

УДК 622.788.3:669.162.1

Ю.В. Мосейко ⁽¹⁾, доцент, к.п.н.

Ю.В. Куріс ⁽¹⁾, доцент, к.т.н.

О.С. Воденнікова ⁽¹⁾, доцент, к.т.н.

Ю.С. Гаврилко ⁽²⁾, інженер I-ої категорії

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИВЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОЗМ'ЯКШЕННЯ АГЛОМЕРАТУ РІЗНИХ ФРАКЦІЙ

⁽¹⁾ Запорізька державна інженерна академія,

⁽²⁾ ВАТ «Металургійний комбінат «Запоріжсталь», м. Запоріжжя

Выполнены экспериментальные исследования по определению параметров размягчения агломерата различных фракций с целью разработки рекомендаций, направленных на улучшение показателей работы доменных печей. Выявлены основные причины неравномерности состава и качества агломерата по высоте спекаемого слоя.

Ключевые слова: доменная печь, агломерат, фракционный состав, спекаемый слой, размягчение

Виконано експериментальні дослідження щодо визначення параметрів розм'якшення агломерату різних фракцій з метою розробки рекомендацій, спрямованих на поліпшення показників роботи доменних печей. Виявлено головні причини нерівномірності складу та якості агломерату за висотою шару, що спікають.

Ключові слова: доменна піч, агломерат, фракційний склад, шар, що спікають, розм'якшення

There are executed experimental researches on determination of parameters of softening for agglomerate of different factions with the purpose of development of recommendations, sent to the improvement of work indexes of blast furnaces. Principal reasons of unevenness of composition and quality of agglomerate on the height of sintered layer are educed.

Keywords: blast furnace, agglomerate, factious composition, sintered layer, softening

Вступ. Питання поліпшення фізико-хімічних властивостей залізородної сировини займають важливе місце у вирішенні задачі підвищення техніко-економічних показників доменного плавлення. Під час вибирання раціональних шляхів вдосконалення процесу виплавляння чавуну особливу увагу слід приділяти поведінці шихтових матеріалів у доменній печі, зокрема, змінюванню агрегатного стану агломерату під час його нагрівання до різної температури.

Для інтенсифікації процесу виплавляння чавуну велике значення мають параметри розм'якшення та плавлення агломерату, які є однією із важливих характеристик, що впливають на розповсюдження зони утворення шлаків за висотою та перерізом доменної печі. Стан агломерату та його поведінка у низькотемпературній зоні печі досить детально розглянуто теоретично, а також вивчено експериментально у роботах [1-4]. Що стосується поведінки агломерату у високотемпературній зоні даної печі, де відбуваються процеси його розм'якшення та плавлення, то її вивчено у меншій мірі. В цій області доменної печі стан агломерату визначається, як його фізико-

хімічними властивостями та мірою відновлення, так і температурними умовами. Особлива актуальність вивчення зазначених питань набуває за умов вдосконалення доменного процесу, спрямованого на забезпечення рівного ходу печі, поліпшення техніко-економічних показників плавлення й одержання якісного чавуну.

Завданням роботи є вивчення параметрів розм'якшення агломерату різних фракцій з метою розробки рекомендацій щодо поліпшення роботи доменної печі.

Головна частина досліджень. Представницьку пробу агломерату ВАТ «Металургійний комбінат «Запоріжсталь» піддавали дробленню, а потім розсіванню на фракції 0...-1,0; +1,0...-3,0 і +3,0 мм. Для дослідження розм'якшення агломерату використовували фракцію 1,0...3,0 мм. Потім наважку (70 г) зазначеної фракції піддавали відновленню на 10, 20, 30 ...100 % на установці для визначення міри відновлення залізорудних матеріалів [5] у струмі водню за температури 800 °С.

Для визначення температури розм'якшення з усієї маси відновленого агломерату відбирали 50 г (іншу частину проби використовували для хімічного аналізу), поміщали до тигля із жароміцної сталі висотою 50 і діаметром 30 мм, ущільнювали та рівномірно зі швидкістю 10 град/хвил. нагрівали в атмосфері аргону у робочому обсязі печі Таммана з використанням автоматичної системи управління.

Перед розміщенням до зазначеної печі на поверхню агломерату встановлювали наконечник із жароміцної сталі діаметром 18 мм і тигель поміщали до зони високої температури. До наконечника вводили відкритий спай хромель-алюмелевого термоелектричного термометра в алундовій соломці, яка виконувала функцію нажимного штока. Тиск наконечника на агломерат створювали набором спеціальних вантажів. Під час розм'якшення агломерату наконечник занурювався в нього на глибину 15 мм, що для всіх проб умовно вважали завершенням зазначеного процесу. Температурою початку розм'якшення вважали температуру, за якої починалася усадка агломерату [6].

