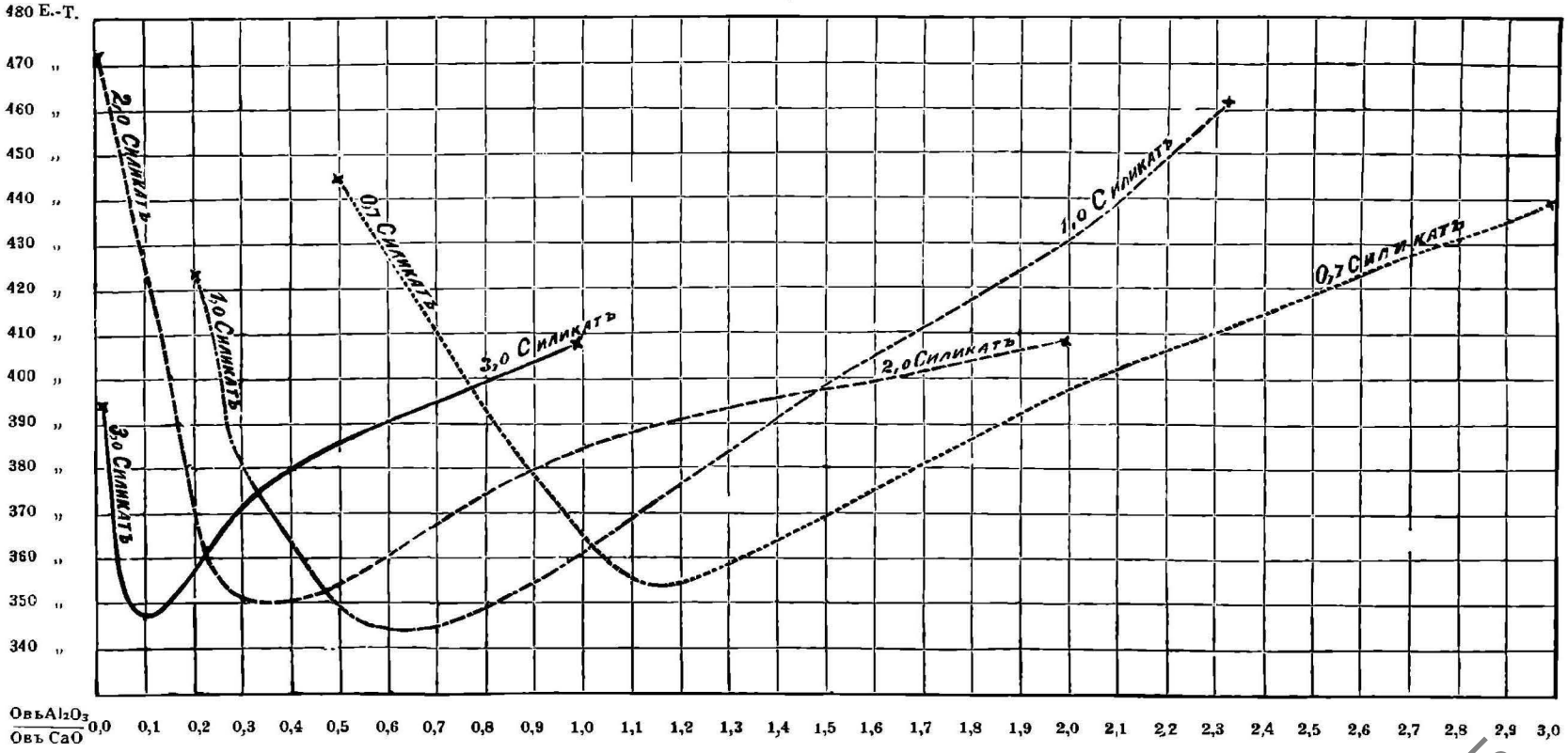
Въ такихъ шлакахъ слѣдовательно, на 1 часть по вѣсу магнезіи должно приходиться около 3 частей извести, если только желаютъ сдѣлать ихъ возможно легкоплавкими. Въ шлакахъ, болѣе богатыхъ кремнеземомъ, указанная граница находится при еще низшемъ содержаніи магнезіи: въ самомъ легкоплавкомъ 2,5 кремнеземикѣ отношеніе вѣса (не частицъ) магнезіи къ вѣсу извести приблизительно, какъ 1:6, а въ трех- кремнеземикахъ приблизительно, какъ 1:12. Вліяніе увеличенія содержанія глинозема въ силикатахъ извести графически изображено на рис. 50 [1]). На абсциссѣ нанесено отношеніе кислорода глинозема къ кислороду извести. Обозначенія степени насыщенія кремнекислотой относятся къ отношенію кислорода кремнекислоты, къ кислороду извести и глинозема.

---

[1]) Въ статьѣ Окермана даны также линіи для 0,5 1,5 и 2,5 кремнеземиковъ. Но, такъ какъ ихъ положеніе не многимъ отличается отъ приводимыхъ здѣсь линій, то для ясности чертежа онѣ исключены.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Рис. 50.



НБ УДУНТ (ІПБТ)

Линіи таблицы указываютъ на сильное и быстрое уменьшеніе трудноплавкости—или увеличеніе легкоплавкости—во всѣхъ кремнеземикахъ, даже самыхъ богатыхъ кремнекислотою, при замѣщеніи нѣкоторой части извести глиноземомъ. Сравненіе-же цифръ, указывающихъ количества теплоты, воспринятыя шлаками, при ихъ расплавленіи съ такими-же цифрами на рис. 49 показываетъ, что прибавленіе извѣстнаго количества глинозема къ силикатамъ извести дѣлаетъ шлаки еще болѣе легкоплавкими, чѣмъ это бываетъ въ случаѣ прибавленія магнезіи.

Точно также и трех-кремнеземикъ, содержащій глиноземъ, болѣе легкоплавокъ, чѣмъ содержащій магнезію. Однако, чѣмъ выше степень насыщенія шлака кремнеземомъ, тѣмъ скорѣе достигается та граница, начиная съ которой увеличеніе содержанія глинозема уже не увеличиваетъ, но уменьшаетъ легкоплавкость шлака.

Простое отношеніе вѣса глинозема къ вѣсу извести въ самыхъ легкоплавкихъ изъ шлаковъ, изслѣдованныхъ Окерманомъ, выражается приблизительно слѣдующими цифрами:

при 0,5	кремнеземикахъ.	7:5
» 0,7	»	7:8
» 1,0	»	1:2
» 1,5	»	1:4,5
» 2,0	»	1:6
» 2,5	»	1:13
» 3,0	»	1:30

Отсюда слѣдуетъ: чѣмъ меньше въ шлакѣ кремнекислоты, тѣмъ больше должно содержаться въ немъ глинозема, для того, чтобы шлакъ былъ легкоплавкимъ. Именно въ этомъ общемъ смыслѣ находитъ себѣ подтвержденіе упомянутая теорія замѣщенія кремневой кислоты глиноземомъ.

Общій законъ, согласно которому шлакъ становится болѣе легкоплавкимъ при вступленіи въ составъ его новаго тѣла, подтверждается опытами Окермана и по отношенію къ вліянію закиси марганца въ силикатахъ извести.

Наиболѣе легкоплавкими оказались шлаки съ содержаніемъ марганца отъ 18% (собственнаго вѣса) при трехкремнеземикахъ и до 60% при однокремнеземикахъ. Но уменьшеніе количества теплоты плавленія, вызывавшееся содержаніемъ въ шлакѣ закиси марганца, ни въ одномъ изъ изслѣдованныхъ кремнеземиковъ не провосходило въ значительной мѣрѣ той величины, на которую оно понижалось при соотвѣтственномъ увеличеніи содержанія глинозема. Въ трехкремнеземикахъ-же повышеніе содержаніе глинозема дѣйствовало даже сильнѣе, чѣмъ повышеніе содержаніе закиси марганца. Для расплавленія трехкремнеземика съ 2,2% глинозема требовалось лишь 346 ед. т., между тѣмъ, какъ для самаго легкоплавкаго, марганецъ—содержащаго трехкремнеземика, съ 17,8% закиси марганца требовалось 371 ед. т.

НБ УДУНТ (ПБТ)

Значительное содержаніе титановой кислоты, встрѣчающееся иногда въ доменныхъ шлакахъ, какъ говорятъ, дѣлаетъ шлаки болѣе трудноплавкими [1]). Содержаніе же въ шлакахъ фтора, который переходитъ въ нихъ изъ плавиковаго шпата, прибавленнаго въ видѣ флюса или содержащагося въ рудахъ, уменьшаетъ трудноплавкость ихъ. Этимъ свойствомъ плавиковаго шпата пользуются иногда, когда почему либо требуется получить возможно легкоплавкій шлакъ.

Опыты съ цѣлью опредѣленіе температуры плавленія извѣстныхъ шлаковъ были производимы лишь въ ограниченномъ числѣ. Часто случается, что шлакъ не сразу дѣлается изъ твердаго жидкимъ и изъ жидкаго твердымъ, а размягчается постепенно передъ плавленіемъ и наоборотъ.

Вслѣдствіе этого едва-ли возможно совершенно точно опредѣлить тотъ моментъ, когда наступаетъ плавленіе или застываніе шлака. Большая часть шлаковъ желѣзнаго производства плавятся, т. е. становится совершенно жидкими, при температурахъ отъ 1000 до 1300° С.

Чаще производились опыты съ цѣлью опредѣленія температуры образованія шлаковъ. Для этого смѣшивали между собою различныя составныя части шлаковъ и нагрѣвали ихъ до расплавленія [2]). Дѣйствительно, температура образованія шлаковъ имѣетъ для хода нѣкоторыхъ процессовъ, напримѣръ доменнаго, не меньшее значеніе, чѣмъ температура ихъ плавленія. Но, какъ это было упомянуто выше, температура образованія шлаковъ зависитъ не только отъ ихъ химическаго состава, но и отъ внѣшней формы составныхъ частей до ихъ соединенія. Чѣмъ тѣснѣе они смѣшаны, тѣмъ легче растворяются они другъ въ другѣ, тѣмъ ниже будетъ температура образованія шлака, которую мы опредѣляемъ опытомъ. Поэтому подобные опыты имѣютъ лишь ограниченное значеніе, и результаты ихъ легко могутъ повести къ ошибочнымъ заключеніямъ.

Въ близкомъ соотношеніи по существу своему къ легкоплавкости находится другое свойство расплавленныхъ тѣлъ: степень ихъ жидкости, которое однако является совершенно самостоятельнымъ ихъ свойствомъ. Тѣла, плавящіяся при болѣе низкой температурѣ, вовсе не оказываются всегда болѣе жидкими въ расплавленномъ состояніи. Чѣмъ болѣе

[1]) Болѣе точныхъ научныхъ изслѣдованій по этому вопросу не имѣется. Окерманъ опредѣлилъ для двухъ шлаковъ съ содержаніемъ титановой кислоты въ 8,5% и 10%, количество теплоты, потребное для ихъ расплавленія. Количество это было больше, чѣмъ то, которое необходимо было для расплавленія шлаковъ подобнаго же состава, по безъ титановой кислоты (см. „Горный Журналъ 1886 года т. IV таблица VII приложенная къ стр. 380).

[2]) Смотри „литературу".

НБ УДУНТ (ПБТ)

постепенно происходитъ переходъ тѣла изъ твердаго въ жидкое состояніе, тѣмъ менѣе жидкимъ оказывается обыкновенно это тѣло въ расплавленномъ состояніи.

Шлаки, которые размягчаются постепенно, переходя черезъ пластичное состояніе, въ которомъ имъ можно придавать, какъ нагрѣтому стеклу, различную форму и, въ которомъ ихъ можно вытягивать въ длинные нити, называются спѣлыми.

Всѣ шлаки, болѣе богатые кремнеземомъ, особенно содержащіе одновременно глиноземъ и магнезію — спѣлые шлаки. Большое содержаніе магнезіи въ болѣе кислыхъ шлакахъ придаетъ имъ особенную липкость.

Шлаки, измѣняющіе свое состояніе внезапно и текущіе въ расплавленномъ состояніи въ видѣ жидкой массы, называются сырыми. Сюда относятся преимущественно всѣ шлаки съ болѣе значительнымъ содержаніемъ извести и въ то же время съ малымъ—содержаніемъ глинозема, хотя бы температура ихъ плавленія вслѣдствіе малаго содержанія въ нихъ кремнекислоты и была высокою [1]).

Закись желѣза и еще болѣе закись марганца увеличиваютъ степень жидкости тѣхъ шлаковъ, главными составными частями которыхъ являются кремнеземъ, глиноземъ известь и магнезія, независимо отъ того, содержатся ли въ шлакахъ одновременно всѣ эти тѣла или только нѣкоторыя изъ нихъ. Но въ этомъ случаѣ шлаки ставовятся менѣе сырыми, т. е. при своемъ вытеканіи они застываютъ не такъ внезапно, какъ основные шлаки, не содержащіе закиси желѣза или марганца.

4. Строеніе шлаковъ.

По виду поверхности излома различаютъ: шлаки стекловидные, камневидные и кристаллическіе. Различныя свойства строенія шлаковъ зависятъ частью отъ ихъ химическаго состава, частью-же отъ условій ихъ охлажденія.

Стекловидными получаются только шлаки болѣе богатые кремнекислотой и охлаждавшіеся не особенно медленно. Переходъ отъ стекловидныхъ къ камневиднымъ шлакамъ образуютъ такъ называемые эмалевидные шлаки, стоящіе, правда, нѣсколько ближе къ первымъ, чѣмъ ко вторымъ. Они слегка прозрачны, свѣтло окрашены и содержатъ болѣе значительныя количества глинозема.

---

[1]) Нѣкоторые подробности объ этомъ: Горный Журналъ 1886 г. т. IV стр. 390 статья Окермана.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Медленное охлажденіе превращаетъ стекловидный шлакъ въ камневидный или кристаллическій.

Поэтому на поверхности излома большихъ застывшихъ глыбъ шлака нерѣдко замѣчается различное строеніе: снаружи, гдѣ охлажденіе происходило быстро, стекловидное, внутри—кристаллическое.

Шлаки, остающіеся даже при быстромъ охлажденіи камневидными, обыкновенно содержатъ много металловъ земель. При большомъ содержаніи въ шлакѣ окиси желѣза вещество становится аморфнымъ и, поверхность излома болѣе походитъ на металлическую чѣмъ на камневидную.

Настоящіе, вполнѣ образованные кристаллы выдѣляются лишь при медленномъ охлажденіи въ пустотахъ, образующихся внутри болѣе значительныхъ кусковъ шлака. Не всѣ шлаки однако съ одинаковою легкостью образуютъ кристаллы. Такъ, напримѣръ, шлаки, очень богатые кремнекислотой, образуютъ кристаллы лишь въ рѣдкихъ случаяхъ. Обстоятельство это находится въ близкомъ соотношеніи къ ихъ большой способности при остываніи становиться стекловидными и постепенно переходитъ изъ одного состоянія въ другое. Шлаки, богатые закисью желѣза, выкристаллизовываются наоборотъ легко. Хорошо образованные кристаллы находятся также въ нѣкоторыхъ шлакахъ богатыхъ металлами земель и стоящихъ между одно и двукремнеземиками.

Выше было уже упомянуто, что часто въ аморфной массѣ шлака при остываніи выдѣляются нѣкоторыя составныя его части въ окристаллизованномъ состояніи. Иногда ихъ можно замѣтить простымъ глазомъ, иногда же въ шлифахъ съ помощью микроскопа.

Нѣкоторые шлаки, богатые известью и бѣдные глиноземомъ, въ особенности доменные, имѣютъ стремленіе уже при охлажденіи распадаться въ порошокъ. По Плацу [1]) содержаніе въ этихъ шлакахъ основаній, за исключеніемъ глинозема по крайней мѣрѣ равно 45%. Большое содержаніе въ нихъ магнезіи на ряду съ малымъ содержаніемъ извести, напротивъ, затрудняетъ распаденіе шлаковъ въ порошокъ. Причиной распаденія, какъ это доказываетъ Плацъ, является ликвація, обусловленная медленнымъ остываніемъ: часть извести и сродныхъ съ нею основаній выдѣляется изъ раствора, образовавшагося подъ вліяніемъ высокой температуры, и шлакъ распадаетъ, такъ какъ вслѣдствіе этого выдѣленіе прекращаетъ связь между его частицами.

Ускоренное охлажденіе затрудняетъ ликвацію, какъ это наблюдается во многихъ подобныхъ случаяхъ.

[1]) Stahl und Eisen 1892, S. 7.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Подобные порошкообразные шлаки, смѣшанные съ водою и пескомъ можно употреблять, подобно гашеной извести, какъ связующій растворъ.

Нѣкоторые спѣлые шлаки, содержащіе мало закиси желѣза и марганца, будучи облиты въ жидкомъ состояніи водою, сильно вздуваются и пріобрѣтаютъ пемзовидную наружность. Этимъ свойствомъ ихъ пользуются для приготовленія искусственной пемзы, употребляемой для шлифованія дерева. Подобные пемзовидные шлаки часто въ теченіи многихъ лѣтъ сохраняютъ еще запахъ сѣроводорода, образовавшагося отъ разложенія сѣрнистаго кальція.

5. Цвѣтъ шлака.

Окраска шлаковъ, получаемыхъ въ желѣзномъ производствѣ, до крайности разнообразна. Начиная отъ фарфоровидныхъ шлаковъ почти чистаго бѣлаго цвѣта и кончая шлаками почти черными, встрѣчаются шлаки почти всѣхъ возможныхъ оттѣнковъ—синіе, зеленые, фіолетовые, красные и т. д. Чисто желтые шлаки встрѣчаются рѣдко; ярко красные иногда встрѣчаются, но тоже рѣдко. Чаще всего шлаки бываютъ зеленоватыми черными. Подобно строенію и цвѣтъ шлаковъ зависитъ частью отъ ихъ состава, частью-же отъ условій ихъ охлажденія. Одинъ и тотъ-же шлакъ можетъ быть окрашенъ совершенно различно, смотря по тому, остывалъ-ли онъ быстро и пріобрѣлъ стекловидное сложеніе, или-же остывалъ медленно, пріобрѣтая кристаллическое сложеніе въ изломѣ. Такъ, напримѣръ, нерѣдко встрѣчаются шлаки съ зеленой стекловидной корой и фіолетово-сѣрымъ ядромъ или-же фіолетовой корой и бѣловато-сѣрымъ ядромъ и т. д., между тѣмъ, какъ химическій составъ коры и ядра одинъ и тотъ-же. Точно также случается, что образовавшіеся въ шлакѣ кристаллы окрашены иначе, чѣмъ масса, изъ которой они выкристаллизовались.

Мартеновскій шлакъ, напримѣръ, когда его вылили для испытанія въ чугунную форму, былъ окрашенъ въ быстро остывшихъ мѣстахъ, т. е. на поверхности, въ оливково—зеленый цвѣтъ и имѣлъ здѣсь сложеніе стекловидное. Ядро-же его, остывавшее медленно, было камневидно и чернаго цвѣта. Анализъ обѣихъ частей, произведенный мною, далъ слѣдующіе результаты:

	Быстро остывавшихъ.	Въ медленно остывавшемъ черномъ ядрѣ.
Кремневой кислоты	48,03	48,10
Глинозема	1,60	1,85
Закиси желѣза	16,23	16,66
Закиси марганца	31,53	31,67
Известь	не опредѣл.	1,08

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Шлакъ древесноугольной домны, остывавшій, вѣроятно, на чугунномъ поддонѣ и наружныя части котораго остыли быстро, снаружи былъ стекловиднаго сложенія и свѣтло-зеленаго цвѣта, ядро же его, остывшее медленно, было зернисто-кристаллическое и прекраснаго ультрамариново-синяго цвѣта. Ядро сохранило ясное синее окрашиваніе даже въ истолченномъ состояніи. Анализъ далъ слѣдующіе результаты:

	Быстро охлажд. часть зеленаго цвѣта.	Медлен. охлажд. часть, голубаго цвѣта.
Кремневой кислоты	43,43	43,33
Глинозема	17,80	17,28
Закиси желѣза	1,05	4,64
Закиси марганца	2,09	2,41
Извести	33,30	31,57
Магнезіи	—	слѣды.
Сѣры	не опредѣлено	
Щелочей съ потерей	2,33	0,77

Значительное различіе мы видимъ въ содержаніи желѣза, которое въ частяхъ, остывавшихъ медленно, въ 4 раза болѣе чѣмъ въ частяхъ, остывавшихъ быстро, между тѣмъ какъ въ послѣднихъ соотвѣтственно увеличилось содержаніе извести и щелочей. Во всякомъ случаѣ общее различіе въ составѣ обѣихъ частей и здѣсь не настолько велико, чтобы оно одно объясняло значительную разницу въ физическихъ свойствахъ ихъ, настоящей причиной которой, является различное расположеніе частицъ при медленномъ и быстромъ охлажденіи.

Вліяніе различныхъ составныхъ частей шлака, на его окрашиваніе извѣстно лишь отчасти.

Шлаки, не содержащіе окисловъ желѣза и марганца, т. е. состоящіе только изъ силикатовъ металловъ земель, бываютъ вообще окрашены въ свѣтлые, бѣловатые тона.

Закись желѣза, даже въ незначительныхъ количествахъ, придаетъ шлаку зеленоватую окраску, которая особенно ясно замѣтна въ дву- и трех- кремнеземикахъ. При увеличеніи содержанія желѣза шлаки становятся черными.

Нѣкоторые шлаки уже при маломъ содержаніи закиси желѣза бываютъ окрашены въ черный цвѣтъ. Въ этомъ случаѣ вмѣстѣ съ желѣзомъ въ нихъ содержится сѣра, присутствіе которой и можно считать причиной чернаго окрашиванія.

Закись марганца вмѣстѣ съ закисью желѣза окрашиваетъ шлаки въ желтовато-зеленые тона (оливково-зеленый, огуречно-зеленый), если только въ шлакѣ не содержится въ значительныхъ количествахъ сѣра. Шлаки, очень богатые марганцемъ и притомъ не очень основные, будучи подвергнуты въ жидкомъ состояніи дѣйствію воздуха, снаружи бываютъ окрашены въ черный цвѣтъ и покрываются иризирующею пленкою.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Умѣренное содержаніе закиси марганца вмѣстѣ съ малымъ количествомъ закиси желѣза влечетъ за собою, по моимъ наблюденіямъ, окрашиваніе шлаковъ, богатыхъ кремневой кислотой (дву- и трех- кремнеземики), въ голубой цвѣтъ [1]).

На заводахъ нерѣдко пользуются цвѣтомъ шлака, образовавшагося при томъ или другомъ процессѣ, какъ средствомъ для оцѣнки хода печи. Для этого даже не требуется знать, какія внутреннія причины вызвали то или другое окрашиваніе шлака. Нужно только путемъ опыта установить, что цвѣтъ шлака при правильномъ ходѣ процесса долженъ быть такимъ то. Измѣненіе цвѣта будетъ указывать на нѣкоторыя неправильности въ ходѣ процесса.

b) Удѣльный вѣсъ шлаковъ.

Смотря по различному химическому составу шлаковъ, и удѣльный вѣсъ ихъ колеблется въ довольно широкихъ предѣлахъ. Самыми тяжелыми оказываются шлаки, наиболѣе богатые тяжелыми окислами (шлаки закиси желѣза), удѣльный вѣсъ которыхъ можетъ достигать 5,0. Удѣльный вѣсъ шлаковъ, богатыхъ металлами земель особенно сильно кремнезимистыхъ, нерѣдко бываетъ лишь 2,5,—3,0.

Литература.

Percy-Knapp, Metallurgie. S. 22—51, сод. подробныя свѣдѣнія о прежнихъ опытахъ по изслѣдованію шлаковъ.

K. C. v. Leonhard, Hüttenerzeugnisse und andere auf künstlichem Wege gebildete Mineralien als Stätzpunhte geologischer Hypothesen. Stuttgart 1858, (много свѣдѣній о сложеніи шлаковъ, кристаллизаціи ихъ и т. д.).

ГЛАВА ШЕСТАЯ.

Руды и флюсы и ихъ подготовка къ плавкѣ.

1. Руды.

Рудами называются встрѣчающіяся въ природѣ соединенія желѣза съ другими тѣлами, которыя, благодаря своему содержанію желѣза, употребляются для полученія этого металла заводскимъ путемъ.

[1]) Нельзя спорить противъ того, что прекрасный голубой цвѣтъ нѣкоторыхъ доменныхъ шлаковъ можетъ быть обусловленъ и другими причинами. Именно это окрашиваніе шлаковъ дало поводъ къ многимъ изслѣдованіямъ, которыя впрочемъ не дали полнаго объясненія вопроса. Часто голубое окрашиваніе шлаковъ приписывали содержанію въ нихъ титановой кислоты. См. по этому поводу указанія въ „литературѣ“.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Самородное желѣзо встрѣчается вообще рѣдко, въ исключительныхъ случаяхъ и не имѣетъ практическаго значенія для желѣзнаго производства. Таковы, напримѣръ, метеориты большею частью состоящіе изъ металлическаго желѣза вмѣстѣ съ кобальтомъ, никкелемъ и нѣкоторыми другими тѣлами. Въ Сѣверной Гренландіи въ Диско Норденшильдъ нашелъ въ 1870 году значительныя количества самороднаго желѣза. Въ болѣе влажномъ воздухѣ умѣреннаго пояса такое самородное желѣзо вообще не могло бы существовать продолжительное время: оно постепенно перешло бы въ водную окись—ржавчину.

Однако, чтобы желѣзосодержащія ископаемыя можно было употреблять въ качествѣ желѣзныхъ рудъ, онѣ не должны содержать такихъ постороннихъ тѣлъ, которыя переходили бы въ получающееся желѣзо и дѣлали его негоднымъ для употребленія, безъ предварительнаго выдѣленія такихъ вредныхъ примѣсей. Притомъ содержаніе въ нихъ желѣза должно быть настолько велико, чтобы переработка ихъ являлась выгодной и съ экономической точки зрѣнія.

Наименьшее содержаніе желѣза, котораго нельзя переходить, чтобы работать еще съ выгодою, зависитъ впрочемъ частью отъ мѣстныхъ условій. Чѣмъ меньше стоимость руды на мѣстѣ ея переработки (т. е. вмѣстѣ со стоимостью перевозки), чѣмъ меньше прочіе расходы по плавкѣ (на горючіе матеріалы, плату рабочимъ и т. д.), тѣмъ меньше можетъ быть содержаніе желѣза въ ископаемомъ, которое можетъ еще имѣть значеніе, какъ желѣзная руда. Свойства остальныхъ составныхъ частей желѣзо—содержащей породы также имѣютъ значеніе въ этомъ отношеніи. Эти постороннія составныя части, если только онѣ не летучи (углекислота, вода), образуютъ при плавкѣ шлакъ, который долженъ быть въ достаточной степени плавкимъ, чтобы вообще возможно было полученіе желѣза.

Иногда для полученія шлака требуемаго состава приходится прибавлять значительныя количества постороннихъ породъ, называемыхъ флюсами, въ другихъ-же случаяхъ достаточно лишь небольшаго ихъ количества. Наконецъ, въ нѣкоторыхъ случаяхъ составъ постороннихъ тѣлъ, смѣшанныхъ съ окислами желѣза бываетъ таковъ, что можно обойтись совершенно безъ всякихъ флюсовъ.

Вообще избѣгаютъ употребленія руды съ содержаніемъ желѣза меньшимъ 30 процентовъ, хотя существуютъ заводы съ выгодой проплавляющіе руды съ содержаніемъ желѣза и въ 25 процентовъ. Если постороннія тѣла, примѣшанныя къ соединеніямъ желѣза, имѣютъ такой составъ, что при смѣшеніи нѣсколькихъ рудъ образуется шлакъ соотвѣтственной плавкости, а слѣдовательно можно обойтись безъ флюсовъ, то въ нѣкоторыхъ случаяхъ можно считать рудами и

НБ УДУНТ (ІПБТ)

породы еще съ меньшимъ содержаніемъ желѣза. Онѣ представляютъ въ этомъ случаѣ переходъ къ такъ называемымъ желѣзо-содержащимъ флюсамъ, т. е. къ породамъ, которыя прибавляются къ рудамъ не только ради образованія шлаковъ, но въ тоже время содержатъ хотя и не особенно значительныя количества желѣза (приблизительно до 15%), которыя утилизируются при плавкѣ.

На ряду съ собственно желѣзными рудами въ желѣзномъ производствѣ нерѣдко пользуются и богатыми желѣзомъ побочными продуктами другихъ процессовъ.

Продукты эти переработываются тѣми-же самыми способами и съ тою цѣлью, какъ и желѣзныя руды. Наиболѣе важные изъ нихъ будутъ разсмотрѣны вкратцѣ послѣ описанія рудъ.

Всѣ желѣзныя руды, въ тѣсномъ смыслѣ слова, состоятъ изъ окисловъ, водныхъ окисловъ или углекислыхъ солей желѣза.

Встрѣчающіеся въ природѣ силикаты желѣза добываются слишкомъ рѣдко и, кромѣ того, они слишкомъ трудно возстановимы, чтобы могли считаться настоящими желѣзными рудами, хотя иногда, въ видѣ исключенія, ихъ и проплавляютъ вмѣстѣ съ другими рудами.

Если требуется получить богатые марганцемъ сплавы желѣза, то вмѣсто рудъ желѣзныхъ нужно употреблять руды марганцовыя или же послѣднія руды надо прибавлять къ первымъ для увеличенія содержанія въ нихъ марганца. Руды эти также будутъ описаны ниже.

А. Шпатовый желѣзнякъ.

Эти руды, образовавшіяся во всякомъ случаѣ вслѣдствіе осажденія желѣза ихъ воды, содержащей углекислоту, являются одной изъ первоначальныхъ формъ образованія желѣзныхъ рудъ. Въ чистомъ и неразложившемся видѣ руды эти состоятъ изъ углекислаго желѣза ($FeCO_3$, съ 48,2 процентами желѣза или 61,9% FeO), но кромѣ углекислаго желѣза онѣ содержатъ всегда большія или меньшія количества изоморфныхъ углекислыхъ солей марганца, кальція или магнія, вслѣдствіе чего содержаніе желѣза въ нихъ всегда ниже, чѣмъ вычисленное по формулѣ.

Шпатовые желѣзняки кристаллизуются въ ромбоэдрахъ; сложеніе ихъ грубо или мелко зернистое или же аморфное. Въ рѣдкихъ случаяхъ оно гроздо- или почкообразное и такія руды называются сферосидеритами въ тѣсномъ значеніи слова. Цвѣтъ свѣжей, неразложившейся руды желтовато бѣлый. На воздухѣ подъ вліяніемъ влажности руда частью превращается въ водную окись желѣза, и при этомъ цвѣтъ

НБ УДУНТ (ІПБТ)

ея дѣлается постепенно темно-бурымъ, а также голубовато-чернымъ (Blauerte, Braunerte).

Шпатовый желѣзнякъ встрѣчается въ болѣе древнихъ формаціяхъ, до пестраго песчаника, въ видѣ жилъ и пластовъ, достигающихъ часто весьма значительной мощности. Съ давнихъ поръ славятся мѣсторожденія шпатоваго желѣзняка въ провинціи Зигенъ и въ настоящее время имѣющія большое значеніе среди германскихъ рудныхъ мѣсторожденій. Для германской желѣзной промышленности имѣютъ значеніе также мѣсторожденія шпатоваго желѣзняка въ Тюригенскихъ горахъ, около Заальфельда (Камсдорфъ, Коницъ).

Руды эти проплавляются частью на заводѣ Maximilianshütte въ Unterwellenborn'ѣ близъ Заальфельда, частью на другихъ болѣе отдаленныхъ заводахъ, гдѣ идутъ въ шихту съ другими рудами.

Далѣе слѣдуетъ упомянуть о мѣсторожденіяхъ близъ Оснабрюка, руды которыхъ проплавляются на заводѣ Georg-Marienhütte. Меньше значеніе имѣютъ мѣсторожденія Саксонскаго Фойхтланда и Гарца (вблизи Штольберга).

Для Европейской желѣзной промышленности весьма большое значеніе имѣютъ мѣсторожденія шпатоваго желѣзняка въ Австріи и Венгріи. Мѣсторожденіе этой руды въ Штирійской рудной горѣ (Эрцбергѣ), между Фордернбергомъ и Эйзенэрцемъ имѣетъ мощность до 150 м. и разработывалось еще римлянами. Оно снабжаетъ рудою не только всѣ доменныя печи Штиріи, но и многіе заводы другихъ провинцій. Шпатовые желѣзняки Каринтійскаго Эрцберга (близъ Гюттенберга) не имѣютъ такого большаго значенія для Каринтійскихъ заводовъ, но все таки даютъ имъ огромную массу руды. Венгрія также богата шпатоватыми желѣзняками, встрѣчающимися главнымъ образомъ въ комитатахъ Gömor и Zips; руды изъ этихъ мѣсторожденій проплавляются частью на венгерскихъ заводахъ, частью же отправляются въ Верхнюю Силезію.

Во Франціи и Испаніи находятся также нѣкоторыя мѣсторожденія шпатоваго желѣзняка, правда, не столь значительныя, но имѣющія всетаки не малое значеніе для этихъ странъ. Великобританія и Сѣверная Америка наоборотъ довольно бѣдны этими рудами.

Изъ примѣсей шпатоваго желѣзняка, на которыя надо обращать вниманіе при его проплавкѣ, во избѣжаніе вреднаго вліянія ихъ на получающійся изъ руды чугунъ, часто встрѣчаются слѣдующія: колчеданы—сѣрный и въ особенности мѣдный, — свинцовый блескъ, цинковый шпатъ, галмей. Наоборотъ весьма рѣдко встрѣчаются значительныя количества фосфорнокислыхъ солей.

Малое содержаніе фосфора дѣлаетъ шпатовый желѣзнякъ однимъ изъ самыхъ пригодныхъ матеріаловъ для полученія бѣд-

НБ УДУНТ (ІПБТ)

наго фосфоромъ чугуна. Легко возстановимость этой руды, особенно въ обожженномъ состояніи [1]), значительно облегчаетъ ея проплавку, а содержаніе въ ней марганца, весьма рѣдко отсутствующаго, указываетъ на ея пригодность для полученія марганцовистыхъ сортовъ чугуна (бѣлый, зеркальный, беесемеровскій чугунъ). Такіе, марганецъ — содержащіе и вмѣстѣ съ тѣмъ бѣдные фосфоромъ сорта чугуна, уже съ давнихъ поръ представляли цѣнный матеріалъ для полученія стали, а потому и марганецъ содержащіе руды съ незначительными количествами фосфора являются особенно пригодными для этой цѣли, даже въ томъ случаѣ, когда изъ нихъ, какъ это было въ древнія времена, непосредственно получали сталь. Поэтому понятно, что не только шпатовый желѣзнякъ въ нѣкоторыхъ мѣстностяхъ носилъ названіе стальной руды (Stahlstein), но и мѣсторожденія его нерѣдко назывались соотвѣтственно этому (Sthalberg близъ Мюзена въ провинціи Зигенъ.

Примѣры состава шпатовыхъ желѣзняковъ [2]) идущихъ въ плавку.

	Сырыя руды сод. въ 100 ч.							Обожженныя руды.		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Желѣза . . .	38,86	34,70	39,40	33,12	26,38	33,37	33,66	43,34	45,34	40,65
Марганца . .	9,20	6,50	3,10	4,52	1,82	1,76	1,46	7,39	2,82	2,04
Кремнекислоты	0,22	8,00	3,52	3,57	1,10	10,56	16,78	14,69	12,33	16,11
Глинозема . .	неопр.	2,10	1,02	0,86	0,00	3,52	4,30	1,95	1,95	2,58
Извести . .	0,70	0,50	4,68	8,92	15,90	0,77	Слѣды	2,29	6,65	0,44
Магнезіи . . .	0,51	0,50	1,24	2,12	8,47	5,46	5,56	1,29	1,59	6,03
Свинца . . .	—	—	—	неопр.	неопр.	—	—	0,03	—	—
Мѣди	0,03	0,10	неопр.	неопр.	неопр.	0,01	0,05	0,09	неопр.	0,52
Сѣры	0,03	неопр.	неопр.	неопр.	неопр.	неопр.	неопр.	неопр.	неопр.	Слѣды
Фосфора . . .	Слѣды	—	28,81	неопр.	0,02	Слѣды	Слѣды	0,06	0,06	Слѣды
Углекислоты . } Воды . . . . }	не-опред.	не-опред.	0,016	не-опред.	не-опред.	не-опред.	не-опред.	7,12	8,75	не-опред.

1. Шпатовый жел. зав. Struthütte въ провинціи Зигенъ былъ выставленъ на Дюссельдорфской выставкѣ 1880 г.

[1]) Сырые шпатоватые желѣзняки разлагаются лишь при температурѣ около 800° С (Опыты Туннера, приведенные въ годичномъ отчетѣ Горной Академіи въ Леобенѣ и т. д. т. X. ст. 494), тогда какъ возстановленіе рудъ, изъ которыхъ уже выдѣлена углекислота, начинается при гораздо нисшей температурѣ. Послѣ обжога руды становятся болѣе рыхлыми и болѣе доступными воздѣйствію возстановляющихъ газовъ; оба эти обстоятельства объясняютъ, почему обожженные шпатовые желѣзняки возстановляются легче чѣмъ необожженные.

[2]) Анализы приведены въ томъ видѣ, въ какомъ они имѣютъ наибольшее значеніе для техника: желѣзо и марганецъ показаны въ видѣ металловъ. Выше было упомянуто, что эти металлы встрѣчаются преимущественно въ видѣ закиси, но что закись желѣза при вывѣтриваніи обыкновенно превращается частью въ окись (гидрокись).

НБ УДУНТ (ІПБТ)

2. Рудникъ Wingertshart у Niederhövel's въ провинціи Зигенъ; Дюссельдорфская выставка 1880 г.

3. Средній составъ шпатовыхъ желѣзняковъ изъ Kamsdorf'a, проплавляемыхъ на заводѣ Maximilianshütte въ Unterwellenborn (въ Тюрингіи). Stahl und Eisen 1882 ст. 36.

4. Шпатовый желѣзнякъ изъ Könitz'a (въ Тюрингенскомъ лѣсу). Содержитъ еще 2,66% барита и 0,30% окиси стронція. Проплавляется на заводѣ Königin-Marienhütte. Анализъ автора.

5. Шпатовый желѣзнякъ завода Georgs-Marienhütte. Изслѣдованъ въ лабораторіи автора.

6. Желѣзнякъ изъ рудника Köhlergrund, принадлежащаго заводу Krompach въ Zips'скомъ комитатѣ (Венгрія). Анализъ автора.

7. Рудникъ Zagura; Венгрія. Анализъ автора.

8. Обожженный шпатъ изъ Rottleberode на Гарцѣ (Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten. Band I, S. 121.

9. Обожженный шпатъ изъ Innerberg'a въ Каринтіи (Dürre, тамъ-же S. 123).

10. Обожженный шпатъ рудника Köhlergrund (заводъ Krompach въ Венгріи). Анализъ автора.

В. Глинистые сферосидериты и близкія къ нимъ руды.

Подъ этимъ названіемъ можно соединить значительное число видовъ желѣзныхъ рудъ, главною составною частью которыхъ является также, какъ и у шпатовыхъ желѣзняковъ, углекислая закись желѣза, но которыя содержатъ посторонніе, механически примѣшанныя тѣла, въ особенности глину, въ такомъ количествѣ, что сложеніе ихъ стало плотнымъ или совершенно мелко-зернистымъ, рѣзко отличающимся отъ кристаллическаго сложенія шпатоваго желѣзняка. Нерѣдко углекислая закись желѣза отъ вывѣтриванія переходитъ большею частью въ водную окись желѣза, и тогда руды представляютъ переходъ къ бурымъ желѣзнякамъ.

Руды этой группы встрѣчаются часто и притомъ нерѣдко въ формѣ весьма мощныхъ пластовъ, благодаря чему онѣ являются однимъ изъ самыхъ важныхъ для промышленности видовъ желѣзныхъ рудъ. Глинистые сферосидериты, добываемые ежегодно въ Іоркшейрѣ (въ Клевеландѣ), составляютъ больше трети всего количества рудъ, добываемыхъ въ Великобританіи и служатъ главнымъ матеріаломъ для грандіозной желѣзной промышленности этой мѣстности. Такія-же руды добываются въ Валлиссѣ, Стаффордшейрѣ и въ Шотландіи. Значительныя мѣсторожденія сферосидеритовъ находятся также въ Рейнской Пруссіи и Вестфаліи. Въ Силезіи, Франціи, Венгріи, Пенсильваніи извѣстны также замѣчательныя мѣсторожденія рудъ этого сорта.

Сферосидериты содержатъ, подобно шпатовымъ желѣзнякамъ, вкрапленные колчеданы, слѣдствіемъ чего и является содержаніе въ нихъ свинца, мѣди и цинка. Выше было уже упомянуто, что въ рудахъ этихъ заключаются обыкновенно большія количества глинистыхъ и органическихъ тѣлъ, чѣмъ

НБ УДУНТ (ІПБТ)

въ шпатовомъ желѣзнякѣ, а нерѣдко также значительныя количества фосфора.

Сферосидериты легко возстановляются, особенно въ обожженномъ состояніи, и употребляются для полученія какъ сѣраго, такъ и бѣлаго чугуна, смотря потому, какія постороннія тѣла въ нихъ заключаются. По своимъ свойствамъ руды этой группы можно раздѣлить на слѣдующіе два вида:

а) Обыкновенный или глинистый сферосидеритъ. Сложеніе плотное, цвѣтъ—сѣрый, зеленоватый или коричневатый; содержитъ глину и не рѣдко значительныя количества органическаго вещества (уголь). Встрѣчается въ осадочныхъ образованіяхъ различной древности, преимущественно въ каменноугольныхъ, кейперѣ, юрской и мѣловой почвы.

Примѣры его состава.

	1	2	3	4	5	6	7
Желѣза	28,76	36,14	33,20	32,44	25,10	36,16	40,46
Марганца	0,74	1,12	1,16	0,80	4,70	2,86	1,22
Кремнезема	19,13	10,17	10,22	11,60	10,13	11,50	8,76
Глинозема	7,63	4,80	1,14	4,88	4,40	3,64	1,53
Извести	2,89	0,76	3,32	2,99	9,72	1,88	2,15
Магнезіи	2,29	0,94	2,85	3,43	3,65	2,07	0,51
Мѣди	неопред.	неопред.	неопред.	неопред.	Слѣды.	неопред.	неопред.
Сѣры	0,10	0,04	0,42	0,08	0,15	0,36	неопред.
Углекислоты . . .	25,41	30,44	28,63	30,07	неопред.	неопред.	28,25
Воды и орган. тѣлъ.	2,07	2,52	2,89	2,03	неопред.	неопрод.	3,80

1. Изъ Іоркшейра. По Перси (Perey-Wedding, Eisenhüttenkunde I Abth. S. 295 ff).
2. Изъ Южнаго Стаффордшейра. Какъ 1.
3. Изъ (Stanton въ Дербишейрѣ. Какъ 1.
4. Изъ Bleanavon въ Монмоутшейрѣ (Monmouthshire). Какъ 1.
5. Глинистый желѣзнякъ изъ Euskirehen'a. (Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten. Band I. S. 139).
6. Изъ рудника Sperber близъ Ruphichteroth (Dürre тамъ же).
7. Сферосидеритъ изъ Schmiedewald'a близъ Мейсена. Анализъ въ лабораторіи автора.

b. Углистый желѣзнякъ или Блекбендъ. Если руда, состоящая главнымъ образомъ изъ углекислаго желѣза, содержитъ углистыя вещества въ такомъ количествѣ, что принимаетъ черное окрашиваніе, то получаетъ названіе углистаго желѣзняка, или, какъ называютъ ее англичане, блек-бенда.

Особенно богатые углемъ руды этого вида, будучи зажжены, продолжаютъ горѣть и составляютъ переходъ къ углямъ съ большимъ содержаніемъ золы.

Въ остальномъ свойства углистаго желѣзняка подходятъ къ свойствамъ обыкновенныхъ сферосидеритовъ. Ихъ проплавляютъ лишь въ обожженномъ состояніи, чему еще способствуетъ то обстоятельство, что содержащагося въ

НБ УДУНТ (ІПБТ)

нихъ углерода обыкновенно достаточно для развитія необходимой для ихъ обжога теплоты. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ даже можно смѣшивать съ ними другія руды, которыя такимъ образомъ обжигаются безъ затраты горючаго матеріала.

Примѣры состава этихъ рудъ.

	Въ сыромъ состояніи.			Въ обожженномъ состояніи.		
	1	2	3	4	5	6
Желѣза . . .	36,20	34,14	30,30	52,12	46,70	47,66
Марганца. . .	1,97	—	неопред.	1,21	1,42	0,90
Кремнезема. .	1,93	10,19	5,26	9,64	16,49	13,44
Глинозема. . .	1,23	2,39	—	5,76	5,88	4,46
Извести . . .	2,44	2,10	—	3,15	3,21	3,69
Магнезіи.. . .	1,39	2,47	—	1,96	4,03	2,65
Мѣди	не	опред	ѣлено.	не опред.	не опред.	не опред.
Сѣры	0,18	0,09	не опред.	0,79	0,14	0,90
Фосфора . . .	0,29	0,50	0,30	0,49	0,45	0,50
Угля	10,46	3,125	25,76	—	21,11	4,05
Углекислоты .	30,77		—	—		
Воды	1,47		не опред.	3,30		

1. Изъ каменноугольнаго рудника Shelton въ Стаффордшейрѣ. По Перси (Percy-Wedding), Eisenhüttenkunde, Abth. I, S. 300.

2. Изъ Klosterbusch'a близъ Kupferdreh. Была выставлена на Вѣнской выставкѣ заводомъ. Phönix. (Dürre, Bericht, стр. 90).

3. Изъ Вестфаліи; проплавляется на заводѣ Friedrich-Wilhelmshütte въ Мюльгеймѣ на Руръ. Дюссельдорфская выставка 1880 года.

4. Обожженный блекбендъ изъ Вестфаліи (Dürre Anlage und Betrieb der Eisenhütten, т. I, стр. 136).

5. Обожженный блекбендъ изъ Klosterbusch'a близъ Kupfercreh (Dürre Anlage u. s. w. S. 136).

6. Обожженный блекбендъ изъ Вестфаліи. Проплавляется на заводѣ Fridriech-Wilhelmshütte Дюссельдорфская выставка 1880 г.

С. Бурые желѣзняки.

По своему химическому составу бурый желѣзнякъ отличается содержаніемъ химически связанной воды, по своему-же внѣшнему виду — бурымъ, до чернаго, цвѣтомъ и бурой чертой.

Химическая формула собственно нормальнаго бураго желѣзняка была-бы: H_6, Fe_4, O_9, съ содержаніемъ желѣза около 60%.

Въ минералогіи однако извѣстны нѣсколько опредѣленныхъ, отличныхъ другъ отъ друга видовъ бураго желѣзняка, составъ которыхъ болѣе или менѣе отличается отъ приведеннаго (Гетитъ и др.).

Весьма многочисленны также переходы, какъ къ безводнымъ окисламъ желѣза, такъ и къ шпатовымъ желѣзнякамъ и сферосидеритамъ, содержащимъ закись желѣза и углекис-

НБ УДУНТ (ІПБТ)

лоту, разложенію которыхъ нерѣдко обязанъ своимъ происхожденіемъ бурый желѣзнякъ. Вслѣдствіе этого понятно что содержаніе воды въ бурыхъ желѣзнякахъ колеблется въ довольно широкихъ предѣлахъ.

Бурые желѣзняки имѣютъ очень большое распространеніе и встрѣчаются почти во всѣхъ формаціяхъ, отчего и внѣшній видъ ихъ бываетъ довольно разнообразнымъ. Почти всѣ бурые желѣзняки отличаются легкою возстановимостью.

Постороннія примѣси, которыя помимо указаннаго свойства ихъ обусловливаютъ степень пригодности руды для извѣстныхъ цѣлей, довольно разнообразны въ различныхъ мѣсторожденіяхъ, какъ въ количественномъ, такъ и въ качественномъ отношеніяхъ. Иногда бурые желѣзняки встрѣчаются непосредственно рядомъ со шпатовыми, вслѣдствіе разложеній которыхъ они произошли, и нерѣдко можно въ нихъ замѣтить еще ясное сложеніе шпатоваго желѣзняка. Подобно послѣднему, они содержатъ нерѣдко значительныя количества марганца.

Въ сущности можно различать слѣдующія разновидности бураго желѣзняка.

a) Бурая стеклянная голова.

Отличается малымъ содержаніемъ постороннихъ тѣлъ. Цвѣтъ темно бурый до чернаго. Сложеніе кристаллически—жилковатое. Наружность бываетъ часто шарообразной или почкообразной. Встрѣчается преимущественно въ самыхъ древнихъ формаціяхъ, но по сравненію съ другими рудами такъ рѣдко, что не можетъ имѣть практическаго значенія.

b) Обыкновенный бурый желѣзнякъ.

Подъ этимъ названіемъ можно соединить тѣ бурые желѣзняки, которые не отличаются никакими особенностями отъ другихъ бурыхъ желѣзняковъ. Нѣкоторыя разновидности этой группы имѣютъ большую цѣнность, благодаря своей чистотѣ, подобно бурой стеклянной головѣ, другія-же, преимущественно землистыя и аморфныя, содержатъ колчеданы, цинковыя руды и иногда довольно замѣтныя количества фосфорно-кислыхъ соединеній. Имѣются особыя названія для отдѣльныхъ разновидностей этой группы, какъ то: скорлуповатый или почковидный желѣзнякъ (встрѣчающійся въ видѣ скорлупъ или почекъ), плотный бурый желѣзнякъ, рыхлый или землистый бурый желѣзнякъ.

Превосходные бурые желѣзняки болѣе древняго происхожденія встрѣчаются въ австрійскихъ Альпахъ вмѣстѣ со шпа-

НБ УДУНТ (ІПБТ)

товыми желѣзняками, о которыхъ рѣчь была выше, также въ Тюрингіи, на Гарцѣ, въ Испаніи, въ Сѣверной Америкѣ (Кентукки, Тенесси, Канада) и въ другихъ мѣстахъ. Въ верхней Силезіи рыхлые, бурые желѣзняки, встрѣчающіеся тамъ въ толщахъ Тріаса, являются главнымъ матеріаломъ для мѣстной желѣзной промышленности. Въ Англіи (въ Нортгемптоншейрѣ; Линкольншейрѣ, Лейчестершейрѣ и др.) бурые желѣзняки встрѣчаются въ огромныхъколичествахъ въ толщахъ Юрской почвы, и количество ихъ добываемое ежегодно составляетъ больше половины всей производительности желѣзныхъ рудниковъ Великобританіи.

Испанскія руды, особенно изъ провинціи Бискайя (Бильбао, Сомморостро), благодаря высокому содержанію въ нихъ желѣза, присутствію нѣкоторыхъ количествъ марганца и отсутствію фосфора пріобрѣли въ теченіи 70-хъ годовъ большое значеніе для желѣзной промышленности. Значительныя ихъ количества проплавляются и на нѣмецкихъ, французскихъ и англійскихъ заводахъ.

Примѣры состава обыкновенныхъ бурыхъ желѣзняковъ.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Желѣза .	37,84	54,80	50,68	48,58	37,88	42,22	49,13	30,20	36,39	57,11	55,04
Марганца .	5,61	0,57	1,90	2,25	0,17	0,26	3,00	0,51	3,50	—	0,20
Кремнезема	3,43	8,80	8,68	13,08	33,38	17,93	9,35	21,93	17,95	3,30	7,02
Глинозема.	1,49	1,15	3,21	1,91	0,88	10,28	0,91	2,40	6,22	2,23	2,50
Извести .	11,79	0,50	—	—	0,32	1,82	0,15	0,60	0,40	1,53	0,34
Магнезіи .	0,63	0,02	—	—	—	слѣды	0,11	0,15	0,27	—	0,38
Сѣры. . .	неопр.	0,04	неопр.	неопр.	0,06	—	0,24	—	неопр.	0,12	слѣды
Фосфора .	неопр.	0,02	0,40	0,33	0,57	0,08	0,09	—	0,12	0,09	0,06
Воды. . .	неопр.	10,55	12,14	12,20	7,77	9,38	12,61	31,05	неопр.	10,77	10,71
Цинка . .	неопр.	—	—	—	—	—	—	неопр.	3,15	—	—
Свинца . .	неопр.	—	—	—	—	—	—	неопр.	0,07	—	—

1. Бурый желѣзнякъ изъ Тюрингенскихъ горъ; кромѣ приведенныхъ составныхъ частей содержитъ 0,95% барита и 0,052 окиси стронція. Проплавляется на заводѣ Königin Marienhütte. Изслѣдованъ Ледебуромъ.

2. Бурый желѣзнякъ изъ Бильбао (Stahl und Eisen 1882. S. 339).

3. Изъ рудниковъ близъ Зульцбаха въ Тюрингіи, проплавляется на заводѣ Maximiliansḧutte. (Stahl und Eisen 1882. S. 35.

4. Изъ Крумбахскихъ рудниковъ какъ 3.

5. Охристый бурый желѣзнякъ изъ Büchenberg'a на Гарцѣ (Preuss. Zeitschr. für Berg und Hüttenwesen 1886. S. 206).

6. Изъ рудника Tännichen близъ Эльбингерода на Гарцѣ (какъ 5).

7. Охристая стеклянная голова изъ Каринтійскаго Эрцберга (Verhandl. der k. k. Geologischen Reichsanstalt 1876. Band XXVI S. 49.

8. Руда изъ Neubenthen въ Силезіи (Perey-Wedding. Eisenhüttenkunde Abth. I. 338.

9. Рыхлая руда изъ Тарновица. Изслѣдована авторомъ.

10. Бурая стеклянная голова изъ комитата Gömör въ Венгріи; проплавляется на заводѣ Betler. (Av. Kerpely. Ungarns Eisensteine S. 32.

11. Желѣзная руда изъ Пенсильваніи (F. Kupelwieser. Das Hüttenwesen in den Verefnigten Staaten Nord Americas, Wien 1877).

НБ УДУНТ (ІПБТ)

е) Бобовыя и оолитовыя руды.

Руды эти встрѣчаются въ видѣ шариковъ, зернышекъ или даже почекъ, величина которыхъ измѣняется отъ величины булавочной головки до величины орѣха. Находятся онѣ иногда въ видѣ отдѣльныхъ зернышекъ, ничѣмъ не связанныхъ другъ съ другомъ, но чаще бываютъ соединены желѣзистою глиною или кварцемъ въ значительныя массы. Весьма мощныя отложенія этихъ рудъ встрѣчаются часто въ формаціяхъ тріаса и третичныхъ. Въ рудахъ этихъ почти всегда находится фосфоръ, содержаніе котораго часто бываетъ довольно значительно. Такъ какъ, однако, стоимость ихъ добычи обыкновенно очень невелика, то тамъ, гдѣ такія руды встрѣчаются, ими охотно пользуются для выплавки чугуна.

Бобовыя руды находятся въ Брейсгау, въ нѣкоторыхъ мѣстностяхъ Вюртемберга, въ отрогахъ Гарца (заводы Wilhelmshütte, Salzgitter и др.) и въ другихъ мѣстностяхъ. Въ значительныхъ размѣрахъ добыча ихъ производится близъ р. Пейне, и добытыя здѣсь руды проплавляются въ доменныхъ печахъ завода Ilsederhütte на р. Пейне.

Пласты рудъ достигаютъ здѣсь мощности 7—до 10 метровъ. Лежачій бокъ ихъ образуетъ глина.

Тамъ-же, гдѣ пласты эти не выходятъ на дневную поверхность и покрыты не одними наносами, висячій бокъ ихъ состоитъ изъ известковистаго мергеля, сами же руды состоятъ изъ почекъ и шариковъ окиси желѣза, связанныхъ между собою углекислою известью или глиною. Между зернами и желваками бурыхъ желѣзняковъ здѣсь равномѣрно распредѣлены зерна и ядра фосфорита, которыя бываютъ иногда микроскопически малы, а иногда и съ кулакъ величиною. Содержаніе въ послѣднихъ фосфора бываетъ отъ 10 до 12%. Такъ какъ отдѣлить фосфориты отъ рудъ можно лишь въ ограниченной степени, то среднее содержаніе фосфора въ послѣднихъ бываетъ довольно значительно, какъ это показываютъ приведенные ниже анализы.

Франція также богата бобовыми рудами (Franche Comtè, Berry, Champagne).

Къ оолитовымъ рудамъ относится также своеобразная мелкозернистая руда, обратившая на себя вниманіе лишь съ начала шестидесятыхъ годовъ и получившая названіе Minette. Начиная съ этого времени она сдѣлалась главнымъ или исключительно употребляемымъ матеріаломъ для многихъ доменныхъ заводовъ. Кромѣ водной окиси желѣза она нерѣдко содержитъ еще углекислую соль желѣза (углекислую закись его), вслѣдствіе разложенія которой она образовалась. Смотря по большему или меньшему количеству углекислаго желѣза, перешедшаго въ водную окись, цвѣтъ ея бываетъ зеленовато-сѣрымъ или коричневымъ, а также чернымъ или красноватымъ.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Она всегда почти богата фосфоромъ. Главныя залежи этой руды тянутся отъ Нанси черезъ Эльзасъ-Лотарингію, Люксембургъ до Лонгви (Longwy) во Франціи и Атуса (Attus) въ Бельгіи. Въ нѣкоторыхъ мѣстностяхъ, напримѣръ на границѣ Люксембурга, мощность залежей этой руды достигаетъ 20 метровъ. Руда эта, какъ было уже сказано выше, служитъ главнымъ матеріаломъ для огромнаго чугуноплавильнаго производства какъ Люксембурга такъ и Эльзасъ-Лотарингіи и прилежащихъ провинцій Франціи и Германіи.

Мелкозернистый бурый желѣзнякъ, встрѣчающійся въ толщахъ юрской почвы (въ Лейясѣ) имѣетъ большое значеніе для великобританской желѣзной промышленности. Онъ добывается вмѣстѣ съ упомянутыми глинистыми сферосидеритами въ Кливеландѣ, Нортгамптоншейрѣ, Линкольншейрѣ и др. мѣстностяхъ. Въ окрестностяхъ города Гофа въ Баваріи, въ Лейасѣ, встрѣчается подобный же мелкозернистый, глинистый, бурый желѣзнякъ, который проплавляется на различныхъ германскихъ заводахъ.

Примѣры химическаго состава этихъ рудъ.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Желѣза . . .	47,46	42,53	45,25	34,30	38,32	27,79	26,26	39,79	40,90	21,69
Марганца . .	0,54	0,38	5,03	2,88	1,70	5,58	3,42	0,48	неопр.	неопр.
Кремнекислоты	7,90	13,90	4,35	9,31	10,37	4,91	5,12	8,70	16,63	14,71
Глинозема . .	8,50	10,25	3,54	5,60	7,32	0,74	0,93	6,21	4,95	3,88
Извести . . .	2,80	0,85	4,69	6,36	0,24	17,82	20,67	6,25	5,59	21,25
Магнезіи . . .	0,80	0,59	—	0,37	слѣды.	—	слѣды	1,47	0,49	0,30
Сѣры	неопр.	неопр.	неопр.	неопр.	неопр.	неопр.	неопр.	неопр.	0,10	0,05
Фосфора . . .	0,98	0,41	1,53	1,30	1,91	1,00	0,88	0,74	1,13	0,48
Воды химич. .	10,30	неопр.	11,73	11,57	9,60	19,41	21,80	8,20	11,78	9,81
Углекислоты .	—	—	—					5,76	4,25	18,89
Ванадіев. кисл.	0,10	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Мышьяк. кисл.	0,10	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Гидроскопическ. влажности .	—	—	—	—	—	7,05	7,00	—	—	—

1. Бобовая руда изъ рудника Eschwege близъ Gebhardshagen'a въ Брауншвейгѣ (Percy-Wedding, Eisenhüttenkunde, Abth. I. S. 360).

2. Руда изъ толщъ Лейяса добываемая близъ Hof'a. Проправляется на заводѣ Königin-Marienhütte. Изслѣдована въ лабораторіи автора.

3. Глинистая руда изъ Adenstedt'a близъ р. Peine, преплавляется въ доменныхъ печехъ завода Ilsede. Анализъ автора.

4. Такая-же руда какъ и 3 только изъ другаго мѣсторожденія. Изслѣдована въ Ilsede, откуда и сообщенъ анализъ.

5. Глинистая руда изъ Adenstedt'a близъ р. Peine; проплавляется на заводѣ Ilsede. Анализъ сообщенъ.

6. Известковистый бурый желѣзнякъ изъ Bülten'a, близъ р. Peine какъ 5.

7. Бѣлая известковистая руда изъ Bülten'a, близь р. Peine какъ 5.

8. Зеленоватая minette изъ Moyeuvre. Анализъ автора.

9. Красная minette изъ Belvaux (Dürre Anlage und Betrieb der Eisenhütten. Band I. § 75).

10. Бурая minette. Рудникъ von der Heydt близъ Redange (Düre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten. Тамъ-же, стр. 75.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

d. Дерновыя (луговыя) руды.

