

Д.Н.Тогобицкая, А.И.Белькова, Н.А.Гладков, А.С.Скачко

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ЦЕЛЬЮ НАПРАВЛЕННОГО ФОРМИРОВАНИЯ ЖИДКИХ ПРОДУКТОВ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ

Целью работы является анализ существующих подходов к оценке качества железорудных материалов. Разработан обобщенный показатель доменной шихты, включающий наиболее значимые металлургические свойства агломератов и окатышей и определяющий уровень их восстановления, образования жидких фаз и формирования конечных продуктов плавки. Изложена методика построения комплексного показателя шихты с использованием обобщенной функции желательности Харрингтона для конкретных условий работы доменной печи.

железорудные материалы, доменная шихта, окатыши, жидкие фазы, плавка, обобщенные функции желательности Харрингтона, доменная печь

Состояние проблемы. Обеспечение шлакового режима для экономичного ведения доменной плавки и получения качественного чугуна требует подбора соответствующих шихтовых условий, оптимизации состава железорудного сырья по комплексу его металлургических свойств.

В результате выполненных ранее исследований и анализа физико-химического состояния железорудных материалов в различных зонах доменной печи были выявлены критерии [1], характеризующие физико-химические и технологические свойства шихтовых материалов, позволяющие получить не только обобщенное описание ионообменных процессов по мере развития процесса доменной плавки и формирования соответственно первичных, промежуточных и конечных расплавов, но и описывать процессы распределения элементов шихты между конечными продуктами плавки в зависимости от конкретных сырьевых и технологических условий. При этом для оценки влияния шихтовых условий на формирование продуктов плавки использовались интегральные физико-химические параметры шлаковой связки железорудных материалов (без содержания Fe_2O_3 и FeO) ρ и Δe [2], определяющие активность и направленность переходных процессов перераспределения элементов, и не учитывались показатели металлургических свойств агломератов и окатышей, в значительной степени определяющих образование и свойства жидких фаз, предопределяющих формирование конечных продуктов плавки.

Описать поведение железорудных материалов в процессе их восстановительно-тепловой обработки возможно путем разработки обобщенного показателя, который позволит аналитически прогнозировать характер и показатели формирования расплавов из различных железорудных материалов и на их основе оптимизировать свойства и физико-химическое состояние жидких фаз, обеспечивающих выплавку чугуна заданного качества с минимальными энергозатратами.

Постановка задачи. Традиционно в качестве показателей для оценки качества железорудного сырья используют: содержание железа, тип основного железосодержащего минерала, состав и свойства пустой породы, наличие полезных и вредных примесей, стабильность химического состава, прочность.

По химическому составу основными показателями качества являются содержание железа, кремнезема, фосфора, марганца, алюминия, серы, титана, кальция и магния, меди, фосфора, натрия и калия, мышьяка, свинца и цинка. При оценке металлургической ценности сырья также используют следующие соотношения компонент – модули: кальциевый (основность) $M_{Ca} = CaO/SiO_2$, магнетитовый $M_{Fe} = FeO/Fe_{общ}$, глиноземный $M_{Al} = Al_2O_3/SiO_2$, магнизиальные - $M_{MgO} = MgO/SiO_2$ [3] и MgO/FeO , горячей прочности $M_{гп} = 1,43(Fe_{общ} - 2,33 FeO)$, микроструктуры

$$M_M = 1,29 \cdot \frac{Fe_{общ}}{FeO} \cdot \frac{CaO}{SiO_2} \quad [4]; \quad \text{различные отношения: } Fe_{общ}/SiO_2,$$

$$MgO/Fe_{общ}, \frac{CaO + MgO + Al_2O_3}{MnO + SiO_2 + FeO + Fe_2O_3} \quad [5] \text{ и др.}$$

В Московском Институте стали и сплавов разработаны и предложены для использования в качестве основы для сертификации железорудного доменного агломерата [6] интегральные показатели химического состава агломерата $I_{ха}$ и его металлургических свойств $I_{ма}$, определяемые по формулам:

$$I_{ха} = 1,276 \cdot x_1^{1,032} \cdot x_2^{-0,019} \cdot x_3^{0,105} \cdot x_4^{0,098},$$

$$I_{ма} = 3,002 \cdot f_1^{0,923} \cdot f_2^{0,014} \cdot f_3^{-0,055},$$

где x_1, x_2, x_3 – массовая доля $Fe_{обс}$, FeO , SiO_2 , %, x_4 – основность агломерата CaO/SiO_2 ; f_1, f_2 – горячая прочность на удар и истирание по ГОСТ 19575-84, %, f_3 – восстановимость по ГОСТ 19575-84, %.

