

УДК: 669.66

<https://doi.org/10.34185/tpm4.2021.04>

Пройдак Ю.С, Ольшанський В.І., Камкіна Л.В., Гогенко О.О.,
Мяновська Я.В., Філіппов І.Ю.

Підвищення міцності марганцевого агломерату при обробці гуматовим розчином

Proydaк Yu, Olshansky V, Kamkina L., Hogenko J., Myanovska Ya., Filippov I.

Increase in strength of manganese agglomerate during processing humate solution

Об'єкт дослідження – металургійна технологія залучення дрібнодисперсних марганцевих концентратів, що утворюються при видобутку та збагаченні вихідної сировини, у виробництво марганцевого агломерату. Мета роботи – на основі результатів аналізу фізико-хімічних процесів при спіканні марганцевого агломерату та експериментальних досліджень розробити інноваційні технологічні рішення та рекомендації по технології спікання агломерату з підвищеною до 60% часткою в шихті дрібнодисперсного концентрату 2 сорту.

Методи дослідження – теоретичні дослідження процесів агломерації концентратів базуються на основних положеннях фізичної хімії і теорії металургійних процесів. Розрахунки термодинамічної рівноваги оксидних систем, адекватних агломераційним, основані на теорії Гіббса та реалізовані за допомогою комп'ютерної програми «FASTSage 6.0»; використаний метод математичної статистики для обробки результатів.

Результати дослідження. Визначено раціональну схему попередньої підготовки дрібнодисперсних відходів збагачення марганцевої руди для використання в металургійних процесах; встановлено раціональну кількість відходів збагачення марганцевої руди у вихідній шихті; доведена можливість повернення 50...70% (проти звичайного 10...15%) дрібнодисперсного (фракції 0-1 мм) марганцевого концентрату 2 сорту в шихту виробництва марганцевого агломерату за рахунок використання реагенту торф відоксидний (РТГ) у кількості 5...7% з одночасним підвищенням міцності гранул агломерату вдвічі.

Проведено обробку вихідної карбонатної марганцевої руди на стадії дозування її в шихту та одержаного агломерату екстрактом гуматовим торф'яним для зміцнення агломерату та зменшення пилоутворення.

Ключові слова: марганцева руда, дрібнодисперсний марганцевий концентрат, агломерація, оплавлений агломерат, мікроструктура, міцність агломерату, попередня обробка агломерату, виплавка силікомарганцю

Abstract.

The object of the research is the metallurgical technology of involving finely dispersed manganese concentrates, which are formed during the extraction and enrichment of raw materials, in the production of manganese agglomerate.

The purpose of the work is to develop innovative technological solutions and recommendations for the sintering technology of agglomerate with an increased up to 60% share in the charge of grade 2 finely dispersed concentrate based on the results of the analysis of physicochemical processes during the sintering of manganese agglomerate and experimental studies.

Research methods – theoretical studies of concentrate agglomeration processes are based on the basic principles of physical chemistry and the theory of metallurgical processes. Calculations of the thermodynamic equilibrium of oxide systems, adequate for agglomeration, are based on the Gibbs theory and implemented using the computer program "FASTSage 6.0"; the method of mathematical statistics was used to process the results.

Research results. A rational scheme for preliminary preparation of finely dispersed manganese ore enrichment waste for use in metallurgical processes has been determined; a rational amount of manganese ore beneficiation waste in the initial charge has been established; the proven possibility of returning 50...70% (against the usual 10...15%) of finely dispersed (0-1 mm fractions) grade 2 manganese concentrate to the batch for the production of manganese agglomerate due to the use of the peat hydroxide reagent (PTH) in the amount of 5...7% with a simultaneous increase the strength of the agglomerate granules is doubled.

The original carbonate manganese ore was treated at the stage of dosing it into the batch and the obtained agglomerate with humic peat extract to strengthen the agglomerate and reduce dust formation.

Key words: manganese ore, finely divided manganese concentrate, agglomeration, fused agglomerate, microstructure, agglomerate strength, pre-treatment of agglomerate, silicomanganese smelting

ВСТУП

Україна має потужну гірничорудну промисловість і займає сьоме місце у світі за обсягами виробництва мінеральної сировини. Щорічний видобуток гірської маси з діючих природних родовищ України становить ~2 млрд.т. Внаслідок відсутності раціональних технологій переробки сировини низької металургійної якості понад 60...70% видобутої сировини накопичується у відвалах, формуючи техногенні родовища [1-9]. Рівень використання відходів промислових виробництв України, на відміну від передових країн світу, в яких він до-

сягає 80%, становить лише 12...15%.

Для України утворення значної кількості вторинних матеріалів є однією з найсерйозніших проблем для навколишнього середовища. Різні види матеріалів техногенних родовищ можуть розглядатися як вторинні джерела цінних мінералів, які можуть направлятися на переробку і повторне промислове використання. На сьогодні в Україні обсяги цих відходів перевищують 25 млрд. т, займаючи площу понад 150 тис. га, яка відчужена у АПК України. Так, за різними оцінками, у відвалах та хвостосховищах Криворізьких гірничо-

Пройдак Юрій Сергійович – д.т.н., проф. УДУНТ,
Ольшанський В.І. – к.т.н., ЗАТ НЗФ,
Камкіна Людмила Володимирівна – д.т.н., проф. УДУНТ.,
Гогенко Олег. – к.т.н., ТОВ «Торфдом»
Мяновська Яна Валеріївна – д.т.н., УДУНТ,
Філіппов Ігор Юрійович – к.т.н., ЗАТ НЗФ.

Proidak Yurii Serhiiovych – d.t.n., prof. USUST,
Olshanskyi V.I. – k.t.n., ZAT NZF,
Kamkina Liudmyla Volodymyrivna – d.t.n., prof. USUST.,
Hohenko Oleh. – k.t.n., TOV «Torfdom»
Mianovska Yana Valeriivna – d.t.n., UDUNT,
Filippov Ihor Yuriovych – k.t.n., ZAT NZF.

збагачувальних комбінатів міститься до 13 млрд.т розкривних порід та до 6 млрд.т відходів збагачення бідних залізних руд. За роки експлуатації збагачувальних виробничих потужностей Покровського гірничо-збагачувального комбінату у шламонакопичувачах заскладовано до 130 млн.т шламу від збагачення марганцевої руди.

Особливої актуальності набуває питання залучення у виробництво некондиційної за фракційним складом мінеральної сировини. Дрібнодисперсні продукти збагачення мають величезний потенціал застосування після розробки раціональних технологічних рішень щодо їх попередньої підготовки перед використанням в процесах спікання, які дозволяють одержувати огрудковану сировину заданого фракційного, хімічного складу та відповідної міцності. Використання дрібнодисперсних продуктів збагачення марганцевої руди фракції 0-1 мм, які мають кристалічну структуру та важко окомковуються, потребує обґрунтування та експериментальної перевірки застосування ефективного зв'язуючого матеріалу з необхідними функціональними властивостями.

Дослідженню характеристик, збагаченню та подальшій агломерації дрібних марганцевих концентратів присвячені праці зарубіжних науковців M.Tangstad, S.E.Olsen, B.Sorensen, O.Ostrovsky, B.Singh, Li Zhang, RS Braga. Відомі українські науковці внесли значний вклад у розвиток виробництва марганцевих феросплавів Гасик М.І., Грищенко С.Г., Куцін В.С., Ольшанський В.І, Філіппов І.Ю. та інші.

