

2. Гидродинамические условия удаления неметаллических включений в промежуточном ковше / Г.В.Ефимов, В.Г.Ефимова, Е.Ф.Диук и др. // *Металлургия и горнорудная промышленность*. - №10. - 2002. С. 56-58.
3. Ефимова В.Г. Продувка фурмами большой протяженности промежуточных разливочных устройств / В.Г.Ефимова, Г.В.Ефимов, Е.Ф.Диук // *Труды Международного научно-технического конгресса «Пути возрождения литейного производства в Украине в начале нового тысячелетия»*. – Киев: ФТИМС НАН Украины, – 2001. – С. – 23 -25.
4. Поволоцкий Д.Я. Механизм влияния межфазного натяжения на скорость удаления неметаллических включений из стали / Д.Я.Поволоцкий, В. И.Рощин, В.И.Дудоров // *Физическая химия поверхностных явлений в расплавах*. – Киев: Изд-во «Наукова думка», 1971. - С. 265 – 268.

Поступила в редакцию 15.08.2010

Рецензент д-р техн. наук, проф. А.Н. Смирнов

© Ефимова В.Г., 2010

УДК 669.046.552.3

П.С. Харлашин, А.Н. Яценко, В.Я. Бакст

ПЕРЕМЕШИВАНИЕ РАСПЛАВА И УДАЛЕНИЕ ВОДОРОДА ПРИ ПРОДУВКЕ МЕТАЛЛА АРГОНОМ В СТАЛЕРАЗЛИВОЧНОМ КОВШЕ

Составлена математическая модель расчета основных гидродинамических параметров продувки металла аргоном в сталеразливочных ковшах, включающая геометрические и физические параметры ковша и расплава с использованием чисел Рейнольдса, Фруда, Эйлера и Вебера. Выполнен анализ изменения содержания водорода в промышленных условиях.

Ключевые слова: аргон, сталеразливочный ковш, водород, продувка, металл

Введение

Современные конъюнктурные требования к рынку металлопродукции в Украине и мире требуют не только строго соответствия выплавляемых сталей химическому составу, но и безусловное обеспечение показателей качества, в числе которых особое место занимает газонасыщенность металла водородом и загрязненность неметаллическими включениями.

Наряду с такими эффективными методами, какими являются различные виды вакуумирования, заслуживает внимания рассмотрение других, менее затратных технологических приемов, к которым относится продувка ванны инертными газами.

Известные по данному вопросу источники [1-3] содержат недостаточно полную, иногда противоречивую информацию, поэтому дальнейшие

исследования в указанном направлении представляются достаточно актуальными.

Цель работы

Целью данной работы явилась разработка методики расчёта основных гидро- и газодинамических параметров продувки металла аргоном в сталеразливочных ковшах, и промышленные испытания на 160-тонных ковшах ОАО «ММК им. Ильича».

Основная часть

Схема расчёта основных газо- и гидродинамических показателей продувки жидкого металлического расплава аргоном, подаваемым через донную часть сталеразливочного ковша, приведена на рис. 1.

