

**В.И.Большаков, А.С.Нестеров, Н.Г.Иванча
Е.Н.Виноградов, А.А.Калько, М.А.Гуркин, Е.А.Волков, М.М.Каримов**

*Институт черной металлургии НАН Украины
Череповецкий металлургический комбинат (ЧерМК) ОАО «Северсталь»*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ ГАРНИСАЖА НА ДП №4 ОАО «СЕВЕРСТАЛЬ»

Приведены требования к свойствам расплавов в пристеночной зоне доменной печи, обеспечивающим формирование защитного гарнисажа в нижней части шахты, футерованной высокотеплопроводными материалами. Исследованы закономерности формирования компонентного состава шихтовых материалов в пристеночной зоне доменной печи со скиповым подъемником, оснащенной бесконусным загрузочным устройством. Выполнено натурное моделирование процесса шлакообразования при проплавке смесей с различным содержанием агломерата, окатышей, железосодержащих и флюсующих добавок, имитирующее процессы образования жидких фаз. Усовершенствованы требования к составу смеси железорудных материалов в пристеночной зоне доменной печи, разработаны технологические положения и приемы, реализация которых обеспечивает условия рационального образования гарнисажа.

Ключевые слова: доменная печь, шихтовые материалы, гарнисаж, пристеночная зона, формирование порций, содержание окатышей, жидкие фазы, основность, фильтрация.

Состояние вопроса. На протяжении ряда лет технологами доменного цеха и ЦТРК ОАО «Северсталь» совместно с сотрудниками ИЧМ НАН Украины проводились исследования свойств расплавов шихтовых материалов и добавок с целью определения рационального состава смеси компонентов в пристеночной зоне, обеспечивающего благоприятные условия гарнисажеобразования, которые подразумевают стабильность гарнисажа и его непрерывное обновление. Результаты выполненных аналитических, экспериментальных лабораторных и промышленных исследований позволили определить рациональное количество железорудных материалов и их соотношение в пристеночной зоне, необходимое для реализации указанных условий. Вместе с тем, было показано, что процесс гарнисажеобразования и состояние гарнисажа требуют непрерывного контроля и оперативного (своевременного) регулирования параметров, определяющих температурные, газодинамические и шихтовые условия в пристеночной зоне. Отсутствие контроля и управления этим процессом может привести к неустойчивой работе периферийной зоны с образованием чрезмерного (и впоследствии спонтанно обрывающегося) или недостаточно устойчивого непрерывно сходящего гарнисажного слоя. Необходимость поиска путей совершенствования процесса гарнисажеобразования и разработки

технологических приемов его стабилизации определяются нестабильностью шихтовых условий, в которых работает доменный цех ОАО «Северсталь» последнее время, что выражается, в первую очередь, изменением соотношения агломерата и окатышей в шихте, а также изменением их химического состава и других характеристик.

На основании результатов аналитических, лабораторных и промышленных исследований, выполненных ранее сотрудниками ИЧМ НАН Украины и работниками ОАО «Северсталь», определены свойства расплавов в пристеночной зоне доменной печи, обеспечивающие формирование защитного гарнисажа в нижней части шахты, футерованной высокотеплопроводными материалами [1, 2, 3]. Установлено, что для формирования устойчивого гарнисажа в указанной зоне необходимо получить жидкоподвижный (вязкостью менее 8 пуаз), низкотемпературный железистый расплав, масса которого должна быть не менее 10% массы загружаемого железорудного материала. Интервал вязкопластичного состояния материала и его капельного течения должен находиться в температурном диапазоне 1270 - 1350⁰С. Самообновление гарнисажа происходит при содержании FeO в жидкоподвижном первичном шлаковом расплаве в пределах 12 - 15%. Для наращивания гарнисажного слоя на высокотеплопроводной футеровке содержание FeO в первичном шлаковом расплаве целесообразно увеличить до 18 - 25%.

Получить расплав с гарнисажеобразующим химическим составом в пристеночной зоне доменной печи можно при проплавке агломерата заданного химического состава либо смеси, состоящей из агломерата, окатышей, кусковой руды и конверторного шлака в определенных соотношениях. Создание требуемых стабильных шихтовых условий в пристеночной зоне доменной печи (зоне гарнисажеобразования) и их последующая корректировка может обеспечиваться управлением формированием порций шихты и направленным изменением их параметров. Управление соотношением агломерата, окатышей и добавок в пристеночной зоне, как будет показано, достигается путем изменения массы агломерата в головной части железорудной порции и изменения расположения доз добавок в объеме порции.