В Институте черной металлургии (ИЧМ) совместно с сотрудниками ОАО «Северсталь» для определения металлургической ценности доменного железорудного сырья разработан комплексный показатель качества

$$PK = \sum_{i=1}^9 (F_i \cdot V_i), \quad \text{где } F_i \text{ и } V_i \text{ – соответственно составляющие показателя и}$$

соответствующие им баллы, определяющиеся исходя из прогнозного расхода кокса на 1 тонну чугуна и учитывающие влияние содержания железа в сырье, основности и основные свойства сырья и первичного расплава [7].

Для оценки качества железорудных материалов в ИЧМ также разработан и широко используется критерий $K^{жкм}$, позволяющий прогнозировать параметры плавки и осуществлять рациональное распределение материалов по сечению печи [8]:

$$K_R^{\text{ж.м.}} = \frac{\text{Fe}_{\text{общ}}}{\Sigma \text{O}} \cdot \frac{R^{1050}/R^{800}}{\text{FeO}_{\text{пш}}} \cdot \frac{T_{\text{к.т.}}}{T_{\text{п.ф.}}} \cdot \frac{1}{\rho/\text{tg}\alpha} \cdot B_{+5}$$

Выбор показателей для разработки интегрального показателя шихты с целью направленного формирования продуктов доменной плавки с требуемыми свойствами. В литературе широко представлены результаты исследований влияния качества железорудного сырья на технико-экономические показатели доменной плавки [9–14]. В конкретных сырьевых условиях устанавливается количественная оценка влияния отдельных показателей сырья (основности агломерата, прочности и т.д.) на производительность, расход кокса, степень использования газа и прямого восстановления. При этом анализируются влияние свойств сырья на формирование и размеры вязко-пластичной зоны плавления, свойства первичного расплава. В то же время оценка влияния шихтовых условий на показатели конечных продуктов плавки рассматривается на качественном уровне без соответствующих количественных зависимостей.

В работе проанализировано большинство из представленных выше показателей качества агломератов и окатышей с позиции их влияния на процессы распределения элементов шихты в системе «чугун–шлак» и формирование конечных составов продуктов плавки.

В частности для условий работы ДП№9 ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» составлена выборка фактических данных выпусков чугунов, соответствующих показателей загружаемой шихты, свойства для которой были определены с использованием свойств агломератов и окатышей, рассчитанных по прогнозным моделям на основе параметров межатомного взаимодействия в оксидных системах [2] (табл.1). Для смеси агломератов с окатышами, т.е. для интегральной шихты рассчитывались следующие средневзвешенные свойства: прочность по выходу кондиционной фракции плюс 5 мм (X_{+5} , %); истираемость по выходу класса 0,5–0 мм ($X_{0,5}$, %); степень восстановления ($R_{\text{св}}$, %) и металлизации ($\omega_{\text{св}}$, %) при 800⁰С (по ГОСТ 19575-84) и при 1050⁰С, усадка слоя (ΔH , %), перепад давления газового потока (ΔP , Па) при восстановлении слоя под нагрузкой (по ГОСТ 21707-76), а также определены количество FeO в первичном шлаке, температура начала образования и фильтрации жидких фаз через коксовую насадку ($T_{\text{н.ф.}}$) и температура капельного течения расплава ($T_{\text{м.ф.}}$).

Кроме того, для каждой загрузки определены наиболее важные соотношения оксидов и свойств, указанных выше, с целью поиска значимых зависимостей, оказывающих влияние на формирование конечных продуктов плавки (табл.2).

