ОПТИМИЗАЦИЯ АГЛОДОМЕННЫХ ШИХТ ПО КОМПЛЕКСУ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Сообщение 2. Оптимизация компонентов доменных шихт по комплексу их высокотемпературных свойств

*А. В. ДЬЯКОВ¹, директор по технологии и техническим вопросам; М. Ф. ВИТУЩЕНКО¹, консультант;
А. А. ОДИНЦОВ¹, канд. техн. наук, менеджер по технологии АГП;
В. А. КОБЕЛЕВ^{2,3}, канд. техн. наук, исполнительный директор НИЦ
подготовки сырья и рудно-термических процессов, kobelev_va@inbox.ru;
А. Ю. ЧЕРНАВИН^{2,3}, заведующий лабораторией доменного производства и металлургической;
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. Наряду с прочностными характеристиками окучкованного сырья большое влияние на технологические показатели доменной плавки оказывают его высокотемпературные свойства — степени восстановления, температура размягчения-плавления и фильтруемость расплава через коксовую насадку. Знание закономерностей изменения этих свойств является актуальным для сквозной оптимизации состава аглодоменных шихт с целью интенсификации доменной плавки.

Исследовано влияние состава доменных шихт на восстановимость, температурный интервал размягчения-плавления, вязкость промежуточных шлаков, фильтруемость продуктов плавки через коксовую насадку и десульфуризирующую способность промежуточных шлаков. Оценено влияние добавки конвертерного никелевого шлака на комплекс высокотемпературных свойств железорудного сырья.

Рассмотрено влияние доли окатышей в доменной шихте на процесс фильтрации доменного шлака. Показано, что с увеличением доли окатышей в шихте фильтруемость шлака при плавке доменной шихты через коксовую насадку уменьшается.

Установлена благоприятная роль конвертерного никелевого шлака в агломерационном и доменном переделах АО “АрселорМиттал Темиртау”.

Анализ полученных данных показал, что содержание серы в чугуне при плавлении агломерата шлака зависит практически только от основности промежуточного шлака.

Определены границы содержания в железорудном сырье основных компонентов, а также составы агломерационных и доменных шихт АО “АрселорМиттал Темиртау”, обладающие наиболее благоприятным комплексом высокотемпературных свойств и максимально удовлетворяющие требованиям, предъявляемым к железорудному сырью.

Ключевые слова: доменная шихта; железорудное окучкованное сырье; конвертерный никелевый шлак; высокотемпературные свойства ЖРС; вязкость шлака; восстановимость и фильтруемость продуктов плавки; десульфуризирующая способность шлака.

Ссылка для цитирования. Дьяков А.В., Витущенко М.Ф., Одинцов А.А., Кобелев В.А., Чернавин А.Ю., Нечкин Г.А. Оптимизация аглодоменных шихт по комплексу металлургических свойств. Сообщение 2. Оптимизация компонентов доменных шихт по комплексу их высокотемпературных свойств // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2018. № 11. С. 29–37.

Doi: 10.32339/0135-5910-2018-11-29-37

Данная работа выполнена в рамках комплексного аглодоменного исследования свойств железорудного сырья (ЖРС) с целью подбора компонентного состава, максимально удовлетворяющего требованиям агломерационного и доменного передела. В первой части исследования [1] были определены границы содержаний для основных компонентов агломерационной шихты с точки зрения оптимизации параметров процесса спекания и качества агломерата. Однако наряду с прочностными характеристиками окучкованного сырья в доменной плавке боль-

шое влияние на технологические показатели оказывают высокотемпературные свойства — степени восстановления, температуры размягчения-плавления и фильтруемость расплава через коксовую насадку. Эта работа является логичным продолжением предыдущего исследования и посвящена анализу высокотемпературных свойств ЖРС.

Несмотря на то что в АО “АрселорМиттал Темиртау” (АМТ) проведено достаточно большое количество работ по исследованию ЖРС в доменном переделе [2, 3], остается актуальным

вопрос сквозной оптимизации аглодоменных шихт с целью интенсификации доменной плавки в условиях максимального использования собственного окучкованного сырья. Наряду с повышением качественно-количественных характеристик актуальным остается вопрос ресурсосбережения при производстве чугуна, в том числе утилизация железосодержащих отходов [4]. Особенный интерес представляет никелевый шлак, промышленное применение которого в настоящее время ограничивается двумя металлургическими предприятиями [5], комплексная оценка влияния конвертерного никелевого шлака на высокотемпературные свойства компонентов доменной шихты пока не произведена.

