

**В.Ф.Мороз, Д.Н.Тогобицкая, Н.М.Можаренко, А.С.Нестеров,
А.И.Белькова, Д.А.Степаненко**

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА И СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ ГАРНИСАЖА НА ЕГО ОБРАЗОВАНИЕ И СТОЙКОСТЬ

Целью исследования является изучение влияния состава шлакообразующих компонентов гарнисажа на его теплофизические свойства, взаимодействие с футеровкой печи и устойчивость. Установлена связь интегральных параметров межатомного взаимодействия с теплофизическими свойствами гарнисажа и параметрами его взаимодействия с футеровкой в виде полуэмпирических моделей. Оценено влияние окатышей на устойчивость гарнисажа.

Гарнисаж, теплофизические свойства, футеровка печи, окатыши.

Современное состояние и постановка вопроса. Стойкость огнеупоров в шахте доменной печи составляет 2,5–3 года, в горне и лещади – 10–12 и более лет [1]. Стойкость футеровки шахты доменной печи зависит от многих факторов – качества огнеупорных материалов, их абразивного износа шихтовыми материалами, вида, соотношения и распределения шихтовых материалов по радиусу печи, состава газовой среды, термических напряжений, состава первичных шлаков, конструктивных особенностей печи, технологических особенностей ведения доменной плавки и ряда других факторов. Одним из способов противодействия разрушению кладки является наращивание на футеровку печи гарнисажа, который представляет собой сплавленную с кладкой печи массу, состоящую из железорудных материалов, флюса, кокса и продуктов их восстановления и расплавления – шлаков и металлической фазы [2].

Гарнисаж защищает огнеупорную кладку и холодильники от быстрого износа и уменьшает потери тепла через стенку печи. Он должен быть устойчивым, так как его оползание в горн печи нарушает ее тепловое состояние, вызывает похолодание печи, ухудшение жидкоподвижности шлаков, загромождение горна и зачастую вызывает массовый прогар воздушных фурм, что влечет за собой расстройство печи и ухудшение ее технико-экономических показателей. По условиям образования гарнисажи подразделяют на массообменные и металлургические. Массообменные гарнисажи представляют собой интенсивно перерожденный слой футеровки, образовавшийся в результате массообмена и химического взаимодействия между огнеупором и реагентами доменной плавки, причем по этой причине между огнеупором и гарнисажем нет четкой границы. Металлургические гарнисажи имеют с футеровкой резкую пористую границу раздела. Наличие в них металла, кокса, извести и других составляющих свидетельствуют о том, что гарнисаж возникает вследствие взаимодействия материалов доменной плавки и их адгезии к поверхности огнеупо-

ров, в которых практически не наблюдается изменений минерального состава.

Процессы износа футеровки и ее разрушения отличаются в различных зонах печи [3]. Исследованиями причин износа и визуальным осмотром состояния профиля печей после выдувки на капитальные ремонты I разряда установлено, что в верхней части шахты футеровка истирается опускающимися шихтовыми материалами и периферийными потоками колющего газа, содержащего значительное количество пыли. При использовании в шихте окатышей истирание усиливается за счет их высокой абразивности и разбухания, что обеспечивает развитие значительного распирающего давления и разрушения с образованием мелочи, обуславливающего дополнительное абразивное воздействие. Гарнисаж заплечиков, распара и нижней части шахты имеют слоистое строение. Толщина гарнисажа увеличивается с понижением вертикального давления столба материалов и уменьшается с его повышением. Для уменьшения скорости разрушения огнеупорной кладки и холодильников печи, сохранения гарнисажа перепад давлений газа между серединой шахты и уровнем засыпи необходимо поддерживать постоянным и достаточным для уравнивания 40–45 % полного давления столба материалов [4].

Состав и физико-химические свойства гарнисажа различаются как по высоте горизонтов образования, так и по толщине наслоений. Так в работе [5] при исследовании свойств гарнисажа печей №3 и №7 комбината «Криворожсталь» установлено, что гарнисаж нижних горизонтов (распар, заплечики) менее тугоплавки и более склонны к оползанию. Гарнисажи более высоких горизонтов (средняя часть шахты) более тугоплавки, а следовательно и долговечны. Температуры плавления и размягчения гарнисажей, отобранных на разных горизонтах, повышаются по мере удаления от кладки к рабочей поверхности печи [5].