Агломерат за своїм хімічним (табл. 1) і гранулометричним (табл. 2) складом є неоднорідним. Наявність різних фракцій визначається повнотою спікання агломерату, а, отже, повнотою проходження фізико-хімічних перетворень у процесі спікання.

Таблиця 1 – Хімічний склад агломерату різних фракцій

Фракція, мм	Хімічний склад, %								
	CaO	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	MnO	Fe	FeO	CaO _{віль}	CaO+MgO/SiO ₂
+60	13,57	10,89	1,06	1,28	0,60	51,47	10,48	1,17	1,34
-60...+40	13,94	10,76	0,98	1,31	0,49	51,42	11,44	1,10	1,39
-40...+25	13,72	10,63	1,06	1,35	0,51	51,65	12,54	1,14	1,39
-25...+10	13,05	12,03	0,99	1,32	0,64	50,93	13,10	1,25	1,16
-10...+5	13,51	10,46	1,05	1,28	0,49	51,40	13,92	1,43	1,38
-5	13,74	9,42	1,04	1,27	0,57	50,15	11,64	1,74	1,57

Таблиця 2 – Фракційний склад агломерату ВАТ «Металургійний комбінат «Запоріжсталь»

Фракція, мм	+60	-60...+40	-40...+25	-25...+10	-10...+5	-5
Вміст фракції, %	1,85	2,10	6,73	28,45	45,87	14,90

Хімічний склад агломерату різних фракцій, температуру початку (t_1) та кінця

(t_2) розм'якшення, а також інтервал зазначеного періоду (Δt) наведено у табл. 3.

Таблиця 3 – Хімічний склад агломерату різних фракцій, температура початку (t_1), кінця (t_2) й інтервалу (Δt) розм'якшення

Фракція, мм	Хімічний склад, %				Міра відновлення агломерату, %	Параметри розм'якшення, °С		
	$Fe_{заг}$	Fe_2O_3	FeO	$Fe_{мет}$		t_1	t_2	Δt
+60	52,25	35,53	35,20	-	11,60	1081	1191	110
	54,96	7,73	57,14	5,10	28,17	1057	1166	109
	56,74	3,43	47,74	17,20	44,33	1047	1181	134
	59,24	2,80	31,60	31,70	62,41	1033	1188	155
	62,05	1,71	12,92	50,80	83,84	1035	1229	194
	63,12	1,83	5,06	57,90	92,01	1054	1285	231
-60 +40	53,19	36,70	35,40	-	9,06	1085	1188	103
	56,34	13,38	50,26	7,14	25,82	1059	1169	110
	58,52	5,74	46,27	18,55	42,20	1061	1178	117
	60,98	4,16	28,95	35,58	63,01	1046	1200	154
	65,36	2,43	13,97	52,81	81,55	1057	1223	166
	66,11	1,40	4,66	61,51	92,97	1080	1330	250
-40 +25	49,33	42,83	24,88	-	11,42	1074	1195	121
	52,12	12,97	48,65	5,20	29,16	1044	1170	126
	56,89	7,04	39,29	21,40	47,76	1056	1179	123
	57,03	3,67	32,40	29,26	60,00	1048	1183	135
	59,38	3,96	15,90	44,24	77,25	1031	1191	160
	61,50	0,70	5,38	56,83	93,20	1043	1250	207
-25 +10	54,32	34,98	38,36	-	6,58	1045	1132	87
	55,39	10,04	49,63	9,67	31,14	1042	1145	103
	57,97	3,77	35,30	27,88	55,89	1020	1160	140
	59,95	1,80	20,68	42,61	74,75	1033	1230	187
	60,25	0,77	18,65	45,21	78,49	1020	1220	200
	62,54	2,14	9,18	53,90	86,84	1043	1240	197
-10 +5	51,92	45,10	26,20	-	5,52	1075	1157	82
	53,14	15,67	51,77	1,95	20,90	1024	1120	96
	54,84	11,97	44,80	11,65	33,84	1012	1133	121
	58,14	6,20	28,23	31,85	60,25	995	1144	149
	62,59	2,50	13,44	50,40	81,74	1013	1188	175
	63,28	2,40	4,24	58,30	91,89	1038	1253	215
-5	51,01	47,71	22,65	-	4,21	1006	1122	116
	53,16	16,13	51,17	2,08	19,71	1000	1125	125
	56,86	4,54	50,56	22,17	48,64	948	1108	160
	57,48	3,70	30,52	31,18	60,92	950	1120	170
	59,79	2,19	17,01	45,04	78,01	940	1135	195
	65,03	2,01	0,72	63,06	94,95	1025	1240	215

З табл. 3 виходить, що агломерат вивчених фракцій має характерну особливість: с підвищення міри його відновлення до 60...70 % відбувається зниження температури початку розм'якшення, а за мірою відновлення до 92...94 % – підвищення температури початку розм'якшення.

