

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДЕГАЗАЦИИ ПРИ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ

Введение. Получение качественного металла в сталеплавильных агрегатах ограничивается возможностями регулирования физико-химических условий протекания основных реакций, что вызывает необходимость разработки процессов внепечной обработки стали. Одной из задач ковшевой обработки является снижение концентрации растворенных газов в металле – кислорода, водорода, азота. Основным методом удаления водорода и азота является вакуумирование или продувка металла инертными газами.

Во всех случаях удаления растворенных газов в металле существенную роль играет кинетика процессов на границе металл - газовая фаза и степень приближения к равновесию реакции растворенный газ – газовая фаза, а так же реакции удаления нескольких газов. Величины потоков газов при их совместном удалении является важной характеристикой для анализа поведения азота и водорода в металле. При внепечной обработке сталей рядового сортамента возможно использовать продувочные газовые смеси, содержащие азот. При производстве кислорода и аргона в кислородных цехах попутно получают большие количества азота, который по себестоимости в четыре раза дешевле аргона. Замена части аргона азотом позволит существенно снизить себестоимость стали.

Постановка задачи. Создание комплексных математических моделей внепечной обработки металла, позволит расширить класс сталей, обрабатываемых газовой смесью. Моделирование и подробный анализ термодинамических и кинетических особенностей растворения азота в металле позволили выяснить гидродинамические, тепло и массообменные процессы поведения растворенных газов в металле при продувке металла инертными газами в ковше и при вакуумировании.

Разработав математическую модель удаления растворенных газов из металла при внепечной обработке, можно проанализировать

поведение газов в металле и подобрать продувочную смесь газов содержащую азот для продувки различных марок стали.

В основе математической модели лежат уравнения удаления растворенного кислорода

$$[C] = [O] = \{CO\}, \quad (1)$$

водорода и азота – за счет выделения его в виде молекул, образующих пузырьки газа

$$[H] = \frac{1}{2} H_2, \quad (2)$$

$$[N] = \frac{1}{2} N_2, \quad (3)$$

Концентрации азота, водорода и кислорода, равновесные с парциальным давлением N_2 , H_2 и CO в пузырьке, составят

$$[H]_r = K_H \sqrt{P_{H_2}}, \quad (4)$$

$$[O]_r = P_{CO} / ([C] K_C), \quad (5)$$

где K_N , K_H и K_C – константы равновесия реакций растворения азота, водорода и окисления углерода.

Характер процессов массообмена между растворенными в металле газами ($[H]$, $[N]$, $[O]$) и пузырьками барботирующих газов определялось ходом системы к равновесию. Процесс массоотдачи газа, растворенного в металле, с пузырьком может быть описан выражением

$$m_r = \int_0^{\tau} (\beta_r ([G] - [G]_r) \cdot S_r \cdot d\tau, \quad (6)$$

где β_r – коэффициент массоотдачи между металлом и пузырьком, $[G]$ и $[G]_r$ – концентрация газа в металле и равновесная с пузырьком, S – площадь поверхности раздела газ-металл, τ – время всплывания пузырька. Равновесие связано с растворимостью газов при определенном парциальном давлении этого газа в пузырьках.

При расчетах равновесия в системе металл – пузырьки необходимо знать парциальные давления реагирующих газов в пузырьке. При наличии нескольких газов в пузырьке $[G_1]$, $[G_2]$, ... $[G_i]$ парциальное давление каждого газа может быть определено по выражению

$$P_i = \frac{(m_i / M_i) P}{(m_1 / M_1 + m_2 / M_2 + \dots + m_i / M_i)}, \quad (7)$$

где m_1 , m_2 , ... m_i – массы газов в газовой смеси, M_1 , M_2 , ... M_i – молекулярные массы этих газов, P – общее давление, под которым находится газовая смесь.

Анализ результатов. В соответствии с разработанной математической моделью (1...7) установлено, что при замене аргона в продувочном газе азотом поведение СО и водорода в пузырях этого газа практически остается одинаковым (рис. 1,2).

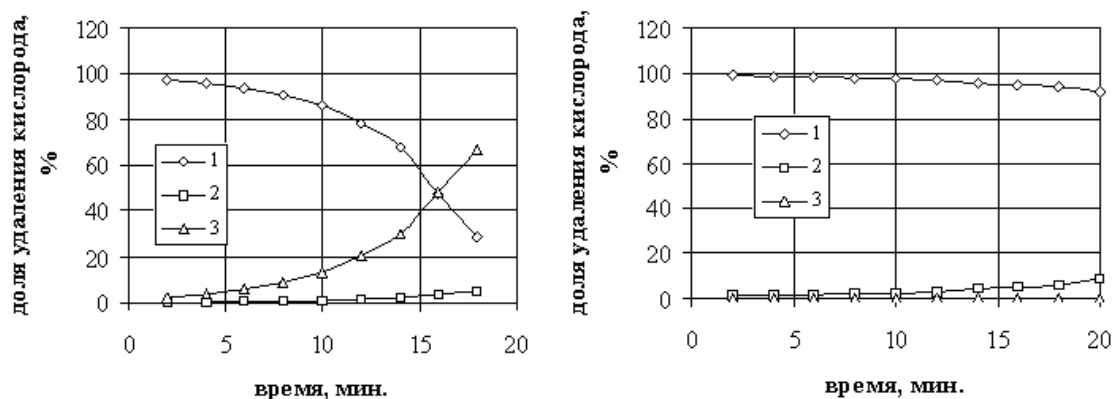


Рисунок 1 - Доля удаления кислорода по статьям при интенсивность продувки аргоном (а) и азотом (б) $2 \text{ м}^3/\text{мин.}$: 1 – в пузырь СО, 2 – в пузырь аргона, 3 – через поверхность

