ОПТИМИЗАЦИЯ АГЛОМЕРАЦИОННЫХ ШИХТ ПО КОМПЛЕКСУ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Сообщение 1. Оптимизация агломерационных шихт по технологическим показателям производства агломерата

*А. В. ДЬЯКОВ¹, директор по технологиям и техническим вопросам;
А. А. ОДИНЦОВ¹, канд. техн. наук, менеджер по технологиям АГП;
В. А. КОБЕЛЕВ^{2,3}, канд. техн. наук, исполнительный директор НИЦ
подготовки сырья и рудно-термических процессов, kobelev_va@inbox.ru;
Г. А. НЕЧКИН^{2,3}, канд. техн. наук, заведующий лабораторией качества железорудного сырья
(¹ АО “АрселорМиттал Темиртау”, Республика Казахстан, Карагандинская обл., г. Темиртау;
² ОАО “Уральский институт металлов”, Россия, Свердловская обл., г. Екатеринбург;
³ ООО “Проминтех НКА”, Россия, Свердловская обл., г. Екатеринбург)*

Аннотация. Несмотря на то что проведено достаточно большое количество работ по исследованию железорудного сырья как в агломерационном, так и в доменном переделе, вопрос оптимизации аглодоменных шихт остается актуальным. Для оптимизации железорудного состава шихты осуществлены лабораторные исследования по спеканию аглошихт разного компонентного состава с определением технологических показателей и комплекса металлургических свойств.

В результате исследований определен оптимальный компонентный и гранулометрический состав агломерационной шихты, обеспечивающий улучшение комплекса металлургических свойств аглодоменной шихты. Выполнена оценка влияния содержания извести в шихте и способа ее ввода. Проведенные исследования показали, что ввод извести в поток концентрата перед шихтовым отделением может способствовать повышению производительности агломашии.

Установлен диапазон влажности шихты, позволяющий максимально полно гидратировать известь. Показано, что частичная замена в агломерационной шихте аглоруд конвертерным никелевым шлаком способствует повышению удельной производительности аглопроцесса и прочности агломерата.

Ключевые слова: агломерационное производство; агломерационная шихта; аглоруда; железорудный концентрат; никелевый шлак; гранулометрический состав; производительность агломашии.

Ссылка для цитирования. Дьяков А.В., Одинцов А.А., Кобелев В.А., Нечкин Г.А. Оптимизация аглодоменных шихт по комплексу металлургических свойств. Сообщение 1. Оптимизация агломерационных шихт по технологическим показателям производства агломерата // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2018. № 10. С. 27–34.

Doi: 10.32339/0135-5910-2018-10-27-34

В качестве железорудных материалов для производства агломерата в АО “АрселорМиттал Темиртау” (АМТ) используется местное сырье Республики Казахстан: тонкоизмельченный концентрат Соколовско-Сарбайского горно-производственного объединения (ССГПО), лисаковский гравитационно-магнитный концентрат (ЛГМК), магнетитовые руды Атасуйского железорудного района (месторождение Западный Каражал), Кентобе и Атансор. Разнородное по химическому и минеральному составу, а также физическим свойствам железорудное сырье нуждается в оптимизации компонентного состава исходя из технологических показателей про-

цесса спекания и качества агломерата. В доменной плавке большое влияние на технологические показатели оказывают высокотемпературные свойства окискованного сырья — температуры размягчения-плавления и фильтруемость расплава через коксовую насадку. Несмотря на то что проведено достаточно большое количество работ по исследованию железорудного сырья как в агломерационном [1, 2], так и в доменном переделе [3, 4], остается актуальным вопрос сквозной оптимизации аглодоменных шихт в условиях сохранения сырьевой безопасности предприятия.

Оптимизация железорудного состава агломерационной шихты

В целях оптимизации железорудного состава шихты проведены лабораторные исследования по спеканию аглошихт разного компонентного

состава с определением технологических показателей и комплекса металлургических свойств. Для исследования выбраны восемь типичных и

перспективных вариантов железорудной части аглошихты. Перспективные составы отличаются преобладанием аглоруд над концентратами и, как следствие, более крупным гранулометрическим составом аглошихты.