Таблица 1. Показатели загружаемой шихты, соответствующей выпуску чугуна в условиях работы ДПП-9 ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог»

Выпуск	Коэффициенты распределения элементов				Содержание в чу-гуне		Химический состав шихты										Химич. экв-т состава	Стехиометрия
	Ls	Lsi	Lmn	Lfe	[Si]	[S]	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	S	FeO	Fe ₂ O ₃	Fe _{о6}	Δε		
8906	48	33	0,76	0,00255	1,18	0,031	10,37	1,8	11,24	1,36	0,26	0,38	9,08	65,18	52,97	-3,232	0,752	
8913	53	48	0,77	0,00286	0,8	0,028	10,3	1,71	11,43	1,34	0,27	0,38	9,17	65,07	52,96	-3,226	0,755	
8916	68	36	0,77	0,00234	1,05	0,022	10,28	1,86	11,18	1,31	0,27	0,36	9,18	65,23	53,09	-3,238	0,753	
6784	87	42	0,68	0,00213	0,9	0,016	10,17	1,78	11,01	1,48	0,38	0,34	9,05	65,41	53,16	-3,261	0,754	
4449	35	76	1,66	0,00338	0,53	0,034	10,93	1,64	11,75	1,32	0,36	0,32	8,25	64,84	52,35	-3,191	0,746	
4558	86	37	0,58	0,00266	1,02	0,015	10,6	1,78	11,9	1,09	0,42	0,35	8,99	64,37	52,51	-3,202	0,752	
4628	31	107	1,17	0,00242	0,37	0,044	10,46	1,52	11,68	1,42	0,45	0,3	7,39	65,90	52,71	-3,145	0,748	

Таблица 2. Рассчитанные свойства и соотношения элементов загружаемой шихты в соответствии с таблицей 1

Выпуск	Рассчитанные свойства шихты				Свойства первичного шлака		Показатели качества			Рассчитанные показатели шихты						
	X ₊₅	R ₈₀₀	R ₁₀₅₀	□H	□P	Γ _{пф}	Γ _{кт}	FeO	K ^{жм}	ПК	Fe _{о6} /□O	Al ₂ O ₃ /SiO ₂	Γ _{кт} /Γ _{пф}	FeO/(-□e/□□H	□P/□H	R ₁₀₅₀ /R ₈₀₀
8906	63,53	31,46	71,63	28,01	39,58	1348	1498	21,4	31,95	17,97	2,456	0,174	1,111	4,993	1,41	2,28
8913	62,77	31,87	71,51	27,94	40,17	1350	1498	20,8	33,17	18,15	2,456	0,166	1,110	4,885	1,44	2,24
8916	62,75	31,88	71,49	28,02	40,29	1351	1498	21,0	32,60	18,20	2,457	0,181	1,109	4,886	1,44	2,24
8926	62,36	32,10	72,15	27,06	39,18	1347	1499	19,6	36,59	17,03	2,458	0,175	1,113	4,669	1,45	2,25
6784	64,54	32,25	71,14	27,91	43,08	1355	1500	20,1	35,02	18,18	2,457	0,175	1,107	4,655	1,54	2,21
4449	65,45	31,25	72,67	28,84	40,96	1344	1497	21,7	30,89	16,99	2,459	0,150	1,114	5,094	1,42	2,33
4628	65,06	32,79	73,88	29,17	42,38	1351	1499	20,2	30,96	17,73	2,461	0,145	1,110	4,825	1,45	2,25

В результате расчетно–аналитических исследований влияния рассмотренных выше соотношений и свойств доменной шихты на формирование процессов плавления и образования жидких фаз, в частности, на коэффициенты распределения элементов шихты между продуктами плавки (рис.1), основными для интегрального показателя выявлены следующие частные показатели:

$$\text{Fe}_{06}/\Sigma\text{O}, \text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2; \text{MgO}/\text{SiO}_2; X_{+5}; \Delta P/\Delta H; R_{1050}/R_{800}; T_{\text{КТ}}/T_{\text{НФ}}; \text{FeO}_{\text{ПШ}}/(-\Delta c/\rho)$$

Учет в обобщенном показателе разносторонних свойств сырья позволяет судить как об уровне качества железорудного сырья и доменной шихты, так и их влиянии на качество выплавляемого чугуна. Частные показатели химического состава шихты $\text{Fe}_{06}/\Sigma\text{O}$, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$; MgO/SiO_2 характеризуют состав связки рудной части агломерата и характер фазовых превращений, горячую прочность.

