

Д. т. н. О. Ю. Шешуков^{1,2} (✉), к. т. н. И. В. Некрасов¹, к. т. н. М. А. Михеенков¹,
к. т. н. Д. К. Егиазарян¹, Д. А. Лобанов¹, О. В. Неугодников³, Б. А. Иванов⁴

¹ ИМЕТ УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

² ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет», г. Екатеринбург, Россия

³ ОАО «Нижнесергинский метизно-металлургический завод», г. Ревда
Свердловской обл., Россия

⁴ ООО «СЕАЛ и К», г. Березовский Свердловской обл., Россия

УДК 666.762.1:669.046.52]:[669.18.046.5:621.746.32

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЛИНОЗЕМИСТОГО АЛЮМИНИЙСОДЕРЖАЩЕГО ФЛЮСА ПРИ КОВШЕВОЙ ОБРАБОТКЕ «БЕЗАЛЮМИНИЕВЫХ» СТАЛЕЙ*

В сортаменте многих производств есть так называемые «безалюминиевые» стали, в которых содержание алюминия ограничено тысячными долями процента. Обычно при внепечной обработке таких сталей запрещено использовать материалы, содержащие металлический и окисленный алюминий. В настоящей статье приведены результаты промышленных экспериментов, доказывающие возможность использования разжижающий глиноземистый материал в плавке, сохраняя в стали низкое содержание алюминия и формируя в шлаке фазы, благоприятные с точки зрения использования затвердевшего шлака в строительстве.

Ключевые слова: «безалюминиевая» сталь, внепечная обработка стали, глиноземистый флюс, плавиковый шпат, десульфурация, шлаковый щебень.

При разливке стали открытой струей присутствие алюминия приводит к образованию нежелательных включений, которые сказываются на механических свойствах стали и скорости разливки. По этой причине использование алюминийсодержащих флюсов при выплавке так называемых «безалюминиевых» сталей считается нежелательным. Однако в ходе разработки и промышленных испытаний на Нижнесергинском метизно-металлургическом заводе флюсообразующей добавки МША-ФРАДО (производитель ООО «СЕАЛ и К»), которая могла бы служить заменителем плавикового шпата для ряда марок сталей, было отмечено, что использование этого флюса возможно без значимого увеличения содержания алюминия в стали. Испытания проводились с декабря 2013 г. по февраль 2016 г. Основные задачи испытаний:

- замена дефицитного плавикового шпата на более дешевый и доступный материал;
- снижение затрат на производство стали;
- стабилизация ковшевого шлака с получением щебня, удовлетворяющего ГОСТ 3344–83. Показатели рафинирования металла при этом должны были оставаться на уровне показателей, получаемых по штатной технологии.

* По материалам XIV Международного конгресса сталеплавыльщиков и производителей металла (17–21 октября 2016 г., г. Электросталь Московской обл.).



О. Ю. Шешуков
E-mail: ferro1960@mail.ru

Первую серию испытаний проводили на этапе внепечной обработки стали, масса жидкого металла 130 т. На НСММЗ была поставлена опытная партия добавки в количестве 0,5 т. Испытания проводили при производстве стали марок СтЗпс (3 плавки) и СтЗГсп (4 плавки). Добавку присаживали в начале обработки металла, частично взамен плавикового шпата и алюминиевого концентрата, в количестве от 0,37 до 1,16 кг/т; в остальной обработке вели по штатной технологии.

Применение опытной добавки при внепечной обработке стали позволило сократить расход шлакообразующих материалов и раскислителей. При выплавке стали марки СтЗпс значительно снизился расход плавикового шпата — от 2,35 до 1,08 и ферросилиция — от 0,98 до 0,51 кг/т, а также полностью исключено использование алюминиевого концентрата — от 0,28 кг/т до 0. При выплавке стали марки СтЗГсп расход всех шлакообразующих материалов оказался близким к расходу по штатной технологии, расход плавикового шпата снизился от 1,76 до 1,12 кг/т. Кроме того, по результатам испытаний был произведен расчет экономической эффективности использования добавки МША-ФРАДО, который показал, что стоимость производства стали марки СтЗпс снизилась на 35,02, а марки СтЗГсп на 8,96 руб./т стали. Основная статья снижения затрат — экономия ферросплавов. В таблице приведены данные по десульфурации металла на штатных и опытных плавках с применением добавки МША-ФРАДО. Опытный материал не оказал значительного влияния на скорость и глубину десульфурации. Следует отметить, что десульфурация — однозначный показатель качества шлакового режима,

отражающий как кинетику, так и термодинамику процесса рафинирования шлаком. Поэтому можно утверждать, что плавиковый шпат равноценно заменяется глиноземистым флюсом.