Руды эти предтавляютъ собою отложенія изъ воды болотистыхъ низменностей. Отложенія ихъ тянутся часто на значительное протяженіе, но рѣдко имѣютъ большую мощность. Иногда онѣ имѣютъ землистое сложеніе, иногда же встрѣчаются въ видѣ твердыхъ кусковъ. Въ первомъ случаѣ цвѣтъ ихъ свѣтло-бурый до черно-бураго. Дерновыя руды встрѣчаются въ большомъ количествѣ по всей сѣверогерманской низменности отъ Голландіи до границы Россіи, а также и въ другихъ странахъ, какъ напр. въ Россіи, въ Канадѣ, Пенсильваніи и др. Для желѣзной промышленности онѣ имѣютъ значеніе главнымъ образомъ благодаря своей дешевизнѣ. Такъ какъ онѣ встрѣчаются непосредственно близъ поверхности земли и рѣдко имѣютъ мощность больше 0,5 метра, а гораздо чаще значительно меньшую, причемъ обыкновенно распространяются на большую площадь, то добыча ихъ производится безъ помощи собственно горныхъ работъ. Ихъ добываютъ киркой и лопатой, послѣ чего вынутая земля снова сваливается въ образовавшуюся яму и нерѣдко тамъ, гдѣ въ одномъ году трудились рабочіе чугуноплавильнаго завода, добывая для него металлоносную руду, работаетъ земледѣлецъ, и бороздя плугомъ землю, приготовляетъ ее для посѣва. Послѣ такой выемки рудъ очень часто земледѣлецъ получаетъ болѣе богатую жатву, благодаря удаленію изъ почвы плотнаго и непроницаемаго слоя руды.

Дерновыя руды заключаютъ въ себѣ обыкновенно значительныя количества вкрапленныхъ въ нихъ зернышекъ кварца, что дѣлаетъ ихъ болѣе пригодными для полученія болѣе кремнистыхъ сортовъ чугуна (сѣрый чугунъ), чѣмъ малокремнистыхъ (бѣлый чугунъ). Почти никогда не встрѣчаютъ дерновыхъ рудъ, которыя бы не содержали вивіанита (фосфорно-кислое желѣзо), благодаря присутствію котораго въ рудѣ нерѣдко содержатся весьма значительныя количества фосфора, что дѣлаетъ ее непригодною для извѣстныхъ цѣлей. Эти фосфорнокислыя соли въ нѣкоторыхъ дерновыхъ рудахъ встрѣчаются въ видѣ бѣловатыхъ желваковъ, достигающихъ величины кулака. Иногда ядра эти пластичны, какъ глина. При лежаніи на воздухѣ они дѣлаются голубыми. Выбирая ихъ изъ руды при ея добычѣ, а также послѣ добычи, можно уменьшить въ ней содержаніе фосфора. По своему происхожденію съ дерновыми рудами сходны р у д ы-о з е р н ы я, форма которыхъ однако напоминаетъ форму бобовыхъ рудъ. Руды эти встрѣчаются на днѣ озеръ Швеціи, Финляндіи и С.-З. Россіи и проплавляются на заводахъ этихъ странъ. Они имѣютъ форму зеренъ, величиною отъ просяного зерна до орѣха, обыкновенно приплюснутыхъ, подобно бобовому зерну. Со дна озеръ ихъ добываютъ черпаками.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Примѣры состава такихъ рудъ.

	1	2	3	4	5	6	7	8
Желѣза . . .	48,12	36,79	47,34	50,28	54.37	35,60	44,25	53,10
Марганца . .	0,21	слѣды	1,67	—	0.22	1,74	1,74	0,55
Кремнезема .	7,22	14,32	11,22	4,65	5,40	25,70	13,60	7,05
Глинозема . .	0,93	—	1,91	—	—	2,47	1,86	1,76
Извести. . .	слѣды	—	1,56	0,54	—	2,45	0,13	2,95
Магнезіи . .	слѣды	—	0,22	0,08	—			0,08
Сѣры. . . .	неопред.	неопред.	неопред.	неопред.	—	—	—	0,01
Фосфора . .	1,01	1,13	0,94	0,47	0,89	0,37	0,07	0,29
Воды. . . .	21,22	19,16	13,16	21,79	17,29	15,70	17,7	10,83

1. Дерновая руда изъ Elsterwerd'a. Анализъ автора.
2. Дерновая руда изъ Wittenberg'a. Какъ 1.
3. Голландская дерновая руда. Проплавляется на заводѣ Friedrich-Wilhelmshütte близъ Mühlheim'a на р. Руръ.
4. Бельгійская дерновая руда, какъ 3.
5. Дерновая руда изъ окрестностей Quebeck'a (Kupelwieser, das Eisenhüttenwesen der Vereinigten Staaten).
6. Дерновая руда изъ Волынской губерніи, Новоградволынскаго уѣзда. Анализъ автора.
7. Озерная руда изъ Финляндіи: Анализъ сдѣланъ въ лабораторіи автора.
8. Озерная руда изъ Smäland, изслѣдованная Svanberg'омъ. (Karsten. Handbuch der Eisenhüttenkunde II, 48).

Д. Красные желѣзняки.

Руды эти, состоящія изъ окиси желѣза, отличаются отъ всѣхъ описанныхъ до сихъ поръ рудъ своимъ высокимъ содержаніемъ желѣза, если, только, конечно, не заключаютъ въ себѣ значительныхъ количествъ постороннихъ тѣлъ; онѣ не содержатъ ни углекислоты, характеризующей шпатоватые желѣзняки, ни воды, свойственной бурымъ желѣзнякамъ. Цвѣтъ ихъ красный до черновато-краснаго. Черта красная.

По внѣшнему виду различаютъ: желѣзный блескъ въ ромбоэдрическихъ кристаллахъ, желѣзно-чернаго до сѣраго цвѣта; желѣзную слюдку и желѣзную сметану, которыя нужно считать за тонко-скорлуповатыя и мелко-чешуйчатыя разновидности желѣзнаго блеска; красную стеклянную голову (лучистый красный желѣзнякъ), почкообразной, гроздеобразной и сталактитообразной формы съ лучистымъ сложеніемъ, похожую на бурую стеклянную голову, только краснаго цвѣта. Обыкновенный землистый или плотный красный желѣзнякъ, не имѣющій опредѣленной формы; оолитовый красный желѣзнякъ, схожій по своей формѣ съ оолитовыми бурыми желѣзняками и т. д.

Красный желѣзнякъ встрѣчается въ видѣ жилъ, штоковъ, а также и въ видѣ пластовъ. Мощныя мѣсторожденія его образуютъ пластообразныя залежи между тальковыми и хлоритовыми сланцами, кварцитами и яшмами азойскихъ обра-

НБ УДУНТ (ІПБТ)

зованій: Плотные красные желѣзняки залегаютъ обыкновенно между известняками и діабазами. Нѣкоторыя изъ этихъ мѣсторожденій пользуются громкой извѣстностью: такъ напримѣръ, красные желѣзняки (желѣзный блескъ) острова Эльбы, которыми уже въ древности пользовались для полученія желѣза; красные желѣзняки озера Верхняго (Lake Superior) въ штатахъ Мичиганъ и Висконсинъ; мѣсторожденія Кумберланда и Сѣвернаго-Ланкашейра и т. д. Въ Германіи красные желѣзняки находятся преимущественно въ бассейнѣ рѣки Ланъ. Менѣе важное значеніе имѣютъ мѣсторожденія въ Эйфелѣ, нѣкоторыхъ мѣстностяхъ Вестфаліи, на Гарцѣ, въ Тюрингенскомъ лѣсу и въ Рудномъ кряжѣ. Оолитовые красные желѣзняки добываются и въ Бельгіи. Испанія также богата превосходными красными желѣзняками, которые подобно уже упомянутымъ бурымъ желѣзнякамъ проплавляются на многихъ заводахъ Англіи, Бельгіи, Франціи и Германіи.

Въ общемъ красные желѣзняки не встрѣчаются въ такихъ количествахъ, какъ бурые, но тамъ, гдѣ они имѣются, они образуютъ весьма цѣнный матеріалъ для полученія желѣза. Выше было упомянуто, что содержаніе въ нихъ желѣза высоко, если только не уменьшено значительною примѣсью постороннихъ тѣлъ. Поэтому болѣе чистыя разновидности ихъ (желѣзный блескъ стекляная голова) можно перевозить на большія разстоянія, чѣмъ руды съ малымъ содержаніемъ желѣза, на которыя расходы по перевозкѣ ложатся тяжелѣе; содержаніе фосфора во многихъ красныхъ желѣзнякахъ не велико, вслѣдствіе чего эти руды преимущественно пригодны для полученія чистыхъ, съ малымъ содержаніемъ фосфора, сортовъ чугуна. Правда, нѣкоторыя, въ общемъ все-таки очень хорошія руды, бываютъ проникнуты апатитомъ и слѣдовательно, содержатъ фосфоръ; точно также нѣкоторыя землистыя и плотныя, въ особенности же оолитовыя руды, содержатъ въ себѣ такія количества фосфора, что полученіе свободнаго отъ фосфора чугуна изъ нихъ было-бы невозможно Однако, несмотря на все это, среднее содержаніе фосфора въ красныхъ желѣзнякахъ значительно меньше, чѣмъ въ бурыхъ. Въ особенности это замѣтно, если выразить содержаніе фосфора не въ процентахъ вѣса руды, а въ процентахъ содержащагося въ рудѣ желѣза, что въ сущности только имѣетъ значеніе въ данномъ случаѣ. Такое значительное содержаніе фосфора, какое мы почти всегда встрѣчаемъ въ болѣе новыхъ бурыхъ желѣзнякахъ (бобовыя руды, minette, дерновыя руды), въ красныхъ желѣзнякахъ бываетъ только въ видѣ исключенія.

Напротивъ, нерѣдко встрѣчается сѣрный колчеданъ; многіе красные желѣзняки содержатъ вкрапленные кристаллы кварца, большей или меньшей величины, и въ этомъ случаѣ

НБ УДУНТ (ІПБТ)

особенно пригодны для полученія сѣраго чугуна. Содержаніе марганца въ красныхъ желѣзнякахъ рѣдко бываетъ значительно. Руда, залегающая въ известнякѣ, содержитъ нерѣдко значительныя количества углекислой извести.

Нѣкоторые красные желѣзняки содержатъ еще титановую кислоту.

Красные желѣзняки, даже въ самыхъ плотныхъ своихъ видоизмѣненіяхъ, возстановляются легко, хотя обыкновенно принимаютъ, что они менѣе легко возстановимы, чѣмъ бурые желѣзняки.

Примѣры состава красныхъ желѣзняковъ.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Желѣза . .	68,92	62,91	66,22	62,54	38,64	42,04	27,95	31,38	39,07
Марганца .	—	слѣды	—	1,93	0,10	0,89	0,13	0,19	5,46
Кремезема.	1,53	5,89	2,60	3,80	17,80	23,88	7,19	0,87	28,10
Глинозема.	—	1,39	—	1,71	7,58	9,28	1,12	0,06	2,58
Извести . .	—	0,70	0,60	—	8,10	—	21,91	29,95	0,62
Магнезіи. .	—	0,42	0,30	0,50	0,82	—	0,67	0,35	слѣды
Сѣры	—	0,05	—	0,02	слѣды	не опр.	не опр.	—	не опр.
Фосфора . .	—	0,11	—	0,04	0,19	0,21	0,15	0,09	не опр.
Тит. кисл. .	—	—	0,20	—	—	—	—	—	—
Мѣди	—	—	—	0,07	слѣды	—	—	—	—
							CO_2,HO_2	CO_2	
Потеря отъ прокалив.	—	—	1,60	2,23	9,92	4,42	23,68	23,16	—

1. Красная стеклянная голова изъ Кумберланда (Cumberland). Изслѣдована въ лабораторіи автора.

2. Плотный красный желѣзнякъ съ Верхняго Озера. Средняя проба (Wedding, Das Hüttenwesen in den Vereinigten Staaten von Nordamerica, S. 14).

3. Сѣверо-африканская руда изъ провинціи Constantine (Fr. Kupelwieser, Oesterr Ausstellungsbericht, 1879, S. 10.

4. Сѣверо-африканская руда, т.-называемая, Mokta (Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Band I, S. 45).

5. Красный желѣзнякъ изъ Нассау. Проплавлялся прежде на заводѣ Friedrich-Wilhelmshütte. Личное сообщеніе.

6. Красный желѣзнякъ изъ Нассау; проплавляется на заводѣ Gutehoffnungshütte близъ Oberhausen'a (Dürre, Anlage u. s. w., S. 33).

7. Руда, содержащая известковый шпатъ изъ рудника Христіанъ въ Вестфаліи (Dürre, Anlage u. s. w. S. 34).

8. Красный желѣзнякъ изъ рудника Іоганъ близъ Elbingerode, на Гарцѣ. Анализъ сдѣланъ въ лабораторіи Берлинской Горной Академіи (Zeitschr. f. Berg, Hütten-und Salinenwesen, 1868. S. 206).

9. Красный желѣзнякъ изъ Рудныхъ горъ. Анализъ автора.

Е. Магнитные желѣзняки.

Руды эти состоятъ изъ магнитной окиси желѣза съ различными отношеніями между закисью и окисью, такъ что иногда только составъ ихъ соотвѣтствуетъ формулѣ Fe_3O_4. Цвѣтъ ихъ черный до зеленовато чернаго, черта—черная. Извѣстно что онѣ обладаютъ магнитными свойствами.

НБ УДУНТ (ПБТ)

Магнитные желѣзняки кристализуются въ формахъ правильной системы, но встрѣчаются обыкновенно въ видѣ аморфныхъ зернистыхъ или плотныхъ массъ, иногда же, по берегамъ водовмѣстилищъ въ видѣ песка. Въ видѣ пластовъ, флецовъ и штоковъ магнитный желѣзнякъ встрѣчается среди породъ гнейсоваго отдѣла, и слюдяныхъ сланцовъ, часто въ непосредственномъ сосѣдствѣ съ красными желѣзняками. Вообще магнитные желѣзняки встрѣчаются рѣже, чѣмъ всѣ описанныя до сихъ поръ руды, не исключая и красныхъ желѣзняковъ, но нѣкоторыя мѣсторожденія ихъ, благодаря своимъ необычайнымъ размѣрамъ, имѣютъ большое значеніе и пользуются широкой извѣстностью.

Наиболѣе богатыя мѣсторожденія этой руды находятся на Скандинавскомъ полуостровѣ, на Уралѣ, а также въ Соединенныхъ Штатахъ Сѣверной Америки, близъ озера Чемпленскаго (шт. Нью-Іоркъ) въ Пенсильваніи и въ другихъ мѣстностяхъ. Извѣстное значеніе имѣютъ также нѣкоторыя мѣсторожденія Венгріи и Саксонскихъ Рудныхъ горъ.

На Гарцѣ, въ Тюрингенскомъ лѣсу и въ Силезіи также производится добыча магнитныхъ желѣзняковъ, хотя и въ меньшихъ размѣрахъ. Сѣверная Африка, кромѣ красныхъ и бурыхъ желѣзняковъ, доставляетъ также великолѣпные магнитные желѣзняки. На Корсикѣ и въ Сардиніи также добываются магнитные желѣзняки. Великобританія, напротивъ того, не богата этими рудами.

Изъ всѣхъ желѣзныхъ рудъ чистый магнитный желѣзнякъ заключаетъ, благодаря своему химическому составу, самое большое количество желѣза.

Нужно однако замѣтить, что почти совершенно чистыя руды встрѣчаются среди магнитныхъ желѣзняковъ рѣже, чѣмъ среди красныхъ желѣзняковъ.

Поэтому въ магнитныхъ желѣзнякахъ только въ рѣдкихъ случаяхъ содержатся большія количества желѣза, чѣмъ въ нѣкоторыхъ сортахъ желѣзнаго блеска, стеклянной головы, и т. д.

На германскихъ заводахъ часто употребляютъ шведскіе и норвежскіе магнитные желѣзняки, въ видѣ примѣси къ своимъ собственнымъ убогимъ желѣзнымъ рудамъ, ради увеличенія содержанія желѣза въ шихтѣ. Содержаніе фосфора въ магнитныхъ желѣзнякахъ весьма часто крайне мало, хотя нѣкоторые желѣзняки являются менѣе чистыми, благодаря проросшему ихъ апатиту. По этой причинѣ магнитный желѣзнякъ является особенно цѣннымъ матеріаломъ для полученія бѣдныхъ фосфоромъ сортовъ чугуна. Шведское желѣзо, славящееся своими высокими качествами и получае-

НБ УДУНТ (ІПБТ)

мое большею частью изъ чугуна выплавленныхъ изъ магнитныхъ желѣзняковъ, обязано своей извѣстностью прежде всего низкому содержанію въ немъ фосфора. Нѣкоторые магнитные желѣзняки являются проросшими кварцемъ, другіе же содержатъ значительныя количества известковаго шпата. Часто въ рудахъ находятся довольно замѣтныя количества сѣрнаго, мѣднаго и мышьяковаго колчедановъ. Другими часто встрѣчающимися спутниками магнитныхъ желѣзняковъ являются: роговая обманка, хлоритъ, гранатъ, цинковая обманка, свинцовый блескъ.

Для нѣкоторыхъ, особенно скандинавскихъ и сѣверноамериканскихъ рудъ, характерно содержаніе титановой кислоты, которая встрѣчается въ нихъ въ большихъ количествахъ, чѣмъ въ красныхъ желѣзнякахъ и содержаніе которой достигаетъ иногда 10%. Въ этомъ случаѣ оно затрудняетъ пользованіе рудою, такъ какъ уменьшаетъ легкоплавкость образующагося шлака. Но на ряду съ указанными превосходными свойствами магнитныхъ желѣзняковъ они обладаютъ качествомъ, затрудняющимъ ихъ переработку: они трудно возстановимы.

Изъ всѣхъ до сихъ поръ описанныхъ рудъ магнитный желѣзнякъ возстановляется всего труднѣе. Подвергая его обжиганію въ окислительной атмосферѣ, можно сдѣлать его болѣе легко возстановимымъ. Отсюда явилось правило: проплавлять магнитные желѣзняки не иначе какъ въ обожженномъ состояніи.

Примѣры состава.

	1	2	3	4	5	6	7	8
Желѣза	66,22	59,57	44,26	63,73	55,67	45,34	48,35	52,96
Марганца. . . .	0,76	0,12	5,76	0,26	0,16	0,11	0,10	—
Кремнезема . .	10,14	12,44	1,75	6,48	9,70	32,66	30,05	9,80
Глинозема . . .	0,37	0,33	0,20	1,35	2,25	0,13	1,70	9,48
Извести	0,43	1,08	3,80	0,75	5,79	0,48	0,65	1,46
Магнезіи. . . .	0,29	0,57	7,53	2,14	1,38	0,28	—	0,72
Сѣры	0,05	0,02	не опр.	не опр.	0,27	—	0,01	0,06
Фосфора. . . .	0,01	0,18	слѣды	0,02	0,02	0,01	0,04	0,23
Титановой кисл.	0,57	—	—	—	—	—	—	0,23
Углекис. и Воды.	—	—	18,72	—	—	2,73	—	—

1. Изъ рудника Lugnasgrufva близъ Carlsstadt'a въ Швеціи. Анализъ Лундштрома (Lundstrom Jernktorets Annaler 1875, S. 356).

2. Изъ рудника Danielgrufva въ Grängesberg. Какъ 1.

3. Магнитный желѣзнякъ изъ Norberga въ Швеціи, изслѣдованъ въ лабораторіи автора.

4. Магнитный желѣзнякъ изъ Taberg'a. Какъ 3.

5. Магнитный желѣзнякъ изъ Berggiesshübel близъ Пирны. Изслѣдованъ въ лабораторіи автора.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

6. Изъ рудника Böddecker близъ Elbingerode на Гарцѣ. Изслѣдованъ въ лабораторіи Берлинской Горной академіи (Dürre, Anlage u. s. w. S. 15).

7. Съ береговъ Lake Champluin (Wedding, das Eisenhüttenwesen der Vereinigten Staaten von Nordamerica, S. 5).

8) Изъ штата Нью-Джерсей (New Jersey) Wedding, также стр. 6).

F. Богатые желѣзомъ побочные продукты другихъ процессовъ, употребляемые для выплавки чугуна.

Прежде всего сюда относятся богатые желѣзомъ шлаки, которые образуются при полученіи ковкаго желѣза, и которые будутъ подробнѣе разсмотрѣны въ третьей части этой книги. Такъ какъ въ нихъ содержится много желѣза, то ихъ снова проплавляютъ. Преимущественно употребляются шлаки пудлинговаго и сварочнаго производствъ, а въ тѣхъ мѣстностяхъ, гдѣ, благодаря дешевому древесному углю существуетъ еще кричный процессъ, можно съ такимъ же успѣхомъ проплавлять получающіеся при немъ шлаки.

Кое гдѣ пользуются старыми шлаковыми отвалами состоящими изъ кричныхъ и сыродутныхъ [1]) шлаковъ, каковые и проплавляются.

Всѣ эти шлаки содержатъ обыкновенно по крайней мѣрѣ 50% желѣза. Примѣры состава ихъ будутъ приведены въ третьей книгѣ этого сочиненія при разсмотрѣніи соотвѣтственныхъ процессовъ. Пудлинговые шлаки часто богаты фосфоромъ (2—4% и въ видѣ исключенія до 7%) и оттого особенно цѣнятся въ тѣхъ случаяхъ, когда нужно получить богатый фосфоромъ чугунъ (томасовскій), а въ распоряженіи не имѣется богатыхъ фосфоромъ рудъ. Менѣе богаты фосфоромъ шлаки сварочнаго производства и большая часть шлаковъ сыродутныхъ.

Проплавка шлаковъ въ доменной печи затрудняется ихъ трудновозстановимостью: они состоятъ изъ силикатовъ желѣза; заключающееся же въ нихъ желѣзо труднѣе поддается возстановительному дѣйствію плавки въ доменной печи чѣмъ желѣзо большинства рудъ. Обжиганіе, которое дѣлаетъ многія руды (шпатовые желѣзняки, сферосидериты, магнитные желѣзняки) болѣе легко возстановимыми, какъ это было уже упомянуто, на шлаки дѣйствуетъ очень мало.

Въ настоящее время для желѣзнаго производства не меньшее значеніе, чѣмъ эти шлаки, имѣютъ еще остатки,

---

[1]) Сыродутный способъ примѣнялся для полученія ковкаго желѣза непосредственно изъ рудъ. Теперь этотъ способъ почти совершенно исчезъ изъ употребленія.

НБ УДУНТ (ПБТ)

получающіеся при добываніи сѣрной кислоты изъ сѣрныхъ колчедановъ, такъ-называемыя purple-ore. Они содержатъ весьма большія количества желѣза (большею частью отъ 60 до 65%) и оттого особенно пригодны какъ примѣсь къ бѣднымъ рудамъ; содержаніе въ нихъ фосфора рѣдко бываетъ болѣе 0,01%, вслѣдствіе чего они въ особенности пригодны для полученія бѣднаго фосфоромъ чугуна (напр., бессемеровскаго чугуна).

Правда, остатки эти непосредственно, въ томъ видѣ въ какомъ они получаются въ обжигательныхъ печахъ заводовъ сѣрной кислоты, обыкновенно непригодны для плавки въ домнѣ. Они содержатъ еще значительныя количества сѣры (иногда больше 6%) и цинка (до 12%); это существенно затруднило бы ихъ проплавку, еслибы не сдѣлало ея невозможной. Кромѣ того въ нихъ содержатся еще другія составныя части (мѣдь, серебро, никкель), которыми желательно воспользоваться. Поэтому обожженные колчеданы подвергаютъ, иногда на заводѣ сѣрной кислоты, иногда и на чугуноплавильномъ заводѣ, еще особой обработкѣ. Ихъ измельчаютъ подъ бѣгунами, смѣшиваютъ съ поваренной солью, обжигаютъ и выщелачиваютъ, причемъ удаляется сѣра и переходятъ въ растворъ мѣдь, цинкъ, серебро и никкель. Изъ растворовъ процессами, описаніе которыхъ относится къ области металлургіи другихъ металловъ, выдѣляются мѣдь, серебро, не-значительныя количества золота, иногда никкель и кобальтъ. Очищенные же такимъ образомъ остатки отправляются на доменный заводъ. Желѣзо заключается въ нихъ послѣ этого исключительно въ видѣ окиси (Fe_2O_3).

Свинецъ, мышьякъ и сурьма, или по крайней мѣрѣ большая часть ихъ остается въ выщелоченныхъ остаткахъ и если количества ихъ значительны, могутъ понижать ихъ достоинства какъ матеріала для полученія чугуна [1]). Такъ какъ до хлорирующаго обжиганія остатки подвергаются измельченію подъ бѣгунами, то представляютъ собою рыхлый порошокъ, что затрудняетъ ихъ проплавку и дѣлаетъ невозможнымъ прибавленіе ихъ къ рудамъ въ значительныхъ количествахъ. Было много предложено способовъ устраненія этого неудобства; такъ напримѣръ, ихъ прессовали въ кирпичи, прибавляя иногда какого нибудь связующаго вещества (напр. патоку), но до сихъ поръ не удалось достигнуть сколько нибудь удовлетворительныхъ результатовъ. Стоимость подобной обработки остатковъ часто перевѣшиваетъ получаемыя выгоды.

[1]) Подробности: Stahl und Eisen 1884, S. 639.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Примѣры состава выщелоченныхъ остатковъ съ фабрикъ сѣрной кислоты.

	1	2	3	4
Желѣза	65,80	63,62	64,94	45,81
Марганца	Слѣды.	0,04	0,02	0,23
Кремнезема	1,66	4,67	2,77	7,77
Глинозема	не опред.	1,82	0,26	1,30
Извести	0,10	0,46	0,41	1,14
Магнезіи	слѣды.	0,12	0,07	0,48
Мѣди	0,02	0,04	0,17	0,05
Свинца	0,14	0,45	1,06	0,83
Цинка	0,03	0,24	0,25	10,59
Мышьяка	0,00	0,05	0,03	0,01
Сурьмы	0,02	0,06	0,04	0,01
Сѣры	0,67	0,55	0,47	6,40
Фосфора	0,01	0,01	0,01	0,01

1. Проплавляется на одномъ изъ рейнскихъ заводовъ. Анализъ автора.

2. Проплавляется на одномъ изъ верхнесилезскихъ заводовъ. Анализъ автора.

3. Проплавляется на одномъ изъ верхнесилезскихъ заводовъ Анализъ автора.

4. Дурнообожженные и выщелоченные колчеданы. Пріобрѣтены на одномъ изъ вестфальскихъ заводовъ, но не пущены въ плавку вслѣдствіе высокаго содержанія цинка и сѣры. Анализъ автора.

G. Марганцовыя руды.

Чистый марганцовый шпатъ ($MnCO_3$) и манганитъ ($H_2Mn_2O_4$) были бы весьма пригодны для полученія богатыхъ марганцемъ сортовъ чугуна, особенно въ обожженномъ состояніи. Но руды эти встрѣчаются сравнительно рѣдко. Въ гораздо большихъ количествахъ встрѣчаются руды содержащіе въ чистомъ видѣ MnO_2 (пиролюзитъ) и также содержащія перекись марганца, закись марганца и воду (вадъ); иногда руды эти сравнительно чистыя, иногда смѣшанные съ кремнеземомъ, известковымъ шпатомъ и окисью желѣза. Для полученія богатыхъ марганцемъ сплавовъ желѣза наиболѣе цѣнны такія руды, въ которыхъ содержатся наименьшія количества кремневой кислоты; значительное содержаніе желѣза въ рудѣ также не желательно, по весьма понятнымъ причинамъ.

Значительныя количества фосфора, который при плавкѣ переходитъ въ металлъ и уменьшаетъ его пригодность для цѣлей желѣзнаго производства, также сильно понижаютъ достоинства марганцовой руды.

Мѣсторожденія этихъ рудъ находятся въ Нассау, Венгріи, Испаніи, (Хуельва), на Кавказѣ, въ Канадѣ, Сардиніи и другихъ мѣстностяхъ.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Примѣры состава марганцовыхъ рудъ.

	1	2	3	4	5
Марганца	52,78	36,87	55,03	51,98	51,63
Желѣза	1,89	11,63	1,40	14,24	13,72
Кремнезема	6,20	15,15	8,30	2,15	0,87
Глинозема.	1,40	не опред.	не опред.	2,50	0,69
Извести	3,40	не опред.	не опред.	0,30	1,52
Сѣры	—	—	—	0,02	—
Фосфора	0,15	0,14	0,01	0,12	—

1. Пиролюзитъ изъ Huelva. Проплавляется на французскихъ и германскихъ заводахъ. (K e r p e l y, „Eisen und Stahl“ auf der Weltaustellung zu Paris im Jahre 1878, S. 75.

2. Марганцовая руда изъ Наccay (D ü r r e, Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Band I, S. 196).

3. Марганцовая руда изъ Канады. Какъ 2.

4. Венгерская марганцовая руда, проплавляется на заводѣ Oláhpatak (K e r p e l y, Ungarns Eisensteine, S. 42).

5. Венгерская марганцовая руда Эйзенбургскаго комитата (K e r p e l y, Ungarns Eisensteine, S. 42).

2. Ф л ю с ы.

Назначеніе флюсовъ—ошлаковать при плавкѣ смѣшанную съ рудою, такъ называемую „пустую породу“ т. е. постороннія примѣшанныя къ ней минеральныя вещества. Шлакъ, образующійся при этомъ, долженъ соотвѣтствовать своей температурой плавленія и химическимъ составомъ особенностямъ плавильнаго процесса. Въ другихъ, хотя и болѣе рѣдкихъ случаяхъ, назначеніе флюса - увеличить вообще количество получающагося шлака, играющаго при плавкѣ чугуна различныя роли. При переработкѣ чугуна также нерѣдко употребляются флюсы, чтобы получить шлаки такого состава, который отвѣчалъ бы особенностямъ процесса (переплавка чугуна въ вагранкахъ, процессъ Томаса и т. д.),

Отсюда уже заранѣе можно заключить, что выборъ флюса зависитъ не только отъ характера плавильнаго процесса, но при плавкѣ рудъ также и главнымъ образомъ отъ состава имѣющихся въ распоряженіи рудъ.

Къ рудѣ богатой кремневой кислотой или глиноземомъ нужно прибавлять флюсы, содержащіе известь или магнезію. Этотъ случай встрѣчается всего чаще и по крайней мѣрѣ 90% всѣхъ чугуноплавильныхъ заводовъ принуждены употреблять подобные флюсы.

Въ этомъ случаѣ обыкновенно употребляютъ и з в е с т н я к ъ или, если желаютъ увеличить содержаніе магнезіи, а также и тогда, когда этого требуетъ экономическія соображенія—д о л о м и т ъ. При переработкѣ чугуна также часто употребляютъ известнякъ (иногда въ обожженномъ состояніи въ видѣ извести).

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Большое распространеніе известняковъ въ природѣ, позволяющее добывать эту породу въ большинствѣ мѣстностей въ большихъ количествахъ и по дешевой цѣнѣ, не мало облегчаетъ развитіе чугуноплавильнаго производства. Если принять въ соображеніе, что къ нѣкоторымъ рудамъ требуется иногда прибавлять свыше 40% по вѣсу известняка, то не трудно понять, что цѣна флюса весьма значительно вліяетъ на стоимость полученія чугуна.

Известнякъ (углекислый кальціи $CaCO_3$) содержитъ въ совершенно чистомъ состояніи 56 частей по вѣсу извести и 44 части по вѣсу углекислоты; поэтому чтобы прибавить къ рудамъ 100 частей извести нужно употребить 178,6 вѣсовыхъ частей углекислой извести. Выше было упомянуто, что известнякъ служитъ главнымъ образомъ для ошлакованія кремневой кислоты, или вѣрнѣе, для образованія извѣстнаго отношенія между кремневой кислотой и основаніями. Поэтому известнякъ имѣетъ тѣмъ меньшую цѣнность, какъ флюсъ, чѣмъ большія количества кремнекислоты онъ содержитъ самъ. Очевидно, что содержаніе въ немъ кремневой кислоты не только уменьшаетъ содержаніе полезной его составной части, но и что принесенная имъ кремнекислота въ свою очередь связываетъ соотвѣтственное количество содержащейся въ немъ извести, понижая такимъ образомъ способность флюса насыщать собою кремнеземъ. Известняки, содержащіе окаменѣлости, иногда содержатъ значительныя количества фосфорной кислоты, почему въ тѣхъ случаяхъ, когда требуется получить свободные отъ фосфора сорта чугуна ихъ можно употреблять лишь съ осторожностью.

Еще богаче фосфорной кислотой, а также и кремнеземомъ такъ называемой известковой туфъ.

Нѣкоторые известняки содержатъ сѣрный и мѣдный колчеданъ, свинцовый блескъ, галмей, гипсъ; другіе—содержатъ желѣзо и представляютъ уже упомянутые переходы къ желѣзнымъ рудамъ, если только другіе ихъ составныя части не дѣлаютъ ихъ употребленіе для выплавки чугуна невозможнымъ.

Наиболѣе цѣннымъ матеріаломъ для доменнаго производства является кристаллически зернистый известнякъ (мраморъ) такъ какъ вообще онъ отличается наибольшимъ содержаніемъ извести и наименьшимъ вредныхъ составныхъ частей.

Тамъ гдѣ его нельзя получить по достаточно дешевой цѣнѣ, въ видѣ флюса употребляютъ возможно чистый плотный известнякъ, который однако иногда содержитъ фосфоръ, отъ заключающихся въ немъ остатковъ животныхъ, а также нерѣдко бываетъ сильно загрязненъ глиной или пескомъ. Въ нѣкоторыхъ мѣстностяхъ въ видѣ флюса упо-

УДУНТ (ПБТ)

требляютъ также оолитовый известнякъ, который однако также содержитъ фосфоръ. Не такъ часто употребляютъ мѣлъ, частью потому что нахожденіе его ограничено извѣстными мѣстностями (Дувръ, Рюгенъ), частью же вслѣдствіе заключающихся въ немъ желваковъ кремнія и пропластковъ глины.

Чистый мѣловой известнякъ употребляемый какъ флюсъ доставляется на различные англійскіе заводы изъ окрестностей Дувра [1]).

Доломитъ, употребляющій въ упомянутыхъ выше случаяхъ состоитъ въ чистомъ видѣ изъ углекислыхъ солей извести и магнезіи, въ отношеніяхъ не всегда одинаковыхъ; въ среднемъ же приблизительно онъ состоитъ изъ 60 частей углекислой извести и 40 ч. углекислой магнезіи. Онъ бываетъ или зернистымъ или плотнымъ. Нѣкоторые доломиты изъ вредныхъ примѣсей содержатъ значительныя количества кремнекислоты. Цинковая обманка, мышьяковый и сѣрный колчеданы также встрѣчаются въ нихъ не рѣдко.

Примѣры состава известняковъ и доломитовъ, служащихъ флюсами.

	1	2	3	4	5	6	7
Извести	51,85	52,58	52,33	33,21	26,65	29,06	33,64
Магнезіи . . .	—	1,58	1,86	16,00	16,48	11,34	0,70
Желѣза	слѣды	0,51	—	0,77	3,42	0,26	16,32
Марганца . . .	—	—	—	—	слѣды	—	2,82
Глинозема . . .	—	0,12	0,75	4,70	слѣды	0,71	0,63
Кремнезема . .	2,10	0,17	2,10	2,40	11,00	1,54	1,92
Фосфора . . .	—	—	0,01	неопр.	—	—	—
Сѣры	слѣды	слѣды	0,11	неопр.	неопр.	неопр.	неопр.
Углекислоты . .	40,75	43,06	42,89	неопр.	41,17	неопр.	неопр.

1. Кристаллическій известнякъ изъ окрестностей Мейсена. Употребляется какъ флюсъ на заводѣ Gröditz. Анализъ автора.

2. Венгерскій кристаллическій известнякъ. Употребляется на заводѣ Krompach. Анализъ автора.

3. Известнякъ изъ Лимбурга съ рѣки Lenne, употребляется на заводѣ Dortmunder Union. (Dürre Anlage und Betrieb der Eisenhütten. Band I, § 189).

4. Доломитовый известнякъ изъ Эйфеля, употребляется на заводѣ Jünkerath. (Dürre Anlage u. s. w. § 191).

5. Доломитовый известнякъ изъ Острау въ Силезіи. Употребляется на заводѣ Gröditz. Анализъ автора.

6. Доломитовый известнякъ изъ Grimmitschau. Употребляется на заводѣ Königin-Marienhütte. Анализъ автора.

7. Желѣзо содержащій известнякъ изъ Тюрингенскаго лѣса. Содержитъ еще 1,15% барита какъ 6.

Иногда, хотя въ видѣ исключенія, вмѣсто известняковъ или вмѣстѣ съ ними употребляютъ плавиковый шпатъ. Выше уже было упомянуто, что прибавляя къ шлаку плави-

[1]) Perey-Wedding, Handbuch der Eisenhüttenkunde Abth. II, § 544; Preuss. Zeitschrift f. Berg-Hütten und Salinenwekn. 1866, § 299.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

коваго шпата, можно понизить температуру его плавленія, слѣдовательно тамъ, гдѣ это нужно онъ является весьма удобнымъ средствомъ.

Для регулярнаго употребленія однако онъ не годится по двумъ причинамъ: во первыхъ вслѣдствіе своей высокой стоимости, во вторыхъ вслѣдствіе сильнаго разъѣданія стѣнъ шлаками, его содержащими.

Нѣкоторыя руды впрочемъ, въ особенности шпатоватые желѣзняки, содержатъ плавиковый шпатъ какъ естественную примѣсь. Плавиковый шпатъ переходитъ въ шлакъ, почему руды эти обладаютъ свойствомъ давать легкоплавкіе, жидкіе шлаки.

Если приходится проплавлять руды съ большимъ содержаніемъ извести или магнезіи, если слѣдовательно не достаетъ кремнекислоты и глинозема, то флюсомъ можетъ служить глинистый сланецъ, который заключаетъ въ себѣ оба эти тѣла. За средній составъ глинистаго сланца, можно принять слѣдующій.

Кремнекисл.	Глинозема.	Закиси и окиси желѣза.	Магнезіи и извести.	Щелочей, воды углекисл.
60	19	8	3	10

Еще рѣже употребляютъ габбро, діабазъ и гранитъ съ цѣлью увеличить содержаніе кремнекислоты и, въ меньшихъ размѣрахъ — глинозема. За средній составъ этихъ породъ можно принять слѣдующій:

	Кремнекис.	Глинозема.	Закиси и окиси желѣза.	магнезіи и извести.	Щелочей и т. д.
Габбро	50	15	15	10	10
Діабазъ	50	16	13	10	11
Гранитъ . . .	72	16	2	2	8

Чѣмъ болѣе улучшаются пути сообщенія какой либо страны, тѣмъ легче можно получать руды богатые кремнеземомъ, наряду съ основными рудами, и смѣшивая ихъ между собою, получать шихту подходящаго состава, избѣгая такимъ образомъ употребленія особыхъ, богатыхъ кремнеземомъ, породъ.

3. Подготовка рудъ къ плавкѣ [1]).

А. Измельченіе.

Для успѣшнаго хода плавки желательно, чтобы руды и флюсы находились въ видѣ кусковъ извѣстной величины, зависящей отъ самаго плавильнаго процесса, а въ особенности же отъ высоты плавильной печи.

---

[1]) Механическая подготовка рудъ относящаяся къ обогащенію рудъ можетъ быть разсмотрѣна здѣсь лишь самымъ поверхностнымъ образомъ. Подробности читатель можетъ найти въ сочиненіяхъ посвященныхъ обогащенію рудъ, указанныхъ въ „литературѣ“.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Чѣмъ меньше отдѣльные куски, тѣмъ больше отношеніе ихъ поверхности къ объему, тѣмъ выгоднѣе будетъ передача имъ теплоты, тѣмъ доступнѣе руды дѣйствію возстановительныхъ реагентовъ. Съ этой точки зрѣнія нельзя отрицать, что возможно сильное измельченіе рудъ и флюсовъ можетъ принести пользу и дать сбереженіе въ горючемъ и возстановляющемъ матеріалѣ.

Однако, съ другой стороны, при плавкѣ рудъ въ шахтныхъ печахъ, чаще всего примѣняемыхъ для этой цѣли, образующіеся въ печи газы должны проходить между кусками рудъ, флюсовъ и твердаго горючаго матеріала, при чемъ они встрѣчаютъ на своемъ пути тѣмъ больше сопротивленій. чѣмъ плотнѣе лежатъ куски рудъ, флюсовъ и горючаго матеріала, т. е. чѣмъ они мельче. Даже въ томъ случаѣ, когда мы пожелали бы преодолѣть эти увеличившіяся сопротивленія, затрачивая большую механическую работу, т. е.—примѣняя сильную воздуходувную машину — даже и въ этомъ случаѣ мы не достигли бы нашей цѣли, такъ какъ съ увеличеніемъ сопротивленія увеличивается и неравномѣрность въ движеніи газовъ.

Изъ сказаннаго слѣдуетъ, что слишкомъ сильное измельченіе рудъ и флюсовъ, является нераціональнымъ.

Правильный ходъ плавки претерпѣвалъ бы наименьшія колебанія въ томъ случаѣ, еслибы было возможно употреблять всѣ плавильные матеріалы въ кускахъ возможно одинаковой величины, зависящей отъ высоты печи. Въ низкихъ печахъ, которыя до сихъ поръ употребляются въ нѣкоторыхъ мѣстностяхъ для полученія ковкаго желѣза непосредственно изъ рудъ, наиболѣе удобными являются руды въ кускахъ величиною съ горошину или бобъ; въ низкихъ древесноугольныхъ доменныхъ печахъ наиболѣе выгодной величиною кусковъ обыкновенно считаютъ величину грецкаго орѣха, въ болѣе же высокихъ коксовыхъ доменныхъ печахъ куски величиною съ кулакъ удобнѣе, чѣмъ болѣе мелкіе.

Однако не всегда можно добиться, чтобы величина кусковъ плавильныхъ матеріаловъ соотвѣтствовала высотѣ плавильной печи, такъ какъ природа даетъ намъ многія руды (рыхлые, бурые желѣзняки, бобовыя руды и др.) въ кускахъ болѣе мелкихъ, чѣмъ это желательно, для обыкновенной плавки въ шахтныхъ печахъ. Было сдѣлано много попытокъ формовать такія руды въ куски большей величины, но ни одна изъ нихъ не дала удовлетворительныхъ результатовъ. Тамъ-же, гдѣ руды или флюсы добываются въ слишкомъ крупныхъ кускахъ, тамъ измельченіе ихъ передъ плавкой бываетъ необходимо или по крайней мѣрѣ раціонально.

Измельченіе это рѣдко производится ручной работой (помощью желѣзныхъ молотковъ), хотя способъ этотъ имѣетъ то преимущество, что при немъ можно отбирать пустую по-

НБ УДУНТ (ІПБТ)

роду или вредныя составныя части измельчаемаго матеріала. Способъ этотъ однако дорогъ и потребовалъ бы при хотя нѣсколько значительномъ размѣрѣ производства, значительнаго числа рабочихъ.

Приборы, которые употребляются для измельченія, бываютъ слѣдующія:

a. Толчея.

Три или четыре песта, двигающихся вертикально въ направляющихъ, поднимаются поочередно кулаками, падаютъ на находящіеся подъ ними куски руды и измельчаютъ ихъ.

Толчеи представляютъ собою наиболѣе старое [1]) и наименѣе совершенное устройство для измельченія, по крайней мѣрѣ по отношенію къ желѣзнымъ рудамъ, которыя можно измельчать лишь до извѣстной, не слишкомъ малой величины кусковъ. Поэтому на чугуноплавильныхъ заводахъ онѣ употребляются теперь лишь въ рѣдкихъ случаяхъ. Тогда какъ другія руды (свинцовыя и др.), которыя измельчаются въ болѣе сильной степени, подвергаются мокрому толченію, чтобы избѣжать ихъ распыливанія, желѣзныя руды, которыя вообще не должны давать пыли, толкутся въ сухомъ состояніи.

Недостатокъ толчей состоитъ въ томъ, что чѣмъ болѣе находящійся подъ пестомъ кусокъ руды, тѣмъ меньше высота паденія, и слѣдовательно и сила удара песта. Вслѣдствіе этого куски большой величины, которые могли бы вынести болѣе сильные удары, не превращаясь въ муку, получаютъ болѣе слабые удары, болѣе же мелкіе куски — болѣе сильные удары. Поэтому трудно избѣжать неравномѣрности въ величинѣ кусковъ измельченной руды. Кромѣ того утилизація механической работы довольно не совершенна. Считаютъ, что на каждую лошадиную силу толчея при 12-ти часовой работѣ можетъ измельчить 3000—3500 клгрм. руды, слѣдовательно меньше, чѣмъ машины, которыя будутъ описаны ниже.

b. Валки.

Два чугунныхъ горизонтально лежащихъ валка, съ гладкой или чаще съ желобчатой поверхностью, расположенныхъ параллельно, въ соотвѣтственно устроенныхъ станинахъ, движутся въ обратныхъ направленіяхъ. Движеніе передается имъ посредствомъ зубчатыхъ колесъ, которыя сцѣпляются между

[1]) Они происходятъ изъ XVI столѣтія. Первая толчея въ Рудномъ кряжѣ была построена въ 1507 году Сигизмундомъ фонъ Мальтицемъ, а первая толчея на Гарцѣ въ 1524 г. Петромъ Филиппомъ. (A Gurt Bergbau und Hüttenkunde 2 Aufl. S. 104).

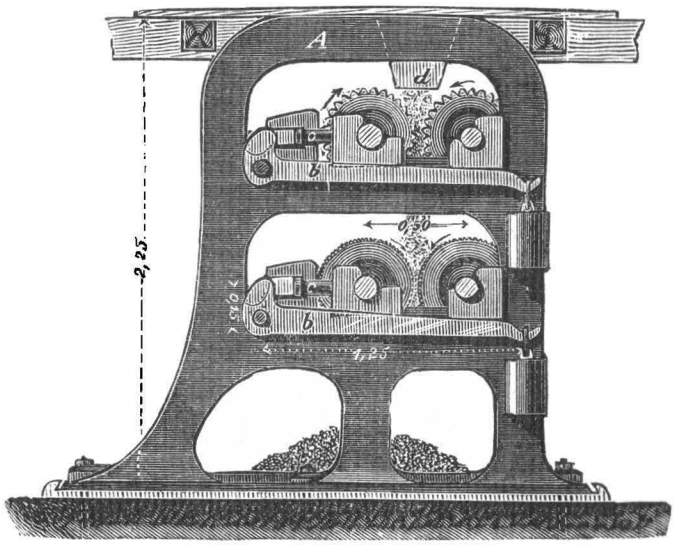
НБ УДУНТ (ІПБТ)

собою и съ удлиненными цапфами валковъ. Сверху на валки падаютъ подлежащія измельченію куски руды (уголь и др.).

Вслѣдствіе тренія они захватываются валками и проходя между ними измельчаются въ куски, величина которыхъ соотвѣтствуетъ разстоянію между валками.

Устройство валковъ съ желобчатой поверхностью облегчаетъ движеніе внизъ падающихъ на валки кусковъ руды. Однако, чѣмъ сильнѣе измельчается руда отъ одного прохожденія черезъ валки, чѣмъ сильнѣе, слѣдовательно, сопротивленіе оказываемое рудами, тѣмъ скорѣе истираются желобки валковъ. Вслѣдствіе этого обстоятельства нерѣдко располагаютъ двѣ пары валковъ другъ надъ другомъ; верхніе съ болѣе грубыми желобками и на большемъ разстояніи

Рис. 51.



другъ отъ друга, нижніе же болѣе мелко зазубренные и на меньшемъ разстояніи другъ отъ друга.

Въ нихъ происходитъ окончательное измельченіе руды.

На рис. 51 изображены дробильные валки съ двумя парами цилиндровъ, служащіе для измельченія желѣзняковъ, прежде весьма употребительные.

Двѣ прочныя чугунныя станины A поддерживаютъ подушки валковъ. Подушки находящіяся съ правой стороны укрѣплены неподвижно; подушки же находящіяся съ лѣвой стороны могутъ двигаться въ станинахъ по направленію влѣво. То положеніе ихъ, которое соотвѣтствуетъ надлежащему разстоянію между валками, опредѣляется присутствіемъ на станинахъ чугунныхъ приливовъ, которые не позволяютъ подушкамъ двигаться далѣе вправо. Въ этомъ положеніи подушки удерживаются рычагами bb съ повѣшенными

РГБ УДУНТ (ИПБТ)

на нихъ противовѣсами. Короткіе плечи рычаговъ упираются въ стержни cc, а послѣдніе въ подушки.

Остальное понятно безъ объясненія.

Руда засыпается съ площадки, устроенной на уровнѣ верхняго края станинъ и сообщающейся съ поверхностью земли посредствомъ наклонной площади. Для засыпанія рудъ служитъ воронка d. Діаметръ валковъ, служащихъ для измельченія желѣзняковъ дѣлается обыкновенно равнымъ 500—700 мм., длина ихъ 500-900 мм. Скорость же движенія валковъ (на окружности) бываетъ 500—900 мм. въ секунду. Производительность валковъ зависитъ отъ степени твердости рудъ, а также и отъ степени измельченія, но всегда больше чѣмъ утолчей. Въ среднемъ можно считать, что на одну паровую лошадь машины, приводящей въ движеніе валки, въ 12 часовъ приходится 4000 клгр. измельченной руды.

Валки имѣютъ передъ толчеями то преимущество, что величина зеренъ измельченной ими руды колеблется въ меньшихъ размѣрахъ, и что ею можно легче управлять. Впервые валки были введены въ Корнвалисѣ, въ началѣ нынѣшняго столѣтія; съ тѣхъ поръ благодаря указанному выше преимуществу во многихъ мѣстностяхъ они вытѣснили изъ употребленія толчеи. Однако за послѣднее время они въ свою очередь вытѣсняются рудодробилками, о которыхъ сейчасъ будетъ сказано.

c. Рудодробилки или дробилки.

Эти приборы, изобрѣтенные въ 1858 году американцемъ Блекомъ вначалѣ обладали нѣкоторыми недостатками, которые впрочемъ были потомъ устранены. Съ этихъ поръ они пріобрѣтаютъ все болѣе и болѣе широкое распространеніе, и въ настоящее время являются наиболѣе употребительнымъ приборомъ для измельченія рудъ и флюсовъ на доменныхъ заводахъ. Преимущество ихъ передъ описанными устройствами заключается въ незначительномъ пространствѣ, занимаемомъ ими и въ большей производительности ихъ. По сравненію съ толчеями они отличаются еще тѣмъ, что зерна измельченныхъ ими тѣлъ получаются болѣе одинаковой величины, каковую кромѣ того можно легко измѣнять по желанію.

На рис. 52 и 53 изображена подобная рудодробилка обыкновеннаго устройства, служащая для измельченія рудъ, идущихъ въ доменную плавку [1]).

Руда помѣщается и измельчается между двумя щеками: неподвижной *c* и подвижной *d*, которыя дѣлаются изъ закаленнаго чугуна или литой стали. Неподвижная щека укрѣ-

[1]) Zeitschr. d'Ingenier- und Architecten Verein für Hannover. Band XVII. § 319.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

плена посредствомъ клиньевъ въ передней части прочной чугунной рамы, въ которой укрѣплены всѣ части машины. Щека *d* подобнымъ же образомъ прикрѣплена къ прочной чугунной доскѣ, которая качается подобно маятнику около оси *C*, вслѣдствіе чего щеки быстро то приближаются другъ къ другу, то удаляются.

Рис. 52.

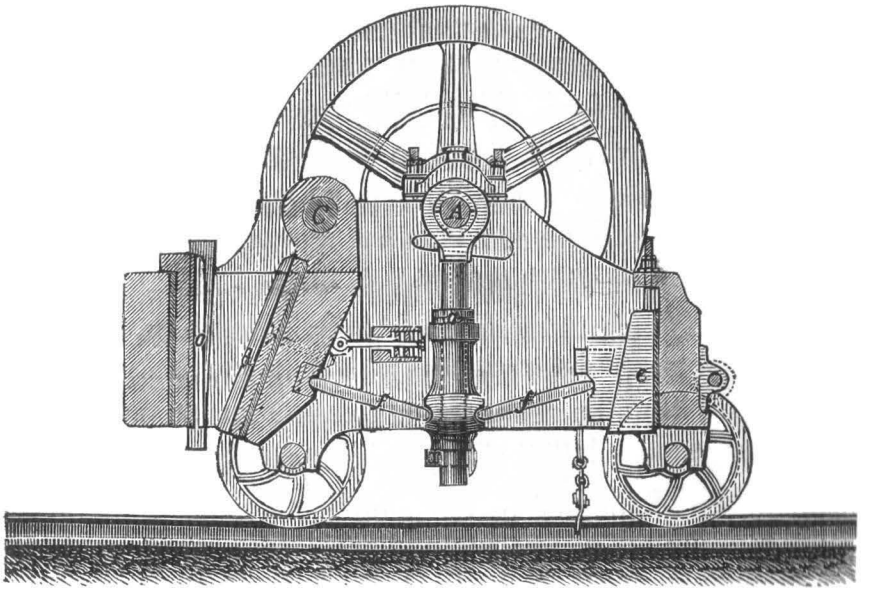
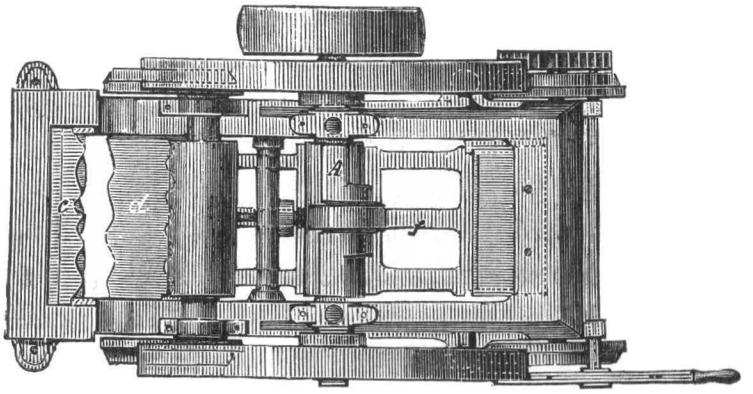


Рис. 53.



Куски руды, брошенные сверху въ пространство между щеками, опускаются все ниже и ниже и измельчаются до величины, соотвѣтствующей наименьшему разстоянію между щеками. Движеніе щекъ производится посредствомъ колѣнчатаго вала *A*, снабженнаго двумя маховыми колесами и находящагося въ серединѣ дробилки. Валъ приводится въ движеніе отъ шкива съ ремневой передачей. Укрѣпленная къ колѣну вала тяга *a* движется вверхъ и внизъ, вслѣдствіе чего

НБ УДУНТ (ІПБТ)

колѣнчатый рычагъ, состоящій изъ двухъ толстыхъ желѣзныхъ упоринъ *ff*, то сгибается, то разгибается и движетъ описаннымъ уже образомъ щеку *d*, какъ это нетрудно видѣть на рис. 52. На обратной сторонѣ щека эта упирается въ устройство подобное буфферу, показанное на рисункѣ; оно ограничиваетъ движеніе щеки, быстро отодвигая ее назадъ. Этимъ приспособленіемъ предупреждается выпаденіе рычага, свободно вставленнаго между щекой и тягой.

Вставляя рычаги различной длинны можно получить зерна различной величины, но въ извѣстныхъ предѣлахъ можно измѣнять величину кусковъ и не мѣняя рычага, посредствомъ передвиженія клина *e*, укрѣпленнаго помощью винта, какъ это можно увидѣть на рисункѣ.

Изображенная на фигурѣ дробилка снабжена колесами, для удобнаго ея передвиженія съ мѣста на мѣсто. На мѣстѣ работы она укрѣпляется неподвижно какимъ нибудь способомъ, а прилитые по сторонамъ рамы нащечины позволяютъ привинчивать ее къ соотвѣственно устроенному фундаменту.

Рудодробилки дѣлаютъ обыкновенно около 200 ударовъ въ минуту. Изображенная на рис. 52 и 53 дробилка, при затратѣ силы 3–4 паровыхъ лошадей, измельчаетъ приблизительно въ $1^1/_2$ часа 10.000 клгр. шпатоваго желѣзняка и известняка. Величина получающихся кусковъ — отъ величины кулака до величины яйца. Такимъ образомъ на одну паровую лошадь при 12 часовой работѣ приходится около 20.000 клгрм.

При болѣе мелкомъ дробленіи болѣе твердыхъ рудъ производительность подобной дробилки всетаки больше производительности валковъ; ее можно считать по крайней мѣрѣ равной 6000 клгр. на 1 пар. лошадь въ 12 часовую смѣну.

В. Промывка.

Въ нѣкоторыхъ случаяхъ, хотя и не часто, руды подвергаются промывкѣ, чтобы выдѣлить изъ нихъ часть постороннихъ примѣшанныхъ къ нимъ тѣлъ, въ особенности часто содержащейся примѣси глины и песку. Такимъ способомъ преимущественно обрабатываются бобовыя руды, проникнутыя глиной.

Простѣйшимъ устройствомъ, для промывки рудъ являются сплотки или жолоба, употребляемые иногда для промывки дерновыхъ рудъ. Они имѣютъ наклонъ въ 5—10°; руда, въ жолобѣ помѣщенная, подвергается дѣйствію текущей по немъ воды. Рабочіе, стоящіе по сторонамъ гребками постоянно передвигаютъ руды вверхъ противъ теченія.

По Риттингеру [1]) деревянные сплотки должны, имѣть около

[1]) Lehrbuch der Aufbereitungskunde, Seite 232.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

0,65 м. ширины 0,30 м. глубины и 2,5—3,75 м. длины при наибольшемъ наклонѣ въ 18 мм. на 1 метръ длины.

Въ подобныхъ силоткахъ весьма полезно устраивать нѣсколько поперечныхъ пороговъ, за которыми задерживается руда и вода. Верхняя сторона порога скашивается, вслѣдствіе чего она получаетъ наклонъ назадъ къ дну сплотка, и поперечное сѣченіе его дѣлается трехстороннимъ.

Вода со шламмомъ стекаетъ, руды же по окончаніи промывки вычерпываются продырявленными лопатками. При расходѣ воды въ минуту равномъ $^1/_4$—$^1/_2$ куб. м., количество промытой руды въ часъ достигаетъ 10.000 клгрм., если только нѣтъ недостатка въ рабочихъ рукахъ.

Такъ какъ подобный способъ промывки требуетъ однако большихъ расходовъ на плату рабочимъ, то въ тѣхъ случаяхъ, когда требуется вести промывку въ большихъ размѣрахъ, примѣняютъ съ этою цѣлью машины.

Въ нѣкоторыхъ случаяхъ употребляютъ полуцилиндрическіе барабаны, въ которыхъ около горизонтальной оси вращается винтъ, передвигая впередъ засыпанную въ барабанъ руду.

Вслѣдствіе тренія отъ руды отдѣляется песокъ, глина и нѣкоторыя другія ея составныя части, а вода, поступающая въ барабанъ съ противоположной стороны, уноситъ образующійся шламъ [1]).

Чаще примѣняются вращающіеся барабаны изъ листоваго желѣза. Ось этихъ барабановъ бываетъ или горизонтальною, или слабо наклонною. Руда поступаетъ въ барабанъ съ одного конца, передвигается постепенно впередъ и выходитъ изъ барабана съ другого его конца. Треніе о стѣнки барабана и непрерывное дѣйствіе тока воды удаляютъ изъ руды постороннія частицы. Руда получаетъ движеніе отъ винтообразныхъ реберъ изъ угловаго желѣза, укрѣпленныхъ на внутренней сторонѣ барабана, или движется благодаря наклонному положенію стѣнокъ барабана. Вода обыкновенно движется въ направленіи обратномъ движенію рудъ. Концы барабана закрыты, насколько это необходимо, чтобы удерживать въ барабанѣ требуемое количество воды.

Въ частностяхъ устройства барабановъ для промывки рудъ сильно отличаются другъ отъ друга.

Подобное промывное устройства, довольно простой конструкціи, изображено на рис. 54. Оно поставлено на чугуноплавильномъ заводѣ Кюзонъ (Cuzon) въ департаментѣ Lot-et-Garonne, какъ то сообщаетъ Керпели (Kerpely) въ своей статьѣ о всемірной парижской выставкѣ 1878 [2]).

---

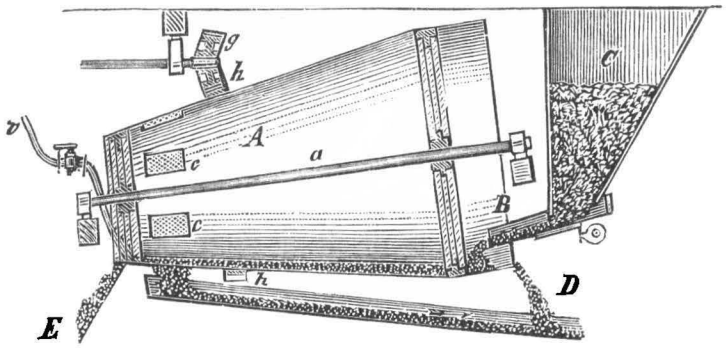
[1]) Annales des mines 1864, 4. livr.

[2]) Рисунокъ заимствованъ изъ Oesterr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Коническій барабанъ *A*, снабженный на своемъ широкомъ концѣ цилиндрической насадкой *B*, укрѣпленъ около наклонной оси *a*. Наклонъ послѣдней таковъ, что руда, поступающая въ барабанъ черезъ воронку *C* въ часть *B*, медленно

Рис. 54.



