

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НОВЫХ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ

Азимова Л.Г.

Азербайджанский технический университет, Баку, Азербайджан

Ключевые слова: железорудный окатыш, металлизированный продукт, химический состав, концентрат, разбухания.

Аннотация. На основе расчетно-теоретических и экспериментальных исследований в обжиговых машинах конвейерного типа разработана тепловая схема агрегата нового поколения, имеющего уникальные теплоэнергетические и экологические параметры при производстве железорудные окатышей различного вещественного состава и назначения. Расчетами определили, что связка с требуемыми для конкретных условий ЛебГОКа свойствами может формироваться в системе $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--Fe}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2\text{--CaO}$.

THEORETICAL FOUNDATIONS OF NEW ENERGY-SAVING TECHNOLOGIES FOR THE PRODUCTION OF IRON ORE PELLETS

Azimova L.G.

Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan

Keywords: iron ore pellet, metallized product, mechanical properties, chemical composition, concentrate, swelling.

Abstract. Based on the theoretical and experimental studies in conveyor-type roasting machines, a thermal scheme of a new generation unit with unique heat and energy and environmental parameters for the production of iron ore pellets of various material compositions and purposes has been developed. Calculations have determined that the bond with the properties required for specific conditions of LebGOK can be formed in the $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--Fe}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2\text{--CaO}$ system.

Мировое производство железорудных окатышей к началу нового тысячелетия достигло 760-780 млн т в год и, если учитывать высокое содержание в них железа и хорошие транспортные свойства, будет наращиваться. Поэтому задачи совершенствования технологии их изготовления и улучшения качества остаются актуальными, особенно в связи с необходимостью снижения энергозатрат в схемах: окатыши-чугун-сталь и металлизированный продукт-сталь.

Проблемы формирования качества окисленных окатышей для доменной плавки и для металлизации широко обслуживаются в литературе, так как требования к качеству, например по основности (CaO/SiO_2), различны и отражают специфику условий восстановления в конкретном случае [1-4].

Многообразие факторов (размер зерен и пор, их форма и распределение в объеме окатыша, его размер, состав, количество и фазовый состав пустой породы и др.), определяющих металлургические свойства окатышей, затрудняет однозначность их прогноза.

Аналитический подход к решению задачи, использование закономерностей образования новой фазы и механизма перестройки решетки

реагента (гематита) в продукт реакции (магнетит) [3] при восстановлении окатыша, а также учет взаимосвязей и особенностей микро- и макромеханизмов процессов через соотношение вероятностей закрепления граней в пористой матрице [5] позволили ввести в анализ элементы структуры и увязать кинетику и механизм процесса с напряженным состоянием и характеристиками окатыша – разупрочнением и разбуханием. Неучет взаимосвязей микро и макропроцессов не позволил авторам [4] сделать надежных выводов о ходе восстановления даже в рамках формальной кинетики реакции. Так, вероятность зарождения и развития трещины в данном элементе определяется уровнем и характером распределения микронапряжений, что напрямую связано с параметрами пор матрицы при восстановлении. Последние, в свою очередь влияют на кинетику восстановительного процесса и, следовательно, на параметры напряженного состояния в микрообъемах. Не останавливаясь более на этих аспектах, которые достаточно полно изложены в литературе [6], следует отметить, что именно взаимосвязь микро- и макропроцессов наряду с элементами структуры окатыша полностью определяет весь комплекс его металлургических свойств. Аналитическому решению этих задач посвящены работы [3], где показано, что одним из «носителей» качества обожженных окатышей является формируемая при обжиге связка, ее минералогический состав и характер распределения.

К важным факторам, определяющим свойства связки, относится ее основность. Поэтому оптимизация основности, по мнению многих исследователей [1-4], – условие повышения качества окатышей. В частности, в работе [7] показано, что с позицией разбухаемости можно выделить три области: а) $\text{CaO/SiO}_2 < 1$; б) CaO/SiO_2 от 0,1 до 0,6; в) $\text{CaO/SiO}_2 > 0,6$.

Связка окатышей, относящаяся к областям а и в, обеспечивает Низкий индекс разбухаемости, приемлемый для организации процесса металлизации в шахтных агрегатах. В области б индекс разбухаемости окатышей высок (как полагают, из-за образования кальциевых оливинов), и использование их в шахтных агрегатах считается нецелесообразным. Не подвергая сомнению, выводы и предложения авторов [7], следует отметить, что изменение химического состава (например, по содержанию SiO_2 или Al_2O_3) или гранулометрического состава (увеличение доли, тонких фракций) исходного концентрата может внести существенные корректировки и дополнения в эту классификацию.