Великого значення набуває якість агломерату, яка забезпечує високі показники виплавки феросплавів. Сучасні металургійні агрегати пристосовані до споживання кускових матеріалів [10-17], тому дрібнодисперсну марганцеву сировину необхідно окускувати одним з трьох способів: агломерацією, огрудкуванням або брикетуванням. Запаси марганцевої руди в Україні сумарно по Орджонікідзевському і Марганецькому гірничо-збагачувальним комбінатам становлять третину світових запасів. Основним видом продукції, що випускає Орджонікідзевський ГЗК, є марганцевий концентрат різних сортів з вмістом чистого марганцю від 26% до 43% (залежно від сортності). Супутні продукти - керамзитова глина і шлами. Залу-

чення у виробництво феросплавів марганцевих шламів потребує їх окускування з метою поліпшення газопроникності насипної маси та отримання обкотишів необхідної форми і розміру.

Агломерат повинен мати високу міцність, кускуватість, пористість і відновлюваність при заданому хімічному складі. Проте використання марганцевмісних містячих шламів в агломераційному процесі обмежується їх фізичними, фізико-хімічними властивостями і вмістом шкідливих домішок. Збільшення частки дрібнодисперсних матеріалів в агломераційній шихті потребує пошуку способів підготовки, що дозволяють підвищити допустиму для утилізації в агломераційній суміші межу вологості шламів; поліпшити усереднення шламів у агломераційній шихті, забезпечити газопроникність спікаемого шару на агломераційній стрічці і скорочення висушування пилу.

При розробці Нікопольського родовища марганцевих руд в шламосховищах Орджонікідзевського гірничо-збагачувального комбінату намито шламів з середнім вмістом марганцю 10-12%. Аналіз фізико-хімічних властивостей концентратів 2-го сорту показує, що характерна для них зернисто-піщана структура не забезпечує достатньої комкуємості аглошихти і не дозволяє при проведенні її грануляції отримати необхідний гранулометричний склад і міцнісні показники гранулюемого матеріалу. Надалі це призводить до зниження продуктивності агломашини. Однак, труднощі їх використання полягають в поганому злипанні при огрудкуванні та брикетуванні.

Ступінь огрудкування марганцевих шламів за звичайною технологією при додатковому зволоженні становить 1,62, а міцність гранул менше 1 кг/на зразок. Спікання такого матеріалу практично не відбувається, що обмежує можливості їх використання в шихті для агломерації. Це викликає необхідність пошуку зв'язуючого, яке забезпечить комкуємість матеріалу із зернистою структурою.

Раціональне використання природних ресурсів сировини та палива та розширення сировинної бази гірничо-металургійного комплексу України сприятимуть удосконаленню технологій та розширенню застосування техногенних матеріалів у виробництві металів та сплавів [13, 14, 17].

Таблиця 1

Вміст складових вихідної шихти для одержання дослідного агломерату

Матеріал	АМНВ-2		Дослідний агломерат (оплавлений)	
	% (мас)	кг/т	% (мас)	кг/т
1 Б сорт (МГЗК)	16,0	194,61	14,0	171,85
Концентрат ОГЗК (фр. 0-1мм)	22,0	267,58	30,0	368,25
Карбонатний концентрат МГЗК	9,0	109,47	-	-
2 сорт ПГЗК	22,0	267,58	19,0	233,23
Карбонатний концентрат ПГЗК	25,0	304,07	30,0	368,25
Реагент ТГ	1,63	22,00	1,9	26,00
Вапняк доломітизований	2,0	24,33	-	-
ПШС	6,0	72,98	7,0	85,93
Паливо	6,0	84,00	6,0-8,0	84,00-109,00
Усього	109,7	1346,62	109,9	1362,50

Промислові випробування одержання агломерату при змінненні кількості вуглецю у вихідній шихті

Як відомо [13, 14], при застосуванні звязуючих на основі торфу (РТГ) внаслідок згоряння пірогазів, змінюється тепловий рівень процесу агломерації та формуються дві зони спікання, які змінюються при змінненні співвідношення вуглець РТГ/вуглець коксу. Для отримання агломерату з високими властивостями міцності, з точки зору теплового рівня процесу спікання, визначали оптимальний вміст вуглецю і режим запалення шихти

(температура запалення, час запалення). При спіканні агломерату АМНВ-2 вміст палива в шихті варіювали від 6% до 8%, а температуру запалення від 950°C до 1000°C. Склад шихти для виробництва агломерату наведено в таблиці 1.

В якості вихідних технологічних параметрів використовували параметри роботи базового періоду виробництва агломерату марки АМНВ-2 на агломашині №4. Значення параметрів приведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Технологічні параметри роботи агломашини	
Параметр	Значення
Вологість шихти, %	15,2
Температура запалювання, °С	950-1000
Швидкість руху аглоленти, м/хв.	1,6
Розрідження, кг/м ²	650,0
Температура газу в колекторі, °С	120,0
Висота шару шихти, м	0,42
Продуктивність, т/год	78,0
Міцність, % (вміст фракцій ≥ 5 мм в агломераті)	77,0

Дослідно-промислові випробування показали, що підвищення вмісту палива в аглошихті з 6% до 8% при збільшенні вмісту концентрату 2 сорту (фр. 0-1мм) з 22% до 30% та повному виведенні доломітизованого вапняку (2%) за рахунок збільшення вмісту карбонатної руди та руди 2 сорту ПГЗК, призводить до зниження продуктивності процесу агломерації при незмінній міцності агломерату та збільшення вмісту фракції менше 5мм в агломераті

При окомкуванні шихт для виробництва агломерату марки АМНВ-2 з високим вмістом великих фракцій практичної зміни середнього діаметра гранул не спостерігається. Газопроникність шихти визначається головним чином гранулометричним складом шихти. Присутність у складі шихти РТГ, який рівномірно розподіляється серед складових вихідної агломераційної суміші сприяє утворенню гранул, що містять дрібнодисперсні компоненти. Тому присутність підвищеної кількості концентрату 2 сорту (фр. 0-1мм) не впливало на утворення гранул та покращувало газопроникність шихти, а

також забезпечує покращення умов запалення шихти.

Для визначення впливу використання фракціонованої карбонатної руди фракції 0...10мм при виробництві агломерату, в агломераційному цеху в поточному виробництві спікали агломерати марки АМНВ-2 та АМНВ-2Г при частці використання марганцевого концентрату 2 сорту фр. 0-1мм у шихті 30, 50, 80%.

За базову шихту для виробництва агломерату прийнято шихту поточного виробництва агломерату марки АМНВ-2 без використання дрібного вапняку в якості флюсуючої добавки. Речовий склад шихт наведено у таблиці 3.

При заміні карбонатної марганцевої руди фракції 0...30 мм на фракцію 0...10мм привело до змінення гранулометричного складу шихт (таблиця 4).

Технологічні параметри спікання, техніко-економічні показники і якість агломерату наведені в таблицях 5, 6, 7.

