

669.7
0-74

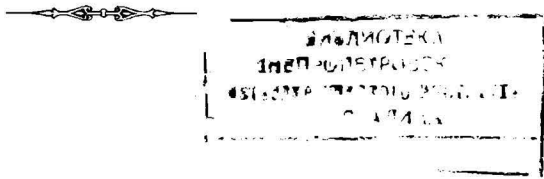
НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

669.1
Труды инженера Ф. Осмонда
и соавторства Ф. Осмонда
и М. П. Осмонда от издательства
Ф. Осмонд. *С. П. Осмонд*

ЖЕЛѢЗО И СТАЛЬ.

ПЕРЕВЕДЕНЪ СЪ ФРАНЦУЗСКАГО
ИНЖЕНЕРЪ-МЕХАНИКЪ
Г. ПИО-УЛЬСКІЙ.

106156



С.-ПЕТЕРБУРГЪ.
Книжный магазинъ Г. Шмицдорфъ (Р. Гаммершмидтъ)
Поставщикъ Двора Его Императорскаго Величества.
1890.

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

Доволено цензурою. С.-Петербургъ, 9-го Октября 1890 г.

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

ПРЕДИСЛОВІЕ ПЕРЕВОДЧИКА.

При настоящемъ развитіи техники и съ каждымъ годомъ усиливающейся потребности производства болѣе и болѣе совершенныхъ продуктовъ, рационально сдѣланное изслѣдованіе, проливающее свѣтъ на то или другое явленіе, происходящее во внутреннемъ строеніи металла, и дающее намъ возможность яснѣе себѣ усвоить тѣ измѣненія, которыя претерпѣваетъ металлъ въ различныхъ своихъ состояніяхъ, уже вноситъ не малую дозу пользы въ дѣло практики, а потому мы и сочли не безынтереснымъ предложить читателямъ прекрасный очеркъ французскаго ученаго F. Osmond'a, затрогивающій важные вопросы технологіи желѣза и стали.

Переводчикъ.

С.-Петербургъ.
1890 г.

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

Желѣзо и сталь.

Подъ именемъ стали въ прежнее время называли всякое углеродистое желѣзо, обладающее ковкостью и способностью принимать „закалку“, т. е. дѣлающееся послѣ предварительнаго нагрѣванія до температуры краснаго каленія, а затѣмъ быстрого охлажденія, твердымъ и хрупкимъ. — Свойство ковки отличаетъ сталь отъ чугуна, свойство же принимать закалку отличаетъ ее отъ желѣза.

Такое опредѣленіе было вполне подходящимъ, когда фабриковались только продукты, рѣзко различающіеся по своимъ свойствамъ, такъ сказать, отдѣленные одинъ отъ другаго значительнымъ промежуткомъ.

Но съ тѣхъ поръ какъ процессы Бессемера и Сименсъ-Мартенса наполнили этотъ промежутокъ между желѣзомъ и сталью цѣлою серіею совершенно новыхъ продуктовъ и съ тѣхъ поръ какъ рядомъ изысканій, и помощью прибавленія массы всевозможныхъ тѣлъ въ различныхъ пропорціяхъ добились, наконецъ, производства продуктовъ, обладающихъ безконечнымъ множествомъ оттѣнковъ, вызываемыхъ различными требованіями практики, слово „сталь“ приобрѣло нѣкоторое строго опредѣленное значеніе.

Однако намъ будетъ удобнѣе временно сохранить прежнее опредѣленіе, къ которому каждый изъ насъ привыкъ, и изучить сначала самую простую сталь или углеродистую сталь въ старомъ смыслѣ этого слова.

Придерживаясь того же самаго опредѣленія, сталь можно разсматривать въ двухъ различныхъ ея состояніяхъ, а именно:

1) Сталь незакаленную, получаемую при постепенномъ охлажденіи послѣ предварительнаго нагрѣва до-красна, ковую въ холодномъ состояніи и легко поддающуюся обработкѣ рѣзцомъ или пилой;

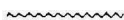
2) Сталь закаленную, получаемую при быстромъ охлажденіи послѣ предварительнаго нагрѣва до температуры краснаго каленія, твердую и хрупкую.

Къ этимъ двумъ родамъ стали слѣдуетъ еще присоединить:

3) Сталь отпущенную¹⁾, занимающую среднее положеніе между двумя предъидущими родами и представляющую собою закаленную сталь, вторично нагрѣтую до нѣкоторой опредѣленной температуры, но только ниже температуры самаго темнаго краснаго каленія.

Металлъ, подверженный такой операціи, постепенно теряетъ свою твердость и упругость и по своимъ свойствамъ тѣмъ болѣе приближается къ стали незакаленной, чѣмъ температура вторичнаго нагрѣва выше.

Въ каждомъ изъ этихъ трехъ видовъ стали мы сначала постараемся разсмотрѣть химическое состояніе углерода, а затѣмъ уже приступимъ къ изученію самаго распредѣленія углерода въ массѣ металла. А, такъ какъ ни химическое состояніе, ни распредѣленіе углерода не могутъ дать намъ полнаго представленія о всѣхъ свойствахъ стали, то мы будемъ разсматривать желѣзо, какъ тѣло полиморфное.



¹⁾ Въ оригиналѣ употреблено слово „revenu“ (по-англійски tempered, по-нѣмецки angelassen), словомъ же recuit (по-англійски annealed, по-нѣмецки geglüht) обозначается отожженная сталь, т. е. такая, которая охлаждена постепенно послѣ вторичнаго нагрѣва до температуры краснаго каленія.

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ.

Различныя состоянія углерода.

Долгое время въ продуктахъ металло-дѣлательнаго производства различали два различные вида углерода: графитъ и углеродъ химически соединенный съ металломъ.

Химическія свойства графита извѣстны; и такъ какъ это тѣло находится въ небольшихъ опредѣленныхъ количествахъ только въ чугунахъ, то имъ въ исторіи стали можно безъ погрѣшности пренебречь.

Остается такимъ образомъ углеродъ (химически) соединенный съ металломъ: онъ характеризуется свойствомъ обращаться въ газообразные углеводы отъ дѣйствія на металлъ соляной или концентрированной сѣрной кислотъ, а также свойствомъ растворяться въ азотной кислотѣ, окрашивая ее въ бурый цвѣтъ.

На этомъ послѣднемъ свойствѣ основанъ свой калориметрической методъ опредѣленія въ стали количества углерода Eggertz, методъ простой, быстрый и дающій при благопріятныхъ условіяхъ не только сравнимые между собою результаты, но и достаточно цѣнные въ дѣлѣ практики.

Такимъ способомъ количественнаго опредѣленія углерода въ стали пользуется большая часть извѣстныхъ заводовъ.

Спрашивается, выраженія „соединенный съ металломъ углеродъ“ или „растворенный въ массѣ металла“¹⁾ отвѣчаютъ ли единственному виду и вполне опредѣленному углероду? Послѣ долгихъ изслѣдованій нашли, что на вопросъ этотъ приходится отвѣтить отрицательно.

Karsten, изучая дѣйствіе кислотъ на углеродистое желѣзо, очень рѣзко различаетъ между продуктами обработки

¹⁾ dissous.

дна основныя вещества; прежде всего онъ разсматриваетъ „вещество графитистое, получаемое изъ незакаленной стали, изъ ковкаго желѣза, изъ извѣстныхъ родовъ сѣрыхъ чугуновъ и изъ бѣлаго чугуна, обратившагося отъ обжиганія въ сѣрый и мягкій; вещество это, легко разлагающееся подѣ дѣйствіемъ кислотъ, не есть чистый углеродъ, а также и не окись углерода, но представляетъ собою дѣйствительно сложное тѣло или соединеніе желѣза съ углеродомъ въ какой-то трудно опредѣлимой пропорціи. Это составное тѣло Karsten называетъ „polycarbure“ и прибавляетъ: „Не должно его смѣшивать съ гидратомъ углерода, представляющимъ собою темно-бурый остатокъ, отлагающійся отъ закаленной стали и бѣлаго чугуна подѣ дѣйствіемъ соляной и сѣрной кислотъ и обращающійся въ бурый порошокъ отъ дѣйствія на него азотной кислоты“.

Эти наблюденія, надлежащимъ образомъ объясненныя, привели Karsten'a къ формулированію, относительно состоянія углерода и его металлургическихъ преобразованій, идей весьма точныхъ и важныхъ по отношенію къ прогрессу знанія настоящаго времени.

Berthier¹⁾, въ свою очередь, старался выдѣлить изъ стали помощью брома или іода въ присутствіи воды углеродистое соединеніе, формулу котораго онъ полагалъ такою: FeC.

Caron²⁾ находитъ, что цементная сталь, растворяясь въ соляной кислотѣ, оставляетъ углеродистый остатокъ, болѣе обильный, чѣмъ даже кованная сталь, и что закаленная сталь заключаетъ въ себѣ только кремнеземъ.

Несмотря на то, что анализъ показалъ, что въ этомъ остаткѣ углеродъ соединенъ съ незначительнымъ количествомъ желѣза, Caron допускаетъ что цементующій углеродъ представляетъ собою углеродъ свободный, который вступаетъ въ соединеніе съ желѣзомъ подѣ дѣйствіемъ молота и быстраго охлажденія; углероду же, находящемуся въ соединеніи съ металломъ и дающему закаленной стали ея специальную твердость, онъ даетъ названіе углерода закалки.

При опредѣленіи количества углерода въ закаленной стали по способу Eggertz'a находятъ, что если взятый образецъ стали есть сталь отожженная, то окрашиваніе является

¹⁾ Annales des Mines, 3^e Série, t. III, p. 209.

²⁾ Comptes rendus t. LVI, p. 43 et 211.

весьма блѣднымъ и кажущееся содержаніе углерода весьма слабымъ. Этотъ фактъ былъ вполне обнаруженъ¹⁾ профессоромъ Eggertz, а впоследствии замѣчался и многими наблюдателями, особенно М. М. Spear Parker²⁾, Hogg³⁾ Woodcock⁴⁾, A. Carnot⁵⁾.

М. Stead⁶⁾ опубликовывалъ, что отъ дѣйствія азотной кислоты на сталь образуются два совершенно различныхъ красящихся вещества, которыя можно отнести къ двумъ различнымъ состояніямъ углерода. Масса всевозможныхъ данныхъ ясно показала, что углеродъ, соединенный съ металломъ, есть что-то мало извѣстное, требующее болѣе точнаго изслѣдованія.

Свѣдѣнія, сообщаемыя нами относительно этого весьма интереснаго вопроса, основаны болѣе всего на изысканіяхъ Доктора Müller, М. М. Abel и Deering и М. М. Osmond и Werth. Dr. Müller¹⁾ подвергалъ сталь дѣйствію разбавленной сѣрной кислоты въ атмосферѣ свѣтильнаго газа. Въ этихъ условіяхъ углеродъ закалки обращается въ углеводородъ, а остатокъ представляетъ собою вещество, главнымъ образомъ, составленное изъ углерода и желѣза. Содержаніе углерода измѣняется въ предѣлахъ отъ 6,6 до 7,7, въ среднемъ 7,2^o/_o; формула Fe₃C требовала бы 6,7^o/_o. Это остающееся отъ выдѣленія углерода закалки вещество содержитъ между прочимъ немного воды (отъ 0,5 до 1^o/_o), около половины всего — фосфоръ, а остальное мѣдь, марганецъ и кремній отсутствуютъ; оно обладаетъ магнитными свойствами, часто легко возгорается; царапаетъ стекло и полевой шпатель, но не кварцъ; кислоты соляная и кипящая сѣрная средней концентрации очень легко реагируютъ, выдѣляя углеводородъ и оставляя всегда небольшой осадокъ очень богатый углеродомъ.

Sir Fr. Abel и М. Deering пришли къ совершенно аналогичнымъ результатамъ, несмотря на то, что ими были упо

¹⁾ Traduit par le Bulletin de l'Industrie Minerale, 1881, p. 520.

²⁾ Chemical News, 1880, t. XLII, p. 88.

³⁾ Chemical News, 1880, t. XLII, p. 131.

⁴⁾ Engineering du 19 Mai 1862.

⁵⁾ Communication de l'auteur.

⁶⁾ Journal of the Iron and Steel Institute, 1868, p. 213.

⁷⁾ Zeitschr. des Vereins deutscher Ingenieure, XXII, p. 385 и Stahl und Eisen, VIII, p. 291.

НЕ
УДУНТ
(ИПБТ)

треблены другіе реактивы. При изслѣдованіи они употребляли растворъ хромовой кислоты, состоящей изъ 90 граммовъ сѣрной кислоты въ смѣси съ 100 граммами двухромово-калиевой соли ($K_2Cr_2O_7$). Сталь была взята (твердая тигельная, выдѣланная тонкими листами) выкованная въ холодномъ состояніи, отожженная и закаленная: полученный остатокъ, свойства котораго весьма близки къ свойствамъ углеродистаго соединенія, полученнаго Докторомъ Müller, содержитъ немного воды и отвѣчаетъ также приблизительно формулѣ Fe_3C . Присутствіе въ этомъ остаткѣ воды и нечистотъ не позволяетъ смотрѣть на эту формулу, какъ на окончательную и неоспоримо точную; къ тому же еще нельзя утвердительно сказать что этотъ остатокъ представляетъ опредѣленное сложное тѣло, хотя мнѣніе это и кажется очень правдоподобнымъ. Но важно то обстоятельство, что отожженная сталь и прокованная въ холодномъ состояніи оставляетъ почти весь свой углеродъ въ видѣ нерастворимаго углеродистаго соединенія, между тѣмъ какъ закаленная сталь оставляетъ только незначительный осадокъ, химическій составъ котораго аналогиченъ предыдущему, остальной же углеродъ исчезаетъ. Отсюда слѣдуетъ, что сильно закаленная сталь имѣетъ только малую часть своего углерода въ видѣ углеродистаго соединенія, имѣющаго приблизительно формулу Fe_3C , въ стали же отожженной, или выкованной въ холодномъ состояніи, наоборотъ, подъ этою формою находится большая часть углерода; между послѣдними двумя состояніями стали не замѣчается никакой замѣтной разницы.

М. М. Osmond'омъ и Werth'омъ для выдѣленія углеродистаго соединенія изъ желѣза былъ принятъ методъ Weyl'я, предложенный послѣднимъ для опредѣленія содержанія углерода въ металлѣ (Pogg. Ann., 1861, 4^o série, t. XXIV, p. 507).

Извѣстно, что способъ этотъ состоитъ въ присоединеніи стали, взятой въ видѣ правильной прямоугольной пластинки, къ положительному полюсу элемента Бунзена и дѣйствию на нее разбавленной соляной кислоты.

Методъ этотъ не всегда даетъ возможность, по крайней мѣрѣ для стали, выдѣлить весь углеродъ и составъ остатка измѣняется съ условіями опыта. Въ такомъ случаѣ, слѣдовательно, нельзя получить результатовъ абсолютныхъ. Но такъ какъ при однихъ и тѣхъ же условіяхъ получаютъ ре-

УДКУНТ
(ИПБТ)

ультаты точно постоянные для одного и того же образца, то, если взята одна и та же сталь въ различныхъ только состояніяхъ и результаты изслѣдованія получаются различныя, это означаетъ, что несогласія въ результатахъ не зависятъ отъ метода и могутъ служить характеристиккою состоянія стали.

Ниже слѣдуетъ серія изъ четырехъ сравнительныхъ опытовъ.

Бруски въ 40×40 мм., покрыты съ боковъ гумми-лакомъ погружены въ ванну, состоящую изъ 2 литровъ раствора соляной кислоты (15 частей по объему концентрированной кислоты и 85 — воды).

Элементъ взятъ системы Бунзена съ большою поверхностью.

Отрицательнымъ полюсомъ служитъ платиновая пластинка.

Химическій составъ взятой для опытовъ стали	{	Углероду	0,49%
		Кремнія	0,075
		Сѣры	0,024
		Фосфора	0,041
		Марганца	0,37

Остатокъ промывался въ водѣ, спиртѣ и эфирѣ и затѣмъ уже сушился въ пустотѣ и взвѣшивался вмѣстѣ съ употребленнымъ фильтромъ.

Т А Б Л И Ц А :

		СОСТОЯНІЕ БРУСКА			
		Кованная и отожженная	Закаленная въ холодной водѣ	Закаленная и отожженная	
Анализъ сухаго остатка	{ Желѣзо	78,40	82,38	52,50	83,22
	{ Углеродъ	12,00	11,27	18,90	9,92
	{ Вода	8,40	6,40	26,07	5,48
	Всего	98,80	100,05	97,47	98,62
	Вѣсъ сухаго остатка % стали	3,31	4,11	1,61	4,14
Углеродъ % стали	{ вычислено по предъид. цифрамъ	0,39 ₇	0,46 ₃	0,30 ₆	0,41
	{ разсчитано прямо	0,47 ₆	0,49 ₇	не вычисл.	0,49 ₇
	Потеря углерода	0,07 ₉	0,03 ₆	прибл. 0,19	0,08 ₁
	Абсолютный вѣсъ раств. желѣза	11 гр. 280	9 гр. 806	11 гр. 520	10 гр. 304
	Въ часахъ	6	5	5	5

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

Анализъ и разсмотрѣніе одного изъ полученныхъ остатковъ показываютъ, что въ этомъ случаѣ имѣемъ дѣло съ сложнымъ веществомъ, а именно съ смѣсью сѣрыхъ лепестковъ металлическаго вида, обладающихъ магнитными свойствами, съ черноватымъ студенистымъ аморфнымъ веществомъ, находимымъ въ небольшихъ количествахъ въ остаткѣ для отожженной стали, но преобладающимъ въ остаткѣ для стали закаленной.

Лепестки эти представляютъ собою тоже нѣкоторое железо-углеродистое соединеніе, которое Dr. Müller и M. M. Abel и Deering выдѣляли различными процессами; черное студенистое вещество по всей вѣроятности есть гидратъ углерода, относительное количество котораго въ разсматриваемомъ остаткѣ тѣмъ больше, чѣмъ охлажденіе производилось медленнѣе.

Наконецъ, сталь отпущенная послѣ закалки, даетъ по методѣ Weyl'я остатокъ, вѣсъ и химическій составъ котораго тотъ же что и остатка для отожженной стали до-красна, а затѣмъ медленно охлажденной, съ тѣмъ только различіемъ, что остатокъ этотъ уже не представляется въ видѣ металлическихъ лепестковъ, а въ видѣ чернаго непрозрачнаго аморфнаго вещества.

M. M. Osmond и Werth изучали аномаліи метода Eggertz'a и изъ нихъ вывели нѣкоторыя заключенія о состояніи углерода въ стали.

Вотъ, напримѣръ, серія количественныхъ сравнительныхъ данныхъ, полученныхъ методами Eggerz'a и Boussingault'a при изслѣдованіи одной и той же стали въ различныхъ ея состояніяхъ.

	М е т о д ы:	
	Eggertz'a	Boussingault'a
Обыкновенная сталь %	0,50	0,49 ₂
Та же, но закаленная	0,32 ₃	0,52
Та же, сначала закаленная, но потомъ быстро отожженная въ кузнечномъ горну и охлажденная въ золѣ	0,48	0,53 ₁
Та же, выкованная въ холодномъ со- стояніи	0,53	

Замѣтимъ, во-первыхъ, что содержаніе углерода, полученное при опредѣленіи методомъ Eggertz'a, является нор-

мальнымъ для стали выкованной на холоду, что вполне и согласуется съ результатами Fr. Abel'я. Закалка, напротивъ, значительно уменьшаетъ интенсивность темнаго оттѣнка и видимое содержаніе углерода.

Естественно является вопросъ, почему въ методѣ Eggertz'a исчезаетъ углеродъ закалки? Можетъ быть, что онъ или дѣлается нерастворимымъ въ азотной кислотѣ, или растворяется, дѣлая болѣе слабое окрашиваніе, чѣмъ углеродъ того же самаго вѣса въ состояніи Fe_3C , или же, наконецъ, выходитъ въ газообразномъ состояніи.

