



The new approach to the description of the nonmetallics elimination process in the process of the out-of-furnace processing using hydrodynamic and physical-chemical models is offered. The possibility of control of the nonmetallics elimination process in the course of processing at the installation "furnace-bowl" is shown.

С. В. КАЗАКОВ, В. Ю. ГУНЕНКОВ, И. В. КУШНЕРЕВ,
П. В. БИЗЮКОВ, В. А. МАТОЧКИН, Н. В. АНДРИАНОВ, РУП «БМЗ»

УДК 669

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА МЕТАЛЛА КОРДОВОГО КАЧЕСТВА БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВАКУУМАТОРА НА ПЕРВОЙ ОЧЕРЕДИ РУП «БМЗ»

Введение и постановка задачи

Повышение качества кордового металла за счет удаления и модифицирования неметаллических включений наряду со снижением расходов по переделу является актуальной проблемой для РУП «БМЗ».

В современных условиях задача снижения количества неметаллических включений в готовой продукции решается в основном на этапе внепечной обработки двумя путями: 1) максимальное снижение содержания кислорода в расплаве до проведения осадочного раскисления сильными раскислителями; 2) эффективное удаление продуктов раскисления за счет оптимизации режима продувки инертными газами в ковше и улучшение шлакового режима, способствующего лучшей ассимиляции неметаллических включений.

Существующая технология производства корда на второй очереди РУП «БМЗ» включает в себя следующие этапы и операции: выплавку полупродукта в ДСП-100, предварительное раскисление и начальную десульфурацию на выпуске, десульфурацию на установке «печь-ковш», нагрев металла перед вакуумированием и после него на установке «ковш-печь», окончательное раскисление, науглероживание и легирование расплава на РН-вакууматоре.

Для описанной технологической цепочки особо важную роль с точки зрения регулирования содержания неметаллических включений играет вакуумирование на установке циркуляционного типа, в результате которого происходит углеродное раскисление расплава с образованием газообразного продукта реакции. Увеличение поверхности контакта металла со шлаком за счет вдувания инертного газа должно облегчать транспорт неметаллических включений на границе раздела шлак – металл.

Необходимость освоения технологии производства кордовой стали на первой очереди РУП «БМЗ», не оснащенной вакууматором,

требует основное внимание сосредоточить на удалении включений, формирующихся в процессе раскисления, т.е. на отработке технологии перемешивания расплава и выборе оптимального шлакового режима.

Методика решения

Хотя снижение содержания кислорода в металле до начала раскисления весьма актуальная задача с точки зрения получения чистого по неметаллическим включениям металла (рис.1), по-видимому, решить эту задачу эффективно, не оборудовав предварительно ДСП-1,2 как минимум фурмами для вдувания углерода, невозможно (рис.2). Поэтому в настоящей работе уделено внимание отработке режима внепечной обработки.

С точки зрения рафинирования расплава от неметаллических включений продувка должна быть организована таким образом, чтобы обеспечить доставку включений к границе шлак-металл, где собственно и должен состояться акт ассимиляции включений шлаков. Решение этой задачи предполагает, что в расплаве должно су-

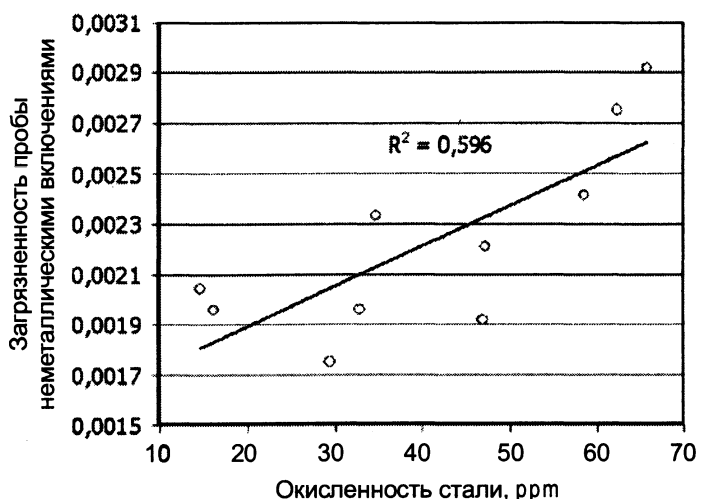


Рис. 1. Зависимость загрязненности стали неметаллическими включениями от окисленности стали

