

УДК 669.183

**В. С. ЖИВЧЕНКО** (канд. техн. наук, доц.),**С. А. ФРОЛОВА** (канд. х. наук, доц),**В. Д. АЛЕКСАНДРОВ** (д-р х. наук, проф.)

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

## **ОСОБЕННОСТИ РАФИНИРОВАНИЯ СТАЛИ ОТ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ ПРИ ПРОДУВКЕ ИНЕРТНЫМ ГАЗОМ**

В данной статье приведены результаты теоретических и практических исследований процессов при прохождении газовых пузырей через жидкий металл. Установлено, что наиболее максимальный эффект удаления неметаллических включений получен при шлейфовой продувке расплава в мелкопузырьковом режиме через пористые швы днища ковша или строчечнощелевые секции.

**аргон, сталь, неметаллические включения, продувка, рафинирование**

К настоящему времени в черной металлургии достаточно полно разработано понятие "чистой" стали в зависимости от требований, предъявляемых потребителями к качеству металлопродукции.

В отношении ряда марок стали для удовлетворения требований потребителя не обязательно стремиться к значительному снижению количества неметаллических включений, а достаточно обеспечить их регламентированное остаточное содержание определенного состава и морфологии. В металлургии на современном этапе эта задача успешно решается при внепечной обработке стали порошковыми проволоками с наполнителями из химически активных элементов [1].

Наряду с этим, в последнее время возрастает спрос к производству сталей, особо чистых по неметаллическим включениям. Решающую роль при этом оказывает гидродинамика системы металл-шлак при продувке стали инертным газом. В настоящее время используют продувочные устройства, которые можно условно разделить на два типа: устройства с небольшой рабочей поверхностью и концентрированным вводом газа в расплав и устройства с развитой рабочей поверхностью и рассредоточенным вводом газа.

Удаление неметаллических включений из стали и ассимиляция их шлаком при перемешивании расплава инертным газом происходит по сле-

дующей схеме: всплывание крупных включений; коагуляция их в потоке расплава за счет образующегося градиента скоростей; флотация мелких включений всплывающими пузырьками газа. В процессе удаления неметаллических включений степень влияния этих факторов изменяется и для получения особо чистой стали превалирующее значение приобретают два последних.

При коагуляции мелких включений главным фактором в процессе их удаления является время коагуляции ( $\tau$ ), которое в спокойном металле достаточно велико [2]. С появлением гетерогенных скоростных потоков время градиентной коагуляции включений резко уменьшается и оценивается по формуле(1) [3]:

$$\tau_{\cdot p} = \frac{2,44 \cdot 10^{-4}}{n_o \cdot \tau^3} \cdot \frac{R}{q \left[ 1 - \left( \sqrt[3]{1 + u/q} \right)^{-1} \right]}, \quad (1)$$

где  $n_o$  – первоначальное количество частиц;  $R$  – радиус пузырька;  $q$  – расход газа;  $u$  – скорость подъема пузырьков;  $\tau$  – время коагуляции.

Из уравнения (1) видно, что главным образом время коагуляции зависит от размера пузырька  $R$  и расхода газа  $q$ .

При флотации неметаллических включений ее скорость определяется коэффициентом осаждения  $E$  (2):

$$E = \frac{n_i}{n'_o}, \quad (2)$$

где  $n_i$  — количество частиц, соприкоснувшихся с пузырьком;  $n'_o$  – количество частиц в столбе расплава с диаметром, равным диаметру пузырька .

Число частиц, флотируемых в каждом столбе расплава, определяется по формуле (3):

$$\sum_{i=1}^N n_i = n'_o \left[ 1 - (1 - E)^N \right] \quad (3)$$

Соответственно, количество пузырей газа  $N_i$  необходимых для уменьшения неметаллических включений в  $k$ :раз, находится из равенства (4):

$$N_i = \frac{\lg k}{\lg(1 - E)} \quad (4)$$

Из гидродинамики известно, что величина  $E$  зависит от радиуса частиц и газовых пузырей, а также режимов обтекания их расплавом.