Первая гипотеза, хотя и была предлагаема Jullien'омъ и M. Woodcock'омъ, не приложима въ данномъ случаѣ; сталь закаленная послѣ обработки азотною кислотою не оставляетъ никакого углеродистаго остатка.

Вторая гипотеза о двухъ красящихъ веществахъ, одного бурого, а другаго зеленоватаго, есть гипотеза Stead'a. Она хотя съ перваго взгляда и правдоподобна, но на самомъ дѣлѣ оказывается мало удовлетворительною; закаленная сталь даетъ слабое окрашеніе, но нормальный оттѣнокъ и зеленые тоны, которые иногда встрѣчаются, должны быть приписаны скорѣе условіямъ обработки кислотою, чѣмъ измѣненіямъ углерода.

Остается третья гипотеза, которую мы и разслѣдуемъ экспериментально.

Если внимательно прослѣдить за дѣйствіемъ на одну и ту же сталь въ обыкновенномъ ея состояніи и въ закаленномъ, азотной кислоты въ $24^{\circ} R.$ (25 кубическихъ сантиметровъ кислоты на 0,500 гр. металла), то наблюдаютъ:

(Пробирки располагаются въ водяной ваннѣ въ 15° для предупрежденія поднятія температуры). Желѣзо растворяется въ 5 или 6 минутъ съ выдѣленіемъ блестящихъ паровъ. Въ этотъ моментъ, обѣ жидкости почти безцвѣтны. Закаленная сталь на днѣ пробирки оставляетъ весьма темноо вещество, которое при взбалтываніи растворяется почти мгновенно, въ спокойномъ же состояніи въ 3 или 4 минуты. Это вещество окрашиваетъ жидкость въ темнобурый цвѣтъ. Выдѣленіе газа не замѣчается. Окончательно въ отложеніи остается слабый бурый студенистый осадокъ, который въ холодномъ состояніи растворяется, но только очень медленно.

Обыкновенная сталь послѣ растворенія желѣза даетъ на днѣ пробирки только легкій черный налетъ, по составу тождественный съ остаткомъ для закаленной стали и который растворяется очень быстро, давая жидкости очень слабую окраску. Но при этомъ въ жидкости являются въ большомъ количествѣ плавающие темно бурные хлопья, которые постепенно переходятъ въ студенистое вещество болѣе свѣтлаго оттѣнка и похожее на то, которое получается при изслѣдованіи закаленной стали, но значительно объемистѣе его.

Если профильтровать нерастворимые въ холодномъ состояніи оба осадка и разлагать при 100° помощью новаго количества азотной кислоты плотности 1,20 (25 куб. сантиметровъ), то они растворяются безъ замѣтнаго выдѣленія газа и даютъ не равно окрашенныя бурныя жидкости, интенсивность окраски которыхъ зависитъ отъ объема изслѣдуемаго осадка.

Если равномерно нагрѣвать до 100° обѣ первыя бурныя жидкости, отдѣленныя фильтраціею отъ нерастворимой части, то онѣ блѣднѣютъ съ выдѣленіемъ газа; растворъ же закаленной стали блѣднѣетъ относительно болѣе, чѣмъ растворъ обыкновенной стали и образованіе газа здѣсь болѣе шумное и кажется болѣе обильнымъ.

Остается показать, что обезцвѣченіе этихъ жидкостей сопровождается потерей углерода въ видѣ газа.

М.М. Osmond и Werth, въ дѣйствительности, нашли, что въ осажденіи той же стали обыкновенной или закаленной при содержаніи углерода въ 0,85%, онъ распредѣляется слѣдующимъ образомъ:

Углеродъ, выдѣленный въ видѣ:	Обыкновен. сталь.	Закал. сталь.
Углекислоты	0,215	0,246
Синеродистой кислоты .	0,050	0,044
Окиси углерода или углерода	0,077	0,210
	0,342	0,500
Углеродъ, оставшійся раствореннымъ въ азотной кислотѣ	0,508	0,350
	0,850	0,850

Присутствіе газовъ не поглощаемыхъ углекалиевою ¹⁾ солью является характеристическою чертою углерода закалки.

Опыты, которые мы резюмируемъ, всѣ приводятъ къ одному и тому же выводу:

Углеродъ, иногда называемый соединеннымъ или раствореннымъ, т. е. углеродъ, который находится не въ состояніи графита, въ дѣйствительности представляетъ собою сумму двухъ различныхъ смѣсей или по крайней мѣрѣ двухъ группъ, отдѣленныхъ одна отъ другой особенными, весьма рѣзко различающимися свойствами:

1) Углеродъ дѣйствительно находящійся въ химическомъ соединеніи съ желѣзомъ по всей вѣроятности въ видѣ опредѣляемомъ формулою Fe_3C . Это — цементующій углеродъ Сягон'а. Такъ какъ это послѣднее названіе не вполне удачно выбрано, то Osmond и Werth дали этому виду углерода другое названіе, а именно углерода отжига, а M. Ledebur — названіе „Gewöhnliche Carbidkohle“ (углеродъ нормальнаго углеродистаго соединенія). Такого вида углеродъ находится въ отожженной стали.

2) Углеродъ закалки (названіе это принято всѣми), настоящее состояніе котораго еще вполне неизвѣстно; онъ вѣроятно или растворенъ въ желѣзѣ, или выдѣленъ въ особое состояніе молекулярнаго сгущенія, или наконецъ соединенъ съ водородомъ, но ни въ какомъ случаѣ не соединенъ химически съ желѣзомъ въ видѣ опредѣленнаго сложнаго тѣла. Углеродъ этотъ преобладаетъ въ закаленной стали, особенно у ея поверхности.

Химически, эти два углерода различаются слѣдующими свойствами:

Дѣйствіе на углеродъ отжига разбавленной сѣрной кислоты, охлажденной на воздухѣ, жидкости Abel'я и метода Weyl'я — весьма слабое; азотная кислота плотности 1,20 выдѣляетъ его въ видѣ студенистыхъ темно-бураго цвѣта хлопьевъ, растворимыхъ при нагрѣваніи въ той же самой кислотѣ безъ замѣтнаго выдѣленія газа и съ образованіемъ бурой жидкости довольно постояннаго состава. Углеродъ закалки, при дѣйствіи разбавленной и охлажденной на воздухѣ сѣрной кислоты, переходитъ въ углеводородистое соединеніе; онъ исчезаетъ подъ не-

¹⁾ Углекалиевая соль или поташъ, имѣющая формулу CK_2O_3 .

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

извѣстнымъ видомъ отъ дѣйствія жидкости Абеля. Методъ Weyl'я выдѣляетъ его, заставляя обращаться въ состояніе углекислоты; холодная азотная кислота плотности 1,20 выдѣляетъ его подъ видомъ чернаго порошка, но очень легко растворяетъ его снова, давая бурый растворъ мало постояннаго состава, особенно въ нагрѣтомъ состояніи. Этотъ растворъ обезцвѣчивается съ образованіемъ сложныхъ газообразныхъ углеродистыхъ соединений, частью не нерастворимыхъ въ углекалиевой соли.

Характерные признаки сближаютъ углеродъ отжига желѣзо-углеродистаго соединенія, получаемаго прокаливаніемъ аммоніевой берлинской лазури, съ углеродомъ закалки сахарнаго угля, приготовленнаго при умѣренной температурѣ.

Количественно методъ Д-ра Müller представляетъ собою методъ въ одно и то же время самый точный и самый практичный для отдѣленія углерода отжига отъ углерода закалки. Этотъ послѣдній находится въ различныхъ дозахъ, составляющихъ часть отъ всего содержаемаго углерода (въ томъ числѣ и графита, если только онъ имѣется).

Въ недавно изданномъ замѣчательномъ трудѣ профессора Ledebur „Sur la denomination des différentes formes du carbone“ приведены анализы, которые въ весьма достовѣрныхъ числахъ, даютъ графитъ, углеродъ закалки и углеродъ углеродистаго желѣза, въ различныхъ металлургическихъ продуктахъ.

Это уже большой шагъ впередъ, такъ какъ механическія свойства чугуна и стали связаны съ состояніемъ углерода болѣе чѣмъ съ количественнымъ содержаніемъ всего углерода; это послѣднее, представляетъ такъ сказать, температуръ стали; относительныя же количества различныхъ видовъ углерода въ нѣкоторой степени объясняютъ намъ, между прочимъ, насколько этотъ температуръ измѣняется подъ вліяніемъ многочисленныхъ операцій, которымъ можетъ быть подверженъ металлъ до прихода въ свое дѣйствительное состояніе.



НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

ЧАСТЬ ВТОРАЯ.

Строеніе стали.

Такъ какъ углеродъ отжига не смѣшанъ въ стали со всею массою металла, но находится подъ видомъ углеродистаго соединенія постояннаго состава и весьма близкаго къ формулѣ Fe_3C , то, очевидно, что сталь, даже самая мягкая, не заслуживаетъ названія однороднаго желѣза, которое ему часто приписываютъ.

Собственно говоря, однородность стали считали слѣдствіемъ плавленія, которое позволяетъ шлаку всплывать на поверхность жидкаго металла; не подлежитъ сомнѣнію, что литыя желѣзо и сталь вообще не содержатъ шлаковъ, что и отличаетъ ихъ отъ желѣза и стали пудлинговыхъ; остается же въ нихъ смѣсь двухъ по крайней мѣрѣ составляющихъ—желѣза и углеродистаго соединенія.

Этотъ недостатокъ однородности влечетъ за собою выводъ весьма важныхъ слѣдствій.

Если, въ дѣйствительности, сталь образована изъ нѣсколькихъ составляющихъ, какъ гранитъ и порфиръ, то ясно что получаемыя качества стали зависятъ отъ качествъ отдѣльныхъ ея слагаемыхъ, отъ ихъ взаимнаго соотношенія и взаимнаго распредѣленія. Отсюда является созданіе новой науки, которая можетъ быть названа сидерографіей (siderographie), рассматривающей металлы какъ сложныя горнокаменныя породы и изучающая ихъ тѣмъ же путемъ, который примѣняется въ петрографіи.

Наука эта, подкрѣпляемая микроскопическими изслѣдованіями, служитъ непремѣннымъ дополненіемъ къ химическому анализу въ производствѣ и классификаціи стали.

Въ настоящее время наука эта еще въ зачаткѣ. Она основана на работахъ доктора Sorby въ Англіи, докторовъ Маг-

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

tens и Wedding въ Германіи, ММ. Osmond и Werth во Франціи.

Однако, несмотря на важность добытыхъ результатовъ, металлургъ, который безъ предвзятыхъ идей возьметъ на себя трудъ прочесть оригинальные мемуары по этому вопросу, долженъ будетъ непремѣнно столкнуться съ различіемъ излагаемыхъ въ нихъ взглядахъ, и съ отсутствіемъ основанія въ доктринахъ, признаваемыхъ всѣми.

Эти несогласія присущія всякой науки находящейся еще въ зачаткѣ, по всей вѣроятности, болѣе кажущіяся, чѣмъ дѣйствительныя; мы прибѣгнемъ къ помощи синтеза, приложивъ всѣ предосторожности налагаемыя на насъ трудностью изучаемаго предмета.

Процессы сидерографіи всѣ были заимствованы изъ ученія о метеорическомъ желѣзѣ.

Докторъ Martens для своихъ изслѣдованій разсматриваетъ изломы металла, другіе же изслѣдователи прибѣгаютъ къ болѣе исключительному методу, а именно къ распознаванію различныхъ составляющихъ или помощью легкихъ ударовъ или помощью опредѣленія твердости металла, ясно выражающеюся полировкой его, или помощью нагрѣванія дающаго различныя цвѣта, или, наконецъ, помощью обработки кислотами или какими либо другими реактивами.

Микроскопическая техника, примѣнимая къ изслѣдованію непрозрачныхъ тѣлъ, была главнымъ образомъ описана М. Sorby. Она основана на употребленіи двухъ системъ дополнительнаго освѣщенія: освѣщенія косога помощью зеркала Sorby и вертикальнаго освѣщенія помощью вертикальнаго освѣтителя Beck'a, — этотъ послѣдній остается единственно примѣнимымъ къ сильнымъ увеличеніямъ, которымъ позволяетъ достигать нѣсколькихъ сотъ діаметровъ; оно можетъ быть употреблено и для незначительныхъ увеличеній помощью меньшаго зеркала впереди, которое закрываетъ половину объектива.

ММ. Osmond и Werth пробовали употреблять тонкія пластинки въ 0,02—0,03 мм. толщиною, которыя при раствореніи желѣза въ соответственномъ реактивѣ дѣлались прозрачными. Къ несчастію, приготовленіе такихъ пластинокъ весьма затруднительно, да къ тому же толщина въ 0,02 мм., представ-

НѢ
УДУНТ
(ИПЪТ)

ляющая собою минимальную величину, для толщины пластинки, которую только въ настоящее время можно получить, — еще слишкомъ велика. Процессъ этотъ, заимствованный изъ петрографіи, можетъ, однако, привести насъ къ нѣкоторымъ заключеніямъ.

Эти важныя общія положенія мы будемъ резюмировать коротко и только въ главныхъ чертахъ.

M. Sorby (On the Microscopical Structure of Iron and Steel. Journal of the Iron and Steel Institute 1887—1, p. 255 и слѣд., On the Application of very High Powers to the Study of the Microscopical Structure of Steel, Journal of the Iron and Steel Institute; 1886—1, p. 140) различаетъ шесть составляющихъ, отличающихся своимъ видомъ и своимъ неравнымъ сопротивленіемъ въ физическихъ и химическихъ реакціяхъ; смѣсь этихъ составляющихъ въ различныхъ соотношеніяхъ и различно распредѣленныхъ, составляетъ всѣ продукты металлодѣлательнаго искусства.

Эти составляющія суть:

- 1) Графитъ.
- 2) Чистое желѣзо.
- 3) Составляющая, названная перламутровою и представляющая собою смѣсь чистаго желѣза съ углеродистымъ желѣзомъ.
- 4) Сложное тѣло очень твердое.
- 5) Нечистый остатокъ.
- 6) Малые кристаллы цвѣта рубина, которые по всей вѣроятности представляютъ собою кремній.

Составляющія 1, 5 и 6 находятся преимущественно въ чугунахъ; ими мы заниматься здѣсь не будемъ, такъ что намъ останется разсмотрѣть лишь тѣ, которыя встрѣчаются въ стали, а именно 2, 3 и 4. M. Howe (Metallurgy of Steel. M. Howe опубликовалъ подъ этимъ именемъ длинную серію превосходныхъ трудовъ въ журналахъ Engineering и Mining Journal; труды эти соединены въ одинъ томъ) предложилъ упомянутымъ составляющимъ дать особыя характерныя имена, а именно:

Ferrite, Perlite и Cementite, минералогическія окончанія которыхъ указываютъ на цѣль преслѣдуемаго изученія и которыя къ тому же сами по себѣ удобны для ясности и быстроты произношенія.

Ферритъ представляетъ собою твердое ковкое желѣзо, гибкое и мало чистое; увеличенное даже до 400 диаметровъ оно не даетъ понятія о своемъ строеніи, кромѣ зернистаго вида, происходящаго вѣроятно отъ небольшой неправильности въ дѣйствиіи кислотъ. Это составляющее, когда оно одно, кристаллизуется при высокой температурѣ и вторично кристаллизуется уже при болѣе низкой въ болѣе или менѣе равноосевныя зерна, которыя представляютъ по своему виду кубы или октаэдры, вошедшіе одни въ другіе.

Перлитъ является при увеличеніи въ 600 диаметровъ или болѣе въ видѣ тоненькихъ пластинокъ попеременно, то мягкихъ, то и твердыхъ; мягкія пластинки приблизительно въ два раза толще твердыхъ и имѣютъ толщину въ 0,0006 мм. Мягкія пластинки по своему составу опредѣляются формулою Fe_3C Müller'a и Abel'я (черт. 1).



Цементитъ представляетъ собою другое сложное соединеніе желѣза съ углеродомъ или отвердѣвшій растворъ углерода закалки въ желѣзѣ; при благопріятныхъ условіяхъ онъ кристаллизуется отъ плавленія до красна въ плоскихъ, пластинкахъ толщина которыхъ можетъ измѣняться отъ 0,00025 мм. до 0,5 мм. и не подвергается никакимъ молекулярнымъ измѣненіямъ во время охлажденія.

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

Какъ кварцъ, слюда и полевоы шпаты, напрымѣръ, составляютъ большое число различныхъ горнокаменныхъ породъ, такъ и ферритъ, перлитъ и цементитъ всё составляютъ различные сорта стали.

Сталь очень мягкая, естественно, составлена почти исключительно изъ феррита; содержаніе перлита увеличивается вмѣстѣ съ увеличеніемъ содержанія углерода; цементитъ является въ стали очень твердымъ, и особенно въ цементной стали, которая не подвергалась плавкѣ.

Даже распредѣленіе этихъ различныхъ элементовъ измѣняется съ условіями обработки, нагрѣванія и охлажденія.

Въ сырцовоы стали литой, средней твердости, ферритъ образуетъ сѣтку, ограничивающую систему прямыхъ призмъ на поверхности охлажденія и систему многогранниковъ внутри слитка.



Чертежъ 2 представляетъ собою изображеніе въ микроскопѣ разрѣза этихъ многогранниковъ; черныя черты, кажушіяся такими при косомъ свѣтѣ изображаютъ ферритъ. Призмы и многогранники въ свою очередь разбиваются въ зерна или въ многогранники болѣе мелкія, появляющіеся во время вторичной кристаллизаціи при охлажденіи и изъ которыхъ каждый можетъ быть разсматриваемъ, какъ отдѣльный кристаллъ. Это второе строеніе не показано чертежемъ, такъ какъ его очень трудно выполнить, если бы пожелали имъ выразить точную идею.

Ковка ломаетъ сѣтку литой стали и въ результатѣ получается, если она не была окончена при слишкомъ высокой температурѣ, смѣсь зеренъ феррита съ зернами перлита, вошедшими одно въ другое. Чертежъ 3, заимствованный изъ нашихъ собственныхъ изслѣдованій, даетъ приблизительную идею этого строенія.

Закаленная сталь есть относительно однородная.

М. Sorby не нашелъ въ ней опредѣленнаго строенія, или потому что строенія въ дѣйствительности не существуетъ, или потому что оно исчезаетъ отъ наблюденія вслѣдствіе малости элементовъ, несмотря на самыя сильныя увеличенія. Мы однако нашли сами черты пластинчатаго расположенія перламутроваго составляющаго въ закаленной полутвердой стали.

Другое мнѣніе, которое также кажется очень вѣроятнымъ, это то, что твердыя пластинки перлита представляютъ собою тоже самое что и цементитъ.

М. Sorby, кажется, иногда это предполагалъ, хотя доказательства никакихъ не приводилъ.

М. Martens занимался главнымъ образомъ изслѣдованіемъ чугуновъ особенно зеркальнаго чугуна. Онъ также сдѣлалъ большое число весьма важныхъ изслѣдованій относительно раковинъ въ стали и формъ ея излома, которыя кажутся общими для всѣхъ стекловидныхъ тѣлъ, а не присущи одной только стали.

Работы М. Мартенса непосредственно не входятъ въ программу этой статьи и, несмотря на весь интересъ, который онѣ представляютъ намъ, мы всетаки удовольствуемся только легкимъ упоминаніемъ объ нихъ нашимъ читателямъ (*Zeitschr. des Vereins deutscher Ing.*; Bd. XXII, p. II, 205 и 481 (1878, — Bd. XXIV, p. 397 (1880) *Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbefleisses (Sitzungsberichte)*, 1882; p. 233 *Stahl und Eisen*. April 1887, VII, p. 235.

М. Wedding (*Journal of the Iron and Steel Institute* 1885—1, p. 187. *Stahl and Eisen*. Sept. 1885. V, p. 489). нагрѣваетъ свои полированные образцы обработанные или не обработанные кислотой при такой температурѣ, что различныя составляющія можно распознать по цвѣту окрашивания. Авторъ различаетъ особенно два составляющія, которыя онъ называетъ однороднымъ желѣзомъ и желѣзомъ кристаллическимъ; первое въ иныхъ случаяхъ тверже, а въ другихъ мягче втораго.