скользитъ вслѣдствіе собственнаго вѣса по слабо наклонному боку барабана по направленію къ другому его концу. Вода же, непрерывно текущая изъ трубы *v*, движется въ обратномъ направленіи и вытекаетъ наконецъ черезъ край барабана, находящійся у *D*, унося съ собой увлеченныя ею частицы глины и песку. Восемь отверстій *cc*, покрытыхъ сѣткою и расположенныхъ на узкомъ концѣ барабана, служатъ для того, чтобы уже здѣсь удалить изъ барабана часть воды съ послѣдними приставшими еще частицами шлама и тѣмъ самымъ облегчить промывку остальной руды. Правильная засыпка рудъ въ барабанъ производится помощью встряхиванія нижней части воронки *C*. Промытая руда падаетъ черезъ деревянную трубу *E* въ подставленный вагонъ. Движеніе барабану передается помощью зубчатаго кольца *h*, укрѣпленнаго по внѣшней поверхности барабана и сцѣпляющагося съ зубчатымъ колесомъ *g*, укрѣпленномъ на валу, коему собственно и придается движеніе.

Производительность такого промывнаго барабана, какъ увѣряютъ, равняется 10.000 клгр. сырой руды въ часъ, причемъ руда остается въ барабанѣ около 10 минутъ. Затрачиваемая при этомъ механическая работа вмѣстѣ съ тою работою, которая требуется для поднятія руды на 10 метровъ, равняется работѣ шести паровыхъ лошадей [1]).

[1]) Подробное описаніе и изображеніе промывнаго устройства большихъ размѣровъ, построеннаго на заводѣ Гумбольдта (Humboldt прежде Sievers & Co. въ Калкѣ близъ Дейтца (Kalk bei Deutz) можно найти въ Металлургіи чугуна Д-ра Перси, стр. 483 и 485 русскаго перевода. Изображеніе другихъ промывныхъ устройствъ для рудъ можно найти въ слѣдующихъ сочиненіяхъ: Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Band I, Taf. 38, 39 und 40; Journal of the United States Association of Charcoal Iron Workers, vol. VI, p. 57.

УДУНТ (ПБТ)

С. Обжиганіе.

а) Общія понятія.

Обжиганіемъ желѣзныхъ рудъ называютъ предварительное накаливаніе ихъ передъ плавкою, при которомъ однако обыкновенно не происходитъ расплавленія руды. При расплавленіи руды происходили бы химическія взаимодѣйствія между ея составными частями, которыя не желательны при обжиганіи и затруднили бы дальнѣйшую плавку руды. Произошло бы ошлакованіе окисловъ желѣза посторонними составными частями руды, вслѣдствіе чего руды сдѣлались бы болѣе трудно возстановимыми, такъ какъ всѣ желѣзосодержащіе шлаки возстановляются труднѣе, чѣмъ свободные окислы желѣза.

Изъ сказаннаго вытекаетъ правило, что при обжиганіи желѣзныхъ рудъ не слѣдуетъ повышать температуру даже до спеканія ихъ.

Правило это представляетъ однако исключенія, которыя обусловливаются причинами изложенными ниже.

Цѣль обжиганія можетъ быть двоякая.

Въ нѣкоторыхъ, хотя и сравнительно рѣдкихъ случаяхъ, имѣютъ въ виду лишь разрыхлить твердыя и плотныя руды, путемъ измѣненія температуръ, т. е. имѣютъ въ виду только чисто физическія вліянія. Въ кускахъ руды образуются трещины и рванины, руда становится рыхлою, легче измельчается и становится болѣе доступною дѣйствію возстановительныхъ газовъ. Такого результата обжиганія можно достигнуть всего скорѣе, если облить холодною водою еще горячую руду.

Чаще обжиганіе имѣетъ цѣлью разложеніе нѣкоторыхъ химическихъ соединеній самой руды или постороннихъ ея примѣсей, и удаленіе путемъ улетучиванія, вредныхъ составныхъ частей.

Въ самыхъ рудахъ такими разложимыми соединеніями являются прежде всего гидраты (бурые желѣзняки) и углекислыя соли желѣза (шпатовыхъ желѣзняковъ). Бурые желѣзняки теряютъ содержащуюся въ нихъ воду и переходятъ въ безводную окись желѣза, т. е. настоящіе красные желѣзняки. Шпатовые желѣзняки и сферосидериты выдѣляютъ при своемъ разложеніи смѣсь углекислоты и окиси углерода и остаются въ формѣ кислородныхъ соединеній желѣза, содержаніе въ которыхъ кислорода во всякомъ случаѣ выше, чѣмъ въ закиси желѣза (FeO), но колеблется въ зависимости отъ температуры, господствовавшей во время обжиганія и отъ того, совершалось ли обжиганіе при доступѣ воздуха

НБ УДУНТ (ІПБТ)

или безъ него. Поэтому составъ ихъ колеблется между Fe_6O_7 и Fe_2O_3 [1]).

Углекислоту содержащіе флюсы, известняки и доломиты также можно разлагать обжиганіемъ, причемъ остаются простыя окиси.

Опытъ однако показалъ, что разложеніе гидратовъ окиси желѣза посредствомъ обжиганія, которое было весьма распространено до середины текущаго столѣтія, приноситъ лишь незначительную пользу, или даже оказывается совершенно безполезнымъ для слѣдующей за обжиганіемъ проплавки такихъ рудъ. Поэтому въ настоящее время бурые желѣзняки не обжигаются почти никогда, если только этого не требуютъ особыя причины. Точно также рѣдко примѣняется и обжиганіе известняковъ и доломитовъ, служащихъ флюсами при плавкѣ рудъ въ доменной печи [2]).

При нѣкоторыхъ способахъ полученія литаго желѣза, требующихъ прибавленія извести въ печь для образованія основныхъ шлаковъ, вмѣсто известняковъ постоянно употребляютъ обожженную известь.

Шпатовые желѣзняки и сферосидериты, хотя и не всегда, но большею частью, обжигаются передъ плавкою. Температура, при которой происходитъ разложеніе углекислыхъ солей желѣза около 800^0 Ц. то-есть выше чѣмъ температура, при которой начинаетъ возстановляться въ домнѣ обожженная руда. Поэтому предварительное обжиганіе руды облегчаетъ происходящее затѣмъ возстановленіе ея. Кромѣ того превращеніе руды въ окись желѣза, происходящее при окислительномъ обжиганіи, благопріятно вліяетъ на свойство ея.

Причины, обусловливающія эти обстоятельства, будутъ сейчасъ разсмотрѣны.

Изъ постороннихъ тѣлъ, примѣшанныхъ къ рудѣ, которыя можно удалить путемъ обжиганія, главнѣйшимъ нужно считать сѣру.

Сѣрнистымъ соединеніемъ, чаще всего содержащимся въ желѣзныхъ рудахъ, является сѣрный колчеданъ (FeS_2); нерѣдко также встрѣчается лучистый колчеданъ или марказитъ, имѣющій тотъ же химическій составъ, что и сѣрный колчеданъ; затѣмъ встрѣчается магнитный колчеданъ (Fe_8S_9), мѣдный колчеданъ ($CuFeS_2$), мышьяковый колчеданъ (FeSAs), цинковая обманка (Zns) свинцовый блескъ (PbS).

Особенно богаты этими сѣру содержащими минералами бываютъ обыкновенно магнитные и шпатовые желѣзняки. Дѣйствіе обжиганія на сѣру можетъ быть различно, смотря

[1]) Окись Fe_2O_3 образуется лишь въ томъ случаѣ, если при обжиганіи съ раскаленными рудами, приходило въ соприкосновеніе очень большое количество свободнаго кислорода.

[2]) Дѣйствующихъ на минеральномъ топливѣ. Прим. пер.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

по тому, въ видѣ какого соединенія она находится въ рудѣ. Сѣрный и лучистый колчеданы разлагаются уже при низкой температурѣ, причемъ около половины сѣры улетучивается, сгорая при доступѣ воздуха въ сѣрнистую кислоту, а безъ доступа воздуха улетая въ видѣ паровъ сѣры.

Въ рудѣ остается соединеніе, составъ котораго приблизительно соотвѣтствуетъ составу магнитнаго колчедана. Эту болѣе низкую степень соединенія желѣза съ сѣрою уже нельзя разложить простымъ нагрѣваніемъ безъ доступа воздуха. Въ случаѣ же доступа атмосфернаго воздуха къ сѣрнистому желѣзу сгораетъ еще часть сѣры, улетучиваясь въ видѣ сѣрнистой кислоты. Остатокъ сѣры образуетъ съ желѣзомъ сѣрнокислое желѣзо (желѣзный купоросъ), которое при дальнѣйшемъ повышеніи температуры также разлагается. Сѣрнистая и сѣрная кислоты улетучиваются, остается окись желѣза [1]).

Такъ какъ при описанномъ ходѣ разложенія сѣрнаго и лучистаго колчедановъ, сначала получается соединеніе приблизительно одинаковаго состава съ магнитнымъ колчеданомъ, то изъ этого можно заключить, что въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ это послѣднее сѣрнистое соединеніе будетъ встрѣчаться въ естественномъ состояніи, оно будетъ претерпѣвать тѣ-же измѣненія, что и въ разсматриваемомъ случаѣ т. е. при достаточномъ доступѣ воздуха и достаточно высокой температурѣ будетъ переходить въ окись желѣза, теряя содержащуюся въ немъ сѣру.

Слѣдовательно, если бы сѣра встрѣчалась въ рудахъ въ видѣ упомянутыхъ трехъ минераловъ, то при надлежащемъ ходѣ обжиганія и достаточномъ доступѣ воздуха полное выдѣленіе содержащейся въ рудѣ сѣры было бы возможнымъ. На самомъ дѣлѣ полное достиженіе этой цѣли затрудняется тѣмъ обстоятельствомъ, что къ сѣрѣ, находящейся внутри плотныхъ и не распадающихся кусковъ руды, воздухъ всегда будетъ имѣть лишь ограниченный доступъ. Такимъ неблагопріятнымъ для выдѣленія сѣры свойствомъ въ особенности отличаются магнитные желѣзняки. Тогда какъ шпатоватые желѣзняки и сферосидериты при обжогѣ трескаются или даже распадаются на мелкіе куски, если только температура не такъ высока чтобы вызвать ихъ спеканіе, магнитные желѣзняки остаются плотными, а внутренность кусковъ такихъ рудъ недоступною для воздуха.

Опытъ однако показалъ, что даже въ подобныхъ, исключительныхъ случаяхъ можно, хотя и не вполнѣ, но всетаки въ значительной степени выдѣлить сѣру, если въ продол-

---

[1]) Такой ходъ измѣненій химическаго состава руды замѣченный металлургами еще въ прежнія времена, подтверждается въ новѣйшее время опытами Валентина.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

женіи долгаго времени нагрѣвать руды до температуры бѣлаго каленія, при которой онѣ совершенно спекаются. Сѣрнистое желѣзо вытапливается, выходитъ на поверхность кусковъ руды и разлагается воздухомъ. По мнѣнію нѣкоторыхъ металлурговъ окись желѣза магнитныхъ желѣзняковъ также дѣйствуетъ окислительно при такой высокой температурѣ на сѣрнистое желѣзо [1]).

Мѣдный колчеданъ не разлагается безъ доступа воздуха, но при окислительномъ обжиганіи его образуются сѣрнокислыя соли, растворимыя въ водѣ и разлагающіяся кромѣ того при очень высокой температурѣ, причемъ остаются окислы желѣза и мѣди и улетучивается сѣрнистая кислота.

Мышьяковый колчеданъ уже при темно-красномъ каленіи безъ доступа воздуха выдѣляетъ часть содержащихся въ немъ сѣры и мышьяка въ видѣ сѣрнистаго мышьяка; при болѣе высокой температурѣ и доступѣ воздуха сначала образуется сѣрно и мышьяково-кислое желѣзо. Первое, какъ и при обжиганіи сѣрнаго колчедана разлагается, второе же не разложимо. Часть мышьяка, слѣдовательно, остается въ желѣзнякѣ и сопровождаетъ желѣзо черезъ всѣ стадіи его обработки; большое содержаніе извести въ рудѣ способствуетъ удержанію мышьяка въ рудѣ (въ видѣ мышьяковокислаго кальція [2]).

Удаляющійся изъ руды при ея обжиганіи мышьякъ, присутствіе котораго легко замѣтить въ обжигаемыхъ рудахъ по извѣстному чесночному запаху, сгораетъ при доступѣ воздуха вполнѣ или отчасти, въ ангидритъ мышьяковистой кислоты.

Цинковая обманка, при обжиганіи съ доступомъ воздуха, образуетъ окись цинка и сѣрнокислый цинкъ, который нагрѣваніемъ разлагается лишь при очень высокой температурѣ. Онъ кромѣ того легко растворимъ въ водѣ, что облегчаетъ намъ выдѣленіе его изъ рудъ по окончаніи обжиганія.

Свинцовый блескъ, при доступѣ воздуха, уже при низкой температурѣ теряетъ часть заключающейся въ немъ сѣры, которая улетаетъ въ видѣ сѣрнистой кислоты; другая часть сѣры образуетъ съ получающейся окисью свинца сѣрнокислую соль, которая подобно сѣрнокислому цинку разлагается лишь при очень высокой температурѣ, но не растворима въ водѣ.

---

[1]) Jernkontorets Annaler 1829, p. 452; R. Äkermann, om jernmalmers rostning p. 28. Мнѣнію относительно окисленія сѣры окисью желѣза противорѣчитъ то обстоятельство, что шлаки, богатые этою окисью содержатъ довольно значительныя количества сѣры въ видѣ сульфидовъ, хотя оставались довольно продолжительное время подъ дѣйствіемъ температуры плавленія.

[2]) Опыты по этому поводу: Journal of the Iron and Steel. Institute (1881) p. 171; оттуда Stahl und Eisen 1888 г. стр. 537.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Изъ сказаннаго относительно свойства различныхъ сѣрнистыхъ соединеній, встрѣчающихся въ рудахъ, слѣдуетъ, что во всякомъ случаѣ путемъ обжиганія можно выдѣлить изъ руды значительную часть содержащейся въ ней сѣры; что выдѣленіе сѣры, въ видѣ какого бы соединенія она ни встрѣчалась, будетъ тѣмъ полнѣе, чѣмъ больше былъ доступъ воздуха къ рудѣ во время ея обжиганія; что сильное повышеніе температуры, напримѣръ, до спеканія руды, можетъ, правда, быть полезнымъ въ упомянутомъ исключительномъ случаѣ (при обжиганіи плотныхъ магнитныхъ желѣзняковъ), но при рудахъ менѣе плотныхъ чѣмъ магнитныя вліяетъ скорѣе вредно, чѣмъ благопріятно въ смыслѣ выдѣленія сѣры, такъ какъ руды спекаются, вслѣдствіе чего затрудняется доступъ воздуха во внутренность кусковъ руды; что въ нѣкоторыхъ случаяхъ дѣйствіе обжиганія можетъ быть существенно усилено, если послѣ него примѣнить выщелачиваніе образовавшихся сульфатовъ водою.

Въ прежнія времена не разъ предлагали, для болѣе полнаго выдѣленія заключающихся въ рудѣ сѣрнистыхъ металловъ, примѣнять при обжиганіи водяные пары. Предложеніе это въ видѣ опыта осуществлялось на практикѣ, но не имѣло успѣха. Конечно нельзя отрицать химическаго дѣйствія водяныхъ паровъ, но выдѣленіе сѣры отъ этого не дѣлалось болѣе полнымъ, чѣмъ при сильномъ окислительномъ обжиганіи безъ помощи пара, между тѣмъ примѣненіе пара повлекло бы за собою соотвѣтственное повышеніе стоимости процесса.

Кромѣ упомянутыхъ сѣрнистыхъ металловъ сѣра иногда встрѣчается въ рудахъ въ видѣ сросшихся съ ними сульфатовъ, преимущественно въ видѣ гипса, ангидрида и тяжелаго шпата.

Соединенія эти не разлагаются при той температурѣ, которая достижима при обжиганіи, слѣдовательно выдѣленіе сѣры содержащейся въ рудѣ въ формѣ этихъ соединеній, имѣющихъ впрочемъ гораздо меньшее значеніе, невозможно.

По этой же причинѣ совмѣстное присутствіе въ рудѣ известковаго шпата и цинковой обманки, или другихъ сѣрнистыхъ металловъ, затрудняетъ выдѣленіе изъ нея сѣры. Образуется сульфатъ кальція, который уже не разлагается отъ дѣйствія температуры, и кромѣ того трудно растворяется въ водѣ.

Третье назначеніе обжиганія составляетъ переводъ закиси желѣза, содержащейся въ нѣкоторыхъ

НБ УДУНТ (ІПБТ)

рудахъ, въ болѣе высокія степени окисленія: такими рудами являются шпатоватые желѣзняки, сферосидериты и магнитные желѣзняки. Опытомъ и наукой твердо установлено [1]), что окись желѣза Fe_2O_3 болѣе доступна возстановляющимъ дѣйствіямъ, въ особенности воздѣйствію возстановляющихъ газовъ, чѣмъ болѣе низкія степени окисленія желѣза и даже, въ особености, чѣмъ магнитная-окись желѣза, находящаяся въ магнитныхъ желѣзнякахъ.

Причина этого, на первый взглядъ страннаго явленія, состоящаго въ томъ, что соединенія болѣе богатыя кислородомъ возстановляются легче, чѣмъ соединенія менѣе имъ богатыя, заключается въ разрыхленіи, которому подвергается руда при химическомъ процесѣ окисленія. Руда становится болѣе рыхлой, менѣе плотной и поэтому дѣлается болѣе доступной дѣйствію возстановительныхъ газовъ, чѣмъ до обжиганія.

Шпатовые желѣзняки и сферосидериты точно также дѣлаются болѣе легко возстановимыми, если превращаются при обжиганіи въ красную окись желѣза, чѣмъ въ томъ случаѣ, когда по недостатку воздуха могла образоваться лишь магнитная-окись.

Для перевода магнитныхъ желѣзняковъ въ окись желѣза требуется болѣе продолжительное время, чѣмъ для упомянутыхъ углекислыхъ соединеній желѣза. На практикѣ какъ при магнитныхъ желѣзнякахъ, такъ и при другихъ рудахъ, едва ли возможенъ полный переводъ всего желѣза въ форму окиси, такъ какъ внутреннія части кусковъ руды лишь отчасти подвергаются дѣйствію окисляющихъ агентовъ. Чѣмъ больше поверхность представляемая кусками руды, чѣмъ продолжительнѣе нагрѣваніе, и чѣмъ больше количество притекающаго воздуха, тѣмъ больше можно приблизиться къ желаемой цѣли — превратить всю закись желѣза въ окись.

На образованіе окиси желѣза неблагопріятно дѣйствуетъ слишкомъ высокая температура. Fe_2O_3 мало постоянна при температурѣ бѣлаго каленія и теряетъ часть своего кислорода даже не подвергаясь возстановительнымъ воздѣйствіямъ [2]).

Желѣзосодержащіе шлаки (кричные, сварочные) въ которыхъ часть желѣза обыкновенно содержится въ видѣ окиси, большая же часть въ видѣ закиси, и которые нерѣдко вмѣстѣ съ рудами употребляются для выплавки чугуна, точно

---

[1]) См. указанную въ „литературѣ“ статью H. Tholander'a.

[2]) Фактъ этотъ извѣстенъ уже съ давнихъ поръ и подтвержденъ нѣсколькими опытами Толандера. Простымъ накаливаніемъ окись желѣза превращалась въ магнитную окись, содержаніе кислорода которой было даже ниже, чѣмъ среднее содержаніе кислорода въ магнитныхъ желѣзнякахъ.

НБ УДУНТ (ПБТ)

также можно перевести, путемъ окислительнаго обжиганія, въ болѣе высокія степени окисленія.

Изъ опытовъ Толандера слѣдуетъ, что въ этомъ случаѣ происходитъ настоящее разложеніе съ выдѣленіемъ кремнекислоты, чѣмъ увеличивается легковозстановимость шлаковъ. Однако время потребное для перевода силикатовъ въ болѣе высокія степени окисленія гораздо продолжительнѣе и самый процессъ гораздо затруднительнѣе, чѣмъ при обыкновенныхъ рудахъ.

Въ этомъ именно обстоятельствѣ и кроется причина тому, что на практикѣ обжиганіе шлаковъ почти никогда не примѣняется, хотя успѣшное примѣненіе этой операціи облегчило бы веденіе плавки.

Изъ всего сказаннаго слѣдуетъ, что обжиганію передъ плавкой подвергаются лишь нѣкоторыя, но далеко не всѣ руды. При рѣшеніи вопроса о необходимости обжиганія нужно имѣть въ виду не только свойства руды и ея примѣсей, но также и самое веденіе дальнѣйшей обработки.

Въ большинствѣ случаевъ руда проплавляется въ доменныхъ печахъ на чугунъ. Если при этомъ получается основной, въ особенности же богатый известью шлакъ, полученіе каковаго считается необходимымъ при плавкѣ на коксѣ или вообще на минеральныхъ горючихъ матеріалахъ, въ виду содержанія въ нихъ сѣры, то шлакъ этотъ обладаетъ способностью поглощать и сѣру, содержащуюся въ рудѣ. Поэтому, если только руда не содержитъ слишкомъ большаго количества сѣры, то послѣдняя не будетъ оказывать вреднаго вліянія на качество получаемаго чугуна. Если же, напротивъ-того образующійся шлакъ будетъ богатъ кремнеземомъ и бѣденъ известью, какъ это наблюдается у большинства доменныхъ печей, дѣйствующихъ на древесномъ углѣ, (дву- или трех-кремнеземикъ), то значительная часть сѣры перейдетъ въ чугунъ и вредно повліяетъ на его качества. Въ этомъ случаѣ обжиганіе богатыхъ сѣрою рудъ будетъ не только цѣлесообразнымъ, но даже необходимымъ для полученія годнаго къ употребленію чугуна.

Красные желѣзняки подвергаются поэтому обжиганію лишь въ исключительныхъ случаяхъ, если нужно выдѣлить изъ нихъ большое количество сѣры—или же сдѣлать руду болѣе рыхлою.

Бурые желѣзняки, какъ уже сказано, обжигаются въ тѣхъ же самыхъ исключительныхъ случаяхъ, какъ и красные желѣзняки, такъ какъ выдѣленіе содержащейся въ нихъ воды для послѣдующей плавки ихъ оказывается безполезнымъ.

Шпатовые желѣзняки и сферосидериты, (а также углистые желѣзняки и близкія къ нимъ руды) вообще обжигаются для переведенія соединеній желѣза въ окись,

НБ УДУНТ (ІПБТ)

иногда же и для выдѣленія изъ нихъ сѣры, количество которой въ нѣкоторыхъ случаяхъ бываетъ довольно значительно. Для полученія нѣкоторыхъ сортовъ чугуна употребляютъ иногда вмѣстѣ съ обожженными рудами большія или меньшія количества тѣхъ же рудъ, но не обожженныхъ.

Магнитные желѣзняки почти безъ исключенія подвергаются обжиганію, для полученія высшихъ степеней окисленія желѣза.

Флюсовые известняки и доломиты рѣдко обжигаются ради доменной плавки; напротивъ того, они всегда обжигаются, если идутъ на дѣло набоекъ при полученіи литаго, ковкаго желѣза.

Тамъ, гдѣ обжиганіе ведется ради удаленія сѣры или переведенія желѣза въ высшія степени окисленія, самая цѣль обжиганія можетъ быть достигнута только, благодаря доступу воздуха къ обжигаемой рудѣ. Но и въ болѣе рѣдкихъ случаяхъ, когда обжиганіе руды или флюса ведется ради какихъ либо иныхъ цѣлей, свободный притокъ воздуха не вредитъ ходу процесса. Поэтому обжиганіе желѣзныхъ рудъ и флюсовъ всегда ведется въ атмосферѣ окислительной.

Температура обжиганія должна зависѣть отъ свойства руды.

Чѣмъ легче руда ошлаковывается примѣшанною къ ней пустою породою, тѣмъ ниже должна быть температура, при которой нужно вести обжиганіе. Поэтому руды, мелко поросшія кварцемъ, могутъ вообще выдерживать лишь болѣе низкія температуры, чѣмъ руды, не содержащія кварца.

Окись желѣза и известь при высокой температурѣ сплавляются въ соединеніе, которое труднѣе возстановляется, чѣмъ чистая окись желѣза [1]). Отсюда слѣдуетъ, что слишкомъ высокая температура будетъ неблагопріятно дѣйствовать на известковистые красные желѣзняки, въ тѣхъ исключительныхъ случаяхъ, когда они также подвергаются обжиганію.

Переводъ углекислой соли, желѣза и магнитной окиси его въ болѣе высокія степени окисленія, во многихъ случаяхъ являющійся главною цѣлью обжиганія, лучше всего идетъ при температурѣ краснаго каленія. Температура бѣлаго или даже желтаго каленія, какъ уже сказано выше, дѣйствуетъ при этомъ вредно. Примѣненіе такой температуры, при которой руды совершенно спекаются, имѣетъ смыслъ лишь въ указанномъ уже выше случаѣ, когда обжигаются богатые сѣрою, плотные магнитные желѣзняки ради выдѣленія изъ нихъ сѣры.

---

[1]) Упомянутая статья Толандера, стр. 18.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Такъ какъ обжиганіе дѣлаетъ руды рыхлыми, то существуетъ правило измельчать руды лишь послѣ обжиганія. Иногда при обжиганіи руды распадаются на столь мелкіе куски, что измельченіе ихъ уже становится излишнимъ.

Между тѣмъ руды въ большихъ кускахъ представляютъ воздуху меньшую поверхность, чѣмъ руды въ мелкихъ кускахъ. Поэтому въ тѣхъ случаяхъ, когда требуется возможно полное выдѣленіе сѣры, иногда поступаютъ обратно; иногда же обжиганіе производятъ дважды: до измельченія, чтобы сдѣлать руду болѣе рыхлою, и потомъ вторично, ради выдѣленія сѣры.

Отличительные признаки хорошо обожженныхъ рудъ. Температура обжига лишь въ исключительныхъ случаяхъ можетъ быть такъ высока, что руды спекаются; поэтому нахожденіе въ рудѣ спекшихся и ошлакованныхъ кусковъ является обыкновенно признакомъ дурнаго обжиганія.

Цвѣтъ хорошо обожженной руды долженъ быть краснымъ, такъ какъ при обжиганіи должна образоваться окись желѣза. Вообще можно считать, что руда обожжена тѣмъ лучше, чѣмъ равномѣрнѣе и ярче красный цвѣтъ ея.

Исключеніе изъ этого правила составляютъ лишь тѣ руды, которыя ради полнаго выдѣленія сѣры нагрѣвались до спеканія; цвѣтъ ихъ обыкновенно синеватосѣрый. Такая окраска характерна какъ для магнитной окиси желѣза, такъ и для расплавленной окиси.

Если разбить кусокъ обожженной руды, то внутренность его должна имѣть тотъ же видъ, что и наружность его. Если ядро куска напоминаетъ своимъ видомъ необожженную руду, то это показываетъ, что обжиганіе было недостаточно продолжительно.

Мы уже говорили, что обжиганіе тѣмъ труднѣе можетъ подѣйствовать на внутреннія части кусковъ руды, чѣмъ крупнѣе эти куски. Поэтому и передъ обжиганіемъ очень часто полезно бываетъ дробить руду на болѣе мелкіе куски.

Куски обожженной руды должны легко дробиться; нѣкоторыя руды, въ особенности содержащія углекислую соль желѣза, послѣ удачнаго обжига можно разламывать просто рукою.

b) Способы обжиганія.

Самое слово „обжиганіе“ показываетъ намъ, что процессъ этотъ состоитъ въ накаливаніи руды теплотою выдѣляющеюся при горѣніи какого нибудь горючаго матеріала, твердаго или газообразнаго.

При обжигѣ углистыхъ желѣзняковъ, которые сами богаты горючими составными частями, обыкновенно не нужно тратить особаго горючаго матеріала. Нерѣдко даже слу-

НБ УДУНТ (ІПБТ)

чается, что теплоты, развивающейся при ихъ обжиганіи, хватаетъ и на обжиганіе другихъ рудъ, съ ними смѣшанныхъ, безъ малѣйшей траты горючаго.

Обжиганіе въ кучахъ и стойлахъ.

Мы знаемъ уже, что переугливаніе дерева и каменнаго угля въ кучахъ является простѣйшимъ и древнѣйшимъ способомъ полученія древеснаго угля и кокса и что впослѣдствіи уже перешли къ веденію той же операціи въ печахъ, ради болѣе совершеннаго пользованія теплотою и лучшаго управленія ходомъ процесса. Точно также самымъ простымъ и древнимъ способомъ обжиганія желѣзныхъ рудъ является обжиганіе ихъ въ кучахъ, которыя складываются изъ перемежающихся слоевъ руды и горючаго матеріала. Теплотою, развивающейся вслѣдствіе постепеннаго сжиганія топлива при доступѣ воздуха руда и обжигается.

Горючимъ матеріаломъ для обжиганія рудъ въ кучахъ (если только обжигаются не углистые желѣзняки) служитъ обыкновенно древесно- или каменноугольная мелочь.

Кучамъ придаютъ форму плоскихъ, усѣченныхъ пирамидъ съ прямоугольнымъ основаніемъ. Ширина ихъ должна быть такова, чтобы воздухъ могъ проникать до середины кучи. Она зависитъ поэтому отъ величины и формы кусковъ руды и при рудахъ, обжигаемыхъ помощью различныхъ горючихъ матеріаловъ, бываетъ большею частью около 4—6 метровъ, тогда какъ при обжиганіи углистыхъ желѣзняковъ, кучи дѣлаютъ шириною до 10 метровъ. Длина кучъ зависитъ отъ количества обжигаемой руды и отъ размѣровъ площади, имѣющейся въ нашемъ распоряженіи. При углистыхъ желѣзнякахъ длина кучъ достигаетъ 60 м. Высота кучи должна быть такова, чтобы газы могли свободно выходить изъ нея. Подобно ширинѣ кучи она зависитъ отъ величины и формы кусковъ. Вообще высота кучи измѣняется въ предѣлахъ между 1 и 5 метрами, но въ рѣдкихъ случаяхъ бываетъ больше 2,5 метровъ.

Для устройства кучи выбираютъ сухую и ровную площадь вблизи мѣста склада рудъ, и въ случаѣ необходимости, площадь эту утрамбовываютъ глиною или вымащиваютъ камнемъ. Если обжигаются руды, не содержащія угля, то на почву помѣщаютъ сначала слой легко воспламеняющагося горючаго матеріала, напр. дровъ съ насыпанными между ними стружками, кирпичами, торфа, сосновыми шишками или какимъ нибудь другимъ подобнымъ горючимъ, но иногда употребляютъ одинъ лишь древесноугольный мусоръ. Длина и ширина этого слоя горючаго соотвѣтствуютъ ширинѣ и длинѣ основанія будущей кучи. Этотъ самый нижній слой кучи называется подстилкой кучи.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Затѣмъ слѣдуетъ слой руды отъ 40 до 50 сантм. вышиною, затѣмъ снова слой горючаго (древесно- или каменноугольной мелочи), потомъ снова слой руды и т. д. Матеріалъ для каждаго отдѣльнаго слоя подвозится въ тачкахъ и старательно разравнивается клюшками.

Такъ какъ верхніе слои кучи проникаются всѣми поднимающимися кверху газами, и при этомъ уже нагрѣваются, то толщину слоевъ руды дѣлаютъ вообще тѣмъ больше, чѣмъ выше они лежатъ въ кучѣ, чтобы достичь этимъ путемъ по возможности равномѣрнаго нагрѣванія всей кучи.

При настилкѣ слоевъ куча принимаетъ сама собой видъ плоской, усѣченной пирамиды, стороны которой наклонены соотвѣтственно углу естественнаго откоса матеріала; иногда, впрочемъ, находятъ нужнымъ складывать стѣны вертикальными изъ подходящихъ кусковъ руды.

Въ заключеніе куча снабжается покрышкой изъ угольной мелочи и потомъ зажигается близъ основанія.

При обжиганіи углистыхъ желѣзняковъ, какъ упомянуто выше, особаго горючаго не требуется. Если они трудно загораются, то при складываніи кучи изъ большихъ кусковъ руды, устраиваютъ на почвѣ зажигательные каналы, идущіе до середины кучи и заполняемые легковоспламеняющимся горючимъ матеріаломъ.

Очень длинныя кучи зажигаютъ иногда только съ одного конца такъ, что огонь распространяется по направленію къ другому концу. Обожженныя руды убираются постепенно, такъ, что можно начинать складывать новую кучу прежде, чѣмъ старая будетъ вполнѣ обожжена.

Время, потребное для обжиганія рудъ въ кучахъ, зависитъ отъ величины кучи; по большей части обжигъ продолжается отъ 2 недѣль до нѣсколькихъ мѣсяцевъ. Весьма различенъ бываетъ также расходъ горючаго при обжигѣ рудъ, которыя сами не содержатъ горючихъ составныхъ частей; это зависитъ отъ рода горючаго, температуры необходимой для обжиганія и величины кучи. При употребленіи каменноугольной мелочи за средній расходъ ея на 1000 клгр. руды можно считать 100 клгр. Плата рабочимъ въ большинствѣ случаевъ 40—50 пфенниговъ за то-же количество руды (0,3—0,4 коп. за пудъ).

Такъ какъ куча со всѣхъ сторонъ и сверху совершенно открыта и подвержена дѣйствію постоянно притекающаго свѣжаго воздуха, то пользованіе теплотою горючаго при обжиганіи руды въ кучахъ не можетъ быть совершеннымъ. Кромѣ того слѣдуетъ замѣтить, что ходъ обжиганія зависитъ отъ погоды, въ особенности же отъ силы и направленія вѣтра. Наконецъ, помимо всѣхъ этихъ случайностей, уже въ силу того, что верхніе слои руды нагрѣваются сильнѣе ниж-

НБ УДУНТ (ІПБТ)

нихъ, едва-ли возможно добиться совершенно равномѣрнаго обжиганія всей массы руды даже при самомъ тщательномъ устройствѣ кучи. Въ одной и той же кучѣ будетъ всегда попадаться и не дожженная и пережженная руда.

Такъ какъ въ настоящее время въ силу различныхъ обстоятельствъ, приходится больше прежняго обращать вниманіе на экономію въ горючемъ и улучшеніе самаго способа работы при всякомъ металлургическомъ процессѣ, то обжиганіе желѣзныхъ рудъ въ кучахъ съ каждымъ годомъ примѣняется все рѣже и рѣже. Обжиганіе въ кучахъ всего чаще примѣняется нынѣ лишь для углистыхъ желѣзняковъ, такъ какъ въ этомъ случаѣ можно обращать меньше вниманія на экономію горючаго, и, кромѣ того, самый способъ работы отличается простотой и дешевизной.

Иногда для устраненія недостатковъ обжиганія въ кучахъ ихъ окружаютъ низкой стѣной, въ которой устроено много отверстій для впуска воздуха. Такія устройства называются стойлами. Закладывая отверстія въ стѣнкѣ, ихъ можно произвольно регулировать притокъ воздуха (тягу), смотря по направленію вѣтра Однако преимущества стойлъ не велики, а между тѣмъ устройство и уходъ за стойлами влекутъ за собой расходы, которыхъ при обжиганіи въ кучахъ не бываетъ. Вотъ почему обжиганіе въ стойлахъ употребляется еще рѣже, чѣмъ обжиганіе въ кучахъ.

Обжиганіе въ печахъ. При обжигѣ рудъ примѣняются почти исключительно шахтныя печи. Отъ стойла обжигательная печь отличается большей высотой и меньшей шириной, а, главнымъ образомъ, тѣмъ, что въ нижней ея части сдѣланы отверстія для выгрузки обожженной руды такъ, что засыпанная въ колошникъ руда опускается постепенно внизъ, и печь можетъ дѣйствовать непрерывно. Продукты же горѣнія, образующіеся въ нижней части печи, поднимаются кверху и встрѣчаются съ движущимися внизъ рудами. Это взаимно противоположное движеніе тѣлъ, воспринимающихъ теплоту и отдающихъ ее, свойственное всѣмъ настоящимъ шахтнымъ печамъ, значительно облегчаетъ передачу теплоты, какъ это было уже указано выше (стр. 35).

Кромѣ того, такъ какъ всѣ засыпанныя въ колошникъ печи куски руды проходятъ одно и тоже разстояніе, и, слѣдовательно, нагрѣваются въ одинаковой степени, то вообще обжиганіе въ печахъ идетъ гораздо равномѣрнѣе, чѣмъ въ кучахъ и стойлахъ.

Непрерывность работы, меньшій расходъ горючаго и болѣе равномѣрный обжигъ руды—всѣ эти преимущества дѣлаютъ обжиганіе въ печахъ наиболѣе совершеннымъ способомъ обжиганія; поэтому въ настоящее время такой способъ

НБ УДУНТ (ІПБТ)

обжига является наиболѣе обыкновеннымъ тогда, какъ обжиганіе въ кучахъ и стойлахъ являются лишь исключеніями.

Если при обжиганіи употребляются твердые горючіе матеріалы—напр. угольная мелочь,—то они засыпаются слоями поперемѣнно съ рудою.

Опуская внизъ, горючее постепенно сожигается поднимающимся токомъ воздуха. Если обжиганіе производится на газообразномъ горючемъ матеріалѣ (доменныхъ газахъ, рѣже на генераторныхъ), то газъ впускаютъ въ печь черезъ отверстія въ нижней ея части. Воздухъ, необходимый для горѣнія, обыкновенно— входитъ въ печь черезъ отверстія для выгребанія руды; при этомъ онъ долженъ пройти между горячими кусками руды, охлаждаетъ ихъ и возвращаетъ унесенную ими теплоту обратно въ печь. Нерѣдко, однако, кромѣ этихъ отверстій устраиваютъ еще особыя отверстія для внусканія воздуха въ печь, въ особенности въ тѣхъ случаяхъ, когда требуется сильно окислительное обжиганіе. Тяга воздуха почти всегда производится самою печью, которая дѣйствуетъ при этомъ подобно трубѣ. Лишь въ рѣдкихъ исключительныхъ случаяхъ—при обжиганіи плотныхъ рудъ въ высокихъ печахъ—примѣняли болѣе дорогое дутье.

Газовыя топки имѣютъ въ этомъ случаѣ, кромѣ уже указанныхъ выше удобствъ, еще то преимущество передъ топками для твердаго горючаго матеріала, что руды не загрязняются золою горючаго матеріала. Кромѣ того, въ случаѣ необходимости добиться возможно полнаго выдѣленія сѣры изъ проникнутыхъ колчеданами рудъ, газовые топки оказываются болѣе пригодными для полученія требуемой для этого высокой температуры и окислительной атмосферы. Если, несмотря на это, газовыя печи не такъ часто употребляются для обжиганія рудъ, какъ печи, дѣйствующія на твердомъ горючемъ матеріалѣ, то главная причина этого заключается въ томъ обстоятельствѣ, что угольная мелочь, служащая обыкновенно горючимъ матеріаломъ на большинствѣ заводовъ, не стоитъ почти ничего, тогда какъ превращеніе ея въ горючій газъ невозможно безъ затратъ на устройство и уходъ за генераторами, расходъ же этотъ обыкновенно не соотвѣтствуетъ достигаемымъ выгодамъ.

Надо замѣтить также, что уходъ за газовой печью требуетъ большаго вниманія, чѣмъ уходъ за печью, дѣйствующей на твердомъ горючемъ.

Кромѣ того нужно принять во вниманіе, что названные выше газы, которые исключительно и примѣняются для обжиганія желѣзныхъ рудъ, требуютъ довольно высокой температуры въ пространствѣ горѣнія, чтобы загорѣться и сгорѣть совершенно. Между тѣмъ такая температура желательна не для всѣхъ рудъ.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Газовыя печи для обжиганія примѣняются преимущественно тамъ, гдѣ имѣются въ распоряженіи колошниковые газы доменныхъ печей, т. е. самъ по себѣ ничего не стоющій побочный продуктъ доменнаго производства. Тамъ-же, гдѣ газы эти сполна расходуются на отопленія котловъ и воздухонагрѣвательныхъ аппаратовъ, какъ это бываетъ на большей части доменныхъ заводовъ, гдѣ, слѣдовательно, употребленіе газовъ для обжиганія рудъ вызываетъ расходъ болѣе цѣннаго горючаго матеріала для указанныхъ выше цѣлей, тамъ почти всегда слѣдуетъ отдавать преимущество обжиганію руды на угольной мелочи передъ обжиганіемъ ея на газѣ.

Соединительнымъ звеномъ между настоящими газовыми рудо-обжигательными печами и печами, дѣйствующими — на угольной мелочи, являются такія печи, у которыхъ внѣ-шахты устроены колосниковыя рѣшетки, соединяющіяся со внутренностью печи. На рѣшеткахъ этихъ сожигаются горючіе матеріалы, дающіе пламя (дерево, каменный уголь) такъ, что продукты горѣнія проходятъ черезъ печь и засыпанную въ нее руду. Такія печи имѣютъ вмѣстѣ съ газовыми печами то преимущество, что руды вовсе не загрязняются золою и что въ нихъ можно получить болѣе окислительную атмосферу, чѣмъ при соприкосновеніи руды съ раскаленнымъ углемъ. Однако онѣ все-таки требуютъ болѣе дорогостоющаго горючаго матеріала, чѣмъ обыкновенныя печи для угольной мелочи. Ихъ примѣняли въ нѣкоторыхъ исключительныхъ случаяхъ тамъ, гдѣ особенно желали воспользоваться указанными преимуществами газовыхъ печей, не имѣя при томъ въ своемъ распоряженіи горючихъ газовъ. Въ общемъ онѣ получили лишь ограниченное распространеніе [1]).

Форма и величина различныхъ обжигательныхъ печей, употребляемыхъ на чугуноплавительныхъ заводахъ, весьма разнообразны. Такъ какъ изъ массы встрѣчающихся желѣзныхъ рудъ обжигается лишь небольшая часть, то понятно, что устройство обжигательныхъ печей и способы работы въ нихъ разработаны преимущественно въ извѣстныхъ лишь странахъ и округахъ, гдѣ встрѣчаются въ значительныхъ количествахъ руды требующія обжиганія (руды содержащія углекислую соль желѣза и магнитныя руды) тогда, какъ въ другихъ мѣстностяхъ, гдѣ проплавляются исключительно красные и бурые желѣзняки, часто можно не найти ни одной обжигательной печи даже на большихъ заводахъ. Съ другой стороны, требованія, предъявляемыя къ обжиганію могутъ быть различны въ зависимости отъ свойствъ самыхъ рудъ, а также отъ характера послѣдующей обработки (какъ это

[1]) Изображенія подобныхъ печей имѣются въ сочиненіи Окермана объ обжиганіи рудъ, которое указано въ „литературѣ“.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

было объяснено выше). Требованія эти въ свою очередь вызываютъ извѣстныя особенности въ устройствѣ печей цѣлаго округа.

Такъ напримѣръ, въ Кливелендѣ и Южномъ Валлисѣ главнѣйшими желѣзными рудами являются глинистые сферосидериты, которые нужно подвергать окислительному обжиганію, чтобы сдѣлать болѣе легко возстановимыми. Такъ какъ онѣ проплавляются на коксѣ или каменномъ углѣ, и обыкновенное содержаніе въ нихъ сѣры вообще не очень велико, то полное выдѣленіе изъ нихъ послѣдней не имѣетъ большаго значенія. Вслѣдствіе этого температура при обжиганіи этихъ рудъ, не должна быть такъ высока, какъ это необходимо для послѣдней цѣли. Съ другой стороны громадное потребленіе этихъ рудъ заставляетъ техниковъ гнаться за возможно большою производительностью печей. Поэтому печи этихъ округовъ отличаются въ большинствѣ случаевъ значительною величиною, соотвѣтствующей ихъ крупной производительности. Горючимъ служитъ большею частью каменный уголь, стоющій здѣсь дешево, такъ что употребленіе газовыхъ печей не принесло бы здѣсь большихъ выгодъ.

Иначе слагаются обстоятельства тамъ, гдѣ магнитные желѣзняки плавятся на древесномъ углѣ, гдѣ, слѣдовательно, необходимо не только перевести въ болѣе высокую степень окисленія желѣзо этихъ трудно возстановимыхъ рудъ, но и по возможности выдѣлить всю содержащуюся въ нихъ сѣру. Въ этомъ отношеніи особенно поучителенъ примѣръ Швеціи. Для разрѣшенія вышеуказанной задачи требуется не только сильное окислительное дѣйствіе, но и высокая температура, вызывающая спеканіе рудъ. Здѣсь, слѣдовательно особенно пригодны газовыя печи. Швеція, техники которой издавна обращали особое вниманіе на разработку способовъ обжиганія, является родиной газовыхъ обжигательныхъ печей, а также близкихъ къ нимъ рудообжигательныхъ печей съ колосниковыми рѣшетками внѣ шахты печи. Отсюда печи эти перешли въ другія мѣстности, гдѣ существуютъ подобныя же условія (Сѣверная Америка, Венгрія, Уралъ). Но все-таки едва-ли въ какой нибудь странѣ обжиганіе рудъ ведется въ такихъ широкихъ размѣрахъ какъ въ Швеціи.

Въ Альпійскихъ провинціяхъ Австріи обжигаются преимущественно шпатовыя руды, проплавляемыя затѣмъ на коксѣ или древесномъ углѣ. Часть этихъ рудъ довольно бѣдна сѣрою и главною цѣлью обжиганія ихъ, особенно въ случаѣ проплавки ихъ на коксѣ, является разложеніе и окисленіе углекислой соли желѣза; другія руды сильно проникнутыя колчеданами обжигаются главнѣйше ради выдѣленія изъ нихъ сѣры. Однако высокая температура печи, необходимая для полнаго выдѣленія сѣры изъ плотныхъ магнитныхъ желѣзняковъ Швеціи, вызвала бы совершенное ошлакованіе шпатова-

НБ УДУНТ (ІПБТ)

го желѣзняка. Кромѣ того такая температура оказалась бы совершенно излишнею и потому, что руды эти при своемъ разложеніи и безъ того превращаются въ рыхлое, пористое вещество, что даетъ возможность воздуху проникать во внутренность кусковъ руды. Нѣкоторыя руды при обжиганіи даже совершенно распадаются и затрудняютъ этимъ движеніе газовъ въ печи, обусловливая такимъ образомъ употребленіе печей небольшой высоты. Поэтому устройство обжигательныхъ печей Альпійскихъ заводовъ довольно разнообразно. Характерною особенностью ихъ является значительное количество вводимаго въ печь воздуха, распредѣляющагося по большей поверхности; этимъ путемъ достигается сильное окислительное дѣйствіе печи и устраняются чрезмѣрныя мѣстныя повышенія температуры въ ней. Для рудъ плотно слеживающихся примѣняются совершенно низкія печи съ газовой топкой.

Въ Германіи руды, подвергающіяся обжиганію, составляютъ вообще меньшую часть проплавляемыхъ рудъ, чѣмъ въ названныхъ выше странахъ. Плавка въ большинствѣ случаевъ ведется на коксѣ, вслѣдствіе чего полное выдѣленіе сѣры изъ рудъ едвали необходимо. Вообще обжиганіе здѣсь не имѣетъ такого значенія, какъ въ названныхъ выше странахъ. Нѣкоторые заводы однако, проплавляющіе главнѣйше шпатовые желѣзняки и сферосидериты имѣютъ обширныя приспособленія для обжиганія рудъ.

Рудообжигательныя печи Германіи, сообразно съ указанными выше обстоятельствами, имѣютъ обыкновенно средніе размѣры и отличаются простотой своего устройства. Нерѣдко въ одной и той же печи послѣдовательно обжигаютъ нѣсколько рудъ различнаго рода (шпаты, магнитные желѣзняки).

Въ прежнее время, когда господствовало убѣжденіе что черезъ тонкія стѣны можетъ теряться много тепла, обжигательныя печи устраивали съ внутренней шахтой, которая окружалась наружной кладкой изъ краснаго кирпича, часто весьма значительной толщины. Такія обжигательныя печи, на видъ весьма неуклюжія, употребляются до сихъ поръ на различныхъ заводахъ, такъ какъ обыкновенно нѣтъ причинъ ломать ихъ, тамъ гдѣ онѣ уже существуютъ.

Тамъ же, гдѣ строятъ новыя печи, поступаютъ сообразно соображеніямъ относительно устройства печей изложенномъ выше: шахту печи снабжаютъ арматурой, состоящей изъ желѣзной одежды, а иногда даже просто изъ желѣзныхъ колецъ. Кладки изъ краснаго кирпича не дѣлаютъ вовсе. Вся печь дѣлается отъ этого легче, дешевле и занимаетъ меньше мѣста, безъ ущерба для прочности ея. Примѣры

НБ УДУНТ (ІПБТ)

новѣйшихъ печей для обжиганія желѣзныхъ рудъ, приведенные ниже могутъ служить для уясненія преимуществъ такой системы устройства.

Производительность обжигательной печи, т. е. количество руды обжигаемой въ ней въ извѣстный періодъ времени, зависитъ главнымъ образомъ отъ ея размѣровъ, но также и отъ свойствъ обжигаемой руды, системы топки и даже отъ существующей потребности въ обожженной рудѣ. Опытъ показалъ, что ходъ работы большинства обжигательныхъ печей, въ особенности дѣйствующихъ на твердомъ горючемъ матеріалѣ, можно ускорять и замедлять въ довольно широкихъ предѣлахъ, въ зависимости отъ условій производства, причемъ не замѣчаютъ другихъ неудобствъ, кромѣ развѣ повышеннаго расхода горючаго матеріала, при слишкомъ ускоренномъ ходѣ процесса. Это объясняетъ намъ почему для многихъ печей количество обожженной за день руды на куб. метръ емкости печи, бываетъ не больше 400—450 клгр., между тѣмъ какъ другія печи имѣютъ производительность въ четверо большую, если только при этомъ не опасаются нѣкотораго увеличенія расхода горючаго.

Чтобы имѣть возможность доставлять вагончики съ рудой и горючимъ къ самому колошнику рудообжигательной печи необходимы особыя приспособленія.

Если мѣстность, на которой расположенъ заводъ, имѣетъ паденіе, то обжигательныя печи охотно располагаютъ на болѣе низкомъ горизонтѣ и устраиваютъ горизонтальный или слабовозстающій помостъ, идущій отъ мѣста свалки руды къ колошнику печи.

Если подобное расположеніе невозможно, а высота печи не особенно велика, то устраиваютъ наклонную плоскость, деревянную или металлическую, идущую отъ почвы къ колошнику печи.

При большомъ размѣрѣ производства устраиваютъ механическіе колошниковые подъемы. Въ этомъ случаѣ нѣсколько обжигательныхъ печей соединяютъ помостами (эстакадами) и устраиваютъ одинъ общій колошниковый подъемъ для всѣхъ печей. Устройство такихъ подъемовъ въ сущности такое же, какъ при доменныхъ печахъ, гдѣ они служатъ для подъема шихты на колошникъ (см. второй томъ этого сочиненія: полученіе чугуна). Иногда употребляютъ гидравлическіе подъемы, которые поднимаютъ на колошникъ цѣлый желѣзнодорожный вагонъ и затѣмъ, послѣ разгрузки, снова спускаютъ его.

Если мѣсто свалки руды очень удалено отъ рудообжигательныхъ печей, то, устраивая проволочную дорогу, можно до-

НБ УДУНТ (ІПБТ)

ставлять руды непосредственно отъ мѣста свалки на колошниковую площадку обжигательной печи, не стѣсняясь уже неровностями почвы и лежащими на пути зданіями. Иногда руды доставляются къ обжигательнымъ печамъ непосредственно изъ рудника, при помощи висячаго (проволочнаго) пути.

Работа у обжигательныхъ печей обыкновенно довольно проста. Черезъ извѣстные промежутки времени, обыкновенно черезъ 6—12 часовъ, при газовыхъ печахъ еще чаще (1—3 часа), изъ печи выгребается извѣстное количество руды.

Руда лежавшая выше опускается, заполняя образовавшееся пустое пространство, а въ колешникъ засыпается соотвѣтственное количество свѣжей руды. Если горючимъ служитъ уголь, то его засыпаютъ рудой. Толщина слоевъ руды и горючаго зависитъ отъ величины печи и свойства руды.

При употребленіи твердаго горючаго матеріала горѣніе его распространяется по направленію снизу вверхъ („огонь поднимается“) и при выгребаніи руды изъ печи раскаливается обыкновенно и верхній слой угля, если только печь не очень высока.

Въ газовыхъ-же печахъ горѣніе, конечно, ограничивается извѣстнымъ пространствомъ, пока не измѣнятся количества притекающаго газа и воздуха.

Въ печахъ, въ которыхъ легко получается высокая температура, и при рудахъ, склонныхъ къ спеканію, можетъ случиться, что спекшіяся массы руды образуютъ настоящіе своды, задерживающіе опусканіе находящейся выше ихъ руды. Въ этомъ случаѣ, для поддержанія дѣйствія печи, необходимо разбивать эти настыли ломами. Поэтому у печей, въ которыхъ можно опасаться частаго образованія подобныхъ настылей, дѣлаютъ въ стѣнахъ отверстія, близъ такихъ мѣстъ гдѣ развивается самая высокая температура, слѣдовательно на нѣкоторой высотѣ надъ отверстіями для входа воздуха. Черезъ эти отверстія вводятся въ печь инструменты назначенные для разбиванія спекшейся руды.

Работая какъ сказано выше печь можетъ дѣйствовать непрерывно, пока вслѣдствіе постепеннаго изнашиванія она не потребуетъ ремонта.

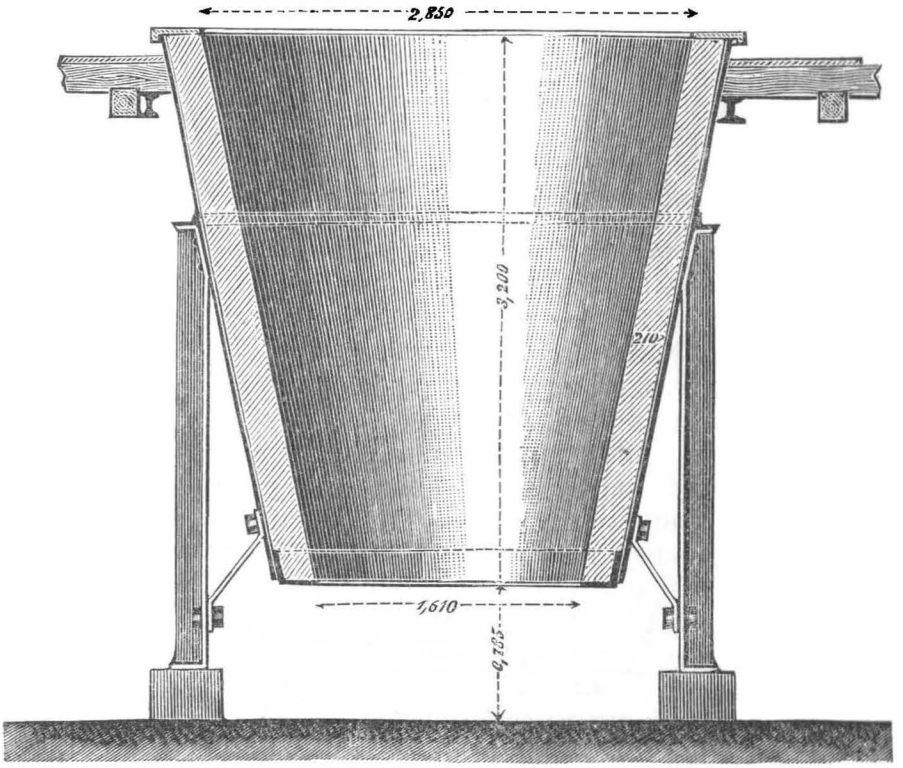
Само собою разумѣется, что работа у обжигательныхъ печей, въ которыхъ должна получаться температура спеканія рудъ, ради полнаго выдѣленія сѣры (при обжиганіи шведскихъ магнитныхъ желѣзняковъ), представляетъ большія трудности и требуетъ большей осторожности, чѣмъ работа у обыкновенной обжигательной печи.

Пустить холодную печь въ ходъ не представляетъ особыхъ трудностей. Внизу печи накладываютъ слой легко воспламеняющагося горючаго матеріала, зажигаютъ, его засы-

НБ УДУНТ (ІПБТ)

паютъ уголь и, когда послѣдній разгорится, руду и т. д. пока печь не будетъ наполнена до верху. Чѣмъ печь выше, и чѣмъ плотнѣе ложатся руды, тѣмъ медленнѣе и осторожнѣе нужно пускать ее въ ходъ, чтобы не заглушить огонь. При газовыхъ печахъ у отверстій для впуска газа накладываютъ также сначала куски дерева или чего нибудь подобнаго, въ середину печи кладутъ куски руды, на которые снова располагается руда смѣшанная съ углемъ, пока печь не будетъ наполнена на половину или треть своей высоты. Затѣмъ зажигаютъ дерево и продолжаютъ постепенно наполнять печь. Когда при этомъ нижняя часть печи нагрѣется до температуры краснаго каленія, пускаютъ въ печь газъ, послѣ чего работа идетъ уже правильнымъ ходомъ.

Рис. 55.



Примѣры устройства рудообжигательныхъ печей.

Печь, изображенная на рис. 55 и извѣстная подъ названіемъ Зигенской обжигательной печи представляетъ, быть можетъ самый простой видъ рудообжигательныхъ печей.

Вся печь состоитъ изъ опрокинутаго конуса, поддерживаемаго тремя стойками. Пространство между поверхностью земли и нижнимъ краемъ шахты, во время дѣйствія печи, бываетъ наполнено обожженной рудой, которая здѣсь охлаж-

НБ УДУНТ (ІПБТ)

дается. Если удалить эту обожженную руду, то изъ печи вываливается соотвѣтственное количество руды. Съуженіе шахты книзу способствуетъ болѣе равномѣрному распредѣленію поступающаго въ печь воздуха и образующихся продуктовъ горѣнія. Если бы шахта печи имѣла форму цилиндрическую, то воздухъ входя въ печь сталъ-бы подниматься по стѣнамъ ея, не попадая въ середину. Чѣмъ ближе къ оси шахты поступаетъ въ нее воздухъ, тѣмъ равномѣрнѣе онъ распредѣляется. Этотъ типъ обжигательныхъ печей съ хорошимъ успѣхомъ примѣняютъ для обжиганія всѣхъ тѣхъ рудъ, которыя не требуютъ для своего обжиганія высокой температуры: шпатовыхъ желѣзняковъ, сферосидеритовъ, углистыхъ желѣзняковъ.

Размѣры печей большею частью приблизительно такіе, какіе показаны на рисункѣ [1]).

Производительность ихъ довольно значительна. По Dürre въ Гайзвейдѣ въ такой печи, объемъ которой приблизительно равенъ 15 куб. м., ежедневно обжигается около 20,000 клгрм. шпатовыхъ желѣзняковъ. На рудникахъ близъ Könitz'a въ Тюрингенскихъ горахъ принадлежащихъ заводу Königin-Marienhütte въ подобныхъ-же печахъ ежедневно обжигается 31,600 клгрм. шпатоватыхъ желѣзняковъ. Размѣры этихъ печей слѣдующіе: діаметръ—печи вверху 3,2 м., внизу—1,5 м., высота шахты—3,2 м., разстояніе нижняго края шахты до земли—0,7 м. Объемъ печи, слѣдовательно приблизительно равенъ 17 куб. м. Расходъ угля—55,3 клгр. на 1000 клгрм. руды. Потеря вѣса руды при обжиганіи—29% . На самомъ заводѣ Königin-Marienhütte (близъ г. Цвиккау) въ такой-же печи какъ въ Könitz'ѣ ежедневно обжигаютъ 58680 клгрм. углистыхъ желѣзняковъ цвикаусскаго бассейна безъ всякой затраты постороннихъ горючихъ матеріаловъ; потеря въ вѣсѣ такой руды при обжиганіи=30%. Въ упомянутыхъ выше случаяхъ въ среднемъ на 1 куб. м. объема печи причитается ежедневно около 1500 клгрм. необожженнаго шпата или 3400 клгрм. необожженнаго углистаго желѣзняка. За 1000 клгрм. необожженной руды платится рабочимъ около 25 пфенниговъ (0,2 к. за пудъ).