В табл. 1 приведены составы шихт, показатели процесса спекания и качества агломерата, полученные при оптимальных параметрах.

ТАБЛИЦА 1. КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ, ПОКАЗАТЕЛИ ПРОЦЕССА СПЕКАНИЯ ШИХТЫ И ПРОЧНОСТЬ АГЛОМЕРАТА ПО ВАРИАНТАМ А1–А8

TABLE 1. COMPONENT CONTENT, CHARACTERISTICS OF THE BURDEN SINTERING PROCESS AND SINTER STRENGTH BY VARIANTS A1–A8

Показатель	Вариант								
	А1–Д1	А1–Д2	А2	А3	А4	А5	А6	А7	А8
Состав аглошихты, кг/т:									
а/р Атасу	147,9	144,9	144,9	148,2	149,4	147,9	258,1	368,3	377,0
а/р Кентобе	110,3	108,8	108,3	111,3	111,8	110,8	110,8	110,8	—
а/р Атасор	73,4	72,4	72,4	74,2	74,9	73,9	73,9	73,4	—
к-т ССГПО	321,3	316,5	397,3	222,4	112,0	—	221,9	110,4	113,0
к-т ЛГМК	73,8	72,5	—	185,2	297,5	406,2	73,8	73,8	263,5
скрап	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
техническая пыль	56,0	56,0	56,0	56,0	56,0	56,0	56,0	56,0	56,0
отсев агломерата	131,0	131,0	131,0	131,0	131,0	131,0	131,0	131,0	131,0
известняк	78,0	104,0	98,0	84,0	92,0	118,0	66,0	74,0	74,0
доломит	72,0	86,0	77,0	85,0	98,0	125,0	72,0	84,0	86,0
известь	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0
коксовая мелочь	55,0	57,5	51,3	55,0	60,0	65,0	65,0	50,0	60,0
возврат	134,4	133,0	132,5	135,0	135,6	134,7	135,0	134,4	136,7
Влажность шихты, %	7,2	7,0	7,3	7,0	6,0	7,2	7,1	6,0	5,7
Рассев шихты, %:									
+8 мм	17,1	17,4	18,6	12,1	10,9	6,5	17,8	14,6	8,3
–8+5 мм	36,2	27,5	39,5	37,6	20,3	17,6	31,8	23,8	19,7
–5+3 мм	19,5	27,4	23,0	24,0	17,5	20,7	20,1	27,0	19,4
–3 мм	27,2	27,7	18,9	26,2	51,2	55,2	30,3	34,5	52,5
–1,6 мм						32,6			27,0
Высота слоя шихты, мм	450	450	450	450	450	450	450	450	450
Вертикальная скорость спекания, мм/мин	16,32	17,03	15,30	16,54	17,48	17,34	18,54	18,94	15,75
Выход годного, %	86,1	89,2	85,3	85,8	89,0	86,8	90,5	88,2	88,4
Удельная производительность, т/(м ² ·ч)	1,331	1,455	1,296	1,346	1,397	1,251	1,578	1,604	1,310
Прочность B _{+5 мм} , %	74,6	75,1	78,1	72,8	75,0	75,1	75,0	73,4	74,6
Истираемость B _{–0,5 мм} , %	5,1	4,8	4,8	4,9	5,5	6,4	5,3	5,9	6,3
Состав агломерата, %:									
Fe	51,09	49,82	50,93	49,49	47,82	45,07	50,65	49,50	50,21
CaO	13,65	15,36	14,83	14,29	15,03	17,29	13,36	14,06	13,32
MgO	2,89	3,15	3,04	3,04	3,19	3,60	2,84	2,99	2,88
SiO ₂	8,88	8,74	8,30	9,60	10,31	10,83	9,78	10,55	9,79
Al ₂ O ₃	2,35	2,31	2,11	2,68	3,00	3,27	2,38	2,38	2,61
MnO	0,38	0,37	0,37	0,38	0,38	0,38	0,39	0,38	0,36
P ₂ O ₅	0,37	0,37	0,26	0,54	0,70	0,85	0,39	0,38	0,65
CaO/SiO ₂	1,536	1,758	1,788	1,49	1,458	1,596	1,366	1,333	1,360

В процессе сравнительного анализа результатов спекания шихт А1–А8 определяли оптимальный расход твердого топлива и влажность шихты. Из трех спеканий выбирали опыт, в котором получена высокая вертикальная скорость спекания, удельная производительность и наиболее высокая прочность. Результаты спеканий показывают, что формирование оптимального

гранулометрического состава шихты в процессе окомкования в значительной степени зависит от содержания влаги в шихте [5].