Во время преній въ институтѣ по поводу сообщенія доктора Weeding „о желѣзѣ и стали“ М. Sorby сообщилъ, что заключенія эти во многомъ различаются отъ его собственныхъ и что, какъ онъ думаетъ, образцы нѣмецкаго ученаго не были надлежаще отполированы.

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

Но противорѣчій, какъ намъ кажется, менѣе можетъ быть въ фактахъ, чѣмъ въ словахъ, опредѣляющихъ эти факты. Внимательно прослѣдя опредѣленія данныя различными учеными различными составляющимъ мы видимъ, что 1) кристаллическое желѣзо Weeding'a есть ничто иное какъ перламутровая составляющая Sorby (перлитъ Howe'a). 2) Однородное желѣзо болѣе мягкое, чѣмъ кристаллическое желѣзо Weeding'a представляетъ собою свободное желѣзо Sorby (ферритъ Howe'a). 3) Однородное желѣзо болѣе твердое, чѣмъ кристаллическое Weeding'a есть очень твердая составляющая Sorby (цементитъ Howe'a).

Это простое сравненіе показываетъ, что наименованія, данныя докторомъ Wedding не были особенно удачно выбраны; рисунки же его много согласуются съ наблюденіями M. Sorby по крайней мѣрѣ для стали средней твердости и при слабыхъ увеличеніяхъ.

Приготовленныя для изслѣдованія тѣла, рассматриваемыя Wedding'омъ какъ кристаллическое желѣзо, могли быть ни что иное какъ зерна всякаго другаго рода желѣза оторванныя во время полировки; къ тому же по одному рисунку трудно судить о строеніи вещества, которой въ дѣйствительности намъ не удалось встрѣтить.

Методъ изслѣдованія не примѣнимъ въ этомъ частномъ случаѣ, тѣмъ не менѣе наши личныя наблюденія не даютъ никакого повода думать объ аналогичности ткани для другихъ металловъ той же твердости.

Чертежъ 2 Weggind'a (кованная сталь Martin'a, содержащая 0,62 углерода), оригиналь котораго цвѣтной и котораго мы даемъ здѣсь только схематическое изображеніе, какъ намъ кажется, также наводитъ на важное замѣчаніе (черт. 4); кристаллическое желѣзо (на чертежѣ обозначено легкой пунктировкой, окруженною болѣе полнымъ полемъ, состоящимъ изъ аморфнаго желѣза) нѣсколько разъ было уподобляемо за послѣднее время углеродистому соединенію Abel'я, опредѣляемому формулою Fe_3C ; такой взглядъ не совсѣмъ вѣренъ, такъ какъ относительный объемъ, занимаемый этою составляющею въ массѣ металла слишкомъ великъ для того, чтобы представить собою одно лишь углеродистое соединеніе; кристаллическое желѣзо, въ дѣйствительности, какъ мы это замѣтили выше, есть ничто иное какъ перламутроваго вида

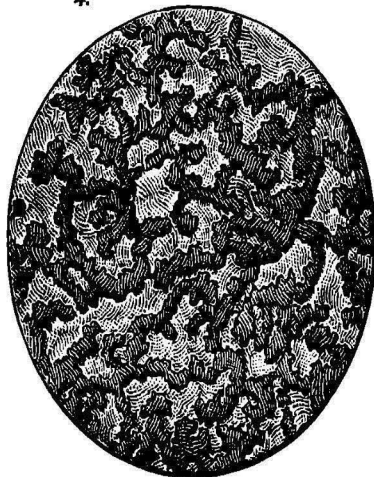
составляющая Sorby, т. е. смѣсь свободного желѣза съ углеродистымъ соединеніемъ, къ строенію котораго мы еще будемъ имѣть случай возвратиться.

ММ. Osmond и Werth въ своихъ опубликованныхъ за послѣднее время трудахъ рассматриваютъ главнымъ образомъ сталь средней твердости.

Если изслѣдовать такую сталь помощью метода Weyl¹ я, то взятый образецъ сохраняетъ послѣ растворенія желѣза свои формы, свои размѣры и свой первоначальный видъ.

Желѣзо—углеродистое соединеніе, слѣдовательно, образуется въ массѣ металла сплошную сѣтку, въ промежуткахъ которой помѣщается металлическое желѣзо. Изъ этого опыта, изъ разсмотрѣнія изломовъ, которые подъ микроскопомъ всегда

д.



представляются аморфнымъ многограннымъ зерномъ похожимъ на изломъ, на который смотрять невооруженнымъ глазомъ и изъ разсмотрѣнія тонкихъ пластинокъ, желѣзо которыхъ было растворено разбавленною азотною кислотою, ММ. Osmond и Werth пришли къ тому убѣжденію, что сталь образована изъ малыхъ многогранныхъ грануляцій мягкаго желѣза болѣе или менѣе тѣсно обернутаго углеродистымъ желѣзомъ.

Они сравниваютъ, желѣзистыя грануляція съ зерномъ орѣха, а углеродистое желѣзо со скорлупою и называютъ все вмѣстѣ „Cellule simple“ (простою клѣткою).

Простыя клѣтки складываются въ вѣтвеобразныя агломераты, которыя характеризуются тѣмъ же молекулярнымъ расположеніемъ и ограничиваются многогранными контурами

УДУНТ
(ИПЪТ)

болѣе или менѣе правильными; чтобы продолжить сравненіе, можно назвать эти аггломераты сложными клѣтками перваго порядка. Это и есть тѣ самыя аггломераты, которыя Г-мъ Sorby приписываются съ большею вѣроятностью вторичной кристаллизаціи, происходящей во время охлажденія.

Сложныя клѣтки перваго порядка въ свою очередь иногда группируются вмѣстѣ и образуютъ сложныя клѣтки втораго порядка, призматическія или многогранныя со сторонами грубо плоскими и ограниченныя сѣткою изъ мягкаго желѣза т. е. лишенные оболочки. Все это вполне согласуется со всеміи наблюденіями (см. ч. 2).

Эти большія клѣтки представляютъ оригинальное расположеніе во время отвердѣванія и немного послѣ него. Общія формы этого расположенія существуютъ, несмотря на псевдоморфное дальнѣйшее строеніе сложныхъ клѣтокъ 1-го порядка въ первоначальной оболочкѣ. Ковкій чугуны и сталь перегрѣтая представляютъ наилучшій образецъ такого строенія въ трехъ его видахъ.

Механическая работа плющильной машины, удары молотка, а также нагрѣваніе до температуры умѣренно-краснаго каленія разрушаютъ сложныя клѣтки втораго порядка и уменьшаютъ сложныя клѣтки перваго порядка.

Такимъ образомъ. сталь послѣ обработки представляетъ собою совокупность простыхъ клѣтокъ сгруппированныхъ безъ всякаго геометрическаго порядка, и изъ которыхъ каждая снабжена своею полною оболочкою. Такое состояніе строенія стали идеальное, къ которому практика по возможности старается приблизиться, никогда его не достигая.

Въ закаленной стали простыя клѣтки имѣютъ только остатки оболочекъ; здѣсь большая часть углерода уже не образуетъ независимаго желѣзо-углеродистаго соединенія. Въ отпущенной стали желѣзо-углеродистое соединеніе формируется вновь болѣе или менѣе совершенно въ зависимости отъ температуры; однако оно не обращается въ прежній видъ оболочекъ, но остается совершенно отдѣленнымъ въ тѣхъ мѣстахъ гдѣ былъ углеродъ закалки. Въ стали выкованной въ холодномъ состояніи металлъ распредѣляется въ безпорядкѣ своихъ клѣтокъ, причемъ замѣчаются изломы въ тѣхъ частяхъ оболочекъ, которымъ пришлось выдержать наибольшія усилія. Это дѣйствіе чисто механическое.

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

Разсматривая природу различных видовъ стали Osmond и Werth не имѣли случая встрѣтить цементитъ, твердое сложное тѣло, описанное М. Sorby и которое находится только въ цементной стали; они имѣли дѣло только съ ферритомъ и перлитомъ.

Единственное основательное несогласіе между Sorby и Osmond'омъ и Werth'омъ заключалось во взглядѣ на внутреннее строеніе перлита, который М. Sorby представлялъ въ видѣ лепестковъ попеременно составленныхъ изъ желѣза и изъ углеродистаго соединенія, между тѣмъ какъ Osmond и Werth въ перлитѣ видѣли совокупность малыхъ желѣзныхъ многогранниковъ, окруженныхъ углеродистымъ соединеніемъ.

Желая опредѣлить причину этой разницы въ взглядахъ, мы, точно слѣдуя указаніямъ М. Sorby, наконецъ нашли строеніе перлита въ видѣ перемѣнныхъ по составу лепестковъ, описанныхъ этимъ ученымъ. Насколько мы можемъ судить по нашимъ изслѣдованіямъ, строеніе это не было общимъ и существеннымъ для перлита; оно представлялось тѣмъ яснѣе, чѣмъ было больше содержаніе углерода и чѣмъ медленнѣе охлаждадалась сталь, нагрѣтая до болѣе высокой температуры.

Въ стали полутвердой, обработка которой была окончена при умѣренной температурѣ, строеніе опять представляетъ совокупность простыхъ клѣтокъ, описанныхъ выше.

Изъ всего этого видно, что изысканія, производившіяся самостоятельно нѣсколькими учеными и повидимому во многомъ не сходныя между собою, на самомъ дѣлѣ вполнѣ тождественны и, что кажущееся различіе происходитъ больше отъ формы опредѣленій, чѣмъ отъ сущности ихъ.

Излишне, конечно, здѣсь входить въ подробное разсмотрѣніе многочисленныхъ группъ, въ которыхъ можетъ встрѣчаться ферритъ, перлитъ и цементитъ.

Этотъ вопросъ интересенъ болѣе для дѣла производства стали и механическихъ ея примѣненій. Однако мы полагаемъ, что онъ сдѣлается и для электротехниковъ интереснымъ предметомъ изученія; строеніе металла, какъ извѣстно есть одинъ изъ факторовъ проводимости телеграфныхъ проводниковъ и магнитныхъ свойствъ металла.

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ.

Преобразование углерода.

Въ двухъ предъидущихъ главахъ мы разсмотрѣли различныя состоянія углерода и различные виды строенія стали съ точки зрѣнія, которую можно назвать статическою, т. е. мы изучали сталь такую, какая бываетъ въ оконченныхъ штукахъ.

Разсмотримъ теперь динамику стали, т. е. рядъ измѣненій свойствъ, чрезъ который проходитъ металлъ отъ одного состоянія равновѣсія къ другому.

Въ нашихъ разсужденіяхъ, до тѣхъ поръ пока не создано новыхъ опредѣленій, намъ приходится продолжать понимать „сталь“ въ классическомъ смыслѣ этого слова, т. е. называть этимъ именемъ углеродистое желѣзо, способное принимать закалку. При всѣхъ одинаковыхъ обстоятельствахъ твердость, получаемая сталью отъ закалки не пропорціональна температурѣ металла въ моментъ опусканія его въ воду. Существуетъ критическая температура, выше которой должна быть сталь нагрѣта для полученія закалки. Черновъ назвалъ эту температуру точкою a ; сталь нагрѣтая ниже точки a не закаливается.

Съ другой стороны М. Gore въ 1869 году убѣдился, что желѣзный пруть, охлаждаемый съ нагрѣва до-красна (онъ бралъ по всей вѣроятности желѣзо очень углеродистое) не давалъ правильнаго укорачиванія; къ темно-красному каленію укороченіе быстро смѣнялось моментальнымъ удлиненіемъ, которое Г-мъ Gore была объяснена уменьшеніемъ сцѣпленія:

М. Barrett (Proc. Roy. Soc. 28 Janvier 1869, et Phil. Mag. 4^o Serie. t. XXXVIII. p. 59), изучая явленіе, замѣченное

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

Г-мъ Gore, показавъ, что это явленіе обратимое и что ненормальное расширеніе при темно-красномъ каленіи сопровождается сильнымъ выдѣленіемъ теплоты, что М. Varetт назвалъ рекалесценціею, такъ какъ въ этомъ случаѣ температура сильно подымалась, что замѣтно было даже на глазъ.

Это было одно изъ очень капитальныхъ наблюденій, которое сначала оставалось незамѣченнымъ и которое было оценено по достоинству только въ послѣдніе годы.

Наконецъ, М. Brinell (Stahl und Eisen, Bd. V p. 611, November 1885), отыскивая единство въ опредѣленіяхъ Чернова и Varetт'а показавъ, что рекалесценція и точка а есть одно и то же.

Если опустить въ холодную воду сталь до рекалесценціи, она дѣлается твердою, а углеродъ обращается въ углеродъ закалки; если, напротивъ, подождать когда рекалесценція уже произойдетъ и тогда уже опустить въ воду, металлъ не становится твердымъ и углеродъ приходитъ въ состояніе углерода отжига.

Нѣсколько цифръ, заимствованныхъ изъ труда М. Nouel'я (Genie Civil, t. X. p. 405, 23 Avril 1887), инженера Компаниі de Châtillon et Commentry, освѣщаютъ эти факты.

Приложенный здѣсь чертежъ представляетъ кривую охлажденія стального бруска. Абсциссы означаютъ время, а ординаты—расширеніе; BCDE — кривая рекалесценціи. Закаливая бруски той же самой стали до точекъ А, В, С, D, Е и опредѣляя, послѣ закалки, сопротивленіе, удлиненіе, дѣйствительное содержаніе углерода и видимое содержаніе соединеннаго углерода, находимаго помощью метода Eggertz'a, пришли къ слѣдующимъ результатамъ:

	Сопротив- леніе.	Удлиненіе. %	Углеродъ.	
			Eggertz.	Соединеніе.
Брусокъ отожженный до темно-краснаго каленія	54 ^k	22		
Брусокъ закаленный въ маслѣ до точки А	72,5	14,0	0,32	
В	72,1	15,6	0,31	0,48
С	57,2	15,3		
Д	57,2	20,0	0,43	0,50
Е	58,0	18,0	0,45	

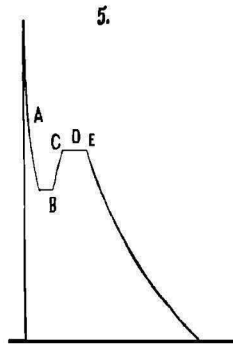
НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

Такимъ образомъ рекалесценція соотвѣтствуетъ переходу углерода закалки въ углеродъ отжига, причемъ переходъ этотъ совершается съ большимъ выдѣленіемъ теплоты.

Таковы факты.

Для отысканія между ними связи и для объясненія ихъ имѣется теорія Сагон'а, который, подкрѣпляемый М. Varba (Etudes sur l'emploi de l'acier dans les constructions. Paris, 1875 г.) во Франціи, М. Akerman въ Швеціи (Journal of the Iron and Steel Institute p. 504 (1879) до настоящаго времени пользуется громаднымъ уваженіемъ многихъ и насчитываетъ массу авторитетныхъ приверженцевъ. Теорія Сагон'а предполагаетъ доказаннымъ, что характеристическое свойство стали брать закалку зависитъ отъ присутствія въ ней углерода.

Углеродъ въ стали можетъ находиться въ двухъ видахъ:



1) въ видѣ углерода закалки и 2) въ видѣ цементующаго углерода.

Углеродъ закалки соединенъ съ желѣзомъ болѣе тѣсно, чѣмъ цементующій углеродъ, который приближается немного къ графиту.

Отъ этого тѣснаго соединенія желѣза и углерода и происходитъ та специальная твердость, которую сталь получаетъ послѣ закалки.

Соединеніе это происходитъ подъ вліяніемъ давленія, плушенія и ударовъ молота въ теплое и особенно въ холодное состояніи; во время процесса закалки вызывается давленіе, дѣйствіемъ котораго внѣшніе слои, по мѣрѣ ихъ охлажденія, вжимаются во внутрь массы, остающейся еще болѣе теплою.

М. Варба формулирует ту же теорію нѣсколько инымъ образомъ, говоря, что

1) Количество углерода, которое можетъ имѣть желѣзо въ растворенномъ состояніи, тѣмъ болѣе, чѣмъ температура выше.

2) Отъ медленнаго охлажденія, часть углерода выдѣляется изъ раствореннаго состоянія и остается въ видѣ смѣси.

3) Отъ быстрого охлажденія или достаточнаго внѣшняго давленія, большая часть углерода сохраняется въ растворѣ. Быстрое охлажденіе дѣйствуетъ въ этомъ случаѣ благодаря происходящему при этомъ давленію. Если углеродъ смѣшанъ, внѣшнее давленіе сообразно съ своею интенсивностью вызываетъ раствореніе въ большей или меньшей степени.

Эти законы растворенія углерода въ желѣзѣ приближаются къ законамъ, которые управляютъ растворимостью твердыхъ и газообразныхъ тѣлъ въ жидкостяхъ.

Прибавимъ, что опыты М. W. Spring'a о соединеніи тѣлъ помощью давленія были основательно разобраны Hempel'емъ въ подтвержденіе тѣхъ же самыхъ идей (Deutsche Chem. Gesellsch., Bd. XXI, стр. 903). Въ то время когда теорія Caron'a была такимъ образомъ формулирована, металлурги не знали открытія М. Veratt'a о рекалесценціи.

Если придерживаться мнѣнія Varet't'a, то уже нельзя говорить, что цементующій углеродъ менѣе тѣсно соединенъ съ желѣзомъ, чѣмъ углеродъ закалки, такъ какъ онъ представляетъ собою по истинѣ единственную форму углерода, соединеніе котораго съ желѣзомъ не подлежитъ никакому сомнѣнію и при этомъ такую его форму, которая больше всего удаляетъ его отъ графита; цементующій углеродъ становится углеродомъ нормальнаго углеродистаго соединенія, какъ это называлъ М. Ledebur.

Что касается углерода закалки, то онъ или происходитъ отъ раствореннаго углерода, или отъ углерода, соединеннаго съ водородомъ, или отъ углерода, соединеннаго съ желѣзомъ, но только иначе чѣмъ соединенъ съ этимъ послѣднимъ цементующій углеродъ.

Все это, конечно, еще мало достовѣрно. Тѣмъ не менѣе можно утвердительно сказать, что углеродъ закалки представ-

ляетъ такую форму углерода, которая опредѣляется характерными химическими реакціями.

Вслѣдствіе этой поправки, остается ли теорія Сагон'а достойною быть принятою или освѣщаетъ ли она должнымъ образомъ изслѣдуемые факты?

Мы полагаемъ, что въ ней ничего нѣтъ особеннаго, да къ тому же она приводитъ къ слѣдующимъ затрудненіямъ:

1) Доказано уже, что переходъ углерода закалки въ углеродъ отжига и переходъ обратный самопроизвольно совершается въ стали при опредѣленной критической температурѣ и совершенно независимо отъ всякаго вмѣшательства давленія.

Однако остается возможнымъ, что давленіе имѣетъ вліяніе, или на относительное количество перешедшаго углерода, или на температуру перехода.

Но, если одно давленіе, во время холодной проковки, составляетъ часть цементующаго углерода переходить въ состояніе углерода закалки, то это выразилось бы въ методѣ Eggertz'а или въ методѣ Abel'я.

Но однако здѣсь то и заключается противорѣчіе. Ни одинъ, ни другой изъ этихъ двухъ методовъ не находятъ замѣтной разницы въ состояніи углерода въ прокованной на холоду стали и въ стали отожженной.

Это-то и есть одно изъ серьезныхъ затрудненій; теорія Сагон'а, одной изъ главныхъ заслугъ которой было объяснить одною и тою же причиною аналогичные эффекты закалки и эффекты холодной проковки, совсѣмъ не объясняетъ этой послѣдней.

2) Закаливая полутвердую сталь непосредственно передъ рекалесценціею, М. Osmond нашель, что она остается мягкою подъ напилкомъ, между тѣмъ какъ углеродъ обращается въ состояніе углерода закалки. Присутствіе углерода закалки не имѣетъ своимъ слѣдствіемъ сообщеніе твердости.

Но этотъ качественный опытъ не могъ быть убѣдительнымъ, какъ это замѣтилъ М. Howe на Congrès des mines et de la métallurgie въ сентябрѣ 1889 года.