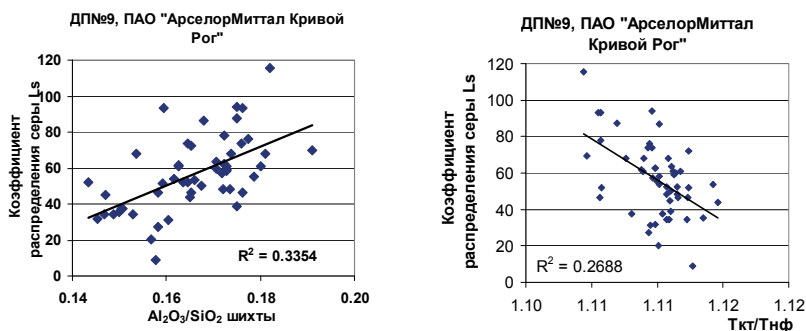


Рис. 1. Влияние свойств загружаемой шихты на коэффициент распределения серы в чугуне для ДП№9 ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог»

Показатель $\text{Fe}_{06}/\Sigma\text{O}$ – отношение долей железа и кислорода, связанного с различными видами железа в железорудных материалах или в доменной шихте характеризует окисленность сырья, его восстановимость. Магнезия и глинозем несмотря на небольшую долю в составе шлака оказывают косвенное влияние на газодинамику доменного процесса через прямое воздействие на свойства первичных и промежуточных шлаков. Учет глиноземного и магнезиального модуля в обобщенном показателе связан с их ролью в формировании прочности агломерата [14]. Так, по данным исследования работы [5] присутствие Al_2O_3 в составе гранул агломерата, оцениваемое по соотношению $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ в них в пределах 0,2–0,5, необходимо для придания термической устойчивости алюмосиликоферритным связкам. При значениях, ниже указанных пределов, состав приближается к силикоферриту, который при нагреве и восстановлении подвергается распаду на магнетит и двукальциевый силикат с потерей прочности агломерата. Верхний предел соотношений MgO/SiO_2 и $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ ограничен

технологическими требованиями, предъявляемыми к доменным шлакам, получающимся при проплавке в печи агломерата. Показателями физического состояния, от которых зависит плавкость железорудного сырья, являются прочность X_{+5} и отношение $\Delta P/\Delta H$.

Еще одна группа показателей связана с формированием пространства и поверхности, доступной газу–восстановителю и определяет восстановимость, место расположения и толщину вязкопластичной зоны, способность расплава к фильтрации через насадку. Отношение R_{1050}/R_{800} является показателем глубины развития восстановления данного железорудного материала и характеризует плавкость материалов. Отношение $T_{к.т.}/T_{н.ф.}$ определяет диапазон развития и существования оксидного расплава, образующегося в результате агрегатных превращений железорудного материала. Уменьшение температурного диапазона перехода рудных составляющих из состояния расплавления в капельное жидкоподвижное состояние обуславливает оптимизацию газодинамического режима и ряда процессов, в том числе повышение стабильности конечного шлака и качества чугуна. Показатель $FeO_{пш}/(-\Delta e/\rho)$ является самостоятельным критерием плавкости, поскольку отношение $(-\Delta e/\rho)$ достоверно отражает вязкость и другие свойства оксидных расплавов и, при определенных численных значениях, является границей гетерогенности. Доля $FeO_{пш}$, самостоятельно служит показателем широты развития и качества расплава.

Улучшение качества чугуна возможно в случае, если будут определены и учтены при выборе железорудного сырья оптимальные значения как для частных показателей, так и для их совокупности, выраженной обобщенным критерием качества шихты.

Методика исследования. Одним из наиболее удобных способов построения комплексного показателя является обобщенная функция желательности Харрингтона [15]. В основе построения обобщенной функции лежит идея преобразования натуральных значений частных откликов в безразмерную шкалу желательности или предпочтительности.

Каждый показатель разбивается на категории качества: очень хорошее, хорошее, удовлетворительное, плохое и очень плохое (рис.2) в соответствии со стандартными оценками по шкале желательности. Значение частного отклика, переведенное в безразмерную шкалу желательности, обозначается через d_i и называется частной желательностью. Значение $d_{ii} = 0$ соответствует неприемлемому уровню данного свойства, $d_{ii} = 1$ - самое лучшее значение свойства. Стандартные



Рис.2.График функции желательности

отметки на шкале желательности представлены в табл.3 и соответствуют некоторым точкам кривой, которая задается уравнением: $d = \exp(-(\exp(-y)))$ (рис.2).