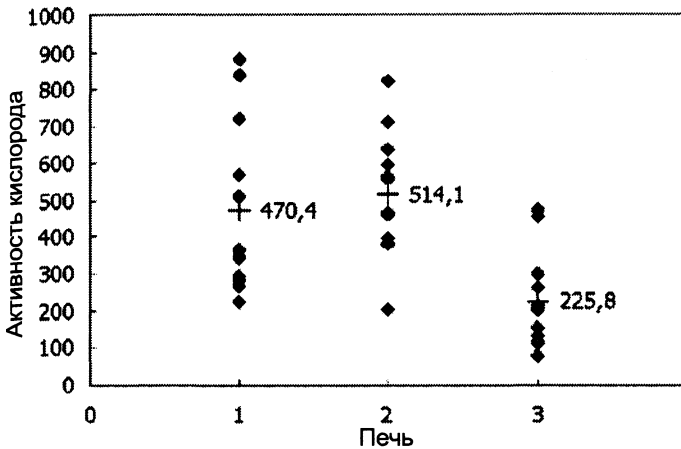


Рис. 2. Окисленность стали на выпуске из печи

существовать не только макродвижение, обеспечивающее перенос включений в макромасштабе, но и мелкомасштабные пульсации, обеспечивающие переход включений из собственно расплава к шлаку в период прохождения объемом металла подшлакового пространства.

Для оценки степени турбулизации расплава, которая наиболее полно характеризует его гидродинамическое состояние, использовали методику, предложенную в работе [1]. В основе рассматриваемого подхода лежит расчет дисперсии скорости расплава вследствие осцилляций в поперечном направлении за счет всплывающих пузырей газа и дисперсии скорости в масштабах всей системы в результате возникновения газожидкостного факела.

Дисперсия, вызываемая колебанием пузырей в процессе всплытия, рассчитывается по уравнению:

$$D_{\Pi} = \frac{\tau_{\text{вспл}}}{\tau_{\Sigma}} \frac{Q}{V_0} \frac{1}{V_{\phi}} \frac{2}{9} \pi R_0^4 \left(H + \frac{1}{3} H^2 + \frac{1}{27} H^3 \right),$$

где $\tau_{\text{вспл}}$ – время всплытия единичного пузыря газа, с; τ_{Σ} – продолжительность продувки, с; Q – расход продувочного газа, м³; V_0 – объем пузыря, приведенный к нормальным условиям, м³; V_{ϕ} – объем газожидкостного факела, м³; R_0 – начальный объем пузырька, м³; H – глубина погружения продувочного устройства или глубина расплава в случае донной продувки, м.

Дисперсию скорости расплава можно найти из следующего соотношения:

$$D_V = \frac{V_{\phi}}{V_{\text{Ме}}} v^2,$$

где $V_{\text{Ме}}$ – объем расплава, м³, v – линейная скорость движения расплава в факеле, м/с.

При этом линейная скорость определяется из выражения:

$$v = H_{\phi}^{K_1} (1 - \exp(-K_2 J)) J^{K_3},$$

где J – интенсивность продувки, м³/ч; H_{ϕ} – глубина погружения продувочного ус-

тройства или глубина расплава в случае донной продувки, м; K_1 , K_2 и K_3 – коэффициенты регрессии.

Процесс поступления включений на границу раздела металл-шлак рассматривался как сложный вероятностный процесс, зависящий одновременно от мелко- и крупномасштабных пульсаций скорости расплава:

$$N_{\text{НВ}} = N_0 e^{-(D_{\Pi} + D_V)},$$

где N_0 и $N_{\text{НВ}}$ – соответственно начальное и конечное количество неметаллических включений.

Анализ результатов моделирования гидродинамики

Апробацию модели проводили на массивах данных для стали марок 70К и С70Д. В качестве функции была выбрана плотность неметаллических включений в катанке (рис. 3). «Промехами» являются результаты плавов, на которых состав шлака на установке «печь-ковш» сильно отличался от среднего: имел повышенную окисленность (более 1%) и в ряде случаев содержание SiO₂ намного ниже среднего по массиву.

