

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ

Институт черной металлургии им. В. И. НЕКРАСОВА

На правах рукописи

НЕСТЕРОВ Александр Станиславович

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ ЖИДКИХ ФАЗ ИЗ  
ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МАТЕРИАЛОВ И РАЗРАБОТКА НА ИХ ОСНОВЕ  
ПРИЕМОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ

05.16.02 - "Металлургия черных металлов"

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Днепропетровск - 1993 год

Работа выполнена в Институте черной металлургии им. В. И. Некрасова Академии наук Украины.

Научный руководитель - кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник  
Н. А. ГЛАДЮВ

Официальные оппоненты - доктор технических наук,  
профессор Д. А. КОВАЛЕВ;  
кандидат технических наук,  
С. А. ГАВРИЛЮ

Ведущее предприятие Запорожский металлургический  
комбинат "Запоржсталь".

Защита состоится *11.06* 1993 г. в *14* час. на заседании  
специализированного совета К. 141.02.01 в Институте черной  
металлургии по адресу: 320050, г. Днепропетровск, пл. Староду-  
бова, 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Институ-  
та черной металлургии.

Автореферат разослан

1993 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета,  
кандидат технических наук

 Г. В. ЛЕВЧЕНКО

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00803319 (0)

ЛНБ ім. В. Стефаніка  
АН України

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В соответствии с современными представлениями ведения доменного процесса ровный ход печи, высокая производительность, низкий расход кокса могут быть обеспечены только при высоком качестве шихтовых материалов. Наиболее важными являются высокотемпературные свойства агломерата, окатышей их смесей и, следовательно, показатели их определяющие. Для отечественных шихтовых материалов высокотемпературные исследования подготовленного сырья вышоднялись фрагментарно. Вследствие этого отсутствует общее четко сформулированное понимание развития процессов формирования расплава из железорудных материалов различного химического состава и способа подготовки, что сдерживает разработку более совершенных приемов окучкования сырья и рациональных условий применения его в доменной плавке.

Цель работы заключалась в установлении закономерностей формирования расплавов экспериментальным и расчетным моделированием процессов в высокотемпературной зоне доменной печи и разработке приемов повышения эффективности доменной плавки на их основе, а также разработке требований к высокотемпературным металлургическим свойствам окатышей и агломерата, направленных на обеспечение экономичной работы доменных печей.

Научная новизна. Установлены закономерности формирования и дренажа через коксовую насадку расплавов из железорудных окатышей, агломератов, кусковых руд и их смесей, а также шламов доменного и сталеплавленного производства. Определено влияние восстановимости агломерата и окатышей, скорости нагрева железорудных материалов, давления на образец, качества кокса на параметрические температуры образования жидких фаз и их химический состав. Изучены закономерности селективного формирования жидких фаз в зависимости от их основности. Показано влияние богатства железорудного сырья, уровня его основности, содержания  $MnO$  на высокотемпературные свойства исследуемых материалов. Разработаны регрессионные модели "состав железорудного сырья - высокотемпературные свойства".

Практическая ценность. Определены численные значения

показателей высокотемпературных свойств железорудных материалов. Разработан метод расчета рационального соотношения агломерата и окатышей в доменной плавке с учетом металлургических свойств железорудного сырья. Установлен коэффициент взаимозамены промывочных материалов и разработан способ получения промывочного агломерата заданными свойствами. Разработаны дополнения к технологическим инструкциям Чер. 1 и ИЛМЯ по ведению плавки при переменной доле окатышей в шихте и при использовании в шихте коксового "орешка".

Реализация работы. Результаты диссертационной работы внедрены и используются на доменных печах Череповецкого, Ново-Липецкого металлургических комбинатов и АК "Тулачермет".

Адаптация моделей управления газораспределением на доменной печи № ЧерМЯ, с учетом использования высокотемпературных характеристик агломерата ЧерМЯ и окатышей КостГОК, а также моделей "состав - свойства", привела к экономии кокса 3,7 кг/т. чугуна.

Апробация работы. Материалы диссертационной работы доложены на 8 научно-технических конференциях, а также на научных семинарах и заседаниях секции Ученого совета "Металлургия чугуна" Института черной металлургии.

Публикация материалов. По материалам диссертации опубликовано в соавторстве 17 статей и тезисов докладов, получено 3 авторских свидетельства и решения о выдаче авторских свидетельств на изобретения.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, выводов и приложений, изложена на 126 листах машинописного текста, включает 27 иллюстраций, 21 таблицу и 100 литературных источников.

#### КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Состояние вопроса и постановка задачи исследования.

Качество железорудного сырья является определяющим фактором технико-экономических показателей доменного производства. В ряду таких важных характеристик как богатство, колеблемость по железу и основности, прочность в исходном состоянии, разрушаемость, восстановимость, размягчаемость

при восстановительно-тепловой обработке наиболее приоритетными являются высокотемпературные свойства сырья, такие как плавкость, содержание  $\text{FeO}$  в первичных шлаках, гетерогенность расплава и другие. Анализ литературных данных показывает, что методы исследования высокотемпературных свойств железорудных материалов в различных странах имеют значительные различия и в большинстве своем не всегда отвечают современным требованиям по объему информации о поведении сырья в высокотемпературной зоне доменной печи, что затрудняет реализацию приемов управления доменным процессом. Анализ состояния вопроса обусловил выполнение исследований в направлении: выбора методики комплексного, системного определения качества железорудного сырья в высокотемпературной зоне; определения закономерностей формирования расплава из железорудных материалов различного химического состава; разработки математических зависимостей "состав - свойства" и "свойства - параметры доменной плавки"; установления величин показателей, обуславливающих высокотемпературные свойства шихтовых материалов; разработки и внедрения рекомендаций по улучшению качества сырья и совершенствованию режима ведения доменной плавки.

Разработка методики исследования и некоторые факторы, обуславливающие формирование жидких фаз. Обобщение собственных исследований и анализ литературных данных показал необходимость учета влияния различных факторов на установление высокотемпературных характеристик железорудного сырья. Основными из них являются: степень предварительного восстановления сырья, скорость нагрева материалов, состояние коксовой насадки, давление на пробу. В результате анализа и предварительных экспериментальных исследований разработана двухстадийная методика. Первая ее стадия соответствует ГОСТу 21707-76, который позволяет выявить особенности поведения железорудного сырья в процессе восстановительно-тепловой обработки в диапазоне температур 20 - 1050<sup>o</sup>С, в частности, определить отличия в восстановимости, металлзации и спексообразовании агломератов и окатышей различных составов. На второй стадии исследуются собственно высокотемпературные свойства сырья, прошедшего восстановление по вышеуказанному ГОСТу. При этом

в ходе эксперимента автоматически фиксируются усадка пробы, определяются характерные /параметрические/ температуры агрегатных изменений материала, выявляются особенности истечения образующегося расплава, исследуется состав и свойства компонентов расплава. Порции расплава, формирующиеся в последовательные промежутки времени, подвергаются химическому и минералогическому анализу. В качестве критериев оценки высокотемпературных свойств были определены температуры: - усадки материала на 45% / $T_{45}$ /; - начала фильтрации /Тн. ф. /; - капельного течения расплава /Тн. ф. /; - доля первичного шлака /Мп. ш. / и содержание в нем закиси железа /FeОп. ш. /; а также остатка расплава "зависшего" в слое кокса /Мст. /. Температура усадки материала на 45% определяет нижнюю границу сухой зоны материалов, Тн. ф. - отвечает за состояние и величину коксовой насадки, а температура капельного течения расплава и доля остатка расплава в слое кокса обуславливают газо- и гидродинамику, а также связано с качеством чугуна по содержанию серы и кремния. Количество первичного шлака и массовая доля в нем закиси железа, восстанавливающегося только прямым путем, непосредственно связаны с удельным расходом кокса.

В ходе исследований выявлено, что увеличение давления на пробу с 0,5 до 2 кг/см и изменение реакционных свойств кокса в диапазоне 0,32 - 0,43 г/мл. с приводит к понижению температур начала фильтрации расплава на 50 - 70<sup>o</sup>C. Увеличение скорости нагрева шихтовых материалов с 1,5 до 15 /мин. приводит к смещению температур начала фильтрации жидких фаз в область высоких температур на 80 - 100<sup>o</sup>C. Рост восстановимости агломерата и окатышей приводит к увеличению температуры начала фильтрации жидких фаз и значительному изменению количества и состава первичного высокоокисного шлака. Увеличение содержания щелочно-земельных элементов в шихтовых материалах обуславливает рост восстановимости железорудного сырья и изменение реакционных свойств кокса.

Анализ влияния различных факторов на характер формирования жидких фаз показывал целесообразность принятия, в качестве стандартных, следующие параметры эксперимента: скорость нагрева металла 7 градусов в минуту, давление на пробу

- 1 кг/см<sup>2</sup>. Предварительное восстановление сырья переменное, соответствующее конечной величине восстановительно-тепловой обработки по ГОСТ 21707-76. Наличие щелочей и цинка естественное. Крупность кокса 7-10мм, его реакционная способность 0,32 г/мл. в /ГОСТ 189-90/.

Закономерности формирования расплава из железорудных материалов различного химического состава и способа подготовки.