Въ дѣйствительности, можно возразить, что возможность легкой обработки напилкомъ доказываетъ просто, что испытаемый металлъ менѣе былъ твердъ, чѣмъ напилкомъ, а не то, чтобы онъ не былъ твердымъ. И съ другой стороны испытаніе помощью азотной кислоты не показываетъ присутствія

УДУНТ
(ИПБТ)

углерода закалки и не свидѣтельствуеъ о величинѣ его относительнаго количества.

Замѣтимъ, однако, что опытъ М. Osmond'a кажется согласнымъ съ опытами C-ie de Châtillon et Commentry, о которыхъ мы уже упоминали выше; въ дѣйствительности, закаленная сталь у точки С, т. е. послѣ начала рекалесценціи, имѣла только 57,2 кил. сопротивленія, между тѣмъ какъ методъ Eggertz'a показываетъ въ D очень замѣтное еще относительное количество углерода закалки (смотри таблицу).

3) Какъ можно имѣть сталь мягкую въ присутствіи углерода закалки, такъ можно ее сдѣлать очень твердою въ отсутствіи большихъ количествъ углерода и тѣмъ болѣе углерода закалки.

Впродолженіи очень долгаго времени думали, что мягкая сталь не принимаетъ закалки, но на самомъ дѣлѣ это не такъ. Это только свидѣтельствуеъ что скорость охлаждения, которому подвергали сталь не была достаточна. Закаляя небольшія штуки мягкаго металла въ охлаждающей смѣси, замѣчаютъ значительное повышеніе сопротивленія.

Освѣтимъ это нѣсколькими цифрами. Извѣстно, что послѣ закалки стали, калориметрическій методъ Eggertz'a показываетъ видимое уменьшеніе содержанія углерода, такъ какъ часть углерода закалки во время испытанія обращается въ газообразное состояніе. Приведемъ примѣры:

А. Сталь твердая.

Наличное количество углерода въ процентахъ . . .	0,90
Послѣ закалки въ водѣ методъ Eggertz'a даетъ . . .	0,46
Явная потеря . . .	<u>49%</u>

В. Сталь полутвердая.

Наличное количество углерода	0,56
Послѣ закалки въ водѣ методъ Eggertz'a даетъ . . .	0,32 ₅
Явная потеря . . .	<u>49%</u>

С. Сталь мягкая.

Наличное количество углерода	0,30
Послѣ закалки въ охлаждающей смѣси методъ Eggertz'a даетъ	0,24
Явная потеря . . .	<u>20%</u>

УДУНТ
(ИПЪТ)

D. Сталь очень мягкая.

Наличное количество углерода въ процентахъ	0,22
Послѣ закалки въ охлаждающей смѣси, методъ Eggertz'a	
дастъ	0,20
Явная потеря	9%

Такимъ образомъ, чѣмъ слабѣе содержаніе въ стали всего углерода, тѣмъ, что впрочемъ и весьма натурально, меньшая часть углерода обращается въ состояніе углерода закалки. Если же твердость стали имѣеть единственною своею причиною присутствіе углерода закалки, то твердость и количество углерода закалки должны уменьшаться и увеличиваться въ одной и той же степени. На самомъ же дѣлѣ это не такъ. Сталь С, имѣвшая 5 килограммовъ сопротивленія при изломѣ въ 1 кв. миллиметрѣ первоначальнаго сѣченія предъ закалкою, оказываетъ до 128 килограммовъ сопротивленія послѣ закалки въ охлаждающей смѣси.

Сталь D, которая имѣла 42 килограмма сопротивленія и 30% удлиненія предъ закалкою, показывала послѣ закалки:

Сопротивленіе	97,1 кил.
Удлиненіе въ процентахъ	4%

4) Извѣстныя постороннія тѣла марганецъ и никель въ литой стали, водородъ въ электролитическомъ желѣзѣ, производятъ на свойства желѣза дѣйствіе, аналогичное дѣйствію углерода и закалки.

Въ виду всѣхъ четырехъ пунктовъ, которые мы сейчасъ привели, теорія Caron'a, которая была хороша въ свое время, теперь представляется такою, которую пора уже оставить.

ЧАСТЬ ЧЕТВЕРТАЯ.

Преобразование желѣза.

Такъ какъ присутствіе и преобразование углерода не вполне объясняютъ тѣ многочисленныя замѣчательныя свойства, которыя представляетъ исторія стали, естественно приходится искать объясненія ихъ въ самомъ желѣзѣ.

Не представляетъ ли собою желѣзо тѣла полиморфнаго, какъ сѣра, селенъ и нѣкоторыя другія простыя тѣла? Идея эта не новая, такъ какъ Профессоръ Roberts-Austen съ удивительнымъ знаніемъ основъ научной металлургіи выражалъ ее недавно въ присутствіи членовъ Британскаго Соединеннаго Общества въ Ньюкастлѣ. (On the Hardening and Tempering of Steel Nature, 7 and 14 november, 1889).

Bergmann, профессоръ въ Упсалѣ, первый открывшій въ 1781 г. присутствіе углерода въ стали, указывалъ на значительность вліянія, которое можетъ имѣть на свойства желѣза присутствіе даже относительно весьма малаго количества посторонняго вещества; кажется, что желѣзо само по себѣ можетъ играть роль нѣсколькихъ металловъ.

„Adeo ut jure dici queat polymorphum ferrum plurius simul metallorum vices sustinere“. Изъ этого видно, что слово „полиморфный“ было уже и тогда въ употребленіи. Joule въ своемъ сообщеніи, представленномъ Британскому Обществу „On some amalgams“ указываетъ, что желѣзо, отдѣленное отъ своей амальгамы—химически активное и соединяется съ кислородомъ воздуха при обыкновенной температурѣ. Это есть аллотропическій видъ желѣза.

Joule идетъ еще дальше: Magnus нашелъ, что термоэлектрическія свойства твердой стали и стали мягкой различны;

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

Joule же говоритъ, что термоэлектрическій токъ можетъ служить однимъ изъ способовъ опредѣленія содержанія углерода въ желѣзѣ; онъ увѣряетъ, что термоэлектричество желѣза въ различныхъ его состоянiяхъ есть новое доказательство особенныхъ, физическихъ измѣненiй происходящихъ въ желѣзѣ отъ превращенiя въ сталь и думаетъ, что качество этого послѣдняго металла можетъ быть опредѣлено вариациями, которымъ подвергается закалка на основанiи термоэлектрическихъ свойствъ. Эти указанiя были разобраны ММ. Strouhal и Bagus въ ихъ многочисленныхъ и весьма важныхъ трудахъ, (Wied. Ann.; Neue Folge, Bd. VII, p. 338 (1879). Sep. Abdr. aus den Verhandl. der phys.-med. Ges. zu Würzburg; N. F., Bd. XV (1880). Abhandl. d. K. boehmischen Gesellsch. der Wiss., 6^o Serie, Bd. XII, p. 1 (1883—1884). Bull. of the U. S. geological Survey, n^o 14 (1885) et n^o 35 (1886).

Укажемъ здѣсь на опыты Tait'a надъ термоэлектричествомъ, давшiе весьма интересные результаты (Trans. roy. Soc. Edimb., t. XXVII, p. 125).

Кривыя, представляющiя собою между обыкновенною температурою и температурою бѣлаго каленiя электровозбудительную силу паръ, гдѣ желѣзо и сталь соединены въ соединенiи съ платиною, всѣ представляютъ замѣчательную особенность; вмѣсто того чтобы быть параболами, какими представляются по крайней мѣрѣ до 400° подобныя кривыя для паръ извѣстныхъ, въ составъ которыхъ не входятъ магнитные металлы, онѣ образуются изъ 3 или 4 частей параболъ соединенныхъ между собою одною общею касательною; онѣ представляютъ даже 2 или 3 отклоненiя отъ кривой соотвѣтственно измѣненiямъ электрической теплоемкости. Никель представляетъ аналогичныя аномалiи.

Извѣстно также уже давно, что желѣзо, нагрѣтое до-красна, теряетъ свои магнитныя свойства.

Всѣ другiя свойства желѣза равнымъ образомъ претерпѣваютъ быстрыя измѣненiя при или около той же самой температуры. Опытная демонстрацiя этого была приведена качественно: относительно расширенiя ММ. Gore и Baretт'омъ (loco citato).

Относительно электрическаго сопротивленiя Smith'омъ, Knot'омъ и Macfarlane'омъ (Proc. roy. Soc. Edimb., t. VII,

р. 629). Затѣмъ уже въ эти послѣдніе годы начинается періодъ количественныхъ изслѣдованій.

М. Pionchon (Compte-Rendus, t. CII, p. 677 и 14 54; CIII, p. 1122 и Annales de Chimie et de Physique, 6° serie, t. XI, 33 p. (1887), опредѣляя съ большою точностью величины теплоемкости желѣза до 150°, сталкивается съ уклоненіями, которыя были оставлены совершенно незамѣченными въ прежнихъ трудахъ по тому же вопросу.

Результаты показываютъ во время нагрѣванія желѣза два ненормальныхъ поглощенія теплоты: первое въ 5,3 калорій на 1 граммъ между 660° и 720°, второе между 1000 и 1050°.

Такъ какъ опыты относились не только къ торговому желѣзу, чистота котораго вообще только относительная, но также и къ завѣдомо чистому желѣзу, давшему тѣ же самые результаты, то и приходится убѣдиться, что вся суть здѣсь заключается въ молекулярныхъ измѣненіяхъ желѣза.

Въ свою очередь М. Н. Chatelier (Bulletin. Soc. chim. t. XLV, p. 482) нашелъ два измѣненія въ кривизнѣ діаграммы электровозбудительныхъ силъ паръ, содержащихъ желѣзо: первое около 700°, второе между точками плавленія серебра и золота.

М. Moissan (Annales de Chimie et de Physique 5° série. t. XXI [1880]), идя совершенно другимъ путемъ, а именно возстановляя полуторную окись желѣза помощью водорода при 440° получилъ пирофорическое (легко загорающееся) желѣзо совершенно тождественное съ желѣзомъ отдѣленнымъ Джоулемъ отъ амальгамы; напротивъ, если температура возстановленія была между 600° и 700°, получалось желѣзо обыкновенное, въ видѣ сѣраго порошка.

Наконецъ, разсматривая вопросъ чисто механическимъ путемъ, Tresca (Comptes-rendus t. XCIX p. 351) также пришелъ къ мысли о существованіи двухъ молекулярныхъ видоизмѣненій желѣза, изъ которыхъ одно, твердое и ломкое, представляетъ собою результатъ закалки или холодной проковки. Таково было состояніе разбираемаго нами вопроса, когда мы сочли полезнымъ сдѣлать новыя изслѣдованія.

Опытный методъ. Такъ какъ диморфическія (двубразныя) измѣненія и химическія реакціи всегда сопровождаются выдѣленіемъ или поглощеніемъ теплоты, то мы предполагаемъ

УДУНТ
(ИПЪТ)

прослѣдить ходъ охлажденія или нагрѣванія надлежащимъ образомъ выбранныхъ образцовъ и измѣрить на сколько возможно точно время, необходимое для повышенія или пониженія температуры на извѣстное число градусовъ: всякое выдѣленіе или всякое поглощеніе теплоты должно непремѣнно сопровождаться замедленіемъ или особеннымъ ускореніемъ въ ходѣ показаній термометра.

Для измѣренія температуръ мы воспользовались недавними успѣхами, достигнутыми М. Н. Chatelier въ употребленіи термоэлектрическихъ батарей (Journal de Physique, t. VI, 2^o série, Janvier 1887, et Genie Civil du 5 mars 1887).

Батарея М. Chatelier состоитъ изъ проволоки родистой платины съ 10-ти процентнымъ содержаніемъ родія и изъ литой чистой платиновой проволоки.

Электровозбудительныя силы измѣрялись помощью зеркальнаго аперіодическаго гальванометра ММ. Deprez и Arsonval.

Что касается до измѣренія электровозбудительныхъ силъ въ дѣленіяхъ десятичной системы, то мы нашли, употребляя тѣ же цифры М. Chatelier, что отклоненія Δ стрѣлки, читаемыя на циферблатѣ гальванометра, могутъ быть надлежащимъ образомъ представлены въ функціи обыкновенныхъ температуръ посредствомъ построенія параболы и прямой касательной къ ней.

Строить параболу, вставляя въ общую формулу

$$\Delta = a (t_1 - t_0) \times b (t_1^2 - t_0^2)$$

гдѣ

$$t_1 \text{ и } t_0$$

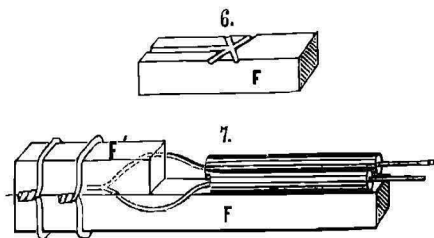
суть температуры спая, а и b численные коэффиціенты при условіи, что величины Δ и t_1 соотвѣтствуютъ точкамъ кипѣнія ртути и селена.

Проводятъ затѣмъ касательную къ параболѣ чрезъ опредѣленную точку соотвѣтствующую отвердѣванію сѣрно-кислаго поташа (1015°). Точка соприкасанія будетъ 579°.

Разъ уже главныя формулы опредѣлены, достаточно для градуированія даннаго гальванометра или для исправленія его градуировки, если чувствительность гальванометра не остается постоянною, взять одну опредѣленную точку, напри-

мѣръ точку отвердѣванія сѣрноокислаго поташа, рекомендованную M. Chatelier.

Отклоненія соответствующія одной и той же температурѣ нагрѣтаго спая остаются въ дѣйствительности пропорціональными между собою при всякихъ шкалахъ если температура холоднаго спая не измѣняется. Время, которое употребляетъ термометръ въ продолженіе нагрѣванія или охлажденія образца, для поднятія или пониженія на одно дѣленіе шкалы (1 миллиметрѣ), записывалось особымъ пишущимъ приборомъ телеграфа Морзе, состоящаго изъ цилиндра вращающагося небольшою электрической машиною, дѣйствующею при помощи элемента Clamond'a. Всѣ изслѣдуемые металлы были взяты въ формѣ стержней съ круглымъ или квадратнымъ сѣченіемъ отъ 5 до 7 миллиметровъ въ діаметрѣ или въ сторонѣ и длиною около 60 сантиметровъ; стержни эти были выкованы или вылиты смотря по природѣ металла.



Въ одномъ изъ концовъ стержня F, въ случаѣ если онъ желѣзный или стальной, продѣлывали напилкомъ, а въ случаѣ стержня чугунаго—точильнымъ камнемъ небольшую дорожку соответствующей формы для помѣщенія пары (черт. 6).

Стержень F' того же металла, длиною отъ 3 до 4 сантиметровъ и совершенно такъ же приготовленный, былъ положенъ на установленную на мѣстѣ пару такимъ образомъ, что сплавъ ея зажимался между стержнями F и F', которые крѣпко связывались желѣзною проволокою.

Чертежъ 8 представляетъ схематическое изображеніе нашего расположенія приборовъ въ планѣ. Стержень F введенъ въ фарфоровую, покрытую глазурью трубку такимъ образомъ, что сплавъ термоэлектрической пары приходится въ центрѣ печи S (печь Leclercq и Forquignon или всякая другая подобная).

Платиновыя проволоки и родистая платина отдѣлены трубами отъ трубы металлическаго стержня.

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

Фарфоровая трубка закрыта съ двухъ сторонъ пробками, позволяющими съ легкимъ треніемъ проходить стержню F и проволокамъ, пары; другая трубка C наполнена хлористымъ кальціемъ и оканчивается остріемъ. Концы проволокъ спаяны съ мѣдными проводниками и заключены въ двѣ трубки, наполненныя во время опыта спиртомъ и опущенныя въ водяную ванну; температура этой ванны та же что и температура холоднаго спая.

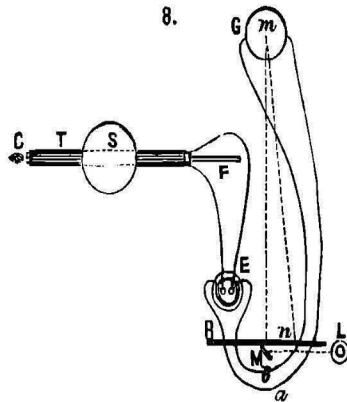
G—представляетъ гальванометръ съ зеркаломъ m,

L—лампа.

R—градуированная линейка съ рефлексоромъ M;

Пунктирная линия LMmn представляетъ направленіе свѣтовыхъ лучей падающихъ отъ лампы L въ рефлексоръ M и отраженныхъ изъ M въ m, а изъ m на шкалу.

Цѣпь должна быть расположена такимъ образомъ, чтобы



можно было соединить точки a и b и заставить токъ проходить внѣ гальванометра. Фарфоровая трубка, внутри которой заставляли охлаждаться или нагреваться металлическій стержень во время всѣхъ опытовъ, остается наполненною воздухомъ; часть этого воздуха при повышеніи температуры выходитъ чрезъ точку C, а оставшійся, соединяясь съ металломъ образуетъ на его поверхности легкій налетъ окиси; такъ какъ воздухъ не можетъ циркулировать чрезъ заостренный конецъ, то является возможнымъ, одинъ и тотъ же стержень подвергать большому числу операцій, не наблюдая замѣтнаго измѣненія въ его свойствахъ.

Чтобы представить графически результаты опытовъ, мы приняли за абсциссы температуры, а за ординаты—время, каждое дѣленіе нанесенное на ось ординатъ представляетъ

собой время потребное для прохождения стрѣлки черезъ два дѣленія циферблата. Остановка термометра въ какомъ либо положеніи обозначена на діаграммахъ точкою, а постепенный ходъ замедленія въ показаніяхъ его кривою линією, кривизна которой пропорціональна количеству теряемой теплоты.

Результаты опыта.

Явленія, наблюдаемыя въ продолженіе медленнаго охлажденія желѣза, стали и чугуна между 1, 100° и 600°. Роль углерода; измѣненіе его состоянія; вліяніе его на молекулярное преобразование желѣза.

Мы сначала изслѣдуемъ серію образцовъ по отношенію къ увеличивающемуся содержанію углерода, оставляя другіе элементы, насколько это возможно, въ слабыхъ мало измѣняющихся пропорціяхъ.

Приведенная здѣсь таблица даетъ результаты анализовъ взятыхъ образцовъ.

	Электролитич. желѣзо.	Сталь очень мягкая Мартенса основная.	Сталь мягкая Бессемера основная.	Сталь полутвердая Мартенса кислая.	Сталь твердая тигельная.	Шведскій бѣ- лый чугунъ.		
Способъ приготовленія .		ков- кою.	ков- кою.	ков- кою.	ков- кою.	литьемъ.		
Форма бруска	прямо- угольн.	круг- лая.	круг- лая.	круг- лая.	круг- лая.	квадрат. мм.		
Размѣры прямогосѣченія.	10+4 мм.	6 мм.	5 мм.	6 мм.	6 мм.	6,5 6,5		
Химич. составъ.	{	Углеродъ	0,08	0,16	0,29	0,57	1,25	4,10
		Кремній		0,01 ₂	0,06	0,08	0,19	0,22
		Сѣра		0,02 ₁	0,06	0,02	0,02	0,04
		Фосфоръ		0,02 ₉	0,05 ₃	0,05	0,02 ₁	0,01 ₈
		Марганецъ		0,11	0,27	0,23	0,10	0,12

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

Для удобства описанія и разсмотрѣнія наблюдаемыхъ явленій мы обозначимъ чрезъ букву a воѣ измѣненія связаннаыя съ явленіемъ закалки и слѣдовательно съ точкою a Чернова.

Но, такъ какъ обнаружилось изъ трудовъ различныхъ изслѣдователей, въ томъ числѣ и нашихъ, что точка a не есть простая точка и что въ дѣйствительности можетъ существовать нѣсколько критическихъ точекъ, соответственно смежныхъ или съ преобразованиемъ углерода, или съ преобразованиемъ желѣза, то мы и назовемъ чрезъ a_1, a_2, a_3 эти различныя точки, причемъ чрезъ a_1 —означимъ процессъ измѣненія происходящій при самой низкой температурѣ.

