

---

# ПОЛУЧЕНИЕ И ОБРАБОТКА РАСПЛАВОВ

УДК 669.154:621.9.048

**В. Л. Найдек, Д. М. Беленький, Н. С. Пионтковская,  
А. В. Наривский**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СКОРОСТНОЙ ГАЗОВОЙ СТРУИ С РАСПЛАВОМ

*Определены структура и протяженность зоны взаимодействия горизонтальной скоростной струи аргона с жидкой средой в зависимости от расхода газа на обработку.*

**Ключевые слова:** струя, структура, расплав, газ, дальность.

*Визначено структура та довжина зони взаємодії горизонтального швидкісного струменя аргону з рідким середовищем в залежності від витрати газу на обробку.*

**Ключові слова:** струмень, структура, розплав, газ, далекобійність.

*It are determined the structure and the zone extent of interaction horizontal high-speed jet Ar with liquid environment depending on the gas charge on processing.*

**Keywords:** jet, structure, melt, gas, range.

Повысить качество литого металла можно путем применения эффективных технологий рафинирования сплавов, которые обеспечивают интенсивное взаимодействие газовых, жидких и твердых реагентов с расплавом. Одним из способов, позволяющим увеличить поверхность взаимодействия фаз с жидким металлом, является глубинная обработка сплавов высокоскоростными газовыми струями [1-3]. Однако, сведения о гидродинамических параметрах таких струй в настоящее время ограничены. В данной работе представлены результаты исследования процесса взаимодействия высокоскоростной аргоновой струи с расплавом.

Исследования проводили методом физического моделирования на прозрачной модели. Аргон подавали в воду через фурму с горизонтальным соплом диаметром 0,8 и длиной 4 мм.

Расход аргона, который поступал в фурму из баллона, регулировали редуктором БКО-50ДМ и дросселем, контролировали – ротаметром РМ-0,63 ГУЗ.

Общий вид зоны взаимодействия скоростной струи с жидкостью при давлении аргона в фурме 0,6 МПа представлен на рис. 1. Видно, что реакционная зона газовой струи имеет три характерных участка: основной, эмульсионный и барботажный. Основной поток 1, как и в обычных затопленных в расплав струях газа, ассиметрично расширяется в направлении движения струи с углом раскрытия 22-24°.

На этом расстоянии от сопла, где основная часть кинетической энергии преобразуется в потенциальную, начинается дробление газового объема на отдельные

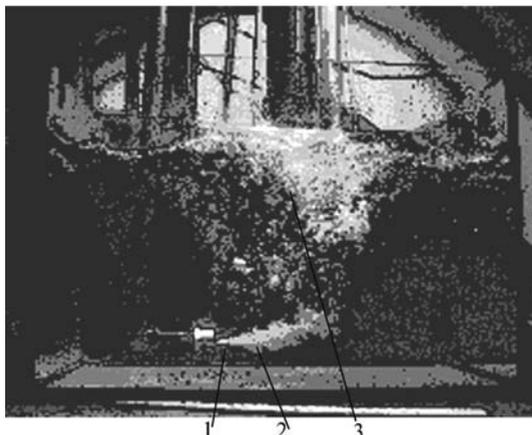


Рис. 1. Зона взаимодействия скоростной струи газа с жидкостью: 1 – основной поток; 2 – эмульсионный; 3 – барботажный

давления направлена в сторону наибольшей деформации газового объема, то есть в сторону, противоположную движению струи. Мгновенное перераспределение давления в газовом объеме вызывает быстрое сокращение его поверхности (преобразование в сферическую форму или близкую к ней). В результате этого газовому объему передается импульс в сторону, противоположную максимальной составляющей лапласового давления, то есть в направлении движения струи. В зависимости от величины и формы газовых объемов импульс давления может достигать такой величины, при которой происходит дальнейшее их дробление. Таким образом, эмульсионный участок формируется за счет кинетической энергии газовой струи и в результате выделения ее при дроблении пузырей.

пузыри. Возникающие при этом пузыри под действием сил поверхностного натяжения продолжают перемещаться горизонтально в жидкость, образуя эмульсионный поток 2.