Для выявления характера формирования жидких фаз исследовано более 400 проб агломератов, окатышей, кусковых руд, дональных описков, шлаков доменного и сталеплавильного производства, а также их смесей. На рис. 1 показаны особенности формирования жидких фаз из материалов различной степени окисления. Расплав из низкоосновного агломерата /Ан. 6./ характеризуется низкой температурой фильтрации жидких фаз /1230°С/ и широким интервалом /260°/ его течения через коксовую насадку. При этом вначале отделяется шлаковая составляющая с высоким содержанием закиси железа /25%/ и основностью 0,67ед. Наиболее активное формирование и отделение металлической составляющей происходит в диапазоне температур 1400 - 1470°С. Доля профильтрованного расплава до достижения температуры 1600°С составляет 77%. Расплав агломерата основностью 2,5 ед. /А<sub>2,5</sub>/, несмотря на перегрев материала до 1600°С, практически не протекает через коксовую насадку. При температурах 1540 - 1600°С вытекает лишь около 5% металлической составляющей. Поведение смеси низко- и высокоосновного агломерата определяется их соотношением. В общем случае температура начала фильтрации повышается с ростом основности смеси, а температурный интервал течения расплава сужается и смещается в сторону высоких температур. Характер формирования расплава из материала с основностью до 1,4 ед., и низкоосновного агломерата схож. Вначале отделяется шлаковая составляющая, затем происходит совместное отделение металла и шлака. При основности смеси 1,4 - 1,6 ед. расплав, прошедший через слой кокса, состоит из металлической и шлаковой частей, отделяющихся совместно практически во всем температурном диапазоне вытекания расплава. В общем случае при сравнительно низких температурах /1230 - 1350°С/ образуется

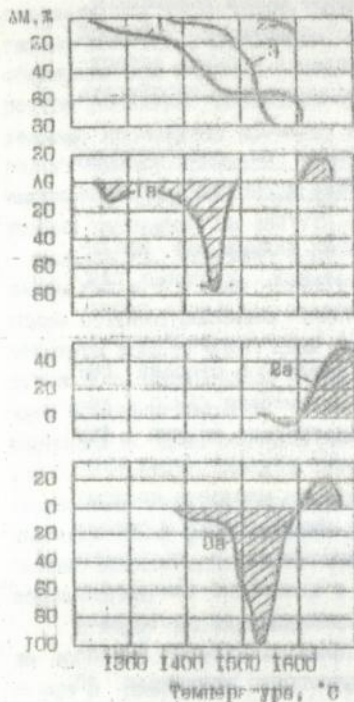


Рис. 1. Динамика фильтрации массы расплава АМ, %, агломерата и скорости его течения АQ через коксовую насадку в температурном интервале 1200-1600 °С:

- 1 - низкоосновный агломерат;
- 2 - высокоосновный агломерат;
- 3 - ( $A_{0,7}$ -50% и  $A_{2,5}$ -50%) смесь низко и высокоосновного агломератов

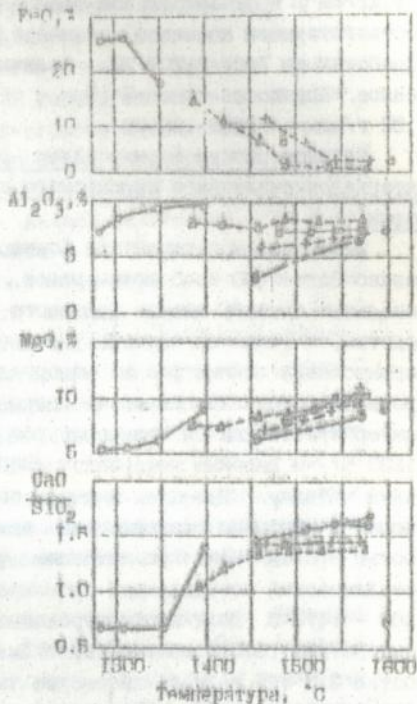


Рис. 2. Изменение химического состава порций шлакового расплава проб равноосновных агломератов,  $\gamma_4$  протекших при различных температурах через коксовую насадку:  $\ominus$  - CaO : SiO<sub>2</sub>=0.7;  $\Delta$  - 1.24;  $\boxplus$  - 1.60;  $\oplus$  - 1.98;  $\boxminus$  - 1.42 (промышленная проба от основного агломерата)

расплав с высоким содержанием окиси железа, низкой основностью и малым количеством магнезии /рис. 2/. С повышением температуры, содержание FeO в расплаве уменьшается, а доли магнезии и основность увеличиваются. Химический состав шлакового остатка в слое кока при температуре 1600 °C характеризуется высоким отношением CaO: SiO<sub>2</sub>, повышенным содержанием MgO при незначительном количестве Fe.