Таблица 3. Стандартные отметки по шкале желательности

Желательность	Отметки на шкале частной желательности	Кодированное значение показателей
Очень хорошо	0,80 – 1,00	1,5 – 3,0
Хорошо	0,63 – 0,80	0,85 – 1,5
Удовлетворительно	0,37 – 0,63	0,0 – 0,85
Плохо	0,20 – 0,37	(-0,5) – 0,0
Очень плохо	0,00 – 0,20	(-1,5) – (-0,5)

Для получения единой обобщенной оценки необходимо задаться наиболее желательными значениями отдельных показателей. Эти значения устанавливаются по рекомендациям экспертов, стандартам или из соответствующих зависимостей. В данном случае шкала составляющих показателей шихты в соответствии с контрольными точками функции желательности разработана на основании требований к химическому составу и свойствам агломератов и окатышей, предъявляемых на ДП№9, а также к качеству выплавляемого чугуна. Также были использованы общие требования, которым должны удовлетворять железорудные материалы для получения высоких показателей плавки, представленные в работе [16].

На рис.3 показано влияние некоторых выбранных частных показателей шихты на показатели качества чугуна для условий работы ДП№9 ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог». В результате анализа их значений, обеспечивающих выплавку чугуна с содержанием серы до 0,03% и кремния в пределах от 0,6 до 0,9% (ТУ к качеству чугуна на предприятии) определены шкалы частных показателей обобщенного показателя шихты (табл.4).

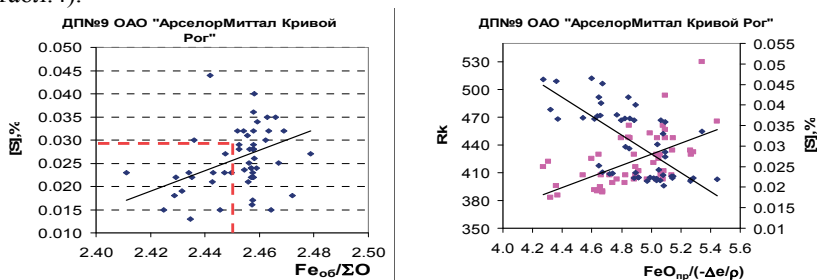


Рис.3. Влияние частных показателей шихты на содержание серы и кремния для условий работы ДП№9 ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог»

Таблица 4. Шкала показателей доменной шихты в соответствии с контрольными точками функции желательности

	Fe _{об} /ΣO	Al ₂ O ₃ /SiO ₂	MgO/SiO ₂	X ₊₅	T _{КТ} /T _{нф}	FeO _{нп} /(-Δε/ρ)	ΔP/ΔH	R ₁₀₅₀ /R ₈₀₀
Очень хорошо	2,4-2,43	0,20-0,30	0,15-0,17	68-66	1,105-1,111	4,3-4,5	1,52-1,56	2,12-2,17
Хорошо	2,43-2,44	0,185-0,20	0,14-0,15	64-66	1,111-1,112	4,5-4,6	1,48-1,52	2,17-2,21
Удовлет-во-рительно	2,44-2,45	0,165-0,185	0,13-0,14	62-64	1,112-1,113	4,6-4,8	1,44-1,48	2,21-2,25
Плохо	2,45-2,48	0,145-0,165	0,12-0,13	60-62	1,113-1,115	4,8-5,0	1,4-1,44	2,25-2,29
Очень плохо	2,48-2,5	0,10-0,145	0,1-0,12	58-60	1,115-1,12	5,0-5,5	1,36-1,40	2,29-2,33

С использованием шкалы желательности для каждого частного показателя x_i (в качестве x_i рассматриваются показатели доменной шихты: Fe_{об}/ΣO, Al₂O₃/SiO₂; MgO/SiO₂; X₊₅; ΔP/ΔH; R₁₀₅₀/R₈₀₀; T_{КТ}/T_{нф}; FeO_{нп}/(-Δε/ρ))

рассчитываются стандартные значения по оси ординат y_i для массива экспериментальных данных, по ним определяются частные показатели качества d_i и рассчитывается обобщенный показатель D как среднее геометрическое из частных функций желательности с поправкой на значимость

каждого свойства $D = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n d_i^\beta}$, где Π – произведение частных функций

желательности, d_i – индивидуальные показатели, n – количество показателей, β – показатель значимости свойства.