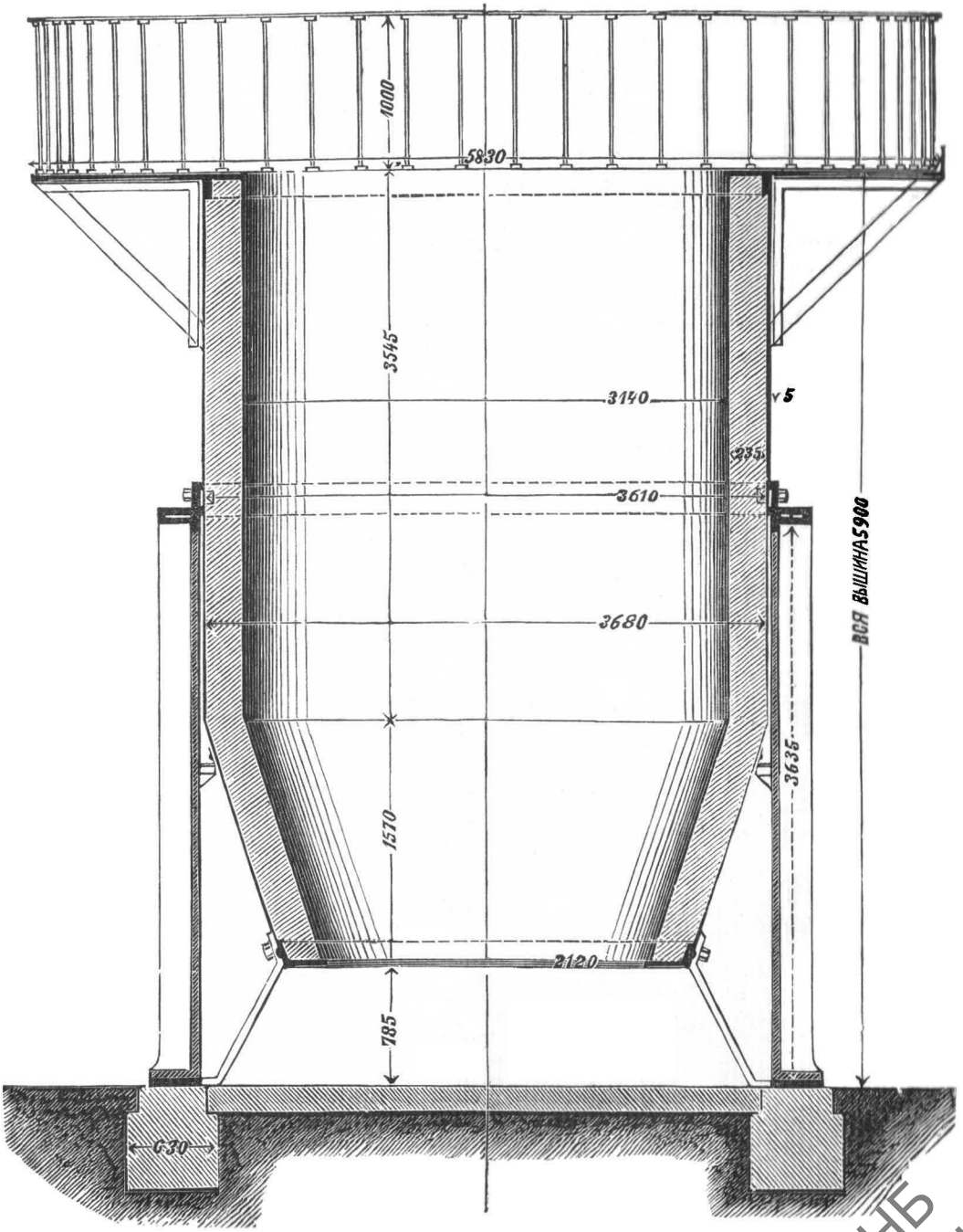
Если-бы мы вздумали придать подобной обжигательной печи размѣры большіе, противъ печи изображенной на рис. 55, съ цѣлью увеличить ея производительность, или для того чтобы имѣть возможность получать болѣе высокую температуру, то точное сохраненіе формы печи легко могло бы оказаться невозможнымъ. Колошникъ ея конечно вышелъ-бы

[1]) Размѣры, указанные рисункѣ 55 относятся къ существующей въ Гайзвейдѣ (Gaisweid) рудообжигательной печи. Полное изображеніе всѣхъ устройствъ, существующихъ тамъ для обжиганія можно найти у Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten, B. I, табл. 2.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

слишкомъ большимъ и не допускалъ бы правильной засыпки колошъ. Поэтому въ такихъ случаяхъ печамъ придаютъ

Рис. 56.

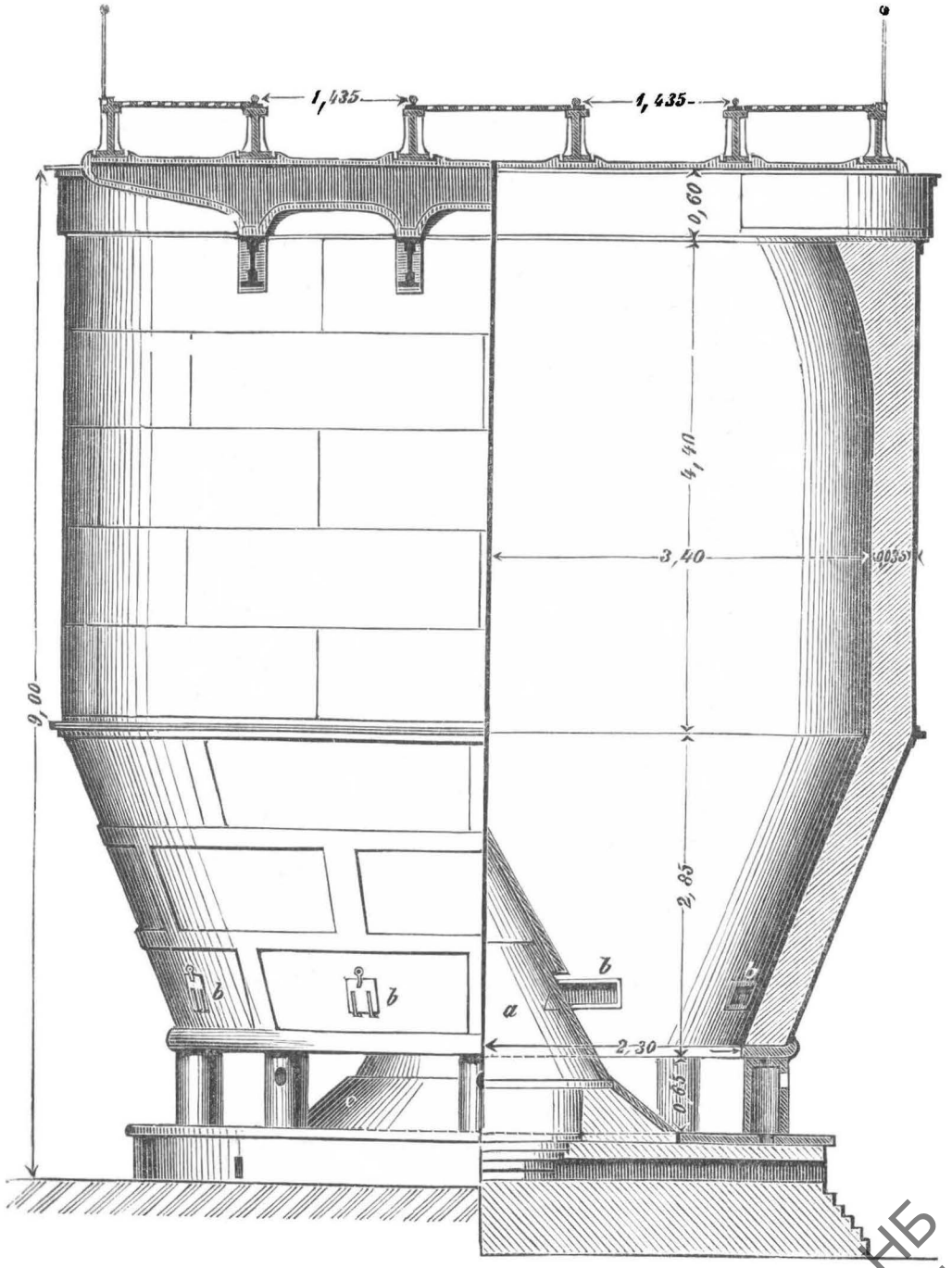


форму изображенную на рис. 56: верхнюю часть печи дѣлаютъ цилиндрическую и съуживаютъ ее лишь въ нижней

НБ УДУНТ (ПБТ)

части ея. Изображенная на рис. 56 печь употребляется на одномъ изъ заводовъ въ Верхней Силезіи для обжиганія шпа-

Рис. 57.



товыхъ и магнитныхъ желѣзняковъ. При обжиганіи магнитныхъ желѣзняковъ средняя производительность печи бываетъ

= 16—17 тоннъ въ сутки. Такъ какъ объемъ печи равенъ 36 куб. м., то на 1 куб. м. его приходится около 400 клгрм. Расходъ горючаго равняется 50 клгрм. каменноугольной мелочи на 1000 клгрм. обожженной руды.

Если придать печи еще большіе размѣры, чѣмъ у только что описанной, то съ увеличеніемъ діаметра ея будетъ все болѣе и болѣе затрудняться прониканіе воздуха въ середину печи; является слѣдовательно опасность, что здѣсь будетъ оставаться масса необожженной или не вполнѣ обожженной руды. Недостатокъ этотъ можно устранить, если по серединѣ печи на лещади поставить конусъ, который заставляетъ руды скользить наружу. При надлежащемъ устройствѣ конуса можно также проводить чрезъ него воздухъ въ среднюю часть печи.

На рис. 57 изображена такая обжигательная печь, одна изъ самыхъ крупныхъ печей этого рода до сихъ поръ устроенныхъ. Она спроектирована I. Джерсомъ (Gjers) и примѣняется на различныхъ чугуноплавильныхъ заводахъ Кливеленда для обжиганія тамошнихъ сферосидеритовъ. Массивная шахта печи поддерживается низкими чугунными колонками (у нѣкоторыхъ другихъ печей подобнаго типа каменные столбы), на которыхъ покоится чугунное кольцо; *a* — упомянутый конусъ для скольженія руды; черезъ подземный каналъ (видный на правой сторонѣ рисунка) воздухъ можетъ проходить во внутренность конуса, а оттуда въ печь; *bb* — отверстія, служащія для удаленія образующихся во время обжиганія настылей.

Надъ колошникомъ печи проложены двѣ пары рельсовъ съ обыкновенной шириной колеи, такъ что желѣзнодорожный вагонъ, нагруженный рудами или горючимъ матеріаломъ можетъ безъ затрудненія вкатиться сюда для опоражниванія. Площадки, устроенныя около рельсовъ служатъ рабочимъ для выгрузки вагоновъ.

Тамъ, гдѣ имѣется нѣсколько такихъ печей, ихъ располагаютъ рядомъ и соединяютъ между собой помостами и рельсовыми путями. Если мѣстность не позволяетъ расположить печи такимъ образомъ, чтобы колошники ихъ были доступны безъ всякихъ приспособленій, то вагончики доставляются къ колошнику помощью механическаго подъема.

Размѣры многочисленныхъ построенныхъ по этому типу печей не всегда согласуются съ размѣрами, указанными на нашемъ рисункѣ. Вышина печей бываетъ отъ 9—до 15 м, тогда какъ внутренній діаметръ самой широкой ихъ части обыкновенно бываетъ не многихъ больше 7,5 м.

У самыхъ-же маленькихъ печей онъ не бываетъ меньше указаннаго на фигурѣ 57. Объемъ такихъ печей равняется 230—450 куб. м.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Горючимъ матеріаломъ служитъ каменноугольная мелочь, и на 1000 клгрм. руды, которую нужно обжечь расходуется около 40 клгрм. угля.

Печь, нѣсколько меньшихъ размѣровъ, чѣмъ изображенная выше перерабатываетъ ежедневно около 100 тоннъ руды.

Производительность большихъ печей достигаетъ 160 тоннъ, а самыя большія печи перерабатываютъ, вѣроятно еще большія количества руды.

Количество сырой руды обжигаемой ежедневно, отнесенное къ одному куб. метру емкости печи равняется 400—450 клгрм.

Обжигательныя печи, совершенно подобныя изображенной, и также самыхъ большихъ размѣровъбыли построены Джономъ Борри (John Borrie) на Кливелендскихъ заводахъ Г. Bolckow, Vaughan & C.

Отъ описанныхъ печей Джерса печи Борри отличаются тѣмъ, что стѣны шахты, снабженныя одеждой изъ листоваго желѣза не покоятся на колонкахъ, а продолжаются до самаго фундамента, и только въ нижней части корпуса имѣется шесть отверстій для выгрузки руды. Руда, вываливающаяся изъ этихъ отверстій падаетъ черезъ желѣзныя наклоненныя внизъ воронки въ подставленные вагончики, какъ скоро будетъ отодвинута заслонка закрывающая воронку.

Суточная производительность такой печи Борри, высота которой=14, 25 м., а внутренній діаметръ=6, 25 м., достигаетъ, какъ сообщаютъ 150—200 тоннъ обожженной руды.

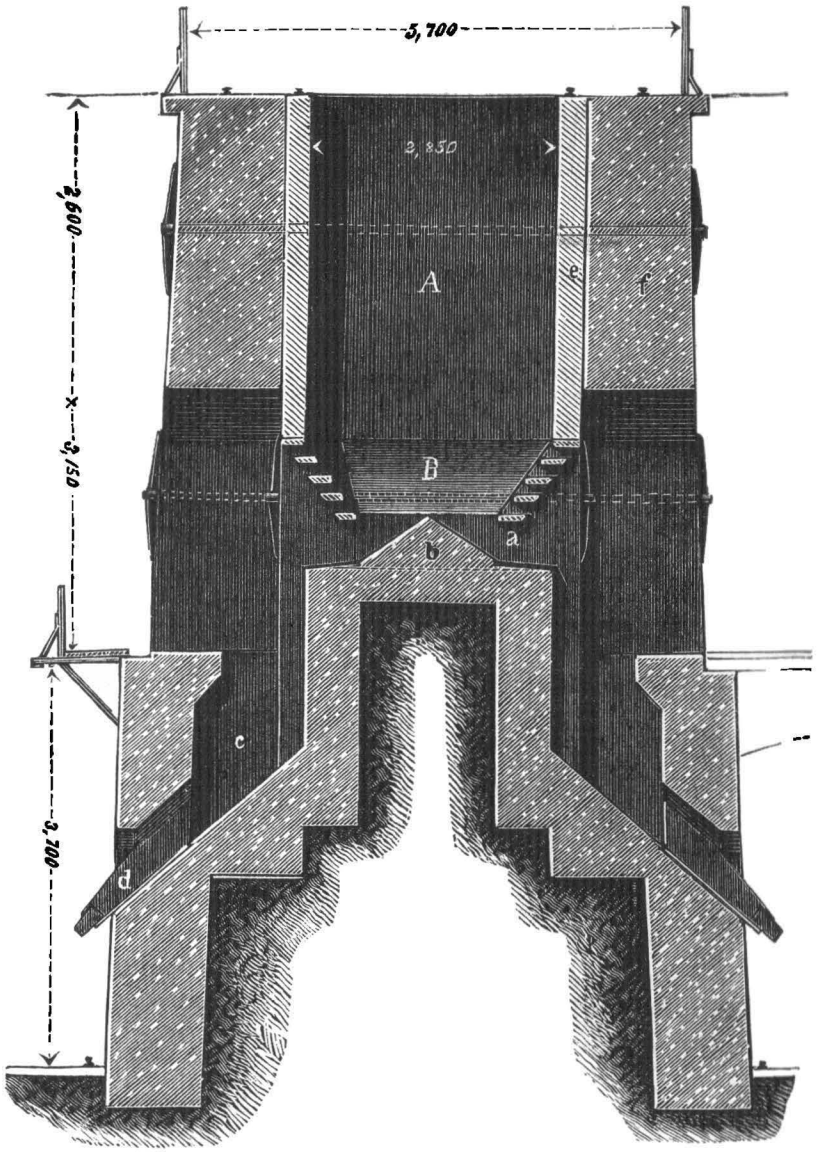
На заводахъ Штиріи и Каринтіи печи назначенныя для обжиганія шпатовыхъ желѣзняковъ, устраиваютъ издавна такимъ образомъ, чтобы дать возможность проникать во внутренность печи значительному количеству воздуха, и такимъ путемъ достичь возможно полнаго выдѣленія сѣры. Цѣли этой можно достичь, съузивъ нижнюю часть печи и устроивъ здѣсь отверстіе для входа въ печь воздуха. На рис. 58 изображена подобная печь, давно уже построенная Вагнеромъ для обжиганія шпатовыхъ желѣзняковъ Штирійской Рудной горы и часто примѣняемая еще и въ настоящее время въ томъ же самомъ видѣ или съ небольшими измѣненіями. Здѣсь f—толстая кладка стѣнъ окружающая шахту e. Внизу шахта съуживается и ограничена съ длинныхъ сторонъ ступенчатыми колосниками, состоящими изъ прочныхъ чугунныхъ задѣланныхъ въ кладку балокъ. Рѣшетки эти расположены надъ обѣими отверстіями для выгрузки обожженной руды и допускаютъ свободный проходъ воздуха въ самую средину печи. Лещадь, покатая на двѣ стороны, облегчаетъ выгребаніе руды въ каналы e, откуда руда черезъ воронку па-

НБ УДУНТ (ІПБТ)

даетъ въ нижестоящій вагончикъ. Массивный фундаментъ обусловленъ мѣстными условіями, (печь расположена на склонѣ горы).

Размѣры различныхъ печей этого типа, устроенныхъ въ различное время въ различныхъ мѣстностяхъ не всегда оди-

Рис. 58



наковы. Шахта печей въ Эйзенэрцѣ имѣетъ форму четырехгранной призмы; ширина печи—2, 85 м., длина 4, 50 м.; а въ иныхъ случаяхъ и 6, 50 м.; вышина печи 4—5 м.

Объемъ печей большихъ размѣровъ 85 к. м., суточная производительность ихъ=15—20 тоннъ обожженной руды. Если

НБ УДУНТ (ПБТ)

обжигаются только руды въ крупныхъ кускахъ, то производительность печи достигаетъ 30—40 тоннъ [1]).

Если считать, что шпатовые желѣзняки теряютъ при обжиганіи въ среднемъ 25% своего вѣса, то указанная дневная производительность печи соотвѣтствуетъ 300 клгр. мелкой или 450—550 крупной руды на 1 куб. м., объема печи; въ среднемъ слѣдовательно, на одинъ куб. м., емкости печи приходится 450 клгрм.

Расходъ горючаго на 1000 клгрм. необожженной руды равняется приблизительно 50 клгрм. древесноугольной мелочи.

Для шпатовъ особенно богатыхъ сѣрнымъ колчеданомъ, Вагнеръ предложилъ устраивать печи особаго измѣненнаго типа. Печь по всей своей длинѣ раздѣлена стѣнкою на двѣ половины, или, вѣрнѣе раздѣлена на двѣ печи, примыкающія другъ къ другу задними своими сторонами.

Ширина каждой изъ этихъ печей сравнительно незначительна (0,95 м.), тогда какъ длина ихъ равняется почти 20 м. Какъ въ наружныхъ стѣнахъ, такъ и во внутренней стѣнѣ сдѣланы каналы, изъ которыхъ воздухъ поступаетъ въ печь, черезъ многочисленныя распредѣленныя по стѣнамъ отверстія. Такъ какъ ширина печи незначительна, то воздухъ проникаетъ черезъ весь столбъ руды. Расходъ горючаго вслѣдствіе увеличеннаго притока воздуха нѣсколько больше (около 70 клгр. на 1000 клгрм. руды), но за то окислительное дѣйствіе обжига сильнѣе [2]).

Среди всѣхъ газовыхъ обжигательныхъ печей самое видное мѣсто, какъ по своей величинѣ, такъ и по производительности занимаетъ печь шведа Вестмана, предназначенная для обжиганія магнитныхъ желѣзняковъ, въ крупныхъ кускахъ, при температурѣ ихъ спеканія. Она изображена до 59 и 60.

Первая подобная печь была построена въ 1851 году на заводѣ Söderfors близъ Даннеморы. Съ тѣхъ поръ она не только постепенно вытѣснила изъ употребленія въ Швеціи газовые обжигательные печи—такъ называемыя Tenninge—но получила распространеніе и въ другихъ странахъ, гдѣ мѣстныя условія благопріятствуютъ ея употребленію.

---

[1]) Цифровыя данныя заимствованы изъ статьи Грюнера „Grillage des mineralleisen Stirie et Carinthie. Annales des mines, serie VII vol. IX, въ которой приводятся подробныя данныя относительно печей для обжиганія желѣзныхъ рудъ въ Штиріи и Каринтіи.

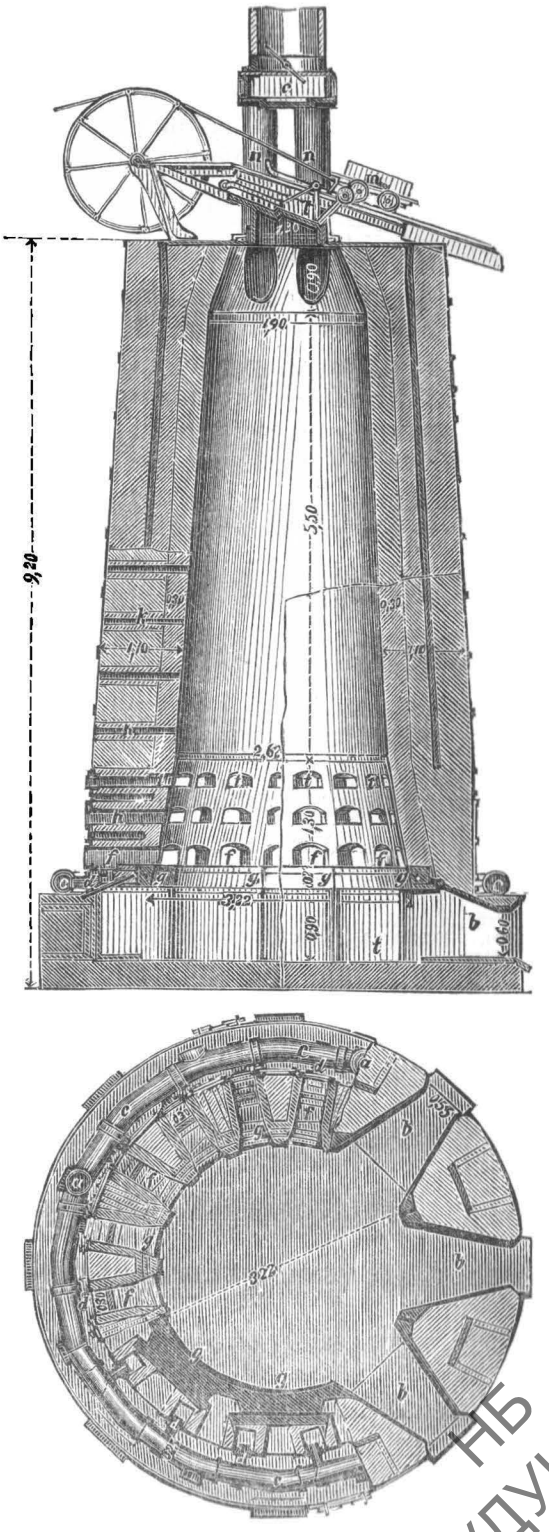
[2]) Изображеніе этой печи читатель можетъ между прочимъ найти въ слѣдующихъ сочиненіяхъ: Kerl Grundrisse der Eisenhüttenkunde S. 72, Leipsig 1875; Percy—металлургія чугуна русскаго перевода, II. S. 450. Такъ какъ печь обязана своимъ происхожденіемъ мѣстнымъ условіямъ, то мы не сочли нужнымъ воспроизводить ея изображеніе.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Въ Швеціи печи эти дѣйствуютъ исключительно на доменныхъ газахъ. Съ такимъ-же успѣхомъ можно было-бы примѣнить съ этою цѣлью генераторный газъ, если только онъ не содержитъ много влаги. Однако-же тамъ, гдѣ нельзя имѣть въ своемъ распоряженіи доменныхъ газовъ для обжига рудъ, не существуетъ и важнѣйшаго повода къ устройству газовыхъ обжигательныхъ печей, о чемъ мы уже упоминали выше. Другая-же причина вызывающая устройство такихъ печей, это возможность достиженія болѣе полнаго выдѣленія сѣры изъ проникнутыхъ колчеданами плотныхъ магнитныхъ желѣзняковъ теряетъ свое значеніе, если содержаніе сѣры въ рудахъ не чрезмѣрно высоко и руды проплавляются не на древесномъ углѣ, а на горючемъ матеріалѣ изъ царства ископаемаго.

Хотя вслѣдствіе всего этого распространеніе печей Вестмана и ограничивается почти исключительно мѣстностями, гдѣ горючимъ для плавки обожженныхъ магнитныхъ рудъ служитъ древесный уголь, печь эта все-таки имѣетъ большое значеніе для страны, играющей не малую роль во всемірномъ производствѣ желѣза, а потому заслуживаетъ болѣе подробнаго разсмотрѣнія.

Рис. 59 и 60.



НБ УДУНТ (ІПБТ)

Шахта печи въ противоположность обжигательнымъ печамъ для болѣе низкихъ температуръ, расширяется книзу, чтобы затруднить прилипаніе спекшейся руды къ стѣнкамъ ея и облегчить равномѣрное опусканіе ея.

Расширеніе это достигаетъ крайняго предѣла въ той части печи, которая находится непосредственно надъ отверстіями для впуска въ печь газа, гдѣ находится такъ называемый поясъ обжиганія, т. е. гдѣ наблюдается наивысшая температура, благодаря которой руда принимаетъ тѣстообразное состояніе.

Печь состоитъ изъ внутренней шахты и внѣшняго кожуха. Первая поддерживается чугуннымъ кольцомъ *gg*, составленнымъ изъ отдѣльныхъ сегментовъ и образующимъ въ тоже время внутренній край отверстій для выгребанія руды *bb*. Кольцо это лежитъ на кладкѣ простѣнковъ раздѣляющихъ эти отверстія.

Газы по двумъ или четыремъ вертикальнымъ трубамъ *a* (рис. 60) поступаютъ въ трубу С, идущую вокругъ печи и лежащую на выступѣ печной кладки, непосредственно надъ выгребными отверстіями. Изъ трубы С черезъ подтрубки *dd* газы поступаютъ въ каналы *ff*, а оттуда въ печь. Каналы эти, находящіеся непосредственно надъ кольцомъ *g*, выходятъ также и наружу и закрываются здѣсь или заслонками или дверцами, такъ что всегда имѣется возможность вводить черезъ нихъ въ печь инструменты для выломки руды. Число отверстій для входа газа вдвое больше числа отверстій для выгребанія руды. Они расположены такъ близко другъ къ другу, что руда по всей своей окружности доступна для инструментовъ. Кромѣ того они расположены такъ низко надъ отверстіями для выгребанія руды, что въ случаѣ крайности настыли въ нижней части печи могутъ быть удалены и черезъ послѣднія отверстія. Надъ отверстіями *ff*, на такомъ разстояніи какое допускаетъ прочность кладки печи, находится другой рядъ отверстій—*hh* и надъ ними еще третій рядъ *ii*. И тѣми и другими пользуются въ случаѣ необходимости для разбиванія настылей и спекшихся массъ руды. Они расположены на такомъ маломъ разстояніи другъ отъ друга и такъ расширены внутрь, что руда спекающаяся на ихъ горизонтѣ также доступна для инструментовъ. Надъ только что поименованными отверстіями находятся 4 ряда отверстій, служащихъ для наблюденія за температурой. Отверстія эти, также какъ и всѣ отверстія для разбивки спекшейся руды, закрыты дверцами.

Колошникъ печи во время ея работы закрытъ наклонно лежащей крышкой *e*, автоматически отодвигающейся вагончикомъ съ рудою *m*, поднимающимся по наклонной плоскости посредствомъ особаго механическаго приспособленія. Какъ скоро вагончикъ прійдетъ на колошникъ печи, онъ также

НБ УДУНТ (ІПБТ)

автоматически опоражнивается. Колошниковые газы улетаютъ изъ печи черезъ четыре трубы, расположенныя по бокамъ печи въ особую коробку *o*, а изъ послѣдней въ дымовую трубу вышиною около 10 м., снабженную клапаномъ для регулированія тяги.

Воздухъ для горѣнія поступаетъ въ печь черезъ выгребныя отверстія и прежде чѣмъ встрѣтиться съ газомъ, долженъ пройти черезъ слой раскаленной руды, находящейся въ нижней части печи. Для лучшаго управленія притокомъ воздуха отверстія для выгребанія руды снабжены дверцами, въ которыхъ устроено по пяти отверстій для впуска воздуха. Отверстія эти или вполнѣ или отчасти могутъ закрываться задвижками.

Число отверстій для выгребанія руды зависитъ отъ діаметра печи; въ печахъ большихъ размѣровъ имѣется восемь такихъ отверстій (какъ у печи изображенной на рисункѣ). Въ самыхъ же маленькихъ печахъ, діаметръ нижней части которыхъ равенъ всего 1,9 м., число выгребныхъ отверстій всего 5.

Въ нѣкоторыхъ печахъ Вестмана вмѣсто естественной тяги воздуха пытались примѣнять дутье, которое поступало въ пустотѣлое чугунное кольцо *g* и оттуда черезъ мелкія отверстія въ печь. Но опытъ показалъ, что такое измѣненіе способа доставки воздуха въ печь не приносило замѣтныхъ выгодъ.

Суточная производительность печи принимается = 5000 клгрм. руды на каждое выгребное отверстіе, слѣдовательно печь съ 8-ю отверстіями должна давать 40000 клгрм, руды въ 24 ч. При объемѣ печи въ 31 куб. м., на каждый куб. м., емкости печи пришлось бы слѣдовательно около 1300 клгрм. руды.

Въ восьмичасовую смѣну приходится обыкновенно выгребать руду шесть разъ. Выходящая изъ печи руда раскалена еще до такой степени, что для отвозки ея нужны желѣзные вагончики.

Расходъ горючаго по Ринману равенъ 300 куб. м. доменныхъ газовъ на 1000 клгрм. руды [1]). Для сравненія съ расходомъ горючаго въ другихъ описанныхъ до сихъ поръ печахъ можно принять, что 300 куб. метровъ колошниковыхъ доменныхъ газовъ приблизительно равняются 200 куб. м. генераторныхъ газовъ, для полученія которыхъ нужно израсходовать около 60 клгрм. каменнаго угля. Расходъ горючаго въ этой печи, слѣдовательно, нѣсколько больше, чѣмъ въ описанныхъ выше печахъ для твердаго горючаго матеріала. Обстоятельство это въ достаточной степени объясняется тѣмъ, что въ печи Вестмана руды нагрѣваются и должны нагрѣваться вообще до болѣе высокой температуры

[1]) Berg- und Hüttenmännische Zeitung 1872 S. 112.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

чѣмъ въ другихъ печахъ, равно и тѣмъ, что руды выгребаемыя изъ печи еще въ раскаленномъ состояніи уносятъ съ собою не малое количество теплоты.

Если примѣнять газовыя печи Вестмана, для обжиганія рудъ, не выносящихъ высокой температуры печей напр. для обжига шпатовыхъ желѣзняковъ и другихъ подобныхъ рудъ, то нужно существенно измѣнить устройство печи.

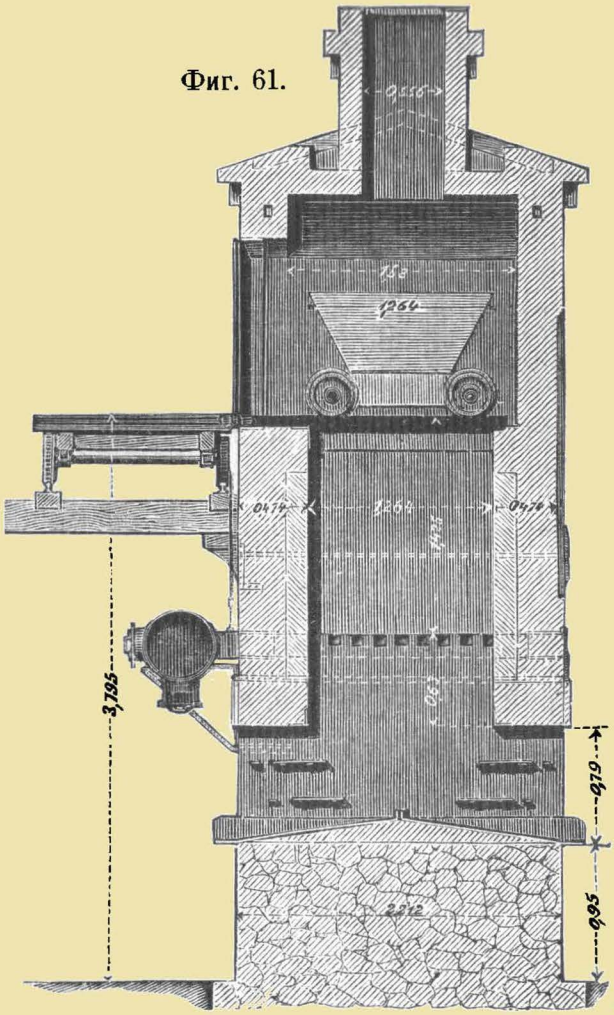
Высота печи должна быть сдѣлана меньше. Небольшая высота печи необходима въ особенности въ томъ случаѣ, когда руда имѣетъ склонность распадаться при обжиганіи на мелкіе кусочки, отчего легко можетъ разстроится и самый ходъ печи. Маленькія газовыя рудообжигательныя печи подобнаго рода довольно распространены въ Австріи и называются по имени своего изобрѣтателя печами Филлафера. На рис. 61 и 62 представлено устройство подобной печи существующей на одномъ изъ чугунноплавильныхъ заводовъ Каринтіи. Шахта имѣетъ форму четырехугольной призмы; ширина ея — около 0,550 м., длина 1,250 м., высота только 2,750 м. Устройство выгребныхъ отверстій совершенно такое же, какъ у печи, изображенной на рис. 58; воздухъ притекаетъ въ значительномъ количествѣ въ печь черезъ ступенчатыя колосниковыя рѣшетки, расположенныя на обѣихъ узкихъ сторонахъ печи. Большое число такихъ печей соединяется въ одинъ общій рядъ. Газъ идетъ по главной трубѣ, видимой на рис. 61 и 63, поступаетъ изъ нея въ горизонтальные каналы по обѣимъ длиннымъ сторонамъ печи, и входитъ черезъ особыя щели, (по 9 въ каждой длинной сторонѣ печи), въ печь, гдѣ тотчасъ-же сожигается воздухомъ идущимъ снизу и подогрѣтымъ уже обожженной рудою. Способъ засыпки руды въ печь показанъ на рис. 61. Пространство надъ колошникомъ, въ которомъ помѣщается вагонъ съ рудою, изображенный на рис. 61, запирается дверцами, открываемыми только на время завалки руды. Маленькая труба надъ этимъ пространствомъ служитъ для усиленія тяги. Подобная печь обжигаетъ ежедневно отъ 2 до 3 тоннъ руды.

Кольцообразныя печи.

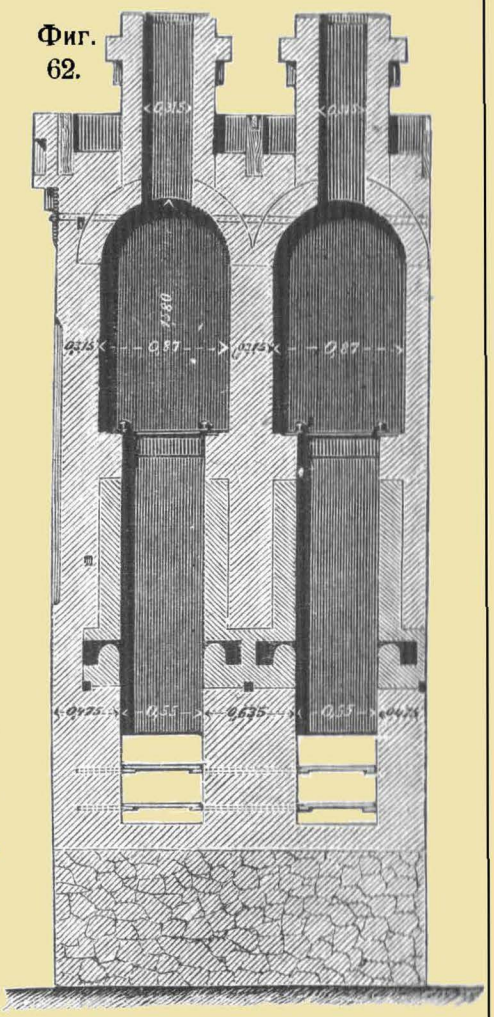
Обжиганіе известняковъ употребляемыхъ при полученіи литаго желѣза по способамъ Томаса и Маршена не только на настоящихъ известковообжигательныхъ заводахъ, но и на многихъ желѣзодѣлательныхъ заводахъ ведется въ кольцеобразной печи Гофмана и Лихта. Печь эта была изобрѣтена въ шестидесятыхъ годахъ текущаго столѣтія и предназначалась сперва для обжиганія кирпичей, но оказалась весьма пригодной и для обжиганія известника. Ея производительность весьма значительна (ежедневно въ ней можно получать

НБ УДУНТ (ІПБТ)

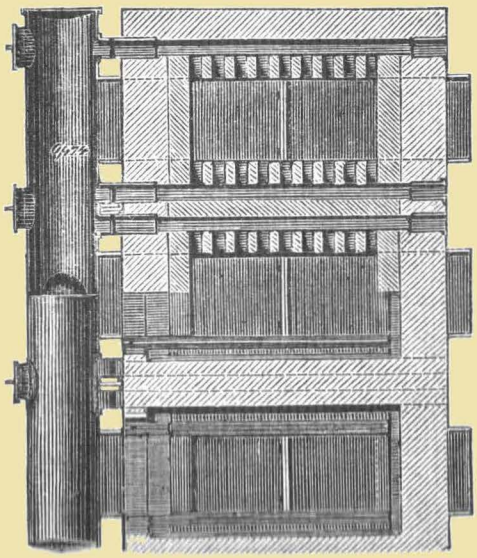
Фиг. 61.



Фиг. 62.



Фиг. 63.



Газовая печь для обжиганія шпатовыхъ желѣзняковъ.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

отъ 40 до 50 тоннъ извести); расходъ горючаго не великъ (160—200 килогр., угля на одну тонну обожженной извести). Однако стоимость устройства такой печи довольно значительна и нерѣдко случается что если утилизировать печь такимъ образомъ, чтобы она окупила расходы по ея устройству, то количество даваемой ею извести будетъ превосходить потребность желѣзнаго или доменнаго завода. Поэтому многіе заводы предпочитаютъ или покупать уже обожженную известь у заводовъ спеціально занимающихся этимъ дѣломъ, или обжигать известняки въ болѣе простыхъ печахъ, сходныхъ съ описанными выше печами для обжиганія рудъ [1]).

Вывѣтриваніе и выщелачиваніе.

Вывѣтриваніе рудъ, т. е. продолжительное воздѣйствіе на нихъ атмосферныхъ дѣятелей, вызываетъ нѣкоторыя измѣненія физической природы руды и ея химическаго состава. И то и другое можетъ болѣе или менѣе сильно повліять на пригодность руды къ дальнѣйшей обработкѣ.

Отъ дѣйствія солнечнаго свѣта и влажности, проникающей во внутренность кусковъ руды, въ послѣднихъ появляются мелкія трещины; руда дѣлается болѣе доступною дѣйствію возстановляющихъ газовъ и удобнѣе раздробляется.

Нѣкоторыя руды отдѣляются при этомъ отъ своей пустой породы. Нѣкоторые сферосидериты доставляются изъ рудника съ плотно приставшимъ къ нимъ глинистымъ сланцемъ. Отъ долгаго лежанія на воздухѣ сланецъ отваливается отъ руды. По словамъ Перси въ Южномъ Валлисѣ нѣкоторыя руды постоянно подвергаются такому процессу, во избѣжаніе необходимости болѣе дорогаго обогащенія. Въ болѣе холодномъ климатѣ процессы вывѣтриванія значительно ускоряются морозами. Вода, проникающая въ поры кусковъ руды, замерзая разрываетъ ихъ (промораживаніе рудъ).

Вліянія вывѣтриванія на химическій составъ рудъ основано главнымъ образомъ на превращеніи заключающихся въ рудѣ сѣрнистыхъ металловъ въ растворимыя сѣрно-кислыя соли, которыя затѣмъ съ теченіемъ времени растворяются атмосферными осадками; если-же желаютъ ускорить процессъ, то удаляютъ эти соли путемъ искусственнаго выщелачиванія рудъ.

Однако сѣрнистые металлы, встрѣчающіеся въ рудахъ (колчеданы, свинцовый блескъ, цинковая обманка) не въ одинаковой степени скоро измѣняются подъ вліяніемъ атмосферныхъ дѣятелей; нѣкоторые изъ нихъ остаются неизмѣ-

[1]) Подробности объ кольцеобразныхъ печахъ можно найти въ слѣдующихъ сочиненіяхъ: L. Gruner, Traite de Metallurgie, Paris 1877. Томъ I стр. 244. Heusinger von Waldegg, Die Ziegel-, Röhren- und Kalkbrennerei, 4 Auflage. Leipzig 1891. Band I, S. 597; Band II, S. 113.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

ненными даже по прошествіи многихъ лѣтъ вывѣтриванія. Два минерала имѣющіе совершенно одинаковый химическій составъ (FeS_2), именно сѣрный колчеданъ (пиритъ) и лучистый колчеданъ (марказитъ), относятся къ вывѣтриванію различнымъ образомъ. Сѣрный колчеданъ, кристаллизующійся въ правильной системѣ, весьма хорошо противостоитъ атмосфернымъ дѣятелямъ, тогда какъ марказитъ, кристаллизующійся въ ромбической системѣ, не рѣдко встрѣчающійся въ рудѣ совмѣстно съ сѣрнымъ колчеданомъ, быстро разлагается съ образованіемъ сѣрно-кислой соли желѣза. Что посредствомъ обжиганія можно также разлагать сѣрнистые металлы и превращать ихъ отчасти въ сѣрнокислыя соли, объ этомъ было уже сказано ранѣе.

Хотя продолжительное вывѣтриваніе и можетъ существенно улучшить свойства нѣкоторыхъ рудъ, но надо при этомъ принимать во вниманіе, что въ запасахъ руды, которые хранятся цѣлые годы ради вывѣтриванія, заключается извѣстный капиталъ, который не приноситъ никакихъ процентовъ, до тѣхъ поръ пока руда не будетъ употреблена въ дѣло. Кромѣ того для вывѣтриванія такихъ большихъ количествъ руды, какія требуются для коксовыхъ доменныхъ печей, нужно имѣть весьма большой участокъ свободной земли.

Въ прежнія времена, когда чугуноплавильное производство велось еще сравнительно въ малыхъ размѣрахъ (въ первыхъ десятилѣтіяхъ нынѣшняго столѣтія), вывѣтриваніе рудъ нерѣдко производилось по опредѣленному плану. Нѣкоторыя кучи руды подвергались иногда дѣйствію атмосферы въ продолженіи десяти и болѣе лѣтъ. Но чѣмъ больше развивалось производство, тѣмъ рѣже сталъ примѣняться этотъ способъ подготовки рудъ, за исключеніемъ тѣхъ случаевъ когда возможно въ сравнительно короткій срокъ достичь замѣтнаго улучшенія качествъ руды, какъ напр., при вывѣтриваніи упомянутыхъ выше глинистыхъ сферосидеритовъ Южнаго Валисса.

Второй упомянутый выше процессъ, выщелачиваніе, имѣетъ цѣлью болѣе быстрое и полное удаленіе изъ рудъ ихъ растворимыхъ составныхъ частей, слѣдовательно въ особенности образовавшихся сѣрнокислыхъ солей, чѣмъ этого можно достигнуть путемъ одного вывѣтриванія. Такъ какъ такія растворимыя сѣрно-кислыя соли образуются преимущественно при обжиганіи, то изъ этого понятно, почему выщелачиванію подвергаются почти исключительно лишь обожженныя руды. Самый способъ выщелачиванія зависитъ отъ мѣстныхъ условій и бываетъ болѣе или менѣе простъ. Обыкновенно довольствуются тѣмъ, что изъ какого нибудь, вышерасположеннаго водопровода, время отъ времени пускаютъ воду на кучу руды; затѣмъ когда вода растворитъ

НБ УДУНТ (ІПБТ)

сѣрнокислыя соли, ее отводятъ изъ болѣе глубокаго мѣста. Время отъ времени кучу перекапываютъ лопатами и снова подвергаютъ выщелачиванію.

Въ очень большихъ размѣрахъ выщелачиваніе производится уже десятки лѣтъ на чугунноплавильныхъ заводахъ въ Хладно въ Богеміи. Тамъ проплавляются бурые желѣзняки, содержащіе въ необожженномъ состояніи около 0,5% сѣры. Такъ какъ при обжиганіи выдѣляется изъ руды вода то вѣсъ руды уменьшается и остающаяся сѣра распредѣляется на меньшее количество руды, вслѣдствіе чего содержаніе сѣры составляетъ еще около 0,35—0,40%. Такое высокое содержаніе сѣры дѣлаетъ руду непосредственно для плавки непригодной. Руда помѣщается въ каменные, вымазанные цементомъ резервуары, длина которыхъ 22 м. ширина 15,5 м., глубина 2 м. Четыре такихъ резервуара, образующихъ прямоугольникъ, составляютъ одну общую группу. Вода поступающая черезъ дно резервуара, вытекаетъ черезъ верхній край его и поступаетъ затѣмъ точно такимъ же образомъ въ каждый слѣдующій изъ резервуаровъ, образующихъ одну группу. Руда наиболѣе подвергавшаяся дѣйствію выщелачиванія всегда обрабатывается свѣжей водою. За ходомъ выщелачиванія можно слѣдить—опредѣляя количество сѣрной кислоты въ окончательно вытекающей изъ резервуаровъ водѣ. Остатокъ получаемый при выпариваніи водъ, служившихъ для выщелачиванія, содержитъ въ среднемъ въ 100 частяхъ:

Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2	CaO	MgO	SO_3	P_2O_5	H_2O
0,57	0,61	1,51	13,28	12,28	50,60	0,14	21,09

Содержаніе сѣры въ выщелоченной рудѣ равняется въ среднемъ 0,15%.

Изъ сказаннаго выше видно, что вліянія выщелачиванія и химическія измѣненія состава руды при вывѣтриваніи ограничиваются вообще лишь уменьшеніемъ содержанія въ рудахъ сѣры. Фосфоръ при выщелачиваніи водою можетъ быть удаленъ развѣ въ самыхъ малыхъ количествахъ, такъ какъ фосфорно-кислыя соединенія, въ видѣ которыхъ онъ встрѣчается въ рудахъ (вивіанитъ, апатитъ) почти совершенно не растворимы въ водѣ. Эти фосфорнокислыя соли растворяются однако въ разведенныхъ кислотахъ (водный растворъ сѣрнистой кислоты, соляная кислота). Если-бы, слѣдовательно примѣнить эти кислоты для выщелачиванія рудъ, то можно было-бы удалить изъ послѣднихъ большую часть содержащагося въ нихъ фосфора.

На практикѣ этимъ нѣкоторое время пользовались въ Хладно, въ семидесятыхъ годахъ нынѣшняго столѣтія. Работа велась въ тѣхъ-же резервуарахъ, гдѣ производилось выдѣленіе изъ руды купоросовъ, только растворителемъ слу-

НБ УДУНТ (ІПБТ)

жила вода насыщенная сѣрнистой кислотой, получавшейся при обжиганіи колчедановъ. Результаты этого процесса по опубликованнымъ въ то время свѣдѣніямъ были удовлетворительны въ томъ отношеніи, что изъ рудъ выдѣлялась большая часть содержавшагося въ нихъ фосфора. Опытами, произведенными въ меньшихъ размѣрахъ также было подтверждено, что этимъ путемъ можно достичь весьма полнаго выдѣленія фосфора изъ рудъ. Съ тѣхъ поръ однако, какъ новѣйшія изобрѣтенія (способъ Томаса) дали возможность выдѣлять фосфоръ изъ чугуна, при превращеніи его въ ковкое желѣзо, гораздо полнѣе чѣмъ это было возможно раньше, содержаніе фосфора въ рудахъ и его выдѣленіе изъ нихъ уже имѣютъ меньшее значеніе. Такое измѣненіе обстоятельствъ объясняетъ, намъ, почему указанный способъ выдѣленія фосфора изъ рудъ не получилъ дальнѣйшаго распространенія и не употребляется уже и въ Хладно.

Литература.

E. F. Dürre Anlage und Betrieb der Eisenhütten. т. I, стр. 7—199.
A. v. Kerpely. Anlage und Einrichtung der Eisenhütten.
P. Rittinger. Lehrbuch der Aufbereitungskunde. Berlin, 1867 г.
C. Linkenbach. Die Anfbereitung der Erze. Berlin, 1887 г.
Haton de la Goupilliere. Cours d'expioitation des mines T. II.
R Akerman. Om Jernmalmers rostning—Stockholm, 1879 г.
H. Tholander. Experimentelle Uutersuchungen über die Reduction der Eisenerzen. Wien 1878 г.
C. F. Plattner. Die metallurgischen Röstprocesse Freiberg 1856.

ГЛАВА СЕДЬМАЯ.

Химическо-металлургическія свойства желѣза и его спутниковъ.

1. Общія понятія:

Химически чистое желѣзо какое можно получить лабораторнымъ путемъ, не имѣетъ значенія для техники.

Его получаютъ, возстановляя чистую окись желѣза или чистое хлористое желѣзо въ струѣ сухаго и чистаго водорода, не содержащаго постороннихъ газовъ (мышьяковистаго водорода, сѣроводорода). Изъ окиси желѣза получается въ этихъ условіяхъ, при невысокой температурѣ, сѣрый самовозгарающійся на воздухѣ порошокъ; при болѣе высокой температурѣ образуются бѣлесоватые блестящіе листочки. Хлористое же желѣзо, напротивъ даетъ слой блестящаго металли-

НБ УДУНТ (ІПБТ)

ческаго желѣза, въ которомъ не рѣдко можно отличить ясно образованные кубы. Чистое желѣзо кристаллизуется въ правильной системѣ. Оно мягко, ковко и плавится согласно опытамъ Осмонда [1]), приблизительно при 1500° Ц.

Подобно всѣмъ другимъ металламъ желѣзо обладаетъ способностью образовать съ другими металлами, а также съ металлоидами сплавы, т. е. образовать съ ними соединенія металлическаго характера, физическія свойства которыхъ часто довольно значительно отличаются отъ свойствъ составныхъ частей ихъ до образованія сплава. Составъ-же этихъ сплавовъ—отличается отъ состава химическихъ соединеній въ настоящемъ смыслѣ слова — тѣмъ что не зависитъ отъ атомныхъ отношеній и въ извѣстныхъ предѣлахъ можетъ быть совершенно неопредѣленнымъ [2]).

Подобный сплавъ можно, слѣдовательно, разсматривать какъ растворъ двухъ или нѣсколькихъ простыхъ тѣлъ одного въ другомъ, въ коемъ могутъ правда образоваться настоящія соединенія составныхъ частей сплава, присутствіе которыхъ въ сплавѣ однако же не обязательно и можетъ не вліять на свойства его [3]).

Весьма вѣроятно, что внѣшнія условія, напримѣръ, температура, которой подвергается сплавъ, могутъ имѣть вліяніе на образованіе въ немъ и распаденіе подобныхъ химическихъ соединеній и что отъ этихъ обстоятельствъ зависятъ тѣ особенности, которыя представляютъ иногда сплавы, составъ которыхъ повидимому совершенно одинаковъ.

Кромѣ температуры, на образованіе и распаденіе опредѣленныхъ химическихъ соединеній въ сплавахъ вліяютъ количественныя отношенія между собою составныхъ частей сплава, а также степень ихъ сродства между собою.

Если въ сплавѣ находятся рядомъ два тѣла, имѣющія сильное стремленіе образовать въ извѣстныхъ отношеніяхъ химическія соединенія опредѣленнаго состава, то въ немъ будутъ растворены не отдѣльныя эти тѣла, а ихъ соединенія.

Если-же тѣла эти могутъ образовать между собою нѣсколько различныхъ соединеній, то въ данномъ случаѣ обра-

---

[1]) Stahl und Eisen стр. 1891 г. 637.

[2]) Въ прежнее время понятіе „сплавъ“ часто распространяли только на соединенія между собою металловъ, исключая при этомъ металлоиды. Но такое воззрѣніе не согласуется съ дѣйствительными свойствами этихъ тѣлъ, которыя часто могутъ образоватъ съ металлами соединенія неопредѣленнаго состава и прямо противорѣчитъ даже обыкновенному разговорному языку. Говорятъ, напримѣръ, безъ стѣсненія объ сплавахъ сурьмы и цинка, свинца и мышьяка, хотя сурьма и мышьякъ давно уже исключены химиками изъ числа металловъ.

[3]) Подробности можно найти у Ledebur, Die Legirungen, Berlin 1890, S. 1—4.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

зуется то изъ нихъ, которое содержитъ наибольшее количество тѣла находящагося въ избыткѣ.

Если напримѣръ, расплавленное желѣзо поглотитъ кислородъ—явленіе почти неизбѣжное при полученіи литаго металла, то кислородъ этотъ, благодаря существованію сильнаго химическаго сродства между нимъ и желѣзомъ, будетъ растворенъ въ металлѣ не въ свободномъ состояніи, а въ видѣ соединенія съ желѣзомъ. Такъ какъ при этомъ всегда наблюдается значительный избытокъ металлическаго желѣза, то можетъ образоваться вообще лишь самое богатое желѣзомъ (и наиболѣе бѣдное кислородомъ) соединеніе: закись желѣза FeO. Всякое другое соединеніе болѣе бѣдное желѣзомъ (Fe_3O_4, Fe_2O_3) разложилось бы избыткомъ желѣза. Фактъ этотъ объясняется не только общими химическими свойствами тѣлъ, но и законами термохиміи, по которымъ два способныя къ соединенію тѣла стремятся образовать то соединеніе, при образованіи котораго развивается наибольшее количество теплоты [1]). Въ данномъ случаѣ поглощенный желѣзомъ, кислородъ, приходя въ прикосновеніе съ большимъ избыткомъ желѣза, могъ-бы образовать различныя химическія соединенія съ желѣзомъ, но на дѣлѣ образуется закись желѣза, какъ соединеніе, получающееся съ выдѣленіемъ наибольшаго количества тепла (см. данныя, стр. 30).

Если къ сплаву, содержащему въ растворѣ такое соединеніе, прибавляется третье тѣло, которое имѣетъ болѣе сильное сродство къ тѣлу, встрѣчающемуся въ сплавѣ въ ограниченномъ количествѣ т. е. въ данномъ случаѣ къ кислороду чѣмъ тѣло бывшее съ нимъ доселе соединеннымъ, то соединеніе это разлагается, съ образованіемъ новаго соединенія съ прибавленнымъ тѣломъ. Если это соединеніе не растворимо или труднѣе растворимо въ жидкомъ сплавѣ чѣмъ первое, то при этомъ можетъ произойти выдѣленіе растворенаго прежде въ сплавѣ тѣла. Чѣмъ въ большемъ избыткѣ прибавлено къ сплаву новое тѣло и чѣмъ сильнѣе его сродство къ тѣлу бывшему до него въ сплавѣ, тѣмъ быстрѣе и полнѣе будетъ происходить разложеніе бывшаго соединенія, а въ нѣкоторыхъ случаяхъ и выдѣленіе новаго.

Такъ напримѣръ, кремній, марганецъ, аллюминій имѣютъ, при температурѣ плавленія желѣза, еще большее сродство къ кислороду чѣмъ желѣзо. Если слѣдовательно, къ жидкому желѣзу, которое содержало закись желѣза, прибавить одно изъ этихъ тѣлъ, то происходитъ разложеніе закиси желѣза, и реакція идетъ тѣмъ быстрѣе и полнѣе, чѣмъ больше избытокъ вновь прибавленнаго тѣла [2]). Если же вновь об-

[1]) Jahn, Grundsätze der Thermochemie 2 Auflage 5. 128.

[2]) Надо припомнить что выдѣленіе различныхъ соединеній изъ растворовъ, при обыкновенной температурѣ, успѣшнѣе всего совершается при тѣхъ же условіяхъ. Если мы хотимъ осадить одно изъ

НБ УДУНТ (ІПБТ)

разующееся кислородное соединеніе желѣза не растворимо въ жидкомъ желѣзѣ, то можно достичь полнаго выдѣленія кислорода.

Всѣ различные виды продуктовъ желѣзнаго производства, номенклатура и главныя различія которыхъ были уже вкратцѣ разсмотрѣны на стр. 1—6, представляютъ собою сплавы желѣза съ другими металлами и металлоидами, количество которыхъ въ нѣкоторыхъ сортахъ ковкаго желѣза часто не превосходитъ нѣсколькихъ десятыхъ процента, въ чугунѣ по крайней мѣрѣ бываетъ 2, 3 процента; но чаще доходитъ до 8—12 процентовъ; въ сплавахъ же желѣза съ марганцемъ нерѣдко превосходитъ даже количество желѣза.

Подобно другимъ металламъ желѣзо обладаетъ различною способностью образовать сплавы съ различными тѣлами. Способность эта не ограничена, т. е. желѣзо можетъ соединяться во всевозможныхъ отношеніяхъ со слѣдующими тѣлами: марганцемъ, хромомъ, вольфрамомъ, никкелемъ, кобальтомъ, золотомъ, платиной, аллюминіемъ, сурьмой, мышьякомъ, сѣрой, фосфоромъ, кремніемъ и др. Она ограничена, т. е. желѣзо можетъ образовать сплавы лишь съ извѣстнымъ содержаніемъ того или другого тѣла, для слѣдующихъ металловъ: цинка, олова, висмута, мѣди, а также для углерода. Почти совершенно не сплавляется желѣзо со свинцомъ, серебромъ и ртутью.

Хотя измѣненія, которымъ подвергаются свойства чистаго металла, а слѣдовательно и желѣза, вслѣдствіе образованія сплава съ другимъ тѣломъ, весьма различны, въ зависимости отъ свойствъ и количества тѣла съ которымъ сплавляется данный металлъ, тѣмъ не менѣе нельзя не замѣтить что измѣненія эти слѣдуютъ извѣстнымъ законамъ. Почти всегда замѣчаются слѣдующія явленія:

Вязкость сплава вообще больше вязкости чистаго металла. Это справедливо впрочемъ только до тѣхъ поръ пока содержаніе втораго металла не превзошло извѣстнаго предѣла. Какъ скоро эта граница будетъ перейдена, происходитъ быстрое уменьшеніе вязкости. Въ случаѣ образованія сплавовъ съ металлоидами граница эта достигается раньше чѣмъ въ сплавахъ съ металлами.

растворенныхъ тѣлъ ради опредѣленія его количества, то полнаго осажденія достигаемъ лишь при избыткѣ осадителя. Чѣмъ больше этотъ избытокъ, тѣмъ быстрѣе происходитъ разложеніе соединенія и осажденіе новаго.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Твердость металла обыкновенно увеличивается, тягучесть и ковкость уменьшается отъ сплавленія съ другими металлами.

Температура плавленія сплавовъ ниже средней температуры, вычисленной изъ температуръ плавленія составныхъ частей сплава. Это вліяніе особенно ясно замѣтно въ сплавахъ желѣза съ неплавкимъ чистымъ углеродомъ; температура плавленія такихъ сплавовъ вообще тѣмъ ниже, чѣмъ больше содержаніе въ нихъ углерода.

Характерною особенностью многихъ сплавовъ является способность къ ликваціи. Подъ этимъ словомъ разумѣется распаденіе жидкаго сплава, при постепенномъ охлажденіи, его на нѣсколько сплавовъ съ различной температурой плавленія, или же на сплавы и простыя тѣла, вслѣдствіе чего одна составная часть сплава затвердѣваетъ раньше другой и отдѣляется отъ нея Подобный же процессъ, т. е. раздѣленіе сплава на тѣла различнаго состава и съ различными температурами плавленія, можно, хотя не такъ часто, наблюдать при постепенномъ переходѣ сплавовъ изъ твердаго состоянія въ жидкое. Чѣмъ медленнѣе происходитъ въ обоихъ случаяхъ переходъ тѣла изъ одного состоянія въ другое, тѣмъ замѣтнѣе бываетъ ликвація. Сплавы находящіеся въ полученныхъ заводскимъ путемъ продуктахъ желѣзнаго производства также обладаютъ способностью къ ликваціи, что въ нѣкоторыхъ случаяхъ имѣетъ огромное значеніе. Можно даже утверждать что едва-ли существуетъ такое желѣзо, которое, будучи получено заводскимъ путемъ, и заключая въ себѣ поэтому извѣстныя количества постороннихъ тѣлъ, даетъ при остываніи совершенно однородную массу. Всегда изъ главной массы выдѣляются отдѣльные, различнаго состава сплавы или простыя тѣла, которыя проникаютъ ее въ видѣ сѣти или прожилковъ, или какимъ нибудь другимъ образомъ распредѣляются въ ней. Если отшлифовать такой кусокъ желѣза и подвергнуть отшлифованную поверхность дѣйствію слабыхъ растворителей, которыя съ различной силой дѣйствуютъ на различныя соединенія или простыя тѣла выдѣленныя изъ желѣза, то съ помощью микроскопа обыкновенно можно убѣдиться въ присутствіи такихъ выдѣленій и ясно увидѣть распредѣленіе ихъ.

Еще легче замѣтить такіе результаты ликваціи, если умѣренно нагрѣть разъѣденную поверхность металла, отчего различныя составныя части ея принимаютъ различные цвѣта побѣжалости, или если на поверхности его осаждать гальванопластически тонкій слой золота или мѣди, который обыкновенно садится лишь на нѣкоторыхъ составныхъ частяхъ массы, оставляя другія свободными.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Упомянутое выше средство примѣнялось послѣднее время довольно часто, дабы по видимой при этомъ микроструктурѣ желѣза сдѣлать заключеніе объ измѣненіяхъ имъ испытанныхъ при остываніи, о вліяніи въ этомъ отношеніи условій остыванія и химическаго состава, а также чтобы получить представленіе о связи между микроструктурой желѣза и его физическими свойствами. Этимъ путемъ наукѣ удалось уже многое разъяснить, а это въ свою очередь какъ и всякій шагъ науки, несомнѣнно принесетъ пользу практикѣ. Дѣлались также многочисленные попытки воспользоваться микроскопическимъ изслѣдованіемъ для непосредственнаго сужденія о пригодности полученнаго въ большемъ видѣ желѣза. Однако способъ этотъ едва-ли можетъ разсчитывать на успѣхъ, такъ какъ онъ слишкомъ сложенъ для такой цѣли, между тѣмъ какъ результаты такихъ изслѣдованій большею частью слишкомъ неопредѣленны.

Рис. 64.