Исследуемые составы доменных шихт приведены в табл. 1. Химические составы и металлургические свойства используемых агломератов представлены в работе [1].

ТАБЛИЦА 1. ВАРИАНТЫ СОСТАВА ДОМЕННОЙ ШИХТЫ

TABLE 1. VARIANTS OF THE BLAST FURNACE BURDEN COMPOSITION

Вариант		Содержание в шихте, %		
		агломерат	окатыши ССГПО	руда Атасу
Д1	1	A1-75	20	5
	2	A3-75	20	5
	3	A4-75	20	5
	4	A1-75	20	5 (никелевый шлак)
Д2	5	A1-60	35	5
	6	A2-60	35	5
	7	A5-60	35	5
Д3	8	A6-90	5	5
	9	A7-90	5	5
	10	A8-90	5	5

Анализ восстановимости железорудного сырья

Результаты исследования восстановимости и разрушаемости при восстановлении железорудных материалов приведены в табл. 2. Окатыши ССГПО и аглоруда Атасу отличаются более высокой восстановимостью по сравнению с агломератами, что, по-видимому, связано с различным уровнем исходной окисленности материалов. У всех агломератов достаточно высокая восстановимость, кроме агломератов А1–Д2 и А3. В целом при восстановительной обработке агломераты закономерно разрушаются в меньшей степени, чем окатыши ССГПО. Для агломерата А3 и окатышей ССГПО характерна максимальная степень разрушения (2,5–2,6 %), при этом она не достигает критического уровня для доменной плавки — 25 %.

ТАБЛИЦА 2. ПОКАЗАТЕЛИ ВОССТАНОВИМОСТИ И РАЗРУШАЕМОСТИ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ АГЛОМЕРАТОВ, ОКАТЫШЕЙ ССГПО И РУДЫ АТАСУ

TABLE 2. INDICES OF REDUCIBILITY AND IMPACT RESISTANCE WHEN REDUCING LABORATORY SINTER, SSGPO PELLETS AND ORE OF ATASU DEPOSIT

Железорудный материал	Восстановимость (доля отнятого кислорода), %	Разрушаемость, %
Агломерат А1–Д1	80,9	1,4
Агломерат А1–Д2	74,5	1,6
Агломерат А2–Д2	81,0	2,0
Агломерат А3	70,8	2,5
Агломерат А4	85,1	1,3
Агломерат А5	83,6	1,2
Агломерат А6	96,5	1,4
Агломерат А7	80,8	2,4
Агломерат А8	90,3	1,3
Агломерат А1–Д1 (N100)	89,3	0,9
Окатыши ССГПО	96,3	2,6
Руда Атасу	99,9	2,2

Анализ температурного интервала размягчения-плавления железорудных материалов

Высокотемпературные свойства железорудных материалов характеризуют их поведение в доменной печи при нагреве в восстановительной среде: восстановимость, разрушаемость при восстановлении и температурный интервал размягчения-плавления (ТИРП). Эти свойства железорудных материалов оказывают существенное влияние на газопроницаемость столба шихты в доменной печи и в значительной степени опре-

деляют производительность [6, 7]. Параметры вязкопластичного состояния ЖРС определяют положение и размер зоны когезии в доменной печи, при этом газодинамическое сопротивление этой зоны на 70 % определяет сопротивление всего столба шихты. В связи с этим очень важным направлением исследований является определение температур размягчения и плавления агломератов [8].

Определение параметров вязкопластичного состояния окатышей ССГПО и лабораторных агломератов произведено по ГОСТ 26517–85 “Руды железные, агломераты и окатыши. Метод определения температуры начала размягчения и температурного интервала размягчения”. На рис. 1 приведена диаграмма температурного интервала размягчения-плавления исследованных железорудных материалов, которая позволяет оценить влияние железорудных материалов на расположение зоны когезии в доменной печи.

