

УДК 669.018.8

*М.В. Шишимиров, О.М. Сосонкин, С.И. Герцык,  
Н.П. Ялов, М.В. Смирнова, Т.С. Шарыпова, Е.В. Дьякова*

Московский государственный вечерний металлургический институт

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОДУВКИ КИСЛОРОДОМ ВАННЫ ДСП

Для получения необходимого содержания углерода в стали металл в дуговой сталеплавильной печи (ДСП) продувают кислородом, подаваемым под давлением 1000 – 1400 кПа. На современных печах средней и большой вместимости (50 – 180 т) продувку осуществляют с помощью инжекторов, фурм, манипуляторов, которые вводят через отверстия в стенах и своде печи или рабочее окно. На печах малой вместимости (до 20 т) металл продувают с помощью расходуемой неохлаждаемой трубки, вводимой через рабочее окно вблизи границы раздела металл–шлак.

Общим недостатком традиционных способов ввода кислорода является продувка расплава через локальный участок ванны, что приводит к местному повышению температуры практически до температуры кипения металла и, как следствие этого, интенсивному угару металла за счет его окисления и испарения. Кроме того, снижается эффективность использования кислорода, так как теплота экзотермических реакций окисления компонентов расплава выделяется в сравнительно небольшом объеме и не усваивается всей массой жидкого металла, обладающего низкой теплоемкостью и теплопроводностью [1].

В лаборатории кафедры металлургических технологий Московского государственного вечернего металлургического института (МГВМИ) выполнены исследования, моделирующие продувку металла кислородом при выплавке стали в ДСП, позволяющие получить качественную картину газовой струи и некоторые количественные характеристики.

Исследования гидродинамических параметров продувки (длина и ширина струи, высота и ширина

подъема брызг) проводились в системе «вода–воздух» на лабораторной установке для оценки качественного подобия процессов в жидкой ванне и модели (рис. 1).

Установка представляет собой емкость 1, изготовленную из органического стекла внутренним объемом 85 дм<sup>3</sup>. Емкость заполняли водой, объем которой составлял 60 дм<sup>3</sup>. Продувку осуществляли воздухом через кварцевую трубку 2 диаметром 4 мм, прикрепленную к штативу 5, с помощью которого проводили перемещение трубки в вертикальной плоскости. Воздух от компрессора 6 к трубке подавали через резиновый шланг 7. Вибрацию осуществляли с помощью вибратора шарикового типа 3, работающего на сжатом воздухе от компрессора 8. Измерение размаха вибро смещения и виброскорости осуществляли виброметром 4. Схема сборки вибратора показана на рис. 2.

Уровень воды в емкости, положение сопла и параметры струи измеряли линейкой. Расход воздуха при продувке определяли с помощью ротаметра РМФ–IV. Всего проведено 80 экспериментов.

Изучены гидродинамические параметры различных способов продувки (табл. 1 – 2):

- продувка через непогружную трубку без и с непрерывной вибрацией в горизонтальной плоскости;
- продувка через погружную трубку традиционной конструкции без и с непрерывной вибрацией в горизонтальной плоскости;
- продувка через погружные трубки разработанных в МГВМИ конструкций с одним и двумя дополнительными боковыми отверстиями. Целью разработанных конструкций является увеличение зоны контакта струи с жидкостью.