Болѣе подробныя свѣдѣнія объ микроскопическихъ изслѣдованій желѣза читатель можетъ найти въ статьяхъ Мартенса (Ztsch. d. Verein. deutsh. Ingenieur. за 1878 годъ стр. 205, 481 и 1880 г. стр. 398, а также въ новомъ сочиненіи д-ра Веддинга. Ausführl. Handbuch der Eisenhüttenkunde zweite Auflage B. I. Lief. 2).

Выше уже было упомянуто, что кристаллизуется желѣзо въ формахъ правильной системы.

На поверхности излома и въ пустотахъ различныхъ видовъ углеродистаго желѣза полученнаго заводскимъ путемъ, можно однако различить два совершенно различныхъ типа кристалловъ.

Одни изъ нихъ принадлежатъ также къ правильной системѣ. Кристаллы однако никогда не являются вполнѣ образованными, но состоятъ изъ скелета, очертанія котораго напоминаютъ правильный октаэдръ и который образованъ изъ прямоугольныхъ осей перваго, втораго и третьяго порядка съ уменьшающейся полнотою образованія [1]).

На рис. 64 изображена обыкновенная форма этихъ кристалловъ, которые вслѣдствіе нѣкоторые сходства съ маленькой елкой, называются „елочными кристаллами“. Чаще всего и притомъ самые крупные (иногда до нѣсколькихъ сантиметровъ), кристаллы этого рода встрѣчаются въ пустотахъ

[1]) A. Knop. Molecularconstitution und Wachsthum der Krystalle, Leipzig. 1867, S. 68.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

сѣраго чугуна, стѣны которыхъ бываютъ иногда совершенно покрыты ими. Однако и въ обыкновенномъ, не особенно богатомъ углеродомъ, бѣломъ чугунѣ, а также и въ литомъ ковкомъ желѣзѣ, можно простымъ глазомъ, или помощью лупы или микроскопа, замѣтить эти кристаллы, хотя они рѣдко достигаютъ тутъ такой величины какъ въ сѣромъ чугунѣ.

Вообще кристаллы этой формы встрѣчаются въ болѣе чистыхъ сортахъ углеродистаго желѣза, содержащихъ меньшее количество постороннихъ примѣсей. Если же они, какъ сказано, особенно часто встрѣчаются въ сѣромъ чугунѣ, который можетъ содержать болѣе 10% постороннихъ примѣсей, то обстоятельство это объясняется тѣмъ, что сѣрый чугунъ обязанъ своимъ происхожденіемъ процессу ликваціи, при которомъ значительная часть содержащагося въ немъ углерода выдѣлилась, въ видѣ самостоятельно образовавшагося графита, вслѣдствіе чего остальная масса желѣза уже не содержитъ большихъ количествъ углерода и кристаллизуется въ описанныхъ формахъ правильной системы.

Высокое содержаніе кремнія въ сплавѣ съ желѣзомъ не препятствуетъ образованію подобныхъ елкообразныхъ кристалловъ. Обстоятельство это также дѣлаетъ возможнымъ частое нахожденіе ихъ въ сѣромъ чугунѣ, который всегда содержитъ значительныя количества кремнія.

Второю формою кристалловъ, встрѣчающихся въ различныхъ видахъ углеродистаго желѣза полученнаго заводскимъ путемъ, являются призмы (столбики, иглы) ромбической системы. Эта форма кристалловъ является характерною для такихъ видовъ желѣза, въ которыхъ находятся большія количества нѣкоторыхъ тѣлъ. Марганецъ—содержащее желѣзо, количество марганца въ которомъ доходитъ до 30 и болѣе процентовъ, нерѣдко заключаетъ вполнѣ образованные кристаллы этой формы.

Слѣдуетъ замѣтить, однако что еще не выяснено, является-ли причиной образованія ихъ марганецъ или углеродъ, большія количества котораго всегда встрѣчаются въ чугунѣ вмѣстѣ съ марганцемъ.

Тѣми же самыми свойствами отличается хромистый чугунъ, который однако обыкновенно тоже весьма богатъ углеродомъ. Фосфористый чугунъ, съ 10 процентами, а можетъ быть и съ меньшимъ содержаніемъ фосфора, также образуетъ кристаллы этой формы. Весьма вѣроятно, что такіе-же кристаллы можно было-бы найти и въ другихъ сплавахъ желѣза, которые впрочемъ не имѣютъ значенія для желѣзнаго производства.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

2. Желѣзо и кислородъ.

Различныя кислородныя соединенія желѣза.

Химическое сродство между желѣзомъ и кислородомъ довольно сильно. Желѣзо соединяется съ кислородомъ легче, чѣмъ мѣдь, олово, свинецъ и всѣ благородные металлы. Возстановляется желѣзо труднѣе чѣмъ названные выше металлы.

Изъ кислородныхъ соединеній желѣза не имѣютъ значенія въ желѣзномъ производствѣ: желѣзная кислота ($H_2 Fe O_4$) и ея ангидритъ ($Fe O_3$), каковые въ свободномъ состояніи существовать не могутъ.

Окись желѣза (Fe_2O_3) безводная встрѣчается въ красныхъ желѣзнякахъ, а въ соединеніи съ водою въ бурыхъ желѣзнякахъ. Она образуется при накаливаніи желѣза подъ дѣйствіемъ сильно окисляющихъ агентовъ, при не слишкомъ высокой температурѣ, а также при окислительномъ обжиганіи рудъ, содержащихъ закись желѣза, равно какъ и желѣзо содержащихъ колчедановъ. На стр. 232 было уже упомянуто, что при температурѣ бѣлаго каленія она легко теряетъ часть своего кислорода [1]). Уже при температурѣ краснаго каленія она можетъ служить сильно окисляющимъ реагентомъ, если придетъ въ соприкосновеніе съ тѣлами способными горѣть — напр. углемъ и окисью углерода, водородомъ, марганцемъ, кремніемъ и др. При этомъ образуется магнитная окись желѣза, закись желѣза или металическое желѣзо, смотря по отношенію количествъ тѣлъ вступающихъ въ реакцію и высотѣ температуры. При высокихъ температурахъ, окись, желѣза является скорѣе кислотою, чѣмъ основаніемъ (она можетъ образовать съ известью легкоплавкія соединенія, какъ это было упомянуто на стр. 234). Понятно поэтому, что она можетъ существовать лишь въ шлакахъ имѣющихъ сильно основныя свойства. Чѣмъ кислѣе, въ особенности чѣмъ богаче кремнеземомъ шлаки и чѣмъ выше температура ихъ образованія, тѣмъ легче окись желѣза переходитъ въ закись.

Двукремнеземики образовавшіеся при высокой температурѣ (напр. шлаки бессемеровскаго процесса) обыкновенно не содержатъ даже слѣдовъ окиси желѣза, хотя образованіе ихъ происходитъ при условіяхъ благопріятныхъ для образованія высшихъ степеней окисленія. Но и въ сильно основныхъ шлакахъ, вмѣстѣ съ окисью желѣза, обыкновенно заключаются еще значительныя количества закиси желѣза.

---

[1]) По опытамъ Окермана окись желѣза уже при 900°C. теряетъ въ струѣ углекислоты часть своего кислорода Stahl und Eisen, 1883, S. 149.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Магнитная окись желѣза, составъ которой лишь въ исключительныхъ случаяхъ соотвѣтствуетъ формулѣ Fe_3O_4, обыкновенно же колеблется между Fe_2O_3 и FeO, встрѣчается въ природѣ въ магнитныхъ желѣзнякахъ и образуется при накаливаніи желѣза и условіяхъ менѣе благопріятствующихъ сильному окисленію, чѣмъ тѣ при которыхъ получается окись желѣза. Магнитную окись желѣза можно разсматривать какъ соединеніе (даже какъ сплавъ) окиси желѣза съ закисью его въ измѣняющихся отношеніяхъ. Чѣмъ болѣе внѣшнія обстоятельства благопріятствуютъ образованію окиси желѣза, тѣмъ богаче кислородомъ магнитная окись и наоборотъ.

Закись желѣза (FeO), какъ извѣстно, въ свободномъ состояніи получается не легко; соединенія же ея, въ составъ которыхъ она входитъ въ видѣ сильнаго основанія, тѣмъ болѣе постоянныя чѣмъ богаче онѣ кислотою, играютъ не маловажную роль въ металлургіи желѣза. Съ окисью желѣза она образуетъ только что описанную магнитную окись желѣза.

Въ соединеніи съ углекислотой она встрѣчается въ природѣ въ шпатовыхъ желѣзнякахъ и сферосидеритахъ. Значительныя количества ея находятся часто въ различныхъ шлакахъ.

Мы упоминали уже выше, что въ жидкомъ желѣзѣ, не содержащемъ значительныхъ количествъ элементовъ, дѣйствующихъ возстановительно, можетъ образоваться и растворяться закись желѣза. Мы говорили также что всякое болѣе богатое кислородомъ соединеніе желѣза, приходя въ соприкосновеніе съ избыткомъ желѣза возстановляется въ закись (стр. 262). Количество закиси желѣза, которое можетъ растворить жидкое желѣзо однако довольно ограничено и, по наблюденіямъ мною до сихъ поръ произведеннымъ, оно не превосходитъ 1,1% закиси, что соотвѣтствуетъ 0,25% кислорода Чѣмъ больше количество тѣлъ заключающихся въ желѣзѣ, и при температурѣ его плавленія дѣйствующихъ возстановительно на закись желѣза, какъ напр. углерода, марганца, кремнія и др., тѣмъ меньше будетъ ея содержаніе въ желѣзѣ, тѣмъ скорѣе она будетъ разлагаться. Приводимые ниже результаты анализа металла, полученнаго въ конверторѣ Томаса путемъ слишкомъ продолжительнаго дѣйствія дутья на жидкій чугунъ, могутъ служить доказательствомъ сказаннаго. Въ 100 час. такого желѣза оказалось:

	I	II	III
Углерода	0,037	0,123	0,050
Кремнія	0,001	0,000	0,000
Сѣры	0,059	0,093	0,057
Фосфора	0,058	0,149	0,075
Марганца	0,080	0,080	0,115
Мѣди	0,046	0,095	0,061
Кобальта, никкеля	0,064	0,140	0,110
Закиси желѣза	1,098	0,837	0,774

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Желѣзо I, наиболѣе бѣдное углеродомъ и марганцемъ, наиболѣе богато закисью желѣза.

Незначительныя количества закиси желѣза могутъ встрѣчаться и въ желѣзѣ съ болѣе значительнымъ содержаніемъ углерода и марганца, если только оно застыло, прежде чѣмъ окончилось разложеніе закиси желѣза этими тѣлами. Напримѣръ мною найдено въ 100 ч. такого желѣза:

	IV	V	VI	VII
Углерода	0,24	0,16	0,12	0,24
Кремнія	0,00	0,03	0,00	0,12
Сѣры	0,05	0,06	0,06	0,03
Фосфора	0,08	0,08	0,12	0,28
Марганца	0,12	0,17	0,12	0,37
Мѣди	0,18	0,11	0,02	0,16
Кобальта, никкеля . . .	0,05	0,05	0,03	0,18
Закиси желѣза.	0,32	0,32	0,18	0,12

Изслѣдованные образцы были литого желѣза, частью мартеновскаго, частью же бессемеровскаго или Томасовскаго [1]).

Въ чугунѣ закись желѣза не можетъ существовать, такъ какъ значительное содержаніе въ немъ возстановляющихъ тѣлъ (углерода, кремнія, марганца) повело-бы къ быстрому разложенію ея.

Содержаніе закиси желѣза въ литомъ желѣзѣ однако оказываетъ весьма замѣтное вліяніе на его свойство.

Если содержаніе это больше 0,5% (что соотвѣтствуетъ примѣрно 0,1% кислорода), то желѣзо теряетъ способность коваться при температурѣ краснаго каленія, дѣлается „красноломкимъ“. При бѣломъ каленіи вліяніе закиси желѣза становится незамѣтнымъ, и желѣзо снова можетъ хорошо коваться. Однако постоянное дѣйствіе закиси желѣза, заключающейся въ жидкомъ желѣзѣ, на углеродъ, всегда содержащійся въ послѣднемъ, влечетъ за собою образованіе газообразной окиси углерода, которое замѣтно благодаря выдѣленію газовъ. При остываніи металла это выдѣленіе окиси углерода можетъ легко повлечь за собою образованіе въ металлѣ пустотъ, благодаря тому что пузырьки газа не успѣваютъ выдѣлиться изъ густѣющей массы.

Такъ какъ закись желѣза является самой низкой степенью окисленія желѣза, то при возстановленіи ея во всякомъ случаѣ получается металлическое желѣзо. Однако хотя окись желѣза довольно легко возстановляется въ закись, возстановленіе послѣдней въ металлическое желѣзо требуетъ болѣе высокой температуры и болѣе сильнаго дѣйствія возстановляющихъ реагентовъ.

Обстоятельство это находится въ связи съ выдѣленіемъ большаго количества теплоты при образованіи закиси же-

[1]) Другіе анализы: Glasers Annalen für Gewerbe und Bauwesen. Band X, S. 181.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

лѣза, чѣмъ при образованіи окиси или магнитной окиси желѣза тѣмъ-же количествомъ кислорода (стр. 30).

Окисленіе желѣза при высокой температурѣ.

При обыкновенной температурѣ совершенно сухой кислородъ не вліяетъ вовсе на желѣзо. Дѣйствіе его становится замѣтнымъ лишь тогда, когда температура достигаетъ или превзойдетъ 200°С. Желѣзо, поверхность котораго была до сихъ поръ металлически чистою, покрывается сперва свѣтло-желтою побѣжалостью, появленіе которой обусловлено образованіемъ очень тонкой пленки окисленнаго желѣза. При продолжающемся нагрѣваніи цвѣтъ побѣжалости измѣняется. Пленка окисловъ желѣза все утолщается, измѣняя свой цвѣтъ постепенно въ темножелтый, бурый, красный, фіолетовый, синій и сѣрый.

При дальнѣйшемъ повышеніи температуры до раскаленія, при доступѣ воздуха, на поверхности желѣза образуется слой окисловъ желѣза, который у ковкаго желѣза называется окалиной, и состоитъ изъ магнитной окиси желѣза съ различнымъ содержаніемъ кислорода. Если продолжать накаливаніе еще нѣкоторое время, то химическое воздѣйствіе кислорода на спутниковъ желѣза, въ особенности на содержащійся въ немъ углеродъ, становится замѣтнымъ. Уголь сгораетъ и улетучивается, содержаніе углерода въ желѣзѣ уменьшается. Воздѣйствіе это не ограничивается только поверхностью желѣза, но при достаточно продолжительномъ накаливаніи, углеродъ находящійся во внутренности куска, также сгораетъ.

Графитовидный углеродъ однако, (видъ углерода свойственный сѣрому чугуну см. стр. 4) не подвергается вовсе или лишь въ весьма ограниченной степени дѣйствію кислорода.

Если дѣйствіе окисляющихъ газовъ на желѣзо продолжается весьма долго, то само желѣзо будетъ окисляться все болѣе и болѣе, при чемъ сначала образуется закись желѣза, которая потомъ переходитъ въ окись. Кусокъ желѣза вздувается и въ концѣ концовъ можетъ совершенно окислиться. Графитъ однако и въ этомъ случаѣ сгораетъ лишь отчасти. Подобный процессъ можно хорошо наблюдать надъ желѣзными частями топокъ, которыя въ продолженіи цѣлыхъ мѣсяцевъ и годовъ подвергаются дѣйствію пламени, т. е. смѣси углекислоты, водянаго пара, свободнаго кислорода, азота и незначительныхъ количествъ несгорѣвшихъ газовъ. Они превращаются при этомъ въ такъ называемое горѣлое желѣзо. Чугунная плита комнатной печи, нѣколько лѣтъ лежавшая поверхъ топки и при этомъ имѣвшая въ изломѣ—красный цвѣтъ (окиси желѣза), по изслѣдованію моему оказалась содержащею:

НБ УДУНТ (ПБТ)

Желѣза	68,386
Марганца	0,023
Мѣди, кобальта, никкеля	0,125
Кремнія	1,240
Сѣры	0,069
Фосфора	0,269
Мышьяка	0,056
Графита	0,969
Кислорода	28,899
	100,037

Въ подобномъ горѣломъ желѣзѣ, въ особенности въ толстыхъ кускахъ его часто можно различить различнаго вида слои, расположенные другъ надъ другомъ, химическій анализъ которыхъ указываетъ на различное содержаніе въ нихъ не только кислорода, но и кремнія, фосфора, сѣры, а иногда и марганца. Продолжительное накаливаніе вызвало повидимому зейгированіе (вытапливаніе) нѣкоторыхъ соединеній. Тѣла упомянутыя выше вытапливались, въ видѣ кремневокислыхъ и фосфорнокислыхъ солей или сѣрнистыхъ соединеній, и скоплялись преимущественно тамъ, гдѣ образовалось наибольшее количество закиси желѣза, сильно основныя свойства которой имѣютъ въ этомъ случаѣ извѣстное значеніе.

Такъ напр. Platz [1]) изслѣдуя металлъ чугунной дверцы коксовальной печи замѣтилъ что дверца съ наружной стороны была совершенно цѣла, тогда какъ середина ея сильно перегорѣла, а внутренняя сторона была покрыта толстымъ слоемъ окалины. Въ 100 ч. матеріала взятаго изъ различныхъ частей дверцы оказалось.

	Желѣза.	Марганца.	Кремнія.	Фосфора.
Въ непострадавшей отъ огня части	90,82	0,88	2,57	1,70
Въ среднемъ перегорѣломъ слоѣ.	81,25	0,77	1,87	1,05
Тоже, только перечислено согласно содержаніе желѣза здоровой части	—	0,86	2,09	1,17
Въ слоѣ окалины	60,84	0,78	3,88	2,81
Тоже, только перечислено на содержаніе желѣза въ первой части	—	1,16	5,79	4,19

Содержаніе закиси и окиси желѣза въ металлѣ обѣихъ перегорѣлыхъ частей дверцы не было опредѣлено. Можно предполагать, что въ среднемъ слоѣ заключаются еще значительныя количества металлическаго желѣза, вслѣдствіе чего и общее содержаніе желѣза въ немъ больше.

[1]) „Stahl und Eisen.“ 1885. § 472. Въ статьѣ приведены еще другія примѣры, которыхъ мы здѣсь не помѣщаемъ.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Еще яснѣе видно вліяніе содержанія закиси желѣза изъ нижеслѣдующихъ анализовъ, произведенныхъ въ моей лабораторіи. На поверхности излома желѣзной полосы, игравшей роль связи въ печи для обжиганія цинковыхъ рудъ, были замѣтны четыре рѣзко отдѣленныхъ другъ отъ друга слоя. Внѣшній слой былъ ясно краснаго цвѣта съ довольно груболистоватымъ сложеніемъ. Второй слой былъ окрашенъ немного темнѣе и имѣлъ сложеніе зернистое. Третій слой, голубовато-красноватаго цвѣта, имѣлъ сложеніе мелкозернистое. Внутри всѣхъ этихъ слоевъ заключается четвертый слой, который имѣлъ видъ совершенно металлическаго ядра, съ мелкозернистымъ сложеніемъ. Эти четыре слоя имѣли слѣдующій составъ.

	Окиси желѣза.	Закиси желѣза.	Марганца.	Фосфора.	Кремнія.	Сѣры.
Наружный слой . . .	76,17	23,05	0,33	0,021	0,140	неопр.
Второй слой	28,96	70,60	0,23	0,012	0,047	0,005
Третій слой.	18,53	80,05	0,26	0,355	0,192	0,058
	желѣза	метал.				
Ядро.	98,15		0,38	0,204	0,025	0,025
На 100 частей первоначальнаго количества желѣзо находилось:						
въ наружн. слоѣ . . .	—	—	0,465	0,029	0,194	неопр.
во второмъ слоѣ . . .	—	—	0,310	0,016	0,194	0,007
въ третьемъ слоѣ . .	—	—	0,477	0,468	0,065	0,076
въ ядрѣ	—	—	0,387	0,204	0,050	0,025

Обезуглероживаніе желѣза, происходящее при накаливаніи его въ прикосновеніи съ воздухомъ или окислительными газами, можно наблюдать также, при накаливаніи его съ тѣлами, отдающими свой кислородъ, напримѣръ, съ окисью желѣза, цинка и т. д.

Результатъ, получаемый въ этомъ случаѣ отличается отъ перваго только тѣмъ, что при немъ не происходитъ окисленія желѣза, марганца, кремнія и фосфора, тогда какъ углеродъ переходитъ изъ внутреннихъ частей накаливаемаго куска желѣза въ его наружныя части, какъ скоро послѣднія стали обезуглероживаться. Частицы болѣе богатыя углеродомъ, отдаютъ часть его частицамъ болѣе бѣднымъ и такой постоянный обмѣнъ продолжается до тѣхъ поръ, пока продолжается накаливаніе и обезуглероживаніе желѣза. Процессъ этотъ служитъ основаніемъ способовъ полученія ковкаго чугуна и цементной стали, о которыхъ будетъ рѣчь въ третьемъ томѣ этого сочиненія.

Если желѣзо, содержащее углеродъ, кремній, марганецъ, фосфоръ или другія тѣла, сгорающія при извѣстныхъ об-

НБ УДУНТ (ІПБТ)

стоятельствахъ легче чѣмъ чистое желѣзо, подвергнуть въ расплавленномъ состояніи дѣйствію воздуха, окислительныхъ газовъ, шлаковъ богатыхъ окисью желѣза, или другихъ окисляющихъ тѣлъ, то упомянутыя выше составныя части сожигаются и смотря по степени растворимости ихъ окисловъ, выдѣляются изъ желѣза. Чугунъ, подвергнутый такой обработкѣ, прежде всего, становится свободнѣе отъ посторонних тѣлъ и, пока результатомъ этого процесса является все таки чугунъ, процессъ этотъ называется рафинированіемъ; если же такую обработку вести дольше, то чугунъ превращается въ ковкое желѣзо, и самый процессъ тогда называется фришеваніемъ, передѣломъ чугуна въ ковкое желѣзо. Онъ служитъ основаніемъ для большинства употребляемыхъ въ настоящее время способовъ полученія ковкаго желѣза, какъ сварочнаго, такъ и литаго. Болѣе подробно эти способы будутъ описаны въ третьемъ томѣ настоящаго сочиненія [1]).

Порядокъ однако, въ которомъ сожигаются и выдѣляются изъ огнежидкаго желѣза различныя тѣла, при упомянутыхъ выше условіяхъ, не всегда одинаковъ. Онъ зависитъ отъ степени насыщенія ими расплавленнаго металла, т. е. отъ отношенія ихъ количествъ къ массѣ желѣза, отъ существующей температуры и отъ присутствія третьихъ тѣлъ, способныхъ образовать соединенія съ продуктами окисленія.

Чѣмъ въ меньшихъ количествахъ заключаются посторонія тѣла въ жидкомъ желѣзѣ, чѣмъ сильнѣе они разжижены желѣзомъ, тѣмъ менѣе доступны они процессу горѣнія, тѣмъ медленнѣе происходитъ ихъ выдѣленіе. Этимъ объясняется и то обстоятельство, что при всѣхъ подобныхъ процессахъ окисляется и шлакуется часть самого желѣза, задолго до выдѣленія болѣе легко сгорающихъ частей. При одинаковыхъ условіяхъ желѣзо сгораетъ тѣмъ въ гораздо большемъ количествѣ, чѣмъ меньше содержаніе въ немъ другихъ тѣлъ. Поэтому все ковкое желѣзо, получаемое изъ чугуна, содержитъ еще углеродъ, такъ какъ полнаго выдѣленія послѣдняго можно было-бы добиться лишь вмѣстѣ съ одновременнымъ ошлакованіемъ весьма значительнаго количества желѣза.

Высокая температура вообще повышаетъ сродство тѣлъ къ кислороду, причемъ однако сродство одного тѣла къ кислороду увеличивается больше, чѣмъ другого. Выше уже было упомянуто, что сродство углерода къ кислороду особенно сильно увеличивается съ повышеніемъ температуры. Поэтому то

[1]) Въ прежнее время фришеваніемъ называли каждый способъ полученія ковкаго желѣза, безъ различія, получалось ли оно изъ рудъ посредствомъ ихъ возстановленія, или изъ чугуна путемъ окисленія. Только въ XIX столѣтіи понятіе это съузили и выраженіе это стали примѣнять исключительно къ переработкѣ чугуна на ковкое желѣзо.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

углеродъ и является особенно пригоднымъ возстановителемъ для окисловъ другихъ тѣлъ (марганца, кремнія, металловъ, щелочей и др.), сродство которыхъ къ кислороду повышается въ меньшей степени. По этой же самой причинѣ однако, при окисленіи желѣза содержащаго углеродъ кремній, марганецъ и др., углеродъ горитъ тѣмъ энергичнѣе, чѣмъ выше будетъ температура металла, тогда какъ другія тѣла, заключающіяся въ послѣднемъ, будутъ соотвѣтственно этому защищены отъ окисленія присутствіемъ въ желѣзѣ несгорѣвшаго углерода. Это обстоятельство объясняетъ намъ, почему при температурѣ немного превышающей температуру плавленія обыкновеннаго чугуна изъ него иногда можетъ выгорѣть почти весь кремній и марганецъ, прежде чѣмъ вообще начнется выгораніе углерода, тогда какъ при болѣе высокой температурѣ (температурѣ плавленія ковкаго желѣза) небольшой остатокъ кремнія и марганца часто сожигается лишь тогда, когда выгорѣлъ уже приблизительно весь углеродъ.

Относительно вліянія присутствія третьихъ тѣлъ на ходъ горѣнія было уже сказано на стр. 17. Присутствіе шлака богатаго кремнекислотою усиливаетъ сродство къ кислороду такихъ тѣлъ, которыя даютъ основные продукты горѣнія, (марганецъ, желѣзо). Горѣніе же металлоидовъ, напротивъ того, облегчается присутствіемъ основныхъ тѣлъ, съ которыми продукты горѣнія первыхъ могутъ соединяться, образуя силикаты, фосфаты и т. д.

По этой причинѣ, въ присутствіи шлака богатаго кремнеземомъ фосфоръ вовсе не выдѣляется изъ желѣза. Въ присутствіи-же основныхъ шлаковъ, при низкой температурѣ, выдѣленіе его, одновременно съ выдѣленіемъ кремнія происходитъ уже раньше выгоранія углерода.

При очень высокой температурѣ, благодаря указанному выше свойству углерода, оно возможно лишь послѣ приблизительно полнаго выгоранія послѣдняго, такъ какъ углеродъ желѣза, при достаточно высокой температурѣ, можетъ возстановить и снова перевести въ желѣзо фосфоръ даже изъ шлака. На этихъ свойствахъ основаны различные способы выдѣленія фосфора изъ чугуна, посредствомъ его окисленія. Въ присутствіи основныхъ тѣлъ (закиси желѣза, закиси марганца, окиси кальція) фосфоръ можно выдѣлить при низкой температурѣ еще до выдѣленія углерода, причемъ однако неизбѣжно сгоритъ и выдѣлится изъ желѣза весь кремній, въ немъ заключающійся. Въ другомъ случаѣ фосфоръ выдѣляется при высокой температурѣ послѣ выдѣленія большей части углерода (способъ Гомаса), причемъ кремній, марганецъ и т. д. выдѣляются раньше фосфора вмѣстѣ съ углеродомъ. Такое вліяніе присутствія третьихъ тѣлъ на выгораніе составныхъ частей углеродистаго желѣза, объясняетъ намъ, почему въ печахъ съ основной набойкой углеродъ же-

НБ УДУНТ (ІПБТ)

лѣза выгораетъ скорѣе и полнѣе, чѣмъ въ печахъ съ кремнистой набойкой. Въ послѣднихъ сродство къ кислороду желѣза, закись котораго имѣетъ характеръ сильнаго основанія, усиливается, благодаря соприкосновенію металла съ набойкой содержащей кремнекислоту; желѣзо сгораетъ при этомъ въ большихъ количествахъ, вслѣдствіе чего и углеродъ оказывается лучше защищеннымъ. Основная же футеровка печи не способствуетъ сгоранію желѣза, слѣдствіемъ чего является болѣе сильное горѣніе углерода.

Тѣла окислы которыхъ легче возстановимы, чѣмъ окислы желѣза, нельзя выдѣлить изъ сплава ихъ съ послѣднимъ посредствомъ окисленія, безъ того чтобы раньше не сжечь большей части желѣза. Къ числу этихъ тѣлъ относятся мѣдь, никкель, кобальтъ. Если только они разъ перешли въ сплавъ съ желѣзомъ, то сопровождаютъ его черезъ всѣ стадіи его обработки. Такъ какъ при окислительныхъ процессахъ, вслѣдствіе происходящаго выдѣленія нѣкоторыхъ тѣлъ, общее количество металла, въ которомъ они растворены, уменьшается, то содержаніе ихъ въ сплавѣ съ желѣзомъ обыкновенно увеличивается, съ каждой новой окислительной плавкой, которой подвергается металлъ.

По произведеннымъ до сихъ поръ наблюденіямъ, сѣра можетъ, при достаточной продолжительности окислительнаго процесса, отчасти сгорѣть въ сѣрнистую кислоту и улетучиться. Однако при томъ ничтожномъ количествѣ, въ которомъ сѣра обыкновенно встрѣчается въ массѣ расплавленнаго желѣза, результатъ подобнаго процесса очень незамѣтенъ. Въ присутствіи же основныхъ, въ особенности марганецъ-содержащихъ шлаковъ, другая часть сѣры поглощается послѣдними въ неокисленномъ видѣ—(въ видѣ сульфида) благодаря большей растворимости сѣрнистаго металла въ шлакѣ, чѣмъ въ желѣзѣ. Затѣмъ еще нѣкоторая, и иногда довольно значительная, часть сѣры остается обыкновенно въ желѣзѣ.

Образованіе ржавчины на желѣзѣ и разъѣданіе его жидкостями. Ржавчиной въ обширномъ смыслѣ слова называютъ всякую основную нерастворимую въ водѣ соль желѣза, образовавшуюся на металлическомъ желѣзѣ подъ дѣйствіемъ какой нибудь кислой жидкости, при доступѣ воздуха. Въ болѣе же узкомъ смыслѣ слова ржавчиной называютъ коричневое, образовавшееся подъ дѣйствіемъ только однихъ атмосферныхъ дѣятелей, соединеніе желѣза, сначала появляющееся лишь на его поверхности, но потомъ проникающее все глубже и глубже, пока наконецъ весь кусокъ желѣза не превратится въ ржавчину.

Способность желѣза легко ржавѣть дѣлаетъ примѣненіе его во многихъ случаяхъ затруднительнымъ.

Плиній поэтически называетъ ржавчину проклятіемъ,

НБ УДУНТ (ІПБТ)

которое лежитъ на желѣзѣ, за тѣ преступленія, которыя совершаются при его помощи, руками разбойниковъ и убійцъ.

Какъ извѣстно, ржавчина состоитъ главнымъ образомъ изъ водной окиси желѣза, а изъ этого слѣдуетъ, что она не можетъ образоваться въ совершенно сухомъ воздухѣ. Часто также она содержитъ небольшія количества углекислоты и по крайней мѣрѣ слѣды амміака.

Кальверъ (Calvert) нашелъ въ ржавчинѣ желѣзнаго трубчатаго моста черезъ рѣку Conway 0,900% углекислаго желѣза, а въ другомъ случаѣ—0,617%.

Отсюда можно заключить, что углекислота также играетъ роль при образованіи ржавчины. Вліяніе ея становится еще замѣтнѣе, если подвергнуть одинъ кусокъ желѣза дѣйствію обыкновенной, т. е. углекислоту-содержащей воды, другой-же дѣйствію воды, не содержащей углекислоты. Первый кусокъ быстро покроется ржавчиной, другой-же будетъ сохраняться продолжительное время, если только къ водѣ не будетъ имѣть доступа внѣшній воздухъ, содержащій также углекислоту. Этимъ средствомъ пользуются, прибавляя къ водѣ, въ которой должны нѣкоторое время сохраняться желѣзные предметы, немного обожженной извести или незначительныя количества щелочей.

Если углекислота имѣется въ избыткѣ, а свободный кислородъ не имѣетъ вовсе доступа, то образуется растворимая углекислая соль желѣза; но если только къ раствору получитъ доступъ воздухъ, соль эта тотчасъ разлагается, причемъ образуется нерастворимая водная окись желѣза. Процессъ этотъ служитъ вѣроятно основаніемъ для образованія многихъ залежей желѣзныхъ рудъ.

При совмѣстномъ дѣйствіи углекислоты и воздуха на желѣзо, вслѣдствіе разложенія воды, выдѣляется водородъ который соединяется съ азотомъ воздуха, давая амміакъ. Уже въ 1683 г. Claude Bourdelin доказалъ, что при дѣйствіи воды, содержащей воздухъ, на желѣзо образуется амміакъ [1]).

Для того, чтобы вызвать образованіе ржавчины нужно слѣдовательно совмѣстное дѣйствіе трехъ тѣлъ: воды, свободнаго кислорода и углекислоты. Но такъ какъ всѣ эти три тѣла постоянно находятся въ воздухѣ, то каждый кусокъ желѣза не защищенный искусственно отъ дѣйствія воздуха будетъ всегда легко ржавѣть.

Если хоть одного изъ названныхъ тѣлъ, способствующихъ образованію ржавчины, недостаетъ, то остальныя два уже не могутъ дѣйствовать. Кальверъ доказалъ, что даже во влажномъ кислородѣ, склонность желѣза давать ржавчину очень незначительна, если только въ газѣ не содержится какой либо свободной кислоты.

---

[1]) Dinglers polyt. Journal, CXCVI, S. 131.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Углекислота можетъ однако замѣщаться другими кислотами и даже растворами нѣкоторыхъ солей (хлористыми соединеніями магнія и металловъ щелочей и др.). Дѣйствіе жидкостей, содержащихъ въ растворѣ кислоты или соли, на желѣзо при доступѣ воздуха, совершенно подобно процессу образованія обыкновенной ржавчины.

Вблизи топокъ, гдѣ сожигается минеральный уголь, образуется сѣрнистая кислота, могущая также вызывать образованіе ржавчины, такъ какъ подъ дѣйствіемъ озона, постоянно имѣющагося въ воздухѣ, и азотистокислаго аммонія она быстро переходитъ въ сѣрную кислоту.

Сѣроводородъ, всегда наблюдаемый въ атмосферѣ вблизи человѣческихъ жилищъ, также превращается подъ дѣйствіемъ азотисто-кислаго аммонія въ сѣрную кислоту, какъ это доказалъ Тернеръ [1]) (Thörner). Въ ржавчинѣ, образующейся при такихъ условіяхъ, всегда можно найти поэтому присутствіе сѣрной кислоты. Тернеръ нашелъ въ 14 пробахъ ржавчины, взятыхъ съ весьма различныхъ предметовъ, отъ 0,6—0,9% сѣрной кислоты.

Даже жиры, которыми нерѣдко покрываютъ желѣзо для защиты его отъ ржавчины, могутъ, наоборотъ, способствовать образованію ржавчины, если они разлагаются съ образованіемъ жировыхъ кислотъ [2]).

Способность различныхъ сортовъ желѣза сопротивляться образованію ржавчины, а также дѣйствію кислотъ, какъ показываетъ опытъ, довольно различна. Это зависитъ частью отъ химическаго состава желѣза, частью же отъ его сложенія и другихъ свойствъ. Нѣкоторыя тѣла, находящіяся въ сплавѣ съ желѣзомъ, затрудняютъ образованію ржавчины, другія — облегчаютъ оное. Механическія примѣси, напримѣръ, шлаки, могутъ способствовать образованію ржавчины, возбуждая гальваническіе токи. Точно такой же результатъ получается если при застываніи желѣза, вслѣдствіе ликваціи, получаются соединенія различнаго состава. Не безъ основанія указывали на появленіе такихъ гальваническихъ токовъ какъ на причину различія въ свойствахъ повидимому совершенно одинаковыхъ сортовъ желѣза, а также и на причину появленія ржавчины на нѣкоторыхъ мѣстахъ желѣза, сохранявшагося въ водѣ, не содержащей ни углекислоты, ни воздуха.

На способность сопротивленія желѣза можетъ вліять также самый способъ образованія ржавчины, или свойства жидкости, дѣйствующей на желѣзо. Поэтому, желѣзо, лучше сохраняющееся въ одномъ случаѣ, можетъ оказаться легко доступнымъ ржавчинѣ въ другомъ.

[1]) Stahl und Eisen 1889, S. 330.
[2]) Annales des mines, serie 7, tome XV, p. 234.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Благодаря всему этому невозможно вывести совершенно опредѣленныхъ правилъ относительно вліянія всѣхъ различныхъ спутниковъ желѣза на его способность сопротивляться ржавчинѣ. Иногда находятъ, напримѣръ, что желѣзо, содержащее марганецъ, ржавѣетъ особенно легко, тогда какъ въ другихъ случаяхъ такое желѣзо сопротивляется лучше, чѣмъ желѣзо не содержащее марганца, и сплавы желѣза съ марганцемъ, весьма богатые послѣднимъ, отличаются обыкновенно весьма большою способностью сопротивленія ржавленію. Подобныя же отклоненія наблюдаются при разсмотрѣніи вліянія кремнія, фосфора и углерода.

Въ нѣкоторыхъ случаяхъ высокое содержаніе углерода въ желѣзѣ дѣйствуетъ вредно, если, напримѣръ, какъ въ сѣромъ чугунѣ—онъ механически заключенъ въ желѣзѣ въ видѣ графита, такъ какъ послѣдній дѣлаетъ сложеніе вещества болѣе рыхлымъ, и поэтому болѣе доступнымъ химическимъ агентамъ. Съ другой стороны самъ графитъ представляетъ тѣло весьма хорошо сопротивляющееся окисленію и поэтому существуютъ сорта чугуна, которые, несмотря на высокое содержаніе графита, оказываются довольно прочными по отношенію къ образованію ржавчины, если только графитъ не заключается въ видѣ слишкомъ крупныхъ листочковъ.

Сѣра дѣйствуетъ, вѣроятно, вредно во всѣхъ случаяхъ; сѣру содержащее желѣзо теряетъ съ теченіемъ времени часть своей сѣры, уже отъ дѣйствія текущей воды. Процессъ же этотъ возможенъ лишь при разложеніи воды, причемъ желѣзо окисляется.

Опыты автора, при которыхъ различные сорта металла, взятаго въ видѣ кубиковъ совершенно одинаковой величины подвергались, при совершенно одинаковыхъ условіяхъ, дѣйствію весьма разведенной сѣрной кислоты въ продолженіи 65 часовъ [1]) дали слѣдующія цыфровыя данныя уменьшенія вѣса металла въ процентахъ первоначальнаго его вѣса.

Зеркальный чугунъ, сод. около 10% Mn., 4,5% C, потерялъ въ вѣсѣ.	14,15%
Бѣлый, бѣдный углеродомъ, чугунъ приблизительно съ 3,5% C, 0,7% Ph, но затѣмъ довольно чистый	19,7%
Темносѣрый коксовый чугунъ (около 2,5% Si, 1,5% Mn, 3,5% Gr, 0,8% Ph).	27,6%
Сѣрый древесноугольный чугунъ (около 1,8% Si, 1% Mn, 3,5 C, 0,6% Ph).	37,7%
Англійская инструментальная сталь, содержавшая около 1% углерода, во всѣхъ отношеніяхъ чистая.	66,5%
Мягкое ковкое желѣзо, содержавшее около 0,1% углерода	88,6%

[1]) Berg- und Hüttenmännische Ztg. 1877, S. 280.

НБ УДУНТ (ПБТ)

Такимъ образомъ чугунъ наиболѣе богатый марганцемъ и углеродомъ оказался наиболѣе хорошо сопротивляющимся; съ уменьшеніемъ же содержанія посторонних тѣлъ уменьшалась довольно равномѣрно и способность желѣза сопротивляться дѣйствію кислотъ.

Болѣе обширные опыты въ этомъ отношеніи были произведены Грюнеромъ. Онъ приготовлялъ изъ изслѣдуемыхъ сортовъ желѣза квадратныя пластины, каждая сторона которыхъ была = 10 снтм. Поверхность пластинъ отполировалась и затѣмъ они подвергались вліянію различныхъ агентовъ, послѣ чего опредѣлялась потеря ихъ вѣса. Изъ полученныхъ имъ результатовъ приводимъ слѣдующіе:

	Уменьшеніе вѣса образца въ граммахъ.		
	Во влажномъ воздухѣ за 20 дней.	Въ морской водѣ за 9 дней.	Въ водѣ слегка подкисленной за 10 дней.
7 образцовъ тигельной стали содерж. 0,16—1,56% углерода 0,12—0,16% марганца и 0,09—0,32% кремнія.	4,0—4,8 гр., менѣе всего въ самой бѣдной углеродомъ стали; вообще же незамѣтно особой правильности.	1,1—2,2 гр., всего меньше при 0,6% углерода.	0,6—1,2 гр., всего меньше при 0,45% углерода; больше же всего при 0,16 и 0,56% углерода.
Сталь богатая марганцемъ и кремніемъ съ 0,59% углерода, 1,36% марганца и 0,93% кремнія:			
а) не закаленная . .	3,8 гр.	3,0 гр.	2,0 гр.
б) закаленная	4,8 гр.	2,8 гр.	5,3 гр.
Грубозернистый темносѣрый чугунъ съ 3,4% марганца, 1—2% кремнія и незначительными количествами фосфора и сѣры	4,1 гр.	3,5 гр.	9,2 гр.
Древесноугольный чугунъ, употребляемый для литья орудій и переплавленный въ тиглях (бѣденъ графитомъ и мелкозернистъ);	3,3 гр.	3,1 гр.	3,0 гр.
Чугунъ для мелкаго литья, богатый фосфоромъ и переплавленный въ тиглѣ . . .	2,9 гр.	5,0 гр.	5,8 гр.
Зеркальный чугунъ, содержащій около 20% марганца.	1,9 гр.	7,0 гр.	1,0 гр.

Въ прѣсной водѣ испытанные образцы металла давали приблизительно такіе-же результаты, хотя абсолютная величина потери въ вѣсѣ металла меньше замѣтна.

НБ УДУНТ (ИПБТ)

При этихъ опытахъ также оказалось, что зеркальный чугунъ, богатый марганцемъ, а безъ сомнѣнія и углеродомъ, сопротивлялся дѣйствію влажнаго воздуха и кислоту содержащей воды лучше всѣхъ другихъ сортовъ углеродистаго желѣза. Удивительно только, что чугунъ этотъ оказался мало сопротивляющимся дѣйствію морской воды. Сталь-же, богатая марганцемъ вообще отличалась меньшею способностью сопротивляться дѣйствію упомянутыхъ выше агентовъ, чѣмъ другіе, менѣе богатые марганцемъ сорта стали. Послѣдніе сопротивляются дѣйствію морской воды и кислоту-содержащей воды лучше всѣхъ другихъ сортовъ желѣза, но зато сильнѣе страдаютъ отъ дѣйствія влажнаго воздуха.

Сравненіе отношеній хромистой стали со сталью не содержащей хрома, также произведенное Грюнеромъ, показало, что первая сильнѣе второй страдаетъ отъ влажнаго воздуха и слабыхъ кислотъ.

Въ виду большаго значенія, какое имѣетъ большая или меньшая способность ржавѣть для листоваго желѣза идущаго на судостроеніе, въ 1880 году, по предложенію англійскаго Ллойда, В. Паркеромъ произведены были опыты надъ большимъ числомъ желѣзныхъ листовъ различнаго качества [1]).

Одна часть этихъ листовъ погружалась на 437 дней въ морскую воду, въ гавани города Брайтона; другая—подвергалась въ продолженіи 240 дней дѣйствію влажнаго воздуха, на днѣ машинной камеры океанскаго парохода; третья же часть находилась 455 дней на крышѣ дома, въ Лондонскомъ Сити, и подвергалась дѣйствію атмосферныхъ вліяній.

Три другихъ серіи тѣхъ-же самыхъ листовъ подвѣшивались между дымогарными трубами, находившимися въ судовыхъ котлахъ такимъ образомъ, что оставались по крайней мѣрѣ на 30 снтм. подъ поверхностью воды. Листы одной серіи находились такимъ образомъ 361 день въ котлѣ парохода совершавшаго рейсы въ Остиндію. Въ котлѣ этомъ для затрудненія образованія ржавчины былъ положенъ цинкъ. Опоражнивался котелъ очень рѣдко. Листы другой серіи находились точно такимъ-же образомъ въ котлѣ парохода, совершавшаго рейсъ въ Китай. Цинка въ котелъ не было положена, но послѣдній опоражнивался на каждой конечной станціи и наполнялся свѣжей морской водою. Третья серія листовъ наконецъ путешествовала 336 дней въ котлѣ парохода береговаго сообщенія, который получалъ питательную воду изъ той части рѣки Тайнъ (Tyne), которая была сильно загрязнена и подкислена сточными водами большой химической фабрики. Опоражниваніе котловъ производилось черезъ

[1]) Journal of the Iron and steel Institute, tome I (1881) p. 39.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

каждыя 10 недѣль; котлы изъ пяти дней четыре дня находились въ дѣйствіи.

Послѣдовавшее затѣмъ взвѣшиваніе листовъ дало слѣдующія средніе результаты относительно потери вѣса ихъ отъ ржавчины.

	Средній составъ желѣза.							Средняя потеря отъ ржавчины за годъ въ фунтахъ на 1 англ. кв. футъ.					
	Углерода.	Кремнія.	Фосфора.	Сѣры.	Мѣди.	Марганца.	Кобальта и никкель.	Въ морской водѣ.	Въ машинномъ пространствѣ.	Въ Лондонскомъ воздухѣ.	Въ котлахъ Остинд. парох.	Въ котлахъ Китайскаго парохода.	Въ котлахъ парохода прибрежнаго плаванія.
2 сорта обыкновен. пудлинговъ. жел.	0,10	0,06	0,25	0,03	0,04	0,01	0,07	0,663	0,485	0,153	0,060	0,199	0,525
5 сорт. лучшаго пудлинговъ. жел.	0,11	0,11	0,11	0,01	0,02	0,01	0,01	0,195	0,526	0,166	0,067	0,194	0,633
4 сорт. мягкаго литаго металла	0,15	0,02	0,06	0,06	Сл.	0,5	—	0,207	0,523	0,224	0,129	0,262	0,736

Литое желѣзо почти во всѣхъ случаяхъ страдало сильнѣе, чѣмъ сварочное (пудлинговое), на что, можетъ быть имѣло вліяніе большее содержаніе въ немъ сѣры. Разница впрочемъ не довольно велика, чтобы можно было вывести общее заключеніе противъ литаго металла. Извѣстно, что если цинкъ приходитъ въ соприкосновеніе съ желѣзомъ, то оный является электроположительнымъ полюсомъ и при разложеніи воды соединяется съ ея кислородомъ, защищая желѣзо отъ дѣйствія послѣдняго. Къ этому средству прибѣгаютъ нерѣдко. Поэтому потеря отъ ржавчины въ листахъ, находившихся въ котлахъ Остиндскаго парохода, въ каковые, какъ упомянуто, былъ положенъ цинкъ, меньше чѣмъ во всѣхъ другихъ котлахъ. Наоборотъ, склонность желѣза къ образованію ржавчины увеличивается, если оно приходитъ въ соприкосновеніе съ металлами, которые, какъ мѣдь, олово, свинецъ являются отрицательными полюсами.

Вслѣдствіе этого кусокъ желѣза, покрытый цинкомъ ржавѣетъ сравнительно слабо, даже въ томъ случаѣ когда оболочка его будетъ испорчена на нѣкоторыхъ мѣстахъ, тогда какъ слой олова (какъ, напримѣръ, покрывающій жесть) защищаетъ желѣзо только до тѣхъ поръ, пока онъ цѣлъ; какъ скоро онъ будетъ поврежденъ, происходитъ усиленное образованіе ржавчины.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Возстановленіе окисловъ желѣза углеродомъ и окисью углерода.

Окислы желѣза, какъ сказано уже, всегда являются матеріаламъ, изъ котораго получается металлическое желѣзо. Возстановляющими же реагентами для разложенія этихъ окисловъ служатъ преимущественно углеродъ въ твердомъ состояніи и газообразная окись углерода. Но такъ какъ окись углерода получается лишь вслѣдствіе неполнаго горѣнія углерода, то углеродъ слѣдовательно во всякомъ случаѣ является первоначальнымъ возстановляющимъ матеріаломъ; поэтому возстановленіе желѣза углеродомъ обыкновенно называютъ прямымъ или непосредственнымъ, возстановленіе же его окисью углерода непрямымъ или посредственнымъ возстановленіемъ.

Окислы желѣза съ болѣе высокимъ содержаніемъ желѣза, въ особенности же окись желѣза Fe_2O_3, теряютъ часть своего кислорода въ соприкосновеніи съ названными возстановительно дѣйствующими тѣлами, уже при сравнительно низкой температурѣ, и превращаются въ нисшія степени окисленія. Л. Белль (L. Bell) нашелъ, что обожженныя руды Кливеленда уже при 200° Цельзія могутъ терять незначительную часть своего кислорода [1]).

При этихъ условіяхъ процессъ возстановленія идетъ однако весьма слабо; такъ напр. при одномъ изъ подобныхъ опытовъ, при 227° С. въ продолженіи часа, изъ руды было выдѣлено лишь около $^1/_{400}$ связаннаго съ желѣзомъ кислорода.

Съ повышеніемъ температуры увеличивается и возстановительное дѣйствіе тѣлъ [2]), и наоборотъ температура должна быть тѣмъ выше, чѣмъ бѣднѣе кислородомъ долженъ быть остатокъ послѣ возстановленія. По опытамъ Окермана [3]) окись желѣза Fe_2O_3 можетъ возстановляться подъ вліяніемъ окиси углерода уже при 450° С. въ магнитную окись желѣза (Fe_3O_4), тогда какъ закись желѣза образуется лишь при температурѣ не ниже 850° С, а для выдѣленія металлическаго желѣза требуется, какъ это нашелъ и Туннеръ [4]), температура по крайней мѣрѣ въ 900° С.

Если однако возстановителемъ служитъ окись углерода, то отъ сгоранія ея образуется двуокись его (углекислота), соединеніе, которое согласно сказанному выше (стр. 16) дѣйствуетъ на металлическое желѣзо окисляющимъ образомъ, если только оно не разбавлено соотвѣтственно большимъ избыткомъ

---

[1]) L. Bell, Principles of the Manufacture of Iron und Steel. London 1884. Стр. 191. J. L. Bell, Ueber die Entvickelung und Verwendung der Wärme in Eisenhochöfen, переводъ P. Tunner, Leipzig, 1870, S. 106.

[2]) Опыты были производимы также Шинцемъ. См. его статью: Dokumente, betrefend den Hochoffen, Berlin, 1868. S. 74.

[3]) Jernkontorets Annaler 1882; оттуда въ Stahl und Eisen, 1883. S. 149.

[4]) Jahrbuch der oesterreichischen Bergakademie, Band IX, S. 309.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

возстановителя. Требуемый для этого избытокъ возстановителя увеличивается съ температурой, при которой происходитъ возстановленіе. При самой низкой температурѣ, которая требуется для выдѣленія металлическаго желѣза (900° С) получающаяся газовая смѣсь, по упомянутымъ опытамъ Окермана, должна содержать на ряду съ одной частью по объему (молекулой) углекислоты по крайней мѣрѣ двѣ части по объему окиси углерода. Лишь въ этомъ случаѣ можетъ получиться металлическое желѣзо согласно уравненію: $FeO + 3CO = Fe + CO_2 + 2CO$.

Если же возстановителемъ служитъ углеродъ то для хода разложенія по формулѣ $FeO+C = Fe+CO$, избытка возстановителя собственно не требуется, такъ какъ получающаяся окись углерода не можетъ окислительно дѣйствовать на металлическое желѣзо. Изъ сказаннаго же раньше можно заключить, что при употребленіи углерода въ качествѣ возстановителя процессъ вообще можетъ итти только согласно вышеприведенной формулѣ, т. е. что продуктомъ горѣнія углерода можетъ быть только окись углерода, а не углекислота, такъ какъ послѣдняя дѣйствовала бы при температурѣ возстановленія желѣза сильно-окисляющимъ образомъ на самый углеродъ.

Необходимость избытка возстановителя, въ случаѣ употребленія окиси углерода для возстановленія окисловъ желѣза, представляетъ несомнѣнное неудобство. Однако, если принять во вниманіе весь расходъ теплоты, неизбѣжный при возстановленіи, то оказывается, что возстановленіе углеродомъ требуетъ гораздо большаго расхода теплоты, чѣмъ возстановленіе окисью углерода. Обстоятельство это дѣлаетъ послѣдній способъ возстановленія, несмотря на указанный его недостатокъ, часто болѣе экономичнымъ чѣмъ первый.

Фактъ этотъ очень просто объясняется тѣмъ, что при сожиганіи углерода въ окись ($FeO + C = CO$) каждому килограмму кислорода вступающему въ реакцію соотвѣтствуетъ выдѣленіе лишь 1855 ед. тепла, тогда какъ при сожиганіи окиси углерода въ углекислоту ($FeO + CO = CO_2$) развивается 4205 ед. тепла [1]) на единицу кислорода учавствующаго въ реакціи. Еще яснѣе видны термическіе результаты возстановленія желѣза различными путями изъ нижеслѣдующихъ цифровыхъ данныхъ:

а. Возстановленіе углеродомъ по формулѣ $FeO + C = Fe + CO$.

Атомные вѣса тѣлъ, участвующихъ въ этомъ процессѣ, даютъ слѣдующія вѣсовыя отношенія, причемъ за единицу вѣса принимается килограммъ:

---

[1]) Цифры эти легко получить изъ данныхъ относительно количествъ развивающейся теплоты при сгораніи углерода и окиси его, приведенныхъ на стр. 28.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

(56 клгрм. желѣза + 16 клгрм. кислорода) + 12 клгрм. углерода даютъ 56 клгрм. желѣза+28 клгрм. окиси углерода.

Если отнести процессъ къ 1 (вмѣсто 12) клгрм. углерода, то получимъ:

$^{14}/_{3}$ клгрм. желѣза + $^{4}/_{3}$ клгрм. кислорода) + 1 клгрм. углерода даютъ $^{14}/_{3}$ клгрм. желѣза+$^{7}/_{3}$ клгрм. окиси углерода.

Такъ какъ расходъ тепла на разложеніе какого нибудь химическаго соединенія равенъ количеству тепла, развивающемуся при образованіи этого соединенія, и такъ какъ 1 клгрм. желѣза развиваетъ при своемъ сгораніи въ закись желѣза 1352 ед. т. (стр. 30), то расходъ и приходъ тепла въ разбираемомъ процессѣ будутъ слѣдующія:

$^{14}/_{3}$ клгрм. желѣза требуютъ для своего возстановленія изъ закиси желѣза расхода теплоты $= {}^{14}/_{3} \times 1352 =$ 6309 ед. т.; одинъ клгрм. углерода даетъ при своемъ сгораніи въ $^{7}/_{3}$ клгрм. окиси углерода приходъ теплоты=2473.

Потребный чистый расходъ теплоты = 3863 ед. тепла.

Точно такимъ же путемъ можно вести разсчетъ на 1 кл. кислорода, отнятаго у желѣза, или-же на 1 клгрм. возстановленнаго желѣза.

Расходъ тепла при возстановленіи закиси желѣза углеродомъ равняется:

на одинъ килогр. выдѣлившагося кислорода . . 2877 ед. т.
на одинъ килогр. возстановл. желѣза . . . . 822 ед. т.

b. Возстановленіе окисью углерода по формулы:

$$FeO + CO = Fe + CO_2.$$

Вѣсовыя отношенія въ этомъ случаѣ слѣдующія: (56 клг. желѣза+16 клгрм. кислорода)+28 клгрм. окиси углерода даютъ 56 клгр. желѣза+44 клгр. углекислоты [1]).

Отнеся все это къ 1 клгрм. углерода, заключающагося въ возстановляющей окиси углерода, получимъ:

($^{14}/_{3}$ клгрм. желѣза+$^{4}/_{3}$ клгр. кислорода)+$^{7}/_{3}$ клгрм. окиси углерода даютъ $^{14}/_{3}$ кл. желѣза+$^{11}/_{3}$ кл. углекислоты.

Отсюда вычисляемъ расходъ и приходъ теплоты.

$^{14}/_{3}$ кл. желѣза требуютъ для своего возстановленія (какъ и выше) расхода теплоты. . . . . .6309 ед. т.

$^{7}/_{3}$ клгр. окиси углерода даютъ при своемъ сгораніи приходъ тепла. . $-{}^{7}/_{3} \times 2403 — 5607$ ед. т.

Расходъ тепла. . . . . 702 ед. т.

Подобнымъ же образомъ вычислимъ общій расходъ тепла при возстановленіи закиси желѣза окисью углерода:

Отнесенный къ одному клгрм. выдѣленнаго кислорода онъ равенъ. 527 ед. т.
къ одному килограму возстановленнаго желѣза . 150 ед. т.

[1]) Избытокъ окиси углерода, необходимый для защиты отъ окисляющаго дѣйствія получающейся углекислоты, не вліяетъ на теплообразованіе и потому не принятъ во вниманіе.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Слѣдовательно, на каждый клгрм. кислорода, отнимаемаго у закиси желѣза, при возстановленіи углеродомъ расходуется на 2350 ед. т. больше чѣмъ при возстановленіи окисью углерода. Разность эта имѣетъ особенное значеніе для возстановительной плавки въ доменныхъ печахъ, какъ это будетъ болѣе подробно указано во второй части этого сочиненія.

Подобныя же результаты мы получимъ, если вычислимъ расходъ теплоты для разложенія болѣе высокихъ степеней окисленія желѣза углеродомъ съ одной стороны и окисью углерода съ другой. При всѣхъ подобныхъ подсчетахъ оказывается необходимымъ принимать во вниманіе, что одно и тоже количество кислорода выдѣляетъ большее количество теплоты, при сгораніи окиси углерода въ углекислоту чѣмъ при сгораніи углерода въ окись углерода. Это отражается конечно и на результатахъ всѣхъ разсчетовъ.

Весьма характерное явленіе наблюдается, въ томъ случаѣ если окись углерода дѣйствуетъ на окись желѣза (руды или искусственно полученные окислы), при температурѣ болѣе низкой, чѣмъ та, которая требуется для выдѣленія металлическаго желѣза—особливо при температурахъ между 300 и 400°C. Окись углерода при этомъ распадается, выдѣляя углеродъ, который отлагается въ видѣ чернаго порошка: $2CO=C+CO_2$.

Если для подобнаго опыта взять руду въ кускахъ, то они раздуваются, трескаются и распадаются въ порошокъ, который смѣшивается съ отложившимся углеродомъ. Отложеніе углерода однако не прекращается и въ томъ случаѣ, если будетъ достигнуто извѣстное отношеніе между количествами желѣза и углерода. Оно продолжается безостановочно до тѣхъ поръ, пока будетъ притекать свѣжая окись углерода, и съ теченіемъ времени даже усиливается. На одномъ кускѣ краснаго желѣзняка, который я подвергалъ подобному процессу отложилось въ продолженіи 41 часа количество углерода въ 5 разъ большее вѣса руды.

Взвѣшиванія, производившіяся черезъ извѣстные промежутки времени показали между прочимъ, что за одинъ часъ отлагались слѣдующія количества углерода:

Въ продолженіи первыхъ 6 часовъ вслѣдствіе слишкомъ низкой температуры.						0,0%
Въ продолженіи отъ	6-го	до	11-го	часа	. . .	1,6%
„ „	„ 11	„	16	„	. . . .	3,2
„ „	„ 16	„	20	„	. . .	4,2
„ „	„ 20	„	24	„	. . . .	4,5
„ „	„ 24	„	28	„	. . . .	7,2
„ „	„ и т. д. [1]).					

[1]) Berg—und hütten männische Ztg. 1877. S. 278.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Впервые этотъ процессъ замѣченъ еще въ 1851 году Штаммеромъ, (Stammer), который нашелъ, что при пропусканіи окиси углерода надъ раскаленнымъ желѣзомъ выдѣлялась бархатистая черная масса. Впослѣдствіи, тоже самое взаимодѣйствіе окисловъ желѣза и окиси углерода наблюдалъ и изслѣдовалъ Л. Белль. Наконецъ, Грюнеръ доказалъ, что на металлическомъ желѣзѣ, (которое употреблялось Штаммеромъ), лишь въ томъ случаѣ отлагается углеродъ, когда оно содержитъ по крайней мѣрѣ слѣды окисловъ желѣза, что впрочемъ бываетъ почти всегда.

Въ доменныхъ печахъ также находятъ иногда отложенія углерода, содержащаго лишь нѣсколько процентовъ желѣза. Отложенія эти встрѣчаются обыкновенно лишь въ такихъ мѣстахъ гдѣ газы богатые окисью углерода долгое время дѣйствуютъ на окись желѣза. Это доказываетъ намъ, что разъ начавшійся процессъ будетъ продолжаться до тѣхъ поръ пока вообще окись углерода будетъ притекать, при соотвѣтственной температурѣ, къ тѣмъ мѣстамъ гдѣ началось отложеніе углерода.

Подобнаго рода отложившійся осадокъ углерода изъ одной доменной печи было изслѣдовано мною и оказался содержащимъ лишь 2,99% желѣза.

Наиболѣе благопріятной температурой для описаннаго распаденія окиси углерода является какъ сказано выше температура въ 300—400 градусовъ Ц. При температурѣ, нисшей 300° Ц. распаденіе окиси углерода незначительно или равно нулю; при болѣе высокихъ температурахъ подъ дѣйствіемъ окиси углерода происходитъ болѣе сильное возстановленіе окисленнаго желѣза, и вмѣстѣ съ тѣмъ ослабѣваетъ отложеніе углерода. Упомянутые выше опыты Штаммера, также какъ наблюденія надъ ходомъ доменныхъ печей, позволяютъ однако думать, что при особенно благопріятныхъ условіяхъ (въ особенности при обильномъ отношеніи окиси углерода къ образующейся углекислотѣ въ газовой смѣси) отложеніе углерода можетъ происходить и при температурѣ краснаго каленія.