При исследовании влияния основности на металлургические свойства окатышей Лебединского, ГОКа установлена ее оптимальная величина – 0,9-1,0 (рис. 1), обеспечивающая минимальное разупрочнение при восстановлении. Однако реализовать такую основность практически невозможно, так как это приведет (при содержании кремнезема – 3%) к уменьшению общего содержания железа и, следовательно, снижению конкурентоспособности металлизованного продукта. В то же время многие реакторы ХИЛ-III работают на окатышах с основностью 1,0 и выше (табл. 1)

при содержании SiO_2 1.5%. Если учесть и другие, не менее важные, особенно для реактора с горячей выгрузкой продукта, показатели качества обожженных металлизированных окатышей – восстановимость (степень металлизации) и степень пластической деформации, то оптимизация основности вообще не приведет к желаемым результатам (рис. 1-3).

Табл. 1. Состав обожженных окатышей для процессов ХИЛ и Мидрекс

Тип процесса	Производительность окатышей	Содержание, %				
		FeO	SiO_2	CaO	MgO	CaO + MgO
						SiO_2
M	CVRD DRMP	98	1.1	0.7	0.2	0.64
X	CVRD DRMP	96.1	1.4	1.8	0.7	1.29
X	LKAB	97.2	0.9	1.1	0.8	1.22
M	SAMARICO-M	97.4	1.6	0.6	0.4	0.38
X	SAMARICO-H	95.8	1.6	1.6	1.0	1.00
M	SAMARICO-N	97.1	1.4	0.5	1.0	0.36
M	HIERROPERU	97.9	1.3	0.4	0.4	0.31
X	CAP-2	97	1.4	1.4	0.2	1.00
M	KIOC	96.2	2.7	1.0	0.1	0.37
X	GHC	96.9	1.4	1.4	0.6	1.00
M	QCM	97.1	2.2	0.4	0.3	0.18
M	QCM	97.6	1.7	0.4	0.3	0.24
X	RENA COL-H	95	2.4	2.0	0.6	0.83
M	FERROM M-6	98.1	1.3	0.4	0.2	0.31
X	Лебединский ГОК	96.4	3.0	0.4	0.2	0.13
M – Мидрекс; X – ХИЛ						

Наблюдаемый характер зависимостей указывается с изменением количества, состава свойств образующейся при обжиге новой фазы. Ее доля в нефлюсованных окатышах ЛебГОКа составляет около 5% (силикаты железа, стекло) и, выполняя роль связки наряду с гематитовой, она из-за своей легкоплавкости способствует формированию сферических, но закрытых пор. Связанная с эти неравномерность восстановительного процесса по сечению окатыша приводит к росту напряженного состояния, разбуханию и разрушению образца на стадии превращения гематита в магнетит. По мере роста основности увеличивается количество расплава и новой фазы, меняются ее состав и свойства. Образуются легковосстановимые, но более тугоплавкие, чем силикаты железа, ферриты и силикаты кальция. Полиморфизм двух кальциевого силиката приводит к возникновению напряжений другой природы – фазовых, на порядки величин превосходящих термические. Такая прочность при восстановлении окатышей с основностью 0.6 выявлена в работе [7].

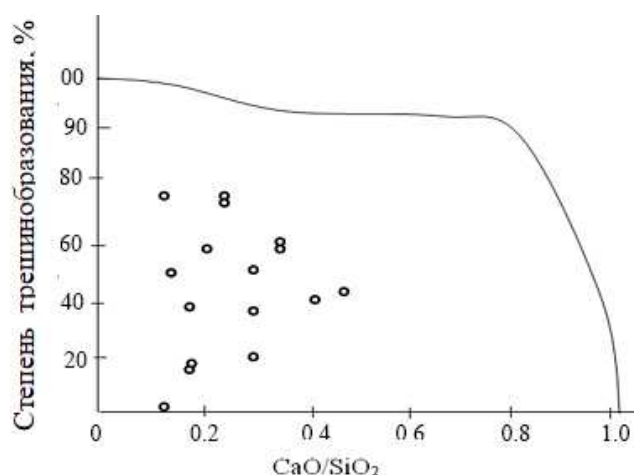


Рис. 1. Зависимость степени трещинообразования восстановленных рудного (за 40 минут при 800 и 850⁰С) окатышей от основности (по усредненным данным): кривая – офлюсованные окатыши, точки – офлюсованные окатыши с бокситом