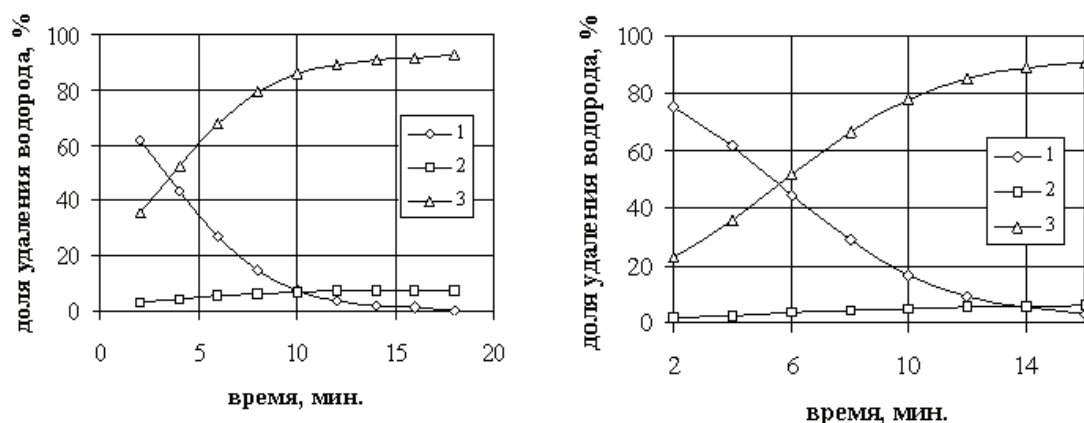


Рисунок 2 - Доля удаления водорода по статьям: 1 – в пузырь СО, 2 – в пузырь аргона, 3 – через поверхность. Интенсивность продувки $\text{Ar} = 2 \text{ м}^3/\text{мин.}$

Содержание СО и водорода в пузырях продувочного газа не зависит от соотношения в нем аргона и азота.

Замена части аргона азотом в продувочном газе приводит к перераспределению величин и направления потоков азота из металла в пузыри продувочного газа. Доля азота, поступающего из продувочного газа в металл, при этом возрастает, но переход азота из металла в пузыри СО и через поверхность остается достаточным, чтобы обеспечить общее понижение концентрации азота в металле (рис. 3). Для этого необходимо иметь низкое остаточное давление над металлом и соответствующие требования по содержания азота в металле.

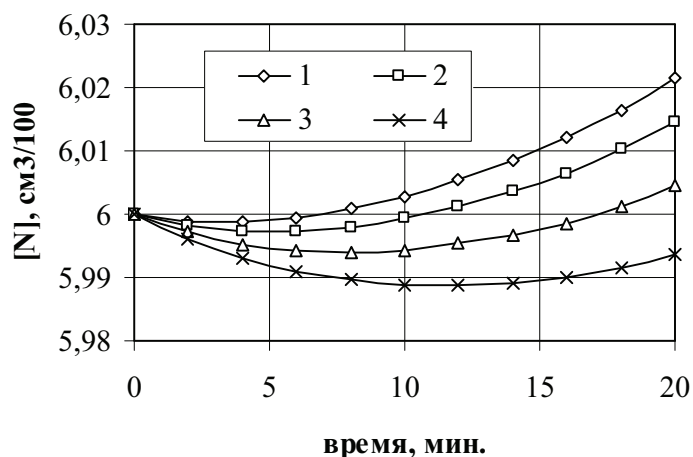


Рисунок 3 - Изменение концентрации азота в металле при различных соотношениях аргона и азота в продувочной смеси: 1- аргона 0, азота 0,1; 2 - аргона 0,2, азота 0,2; 3 - аргона 0,25, азота 0,15; 4 - аргона 0,3, азота 0,1 м³/мин.

Оптимальное соотношение азота и аргона в продувочной смеси при производстве сталей составляет 1-3. Использование азота в качестве инертного газа рекомендуется для продувки металла рядового сортамента, в котором отсутствуют нитридообразующие элементы.

Также установлено, что оптимальное соотношение азота и аргона в продувочной смеси при вакуумной обработке стали составляет 1-2. Основу продуктов реакции обезуглероживания составляет СО. По мере удаления кислорода из металла содержание СО в пузырьках продувочного газа падает, а за счет этого возрастает содержание водорода и азота. Содержание СО и водорода в пузырьках продувочного газа не зависит от соотношения в нем аргона и азота при вакуумной обработке.

Вывод. Таким образом, полученные в соответствии с математическим моделированием результаты показывают, что оптимальное соотношение продувочной смеси нужно менять в зависимости от выплавляемой марки стали, для получения качественной непрерывной литой заготовки с заданными механическими свойствами. Использование математической модели в производственных условиях позволит увеличить количество азота в продувочной газовой смеси, а замена части аргона азотом существенно снизит себестоимость производства стали.

Получено 30.04.2007 г.