Для прогнозной оценки распределения компонентов шихты и свойств образующихся расплавов по радиусу доменной печи ИЧМ НАН Украины разработаны математические модели движения шихтовых материалов по тракту системы загрузки (для вариантов с конвейерной и скиповой доставкой шихты на колошник), а также модели поведения компонентов шихты и формирования свойств их жидких фаз при температурно – восстановительной обработке. Практическая применимость результатов, полученных при помощи указанных моделей, и технических решений, разработанных на их основе, подтверждена опробованием в

промышленных условиях на ОАО «Северсталь» и других металлургических предприятиях.

На доменных печах с БЗУ и скиповой доставкой шихты на колошник (ДП №4 ОАО «Северсталь») порции шихтовых материалов в окончательном виде формируются в бункере БЗУ, хотя процесс формирования реализуется при помощи управляющих воздействий оборудования шихтоподачи. Головная часть железорудной порции на ДП №4 представляет собой, массу агломерата в первом скипе, расположенного над слоем окатышей, либо сумму масс агломерата в первом скипе и агломерата, расположенного над слоем окатышей во втором скипе. Отличительной особенностью формирования порций в системах загрузки со скиповой доставкой шихты на колошник является перемешивание компонентов различных частей порции при выгрузке шихтовых материалов из скипов в бункер БЗУ. Таким образом, в бункере БЗУ масса нижнего слоя, состоящего из агломерата, будет меньше, чем масса головной части, что снижает эффективность использования составляющего ее агломерата в качестве защитного слоя в пристеночной кольцевой зоне колошника. На рис.1 в качестве примера показано расположение агломерата и окатышей железорудной порции в скипах и распределение этих компонентов в объеме порции в бункере БЗУ (окончательно сформировавшаяся структура порции), полученное по результатам математического моделирования.

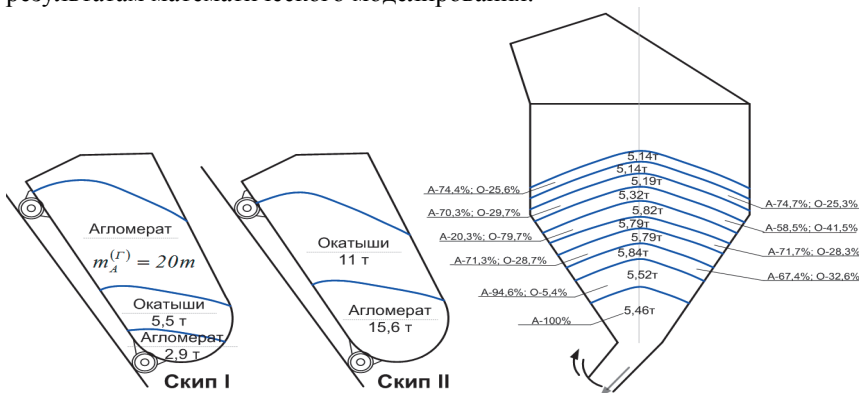


Рис.1. Расположение компонентов железорудной порции в скипах и бункере БЗУ. Масса головной части $m_A^{(r)}$ (агломерат над слоем окатышей в скипе I) - 20,0 т. Содержание окатышей в шихте - 30%.

Для оценки возможных соотношений железорудных компонентов в условно выделенных кольцевых зонах доменной печи было выполнено математическое моделирование и расчет параметров распределения железорудных шихтовых материалов и флюсов по радиусу колошника при различном содержании окатышей в шихте (10,0 – 70,0%) и различной

массе головной части порции из агломерата (0 – 45,0 т). Масса железорудной порции была принята равной 55,0 т. Результаты математического моделирования приведены на рис.2 и рис.3.

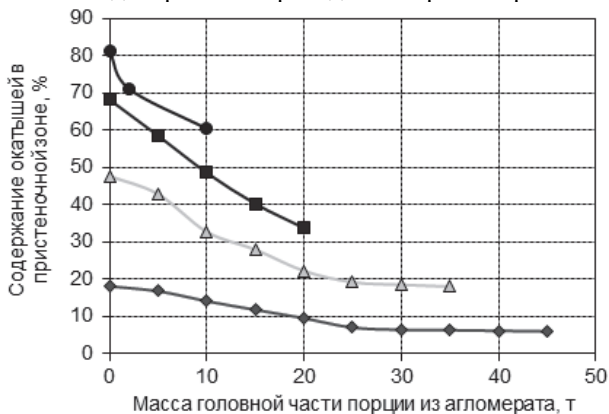


Рис.2. Зависимость содержания окатышей в пристеночной зоне ДП №4 ($C_{оп}$) от массы головной части железорудной порции ($m_A^{(T)}$). Содержание окатышей в шихте 10,0 – 70,0%. ◆ - содержание окатышей в шихте - 10,0%; ▲ - содержание окатышей в шихте –30,0%; ■ - содержание окатышей в шихте – 50%; ● - содержание окатышей в шихте – 70%.