Таким образом, обобщенный показатель качества железорудного материала для условий работы ДП№9 ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог» определяется по формуле:

$$K_{Ш} = \left(\frac{Fe_{об}}{\Sigma O}\right)^{0,1} \cdot \left(\frac{Al_2O_3}{SiO_2}\right)^{0,2} \cdot \left(\frac{MgO}{SiO_2}\right)^{0,1} \cdot (X_{+5})^{0,15} \cdot \left(\frac{\Delta P}{\Delta H}\right)^{0,1} \cdot \left(\frac{R_{1050}}{R_{800}}\right)^{0,1} \cdot \left(\frac{T_{КТ}}{T_{нф}}\right)^{0,1} \cdot \left(\frac{FeO_{нп}}{-\Delta \epsilon / \rho}\right)^{0,15}$$

Показатели степеней характеризуют вес частного показателя качества железорудного материала и определяется по априорным экспертным оценкам на основе факторных нагрузок на генеральный фактор, определяющий $K_{Ш}$.

Эффективность разработанного критерия $K_{Ш}$ показана на графиках зависимости коэффициента распределения серы L_S от комплексных показателей: показателей ПК, $K_{ЖМ}$ и от $K_{Ш}$ (рис.5). Теснота связи $L_S=f(K_{Ш})$ характеризуется более высоким коэффициентом корреляции $R=0,7$ (рис.5(б)) по сравнению с другими показателями (включая основность шихты CaO/SiO₂ и показатель стехиометрии □): $L_S=f(CaO/SiO_2)$ $R=0,36$,

$L_S = f(\square)$ $R=0,42$, $L_S=f(\text{ПК})$ $R=0,35$, $L_S=f(K^{\text{ЖМ}})$ $R=0,39$ (рис.5(a)), что подтверждает его использование в качестве модельного параметра для прогнозирования состава продуктов плавки. На графике (г) (рис.5) показано соответствие между показателями $K_{\text{Ш}}$ и содержанием серы в чугуне, из которого следует хорошая согласованность разработанного критерия: выпуски с содержанием серы более 0,03% (для ДП9) являются «плохими» в кодировке функции желательности, каковыми они и являются, а остальные относятся к удовлетворительным и хорошим выпускам.

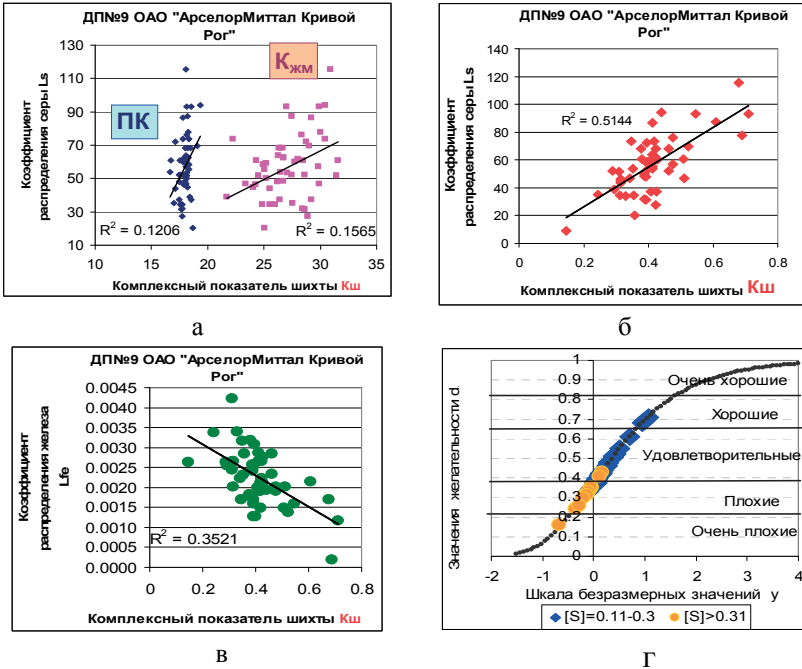


Рис.5. Связь разработанного критерия шихты $K_{\text{Ш}}$ с показателями продуктов плавки для условий ДП№9 ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог»

Выводы. Таким образом, в результате анализа существующих подходов к оценке качества железорудных материалов разработан комплексный показатель качества доменной шихты, учитывающий наиболее значимые металлургические свойства агломератов и окатышей, определяющие уровень их восстановления и образования жидких фаз, предопределяющих формирование конечных продуктов плавки, что позволит решать задачи оптимизации шлакового режима и качества чугуна за счет установления рационального состава доменной шихты.