Практика доменного производства [6, 7] показывает, что стойкость футеровки и образование гарнисажа зависит от соотношения проплавленных железорудных материалов – агломерата, окатышей и руд. Так, при замене сырых руд и агломерата неофлюсованными окатышами отмечается ускорение износа футеровки и перемещение области ее наибольшего износа в нижнюю часть шахты, распар и заплечики, что связывается с отсутствием в тех местах устойчивого гарнисажа. Одной из причин отсутствия устойчивого в температурном отношении гарнисажа при плавке неофлюсованных окатышей в смеси в высокоосновном агломератом считают неодновременное протекание процессов образования шлака из окатышей и агломерата, неблагоприятные физико-химические свойства первичных шлаков и перемещение зоны массового шлакообразования в нижнюю часть заплечиков. В этом случае получить устойчивый гарнисаж возможно при условии сближения областей образования шлака из окатышей и агломерата за счет выравнивания их основностей.

Увеличение содержания окатышей в периферийной зоне печи приводит к образованию неустойчивого гарнисажа, к повышенному износу футеровки шахты и увеличению тепловой нагрузки на систему охлаждения, к прогару воздушных фурм [8]. Поскольку окатыши по сравнению с агломератом образуют значительно более легкоплавкий гарнисаж, не следует допускать их значительных скоплений в периферийной зоне печи [7].

Одной из причин образования гарнисажа (инициатором зарождения) часто считают наличие щелочных соединений. Возгонка щелочных соединений и последующая их циркуляция в печи приводят к накоплению значительного количества щелочей в гарнисаже и кладке шахты доменной печи [9]. В результате циркуляции в печи щелочи попадают в гарнисаж с веществами, участвующими в его формировании, и накапливаются в нем до концентрации, равновесной с их содержанием в газовом потоке соответствующего горизонта рабочего пространства печи [10].

Максимальное содержание $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ наблюдается в районе распара и верха заплечиков доменных печей, при этом содержание K_2O в большинстве случаев превышает содержание Na_2O . Насыщенность гарнисажа щелочами в основном соответствует изменению содержания железа и углерода, достигая максимума (13,5 – 15,8 %) в верхней части заплечиков. Содержание щелочей по мере удаления от рабочего наружного слоя гарнисажа растет, достигая максимальных значений на границе с кладкой и в самой кладке.

Наиболее сильное воздействие на устойчивость гарнисажа оказывает периферийный газовый поток. Как правило, его оползание происходит при снижении CO_2 и увеличении температуры газового потока в колошниковом газе [10]. При этом, в результате оползания гарнисажа происходит рост содержания щелочей в конечных шлаках и, как показано в [10], доля K_2O в общем количестве щелочей может быть индикатором состояния гарнисажа в печи: в условиях комбината «Криворожсталь» отношение $\text{K}_2\text{O}/(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})=0,5$ в конечных шлаках свидетельствует о стабильности гарнисажа, рост этого отношения до 0,6 и выше говорит об оползании (разрушении) гарнисажа.

В начальный момент при задувке печи после капитального ремонта II разряда гарнисаж в шахте практически отсутствует. Необходимым условием его образования является условие $T_{\text{п}} < T_{\text{г}}$, где $T_{\text{п}}$ и $T_{\text{г}}$ температуры внутренней поверхности кладки и периферийных газов [11].

Температура периферийных газов изменяется в широких пределах по высоте печи, при этом на одном горизонте температура не только на различных печах, но и на одной и той же печи может колебаться в пределах нескольких сотен градусов, что объясняется непостоянством технологических условий работы печи.

Продолжительность службы огнеупорной футеровки в нижней части шахты доменной печи может быть увеличена при выполнении условий,

обеспечивающих образование гарнисажа: $\lambda_{\phi} > 32L_{\phi}$ и $\bar{\alpha}_2 \leq 320$ ккал/(м²·ч·град), где λ_{ϕ} – теплопроводность футеровки, ккал/(м²·ч·град); L_{ϕ} – толщина футеровки, м; $\bar{\alpha}_2$ – коэффициент теплопередачи от поверхности кладки к охлаждающей среде.

