



УДК 669.

Поступила 06.08.2013

С. Г. МЕЛЬНИК, Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины,  
А. И. ТРОЦАН, Институт материаловедения НАН Украины,  
А. А. ОНИЩЕНКО, Б. Ф. БЕЛОВ, ПАО «Донецкий завод ферросплавов»

## О ПРИМЕНЕНИИ Al-СОДЕРЖАЩИХ ФЕРРОСПЛАВОВ ДЛЯ РАСКИСЛЕНИЯ СТАЛИ

Приведены результаты выплавки конвертерной стали марок 09Г2С, С45, 10ХСНД, S355J2, А322 и других с применением различных вариантов раскисления стали с полной и/или частичной заменой вторичного алюминия ферроалюминием. Подтверждены технологическая и экономическая эффективность раскисления стали ферроалюминием. Установлено, что при замене вторичного алюминия АВ87 на ферроалюминий ФАЗ0 было обеспечено усвоение алюминия до 17,0–19,9% по сравнению с 11,8–13,1% при раскислении стали по обычной технологии.

The results of the smelting of converter steel grades 09G2C, C45, 10HSND, S355J2, A322 and others with various options for deoxidation of steel with full and / or partial replacement of secondary aluminum ferroaluminum were shown. Technological and economic efficiency of steel deoxidation with ferroaluminum were confirmed. Found that the replacement of secondary aluminum AB87 to Ferroaluminum FA30 to recovery of aluminum was secured to 17.0–19.9% compared to 11.8–13.1% for deoxidation of the steel by conventional techniques.

При выплавке конвертерной стали производят ее раскисление присадкой на выпуске в сталеразливочный ковш раскислителя. Как правило, при производстве сталей различного назначения для раскисления применяют вторичный алюминий. Вместе с тем, для ряда материалов, применяемых в качестве легирующих при производстве стали, предпочтение отдается использованию их в виде сплавов с железом. Это относится к марганцу, кремнию, титану, ниобию, ванадию и др., что создает лучшие условия усвоения элементов в жидком металлическом расплаве. Следует ожидать улучшения усвоения алюминия также и при раскислении стали сплавом железа с алюминием, что должно сопровождаться экономией алюминия и снижением затрат на производство стали.

Продувка металла конвертерной плавки технически чистым кислородом с передувом способствует повышению в нем содержания сверхравновесного относительно реакции обезуглероживания кислорода. Поэтому технологическая операция раскисления стали в сталеразливочном ковше алюминием сопровождается значительным «угаром» алюминия. Достижимый при этом коэффициент усвоения алюминия составляет 11–18 %. Такое низкое усвоение алюминия связано с высоким сродством алюминия к кислороду, характеризующимся большими абсолютными значениями изобарно-изотермического термодинамического потен-

циала  $|\Delta G|$ . При производстве стали безвозвратно теряется в среднем около 85 мас.% алюминия, что существенно увеличивает производственные потери при выплавке стали, снижая эффективность получения металлопродукции.

Внедрение при раскислении технологических приемов, направленных на снижение потерь алюминия без снижения качества стали, таких, как вакуумирование, введение алюминия в сталь в виде катанки при помощи трайб-аппаратов, раскисление алюминием, вводимым в сталь в виде монолитов, кусков малой фракции, гранул и др., не решает проблемы в целом. Поэтому задача разработки и применения эффективных способов раскисления стали остается актуальной.

В последнее время при производстве стали все более широкое применение находит технология раскисления стали ферроалюминием с целью снижения расхода алюминия. Многочисленные исследования и опыт применения ферроалюминия при производстве стали, в том числе выплавляемой в большегрузных конвертерах, подтверждают эффективность раскисления стали с использованием ферроалюминия вместо алюминия [1–6]. Лучшее усвоение алюминия из ферроалюминия при раскислении стали по сравнению с вторичным алюминием связано с его физико-химическими свойствами: плотностью и температурой плавления. Ферроалюминий относят к сплавам оптимальной

плотности, а такие сплавы наиболее полно вовлекаются в гидродинамическое движение образующимися при перемешивании потоками стали в сталеразливочном ковше, в результате чего успевают наиболее полно расплавиться и усвоиться металлургическим расплавом [6]. При раскислении стали алюминий и ферроалюминий за счет выталкивающей силы всплывают от дна ковша в верхние слои металла. Причем этот процесс происходит по-разному. Так, куски ферроалюминия плотностью 5500–6300 кг/м<sup>3</sup> всплывают в металлическом расплаве, имеющем плотность 7000 кг/м<sup>3</sup>, до границы со шлаковой фазой (плотность шлака 2900 кг/м<sup>3</sup>) и продолжают растворяться, находясь в металле на границе металл/шлак, тогда как алюминий плотностью 2700 кг/м<sup>3</sup>, всплывая из металла вдвое быстрее, чем ферроалюминий, проходит эту границу и продолжает свое движение в шлаке до выхода на его поверхность и прямого контакта с газовой фазой, где и происходит окисление остатков всплывшего алюминия (табл. 1).