Результаты промышленных испытаний, проведенных в АО АМТ, подтвердили лабораторные выводы. Из рис. 1 видно, как при увеличении влажности аглошихты уменьшается доля неокомкованной шихты (фракция –1,6 мм).

Рис. 1. Влияние влажности шихты на степень окомкования

Fig. 1. Influence of burden wetness on pelletizing degree

Максимальная газопроницаемость слоя полидисперсной шихты достигается при оптимальной влажности [6], для вариантов А1–А3, А5 она составляет 7,0–7,3 %, а для варианта А4 — снижается до 6,0 %, что обусловлено сокращением доли тонкоизмельченного концентрата в шихте. Для более детального анализа в шихте А5 определили содержание фракции –1,6 мм, которое составляет 32,6 %. Несмотря на значительное содержание класса –3 мм, диапазон гранулометрического состава шихты остался узок, что позволило повысить газопроницаемость слоя и, как следствие, вертикальную скорость спекания.

Более высокая прочность агломерата А2 обусловлена, с одной стороны, более высокой основностью шихты А2, с другой — более полным усвоением тонких частиц концентрата образующимся расплавом.

По результатам спеканий построен график (рис. 2), анализ которого показывает экстремальный характер зависимости удельной производительности и прочности агломерата от содержания концентрата ССГПО в шихте. Максимальная производительность достигается при содержании в шихте 15 % концентрата ССГПО, а минимальная прочность агломерата получается при содержании в шихте 30 % концентрата ССГПО.

Зависимости удельной производительности и прочности агломерата от содержания концентрата ЛГМК в шихте носят зеркальный характер по отношению к концентрату ССГПО: максимальная производительность достигается при содержании в шихте 40 % концентрата ЛГМК, а минимальная прочность агломерата выявлена при содержании в шихте 25 % концентрата ЛГМК.

Рис. 2. Влияние содержания концентрата ССГПО в шихте на удельную производительность и прочность агломерата

Fig. 2. Influence of SSGPO (Sokolovsk-Sarbajsky mining complex) concentrate in the burden on the specific productivity and sinter strength

При содержании в шихте 30 % концентрата ССГПО и 25 % концентрата ЛГМК агломерат имеет минимальную прочность при удельной производительности несколько выше базового варианта.

Таким образом, в базовом варианте шихты следует избегать соотношений концентратов ССГПО и ЛГМК, близких к единице.

Влияние гранулометрического состава шихты на производительность аглопроцесса показано на рис. 3. Для достижения максимальной производительности существенным фактором является оптимальное количество фракции 0–3 мм в окомкованной шихте. На рис. 4 на основе полученных лабораторных данных представлена зависимость удельной производительности от содержания фракции 0–3 мм в шихте. Экспериментальные данные хорошо укладываются на параболу с высоким коэффициентом корреляции, при этом максимальная удельная производительность достигается при содержании фракции 0–3 мм в количестве 30–35 %.

Таким образом, для достижения высокой производительности аглопроцесса в окомкованной шихте АО АМТ содержание фракции 0–3 мм должно быть 30–35 %, а содержание фракции 0–5 мм — 60 %.

Гранулометрический состав окомкованной шихты при прочих равных условиях зависит от количества и гранулометрического состава компонентов шихты, в основном от состава ее железорудной части. По лабораторным данным, на рис. 5 приведена зависимость содержания фракции 0–3 мм в шихте от расхода концентрата ЛГМК. Для получения окомкованной шихты с оп-

тимальным содержанием фракции 0–3 мм в количестве 35 % доля ЛГМК в шихте должна составлять 150 кг/т агломерата. При дальнейшем повышении содержания лисаковского концентрата растет доля фракции 0–3 мм, что обусловлено наличием существенного количества некомкующихся фракций 0,2–0,7 мм оолитовой структуры [1] в исходном материале. Этим же объясняется минимальная производительность аглопроцесса при спекании шихты А5.