Такъ какъ, сверхъ того, то же самое измѣненіе не происходитъ при одной и той же температурѣ, то по мѣрѣ того какъ показанія термометра поднимаются или опускаются, должно существовать различіе между наблюдаемымъ измѣненіемъ во время нагрѣванія a_{r_1} , на примѣръ, и обратнымъ a_{r_1} во время охлажденія.

Символь a_{r_1-2} обозначаетъ, что два процесса измѣненія a_{r_1} и a_{r_2} соединяются въ одно въ разсмотрѣнномъ образцѣ.

Символь $\frac{a_{r_1}}{m}$ показываетъ, что процессъ измѣненія a_{r_1} совершился не вполнѣ. Кромѣ измѣненій a , причина и подлинность которыхъ уже извѣстна, мы можемъ констатировать нѣкоторыя другія мало замѣтныя колебанія, указывающія на плавленіе или затвердѣванія соединеній желѣза съ посторонними веществами. Несмотря на важность теоретическую и практическую, можетъ быть даже и большую, этихъ малыхъ измѣненій, мы въ настоящій моментъ не будемъ ими заниматься, такъ какъ, допустивъ даже что мы ихъ узнаемъ, мы не будемъ въ состояніи сдѣлать какихъ либо гипотезъ о ихъ настоящей природѣ. Эти условія мы введемъ въ описаніе фактовъ.

1. Электролитическое желѣзо. Слой вырѣзанный въ видѣ пластинки и данный М. Ledebog'омъ; этотъ слой до опыта былъ прожженъ до вишнево-краснаго каленія въ атмосферѣ чистаго водорода съ цѣлью выгнать изъ желѣза водородъ, значительно измѣняющій, какъ извѣстно, его свойства.

Противно предположеніямъ, въ этомъ электролитическомъ желѣзѣ замѣчается только незначительное содержаніе углерода (0,08%), причемъ присутствіе его подтверждается двумя согласными опредѣленіями (методъ Boussingault'a), а также окрашиваніемъ, сообщаемымъ азотной кислотѣ (методъ Eggertz'a). Несмотря на это, изъ всѣхъ разсмотрѣнныхъ нами металловъ, этотъ металлъ единственный болѣе близкій къ чистому желѣзу.

Во время охлажденія, термометръ быстро останавливается при 855° и остается въ такомъ положеніи нѣкоторое время, дѣлая такимъ образомъ остановку a_{Γ}^3 ; потомъ онъ опять такъ же быстро продолжаетъ свое нисходящее движеніе. Прогрессивное замедленіе a_{Γ}^2 начинается у 750° , достигаетъ перваго главнаго maximum'a между $737-730^{\circ}$, второго второстепеннаго maximum'a между $708-702^{\circ}$ и кончается у 690° .

Послѣднее замедленіе a_{Γ}^1 является у 660° ; но вообще то это подлежитъ еще большому сомнѣнію и если мы и упоминаемъ о немъ здѣсь, то только потому, что оно можетъ быть связано со свойствомъ, которое, какъ мы узнаемъ, часто встрѣчается въ различныхъ видахъ стали.

2. Сталь очень мягкая. Весь ходъ охлажденій состоитъ изъ трехъ прогрессивныхъ замедленій, фазы которыхъ указаны въ нижеслѣдующей таблицѣ:

	Начало у	Maximum между	Конецъ у
a_{Γ}^3	845°	$825^{\circ}-819^{\circ}$	800°
a_{Γ}^2	755°	$736^{\circ}-725^{\circ}$	710°
a_{Γ}^1	680°	$662^{\circ}-655^{\circ}$	745°

3. Сталь мягкая. 2 прогрессивныхъ замедленія.

	Начало у	Maximum между	Конецъ у
$a_{\Gamma}^{3,2}$	780°	$721^{\circ}-715^{\circ}$	690°
a_{Γ}^1	680°	660°	640°

4. Сталь полутвердая. Прогрессивное замедленіе и остановка.

Замедленіе $a_{\Gamma}^{3,2}$ начинается у 750° , достигаетъ своего maximum'a между 700° и 690° и оканчивается остановкою a_{Γ}^1 при 661° .

5. Сталь твердая. Небольшое замедленіе a_{Γ}^1 , которое ясно

замѣчается у 860° въ охлажденіи приведенномъ какъ примѣръ, не нормальное для разсматриваемой стали. При другихъ охлажденіяхъ той же самой стали его не замѣчается. Несмотря на это, указанная случайность имѣетъ для насъ нѣкоторый интересъ. Характеристикою этого металла служить долгая и единственная остановка $a_{r, 3.2.1}$ при 674° . Передъ и послѣ этой послѣдней идутъ кривыя замедленіи въ показаніяхъ термометра, которыя частью сливаются (начало у 720 , конецъ при 645°).

6. Бѣлый чугунъ. Затвердываніе S при 1085° . Здѣсь происходятъ явленія подобныя тѣмъ которыя были замѣчены для стали, а именно ходъ охлажденія этого металла характеризуется единственною остановкою $a_{r, 3.2.1}$ происходящею при 695° . Кривая замедленія до этой остановки сливается частью съ таковою же кривою начинающеюся при 710° и оканчивающеюся при 660° .

Теперь мы приступимъ къ рассмотрѣнію этихъ результатовъ, выраженныхъ кривыми на чертежахъ 9 и 10.

Достаточно бросить взглядъ на эти кривыя, чтобы видѣть, что продолжительность остановки $a_{r, 1}$ для различныхъ разсматриваемыхъ металловъ увеличивается, начиная съ желѣза электролитическаго гдѣ она равно почти нулю, до самой твердой стали, гдѣ она достигаетъ уже значительной величины.

Такимъ образомъ a , представляетъ собою функцію отъ содержанія углерода и ее можно отождествить съ явленіемъ, которому Varetт далъ названіе рекалесценціи.

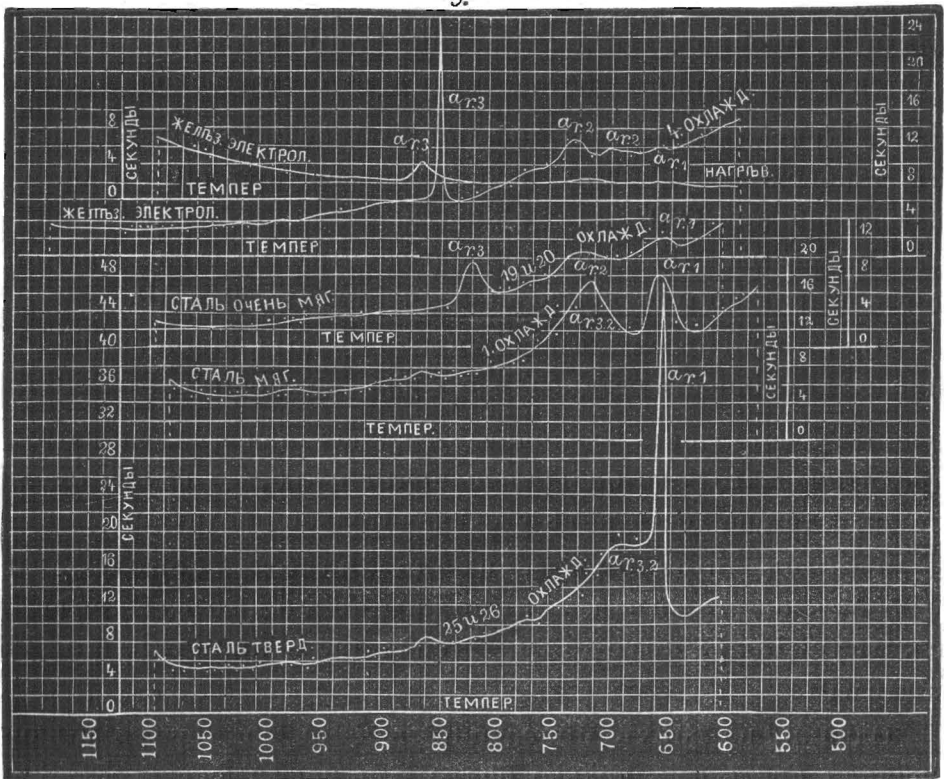
Однако, во всѣхъ приводимыхъ нами примѣрахъ мы обозначили чрезъ $a_{r, 1}$ только болѣе или менѣе долгую остановку термометра, тогда какъ въ опытахъ М. Varetт'a температура (по крайней мѣрѣ для опредѣленныхъ образцовъ) все время подымалась, что можно было замѣтить даже простымъ глазомъ. Эта разница, какъ намъ кажется, не имѣетъ особаго значенія и мы сами неоднократно убѣждались въ существованіи рекалесценціи въ строгомъ смыслѣ этого слова; для одной и той же стали, можно имѣть независимо рекалесценцію, остановку термометра или простое замедленіе въ зависимости отъ относительныхъ скоростей охлажденія и реакціи,

происходящей вслѣдствіе теплоты; реакція происходитъ сама по себѣ тѣмъ быстрѣе, чѣмъ была больше задержана.

Труды М. Brinell'я доказываютъ, что рекалесценція происходитъ, по крайней мѣрѣ отчасти, вслѣдствіе преобразованія углерода закалки въ углеродъ отжига.

Такъ какъ углеродъ отжига соединенъ съ желѣзомъ, а углеродъ закалки не соединенъ, то можно сказать, что рекалесценція обязана своимъ происхожденіемъ теплотѣ выдѣляющейся вслѣдствіе химическаго

9.

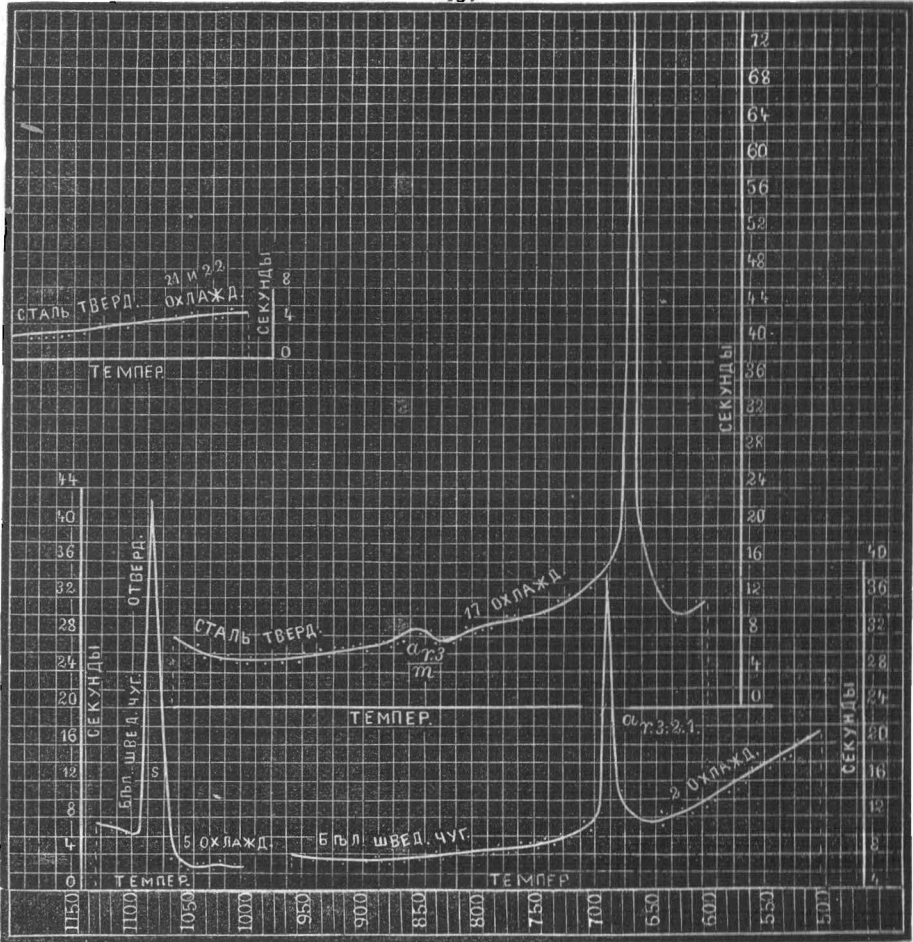


соединенія углерода съ желѣзомъ; и взаимно, явленіе обратное а₁ представляетъ разложеніе желѣзо-углеродистаго соединенія постояннаго при низкихъ температурахъ.

Опыты, описанные выше, какъ намъ кажется, вполне подтверждаютъ этотъ взглядъ. На самомъ дѣлѣ „обратимая“ химическая реакція, въ которой является агентомъ теплота, есть вообще соединеніе. Если, какъ это требуетъ теорія Caron'а,

рекалесценція представляеть разложеніе желѣзо-углеродистаго соединенія постояннаго при возвышенныхъ температурахъ, то это углеродистое соединеніе образовывалось бы съ поглощеніемъ теплоты и принадлежало бы къ классу взрывчатыхъ; явленіе α_1 не было бы тогда обратимымъ. Но на это могутъ возразить, что если рекалесценція дѣйствительно представляеть химическое соединеніе, то еще подлежитъ большому

10.



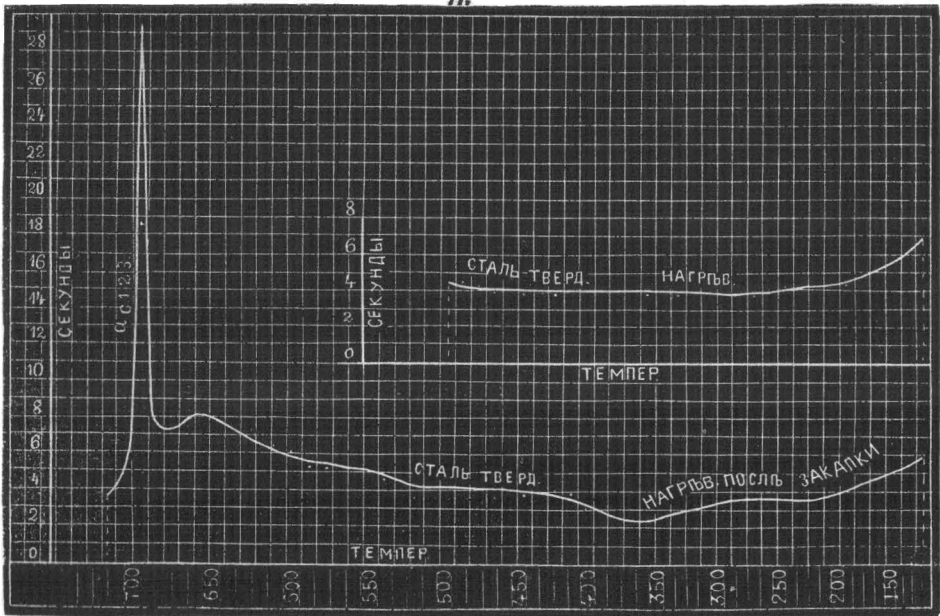
сомнѣнію, совершается ли это соединеніе между свободнымъ желѣзомъ и свободнымъ углеродомъ, а не между желѣзомъ и какимъ нибудь другимъ углеродистымъ соединеніемъ. Это въ дѣйствительности возможно; но, если при соединеніи этого предполагаемаго углеродистаго соединенія съ избыткомъ желѣза выдѣляется такое количество теплоты, какое обнаруживается рекалесценціей, то это углеродистое соединеніе само

по себѣ болѣе простое, образовывалось бы также навѣрное съ сильнымъ выдѣленіемъ теплоты; оно не должно было бы, ни разлагаться при отжигѣ въ производствѣ ковкаго чугуна, ни поддаваться дѣйствию даже очень слабыхъ кислотъ, какъ это замѣчается на самомъ дѣлѣ.

Замѣчательно, что остановка a_{r1} , продолжительность которой увеличивается для различныхъ видовъ стали отъ мягкой до стали самой твердой, напротивъ, уменьшается, когда переходитъ твердая сталь въ бѣлый чугунъ.

Отсюда слѣдуетъ, что въ этомъ послѣднемъ большая часть углерода остается въ одномъ и томъ же состояніи передъ и

11.



послѣ рекалесценціи. Есть ли это углеродъ закалки, который задерживается въ охлажденномъ чугунѣ, или же углеродъ отжига, который остается соединеннымъ при красномъ каленіи? Первое предположеніе оправдывается въ дѣйствительности, какъ это доказываютъ недавніе опыты Werth'a.

М. Werth въ дѣйствительности нашелъ, что осадокъ выдѣленный помощью метода Weyl'я изъ того же бѣлаго чугуна, который служилъ и для нашихъ опытовъ, содержитъ только незначительное относительное количество желѣза, а слѣдовательно и углеродистаго желѣза или углерода отжига.

ИЗДАНИЕ
УДѢЛЪ
(ИПЪТ)

Къ тому же, часть углерода закалки въ очень чистыхъ и очень углеродистыхъ чугунахъ легко принимаетъ форму графита; достаточно только нагрѣть немного выше точки плавленія и заставить медленно охлаждаться.

Даже въ стали, углеродъ не принимаетъ никогда одной изъ этихъ формъ при полномъ отсутствіи другой, какъ это показали наши изслѣдованія помощью метода Eggertz'a о состояніи углерода. Это происходитъ вслѣдствіе того, что скорость охлажденія никогда не можетъ быть ни безконечно большою, ни безконечно малою, а также и вслѣдствіе самой природы среды, въ которой происходитъ реакція; въ твердомъ тѣлѣ атомы не въ каждой точкѣ находятся въ благоприятныхъ условіяхъ для соединенія.

Температура, при которой происходитъ это соединеніе, при условіяхъ нашихъ опытовъ, медленно подымается по мѣрѣ того какъ содержаніе углерода увеличивается. Мы имѣемъ на самомъ дѣлѣ:

	Maximum a_1
1. Электролитическое желѣзо.	660°
2. Сталь очень мягкая	662°—655°
3. Сталь мягкая	660 ¹⁾
4. Сталь полутвердая.	661 ¹⁾
5. Сталь твердая	674°
6. Бѣлый чугунъ	695°

Однако вѣроятно, что температура соединенія есть теоретически постоянная; реакція же замедляется въ своемъ дѣйствіи вслѣдствіе недостатка углерода.

Мы приступаемъ теперь къ разсмотрѣнію процессовъ измѣненій свойственныхъ желѣзу.

Въ электролитическомъ желѣзѣ этихъ процессовъ всего два a_1^2 и a_1^3 .

a_1^2 между 750° и 690° вполне сходно съ процессомъ измѣненій замѣченнымъ М. Pionchon между 723° и 660° и тѣмъ болѣе, что одинъ изъ двухъ образцовъ М. Pionchon, желѣзо Berry должно было содержать небольшое количество углерода, который именно и соединяется съ желѣзомъ при 660°.

¹⁾ Такъ какъ въ образцахъ 3 и 4 содержалось немного болѣе марганца, сравнительно съ другими, то обѣ температуры 600° и 661° оказываются относительно низкими.

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

a_{r3} же (при 855°) не сходно съ вторымъ процессомъ измѣненій М. Pionchon'a между 1000 и 1050° . Причина этого по всей вѣроятности заключается не въ различіи методовъ употребленныхъ при измѣреніи температуръ; къ тому же нужно замѣтить, что цифры М. Pionchon'a относятся до нагрѣванія, а наши до охлажденія, что, собственно говоря, и сближаетъ ихъ, какъ это мы увидимъ далѣе.

Положеніе a_3 измѣняется съ составомъ металла и со скоростью охлажденія; замѣчаемое же отклоненіе не представляетъ собою что либо необыкновенное, а напротивъ такъ и должно быть и даже относительно a_3 существуетъ самое полное согласіе.

Сталь очень мягкая также даетъ двѣ критическихъ точки a_{r2} и a_{r3} ; но процессъ a_{r3} , который при 855° является внезапною остановкой, для электролитическаго желѣза обращается въ прогрессивное замедленіе между 845° и 800° ; прибавленія, даже въ очень небольшомъ количествѣ, углерода и марганца достаточно уже, чтобы замѣтно понизить a_{r3} и значительно измѣнить направленіе. Въ мягкой стали a_{r3} еще спускается и сливается съ a_{r2} въ одно прогрессивное замедленіе a_{r3-2} .