Пириты и ферриты, их объемная доля составляет 8-12%. Эта связка практически заменяет гематитовую, образуя каркас окатыша. Снижение дефектности структуры улучшает прочность (вследствие уменьшения восстановимости.) образца. Одновременное снижение степени металлизации при увеличении пластических свойств обуславливает неприменимость оптимизации основности для данного состава концентрата и металлизации окатышей в реакторе такого типа.

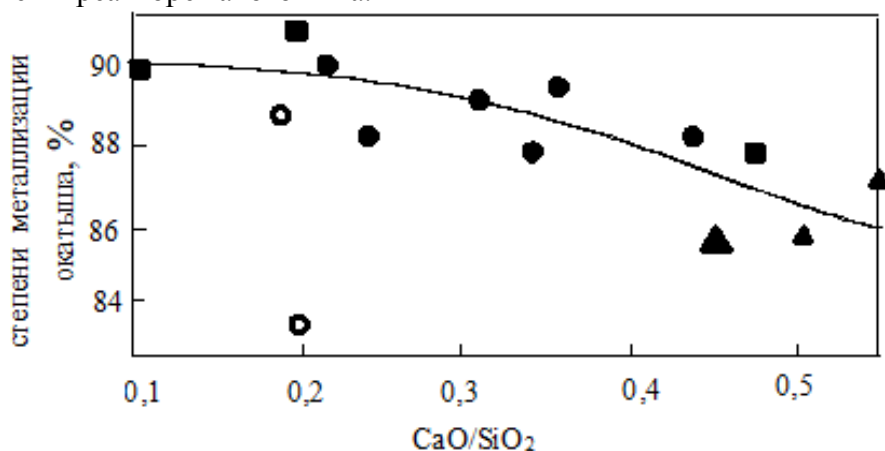


Рис. 2. Зависимость степени металлизации окатышей от основности. Восстановление при 800 и 850⁰С в течение 120 минут: ■ – офлюсованные; ○ – офлюсованные с бокситом; ● – неофлюсованные с бокситом; ▲ – неофлюсованные

Наиболее оптимальной с позиции металлургических свойств окатышей является связка со следующими свойствами: высокие температуры (>1100-1150⁰С) размягчения; низкая восстановимость; минимальное содержание железа; минимальные величины напряжений, как термических, так и при восстановлении.

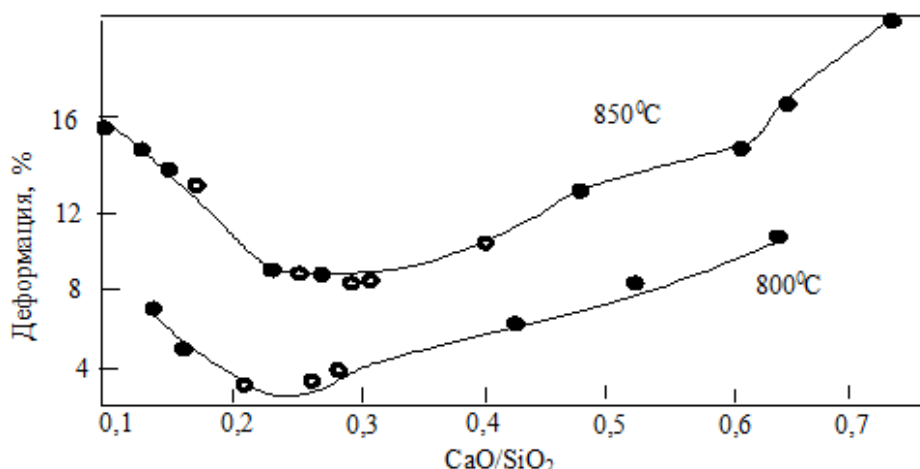


Рис. 3. Зависимость деформации восстановленных при 800⁰С (цифры у кривых) в течение 40 минут окатышей от основности (● – обычные окатыши, ○ – окатыши с бокситом)