Таблиця 3

Речовий склад шихт для виробництва дослідних агломератів зі змінною кількістю марганцевого концентрату 2 сорту фракції 0-1мм

Матеріал	Дослідні агломерати з різною часткою дрібнодисперсного концентрату					
	АМНВ-2 (30%)		АМНВ-2 (50%)		АМНВ-2 Г(80%)	
	Витрата матеріалів для одержання агломерату					
	% (мас.)	кг/т	% (мас.)	кг/т	% (мас.)	кг/т
1Б сорт (МГЗК)	10	123				
Конц. ОГЗК (фр. 0-1мм)	30	368	50	617	80	979
Карб. ПГЗК (фр. 0-10мм)	30	368	30	370	20	245
2 сорт ПГЗК	23	282	20	247		
Реагент ТГ	26		43		69	
ПШС	7	86				
Паливо	7,5	100	7,0	94	5,5	84
Усього		1327		1328		1308

Таблиця 4

Гранулометричний склад шихт при змінній кількості дрібнодисперсного концентрату 2 сорту

Матеріал	Вміст фракцій, %				
	+50мм	50...25мм	25...10мм	10...3мм	-3мм
Базова шихта	1,63	32,26	14,16	10,98	40,67
Дослідна шихта (30%)	1,63	15,64	7,52	22,42	52,79
Дослідна шихта (50%)	1,42	12,34	5,37	21,25	59,62
Дослідна шихта (80%)	-	-	-	2,09	97,91

Таблиця 5

Результати спікань при вмісті 30% концентрату 2 сорту фракції 1-0мм

Час проведення спікань	Вміст палива, %	Вміст палива, кг/тн	Висота шару шихти, мм	Розрідження в колекторі, мм вод.ст	Температура в колекторі, °С	Швидкість агломації, м/хв	Показники якості		Продуктивність агломації, т/год
							Розсівання Кількість фракції -5 мм	Міцність, %	
23.12.2021 9-00	7	94	420	800	70	1,4			60
23.12.2021 11-00	7,5	100	420	680	100	1,7	4,4	74	54
23.12.2021 13-00	7	100	420	700	90	1,2	3,5	79	54
23.12.2021 15-00	7	100	420	700	100	1,3	4,2	78	64
23.12.2021 17-00	7	100	420	750	80	1,4	3,4		54
23.12.2021 19-00	7,5	100	420	650	90	1,5	4,1	78	60
23.12.2021 21-00	7,5	100	420	670	100	1,6	4,4	78	54

Таблиця 6

Результати спікань при вмісті в шихте 50% концентрату 2 сорту фракції 1-0мм

Час проведення спікань	Вміст палива, %(мас.)	Вміст палива, кг/тн	Висота шару шихти, мм	Розрідження в колекторі, мм вод.ст (кг/м ²)	Температура в колекторі, °С	Швидкість агломації, м/хв	Показники якості		Продуктивність агломації, т/год
							Розсівання Кількість фракції -5 мм	Міцність, %	
24.12.2021 13-00	6	86	400	700	40	1,2			42
24.12.2021 14-00	6	86	400	740	40	1,4	4,5	72	48
24.12.2021 15-00	7	100	400	740	50	1,4	3,5	77	60
24.12.2021 16-00	7	100	400	800	50	1,4	4,7	77	66

Таблиця 7

Результати спікань при вмісті в шихте 80% концентрату 2 сорту фракції 1-0мм

Час проведення спікань	Вміст палива, %(мас.)	Вміст палива, кг/тн	Висота шару шихти, мм	Розрідження в колекторі, мм вод.ст (кг/м ²)	Температура в колекторі, °С	Швидкість агломації, м/хв	Показники якості		Продуктивність агломації, т/год
							Розсівання Кількість фракції -5 мм	Міцність, %	
26.12.2021 10-00	5,5	79	350	500	50	1,5			
26.12.2021 11-00	5,5	79	350	540	40	1,5	2,7	77	30
26.12.2021 12-00	5,5	79	350	540	40	1,4	3,5	77	36
26.12.2021 13-00	5,5	79	350	470	50	1,4	2,9	77	30
26.12.2021 14-00	5,5	79	350	490	60	1,6	3,1	77	36

Результати спікань агломерату показують, що заміна карбонатної марганцевої руди фракції 50-0мм на руду фракції 10-0мм дозволяє отримати

оплавлений агломерат при чинному режимі термообробки. Ступінь дисоціації карбонатної марганцевої руди становить 100% (при проведенні хімі-

чного аналізу втрати при прожарюванні склали 0%). Це сприяє повнішому засвоєнню розплавом карбонатної марганцевої руди. При зміні рівня термообробки забезпечується повніше запалення твердого палива, що забезпечує поліпшення процесів рідкофазного спікання. Аналіз міцнісних властивостей отриманого агломерату показав зниження утворення дрібниці фракції менше 5мм при транспортуванні його до печі, а також підвищення міцності на стирання. Так збільшення вмісту дрібниці фракції менше 5мм в агломераті перед завантаженням у піч знизилася порівняно з базовим варіантом з 13% до 7%.

Виходячи з результатів дослідних спікань одержання агломерату зниженої міцності на стирання (основна причина збільшення виносу пилу з печі) при існуючому гранулометричному складі шихти можуть бути декілька причин.

При низькому вмісті твердого палива у шихті (6-7%) тепла, що виділяється в результаті горіння цієї кількості палива, недостатньо для утворення необхідної кількості розплаву, що забезпечує розвиток рідкофазного спікання. Збільшення витрати твердого палива при даному гранулометричному складі отримання оплавленого агломерату викликає значні труднощі через необхідність забезпечення часу на розплавлення рудних матеріалів, що призводить до зниження продуктивності процесу. При цьому міцність агломерату визначається міцністю шматків руди, видом в'язучого та міцністю контакту в'язучого з рудою.

Незадовільний режим запалення шихти, який має забезпечувати як запалювання палива, так і компенсувати витрати тепла на ендотермічні процеси у верхній частині шару (сушіння, прогрів, дисоціація карбонатів, утворення розплаву). Температура запалення повинна бути не менше 950°C, а час запалення має бути 2...2,5 хв (час перебування шихти під горном). При залученні до процесу карбонатної марганцевої руди фракції 0...10мм необхідне додаткове тепло для здійснення процесу дисоціації карбонатів марганцю і кальцію.

Для карбонатної марганцевої руди розміром більше 5мм не вистачає часу для повної дисоціації, а шматки рудних матеріалів більші за 8мм не повністю проходять через рідку фазу. Нестача рідкої фази, а також відсутність міцного зв'язку між рудними частинками та в'язучим знижує міцність агломерату. При транспортуванні агломерату та завантаженні його в піч відбувається руйнування карбонату, що супроводжується додатковим пилоутворенням (підтверджується даними хімічного складу пилу та шламів рудовідновлювальних печей). При існуючій технології спікання марганцевого агломерату на НЗФ газопроникність шихти досягається більшою мірою крупністю рудних матеріалів, а процес окотування практично не впливає на показники процесу агломерації.

Одержання оплавленого агломерату залежить від вихідного гранулометричного складу компонентів шихти спікання. Результати дослідно-

промислових випробувань агломерату показують, що заміна карбонатної руди марганцевої фракції 50-0мм на руду фракції 10-0мм дозволяє отримати оплавлений агломерат при діючому режимі термообробки. Ступінь дисоціації карбонатної марганцевої руди становить 100% (при проведенні хімічного аналізу втрати під час прожарювання склали 0%).

Підвищення металургійних властивостей марганцевого агломерату, отриманого з шихт, що містять 30, 50, 80% марганцевого концентрату 2 сорту фракції 0-1мм, можливе за рахунок поєднання оптимального температурно-теплого рівня процесу (забезпечується більш повне запалення твердого палива, що в свою чергу забезпечує процеси рідкофазного спікання) та оптимізації гранулометричного складу шихти - а саме зниження вмісту фракцій більше 8мм у шихті, що забезпечить поліпшення процесу окотування та зниження вмісту пилу при транспортуванні агломерату. Це можливо за рахунок змін підготовки рудних матеріалів на ГЗК.