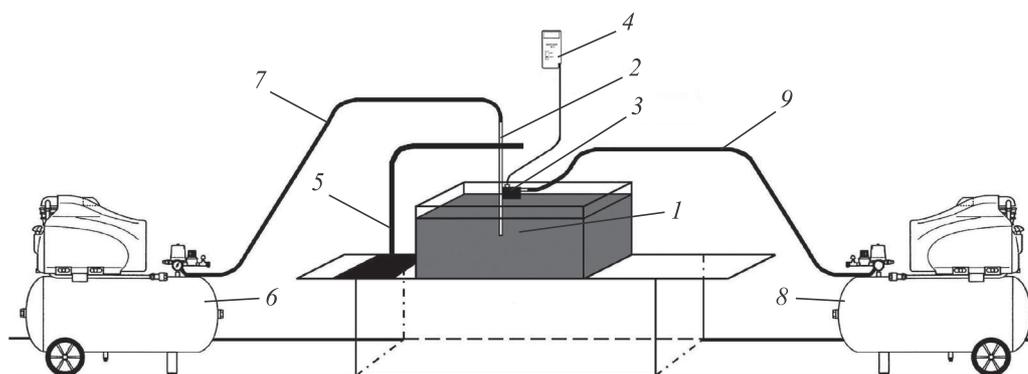


Рис. 1. Схема установки для изучения гидродинамических параметров продувки

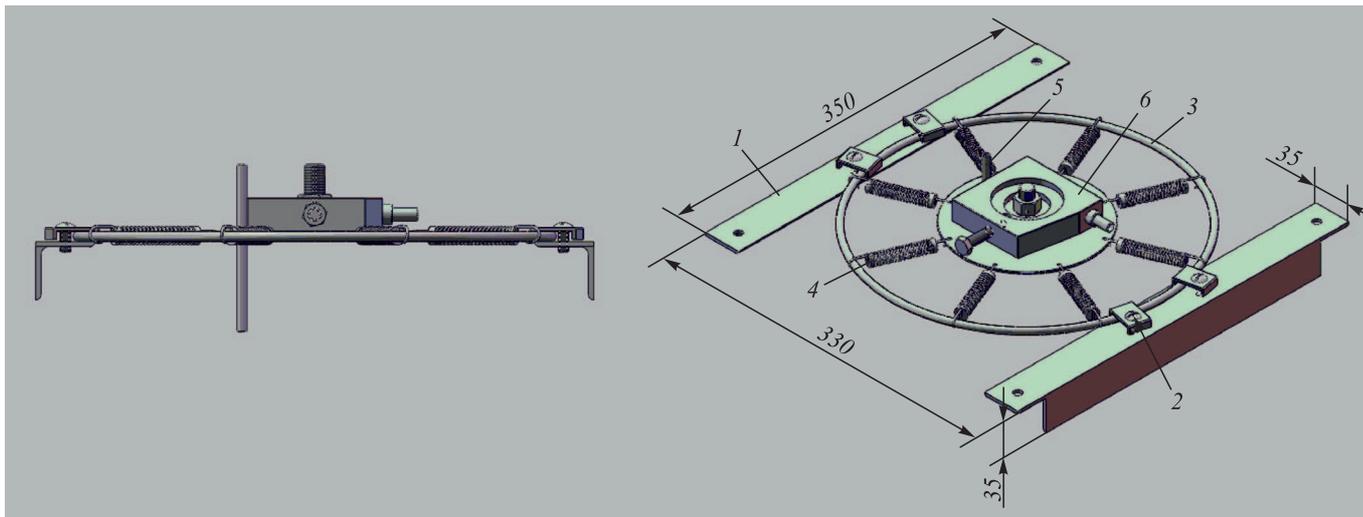


Рис. 2. Схема сборки вибратора:  
1 – винт; 2 – прижим; 3 – упор; 4 – основание; 5 – пружина растяжения; 6 – кольцо-тор

Эскизы используемых в экспериментах продувочных трубок представлены на рис. 3.

Картина газовой струи при продувке через погружную и погружную трубку с расположением сопла на расстоянии 30 мм от поверхности воды и расходе воздуха 4 (а), 11 (б), 22 (в) м<sup>3</sup>/ч приведена на рис. 4 и 5.

Аналогичная картина струи при продувке через погружную (а) и погружную (б) трубки с непрерывной вибрацией в горизонтальной плоскости показана на рис. 6.

Газовая струя при продувке через трубки с одним (а) и двумя (б) дополнительными боковыми отверстиями представлена на рис. 7.