Рис. 1. Интервалы температур размягчения-плавления железорудных материалов

Fig. 1. Softening-smelting temperature intervals for iron ore materials

Результаты исследований показывают, что наиболее низкая температура начала размягчения у руды Атасу, при этом интервал вязкопластичного состояния достаточно протяженный. Окатыши также имеют низкую температуру на-

чала размягчения и плавятся при более высокой температуре, чем руда Атасу. Вместе с рудой Атасу окатыши формируют в доменной печи протяженную зону когезии на высоком горизонте и способствуют увеличению газодинамического напряжения. Температура размягчения никелевого шлака близка к температуре размягчения окатышей, но температура плавления значительно ниже, а ТИРП самый узкий по сравнению с другими материалами.

Агломерат А1–Д1 имеет самую протяженную зону вязкопластичного состояния (ТИРП = 351 °С), определяемую как низкой температурой начала размягчения, так и высокой температурой плавления. Применение в доменной шихте агломерата А1–Д1 с окатышами ССГПО будет способствовать увеличению нижнего перепада в доменной плавке. При вводе в аглошихту А1–Д1 никелевого шлака [А1–Д1 (N100)] увеличивается температура начала размягчения и сужается интервал вязкопластичного состояния, что должно способствовать снижению газодинамического напряжения в печи.

Для варианта доменной шихты Д1 с 20 % окатышей ССГПО по высокотемпературным свойствам предпочтительным является вариант агломерата А3 и агломерата А4. Из рис. 1 видно, что диапазоны размягчения-плавления окатышей и агломератов А3 и А4 совпадают.

При содержании 35 % окатышей (доменная шихта Д2) преимущество по высокотемпературным свойствам перед другими вариантами имеет агломерат А1–Д2, обладающий наиболее близкими к окатышам характеристиками и минимальным интервалом вязкопластичного состояния.

Для варианта доменной шихты Д3 с 5 % окатышей наилучшие высокотемпературные свойства имеет агломерат А8, который характеризуется наименее протяженной зоной вязкопластичного состояния и более низким газодинамическим сопротивлением.

Оценка вязкости промежуточного шлака

Исследование вязкости промежуточных шлаков, полученных в результате фильтрации агломератов через коксовую насадку, проводили с помощью вибрационного вискозиметра Штангельмейера.

Характер изменения вязкости промежуточных шлаков показывает, что при плавке агломератов А1–Д2, А4–Д1, А5–Д2 и А8–Д3 образуются так называемые “короткие” шлаки с узким диапазо-

ном кристаллизации. Температуры кристаллизации этих шлаков разные и соответствуют основности и температурам плавления, определенным при исследовании вязкопластичного состояния агломератов. Зависимость вязкости промежуточного шлака от температуры для агломерата А5 приведена на рис. 2. Вязкость высокоосновного шлака А5 при температурах 1450–1500 °С выше, чем у шлаков А1, А4 и А8.

Рис. 2. Вязкость промежуточного шлака при проплавке агломерата А5–Д2

Fig. 2. Viscosity of intermediate slag at A5–D2 sinter smelting

Промежуточные шлаки, полученные при плавке агломератов А2, А3, А6 и А7, можно отнести к “длинным” с более протяженным диапазоном температуры, при которой происходит кристаллизация.

Шлак при плавке агломерата А6 отличается более высокой температурой кристаллизации и является наиболее “длинным” из исследованных. Зависимость вязкости промежуточного

шлака от температуры для агломерата А6 приведена на рис. 3.

Рис. 3. Вязкость промежуточного шлака при проплавке агломерата А6–Д3

Fig. 3. Viscosity of intermediate slag at A6–D3 sinter smelting

В зависимости от компонентного и химического состава агломерата при его плавке в доменной печи свойства промежуточных шлаков значительно отличаются. Эти особенности определяют дренаж продуктов плавки в горне и газопроницаемость коксовой насадки.

Исследование фильтруемости продуктов плавки через коксовую насадку

Зона фильтрации продуктов плавки через коксовую насадку является продолжением зоны когезии, и характер взаимодействия коксовой насадки с расплавами и газами определяет нормальную работу горна и различные расстройства, связанные с загромождением коксовой насадки неплавкими массами [6, 9–15].

Исследование фильтруемости продуктов плавки через коксовую насадку проведено для

лабораторных агломератов, окатышей ССГПО, руды Атасу и 10 доменных шихт, состоящих из этих же компонентов по вариантам Д1–Д3 (см. табл. 1). Результаты определения показателей фильтруемости продуктов плавки железорудных материалов и доменных шихт через коксовую насадку приведены в табл. 3.