Образование пузырей при распаде газовой струи в расплаве является сложным физическим процессом, который схематически можно представить (рис. 2, а) следующим образом: струя распадается на отдельные объемы газа в виде фрагментов осколочной формы, но обязательно с овальной или сферической лобовой частью. В момент образования в расплаве таких фрагментов газа лапласово давление в них распределено неравномерно (рис. 2, б). Максимальная составляющая этого

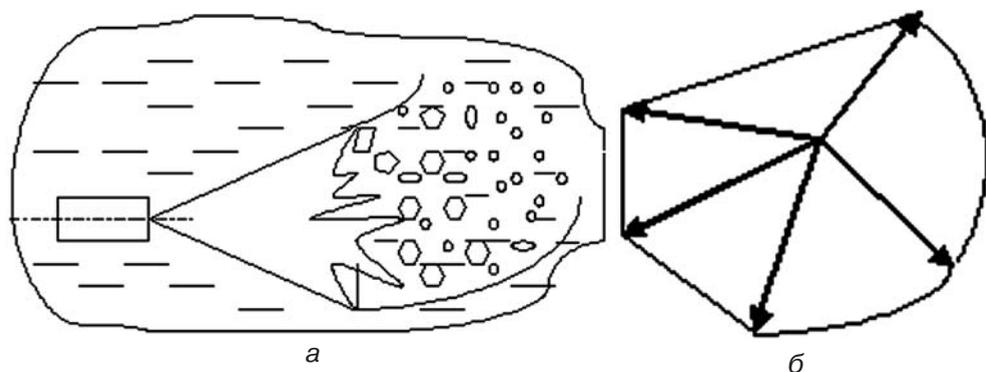


Рис. 2. Схема зоны взаимодействия и распада газовой струи в расплаве

Газовая струя истекает в жидкость с подвижными малоустойчивыми границами. В такой среде пульсация струи вызывает искривление поверхности раздела “газ-жидкость” и образование отдельных массивов жидкости с газовыми пузырьками, которые под действием архимедовых сил поднимаются вверх (рис. 3). По мере увеличения давления газа в фурме до  $\geq 0,6$  МПа прерывистое движение массивов переходит в сплошной барботажный поток 3 (см. рис. 1).

При выходе этого потока из расплава по поверхности ванны образуется и распространяется газожидкостный бурон с максимальной интенсивностью массообмена в нем. Часть газовых пузырей при этом разрушается и удаляется с поверхности в атмосферу, а остальные захватываются жидкостью и поступают обратно в ванну. При наведении на бурлящей поверхности флюса реагенты интенсивно взаимодействуют с расплавом и замешиваются в глубь его.

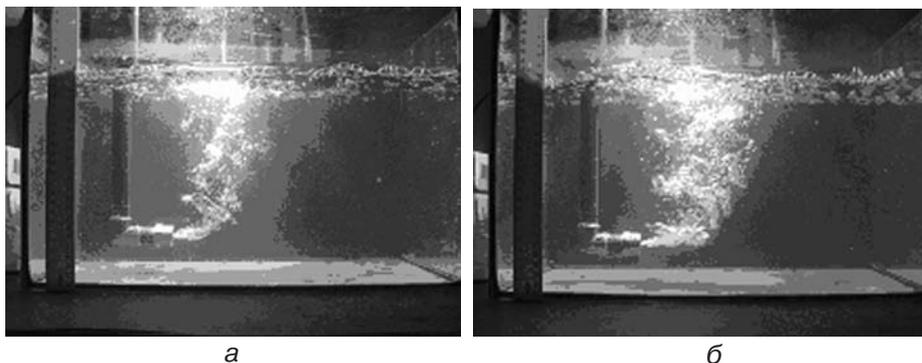


Рис. 3. Зоны взаимодействия скоростной струи с расплавом при давлении аргона в фурме, МПа: а – 0,1; б – 0,3

Важной характеристикой газовой струи является глубина ее проникновения в расплав (дальнобойность), которая оказывает влияние на гидродинамическую обстановку в жидкометаллической ванне при продувке. Глубина проникновения струи в расплав в основном зависит от следующих параметров: диаметра сопла в фурме, скорости истечения газа из сопла, разности плотностей металла и газа, глубины  $h$  истечения струи в расплав, угла наклона сопла к оси фурмы. Дальнобойность  $L$  газовой струи можно представить функциональной зависимостью

$$L = f[d, w, (\rho_m - \rho_g), h, \alpha]. \quad (1)$$

Принимая, что истечение газовой струи происходит из горизонтального сопла на постоянной глубине расплава, запишем уравнение (1) в безразмерном виде

$$\frac{L}{d} = f\left[\frac{\rho_g \cdot w^2}{(\rho_m - \rho_g) \cdot g \cdot d}\right], \quad (2)$$

где  $\rho_m, \rho_g$  - плотность металла и газа, кг/м<sup>3</sup>;  $w$  - скорость струи, м/с;  $d$  - диаметр сопла в фурме, м;  $g$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

В уравнение (2) входит симплекс

$$Ar = \frac{\rho_g \cdot w^2}{(\rho_m - \rho_g) \cdot g \cdot d}. \quad (3)$$

Симплекс (3) является модифицированным критерием Архимеда и характеризует инерционные силы газовой струи, от величины которых зависит ее дальнобойность [5].