Рис. 3. Влияние содержания фракции +5 мм в окомкованной шихте на удельную производительность процесса

Fig. 3. Influence of +5 mm fraction content in the pelletized burden on the process specific productivity

Рис. 4. Влияние содержания фракции 0–3 мм в окомкованной шихте на удельную производительность процесса

Fig. 4. Influence of 0–3 mm fraction content in the pelletized burden on the process specific productivity

Рис. 5. Влияние расхода концентрата ЛГМК в шихте на содержание фракции 0–3 мм в окомкованной шихте

Fig. 5. Influence of LGMK (Lisakovsk concentrate) consumption in the burden on the 0–3 mm fraction content in the pelletized burden

Формирование крупных гранул при окомковании происходит в основном за счет тонкодисперсного концентрата ССГПО. На рис. 6 приведена зависимость содержания фракции +5 мм в шихте от расхода концентрата ССГПО. Для получения окомкованной шихты с оптимальным содержанием фракции +5 мм в количестве 40 % доля концентрата ССГПО в шихте должна составлять около 200 кг/т.

Рис. 6. Влияние расхода концентрата ССГПО в шихте на содержание фракции +5 мм в окомкованной шихте

Fig. 6. Influence of SSGPO concentrate consumption in the burden on the +5 mm fraction content in the pelletized burden

Из рис. 7, 8, на которых приведены показатели удельной производительности и прочности агломерата, полученные при спекании шихт А1–А8, видно, что составы шихт с преобладанием аглоруд (А6–А7) имеют более высокие показатели процесса спекания и прочность агломерата.

Рис. 7. Удельная производительность при спекании шихт А1–А8

Fig. 7. Specific productivity during burdens A1–A8 sintering

Рис. 8. Прочность агломерата при спекании шихт А1–А8

Fig. 8. Sinter strength during burdens A1–A8 sintering

Оценка влияния содержания в шихте и способа ввода извести

Известь является эффективным интенсификатором агломерационного процесса и с успехом применяется с 60-х годов прошлого века. После контактной гидратации в слое влажной шихты известь способствует окомкованию, а основным результатом ее интенсифицирующего воздействия является упрочнение гранул шихты и их сохранение в зонах переувлажнения, сушки и интенсивного нагрева [7].

Влияние доли извести в шихте на эффективность окомкования в условиях АО АМТ приведено на рис. 9.

Рис. 9. Влияние доли извести в шихте АО АМТ на эффективность окомкования

Fig. 9. Influence of lime share in the AO AMT (JSC "ArcelorMittal Temirtau") burden on the pelletizing efficiency

Рис. 10. Влияние способа ввода извести в шихту на вертикальную скорость спекания шихты А1–Д1

Fig. 10. Influence of lime introducing method into the burden on the vertical A1–D1 burdens sintering rate

Существенное увеличение эффективности применения высококачественной извести может быть достигнуто при технологически правильной организации ее ввода в агломерационную шихту.

В условиях АО АМТ могут быть реализованы три варианта ввода извести в шихту, которые прошли лабораторные испытания:

I. Ввод извести после дозирования железорудного сырья в шихтовом отделении (существующий вариант).

II. Ввод извести в поток концентрата перед шихтовым отделением без перемешивания.

III. Ввод в штабель концентрата на складе. При вводе извести в штабель установлено, что оптимальное время гидратации составляет 6 сут. При условии хорошего перемешивания (в лабораторных условиях) извести с влажным (9 %) концентратом полная гидратация протекает в течение суток.

Оценку влияния способа ввода извести в шихту проводили путем спекания базового состава агломерационной шихты по трем вариантам, используя концентрат влажностью 3 % (зимний) и 9 % (летний).