По результатам исследований на прозрачной модели влияния интенсивности подачи газа в жидкость через один капилляр на удельное количество пузырьков, траектории их движения, а также степени рафинирования от твердых не коагулирующих частиц, построены зависимости, приведенные на рис 1.[6]:

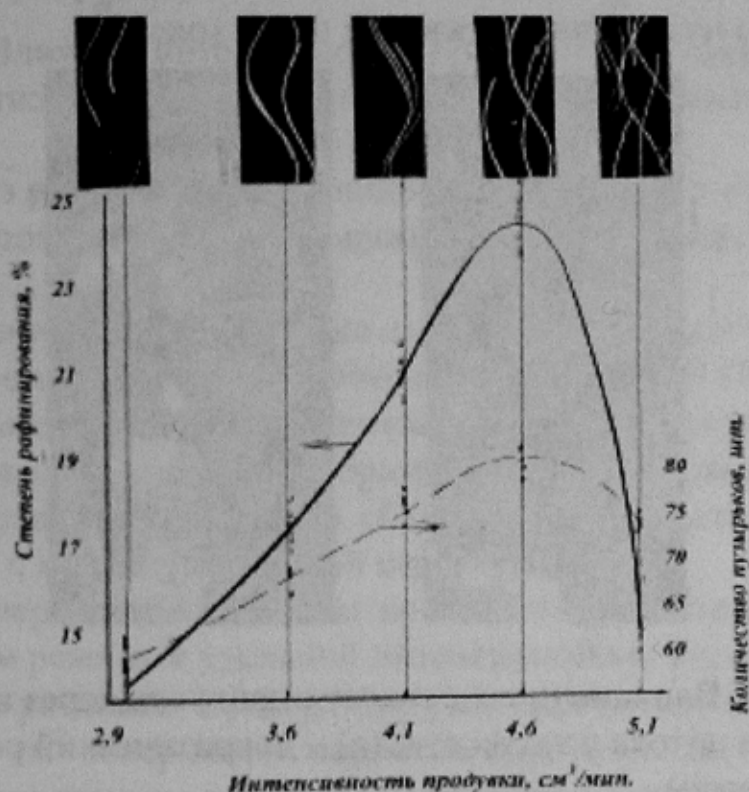


Рисунок 1 - Влияние интенсивности продувки на степень рафинирования, количества пузырьков и траекторией их движения.

Эти исследования также показали, что уменьшение расстояния между пузырьками до 20 калибров приводит к раздвоению траекторий движения благодаря воздействию кильватерного следа предыдущего пузырька. Увеличение размера пузырьков приводит к их пульсации в вертикальной плоскости вплоть до дробления на более мелкие. По результатам моделирования построены зависимости степени рафинирования, количества пузырьков и их поведения от интенсивности продувки.

Сопоставляя величины степени рафинирования с соответствующими фотографиями траекторий движения пузырьков газа можно установить следующие закономерности: начало вибрации приводит к резкому сниже-

нию степени рафинирования; кроме того, на степень рафинирования существенно влияют количество и размер пузырьков. Таким образом с целью более эффективного рафинирования стали от неметаллических включений продувка должна производиться на максимальной площади с максимальным количеством пузырьков и интенсивностью продувки, не допускающей их вибрацию.

Моделирование процесса продувки расплава металла аргоном через газопроницаемую пробку (с учетом краевого угла смачивания на границе жидкость – подложка, скорости выхода газа из пор, теплового расширения) показало, что в момент выхода газа из капилляров, пузырьки сливаются, образуя крупно пузырьковый газовый поток (рис. 2).