Як свідчить аналіз поданих результатів, найнижчою температурою початку та

кінця розм'якшення в усьому інтервалі міри відновлення характеризується агломерат фракції -5 мм. У міру зростання фракції температура початку та кінця розм'якшення агломерату підвищується та саме велике її значення зафіксоване для фракції -60...+40 мм. Наявність у агломераті фракції -5 мм призводить, окрім погіршення газопроникності шару шихтових матеріалів і розподілу газових потоків за перерізом печі, до більш раннього утворення розм'якшеної маси за висотою доменної печі. Для розробки рекомендацій щодо зниження вмісту у випаленому агломераті зазначеної фракції слід розглянути умови спікання агломерату шляхом вивчення його мінералогічного складу.

Результати досліджень створення мінералів у агломераті за висотою шару спікання [7] вказують на наявність його неоднорідності як за складом, так і властивостями. Верхня частина спеченого шару, через нетривалість перебування шихтових матеріалів за високої температури та наступного їх швидкого охолодження повітрям, відрізняється низькою міцністю та вмістом значної кількості дрібної фракції. Агломерат у нижній частині спеченого шару, що знаходиться тривалий час за високої температури, піддається оплавленню, при цьому його міцність значно зростає. Головною причиною нерівномірного складу та якості спеченого агломерату за висотою шару слугує сегрегація шихтових матеріалів під час завантаження на агломераційну машину та несприятливий температурно-тепловий режим обробки за висотою спеченого шару.

Наявність неоднакового температурно-теплого режиму верхнього та нижнього шарів агломерату, якого спікають на агломераційній машині, супроводжується неоднорідністю властивостей одержаного агломерату. Через поступовий характер підвищення температури спікання, у міру проходження зони горіння зверху вниз, самий верхній шар шихтових матеріалів не одержує необхідної кількості теплоти для нормального відбування процесу спікання. При цьому фазові перетворення не встигають пройти у повному обсязі та, як наслідок, мікроструктура одержаного агломерату подається значною кількістю залишкових зерен шихтових матеріалів, а у в'язучому компоненті переважною є присутність нерозкристалізованого скла.

Максимальну кількість вільного вапна, що зафіксовано у верхніх шарах спеченого агломерату, можна пояснити сегрегацією шихтових матеріалів, але його повне зникнення у нижніх шарах агломерату пов'язано із підвищенням температури спікання шихтових матеріалів, збільшенням часу їх перебування за цієї температури, що дає можливість вапну взаємодіяти із розплавом до його повного зникнення. Нерівномірність процесу посилюється також локальним збагаченням окремих ділянок шихтових матеріалів коксом. У місцях скупчення коксу швидко зростає температура спікання; відновні умови сприяють утворенню в цьому мікрооб'ємі легкоплавкого залісосилікатного розплаву, збагаченого оксидом заліза (II). Швидке охолодження верхньої частини спеченого агломерату холодним повітрям гальмує протікання цього процесу. В результаті спостерігаються області агломерату, де в одному мікрооб'ємі разом з початковою гематитовою рудою та кварцом є присутні ділянки «замороженого» залісосилікатного розплаву із найдрібнішими кристалітами магнетиту, вюститу та залишками коксу. При цьому контакти між різними за складом і структурою мікрооб'ємами агломерату є найменш міцними. У роботах [8-10] запропоновано зменшення негативно-

го впливу сегрегації шихтових матеріалів шляхом зниження верхньої межі крупини фракції руди та вапняку. Одночасно це сприятиме глибшому протіканню реакцій утворення агломерату з повним засвоєнням вапна, що, в свою чергу, усуває «білі» вкраплення незасвоєного вапна, а також області кристалізації двокальцієвого силікату. Для вирівнювання температурно-теплого режиму надлишок теплоти слід перенести із нижньої частини шару до його верхньої частини шляхом збільшення вмісту вуглецю у шихті верхньої частини спеченого агломерату й одночасного застосування нагрітого повітря на першій третині довжини агломераційної машини після запального горна. Також можливим є застосування подовженого горна, що сприяє знаходженню: верхнього шару спеченого агломерату протягом більш тривалого часу в зоні дії високих температур і дозволяє часткам агломерату взаємодіяти у повнішому об'ємі та сприяє підвищенню його міцності.

Наявність незначної кількості нових утворень магнетиту для верхніх зон спеченого агломерату пояснюється відсутністю глибоких перетворень у шихтових матеріалах на початку процесу спікання. Великі шматки руди (5...12 мм) не встигають розплавитися, що обумовлено недостатньою кількістю теплоти, а також їх наступним різким охолодженням. Реакції за участі рідкої фази (реакції утворення скла, ріже реакції утворення феритів кальцію та силікатів) мають обмежений розвиток. Як правило, за таких умов є неможливою повна розкристалізація всіх компонентів шихтових матеріалів.