Слід відмітити, що існуючі на ГЗК схеми збагачення марганцевої руди не передбачають розсівання матеріалу, що не дає змоги передати споживачу руду необхідного фракційного складу. Зниження руйнування агломерату може бути досягнуто шляхом його обробки, що полягає в покритті шматкової сировини екстрактом гуматовим рідким торф'яним «Ідеал» ТУ У 08.9-35113654-004:2012. Високотемпературне покриття ЕГТ з температурою плавлення 1050-1100°C) в результаті видалення води утворює на поверхні шматка агломерату плівку, що підвищує його міцність на стирання і призводить до зниження пилоутворення при транспортуванні та завантаженні його в піч, перешкоджає руйнуванню карбонатів, шматків вільного вапна та шматків агломерату при нагріванні у відновлювальній атмосфері.

Обробка карбонатної марганцевої руди екстрактом гуматовим торф'яним (ЕГТ) та агломерату водним розчином ЕГТ

В процесі підготовки компонентів шихтової суміші з підвищеною часткою дрібнодисперсного марганцевого концентрату було встановлено, що карбонатна марганцева руда виступає як центр для окомковування дрібних частинок аглосуміші. Карбонатні мінерали в карбонатних марганцевих рудах представлені родохрозитом і манганокальцитом. Родохрозит $MnCO_3$ - марганець ізоморфно заміщується елементами Fe, Mg, Ca та ін. Кальцієвий родохрозит поширений в осадових рудах марганцю і, як правило, збагачений фосфором. Манганокальцит - основний рудний мінерал $(Mn,Ca)CO_3$, з якого складаються карбонатні руди осадових родовищ (хімічний склад: 29,94% MnO , 14,95% CaO , 10,94% SiO_2 , 8,95% Al_2O_3 , 28,38% в.п.п.). Однак, має недостатню міцність, а підвищена крупність не дає повністю продисоціювати за час спікання агломерату. Для підвищення якості та продуктивності процесу одержання агломерату

марки АМНВ-2 із вмістом марганцевого концентрату до 50% у період з 10.02.2022 по 12.02.2022 в умовах аглоцеху НЗФ були проведені промислові випробування розроблених технічних рішень.

Досліджували вплив обробки карбонатної марганцевої руди до подачі в шихту екстрактом гуматовим торф'яним (ЕГТ), а також обробку отриманого агломерату водним розчином ЕГТ.

Для проведення дослідно-промислових випробувань «НВП Техно» було придбано та спільно з працівниками НЗФ змонтовано дві системи для обробки карбонатної руди та марганцевого агло-

мерату. "НВП Техно" поставило на НЗФ п'ять метрів кубічних рідкого ЕГТ (п'ять "євро кубів"). ЕГТ є лужною витяжкою з низиногового торфу, яка містить обтяжувач. Обробку карбонатної марганцевої руди фракції 0-50мм здійснювали в процесі завантаження її в бункери дозувального відділення аглоцеху, витрата ЕГТ становила 1,2 тонни на 100 тонн руди, оброблену карбонатну руду дозували в аглошихту.

Склад аглошихти та витрата компонентів наведено у таблиці 8. Технологічні параметри агломераційного процесу приведені в таблиці 9

Таблиця 8

Витрати складових аглошихти на виробництво агломерату АМНВ2

Сировина	Витрата сировини		W, %	З урахуванням W, кг	Вологість, %
	на суху масу, кг	в %			
2с МГЗКО-1	578	47,0	16,5	692	47,8
1 Карбонатна не кл.	332	27,0	9,2	365	25,2
2с окисно карбонатна	111	9,0	20,9	140	9,7
2с МГЗК110	111	9,0	12,6	127	8,8
ПШС	98	8,0	20,8	123	8,5
Торфореагент	41		0,0	41	
Усього	1230	100		1447	100

Таблиця 9

Технологічні параметри агломераційного процесу

Показники	Одиниці виміру	Значення показника
Температура запалювання	°С	950
Температура поверхні шару шихти під горном	°С	920
Висота шару шихти	м	0,380
Швидкість руху аглоленти	м/хв	1,60
Розрідження в колекторі	мм.вод.ст.	780
Температура в колекторі	°С	87
Продуктивність	Т/год	68,0

Аналіз отриманих результатів показує, що попередня обробка карбонатної марганцевої руди розчинам ЕГТ дозволяє отримати агломерат з вмістом концентрату 2с фракції 0,1 мм до 50% без

зниження продуктивності агломашини. Міцнісні властивості агломерату, отриманого в дослідному та базових періодах наведені в таблиці 10.

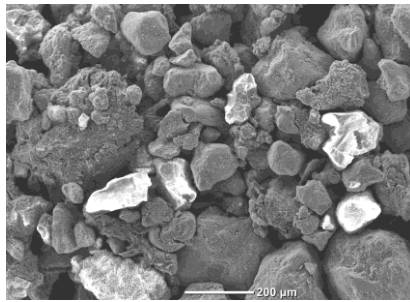
Таблиця 10

Період	Вміст фракцій в агломераті, %	
	+5 мм	-0,5 мм
Базовий	77,0	5,0
Дослідний	78,0	3,6

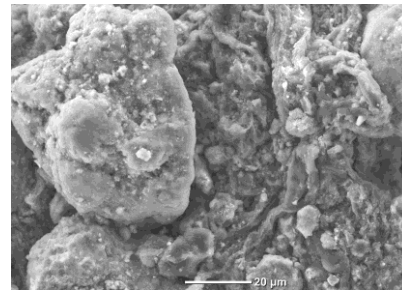
Морфологічний аналіз спеченої суміші і вихідних компонентів аглосуміші

Морфологічний аналіз спеченої суміші і вихідних компонентів проводили за допомогою растрового електронного мікроскопа NeoScore II (фірми Jeol, Японія) в режимі високого вакууму при прискорюючій напрузі 15 кВ. Режим спостереження - secondary electron image (вторинні електрони). Характерний вид структур суміші до спікання і після спікання показаний на рис. 1 і 2.

Структура вихідної суміші представлена двома структурними складовими, які розрізняються за способом відображати вторинні електрони, розміром, формою і за способом розподілу часток в суміші. Відповідно до класифікації за способом відображати вторинні електрони, в структурі розрізняються світла структурна складова, що має в своїй основі вуглець (торф) і темно-сіра структурна складова, що має в своїй основі оксиди металу.



а



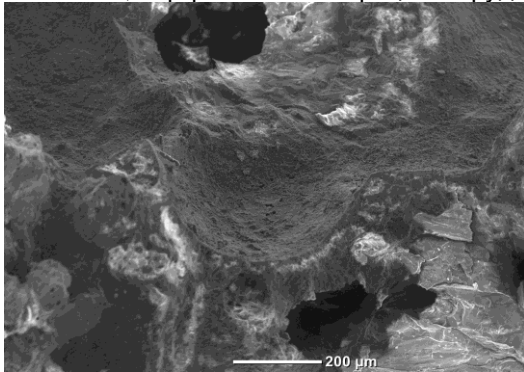
б

а – $\times 100$; б – $\times 1000$

Рисунок 1. Вигляд суміші до спікання

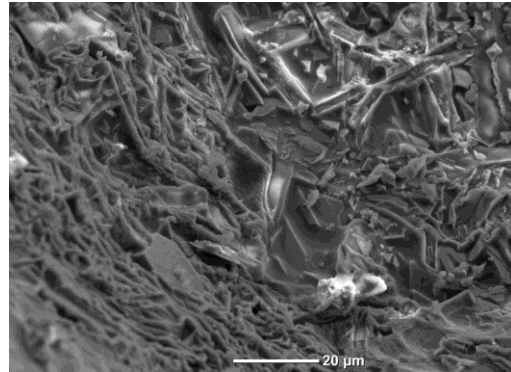
У структурі вихідної суміші, згідно розмірного фактора, торф представлений частками дисперсності від 0,6-170 мкм, в той же час, частинки, що містять оксиди металу мають дисперсність від 5,6-500 мкм, що істотно перевищує розмір торф'яних частинок. Дрібнодисперсні частки торфу (до 1,5 мкм) рівномірно розподіляється на поверхні великих частинок, сформованих в процесі оґрудуван-

ня. Згідно форми, темно-сіра структурна складова представлена частками граної форми і частки, що утворилися в процесі оґрудування (частки близько 20 мкм, які злиплися під впливом підвищеної вологості і руйнуються під дією незначного навантаження (рис. 2.9, а). У той же час, торф'яна складова не має такої різкої відмінності за формою.