В общем случае гарнисаж можно уподобить динамической системе, включающей в себя футеровку, систему охлаждения и, естественно, процессы в пристенной зоне периферии. Поэтому, исходя из вышеизложенного, для обеспечения условий образования гарнисажа и регулирования его размеров (толщины) и стойкости необходимы знания его теплофизических свойств, параметров взаимодействия шлаковых расплавов (глубины их проникновения) с огнеупорами, т.е. влияния состава шихтовых материалов на процессы гарнисажеобразования.

Целью исследования является изучение влияния состава шлакообразующих компонент гарнисажа на его теплофизические свойства, взаимодействие с футеровкой печи и устойчивость.

Изложение основных материалов исследования. В работах [12–14] приведены экспериментальные данные по теплофизическим свойствам гарнисажей, отобранных на доменных печах различных заводов. В табл. 1 представлен химический состав гарнисажей, из которых следует, что в их состав входят щелочи, суммарное количество которых изменяется от 6 до 30 %, металлическое железо – от 1 до 45 %, углерод – от 7 до 28 % и шлакообразующие элементы. Анализ межатомного взаимодействия в шлаковой составляющей, включая и оксиды щелочных металлов, показал, что интегральные параметры, рассчитанные по модели оксидных (шлаковых) [15] расплавов d , Δe , $\text{tg}\alpha$ и ρ_o тесно связаны с теплофизическими свойствами материалов гарнисажей (табл. 2).

С учетом параметров структуры оксидных расплавов и температуры получены уравнения для описания теплофизических свойств в широком температурном интервале:

$$C = -16,67d + 6,66\Delta e + 151,41\text{tg}\alpha + 18,01\rho_o - 0,00195t \quad r=0,90 \quad (1)$$

$$\lambda = 56,07d - 24,8\Delta e - 83,75\text{tg}\alpha - 122,51\rho_o + 0,0049t \quad r=0,99 \quad (2)$$

$$a \cdot 10^7 = 137,53d - 45,47\Delta e - 843,44\text{tg}\alpha - 221,46\rho_o - 0,0106t \quad r=0,99 \quad (3)$$

$$I_{500} = 1153 + 185,84\Delta e - 2144,7\rho_o + 0,2675t \quad r=0,90 \quad (4),$$

где C – теплоемкость, λ – теплопроводность, a – температуропроводность, I – теплопотребление.

Учитывая то, что для получения вышеприведенных моделей для расчета параметров межатомного взаимодействия использованы только шлакообразующие составляющие, результаты расчетов теплофизических свойств по полученным моделям можно применять только для прогнозной оценки изменения этих свойств.

Таблица 1. Химический состав гарнисажей, отобранных в различных участках печи

Na ₂ O	K ₂ O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	Fe мет.	FeO	Fe ₂ O ₃	C	CaS	Источ.
8,43	8,43	7,5	1,45	12,18	1,28	0,52	30,74	1,88	0,4	13,63	1,53	[12]
7,5	7,5	24,11	2,86	24,2	2,58	2,05	12,62	1,48	0,19	13	2,79	
6,6	6,6	17,16	3,29	21,24	1,48	1,69	12,65	2,89	0,38	23,58	1,91	
8,3	8,3	35,5	0,79	1,84	6,16	0	0,84	1,07	0	38,3	2,03	[12,13]
15,25	15,25	12,83	4,54	14,1	2,62	0	10,4	6,32	0	17,9	1,77	
13,15	13,15	6,87	1,54	7,9	0,52	0	4,87	36,3	0	14,75	1,67	
2,85	2,85	14,65	2,12	15,63	1,57	0	38,9	11,58	2,09	7,32	0,97	
13,15	13,15	15,45	3,21	15,4	2,08	0	4,92	21,06	0	13,05	2,90	
7,19	7,19	20,21	3,88	25,03	1,75	1,99	14,9	3,4	0,45	27,76	2,25	[14]
12,53	12,53	11,14	2,15	18,1	1,9	0,77	45,67	2,79	0,6	20,26	2,27	
8,1	8,1	27,9	3,31	28	2,99	2,37	14,6	1,71	0,22	15,04	3,24	