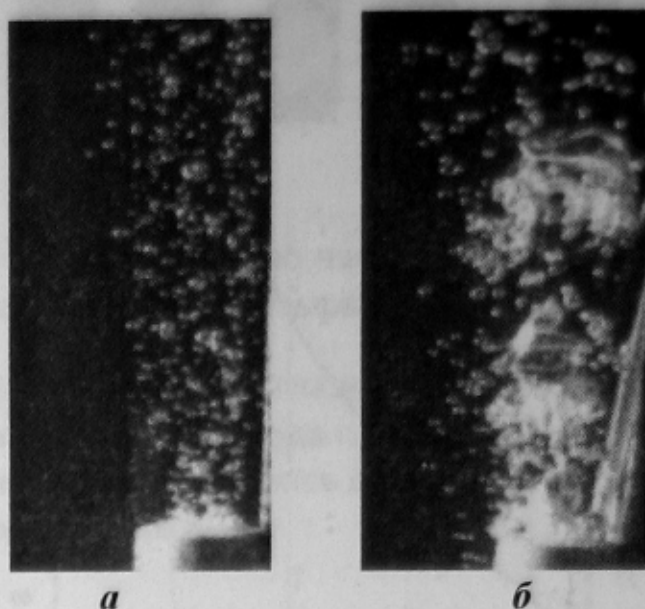
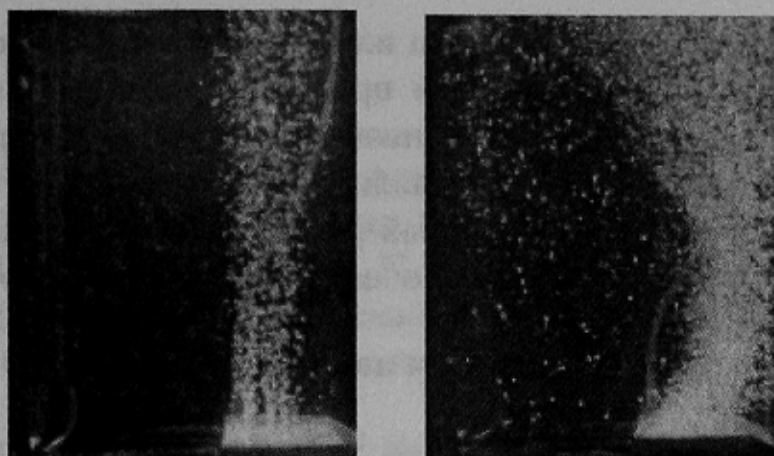


Рисунок 2 - Влияние интенсивности продувки через пористую пробку на вид газового потока в жидкости: (а) – докритический режим; (б) – закритический режим

Наиболее полно реализуется выполнение условий удаления неметаллических включений при продувке расплава через пористые швы днища ковша или строчечнощелевые секции из которых монтируется блок [4,5,8].

Проведенные исследования на прозрачных моделях процесса истечения газа в жидкость из газопроницаемых швов (с площадью на образце равной  $390\text{см}^2$ ) показало, что газовый поток имеет вид отдельных шлейфов состоящих из пузырьков диаметром 0,5 - 1,0см. Образование грибообразных пузырей во всем интервале расхода газа не происходило (рис 3).

Из приведенных фотографий видно, в зависимости от интенсивности продувки можно реализовать два режима потоков газа – ламинарный, при максимально развитом процессе флотации; турбулентный – при котором успешно протекает процесс турбулентных пульсаций способствующих коагуляции мелких включений.



а

б

Рисунок 3 - Влияние интенсивности продувки на поведение газовых потоков в жидкости: а – ламинарное движение; б – турбулентное движение.

Кроме того, из рисунка 3б четко видны сплошные, без затенений, газо-металлические потоки. Слияния пузырьков на фотографиях не обнаружено.

При этом увеличивается не только суммарная продуваемая площадь в 3-8 раз, но и самое главное — газ проходит через тонкие (1,5-2 мм) швы, обеспечивающие мелкопузырьковый режим выходящего газа.