Из рисунка видно, что имеет место явное разделение данных на две области, соответствующие двум различным маркам стали. Технологии производства сталей различаются отсутствием при производстве стали С70Д вакуумной обработки, являющейся обязательной для корда.

Данные, приведенные на рисунке, являются «дифференциальными», т.е. характеризуют мгновенное состояние расплава. На рис. 4 представлены «интегральные» данные, которые наряду со степенью турбулизации расплава учитывают и продолжительность обработки. По-видимому, расхождение данных на рис. 3 обусловлено прежде всего практикой обработки различных марок стали.

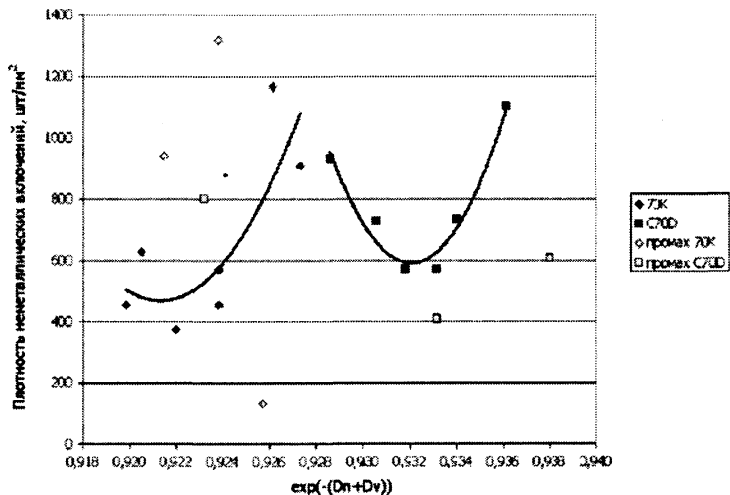


Рис. 3. Влияние общей степени турбулизации расплава на плотность неметаллических включений в катанке (марки С70Д и 70К)

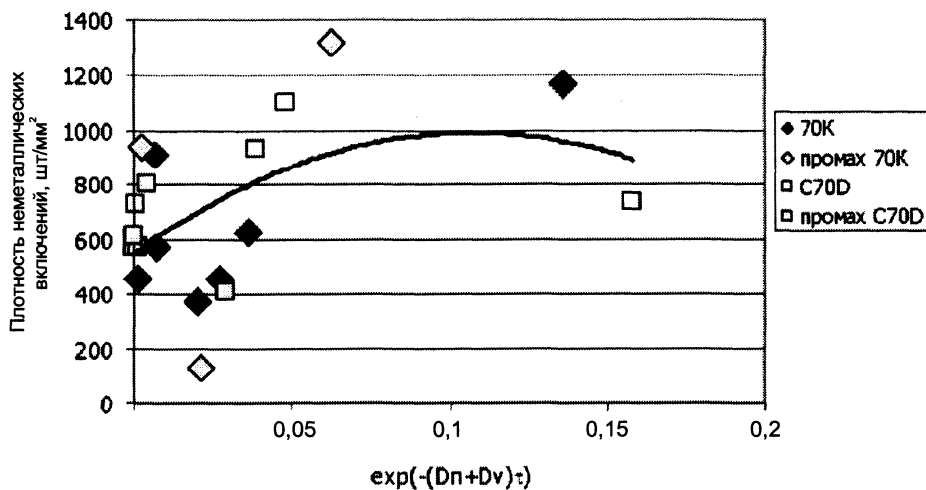


Рис. 4. Влияние общей степени турбулизации расплава (в интегральной форме) на плотность неметаллических включений в катанке (марки C70D и 70K)

Данные, приведенные на рис. 4, носят экстремальный характер, т.е. процесс продувки должен оптимизироваться не только по типу продувочного устройства и интенсивности продувки, но и по ее продолжительности.

Так как между интенсивностью продувки и гидродинамическим фактором существует жесткая корреляция (рис. 5), можно организовать процесс обработки с использованием существующей технологической информации.