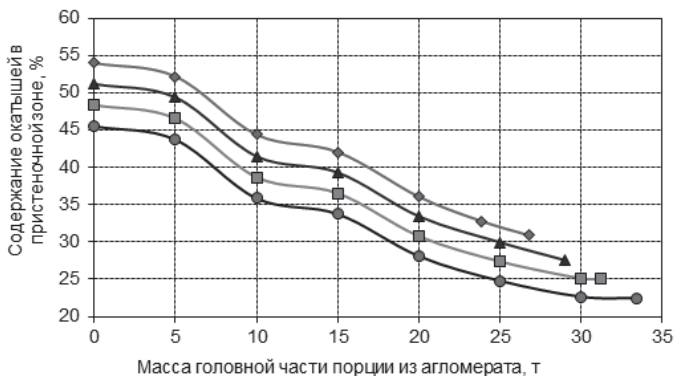


Рис.3. Зависимость содержания окатышей в пристеночной зоне ДП №4 от массы головной части железорудной порции. Содержание окатышей в шихте 34,0 – 46,0%. ● - содержание окатышей в шихте - 34,0%; ■ - содержание окатышей в шихте –38,0%; ▲ - содержание окатышей в шихте – 42,0%; ◆ - содержание окатышей в шихте – 46,0%.

Показанные на рис.2 зависимости содержания окатышей в 10 – й (пристеночной) зоне доменной печи от массы головной части порции из агломерата получены в реально возможном диапазоне содержания

окатышей в шихте с шагом 20,0%. На рис. 3 приведены аналогичные зависимости для рабочего диапазона содержания окатышей в шихте (34,0 - 46,0%) с шагом 4,0%. Анализ полученных результатов показывает, что для существенного ограничения концентрации окатышей в пристеночной зоне в рабочем диапазоне содержания окатышей в шихте 30,0 – 50,0% масса головной части должна достигать 45,0 – 50,0% массы порции. На ДП №4 ОАО «Северсталь» содержание окатышей в пристеночной зоне в интервале 20,0 – 35,0% при содержании окатышей в шихте в рабочем диапазоне 30,0 – 50,0% обеспечивается при формировании головной части порции массой 20,0 – 27,0 т. Для практического использования установленные закономерности были аппроксимированы экспоненциальными уравнениями, что позволило в дальнейшем расчетным путем определять требуемую массу головной части порции для обеспечения заданного соотношения основных железорудных материалов в пристеночной зоне при изменении содержания окатышей в шихте и (или) изменении химического состава компонентов.

Для оценки возможности управления распределением добавок и разработки рациональных режимов их загрузки выполнено математическое моделирование распределения дозы руды при различных вариантах ее расположения в скипах железорудной части подачи:

- в верхнем слое шихтовых материалов первого скипа подачи (В – 1);
- в средней части первого скипа подачи (В – 2);
- в нижнем слое первого скипа подачи (В – 3);
- в верхнем слое шихтовых материалов второго скипа подачи (В – 4);
- в средней части второго скипа подачи (В – 5);
- в нижнем слое второго скипа подачи (В – 6).

Результаты математического моделирования показаны на рис.4. Полученные результаты свидетельствуют, что при перемещении дозы добавок в объеме порции в направлении от головной части к хвостовой (от верхнего слоя первого скипа подачи к нижнему слою второго скипа подачи) характер распределения добавок меняется на противоположный. Вначале (при расположении дозы добавок в верхнем слое материалов первого скипа подачи) распределение массы добавок по радиусу колошника ДП №4 характеризуется наличием двух максимумов их содержания - в периферийной и приосевой зонах и уменьшением содержания этого компонента в промежуточной и осевой зонах. По мере перемещения дозы добавок в среднюю часть порции (нижний слой первого скипа подачи и верхний слой материалов второго скипа) распределение массы этого компонента несколько выравнивается. При расположении добавок в нижнем слое второго скипа подачи формируется

распределение с одним экстремумом – максимумом в шестой кольцевой зоне.