Использование конвертерного никелевого шлака в агломерации

Наряду с повышением качественно-количественных характеристик актуальным остается вопрос ресурсосбережения при производстве агломерата и чугуна, в том числе утилизация железосодержащих отходов [8]. Особенный интерес представляет использование материалов, поведение которых в процессе агломерации ранее детально не исследовалось. К таким материалом можно отнести никелевый шлак.

На основе базовой шихты А1 проведены спекания с использованием в составе шихты никелевого шлака в количестве 25, 50 и 100 кг/т агломерата с эквивалентной заменой части аглоруд. При расчете шихты была произведена корректировка расхода известняка.

Оптимальная влажность с вводом никелевого шлака снижается до 6,5–6,8 %. Гранулометрический состав окомкованной шихты с никелевым шлаком изменяется незначительно, но вертикальная скорость спекания по сравнению с базовым вариантом растет. С учетом выхода годного удельная производительность по сравнению с базовым вариантом увеличивается на 17,5–23,4 % (отн.) (рис. 11).

Рис. 11. Влияние содержания никелевого шлака в шихте А1–Д1 на удельную производительность и прочность агломерата

Fig. 11. Influence of nickel slag content in the burdens А1–D1 on the specific productivity and sinter strength

Результаты спеканий по описанным выше вариантам ввода извести в шихту приведены на рис. 10.

Снижение вертикальной скорости спекания шихты при более длительном вылеживании может быть обусловлено частичным образованием кристаллогидратов в гидратированной извести, что уменьшает количество образовавшегося геля и снижает комкующие свойства концентрата и прочность гранул шихты.

Исследование показало, что ввод извести в поток концентрата перед шихтовым отделением может способствовать повышению производительности агломашиин.

Замена аглоруд никелевым шлаком способствует увеличению прочности агломерата, наибольшая прочность достигнута при вводе в шихту 100 кг/т никелевого шлака, что связано с высоким содержанием FeO.

Положительное влияние на процесс спекания шихты и прочность агломерата объясняется минеральным составом никелевого шлака. Основным минералом является фаялит $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$, который характеризуется низкой температурой плавления — 1205 °С [6].

Образование низкотемпературного расплава способствует более полной ассимиляции кремнезема железорудных материалов, а также оксидов кальция и магния флюсовой части шихты. Быстрое и более полное растворение пустой породы и флюсов позволяет полнее раскристаллизовать силикатную связку и тем самым повысить прочность агломерата. На рис. 12 представлены агломераты в характеристических рентгеновских излучениях, полученные с помощью растрового электронного микроскопа JSM-5900LM, а в табл. 2 приведен фазовый состав.

Рис. 12. Агломераты в характеристических рентгеновских излучениях: базовый (а), базовый с вводом никелевого шлака (б)

Fig. 12. Sinters in characteristic X-rays: base (a), base after nickel slag introducing (b)

ТАБЛИЦА 2. ФАЗОВЫЙ СОСТАВ АГЛОМЕРАТОВ

TABLE 2. PHASE CONTENT OF SINTERS

Базовый агломерат А1–Д1		Базовый агломерат с вводом никелевого шлака А1–Д1 (N100)	
фаза	минеральная форма	фаза	минеральная форма
1	Магнезиоферрит с повышенным содержанием оксида марганца	1	Высокожелезистый алюмосиликат кальция
2		2	
3		3	
4		4	
5	Магнезиоферрит с повышенным содержанием оксида марганца	5	Магнезиоферрит с повышенным содержанием оксида марганца
6		6	
7		7	
8		8	
9	Высокожелезистый алюмосиликат кальция	9	Магнезиоферрит с повышенным содержанием оксида марганца
10		10	
11		11	
12		12	
13	Магнезиоферрит с повышенным содержанием оксида марганца	13	Гематит
14		14	
15	Магнезиоферрит с повышенным содержанием оксида марганца	15	Железистый силикат кальция с глиноземом и фосфатом кальция
16		16	
17	Фосфат кальция в силикате кальция	17	
18		18	
19		19	

Повышение вертикальной скорости спекания можно объяснить также изменением процессов плавления и кристаллизации расплава, формирующих газопроницаемую структуру шихты в зоне плавления.