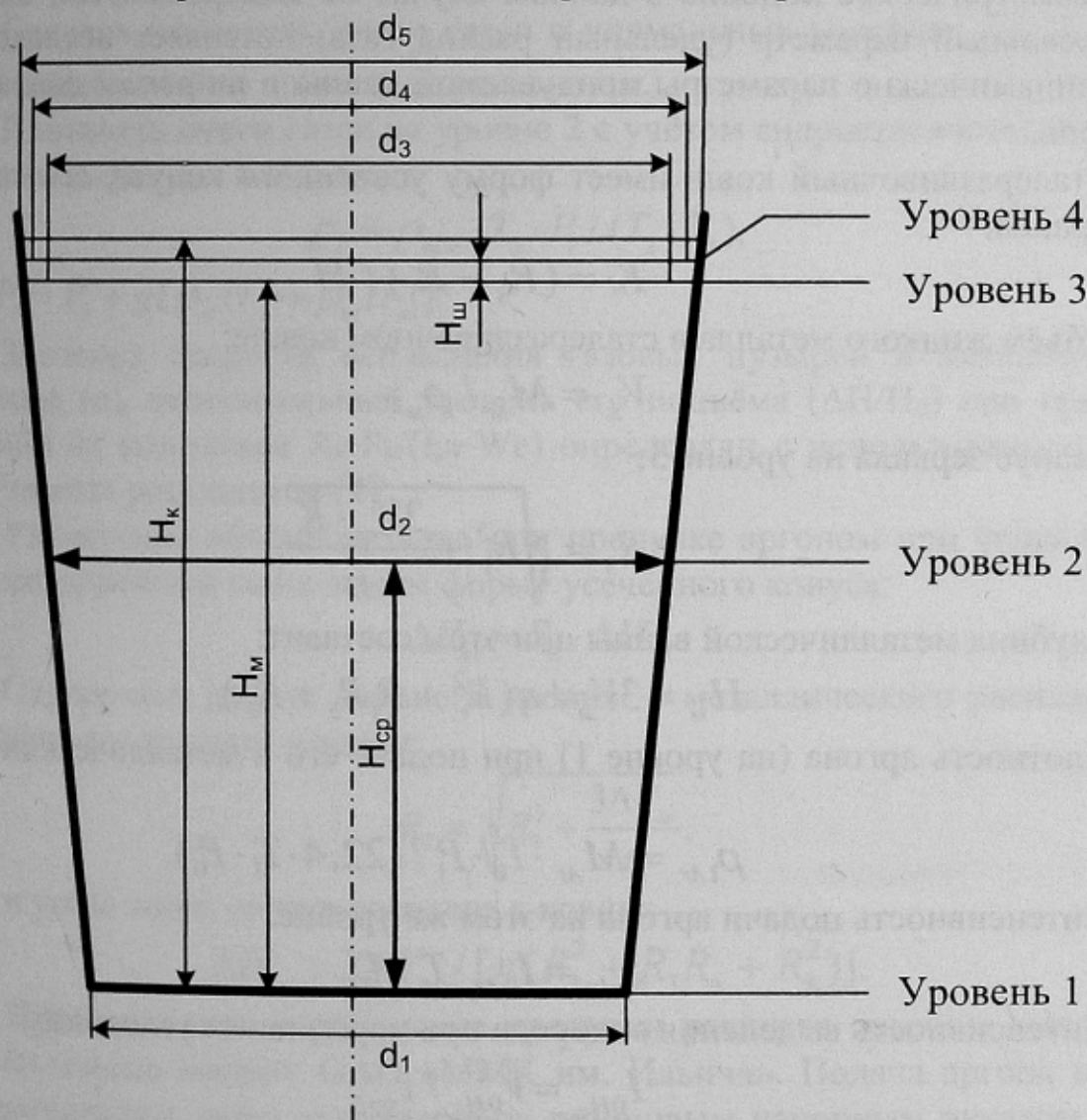


Рисунок 1 – Схема для расчёта основных газо- и гидродинамических параметров продувки жидкого металлического расплава аргоном

Каждый i -ый уровень имеет свои собственные газо- и гидродинамические значения: $H_i, S_i, V_i, \rho_i, P_i, T_i, I_i$. Указанный ковш характеризуется

следующими основными параметрами: нижний диаметр $d_1 = 3372$ мм, верхний $d_5 = 3660$ мм, высота рабочего пространства ковша $H_k = 3430$ мм, высота металла 3170 мм, высота шлака $130 - 230$ мм.

