

УДК 669.162.1

Мних Антон Сергійович, професор, доктор технічних наук**Ковязін Олексій Сергійович**, старший науковий співробітник, кандидат технічних наук**Мних Ірина Миколаївна**, доцент, кандидат технічних наук

ВПЛИВ ТЕПЛОГО РЕЖИМУ СПІКАННЯ НА СТРУКТУРУ ТА ПОРИСТИСТЬ ЗАЛІЗОРУДНОЇ ШИХТИ

Запорізька державна інженерна академія

Наведено результати експериментів щодо спікання залізорудної шихти з метою встановлення раціональної температури зони горіння, за якої одержують агломерат із якісними показниками. Встановлено закономірності змінювання ступеня відновлення та міцності залізорудної шихти від температури спікання.

Ключові слова: сегрегація, полідисперсний матеріал, фракційний склад, грудкування, агломераційний процес

Вступ. Головною сировиною для виробництва чавуну є агломерат, якого одержують із залізняка. Собівартість його виробництва на вітчизняних аглофабриках постійно зростає на фоні демпінгу цін металургійними підприємствами Азіатського регіону. Такий стан питання зумовлює необхідність подальшого дослідження агломераційного виробництва з метою вивчення механізму формування шару шихти та теплофізичних процесів, що відбуваються у агломераті, якого спікають, для підвищення продуктивності й енергоефективності процесу.

Аналіз досліджень і публікацій. Під час спікання агломерату за висотою шару відбуваються взаємозв'язані процеси утворення мінералів у твердих фазах, створення рідких фаз, а також просочення ними твердих частинок і хімічна взаємодія з ними. Важливим результатом процесу взаємодії твердих оксидів CaO , SiO_2 , Fe_2O_3 є підготовка до створення рідких фаз, поява яких відбувається у зоні горіння, а їх кількість і в'язкість визначають ступінь просочення іншої маси шихти та залежать від температури зони горіння, а також тривалості періоду існування рідкої фази. Високі температури у зоні горіння забезпечують ступінь відновлення та дисоціації гематиту з утворенням 10...15 % FeO . За низької температури структура одержаного агломерату, в основному, подана гематитом і кварцом. В результаті найбільша кількість фаляїту, залізокальцієвих олівінів, що створюються у твердій фазі, потрапляє до кінцевої структури агломерату, минувши рідкий стан. У такому виді вони не можуть виконувати роль зв'язки, що призводить до низької міцності агломерату [1].

У роботі [2] досліджено вплив вмісту різних компонентів у агломераті на його міцність, відновлюємість і мікроструктуру. Підібрано оп-

тимальний склад агломератів, що забезпечує максимальну ефективність використання газів у доменній печі.

Авторами робіт [3,4] виконано дослідження розм'якливості відновленого агломерату різних фракцій. На підставі обробки експериментальних даних визначено температуру плавлення під час нагрівання та температуру кристалізації під час охолодження досліджених зразків, розраховано теплоту плавлення неметалевої складової агломерату. Виконання експериментів у роботі [5] дозволило встановити вплив теплових ефектів під час нагрівання на наступну кристалізацію та пористість сипкого матеріалу.

Постановка завдання. Відомо [6], що рівномірність розподілу температури за висотою шару сприятливо позначається на якості агломерату. Вирівнювання температури, що забезпечує підвищення абсолютних її значень, у верхній частині шару, дозволяє розширити високотемпературну зону, понизити швидкість охолодження агломерату, що зумовлює розвиток кристалізації окремих мінералів і зменшення кількості скла, тим самим підвищуючи міцність спека.

Отже, разом з актуальністю проблеми стабілізації температури зони горіння за висотою шару, важливим є завдання визначення температурного діапазону спікання шихти, що забезпечує одержання дрібнопористого легковідновного та міцного агломерату.

Виклад результатів дослідження. Для визначення вказаного діапазону температури виконали серію експериментів щодо спікання агломераційної шихти у чаші за різної температури. Спікальну чашу, яку виконано у вигляді усіченої піраміди, заповнювали грудкованою шихтою вологістю 8...5 %, вміст твердого палива складав 3,6 %, висота шару - 500 мм. Запалення шару здійснювали газовим пальником, темпера-

туру запалення регулювали змінюванням витрати природного газу та контролювали лазерним пірометром на поверхні шихти. Температуру зони горіння вимірювали термоелектричним термометром типу ТХА, якого закладено на глибині 50 мм у шарі матеріалу.