В конвертерном цехе металлургического комбината «Азовсталь» при производстве качественной стали в течение пяти лет успешно применялась технология ковшевой обработки металла, включающая частичную замену алюминия АВ87 на ферроалюминий ФА30. Ферроалюминий в кусках в виде усеченной пирамиды размером (50×50)×(30×30) и высотой 50 мм присаживали в сталеразливочный ковш по системе подачи сыпучих материалов во время выпуска стали в количестве, эквивалентном заменяемому количеству алюминия с учетом меньшего коэффициента усвоения. До-

полнительную корректировку при необходимости производили присадкой алюминиевой катанки при дальнейшей внепечной обработке стали на одной из трех установок доводки металла. Технология обеспечивала экономию алюминия, способствовала снижению цены алюминия при организации тендерных его закупок, механизацию ручного труда при раскислении стали, улучшала качество стали. После пуска установок ковш-печь (УКП) были опробованы различные варианты раскисления конвертерной стали марок 09Г2С, С45, 10ХСНД, S355J2, А322 и др., выплавляемых в большегрузных 350-тонных конвертерах с использованием ферроалюминия ФА30 производства ООО «Донецкий завод ферросплавов» с последующей корректировкой содержания алюминия на УКП вводом алюминиевой катанки или присадками гранулированного алюминия. Наиболее приемлемыми оказались следующие варианты технологии раскисления стали: с полной заменой вторичного алюминия АВ87 на ферроалюминий ФА30 – сквозное усвоение алюминия составило 19,9 %, и с применением для раскисления алюминиевых слитков (монолитов) и заменой чушкового алюминия на ферроалюминий – 17 %. На сравнительных плавках по обычной технологии усвоение составило 11,8 и 13,1 %.

Применение ферроалюминия вместо вторичного алюминия позволяет улучшить качество стали в результате снижения содержания нежелательных примесей в стали. В табл. 2 приведены результаты контрольных химических анализов проб от партий поступившего ферроалюминия.

Т а б л и ц а 1. Физико-химические свойства расплавов и раскислителей

Наименование	Плотность, кг/м <sup>3</sup>		Температура плавления, °С
	аддитивная	истинная	
Алюминий *	2697	2697	660
Ферроалюминий ФА30*	6264	5520	1340
Железо-алюминиевый композит [8]	–	4290–5210	–
Металлический расплав (сталь)	–	7000	1520–1610
Шлаковый расплав	–	2900	1570–1660

\* Данные авторов [7].

Т а б л и ц а 2. Химический анализ ферроалюминия ФА 30 и алюминия АВ 87

Материал, контроль, номер партии	Массовая доля элементов, %						
	Al	Si	Zn	Pb	Sn	Cu	Mg
ФА30, входной контроль, 1	30,3	1,4	0,12	0,01	<0,01	0,66	0,05
ФА30, входной контроль, 2	29,0	1,3	0,13	<0,1	0,01	0,32	0,03
ФА30, входной контроль, 3	29,2	1,1	0,14	<0,1	0,01	0,34	0,04
ФА30, сертификат	29,1	0,86	0,15	0,06	0,15	0,37	–
АВ87, ГОСТ 295-98	Н. м. 87,0	Н. б. 5,0	Н. б. 3,3	Н. б. 0,3	Н. б. 0,2	Н. б. 3,8	Н. б. 3,0

Так, концентрации нежелательных примесей в ферроалюминии ФА30 значительно ниже предельно допустимых значений примесей по ГОСТ 295–98 в алюминии АВ87: по кремнию – примерно в 3 раза, по цинку – почти в 30 раз, по свинцу – более чем в 3 раза, по олову – в 20 раз, по магнию – почти в 100 раз. Понятно, что при использовании для раскисления стали ферроалюминия взамен вторичного алюминия попадание в металл нежелательных примесей существенно снижается.

Рассчитанный по данным опытных плавок экономический эффект составил в зависимости от

технологического варианта раскисления от 5,78 до 7,07 грв/т стали.

Таким образом, подтверждено, что раскисление конвертерной стали ферроалюминием в ковше технологически и экономически целесообразно. Применение ферроалюминия для раскисления конвертерной стали повышает усвоение алюминия, способствует значительному снижению содержания нежелательных примесей в стали, вносимых при раскислении, и приносит экономический эффект за счет снижения затрат около 5 – 7 грв/т стали.

### Литература

1. Ладьянов И. Н. Раскисление спокойной стали в ковше ферроалюминием // Сталь. 1958. № 3. С. 218–223.
2. Шешуков О. Ю., Жучков В. И., Зорихин В. В. и др. Использование ферроалюминия для раскисления стали // Сталь. 2004. № 9. С. 26–27.
3. Рысс М. А. Производство ферросплавов. 2-е изд. М.: Metallurgy, 1985.
4. Гасик Л. Н., Игнатъев В. С., Гасик М. И. Структура и качество промышленных ферросплавов и лигатур. Киев: Техника, 1975.
5. Удовиченко Ю. Н., Онищенко А. А., Паренчук И. В., Паренчук В. В. Ферроалюминий – новый ферросплав для черной металлургии // Энергосбережение. 2004. № 8. С. 12–16.
6. Носоченко О. В., Ганошенко В. И., Юрченко С. М. и др. Исследование эффективности раскисления конвертерной стали различными изделиями из алюминия // Металл и литье Украины. 2003. № 7–8. С. 16–18.
7. Виноградов С. В., Заякин О. В., Жучков В. И. Физико-химические свойства комплексных алюминий- и кремнийсодержащих ферросплавов // Расплавы. 2006. № 3. С. 33–36.
8. Тен Э. Б., Петровский П. В. Предпосылки применения железо-алюминиевого композита для раскисления стали // Изв. вузов. Черная металлургия. 2002. № 5. С. 38–41.
9. Серов А. И., Ярославцев Ю. Г., Смоляков В. В. Раскисление стали алюминием // Черная металлургия. Бюллетень НТИЭИ. 2004. Вып. 9 (1257). С. 28–31.
10. Шибаниц Э. Н., Ларионов А. А., Небога Б. В. и др. Опыт использования различных алюмосодержащих материалов при производстве стали в ККЦ // Металл и литье Украины. 2005. № 3–4. С. 104–105.