Негативным фактором при вводе никелевого шлака является снижение содержания железа в агломерате с одновременным увеличением концентрации кремнезема, что требует повышения

расхода известняка и, соответственно, твердого топлива при больших расходах никелевого шлака в шихте.

Таким образом, частичная замена в агломерационной шихте аглоруд конвертерным никелевым шлаком способствует повышению удельной производительности аглопроцесса и прочности агломерата.

Выводы

1. Определены границы содержаний для основных компонентов, а также составы агломерационных и доменных шихт АО АМТ, максимально удовлетворяющие технологическим требованиям, предъявляемым к железорудному сырью.

2. Показано, что при вводе извести в поток концентрата при транспортировке в шихтовое отделение вертикальная скорость спекания повышается. При использовании влажного концен-

трата достигается наиболее высокая вертикальная скорость спекания. Определен диапазон влажности шихты, отвечающий оптимальному гранулометрическому составу.

3. Установлена благоприятная роль конвертерного никелевого шлака в агломерационном перделе АО АМТ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нурмаганбетов Ж.О. Совершенствование технологии спекания и улучшение металлургических свойств агломерата из концентратов лисаковских бурожелезняковых руд: дис. ... канд. техн. наук. — Караганда, 1984. — 223 с.
2. Татаркин Н.Л., Вилков А.Е., Рогожина Л.А. Изучение в лабораторных условиях влияния изменения состава железорудной части аглошихты и расхода извести на технико-экономические показатели аглопроцесса и металлургические свойства агломерата при использовании материалов собственной железорудной базы: техническое заключение / АрселорМиттал Темиртау. — Темиртау, 2010. — 27 с.
3. Сабитов М.С. Физико-химические исследования и внедрение шлакового режима доменной плавки окискованных концентратов Лисаковского ГОКа: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Свердловск, 1990. — 24 с.
4. Ванак А.А., Абраменко Ю.К., Печеркин А.М., Султанов Н.Е. Особенности доменной плавки при работе на железорудном сырье сложного состава месторождений центрального Казахстана // Сталь. 2007. № 8. С. 5–8.

5. Пузанов В.П., Кобелев В.А. Структурообразование из мелких материалов с участием жидких фаз. — Екатеринбург: УрО РАН, 2001. — 634 с.
6. Пузанов В.П., Кобелев В.А. Основы формирования функциональных свойств железорудных агломератов. — Екатеринбург, 2015. — 352 с.
7. Пузанов В.П., Кобелев В.А. Введение в технологии металлургического структурообразования. — Екатеринбург: УрО РАН, 2005. — 501 с.
8. Долинский В.А., Никитин Л.Д., Одинцов А.А., Домнин К.И. Рецикл техногенных отходов при производстве агломерата и чугуна // Изв. вузов. Черная металлургия. 2010. № 8. С. 41–44.

OPTIMIZATION OF AGGLOMERATION BURDENS BY METALLURGICAL PROPERTIES COMPLEX

Report 1. Optimization of agglomeration burdens by technological characteristics of sinter production

A. V. D'YAKOV¹, Director on Technology and Technical Items;
 A. A. ODINTSOV², PhD (Tech), Technology Manager AGP;
 V. A. KOBELEV^{2,3}, PhD (Tech), Executive Director, R&D Center
 of Raw Materials preparation and ore thermal processes, kobelev_va@inbox.ru;
 G. A. NECHKIN^{2,3}, PhD (Tech), Head of Lab. of Raw Materials Quality
 (¹ JSC "ArcelorMittal Temirtau", Kazakhstan, Karaganda rgn., Temirtau;
² OJSC "Ural Institute of Metals", Russia, Sverdlovsk rgn., Ekaterinburg;
³ OJSC "Promintech NKA", Russia, Sverdlovsk rgn., Ekaterinburg)

Abstract. Despite a lot of studies of iron ore raw materials was carried out both in sinter and BF production areas, the matter of agglomeration burdens optimization is still actual. Laboratory studies on sintering of agglomeration burdens of different component content were carried out for optimization of iron ore burden content optimization, following by determination of technology characteristics and metallurgical properties complex.