Легко убѣдиться, что количество теплоты, выдѣляемое вслѣдствіе a_{r3-2} должно быть непремѣнно точно равно суммѣ количества теплоты выдѣляемой вслѣдствіе суммы измѣненій a_{r2} и a_{r3} въ очень мягкой стали.

Въ стали полутвердой—новое пониженіе двойнаго процесса измѣненія a_{r3-2} ; maximum между 700° и 690° еще совершенно отдѣленъ отъ рекалесценціи (661°), конецъ же приближается къ ней.

Наконецъ, въ стали твердой все сливается въ одну остановку a_{r3-2-1} .

Итакъ отсюда, если мы назовемъ чрезъ β молекулярную форму, которою обладаетъ желѣзо электролитическое α при температурѣ выше 855° и чрезъ α —при температурѣ около 700° , то увидимъ, что присутствіе углерода, подъ видомъ углерода закалки, поддерживаетъ желѣзо въ состояніи β до температуры тѣмъ болѣе низкой, чѣмъ содержаніе углерода болѣе обильное; съ своей стороны рекалесценція идетъ въ обра-

номъ порядкѣ, но существуетъ извѣстный предѣлъ содержанія углерода, при которомъ всѣ преобразованія сливаются.

Остается узнать соотвѣтствуютъ ли два различныя замедленія a_1 и a_2 въ металлахъ менѣе углеродистыхъ двумъ видоизмѣненіямъ желѣза также различнымъ или же двумъ періодамъ одного только видоизмѣненія. Такъ какъ, вообще, опредѣленное содержаніе углерода понижаетъ a_1 , то является вполне естественнымъ, что болѣе слабое содержаніе углерода (какъ напримѣръ въ электролитическомъ желѣзѣ или другихъ образцахъ предполагаемыхъ чистыми) можетъ понизити отчасти a_1 до a_2 , которое будетъ въ этомъ случаѣ представлять не что иное какъ запоздавшій конецъ a_1 или такъ какъ сталь не однородна, — преобразованія ея углеродистыхъ частей.

Согласно съ этою гипотезою замѣчаютъ, что a_2 не имѣетъ прямого хода молекулярныхъ видоизмѣненій, происходящихъ при строго опредѣленной критической температурѣ.

Всѣ опыты произведенные за послѣднее время вполне подкрѣпляютъ этотъ взглядъ.

М. Н. Chatelier убѣдился въ внезапномъ измѣненіи въ законѣ расширеній мягкаго желѣза при 830° , т. е. въ a_1 (Comptes rendus, t. CVIII, p. 1069 [1889]).

Въ опытахъ М. Hopkinson'a (Phil. Trans. roy. Soc. of London, t. CLXXX, p. 443 [1889]) появленіе магнетизма совпадаетъ всегда съ a_2 . Въ a_1 же ничего подобнаго не замѣчается.

Однако, вопросъ еще окончательно не разрѣшенъ. Предварительно, мы примемъ гипотезу самую простую и, какъ кажется, самую вѣроятную, и допустимъ, что существуетъ только два аллотропическихъ состоянія желѣза α и β , но что переходъ одного въ другое можетъ быть или быстрый и полный, или прогрессивный и прерывный смотря по составу металла.

б. Вліяніе начальной температуры и скорости охлажденія на положеніе критическихъ точекъ. Теорія закалки.

Если подвергнуть одинъ и тотъ же образецъ стали ряду нагрѣваній и послѣдовательныхъ охлажденій, при прогрессивномъ поднятіи температуры, то найдемъ что положеніе рекалесценціи понижается сначала довольно быстро, а затѣмъ

очень медленно въ зависимости отъ величины начальной температуры.

Положеніе рекалесценціи опускается также, когда скорость охлажденія увеличивается, какъ это показываютъ приведенныя въ нижеслѣдующей таблицѣ циффы.

ОХЛАЖДЕНІЕ:	Сталь полутверд.			Сталь твердая.		
	Продолжител. охлажд. между 685° — 658°.	Рекалесц. α_{Γ_1}		Продолжител. охлажд. между 705° — 658°.	Рекалесц. $\alpha_{\Gamma_3, 2, 1}$	
		Останов- ка въ	Возвра- щеніе.		Останов- ка въ	Возвра- щеніе.
Замедленное въ трубкѣ	116"	653°	656°	49"	671°	675°
Обыкновенное	24,"5	648°	655°	20"	670°	680°
Быстрое въ воздухѣ	не измѣрен.	637°	640°	не измѣрен.	642°	651°
Очень быстрое; закалка въ хо- лодной водѣ.	Тоже	отсут	ствіе	Тоже	отсут	ствіе

Во время быстрой закалки не замѣчается никакого измѣненія.

Такимъ образомъ, когда скорость охлажденія до-вольно большая, преобразованія происходящія во время медленнаго охлажденія уже не происходятъ по крайней мѣрѣ въполнѣ; закаленная сталь представляеть собою сталь, гдѣ желѣзо и углеродъ сохранили болѣе или менѣе то состояніе, которое они имѣли при высокихъ температурахъ; теплота не совершившихся преобразованій остается въ металлѣ: ее мы назовемъ скрытою теплотою закалки.

Существованіе скрытой теплоты закалки было доказано раньше при изложеніи нашихъ калориметрическихъ опытовъ; теперь же она снова проявляется въ явленіи выдѣленія теплоты, которое происходитъ во время вторичнаго нагрѣванія закаленной стали.

Это замедленіе молекулярнаго видоизмѣненія и химической реакціи есть только частный случай общаго факта; всѣ эти

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

явленія требуютъ для своего выполненія извѣстнаго времени; они совершаются не вполнѣ, если условія, при которыхъ они возможны, не поддерживаются въ продолженіе нѣкотораго достаточно продолжительнаго времени.

Найдемъ теперь, какую роль играетъ желѣзо и какую углеродъ въ свойствахъ закаленной стали.

Для этого возьмемъ сталь полутвердую, гдѣ во время медленнаго охлажденія измѣненіе $a_{r^{3-2}}$ рѣзко еще различается отъ измѣненія a_r ; нагрѣемъ ее до температуры достаточно высокой для того, чтобы совершились всѣ явленія обратныя нами изученнымъ и закалимъ ее послѣдовательно:

1) Передъ $a_{r^{3-2}}$, т. е. предъ началомъ видоизмѣненія желѣза;

1) Послѣ максимумъ $a_{r^{3-2}}$ и предъ началомъ a_r , т. е. въ періодъ, когда уже идетъ преобразование желѣза, а преобразование углерода еще не началось.

3) Непосредственно послѣ a_r , т. е. когда совершились всѣ преобразования.

Наконецъ, чтобы опредѣлить относительную твердость образцовъ, попробуемъ ихъ напилкомъ, а чтобы опредѣлить въ каждомъ состояніи углерода—азотною кислотою находимъ что

1) Закалка до $a_{r^{3-2}}$ даетъ сталь нормально закаленную, твердую подъ напилкомъ, съ углеродомъ въ состояніи углерода закалки;

2) Послѣ закалки между $a_{r^{3-2}}$ и a_r углеродъ еще находится въ состояніи углерода закалки, но металлъ мягокъ подъ напилкомъ.

3) Когда закалка совершена послѣ a_r , металлъ становится мягкимъ въ болѣе сильной степени, и углеродъ находится въ состояніи углерода отжига.

Такимъ образомъ очевидно, что присутствіе желѣза α даетъ закаленной стали ея характеристическія свойства.

Вліяніе углерода совершенно того же рода, какъ и вліяніе скорости охлажденія. Охлажденіе при тѣхъ условіяхъ, при которыхъ обыкновенно производятъ закалку, происходитъ съ быстротою меньшею, чѣмъ это нужно для удержанія въ мягкой стали и желѣзѣ достаточнаго количества желѣза въ состояніи β ; къ тому

же углеродъ имѣеть только ограниченное дѣйствіе во время медленнаго охлажденія, если содержаніе его въ металлѣ не превосходитъ того, которое встрѣчается вообще въ самыхъ твердыхъ торговыхъ сортахъ стали.

При совокупномъ дѣйствіи углерода и быстраго охлажденія получаютъ на практикѣ закалку стали.

Легко объясняется, что твердость закалки измѣняется для той же самой стали со скоростью охлажденія. Если, на самомъ дѣлѣ, мы станемъ измѣнять время, во время котораго условія температуры позволяютъ углероду закалки перейти въ углеродъ отжига, то въ свою очередь непремѣнно измѣнится и часть углерода, не участвующая въ этомъ превращеніи, а также и относительное количество желѣза, сохраняющагося подѣ формой β .

Кромѣ того для стали, гдѣ процессъ измѣненій a_{r-2} и a_{r-1} , суть различныя, вполне очевидно, что закалкою получится maximum твердости только въ томъ случаѣ, если процессъ закалки происходилъ до начала a_{r-2} .

с. Явленія наблюдаемыя во время нагрѣванія тѣхъ же самыхъ образцовъ между 600° и 1100° .

Ниже мы приводимъ (см. стр. 49) сравнительную таблицу критическихъ точекъ при охлажденіи и при нагрѣваніи.

Ясно, что всѣ изученные нами процессы измѣненій суть обратимые, что можно было и предвидѣть раньше, такъ какъ они повторяются совершенно аналогичнымъ образомъ, какъ при нагрѣваніи, такъ и при охлажденіи. Только a_2 представляютъ собою критическую точку, получаемую какъ при нагрѣваніи, такъ и при охлажденіи въ тѣхъ же предѣлахъ температуръ. Для всѣхъ другихъ критическихъ точекъ, температура при нагрѣваніи выше температуры при охлажденіи. Въ дѣйствительности температура внѣшнихъ слоевъ стальныхъ стержней, нагрѣваемыхъ или охлаждаемыхъ, никогда не равна температурѣ внутреннихъ слоевъ; отсюда и происходитъ, что температуры опредѣленныя термоэлектрической парой немного ниже средней температуры во время охлажденія и немного выше средней температуры во время нагрѣванія. Но скачекъ, происходящій вслѣдствіе этого, значительно ниже того который вообще на-

ВИВЛЮИТ
 ДНЕПРОПЕТР

		a ₃			a ₂			a ₁		
		Предѣль.	Maximum.	Предѣль.	Предѣль.	Maximum.	Предѣль.	Предѣль.	Maximum.	Предѣль.
Желѣзо электро- литическое.	Охлажденіе	855	855	855	750	833 705	690	—	соннит.	—
	Нагрѣваніе	900	867	840	730	720	710	—	н ѣ т ѣ	—
	Разность	—	— 12	—	—	—	—	—	—	—
Сталь очень мягкая	Охлажденіе	845	822	800	755	730	710	680	658	645
	Нагрѣваніе	920	900 864	835	755	725	?	—	690?	—
	Разность	—	—	—	—	5	—	—	—	—
Сталь полутвердая	Охлажденіе	—	—	—	750	695	слива ютел	—	661	645
	Нагрѣваніе	—	—	—	—	—	—	720	690	690
	Разность	—	—	—	—	—	—	—	44	—
Сталь твердая	Охлажденіе	—	—	—	—	—	—	720	674	645
	Нагрѣваніе	—	—	—	—	—	—	720	705	698
	Разность	—	—	—	—	—	—	—	—	—

47

НБ
 УДУИТ
 (ИПБТ)

блюдается въ большинствѣ случаевъ и который раньше былъ отмѣченъ многими учеными (Norris, Brinell, Newall и т. д.).

Однако вполне вѣроятно, что теоретическая температура критическихъ точекъ должна быть тою же самою, какъ при нагрѣваніи, такъ и при охлажденіи; но, такъ какъ химическія реакціи, а также и диморфическія преобразованія достигаютъ известной скорости только тогда, когда система удалена отъ состоянія равновѣсія, то въ практикѣ всегда наблюдаютъ болѣе или менѣе значительныя запаздыванія въ зависимости отъ скорости нагрѣванія или охлажденія.

Въ разсматриваемомъ случаѣ эти запаздыванія могутъ увеличиться для соединенія желѣза съ углеродомъ, вслѣдствіе того, что центральная часть массы металла находится еще въ твердомъ состояніи, и для преобразованія желѣза вслѣдствіе присутствія углерода.

Также скачекъ между a_c и a_r есть minimum для электролитическаго желѣза.

Эти опыты подтверждаютъ фактъ, замѣченный М. Brinell'емъ, а именно, что температура, до которой нужно нагрѣть сталь чтобы она приняла закалку, и температура, при которой ее опускаютъ въ воду для охлажденія не одинаковы.

Эти же опыты показываютъ, что разложеніе углеродистаго желѣза въ a_r не совершается прогрессивно, какъ это мы и предполагали раньше; хотя оно можетъ сдѣлаться, въ дѣйствительности и прогрессивнымъ, если скорость нагрѣванія будетъ очень большою.

d. Нагрѣваніе и охлажденіе до температуры ниже 600° . Теорія отпуска.

Извѣстно, что сталь, и по всей вѣроятности также и желѣзо, при 300° обладаютъ maximum'омъ сопротивленія разрыву и minimum'омъ хрупкости. Мы изслѣдовали эту область методомъ охлажденія и не нашли, такъ же какъ и при методѣ нагрѣванія, никакихъ отклоненій, которыя превзошли бы предѣлы ошибокъ опыта.

Все это вполне справедливо только для металловъ, взятыхъ въ ихъ естественномъ состояніи.

Ибо, если взять сталь закаленную, то скрытая теплота закалики выдѣляется по мѣрѣ того, какъ эффе́кты закалики

ослабѣваютъ и самый ходъ охлажденія послѣ закалки значительно ускоряется.

Опытъ подтверждаетъ эти предположенія; на чертежѣ 11-омъ представлены кривыя, выражающія собою вторичное нагрѣваніе твердой стали обыкновенной или закаленной.

Выдѣленіе теплоты закалки начинается при условіяхъ опыта у 200° ; оно достигаетъ maximum'a около 350° и оканчивается у 520° .

Наконецъ, послѣднее выдѣленіе теплоты происходитъ между 660° и 680° , т. е. очень близко къ извѣстной остановки $\alpha_{\text{г}}^{221}$ 1). Это намъ позволяетъ составить теорію отпуска.

Отпускъ есть, какъ извѣстно, ни что иное, какъ вторичное нагрѣваніе стали до опредѣленной температуры, производимое съ цѣлью уменьшенія ея хрупкости.

Такъ какъ закалка удерживаетъ желѣзо въ состояніи β и углеродъ въ состояніи углерода закалки, то можно смѣло сказать, что отпускъ позволяетъ желѣзу принимать снова форму α , а углероду соединяться съ желѣзомъ; но кривыя не показываютъ, что эти два преобразованія подобны или послѣдовательны.

Вытекаетъ, однако, изъ прежнихъ опытовъ, изъ данныхъ полученныхъ Werth'омъ при употребленіи метода Weyl'я, что послѣ отпуска въ теченіи получаса въ расплавленномъ свинцѣ при 400° , углеродъ уже принимаетъ форму углерода отжига.

Но выдѣленный осадокъ, если онъ химически и сходенъ съ осадкомъ, полученнымъ отъ медленно-охлажденной стали съ нагрѣва до красна, то въ физическихъ своихъ свойствахъ съ этимъ послѣднимъ ничего общаго не имѣетъ.

Этотъ второй осадокъ представляетъ собою блестящія лепестки сѣро-желѣзнаго оттѣнка съ металлическимъ видомъ; тогда какъ первый является въ видѣ аморфнаго порошка; такое измѣненіе вида происходитъ оттого, что остатокъ этотъ обладаетъ значительною степенью дробности.

Углеродъ во время отпуска тѣсно соединяется съ желѣзомъ, но соединяется *in situ*.

1 Извѣстно, что форма кривыхъ измѣняется со скоростью нагрѣванія (см. Barus et Strouhal).

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

Такъ какъ возстановленіе углерода отжига оканчивалось въ описанныхъ опытахъ отъ 400° до 520° , то ускореніе нагрѣванія между 660° и 680° могло быть только приписано возстановленію желѣза α .

Всѣ факты теперь объясняются весьма просто и легко. При отпускѣ стали, вызывается сначала соединеніе углерода закалки съ желѣзомъ и тѣмъ болѣе совершенное, чѣмъ температура отпуска была выше и чѣмъ болѣе долгое время она поддерживалась. Возстановляютъ такимъ образомъ въ стали постороннее вещество, независимое и находящееся въ механической смѣси, это вещество измѣняетъ почти прозрачное тѣло, хрупкое въ высшей степени, въ пористое неоднородное и значительно менѣе хрупкое. Въ то же время, по мѣрѣ того какъ происходитъ преобразованіе углерода, количество желѣза β очевидно убываетъ, вѣроятно благодаря новымъ молекулярнымъ размѣщеніямъ, которыя должны быть слѣдствіемъ этой внутренней реакціи.

Можно было бы сравнить закаленную до maximum'а сталь съ массивнымъ алмазомъ, сталь же отпущенную послѣ закалки съ смѣсью изъ алмазнаго порошка съ веществомъ менѣе твердымъ и болѣе пластичнымъ.

Такимъ образомъ сталь отожженная до-красна главнымъ образомъ составлена изъ желѣза α , котораго элементарныя грануляціи обернуты углеродистымъ желѣзомъ; сталь закаленная—изъ желѣза β , держащаго углеродъ въ раствореніи; сталь отпущенная—изъ тѣсной смѣси предъидущаго съ измѣняющимся количествомъ желѣза α и изъ углеродистаго желѣза раздробленнаго на весьма малыя частицы. Между этими тремя главными типами кромѣ того возможны всѣ промежуточные переходы.

Мягкая закалка (закалка въ маслѣ или кипящей водѣ), ковка молотомъ, продолжающаяся ниже темно-краснаго каленія, закалка отъ давленія, представляютъ собою операціи похожія на быструю закалку, послѣ которой слѣдуетъ отпускъ стали между 400° и 500° и объясняются тѣмъ же самымъ образомъ: скорость охлажденія, сообщаемая этими операціями образцу надлежаще выбранныхъ размѣровъ, достаточна велика для того, чтобы часть желѣза поддерживалась въ состояніи β при помощи углерода закалки, до температуры ниже 660° , и

довольно слабая для того чтобы между 660° и 200° достаточная часть углерода могла возвратиться въ состояніе углерода отжига.

Тотъ фактъ, что во время отпуска преобразование углерода совершается прогрессивно, можетъ казаться невѣроятнымъ; однако это вполне согласно съ дѣйствительною практикою, показывающею, что дѣйствіе отпуска пропорціонально температурѣ до которой нагрѣтъ образецъ; представляется вполне естественнымъ, что реакція углерода на желѣзо, въ тѣхъ предметахъ пока она возможна, происходитъ самымъ совершеннымъ образомъ, такъ какъ никакое стремленіе къ обратной реакціи не прекращаетъ ее при разсматриваемой температурѣ.

Если на самомъ дѣлѣ замѣчается не такъ, то это потому, что внутри образца масса находится въ твердомъ состояніи, о вліяніи котораго мы уже имѣли случай говорить; это-то обстоятельство и не позволяетъ всѣмъ атомамъ углерода тотчасъ же найти около себя, какъ это бываетъ въ средѣ жидкой и газообразной, необходимое количество желѣза для образованія соединенія.

е. Вліяніе постороннихъ тѣлъ.

Особенно интересно опредѣлить роль марганца, всегда находящагося въ продуктахъ Бессемера и Сименсъ-Мартенса.

Мы сначала изучили охлажденіе слѣдующихъ образцовъ съ 1100° для стали и съ 900° для марганцовистаго желѣза.