При моделировании для соблюдения условия $Re \cdot Fr / (Eu \cdot We) = idem$ необходим учёт следующих параметров: масса жидкого металла M_m , т; плотность металла и шлака $\rho_m, \rho_{ш}$, кг/м³; температура металла и окружающей среды T_m, T_o , °К; геометрические размеры ковша d_1, d_5, H_k , м; толщина слоя металла и шлака $H_m, H_{ш}$, м; молекулярная масса аргона M_{Ar} , г/моль; атмосферное давление P_0 , кг/м²; продолжительность продувки стали аргоном $\tau_{пр}$, сек; доля газов в смеси газового пузырька g_{CO} и g_{N_2} ; свойства жидкого металлического расплава: кинематическая вязкость ν , м²/с и поверхностное натяжение металла σ , кг/с².

Геометрическое подобие в данном случае не выдерживается, однако универсальный параметр (удельный расход газа) позволяет исследовать гидродинамические параметры продуваемой ванны в широком диапазоне размеров.

Сталеразливочный ковш имеет форму усечённого конуса, его конусность равна:

$$K = (R_3 - R_1) / H_m, \quad (1)$$

Объём жидкого металла в сталеразливочном ковше:

$$V_m = M_m / \rho_m. \quad (2)$$

Радиус зеркала на уровне 3:

$$R_3 = \sqrt[3]{R_1^3 + \frac{3V_m \cdot K}{\pi}}. \quad (3)$$

Глубина металлической ванны при этом составит:

$$H_m = 3V_m / \pi(R_1^2 + R_1R_3 + R_3^2). \quad (4)$$

Плотность аргона (на уровне 1) при подаче его в металлический расплав:

$$\rho_{1Ar} = M_{Ar} \cdot T_0 \cdot P_1 / (22,4 \cdot T_1 \cdot P_0). \quad (5)$$

Интенсивность подачи аргона на этом же уровне:

$$I_{1Ar} = I_{0Ar} \cdot T_1 / T_0. \quad (6)$$

Интенсивность выделения водорода при нормальных условиях:

$$I_{0H_2} = V_{0H_2}^\Sigma / \tau_{пр}, \quad (7)$$

и на уровне 3:

$$I_{3H_2} = I_{0H_2} \cdot T_3 / T_0, \quad (8)$$

аналогично для аргона:

$$I_{3Ar} = I_{0Ar} \cdot T_3 / T_0. \quad (9)$$

Выделение водорода и прохождение аргона на уровне 3:

$$\Sigma I_3 = I_{3H_2} + I_{3Ar}. \quad (10)$$

Всего с учётом наличия в пузырях аргона CO и N₂, обозначенных как другие газы:

$$\Sigma I_{3др} = \Sigma I_3 / 0,8, \quad (11)$$

считая долю газов в смеси газового пузырька $g_{CO} = 0,1$ и $g_{N_2} = 0,1$.

Суммарная интенсивность выделяемых газов на уровне 2 определяется как средняя величина

$$I_{2см}^{\Sigma} = (I_{1Ar} + \Sigma I_{3др}) / 2. \quad (12)$$

Удельная интенсивность прохождения газов на уровне 2:

$$i_{2см}^{\Sigma} = I_{2см}^{\Sigma} / S_2. \quad (13)$$

Средняя плотность смеси газов в нормальных условиях ($\rho_{0см}$) может быть определена по правилу аддитивности.

Плотность смеси газов на уровне 2 с учётом гидростатического давления и температуры металла:

$$\rho_2 = \rho_{0см} \cdot T_0 \cdot P_1 / (T_2 \cdot P_0), \quad (14)$$

где $P_1 = P_0 + g(\rho_m H_m + \rho_{ш} H_{ш})$.

Значения скорости всплывания газовых пузырей в металлическом расплаве (u), относительный уровень его подъёма ($\Delta H/H_0$) при продувке аргоном от комплекса Re·Fr/(Eu·We) определяли с использованием ранее полученных результатов [4].