Процес запалення із заданою температурою виконували доти, доки температура, яку заміряють термоелектричним термометром, не дорівнювала температурі запалення. Потім пальник

відключали, а просмоктування повітря через шар продовжували впродовж однієї хвилини. Після охолодження випаленого агломерату його верхню частину (50...60 мм) відділяли та розділяли на дві частини. Більшу частину проби перевіряли на механічну міцність у лабораторному барабані згідно ДСТУ 3200-95. Її другу частину піддавали хімічному аналізу. Результати експериментів надано у табл. 1.

Таблиця 1 - Вплив температури спікання на якісні показники спеку

$T_{зан}$	Хімічний склад, %									R, %	БП, %	
	Fe	FeO	Fe ₂ O ₃	Fe _{мет}	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	MnO		-0,5 мм	+5 мм
1140	57,0	47,7	21,67	2,74	11,8	13,6	0,88	1,24	0,23	26,4	11,9	47,3
1206	56,7	47,6	13,44	10,3	11,9	13,9	0,83	1,28	0,22	39,8	9,25	66,7
1254	58,6	38,1	7,10	26,9	12,4	14,8	0,88	1,28	0,21	62,9	7,10	68,4
1302	60,4	30,6	4,74	33,6	12,7	15,4	0,9	1,27	0,20	68,7	5,80	73,1
1351	60,7	28,3	3,57	34,1	12,6	15,6	0,96	1,27	0,23	68,2	6,60	69,2
1404	58,6	11,5	3,51	26,9	12,9	15,9	0,98	1,30	0,32	51,1	9,10	67,7
1452	57,9	9,4	3,42	22,9	12,91	15,9	0,99	1,32	0,30	43,6	9,80	62,8

Відновлюваність агломерату R оцінювали за втратами маси зразка згідно ГОСТ 17212-84, для чого агломерат фракцією 1...3 мм піддавали відновленню у струмені водню за температури 800 °С.

Виходячи з результатів експериментів, встановлено, що найкращу відновлювальну здатність мають агломерати, які спечено у температурному інтервалі 1250...1350 °С (рис. 1). Зразки мали пористу структуру без видного переплавлення матеріалу.

Результатами випробувань проб агломерату в барабані визначено екстремальну залежність міцності спека від температури. Останнє зумовлене тим, що шихта у зоні горіння частково або повністю розплавляється, а тверді частинки обволікаються рідкою фазою, яка з'являється під час оплавлення легкоплавких евтектичних сумішей фаяліту $2FeO \cdot SiO_2$ і феритів кальцію $CaO \cdot Fe_2O_3$. Також можливим є створення залізокальцієвих алюмосилікатів $Fe \cdot SiO_2 \cdot CaO \cdot Al_2O_3$. Надмірний розвиток рідкої фази призводить до одержання переплавленого агломерату, її недолік супроводжується низькою якістю спікання, оскільки не всі частинки шихти змочуються та цементуються.

Таким чином, встановлено, що у діапазоні температур 1140...1250 °С (рис. 2а) рідка фаза не отримує достатнього розвитку й агломерат не спікається у міцну пористу структуру. За температури вище ніж 1350 °С (рис. 2в), матеріал переplавляється, у зв'язці агломерату збільшується вміст залізного скла, яке є крихким компо-

нентом мінералогічного складу агломерату та сприяє зменшенню міцності його шматків.

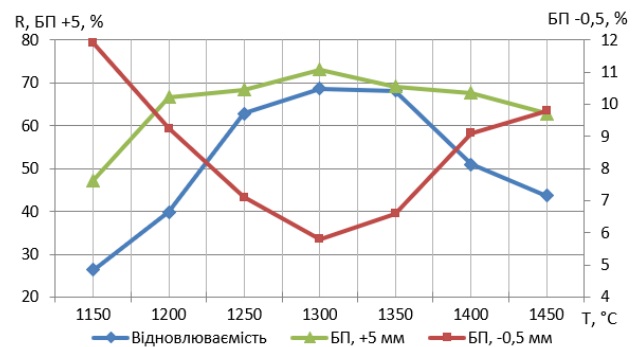


Рисунок 1 - Вплив температури спікання на якісні характеристики агломерату

Мікроструктуру зразків проплавленого агломерату подано на рис. 2.

