

## ВЛИЯНИЕ ДИНАМИКИ ЗАЩИТНОЙ ГАЗОВОЙ СТРУИ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ВТОРИЧНОГО ОКИСЛЕНИЯ СТАЛИ

ПИЛЮШЕНКО В.Л., РЫЖЕНКОВ А.Н. (ОАО «ДМЗ»), ЕРОНЬКО С.П. (ДОНГТУ)

*На основе физического моделирования и промышленных экспериментов исследовано влияние динамических параметров защитной газовой струи на снижение интенсивности вторичного окисления стали при сифонной разливке.*

Интенсивность перехода кислорода в жидкий металл в процессе получения слитков или непрерывнолитых заготовок определяется действием целого ряда факторов (способом раскисления, количеством попадающего в ковш печного шлака, технологическими особенностями разливки). Значительная доля прироста содержания кислорода в стали обусловлена явлениями, протекающими при контакте струи жидкого металла с воздухом во время разливки [1–3]. В связи с этим вопросам защиты стали от вторичного окисления в настоящее время уделяется большое внимание, поскольку от их успешного решения в значительной мере зависит качество выпускаемой металлопродукции.

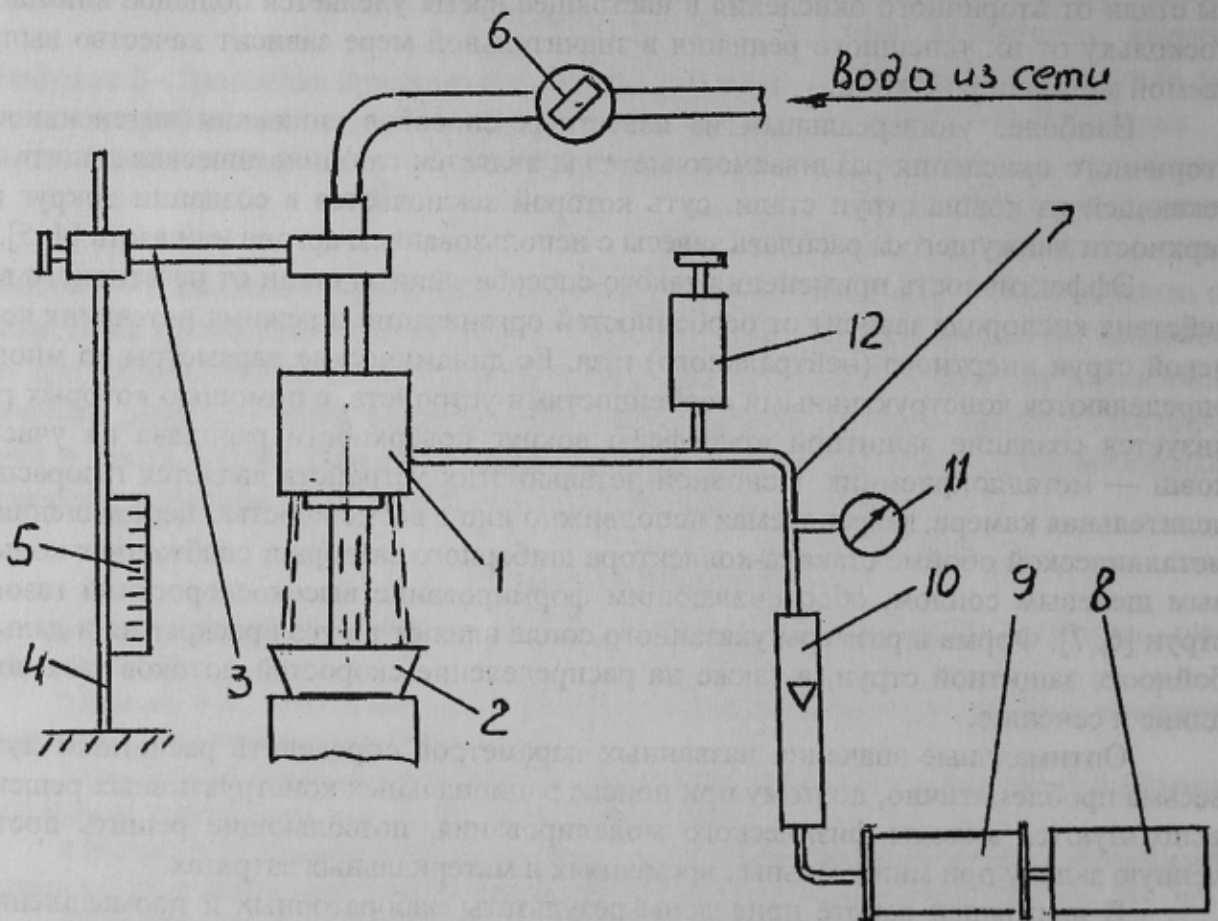
Наиболее универсальным из известных способов снижения интенсивности вторичного окисления разливаемого металла является газодинамическая защита истекающей из ковша струи стали, суть которой заключается в создании вокруг поверхности движущегося расплава завесы с использованием аргона или азота [4, 5].