Увеличение объёма металла при продувке аргоном при условии, что сталеразливочный ковш имеет форму усечённого конуса:

$$\Delta V_m = S_2 \cdot \Delta H_m. \quad (15)$$

Определяем радиус верхнего уровня 4 металлического расплава при продувке его аргоном в ковше:

$$R_3 = \sqrt[3]{R_3^3 + \frac{3\Delta V_m}{\pi}}, \quad (16)$$

и увеличение уровня расплава в ковше:

$$\Delta H_k = 3\Delta V_m / [\pi(R_3^2 + R_3 R_4 + R_4^2)]. \quad (17)$$

Промышленное опробование продувки расплава аргоном выполняли на 160-тонных ковшах ОАО «ММК им. Ильича». Подача аргона в ковш осуществлялась через аргонопровод резиновым напорным рукавом. Регулировку подачи аргона контролировали счётчиком и производили вручную с использованием существующих на установке запорных вентилей и манометров. Продувка продолжительностью 240 – 480 с и не превышала длительности слива стали, интенсивность продувки в момент завершения выпуска изменяли в пределах $(0,07 - 0,51) \cdot 10^5$ см³/с, что обусловлено необходимостью определения оптимальных значений.

Изменение технологических факторов и расчетных газогидродинамических параметров продувки жидкого металла аргонem, подаваемого через пористые пробки сталеразливочного ковша приведены в таблице.

Таблица – Изменение технологических факторов и расчётных газогидродинамических параметров продувки

№ плавков	$\tau_{пр}$, сек	Содержание водорода, $\text{см}^3/100 \text{ г}$		i_r , $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$	$\frac{Re \cdot Fr}{Eu \cdot We}$, 10^4	$\Delta H/H_0$	ΔH_k , м
		Сравн.	Опытн.				
1	260	6,89	5,75	0,0195	7,26	0,062	0,21
2	300	8,15	4,50	0,0280	47,71	0,100	0,33
3	420	9,18	6,02	0,0390	291,12	0,042	0,48
4	240	8,43	6,30	0,0190	7,45	0,068	0,29
5	400	5,02	3,71	0,0167	3,27	0,052	0,19
6	380	10,90	8,49	0,0156	1,29	0,049	0,16
7	360	8,19	5,25	0,0412	352,11	0,153	0,50
8	480	10,70	8,93	0,0101	0,26	0,042	0,13
9	240	5,82	5,25	0,0069	0,06	0,021	0,08

Зависимость относительного увеличения уровня металлического расплава от значения комплекса $Re \cdot Fr / (Eu \cdot We)$ представлена на рис. 2.