ТАБЛИЦА 3. ПОКАЗАТЕЛИ ФИЛЬТРУЕМОСТИ ПРОДУКТОВ ПЛАВКИ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ЧЕРЕЗ КОКСОВУЮ НАСАДКУ

TABLE 3. FILTERABILITY INDICES OF IRON ORE MATERIALS SMELTING THROUGH COKE FILLING

Железорудный материал	Показатель			Выход шлака, кг/т чугуна	Остается на коксовой насадке, кг/т чугуна
	фильтруемость продуктов плавки $F_{пл}$, %	фильтруемость шлака $F_{шл}$, %	время плавки τ , мин		
Агломерат А1–Д1	93,5	80,5	58	494,1	96,4
Агломерат А1–Д2	89,3	70,0	58	541,5	162,5
Агломерат А2	84,9	50,6	64	451,4	223,0
Агломерат А3	94,9	85,6	50	485,7	70,2
Агломерат А4	94,7	85,7	47	537,5	76,9
Агломерат А5	94,5	87,0	50	636,2	82,7
Агломерат А6	88,3	63,8	48	509,7	184,5
Агломерат А7	95,2	87,3	46	553,0	70,2
Агломерат А8	91,2	73,8	44	518,7	135,9
Агломерат А1–Д1 (с вводом никелевого шлака)	94,5	83,7	46	576,9	94,0

Железорудный материал		Показатель			Выход шлака, кг/т чугуна	Остается на коксовой насадке, кг/т чугуна
		фильтруемость продуктов плавки $F_{пл}$, %	фильтруе- мость шлака $F_{шл}$, %	время плавки τ , мин		
Руда Атасу		92,2	62,1	48	208,5	79,0
Окатыши ССГПО		92,1	63,8	45	137,3	49,7
Д1	Атасу 5, А1 75, ок. 20 %	84,9	60,4	39	394,1	156,3
	Атасу 5, А3 75, ок. 20 %	89,3	72,8	43	429,4	116,8
	Атасу 5, А4 75, ок. 20 %	89,5	73,1	40	467,5	125,8
	Шлак Ni 5, А1 75, ок. 20 %	93,9	80,9	31	465,2	88,9
Д2	Атасу 5, А1 60, ок. 35 %	88,3	67,5	37	361,9	117,6
	Атасу 5, А2 60, ок. 35 %	89,2	65,9	44	345,1	117,7
	Атасу 5, А5 60, ок. 35 %	90,6	79,1	39	442,4	92,5
Д3	Атасу 5, А6 90, ок. 5 %	89,4	73,2	40	470,7	126,2
	Атасу 5, А7 90, ок. 5 %	88,7	73,5	43	508,2	134,7
	Атасу 5, А8 90, ок. 5 %	88,7	70,9	46	478,5	91,4

Агломерат А1–Д1 имеет более низкую степень фильтрации шлака через коксовую насадку и большее время плавления. Введение в состав аглошихты А1–Д1 никелевого шлака взамен части аглоруд улучшает фильтруемость шлака и снижает время плавления агломерата.

Агломераты для доменной шихты Д2 имеют более высокую основность промежуточного шлака и это влияет на их показатели фильтруемости через коксовую насадку. Для этой шихты наиболее высокие показатели имеет агломерат А5. Несмотря на более низкую общую фильтруемость продуктов плавки, чем у агломерата А1–Д2, агломерат А5 отличается более высокой фильтруемостью шлака и меньшим временем плавления.

Руда Атасу и окатыши ССГПО при плавлении имеют относительно высокую общую степень фильтруемости продуктов плавки, но и низкую фильтруемость шлака через коксовую насадку. Время плавления этих материалов не превышает показателей плавления лучших агломератов.

Проплавка доменных шихт показала, что особенности фильтрации отдельных железорудных материалов сохраняются и в шихтах (см. табл. 3).

Если пересчитать количество оставшегося в лабораторных условиях на коксовой насадке шлака в объем загроможденной коксовой насадки в доменной печи с учетом 100 % заполне-

ния шлаком межкускового пространства и 50 % отработки этого шлака во время выпуска, то возможное уменьшение полезного объема для доменной печи № 3 АО АМТ при использовании доменных шихт Д1–Д3 представлено на рис. 4.