Обобщая вышесказанное возможно классифицировать железорудные материалы по характеру формирования и истечению в зависимости от основности. Так для низкоофлюсованных агломератов, окатышей, самоплавки руд характерно отделение вначале первичного шлака с высоким содержанием окиси железа, затем совместное отделение металла и шлака; остаток расплава на коксовом слое незначителен. Для агломератов с основностью выше 1,4 характерно совместное отделение металла со шлаком практически при всех температурах жидкофазного состояния; величина остатка составляет 15 - 35%. В случае проплавки высокоосновных агломератов /отношение CaO: SiO<sub>2</sub> выше 1,6 ед./ характерно первичное отделение металлической составляющей, затем совместное отделение металла со шлаком при значительной величине остатка расплава "зависшего" в слое кока /до 30 - 95% /.

Рост основности окатышей положительно сказывается главным образом на их высокотемпературных свойствах. Так газодинамические характеристики офлюсованных окатышей лучше, чем неофлюсованных, у которых перепад давления в ходе восстановления по ГОСТ 21707-76 нередко превышает 200 Па при худших показателях размягчаемости. Восстановимость, как правило, выше у офлюсованных окатышей. У неофлюсованных коков уже на начальных стадиях восстановления образуется труднопроницаемая для газов сплошная оболочка из металлического железа, а в центральных частях - невосстановленная сердцевина.

С повышением основности окатышей возрастает температура начала образования жидких фаз, резко уменьшается количество образующего при нагревании железистого шлака, снижается в нем общее содержание монооксида железа. Как и в случае с высокоофлюсованным агломератом, у неофлюсованных и частичноофлюсованных окатышей, значительная доля /до 50% массы исходной

пробы/ приходит через состояние первичного шлакообразования с содержанием в нем 68-73% FeO и лишь затем происходит совместное отделение остатков шлакового расплава с металлом. Процесс совместного отделения металла со шлаком на всем протяжении истечения расплава характерен только для офлюсованных окатышей с уровнем офлюсования выше 1,2 ед. Кардинальное улучшение высокотемпературных свойств окатышей, доведение их характеристик до лучших образцов агломерата возможно лишь при значительном снижении SiO<sub>2</sub>. Предметом исследования в этом направлении явились лабораторные пробы окатышей разной основности с содержанием кремнезема 2,9 - 7,4%, полученные Институтом "Механообчермет" из железорудного концентрата Северного ГОКа. Результаты показывают, что температуры потери газопроницаемости слоя и начала фильтрации жидких фаз через коксовую насадку с уменьшением SiO<sub>2</sub> с 7,4 до 3% повышаются в зависимости от уровня офлюсования на 20 - 80 °С. При этом снижается количество высокоокислого первичного шлака и суммарная доля в нем монооксида железа. Образование остатка расплава в слое кокса при температуре 1600 °С, ухудшающего газодинамику нива доменной печи, небольшое, (увеличивается на 3 - 4%). Следует также отметить, что улучшение высокотемпературных свойств более заметно для нефлюсованных и частичноофлюсованных окатышей.

Из найоп зного материала исследований равнообразного железорудного сырья составлен единый массив подвергнутый математической обработке. Учитывая то, что химический состав руд, концентратов, шихт, агломератов и окатышей на их основе находятся в узком интервале составов вблизи вершин Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> многокомпонентной системы Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - FeO - CaO - SiO<sub>2</sub> - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - MgO, а также исходя из наличия между Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> только одной эвтектики, можно предположить, что изменение температур солидус - ликвидус в зависимости от концентрации оксидов в этой части вышеуказанной системы представляет гладкую поверхность. Это позволяет описывать такую непрерывную функцию полиномами первого порядка. С высокой степенью точности /г-74 и г-80/ температуры полной потери газопроницаемости слоя и начала фильтрации жидких фаз можно рассчитать по уравнениям /1/ и /2/ соответственно.

$$T_{45} = 1196,91 + 1,26 \text{ CaO} - 4,25 \text{ SiO}_2 + 31,60 \text{ MgO} - \\ - 21,97 \text{ Al}_2\text{O}_3 - 0,01 \text{ FeO} + 1,01 \text{ R} \quad /r=0,74/ \quad / 1 /$$

$$T_n. \phi. = 1287 + 3,23 \text{ CaO} - 14,47 \text{ SiO}_2 + 32,45 \text{ MgO} - \\ - 24,68 \text{ Al}_2\text{O}_3 - 0,36 \text{ FeO} + 2,25 \text{ R} \quad /r=0,90/ \quad / 2 /$$

Другие высокотемпературные характеристики шихтовых материалов также хорошо описываются исходным составом железорудного сырья и степенью предварительного восстановления. Некоторые уравнения представлены ниже.