Последнее свойство аналитически введено в модель свободных граней, что позволяет выполнять количественные оценки. Расчетами определили, что связка с требуемыми для конкретных условий ЛебГОКа свойствами может формироваться в системе $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--Fe}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2\text{--CaO}$. Проведенный комплекс лабораторных исследований с использованием микроструктурных и микрорентгеноспектральных методов велом, а также полупромышленных испытаний эффективность такого подхода. Так, при добавке боксита $\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$ к шихте для производства окатышей выявили, что уменьшились трещинообразование при восстановлении в 1,6-1,8 раза и степень деформации – на 5-7% абс. Степень металлизации возросла на 2-3% абс. При формировании браунмиллерита $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ в связке окатышей, состав которого не меняется в ходе всего процесса металлизации.

Параллельно с реализацией новых технических решений, базирующихся на выявленных закономерностях формирования структуры окатышей с высокими металлургическими свойствами, проводили разработку технологических режимов работы обжиговых машин для производства окатышей различного назначения. Реализация таких режимов стала возможной лишь на базе создания новых тепловых схем, использования их элементов и коренного изменении в балансах теплового потоков для максимального возможной утилизации тепла отходящих газов. Это позволило существенно повысить технико-экономические показатели работы не только обжиговых машин, но и установки ХИЛ-III(II).

Список литературы

1. Дмитриенко Ю.А., Контелов В.Н. Конвертерное производство стали // Сборник научных трудов. Некоторые экономические аспекты внедрения технологии производства и применения материалов для загущения конвертерного шлака – Екатеринбург: ГНЦ РФ ОАО «Уральский институт материалов», 2003. – С. 225-277.

2. Крахт Л.Н., Меркер Э.Э., Кем А.Ю., Степанов В.А. Металлизированные железорудные окатыши и повышение эффективности их применения при электроплавке стали в дуговой печи // Вестник Донского государственного технического университета. – 2015. – Т. 15, №3. – С. 35-40. – DOI: 10.12737/12594.
3. Копырин И.А., Борц Ю.М., Граур И.Ф. Производство окатышей различной основности. – М.: Metallurgy, 1975. – 190 с.
4. Товаровский И.Г. Сопоставление расхода топлива в доменной плавке и процессе жидкофазного восстановления Ромелт // Сталь. – 1998. – №12. – С. 7-12.
5. Меламуд С.Г., Юрьев Б. П. Улучшение металлургических свойств окатышей Качканарского ГОКа // Сталь. – 2012. – № 6. – С. 8-12.
6. Азимова Л.Х. Оптимизация режима тепловой обработки окатышей в конвейерных варочных машинах // Журнал инженерной механики. – 2020. – №1. – С. 3-7.
7. Чуханов З.Ф. Некоторые проблемы топлива и энергетики. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 354 с.

References

1. Dmitrienko Yu.A., Kontelov V.N. Converter steel production // Collection of scientific papers. Some economic aspects of the introduction of production technology and the use of materials for thickening converter slag. – Ekaterinburg: State Scientific Center of the Russian Federation JSC "Ural Institute of Materials", 2003. – P. 225-277.
2. Krakht L.N., Merker E.E., Kem A.Yu., Stepanov V.A. Impact of using metallized iron ore pellets to increase the efficiency of electric arc furnace // Bulletin of the Don State Technical University. 2015, vol. 15, no. (3), pp. 35-40. DOI: 10.12737/12594.
3. Kopyrin I.A., Borts Yu.M., Graur I.F. Production of pellets of different basicity. – M.: Metallurgy, 1975. – 190 p.
4. Tovarovsky I.G. Comparison of fuel consumption in blast furnace smelting and the process of liquid-phase reduction of Romelt // Steel. 1998, no. 12, pp. 7-12.
5. Melamud S.G., Yuryev B.P. Improving the metallurgical properties of pellets from Kachkanarsky GOK // Steel. 2012, no. 6, pp. 8-12.
6. Azimova L.Kh. Optimization of the heat treatment mode of pellets in conveyor cooking machines // Journal of engineering mechanics. 2020, no. 1, pp. 3-7.
7. Chukhanov Z.F. Some problems of fuel and energy. – M.: Publ. house of the USSR Academy of Sciences, 1961. – 354 p.

Азимова Лала Гаджиагакызы – докторант	Azimova Lala Gadjiaga – PhD student
liradam@rambler.ru	

Received 04.04.2025