а

в



б

г

а – $\times 100$; б – $\times 1000$

Рисунок 2. Вигляд спеченої суміші

Згідно з результатами фрактографічного аналізу виявлена тонка структура зламу спеченого зразка. Структура поверхні руйнування характеризується ямковою мікробудовою. Характерним є рельєф, утворений сукупністю окремих фасеток. Така будова пояснюється тим, що при досягненні граничних станів в локальних обсягах на ділянках, що представляють собою перешкоди для безперервності деформації, зароджуються мікропорожнечі. Зі збільшенням напруги мікропорожнечі ростуть, зливаються, що призводить до повного руйнування з утворенням на зламі заглиблень у вигляді ямок, з'єднаних між собою перемичками. Різний розмір ямок свідчить про різнозернистість структури, яка пов'язана з різною дисперсністю вихідних матеріалів суміші.

Світла структурна складова суміші (торф) розташовується по межах зерен (лунок) і виконує сполучну функцію між більшими темно-сірими структурними складовими. У структурі поверхні зламу виявлена макро- і мікропористість, яка та-

кож розташовується по межах зерен (лунок). За результатами кількісної металографії мінімальний розмір пір складає 20 мкм. Пори даного розміру складають 57% від всіх пір.

На наш погляд одна з причин покращення якісних показників у дослідному варіанті пов'язана зі зміною фізичної структури агломерату, яка є спеком, що пройшов через рідкофазне спікання. На окремих великих шматках карбонату спостерігаємо шар застиглої розплаву. Збільшення частки рідкої фази забезпечує більш високу міцність агломерату. Вміст пиловатих фракцій менше 0,5мм знижується в дослідному періоді з 5,0 до 3,6% при збільшенні міцності на удар на 1%. Отримана структура агломерату, яка дозволяє знизити вихід пиловатих фракцій, при цьому інтенсифікується процес шлакоутворення в феросплавних печах.

Аналогічна дія на вміст пилу при транспортуванні, завантаженні агломерату в піч та його плавленні робить обробка вже отриманого агломерату розчином ЕГТ. Обробку агломерату вод-

ним розчином ЕГТ здійснювали на конвеєрі, при транспортуванні його в пічне відділення. Для цього на вибраній ділянці транспортера була встановлена система туманоутворення. Дана система дозволяє рівномірно розподілити розчин за матеріалом на стрічці, запобігаючи утворення пилю.

Аналіз зміни вмісту пилю, фракцій менше 0,5мм показав, що обробка агломерату ЕГТ дозволяє знизити вміст пилю на 28%.

Таким чином обробка карбонатної марганцевої руди, на стадії дозування її в шихту та отриманого агломерату, що пройшов стадію охолодження та подрібнення, дозволяє при збереженні продуктивності процесу підвищити якість марганцевого агломерату, отриманого з шихти, що містить 50% концентрату 2 сорти фракції 0,1мм.

Фрактографічний аналіз показників міцності агломерату.

Таблиця 11

Варіанти складу вихідної шихти на отримання марганцевого агломерату АМНВ-2Г

№	Склад шихти									Вихід придатного	Міцність	Відношення ОЗМК/руда, %
	ОЗМК	Окисний концентрат 1 сорту, 0-10 мм	Карбонатна руда	Окисна руда 2 сорт	Флюс	РТГ	Вода	Кокс (0-3)	Зворот			
1	1600	260	-	-	140	96	160	250	-	1010	75	86
2	1000	200	400	260	140	60	160	250	400	1215	80	54
3	1200	240	420	-	140	72	160	250	-	1070	85	65
4	1400	200	260	-	140	84	160	250	-	1120	70	75
5	0	200	400	1260	140	-	160	250	400	1230	80	0
6	1000	200	400	260	140	-	100	250	400	1200	80	54
7	1600	260	-	-	140	-	150	250	400	1130	65	86
8	1000	640	260	-	140	60	50+50	250	400	1220	65	53
9	1200	600	-	-	140	72	60+50	250	400	1145	60	67
10	1600	400	-	-	140	96	80+50	250	400	1075	70	80

Термодинамічними розрахунками показано, що при помірних температурах не утворюються з'єднання на зразок феритів кальцію, тобто з'єднання, які можуть утворюватись між основними оксидами флюсів і оксидами марганцю, СаО не буде повністю засвоюватися в шлаковій зв'язці і вже при основності порядку одиниці спостерігається незасвоєне вапно, що викликає утворення білих плям в структурі готового агломерату. Такий агломерат необхідно відразу використовувати у виробництво, так як транспортування і зберігання приведуть до порушення цілісності шматків агломерату і утворення великої кількості дрібниці

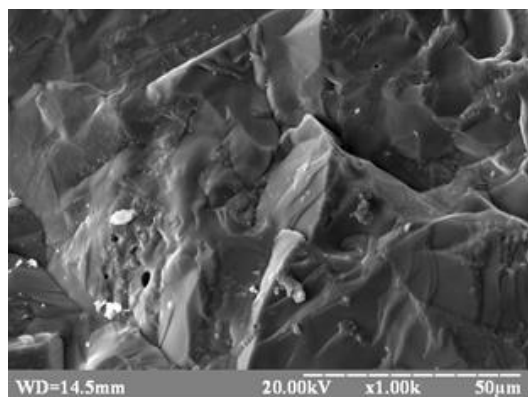
З метою визначення впливу варіювання складу вихідної шихти на показники міцності дослідного агломерату провели спікання в умовах аглоцеху АТ «НЗФ». В якості шихтових матеріалів окисну руду 1 та 2 сорту (0-10 мм), карбонатну руду (0-10 мм), окисно-зернистий концентрат 2 сорту фракції 0-1 мм, доломіт (0-3 мм), коксик (0-3 мм), РТГ, зворот (0-5 мм) (табл.11).

Металографічний аналіз макро- і мікроструктури проводився за допомогою РЕМ-106И (Selmi, Україна), з застосуванням збільшень: для макроструктурного аналізу - $\times 20$, для мікроструктурного аналізу - $\times 100$, $\times 1000$, $\times 3000$, з використанням режиму вторинних електронів (SEM), при прискорю-

ючій напрузі 20 кВ і варіюванні робочої відстані від 9,2 до 52,3 мм. У зв'язку з наявністю вуглецевої складової для уникнення скупчування заряду на поверхні, а також отримання якісного зображення досліджувані зразки напилували золотом (товщина шару складає 10 А).