Как следует из данных табл. 1, 2 и рис. 4 – 7, наиболее эффективными способами продувки являются продувка через погружную трубку традиционной конструкции с непрерывной вибрацией в горизонтальной плоскости и продувка через погружную трубку с двумя дополнительными боковыми отверстиями, поскольку в этих случаях достигается наибольшая зона контакта воздуха

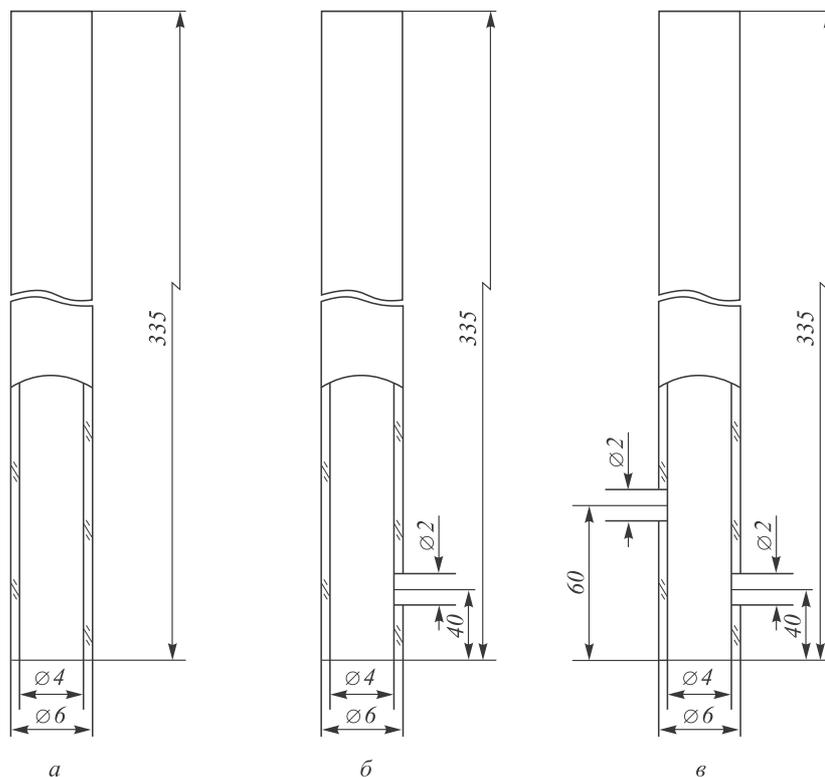


Рис. 3. Эскизы трубок традиционной (а) и предлагаемых конструкций с одним (б) и двумя (в) боковыми отверстиями

Таблица 1

**Гидродинамические параметры продувки в системе «вода-воздух» (60 экспериментов)**

Параметр	Расход воздуха, м <sup>3</sup> /ч					
	4	7	11	15	19	22
<b>Продувка через непогружную трубку</b>						
Высота сопла $h_c$ , мм						
$h_c = 10$						
Длина струи в воде, мм:						
минимальная	19	45	70	100	125	140
максимальная	22	50	75	110	135	150
средняя	20,5	47,5	72,5	105	130	145
$h_c = 30$						
Длина струи в воде, мм:						
минимальная	13	35	60	80	105	120
максимальная	16	40	65	90	115	130
средняя	14,5	37,5	62,5	85	110	125
$h_c = 50$						
Длина струи в воде, мм:						
минимальная	7	25	50	60	85	100
максимальная	10	30	55	70	95	110
средняя	8,5	27,5	52,5	65	90	105
$h_c = 10 - 50$						
Ширина струи, мм:						
минимальная	10	15	30	45	60	65
максимальная	15	20	40	60	80	90
средняя	12,5	17,5	35	52,5	70	77,5
Высота подъема брызг, мм:						
Минимальная	20	35	40	95	120	160
Максимальная	60	105	120	185	220	280
Средняя	40	70	80	140	170	220
Ширина брызг, мм:						
минимальная	10	30	50	80	120	160
максимальная	60	80	120	170	220	290
средняя	35	55	85	125	170	225
<b>Продувка через погружную трубку</b>						
$h_c = 10 - 50$						
Длина струи от среза сопла, мм:						
минимальная	20	50	75	110	130	155
максимальная	25	60	90	130	160	195
средняя	22,5	55	82,5	120	145	175
Ширина струи, мм:						
минимальная	17	18	35	50	65	70
максимальная	20	30	50	70	95	110
средняя	18,5	24	42,5	60	80	90
Высота подъема брызг, мм:						
минимальная	10	30	50	60	80	100
максимальная	60	90	125	140	170	200
средняя	35	60	87,5	100	125	150
Ширина брызг, мм:						
минимальная	15	40	70	100	130	170
максимальная	55	90	130	170	220	280
средняя	35	65	100	135	175	225