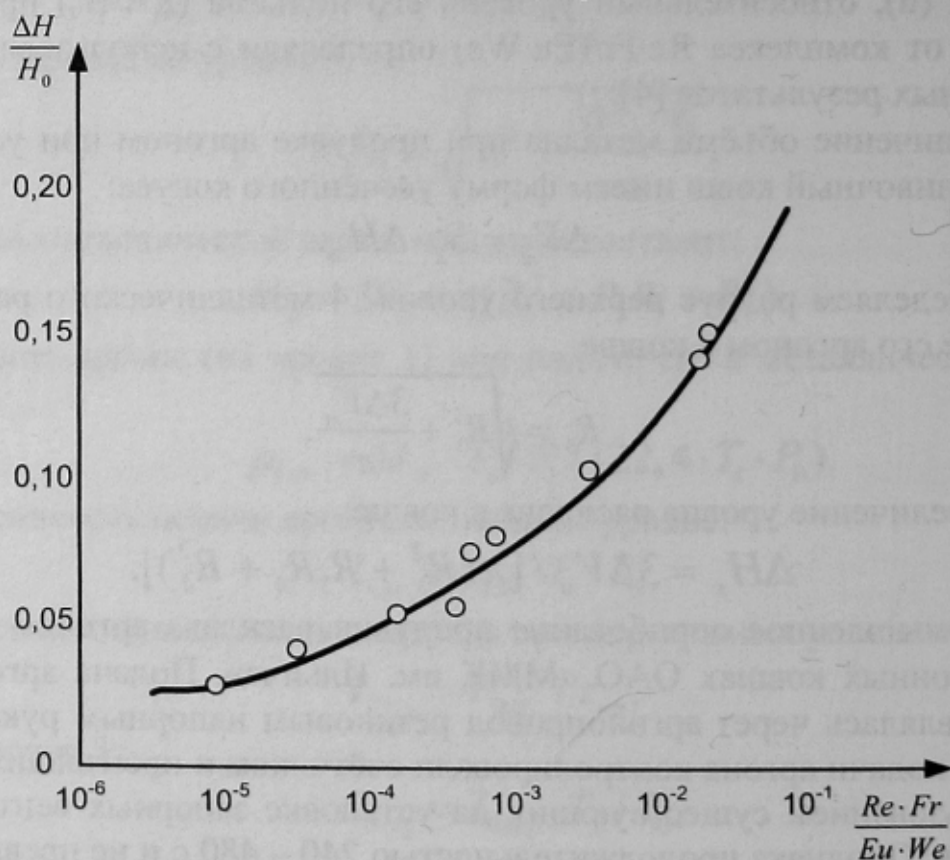


Рисунок 2 – Зависимость относительного увеличения уровня расплава от значения комплекса $Re \cdot Fr / (Eu \cdot We)$ при продувке аргонem

Приведенные данные показывают, что при низких значениях $Re \cdot Fr / (Eu \cdot We)$ (менее 0,1) характер зависимости $\Delta H / H_0$ сложный и практически совпадает с таковым, полученными в условиях холодного моделирования. Рост $\Delta H / H_0$ с увеличением $Re \cdot Fr / (Eu \cdot We)$ немонотонный; так при увеличении $Re \cdot Fr / (Eu \cdot We)$ от $0,6 \cdot 10^{-6}$ до $0,2 \cdot 10^{-4}$ рост $\Delta H_k / H_0$ слабый, а затем, при $Re \cdot Fr / (Eu \cdot We) > 0,3 \cdot 10^{-4}$ - более интенсивный.

Выводы

Таким образом, в результате выполненных исследований установлено, что при высоте рабочего пространства ковша $H_k = 3430$ мм, наполнении его металлическим расплавом массой 160 т на высоту 3150-3200 мм и слое шлака $H_{ш} = 130-230$ мм для недопущения переполнения ковша необходимо снижать интенсивность подачи аргона и несколько увеличивать при этом (на 2-3 минуты) продолжительность продувки, что приведёт к улучшению технико-экономических показателей обработки стали аргоном.

С использованием разработанной математической модели предложена и опробована в промышленных условиях технология аргонной продувки металла в сталеразливочном ковше по ходу выпуска и после его завершения. В исследованном интервале интенсивности подачи инертного газа возможно эффективное удаление водорода при увеличении уровня металла и шлака, обеспечивающих безопасное выполнение операции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Немченко В.П. К гидродинамике продувки стали газами в ковше / В.П.Немченко, В.А.Козьмин, С.И.Попель // Известия вузов. Чёрная металлургия. – 1971. - № 10. – С. 41 – 44.
2. Шифрин В.М. Исследование эффективности дегазации металла при продувке его аргоном в ковше / В.М.Шифрин, В.И. Кадинов // Известия вузов. Чёрная металлургия. – 1975. – №12. – С. 59 – 64.
3. Yoshida T., Osada Sh., Arima K. A new method of removing inclusions in molten steel by injecting gas from the shroud. // Transactions of the ISIJ. – 2006. – p. 472-478.
4. Изменение уровня жидкости при донной продувке неассимилируемым газом / П.С.Харлашин, А.Н.Яценко, В.Я.Бакст, В.М.Бакланский // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2010. – №2. – С. 75 – 77.

Поступила в редакцию 27.05.2010

Рецензент д-р техн. наук, проф. А.Н. Смирнов

© Харлашин П.С., Яценко А.Н., Бакст В.Я., 2010