Грюнеръ полагаетъ, на основаніи своихъ опытовъ, что процессъ этотъ вообще возможенъ лишь при одновременномъ присутствіи металлическаго желѣза и окисленнаго. Различныя причины не позволяютъ намъ однако признать эту теорію неоспоримою. Прежде всего противъ этой теоріи говоритъ то, что хотя при температурѣ между 300 и 400° С. окись желѣза и возстановляется въ магнитную окись, однако послѣдняя никогда не возстановляется въ металлическое желѣзо. Окерманъ же прямо доказалъ, что для отложенія углерода вовсе не требуется присутствіе металлическаго желѣза [1]).

По Беллю отложеніе углерода прекращается, когда объемъ

[1]) Stahl und Eisen 1883. S. 157.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

углекислоты въ токѣ газовъ вдвое меньше объема окиси углерода. Такъ какъ однако углекислота тѣмъ энергичнѣе окисляетъ углеродъ, чѣмъ выше температура, то и содержаніе углекислоты въ газовой смѣси очевидно будетъ зависѣть отъ температуры, и будетъ вообще тѣмъ меньше, чѣмъ температура выше.

Вполнѣ удовлетворительнаго объясненія описаннаго удивительнаго процесса до сихъ поръ не найдено; между тѣмъ для практики процессъ этотъ имѣетъ нѣкоторое значеніе. Пока напомнимъ только объ одномъ обстоятельствѣ, именно, что вліяніе окиси углерода простирается и на желѣзо-содержащія части самой печи, которыя подвергаются дѣйствію газовъ при упомянутой температурѣ. Въ швахъ кладки, въ порахъ кирпичей, вездѣ, гдѣ находились незначительныя количества окисленнаго желѣза и гдѣ ихъ касался газъ, отлагается углеродъ. Количество его все увеличивается, отчего связь между кирпичами ослабляется, они становятся рыхлыми, и даже отчасти распадаются, теряя способность исполнять свое назначеніе.

3. Желѣзо и углеродъ.

Поглощеніе углерода желѣзомъ

Стремленіе желѣза соединяться съ углеродомъ довольно сильно. Такимъ образомъ едва-ли возможно возстановить желѣзо изъ рудъ углеродомъ или углеродсодержащими газами, безъ того, чтобы хотя незначительное количество углерода было поглощено желѣзомъ. Поэтому все желѣзо находящееся въ торговлѣ содержитъ углеродъ, хотя количество его въ нѣкоторыхъ сортахъ ковкаго желѣза не достигаетъ даже 0,1%.

Уже при простомъ нагрѣваніи желѣза съ углемъ, или углеродъ-содержащими твердыми тѣлами, до температуры краснаго каленія углеродъ переходитъ въ желѣзо, если только содержаніе его въ послѣднемъ не достигло еще извѣстнаго предѣла, зависящаго отъ господствующей температуры. Затѣмъ углеродъ распространяется путемъ перемѣщенія частицъ отъ мѣста соприкосновенія почти равномѣрно по всему куску желѣза, причемъ частицы послѣдняго, болѣе богатыя углеродомъ отдаютъ излишекъ своего углерода сосѣднимъ частицамъ болѣе бѣднымъ имъ. На этомъ процессѣ основано полученіе цементной стали, о чемъ будетъ болѣе подробно сообщено въ третьемъ томѣ.

Если желѣзо въ раскаленномъ состояніи придетъ въ соприкосновеніе съ нѣкоторыми углеводородами, въ особенности болѣе богатыми углеродомъ, то оно легко поглощаетъ часть содержащагося въ нихъ углерода.

Свѣтильный газъ, пары нефти и другія богатыя углеродомъ газовыя смѣси при красномъ каленіи отдаютъ углеродъ

НБ УДУНТ (ІПБТ)

бѣдному имъ [1]) желѣзу. Тоже самое происходитъ съ газообразнымъ ціаномъ и различными ціанистыми соединеніями (ціанистый калій, ціанистый натрій и др.).

При незначительныхъ размѣрахъ производства нерѣдко употребляютъ красную кровяную соль (желѣзосинеродистый калій), которую накаливаютъ съ желѣзомъ, чтобы увеличить въ послѣднемъ содержаніе углерода [2]).

Окись углерода повидимому вовсе не оказываетъ замѣтнаго обуглероживающаго вліянія на желѣзо. Насыщеніе желѣза углеродомъ посредствомъ окиси углерода было-бы возможно лишь съ образованіемъ двуокиси углерода. ($2CO = C + CO_2$), но углекислота дѣйствуетъ тѣмъ сильнѣе окислительно на углеродъ (стр. 23), чѣмъ выше температура. Поэтому, даже при продолжительномъ прокаливаніи желѣза въ струѣ окиси углерода обыкновенно не наблюдается замѣтнаго увеличенія содержанія въ желѣзѣ углерода [3]).

Выше мы видѣли однако, что на желѣзѣ содержащемъ окислы желѣза, при болѣе низкихъ температурахъ, можетъ отложиться изъ окиси углерода углеродъ, который впрочемъ не соединяется тотчасъ съ желѣзомъ.

Способность желѣза насыщаться углеродомъ.

Не смотря на указанное выше сильное стремленіе желѣза растворять углеродъ, количество послѣдняго, которое можетъ быть поглощено желѣзомъ довольно ограничено. Судя по опытамъ Перси и другихъ химиковъ оказывается, что чистое желѣзо при плавленіи его съ углеродомъ можетъ растворить послѣдній въ количествѣ не большемъ 4,6% вѣса металла, тогда какъ въ большинствѣ случаевъ содержаніе углерода въ чугунѣ, не содержащемъ замѣтныхъ количествъ другихъ примѣсей, обыкновенно не многимъ превышаетъ 4 процента.

Постороннія тѣла, находящіяся въ сплавѣ съ желѣзомъ, вліяютъ однако на способность его растворять углеродъ.

Марганецъ увеличиваетъ способность желѣза поглощать углеродъ. Сплавы желѣза съ марганцемъ, содержащіе 10% — 20% марганца, при отсутствіи въ нихъ другихъ тѣлъ имѣющихъ обратное вліяніе, могутъ содержать около 5 и нѣсколько больше процентовъ угле-

---

[1]) Опыты относительно вліянія углеродовъ производились въ лабораторіи Перси и приведены у «Перси: Руководство къ металлургіи, переводъ Добронизкаго стр. 215—220. Опыты, произведенные R. Mannesman'омъ: Zeitschrift d. Ver. z. Beförd. d. Gewerbefleis. 1879. S. 39.

[2]) Опыты въ этомъ направленіи: Zeitschr. d. Ver. Beförd. d. Gewerbfl. 1879. S. 40.

[3]) Опыты въ этомъ направленіи произведены у Перси „Руководство къ металлургіи переводъ Добронизскаго стр. 211г. Белль также нашелъ, что при нагрѣваніи желѣзной проволоки въ струѣ окиси углерода содержаніе углерода не возрастаетъ (Journal of the Iron und Steel Institute 1871. I, p. 163; также; Howe, Metallurgie of Steel I, p. 119.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

рода; при содержаніи въ сплавѣ 35% марганца содержаніе углерода можетъ достигать 5,5%; при 50% марганца—6% углерода; при 65% марганца — 6,5% углерода; при 80% марганца — 7% углерода; при 90% марганца—7,5% углерода (такъ что послѣдній сплавъ содержитъ лишь около 2,5% желѣза).

Хромъ также увеличиваетъ способность желѣза поглощать углеродъ. По опытамъ Рилея (Riley, Journal of the Iron and Steel Institute 1888, II, p. 165) сплавы желѣза съ хромомъ, содержащіе 47,7% хрома, содержали вмѣстѣ съ тѣмъ 7,2% углерода; подобные же сплавы съ 49,3% хрома—7,8% углерода, а сплавы съ 18% хрома — 5,8% углерода [1]). Способность желѣза поглощать углеродъ ослабляется присутствіемъ большинства металлоидовъ, въ особенности же кремнія, сѣры и (въ меньшей степени) фосфора. Отсюда слѣдуетъ, что желѣзо, содержащее кремній или сѣру никогда не содержитъ такихъ количествъ углерода, какія соотвѣтствовали бы приведеннымъ выше цифрамъ. Тѣла эти замѣщаютъ углеродъ приблизительно (хотя и не вполнѣ) въ количествахъ, пропорціональныхъ атомнымъ вѣсамъ, такъ что 1 часть кремнія замѣщаетъ $^3/_7$ части углерода, а 1 часть сѣры—$^3/_8$ части углерода. Чугунъ, содержащій 2% кремнія, но не содержащій марганца, едва ли можетъ содержать болѣе 3,8% углерода; желѣзомарганецъ съ 50% марганца и 2% кремнія не будетъ содержать углерода многимъ болѣе 5%. Неправильно было бы однако заключать отсюда, что чугунъ, содержащій болѣе 11% кремнія, уже совершенно не содержитъ углерода, такъ какъ такое количество кремнія, соотвѣтственно атомнымъ отношеніямъ, вполнѣ могло бы замѣстить содержанія углерода въ 4,6%, на которое было указано выше какъ на наивысшій возможный предѣлъ содержанія углерода въ чистомъ желѣзѣ. Даже при указанномъ выше содержаніи кремнія (11%) чугунъ обыкновенно содержитъ нѣсколько болѣе 1% углерода.

Опыты, произведенные въ малыхъ размѣрахъ сначала Карстеномъ [2]), а позднѣе въ лабораторіи Перси [3]) показали, что при поглощеніи желѣзомъ сѣры, уменьшающей способность его растворять углеродъ, часть послѣдняго выдѣляется въ видѣ твердаго тѣла. Чугунъ богатый сѣрой ни-

[1]) Брустлейнъ (Brustlein) также нашелъ, что хромистый чугунъ съ 42,0 хрома содержалъ 7,3% углерода (Journal of the Iron and Steel Institute 1886, II, p. 770). Результаты другихъ анализовъ, указывающихъ на высокое содержаніе углерода, вѣрность которыхъ однако не такъ несомнѣнна, приведены въ „Stahl und Eisen“, 1889, S. 858.

[2]) Karsten, Handbuch der Eisenhüttenkunde, 3 Auflage (1841) Band I, S. 427.

[3]) См. Перси. Руководство къ металлургіи, переводъ Добронизскаго, стр. 250 и слѣд.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

когда не содержитъ столько углерода, сколько можетъ содержать его чугунъ бѣдный сѣрой. При плавкѣ чугуна сод. 4,5% углерода съ прибавленіемъ сѣрнистаго желѣза Weston получилъ продуктъ, содержавшій только 3,17% углерода и 2,12% сѣры. Подобные же опыты съ тѣмъ же самымъ металломъ всегда показывали уменьшеніе содержанія углерода и увеличеніе содержанія въ немъ сѣры [1]).

Относительно вліянія фосфора на способность желѣза поглощать углеродъ непосредственныхъ опытовъ не имѣется; однако, въ чугунѣ богатомъ фосфоромъ никогда не находятъ того максимальнаго содержанія углерода, которое бываетъ въ чугунѣ бѣдномъ фосфоромъ. Фосфористый чугунъ, полученный путемъ возстановительнаго плавленія желѣзныхъ рудъ съ фосфорно-кислымъ кальціемъ, при значительномъ избыткѣ угля, въ маленькой опытной доменной печи содержалъ по изслѣдованію автора:

Фосфора.	Углерода.	Кремнія.	Марганца.
10,19	1,11	0,00	5,17

Не смотря на довольно высокое содержаніе марганца въ чугунѣ, содержаніе въ немъ углерода значительно меньше, чѣмъ соотвѣтствующее способности насыщенія желѣза. Такъ какъ однако въ данномъ случаѣ чугунъ имѣлъ полную возможность насытиться углеродомъ, то объяснять это можно лишь высокимъ содержаніемъ фосфора [2]).

Весьма вѣроятно, что мышьякъ, сурьма, олово и аллюминій также значительно уменьшаютъ способность желѣза поглощать углеродъ, но до сихъ поръ опытовъ въ этомъ направленіи произведено не было. Бертье находилъ въ бомбахъ изъ Алжира мышьякъ въ количествѣ до 27% и только отъ 1,0 до 1,5% углерода [3]); такъ какъ однако другія составныя части, въ особенности сѣра, не были опредѣлены при этомъ, то анализы эти не позволяютъ вывести вполнѣ достовѣрнаго заключенія. Утверждаютъ, что прибавленіе олова къ расплавленному чугуну, богатому углеродомъ, влечетъ за собой выдѣленіе части послѣдняго; точно такъ какъ это происходитъ при прибавленіи сѣры [4]), но точныхъ наблюденій этого не имѣется.

Различные виды углерода, содержащагося въ продуктахъ желѣзнаго производства.

Различія, часто довольно значительныя, въ физическихъ свойствахъ и въ характерѣ поверхности излома различныхъ сортовъ углеродистаго желѣза, съ одинаковымъ содержаніемъ

---

[1]) Тамъ-же, стр. 252 и слѣд.

[2]) Другіе анализы желѣза богатаго фосфоромъ и бѣднаго углеродомъ см.: Stahl und Eisen, 1884, S. 5.

[3]) Annales des mines 1837, p. 501.

[4]) Wagners Jahresbericht der chemischen Technologie 1861, S. 22.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

углерода позволяютъ думать, что углеродъ, заключающійся въ углеродистомъ желѣзѣ, можетъ встрѣчаться въ немъ въ видѣ различныхъ видоизмѣненій, которые различнымъ образомъ вліяютъ на свойства металла. Химическое изслѣдованіе твердо устанавливаетъ этотъ фактъ. Почти всегда въ одномъ и томъ же продуктѣ желѣзнаго производства заключается нѣсколько, или по крайней мѣрѣ два такихъ видоизмѣненія углерода.

Съ тѣхъ поръ, какъ фактъ этотъ былъ установленъ, приложено было много стараній къ изслѣдованію характера различныхъ видовъ углерода и ихъ вліянія на свойства желѣза. Цѣль эта не достигнута вполнѣ и до сегодняшняго дня; нѣкоторые факты, наблюдаемые при полученіи, употребленіи и изслѣдованіи желѣза позволяютъ по крайней мѣрѣ подозрѣвать, что существуютъ еще такіе виды углерода, которые намъ еще неизвѣстны. Пока же мы различаемъ только четыре различныхъ формы углерода, которыя и будутъ здѣсь описаны.

1. Графитъ. Онъ представляетъ собою углеродъ самостоятельно выдѣлившійся и распредѣленный приблизительно равномѣрно въ массѣ металла, въ видѣ гексагональныхъ табличекъ. Кипящая соляная кислота или кипящая средней крѣпости азотная кислота на графитъ не дѣйствуютъ; поэтому если растворить желѣзо, содержащее графитъ, въ этихъ кислотахъ, то онъ остается вмѣстѣ съ другими присутствующими нерастворимыми тѣлами, напримѣръ съ кремнеземомъ, образовавшимся при раствореніи желѣза изъ кремнія.

Происхожденіе графита объясняется процессомъ распаденія сплава желѣза съ углеродомъ, содержавшаго въ расплавленномъ состояніи весь углеродъ въ растворенномъ состояніи и выдѣляющаго часть углерода при остываніи.

Доказательствомъ отсутствія графита въ жидкомъ чугунѣ можетъ между прочимъ служить упомянутое уже обстоятельство, что распредѣленіе графита въ охладившемся металлѣ довольно равномѣрное. Такъ какъ удѣльный вѣсъ графита (2,3) значительно меньше удѣльнаго вѣса металла (7,5), то въ жидкомъ чугунѣ онъ поднялся бы наверхъ и весь собрался бы на поверхности металла.

Такой процессъ наблюдается дѣйствительно въ томъ случаѣ, когда чугунъ былъ сильно перегрѣтъ, при температурѣ лежащей гораздо выше точки его плавленія и, вслѣдствіе этого черезъ мѣру насытился углеродомъ, а потомъ охладился; тоже самое происходитъ и тогда, когда жидкое желѣзо, насыщенное углеродомъ поглощаетъ еще другія тѣла (напр. кремній), уменьшающіе его способность растворять углеродъ. Въ этомъ случаѣ соотвѣтственная часть углерода выдѣляется изъ жидкаго металла и всплываетъ на поверхность. Графитъ этотъ, который нужно разсматривать какъ дѣйствительно

НБ УДУНТ (ІПБТ)

выдѣленый чугуномъ, а не какъ его составную часть, называется обыкновенно с п ѣ л ь ю.

Однако и этотъ процессъ выдѣленія углерода при остываніи, результатомъ коего является образованіе графита распредѣленнаго въ массѣ чугуна, можетъ очевидно происходить въ томъ случаѣ, когда остывающее желѣзо можетъ удержать въ растворѣ меньшее количество углерода, чѣмъ жидкое, или, другими словами, когда способность застывающаго желѣза растворять углеродъ меньше, чѣмъ желѣза жидкаго.

Процессъ этотъ происходитъ однакоже не во всякомъ видѣ желѣза, насыщеннаго въ жидкомъ состояніи углеродомъ; желѣзо, содержащее одинъ только углеродъ безъ другихъ постороннихъ тѣлъ, при остываніи не выдѣляетъ графита.

Для того чтобы графитъ могъ образоваться, необходимо, чтобы кромѣ углерода желѣзо содержало еще другое тѣло, которое бы сильнѣе уменьшало способность остывающаго желѣза растворять углеродъ, чѣмъ желѣза совершенно жидкаго и такимъ образомъ заставляло бы углеродъ во время остыванія выдѣляться изъ его раствора въ желѣзѣ.

Въ большинствѣ случаевъ, когда образуется графитъ, роль такого тѣла исполняетъ кремній. Присутствіе незначительныхъ количествъ кремнія въ желѣзѣ, вмѣстѣ съ небольшими количествами углерода, не вызываетъ еще образованія графита. Выдѣленіе послѣдняго начинается тогда, когда общее содержаніе этихъ тѣлъ въ желѣзѣ превзойдетъ извѣстный предѣлъ, и чѣмъ большее количество кремнія будетъ заключаться въ желѣзѣ при опредѣленномъ содержаніи въ немъ углерода, тѣмъ большая часть послѣдняго выдѣлится при остываніи въ видѣ графита. Съ другой стороны однако, способность жидкаго желѣза поглощать углеродъ (какъ упомянуто выше) уменьшается съ увеличеніемъ содержанія въ желѣзѣ кремнія; по этой причинѣ, содержаніе графита въ чугунѣ очень богатомъ кремніемъ, не можетъ быть такъ значительно, какъ въ чугунѣ, который содержитъ лишь такое количество кремнія, какое необходимо для выдѣленія графита изъ желѣза вполнѣ насыщеннаго углеродомъ.

Какое количество углерода и кремнія можетъ содержаться въ желѣзѣ, не вызывая притомъ образованія графита, или, говоря иными словами, сколько кремнія требуется въ каждомъ данномъ случаѣ, чтобы заставить находящійся въ желѣзѣ углеродъ перейти въ графитъ, съ точностію опредѣлить нельзя. Мы увидимъ сейчасъ, что при этомъ вліяютъ не только присутствіе другихъ тѣлъ, но также и условія охлажденія. Для чистаго вообще чугуна, содержащаго 4% углерода, достаточно присутствіе лишь небольшаго количества кремнія, чтобы выдѣлить часть этого углерода; если-же желѣзо содержитъ лишь 1% углерода или даже меньше, то въ немъ

НБ УДУНТ (ІПБТ)

могутъ одновременно заключаться еще нѣсколько процентовъ кремнія, и все таки образованія графита при охлажденіи металла не произойдетъ.

Подобно кремнію вліяетъ на образованіе графита и аллюминій, который однако можетъ растворяться въ желѣзѣ лишь въ томъ случаѣ, если его прибавляютъ къ послѣднему въ металлическомъ видѣ. Кусокъ чугуна, содержавшаго аллюминій, изслѣдованный мною, содержалъ:

Углерода вообще.	Графита.	Аллюминія.	Кремнія.	Марганца.
2,69	0,74	9,06	2,65	0,51

При сравнительно небольшомъ общемъ содержаніи углерода, содержаніе кремнія въ желѣзѣ въ 2,65% едва ли было-бы достаточно для выдѣленія найденнаго количества графита, происхожденіе котораго слѣдуетъ приписать главнѣйше высокому содержанію аллюминія. Вліяніе аллюминія еще яснѣе видно изъ опыта, произведеннаго Гадфильдомъ (Hadfield). Къ чугуну, не заключавшему въ себѣ графита (зеркальному), но содержавшему 13,65%, марганца, прибавленъ былъ аллюминій. По остываніи чугунъ содержалъ:

Углерода всего.	Графита.	Кремнія.	Марганца.	Аллюминія.
4,38	3,45	1,30	4,75	3,19

Чугунъ былъ совершенно сѣрый. Одинъ кремній, въ немъ заключающійся, не могъ бы вызвать хоть сколько нибудь подобнаго, сильнаго образованія графита [1]).

Марганецъ и сѣра затрудняютъ образованіе графита. Чѣмъ большія количества этихъ тѣлъ заключаются въ желѣзѣ вмѣстѣ съ углеродомъ, тѣмъ больше кремнія можетъ находиться въ немъ, не вызывая всетаки выдѣленія графита при остываніи металла. При этомъ нельзя однако забывать, что марганецъ въ то же время увеличиваетъ способность желѣза поглощать углеродъ, а сѣра ослабляетъ эту способность. Сплавъ желѣза съ марганцемъ, содержащій 10% марганца и 5% углерода можетъ уже содержать нѣсколько десятыхъ процента кремнія, не выдѣляя замѣтнымъ образомъ графита; при 60% марганца и 5% углерода въ сплавѣ можетъ содержаться болѣе 2,5% кремнія, а графитъ все-таки не будетъ выдѣляться.

Опыты произведенные въ лабораторіи Д-ра Перси надъ вліяніемъ сѣры на чугунъ содержащій графитъ, дали между прочимъ слѣдующіе результаты:

Графитъ содержащій чугунъ съ 3,8% углерода, послѣ прибавленія сѣры, количество которой въ застывшемъ металлѣ равнялось 2,1% оказался содержащимъ всего 3,17% углерода и остылъ безъ выдѣленія графита.

---

[1]) Journal of the Iron and Steel Institute, 1890., II, p. 183.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Графитъ содержащій чугунъ, съ 4,39% углерода, превратился послѣ прибавленія сѣры (содержаніе которой въ застывшемъ металлѣ равнялось 0,27%), въ чугунъ бѣдный графитомъ. Содержанія углерода въ этомъ случаѣ не было опредѣлено [1]).

Къ сожалѣнію, при этихъ опытахъ не было обращено вниманіе на содержаніе въ чугунѣ кремнія.

Фосфору также иногда приписываютъ способность затруднять образованіе графита, хотя предположеніе это до сихъ поръ не подтверждено достовѣрными опытами.

Нѣкоторые сорта желѣза, весьма богатые фосфоромъ, въ тоже время богаты графитомъ, если кромѣ фосфора въ нихъ заключаются количества кремнія, достаточныя для того, чтобы вызвать образованіе графита.

Какъ при всѣхъ процессахъ распаденіи, сплавовъ, такъ и при образованіи графита, кромѣ химическаго состава остывающаго металла имѣютъ большое значеніе условія, при которыхъ металлъ охлаждается

Медленное охлажденіе затвердѣвающаго, насыщеннаго углеродомъ желѣза, способствуетъ образованію графита, быстрое же охлажденіе затрудняетъ его.

Одинъ и тотъ же сортъ чугуна можетъ содержать различныя количества графита, смотря потому, медленно или быстро онъ охлаждался. Содержаніе графита бываетъ даже обыкновенно различно въ различныхъ частяхъ сѣченія одного и того-же куска чугуна. По краямъ и въ болѣе тонкихъ частяхъ куска, гдѣ охлажденіе происходитъ быстрѣе, содержаніе графита меньше, чѣмъ въ болѣе толстыхъ сѣченіяхъ и въ серединѣ куска.

Слѣдуетъ упомянуть однако же, что общее содержаніе углерода въ различныхъ частяхъ одного и того-же куска чугуна обратно пропорціонально содержанію графита. Въ сѣченіяхъ остывавшихъ быстро оно больше, чѣмъ въ сѣченіяхъ остывавшихъ болѣе медленно.

Мною былъ изслѣдованъ валокъ, средняя часть котораго была отлита въ чугунную изложницу и остывала, слѣдовательно, быстро; шейки же его были отлиты въ песокъ и остывали поэтому медленно. Вотъ результаты, полученные мною.

	Часть остывшая быстро.	Часть остывшая медленно.
Общее содержаніе углерода. . .	3,20	2,84
Графитъ	0,19	1,93

Металлъ другого валка, отлитаго точно такимъ же способомъ, далъ слѣдующіе результаты:

[1]) Перси, Руководство къ металлургіи, пер. Добронизскаго, стр. 256—258.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

	Часть остывшая быстро.	Часть остывшая медленно.
Общее содержаніе углерода. . .	3,08	2,40
Графитъ.	0,18	1,24

Ускоряя охлажденіе, напримѣръ, наливая чугунъ въ металлическія изложницы, какъ это дѣлалось въ приведенныхъ случаяхъ, мы имѣемъ средство, какъ показываютъ анализы, почти совершенно не допускать образованіе графита въ такихъ сортахъ чугуна, которые выдѣлили бы значительныя количества графита при медленномъ остываніи. По краямъ или въ нѣкоторыхъ другихъ частяхъ массивныхъ кусковъ чугуна не замѣчается выдѣленіе графита (бѣлый чугунъ), тогда какъ въ серединѣ или въ другихъ мѣстахъ ихъ наблюдается часто значительное выдѣленіе графита. На этомъ процессѣ основано полученіе отливокъ изъ закаленнаго чугуна, т. е. чугунныхъ предметовъ, которые въ нѣкоторыхъ мѣстахъ богаты графитомъ, въ другихъ-же наоборотъ бѣдны имъ. Валки, о которыхъ была рѣчь выше, представляли собою подобныя отливки изъ закаленнаго чугуна [1]).

Изъ упомянутаго выше обстоятельства, что образованіе графита можетъ происходить лишь въ томъ случаѣ, когда расплавленное желѣзо содержитъ большее количество углерода, чѣмъ его можетъ содержать въ растворѣ желѣзо застывшее, прямо вытекаетъ заключеніе, что графитъ можетъ вообще образоваться въ сортахъ желѣза, богатыхъ углеродомъ, т. е. въ чугунѣ.

Для сѣраго чугуна содержаніе графита является характернымъ признакомъ; ковкое же углеродистое желѣзо графита не содержитъ.

2. Углеродъ карбида. Этотъ видъ углерода наблюдался впервые въ 1822 году Фарадеемъ (Philosophical Transactions, 1822, p. 265). Затѣмъ изученіемъ его занимались Каронъ (Comptes rendus, tome LVI, p. 43) и Риннманъ (Erdmans Journal für praktische Chemie, Band 100, 538), который неудачно назвалъ его углеродомъ цементаціи.

Этотъ видъ углерода не встрѣчается въ желѣзѣ совершенно самостоятельно, подобно графиту, но представляетъ составную часть сплава желѣза съ углеродомъ. Сплавъ этотъ, болѣе богатый углеродомъ, чѣмъ жидкое желѣзо, имѣющій приблизительно постоянный составъ, выдѣляется изъ углеродистаго желѣза, нагрѣтаго предварительно до температуры свѣтлокраснаго каленія, и распредѣляется въ немъ въ видѣ сѣти или прожилковъ. Невооруженнымъ глазомъ на поверхности излома его непосредственно замѣтить нельзя: это возможно лишь при разсматриваніи соотвѣтственно при-

[1]) Stahl und Eisen 1891, S. 638. (Osmond).

НБ УДУНТ (ІПБТ)

готовленной отшлифованной поверхности металла подъ микроскопомъ (стр. 264).

Такой сплавъ желѣза съ углеродомъ называется карбидомъ, причемъ предполагается, что между обѣими его составными частями существуетъ болѣе тѣсное химическое соединеніе. Въ дѣйствительности, до сихъ поръ, при изслѣдованіи карбида находили въ немъ отъ 6,6 до 7,7% углерода и отъ 93,4 до 92,3% желѣза, (часть котораго, впрочемъ, можетъ быть замѣщена марганцемъ); въ среднемъ, слѣдовательно, карбидъ содержитъ 7,2% углерода и 92,8% желѣза. Составъ карбида поэтому соотвѣтствуетъ приблизительно формулѣ Fe_3C, т. е., соединенію желѣза съ углеродомъ, содержащему 6,67% углерода и 93,33% желѣза. Если допустить, что такое, болѣе тѣсное, химическое соединеніе дѣйствительно существуетъ, то количество карбида, заключающагося въ желѣзѣ, мы могли бы найти умножая найденное анализомъ количество углерода карбида на 15,0; если же въ основаніе этого разсчета положить найденное до сихъ поръ среднее содержаніе углерода въ карбидѣ (7,2%), то количество углерода карбида въ желѣзѣ слѣдуетъ умножить на 13,8 чтобы получить количество заключающагося въ желѣзѣ карбида.

Карбидъ, заключающійся въ желѣзѣ, можно выдѣлить, если (по Мюллеру) обрабатывать тонко-измельченное желѣзо совсѣмъ слабой сѣрной кислотой безъ доступа воздуха [1]), или если (по Абелю) растворить желѣзо, при соблюденіи извѣстныхъ предосторожностей, въ смѣси сѣрной кислоты съ двухромовокислымъ каліемъ [2]). Карбидъ остается при этомъ въ смѣшеніи съ другими, случайно присутствующими, нерастворимыми тѣлами (графитъ, кремнеземъ и др.), въ видѣ сѣровато-чернаго порошка, который подъ микроскопомъ оказывается состоящимъ изъ серебристыхъ зернышекъ. Твердость этихъ зернышекъ значительна и по Мюллеру она нѣсколько больше твердости полеваго шпата и меньше твердости горнаго хрусталя.

Если же желѣзо, содержащее углеродъ карбида растворить въ кипящей сѣрной или соляной кислотѣ, то карбидъ разлагается, желѣзо переходитъ въ растворъ, а углеродъ улетучивается въ видѣ дурно пахнущаго углеводорода. Это обстоятельство даетъ возможность, при химическомъ анализѣ, отдѣлять углеродъ карбида отъ графита.

Характерно затѣмъ отношеніе углерода карбида къ азотной кислотѣ. При растворѐніи желѣза, содержащаго этотъ видъ углерода, въ холодной азотной кислотѣ получается бурый клочковатый остатокъ, который при нагрѣваніи постепенно растворяется, окрашивая жидкость въ бурый цвѣтъ.

[1]) Stahl und Eisen, 1888, 292.
[2]) Engeneering, XXXIX, p. 151.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Густота окрашиванія находится въ зависимости отъ количества растворенаго углерода [1]).

Образованіе карбида, какъ и образованіе графита, представляетъ собою процессъ ликваціи, т. е. распаденіе при охлажденіи сплава, однороднаго при болѣе высокой температурѣ. Температура, при которой происходитъ этотъ процессъ, лежитъ по изслѣдованіямъ Осмонда [2]) между 660° и 708° Ц., и вообще она тѣмъ выше, чѣмъ меньше углерода содержится въ желѣзѣ. Образованіе карбида, какъ и образованіе графита, сопровождается выдѣленіемъ тепла. Послѣдовательными измѣреніями температуры можно точно прослѣдить это выдѣленіе теплоты.

Иногда это выдѣленіе тепла можно замѣтить и непосредственно невооруженнымъ глазомъ, наблюдая цвѣтъ желѣзной полосы остывающей въ темнотѣ. Въ тотъ моментъ, когда происходитъ образованіе карбида, можно замѣтить, что полоса металла снова раскаляется [3]).

При нагрѣваніи желѣза, содержащаго карбидъ выше указанной температуры образованія карбида, послѣдній распадается, и углеродъ его равномѣрно растворяется въ желѣзѣ, причемъ поглощается точно такое же количество тепла, какое выдѣлилось при образованіи карбида. Температура, нагрѣваніе до которой влечетъ за собою такое растворенiе углерода карбида, по изслѣдованіямъ Осмонда, приблизительно на 40° выше температуры образованія карбида при остываніи желѣза.

Почти всякое, углеродъ содержащее желѣзо, будь оно бѣдно или богато углеродомъ, содержитъ часть его въ видѣ углерода карбида; отношеніе же количества углерода карбида къ количеству всего углерода зависитъ отчасти отъ химическаго состава, частью же отъ условій остыванія желѣза.

Относительно вліянія присутствующихъ постороннихъ тѣлъ въ этомъ отношеніи сдѣлано пока еще сравнительно мало изслѣдованій. Марганецъ и вольфрамъ, повидимому, затрудняютъ до извѣстной степени образованіе карбида [4]). Кремній въ незначительныхъ количествахъ никакого вліянія не оказываетъ, но большія его количества косвенно уменьшаютъ содержаніе карбида, заставляя углеродъ застывающаго же-

---

[1]) Осмондъ и Вертъ нашли слѣдующій составъ у этихъ клочьевъ: C = 44,59%; Fe = 8,05%, H_2O = 22,5%, O + N 24,86%. (Annales des mines, serie 8, t. VIII (1885), p. 5).

[2]) Stahl und Eisen, 1887, S. 447; 1888, S. 366; 1891, S. 640.

[3]) См. „Stahl und Eisen“ 1885, S. 611 (Brinell), а также упомянутую статью Осмонда. Кромѣ того: Journal of the Iron and Steel Institute 1890, I, p. 85; 1891, I, p. 103 (E. J. Ball).

[4]) Stahl und Eisen 1887, 449 (Osmond); 1891, S. 297 (Ledebur).

НБ УДУНТ (ІПБТ)

лѣза выдѣляться въ видѣ графита, при еще гораздо высшей температурѣ.

Медленное охлажденіе способствуетъ образованію карбида, быстрое же затрудняетъ его.

И въ этомъ отношеніи, слѣдовательно процессъ образованія карбита представляетъ сходство съ процессомъ образованія графита и другими процессами ликваціи. Если однако подвергать нагрѣванію жалѣзо, которое вслѣдствіе быстраго охлажденія, напримѣръ закалки въ водѣ, содержитъ меньше карбида, чѣмъ оно содержало бы при болѣе медленномъ охлажденіи, то уже при температурѣ немного высшей 100° Ц. начинается образованіе карбида, а при температурѣ около 400° Ц. металлъ будетъ содержать приблизительно такое же количество углерода карбида, какое бы онъ содержалъ при обыкновенномъ охлажденіи. И въ этомъ случаѣ образованіе карбида сопровождается освобожденіемъ тепла [1]). Устраненіе образованія карбида при закалкѣ раскаленнаго, углеродъ содержащаго желѣза и образованіе вновь карбида при умѣренномъ нагрѣваніи закаленнаго металла, служатъ основаніемъ процессовъ закалки и отпуска стали, о которыхъ ниже будетъ говорится подробнѣе.

3) Графитовидный углеродъ отжига (углеродъ цементаціи). При продолжительномъ—въ теченіи нѣсколькихъ дней, накаливаніи углеродъ—содержащаго, бѣднаго марганцемъ желѣза, при температурѣ болѣе высокой, чѣмъ та, при которой образуется только что описанный карбидъ, и болѣе низкой чѣмъ температура при которой выдѣляется графитъ, изъ желѣза выдѣляется углеродъ, въ видѣ такъ называемаго графитовиднаго углерода отжига [2]), (наз. также углеродомъ цементаціи). Названіе это присваивается ему потому, что оный особенно часто выдѣляется при отжиганіи углеродистаго желѣза, напр., при полученіи такъ называемаго ковкаго чугуна, посредствомъ продолжительнаго закаливанія.

Углеродъ отжига, выдѣлившійся въ сколько нибудь значительномъ количествѣ на поверхности излома металла не трудно замѣтить, ибо (если только металлъ не содержитъ одновременно графита) скопленія частицъ его образуютъ черныя точки, равномѣрно распредѣленныя по всей поверхности излома или-же соединенныя въ отдѣльныя группы въ нѣсколько миллиметровъ діаметромъ, такъ что поверхность излома становится пестрою.

При раствореніи желѣза въ кислотахъ углеродъ отжига обнаруживаетъ тѣже свойства, какъ и графитъ. т. е. остается

---

[1]) Этотъ процессъ также былъ неоднократно изучаемъ Осмондомъ. См. указанныя уже работы его, а также: Stahl und Eisen 1891, стр. 640.

[2]) Болѣе точнаго опредѣленія температуры при которой выдѣляется углеродъ отжига не сдѣлано.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

въ видѣ чернаго порошка, не измѣняющагося отъ дѣйствія кислотъ. Поэтому до сихъ поръ мы не имѣемъ средствъ отдѣлить его отъ графита въ тѣхъ случаяхъ, когда оба эти видоизмѣненія углерода, встрѣчаются одновременно [1]) и опредѣлить его содержаніе отдѣльно. Часто оба эти вида углерода смѣшиваютъ между собою. Отъ графита углеродъ отжига отличается тѣмъ, что онъ аморфенъ (графитъ кристалличенъ), а также химическими свойствами обнаруживающимся при накаливаніи чугуна съ окисляющими тѣлами, напримѣръ, съ окислами желѣза. Между тѣмъ какъ графитъ при этихъ условіяхъ совершенно не измѣняется, углеродъ отжига превращается въ окись углерода и улетучивается (см. стр. 272). Форкиньонъ (Forquignon) нашелъ, что даже сухой водородъ можетъ выдѣлить въ видѣ углеводородовъ углеродъ отжига (названный имъ графитомъ), образовавшійся при предшествовавшемъ каленіи [2]). Судя по произведеннымъ до сихъ наблюденіямъ, углеродъ отжига не измѣняется подобно углероду карбида, при закалкѣ раскаленнаго желѣза въ водѣ и походитъ, слѣдовательно въ этомъ отношеніи на графитъ.

До сихъ поръ не удалось еще узнать, заключается ли углеродъ отжига въ желѣзѣ подобно графиту, т. е. въ видѣ самостоятельно выдѣлившагося видоизмѣненія углерода, или подобно углероду карбида, представляетъ составную часть другого, болѣе богатаго углеродомъ, но образующагося при болѣе высокой температурѣ карбида, который подобно описанному уже выше карбиду, также разлагается горячими кислотами, при чемъ однако углеродъ его не улетучивается въ видѣ газа и не растворяется въ кислотахъ, а остается въ видѣ порошка. Свойства обнаруживаемыя углеродомъ отжига при нагрѣваніи металла, дѣлаютъ послѣднее предположеніе довольно вѣроятнымъ.

Значительное содержаніе марганца въ желѣзѣ затрудняетъ выдѣленіе углерода отжига. Вліяніе въ этомъ отношеніи другихъ спутниковъ желѣза, въ особенности кремнія, фосфора и сѣры, до сихъ поръ не изслѣдовано.

4. Углеродъ закала. Это видъ углерода растворенаго въ желѣзѣ (образуя сплавъ); онъ распредѣляется въ массѣ металла совершенно равномѣрно, количества же его въ желѣзѣ бываютъ весьма различны. Расплавленное желѣзо содержитъ только углеродъ закала. При остываніи сна-

[1]) Вѣроятно большинство сортовъ сѣраго чугуна содержатъ кромѣ графита также и углеродъ отжига, образовавшійся при постепенномъ остываніи чугуна. Въ виду отсутствія средствъ раздѣлить эти два вида углерода, они опредѣляются вмѣстѣ и обыкновенно указываются какъ графитъ.

[2]) Annales de chemie et de phisique serie 5, tome XXIII, p. 443. Оттуда въ Stahl und Eisen 1886, S. 383.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

чала образуется, какъ сказано выше, графитъ, затѣмъ карбидъ съ углеродомъ карбида, а при продолжительномъ накаливаніи металла углеродъ отжига. Если металлъ содержащій эти формы углерода нагрѣть до расплавленія, то сначала растворяется карбидъ, а затѣмъ уже графитъ.

При растворенiи желѣза содержащаго углеродъ закала, въ холодной соляной или сѣрной кислотѣ (даже въ сильно разбавленной) углеродъ закала улетучивается въ видѣ сильно пахнущаго углеводорода (отличіе отъ углерода карбида, на который не дѣйствуетъ разбавленная кислота); при растворенiи желѣза въ холодной азотной кислотѣ углеродъ закала сначала остается въ видѣ совершенно чернаго порошка, который рѣзко отличается отъ бурыхъ клочьевъ углерода карбида. При помѣшиваніи осадокъ этотъ растворяется очень быстро, а въ покоѣ лишь черезъ нѣсколько минутъ. При нагрѣваніи раствора до 100° С. онъ улетучивается въ видѣ газа, причемъ жидкость изъ болѣе темной становится болѣе свѣтлый[1]).

При данномъ содержаніи всего углерода количество углерода закала въ желѣзѣ, очевидно тѣмъ меньше, чѣмъ въ большихъ количествахъ могли образоваться другія формы углерода.

Медленное охлажденіе благопріятствуя образованію графита и карбида способствуетъ по этому полученію меньшаго количества углерода закала. Путемъ продолжительнаго накаливанія можно уменьшить содержаніе въ желѣзѣ углерода закала и при извѣстныхъ обстоятельствахъ даже совершенно превратить его въ углеродъ отжига.

Высокое содержаніе въ желѣзѣ кремнія, благопріятствуя выдѣленію графита, а можетъ быть и карбида, мѣшаетъ образованію значительныхъ количествъ углерода закала въ остывающемъ желѣзѣ.

Углеродомъ закала этотъ видъ углерода называется потому, что отъ количества его существенно зависитъ твердость желѣза и стали, особенно инструментальной стали.

При закалкѣ раскаленной стали въ водѣ, получаются значительныя количества углерода закала; сталь „закаливается“; при новомъ нагрѣваніи ея количество углерода закала уменьшается и образуется углеродъ карбида, какъ было уже упомянуто выше, сталь „отпускается“, т. е. твердость ея уменьшается.

Углеродъ карбида и углеродъ закала, т. е. тѣ виды углерода, которыя при обработкѣ желѣза кипящими кислотами, улетучиваются или растворяются [2]) обыкновенно называются

[1]) Наблюденіе это впервые ясно было высказано Осмондомъ и Вертомъ. См. Stahl und Eisen 1886. S. 376.

[2]) Тогда какъ графитъ и углеродъ отжига не измѣняются.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

химически соединеннымъ или связаннымъ углеродомъ. Названіе „аморфный углеродъ", которое иногда примѣнялось къ тѣмъ же видоизмѣненіямъ, нельзя считать удачнымъ, ибо и углеродъ отжига получается, какъ сказано, при растворе-ніи желѣза, въ аморфномъ состояніи.

Анализы, приведенные ниже, могутъ дать представленіе, въ какихъ взаимныхъ отношеніяхъ встрѣчаются описанныя выше формы углерода въ различныхъ продуктахъ желѣзнаго производства. Всѣ эти анализы были сдѣланы мною и сначала опубликованы въ Stahl und Eisen 1888, S. 746 и 1891, S. 294.

Количество графита и углерода отжига больше всего въ сѣромъ чугунѣ, но ихъ вовсе не находятъ въ неподвергавшемся каленію ковкомъ желѣзѣ.

Изслѣдованные продукты.	Графитъ и углеродъ отжига.	Углеродъ карбида.	Углерода закала.	Общее содержаніе углерода.
Темносѣрый чугунъ содержитъ: 2,77% Si, 0,80% Ph, 0,02% Si, 1,3% Mn.	3,33	0,44	0,00	3,77
Свѣтлосѣрый чугунъ содержитъ: 1,02 Si. 0,59% Ph, 0,09% Si, 0,28 Mn.	2,40	0,73	0,17	3,30
Обыкновенный бѣлый чугунъ сод.: 0,72% Si, 0,10% Mn. 0,20% S.	0,16	1,88	0,54	2,58
Зеркальный чугунъ сод.: 8,30% Si, 11,11% Mn.	0,00	3,09	1,41	4,50
Желѣзомарганецъ сод.: 2,07% Si., 46,54% Mn.	0,00	3,06	1,64	4,70
Закаленный чугунъ сод.: 0,83% Si., 0,15% Mn, 0,88 Ph, 0,10 S.	0,19	2,43	0,58	3,20
Бѣлый чугунъ сод.: 0,87% Si, 0,10% Mn.				
a) не прокаленный	0,00	не опр.	не опр.	2,28
b) послѣ накаливанія въ теченіе 108 часов. при температуурѣ около 900° C.	1,55	не опр.	не опр.	2,29
Литая сталь (стальная отливка) содерж.: 0,28% Si, 0,20% Mn.				
a) не каленная	0,00	0,62	0,36	0,98
b) каленная въ теченіи 12 часовъ при температурѣ около 800° C. . . .	0,01	0,92	0,16	1,09
Откованная сталь (инструментальная): 0,11% Si, 0,11% Mn.				
a) Охлажденная обыкновен. образ. (естественная твердость)	0,00	0,71	0,22	0,93
b) накаленная въ водѣ	0,00	0,38	0,65	1,03
c) отпущенная послѣ закалки до голубого цвѣта (соотвѣтствуетъ приблизительно 290° C.)	0,00	0,67	0,36	1,03
Мягкое литое желѣзо не содержащее кремнія, но съ 0,58% Mn.				
a) охлаждено какъ обыкновенно. . .	0,00	0,17	0,05	0,22
b) закаленное въ водѣ	0,00	0,17	0,04	0,21

НБ УДУНТ (ПБТ)

Углеродъ карбида находится во всѣхъ изслѣдованныхъ продуктахъ. Всего больше содержится его въ желѣзомарганцѣ и зеркальномъ чугунѣ, которые въ то же время содержатъ наибольшія количества углерода вообще. Затѣмъ слѣдуетъ закаленный бѣлый чугунъ. Что закаленный чугунъ, не смотря на быстрое охлажденіе его послѣ отливки, все таки богатъ углеродомъ карбида, легко объясняется тѣмъ, что быстрое охлажденіе внѣшней коры отлитой вещи хотя и влечетъ за собой быстрое ея застываніе, затрудняя такимъ образомъ образованіе въ ней графита, но не обусловливаетъ собою быстраго охлажденія этой коры ниже той температуры, при которой образуется карбидъ. Болѣе же горячій металлъ, заключенный внутри отливки, отдаетъ теплоту своей корѣ, бѣдной графитомъ, нагрѣвая ее до температуры достаточной для образованія карбида.

Принимая Fe_3C за формулу карбида и вычисляя помощью приведеннаго отношенія (1 : 15) количество карбида, распредѣленнаго въ охладившемся металлѣ, находимъ, что въ изслѣдованномъ зеркальномъ чугунѣ и желѣзомарганцѣ количество его достигаетъ приблизительно половины, въ закаленномъ чугунѣ около 40 %, а въ бѣломъ-около 30% всей массы металла. Въ непрокаленной литой стали количество карбида составляетъ всего 10%, въ мягкомъ же литомъ желѣзѣ даже лишь около 2,6% всего количества металла.

Углеродъ закала совершенно не встрѣчается въ темносѣромъ чугунѣ богатомъ графитомъ, и подобно углероду карбида, содержаніе его достигаетъ наибольшей величины въ богатомъ марганцемъ и углеродомъ, зеркальномъ чугунѣ и желѣзомарганцѣ. Измѣненія, претерпѣваемыя углеродомъ закала при накаливаніи металла въ различныхъ условіяхъ видны изъ анализовъ прокаленнаго бѣлаго чугуна и литой стали. Чугунъ прокаливался долгое время при довольно высокой температурѣ, и большая часть углерода закала и карбида первоначально въ немъ заключавшихся, перешла въ углеродъ отжига; при менѣе продолжительномъ прокаливаніи литой стали и при менѣе высокой температурѣ накаливанія ея, большая часть бывшаго въ ней углерода закала перешла, правда, въ углеродъ карбида, но углеродъ отжига образовался лишь въ ничтожномъ количествѣ.

Вліяніе быстраго охлажденія (закалки) и вторичнаго нагрѣванія (отпусканія) можно ясно видѣть по анализамъ инструментальной стали. Вліянія закалки вовсе не замѣтно въ литомъ желѣзѣ, анализы коего приведены въ концѣ таблицы: желѣзо это закалки не принимаетъ.

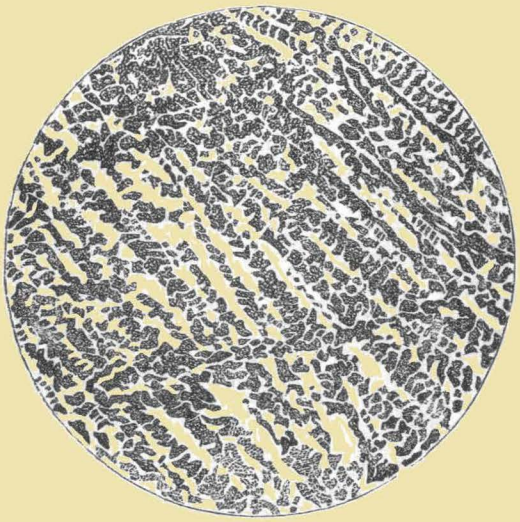
Графитъ и углеродъ отжига, если они находятся въ сколько нибудь значительныхъ количествахъ, можно замѣтить на поверхности излома даже невооруженнымъ глазомъ, какъ это было уже упомянуто раньше. Карбидъ непосредственно за-

НБ УДУНТ (ІПБТ)



Фиг. 65. Литое желѣзо. (70 : 1)

Бѣлое карбидъ.



Фиг. 66. Бѣлый чугунъ.

Бѣлое карбидъ.



Фиг. 67. Сѣрый чугунъ.

Черное карбидъ, черныя линія графитъ.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

ТИПО-ЛИТ. А. ЗИНЕКЕ ЕКАТЕРИНГОФСК. ПР. 15.

мѣтить нельзя, такъ какъ цвѣтъ его тождественъ съ цвѣтомъ основной массы желѣза, которая содержитъ углеродъ закала и изъ которой выдѣлился карбидъ, тонко проникая ее [1]). Карбидъ однако можно замѣтить, въ особенности же помощью микроскопа, если обработать желѣзо указаннымъ уже способомъ, т. е. отшлифовать его поверхность и обработать ее совершенно слабымъ растворителемъ.

Карбидъ при этомъ разствореется меньше, чѣмъ основная масса и выдѣляется поэтому своимъ болѣе сильнымъ блескомъ.

Подъ микроскопомъ, смотря по примѣненному освѣщенію онъ кажется или темнымъ на свѣтломъ фонѣ или-же на оборотъ.

Изображенія на рис. 65 до 67, приготовленныя по микроскопическимъ снимкамъ такихъ травленныхъ шлифовъ, могутъ послужить для уясненія распредѣленія карбида въ основной массѣ. Въ литомъ желѣзѣ, на рис. 65, количество карбида сравнительно мало; въ бѣломъ чугунѣ, на рис. 66, оно довольно велико и приблизительно равно основной массѣ. Въ сѣромъ-же чугунѣ карбидъ является въ видѣ отдѣльныхъ скопленій, отдѣленныхъ другъ отъ друга и окруженныхъ со всѣхъ сторонъ основною массою металла; между тѣмъ окружающая основная масса прорѣзана листочками графита, которые впрочемъ не приходятъ въ соприкосновеніе съ карбидомъ [1]).

Вліяніе содержанія углерода на свойства желѣза.

Изъ описанія особенностей извѣстныхъ до сихъ поръ видовъ углерода, видно уже что вліяніе какое оказываетъ на желѣзо извѣстное содержаніе въ немъ углерода, можетъ быть различно и зависитъ отъ взаимныхъ отношеній между количествами различныхъ видовъ углерода въ металлѣ содержащихся. Одинъ и тотъ-же сортъ желѣза можетъ пріобрѣтать различныя свойства, смотря по тому, какую форму приняла при охлажденіи большая часть углерода, въ немъ заключающагося.

Во всякомъ данномъ случаѣ содержаніе углерода въ желѣзѣ понижаетъ температуру его плавленія. По Осмонду чистое желѣзо, какъ уже сказано, плавится при 150° Ц.; тогда какъ желѣзо содержащее 4,1% углерода и лишь незначительныя количества другихъ тѣлъ, плавится, по изслѣдованіямъ того-же ученаго, при 1085° С. [2]). Слѣдовательно каждый процентъ углерода пони-

[1]) Подъ названіемъ «основная масса» разумѣется вообще та составная часть застывшаго желѣза, изъ которой выдѣлился карбидъ.

[2]) Здѣсь однако нельзя не замѣтить, что не всѣ изслѣдователи одинаково, и согласно указанному объясняютъ видимыя подъ микроскопомъ составныя части строенія различныхъ продуктовъ. Микроскопическое изслѣдованіе металла примѣняется и еще недавно, многочисленные вопросы, возникающіе при этомъ, еще не разрѣшены.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

жаетъ температуру плавленія металла приблизительно на 100° С. До сихъ поръ однако не удалось еще выяснить, не достигается ли нисшій предѣлъ температуры плавленія углеродистаго желѣза нѣсколько ранѣе предѣла насыщенія желѣза углеродомъ и не влечетъ ли за собою дальнѣйшее увеличеніе содержанія углерода въ чугунѣ, нѣкотораго повышенія температуры плавленія послѣдняго [1]).

Различные виды углерода. однако и въ этомъ отношеніи оказываютъ различное вліяніе. Жидкое желѣзо содержитъ въ себѣ какъ сказано только углеродъ закала; углеродъ карбида переходитъ въ углеродъ закала при температурѣ, которая лежитъ гораздо ниже точки плавленія желѣза. Графитъ же и углеродъ отжига растворяются лишь тогда, когда желѣзо начинаетъ размягчаться. Однако, чѣмъ желѣзо болѣе богато графитомъ и углеродомъ отжига, тѣмъ меньше въ немъ содержится углерода двухъ первыхъ видовъ, тѣмъ позднѣе наступитъ при нагрѣваніи тотъ моментъ, когда весь углеродъ растворится. Поэтому чугунъ богатый графитомъ плавитси при болѣе высокой температурѣ, чѣмъ чугунъ съ тѣмъ же содержаніемъ углерода, но бѣдный графитомъ. Сѣрый чугунъ, который охладился быстро и поэтому содержитъ меньшее количество графита, плавится, по практическимъ наблюденіямъ, при нисшей температурѣ, чѣмъ тотъ-же чугунъ, только охлаждавшійся медленно.

Твердость желѣза возростаетъ замѣтно съ увеличеніемъ въ немъ содержаніе углерода закала. Карбидъ желѣза также гораздо тверже чистаго желѣза, но онъ, какъ сказано выше, проникаетъ, въ видѣ тонкихъ жилокъ, главную массу металла, а потому и вліяніе его на среднюю твердость цѣлой массы желѣза менѣе замѣтно, чѣмъ вліяніе углерода закала, распредѣленнаго равномѣрно по главной массѣ металла. Графитъ и углеродъ отжига—тѣла мягкія, включенныя въ основную массу желѣза и нарушающія ея связь. Чѣмъ выше содержаніе въ желѣзѣ графита и углерода отжига, тѣмъ меньше, при данномъ общемъ содержаніи углерода, въ немъ содержится углерода карбида и закала.

Отсюда слѣдуетъ: что съ увеличеніемъ въ желѣзѣ содержанія углерода закала и карбида увеличивается его твердость. Поэтому бѣлый чугунъ, который содержитъ обыкновенно большія количества этихъ видовъ углерода, вообще тверже стали, а послѣдняя тверже бѣднаго углеродомъ ковкаго желѣза.

Изъ названныхъ двухъ видовъ углерода, углеродъ закала дѣйствуетъ несравненно сильнѣе, чѣмъ углеродъ карбида.

---

[1]) Stahl und Eisen 1891. S. 637; изъ Memorial de l'artillerie de la marine, Paris, 1891.

[2]) Относительно наблюденій, дѣлающихъ вѣроятнымъ подобное предположеніе, см. Stahl und Eisen 1884 S. 705.

НБ УДУНТ (ИПБТ)

Поэтому при закалкѣ раскаленной стали въ водѣ увеличивается ея твердость, при новомъ же нагрѣваніи (отпускѣ) она уменьшается. Закаленная, богатая углеродомъ, сталь можетъ примѣняться даже для обработки нѣкоторыхъ сортовъ бѣлаго чугуна. Мало замѣтно вліяніе названныхъ выше видовъ углерода при совершенно бѣдномъ углеродомъ желѣзѣ, такъ какъ здѣсь отношеніе между углеродомъ карбида и углеродомъ закала при закаливаніи измѣняется очень слабо (анализъ на стр. 301). При бѣломъ чугунѣ это вліяніе тоже не такъ замѣтно, какъ при стали, такъ какъ этотъ сортъ чугуна и безъ того бываетъ настолько богатъ углеродомъ закала, что быстрое охлажденіе его уже не можетъ вызвать значительнаго увеличенія количества этого вида углерода [1]).

Сѣрый чугунъ менѣе твердъ, чѣмъ бѣлый чугунъ и сталь; онъ вообще тѣмъ мягче, чѣмъ выше содержаніе въ немъ графита. Поэтому быстрое охлажденіе застывающаго сѣраго чугуна (выливаніе въ чугунныя формы) повышаетъ его твердость.

Накаливаніе уменьшаетъ твердость всѣхъ сортовъ углеродистаго желѣза, такъ какъ углеродъ закала переходитъ при этомъ въ углеродъ карбида, а послѣдній, при продолжительномъ накаливаніи и высокой температурѣ, въ углеродъ отжига. Даже бѣлый чугунъ, вслѣдствіе достаточно продолжительнаго нагрѣванія, при температурѣ свѣтло-краснаго каленія, становится столь мягокъ, что легко обрабатывается напилкомъ.

Подобныя же различія во вліяніи различныхъ формъ углерода замѣчаются и относительно механическихъ свойствъ желѣза.

Углеродъ закала увеличиваетъ вязкость и уменьшаетъ тягучесть (увеличиваетъ хрупкость) желѣза [2]). Однако-же въ то время какъ уменьшеніе тягучести происходитъ совершенно пропорціонально увеличенію содержанія углерода закала, вязкость его довольно скоро достигаетъ своего высшаго предѣла, и при дальнѣйшемъ увеличеніи содержанія углерода закала она быстро уменьшается.

Точно также, но въ меньшей степени, вліяетъ углеродъ карбида. До сихъ поръ не выяснено съ точностью при какомъ содержаніи одного углерода закала или углерода карбида вязкость металла достигаетъ высшаго предѣла; сверхъ того,

[1]) Научныхъ изслѣдованій относительно увеличенія твердости бѣлаго чугуна при закалкѣ не имѣется, такъ какъ вопросъ этотъ не имѣетъ практическаго значенія.

[2]) Подъ вязкостью, въ болѣе широкомъ смыслѣ слова, разумѣютъ сопротивленіе матеріала дѣйствію толчковъ и сотрясеній; по нѣсколько иному толкованію, вязкость—это то сопротивленіе, которое матеріалъ представляетъ разрыву, послѣ того какъ усиліе перейдетъ предѣлъ упругости. Хрупкость—понятіе противоположное вязкости.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

граница эта, вѣроятно, не всегда будетъ одинакова по отношенію къ различнымъ случаямъ приложенія силы (растяженіе, давленіе и т. д.). Обыкновенно принимаютъ, что наибольшей прочностью обладаютъ тѣ сорта желѣза, въ которыхъ общее содержаніе углерода закала и углерода карбида близко къ 1%. Такое желѣзо однако обладаетъ лишь весьма незначительною тягучестью. Оно хрупко; самое чистое желѣзо обладаетъ наибольшею тягучестью.

Графитъ, какъ включенное тѣло малой прочности, уменьшаетъ также и прочность металла, въ которомъ онъ находится; вліяніе это тѣмъ сильнѣе, чѣмъ больше листочки графита.

Менѣе замѣтно въ этомъ отношеніи вліяніе углерода отжига, распредѣленнаго болѣе тонко. Такъ какъ, однако, слишкомъ большое содержаніе углерода закала и углерода карбида также вредно вліяетъ на вязкость металла, то умѣренное образованіе графита въ чугунѣ, богатомъ углеродомъ, можетъ нѣсколько повысить его прочность.

Поэтому сѣрый чугунъ, обыкновенно, менѣе хрупокъ и болѣе проченъ, чѣмъ бѣлый; зато онъ болѣе хрупокъ и значительно менѣе вязокъ чѣмъ сталь, такъ какъ содержаніе въ немъ углерода уже далеко перешло ту границу, при которой наблюдается наибольшая прочность.

Сталь тверже, но зато и хрупче, чѣмъ ковкое желѣзо.

Прокаливаніе во всякомъ случаѣ увеличиваетъ тягучесть, а въ такихъ продуктахъ, которые слишкомъ богаты углеродомъ закала, (напр. въ закаленной стали, бѣломъ чугунѣ) увеличиваетъ и вязкость.

4. Желѣзо и кремній.

Хотя кремнеземъ, будучи подверженъ дѣйствію только одного углерода, не возстановляется даже при температурѣ бѣлаго каленія, тѣмъ не менѣе возстановленіе его углеродомъ идетъ довольно легко въ присутствіи металлическаго желѣза, съ которымъ возстановленный кремній можетъ сплавляться въ моментъ возстановленія. Служитъ-ли при этомъ возстановителемъ непосредственно свободный углеродъ, или же углеродъ уже поглощенный желѣзомъ и постоянно замѣщаемый новымъ количествомъ этого тѣла, отъ соприкосновенія желѣза со свободнымъ углеродомъ, съ точностью еще не выяснено. Несомнѣнно лишь, что при плавкѣ углеродсодержащаго желѣза въ сосудахъ, стѣны которыхъ содержатъ кремнеземъ, (какъ это доказали Troost и Haute-

НБ УДУНТ (ІПБТ)

feuille), часть углерода желѣза возстановляетъ кремнекислоту и желѣзо поглощаетъ кремній [1]).