**Гидродинамические параметры струи для предлагаемых способов продувки в системе «вода-воздух»  
(20 экспериментов)**

Параметр	Расход воздуха, м <sup>3</sup> /ч					
	4	7	11	15	19	22
<b>Продувка через непогружную трубку с вибрацией в горизонтальной плоскости*</b>						
Высота сопла $h_c$ , мм $h_c = 30$						
Длина струи в воде, мм:						
минимальная	13	35				
максимальная	16	40	–	–	–	–
средняя	14,5	37,5				
Ширина струи, мм:						
минимальная	13	18				
максимальная	27	22	–	–	–	–
средняя	15	20				
<b>Продувка через погружную трубку с вибрацией в горизонтальной плоскости*</b>						
$h_c = 30$						
Длина струи от среза сопла, мм:						
минимальная	20	50				
максимальная	25	60	–	–	–	–
средняя	22,5	55				
Ширина струи, мм:						
минимальная	22	21				
максимальная	25	33	–	–	–	–
средняя	23,5	27				
<b>Продувка через погружную трубку с одним дополнительным боковым отверстием</b>						
$h_c = 100$						
Длина струи от среза сопла, мм:						
минимальная	13	50	80	110	150	170
максимальная	15	55	90	125	170	200
средняя	14	52,5	85	117,5	160	185
Ширина струи, мм:						
минимальная	20	30	40	50	60	75
максимальная	25	35	50	60	75	90
средняя	22,5	32,5	45	55	67,5	82,5
<b>Продувка через погружную трубку с двумя дополнительными боковыми отверстиями</b>						
$h_c = 100$						
Длина струи от среза сопла, мм:						
минимальная	20	50	90	120	140	170
максимальная	23	70	110	140	160	200
средняя	21,5	60	100	130	150	185
Ширина струи, мм:						
минимальная	10	30	30	40	50	60
максимальная	30	40	50	60	70	80
средняя	20	35	40	50	60	70

\* При расходе воздуха 4 м<sup>3</sup>/ч размах вибро смещения составил 1,5 мм, а виброскорость – 2,5 см/с; при расходе воздуха 8 м<sup>3</sup>/ч размах вибро смещения составил 1,0 мм, а виброскорость – 2,0 см/с