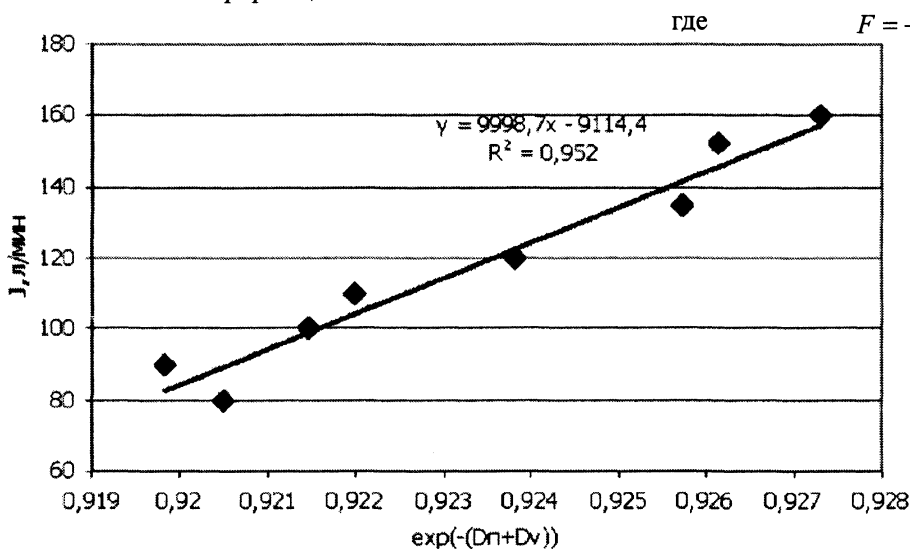


Рис. 5. Оптимальная интенсивность продувки (марка 70K)

Моделирование физико-химического взаимодействия

Механизм влияния химического состава покровного шлака на процесс удаления неметаллических включений изучен недостаточно. Установленным можно считать только один факт — такая зависимость существует. Однако отсутствие каких бы то ни было представлений о механизме взаимодействия НВ со шлаком не позволяет даже качественно сформулировать требования к составу шлака. В работе к решению поставленной задачи подошли на основе

теории, разрабатываемой на кафедре металлургии стали МИСиС.

Вероятность захватывания включения и удержания его в шлаке зависит от взаимодействия шлака и включения. Если предположить, что взаимодействие является физико-химическим, вероятность удаления включения можно представить как вероятностный процесс, параметрами которого могут выступать состав шлака и неметаллического включения. Опираясь на средний состав включений в катанке и состав шлака на каждой плавке, вероятность удаления включения представили в зависимости от некоторого физико-химического фактора F :

$$N_{НВ} = N_0 e^{-F}$$

$$F = - \frac{\left(\frac{SiO_2}{FeO + MnO} \right)_{НВ}}{\left(\frac{SiO_2}{FeO + MnO} \right)_{шлак}}$$

Результаты расчетов, основанных на предложенном подходе, представлены на рис. 6.

Несмотря на некоторое расхождение в практике внепечной обработки разных марок стали, очевидно, что существует четкая связь между количеством неметаллических включений в готовом металле и свойствами шлакового расплава.

Экстремальный характер зависимости плотности неметаллических включений от гидродинамического и физико-химического факторов (рис. 7) позволяет оптимизировать режим обработки одновременно по обоим параметрам.

Использование разработанных зависимостей позволило с высокой степенью достоверности прогнозировать содержание неметаллических включений в готовой стали (рис. 8). При этом физико-химический параметр рассчитывали только по информации о составе покровного шлака в ковше.

