

С.А. Шевченко, А.Ф. Шевченко, В.И. Елисеев, А.П. Толстопят

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ПРОНИКНОВЕНИЯ ИСТЕКАЮЩЕЙ ИЗ ФУРМЫ МАГНИЙСОДЕРЖАЩЕЙ СТРУИ В РАСПЛАВ ЧУГУНА

Проведена оценка глубины проникновения истекающей двухфазной струи в расплав, применительно к процессу инжекционного рафинирования чугуна магнием без пассивирующих добавок. Установлено, что расстояние от среза фурмы до дна ковша должно быть около 0,2 м.

Постановка проблемы

Истекающая из канала фурмы двухфазная магнийсодержащая струя образует в расплаве газовую полость за счет газовой составляющей потока. В объеме этой полости перемещаются гранулы магния, подвергаясь тепловому воздействию со стороны расплава чугуна. Вследствие этого длина газовой полости (т.е. глубина проникновения струи $h_{ст.}$) оказывает существенное влияние на тепло–массообменные процессы и фазовые превращения магния в прифурменной зоне.

Вдуваемый двухфазный поток с гранулированным магнием является весьма разреженной средой с объемной концентрацией твердой фазы около 1,6 % и ниже. С учетом этого при оценке глубины проникновения струи в расплав можно рассматривать истекающую струю как газовую.

Изложение основных материалов исследования.

Имеется ряд полуэмпирических и теоретических выражений [1–4], по которым глубина проникновения истекающей струи в жидкость зависит от скорости истечения ($W_{ст.}$), диаметра сопла (D_k) и соотношения плотностей струи ($\rho_{ст.}$) и жидкости ($\rho_{ч.}$). В совокупности эти параметры могут быть объединены в функциональную зависимость критерия Архимеда:

$$A_r = \frac{\rho_{ст.}}{\rho_{ч.}} \cdot \frac{W_{ст.}^2}{g \cdot D_k} \quad (1)$$

Выполненный нами расчетный анализ сопоставимости числовых значений $h_{ст.}$ по различным выражениям [1–4] показал существенные расхождения. Поэтому для выбора наиболее приемлемого выражения нами была выполнена экспериментальная проверка на холодной прозрачной модели с соблюдением условий подобия. Благодаря прозрачности модели зона истечения и внедрения струи в жидкость фиксировалась камерой, что позволило при варьировании диаметра сопла и скорости определить фактическую величину $h_{ст.}$ для диапазона числа Архимеда 2–300. Сопоставлением экспериментальных и расчетных данных (рис.1) было показано, что наибольшее их совпадение наблюдается с расчетными значениями по выражению И.Г.Казанцева [1,4]:

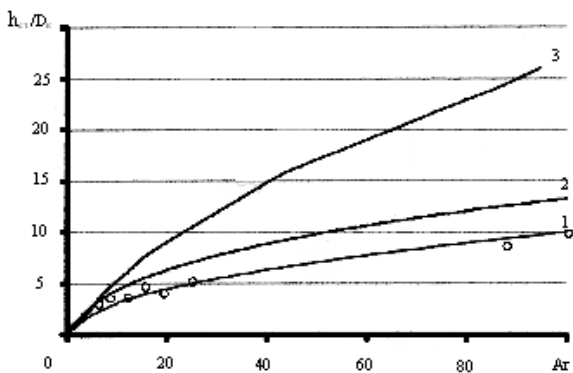


Рис.1. Зависимость отношения глубины проникновения воздушной струи ($h_{ст}$) в воду к диаметру сопла (D_k) от числа Архимеда. 1 – по данным Казанцева Л.М. [1], 2 – по данным [2], 3 – по данным [3], Точки на диаграмме – данные экспериментов на холодной модели.

$$h_{ст} = \frac{1}{2} \cdot n \cdot D_k \cdot Ar, \quad (2)$$

где n – является коэффициентом проникновения струи. Для случаев $Ar < 10$ n определяется по выражению:

$$n = 0,0017 \cdot Ar^2 - 0,0592 \cdot Ar + 1,018, \quad (3)$$

а в случае $Ar > 10$ n определяется [5]:

$$n = \frac{2}{\sqrt{Ar}}. \quad (4)$$

Поэтому для дальнейших расчетов было использовано выражение И.Г.Казанцева (2).