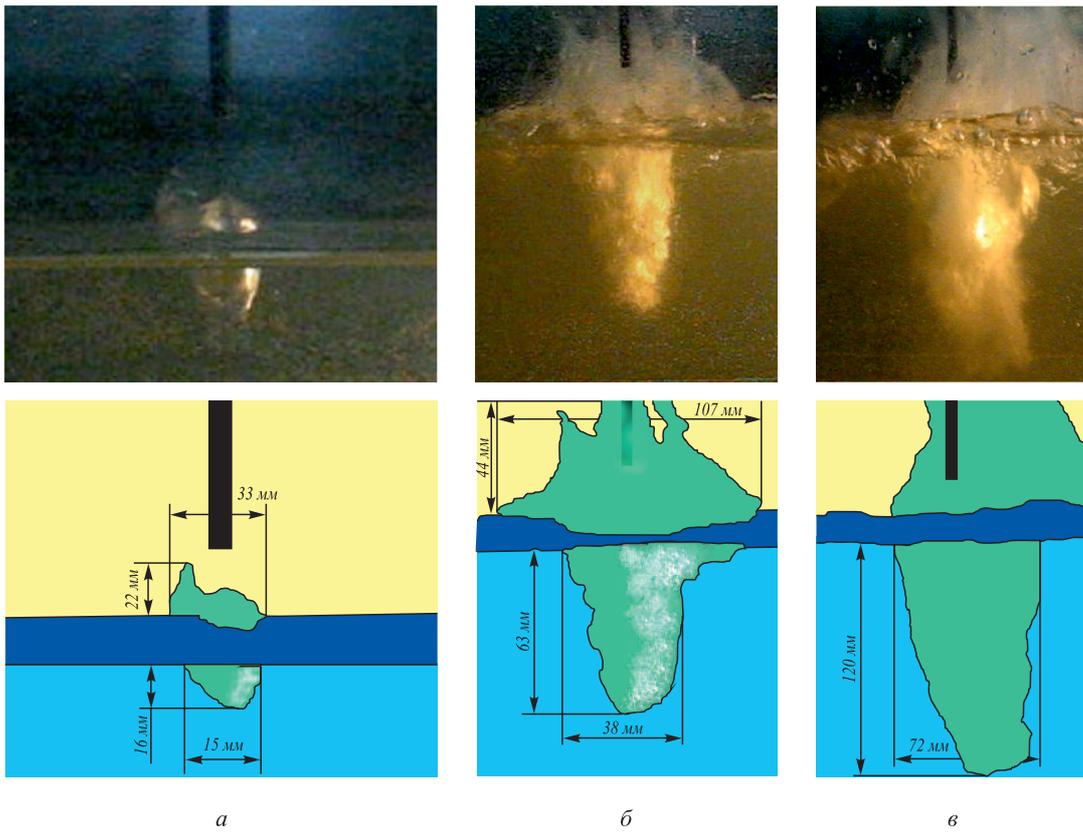


Рис. 4. Картина газовой струи при продувке через непогружную трубку с расположением сопла на расстоянии 30 мм от поверхности воды и расходе воздуха 4 (а), 11 (б), 22 (в) м<sup>3</sup>/ч