Эффективность применения такого способа защиты стали от негативного воздействия кислорода зависит от особенностей организации и режима истечения кольцевой струи инертного (нейтрального) газа. Ее динамические параметры во многом определяются конструктивными особенностями устройств, с помощью которых реализуется создание защитной атмосферы вокруг поверхности расплава на участке ковша — металлоприемник. Основной деталью этих устройств является газораспределительная камера, закрепляемая неподвижно или с возможностью перемещения на металлической обойме стакана-коллектора шиберного затвора и снабженная кольцевым щелевым соплом, обеспечивающим формирование высокоскоростной газовой струи [6, 7]. Форма и размеры указанного сопла влияют на угол раскрытия и дальность бойности защитной струи, а также на распределение скоростей потоков газа по ее длине и сечению.

Оптимальные значения названных параметров определить расчетным путем весьма проблематично, поэтому при поиске рациональных конструктивных решений используются методы физического моделирования, позволяющие решить поставленную задачу при минимальных временных и материальных затратах.

В настоящей работе приведены результаты лабораторных и промышленных исследований, направленных на повышение эффективности газодинамической защиты стали при различных способах ее разливки. Работа выполнялась Донецким государственным техническим университетом совместно с ОАО «Донецкий металлургический завод» и включала два этапа. В соответствии с разработанным планом работ на первом этапе исследований моделировался процесс истечения защитной газовой струи в условиях разливки сверху и сифонным способом. Моделирование проводили на лабораторном стенде, схематично изображенном на рисунке 1. Он включал модель разливочного устройства 1, снабженного съемной газораспределительной камерой с кольцевым щелевым соплом, коаксиально расположенным относи-

тельно выпускного канала, а также приемник 2 моделирующей металл жидкости. Модель разливочного устройства крепилась на консоли 3, имеющей возможность перемещения в вертикальной плоскости относительно стойки штатива 4, снабженно- го линейкой 5 для определения расстояния между разливочным устройством и при- емником жидкости. Вода, имитирующая жидкую сталь, подавалась к модели разли- вочного устройства из водопроводной сети. Ее расход менялся при необходимости с помощью пробкового крана 6. Воздух, моделирующий защитный газ, нагнетался в распределительную камеру модели разливочного устройства по гибкому шлангу 7 компрессором 8 через ресивер 9. Объемный расход воздуха контролировался с по- мощью ротаметра 10, а давление на входе в распределительную камеру — по пока- заниям манометра 11. Для визуализации газовой струи, истекающей из щелевого со- ппла, непосредственно за манометром к шлангу подключался резервуар 12 с системой дозированной подачи из него в полость трубопровода белой пудры. Масштаб модели разливочного устройства по отношению к промышленному образцу составлял 1:2. Во время визуальных наблюдений за распространением газовых потоков проводили видеосъемку образующихся в околоструйном пространстве защитных оболочек.