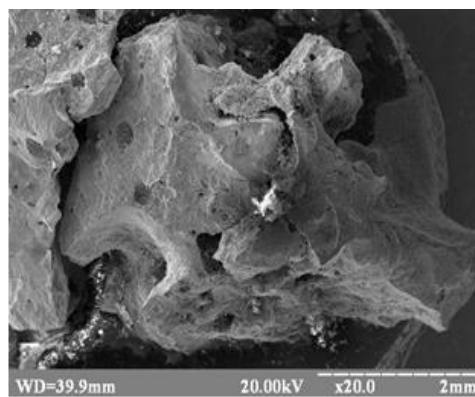
За результатами порівняльного макроструктурного аналізу ($\times 20$) зразків без напилення і з напиленням золота виявлено, що вуглецева складова суміші розташовується по межах зерен (часток) і виконує сполучну функцію. Спечений монолітний конгломерат при наступному механічному подрібненні розпадається на частинки, розмір яких складає від 0,8 до 160 мкм. Крупні частинки мають гранну форму, на їх поверхні розташовані мілкі частинки з формою близькою до сферичної. Відсоткове співвідношення крупних і мілких частинок складає 30:70.

Розтріскування на поверхні спечених конгломератів є результатом недостатньо міцного з'єднання структурних складових (рис.3). Можливо, що це розтріскування спостерігається у випадку недостатньої кількості зв'язувальної складової або невідповідності температурного режиму спікання. Руйнування конгломерату здійснено по зв'язувальній складовій, яка розташована по границям зерен.



а

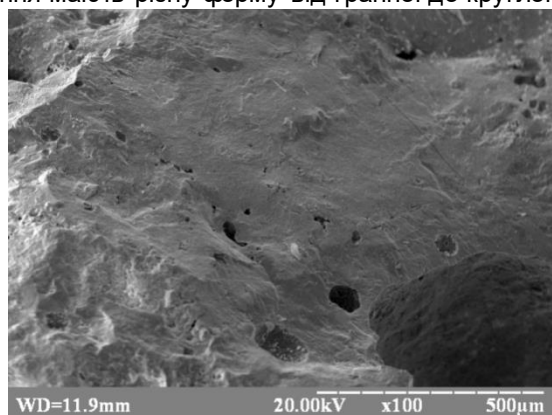
Рисунок 3 Морфологія поверхні спеченого конгломерату



б

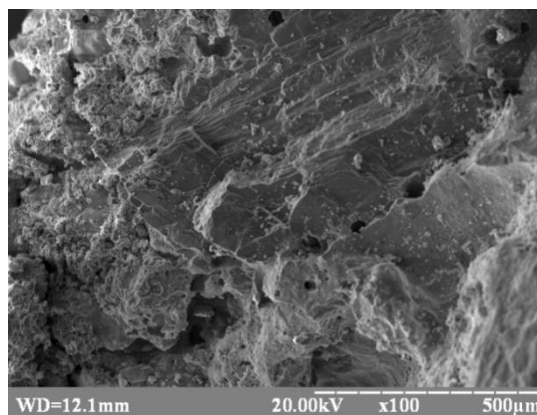
Металографічний аналіз мікроструктури зразків агломератів показав, що мікроструктура має дві складові: легкоплавку зв'язувальну матрицю та високотемпературні вclusions в матриці; вclusions мають різну форму від гранної до круглої.

Зразок 3 являє собою монолітний конгломерат. Пористість практично відсутня. Поверхня злому має шарувату будову (рис. 4).

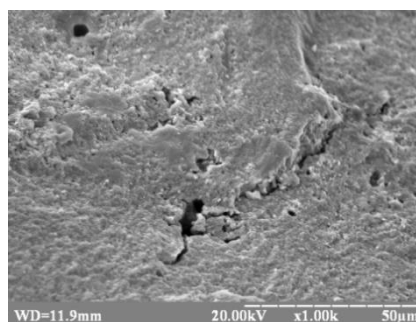


а

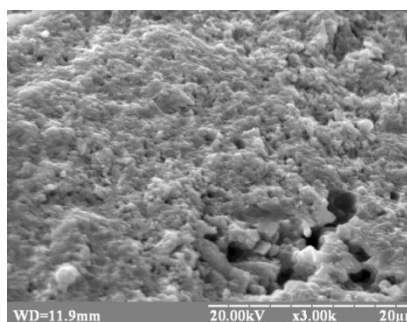
Рисунок 4 Мікроструктура поверхні спеченого конгломерата, зразок 3



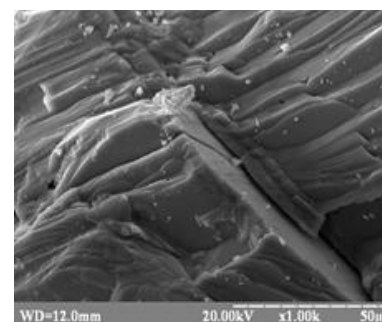
б



а



б



в

Рисунок 5. Мікроструктура зразка 3

Мікроструктура зразка 3 має (рис. 5) достатньо рівномірну дрібнозернисту матрицю. Дисперсні частинки круглої форми міцно з'єднані між собою та охоплюють крупні кристали шаруватої структури (рис. 5 б,в). Пористість в структурі розташована на межі між шаруватими кристалами і дрібнозернистою матрицею (рис. 5, а). Дрібнозерниста матриця представлена зернами правильної круглої форми, по границі яких виявлено світлу структурну складову, яка діє як зв'язуючий елемент в структурі (рис. 5 б).

Таким чином, застосування ОЗМК фракції 0-1мм у кількості 60-70% не зменшує міцність агломерату, створюються умови для формування пористості, що забезпечує відновлювальність агломерату при одержанні мало фосфористого шлаку або силікомарганцю.

Економічна ефективність використання ЕГТ при спіканні марганцевих агломератів з дрібнодисперсним концентратом 2 сорту

Ефективність використання ЕГТ при виробництві агломерату, складається з економії шихтових матеріалів, палива, а також підвищення його

властивостей міцності. Зміни шихтових матеріалів під час використання ЕГТ наведено у таблиці 12.

Таблиця 12

Склад шихт та витрата матеріалів

Матеріал	Базова шихта		Дослідна шихта		Змінення (+ збільшення, - зменшення) Кг
	% (мас.)	Кг	% (мас.)	Кг	
1Б сорт (МГЗК)	16,0	194,61	-	-	-194,6
Концентрат ОГЗК (Фр. 0-1мм)	22,0	267,58	47,0	578,0	+310,4
Карбонат МГЗК	9,0	09,47	27,0	322,0	+222,5
2с. ПГЗК	22,0	267,58	9,0	111,0	-156,6
Карбонат ПГЗК	25,0	304,07	-	-	-304,07
Реагент торфогідроксидний	1,63	22,00	-	41,0	+19,0
Вапняк доломітизований	2,0	24,33	-	-	-24,3
ПШС	6,0	72,98	8,0	98,0	+25,0
Екстракт гуматовий торфяноий	-	-	2,0	6,64	
Усього	109,7	1346,62	100	1243,64	

Сумарна економія шихтових матеріалів на 1Т агломерату складе: $1346,62 - 1243,64 = 102,98$ кг. Обробка екстрактом гуматовим торф'яним карбонатної марганцевої руди до спікання агломерату і після його охолодження та грохочення, дозволяє підвищити вміст фракцій більше 5мм в агломераті на 1% і знизити вміст фракції менше 0,5мм на 1,4%, що дозволить додатково залучити на місяць марганцевого агломерату марки АМНВ-2.

Використання отриманого агломерату при виплавці феросилікомарганцю дозволяє за рахунок більш низької температури плавлення прискорити появу силікатного розплаву, в якому з великою швидкістю протікають не тільки процеси відновлення марганцю, але отримує розвиток вторинний активний процес відновлення відновленим марганцем пентаоксиду фосфору, що дозволяє не тільки компенсувати втрати великих шматків карбонатної марганцевої руди та й загалом досягти значної економії електроенергії (від 900 до 1100 кВт/т).