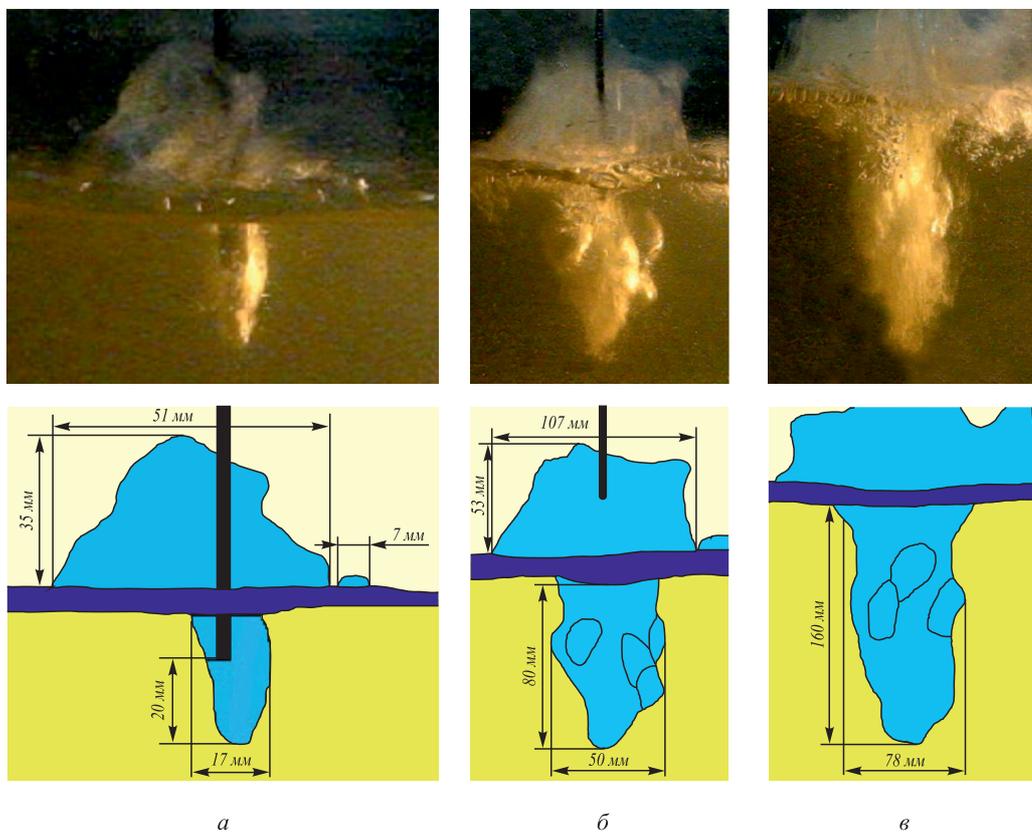


Рис. 5. Картина газовой струи при продувке через погружную трубку с расположением сопла на расстоянии 30 мм от поверхности воды и расходе воздуха 4 (а), 11 (б), 22 (в) м<sup>3</sup>/ч