$$\text{FeOп. ш.} = 59,89 - 2,52 \text{ CaO} + 2,17 \text{ SiO}_2 - 6,32 \text{ MgO} - \\ - 0,69 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 0,06 \text{ FeO} - 0,43 \text{ R} \quad /r=0,82/ \quad / 3 /$$

$$\text{Мост.} = 15,41 + 1,47 \text{ CaO} - 1,51 \text{ SiO}_2 + 3,17 \text{ MgO} - \\ - 5,99 \text{ Al}_2\text{O}_3 - 0,8 \text{ FeO} + 0,01 \text{ R} \quad /r=0,90/ \quad / 4 /$$

$$\text{Мп. ш.} = 5,23 - 1,14 \text{ CaO} + 2,45 \text{ SiO}_2 - 1,05 \text{ MgO} + \\ + 1,55 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 0,15 \text{ FeO} \quad /r=0,84/ \quad / 5 /$$

где:  $T_{45}$  - температура полной потери газопроницаемости слоя,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$T_n. \phi.$  - температура начала фильтрации жидких фаз,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\text{CaO}, \text{SiO}_2, \text{MgO}, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{FeO}$  - массовая доля соответствующего компонента в исходном материале, %;

$\text{R}$  - степень восстановления по ГОСТ 21707-76, %;

$\text{FeOп. ш.}$  - массовая доля  $\text{FeO}$  в первичном шлаке;

$\text{Мп. ш.}$  - масса первичного шлака, %;

$\text{Мост.}$  - масса остатка расплава в слое кокса при температуре  $1600^{\circ}\text{C}$ , %.

Аналогичные зависимости получены отдельно для агломератов и омагашей, а также для железорудных материалов, проплавляемых в различных регионах. Абсолютная величина и значимость коэффициентов уравнений регрессии точно отражает известное влияние компонентов состава материала на высокотемпературные характеристики. Из полученных зависимостей вытекает, что концентрация  $\text{CaO}$  и  $\text{MgO}$  в изучаемых пределах по-

вышает параметрические температуры, а  $Al_2O_3$  и  $SiO_2$  их понижают. Влияние доли  $FeO$  в исходном материале в пределах обычного его содержания заметно не сказывается на изменении численных значений температур. Установлено, что степень восстановления сырья определяющее влияние оказывает на уровень температур потери газопроницаемости  $\epsilon$  и начала фильтрации жидких фаз. В меньшей мере степень восстановления влияет на температурный уровень истечения металлогидрогидротого расплава. Температурный интервал существования вязко-пластичной зоны коррелируется с исходным составом сырья недостаточно тесно / коэффициент корреляции равен 0,63 /. Полный состав первичного шлага достаточно точно описывается исходным составом железорудных материалов и степенью его предварительного восстановления по ГОСТ 21707-76. Исключение составляет корреляционная связь в цепи  $SiO_2$  первичного шлага -  $SiO_2$  в исходном материале /  $r = 0,6$  / что, вероятнее всего связано с влиянием воды кокса, растворяющегося в первичном шлаке.

Разработка и внедрение рекомендаций по улучшению показателей доменной плавки. Установленные закономерности формирования жидких фаз из железорудного сырья и обобщение их в виде уравнений регрессии обусловили разработку и внедрение приемов улучшения технологии доменной плавки.

1. Установленные зависимости "состав - свойства", уточненные применительно к шихтовым условиям ЧерМК комплексом исследований высокотемпературных характеристик смесей агломерата ЧерМК и окатншей КостГОК, использованы при адаптации системы управления газораспределением на доменной печи № 5 Череповецкого комбината. По этим зависимостям скорректированы математические модели фирмы "Тиссен шталь" и привязаны к конкретным условиям плавки. На основе полученной информации выработаны рекомендации по оптимизации газораспределения в крупнейшей доменной печи объемом 6580 м<sup>3</sup>. От внедрения адаптированных математических моделей получена экономия кокса 3,7 кг/т. чугуна.

2. С учетом экспериментально определенного комплекса металлургических свойств железорудного сырья и расчета прогнозных показателей плавки разработаны подходы к установлению рацио-

нального соотношения агломерата и окатышей в доменной шихте. Так максимальная доля окатышей ЦГОК текущего производства с содержанием 13% SiO<sub>2</sub> для условий комбината "Запорожсталь" не должна превышать 30%. Соответственно окатышей СевГОК /8,6% SiO<sub>2</sub>/ на комбинате "Азовсталь" - 58% и ЦГОК /7,4% SiO<sub>2</sub>/ на Днепропетровском металлургическом комбинате - 66 %.