	С т а л ь.				Марганцовистое желѣзо St. Louis.		
	А	В	С	Д			
Углеродъ %	0,29	0,32	0,42	0,46	—	—	—
Кремній %	0,06	0,05	0,03	0,07	—	—	—
Марганецъ %	0,27	0,50	1,00	1,08	20,00	50,00	80,00

Результаты наблюденій соединены въ нижеслѣдующей таблицѣ:

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

	Содержаніе марганца.	$a_{Г\ 3, 2}$			$a_{Г\ 1}$		
		Начало у	Maximum.	Конецъ у	Начало у	Maximum.	Конецъ у
Сталь А.	0,27	780	720—715	690	680	660	640
В.	0,50	740	705—697	660	660	640	620
С.	1,00	725	665?	—	—	625	600
Д.	1,08	725?	658?	—	—	620	595
Марганцов. желѣзо	20,00	Нѣтъ замѣтныхъ измѣненій					
" "	50,00	"	"	"	"	"	"
" "	80,00	"	"	"	"	"	"

Видно, сравнивая эти результаты между собою и съ тѣми, которые были получены для другихъ образцовъ стали, также имѣющими по возможности незначительное количество марганца, что во время охлажденія марганецъ одновременно замедляетъ какъ молекулярное измѣненіе желѣза, такъ и рекалесценцію, или иначе: марганецъ поддерживаетъ углеродъ въ растворенномъ состояніи, а желѣзо въ состояніи β тѣмъ большее время, чѣмъ относительныя количества его больше.

Дѣйствіе это можно сравнить съ тѣмъ, которое произвело бы болѣе быстрое охлажденіе на сталь немарганцовистую при томъ же самомъ содержаніи углерода. Однимъ словомъ, оно равнозначуще закалкѣ болѣе или менѣе сильной. Заключение это вполне согласуется съ хорошо извѣстными механическими свойствами марганцовистой стали.

Въ марганцовистомъ желѣзѣ съ 20% марганца и выше не замѣчаютъ никакихъ измѣненій, если охлажденіе было продолжено до 300°. Желѣзо и углеродъ въ немъ остаются въ томъ же самомъ состояніи послѣ свѣтло-вишневаго каленія до обыкновенной температуры.

Въ этомъ и заключается причина, почему эти соединенія не обладаютъ въ холодномъ состояніи магнитными свойствами, совершенно какъ сталь при температурѣ выше критической;

жельзо находится въ двухъ случаяхъ въ одной и той же формѣ.

Вольфрамъ обладаетъ тѣмъ же самымъ свойствомъ, что и марганецъ, и даже пожалуй въ значительно большей степени. Сталь твердая, употребляемая для полюсовъ магнита, содержа довольно большое количество вольфрама и марганца, предоставленная охлажденію съ 1100° , даетъ рекалесценцію только при температурѣ исключительно ниже $517-510^{\circ}$. Во всякомъ случаѣ начальная температура имѣеть здѣсь громадное вліяніе. Хромъ, кажется, не имѣеть никакого вліянія на преобразование жельза, насколько по крайней мѣрѣ мы могли убѣдиться въ этомъ, не имѣя въ своемъ распоряженіи очень мягкой стали; но извѣстно, что онъ на рекалесценцію дѣйствуетъ обратно марганцу: онъ подымаетъ температуру при которой совершается измѣненіе состоянія углерода, что вполне правдоподобно въ силу того обстоятельства, что хромистая сталь должна быть мало хрупкою по сравненію съ своею твердостью. Кремній встрѣчается въ стали только въ присутствіи вообще большаго количества марганца. При этихъ условіяхъ понятно онъ не имѣеть вліянія на изучаемыя явленія.

Эти явленія происходятъ для образца содержащаго на 100:

Углерода . . .	0,35
Кремнія . . .	0,55
Марганца . . .	0,87

при тѣхъ же температурахъ, что и для стали безъ кремнія, представляющей, впрочемъ, то же самое сложеніе.

Извѣстно при этомъ, что кремній не способствуетъ закалкѣ стали.

Сѣра нейтрализуетъ, такъ сказать, часть марганца.

Сталь красноломкая въ практикѣ неупотребительная и содержащая на 100:

Углерода . . .	0,48
Сѣры . . .	0,28
Марганца . . .	0,51

даетъ рекалесценцію при 671° ; между тѣмъ какъ сталь R при томъ же содержаніи марганца, но съ незначительнымъ только количествомъ сѣры, встрѣчающейся въ нормальной стали, дала то же самое явленіе при 640° .

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

Разница въ содержаніи углерода двухъ образцовъ также совсѣмъ не выразилась бы большимъ отклоненіемъ отъ указанныхъ цифръ.

Фосфоръ въ умѣренныхъ относительныхъ количествахъ не имѣетъ опредѣленнаго вліянія ни на измѣненіе желѣза, ни на рекалесценцію.

Его вредное дѣйствіе должно быть отнесено къ различнымъ причинамъ, которыя вносятъ въ сталь ломкое строеніе и которыя облегчаютъ вслѣдствіе плавленія при сравнительно низкой температурѣ, кристаллизацію желѣза.

Этотъ анализъ той роли, которую играютъ въ стали постороннія вещества, хотя и не вполне полный, даетъ намъ возможность видѣть, что углеродъ можетъ быть замѣненъ въ стали по крайней мѣрѣ въ такой мѣрѣ, какъ онъ участвуетъ въ молекулярныхъ превращеніяхъ желѣза, другими извѣстными элементами.

Мы не имѣемъ уже основанія для слова „сталь“ сохранить прежнее опредѣленіе, т. е. подъ этимъ именемъ разумѣть ковкое углеродистое желѣзо, а должны и можемъ придать этому слову новый смыслъ болѣе общій, какъ это было принято во Франціи и Англии за послѣдніе года, а именно: понимать сталь, какъ ковкую смѣсь, имѣющую основаніемъ желѣзо, при условіи что она прошла чрезъ плавленіе.

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

ЧАСТЬ ПЯТАЯ.

Преобразование строенія.

Теорія преобразованій строенія, основанная на изученіи существующихъ строеній, до сихъ поръ еще не создана.

Намъ представляется однако весьма интереснымъ показать, насколько эти преобразования строенія могутъ быть изучены.

Для этого намъ необходимо будетъ сдѣлать нѣсколько гипотезъ; эти гипотезы, понятно, сами собою рушатся, если только не будутъ подкрѣплены фактами.

Въ настоящемъ случаѣ эти гипотезы помогутъ намъ въ нашей работѣ, и побудятъ сдѣлать нѣсколько опытовъ, ведущихъ къ разрѣшенію интересующаго насъ вопроса.

Многія тѣла, переходя изъ жидкаго или расплавленнаго состоянія въ состояніе твердое, обращаются прежде всего въ небольшія изотропныя сфѣры, за образованіемъ которыхъ Vogelsang наблюдалъ при помощи микроскопа. Появленіе ихъ онъ считаетъ первымъ проявленіемъ силъ кристаллизаціи, стремящихся обособить какое-то вещество.

Шарички располагаются по прямой или слегка искривленной линіи, образуя такимъ образомъ полоски или нити.

При дальнѣйшемъ стремленіи къ соединенію нити группируются въ правильныя звѣздообразныя фигуры и образуютъ кристаллы; Vogelsang видѣлъ также, что кристаллы сфѣры образовывались изъ малыхъ ромбическихъ пирамидъ, переходящихъ затѣмъ въ меньшія кристаллы съ многоугольными гранями. Этимъ кристалламъ онъ далъ названіе „микролитовъ“.

„Онъ сравнилъ между собою кристаллы сѣры, известняка, снѣга, льда, искусственнаго шлака, стекла и натуральныхъ стекловатыхъ горныхъ породъ“.

Эти слова, заимствованы нами дословно изъ мемуара М. Michel Levy о „различныхъ видахъ строенія сыпчатыхъ горнокаменныхъ породъ“ (Annales des Mines, 7-e serie t. VIII, p. 358).

Если мы возьмемъ кусокъ мягкаго желѣза и станемъ нагрѣвать его послѣдовательно увеличивая температуру нагрѣва, а затѣмъ медленно охладивъ, изслѣдуемъ его, то замѣтимъ слѣдующія явленія:

Пока температура не поднимется настолько, чтобы могъ совершиться процессъ превращенія желѣза α въ β , въ самомъ строеніи металла никакихъ измѣненій не послѣдуетъ.

Въ моментъ превращенія, зерно проходитъ черезъ максимум своей тонизны; образовавшееся желѣзо β формируется въ шарики.

Если мы еще поднимемъ температуру, шарики развертываются принимая форму граней многогранниковъ.

При дальнѣйшемъ поднятіи температуры, микролиты располагаются параллельными группами и стремятся принять форму настоящихъ кристалловъ, но никогда не достигаютъ ея, если конечно здѣсь не будутъ играть роли исключительныя обстоятельства.

Если вмѣсто прогрессивнаго нагрѣванія желѣза мы станемъ охлаждать его, доведя до плавленія, то частицы въ моментъ затвердѣванія размѣстятся совершенно въ такомъ же порядкѣ какой они имѣли при температурѣ близкой къ точкѣ плавленія, т. е. будутъ представлять собою совокупность группъ параллельно расположенныхъ микролитовъ. При болѣе благоприятныхъ условіяхъ иногда можно видѣть, что три группы микролитовъ пересѣкаются, причемъ каждая изъ нихъ параллельна тремъ сторонамъ равносторонняго треугольника.

Строеніе полученное металломъ въ первые моменты затвердѣванія при дальнѣйшемъ охлажденіи не измѣняется.

Чтобы перейти отъ мягкаго желѣза къ желѣзу умѣренно углеродистому, т. е. къ стали, достаточно сослаться на три слѣдующихъ основныя положенія:

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

1) Желѣзо въ присутствіи углерода стремится формироваться такъ, какъ будто бы оно было одно.

2) Желѣзо всегда стремится отдѣлиться отъ углерода.

3) Присутствіе углерода, даная подвижность молекуламъ желѣза, облегчаетъ перемѣщенія частицъ этого послѣдняго, вслѣдствіе чего уменьшаются абсолютныя размѣренія образца. Соединяя эти предположенія съ измѣненіями состоянія желѣза и съ измѣненіями углерода, мы приближаемся къ идеѣ видоизмѣненной строенія. Но остается еще пока темнымъ вопросомъ: каково дѣйствительное состояніе углерода при температурѣ выше температуры рекалесценціи и которое называютъ углеродомъ закалки?

Допускаютъ вообще, что этотъ углеродъ растворенъ въ массѣ металла, во-первыхъ потому, что онъ очевидно находится въ металлѣ въ расплавленномъ видѣ, а во-вторыхъ потому, что при обработкѣ стали азотною кислотою углеродъ выдѣляется въ видѣ налета, повидимому вполне однороднаго.

Это мнѣніе однако еще подлежитъ большому сомнѣнію: если углеродъ во время цементации проникаетъ въ желѣзо и растворяется въ немъ, то является непонятнымъ, почему цементная сталь представляетъ собою продуктъ неоднородный, въ которомъ углеродистыя части образуютъ сѣтку болѣе значительной твердости чѣмъ содержимое въ ней; сталь закаленная, какъ мы уже сказали, представляетъ строеніе въ видѣ неотчетливыхъ перемѣнныхъ лепестковъ; нъ чистомъ бѣломъ чугунѣ, вторично нагрѣтомъ ниже своей точки плавленія, часть углерода обращается въ состояніе графита и по всей вѣроятности, тѣ точки, гдѣ образуется графитъ, болѣе другихъ богаты углеродомъ; наконецъ когда мы станемъ медленно охлаждать стальную полоосу, углеродъ концентрируется въ верхней центральной части, что ясно свидѣтельствуетъ о томъ, что металлъ не затвердѣваетъ, какъ всякое однородное тѣло, но что желѣзо отлагается первымъ.

Предвидя всѣ эти трудности, мы и сдѣлали другую гипотезу.

Мы полагаемъ, что углеродъ закалки по всей вѣроятности соединенъ съ водородомъ, постоянное присутствіе котораго въ стали было показано Докторомъ Müller (Deutsche Chem. Ges. u. Zeitschr. des Ver. deutsch. Ing. 1878 и 1879), а хими

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

ческое сродство его съ углеродомъ М. Forquignon'омъ (Annales de Chimie et de Physique, 5^o Serie, t. XXIII).

Угледородъ стали представляет собою продуктъ размѣщенный между частицами металла и похожій на тѣ сгущенныя углеродистыя соединенія, которыя составляютъ смолу, варъ, сахарный уголь.

Какъ бы то ни было, мы нашли удобнымъ назвать „цементомъ“, терминомъ, который я и Werth уже употребляли въ теоріи клѣтокъ, вещество распредѣленное въ желѣзѣ между его частицами. Цементъ представляет собою ниже температуры рекалесценціи, углеродистое желѣзо Fe_3C , выше же температуры рекалесценціи угледородъ или, если разсматривать углеродъ закалки, какъ растворенный—частицы желѣза обогащенныя углеродомъ и отдѣленныя отъ частицъ бѣдныхъ имъ.

Предположивъ это, мы разсмотримъ послѣдовательно преобразования строенія въ пяти слѣдующихъ случаяхъ, а именно во время

- 1) Медленнаго охлажденія послѣ плавленія,
- 2) Нагрѣванія,
- 3) Медленнаго охлажденія послѣ нагрѣванія до температуры ниже точки плавленія,
- 4) Закалки,
- 5) Отпуска.

1. Медленное охлажденіе послѣ плавленія. Въ моментъ затвердѣванія желѣзо формируется въ небольшіе шарички.

Всякій такой шарикъ, или представляет собою центръ организаціи для другихъ послѣ него образующихся въ сферѣ его дѣйствія, или же присоединяется къ общему скопищу. Всякое такое скопище развивается болѣе или менѣе правильно до встрѣчи съ сосѣднимъ скопищемъ; оба эти скопища тогда ограничиваются общею гранью. Но центръ скопленія можетъ или задержаться на стѣнкахъ прежде затвердѣвшихъ или остаться плавающимъ въ средѣ еще жидкой, но имѣющей температуру недостаточную для растворенія. Отсюда происходятъ два способа наростанія. Въ первомъ случаѣ пусть ab (черт. 12) стѣнка формы pq —граница затвердѣвшей части, α задержавшійся центръ организаціи: скопленіе около этой точки идетъ по полусферамъ, центръ которыхъ въ точкѣ α ; сосѣднія скопленія, центръ которыхъ въ β и γ , образу-

ются и увеличиваются одновременно: отсюда является слѣдствіемъ образованіе предѣльной поверхности нормальной къ стѣнкѣ формы; отсюда же также образованіе для стали, какъ и для массы другихъ тѣлъ наружнаго строенія въ призмахъ нормальныхъ къ поверхности.

Во второмъ случаѣ, плавающій центръ можетъ увеличиваться по всѣмъ направленіямъ; скопища частицъ въ этомъ случаѣ представляютъ собою многогранныя тѣла, которыя вообще суть ромбическіе додекаэдры.

Этотъ случай относится какъ мы это объясняемъ согласно съ Черновымъ, къ обыкновенному строенію отлитыхъ свинокъ, призматическихъ съ поверхности и многогранныхъ внутри.

Не должно забывать, что первый отстой желѣза оставляетъ жидкій остатокъ, родъ щелока, богатый углеродомъ, позже затвердѣвающій и который мы назвали цементомъ.

Такимъ образомъ, физическія явленія затвердѣванія сопровождаются механическими явленіями, проявляющимися вслѣдствіе сокращенія внѣшней части, затвердѣвающей первой.

Въ продолженіе перваго періода охлажденія, наружная часть полосы охлаждается быстрѣе внутренней и сдавливаетъ эту послѣднюю; потомъ, внутренняя часть, въ свою очередь, охлаждается скорѣе наружной и претерпѣваетъ нѣкоторыя натяженія.

Совокупимъ теперъ явленія физическія съ явленіями механическими. Мы видѣли выше, что сосѣднія скопленія, призматическія или многогранныя, ограничиваются гранями съ грубо-плоскими поверхностями. Эти призмы и эти многогранники суть микролиты покрытые жидкимъ цементомъ; подвергнемъ ихъ такому давленію, какое происходитъ въ первый періодъ охлажденія; цементъ легко переходитъ отъ наружной части во внутрь полосы чрезъ плоскости соприкосновенія, которыя ему служатъ назначенными путями: сложная клѣтка втораго порядка будетъ такимъ образомъ составлена безъ внѣшней оболочки изъ цемента, какъ это мы видѣли раньше.

Если температура понизится, цементъ въ свою очередь затвердѣетъ. Сталь же послѣ отвердѣванія принимаетъ окончательныя очертанія своего строенія: это происходитъ отъ того, что организація желѣза въ дѣйствительности замедляется

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

по мѣрѣ того какъ температура понижается; также хотя работа сцѣпленія могла бы продолжаться и въ дѣйствительно-сти продолжается во время охлажденія, однако дѣйствіе производимое ею на ткань во время какого нибудь опредѣленнаго паденія температуры всегда только незначительное и котормъ вообще можно пренебречь по отношенію къ дѣйствію уже произведенному во время равнаго паденія температуры непосредственно предшествующаго.

Когда достигаютъ точекъ α , аллотропическое измѣненіе желѣза и соединеніе желѣза съ углеродомъ происходитъ одновременно или порознь, если только охлажденіе не было слишкомъ быстрымъ.

Желѣзо размѣщается въ шарикахъ подѣ формою α , причѣмъ эти шарики по всей вѣроятности стремятся расположиться такимъ образомъ, чтобы образовать то, что мы назвали сложными клѣтками перваго порядка.

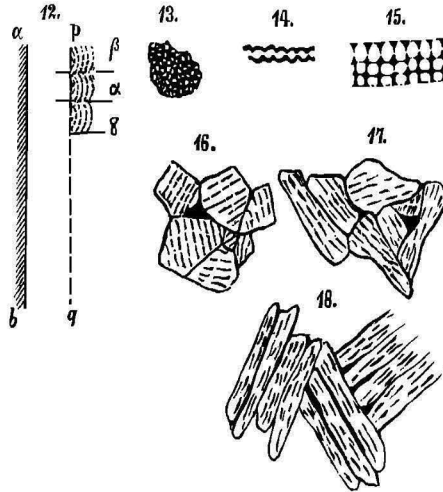
Углеродъ съ своей стороны обращается въ углеродистое желѣзо, т. е. въ новое состояніе цемента, которое обволакиваетъ обособленные шарики (клѣтчатое строеніе) или распределяется между нитями (строеніе описанное Sorby) смотря по тому каково было прежнее раопредѣленіе углерода въ организациі желѣза β . Но такъ какъ молекулярныя движенія одной опредѣленной амплитуды не возможны при разсматриваемой температурѣ, то общее строеніе, получаемое въ моментъ отвердѣванія, сохраняетъ свои своеобразныя черты; желѣзо α сохраняетъ, благодаря своей псевдоморфности, первичныя большія формы образованныя желѣзомъ β .

2. Нагрѣваніе. Сталь, будетъ ли она закалена, подвергнута холодной проковкѣ, пережжена или не пережжена, во всякомъ случаѣ послѣ нагрѣванія выше точекъ α принимаетъ постоянное физико-химическое состояніе. Ея составляющія не сразу приходятъ въ состояніе равновѣсія, соотвѣствующее разсматриваемой температурѣ, а нѣкоторое, болѣе или менѣе продолжительное время сохраняютъ свое прежнее расположеніе.

Начиная съ α_1 соединеніе желѣза съ углеродомъ, имѣющее мѣсто въ холодной стали, разлагается и разложеніе это представляется вполне совершеннымъ.

Въ процессѣ измѣненія a_{c^2} , который сливается съ a_{c^1} при условіи содержанія углерода выше нѣкотораго опредѣленнаго, желѣзо приобретаетъ состояніе β , сначала принимая форму небольшихъ шариковъ. Отдѣльные шарики въ себѣ уже не содержатъ углерода, а онъ появляется только на ихъ поверхности. Такимъ образомъ образуется простая клѣтка.

Если бы сталь въ такомъ состояніи можно было задержать, то она имѣла бы очень тонкое строеніе и обладала бы максимумомъ физическихъ качествъ, какія можетъ имѣть отожженная сталь. Если подымать температуру, отдѣльные шарики постепенно группируются въ нити, кристаллы и микролиты, какъ это мы видѣли для чистаго желѣза, и это про-



исходить тѣмъ легче, чѣмъ температура выше, чѣмъ максимумъ ея поддерживается болѣе долгое время и чѣмъ содержаніе углерода значительнѣе.