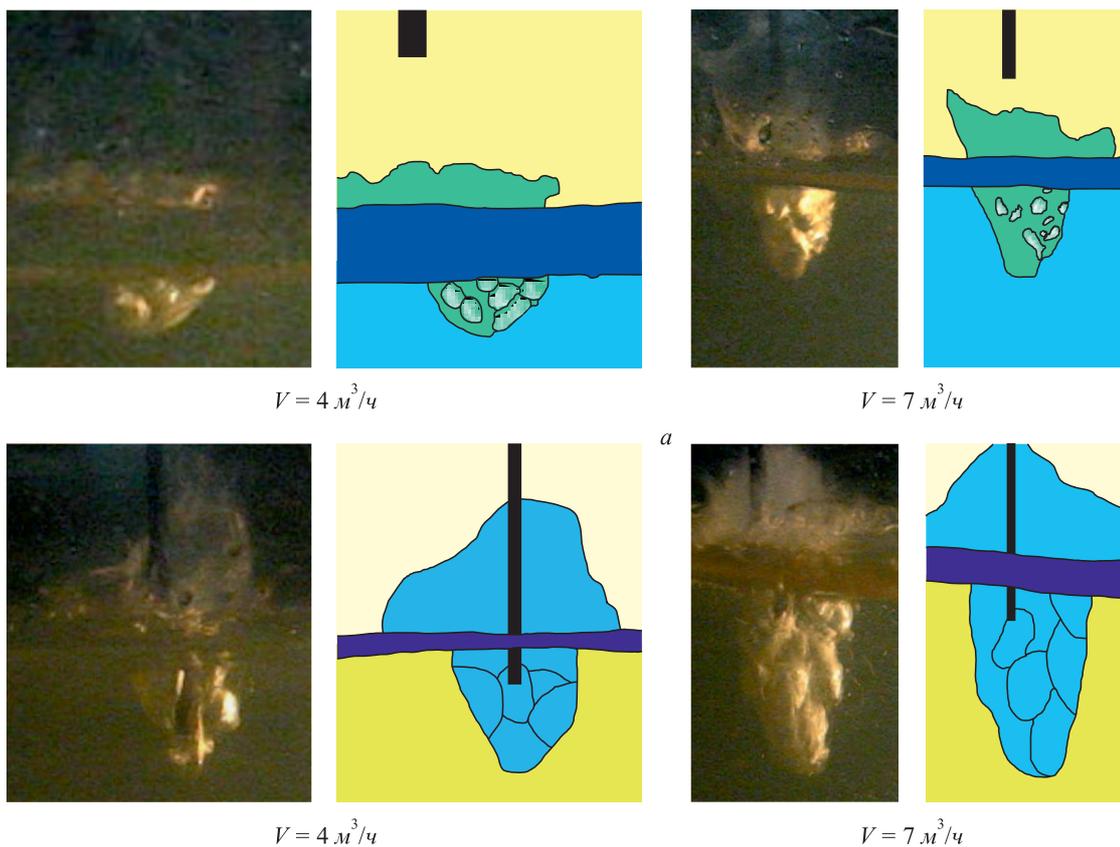


Рис. 6. Картина газовой струи при продувке через непогружную (а) и погружную (б) трубки с непрерывной вибрацией в горизонтальной плоскости

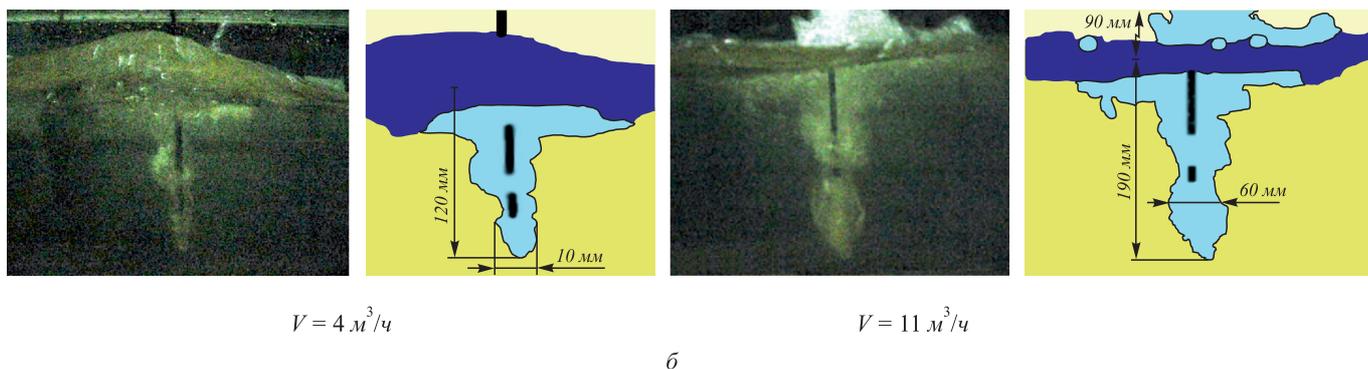
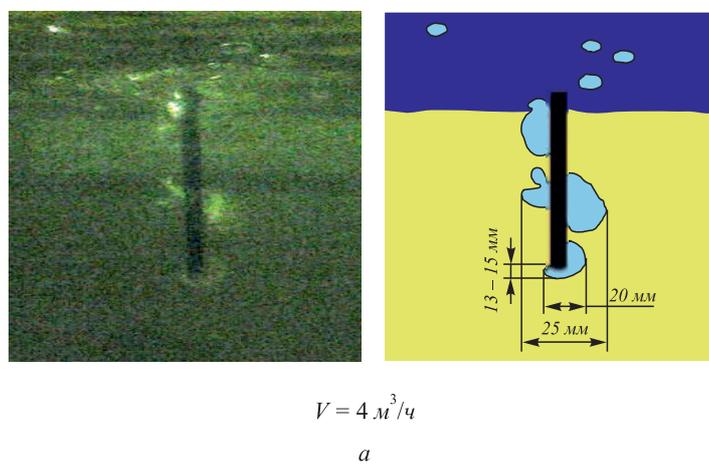


Рис. 7. Картина газовой струи при продувке через трубки с одним (а) и двумя (б) дополнительными боковыми отверстиями

с водой за счет увеличения ширины струи на 5 – 30 % по сравнению с другими способами продувки.

Следует отметить, что при продувке с непрерывной вибрацией в горизонтальной плоскости увеличение зоны контакта воздуха с водой происходит как за счет увеличения ширины струи, так и за счет большего количества образующихся полостей меньшего размера (пузырей), занятых воздухом.