Рис. 4. Динамика накопления шлака на коксовой насадке при использовании доменных шихт Д1–Д3

Fig. 4. Dynamic of slag accumulation at coke filling while using BF burden D1–D3

Анализ влияния содержания в агломерате MgO , MnO и Al_2O_3 на фильтруемость шлака

Ранее проведенные исследования процесса плавки на коксовой насадке железорудного агломерата НЛМК и ММК показали, что с повышением содержания MgO в агломерате с 1,7 до 2,8 % фильтруемость шлака ухудшается [16]. Установлено также, что повышение содержания MnO в агломератах НЛМК и ММК способствует улучшению фильтруемости промежуточного шлака.

Химический состав агломерата и промежуточного шлака АО АМТ по сравнению с другими предприятиями отличается повышенным содержанием оксида алюминия. В табл. 4 приведено фактическое содержание оксидов магния, марганца и алюминия в лабораторных агломератах, полученных из разных составов шихт АО АМТ, и показатель фильтруемости шлаков через коксовую насадку.

ТАБЛИЦА 4. СОДЕРЖАНИЕ MgO, MnO И Al₂O₃ В АГЛОМЕРАТАХ И ПОКАЗАТЕЛИ ФИЛЬТРУЕМОСТИ ШЛАКА ЧЕРЕЗ КОКСОВУЮ НАСАДКУ

TABLE 4. MgO, MnO AND Al₂O₃ CONTENT IN THE SINTER AND SLAG FILTERABILITY INDICES THROUGH COKE FILLING

Агломерат	Содержание в агломерате, %			Фильтруемость шлака, %
	MgO	MnO	Al ₂ O ₃	
A1-Д1	2,71	0,428	2,36	80,5
A2	2,84	0,387	2,04	50,6
A3	2,87	0,454	2,45	85,6
A4	3,06	0,403	2,80	85,7
A5	3,66	0,382	3,24	87,0
A6	2,79	0,529	2,47	63,8
A7	2,80	0,505	2,49	87,3
A8	2,64	0,474	2,65	73,8

Характер влияния MgO, MnO и Al₂O₃ в агломерате на фильтруемость шлака через коксовую насадку показан на рис. 5–7.

Рис. 5. Влияние содержания MgO в агломерате на фильтруемость шлака через коксовую насадку

Fig. 5. Influence of MgO content in sinter on slag filterability through coke filling

Рис. 6. Влияние содержания MnO в агломерате на фильтруемость шлака через коксовую насадку

Fig. 6. Influence of MnO content in sinter on slag filterability through coke filling

Рис. 7. Влияние содержания Al₂O₃ в агломерате на фильтруемость шлака через коксовую насадку

Fig. 7. Influence of Al₂O₃ content in sinter on slag filterability through coke filling

Влияние содержания в агломерате АО АМТ MgO и MnO на фильтруемость шлака через коксовую насадку существенно отличается от известных в литературе данных. Оптимальное содержание MgO в агломерате, обеспечивающее высокую фильтруемость промежуточного шлака через коксовую насадку, составляет 2,8–3,6 %. Оптимальное содержание MnO в агломерате, при котором достигается наибольшая фильтруемость шлака через коксовую насадку, находится в пределах 0,35–0,4 %. Значительную роль в поведении агломерата при плавлении и фильтрации играет оксид алюминия. Наиболее высокая фильтруемость промежуточного шлака достигается при содержании Al₂O₃ в агломерате 2,8–3,2 %.

Анализ десульфуризирующей способности промежуточного шлака

На основе химических анализов полученных агломератов рассчитаны коэффициенты распределения серы между чугуном и промежуточным шлаком. На рис. 8 приведены коэффициенты распределения серы между чугуном и шлаком K_S при плавке агломератов различного состава и фильтрации расплавов чугуна и шлака через коксовую насадку. Низкие коэффициенты распределения серы между чугуном и шлаком получены при плавке агломератов с низкой основностью (А7–А8), а также агломерата А3. Высокие коэффициенты распределения серы между чугуном и шлаком получены при проплавке агломератов с высокой основностью (А1–Д2), а также агломератов А4 и А6. Обращает на себя внимание высокий коэффициент распределения серы при плавке базового агломерата с вводом в шихту никелевого шлака А1–Д1 (N100), несмотря на повышенное содержание серы в агломерате. При таком же содержании серы в агломерате А5 K_S практически в 5 раз меньше.