Таблица 2. Теплофизические свойства гарнисажей при 500⁰С

ρ, кг/м ³	L, кДж/кг	C, кДж/кг·град	L _г , Вт/м·град	L _ж , Вт/м·град	L _ж , м ² /с	α·10 ⁻¹ , нм	Δε, ε	tgα	ρ	Источ.
1120	233	0,466	0,275			2,95	2,438	0,133	0,765	[12]
1310	218	0,437	0,372			2,909	2,642	0,128	0,708	
1410	229	0,457	0,407			2,924	2,572	0,128	0,729	
	229	0,448	0,386			2,924	2,572	0,128	0,729	[14]
	254	0,49	0,296			2,95	2,437	0,133	0,765	
	196	0,4	0,427			2,909	2,641	0,128	0,708	
2116	682	1,36		0,394		3,022	3,959	0,116	0,582	[12,13]
1650	111	0,223		0,936		3,006	2,784	0,131	0,739	
2380	78	0,156		0,408		3,405	3,997	0,105	0,865	
1915	193	0,386		0,806		3,122	3,214	0,121	0,743	
3080	94	0,188		0,872		3,175	3,319	0,119	0,773	

Следует отметить, что плотность гарнисажей изменяется в тех же пределах, что и плотность шлаковых расплавов и описывается уравнением:

$$\gamma = -17513,3 + 15805,12d - 3051,62\Delta e - 33722,1t\alpha - 20867,3\rho_0 \quad r=0,86 \quad (5)$$

Стойкость футеровки шахты, особенно в нижней ее части, и образования на ней гарнисажа зависит от взаимодействия шлаковых расплавов с огнеупорами. Одной из характеристик этого взаимодействия является величина глубины проникновения шлака в огнеупор. В работах [16–18] исследовано взаимодействие шамотной футеровки с первичными шлаками и шлаками, образующимися при расплавлении агломерата, окатышей и их смеси. Анализ приведенных в указанных работах экспериментальных данных (табл.3,4) показал наличие связи величины проникновения расплавов различных железорудных материалов в шамотные огнеупоры с интегральными параметрами этих расплавов в виде зависимости:

$$l = 0,00268 t + 107,78d + 44,58\Delta e - 982,98t\alpha - 139,61\rho_0 \quad r=0,904 \quad (6)$$

Таблица 3. Содержание шлакообразующих компонентов в различных железорудных материалах и их интегральные параметры

	FeO	CaO	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	<i>d</i>	Δe	t α	ρ
Окатыши	1,5	3,7	5	0,26	0,43	2,99	-3,16	0,119	0,679
Агломерат	12,8	8,2	5,1	2,2	0,95	3,34	-3,569	0,122	0,837
Агломерат лаборат.	16,6	8,6	7,8	2	1,45	3,34	-3,75	0,117	0,804
Руда	6,2	3,07	27,2	0,36	0,42	3,09	-4,368	0,098	0,575
90% агломерата + 10% руды	12,18	7,68	7,31	2,1	0,9	3,31	-3,672	0,12	0,792
65% агломерата + 45% окатышей	7,2	5,65	5,05	1,28	0,72	3,26	-3,529	0,121	0,784

Влияние окатышей на стойкость кладки и гарнисажа обычно связывают с различными температурами расплавления окатышей и агломерата.

С использованием системы контроля и управления шлаковым режимом доменной плавки в режиме прогноза состава и свойств продуктов плавки [19] рассчитано изменение температур плавления первичных и конечных шлаков при изменении доли окатышей в шихте ДП№9 ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог». Доля окатышей в шихте изменялась от 0 до 70%. Как видно из табл.5 и рисунке температуры плавления первичных и конечных шлаков с увеличением доли окатышей в шихте уменьшаются, причем для конечных шлаков темп этих изменений больше, что приводит к тому, что при содержании окатышей 45–50% эти температуры равны. Такое состояние будет способствовать перемещению области жидких фаз

в верхние горизонты печи, что повлечет за собой похолодание в горне и снижение устойчивости гарнисажа в нижних горизонтах шахты печи.