ВИСНОВКИ

1. Для концентрату окисного гравітаційного характерним є значна кількість дрібних фракцій, що потребує його огрудкування перед спіканням. За хімічним складом дрібнодисперсні марганцеві матеріали техногенного походження подібні окисному концентрату 2 сорту та імпортованій марганцевій руді Гана сорту КК 28 та сорту МК 28. Окисно-зернистий концентрат фракції 0-1 мм має схожі різновидності марганцевих мінералів і порожньої породи марганцевих оксидних концентратів та карбонатного концентрату. При відповідному огрудкуванні окисно-зернистий концентрат фракції 0-1 мм може бути рекомендований до застосування у складі шихти для спікання марганцевого агломерату та замінити імпортовану марганцеву руду.

2. Аналіз фізико-хімічних властивостей концентратів 2-го сорту збагачення марганцевих руд Покровського ГЗК показує, що характерна для них зернисто-піщана структура не забезпечує досить

високу комкуємість аглошихти і не дозволяє при проведенні її грануляції отримати необхідний гранулометричний склад і міцність гранулюємого матеріалу. Результати дослідження міцності дослідних спеків підтверджують позитивний вплив заміни частини коксика торфом гідроксидним при спільному введенні в вихідну шихту перед огрудкуванням тонкодисперсних марганцевих концентратів та сполучного компонента. Підвищення показників процесу і металургійної цінності спеченого матеріалу обумовлено зміною механізму спікання, яке пов'язане з різною реакційною здатністю вуглецю коксика і паливних складових елементів деструкції торфу, що приводить до розширення зони високо-температурного спікання і до утворення оптимальної кількості рідкої оксидної фази, яка бере участь у створенні досить міцного спека.

3. У лабораторних умовах НМетАУ випробуваний реагент торфгідроксидний при отриманні агломерату з шихти, що містить концентрат 2-го сорту фракції 0-1мм збагачення марганцевої руди. Шихта для агломерації складалася: концентрат 2-го сорту -73,53%; коксик - 7,35%; РТГ (реагент торфгідроксидний) - 4,41%; зворот - 14,71%. Якість отриманого агломерату: вихід придатного - 81,3%; міцність на удар - 3,0%; міцність на стирання - 1,5%; хімічний склад готового агломерату: $Mn_{зар.}$ - 28,72%, С - 0,91%. При використанні в якості сполучного інших матеріалів (ССБ, розчин борошна, бентоніт і ін.) високих показників механічної міцності і підвищення вмісту $Mn_{зар.}$ не відзначено.

4. При підготовці концентрату 2-го сорту фракції 0-1 мм до агломерації показано, що використання традиційних сполучних не забезпечує високих показників комкуємість дрібнозернистого концентрату. Зростання комкуємість і міцності огрудкованого матеріалу встановлено при використанні в якості в'язучого реагенту торфу гідроксидного. Лабораторні спікання огрудкованого концентрату 2 сорту фракції 0-1мм з використанням реагенту торфу гідроксидного показали, що спікання проходило при достатній швидкості спікання і з хорошою

газопроникненістю. Спик мав достатню міцність. Оптимальна кількість в'язучого реагента торфа гідроксидного становить 6% від маси концентрату 2 сорту 0-1мм.

5. Для залучення у агломераційне виробництво дрібнодисперсних марганцевмісних продуктів збагачення марганцевої руди необхідним є попереднє окомкування за рахунок введення обробленого торфу в якості в'язучої речовини у кількості – 5-7% у вихідну шихтову суміш. Цей вид в'язучого, для якого характерно мінімальний вміст шкідливих домішок, в якості одного з компонентів аглошихти, призведе до деякого збільшення міцності сирих окатишів, дозволить замінити частину коксика, з використанням при цьому енергетичного потенціалу торфу (вуглецю і горючих газів) і підвищити металургійну цінність агломерату.

6. Для підвищення якості спеченого агломерату запропоновано використання екстракта гідроксидного торфу, який має позитивний вплив на зменшення пиловиносу при транспортуванні агломерату до плавильного агрегату та завантаженні в піч. Позитивна дія досягається шляхом обробки агломерату розчином ЕГТ при витраті 1,0...1,5 кг/т агломерату після його охолодження та грохочення при подачі в пічний бункер. Позитивна дія розчину ЕГТ пов'язана з утворенням на поверхні агломерату тонкої плівки, яка утворюється за рахунок гелеутворення присутніх в розчині гуматів зі складовими оксидів агломерату. Як показано фракто-

графічним аналізом, на обробленому розчином ЕГТ агломераті розтріскування на поверхні спечених конгломератів не спостерігалось. В інших випадках втрата міцності є результатом недостатньо міцного з'єднання структурних складових, як за рахунок недостатньої кількості рідкої фази в якості зв'язки, так відсутності плівкового покриття.

7. Застосування в якості складових шихти для спікання агломерату різних марганцентратів та марганцевої карбонатної руди ускладнює теплову сторону процесу агломерації. Наявність у складі карбонатної руди карбонату марганцю та домішок карбонату кальцію потребує додаткової теплоти на дисоціацію карбонатів. Як відомо, недостатня міцність руди та існуючий фракційний склад (0...50мм) призводить до її додаткового руйнування та утворення значного розбігу фракційного складу руди. При завантаженні сегрегація приводить до розташування великих кусків руди в нижній частині шару шихти, недостатній дисоціації та незасоєнню руди рідкою зв'язкою, що може стати причиною низької міцності.

8. Підвищення міцності руди та створення умов для повного засвоєння руди рідкою зв'язкою у складі спеченого агломерату запропоновано та перевірено в промислових умовах здійснювати шляхом обробки руди до подачі її в шихту. Розчин ЕГТ на поверхні руди утворює плівкове покриття та сприяє зростанню міцності та підвищує ступінь засвоєння рідким розплавом при спіканні.

Бібліографічний опис

1. Шапар А.Г. Проблеми сталого розвитку і забезпеченість природними ресурсами // 36. наукових праць "Екологія і природокористування". - Вип. 3. - Дніпропетровськ, 2001. С.7-23.
2. Шапарь А.Г. Формирование и разработка техногенных месторождений железных и марганцевых руд / Шапарь А.Г., Вилкул А.Ю., Якубенко Л.В. – Днепропетровск: Монолит, 2012. – 140 с.
3. Кулик І.М. Сучасний стан та основні фактори розвитку чорної металургії України / І.М. Кулик // Бізнесінформ. – 2012. – № 5. – С.116–121.
4. Большаков В.І. Чорна металургія і національна безпека України / В.І. Большаков, Л.Г. Тубольцев // Вісник НАН України. – 2014. – № 9. – С. 48–58.
5. Катаєв О.О. Досвід і перспективи енергозбереження ресурсомістких підприємств гірничо-металургійного комплексу України [Електронний ресурс] / О. О. Катаєв // Економіка України. - 2013. - № 9. - С. 18-30. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/EkUk_2013_9_4
6. Venger V., Osipov V. Domestic market as a development factor for Ukraine's metal industry. // Ekon. prognozuvannâ 2017; 3:69-84. - Режим доступу: <https://doi.org/10.15407/eip2017.03.069>
7. Власюк Т.О. Металургійна галузь України на світовому ринку: проблеми та пріоритети. // Науковий вісник Національної академії статистики, обліку та аудиту. - 2016. - № 3. - С. 91–103.
8. Кулицький С. Проблеми розвитку українського гірничо-металургійного комплексу на сучасному етапі. // Україна: події, факти, коментарі. - 2015. - № 14. – С. 37-49. - Режим доступу: <http://nbuv.gov.ua/images/ukraine/2015/ukr14.pdf>
9. Оболенська Т., Довгань Д. Україна на світовому ринку чорних металів. // Вісник Львівського університету. Серія "Міжнародні відносини". - 2015. - Вип. 36. - Част. 3. - С. 169–176.
10. Металлургия марганца Украины / Величко Б.Ф., Гаврилов В.А., Гасик М.И., Грищенко С.Г. и др. // - Київ: Техніка, 1996. - 472 с.
11. Теория и технология электрометаллургии ферросплавов / Гасик М.И., Лякишев Н.П. // СП Интернет Инжиниринг, 1999. - 764 с.
12. Марганец. Гасик М.И. – М.:Металлургия. – 1992. - 608 с.
13. Ю.С. Пройдак, Я.В. Мянковская, В.Ю. Камкин, А.В. Бабенко. Комплексный подход к использованию мелкозернистого марганцевого концентрата в процессах производства марганцевых сплавов. // Politechnika częstochowska. Wydział inżynierii produkcji i technologii materiałów. Inżynieria procesyw produkcji. Wybrane aspekty. Praca zbiorowa. Redakcja naukowa Artur Hutny, Marek Warzecha. Seria: Monografie. № 65. Częstochowa 2016, pp. 60-65.
14. Рециклінг вторинних матеріалів видобутку та виробництва марганцевих феросплавів. Мянковська Я.В., Пройдак Ю.С., Камкіна Л.В., Анкудінов Р.В. // «Надрокористування в Україні. Перспективи інвесту-