Но всегда углеродъ и сопровождающее его желѣзо, не принявшее ни одного изъ означенныхъ состояній, выдѣляются въ массы, участвующей въ организаціи.

При прогрессивномъ поднятіи температуры нагрѣванія, мы получимъ рядъ различныхъ строеній металла, что и представлено на прилагаемыхъ схемахъ.

Черт. 14. Серия шариковъ, сгруппированныхъ въ одну непрерывную нить.

Черт. 15. Нѣсколько соединенныхъ между собою нитей, что представляетъ переходъ къ кристаллическому образованію.

НИ
УДУНТ
(ИПЪТ)

Черт. 16. Нѣкоторыя фѳормаци получили плоскія грани. Это уже микролиты или сложныя клѣтки перваго порядка.

Черт. 17. Микролиты удлинлись.

Черт. 18. Удлиненные микролиты расположились параллельно другъ другу въ нѣсколько группъ.

Далѣе измѣненіе строенія желѣза не идетъ.

Углеродъ и сопровождающее его желѣзо, не принявшее участіе въ организаціи, могутъ или оставаться внутри группъ частицъ желѣза, или (чугунъ) находится между группами перваго порядка (сталь средней твердости), или же наконецъ служить оболочкою для группъ втораго порядка (цементная сталь). Все это находится въ зависимости отъ содержанія углерода, отъ температуры и времени; эти три фѳактора вліяютъ въ одномъ направленіи и каждый изъ нихъ, при условіи, что остальные остаются постоянными, способствуетъ безконечному приближенію желѣза къ опредѣленной фѳормѣ кристаллизаціи.

3. Медленное охлажденіе послѣ нагрѣванія до температуры ниже точки плавленія.

То, что мы уже сказали относительно охлажденія послѣ плавленія, можетъ быть повторено и въ этомъ случаѣ съ тою только разницею, что здѣсь начальное строеніе будетъ иное. По нашимъ опытамъ, подтвердившимся опытами М. Brinell'я, превращенія зеренъ не совершаются исключительно только при процессѣ охлажденія, какъ это думалъ Черновъ, при чемъ сталь дѣбалась бы аморфною во время нагрѣванія; сталь находится въ аморфномъ состояніи только въ моментъ молекулярнаго преобразованія желѣза и послѣ плавленія.

Преобразованіе строенія совершается во время нагрѣванія, во время охлажденія и во время промежуточнаго состоянія.

Въ дѣйствительности оно представляетъ собою фѳункцию наибольшей температуры при нагрѣваніи и, вѣроятно, — времени, въ продолженіе котораго эта температура поддерживалась.

Если металлъ подвергнуть во время охлажденія механической обработкѣ молотомъ, настолько энергичной, чтобы разрушить группы кристалловъ, образовавшіяся во время нагрѣванія, и воспрепятствовать образованію ихъ во времяковки, наибольшая температура, опредѣляющая строеніе

взятого образца, будетъ та самая, при которой окончилась обработка.

4. Закалка. Вліяніе закалки на строеніе металла можетъ быть опредѣлено нѣсколькими словами: закалка задерживаетъ строеніе, полученное металломъ до момента погруженія въ воду. Иногда, если закалка, или вслѣдствіе разиѣровъ испытываемаго образца, или по причинѣ температуры и природы охлаждающей ванны не требуетъ охлажденія настолько быстрого, что углеродъ можетъ поддерживаться въ состояніи углерода закалки, а желѣза въ состояніи β , то точки преобразованій понижаются. Въ результатѣ получается то же физико-химическое состояніе, что и послѣ отжига; но если рекалесценція произойдетъ при температурѣ ниже нормальной, углеродистое желѣзо останется болѣе раздробленнымъ, желѣзо сдѣлается менѣе кристаллическимъ, а общее строеніе болѣе аморфнымъ. М. Н. Chatelier представилъ весьма точныя наблюденія въ этомъ направленіи въ „Congrès des mines et de la métallurgie“ въ сентябрѣ 1889 года.

5. Отпускъ. Отпускъ послѣ быстрой закалки не измѣняетъ замѣтнымъ образомъ строенія. Углеродъ возвращается въ состояніе углерода отжига *in situ*.



51
НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

ЧАСТЬ ШЕСТАЯ.

Ковка металла въ холодномъ состояніи.

Если сталь нагрѣтую до температуры ниже краснаго каденія подвергнемъ продолжительной деформациі путемъ прокатки или путемъ прессованія, то свойства ея будутъ измѣняться особеннымъ образомъ.

При микроскопическомъ изслѣдованіи отполированнаго разрѣза такого металла, подвергнутаго дѣйствію кислоты, оказывается, что элементы его удлиняются, сопровождаясь разрушеніемъ оболочки углеродистаго желѣза, менѣе пластичнаго, чѣмъ само металлическое желѣзо.

Разрѣзъ такого бруска послѣ дѣйствія на него кислоты представленъ на чертежѣ 19. Этотъ послѣдній результатъ прокатки или волоченія является общимъ для всѣхъ зернистыхъ металловъ. Другіе же результаты, напротивъ, причастны исключительно только желѣзу и стали:

1) Чертежъ 20 показываетъ нагляднѣйшимъ образомъ, въ какой зависимости во время прокатки находятся вѣса нагрузокъ съ удлиненіемъ металла для двухъ стальныхъ образцовъ, одного бронзоваго и одного латуннаго.

Примѣры эти заимствованы изъ отчетовъ „U. S. Board for testing Iron, Steel and other Metals“ и взяты безъ выбора изъ большаго числа подобныхъ.

Для всякой стали, за исключеніемъ стали закаленной или стали очень твердой, удлиненія тотчасъ послѣ предѣла упругости увеличиваются быстрѣе вѣса нагрузокъ, или даже можно сказать, происходитъ внезапное удлиненіе; затѣмъ кривая

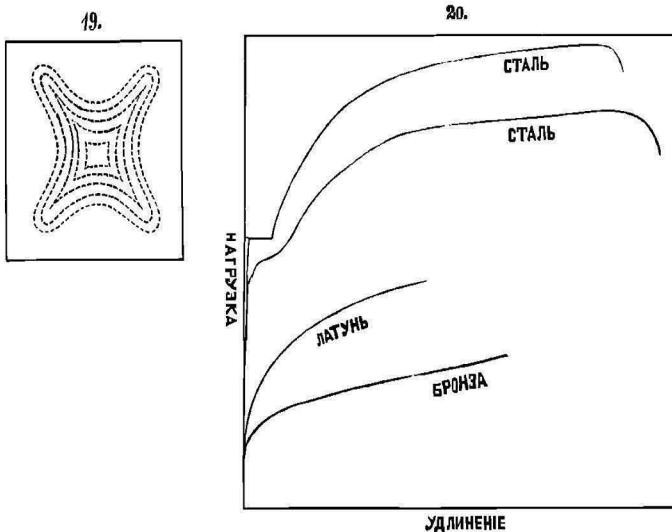
УДНБ
УДУНТ
(ИПБТ)

подымается; и сохранять свою прямизну, не отклоняясь ни въ какую сторону вплоть до разрыва

Ничего подобнаго не замѣчается въ мѣди или ея сплавахъ.

Явленія, происходящія въ стали во время прокатки, представляются происходящими какъ будто бы отъ двухъ различныхъ металловъ: отъ предѣла упругости сталь, какъ кажется, является способною выдержать maximum нагрузки и можетъ вытягиваться въ проволоку, какъ свинецъ или олово. Затѣмъ быстро дѣлается болѣе твердою.

2) Ковка стали въ холодномъ состояніи уменьшаетъ ея



плотность, — между тѣмъ какъ подобная же ковка мѣди и серебра, даетъ результатъ совершенно противоположный, такъ какъ плотность этихъ металловъ отъ подобной операциіи увеличивается.

ММ. Osmond и Werth вытягивали въ проволоку образецъ стали, идущей на постройку машины А. Creusot (Сопротивленіе=48 килограммамъ). Плотность этого образца при 15° Цельзія 7,839. Послѣ первой прокатки діаметръ уменьшился съ 5,4 миллиметровъ до 4,4 миллиметровъ, плотность же упала до 7,836. Послѣ второй прокатки діаметръ уменьшился съ

УДУНТ
(ИПБТ)

4,4 миллиметровъ до 3,45 миллиметровъ, плотность же понизилась до 7,791; она колебалась послѣ послѣдующихъ прокатокъ (отъ 3,45 миллиметр. до 0,4 миллиметр. безъ отжига) между 7,796 и 7,781. Прокатка такимъ образомъ является аналогичною съ закалкою, которая также уменьшаетъ плотность стали.

Однако, въ случаѣ холодной проковки, можно предположить, что наблюдаемое уменьшеніе происходитъ вслѣдствіе перемѣщенія цемента, отчего, быть можетъ, и образуются внутри металла довольно значительныя пустоты

3) Сталь прокованная въ холодномъ состояніи реагируетъ съ кислотами несравненно скорѣе отожженной стали. Этотъ фактъ можетъ быть и даже, пожалуй, долженъ быть, по крайней мѣрѣ отчасти приписанъ происходящей отъ холодной проковки слоистости, которая увеличиваетъ поверхность соприкасанія съ кислотами. Дѣйствительно, Gruner (Comptes-rendus, t. XCVI, p. 195) показалъ, что съ подкисленной водою бѣлый чугунокъ реагируетъ въ болѣе сильной степени, чѣмъ съ кислотами, марганцовистая сталь сильнѣе реагируетъ стали углеродистой, сталь твердая сильнѣе реагируетъ мягкой и наконецъ закаленная сталь реагируетъ сильнѣе той же самой стали, но только отожженной.

4) Холодная проковка всегда, также какъ и закалка, увеличиваетъ силу сцѣпленія частицъ.

Возьмемъ, напримѣръ, сталь мягкую, содержащую 0,28 углерода и 0,13 марганца; намагнитимъ до насыщенія различные бруски одинаковой формы и одного вѣса, но взятые въ различныхъ состояніяхъ, и сравним ихъ, противопоставляя подобному же бруску, расположенному съ другой стороны намагниченой стрѣлки. Разстоянія, на которыхъ нужно помѣстить различные бруски, чтобы получить равновѣсіе, суть слѣдующія:

	Миллим.
Сталь отожженная до вишневаго каленія	187,3
„ закален. до ярковишнева. кален. въ холодной водѣ.	400
„ „ „ „ „ „ кипящей „	235
„ „ „ „ „ „ холодн. маслѣ.	280
прокованная въ холодномъ состояніи	278,5

УДУНТ
(ИПЪТ)

Холодная проковка въ разсматриваемомъ случаѣ равно-
сильна закалкѣ въ маслѣ.

Ясно, что дѣйствіе холодной проковки всегда тоже самое,
что и дѣйствіе закалки. Фактъ этотъ уже давно извѣстенъ и
Сагон желалъ его только объяснить болѣе точнымъ образомъ.
Но такъ какъ деформация металла въ холодномъ состояніи
не влечетъ за собою, какъ мы видѣли, измѣненія въ состояніи
углерода, то, естественно что намъ приходится опять сослаться
на превращеніе аллотропическаго желѣза, которое уже по-
служило намъ для объясненія закалки.

Чтобы повѣрить эту гипотезу, ММ. Osmond и Werth
растворяли одинаковаго вѣса образцы одного и того же ме-
талла, послѣдовательно отожденного, закаленного и подвергну-
таго холодной проковкѣ въ томъ же самомъ объемѣ двойной
хлористой мѣди и аммонія. Химическій составъ изслѣдуемыхъ
образцовъ былъ слѣдующій:

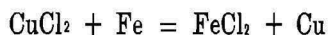
	Сталь очень мягкая.	Сталь по- лутверд.	Сталь твердая.	Бѣлый чугунъ.
Углеродъ . . .	0,168	0,542	1,170	4,100
Кремній . . .	0,038	0,105	0,440	0,225
Сѣра	0,038	0,027	0,018	0,040
Фосфоръ . . .	0,024	0,058	0,033	0,018
Марганецъ . .	0,170	0,510	0,180	0,120

Для каждаго опыта употребляли:

Металлическихъ опилокъ 1500 gr.

Раствора двойнаго хлористаго соединенія, насыщеннаго
до 9°, 500 СС.

Полученные результаты собраны въ нижеслѣдующей таб-
лицѣ. Поднятія температуръ обусловливаемы замѣщеніемъ
мѣди желѣзомъ по формулѣ



	Отжигъ.	Холодная проковка.	Закалка.
Сталь очень мягкая . . .	2°,151	2°,247	
Сталь полу-твердая . . .	2°,111	2°,207	2°,222
Сталь твердая	1°,895	2°,018	2°,056
Бѣлый чугунъ	1°,419		1°,632

УДУНТ
(ИПЪТ)

Ясно, что сталь прокованная въ холодномъ состояніи, совершенно какъ и сталь закаленная, содержитъ избытокъ теплоты по сравненію со сталью отожженою.

Эти опыты окончательно убѣждаютъ въ томъ, что холодная проковка обуславливается по крайней мѣрѣ отчасти аллотропическимъ превращеніемъ желѣза, если только нельзя еще сдѣлать двухъ предположеній, а именно:

1) что оттоженные опилки находились въ атмосферѣ водорода; нельзя, дѣйствительно, производить опыты надъ опилками отожженной стали, такъ какъ опилки эти уже подвергнуты сильной холодной проковкѣ; отжигъ продолжается только нѣсколько минутъ; но, такъ какъ водородъ вліяетъ на углеродъ и такъ какъ металлъ размельченъ, то еще подлежитъ большому сомнѣнію, можно ли въ этомъ случаѣ пренебречь дѣйствіемъ водорода или нѣтъ.

2) Что опилки подвергнутые холодной проковкѣ смачиваются очень трудно, особенно опилки мягкихъ металловъ. Время растворенія гораздо значительнѣе для образцовъ прокованныхъ въ холодномъ состояніи, чѣмъ для образцовъ закаленныхъ или отожженныхъ.

Весьма полезно изслѣдовать рядомъ новыхъ непосредственныхъ опытовъ, дѣйствительно ли холодная проковка обуславливается отчасти превращеніемъ желѣза α въ желѣзо β .

Для этого мы попробовали слѣдовать закону нагрѣванія стали подвергнутой холодной проковкѣ, какъ это мы дѣлали для закаленной стали, но не получили очень убѣдительныхъ результатовъ. Количество теплоты, которая должна была выдѣлиться, было незначительно, но опытъ во всякомъ случаѣ показываетъ, что внезапнаго выдѣленія теплоты не происходило; кривыя ясно выражаютъ прогрессивное выдѣленіе теплоты въ продолженіе довольно долгаго промежутка температуры; но конечно явленіе это не обозначается вполне отчетливо, вслѣдствіе неизбѣжныхъ ошибокъ опыта.

Мы измѣрили также количество теплоты которое выдѣляется прокатываемый брусокъ до излома.

Можно думать, что предполагаемое аллотропическое превращеніе совершается большею частью въ тотъ моментъ

НИИ
УДУНТ
(ИПБТ)

когда металлъ достигаетъ предѣла упругости, и непременно при поглощеніи теплоты.

Въ дѣйствительности такого поглощенія теплоты не наблюдается. Понятно, что если опытъ не подтверждаетъ гипотезы, то онъ и не разрушаетъ ее совсѣмъ; онъ показываетъ только что выдѣленная теплота отъ внутренняго тренія и мѣстныхъ разрушеній непременно превосходить возможную причину поглощенія. Аллотропическое превращеніе желѣза подѣ влияніемъ давленія достаточно сильнаго для того, чтобы произвести продолжительную деформацию, еще не принадлежитъ къ вполне достовѣрнымъ гипотезамъ; но надо замѣтить, что ни одинъ фактъ не противорѣчитъ этой гипотезѣ, а, напротивъ, очень многіе съ нею вполне согласуются.

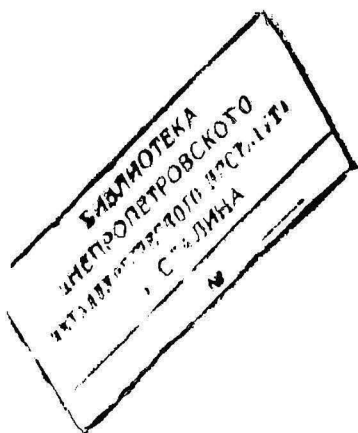
Мы можемъ даже идти дальше. Не только наша гипотеза не насилуетъ никакого закона, но она даже не опирается ни на какое обстоятельство свойственное только желѣзу, а представляетъ собою слѣдствіе общихъ законовъ, если только диморфизмъ желѣза доказанъ:

Увеличеніе давленія въ химической системѣ, находящейся въ равновѣсїи, говоритъ М. Н. Chatelier („Recherches sur les equilibres chimiques“, Annales des mines, Mars et Avril 1888 г.), имѣеть слѣдствіемъ превращеніе, которое стремится уменьшить давленіе.

Это также, какъ давленіе понижаетъ или подымаетъ точку плавленія тѣла, смотря по тому, сопровождается ли это плавленіе увеличеніемъ или уменьшеніемъ объема. MM. Maillard и H. Chatelier (Comptes Rendus, 21 Juillet 1884) примѣнили этотъ фактъ для диморфическаго превращенія іодистаго серебра, и имъ удалось понизить превращеніе этого тѣла до обыкновенной температуры, т. е. до 100° подѣ давленіемъ 3000 атмосферъ. Достаточно приложить тѣ же самыя разсужденія къ желѣзу и стали, чтобы понять, какимъ образомъ во время холодной проковки, превращеніе желѣза можетъ понизиться до такой температуры, когда явленіе перестаетъ быть обратимымъ. Откуда же присутствіе желѣза β въ стали прокованной въ холодномъ состоянїи со всѣми связанными съ этимъ обстоятельствомъ измѣненіями въ свойствахъ металла.

Присутствіе желѣза β тѣмъ болѣе вѣроятно, что сталь и желѣзо представляютъ между 100° и 300° приблизительно, maximum сопротивленія излому или, если выразиться точнѣе, minimum пластичности. Этотъ фактъ, присущій только исключительно желѣзу и его соединеніямъ, былъ особенно изученъ М. А. Chatelier (Comptes Rendus, séance du 8 Juillet, 1889). Сверхъ того при 300° кривая удлиненія по отношенію къ нагрузкамъ не представляетъ рѣзкихъ переходовъ о которыхъ мы упоминали въ началѣ этой главы.

Все объясняется легко, если допустить, что точка молекулярнаго превращенія желѣза понижена до этого предѣла подѣ влияніемъ механическихъ усилій, которымъ былъ подверженъ брусокъ. Мы предполагаемъ въ ближайшемъ будущемъ этотъ вопросъ подвергнуть провѣркѣ рядомъ новыхъ опытовъ.



НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

Оглавление.

	Стр.
Предисловіе переводчика.	
Вступленіе.	1
ЧАСТЬ ПЕРВАЯ. Различныя состоянія углерода	3
ЧАСТЬ ВТОРАЯ. Строеніе стали	13
ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ. Преобразование углерода	22
ЧАСТЬ ЧЕТВЕРТАЯ. Преобразование желѣза	30
Опытный методъ	32
Результаты опыта.	
Явленія, наблюдаемыя въ продолженіе медленнаго охлажденія желѣза, стали и чугуна между 1, 100° и 600°. Роль углерода; измѣненіе его состоянія; вліяніе его на молекулярное преобразование желѣза	36
Вліяніе начальной температуры и скорости охлажденія на положеніе критическихъ точекъ. Теорія закалки	45
Явленія, наблюдаемыя во время нагрѣванія тѣхъ же самыхъ образцовъ между 600° и 1100°	48
Нагрѣваніе и охлажденіе до температуры ниже 600°. Теорія отпуска	50
Вліяніе постороннихъ тѣлъ	53
ЧАСТЬ ПЯТАЯ. Преобразование строенія.	57
ЧАСТЬ ШЕСТАЯ. Ковка металла въ холодномъ состояніи	66

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

НБ
УДУНТ
(ИПБТ)

Сканувала Сітковська Л.М.

НБ
УДУНТ
(ІПБТ)