Марганецъ также можетъ возстановлять кремнекислоту, причемъ образуется закись марганца, которая и ошлаковывается другою частью кремнезема.

$$2\,Mn + SiO_2 = 2\,Mn\,O + Si.$$

Поэтому, если марганецсодержащее желѣзо находится продолжительное время въ соприкосновеніи съ кремнеземомъ или тѣлами его содержащими, то содержаніе марганца въ металлѣ уменьшается, содержаніе же кремнія увеличивается.

Факты эти указываютъ на сильное стремленіе желѣза образовать сплавы съ кремніемъ. Простымъ сплавленіемъ желѣза съ углемъ и порошкомъ кварца можно получить такіе сплавы съ 16% кремнія. При плавкѣ окисловъ желѣза съ порошкомъ кварца, въ присутствіи достаточнаго количества угля, кремній точно также возстановляется и образуетъ съ желѣзомъ подобные сплавы.

Подобнымъ образомъ кремній легко переходитъ въ желѣзо изъ шлаковъ содержащихъ кремнеземъ, при возстановительной плавкѣ съ углемъ и желѣзомъ или окислами желѣза.

Процессъ этотъ идетъ тѣмъ легче, чѣмъ менѣе основнымъ характеромъ обладаютъ шлаки, чѣмъ слабѣе, слѣдовательно, они удерживаютъ кремнекислоту. Чѣмъ выше температура, тѣмъ легче возстановляется кремній. По этой причинѣ, оказывается возможнымъ, даже изъ сильно основныхъ шлаковъ, возстановить значительную часть содержащагося въ нихъ кремнія, дѣйствуя на нихъ углемъ и желѣзомъ при достаточно высокой температурѣ. Сродство желѣза къ кремнію и углерода, служащаго возстановителемъ къ кислороду, увеличивается при повышеніи температуры, очевидно, сильнѣе, чѣмъ сродство основаній къ кремнекислотѣ. Такъ что количество возстановленнаго кремнія возрастаетъ съ температурой.

Во всѣхъ этихъ случаяхъ получающееся желѣзо содержитъ кромѣ кремнія и углеродъ, количество котораго, однако, обратно пропорціонально количеству присутствующаго кремнія. Путемъ особенныхъ пріемовъ можно, все таки получить не содержащіе углерода сплавы желѣза съ кремніемъ, съ весьма высокимъ содержаніемъ послѣдняго. Ганъ (Hahn), сплавляя двойную хлористую соль желѣза и натрія съ кремне-фтористымъ натріемъ и натріемъ, получилъ сплавъ желѣза съ кремніемъ, въ которомъ количество послѣдняго было=30,8%; Мразекъ сплавляя 100 частей мягкой желѣз-

[1]) Примѣры: Jahrb. f. d. Berg- und Hüttenweisen im Königreich. Sachsen a. d. Jahr 1880, Seite, 7; „Stahl und Eisen“ 1883, Seite 604; 1885, Seitè 471; 1886, Seite 698; Comptes rendus, tome LXXVI (1875) p. 483.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

ной проволоки съ 242 частями кварца, 105 частями плавиковаго шпата и 62 частями натрія, получилъ сплавъ, содержавшій 7,4% кремнія и лишь тѣ незначительныя количества углерода, которыя заключались въ металлѣ проволоки [1]).

При соединеніи желѣза съ кремніемъ по Тросту и Готефейлю развивается теплота, при соединеніи же углерода съ желѣзомъ ея не выдѣляется [2]).

Изъ расплавленнаго, кремнійсодержащаго желѣза, кремній выдѣляется при дѣйствіи окислительныхъ агентовъ, напр. въ соприкосновеніи съ кислородомъ воздуха, съ углекислотой, водянымъ паромъ, окислами желѣза и другими окислительно дѣйствующими тѣлами.

Полное выдѣленіе кремнія происходитъ уже ранѣе полнаго выдѣленія углерода, если температура не слишкомъ высока и металлъ приходитъ въ соприкосновеніе съ основными шлаками, благопріятствующими выдѣленію кремнія, благодаря ихъ способности растворять кремнекислоту. (Напр. при кричномъ или пудлинговомъ производствѣ). Однако, чѣмъ выше температура, при которой долженъ происходить этотъ процессъ, тѣмъ сильнѣе становится сродство углерода къ кислороду (углеродъ возстановляетъ, какъ сказано, кремнекислоту), тѣмъ легче происходитъ сгораніе углерода вмѣсто кремнія, особенно если количество его въ желѣзѣ больше количества послѣдняго. Чѣмъ менѣе основной характерія имѣетъ при этомъ шлакъ, тѣмъ слабѣе стремленіе кремнъ выдѣляться изъ желѣза и переходитъ въ шлакъ въ видѣ кремнекислоты. Въ подобномъ случаѣ кремній сгораетъ поэтому лишь одновременно съ углеродомъ; нѣкоторая часть его можетъ даже еще оставаться въ желѣзѣ, когда углеродъ уже почти совершенно сгорѣлъ. Это наблюдается напр. въ томъ случаѣ, когда горѣніе идетъ при весьма высокой температурѣ и образующійся шлакъ и безъ того богатъ кремнекислотою. (Бессемеровскій процессъ).

Сплавы желѣза съ кремніемъ имѣютъ цвѣтъ бѣлый. Если кромѣ кремнія въ желѣзѣ находится углеродъ, выдѣляющійся въ видѣ графита при его остываніи, то послѣдній можетъ, конечно, болѣе или менѣе скрыть настоящій цвѣтъ поверхности излома.

Кремнистое желѣзо кристаллизуется въ формахъ правильной системы. Поверхность излома, упомянутаго, полученнаго Мразекомъ, несодержащаго углерода сплава съ 7,4% кремнія, указывала несомнѣнно на принадлежность кристалловъ

[1]) Присутствіе плавиковаго шпата вмѣстѣ съ кремнекислотою и желѣзомъ облегчаетъ возстановленіе кремнія, даже тогда, когда вмѣсто натрія, возстановителемъ является углеродъ. По всей вѣроятности образуется кремнефтористый кальцій, отдающій свой кремній желѣзу.

[2]) Annales de chemie et de physique 1878, tome IX, p. 56.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

къ этой системѣ; маленькіе октаедрическіе, елочные кристаллы (стр. 265) можно наблюдать и въ кремнистомъ чугунѣ.

Раньше мы уже говорили, что содержаніе въ желѣзѣ кремнія уменьшаетъ его способность поглощать углеродъ, и заставляетъ поглощенный имъ уже углеродъ выдѣляться изъ раствора при остываніи въ видѣ графита, какъ скоро общее содержаніе кремнія и углерода перейдетъ извѣстную границу. Кремній, какъ тѣло имѣющее большое сродство къ желѣзу, какъ бы вытѣснятъ углеродъ изъ его раствора [1]).

Съ нѣкоторыми другими составными частями полученнаго заводскимъ путемъ желѣза, въ особенности съ сѣрой, кремній можетъ образовать летучія соединенія, выдѣляющіяся изъ расплавленнаго металла. Струя жидкаго чугуна часто бываетъ покрыта густымъ бѣлымъ дымомъ, состоящимъ главнымъ образомъ изъ кремнекислоты. Въ пустотахъ застывшаго, кремній—содержащаго чугуна иногда находятъ оболочку, состоящую изъ чистаго кремнезема и образовавшуюся во всякомъ случаѣ отъ сгоранія наполнившаго пустоту газообразнаго соединенія кремнія. Моховидныя скопленія частицъ кремнезема—встрѣчаются также въ углубленіяхъ на поверхности свинокъ чугуна [2]). По изслѣдованіямъ Фреми и Кользона [3]) (Frèmy et Colson), которыя впослѣдствіи подтвердились нѣкоторыми изъ моихъ опытовъ [4]), сѣрнистый кремній образуется, если сѣра, углеродъ и крмнеземъ дѣйствуютъ другъ на друга при температурѣ бѣлаго каленія, а также при дѣйствіи сѣрнистаго углерода на кремній. При высокой температурѣ онъ испаряется и въ этомъ состояніи уносится далеко струею газовъ. На влажномъ воздухѣ сѣрнистый кремній быстро окисляется, давая кремнекислоту и сѣроводородъ.

Весьма вѣроятно, что иногда въ образованіи такихъ выдѣленій кремнезема принимаетъ участіе азотистый кремній, который, по Вёлеру (Wöhler) и Девилю (Deville), образуется при высокой температурѣ, благодаря взаимодѣйствію азота и кремнія, но разлагается при накаливаніи въ парахъ [5]) воды.

---

[1]) Прежнія наблюденія по которымъ кремній могъ выкристаллизовываться изъ желѣза въ чистомъ видѣ подобно графиту, должны считаться не вѣрными. Даже весьма богатые кремніемъ сплавы желѣза содержатъ весь кремній въ связанномъ видѣ (въ видѣ сплава). Въ недавнее время Jordan u Turner пытались различными путями выдѣлить кремній изъ желѣза и получить его въ чистомъ видѣ но попытки эти не увѣнчались успѣхомъ. (Jron Vol XVII p. 406 также Stahl und Eisen 1888, S. 580.

[2]) Примѣры: Berg-und hüttenmännische Ztg. 1877, S. 279; Zeitsch d. berg u. hüttenm. Vereins für Steiermark und Kärnten 1876, 77; Stahl un Eisen 1884, S. 638

[3]) Comptes rendus juli 1852, l; tome XCIV, p. 1256.

[4]) Berg u. hüttenm. Ztg 1878. S. 324.

[5]) Liebigs Jahresberichte 1859, Seite 154.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Кремнистый водородъ образуется, по Мортону (Morton), при пропусканіи сухого водорода надъ кремній—содержащимъ, раскаленнымъ желѣзомъ [1]).

Другихъ наблюденій надъ этимъ процессомъ не имѣется.

Вліяніе, которое оказываетъ содержаніе кремнія въ желѣзѣ на свойства послѣдняго, до нѣкоторой степени похоже на вліяніе содержаніе углерода, въ особенности углерода закала, но гораздо слабѣе его.

Температура плавленія понижается замѣтно, хотя и незначительно. По наблюденіямъ Мразека, температура плавленія полученнаго имъ и не содержавшаго углерода сплава желѣза съ 7,4% кремнія была выше, чѣмъ температура плавленія графитъ-содержащаго чугуна съ 5% углерода, хотя и ниже чѣмъ у стали, содержавшей приблизительно 0,75% углерода. Осмондъ, путемъ точныхъ измѣреній температуры, нашелъ, что температура плавленія кремнистаго чугуна съ 10% кремнія и 2,38% углерода была 1130° С.; сплавъ же, содержавшій 4,2% кремнія и 0,25 углерода не плавится еще при 1400° [2]).

Твердость желѣза увеличивается отъ содержанія въ немъ кремнія; однако и это вліяніе незначительно по сравненію съ вліяніемъ содержанія углерода. Кремнистый чугунъ съ 16% кремнія можно легко сверлить стальнымъ сверломъ; Мразекъ нашелъ, что твердость упоминавшагося уже нѣсколько разъ кремнистаго желѣза съ 7,4% кремнія, была 5,5 по минералогической скалѣ (между апатитомъ и полевымъ шпатомъ); твердость же кремнистаго желѣза съ 1,4% кремнія и 0,17 углерода—4,5—5.

Содержаніе кремнія въ желѣзѣ не вліяетъ на способность ковкаго желѣза принимать закалку. Зная вліяніе кремнія на образованіе графита, слѣдуетъ заключить, что склонность чугуна отбѣливаться и дѣлаться болѣе твердымъ уменьшается при увеличеніи содержанія въ немъ кремнія.

Вязкость желѣза увеличивается при умѣренномъ содержаніи кремнія; гдѣ находится предѣльное содержаніе кремнія, при переходѣ за которое вязкость желѣза уже не увеличивается, а уменьшается, съ точностью не установлено. Кремнистое желѣзо Мразека съ 7,4% кремнія было на холоду ломко и совершенно не ковалось; при красномъ каленіи его можно было осторожно ковать, тогда какъ при бѣломъ каленіи оно ковалось совершенно легко. Это обстоятельство служитъ доказательствомъ тому, что ковкость гораздо менѣе понижается отъ содержанія кремнія, чѣмъ отъ содержанія углерода.

---

[1]) Journal of the Jron und Steel Institute 1874, I, p. 102.
[2]) Stahl und Eisen. 1891, S. 637.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

5. Желѣзо и фосфоръ.

Фосфоръ находится въ рудахъ и флюсахъ, а также и въ золѣ горючихъ матеріаловъ въ видѣ фосфорной кислоты, связанной съ кальціемъ (апатитъ, фосфоритъ), съ желѣзомъ (вивіанитъ), или же въ видѣ фосфорно кислыхъ солей другихъ металловъ. Фосфоръ легко возстановляется изъ этихъ соединеній дѣйствіемъ углерода при высокой температурѣ и въ присутствіи желѣза, сродство къ которому фосфора очень сильно. Даже сильныя основанія не могутъ мѣшать возстановленію фосфора углеродомъ въ присутствіи желѣза. Если расплавленное, углеродъ—содержащее желѣзо приходитъ въ соприкосновеніе съ фосфорно-кислыми солями, то углерода, содержащагося въ немъ достаточно, чтобы возстановить фосфоръ и ввести его въ желѣзо. Марганецъ и кремній также могутъ возстановляющимъ образомъ дѣйствовать на фосфориты. По опытамъ же Финкенера [1]) и Гильгенштока [2]) при благопріятныхъ условіяхъ даже металлическое желѣзо можетъ возстановить нѣкоторыя количества фосфора, если только имѣется достаточный избытокъ желѣза поглощающаго фосфоръ. Эти свойства фосфора объясняютъ намъ, почему, при возстановительной плавкѣ рудъ съ углемъ, большая часть заключающагося въ рудахъ, флюсахъ и золѣ фосфора возстановляется и переходитъ въ желѣзо.

Если температура при этомъ высока, какъ напр. въ домнѣ, и возстановленіе настолько энергично, что въ шлакѣ остается лишь ничтожное количество желѣза, то на ряду съ возстановленіемъ желѣза происходитъ почти полное возстановленіе и фосфора. Получающійся при этомъ шлакъ, даже если онъ имѣетъ сильно основной характеръ, содержитъ лишь незначительныя количества фосфорно-кислыхъ солей. Чѣмъ ниже однако температура, чѣмъ богаче, слѣдовательно желѣзомъ образующійся шлакъ, тѣмъ большія количества содержащагося въ рудахъ фосфора остаются въ немъ. Поэтому даже изъ весьма фосфористыхъ рудъ можно подобнымъ путемъ получать желѣзо сравнительно бѣдное фосфоромъ. Ради этой цѣли руды не проплавляютъ въ доменныхъ печахъ на чугунъ, а обрабатываютъ въ небольшихъ (описанныхъ въ третьемъ томѣ) горнахъ на ковкое желѣзо, причемъ получаютъ богатый желѣзомъ, шлакъ. Этимъ способомъ получалось все желѣзо въ древности.

Нѣкоторые техники увѣряли неоднократно будто при возстановительной плавкѣ фосфоръ содержащей шихты часть фосфора улетучивается. Заключеніе это основывалось будто бы на опредѣленіи содержанія фосфора въ шихтѣ и въ получающемся чугунѣ и шлакѣ. Однако до сихъ поръ не удава-

[1]) Wedding, Der basiche Bessemer- oder Thomasprocess, Braunschweig 1884, S. 153.

[2]) Stahl und Eisen 1886, S. 528.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

лось доказать присутствіе фосфора въ какомъ либо видѣ въ улетающихъ изъ доменной печи [1]) газахъ.

Фосфоръ и желѣзо образуютъ сплавы въ различныхъ вѣсовыхъ отношеніяхъ: удалось также получить большое число опредѣленныхъ химическихъ соединеній этихъ двухъ тѣлъ между собою въ атомныхъ отношеніяхъ, каковые однако не имѣютъ никакого значенія для металлурга. При разложеніи фосфористаго желѣза помощью растворителей иногда получаются въ остаткѣ соединенія фосфора, составъ которыхъ позволяетъ предполагать, что при остываніи желѣза происходило распаденіе сплава, подобно тому какъ это бываетъ при образованіи карбида [2]). Имѣющіяся по этому вопросу изслѣдованія, однако не настолько полны, чтобы можно было изъ нихъ вывести опредѣленныя заключенія.

Выдѣленія фосфора изъ желѣза. Можно достигнуть лишь путемъ окисленія его. Для этого необходимы извѣстныя условія, сходныя съ тѣми, которыя обусловливаютъ выдѣленіе кремнія. Замѣтимъ при этомъ, что сродство фосфора къ желѣзу еще сильнѣе чѣмъ сродство кремнія къ желѣзу, между тѣмъ какъ сродство фосфорной кислоты къ основаніямъ при высокой температурѣ слабѣе, чѣмъ сродство между кремнекислотою и основаніями. Поэтому выдѣлить фосфоръ труднѣе, чѣмъ выдѣлить кремній. Во всякомъ случаѣ для этого необходимо присутствіе сильно основныхъ шлаковъ, которые поглощали-бы образующуюся фосфорную кислоту. Изъ чугуна можно выдѣлить, посредствомъ окисленія, большую часть фосфора и весь кремній, въ присутствіи основныхъ шлаковъ, прежде выдѣленія углерода, если только температура, при которой происходитъ этотъ процессъ немногимъ выше температуры плавленія чугуна. При болѣе высокой температурѣ выдѣленіе фосфора можетъ происходить лишь послѣ удаленія большей части углерода, который можетъ возстановляющимъ образомъ дѣйствовать на фосфорно-кислыя соли.

Содержаніе фосфора понижаетъ температуру плавленія желѣза, однако точныхъ измѣреній температуръ плавленія различныхъ сортовъ желѣза съ различнымъ содержаніемъ фосфора до сихъ поръ произведено не было. Кажется, что вліяніе содержанія фосфора въ этомъ отношеніи иногда преувеличивали, смѣшивая его съ увеличеніемъ степени жидкости металла, каковое не сомнѣнно вызывается содержаніемъ фосфора.

Фрезе (Freese) [3]) нашелъ, что фосфористое желѣзо, не содержащее углерода отличается трудноплавкостью, а Гильген-

[1]) Zeitschr. des Berg- und Hüttenm. Vereins für Stciermark und Kärnthen 1876. S. 229. Stahl und Eisen 1884, S. 2.

[2]) Stahl und Eisen. 1887, S. 180.

[3]) Poggendorffs Anallen, Band CXXXII (1867), Seite 225.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

штокъ [1]) замѣтилъ, что желѣзо съ 15% фосфора плавится труднѣе, чѣмъ желѣзо съ 9% кремнія.

Твердость желѣза отъ присутствія фосфора увеличивается. Вліяніе это однако гораздо слабѣе, чѣмъ вліяніе такого-же количества углерода. На способность желѣза принимать закалку содержаніе въ немъ фосфора не вліяетъ.

Большое значеніе имѣютъ измѣненія прочности желѣза отъ содержанія въ немъ фосфора. Малое содержаніе фосфора въ желѣзѣ не оказываетъ замѣтнаго вліянія на физическія свойства металла при совершенно спокойной нагрузкѣ; большее же количество фосфора дурно вліяетъ на нихъ. Предѣлъ упругости, равно какъ и коефиціентъ упругости увеличиваются; желѣзо теряетъ свою тягучесть и становится хрупкимъ. Сотрясенія, даже не сильныя, дѣйствуютъ, разрушающимъ образомъ на фосфористое желѣзо. Иногда изломъ куска такого желѣза происходитъ въ тотъ моментъ, когда усиліе только что переходитъ предѣлъ упругости. Чѣмъ ниже температура, тѣмъ ощутительнѣе становится это вліяніе содержанія фосфора.

Такое свойство желѣза называютъ хладноломкостью, фосфористое-же желѣзо—хладноломкимъ.

Описанное вредное вліяніе содержанія фосфора на свойства желѣза отчасти обусловливается измѣненіемъ, которое испытываетъ сложеніе желѣза вслѣдствіе присутствія фосфора. Содержаніе фосфора сообщаетъ желѣзу крупнокристаллическое сложеніе. Между тѣмъ извѣстно, что чѣмъ крупнѣе плоскости спайности наблюдаемыя въ тѣлѣ, тѣмъ легче оно ломается и тѣмъ меньше способно оно вытягиваться.

Хладноломкость, вызываемая фосфоромъ усиливается съ увеличеніемъ содержанія въ желѣзѣ соединеннаго углерода, въ особенности же углерода закала.

Поэтому ковкое желѣзо должно содержать тѣмъ меньше фосфора, чѣмъ выше содержаніе въ немъ углерода. Тогда какъ въ богатой углеродомъ стали даже 0,01% фосфора, можетъ оказывать уже замѣтное вліяніе на ея свойства, желѣзо, бѣдное углеродомъ можетъ содержать до 0,2% фосфора, не дѣлаясь непригоднымъ для обыкновеннаго употребленія, хотя, конечно, нельзя не замѣтить въ немъ вреднаго вліянія такого высокаго содержанія фосфора.

Сѣрый чугунъ содержитъ тѣмъ меньшія количества углерода закала, чѣмъ выше содержаніе въ немъ кремнія. Кромѣ того къ чугуну не предъявляютъ вообще такихъ требованій по отношенію къ прочности, какъ къ ковкому желѣзу. Поэтому допустимое въ чугунѣ, особенно достаточно бога-

[1]) Stahl u. Eisen, 1884, S. 6.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

томъ кремніемъ, содержаніе фосфора выше, чѣмъ въ ковкомъ желѣзѣ. Въ обыкновенныхъ отливкахъ изъ сѣраго чугуна находится нерѣдко болѣе 1% фосфора.

6. Желѣзо и сѣра.

Сильное сродство желѣза къ сѣрѣ можно легко замѣтить, приводя въ соприкосновеніе съ сѣрою нагрѣтое до красна желѣзо. Тѣла эти тотчасъ соединяются между собою, а при достаточномъ количествѣ сѣры даже плавятся. Такимъ образомъ можно получить сплавы этихъ двухъ тѣлъ во всевозможныхъ вѣсовыхъ отношеніяхъ.

Выше, въ особенности при описаніи обжиганія желѣзныхъ рудъ, упоминалось уже, что сѣра въ нихъ часто встрѣчается. Поэтому поводу слѣдуетъ добавить, что весьма большая часть сѣры можетъ быть выдѣлена изъ рудъ, путемъ раціонально веденнаго обжиганія, иногда, въ связи съ послѣдующимъ затѣмъ выщелачиваніемъ.

Но еще въ большей степени, чѣмъ желѣзныя руды, богаты сѣрою минеральные горючіе матеріалы, въ особенности каменные угли и полученный изъ нихъ коксъ, употребленіе которыхъ при доменной плавкѣ съ каждымъ годомъ все больше и больше распространяется. Путемъ промывки можно уменьшить конечно содержанія сѣры въ каменномъ углѣ; другая часть ея удаляется при коксованіи, но нѣкоторое количество ея, составляющее иногда болѣе 2% вѣса кокса, остается въ немъ, во всякомъ случаѣ, о чемъ было уже упомянуто при описаніи этихъ горючихъ матеріаловъ. Поэтому если не принять особыхъ мѣръ, то при указанномъ выше сильномъ сродствѣ желѣза къ сѣрѣ, большая часть этой сѣры перешла-бы въ чугунъ, при полученіи котораго коксъ служилъ возстановителемъ и горючимъ матеріаломъ; это повліяло-бы на свойства чугуна въ такой степени, что во многихъ случаяхъ онъ былъ бы уже непригоденъ для техническихъ цѣлей. Къ счастью отношеніе извести къ сѣрнистому желѣзу даетъ металлургу возможность выдѣлять изъ желѣза содержащуюся въ немъ сѣру. При плавкѣ сѣру содержащаго желѣза съ известью и углемъ образуется сѣрнистый кальцій, нерастворимый въ желѣзѣ, но поглощаемый шлакомъ, и металлическое желѣзо (чугунъ). Процессъ этотъ, вѣроятно идетъ по формулѣ: $FeS+CaO+C=Fe+CaS+CO$. При этомъ присутствіе извести въ свободномъ состояніи не оказывается даже необходимымъ, ибо и богатые известью, основные шлаки оказываютъ точно такое дѣйствіе, и тѣмъ болѣе сильное, чѣмъ выше въ нихъ содержаніе извести. По сообщенію Р. Окермана [1]) при опытахъ произведенныхъ въ маломъ раз-

[1]) Ztschr. f. d. berg- und hüttenm. Vereins für Steiermark und Kärnthen 1876, стр. 160.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

мѣрѣ, одна и также руда, которую послѣдовательно проплавляли съ 15% кварца, съ 5% известняка и 20% известняка дала чугунъ съ 0,09,0,04 и 0,01% сѣры. При нѣсколькихъ опытахъ, мною произведенныхъ, спеціально для этой цѣли приготовленное, сѣрнистое желѣзо, сод. 2,33% сѣры, проплавлялось сначала со шлакомъ, представлявшимъ по составу одно кремнеземикъ, а потомъ съ двукремнеземикомъ. Оба шлака кромѣ извести содержали еще немного глинозема. Количество ихъ всегда было вдвое больше количества желѣза. При плавкѣ съ однокремнеземикомъ получился шлакъ содержащій 1,445% сѣры и металлъ съ 0,079% сѣры, тогда какъ при двукремнеземикѣ шлакъ содержалъ 0,681%; желѣзо же 0,357% сѣры [1]).

Выдѣленію сѣры способствуетъ также содержаніе въ шлакѣ закиси марганца. Вліяніе магнезіи на выдѣленіе сѣры гораздо слабѣе.

Магнезія обладаетъ лишь малымъ сродствомъ къ сѣрѣ, но не смотря на это основной, содержащій магнезію шлакъ всетаки отнимаетъ сѣру отъ желѣза. Когда при упомянутыхъ выше, произведенныхъ мною опытахъ, я замѣнилъ въ шлакахъ известь химически равносильнымъ количествомъ магнезіи, то полученный однокремнеземикъ содержалъ 1,069%, а чугунъ 0,260% сѣры, тогда какъ двукремнеземикъ сод. 0,290%, металлъ же 0,391% сѣры.

Содержаніе глинозема въ шлакахъ не имѣетъ непосредственнаго вліянія на содержаніе въ нихъ сѣры.

Это отношеніе сѣры къ извести и закиси марганца въ присутствіи угля объясняютъ намъ, почему, при плавкѣ желѣзныхъ рудъ, содержаніе въ шлакахъ извести и закиси марганца едва ли не въ большей степени вліяетъ на содержаніе сѣры въ получающемся чугунѣ, чѣмъ содержаніе сѣры въ рудахъ и горючихъ матеріалахъ. Опытъ показываетъ намъ, что при шихтѣ очень основной, (разсчитанной на полученіе полукремнеземика), въ особенности богатой известью, и достаточномъ количествѣ шлака, можно, и при употребленіи кокса, получить чугунъ содержащій меньшія количества сѣры, чѣмъ въ случаѣ употребленія древеснаго угля и шлака, богатаго кремнекислотою. Чугунъ, полученный при сильно основныхъ шлакахъ, содержитъ поэтому даже при выплавкѣ его коксомъ лишь незначительныя количества сѣры (0,01—0,03%).

Высокая температура въ этихъ случаяхъ способствуетъ переходу сѣры въ шлаки, т. е. полученію чугуна бѣднаго сѣрою.

Жидкое желѣзо можетъ, однако, поглощать сѣру даже изъ сѣру-содержащихъ газовъ, что происходитъ тѣмъ легче, чѣмъ бѣднѣе металлъ углеродомъ. Явленіе это имѣетъ значеніе при плавкѣ желѣза въ пламенныхъ (мартеновскихъ) печахъ газами, содержащими сѣру. Даже присутствіе шлаковъ, богатыхъ известью не можетъ совершенно помѣшать поглоще-

[1]) Ztschr. d. Vereins f. Steiermark und Kärnther I. 1887. S. 55.

НБ УДУНТ (ПБТ)

нію сѣры въ этомъ случаѣ, если желѣзо содержитъ незначительное количество углерода [1]).

Для выдѣленія сѣры изъ сѣрнистаго желѣза существуютъ различные способы. Присутствіе шлака, богатаго известью, вмѣстѣ съ углемъ, можетъ, какъ видѣли помѣшать переходу въ желѣзо сѣры изъ рудъ и горючихъ матеріаловъ; подобнымъ образомъ дѣйствуетъ такой шлакъ и на желѣзо, уже содержащее сѣру, благопріятствуя выдѣленію ея, если приходитъ съ нимъ въ соприкосновеніе при подобныхъ же условіяхъ. Приведенные выше опыты, произведенные мною, при которыхъ сѣрнистое желѣзо проплавлялось со шлакомъ различнаго состава, могутъ служить этому доказательствомъ. Опыты эти производились въ тигляхъ, футеровка которыхъ состояла изъ древеснаго угля, такъ что желѣзо имѣло полную возможность соприкасаться и съ углемъ.

При высокомъ содержаніи сѣры въ желѣзѣ, выдѣленіе части сѣры можетъ происходить повидимому отъ дѣйствія одного лишь углерода при высокой температурѣ, вѣроятно благодаря образованію летучихъ соединеній сѣры съ углеродомъ. При плавкѣ бѣлаго чугуна, содержавшаго 0,78% сѣры, съ древеснымъ углемъ при высокой температурѣ, въ лабораторіи д-ра Перси, Смитъ получилъ продуктъ, содержавшій только 0,35% сѣры; подобные же результаты получились при различныхъ другихъ опытахъ [2]). Судя по результатамъ опытовъ, произведенныхъ въ лабораторіи Перси, можно, кажется, заключить, что даже одно высокое содержаніе въ желѣзѣ углерода можетъ способствовать выдѣленію изъ него нѣкоторой части сѣры.

Кремнію также приписываютъ такое же вліяніе какъ и углероду. Турнеръ, сплавляя кремнистое желѣзо съ сѣрнистымъ, получалъ корольки металла съ значительно меньшимъ содержаніемъ сѣры, чѣмъ до сплавленія [3]). Перси также нашелъ, что при возстановительномъ плавленіи сѣрнистаго желѣза съ кремнеземомъ и древеснымъ углемъ улетучилась около 95% заключавшейся первоначально въ желѣзѣ сѣры вѣроятно въ видѣ сѣрнистаго кремнія, (стр. 306), тогда какъ при плавкѣ безъ древеснаго угля удаленія сѣры не происходило [4]).

При этихъ опытахъ осталось къ сожалѣнію невыясненнымъ на сколько наблюдавшійся результатъ зависѣлъ отъ вліянія древеснаго угля.

Большое содержаніе марганца въ жидкомъ чугунѣ можетъ способствовать также выдѣленію изъ него части сѣры. Сród-

---

[1]) Odelstjerna нашелъ, что такимъ образомъ, можетъ быть воспринято до 0,03% сѣры Jernkotorets Annaler, 1885, S. 2. Подобныя же наблюденія были сдѣланы на германскихъ заводахъ.

[2]) Перси. Руководство. пер. Добрининскаго. стр. 250.

[3]) Stahl und Eisen 1888. 5580.

[4]) Перси. Руководство. стр. 138.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

ство марганца къ сѣрѣ еще сильнѣе, чѣмъ сродство къ ней желѣза. Образующійся сѣрнистый марганецъ менѣе растворимъ въ жидкомъ металлѣ, чѣмъ сѣрнистое желѣзо, почему и выдѣляется имъ.

Уже Бертье при своихъ опытахъ надъ плавкостью кремнеземиковъ и др. замѣтилъ, что при плавкѣ шихты, содержавшей сѣру и марганецъ, сѣра переходитъ въ шлакъ. Каронъ впослѣдствіи доказалъ на опытѣ, что и изъ чугуна можно выдѣлить значительную часть содержащейся въ ней сѣры, переплавляя его съ марганцемъ. Чугунъ, содержавшій сначала 1,15% сѣры, послѣ простой переплавки оказался содержащимъ до 1,14% ея, оный былъ снова переплавленъ съ 6% марганца, послѣ чего содержаніе въ немъ сѣры понизилось до 0,15%, тогда какъ содержаніе марганца въ немъ оказалось равнымъ лишь 3,92%.

При повтореніи этихъ опытовъ получились подобные-же результаты и въ нѣкоторыхъ случаяхъ наблюдалось еще нисшее содержаніе сѣры. [1]) Вальрандъ, смѣшивая расплавленный, богатый сѣрою, чугунъ съ расплавленнымъ марганцовистымъ чугуномъ, замѣтилъ уменьшеніе содержанія сѣры съ 0,50 до 0,06%. [2])

На практикѣ можно также нерѣдко наблюдать это вліяніе содержанія марганца на содержаніе сѣры.

На поверхности текущаго, сравнительно богатаго сѣрою чугуна (напр. томасовскаго), если онъ въ тоже время богатъ марганцемъ, появляются выдѣленія, величиною съ орѣхъ или больше, которыя застываютъ раньше, чѣмъ остальной металлъ и оказываются значительно болѣе него богатыми марганцемъ и сѣрою, но бѣднѣйшими углеродомъ. Такъ напримѣръ подобнаго рода выдѣленіе изслѣдованное мною, окрашенное въ сѣровато-бѣлый цвѣтъ, имѣвшее зеленоватый изломъ, содержало 3,04 сѣры, 8,51% марганца и 2% углерода, тогда какъ остальной металлъ содержалъ только 0,15% сѣры, около 3% марганца и 3% углерода.

Совершенно подобному же процессу обязаны своимъ происхожденіемъ особыя выдѣленія (Wanzen) образующіяся часто на поверхности жидкаго чугуна, находящагося въ покоѣ. Это темныя чешуевидныя выдѣленія, состоящія правда отчасти изъ окисловъ разныхъ тѣлъ, но всегда содержащія большія количества сѣры и марганца, чѣмъ чугунъ, изъ котораго они выдѣлились.

Изъ приведенныхъ ниже, произведенныхъ мною анализовъ чугуна, назначеннаго для литья и выдѣленій, снятыхъ съ его

---

[1]) Comptes rendus Tome LVI p. 828. Оттуда: Journal für praktische chemie Band LXXXIX, S. 504, Berg- und hüttenm. Ztg. 1863, S. 372. Dinglo polyt. Journäl, Band CL XVIII § 380.

[2]) Revue universelle 1883, Tome X, p. 407.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

поверхности, при спокойномъ его состояніи, [1]) очень хорошо можно судить о самомъ процессѣ образованія послѣднихъ:

	Углерода.	Кремнія.	Фосфора.	Сѣры.	Марганца.	Желѣза.	Кислорода по разнос. въ вѣсѣ
Чугунъ . . .	3,463	2,196	не опр.	0,56	2,620	не опр.	0,000
Выдѣленія .	3,818	1,869	0,475	0,223	5,188	87,099	1,328

Обыкновенно выдѣленія снимались лишь по охлажденіи чугуна. Такъ какъ, однако за это время, подъ вліяніемъ кислорода атмосферы, изъ чугуна выдѣлялись еще другія легко окисляющіяся тѣла и переходили въ составъ этихъ выдѣленій, то при изслѣдованіи указанное мною вліяніе марганца дѣлалось менѣе замѣтнымъ, чѣмъ въ только что приведенномъ случаѣ. Такъ, напримѣръ, Мукъ (Muck) [2]) изслѣдовалъ трижды составъ такихъ выдѣленій и нашелъ въ нихъ:

Кремнезема.	31,874%	31,939%	28,731%
Закиси желѣза	39,609	38,107	45,873
Закиси марганца	24,612	25,876	21,108
Извести	1,580	1,363	0,615
Магнезіи	0,150	0,051	0,031
Фосфорной-кислоты. . . .	3,401	4,088	4,335
Сѣры	1,602	1,701	0,824
	102,828	103,125	101,517

Что въ этихъ случаяхъ сумма найденныхъ тѣлъ была всегда больше 100, доказываетъ, что тѣла, опредѣленныя въ видѣ окисловъ, не вполнѣ находились въ этомъ состояніи, и что часть ихъ находилась въ металлическомъ видѣ, или въ видѣ соединенія съ сѣрою. При высокомъ содержаніи марганца можно принять съ достаточною вѣроятностью, что вся сѣра была съ нимъ связана. Непонятно, откуда берутся найденныя анализомъ количества извести и магнезіи

Я самъ однажды, при изслѣдованіи такихъ выдѣленій, снятыхъ по охлажденіи съ чугуна, нашелъ, что они имѣли слѣдующій составъ:

Кремнекислоты	29,30
Окиси желѣза	13,46
Закиси желѣза	46,73
Закиси марганца	6,40
Сѣрнистаго марганца (съ 0,46 сѣры). .	1,25
Фосфорн. кислоты	2,66
	99,80

Выше было уже упомянуто, что при плавкѣ сѣро-содержащихъ рудъ, также имѣетъ значеніе это болѣе сильное сродство марганца къ сѣрѣ и что образующійся сѣрнистый марганецъ переходитъ въ шлакъ.

[1]) Berg- und hüttenm. Ztg. 1878, § 322.
[2]) Dingler polyt. Journal, Band CCXIV, S. 48.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

По Окерману это вліяніе марганца даже сильнѣе, чѣмъ вліяніе извести, и при одинаковой высотѣ температуры изъ одинаково основныхъ шихтъ въ шлакъ переходитъ тѣмъ больше сѣры, чѣмъ шихта богаче марганцемъ.

Способностью марганца выдѣлять сѣру пользуются и въ большихъ размѣрахъ, подобно тому какъ это дѣлалось при опытахъ Вальранда въ малыхъ размѣрахъ, т. е. смѣшиваютъ, въ жидкомъ состояніи, богатый сѣрою и бѣдный марганцемъ чугунъ съ чугуномъ болѣе богатымъ марганцемъ: при этомъ образуются богатые сѣрою и марганцемъ выдѣленія.[1])

Выдѣлить сѣру изъ чугуна путемъ окисленія, подобно тому, какъ это дѣлается съ кремніемъ и фосфоромъ, нельзя, или по крайней мѣрѣ можно лишь въ весьма незначительныхъ размѣрахъ. Если при передѣлѣ чугуна и происходитъ нѣкоторое выдѣленіе сѣры, то она переходитъ въ шлакъ, который въ этихъ случаяхъ всегда имѣетъ основной характеръ.

Примѣняя указанныя выше средства для выдѣленія сѣры, можно получать изъ матеріаловъ, довольно богатыхъ сѣрою чугунъ, содержаніе сѣры въ которомъ рѣдко бываетъ болѣе 0,2%, часто же менѣе 0,1%. Это обстоятельство должно считаться очень счастливымъ для желѣзной промышленности, такъ какъ уже незначительныя количества сѣры могутъ вредно вліять на свойства желѣза.

Температура плавленія желѣза понижается при переходѣ въ него сѣры. Расплавленный, богатый сѣрою чугунъ однако обладаетъ свойствомъ застывать съ пузырями и раковинами внутри, что является слѣдствіемъ образованія газовъ. Изъ самаго чугуна, вѣроятно, выдѣляется сѣроуглеродъ, а при соприкосновеніи чугуна съ влажными тѣлами (формовочнымъ пескомъ) образуется и сѣроводородъ.

Вязкость желѣза на холоду отъ содержанія сѣры не превышающаго значительно 0,1% замѣтно не уменьшается.

Такъ, какъ большее содержаніе сѣры (какъ сказано выше) наблюдается лишь рѣдко, то сравнительныхъ опытовъ имѣется пока очень мало. Нельзя, однако, сомнѣваться въ томъ, что вліяніе большихъ количествъ сѣры вредно дѣйствуетъ на вязкость и еще болѣе на тягучесть желѣза. Если, однако нагрѣть до темнокраснаго каленія ковкое желѣзо, содержащее нѣкоторыя количества сѣры, то при этой температурѣ оно теряетъ связь частицъ получаетъ при ковкѣ (прокаткѣ) рванины или даже распадается на куски. Желѣзо это краснолом̀ко.

[1]) Способъ выдѣленія сѣры на заводѣ Hörde. Подробности и объ этомъ см. во второмъ томѣ (очищеніе чугуна.)

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Такое вліяніе сѣры совершенно тождественно съ вліяніемъ кислорода на растворившее его желѣзо (стр. 269). Но одинаковое количество сѣры оказываетъ болѣе сильное дѣйствіе, чѣмъ такое же количество кислорода.

При бѣломъ каленіи, однако, вліяніе это замѣтно также мало, какъ и вліяніе кислорода.

Количества сѣры, которыя вызываютъ въ ковкомъ желѣзѣ краснолом кость или повышаютъ ее до такой степени, что желѣзо становится негоднымъ къ употребленію, не для всѣхъ сортовъ желѣза одинаковы. Марганецъ, находящійся въ желѣзѣ вмѣстѣ съ сѣрою, ослабляетъ ея дѣйствіе. Тогда какъ ковкое желѣзо, не содержащее марганца (сварочное желѣзо), можетъ обнаруживать замѣтную краснолом кость, уже при содержаніи сѣры въ 0,02%, желѣзо съ 0,7% марганца можетъ содержать 0,15% сѣры, не дѣлаясь ясно краснолом кимъ. Это вліяніе марганца объясняется также его болѣе сильнымъ сродствомъ къ сѣрѣ и тѣмъ обстоятельствомъ, что растворенный въ желѣзѣ сѣрнистый марганецъ оказываетъ менѣе сильное вліяніе на его свойства, чѣмъ растворенное въ немъ сѣрнистое желѣзо [1]).

Вліянія содержанія углерода на степень ломкости вызванной сѣрою, подобно тому, которое ясно замѣтно при хладноломкости желѣза, вызванной фосфоромъ (стр. 313) не наблюдали. Нѣкоторые практики думаютъ даже, что богатая углеродомъ сталь менѣе чувствительна къ вліянію сѣры, чѣмъ желѣзо бѣдное углеродомъ. По всей вѣроятности, однако, въ этомъ случаѣ имѣетъ значеніе марганецъ, содержаніе котораго въ болѣе твердыхъ сортахъ стали часто бываетъ значительнѣе, чѣмъ въ мягкомъ желѣзѣ.

Вліяніе содержанія сѣры на формы, углерода въ желѣзѣ и на способность его поглощать углеродъ было указано уже выше; образованіе графита затрудняется, возможное содержаніе углерода понижается. При выплавкѣ чугуна содержаніе въ немъ сѣры, хоть сколько нибудь значительное, способствуетъ полученію бѣднаго углеродомъ, бѣлаго чугуна. Слѣдовательно, по отношенію къ количеству содержащагося углерода, сѣра дѣйствуетъ подобно кремнію, по отношенію же къ образованію графита, обратно.

7. Желѣзо и марганецъ.

Марганецъ принадлежитъ къ трудно возстановимымъ металламъ и возстановляется лишь при температурѣ бѣлаго каленія твердымъ углеродомъ. Такъ какъ онъ легко образу-

[1]) Нѣкоторыя подробности объ этомъ вопросѣ будутъ приведены въ III томѣ этого сочиненія (ковкость).

НБ УДУНТ (ІПБТ)

етъ сплавы съ желѣзомъ, то присутствіе возстановленнаго желѣза способствуетъ также возстановленію марганца. Понятно отсюда, почему при плавкѣ марганецъ—содержащихъ рудъ въ доменной печи, т. е. при условіяхъ, влекущихъ за собою возстановленіе почти всего желѣза, всегда происходитъ возстановленіе и нѣкоторой части марганца, переходящаго въ чугунъ; это наблюдается даже въ томъ случаѣ, если температура не на столько высока, какъ нужно для возстановленія болѣе значительныхъ количествъ марганца. Нѣкоторая же часть марганца всегда остается въ шлакахъ, въ видѣ закиси марганца.

Присутствіе сильно основныхъ, въ особенности богатыхъ известью, шлаковъ облегчаетъ возстановленіе марганца. Это обстоятельство можно легко объяснить, припомнивъ, что закись марганца сама представляетъ собою сильное основаніе и имѣетъ тѣмъ большее стремленіе образовать силикатъ, т. е. будетъ возстановляться тѣмъ труднѣе, чѣмъ больше количество присутствующей кремнекислоты.

При возстановленіи марганца углеродомъ получается всегда углеродистый марганецъ, содержаніе углерода въ которомъ бываетъ обыкновенно около 7,5%, если только въ немъ не присутствуютъ другія тѣла, имѣющія на это вліяніе. Часто, однако, наблюдается попутное возстановленіе большихъ или меньшихъ количествъ кремнія, а это уменьшаетъ способность марганца поглощать углеродъ. Такъ, какъ сверхъ того, едвали существуетъ марганцовая руда, совершенно не содержащая желѣза, то не содержащій желѣза марганецъ можетъ быть полученъ только изъ такихъ соединеній, изъ которыхъ предварительно удалено все желѣзо химическимъ путемъ.

Чѣмъ меньшія количества желѣза возстановляются на ряду съ марганцемъ, тѣмъ выше, какъ упомянуто, температура возстановленія марганца и температура плавленія получающагося сплава. Для полученія же сплавовъ, весьма богатыхъ марганцемъ, требуется температура, при которой часть марганца принимаетъ газообразное состояніе и улетучивается, сгорая на воздухѣ въ буровато-красную магнитную окись марганца.

Поэтому трудность полученія богатыхъ марганцемъ сплавовъ увеличивается съ увеличеніемъ въ нихъ содержанія марганца, а стоимость одинаковыхъ количествъ марганца въ сплавахъ тѣмъ выше, чѣмъ меньшія количества желѣза находятся въ нихъ вмѣстѣ съ марганцемъ.

Если содержаніе марганца въ сплавахъ достигнетъ 90% или немного больше, то наблюдается замѣчательное явленіе: сплавъ по истеченіи короткаго времени, растрескивается въ различныхъ мѣстахъ, какъ-бы вздувается, и наконецъ распадается въ порошокъ. Причины этого явленія до сихъ поръ не изслѣдованы. Однако вышеназванное явленіе не вызы-

НБ УДУНТ (ІПБТ)

вается окисленіемъ марганца, какъ это видно изъ изслѣдованій, произведенныхъ мною надъ подобнымъ, распавшимся въ порошокъ, образцомъ углеродистаго марганца. Даже по истеченіи нѣсколькихъ лѣтъ, содержаніе въ немъ кислорода оказалось очень незначительно. Есть нѣкоторый поводъ предполагать, что расплавленный марганецъ можетъ поглощать значительныя количества газовъ, которые, выдѣляются изъ него лишь постепенно по охлажденіи, принимаютъ газообразную форму и, значительно увеличиваясь въ объемѣ, вызываютъ подобное распаденіе. Предѣльное содержаніе марганца, при переходѣ котораго замѣчается этотъ процессъ, зависитъ отчасти отъ свойствъ другихъ тѣлъ, находящихся въ сплавѣ съ марганцемъ. Тогда какъ упомянутый выше, изслѣдованный мною, распавшійся углеродистый марганецъ имѣлъ слѣдующій составъ:

Марганца	88,59
Желѣза	3,91
Углерода.	7,24
Кремнія	0,24

внутри его находились ядрышки величиною съ орѣхъ, которыя оставались цѣлыми даже по истеченіи нѣсколькихъ лѣтъ. Анализъ ихъ далъ слѣдующіе результаты:

Марганца	85,500
Желѣза	7,825
Углерода	6,613
Кремнія (по разности)	0,060

Различныя свойства этихъ двухъ сплавовъ обусловлены, слѣдовательно, повидимому присутствіемъ лишнихъ 3% марганца, въ первомъ сплавѣ по сравненію со вторымъ.

По Бруннеру (Brunner) марганецъ не содержащій углерода, полученный посредствомъ возстановленія хлористаго марганца натріемъ, и содержащій всегда нѣкорыя количества кремнія, не распадается при храненіи[1]). Съ нѣкоторой вѣроятностью можно принять, что и углеродистый марганецъ съ содержаніемъ марганца въ 90%, или даже содержащій еще нѣсколько большія количества марганца, чѣмъ марганецъ мною изслѣдованный не распадается при лежаніи, если только содержитъ больше кремнія чѣмъ изслѣдованный мною.

Сплавляя 717 частей расплавленнаго хлористаго марганца 898 ч. кварца, 674 ч. кріолита и 645 ч. натрія, Мразекъ получилъ кремнистый марганецъ, содержавшій 13,13% кремнія и 86,67% марганца. Сплавъ этотъ противостоялъ дѣйствію сильныхъ кислотъ[2]) (царской водки). Надо замѣтить, что свойствомъ этимъ обладаютъ также богатые кремніемъ сплавы желѣза.

---

1) Перси. Руководство, стр. 196.
2) Jahrbuch der Bergakademien zu Leoben, XX, 406.

НБ УДУНТ (ПБТ)

Велеръ (Wöhler) нашелъ въ сплавахъ марганца съ кремніемъ, полученныхъ по способу Бруннера, столбчатые кристаллы [1]).

Содержащійся въ чугунѣ марганенъ можно выдѣлить, дѣйствуя окислительно на расплавленный металлъ.

Присутствіе кислыхъ шлаковъ способствуетъ выдѣленію марганца, присутствіе же основныхъ замедляетъ его. Если температура сравнительно не высока (температура плавленія чугуна), то большая часть марганца выдѣляется уже до начала выдѣленія углерода (вмѣстѣ съ кремніемъ и фосфоромъ.)

При болѣе-же высокой температурѣ марганецъ выдѣляется одновременно съ углеродомъ. Въ присутствіи сильно основныхъ шлаковъ, значительная часть марганца можетъ оставаться еще невыдѣленной, между тѣмъ какъ углеродъ выдѣленъ уже почти сполна за исключеніемъ весьма незначительныхъ количествъ (способъ Томаса).

Температура плавленія желѣза отъ высокаго содержанія марганца нѣсколько повышается, хотя не такъ сильно, какъ это часто принимаютъ. По Осмонду [2]) углеродъ содержащій сплавъ желѣза съ 20% марганца плавится при 1083° Ц, а такой-же сплавъ съ 50% марганца при 1145° Ц. Если принять во вниманіе, что первый сплавъ содержалъ около 5, а второй около 6% углерода стр. 289), то не окажется большой разницы при сравненіи этихъ температуръ плавленія съ температурами плавленія другихъ, богатыхъ углеродомъ, но бѣдныхъ марганцемъ сортовъ чугуна. Незначительное же содержаніе марганца (1—2%) скорѣе понижаетъ, чѣмъ повышаетъ температуру плавленія углеродистаго желѣза, подобно тому, какъ незначительныя количества свинца понижаютъ температуру плавленія олова, незначительныя количества серебра—температуру плавленія свинца. Заключеніе это можно, правда вывести изъ наблюденій на практикѣ, но точными изслѣдованіями оное пока не доказано.

Твердость желѣза отъ содержанія въ немъ марганца увеличивается. Странно, однако, что это увеличеніе твердости не происходитъ параллельно увеличенію содержанія марганца. При извѣстныхъ величинахъ содержанія марганца оно становится особенно яснымъ, тогда какъ твердость сплава снова уменьшается, если содержаніе марганца перейдетъ опредѣленный предѣлъ.

По Гадфильду (Hadfield), твердость сплавовъ желѣза съ марганцемъ, съ незначительнымъ содержаніемъ углерода (менѣе 1%) увеличивается съ увеличеніемъ содержанія мар-

[1]) Перси. Руководство. стр. 196.
[2]) Stahl und Eisen 1891, s. 637.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

ганца, до тѣхъ поръ пока послѣднее не достигнетъ приблизительно 6%. Сталь съ такимъ содержаніемъ марганца не поддается дѣйствію никакихъ инструментовъ. Затѣмъ твердость уменьшается, пока содержаніе марганца не достигнетъ 10%. Послѣ перехода черезъ этотъ предѣлъ, твердость снова увеличивается и при 22% марганца она весьма значительна [1]).

Данныя эти, однако, не позволяютъ вывести совершенно надежныхъ заключеній относительно вліянія содержанія марганца, такъ какъ въ изслѣдованныхъ образцахъ всегда заключается углеродъ и при томъ не всегда въ одинаковыхъ количествахъ. Мразекъ путемъ сравнительныхъ опытовъ нашелъ, что сталь съ 0,38% углерода и 1,38% марганца тверже, чѣмъ сталь съ тѣмъ же содержаніемъ углерода и меньшимъ содержаніемъ марганца.

Мюллеръ установилъ, что пять частей марганца вызываютъ въ ковкомъ желѣзѣ такое же увеличеніе твердости, какъ одна часть углерода [2]). Пока содержаніе марганца не выше 1% цифрами этими можно приблизительно пользоваться для оцѣнки вліянія марганца

Вязкость бѣднаго углеродомъ желѣза отъ содержанія въ немъ марганца увеличивается; но и въ этомъ случаѣ, подобно тому, какъ при увеличеніи содержанія другихъ тѣлъ, скоро является предѣлъ, послѣ котораго вязкость снова быстро уменьшается.

Граница эта замѣчается тѣмъ раньше, чѣмъ большія количества углерода находятся въ желѣзѣ вмѣстѣ съ марганцемъ. Изъ опытовъ надъ вязкостью, произведенныхъ надъ большимъ числомъ марганецъ-содержащихъ сортовъ желѣза, Веддингъ [3]) заключаетъ, что желѣзо, отъ котораго требуется большая прочность, никогда не должно содержать свыше 3% марганца, тогда какъ при содержаніи углерода въ 0,952% наилучшіе результаты получаются, какъ кажется при 0,5-0,6% марганца.

Съ увеличеніемъ вязкости повышается и предѣлъ упругости, и даже нѣсколько быстрѣе ея. Слѣдствіемъ этого является то, что тягучесть желѣза уменьшается съ дальнѣйшимъ увеличеніемъ содержанія марганца. И въ этомъ отношеніи вліяніе марганца, по сравненію съ вліяніемъ равнаго количества углерода, можно приблизительно выразить приведеннымъ выше отношеніемъ 1:5.

По упомянутымъ уже изслѣдованіямъ Гадфильда указанное вліяніе марганца на физическія свойства бѣднаго углеродомъ желѣза измѣняется, если содержаніе въ немъ марганца будетъ больше 6%. Хрупкость снова уменьшается,

[1]) Transactions ofthe American Institute of Mining Engineers XIII p. 223, XY p. 461; Stahl und Eisen. 1888. S. 300, 1891, S. 993.
[2]) Glasers Annalen Band X. s. 224.
[3]) См. литературу.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

вязкость увеличивается, и только при содержаніи марганца приблизительно въ 18%, снова замѣчается обратное его вліяніе.

Богатые марганцемъ сорта чугуна (зеркальный чугунъ) и желѣзо-марганцы на столько хрупки и такъ мало прочны, что легко дробятся въ ступкѣ въ порошокъ.

О вліяніи содержанія марганца на способность желѣза поглощать углеродъ и форму углерода въ желѣзѣ было уже сказано раньше. Марганецъ способствуетъ полученію желѣза богатаго углеродомъ и затрудняетъ образованіе графита. Его вліяніе, слѣдовательно, прямопротивоположно вліянію кремнія.

Точно также на стр. 317 и 320 было указано на вліяніе содержанія марганца на сѣру и на степень вызываемой ею красноломкости.

Замѣтнаго вліянія на хладноломкость, вызванную въ желѣзѣ фосфоромъ, марганецъ, однако, не оказываетъ, не уменьшаетъ и не усиливаетъ дѣйствія фосфора, какъ это было раньше указано относительно углерода. Точно также при помощи марганца непосредственно нельзя выдѣлять изъ металла и фосфора, какъ это бываетъ съ сѣрою. Однако, при описанномъ выдѣленіи фосфора путемъ окисленія, марганецъ можетъ въ нѣкоторыхъ случаяхъ косвенно способствовать этому процессу, такъ какъ сгорая, образуетъ сильное основаніе. Вліяніе это однако не бываетъ очень замѣтно.

8. Желѣзо и мѣдь.

Малыя количества мѣди легко поглощаются желѣзомъ, такъ какъ мѣдь возстановляется легче и окисляется труднѣе, чѣмъ желѣзо. Отсюда понятно, почему, при плавкѣ мѣдь содержащихъ рудъ вся заключающаяся въ нихъ мѣдь переходитъ въ сплавъ съ желѣзомъ, изъ котораго ее уже нельзя выдѣлить подобно марганцу, кремнію и углероду путемъ окисленія; мѣдь поглощенная желѣзомъ сопровождаетъ его черезъ всѣ стадіи его обработки.

Къ счастью, вліяніе, которое оказываетъ на желѣзо мѣдь, перешедшая въ него изъ желѣзныхъ рудъ, незначительно [1]).

Несомнѣнно, что вязкость совершенно чистаго желѣза можетъ быть увеличена до нѣкоторой степени содержаніемъ въ немъ мѣди, точно также какъ, обратно, вязкость чистой

[1]) Напомнимъ здѣсь, что вообще богатыя мѣдью руды перерабатываются не на желѣзо, а во всякомъ случаѣ сначала на мѣдь, цѣна которой значительно выше цѣны желѣза. Поэтому, полученное заводскимъ путемъ, желѣзо рѣдко содержитъ болѣе 0,4% мѣди, а обыкновенно еще меньше.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

мѣди увеличивается отъ содержанія въ ней желѣза[1]). Однако, количества мѣди, случайно попавшей въ желѣзо, полученное заводскимъ путемъ обыкновенно не на столько велики, чтобы оказать существенное вліяніе въ этомъ отношеніи. Съ увеличеніемъ вязкости несомнѣнно увеличивается и хрупкость; поэтому въ тѣхъ сортахъ желѣза, какъ и чугуна, отъ которыхъ требуется способность хорошо сопротивляться ударамъ не охото допускаютъ высокое содержаніе мѣди.

Другое вліяніе, оказываемое мѣдью на желѣзо, въ которомъ она заключается, есть красноломкость, подобная той, какую вызываетъ сѣра. Однако, вліяніе мѣди въ этомъ отношеніи значительно слабѣе, чѣмъ вліяніе сѣры. Въ прежнее время полагали, что содержаніе мѣди около 0,4%, уже влечетъ за собою появленіе красноломкости.

Эггерцъ, (Eggertz) приписываетъ мѣди болѣе сильное вліяніе на сталь, чѣмъ на ковкое желѣзо и говоритъ, что содержаніе мѣди въ 0,5% дѣлаетъ сталь негодной къ употребленію, тогда какъ бѣдное углеродомъ желѣзо, при томъ-же содержаніи мѣди показываетъ лишь слѣды красноломкости[2]). Изъ новѣйшихъ, произведенныхъ Вазумомъ (Wasum) опытовъ дѣйствительно слѣдуетъ, что при содержаніи углерода въ желѣзѣ отъ 0,2 до 03% вліяніе мѣди очень незначительно. Нѣкоторыя подробности объ этомъ можно найти въ третьемъ томѣ этого сочиненія (ковкость желѣза).

Болѣе богатые мѣдью сплавы можно получить, сплавляя оба эти металла, но сплавы эти не обладаютъ такими свойствами, которыя дѣлали бы раціональнымъ ихъ примѣненіе. Пока содержаніе въ нихъ мѣди не больше содержанія желѣза, они тверды, хрупки и склонны къ ликваціи. Чѣмъ выше, однако, содержаніе углерода въ употребленномъ въ дѣло желѣзѣ, тѣмъ труднѣе получить сплавъ и тѣмъ легче изъ него снова выдѣляется мѣдь; это можно объяснить малою склонностью мѣди и углерода образовать сплавы. Много лѣтъ тому назадъ въ Люттихѣ произведены были опыты полученія однороднаго сплава чугуна съ мѣдью, но оказались безуспѣшными[3]).

9. Желѣзо и никкель или кобальтъ.

Оба эти названные металла, въ незначительныхъ количествахъ, часто встрѣчаются въ желѣзныхъ рудахъ. При возстановительной плавкѣ послѣднихъ. съ ними происходитъ

[1]) A. Ledebur, Mettalverarbeitung auf chemischphisikalischem Wege, Braunschveig 1882, S. 38.
[2]) Wagners Jahresbericht der chemischen Technologie 1862. s. 9.
[3]) Перси. Руководство. стр. 272 по 279.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

тоже, что и съ желѣзомъ: т. е. они возстановляются, образуютъ сплавъ съ желѣзомъ, изъ котораго ихъ нельзя выдѣлить путемъ окисленія.

Количества, введенныхъ такимъ образомъ въ желѣзо кобальта или никкеля достигаютъ иногда нѣсколькихъ десятыхъ, чаще же нѣсколькихъ сотыхъ процента; чтобы такія количества этихъ металловъ оказывали сколько нибудь замѣтное вліяніе на свойства желѣза до сихъ поръ еще не замѣчено.

Сплавы желѣза съ никкелемъ или кобальтомъ можно получить сравнительно легко, сплавляя эти металлы другъ съ другомъ. Опыты, произведенные въ прежнее время надъ употребленіемъ подобныхъ сплавовъ имѣли, однако, мало успѣха. Такой малый успѣхъ объясняется не тѣмъ, что металлы эти вредно дѣйствуютъ на свойства желѣза, а скорѣе тѣмъ обстоятельствомъ, что въ прежнее время не умѣли еще получать достаточно чистый никкель или кобальтъ. Вмѣстѣ съ этими металлами вводили въ желѣзо, мѣдь, мышьякъ, сѣру и др. постороннія тѣла, вслѣдствіе чего желѣзо дѣлалось негоднымъ къ употребленію.