У міру зростання температури в спеченому шарі агломерату міра взаємодії матеріалів збільшується за рахунок достатньої кількості теплоти для розплавлення їх часток, а також протікання реакції взаємодії у рідкій фазі. Біля колосників агломераційної машини шихтові матеріали тривалий час знаходяться за температури вище 1600 °С, та як наслідок, агломерат сильно оплавляється, що сприяє підвищенню характеристик міцності його верхнього шару, а також різкому зростанню кількості скла, що розкристалізовано до силікатів різного складу.

На вивченому агломераті чітко видно нерівномірність процесу агломерації, яку обумовлено значною неоднорідністю речовинного та гранулометричного складу шихтових матеріалів. Зменшення вмісту верхнього шару щодо всієї масі агломерату є можливим шляхом збільшення висоти спеченого шару шихти до 500...600 мм. У такому разі доля верхнього шару в загальному об'ємі агломерату зменшується, а його спікання покращується завдяки повнішому використанню регенованої теплоти.

Висновок. Результатами виконаних досліджень встановлено, що найнижча температура розм'якшення в усьому інтервалі міри відновлення зафіксована для агломерату фракції -5 мм, а найвища температура – для його фракції -60 ... +40 мм. Головними причинами нерівномірності складу та якості спеченого агломерату за висотою шару слугує сегрегація шихтових матеріалів під час їх завантаження на агломераційну машину та неоднаковий температурно-тепловий режим за висотою шару, що спікають. Підвищення міцності агломерату сягають шляхом збільшення висоти шару шихтових матеріалів, що спікають, до 500...600 мм. У цьому разі, завдяки повнішому

використанню регенерованої теплоти, процес спікання покращується, а доля верхнього, менш міцного, шару в усьому об'ємі агломерату зменшується.

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Цылев, Л. М.* Восстановление и шлакообразование в доменном процессе / Л. М. Цылев. – М. : Наука, 1970. – 157 с. – Библиогр. : с. 155-156.
2. Производство и применение магнезильного агломерата для доменной плавки / *Е. П. Добронравов, Ю. С. Кравец, А. А. Вовк* и др. // *Металлургия и коксохимия* : научн.-техн. сб. – Киев : Техника, 1971. – Вып. 24. – С. 19-24.
3. Анализ восстановительных процессов в шахте доменной печи объемом 2700 м³ / *З. И. Некрасов, М. Т. Бузоверя, В. Е. Герашенко, В. Л. Покрышкин* // *Доменное производство* : отрасл. темат. сб. – М. : Metallurgia, 1975. – Вып. 2. – С. 85-100.
4. *Гладков, Н. А.* Поведение железорудных материалов с различной степенью восстановления в вязко-пластической зоне / *Совершенствование технологии доменного производства* : отрасл. темат. сб. – М. : Metallurgia, 1988. – С. 27-31.
5. *Потебня, Ю. М.* Влияние степени восстановления агломерата на его температуру размягчения / *Ю. М. Потебня, С. А. Гаврилко* // *Металлургия и коксохимия* : научн.-техн. сб. – Киев : Техника, 1972. – Вып. 29. – С. 14-20.
6. Определение температуры размягчения восстановленного агломерата / *Ю. М. Потебня, С. А. Гаврилко, Р. Г. Рихтер, Е. В. Савченко* // *Известия Вузов. Черная металлургия*. – 1971. – № 12. – С. 27-29.
7. *Мальшева, Т. Я.* О механизме минералообразования при спекании офлюсованного агломерата из смеси криворожских гематитовых руд и тонкоизмельченного магнетитового концентрата // *Т. Я. Мальшева, Г. А. Соколов, И. И. Гультей* // *Сталь*. – 1966. – № 10. – С. 878-882.
8. Получение высокопрочного агломерата с основностью 1,2-1,4 / *Т. Я. Мальшева, А. В. Руднева, Г. А. Соколов, И. И. Гультей* // *Сталь*. – 1967. – № 8. – С. 673-676.
9. Совершенствование технологии спекания агломерата / *Р. С. Бернштейн, Б. А. Станишевский, В. Н. Быткин, В. Г. Болгов*. – Днепропетровск : Промінь, 1975. – 120 с. – Библиогр. : с. 119-120.
10. *Кухарь, А. С.* Производство и качество агломерата / *А. С. Кухарь, В. А. Мартыненко, В. П. Шевченко*. – М. : Metallurgia, 1977. – 158 с. – Библиогр. : с. 155-157.

Стаття надійшла до редакції 30.05.2014 р.
Рецензент, проф. М.Ф. Колесник

Текст даної статті знаходиться на сайті ЗДІА в розділі Наука
<http://www.zgia.zp.ua>