3. Исследование особенностей формирования расплавов и их свойств из различных промывочных материалов показали, что их можно объединить в три группы, различающихся по характеру воздействия и направленностью влияния в различных температурных зонах доменной печи. Фторосодержащие материалы, конечные доменные шлаки, высококремнистые кусковые руды, увеличивая массовую долю шлака и улучшая его вязкостные характеристики основное влияние оказывают в высокотемпературной /1800 °C и выше / области доменной печи. Шлаки сталеплавильного производства /Si, Mn, Fe, P /, сварочный шлак, нефлюсованные высококремнистые окатыши наиболее эффективно воздействуют на консовый мусор и гарнисажные образования в температурном диапазоне 1240-1360 °C. Частичноофлюсованные и специально подготовленные агломераты наиболее приемлемы для зон доменной печи с температурой 1380-1450 °C. Эффективность таких материалов ниже, чем материалов второй группы поскольку количество активного расплава из шлаков сталеплавильного производства в два-три раза превышает количество расплава из частично офлюсованных железорудных материалов. В результате исследований разработан способ получения промывочного агломерата заданных свойств. /А. С. 1659504 СССР МКИ С 22 В 1/16/. 4. Разработаны способы ведения доменной плавки с переменной долей окатышей в шихте /положительное решение по заявке 4812073 от 7.02.90/ и при использовании в шихте консового "орешка" /А. С. 1585337 СССР МКИ С 21 В 5/00/, которые внедрены и используются с 1991 года до настоящего времени в качестве дополнений к технологическим инструкциям на доменных печах Череповецкого и Ново-Липецкого металлургических комбинатов.

Прогнозная эффективность доменной плавки по высокотемпературным параметрам качества железорудного сырья. Математической обработкой массива данных основных показателей

работы доменных печей металлургических предприятий за 1987 - 1988 гг и расчетных показателей высокотемпературных свойства средневзвешенного состава железорудных материалов /табл. 1/ получены зависимости изменения производства и расхода кокса:

K - 1704,72	- 0,912 Тн. ф.	г - 65,9	/ 6 /
П - 2,71	- 0,03 FeОп. ш.	г - 61,6	/ 7 /

где: K - расход кокса, кг/т. чугуна;  
П - удельная производительность;  
Тн. ф. - температура начала фильтрации жидких фаз, °С;  
FeОп. ш. - содержание окиси железа в первичном расплаве, %.

Анализ настоящих исследований и расчетно-аналитическая обработка экспериментальных данных, приведенных в литературе, позволяет заключить, что с позиции минимального расхода кокса температура начала фильтрации жидких фаз из смеси агломерата и окатышей не должна опускаться ниже 1360 °С при содержании окиси железа в первичном расплаве на уровне 15%. При этом содержание остатка расплава в слое кокса / при температуре 1600 °С/ не должна превышать 18%. Предварительная оценка показывает, что увеличение температуры начала фильтрации жидких фаз из смеси железорудных материалов на 10 °С снижает удельный расход кокса на 1,6 - 1,9 %, а снижение окиси железа в расплаве на 10% увеличивает производительность агрегата на 0,3%.

По обобщенным результатам исследований процессов формирования жидких фаз уточнены общепринятые и разработаны высокотемпературные требования к качеству железорудного сырья.

#### ОБЩИЕ ВЫВОДЫ.

1. Впервые на созданном оборудовании выявлена последовательность формирования и отделения жидких фаз из размягченного слоя железорудного материала. Механизм формирования расплава уточнен на основании исследования макроструктуры

Таблица 1.

Диапазон изменения высокотемпературных характеристик железорудного сырья и параметров доменной плавки некоторых комбинатов Украины и лучших Российских предприятий.

Наименование предприятия	Состав железорудной шихты, %						Температура начала фильтрации, °С	Содержание FeO в первич. шихте, %	Масса остатка расплава, %	Расход кокса, кг/т чугу.	Удельн. прожва. т/м сут
	Feобц	FeO	SiO2	Al2O3	CaO	MgO					
Ком МК	53,11	6,17	9,32	1,21	11,85	1,50	1338	25,70	17,00	473	1,54
ДомБ	57,04	6,68	8,63	0,45	8,15	1,05	1338	32,10	11,25	489	1,95
ДомВ	57,11	8,51	9,41	1,28	7,48	0,90	1300	37,23	4,32	503	1,81
КСч	55,79	9,10	8,87	0,45	8,98	1,25	1394	28,17	15,00	518	1,65
ДМК	53,43	8,53	9,98	0,82	11,95	1,58	1339	24,95	18,35	518	1,65
АвСт	55,47	9,71	8,94	1,13	9,73	0,98	1345	20,20	17,70	546	1,65
НМК	58,83	13,02	5,70	1,08	7,29	2,98	1352	16,50	18,71	412	2,52
ЧерМК	57,17	9,91	7,71	1,08	7,87	2,13	1408	6,41	8,33	495	2,14

растворенного слоя и химического состава расплава прошедшего через слой кокса при различных температурах и "зависшего" в нем остатка при температуре 1600°С. При этом установлено закономерное перераспределение химических компонентов в исследуемых образцах в различных диапазонах температур.