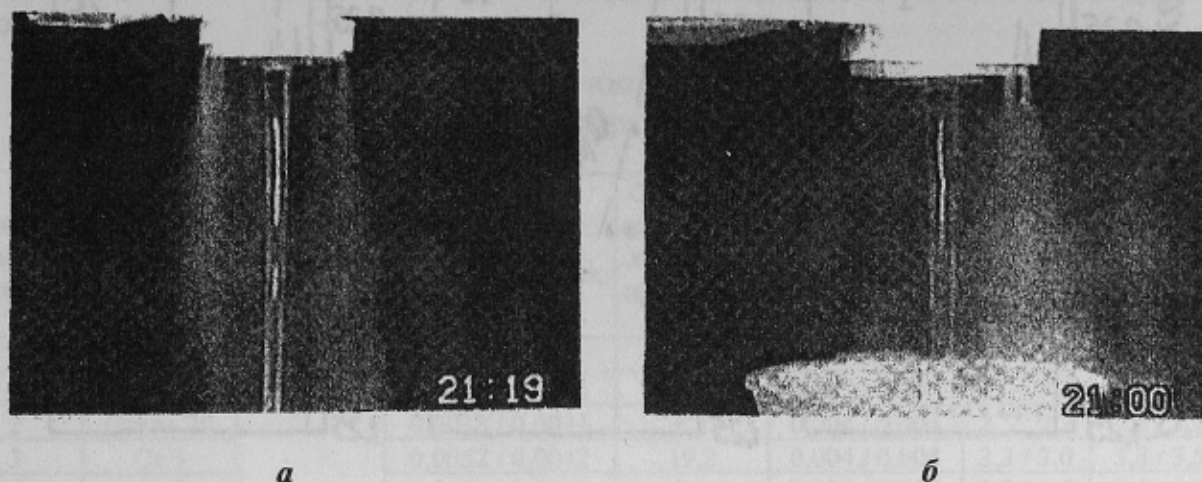


**Рисунок 1** – Схема лабораторного стенда для моделирования процесса газодинамической защиты стали от вторичного окисления

Анализ снятых картин распределения потоков защитного газа позволил установить оптимальную геометрическую форму щелевого сопла для защитных устройств, применяемых при разливке стали различными способами. В соответствии с полученными результатами угол наклона образующей наружной поверхности коль-



цевого щелевого сопла к оси сталевыпускного канала в случае разливки сверху не должен превышать  $3-5^\circ$ . При разливке сифонным способом значение этого угла следует увеличить до  $25-30^\circ$  [8]. На рисунке 2 приведены фотографии защитных газовых оболочек, формирующихся вокруг струи истекающей жидкости при обеспечении указанных значений угла наклона образующей наружной поверхности щелевого сопла.



**Рисунок 2** – Форма защитной газовой оболочки при разливке сверху (а) и через сифон (б)

Для выявления дальнобойности истекающей из кольцевого сопла струи защитного газа, и оценки ее влияния на химический состав газовой смеси, образующейся в областях пространства, непосредственно окружающего поверхность струи металла, в цеховых условиях был поставлен эксперимент, суть которого состояла в одновременном определении в характерных точках околоструйного пространства значений скоростей потоков газа и концентрации кислорода. Для этого сталеразливочный ковш, оборудованный шиберным затвором, снабженным защитным устройством, геометрические параметры которого были выбраны с учетом результатов физического моделирования, устанавливался на стенд, где патрубок затвора посредством шланга подключался к цеховому азотопроводу. Затем нейтральный газ подавался с различным расходом в распределительную камеру защитного устройства и при этом с помощью зонда, снабженного тензорезисторным преобразователем, осуществляли контроль осевых скоростей газовых потоков, а также отбирались пробы газовой смеси с целью получения информации о процентном содержании кислорода на различном удалении от среза стакана-коллектора ковшового затвора. После обработки экспериментальных результатов были построены поля скоростей потоков защитного газа при фиксированных его расходах, а также получены картины расположения зон с различной концентрацией кислорода, представленные на рисунке 3.

На основании полученной информации удалось установить, что дальнобойность защитной струи нейтрального газа, распространяющейся в пограничном со струей металла слое, зависит в первую очередь от обеспечиваемого расхода газообразного азота, а приемлемый уровень снижения концентрации кислорода (до 5%) достигается в том случае, если скорость газового потока составляет не менее 4 м/с. В соответствии с этим для условий сталеплавильного цеха ОАО «ДМЗ» были выданы рекомендации по выбору оптимальных режимов подачи защитного газа при разливке стали в изложницы сифонным способом. Поскольку в соответствии с требованиями действующей в цехе технологической инструкции во время разливки расстояние

между воронкой центральной и стаканом-коллектором ковшового затвора не должно превышать 300 мм, требуемый расход защитного газа составляет 50–60 м<sup>3</sup>/ч.