Нами были выполнены расчеты величин глубины проникновения струи в расплав по выражению (2) при варьировании диаметра канала в пределах 8–20 мм, расхода азота 40–180 $\text{нм}^3/\text{ч}$, скорости истечения газа на срезе сопла 10–300 м/с и при глубине погружения фурмы 2, 3 и 4 м (для наиболее характерных групп ковшей). Результаты расчетов показали, что глубина проникновения струи при указанных параметрах изменяется от 2 до 300 мм. При увеличении скорости потока до 300 м/с глубина проникновения струи практически линейно зависит от W_z (рис.2), при этом, чем больше диаметр канала, тем больше глубина проникновения струи в расплав (при постоянстве скорости газа на выходе из канала).

Оценка реальных величин $h_{ст}$ при вдувании магния выполнена при варьировании расхода азота в пределах 40–180 $\text{нм}^3/\text{ч}$ через каналы различного диаметра. Установлено, что при постоянных глубине погружения фурмы h_{ϕ} и диаметре канала D_k глубина проникновения струи в расплав $h_{ст}$ линейно увеличивается с ростом V_r (рис.3). Для рекомендованных ранее [6,7] $D_k = 12$ мм и расхода азота 150 $\text{нм}^3/\text{ч}$ глубина $h_{ст}$ составляет 95 мм при $h_{\phi} = 3$ м. Следовательно, в реальных условиях продувки чугуна магнием, когда расстояние от среза фурмы до дна ковша превышает 0,2 м, истекающий из фурмы газовый поток не достает до дна ковша. При варь-

ировании расхода газа от 80 до 180 $\text{нм}^3/\text{ч}$ глубина проникновения потока в жидкий чугун (т.е. фактическая длина газовой полости под фурмой) изменяется от 50 до 125 мм (при диаметре канала 12 мм).

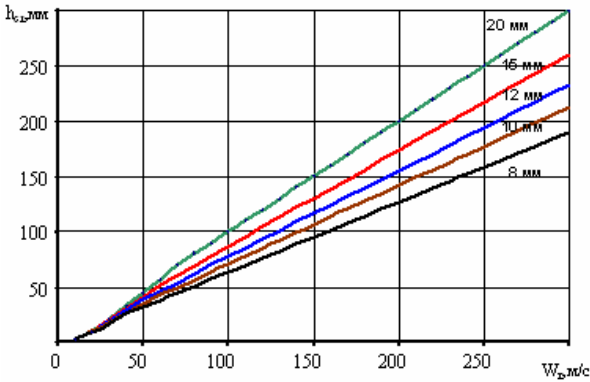


Рис.2. Зависимость глубины проникновения затопленной струи ($h_{ст}$) в жидкий чугун от скорости потока (W_r) на срезе фурмы; глубина погружения фурмы в жидкий чугун – 3 м. Цифры у кривых – диаметр канала фурмы

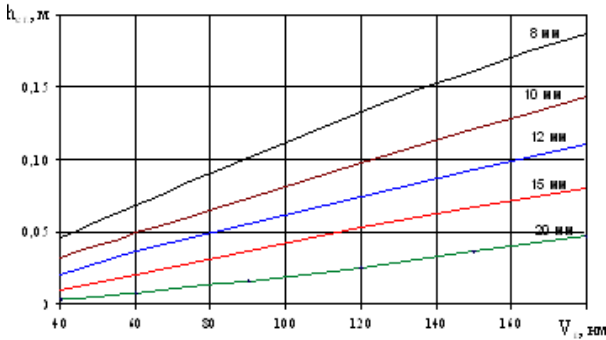


Рис.3. Зависимость глубины проникновения затопленной струи ($h_{ст}$) в жидкий чугун от расхода (V_r) газа (азота); глубина погружения фурмы – 3 м. Цифры у кривых – диаметр канала фурмы