Содержание серы в опытных чугунах значительно ниже, чем в реальных условиях. Это свидетельствует в пользу такого механизма распределения серы между чугуном и шлаком, когда основная масса серы в чугун переходит из кокса при его сгорании и растворении золы в шлаке. Зола кокса, растворяясь в шлаке, снижает его основность и создает условия для перехода серы из шлака в чугун.

Коэффициент распределения серы между чугуном и шлаком при выпуске продуктов плавки из доменной печи отличается от приведенных выше значений вследствие уменьшения основ-

ности конечного шлака. Фактический коэффициент распределения серы между чугуном и шлаком за 2016 г. в среднем по цеху составил 36,3 отн. ед., что близко к полученным значениям K_S для агломератов А3, А7 и А8.

Рис. 8. Коэффициент распределения серы ($K_S = S_{\text{шл}}/S_{\text{чуг}}$) между чугуном и промежуточным шлаком при плавке опытных агломератов

Fig. 8. Sulphur distribution coefficient ($K_S = S_{\text{shl}}/S_{\text{chug}}$) between hot metal and intermediate slag while smelting test sinter

Анализ полученных данных показывает, что содержание серы в чугуне при плавлении агломерата и образовании промежуточного шлака зависит в основном только от основности промежуточного шлака. Рассмотренные промежуточные шлаки имеют высокую десульфуризирующую способность.

Выводы

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

2. Рассмотрено влияние доли окатышей в доменной шихте на процесс фильтрации домен-

ного шлака. С увеличением доли окатышей в шихте фильтруемость шлака при плавке доменной шихты через коксовую насадку уменьшается.

3. Установлена благоприятная роль конвертерного никелевого шлака в агломерационном и доменном переделах АО АМТ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дьяков А.В., Одинцов А.А., Кобелев В.А., Нечкин Г.А. Оптимизация доменных 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. Еремеев Н.А., Лысюк А.Ж. Опыт промышленного использования конвертерного шлака Южно-Уральского никелевого комбината в качестве раскислителя в ДЦ ПАО ЧМК // Сталь. 2018. № 3. С. 7.

6. Пузанов В.П., Кобелев В.А. Функциональные свойства железорудных материалов. — Екатеринбург: ИВЦ, 2015. — 617 с.
7. Пузанов В.П., Кобелев В.А. Введение в технологии металлургического структурообразования. — Екатеринбург: УрО РАН, 2005. — 501 с.
8. Кобелев В.А., Пузанов В.П., Нечкин Г.А. Температура плавления железорудных агломератов // *Сталь*. 2015. № 11. С. 10–16.
9. Пузанов В.П., Нечкин Г.А., Кобелев В.А., Чернавин А.Ю. Об интенсивности орошения коксовой насадки и фильтруемости продуктов плавки доменной печи // *Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации*. 2011. № 8. С. 45–54.
10. Пузанов В.П., Нечкин Г.А., Онорин О.П. и др. О плотности орошения продуктами плавки коксовой насадки доменной печи // *Сталь*. 2012. № 4. С. 7–15.
11. Нечкин Г.А., Кобелев В.А., Чернавин Д.А., Чернавин А.Ю. Фильтруемость доменных шлаков через коксовую насадку горна доменных печей // *Труды Междунар. конгресса по агло-коксо-доменному производству*, Ялта, Украина, 21–25 мая 2012.
12. Пузанов В.П., Нечкин Г.А., Птичников Г.А. и др. Основы работы противоточной коксовой насадки доменной печи (сообщение 2) // *Сталь*. 2012. № 11. С. 2–8.
13. Нечкин Г.А., Кобелев В.А. Исследование межфазных процессов, проходящих на границе раздела “кокс–шлак” // *Труды Междунар. научн. конф. “Физико-химические основы металлургических процессов”*, Москва, 28–29 ноября 2012.
14. Нечкин Г.А., Кобелев В.А., Чернавин А.Ю. Формирование доменной шихты с целью улучшения фильтруемости расплава через коксовую насадку горна // *Труды VI Междунар. конгресса по агло-коксо-доменному производству “Проблемы доменного и смежных производств в современных условиях”*, Ялта, Украина, 20–24 мая 2013.
15. Чернавин А.Ю., Нечкин Г.А., Чернавин Д.А. и др. Моделирование поведения шихтовых материалов в нижней части доменной печи // *Сталь*. 2010. № 5. С. 20–23.
16. Нечкин Г.А., Кобелев В.А., Чернавин А.Ю., Чернавин Д.А. Влияние оксидов магния, марганца и основности железорудного материала на фильтруемость продуктов плавки через коксовую насадку горна доменных печей // *Металлург*. 2015. № 11. С. 43–46.