Таким образом, при использовании погружных трубок традиционной конструкции с непрерывной вибрацией в горизонтальной плоскости и с двумя дополнительными боковыми отверстиями существенно увеличивается зона контакта газа с жидкостью, что приводит к ускорению протекания экзотермических реак-

ций окисления компонентов расплава, и как следствие, повышению производительности печи, эффективности использования кислорода, снижению угара металла и удельного расхода кислорода.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сосонкин О.М., Шишимиров М.В. и др. Совершенствование и модернизация технологий сталеплавильного производства: Монография. / Под ред. Кудрина В.А. – М.: МГВМИ, 2011. С. 169–183.

© 2012 г. М.В. Шишимиров, О.М. Сосонкин,  
С.И. Герцык, Н.П. Ялов, М.В. Смирнова,  
Т.С. Шарыпова, Е.В. Дьякова  
Поступила 24 мая 2012 г.

УДК 621.73.002.6:658.562

*Д.В. Руцкий, Н.А. Зюбан, А.Н. Галкин, С.Б. Гаманюк*

Волгоградский государственный технический университет

### ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ГОЛОВНОЙ ЧАСТИ КУЗНЕЧНЫХ СЛИТКОВ НА ИХ СТРОЕНИЕ И КАЧЕСТВО ПОКОВОК\*

Повышенные требования к изделиям тяжелого машиностроения обуславливают необходимость получения кованных заготовок высокого качества. Крупногабаритные кованные изделия: судовые валы, ротора турбогенераторов, корпусные и трубные заготовки для энергетических агрегатов изготавливаются из кузнечных слитков, вес которых в два раза выше веса готового изделия. Увеличение массы слитка приводит к интенсивному развитию явлений усадки и ликвации, и, как следствие, повышенной физической и химической неоднородности, а также другим неконтролируемым дефектам, присущим процессу затвердевания больших масс металла [1]. Используемые кузнечные слитки в основном ориентированы на получение плотной осевой зоны, вследствие чего имеют значительный объем прибыльной части (в среднем до 20 %) и отличаются между собой параметром  $H/D$  и величиной конусности [2, 3]. Большой объем прибыльной части ограничивает возможность эффективного снижения отходов слитка при его ковке. Другой, не менее важной проблемой качества таких слитков является интенсивное развитие химической ликвации по высоте слитка (в частности углерода), что может привести к браку получаемых из них поковок.

Машиностроительные предприятия энергетической и транспортной отраслей производят поковки самой широкой номенклатуры, причем до 80 % из них являются полыми (валы роторов турбогенераторов, кольца, толстостенные трубы, обечайки, корпусные детали и др.) [3]. В этом случае, с целью уменьшения отходов при ковке, как правило, стараются применять удлиненные и бесприбыльные слитки. Однако, в связи с разнообразием конструктивных особенностей получаемых заготовок, не всегда данные технологические мероприятия приносят ожидаемый результат. В целях улучшения качественных характеристик изделий и экономических показателей производства перспективным направлением является применение слитков с захоленной верхней частью [4, 5]. Вместо «классической» прибыльной надставки используется надставка-холодильник с относительным объемом 4 % (см. рис. 1). В этом случае компенсация усадки в теле слитка будет продолжаться до тех пор, пока поверхности раздела фронта кристаллизации, движущиеся в горизонтальном направлении от боковых стенок изложницы, не сблизятся на достаточную величину, чтобы обеспечить в осевой зоне получение вытянутой узкой усадочной раковины. Металл центральной части тела слитка со следами усадочной раковины удаляется в ходе последующей обработки прошивкой или сверлением заготовки.

Химический состав металла, геометрические и технологические параметры отливки слитков приведены в таблицах 1, 2.

\* Работа выполнена в рамках проекта МК – 4034.2012.8 «Разработка оптимальной конфигурации и технологии отливки кузнечных слитков в вакууме с контролируемым развитием дефектных зон литого металла с целью повышения качества и надежности крупногабаритных изделий энергетического машиностроения».