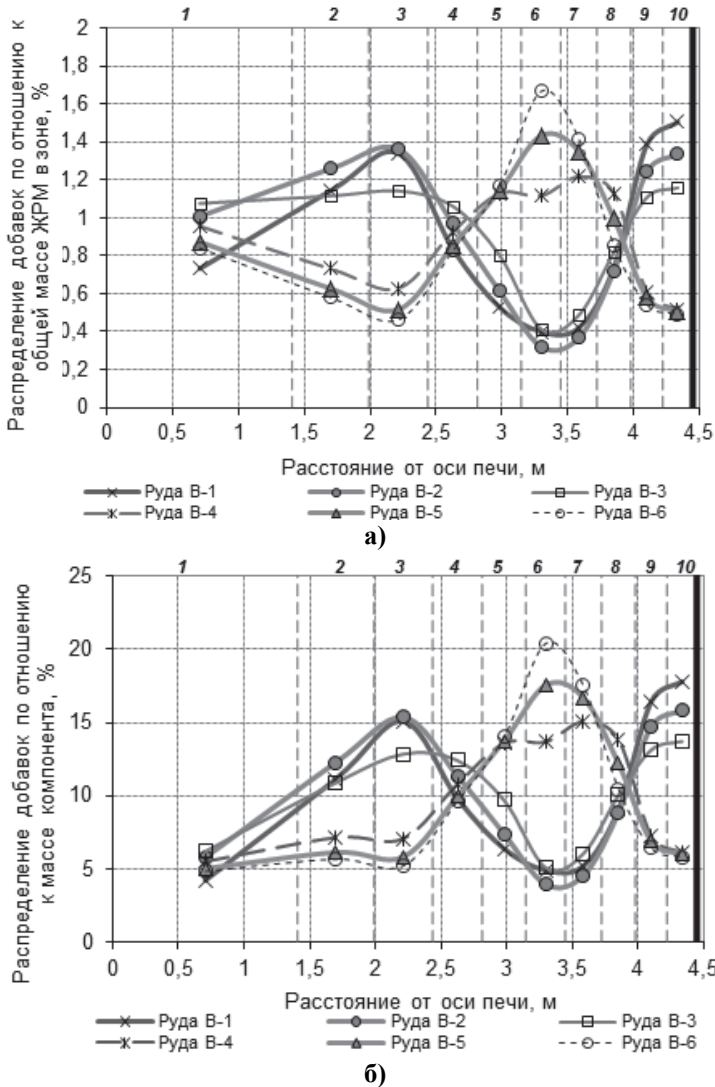


Рис.4. Распределение массы добавок по радиусу колошника ДП №4 при изменении расположения дозы добавок в объеме железорудной порции. а – по отношению к общей массе железорудных материалов в зоне; б – по отношению к общей массе дозы компонента.

На основании установленных закономерностей для их практического использования разработаны технологические карты, которые позволяют выбрать рациональные параметры формирования порций с добавками различного назначения, обеспечивающие реализацию технологических требований к распределению добавок и эффективное их использование, в том числе, целью формирования гарнисажеобразующей смеси компонентов в пристеночной зоне.

В соответствии с результатами математического моделирования распределения железорудных компонентов по радиусу колошника в лабораторных условиях было выполнено натурное моделирование процесса шлакообразования при проплавке смесей с различным содержанием агломерата, окатышей, железосодержащих и флюсующих добавок, имитирующее процессы образования жидких фаз в пристеночной зоне. Химический состав агломерата рассчитывался, исходя из содержания окатышей в смеси, основности и содержания MgO в конечном доменном шлаке. В расчетах при содержании MgO в конечном доменном шлаке 11,5, 11,0 и 10,5% основность принималась в интервалах 0,98 - 1,0 ед., 1,0 - 1,02 и 1,02 - 1,04 ед., соответственно.

Температуры начала фильтрации жидких фаз через коксовую насадку, содержание FeO в первичном шлаковом расплаве из смесей агломерата и окатышей в пристеночной зоне в зависимости от содержания окатышей в шихте и массы агломерата различной основности в головной части железорудной порции представлены на рис.5 и рис.6. на рисунках приняты следующие обозначения: ◆ - содержание окатышей в шихте 10% (основность агломерата 1,2); ▲ - содержание окатышей в шихте 30% (основность агломерата 1,35); △ - содержание окатышей в шихте 34% (основность агломерата 1,4); ■ - содержание окатышей в шихте 38% (основность агломерата 1,49); □ - содержание окатышей в шихте 42% (основность агломерата 1,59); ○ - содержание окатышей в шихте 46% (основность агломерата 1,64); ● - содержание окатышей в шихте 50% (основность агломерата 1,68); ◇ - содержание окатышей в шихте 70% (основность агломерата 2,08).