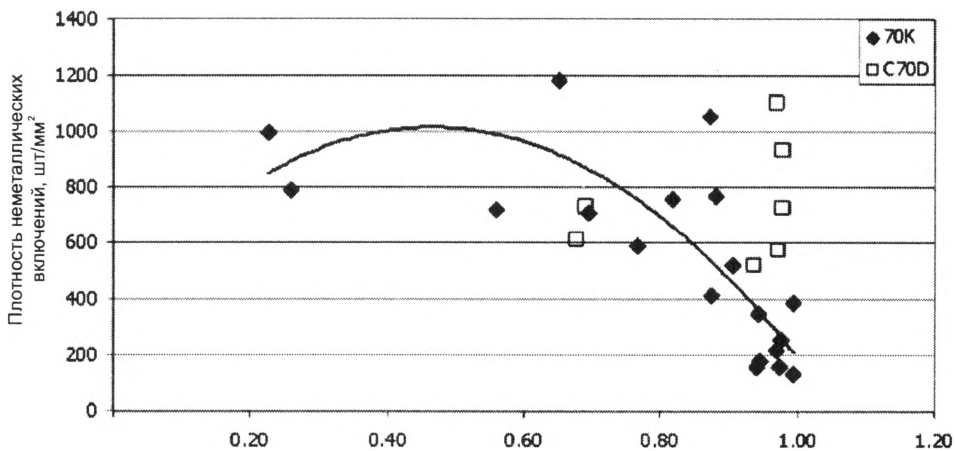


Рис. 6. Зависимость плотности неметаллических включений от комплексного физико-химического параметра (70K)

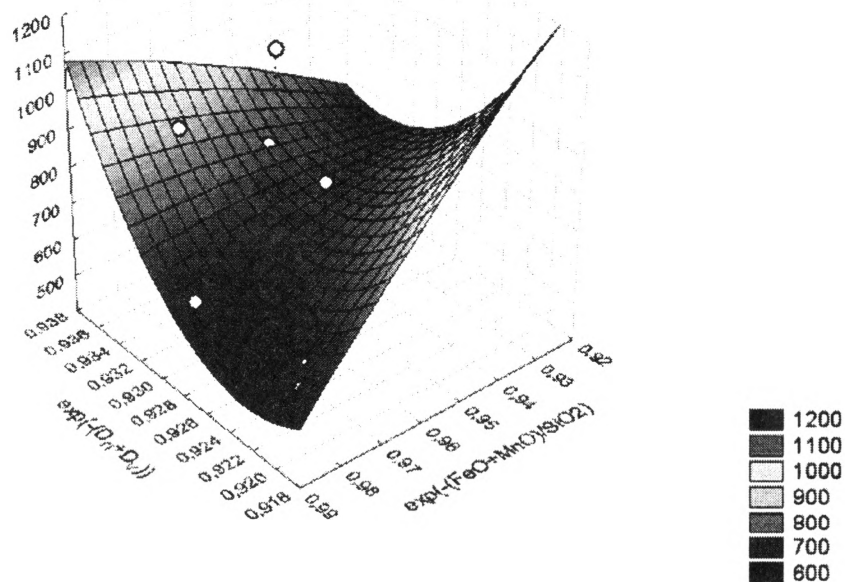


Рис.7. Зависимость плотности НВ от гидродинамического и физико-химического параметров

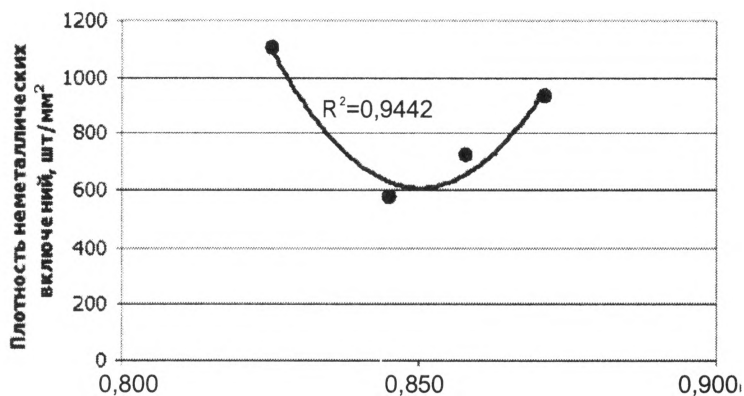


Рис. 8. Зависимость плотности неметаллических включений от величины комплексного параметра

$$\exp(-(D_n + D_v)) \exp\left\{-\left(\frac{(\text{SiO}_2)}{(\text{FeO}) + (\text{MnO})_{\text{шлак}}}\right)}\right\}$$

Выводы

1. Предложен новый подход к описанию процесса удаления неметаллических включений в процессе внепечной обработки с использованием гидродинамической и физико-химической моделей.

2. Показана возможность управления процессом удаления неметаллических включений в ходе

обработки на установке «печь-ковш», меняя интенсивность продувки инертным газом, тип сопла, продолжительность продувки, а также регулируя состав шлака.

Литература

1. Тихонов А.В. Прогнозирование и управление однородностью стального расплава с целью повышения стабильности химического состава литой заготовки. М., 2001.