- вання». Матеріали Четвертої міжнародної науково-практичної конференції: у 2 т. 6-10 листопада 2017 р., м. Трускавець. - К.: ДКЗ, 2017. - Т.2. - С. 307-313.
15. E. Matinde, G.S. Simate, S. Ndlovu. Mining and metallurgical wastes: a review of recycling and re-use practices. // Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. J. S. Afr. Inst. Min. Metall. vol.118 n.8 Johannesburg Aug. 2018. - Режим доступу: <http://dx.doi.org/10.17159/2411-9717/2018/v118n8a5>
 16. Falagán C., Grail B. M., Johnson D. B. New approaches for extracting and recovering metals from mine tailings // Minerals Engineering. – 2017. – Т. 106. – С. 71-78.
 17. Resource saving in manganese ferroalloy production using low-grade manganese ore concentrates / Proydak Yu.S., Mianovskaya Ya.V. // Energy efficiency and environmental friendliness are the future of the global Ferroalloy industry: Proceedings of the Fourteenth International Ferroalloys Congress INFACON XIV. May 31–June 4, 2015, Kiev, Ukraine. – P. 27-31.

Reference

1. Shapar A.H. Problemystaloho rozvytku i zabezpechenictv pryrodnykh resursamy. // Zb. naukovykh prats "Ekologia i pryrodokorystuvannia". - Vyp. 3. - Dnipropetrovsk, 2001. S.7-23.
2. Shapar A.H. Formyrovanye y razrabotka tekhnolohicheskikh mestorozhdeniy zheleznykh y marhantsevykh rud / Shapar A.H., Vykul A.I., Yakubenko L.B. – Dnepropetrovsk: Monolyt, 2012. – 140 s.
3. Kulyk I.M. Suchasnyi stan ta osnovni faktory rozvytku chornoj metalurhii Ukrainy / I.M. Kulyk // Biznesin-form. – 2012. – № 5. – S.116–121.
4. Bolshakov V.I. Chorna metalurhiia i natsionalna bezpeka Ukrainy / V.I. Bolshakov, L.H. Tuboltsev // Visnyk NAN Ukrainy. – 2014. – № 9. – S. 48–58.
5. Kataiev O.O. Dosvid i perspektyvy enerhozbezheniia resursomistkykh pidpriemstv hirnycho-metalurhiinoho kompleksu Ukrainy [Elektronnyi resurs] / O. O. Kataiev // Ekonomika Ukrainy. - 2013. - № 9. - S. 18-30. - Rezhym dostupu: http://nbuv.gov.ua/UJRN/EkUk_2013_9_4
6. Venger V., Osipov V. Domestic market as a development factor for Ukraine's metal industry. // Ekon. progn. ?zuvannâ 2017; 3:69-84. - Rezhym dostupu: <https://doi.org/10.15407/eip2017.03.069>
7. Vasiuk T.O. Metalurhiina haluz Ukrainy na svitovomu rynku: problemy ta priority. // Naukovyi visnyk Natsionalnoi akademii statystyky, obliku ta audytu. - 2016. - № 3. - S. 91–103.
8. Kulytskyi S. Problemy rozvytku ukrainskoho hirnycho-metalurhiinoho kompleksu na suchasnomu etapi. // Ukraina: podii, fakty, komentari. - 2015. - № 14. – S. 37-49. - Rezhym dostupu: <http://nbuviap.gov.ua/images/ukraine/2015/ukr14.pdf>
9. Obolenska T., Dovhan D. Ukraina na svitovomu rynku chornykh metaliv. // Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriia "Mizhnarodni vidnosyny". - 2015. - Vyp. 36. - Chast. 3. - С. 169–176.
10. Metallurhiia marhantsa Ukrainy / Velychko B.F., Havrylov V.A., Hasyk M.Y., Hryshchenko S.H. y dr. // - Kyiv: Tekhnika, 1996. - 472 s.
11. Teoriia y tekhnolohiia elektrometallurhyy ferrosplavov / Hasyk M.Y., Liakyshev N.P. // SP Ynternet Ynzhynerinh, 1999. - 764 s.
12. Marhanets. Hasyk M.Y. – M.: Metallurhiia. – 1992. - 608 s.
13. Yu.S. Proydak, Ya.V. Mianovskaia, V.Iu. Kamkyn, A.V. Babenko. Kompleksnyi podkhod k yspolzovaniyu melkozernystoho marhantsevoho kontsentrata v protsessakh proyzvodstva marhantsevykh splavov. // Politechnika częstochowska. Wydział inżynierii produkcji technologii materiałów. Inżynieria procesów produkcji. Wybrane aspekty. Praca zbiorowa. Redakcja naukowa Artur Hutny, Marek Warzecha. Seria: Monografie. № 65. Częstochowa 2016, rr. 60-65.
14. Retsykhlin vtorynnykh materialiv vydobutku ta vyrobnytstva marhantsevykh ferrosplaviv. Mianovska Ya.V., Proydak Yu.S., Kamkina L.V., Ankudinov R.V. // «Nadrokorystuvannia v Ukraini. Perspektyvy investuvannia». Materialy Chetvertoi mizhnarodnoi nauково-praktychnoi konferentsii: u 2 t. 6-10 lystopada 2017 r., m. Truskavets. - K.: DKZ, 2017. - T.2. - S. 307-313.
15. E. Matinde, G.S. Simate, S. Ndlovu. Mining and metallurgical wastes: a review of recycling and re-use practices. // Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. J. S. Afr. Inst. Min. Metall. vol.118 n.8 Johannesburg Aug. 2018. - Rezhym dostupu: <http://dx.doi.org/10.17159/2411-9717/2018/v118n8a5>
16. Falagán C., Grail B. M., Johnson D. B. New approaches for extracting and recovering metals from mine tailings // Minerals Engineering. – 2017. – Т. 106. – С. 71-78.
17. Resource saving in manganese ferroalloy production using low-grade manganese ore concentrates / Proydak Yu.S., Mianovskaya Ya.V. // Energy efficiency and environmental friendliness are the future of the global Ferroalloy industry: Proceedings of the Fourteenth International Ferroalloys Congress INFACON XIV. May 31 – June 4, 2015, Kiev, Ukraine. – P. 27-31.