Аналіз теплового режиму процесу спікання агломерату дозволяє зробити висновок, що для агломераційної шихти існує оптимальна температура зони горіння 1250...1350 °С, за якої утворюється дрібнопористий, легковідновний агломерат з достатньою міцністю.

Теплові процеси, що відбуваються у шарі полідисперсних шихтових матеріалів під час їх агломерації за виробничих умов, характеризуються значним перепадом температури зони горіння 1100 і 1500 °С для верхньої частини й основи шару відповідно. На початковий період агломерації спостерігають недостатній прихід теплоти, через її слабку регенерацію, температура у зоні горіння є низькою, а швидкість охолодження розплаву – великою.

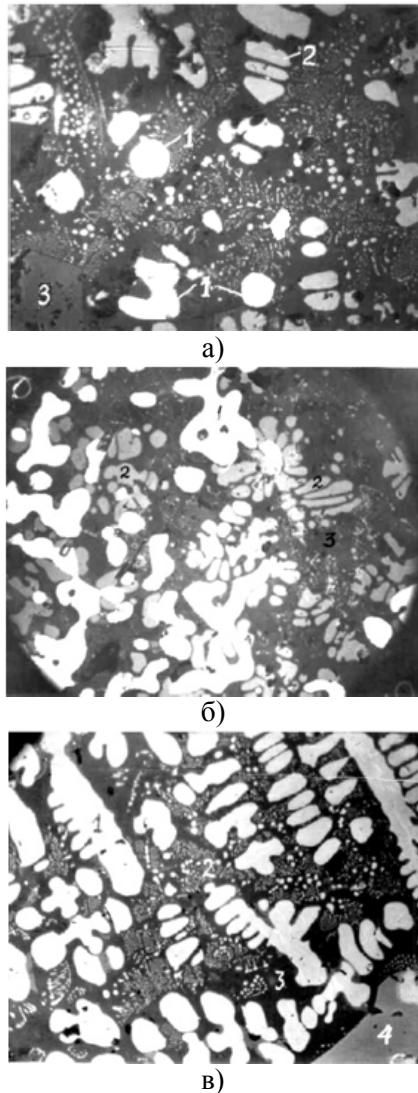


Рисунок 2 – Ділянки мікрощліфів агломерату х 600.
а) $T = 1206\text{ }^{\circ}\text{C}$, б) $T = 1302\text{ }^{\circ}\text{C}$, в) $T = 1452\text{ }^{\circ}\text{C}$
1 - залізо; 2 - дендрит вюститу; 3 - силікатна маса; 4 - шпинель

Як результат, розплав агломерату застигає у вигляді аморфного крихкого скла, що не ви тримує перевантаження, тим самим обумовлюючи значного утворення повернення матеріалу та, як

наслідок, низької продуктивності агломераційної машини.

Іншу картину спостерігають у шарах шихти, прилеглих до колосникових ґраток. Тут, окрім теплоти згоряння коксової дрібниці, є присутньою теплота, яку регенерують вище розміщені шари. У результаті має місце надлишок теплоти, та температура досягає максимальних значень. Надмірно високі температури зони горіння, що перевищують $1350\text{ }^{\circ}\text{C}$, призводять до переплавлення агломерату, формуючи монолітну структуру з малою міцністю та зниженою відновлюваністю.

Температура зони горіння залежить від закономірності розподілу твердого палива та хімічних компонентів за висотою шару, та безпосередньо впливає на продуктивність процесу. Відомо, що перерозподіл твердого палива та хімічних компонентів за висотою шару можна одержати за рахунок сегрегації шихтових матеріалів, яке можливо під час використання завантажувальних пристроїв модифікованої конструкції [2].

Висновки. Виконано комплекс досліджень, які дозволили встановити раціональну температуру зони горіння у шарі залізородного агломерату, що знаходиться в діапазоні температури $1250\text{...}1350\text{ }^{\circ}\text{C}$. За зазначеної температури створюється дрібнопористий легковідновлений агломерат з достатньою міцністю. Стабілізації зони горіння у вказаному діапазоні можна досягти за рахунок забезпечення необхідної сегрегації твердого палива та хімічних компонентів за висотою шару.