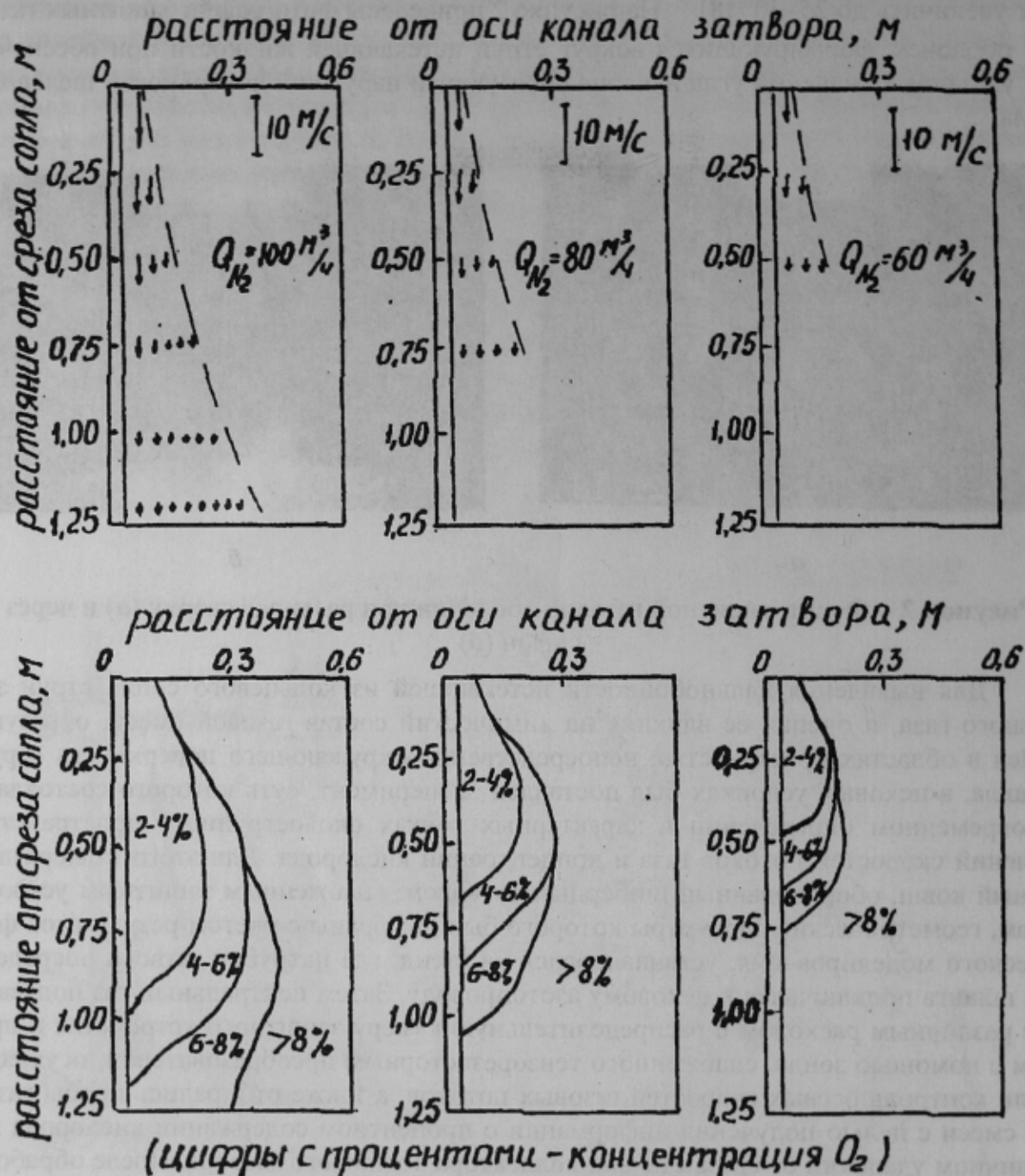


Рисунок 3 – Расположение зон различной концентрацией кислорода вблизи струи металла при изменении расхода защитного газа

Эффективность разработанных решений проверяли в ходе второго этапа работы, для чего при разливке металла серии опытных плавки во время наполнения изложниц 3-го поддона осуществляли газодинамическую защиту струи истекающей из ковша стали. С ее применением было разлито 30 150-тонных ковшей стали нескольких марок. Ход каждой разливки контролировался с регистрацией ее основных технологических параметров (температура стали, скорость наполнения изложниц каждого поддона, интенсивность подачи защитного газа). Расход газообразного азота во время проводившихся экспериментов изменялся в пределах 30–90 м<sup>3</sup>/ч.



Для оценки достигнутых результатов при прокатке слитков из средней части полученного раската отбирали образцы с целью определения концентрации кислорода, содержания азота и неметаллических включений в опытном и сравнительном металле.

В таблице 1 приведена информация о процентном содержании кислорода и азота в стали, разливаемой без защиты струи (2-й поддон), и с ее применением (3-й поддон), при различной интенсивности подачи нейтрального газа в околоструйное пространство.