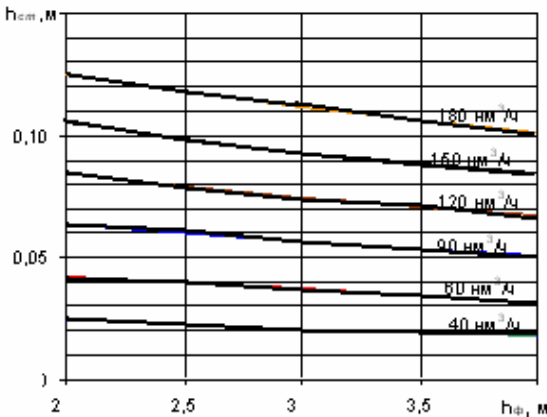


Рис.4. Зависимость глубины проникновения струи в расплав ($h_{ст}$) от глубины погружения фурмы в чугун ($h_{ф}$) при диаметре канала 12 мм. Цифры у линий – расхода азота.

Увеличение глубины погружения фурмы в расплав чугуна при всех прочих равных условиях ($V_r = const$, $D_k = const$) сопровождается уменьшением глубины проникновения $h_{ст.}$ (рис.4), что происходит в основе за счет фактического снижения скорости W_r потока. Следовательно, при сохранении постоянными ряда параметров вдувания магния (W_r , V_r , D_k и др.) увеличение глубины погружения фурмы (т.е. увеличение глубины ванны чугуна) приводит к снижению скорости истечения потока из канала в расплав W_r и уменьшению глубины проникновения потока $h_{ст.}$

Выводы

Полученные значения $h_{ст.}$ могут быть приняты для оценки и исследований тепло–массообменных процессов, протекающих в прифурменной зоне при инъекционном рафинировании чугуна диспергированными реагентами и их взаимодействия с расплавом чугуна. Абсолютные величины $h_{ст.} \leq 150$ мм при реальных расходах газа $V_r \leq 180$ м³/ч и диаметра канала 10–12 мм свидетельствует о том, что при расстоянии от среза канала до дна ковша более 0,2 м газовый поток не касается дна ковша, и имеется достаточный объем расплава для развития тепло–массообменных процессов между магнием и чугуном в прифурменной зоне.

1. Явойский В.И., Дорофеев Г.А., Повх И.Л. Теория продувки сталеплавильной ванны. – М.: Металлургия, 1974. – 496 с.
2. Алабовский А.Н., Удыма П.Г. Аппараты погружного горения. – М.: Изд–во МЭИ, 1994. – 256 с.
3. Айронз Г.А. Научный и практический аспекты конструирования фурм для вдувания порошков. // Инжекционная металлургия '86: Труды конференции. – М.: Металлургия, 1990. – С.44–62.
4. Казанцев И.Г. // Труды Ждановского металлургического института. – М.: Металлургиздат, 1952. – Вып..2. – 321 с.
5. Ефимов Л.М. Труды научно–технического общества черной металлургии. – М.: Металлургиздат, 1957. – Т. XVIII. – С.40–58.
6. Расчетная оценка скорости газового потока при условии вдувания магния в жидкий чугун. / А.Ф.Шевченко, С.А.Шевченко, А.П.Толстопят и др. // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. –Сб. тр. ИЧМ, г.Днепропетровск Изд. Визион., 2003.– вып..6. – С.111–116.
7. Исследование влияния условий инъектирования магнией содержащих реагентов в жидкий чугун на механизм взаимодействия магния с расплавом и получение особо чистого по сере чугуна (0,001–0,003 %) при десульфурации в заливочных ковшах. Отчет ИЧМ. № госрегистрации 0103U007231, г.Днепропетровск. – 2005г. – 253с.

Статья рекомендована к печати д.т.н. А.С.Вергуном