OPTIMIZATION OF AGGLOMERATION BURDENS BY METALLURGICAL PROPERTIES COMPLEX

Report 2. Optimization of BF burden components by their complex high temperature properties

A. V. D'YAKOV, Director on Technology and Technical Items; M. F. VITUSHENKO¹, consultant;

A. A. ODINTSOV¹, 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;

A. YU. CHERNAVIN^{2,3}, Head of BF and metallization Lab.;

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 OOO “Promintekh NKA”, Russia, Sverdlovsk rgn., Ekaterinburg)

Abstract. Along with strength characteristics of agglomerated raw materials, its high temperature properties – the degree of reducibility, softening-smelting temperature and melt filterability through coke filling – have a great influence on technological indices of BF process. Knowledge of the properties change regularities is and actual task for through optimization of blast furnace burden composition aimed at BF smelting intensification.

Blast furnace burden composition influence on reducibility, temperature interval of softening-smelting, viscosity of intermediate slags, filterability heat products through coke filling and desulphurization ability of intermediate slags studied. Influence of BOF nickel slag additions on complex of high temperature properties of iron ore raw materials estimated.

Influence of pellets portion in BF burden on the process of BF slag filtration considered. It was shown, that increase of pellets portion in the burden results in slag filterability through coke filling decrease during the BF burden smelting.

A favorable role of BOF nickel slag in agglomeration and blast furnace processes of JSC “ArcelorMittal Temirtau” determined.

Analysis of the data obtained showed that Sulphur content in hot metal during slag sinter smelting depends practically only on intermediate slag basicity.

Range of main components content in the iron ore raw materials determined, as well as contents of sinter and blast furnace burdens of JSC “ArcelorMittal Temirtau”, having most favorable complex of high temperature properties and to a great extent meeting the requirements to the iron ore raw materials.

Key words: blast furnace burden; iron ore agglomerated raw materials; BOF nickel slag; iron ore raw materials high temperature properties; slag viscosity, reducibility and filterability of smelting products; slag desulphurization ability.

For citation: D'yakov A.V., Vitushenko M.F., Odintsov A.A., Koblelev V.A., Chernavin A. Yu., Nечкин G.A. Optimization of agglomeration burdens by metallurgical properties complex. Report 2. Optimization of BF burden components by their complex high temperature properties. *Chernaya metallurgiya. Byulleten nauchno-tehnicheskoy i ekonomicheskoy informacii = Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information*, 2018, no. 11, pp. 29–37. (In Russ.).