Это обстоятельство коренным образом влияет на условия получения газового потока, распределенного по объему жидкого металла в виде отдельных шлейфов с мелкопузырьковой структурой.

Подача газа через пористые швы позволяет производить продувку в мелкопузырьковом режиме с удельной интенсивностью более 3,5 л/мин.

При продувке расплава через пробку удельная интенсивность продувки из расчета на 1 см<sup>2</sup> поверхности пористой пробки не должна превышать 0,7 л/мин. Согласно данным работы [6] продувка металла через пробку в 180-т-ковше производится с интенсивностью менее 100 л/мин. При таком расходе обеспечивается пузырьковое истечение газа в расплав. Увеличение интенсивности до 150 л/мин приводит к резкому снижению степени удаления неметаллических включений. Для сохранения пузырькового режима необходимо увеличение числа пробок.

Анализ продувки нержавеющей стали (100 плавов) аргоном через пористые швы в 60-т ковшах показал следующее [7]. Обработка стали с расходом 0,07 нм<sup>3</sup>/т в течение 5 мин привела к существенному увеличению количества крупных глобул. Сокращение времени продувки приводит к некоторому снижению крупных глобул. Продувка металла свыше 9 мин позволила снизить отбраковку по этому показателю более чем в 8 раз.

Таким образом, для эффективного удаления неметаллических включений продувку жидкого металла предпочтительней производить через газо-

проницаемые швы в днище ковша или строчечнощелевые секции из которых монтируется блок. При этом продувка должна производиться в два этапа: с интенсивностью, обеспечивающей турбулентность режима движения газов для коагуляции неметаллических включений, и с интенсивностью, обеспечивающей ламинарный режим движения газового потока для флотации остаточных мелких включений.

### Список литературы

1. Дюдкин Д.А., Бать С.Ю., Гринберг С.Е., Кисиленко В.В., Онищук В. П. // Внепечная обработка расплава порошковыми проволоками. –Донецк: Юго-Восток, 2002. –С. 296.
2. Попель С.И. Физико-химические основы производства стали. –М.: Наука, 1964. –С. 15.
3. Попель С.И., Немченко В.П. // Процессы раскисления и образования неметаллических включений в стали. –М.: Наука, 1977. –С. 22-33.
4. Живченко В.С., Парахин Н.Ф. // Сталь. –Москва. –1979, № 4. –С. 45-47.
5. Блащук Н.М., Живченко В. С., Дадонов М.К. // Сталь. –Москва. –№ 9. –С. 30-31.
6. Свяжин А.Г., Романович Д.А., Шахпазов Е.Х. // Труды шестого конгресса сталеплавателей. – М.: Черметинформация, 2001. –С.333-336.
7. Живченко В.С., Олейник Ю. В., Дырул О.М. // Металлургическая и горнорудная промышленность. –2002, № 7. –С. 163-166.
8. Живченко В.С. Зубков М.И., Кондратенко С.В. Блок для обработки жидкого металла газами. Декларационный патент на полезную модель №24045 11.06.07. Бюл. №8.

Надійшла до редколегії 27.05.2009.

**В. С. ЖИВЧЕНКО, С. А. ФРОЛОВА,  
В. Д. АЛЕКСАНДРОВ**

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

**V. S. ZHIVCHENKO, S. A. FROLOVA,  
V. D. ALEKSANDROV**

Donbass National Academy of Building and Architecture.

**Особенности рафинирования стали от неметаллических включений при продувке инертным газом.** Наведені результати теоретичних і практичних досліджень процесів при проходженні газових бульбашок крізь рідкий метал.

**Peculiarities of Steel Refining from Non-Metal Inclusions by Gas Stirring.** The article presents the results of the theoretical and practical study of the processes which take place when gas bubbles are passing through liquid metal.

*аргон, сталь, неметалічні включення, продувка, рафинирования*

*argon, steel, nonmetallic inclusions, , stirring, refining*

© В. С. Живченко, С. А. Фролова, В. Д. Александров, 2009