Протяженность зоны взаимодействия скоростной струи с жидкостью определяли при разных давлениях и расходах аргона на обработку ванны. Скорость истечения газа из сопла рассчитывали по уравнению

$$w = \frac{Q \cdot \rho_2}{\rho_1 \cdot F}, \quad (4)$$

где  $Q$  - объемный расход аргона на обработку жидкости, м<sup>3</sup>/с;  $\rho_1, \rho_2$  - плотность газа при атмосферном и избыточном давлениях соответственно, кг/м<sup>3</sup>;  $F$  - площадь сечения продувочного сопла, м<sup>2</sup>.

При расчете скорости струи по уравнению (4) плотность аргона при разном его давлении определяли по данным работы [4]. Результаты исследований представлены в таблице.

### Скорость струи, протяженность зоны ее взаимодействия с жидкостью и величина критерия Архимеда в зависимости от расхода газа

<b>P, МПа</b>	0,1	0,16	0,2	0,3	0,4	0,5	0,57
<b>Q, л/мин</b>	1,5	2,0	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6
<b>W, м/с</b>	55,7	91,6	123,2	164,3	200,4	242,7	260
<b>L/d</b>	119	150	169	200	231	243	256
<b>Ar</b>	704	1904	3445	6127	9080	13371	15345

На основании экспериментальных данных получили безразмерную зависимость протяженности зоны взаимодействия скоростной струи с жидкостью от величины критерия Архимеда

$$L / d = 22,75Ar^{0,25}. \quad (5)$$

В традиционных способах обработки сплавов с помощью продувочных фурм с соплами диаметром  $\geq 2$  мм максимальная поверхность взаимодействия расплава с рафинирующим газом достигается при пузырьковом режиме его истечения [6]. Размеры газовых пузырей при этом зависят от смачиваемости жидким металлом материала, из которого изготовлены фурмы. В работе [7] показано, что при продувке алюминиевых сплавов через смачиваемые сопла средний размер образующихся в расплаве пузырей в 3-4 раза больше, чем при обработке их несмачиваемыми устройствами.

При глубинной обработке алюминиевых расплавов скоростными струями газовые пузырьки формируются на некотором расстоянии (зависит от скорости струи) от сопла (рис. 1 и 3). Поэтому размеры пузырей газа в жидком металле не зависят от материала продувочных устройств и определяются только энергетическими параметрами струи. Использование скоростных струй для обработки сплавов позволяет увеличить межфазную поверхность в расплаве за счет интенсивного дробления газа на пузырьки. При этом увеличивается продолжительность контакта мелких пузырей с жидким металлом, сокращаются расход газа и время обработки сплавов.



### Список литературы

1. *Kastner S., Kluger I.* Beitrag zur Technologie der Entgasung von Aluminiumschmelzen // Aluminium. – 1952. – V. 52, № 4. – S. 230-234.
2. *Палачев В. А., Инкин С. В., Белов В. Д., Курдюмов А. В.* Повышение дегазации алюминиевых сплавов продувкой инертными газами // Литейн. пр.-во. – 1992. – № 3. – С. 10-11
3. *Палачев В. А.* Разработка и исследование технологии рафинирования алюминиевых сплавов продувкой газами с высокой скоростью истечения: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 1994. – 31 с.
4. *Варгафтик Н. Б.* Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. – М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит-ры, 1963. – 708 с.
5. *Найдек В. Л., Наривский А. В.* Повышение качества отливок из алюминиевых и медных сплавов плазмореагентной обработкой их расплавов. – Киев: Наук. думка, 2008. – 184 с.
6. *Макаров Г. С.* Рафинирование алюминиевых сплавов газами. – М.: Металлургия, 1983. – 119 с.
7. *Гогин В. Б.* Исследование закономерностей дегазации алюминиевых деформируемых сплавов нейтральными газами и разработка параметров промышленной технологии продувки расплава с применением пористых диафрагм: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 1972. – 28 с.

Поступила 15.06.2009