**Таблица 1** - Содержание кислорода и азота в стали при различных вариантах разливки (без защиты струи / с защитой струи)

Условный номер плавки	Марка стали	Расход защитного газа, м <sup>3</sup> /ч	Содержание кислорода в готовом металле, %	Снижение содержания кислорода при защите струи, %	Содержание азота в готовом металле, %	Средний балл неметаллических включений в стали	
						Оксиды	сульфиды
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Сталь 20	30-40	0,0058 / 0,0055	5,2	0,007 / 0,007	3,0 / 3,2	2,8 / 3,2
2	Сталь 20		0,0033 / 0,0031	6,1	0,004 / 0,004	2,5 / 2,7	2,5 / 2,2
3	Ст 5		0,0052 / 0,0042	19,2	0,004 / 0,004	3,3 / 3,0	3,8 / 3,5
4	Ст 3		0,0044 / 0,0040	9,1	0,004 / 0,004	2,8 / 4,5	3,5 / 4,2
5	Ст 5		0,0070 / 0,0057	18,6	0,004 / 0,003	3,3 / 3,3	4,8 / 4,8
6	Ст 5		0,0059 / 0,0047	20,3	0,005 / 0,004	3,3 / 3,3	4,8 / 4,8
7	Сталь 45Т		0,0035 / 0,0031	11,4	0,004 / 0,003	3,8 / 3,3	4,3 / 3,8
8	Ст 3		0,0064 / 0,0038	40,6	0,004 / 0,003	2,8 / 3,0	3,3 / 3,7
9	Ст 3		0,0049 / 0,0037	24,5	0,006 / 0,006	2,5 / 4,0	3,5 / 3,5
10	Ст 5		0,0048 / 0,0040	16,7	0,005 / 0,004	3,8 / 2,8	3,5 / 2,8
1	Ст 5	50-60	0,0093 / 0,0051	45,2	0,006 / 0,004	3,5 / 3,3	4,0 / 3,5
2	Ст 3		0,0095 / 0,0042	55,8	0,005 / 0,004	3,5 / 3,8	3,8 / 4,3
3	Ст 5		0,0047 / 0,0037	21,6	0,004 / 0,003	3,8 / 4,0	3,8 / 4,7
4	Ст 5		0,0090 / 0,0067	26,7	0,003 / 0,002	3,3 / 3,7	4,3 / 4,3
5	Ст 5		0,0118 / 0,0102	13,6	0,002 / 0,002	1,7 / 0,5	4,5 / 4,7
6	Ст 5		0,0042 / 0,0036	14,3	0,005 / 0,002	3,0 / 3,7	3,8 / 3,5
7	Сталь 45		0,0038 / 0,0021	44,7	0,003 / 0,003	2,0 / 3,5	2,3 / 3,5
8	Ст 5		0,0028 / 0,0023	17,9	0,008 / 0,008	3,5 / 3,5	4,3 / 4,5
9	Ст 3		0,0045 / 0,0030	33,3	0,007 / 0,007	1,0 / 1,0	3,0 / 3,0
10	Сталь Г2		0,0069 / 0,0052	24,6	0,005 / 0,005	3,0 / 2,0	4,3 / 3,0
1	Ст 3	80-90	0,0032 / 0,0028	12,9	0,003 / 0,003	2,8 / 2,8	3,3 / 2,5
2	Сталь 45		0,0078 / 0,0060	23,1	0,002 / 0,002	1,3 / 1,0	4,4 / 4,5
3	Ст 5		0,0068 / 0,0038	44,1	0,003 / 0,004	2,3 / 2,1	3,3 / 3,0
4	Ст 5		0,0053 / 0,0047	11,3	0,003 / 0,003	3,7 / 4,0	1,0 / 1,5
5	Сталь 45		0,0042 / 0,0039	7,1	0,003 / 0,002	3,8 / 3,7	1,5 / 1,8
6	Сталь 20Т		0,0066 / 0,0053	19,7	0,002 / 0,003	3,8 / 2,8	1,8 / 1,6
7	Сталь 45		0,0039 / 0,0035	10,2	0,003 / 0,003	3,8 / 3,8	1,5 / 1,6
8	Сталь 35		0,0040 / 0,0027	32,5	0,005 / 0,002	2,3 / 2,3	2,5 / 2,3
9	Сталь 45Г		0,0067 / 0,0041	39,7	0,005 / 0,005	5,0 / 4,8	3,2 / 1,3
10	Сталь 20Т		0,0032 / 0,0028	12,5	0,005 / 0,007	1,8 / 1,7	1,7 / 1,5