Таблица 4. Зависимость глубины проникновения расплавов различных материалов от температуры

№	t, °C	l _з , мм	l _р , мм
1	1325	2	5,10
3	1325	0,5	0,60
5	1325	0,2	-0,43
6	1325	2	1,01
1	1400	9	7,11
2	1400	0,2	1,05
3	1400	1,75	2,61
4	1400	0,1	-0,27
5	1400	1,25	1,58
6	1400	5,5	3,02
2	1445	1,5	2,25
4	1445	0,5	0,93

Таблица 5. Изменение температуры плавления первичных и конечных шлаков в зависимости от содержания окатышей в шихте

Содержание окатышей	Тпл.пер., °C	Тпл.кон., °C	Тнкр.кон., °C	ΔТ ₁ , °C
0	1265	1314	1369	55
10	1245	1285	1352	67
14	1233	1269	1342	73
20	1224	1255	1334	79
30	1202	1223	1315	92
40	1179	1190	1296	106
45	1170	1175	1288	113
55	1145	1140	1267	127
60	1129	1118	1254	136
70	1102	1078	1231	153

В промышленных условиях способ создания гарнисажа в шахте доменной печи предлагается реализовать следующим образом. В обычном режиме плавка ведется на доменной пече, футерованными шамотной или карбидкремниевыми огнеупорными материалами. Для создания гарнисажа на нижнем горизонте шахты печи, оборудованной вертикальными плитовыми холодильниками и футерованной шамотными огнеупорными материалами, систему загрузки необходимо организовать таким образом, чтобы, в пристенной зоне образовалась смесь руды, окатышей и агломерата в соотношении примерно (10–15) : (0–15) : (60–90) соответственно. Для печей оборудованных горизонтальными стальными или медными

плитовыми холодильниками, футерованными высокотеплопроводными огнеупорными материалами, например, карбидкремневыми, систему загрузки необходимо изменить таким образом, чтобы в пристенной зоне образовалась смесь руды, окатышей и агломерата в соотношении примерно (10–15) : (5–25) : (60–85) соответственно. Такую загрузку необходимо осуществлять в каждую подачу цикла загрузки в течение 36–72 часов.

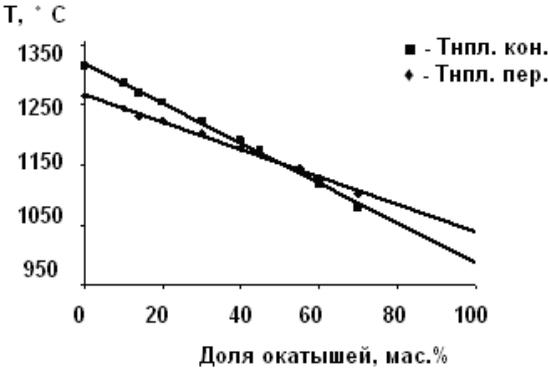


Рисунок. Изменение температур плавления первичных и конечных шлаков в зависимости от содержания окатышей в железорудной части шихты.

В этот же период целесообразно периодически с заданной дискретностью понижать теоретическую температуру на 30–80°С от базового уровня. При смешивании в пристенной зоне руды с агломератом и окатышами в заданных пропорциях производят уменьшение массы агломерата в головной части порции. Предложенный регламент опробован на доменной печи объемом 2002 м³, оборудованной стальными вертикальными плитовыми холодильниками, шамотной футеровкой и скиповой загрузкой с конусным засыпным аппаратом [20]. Цикл загрузки состоял из пяти подач по два скипа в каждой. Система загрузки показана в табл.6.