2. Экспериментальные исследования процессов образования расплава из различных железорудных материалов и дренажа его через коксовую насадку показали, что для низкоофлюсованных агломератов, окатышей, самоплавких руд характерно отделение вначале первичного шлака с высоким содержанием закиси железа, затем совместное отделение металла и шлака, и наличие незначительного нетекучего "зависшего" остатка в слое кокса. Для агломератов с основностью 1,4 - 1,6 ед. характерно совместное отделение металла со шлаком практически при всех температурах истечения расплава, величина остатка в этом случае составляет 15 - 35 %. В случае проплавки высокоосновных агломератов с отношением  $\text{CaO} : \text{SiO}_2$  более 1,6 характерно первичное отделение металлической составляющей, затем совместное отделение металла и шлака при значительном остатке расплава в слое кокса / до 30 - 95% /.

3. Впервые обнаружено влияние реакционных свойств кокса на состав и температурные границы существования первичного расплава. Определено, что увеличение реакционных свойств кокса в диапазоне 0,32 - 0,43 ч/мл·с понижает температуру начала фильтрации жидких фаз и увеличивает содержание закиси железа в первичных расплавах.

4. Экспериментально получены взаимосвязи содержания шлакообразующих компонентов /  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{FeO}$  / в исходных материалах с их высокотемпературными свойствами. Составлены линейные модели "состав - свойства", связывающие исходный химический состав железорудного сырья с его высокотемпературными характеристиками.

5. Разработан метод расчета рационального соотношения агломерата и окатышей в доменной плавке с учетом высокотемпературных металлургических свойств железорудного сырья. Определено, что уровень максимального офлюсования агломерата не желателен выше 1,6 - 1,8 ед.

6. Исследования формирования расплавов из различных

промышленных материалов показавали, что по свойствам, активности и направленности воздействия их можно объединить в три группы, различающиеся по характеру влияния на зоны доменной печи определенного температурного диапазона.

7. Сформулированы требования к высокотемпературным свойствам железорудных материалов, обусловленных их составом, физическим состоянием и способом подготовки. Расчетами показано, что увеличение температур начала фильтрации жидких фаз смесей железорудных материалов на 10 С приводит к снижению расхода кокса на 1,6 - 1,9%, а снижение вязкости железа в расплаве на 10% увеличивает производительность агрегата на 0,3 %.

8. Разработаны дополнения к технологическим инструкциям по ведению доменной плавки, содержание которых состоит в следующем:

- при переменной доле окатышей в шихте изменяют свойства агломерата изменением соотношения в нем  $FeO : MgO$  и этим стабилизируют вязко-пластичное состояние смеси агломерата и окатышей;

- при использовании в шихте коксового "орешка" его загружают совместно с нефлисованными окатышами, сближая высокотемпературные характеристики их с агломератом, улучшая состояние вязко-пластичной зоны в доменной печи.

9. Результаты исследований высокотемпературных свойств шихтовых материалов ЧерМК использованы при адаптации моделей управления газораспределением на доменной печи №5.

10. Линейные модели "состав - свойства" использованы в техническом задании на создание АСУ доменных печей № 1 ЧерМК и № 3 "Тулачермет".

Основное содержание работы отражено в следующих публикациях:

1. Нестеров А. С. Исследование реакционной способности кокса /Повышение эффективности работы доменных печей: Тематический отраслевой сборник. - МЧМ СССР ИЧМ 1983г.
2. Нестеров А. С. Исследование реакционной способности кокса дериватографическим и мессбауэровским методами // Молодые ученые и специалисты - научно-техническому прогрессу в металлургии. Тез. докл. IY научно-техн. конф. - Донецк, 1983. Ден. 13. 02. 85 №27 УК - 85 Ден.
3. Гладков Н. А., Нестеров А. С. Исследование процесса формирования расплавов окатышей и агломерата в доменной печи // Теория и технология подготовки сырья к доменной плавке: Тез. докл. всесоюзн. научн.-техн. конф., Днепропетровск 1985. - с. 5-6.
4. Нестеров А. С., Хвостенко В. С. Исследование на горячей модели процесса формирования жидких фаз в доменной печи. /Вопросы теории и практики производства чугуна. Тематический сборник научных трудов. - МЧМ СССР ИЧМ 1986г.
5. Гладков Н. А., Нестеров А. С. Характер формирования расплавов в доменной плавке // Интенсификация металлургических процессов и повышение качества металла. Тез. докл. научн.-техн. конф. - Новокузнецк, 1986 г. с. 7-8.
6. Гладков Н. А., Нестеров А. С. Влияние процессов восстановления на характер формирования жидких фаз // Симпозиум по кинетике, термодинамике и механизму процессов восстановления. Тез. докл. - Москва, 1986г. - ч. 2. - с. 21 - 22.
7. Процессы в слое железорудных материалов при его нагревании /Н. А. Гладков, А. С. Нестеров // Металлы. -1987. -№3 - с. 9-10.
8. Поведение разноосновного агломерата в зоне размягчения-плавления /Н. А. Гладков, Н. А. Гребенкин, А. С. Нестеров// Металлургическая и горнорудная промышленность. - 1988 - №4 - с. 6-7.
9. Гладков Н. А., Нестеров А. С. Поведение железорудных материалов с различной степенью восстановления в вязко-пластичной зоне. //Совершенствование технологии доменного производства. Тематический сборник научных трудов. - МЧМ СССР ИЧМ 1988.

10. К вопросу о восстановлении агломерата в доменной печи // Физико-химия процессов восстановления металлов. Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. - Днепропетровск, 1988. - с. 52.

11. Гладков Н. А., Нестеров А. С., Рогинский М. Э. К вопросу об использовании шлаков ферромарганцевого производства // Институт черной металлургии. - Днепропетровск, 1989. - 10 с.: ил. - Библиогр. 1 назв. - Рус. Деп. 20.02.89. N 4985 - чм - 89.

12. Нестеров А. С., Мотягин Е. В. Влияние вида окатышей на состав первичного шлака // Обобщение опыта работы молодых ученых, инженеров и рабочих отрасли по экономии материальных и технологических ресурсов. Тез. докл. Всесоюз. научн. конф. - Донецк, 1989.

13. Гладков Н. А., Нестеров А. С. Качество железорудного сырья и его роль в формировании вязко-пластичной зоны // Проблемы повышения качества металлопродукции по основным переделам черной металлургии. Тез. докл. Всесоюз. научн. - техн. конф. - Днепропетровск 1989.

14. К вопросу об оптимизации основности агломерата и окатышей / Нестеров А. С., И. Х. Балмагамбетов, Н. А. Гладков, В. С. Якушев, Н. А. Гребенкин // Сталь. - 1989 - N12 - с. 7-12.

15. Поведение железорудных материалов в процессах доменной плавки / Н. А. Гладков, В. А. Улахович, В. С. Якушев, А. С. Нестеров и Г. М. Дроздов // Сталь. - 1989 - N12 - с. 7-12.

16. Гладков Н. А., Нестеров А. С. К вопросу об оптимизации состава и свойств окучкованного сырья // Проблемы теории и технологии подготовки железорудного сырья для доменного процесса и бескислородной металлургии. Тез. докл. Всесоюз. научн. - техн. конф. Днепропетровск 1990. - с. 23.

17. Якушев В. С., Монарчук А. П., Нестеров А. С. Выбор соотношения шлакообразующих в магнезиальном агломерате на основе моделирования его высокотемпературных свойств // Проблемы теории и технологии подготовки железорудного сырья для доменного процесса и бескислородной металлургии. Тез. докл. Всесоюз. научн.-техн. конф. - Днепропетровск 1990 - с. 24-25.

18. А. С. 1585337 СССР МКИ С 21 В 6/00 Способ ведения

доменной плавки / Н. А. Гладков, А. П. Пухов, А. С. Нестеров, В. Ф. Чернобривец, С. И. Зайцев, Э. А. Шелетовский и Ю. А. Севастьянов // Открытия. Изобретения. - 1990 - № 30

19. А. С. 1659504 СССР МКИ С 22 В 1/16 Способ производства агломерата / В. А. Сацкий, В. М. Минаев, И. М. Сальников, П. А. Приходько, А. С. Нестеров, Н. А. Гладков и др. // Открытия. Изобретения. - 1991 - № 24

20. Решение о выдаче А. С. от 11.12.91 по заявке 4812073 от 7.02.90 Способ производства чугуна / Улахович В. А., Ислюнен А. К., Дегтяренко И. А., Якушев В. С., Гладков Н. А., Нестеров А. С.

*Нестер*

Подписано к печати 26.04.93 г. Формат 60x84/16. Бумага типографская. Печать офсетная. Усл.печ. л.1. Заказ № 985.  
Тираж 100 экз. Ротапринт ВНИИ.





465541

AB 27.266

**AB 27.266**