Лишь нѣсколько лѣтъ тому назадъ, когда научились получать никкель и кобальтъ въ болѣе чистомъ видѣ, чѣмъ прежде, снова обратились къ этому вопросу и нашли, что извѣстное содержаніе никкеля придаетъ всетаки ковкому (литому) желѣзу такія свойства, которыя дѣлаютъ его для нѣкоторыхъ случаевъ употребленія болѣе пригоднымъ, чѣмъ обыкновенное, не сплавленное съ никкелемъ, желѣзо. Оно пріобрѣтаетъ большую твердость и вязкость, не получая однако, той хрупкости, которую сообщило-бы ему содержаніе углерода, обусловливающее такую же твердость и вязкость.

Подобные сплавы желѣза съ никкелемъ можно легко приготовить, прибавляя никкель къ расплавленному въ тиглѣ или въ пламенной печи. (Мартеновской, см. III томъ) желѣзу. При содержаніи никкеля въ нѣсколько процентовъ, способность желѣза обрабатываться въ раскаленномъ состояніи подъ молотомъ, прессомъ, валками не претерпѣваетъ замѣтныхъ измѣненій. Сплавы же болѣе богатые никкелемъ требуютъ однако, больше осторожности, чѣмъ обыкновенное литое желѣзо.

Въ большихъ размѣрахъ приготовляли сплавы желѣза съ никкелемъ съ содержаніемъ до 25% никкеля.

Главнѣйшее примѣненіе ихъ было приготовленіе броневыхъ плитъ для военныхъ кораблей. Широкому распространенію такихъ сплавовъ препятствуетъ высокая цѣна никкеля. Прибавленіе всего 1% никкеля увеличиваетъ стоимость желѣза приблизительно на одну треть. По этой же причинѣ

[1]) Annals des mines, serie 3, Tome III, p. 233 (1833).

НБ УДУНТ (ІПБТ)

нельзя предполагать, чтобы еще болѣе дорогой кобальтъ нашелъ примѣненіе для полученія сплава его съ желѣзомъ.

Напомнимъ еще, что метеориты кромѣ желѣза содержатъ также никкель и кобальтъ, т. е. представляютъ изъ себя сплавы этихъ металловъ.

10. Желѣзо и хромъ.

При плавкѣ хромъ содержащихъ рудъ хромъ легко возстанавляется и образуетъ сплавъ съ желѣзомъ. Посредствомъ окислительнаго дѣйствія воздуха на расплавленное желѣзо, хромъ снова легко выдѣляется, вмѣстѣ съ кремніемъ и марганцемъ[1]). Однако, случаи нахожденія хрома въ желѣзѣ наблюдаются не часто.

Сплавы желѣза съ хромомъ получаютъ намѣренно путемъ возстановительной плавки окисловъ этихъ обоихъ металловъ, или что еще проще, проплавляя встрѣчающійся въ природѣ хромистый желѣзнякъ вмѣстѣ съ углемъ. При употребленіи хромистаго желѣзняка нужно надлежащимъ образомъ составить шихту для ошлакованія постороннихъ примѣсей. Перси совѣтуетъ для этой цѣли брать на 100 ч. руды еще 100 частей стекла, не содержащаго свинца, и 40 частей буры. Хромистое углеродистое желѣзо, (хромистый чугунъ, ферро-хромъ), получали въ доменной печи на заводѣ Terre Noire во Франціи [2])

Сплавы эти прибавляютъ при плавкѣ стали, для полученія хромъ содержащей, встрѣчающейся въ продажѣ, Хромистой стали.

Содержаніе хрома увеличиваетъ твердость желѣза. Именно по этой-то причинѣ и прибавляютъ хромъ къ стали, въ тѣхъ случаяхъ когда нужно увеличить ея твердость, не вводя однако же такого количества углерода, при коемъ ковкость металла и способность его свариваться становятся весьма малыми, а вязкость уменьшается. Сравнительно малыя количества хрома вызываютъ довольно значительное увеличеніе твердости. Сталь съ 0,3% хрома значительно тверже, чѣмъ сталь, несодержащая хрома, при томъ же содержаніи въ ней углерода.

Съ увеличеніемъ содержанія хрома увеличивается также до извѣстнаго предѣла вязкость желѣза (стали), причемъ—по крайней мѣрѣ какъ принимаютъ—тягучесть его уменьшается не въ такой степени, въ какой она уменьшилась бы

---

[1]) Опыты въ этомъ направленіи Journal of the Iron and steel Institute 1877, I p. 104 (Riloy).

[2]) A. v. Kerpeey Eisen und Stahl auf der Weltaustellung zu Paris im Jahre 1879, § 78.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

отъ вліянія содержанія углерода, обусловливающаго равную [1]) степень вязкость.

По этой причинѣ совѣтовали употреблять хромистое желѣзо для такихъ частей построекъ, которыя подвергаются сильнымъ нагрузкамъ. Однако до сихъ поръ не существуетъ достаточно вѣскаго доказательства тому, что этимъ путемъ дѣйствительно достигаются такія выгоды, которыя отвѣчали бы довольно высокой стоимости такого матеріала.

Желѣзнодорожные мосты въ Сѣверной Америкѣ, построенные, какъ увѣряли, изъ хромистой стали, оказались по позднѣйшимъ изслѣдованіямъ сдѣланными изъ металла несодержащаго хрома [2]). Въ тѣхъ-же случаяхъ, гдѣ требуется весьма вязкій, хорошо сопротивляющійся сотрясеніямъ матеріалъ, пригодность хромистаго желѣза все таки остается сомнительной. Это зависитъ отъ того, что предѣльное содержаніе хрома, при переходѣ котораго вязкость металла уже не увеличивается, а уменьшается, а тягучесть исчезаетъ и металлъ становится весьма хрупкимъ, вообще не высоко и его легко перейти. Вліяніе хрома очень ясно видно при закалкѣ хромистой стали. Сталь съ содержаніемъ 0,5% хрома и около 1% углерода, при закалкѣ требуетъ уже большой осторожности, иначе она легко растрескивается. Одинъ процентъ хрома является, вѣроятно, наивысшимъ содержаніемъ его, допустимымъ въ стальныхъ вещахъ, подвергающихся закалкѣ.

Сплавы же, еще болѣе богатые хромомъ, даже послѣ медленнаго остыванія, распадаются подъ молотомъ на куски.

Изслѣдованный мною сплавъ съ 54,5% хрома былъ настолько хрупокъ, что измельчался въ порошокъ въ агатовой ступкѣ. Сплавы эти отличаются бѣлымъ цвѣтомъ; въ нѣкоторыхъ случаяхъ, въ особенности при высокомъ содержаніи хрома, имѣютъ своеобразное сложеніе, обусловленное, очевидно, скопленіемъ многочисленныхъ игольчатыхъ кристалловъ. Отдѣльные иглы этихъ кристалловъ обыкновенно хорошо различимы. Съ уменьшеніемъ содержанія хрома сложеніе становится болѣе плотнымъ, но въ хромистой стали получаетъ мелкочешуйчатый видъ, который довольно ясно отличаетъ ее отъ другихъ сортовъ стали.

Температура плавленія сплава увеличивается съ увеличеніемъ содержанія хрома. Поэтому сплавовъ съ содержаніемъ хрома большимъ 50% обыкновенно не готовятъ.

На стр. 289 было уже указано на вліяніе, оказываемое хромомъ на способность желѣза поглощать углеродъ.

---

[1]) Нѣкоторыя подробности см. въ третьемъ томѣ этого сочиненія. Очень подробныя данныя заключаются у Howe, Metallurgie of Steel, vol. I. p. 76.

[2]) Howe, въ указаномъ сочиненіи, стр. 79.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

11. Желѣзо и волчецъ (вольфрамъ).

Сплавы желѣза съ волчецомъ приготовляются для тѣхъ же цѣлей, какъ и сплавы желѣза съ хромомъ, т. е. ихъ прибавляютъ къ стали при полученіи ея, въ тѣхъ случаяхъ, когда желаютъ приготовить, для извѣстныхъ цѣлей, особенно твердые сорта стали.

Уже въ прошломъ столѣтіи братья д' Элюаръ (d' Elhuar) получали сплавы волчеца съ желѣзомъ и другими металлами, но дальнѣйшаго примѣненія эти сплавы тогда не получили [1]).

Впослѣдствіи Бертье изучилъ нѣсколько подробнѣе свойства этихъ сплавовъ [2]). Въ большихъ размѣрахъ приготовленіе ихъ для указанной выше цѣли началось приблизительно съ 1855 г. [3]).

Для полученія сплавовъ желѣза съ вольфрамомъ примѣняютъ встрѣчающійся въ природѣ минералъ волчецъ, составъ котораго большею частью соотвѣтствуетъ формулѣ $Fe_2Mn_3W_5O_{20}$, или же шеелитъ состава, $CaWO_4$. Руда для выдѣленія сѣры и мышьяка обжигается, выщелачивается и затѣмъ плавится въ тигляхъ съ углемъ. По словамъ Керпели на заводѣ Terre-Noire приготовляли такіе сплавы даже въ доменной печи [4]). Однако спросъ на нихъ не настолько великъ, чтобы можно было вести постоянную доменную плавку ради этого.

Часть марганца, содержащагося въ волчецѣ, переходитъ въ сплавъ, если только не выдѣлить его раньше химическимъ путемъ. Такъ какъ однако это содержаніе марганца не вліяетъ вредно на свойства сплава, то часто отказываются отъ подобнаго, всетаки дорого стоющаго процесса, и получающіеся сплавы содержатъ тогда, кромѣ вольфрама, еще нѣкоторыя количества марганца. Иногда количество послѣдняго настолько велико, что повидимому намѣренно прибавляли въ шихту этотъ металлъ.

Съ увеличеніемъ содержанія вольфрама значительно повышается температура плавленія сплава; по этой причинѣ рѣдко приготовляютъ сплавы, содержащіе болѣе 40% вольфрама.

Изслѣдованный мною сплавъ содержалъ 29,12% вольфрама, 67,93% желѣза, 1,17% углерода, 0,61% кремнія и лишь незначительныя количества марганца. Вольфрамистый чугунъ приготовленный на заводѣ Terre-Noire содержалъ, по словамъ Керпели, 24,25% вольфрама, 30,00% желѣза, 41,50% марганца, 5,65% углерода и 0,14% фосфора. Высокое содержаніе

---

[1]) Перси. Руководство. стр. 324.
[2]) Traité des essais par la voie sèche. Tom II, p. 215 и 344.
[3]) Berg- und hüttenem. Ztg. 1859, S. 275.
[4]) Eisen und Stahl auf der Weltsausstellung, zu Paris 1879, S. 78.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

углерода въ такомъ сплавѣ зависитъ, вѣроятно, не отъ содержанія вольфрама, а отъ высокаго содержанія марганца.

Не содержащій углерода вольфрамъ получаютъ иногда прокаливая чистую вольфрамовую кислоту въ струѣ водорода. Такъ какъ онъ не плавится въ обыкновенныхъ печахъ, то идетъ въ продажу въ видѣ порошка и примѣняется подобно описаннымъ сплавамъ для полученія волчцовой стали.

Сплавы съ высокимъ содержаніемъ волчца имѣютъ бѣлый цвѣтъ, тверды и хрупки. Увеличеніе твердости стали, отъ содержанія въ ней вольфрама, однако, меньше чѣмъ отъ такого же количества хрома. Между тѣмъ, какъ содержаніе хрома въ хромистой стали, какъ сказано выше, рѣдко бываетъ выше 1%, волчцовая сталь содержитъ обыкновенно отъ 2—5% вольфрама, а въ нѣкоторыхъ случаяхъ содержаніе послѣдняго достигаетъ даже 9%.

Вязкость желѣза отъ умѣреннаго содержанія вольфрама увеличивается (примѣры въ третьемъ томѣ), отъ болѣе же высокаго—уменьшается. Во всякомъ случаѣ хрупкость металла замѣтно увеличивается съ увеличеніемъ содержанія вольфрама.

Поэтому прибавленіе волчца при полученіи стали можетъ принести пользу лишь въ тѣхъ случаяхъ, когда главною цѣлью этого является увеличеніе твердости металла.

12. Желѣзо и мышьякъ, сурьма, олово, висмутъ.

Сплавы желѣза съ мышьякомъ въ нѣкоторыхъ отношеніяхъ походятъ на сплавы желѣза съ сѣрою. Оба тѣла сплавляются между собой легко и во всѣхъ отношеніяхъ. Мышьякъ изъ этихъ сплавовъ нельзя выдѣлить простымъ нагрѣваніемъ ихъ, даже до бѣлаго каленія.

При окислительномъ обжиганіи мышьяковистаго колчедана, встрѣчающагося иногда въ рудахъ, часть мышьяка, какъ было упомянуто выше, остается въ видѣ мышьяковокислаго желѣза, которое, при возстановительной плавкѣ обожженной руды, возстановляется въ мышьяковистое желѣзо. Ошлакованія мышьяка известью или другими тѣлами (подобно сѣрѣ) не происходитъ; желѣзо жадно поглощаетъ изъ летучихъ мышьяковистыхъ соединеній содержащійся въ нихъ мышьякъ. Поэтому при плавкѣ шихты, содержащей мышьякъ, весь мышьякъ ея переходитъ въ металлъ и сопровождаетъ его черезъ всѣ ступени его обработки. Выдѣлить изъ желѣза мышьякъ поглощенный имъ, невозможно [1]). Поэтому въ большинствѣ сортовъ желѣза находятся малыя количества мышьяка, которыя, правда, рѣдко настолько значительны, чтобы самостоятельно оказывать вліяніе на свойства желѣза,

[1]) Опыты въ этомъ отношеніи: Journal of the Iron and Steel Institute 1888. I p. 171; оттуда Stahel und Eisen. 1888. S. 537.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

но которыя, всетаки, находясь въ желѣзѣ вмѣстѣ съ другими одинаково или подобнымъ образомъ дѣйствующими тѣлами (фосфоръ, сѣра, кислородъ, мѣдь) усиливаютъ ихъ вліяніе.

Во всякомъ случаѣ значительное содержаніе мышьяка дѣйствуетъ вредно; оно дѣлаетъ, подобно фосфору, желѣзо хладноломкимъ и, подобно сѣрѣ, красноломкимъ. Уже при содержаніи мышьяка въ 0,1% вліяніе его обыкновенно ясно замѣтно [1]).

Способность желѣза поглощать углеродъ, какъ кажется, уменьшается отъ содержанія мышьяка, образованіе графита затрудняется (ср. стр. 290).

Подобное же мышьяку вліяніе, оказываетъ на свойства желѣза сурьма. Температура плавленія металла понижается, желѣзо становится твердымъ, хрупкимъ, красно и хладноломкимъ. Къ счастью, сурьма рѣдко встрѣчается въ желѣзныхъ рудахъ въ такихъ количествахъ, чтобы можно было опасаться за вредное ея вліяніе. Незначительныя же количества сурьмы (0,01—0,03%) можно найти въ большинствѣ сортовъ желѣза [2]).

Вліяніе олова сходно съ вліяніемъ мышьяка и сурьмы. Желѣзо образуетъ сплавы съ оловомъ во всѣхъ отношеніяхъ, и уже довольно незначительныя количества олова дѣлаютъ его твердымъ, хладно и красноломкимъ. Желѣзо съ 0,73% олова и 0,06% углерода, изслѣдованное Биллингсомъ (Billings), было совершенно хрупко. По Биллингсу никакой другой металлъ не оказываетъ столь вреднаго вліянія[3]) на желѣзо. Къ счастью въ желѣзныхъ рудахъ никогда, или въ исключительныхъ только случаяхъ, встрѣчается олово въ такихъ количествахъ, чтобы оно могло оказывать вліяніе. Однако при обработкѣ обрѣзковъ бѣлой жести [4]) или эмалированныхъ желѣзныхъ вещей, эмаль которыхъ обыкновенно содержитъ олово, олово можетъ переходить въ желѣзо и оказывать на него вредное вліяніе. Поэтому при покупкѣ стараго желѣза, назначающагося для переработки, нужно тщательно выбрасывать куски, покрытые оловомъ.

Вліяніе содержанія олова на содержаніе углерода въ желѣзѣ было уже описано выше.

Висмутъ не встрѣчается въ желѣзныхъ рудахъ въ опре-

---

[1]) Опыты въ этомъ направленіи произведенные можно найти въ Journal of. Iron and steel Institute 1888. т. I p. 183. Также Stahl und. Eisen 1888 г. стр. 577.

[2]) Опыты надъ сплавами желѣза и сурьмы: Percy-Wedding, пер. Добронизскаго, стр. 299.

[3]) Dinglerspolyt Journal, Band CCXXVIII, t. 427; другіе опыты надъ сплавами желѣза и олова: Percy-Wedding, въ названномъ сочиненіи стр. 212.

[4]) Жесть, какъ извѣстно, представляетъ собою желѣзные листы покрытые оловомъ.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

дѣленныхъ количествахъ и поэтому присутствіе его въ желѣзѣ, находящемся въ продажѣ, до сихъ поръ не замѣчено.

Довольно немногочисленны также опыты, произведенные до сихъ поръ надъ способностью желѣза образовать сплавы съ висмутомъ и относительно измѣненій, которымъ подвергаются свойства желѣза отъ нарочно прибавленнаго къ нему висмута. Биллингсъ нашелъ, что желѣзо съ малыми количествами висмута было всегда красноломкимъ, а съ 5 и 10% его было весьма твердо [1]).

13. Желѣзо и аллюминій.

При плавкѣ глиноземъ-содержащихъ рудъ аллюминій не возстановляется, даже при условіяхъ благопріятствующихъ сильному возстановленію. Если въ печати попадаются анализы чугуна, въ которыхъ показывалось содержаніе алюминія, то согласно новѣйшимъ изслѣдованіямъ это слѣдуетъ приписать неточности самаго анализа. Такія ошибки могли произойти тѣмъ легче, что до послѣдняго времени не имѣлось достаточно вѣрныхъ способовъ опредѣленія очень незначительныхъ количествъ алюминія при большомъ содержаніи желѣза. Кромѣ того въ чугунѣ нерѣдко находятся запутанные глиноземистые шлаки. Мнѣ лично никогда не удавалось найти въ чугунѣ алюминій, даже въ тѣхъ случаяхъ, когда другія лица увѣряли, что онъ содержитъ алюминій. Съ другой стороны Мразекъ, сплавляя желѣзную проволоку съ кріолитомъ ($Na^{12}Al^{2}F^{7}$) кварцемъ и натріемъ получилъ сплавъ содержавшій 91,59% желѣза, 2,30% алюминія, 5,95% кремнія и 0,162 углерода. Сплавляя же оба эти металла или употребляя электрическій токъ при возстановленія алюминія углемъ, можно получить сплавы ихъ въ произвольныхъ вѣсовыхъ отношеніяхъ. Сплавы эти, какъ нашелъ уже Девиль[2]), при болѣе значительномъ содержаніи алюминія тверды, хрупки, и кристаллизуются въ видѣ иголокъ. При окислительномъ плавленіи такого продукта алюминій быстро сгораетъ и выдѣляется [3]).

Малое содержаніе алюминія (меньше 2%) увеличиваетъ вязкость и уменьшаетъ тягучесть желѣза. Если содержаніе алюминія не выше 0,1%, то уменьшеніе это незначительно, но всетаки замѣтно и быстро увеличивается съ увеличеніемъ содержанія алюминія [4]).

Довольно часто прибавляютъ алюминій при полученіи литаго желѣза для разрушенія растворенной въ немъ закиси

[1]) Dinglers Polyt. J. и др.

[2]) H. Sainte Claire Deville, de L'aluminium, ses proprietes, sa fabrication et ses applications Paris 1859 p. 40.

[3]) Journal of the Iron and Steel Institute 1890. II. стр. 189.

[4]) Опыты: Journal of the Iron and Steel Institute 1890. II p. 185, 191, 195; далѣе: Stahl und Eisen 1888. s. 87.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

желѣза и выдѣленія кислорода. Однако въ виду увеличенія хрупкости, которое вызываетъ остающійся въ желѣзѣ алюминій количество его, прибавляемое къ желѣзу, должно быть таково, чтобы его какъ разъ было достаточно для выдѣленія кислорода, но въ желѣзѣ не оставалось бы значительнаго избытка алюминія.

Температура плавленія желѣза отъ содержанія въ немъ алюминія не понижается или, если и понижается, то весьма незначительно. Осмондъ нашелъ, что температура плавленія сплава желѣза съ алюминіемъ съ 5,08% алюминія, 0,15% углерода и 0,20% кремнія была 1475° С, слѣдовательно немногимъ ниже температуры плавленія чистаго желѣза (1500° С.), несмотря на то, что присутствіе кремнія углерода должно было способствовать пониженію температуры плавленія [1]).

Жидкость расплавленнаго желѣза отъ содержанія аллюминія уменьшается; желѣзо съ 0,5% аллюминія даже при сильномъ перегрѣвѣ остается густымъ.

Ковкость желѣза совершенно исчезаетъ при содержаніи аллюминія нѣсколько большемъ 5% [2]).

О вліяніи содержанія алюминія на способность желѣза поглощать углеродъ и на формы углерода было уже подробно сказано выше.

14. Желѣзо и титанъ, ванадій.

Большая часть находящейся въ нѣкоторыхъ желѣзныхъ рудахъ титановой кислоты при плавкѣ рудъ, вслѣдствіе трудной возстановимости титана, переходитъ въ шлакъ, уменьшая его легкоплавкость (стр. 189).

Отсюда понятно, что полученный изъ такихъ рудъ чугунъ обыкновенно содержитъ только слѣды титана. Въ чугунѣ, выплавленномъ при высокой температурѣ, полученной путемъ сильнаго нагрѣва дутья, иногда можно найти 0,1—0,2% титана, рѣдко болѣе. Поэтому присутствіе въ рудахъ титановой кислоты имѣетъ большее значеніе въ виду ея упомянутаго вліянія на шлаки, чѣмъ въ виду случайнаго, непосредственнаго вліянія содержанія титана на получающійся чугунъ.

Путемъ возстановительнаго плавленія титановой кислоты съ желѣзомъ, или окислами его, и съ углемъ въ тигляхъ, тоже лишь въ немногихъ случаяхъ удавалось получать титанъ содержащее углеродистое желѣзо Зефштремъ (Seftström) получилъ при одномъ изъ подобныхъ опытовъ весьма твердое, но ковкое желѣзо съ 4,78% титана.

[1]) Stahl und Eisen 1891. s 637 также Journal of the Iron and Steel Institute 1890, II, p. 161.

[2]) Journal of the Iron and Steel Institute 1890. II p. 177.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Несомнѣнно, что при окислительной плавкѣ титанъ-содержащаго чугуна титанъ быстро выдѣляется изъ него, вмѣстѣ съ кремніемъ и марганцемъ.

Упоминанія заслуживаетъ еще своеобразное соединеніе титана, которое находятъ иногда въ доменныхъ печахъ, послѣ ихъ выдувки, частью въ видѣ мѣдно-красныхъ кубическихъ кристалловъ съ металлическимъ блескомъ, частью же въ видѣ краснаго налета на такъ называемыхъ жукахъ. По изслѣдованію Велера[1]) (Wöhler) соединеніе это состоитъ изъ азотисто-ціанистаго титана, формула коего $Ti_3C N_4$; по Цинкену (Zincken) соединеніе это при высокой температурѣ улетучивается.

Ванадій находится иногда въ тѣхъ сортахъ чугуна, которые получены изъ ванадій содержащихъ рудъ. Зефштремъ впервые нашелъ его въ ковкомъ желѣзѣ, приготовленномъ изъ чугуна выплавленнаго изъ рудъ Таберга. Такъ какъ это ковкое желѣзо во всякомъ случаѣ было получено путемъ окислительнаго плавленія чугуна, то приходится заключить, что ванадій не вполнѣ выдѣляется подъ вліяніемъ такой плавки. Относительно вліянія содержанія ванадія на свойства желѣза до сихъ поръ опытовъ произведено не было

15, Желѣзо и свинецъ, серебро, цинкъ, золото, платина, осмій, иридій, палладій и молибденъ.

Свинецъ нерѣдко встрѣчается въ желѣзныхъ рудахъ въ видѣ вкрапленнаго свинцоваго блеска и возстановляется вмѣстѣ съ желѣзомъ. Выше было уже упомянуто, однако, что свинецъ трудно сплавляется съ желѣзомъ. Вслѣдствіе этого возстановленный свинецъ отдѣляется благодаря своему большему удѣльному вѣсу отъ чугуна и можетъ быть полученъ отдѣльно отъ послѣдняго, чѣмъ нерѣдко на практикѣ и пользуются. Обыкновенно свинецъ содержитъ серебро, которое также трудно образуетъ сплавы съ желѣзомъ, но зато легко сплавляется со свинцомъ, изъ котораго можетъ быть впослѣдствіи выдѣлено [2]).

На нѣкоторыхъ доменныхъ заводахъ, полученный такимъ образомъ серебро-содержащій свинецъ составляетъ не маловажную статью доходовъ завода.

Цинкъ также нерѣдко является спутникомъ желѣзныхъ рудъ и возстановляется при ихъ плавкѣ. Однако, малая способность желѣза и цинка образовать сплавы съ одной стороны, а съ другой стороны летучесть цинка при высокихъ

[1]) Dinglers polyt. Journal, Band CXV, § 75.

[2]) Фарадей ((Farodey) и Штодаръ (Stadart) нашли, что желѣзо можетъ поглотить лишь 0,2% серебра, которое мало вліяетъ въ этомъ случаѣ на его свойства (Philosophical Transactions 1822, 255.)

НБ УДУНТ (ІПБТ)

температурахъ ведутъ къ тому, что возстановленный цинкъ въ такихъ случаяхъ уносится газами, чтобы впослѣдствіи при соприкосновеніи съ окисляющими газами, свободнымъ кислородомъ, водянымъ паромъ или углекислотою, снова окислиться въ окись цинка. Въ доменныхъ печахъ, проплавляющихъ цинкъ-содержащія руды, эта окись цинка, въ смѣси съ незначительными количествами металлическаго цинка и другихъ тѣлъ садится на стѣнкахъ верхнихъ, болѣе холодныхъ частей печи, въ видѣ постоянно утолщающагося слоя, образуя здѣсь такъ называемыя колошниковыя настыли, которые нужно время отъ времени выламывать, чтобы предупредить закупориваніе печи. Затѣмъ эти настыли перерабатываются на цинкъ на цинковыхъ заводахъ.

Въ чугунѣ, полученномъ изъ цинкъ-содержащихъ рудъ, едва ли когда нибудь находили больше чѣмъ слѣды цинка. Несмотря на это, въ литейныхъ мастерскихъ хорошо извѣстно, что, какъ и я неоднократно наблюдалъ, прибавленіе цинка къ сѣрому литейному чугуну дѣлаетъ его жесткимъ и склоннымъ къ отбѣливанію. Слѣдовательно, если въ этомъ случаѣ и не происходитъ дѣйствительнаго поглощенія цинка желѣзомъ, то указанное вліяніе слѣдуетъ приписать косвенному воздѣйствію цинка, въ особенности выдѣленію кремнія въ видѣ какого нибудь соединенія съ прибавленнымъ цинкомъ. Химическихъ изслѣдованій этого явленія до сихъ поръ не производилось. Малыя количества желѣза, наоборотъ, хорошо растворяются въ большихъ количествахъ цинка. На днѣ чугунныхъ котловъ, въ которыхъ цинкъ сохранялся долгое время въ жидкомъ состояніи, получается сплавъ, температура плавленія котораго выше температуры плавленія цинка, и который время отъ времени слѣдуетъ удалять, чтобы онъ не затруднялъ передачу теплоты цинку. Онъ имѣетъ сѣровато-бѣлый цвѣтъ и грубо-листоватое сложеніе и содержитъ кромѣ цинка около 4% желѣза и незначительныя количества углерода. Подобный сплавъ, изслѣдованный мною, содержалъ 4,03% желѣза, 0,33% углерода и 95,64% цинка. При очищеніи цинка, когда долгое время сохраняютъ его въ жидкомъ состояніи, иногда выдѣляются также подобные сплавы. Одинъ изъ такихъ сплавовъ, находившійся между выдѣленнымъ свинцомъ и болѣе чистымъ цинкомъ, полученный на заводѣ Rosamundenhütte, и мною изслѣдованный, содержалъ 6,33% желѣза и кромѣ того слѣды свинца и сѣры. Сложеніе его было мелкозернистое, цвѣтъ сѣровато-бѣлый.

По Биллингсу незначительныя количества цинка могутъ поглощаться ковкимъ желѣзомъ, дѣлая его красноломкимъ [1]).

Съ золотомъ, платиною, осміемъ, иридіемъ и палладіемъ желѣзо можетъ образовать сплавы, но какого

[1]) Dinglers polyt. Journal, Band CCXXVIII, S. 427.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

нибудь серьезнаго практическаго примѣненія этихъ сплавовъ ожидать нельзя. Сплавы эти тверже, чѣмъ обыкновенное желѣзо, хрупче и въ большинствѣ случаевъ менѣе ковки [1]. По Биллингсу 1% молибдена дѣлаетъ желѣзо красноломкимъ и негоднымъ къ употребленію.

16. Желѣзо и кальцій, магній, барій, стронцій, калій и натрій.

Кальцій и магній трудно сплавляются или совершенно не образуютъ сплавовъ съ желѣзомъ. Ни Гей-Люссаку, ни Тенару не удалось получить кальцій содержащее желѣзо [2]. Точно также до сихъ поръ не извѣстно магній-содержащее желѣзо. Можно принять, что въ тѣхъ случаяхъ, когда эти металлы были находимы въ продуктахъ желѣзнаго производства, они являлись не составными частями чугуна или желѣза, а замѣшаннаго въ металлѣ шлака [3]. Подобно кальцію и магнію относятся барій и стронцій. Калій и натрій, напротивъ того, возстановляются углеродомъ и образуютъ сплавы съ желѣзомъ, по крайней мѣрѣ, это доказалъ Гей-Люссакъ по отношенію къ калію. Поэтому не невѣроятно, что очень малыя количества этихъ металловъ могутъ возстановляться при выплавкѣ чугуна въ доменныхъ печахъ и образовать съ нимъ сплавы [4]. Замѣтнаго вліянія на свойства желѣза, однако, такія незначительныя количества этихъ металловъ не оказываютъ.

17. Желѣзо и водородъ.

Желѣзо можетъ поглощать водородъ въ различныхъ пропорціяхъ и образовать съ нимъ сплавы. Водородъ этотъ, подобно всякой другой составной части сплавовъ, находится въ жидкомъ желѣзѣ въ жидкомъ состояніи, въ твердомъ же въ твердомъ. Даже весьма малыя количества такого погло-

---

[1]) Сопоставленіе опытовъ произведенныхъ надъ этими сплавами находится у Перси. Руководство къ металлургіи стр. 310 русскаго перевода.

[2]) Перси. Руководство, стр. 335 и 336.

[3]) Довольно часто однако были приводимы анализы чугуна съ содержаніемъ кальція. При анализахъ этихъ однако, какъ мнѣ впослѣдствіи стало извѣстнымъ, было упущено изъ виду важное обстоятельство; почти всегдашнее присутствіе извести въ употребленной для анализа цѣдильной бумагѣ. Нѣкоторыя сорта фильтровальной бумаги настолько богаты известью, что если предварительно не обработать ихъ кислотами, то можно легко найти въ изслѣдуемомъ чугунѣ содержаніе кальція якобы въ 0,3%, хотя въ дѣйствительности онъ не содержитъ даже слѣдовъ кальція. Нѣкоторые реактивы также содержатъ иногда известь.

[4]) Фрезеніусъ нашелъ въ одномъ чугунѣ 0,06% калія и слѣды натрія.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

щеннаго водорода оказываютъ ясное вліяніе на свойства желѣза.

При осажденіи желѣза гальваническимъ токомъ изъ нейтрализованнаго амміакомъ раствора хлористаго желѣза, Кальете [1]) (Cailletet) получалъ блестящія чешуйки желѣза, которыя были настолько тверды, что царапали стекло. Анализъ далъ содержаніе въ нихъ водорода въ 0,028% [2]).

При лежаніи въ водѣ водородъ изъ нихъ выдѣлялся; сильное выдѣленіе изъ нихъ газовъ происходило въ водѣ нагрѣтой до 60—70° Ц. Подъ воздушнымъ насосомъ изъ желѣза тоже выдѣлялась большая часть заключающагося въ немъ водорода. Желѣзо, бывшее ранѣе хрупкимъ, дѣлалось, по удаленіи изъ него водорода, ковкимъ.

Если подвергнуть желѣзо дѣйствію слабой сѣрной или соляной кислоты, причемъ происходитъ выдѣленіе водорода, то желѣзо также можетъ поглотить водородъ, какъ это сначала наблюдалъ Джонсонъ [3]) (Johnson), а впослѣдствіи Юзъ [4]) (Hugues), Бедекеръ [5]) и самъ авторъ [6]). Я нашелъ въ обработанной такимъ образомъ желѣзной проволокѣ 0,0021—0,0052% водорода. Поглощая водородъ металлъ теряетъ гибкость и дѣлается болѣе хрупкимъ.

Вліяніе это болѣе замѣтно въ тонкихъ, чѣмъ въ толстыхъ вещахъ, въ стали, чѣмъ въ ковкомъ желѣзѣ и всего меньше замѣтно въ чугунѣ. Стальныя пружины, которыя не будучи обработаны кислотами, обладаютъ большою гибкостью и растяжимостью, ломаются при той же нагрузкѣ какую онѣ выдерживали раньше, если ихъ обработать указанными выше кислотами.

Проволока, выдержавшая многократные изгибы будучи обработана кислотами, ломалась послѣ первыхъ изгибовъ. Нѣкоторыя относящіяся сюда данныя, полученныя путемъ опытовъ, будутъ сообщены въ третьемъ томѣ металлургіи. Если такое, водородъ содержащее желѣзо оставить лежать

---

[1]) Comptes rendus, vol. LXXX, p. 319.

[2]) Обыкновенно содержаніе водорода въ металлѣ обозначаютъ не по вѣсу, а по объему газообразнаго водорода. Понятно, что при этомъ для содержанія водорода получаются гораздо большія числа. Найденный 0,028% водорода занимаютъ въ газообразномъ состояніи объемъ почти въ 300 разъ большій объема твердаго желѣза, съ которымъ они находились въ сплавѣ. Такъ какъ, однако, найденный въ желѣзѣ водородъ заключался въ немъ не въ видѣ газа, а въ видѣ сплава съ желѣзомъ, то подобный способъ опредѣленія содержанія водорода нельзя одобрить. Онъ также мало логиченъ, какъ если бы задумать опредѣлять содержаніе кислорода въ окиси желѣза, въ кремне-кислотѣ и т. д., по объему, который занимаетъ газообразный кислородъ.

[3]) Procedingus Royal Society XXIII, 168 (1875).

[4]) Journal Society Telegraph Engineers 1880, p. 163; также Scientific American vol. XLII, p. 362.

[5]) Zeitschr. des Ver. deutsch. Ingenieure 1888, S. 186.

[6]) Stahl und Eisen, 1887, S. 681; 1889, S. 745.

НБ УДУНТ (ПБТ)

продолжительное время въ сухомъ воздухѣ, то оно снова пріобрѣтаетъ свои первоначальныя качества; еще скорѣе можно достигнуть той же цѣли нагрѣвая обработанные кислотами куски металла. Въ обоихъ случаяхъ поглощенный желѣзомъ водородъ снова улетучивается въ газообразномъ состояніи.

Хотя водородъ, заключающійся въ желѣзѣ полученномъ гальваническимъ путемъ, а также въ желѣзѣ, подвергшемся обработкѣ кислотами, и исчезаетъ при нагрѣваніи послѣдняго, однако даже расплавленное желѣзо можетъ растворить въ себѣ водородъ, если придетъ съ нимъ въ соприкосновеніе въ моментъ его рожденія [1]). Случай же этотъ наблюдается часто. Весь атмосферный воздухъ, всѣ продукты горѣнія всегда заключаютъ въ себѣ водяной паръ, разлагаемый съ выдѣленіемъ водорода, если онъ приходитъ въ соприкосновеніе съ жидкимъ желѣзомъ или раскаленнымъ до бѣла углемъ.

Количество водорода, которое можетъ поглотить расплавленное желѣзо, значительно и зависитъ отъ давленія газовъ, подъ которымъ находится жидкій металлъ, а также и отъ химическаго состава металлическаго продукта. Къ сожалѣнію опыты, произведенные до сихъ поръ надъ вліяніемъ химическаго состава желѣза, на его способность растворять водородъ, крайне немногочисленны, что впрочемъ въ достаточной степени объясняется тою трудностью, съ которой связаны подобныя изслѣдованія. Судя по наблюденіямъ на практикѣ, значительное содержаніе марганца увеличиваетъ растворимость водорода, тогда какъ содержаніе углерода ее уменьшаетъ.

Если желѣзо, поглотившее въ плавильной печи водородъ, вытекаетъ изъ нея, то часть заключающагося въ немъ водорода снова удаляется, частью благодаря движенію [2]), частью же вслѣдствіе наступающаго охлажденія и въ отдѣльныхъ случаяхъ и уменьшенія давленія газовъ на металлъ. Пока металлъ еще совершенно жидокъ, поверхность его покрыта мало свѣтящимся горящимъ слоемъ газовъ; когда же онъ начинаетъ густѣть, то начинаетъ бросать искры, состоящія изъ частицъ металла, выброшенныхъ выдѣляющимися га-

[1]) Парри нашелъ, что водородъ даже не въ моментъ рожденія, можетъ поглощаться жидкимъ желѣзомъ (Journal of the Iron and steel Institute 1874, p. 92). Однако несомнѣнно, что выдѣляющійся водородъ легче и въ большемъ количествѣ поглощается желѣзомъ, чѣмъ уже существующій.

[2]) Что газы легче выдѣляются изъ жидкостей, въ которыхъ они растворены (напр. углекислота въ водѣ) если привести жидкость въ движеніе (напр. перемѣшиваніемъ), чѣмъ если жидкость находится въ покоѣ, это фактъ, который ежедневно можно наблюдать въ обыденной жизни.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

зами. Если онъ, прежде окончательнаго застыванія переходитъ черезъ тѣстообразное, пластичное состояніе (ковкое желѣзо), и если поверхность его свободна, то она сильно вздувается. Наконецъ, когда заключающіеся въ металлѣ газы уже не могутъ больше выдѣляться изъ него, то внутри его образуются пузыри, частью микроскопически малые, частью же значительной величины, которые наполнены газами. Мюллеръ освобождалъ посредствомъ сверленія желѣза подъ кипяченой водою, заключенные въ немъ газы и собиралъ ихъ [1]).

Вотъ нѣкоторые данныя, взятыя изъ его изслѣдованій такихъ газовъ, выраженныя въ процентахъ по объему:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Водорода	90,3	81,9	88,8	77,0	92,4	73,4	67,0	52,1	62,2
Азота	9,7	18,1	10,5	23,0	5,9	25,3	30,8	44,0	35,5
Окиси углерода . . .	0,0	0,0	0,7	0,0	1,4	1,3	2,2	3,9	2,8

1) Бессемеровская рельсовая сталь.

2) Бессемеровская пружинная сталь.

3) Бессемеровская рельсовая сталь до прибавленія къ ней зеркальнаго чугуна.

4) Та же сталь послѣ прибавленія зеркальнаго чугуна.

5) Плотная сталь до ковки.

6) Плотная сталь послѣ ковки, причемъ, какъ упомянуто, количество газовъ въ ней уменьшилось.

7) Мартеновская сталь завода Бохумъ.

8) Англійскій гематитовый чугунъ (бѣдный марганцемъ).

9) Чугунъ завода Georgs Marienhütte (содержащій марганецъ).

Подобные же результаты были получены англійскимъ химикомъ Стедомъ [2]).

Выдѣленіе водорода изъ жидкаго металла также зависитъ отъ химическаго состава послѣдняго. Повидимому кремній и алюминій затрудняютъ выдѣленіе газовъ. Газъ остается въ большихъ количествахъ растворенным въ металлѣ, если послѣдній заключаетъ въ себѣ кремній и алюминій, и металлъ застываетъ спокойнѣе.

Даже уже застывшій, но раскаленный металлъ продолжаетъ еще выдѣлять водородъ. Заключеніе это можно непосредственно вывести изъ того обстоятельства, что газы освобожденные Мюллеромъ и Стедомъ посредствомъ сверленія изъ желѣза были заключены въ немъ подъ давленіемъ и по выходѣ заняли объемъ гораздо большій, соотвѣтствовавшаго величинѣ высверленнаго отверстія. Мюллеръ вы-

[1]) Подробности объ этомъ см. статью Мюллера, Ztschr. d. Ver. deutsch Ingen. 1879 стр. 494.

[2]) Iron, vol. XVII, p. 414.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

числилъ, что давленіе это въ охладившемся желѣзѣ достигаетъ отъ 3 до 8 атмосферъ. Если же принять во вниманіе, что при обыкновенной температурѣ газы занимаютъ лишь одну пятую того объема, который они занимаютъ при температурѣ застыванія желѣза, то приходится заключить, что если всѣ изслѣдованные газы выдѣлялись еще изъ жидкаго металла, то вмѣсто найденнаго избытка давленія, въ пустотахъ должно было бы существовать давленіе болѣе слабое атмосфернаго. Образовавшіяся пустоты имѣли бы большій объемъ.

Въ закрытыхъ, узкихъ колодцахъ, въ которые ставятся отлитыя еще раскаленныя болванки литаго желѣза (нагрѣвательные колодцы, см. третій томъ) по вынутіи болванокъ находятъ обыкновенно значительныя количества водорода. Паттинсонъ и Стедъ [1]) нашли для этихъ газовъ слѣдующій составъ въ частяхъ по объему:

Азота	62,92	69,65
Водорода	25,16	18,62
Окиси углерода. . .	7,95	6,90
Углекислоты. . . .	3,97	4,83
Кислорода.	0,00	0,00

Такъ какъ кислородъ вполнѣ отсутствуетъ, то отсюда можно заключить, что кислородъ воздуха, заключавшагося въ этомъ пространствѣ, сначала былъ израсходованъ на сожиганіе выходившаго изъ металла водорода, и, слѣдовательно, что отношеніе присутствовавшаго первоначально водорода къ остальнымъ газамъ было еще значительнѣе, чѣмъ это показываютъ цифры.

Упомянутое выше обстоятельство, что высокое содержаніе марганца облегчаетъ поглощеніе водорода расплавленнымъ металломъ, содержаніе углерода затрудняетъ его, а содержаніе кремнія затрудняетъ выдѣленіе растворенаго въ металлѣ водорода, объясняетъ намъ, почему сѣрый, бѣдный марганцемъ, но богатый кремніемъ чугунъ выдѣляетъ лишь незначительныя количества водорода; тогда какъ чугунъ богатый марганцемъ (зеркальный) можетъ выдѣлить значительныя количества его, точно также какъ и бѣдное углеродомъ и кремніемъ литое желѣзо. Пузыри же во внутренности металла, которые образуются заключенными въ немъ газами, гораздо замѣтнѣе въ литомъ желѣзѣ, постепенно переходящемъ изъ жидкаго состоянія въ твердое и задерживающемъ во время своего переходнаго, тѣстообразнаго состоянія, пузыри газовъ, чѣмъ въ чугунѣ, особенно богатомъ марганцемъ, который остается совершенно жидкимъ до тѣхъ поръ, пока вдругъ не затвердѣетъ, отчего уничтожается возможность образованія газовыхъ пузырей.

[1]) Изъ Journal of the Iron and Steel Institute 1882 переведено въ Stahl und Eisen 1822, 8 499.

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Мюллеръ нашелъ въ различныхъ сортахъ чугуна и желѣза слѣдующія количества газовъ, отнесенныхъ къ объему металла, изъ котораго они были освобождены описаннымъ уже образомъ посредствомъ сверленія [1]).

Во богатомъ кремніемъ, но бѣднымъ марганцемъ чугунѣ (англійскій гематитовый чугунъ)	3—5%	По отношенію къ объему желѣза.
Въ различныхъ сортахъ чугуна болѣе богатыхъ марганцемъ (бессемеровскій чугунъ) .	10—35	
Въ различныхъ сортахъ литаго желѣза и стали (бессемеровскихъ и мартеновскихъ) послѣ проковки	14—60	
Въ прокованной литой стали, которая въ непрокованномъ состояніи дала въ 2 пробахъ 14 и 17% газа	5,5	

Во всѣхъ случаяхъ полученная сверленіемъ газовая смѣсь состояла главнымъ образомъ изъ водорода съ малыми количествами азота и иногда окиси углерода.

Троостъ и Готефейль прокаливали желѣзные цилиндры въ 500 гр. вѣсомъ каждый, при температурѣ 100° Ц. въ безвоздушномъ пространствѣ въ продолженіи 190 часовъ, съ цѣлью удаленія изъ нихъ заключенныхъ въ нихъ газовъ [1]). Вотъ результаты, ими полученные

Изъ богатаго марганцемъ, но бѣднаго кремніемъ чугуна (зеркальнаго)—29,5 куб. стм. газа съ 27 к. стм. водорода.

Изъ чугуна, менѣе богатаго марганцемъ, но болѣе богатаго кремніемъ (древесно-угольный литейный чугунъ)—16,7 к. стм. газа съ 12,3 к. стм. водорода.

Изъ прокованной тигельной стали только 2,20 к. стм. газа съ 0,50 к. стм. водорода.

При проковкѣ стали газъ, находившійся въ ея пустотахъ, очевидно, удалился.

Подобный же опытъ со сварочнымъ желѣзомъ далъ 18,5 к. стм. газа съ 10,8 к. стм. окиси углерода, которая, впрочемъ, во всякомъ случаѣ образовалась при прокаливаніи металла, вслѣдствіе воздѣйствія заключавшагося въ немъ богатаго окислами шлака на углеродъ желѣза.

Тѣ же самыя пробы прокаливали затѣмъ въ продолженіи 48 часовъ при 800° Ц. въ струѣ водорода. При этомъ древесно-угольный чугунъ снова поглотилъ 44 к. стм. водорода, тигельная сталь—6, 4 к. стм. и сварочное желѣзо—10 к. стм. Количество водорода, поглощенное зеркальнымъ чугуномъ не было опредѣлено. Однако, мало вѣроятности, чтобы при послѣднихъ опытахъ дѣйствительно произошло раствореніе водорода въ желѣзѣ; водородъ, вѣроятно, проникъ въ газообразномъ состояніи въ поры испытывавшихся кусковъ, за-

[1]) Zeitschr d. Ver. deutsch. Ingenieure (Band XXIII s 493, Stahl und Eisen 1882. s. 537.

[2]) Comptes rendus, tome XXVI p. 482 и 565.

НБ УДУНТ (ИПБТ)

держался шероховатыми ихъ поверхностями, и былъ впослѣдствіи въ такомъ видѣ и найденъ. Если опыты эти и упоминаются здѣсь, то лишь потому, что въ спеціальной литературѣ на нихъ неоднократно указывалось.

Весьма вѣроятно, однако, что нѣкоторая часть водорода, который растворяется въ жидкомъ желѣзѣ и выдѣляется изъ него частью при остываніи, частью же еще въ то время, когда оно находится въ раскаленномъ состояніи, можетъ оставаться въ связанномъ—растворенномъ или сплавленномъ видѣ еще и въ охладившемся вполнѣ металлѣ. Точное опредѣленіе этой части водорода затруднительно, такъ какъ для этого нужно отдѣлить находившійся въ микроскопически малыхъ пустотахъ, слѣдовательно, газообразный водородъ отъ связаннаго водорода. При изслѣдованіи весьма мелко истолченныхъ пробъ путемъ ихъ сожиганія въ струѣ совершенно сухого кислорода, я нашелъ слѣдующее содержаніе водорода въ пропентахъ отъ вѣса желѣза [1]).

Въ желѣзо-марганцѣ съ 70% марганца	0,0028%
Въ кремнистомъ чугунѣ съ 11,29% Si, 2,08% Mn и 1,59% C	0,0028
Въ мартеновскомъ желѣзѣ (литомъ) съ 0,10% C, 0,14% Si и малымъ содержаніемъ марганца	0,0017

Дальнѣйшія наблюденія должны доказать, не заключались ли и эти найденныя количества водорода въ желѣзѣ уже въ газообразномъ состояніи.

18. Желѣзо и азотъ.

Что при нѣкоторыхъ обстоятельствахъ желѣзо можетъ поглощать значительныя количества азота, не подлежитъ никакому сомнѣнію благодаря произведеннымъ въ этомъ отношеніи опытамъ. При нагрѣваніи металлическаго желѣза въ газообразномъ амміакѣ, вѣсъ желѣза увеличивается на 11%, между тѣмъ какъ удѣльный вѣсъ его уменьшается и оно становится хрупкимъ, какъ это доказали уже раньше Саваръ (Savard) и Депре [2]) (Deprez), а позднѣе Буффъ [3]) Во всѣхъ этихъ случаяхъ въ желѣзѣ находили азотъ, тогда какъ по изслѣдованіямъ Фреми поглощенія водорода при этомъ не происходитъ [4]).

Подобное, богатое азотомъ желѣзо, которое можно получить также путемъ легкаго нагрѣванія хлористаго желѣза въ струѣ амміака, подробно было изслѣдовано Штальшмидтомъ [5]). Онъ получалъ желѣзо со среднимъ содержаніемъ

[1]) Stahe und Eisen 1882, S. 591.
[2]) Annales de chimie et de phisigue, tome XLI, p. 112
[3]) Lilbigs Annall, Band LXXXIII s. 375.
[4]) Annalles de chemie ot de phisique, tome LXXXIII p. 375.
[5]) Poggendorffs Annall, Band CXXV, S. 37

НБ УДУНТ (ІПБТ)

азота въ 11,1% и пришелъ къ заключенію, что въ этомъ случаѣ получается болѣе тѣсное химическое соединеніе формулы Fe^4N.

При болѣе сильномъ нагрѣваніи въ струѣ водорода, воздуха и даже амміака, азотистое желѣзо разлагается и азотъ вполнѣ выдѣляется.

Иногда при разламываніи большихъ кусковъ желѣза, въ особенности литаго, можно замѣтить улетучивающійся амміакъ частью по запаху, частью же и помощью химическихъ изслѣдованій; изъ этого можно заключить, что здѣсь азотъ и водородъ присутствовали одновременно [1]).

Такъ какъ, однако, амміакъ, какъ это было сейчасъ указано, разлагается желѣзомъ при нагрѣваніи, то нужно полагать, что соединеніе обоихъ этихъ газовъ произошло только въ остывшемъ желѣзѣ.

Въ прежнее время находили въ желѣзѣ, полученномъ заводскимъ путемъ, часто весьма значительныя количества азота [2]) а приписывали этому содержанію его особое вліяніе. Позднѣйшія изслѣдованія Раммельсберга [3]), а въ новѣйшее время Аллена [4]) (Allen) не оставили ни какого сомнѣнія въ томъ, что количество азота, встрѣчающагося въ обыкновенномъ желѣзѣ, можетъ быть только незначительнымъ, и что замѣтнаго вліянія его на свойства желѣза ожидать нельзя.

Алленъ при изслѣдованіи различныхъ сортовъ желѣза нашелъ въ нихъ слѣдующія содержанія азота:

Тонкая желѣзная проволока. . .	0,0123%
Желѣзо броневыхъ плитъ . . .	0,0131 „
Мартеновская сталь съ 0,22% C .	0,0107 „
Литая сталь съ 1,30% C	0,0172 „
Зеркальный чугунъ съ 3,8% C и 20% Mn	0,0041 „

Толандеръ также находилъ въ многочисленныхъ пробахъ литаго желѣза содержаніе азота отъ 0,006 до 0,022% [5]).

Что расплавленное желѣзо можетъ поглощать вмѣстѣ съ водородомъ и нѣкоторыя количества азота, выдѣляя ихъ снова при своемъ охлажденіи, слѣдуетъ изъ приведенныхъ выше (стр. 340) анализовъ газовъ, найденныхъ въ пустотахъ металла. Кромѣ того съ нѣкоторою вѣроятностью можно допустить, что малыя количества растворенаго такимъ обра-

---

[1]) Нѣсколько такихъ наблюденій сопоставлены у Howe, Metallurgie of Iteel, стр. 113.

[2]) Такъ, напримѣръ, Шафтейль думалъ, что нашелъ въ бѣломъ чугунѣ 0,76%, а въ зеркальномъ даже 1,20% азота (Philosophical Magazine, 1840. vol XVI p. 44; Перси. Руководство, стр. 151.

[3]) Monatsberichte der Berliner Akademie der Wissenschaften 1862, s. 692.

[4]) Iron, volt XVI. p. 132

[5]) Stale und Eisen. 1889. s. 115

НБ УДУНТ (ПБТ)

зомъ газа могутъ оставаться и въ остывшемъ желѣзѣ; такое заключеніе можно сдѣлать на основаніи упомянутаго образованія амміака. Однако вопросъ, происходили-ли незначительныя количества азота, найденныя Алленомъ и Толандеромъ, всецѣло изъ такого связаннаго азота или же изъ какихъ нибудь другихъ источниковъ, рѣшить также трудно, какъ и вопросъ, въ какой формѣ находился водородъ, присутствіе котораго найдено приведенными выше анализами.

При простомъ накаливаніи желѣза (безъ расплавленія) въ струѣ чистаго и сухаго азота поглощенія азота, насколько позволяютъ думать мои наблюденія, не происходитъ. Шт а льшмидтъ также при упомянутыхъ изслѣдованіяхъ не нашелъ никакихъ слѣдовъ поглощенія азота, когда прокаливалъ желѣзо въ струѣ сухого азвта.

19. Желѣзо и окись углерода.

Объ отношеніяхъ желѣза и его окисловъ къ окиси углерода, въ особенности, когда послѣдняя служитъ возстановителемъ, говорилось уже не разъ выше.

Кромѣ того на стр. 285 былъ описанъ своеобразный процессъ распаденія окиси углерода съ выдѣленіемъ углерода при соприкосновеніи ея съ окислами желѣза при температурѣ около 400° Ц.

Стедъ полагаетъ, что металлическій алюминій также можетъ разлагать окись углерода, превращаясь въ окись алюминія (глиноземъ) по уравненію $2Al+3CO=Al_2O_3+3C$ [1]). Процессъ этотъ, можетъ быть, имѣетъ значеніе на вліяніе прибавленія незначительныхъ количествъ алюминія при полученіи литого желѣза. Алюминій, разрушая окись углерода, выдѣлившуюся или растворенную въ металлѣ, затрудняетъ образованіе газовъ.

На стр. 269 было уже упомянуто, что окись углерода можетъ образоваться отъ дѣйствія закиси желѣза, растворенной въ жидкомъ желѣзѣ, на углеродъ, въ немъ же заключающійся. Вліяніе, оказываемое выдѣленіемъ такой окиси углерода совершенно подобно вліянію выдѣляющагося водорода, (брызги, образованіе пустотъ). Поэтому газы, взятые изъ пустотъ застывшаго желѣза содержатъ часто кромѣ водорода и окись углерода, какъ это показываютъ уже приведенные выше (стр. 340) анализы такихъ газовъ. Еще большія количества окиси углерода находятся въ газахъ, которыя выдѣляются изъ жидкаго еще металла [2]).

[1]) Journal of the Iron and Steel Institute 1890, II, p. 190.

[2]) Напомнимъ здѣсь, что газы найденные въ пустотахъ большею частью попали въ нихъ послѣ застыванія металла, какъ это было до-

НБ УДУНТ (ІПБТ)

Если къ желѣзу, которое одновременно содержитъ закись желѣза и углеродъ, для разрушенія закиси желѣза прибавить желѣзо-марганецъ, содержашій также углеродъ, то закись желѣза будетъ дѣйствовать не только на марганецъ прибавленнаго желѣзомарганца, но отчасти и на углеродъ, содержащійся теперь еще въ большемъ избыткѣ въ желѣзѣ. Результатомъ этого является быстрое, но сильное выдѣленіе газовъ. Выдѣляющійся теперь газъ содержитъ большія количества окиси углерода, чѣмъ до прибавленія желѣзо-марганца.

Мюллеръ, изслѣдованіе котораго надъ составомъ газовъ, заключенныхъ въ остывшемъ металлѣ были приведены выше, собиралъ выдѣлившіеся изъ жидкаго еще металла газы и нашелъ, что составъ ихъ былъ слѣдующій [1]).

Частей	CO	H	N	CO_2
	по объему.			
Бессемеровское литое желѣзо до присадки углеродъ — содержащаго желѣзомарганца	18,6	54,2	24,9	2,3
Бессемеровское литое желѣзо послѣ присадки ферро-мангана	37,3	47,3	7,9	7,5
Тоже	34,0	49,5	8,6	7,9
Тоже	43,4	46,9	6,6	3,1
Весьма богатое газами бессемеровское литое желѣзо послѣ присадки	38,4	51,0	2,2	8,4
Тоже	70,7	20,7	6,5	2,1
Томассовское желѣзо до присадки	8,8	71,9	18,1	2,0
Тоже	27,3	43,5	26,2	3,0
Тоже	35,0	38,4	22,5	4,1
Тоже послѣ присадки.	61,3	2,3	36,4	—
Тоже	57,5	4,7	38,0	—
Тоже	50,9	5,1	43,3	0,3
Тоже	77,3	6,4	16,0	0,4
Мартеновское литое желѣзо до присадки.	48,0	35,1	15,4	1,5
Тоже	46,1	43,6	6,9	3,4

Найденное содержаніе углекислоты произошло во всякомъ случаѣ отъ воздѣйствія незначительныхъ количествъ воздуха, которыхъ нельзя было избѣжать при улавливаніи газовъ, на выдѣлившуюся окись углерода.

Окись углерода можетъ до нѣкоторой степени растворяться и въ расплавленномъ желѣзѣ и снова выдѣляться изъ него при тѣхъ же условіяхъ, которыя вызываютъ выдѣленіе растворенныхъ въ немъ водорода и азота.

казано выше. Если застывшій металлъ вообще еще выдѣляетъ окись углерода, то количество ея во всякомъ случаѣ незначительно, по сравненію съ количествомъ выдѣляющагося водорода.

[1]) Stahl und Eisen 1883. s. 443.

НБ УДУНТ (ПБТ)

Это можно заключить изъ того обстоятельства, что и чугунъ выдѣляетъ въ жидкомъ состояніи окись углерода вмѣстѣ съ водородомъ, хотя въ этомъ случаѣ закись желѣза не можетъ существовать, а слѣдовательно не можетъ происходить новообразованія окиси углерода на счетъ закиси желѣза.

Мюллеръ нашелъ, что газы выдѣляющіеся изъ расплавленнаго чугуна имѣетъ слѣдующій составъ:

Частей	CO	H	N	CO_2
	по объему.			
Сѣрый бессемеровскій чугунъ съ 3,69% C,1,68% Si и 1,93% Mn.	37,3	59,3	0,5	3,9
Зеркальный чугунъ съ 4,18% C, 0,25% Si и 7,37% Mn	48,7	49,5	0,5	1,3
Томассовскій чугунъ съ 3,10% C, 0,20% Si, 0,74% Mn и 3,02% Ph.	39,6	46,8	10,0	3,6

Изъ анализовъ приведенныхъ на стр. 340, слѣдуетъ однако, что въ пустотахъ остывшаго чугуна, также какъ и въ пустотахъ остывшаго литаго желѣза преобладаетъ водородъ.

Застывшій металлъ, правда, находясь еще въ раскаленномъ состояніи выдѣляетъ еще водородъ и азотъ, но уже, какъ видно, не окись углерода.

Если окись углерода пропускается надъ металлическимъ желѣзомъ, возстановленнымъ при низкой температурѣ водородомъ, то она при 45–80° Ц. можетъ образовать съ желѣзомъ летучее соединеніе, которое однако снова распадается при болѣе высокой температурѣ [1]).

Для заводскаго процесса полученія желѣза явленіе это едва ли имѣетъ какое нибудь значеніе.

Литература.

Percy-Wedling. Handbueh der Eisenhüttenkunde Часть первая, стр. 1—266, заключаетъ въ себѣ свѣдѣнія объ лабораторныхъ опытахъ произведенныхъ до 1864 года, б. г. въ Лабораторіи д-ра Перси для уясненія вліянія разныхъ элементовъ на желѣзо, а также важнѣйшія изъ старыхъ теорій относящихся до металлургіи желѣза. Для лицъ незнакомыхъ съ иностранными языками можно указать на переводъ сочиненія д-ра Перси. Руководство къ металлургіи. Г-на Добронизскаго стр. 101 по 336.

Henry Marion Howe. The Metallurgie of steel. Vol I. New-Iork. 1890.

J Lowthian Bell. Ueber die Entwielung und Vervendung der Warme in Eisenhofen ubergesetzt von P. Tunner. См. также Горн. Журн. 1874 г. II стр. 206.

I Lowthian Bell Principle of the Manufacture of Iron and steel.

C. Schinz. Documente betreffend den Hochofen. Berlin. 1868. s 64.

[1]) Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft, 1891, s. 2248 (Mond und Quinke) Compes rendus, vol. CXII p. 1343 (Berthelot).

НБ УДУНТ (ІПБТ)

БИБЛИОТЕКА
ДНЕПРОПЕТРОВСКОГО
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

НБ
УДУНТ
(ІПБТ)

ЗАМѢЧЕННЫЯ ОПЕЧАТКИ:

	Напечатано:	Слѣдуетъ читать:
Стр. 68 стр. 3 снизу	Eisentötlen	Eisenhütten
Стр. 173 стр. 2 снизу	Sraite Metalluryie	Traite de Metallurgie
Стр. 252 стр. 8 снизу	des minerailleisen	des minerais en.

НБ
УДУНТ
(ІПБТ)

Сканувала Онуфрієнко М.М.

НБ УДУНТ (ІПБТ)