Таблица 6. Система загрузки доменной печи при работе в обычном режиме

Подачи	Расход шихты, т				
	Первый скип			Второй скип	
	Агломерат	Руда	Конвертерный шлак	Окатыши	Агломерат
1		2	0	12	7
2	16,5	0	2,5	12	7
3	19	0	0	12	7
4	18	0	0	12	7
5	19	0	0	12	7
6	17	2	0	12	7
7	16,5	0	2,5	12	7
8	19	0	0	12	7
9	19	0	0	12	7
10	19	0	0	12	7

При проектной норме тепловой нагрузки в шахте печи на 2–3 ряд плитовых холодильников 583200 ккал/час печь работала с тепловой нагрузкой 550800 ккал/час. Периодически происходило повышение тепловых нагрузок на данном горизонте шахты, сопровождающееся сползанием гарнисажа. Для восстановления гарнисажа на данном горизонте шахты систему загрузки железорудных материалов изменяли таким образом, чтобы в каждую подачу цикла загрузки (табл.7) соотношение руды и агломерата находилось в соотношении 5,6% : 94,4%. Для улучшения смешивания руды с агломератом и попадания смеси на периферию руду подавали в первый скип на агломерат. В этот же период теоретическую температуру горения периодически снижали на 30–80⁰С от базового уровня. Поскольку доменная печь – инерционный агрегат, тепловая нагрузка на холодильниках шахты некоторое время продолжала расти и достигла величины 610500 ккал/час. Через сутки после установки предлагаемой системы загрузки тепловые нагрузки стабилизировались и начали снижаться, достигая нормы через 2 суток.

Таблица 7. Система загрузки доменной печи с созданием гарнисажа в шахте

Подачи	Расход шихты, т				
	Первый скип			Второй скип	
	Агломерат	Руда	Конвертерный шлак	Окагыши	Агломерат
1	18	1	0	12	7
2	15.5	1	2.5	12	7
3	16	1	0	12	7
4	18	1	0	12	7
5	18	1	0	12	7
6	18	1	0	12	7
7	15.5	1	2.5	12	7
8	18	1	0	12	7
9	18	1	0	12	7
10	18	1	0	12	7

Выводы.

Выявлено влияние состава шлакообразующих компонентов гарнисажа на его теплофизические свойства, взаимодействие с футеровкой печи и его устойчивость. Для прогнозной оценки теплофизических свойств гарнисажа, глубины проникновения шлаковых расплавов в шамотный огнеупор разработаны полуэмпирические модели на основе их параметров межатомного взаимодействия. Показано на конкретных примерах, что увеличение доли окагышей в шихте снижает устойчивость гарнисажа.