Виходячи з вказаного вище, можна зробити висновок, що реалізація спрямованої сегрегації, з метою формування необхідної структури шару полідисперсної шихти, для забезпечення стабілізації температури зони горіння, та, як наслідок, поліпшення якісних показників агломерату, є перспективним напрямом досліджень.

Бібліографічний список

1. **Ростовцев, С. Т.** Зажигание в процессе спекания криворожских железных руд [Текст] / С. Т. Ростовцев. С. М. Мееров // Теория и практика металлургии. – 1936. – № 3. – С. 12-22.
1. **Мных, А. С.** Определение сегрегации фракций аглошихты, требуемой для стабилизации теплового режима спекания [Текст] / А. С. Мных, А. О. Еремин, И. Н. Мных // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2015. – № 1/8 (73). – С. 68-73.
1. **Кривенко, С. В.** Структура агломератов различной основности [Текст] / С. В. Кривенко, Г. Г. Божков // Вісник Приазовського державного технічного університету. – 2014. – № 28. – С. 31-37.
1. **Гаврилко, С. А.** Исследование размягчаемости восстановленного агломерата различных фракций [Текст] / С. А. Гаврилко, А. А. Киселев, Г. А. Громак и др. // Металургія : наукові праці Запорізької державної інженерної академії. – Запоріжжя : РВВ ЗДІА, 2009. – Вип. (3) 29. – С. 1-6.
1. **Pavlenko, A.** Study of the formation of gas-vapor in the liquid mixture [Text] / A. Pavlenko, H. Koshlak, A. Cheilytko, M. Nosov // Eastern-European Journal Gf Enterprise Technologies. Applied physics. Materials science. – 2016. – Vol. 4, No. 5(82). – Pp. 58-65.

1. **Мных, А. С.** Исследование тепловых процессов в агломерируемом слое бокситов в зависимости от сегрегации топлива и химкомпонентов по высоте [Текст] / А. С. Мных // Энергетика. Энергосбережение. Энергоаудит. – 2015. – № 6 (136). – С. 23-27.

Мных Антон Сергеевич, доктор технических наук, профессор кафедры автоматизованого управления технологическими процессами Запорожской государственной инженерной академии (Запорожье, Украина). E-mail: mnikh.anton@gmail.com

Ковязин Алексей Сергеевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник кафедры механического оборудования Запорожской государственной инженерной академии (Запорожье, Украина). E-mail: kvznas@gmail.com

Мных Ирина Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры теплоэнергетики и гидравлики Запорожской государственной инженерной академии (Запорожье, Украина). E-mail: irinamnih83@gmail.com

ВЛИЯНИЕ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА СПЕКАНИЯ НА СТРУКТУРУ И ПОРИСТОСТЬ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО АГЛОМЕРАТА

В работе представлены результаты экспериментов по спеканию железорудной шихты с целью установления рациональной температуры зоны горения, при которой образуется агломерат с наилучшими качественными показателями. Установлены закономерности изменения степени восстановимости и прочности железорудного агломерата от температуры спекания.

Ключевые слова: сегрегация, полидисперсный материал, фракционный состав, окускование, агломерационный процесс.

Mnykh Anton, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of the Automated Control by the Technological Processes of Zaporizhzhia State Engineering Academy (Zaporizhzhia, Ukraine). E-mail mnikh.anton@gmail.com

Kovyazin Alexis, Candidate of Technical Sciences, Senior Staff Scientist of Department of the Mechanical equipment of Zaporizhzhia State Engineering Academy (Zaporizhzhia, Ukraine). E-mail kvznas@gmail.com

Mnykh Irina, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department of Heat and Power and Water Power Engineering of Zaporizhzhia State Engineering Academy (Zaporizhzhia, Ukraine). E-mail: irinamnih83@gmail.com

INFLUENCE OF THERMAL MODE OF SINTERING ON STRUCTURE AND POROSITY OF IRON-ORE AGGLOMERATE

The paper presents the results of experiments on the sintering of iron ore charge in order to establish the rational temperature of the combustion zone. At this temperature, an agglomerate with the best quality indices is formed. The regularities of the change in the degree of reducibility and strength of the iron ore agglomerate from the sintering temperature are established.

Key words: segregation, polydisperse material, fractional composition, agglomeration

Стаття надійшла до редакції 16.03.2018 р.
Рецензент, проф. М.Ю. Пазюк

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