Анализ результатов моделирования высокотемпературных свойств расплавов железорудных шихтовых материалов в пристеночной зоне ДП №4 при различном содержании окатышей в железорудной части шихты и массе агломерата различной основности головной части железорудной порции позволил сформулировать следующие (приведенные ниже) технологические требования к составу смеси железорудных материалов в пристеночной зоне доменной печи, обеспечивающие условия рационального гарнисажеобразования.

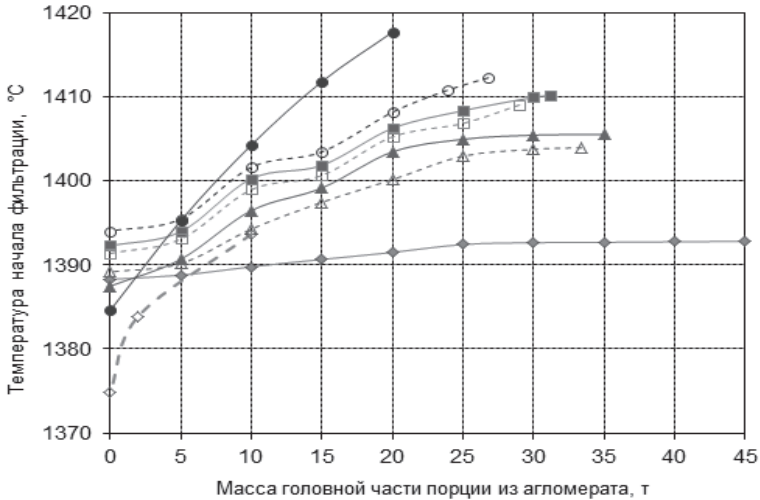


Рис.5. Зависимость температуры начала фильтрации ($T_{нф}$) в пристеночной зоне ДП №4 от содержания окатышей в железорудной части шихты и массы агломерата различной основности в головной части железорудной порции (MgO в шлаке - 11,5%).

1. Для поддержания устойчивого самообновляющегося гарнисажа при изменении содержания окатышей в шихте в рабочем диапазоне (30 - 42%) содержание окатышей в пристеночной зоне ДП №4 должно изменяться в диапазоне 19 - 32%, что обеспечивается варьированием массы головной части железорудной порции из агломерата в интервале 20 – 25 т в зависимости от количества окатышей в шихте и химического состава агломерата. Нижние пределы изменения содержания окатышей в пристеночной зоне (19%) и массы головной части (20 т) соответствуют нижнему значению содержания окатышей в шихте (30%).

2. При необходимости управляемого размыва чрезмерного гарнисажа содержание окатышей в пристеночной зоне должно быть увеличено до 35 - 40% путем временного уменьшения массы головной части до 10 – 15 т.

3. Для ускоренного наращивания гарнисажа после его интенсивного схода (самопроизвольного или после управляемого смыва) в пристеночной зоне необходимо обеспечить на период 4 - 6 часов формирование смеси железорудных материалов, включающей агломерат, повышенное количество окатышей (45 - 50%) и железную руду в количестве 4 - 10% от общей массы железорудных материалов в этой зоне.

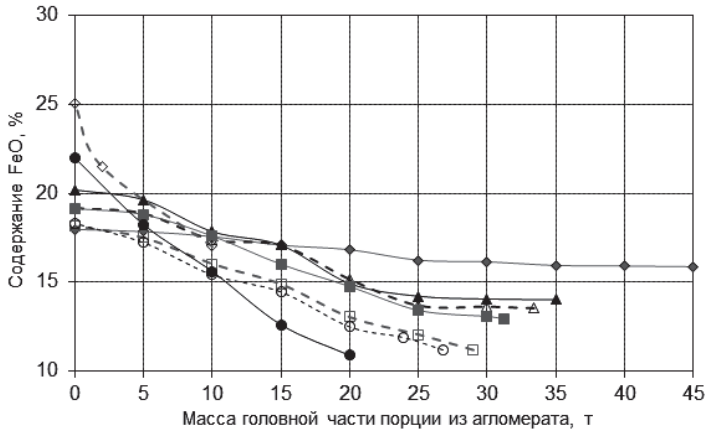


Рис.6. Зависимость содержания FeO в первичном шлаке в пристеночной зоне ДП №4 от содержания окатышей в железорудной части шихты и массы агломерата различной основности в головной части железорудной порции (MgO в шлаке - 11,5%).