Как видно из таблицы 1, наиболее убедительные результаты по снижению интенсивности процесса поглощения кислорода металлом во время разливки за счет применения газодинамической защиты обеспечивались при расходе нейтрального газа 50-60 м<sup>3</sup>/ч. Подача газообразного азота с указанным расходом позволяла уменьшить содержание растворенного кислорода в готовом металле в среднем на 30,8%. Изменение расхода защитного газа, как в меньшую, так и в большую сторону,

приводило к ухудшению достигаемых результатов. Так средний показатель снижения содержания кислорода в опытном металле при расходах азота 30–40 м<sup>3</sup>/ч и 80–90 м<sup>3</sup>/ч соответственно составил 17,6% и 21,3%.

Содержание азота в опытном и сравнительном металле оставалось практически на одном уровне. При исследовании микроструктуры стали, разливавшейся с применением защиты струи, снижение среднего балла по оксидным включениям наблюдалось только в случае присутствия в ней марганца и титана.

В результате выполненных исследований установлено, что газодинамическая защита струи металла при сифонном способе разлива заметно снижает интенсивность перехода кислорода из атмосферы в жидкую сталь, а также уменьшает угар легирующих элементов.

### Список литературы

1. Vonesh F.A., Schmehl R.F. Inert gas shrouding of molten metal streams // Iron and Steel Engineer. 1987. V. 64. № 7. P.35–39.
2. Caseous shrouding for continuously cast billets // Steel Times International. 1988. V. 12. № 2. P.43.
3. O'Hara R.D., Spence A.G., Eisenwasser I.D. Protection des jets de coule et purges des lingotieres avec du gaz carbonique // Revue de Metallurgie — CIT. 1987. V.84. № 2. P.147–154.
4. Разработка и внедрение универсальной конструкции шибберного затвора / С.П.Еронец, Ю.Б.Бычков, В.В.Дудник и др. // Черная металлургия : Бюл.НТИ. 1991. № 2. С.45–50.
5. Новые устройства для защиты струи металла от вторичного окисления / В.В.Лисицкий, Г.З.Ковальчук, В.С.Лучкин и др. // Черная металлургия: Бюл. НТИ. 1991. № 9. С.65–67.
6. А.с.1678523 СССР, МКИ В 22 D 41/08. Шибберный затвор / С.П.Еронец, В.Л.Пилюшенко, В.В.Дудник и др. Заявл.19.02.90. Оpubл.23.09.91.
7. Пат. Украины 23251, МКИ В 22 D 7/12. Устройство для газовой обработки струи металла при разливе / С.П.Еронец, В.Л.Пилюшенко, А.Н.Рыженков и др. Заявл. 27.06.97. Оpubл. 19.05.98.
8. Улучшение защиты стали от вторичного окисления при разливе / С.П.Еронец, А.Н.Рыженков, С.В.Быковских и др. // Сталь.1998. № 1. С.25–27.

© Пилюшенко В.Л., Рыженков А.Н., Еронец С.П., 1999.

## КАЧЕСТВО КИПЯЩЕЙ СТАЛИ, РАЗЛИТОЙ В ИЗЛОЖНИЦЫ С УГЛЕРОДИСТЫМ ИНТЕНСИФИКАТОРОМ КИПЕНИЯ

**САПИРО В.С.**, САФОНОВ В.М., ТИМОШЕНКО С.Н., ПРИХОДЬКО В.В.  
(ДОНГТУ)

*Разработан и прошел промышленную проверку новый метод разлива кипящей стали, основанный на использовании углеродистого интенсификатора кипения. Метод обеспечивает улучшение качества поверхности и внутренней структуры слитка.*

Улучшение качества поверхности и внутренней структуры слитка кипящей стали в условиях скоростной разлива возможно за счет использования различных средств физико-химического воздействия на кристаллизующийся в изложнице металл. Наиболее распространенные из них направлены на повышение движущей силы процесса окисления углерода в результате увеличения произведения  $[C] \times [O]$ . Очевидно, также, что добиться повышения интенсивности кипения стали при кристаллизации в изложнице можно, в основном, за счет увеличения содержания кислорода, поскольку возможность варьирования концентрацией углерода ограничена.