Doi: 10.32339/0135-5910-2018-11-29-37

REFERENCES

1. 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.).
2. Sabitov M.S. *Fiziko-khimicheskie issledovaniya i vnedrenie shlakovogo rezhima domennoi plavki okuskovannykh kontsentratorov Lisakovskogo GOKa: Avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk.* [Physical and chemical studies and implementation slag regime of BF smelting of Lisakovsk GOK agglomerated concentrates. Extended Abstract of Cand. Sci. Diss.]. Sverdlovsk, 1990, 24 p. (In Russ.).
3. Vanak A.A., Abramenko Yu.K., Pecherkin A.M., Sultanov N.E. Peculiarities of BF smelting when using iron ore raw materials of complicated composition of Central Kazakhstan. *Stal'*, 2007, no. 8, pp. 5–8. (In Russ.).
4. Dolinskii V.A., Nikitin L.D., Odintsov A.A., Domin K.I. Utilization of man-caused wastes at production of sinter and pig iron. *Izvestiya VUZov. Chernaya metallurgiya*, 2010, no. 8, pp. 41–44. (In Russ.).
5. Ereemeev N.A., Lysyuk A.Zh. An experience of industrial utilization of Yuzhno-Uralsk nickel plant BOF slag as a deoxidizer in BF shop of PAO ChMK. *Stal'*, 2018, no. 3, pp. 7. (In Russ.).
6. Puzanov V.P., Kobelev V.A. *Funktsional'nye svoystva zhelezorudnykh materialov* [Functional properties of iron ore materials]. Ekaterinburg: IVTs, 2015, 617 p. (In Russ.).
7. Puzanov V.P., Kobelev V.A. *Vvedenie v tekhnologii metallurgicheskogo strukturoobrazovaniya* [Introduction into technologies of metallurgical structure formation]. Ekaterinburg: UrO RAN, 2005, 501 p. (In Russ.).
8. Kobelev V.A., Puzanov V.P., Nechkin G.A. Temperature of iron ore sinter smelting. *Stal'*, 2015, no. 11, pp. 10–16. (In Russ.).
9. Puzanov V.P., Nechkin G.A., Kobelev V.A., Chernavin A.Yu. About irrigation intensity of coke filling and filterability of BF smelting products. *Chernaya metallurgiya. Byulleten nauchno-tehnicheskoy i ekonomicheskoy informacii = Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information*, 2011, no. 8, pp. 45–54. (In Russ.).
10. Puzanov V.P., Nechkin G.A., Onorin O.P., Kobelev V.A., Chernavin A.Yu. About irrigation density by smelting products of BF coke filling. *Stal'*, 2012, no. 4, pp. 7–15. (In Russ.).
11. Nechkin G.A., Kobelev V.A., Chernavin D.A., Chernavin A.Yu. *Fil'truemost' domennykh shlakov cherez koksovuyu nasadku gorna domennykh pechei* [Filterability of BF slags through coke filling of BF hearth]. *Trudy Mezhdunar. kongressa po aglo-kokso-domennomu proizvodstvu, Yalta, Ukraina, 21–25 maya 2012* [Proc. of the Int. Congress on sinter-coke-blast-furnace production, Yalta, Ukraine, May 21–25, 2012]. Yalta, 2012. (In Russ.).
12. Puzanov V.P., Nechkin G.A., Ptichnikov G.A., Kobelev V.A., Chernavin A.Yu. Foundation of BF counterflow coke filling operation. *Stal'*, 2012, no. 11, pp. 2–8. (In Russ.).
13. Nechkin G.A., Kobelev V.A. *Issledovanie mezhfaznykh protsessov, prokhodyashchikh na granitse razdela "koks-shlak"* [Study of interphase processes, occurring at "coke-slag" interface]. *Trudy Mezhdunar. nauchn. konf. "Fiziko-khimicheskie osnovy metallurgicheskikh protsessov"*, Moskva, 28–29 noyabrya 2012 [Proc. of the Int. scientific conf. "Physical and chemical bases of metallurgical processes", Moscow, November 28–29, 2012]. Moscow, 2012. (In Russ.).
14. Nechkin G.A., Kobelev V.A., Chernavin A.Yu. *Formirovanie domennoi shikhty s tsel'yu uluchsheniya fil'truemosti rasplava cherez koksovuyu nasadku gorna* [Forming of BF burden aiming at improving of melt filterability through hearth coke filling]. *Trudy VI Mezhdunar. kongressa po aglo-kokso-domennomu proizvodstvu "Problemy domennogo i smezhnykh proizvodstv v sovremennykh usloviyakh"*, Yalta, Ukraina, 20–24 maya 2013 [Proc. of the Int. Congress on sinter-coke-blast-furnace production "Problems of the blast-furnace and related productions in modern conditions", Yalta, Ukraine, May 20–24, 2013]. Yalta, 2013. (In Russ.).
15. Chernavin A.Yu., Nechin G.A., Chernavin D.A., Kobelev V.A., Filatov S.V. Simulation of burden materials behavior in the lower part of blast furnace. *Stal'*, 2010, no. 5, pp. 20–23. (In Russ.).
16. Nechkin G.A., Kobelev V.A., Chernavin A.Yu., Chernavin D.A. Influence of oxides of magnesium, manganese and iron ore material basicity on filterability of smelting products through BF hearth coke filling. *Metallurg*, 2015, no. 11, pp. 43–46. (In Russ.).