As a result of the studies an optimal component and size content of the agglomeration burden determined to provide improving of metallurgical properties complex of agglomeration burden. The studies carried out showed, that lime introducing into the concentrate flow before the burden department can lead to sintering machines productivity increasing.

The burden wetness range determined, enabling for complete lime hydrating. It was shown, that a partial replacement of agglomeration ores in the burden by BOF nickel slag contributes to agglomeration process specific productivity increasing as well as sinter strength increasing.

Key words: sinter production; agglomeration burden; agglomeration ore; iron ore concentrate; nickel slag; grain-size composition; sinter machine productivity.

For citation: D'yakov A.V., Odintsov A.A., Kobelev V.A., Nechkin G.A. Optimization of agglomeration burdens by metallurgical properties complex. Report 1. Optimization of agglomeration burdens by technological characteristics of sinter production. *Chernaya metallurgiya. Byulleten nauchno-tehnicheskoy i ekonomicheskoy informacii = Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information*, 2018. No. 10, pp. 27–34. (In Russ.).

Doi: 10.32339/0135-5910-2018-10-27-34

REFERENCES

1. Nurmaganbetov Zh. O. *Sovershenstvovanie tekhnologii spekaniya i uluchshenie metallurgicheskikh svoystv aglomerata iz kontsentratorov lisakovskikh burozheleznyakovykh rud. Dis. ... kand. tekhn. nauk* [Modification of sintering technology and improving of metallurgical properties of sinter made of Lisakovsk concentrates of brown haematite ore. Cand. Sci. Diss.]. Karaganda, 1984, 223 p. (In Russ.).
2. Tatarkin N.L., Vilkov A.E., Rogozhina L.A. *Izuchenie v laboratornykh usloviyakh vliyaniya izmeneniya sostava zhelezorudnoi chasti agloshikhty i raskhoda izvesti na tekhniko-ekonomicheskie pokazateli agloprotsessa i metallurgicheskie svoystva aglomerata pri ispol'zovanii materialov sobstvennoi zhelezorudnoi bazy: tekhnicheskoe zaklyuchenie* [Laboratory study of influence of iron ore portion content alteration and lime consumption on technical and economic indices of sintering process and sinter metallurgical properties while domestic iron ore materials utilization: technical conclusion]. ArcelorMittal Temirtau, 2010, 27 p. (In Russ.).
3. Sabitov M.S. *Fizikokhimicheskie issledovaniya i vnedrenie shlakovogo rezhima domennoi plavki okuskovannykh kontsentratorov Lisakovskogo GOKA. Avtoref. Dis. ... kand. tekhn. nauk* [Physical and chemical studies and implementation of slag mode of BF smelting of Lisakovsk mining and concentration complex agglomerated concentrates. Extended Abstract of Cand. Sci. Diss.]. Sverdlovsk, 1990, 24 p. (In Russ.).
4. Vanak A.A., Abramenko Yu.K., Pecherkin A.M., Sultanov N.E. Peculiarities of BF smelting while operating on complex composition iron ore raw materials of Central Kazakhstan deposits. *Stal'*, 2007, no. 8, pp. 5–8. (In Russ.).
5. Puzanov V.P., Kobelev V.A. *Strukturoobrazovanie iz melkikh materialov s uchastiem zhidkikh faz* [Structure formation from fine materials with liquid phases participation]. Ekaterinburg: UrO RAN, 2001, 634 p. (In Russ.).
6. Puzanov V.P., Kobelev V.A. *Osnovy formirovaniya funktsionalnykh svoystv zhelezorudnykh aglomeratov* [Foundation of functional iron ore agglomerates properties forming]. Ekaterinburg, 2015, 352 p. (In Russ.).
7. Puzanov V.P., Kobelev V.A. *Vvedenie v tekhnologii metallurgicheskogo strukturoobrazovaniya* [Introduction into technologies of metallurgical structure forming]. Ekaterinburg: UrO RAN, 2005, 501 p. (In Russ.).
8. Dolinskii V.A., Nikitin L.D., Odintsov A.A., Domnin K.I. Recycle of man-caused wastes at agglomerates and pig iron. *Izv. VUZov. Chernaya metallurgiya*, 2010, no. 8, pp. 41–44. (In Russ.).