1. Шуляк Р.С. Влияние синтетического первичного шлака на разрушение огнеупоров для шахт доменных печей / Р.С.Шуляк, Н.В.Питак, Р.М.Федорук [и др.] // Огнеупоры. – 1980. – № 1. – С.37–42.
2. Волков Ю.П. Технолог доменщик. Справочное и методическое руководство. / Ю.П.Волков, Л.Я.Шпарбер, А.К.Гусаров. – М. : Metallurgia, 1986. – 263 с.
3. Жеребин Б.Н. Служба огнеупоров в футеровке доменных печей / Б.Н.Жеребин // Новые огнеупоры. – 2003. – № 9. – С. 8–12.
4. Бабарыкин Н.Н. Причины изменения стойкости шахты доменных печей ММК / Н.Н.Бабарыкин, Г.В.Горбунов // Сталь. – 1981. – № 6. – С.7–12.
5. Чернов Н.Н. Исследование свойств гарнисажа доменных печей комбината «Криворожсталь» / Н.Н.Чернов, Т.В.Демиденко, Л.А. Сафина [и др.] // Сталь. – 1990. – № 4. – С.8–10.
6. Жило Н.Л. О причинах ускоренного износа кладки и холодильников доменных печей ММК / Н.Л.Жило, Р.Ф.Першина, А.А.Белова // Сталь. – 1977. – №4. – С.300–304.
7. Мардер Б.Ф. Стойкость огнеупорной кладки доменных печей, расположенной выше уровня воздушных фурм / Б.Ф.Мардер, И.Б.Почекайло, Л.А.Сафина // Metallургическая и горнорудная промышленность. – 1989. – № 3. – С.10–13.
8. Антипов Н.С. Опыт эксплуатации доменной печи объемом 3200м³ НЛМК / Н.С.Антипов, Э.А.Шепетовский, Н.М.Можаренко [и др.] // Metallургическая и горнорудная промышленность. – 1985. – № 4. – С.3–4.
9. Чернов Н.Н. О распределении щелочных соединений по высоте доменной печи и их влияние на устойчивость гарнисажа // Н.Н.Чернов, Т.В.Демиденко, Л.А.Сафина [и др.] // Metallургическая и горнорудная промышленность. – 1987. – № 1. – С.15–16.
10. Чернов Н.Н. Контроль состояния гарнисажа доменных печей / Н.Н.Чернов, Б.Ф.Мардер, П.В.Демиденко [и др.] // Metallург. – 1987. – № 9. – С.14–15.
11. Пляшкевич А.С. Теплотехнический анализ оптимального соотношения параметров футеровки и системы охлаждения шахты доменной печи / А.С.Пляшкевич, К.К.Стрелов, А.С. [и др.] // Сталь. – 1976. – № 3. – С.209–213.
12. Ильченко К.Д. Теплофизические свойства промышленных материалов. Справочник / [К.Д.Ильченко, В.В.Чеченов, В.П.Ивашенко и др.] –Днепропетровск : Січ, 1999. – 152 с.
13. Ильченко К.Д. Исследование теплофизических свойств доменных гарнисажей / К.Д.Ильченко, Ю.И.Розенгарт, Р.Л.Берман // Metallургическая и горнорудная промышленность. – 1979. – № 1. – С.38–39.
14. Ильченко К.Д. Исследование теплофизических характеристик некоторых дисперсных материалов / К.Д.Ильченко // Metallургия и коксохимия. – 1970. – № 21. – С.82–85.
15. Приходько Э.В. Физико–химическая модель структуры шлаковых расплавов / Э.В.Приходько // Сталь. – 1990. – № 10. – С.14–22.
16. Нестеров А.С. Взаимодействие первичных шлаковых расплавов с оксидными огнеупорными материалами доменного производства / А.С.Нестеров, В.И.Большаков // Metallургическая и горнорудная промышленность. – 2005. – №1. – С.8–11.
17. Большаков В.И. Влияние химического состава и свойств железорудных материалов на характер формирования гарнисажных масс / В.И.Большаков, А.С.Нестеров, Н.М.Можаренко [и др.] // Сталь. – 2009. – № 4. – С.7–11.

18. *Нестеров А.С.* Влияние первичных шлаковых и металлоуглеродистых расплавов на стойкость футеровки нижней части шахты доменных печей / А.С.Нестеров, В.И.Большаков, Н.М.Можаренко [и др.] // Международная научно-техническая конференция «Технология и применение огнеупоров и технической керамики в промышленности». 23–24 апреля 2008. Тез. докл. – Харьков : Каравелла. – 2008. – С.26–28.
19. Пат. 2251575 Российская Федерация. Опубл.10.05.2005. Бюл. № 13.
20. *Тогобицкая Д.Н.* Автоматизированная система контроля и управления шлаковым режимом доменной плавки / Д.Н.Тогобицкая, П.И.Оторвин, А.И.Белькова // *Металлург.* – Москва. – 2004. – № 4. – С.43–46.

*Статья рекомендована к печати
докт .техн. наук, проф. Э.В. Приходько*

***В.Ф.Мороз, Д.М.Тогобицкая, М.М.Можаренко, О.С.Нестеров, А.І.Белькова,
Д.О.Степаненко***

Вплив складу й властивостей матеріалів гарнісажа на його утворення й стійкість

Метою дослідження є вивчення впливу складу шлакоутворюючих компонентів гарнісажа на його теплофізичні властивості, взаємодію з футерівкою печі та стійкість. Встановлено зв'язок інтегральних параметрів міжатомної взаємодії з теплофізичними властивостями гарнісажа та параметрами його взаємодії з футерівкою у вигляді напівемпіричних моделей. Оцінено вплив окатишів на стійкість гарнісажа.