Вывод. Промышленная реализация разработанных технологических требований на ДП №4 ОАО «Северсталь» с высокотеплопроводной футеровкой шахты, в частности, обновление (управляемый смыв и последующее наращивание) гарнисажа путем направленного изменения параметров формирования железорудных порций в сочетании с совершенствованием программы их распределения, позволила заметно (на 15 - 20⁰C) уменьшить температуру кладки шахты и заплечиков практически на всех горизонтах шахты и заплечиков. Полученные результаты подтверждают, что разработанные технологические положения и приемы могут использоваться для совершенствования процесса гарнисажеобразования в практике доменного производства на доменных печах с высокотеплопроводной футеровкой шахты.

1. *Влияние химического состава и свойств железорудных материалов на характер формирования гарнисажных масс* // В.И. Большаков, А.С. Нестеров, Н.М. Можаренко, В.Н. Логинов, М.А. Гуркин, Л.Е. Васильев. // *Сталь*. – 2009. – № 4. – С.7 - 11.
2. *Патент Российской Федерации на изобретение №2350657 «Способ задувки доменной печи после ремонта методом торкретирования»* (Заявка № 2007107272 от 26.02.07. Зарегистрировано 27.03.09. Оpubл. Бюл.№9). / Логинов В.Н., Суханов Ю.М., Васильев Л.Е., Каримов М.М., Логинов И.В., Можаренко Н.М., Нестеров А.С., Якушев В.С., Вышинская Е.Д.

3. Патент Российской Федерации № 2251575 «Способ создания защитного гарнисажа в шахте доменной печи». (Заявка № 2004112226 от 21.04.04. Зарегистрировано 10.05.05) / Логинов В.Н., Суханов Ю.М., Васильев Л.Е., Каримов М.М., Гуркин М.А., Большаков В.И., Нестеров А.С., Можаренко Н.М., Якушев В.С.

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

В.И.Большаков, А.С.Нестеров, Н.Г.Иванча, Е.Н.Виноградов, А.А.Калько, М.А.Гуркин, Е.А.Волков, М.М.Каримов

Вдосконалення процесу створення гарнісажу на ДП №4 ВАТ «Северсталь»

Наведено вимоги до властивостей розплавів у пристінній зоні доменної печі, що забезпечують формування захисного гарнісажу в нижній частині шахти, футерованої високотеплопровідними матеріалами. Досліджено закономірності формування компонентного складу шихтових матеріалів у пристінній зоні доменної печі зі скіповим підйомником, що оснащена безконусним завантажувальним пристроєм. Виконано натурне моделювання процесу шлакоутворення при плавленні сумішей з різним вмістом агломерату, обкотишів, залізовмісних та флюсоуючих домішок для імітації процесів утворення рідких фаз. Удосконалено вимоги до складу суміші залізородних матеріалів у пристінній зоні доменної печі, розроблено технологічні положення та прийоми, реалізація яких забезпечує умови раціонального утворення гарнісажу.

Ключові слова: доменна піч, шихтові матеріали, гарнісаж, пристінна зона, формування порцій, кількість обкотишів, рідкі фази, основність, фільтрація.

V.I.Bolshakov, A.S.Nesterov, N.G.Ivancha E.N.Vinogradov, A.A.Kalko, M.A.Gurkin, E.A.Volkov, M.M.Karimov

Process improvement garnisazheobrazovaniya on blast furnace №4 JSC "Severstal"

The requirements for properties of melts in a wall surface zone of the blast furnace, ensuring the formation of a protective wall accretion at the bottom of the shaft, lined with high heat materials. The regularities of formation of the component composition of the charge materials in a wall surface zone of the blast furnace with skip hoist equipped with a bell-less top charging device. Achieved natural modeling process slag forming during the melting of mixtures with different content of sinter, pellets, of iron and fluxing agents imitating the processes of formation of liquid phases. Enhanced requirements for the mixture of iron ore materials in a wall surface zone of the blast furnace, developed technological terms and techniques, the implementation of which provides the conditions for rational formation wall accretion.

Keywords: blast furnace, charge materials, wall accretion, a wall surface zone, forming portions, content of pellets, liquid phase, the main charge, filtration