1. *Гладков Н.А., Тогобицкая Д.Н., Нестеров А.С.* Формирование жидких фаз и их физико-химическая интерпретация // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии.* – Киев: Наукова думка. – 1998. – Вып. 2. – С.83-87.
2. *Тогобицкая Д.Н., Хамхотько А.Ф., Головки Л.А.* Информационное обеспечение и прогноз свойств железорудных материалов / *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии.* – Вып.2. – Киев: Наукова думка. – 1998. – С.93-100.
3. *Лядова В.Я., Ходак Л.З.* Пат. 2048548 Российская федерация. МПК C22B1/16. Способ производства офлюсованного железорудного агломерата / заявитель: Институт металлургии им.А.А.Байкова РАН (Россия) – № 5048431; заявл. 19.06.1992; опубл. 20.11.1995.
4. *Пузанов В.П., Кобелев В.А., Рудин В.С.* Доменной плавке XXI века – технологию производства равновесного агломерата / *Сталь.* – 2005. – № 6. – С. 51-54.
5. *Пат. 2146296* Российская федерация. МПК C22B1/16. Высокоосновный агломерат: / В.С.Лисин, В.Н.Скороходов, В.П.Настич и др.; заявитель: ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат» (Россия) - № 99114698/02; заявл. 06.07.1999; опубл. 10.03.2000.
6. *Жак А.Р., Юсфин Ю.С., Русина М.В.* Интегральный показатель качества технологии агломерационного процесса / *Изв. ВУЗов. Черная Металлургия.* – 1997. – № 11. – С. 10-15.
7. *Пат. 2283877* Российская федерация. МПК C22B1/14. Способ определения металлургической ценности доменного железорудного сырья / М.А.Гуркин, А.В.Гельгорн, А.С.Нестеров и др.;заявитель: ОАО «Северсталь» (Россия) – № 2005124065/02; заявл. 28.07.2005; опубл. 28.07.2005.
8. *Большаков В.И. Гладков Н.А.* Критерий качества железорудных материалов / *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 2000. – № 1. – С.5-9.
9. *Ткач А.Я.* Особенности современных шихтовых условий в доменном цехе ОАО «ДМЗ им. Петровского». /А.Я.Ткач, А.В.Шепель, В.А.Петренко и др. // *Металл и литье Украины.* – 2003. – № 5. – С. 28-32.
10. *Курунов И.Ф.* Влияние качества железорудного сырья и кокса на показатели работы доменных печей в условиях ОАО «НЛМК» / И.Ф.Курунов, В.Н.Титов, В.Л.Емельянов и др. // *Металлург.* – 2010. – №1. –С. 28-34.
11. *Товаровский И.Г. Меркулов А.Е.* Аналитическое исследование процессов и режимов доменной плавки при различной степени предварительной металлизации шихты / *Сталь.* – 2010. – № 11. – С.7–13.
12. *Лялюк В.П.* Влияние состава и качества железорудного сырья на технико-экономические показатели / *Бюллетень «Черная металлургия»* ОАО «Черметинформация». –2010. – №12. – С. 32-38.
13. *Фазовый состав и структурные особенности промышленного агломерата Череповецкого металлургического комбината «ОАО Северсталь»* / Т.Я. Малышева, Т.Я. Деткова, И.В. Логинов, А.В. Горшколепова // *Металлург.* – 2010. – № 5. – С. 39-43.
14. *Шатоха В.И.* Проблемы выбора шлакового режима доменной плавки для металлургических предприятий Украины в современных условиях / *Теория и практика металлургии.* – 1997. – № 1. – С. 18-23.
15. *Адлер Ю. П. Маркова Е.В. Грановский Ю.В.* Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / М.: Наука, – 1976. – 280 стр.

16. *Можаренко Н.М.* К вопросу о качестве железорудных материалов / *Сталь.* – 1997. – № 8. – С. 3 – 5.

*Статья рекомендована к печати
докт. техн. наук И.Г.Муравьевой*

Д.М.Тогобицька, А.І.Белькова, М.А.Гладков, О.С.Скачко

Оцінка якості залізорудних матеріалів з метою спрямованого формування рідких продуктів доменної плавки

Метою роботи є аналіз існуючих підходів до оцінки якості залізорудних матеріалів. Розроблено узагальнений показник доменної шихти, що включає найбільш значимі металургійні властивості агломератів і обкотишів і визначальний рівень їх відновлення, утворення рідких фаз і формування кінцевих продуктів плавки. Викладено методику побудови комплексного показника шихти з використанням узагальненої функції бажаності Харрінгтона для конкретних умов роботи доменної печі.