С экономической точки зрения результаты первых испытаний были значимыми, но с точки зрения рафинирования металла требовалось провести дополнительные испытания с большей партией добавки. Поэтому следующие испытания были проведены с применением 20 т опытной добавки на большем числе марок стали: СтЗпс, Ст1пс, SAE1005, Ст1кп, СтЗГсп, ТМ. Внепечную обработку металла вели по штатной технологии, за исключением того, что частично взамен плавикового шпата присаживали опытную флюсообразующую добавку, расход которой составил от 0,33 до 1,2 кг/т.

Применение опытной добавки при внепечной обработке стали позволило снизить расход извести на 0,12–1,24, плавикового шпата на 0,54–0,69, алюминиевого концентрата на 0,08–1,34 кг/т. Экономический эффект от экономии материалов составил от 3,11 до 41,17 руб./т в зависимости от марки стали. Основное снижение стоимости производства произошло за счет экономии алюминиевого концентрата. Это возможно из-за наличия в составе добавки порядка 10–12 мас. % дисперсного металлического алюминия. По результатам испытаний были сделаны следующие выводы:

- необходимо снизить расход опытной добавки на марке стали СтЗпс, поскольку во время испытаний наблюдалось некоторое снижение скорости разливки на плавках с опытной добавкой;
- следует проверить возможность использования добавки при выпуске металла из ДСП со снижением использования алюминия для раскисления стали.

Поэтому в дальнейшем были проведены испытания по присадке модифицированной добавки при выпуске металла из ДСП в сталеразливочный ковш после наполнения от 20 до 30 т. В составе добавки была снижена доля металлического алюминия до 12 мас. %. Испытания проводили на обработке стали марки СтЗпс, 7 плавков. Расход добавки составил от 0,59 до 0,76 кг/т, однако при расходе 0,76 кг/т наблюдалось сильное дымовыделение, поэтому расход добавки снизили до 0,61 кг/т. Применение добавки при выпуске металла

из ДСП в сталеразливочный ковш позволило поднять сквозной коэффициент усвоения кремния на выпуске от 33,49 до 34,49 мас. % и снизить расход ферросилиция от 0,218 до 0,197, боя карборундовых камней (заменитель ферросилиция) от 3,08 до 2,82, плавикового шпата от 2,35 до 2,00, алюминиевого концентрата от 0,43 до 0,26 кг/т.

Одновременно были проведены испытания по присадке добавки при обработке металла на АКП на марках сталей Св08А и Св08АА. Расход добавки составил от 2,64 до 2,9 кг/т стали, добавку присаживали порциями от 100 до 150 кг. Во время присадки добавки, особенно первой порции, было отмечено значительное дымовыделение. При этом был снижен расход алюминиевого концентрата на 1,26, плавикового шпата на 1,13, ферромарганца на 0,29, ферросилиция на 0,47, извести на 0,31 кг/т. За счет экономии этих материалов снижены расходы на производство стали на 26,11 руб./т.

Поскольку были получены замечания о сильном дымовыделении при введении порции от 100 кг опытного материала в АКП, был исследован и разработан новый химический состав добавки, позволяющий снизить ее расход без ухудшения рафинировочных свойств. В состав добавки было введено 10 мас. % особой присадки (рис. 1). Испытания проводили на стали марок SAE 1005 и СтЗпс. Обработку металла на АКП вели по штатной технологии, за исключением того, что взамен плавикового шпата использовали опытную добавку в количестве от 0,77 до 1,92 кг/т. Испытания показали возможность полной замены плавикового шпата опытной добавкой. Кроме того, снижен расход алюминиевого концентрата на 0,24 кг/т стали. Увеличение содержания в металле алюминия было ограничено до уровня 0,0002–0,0003 мас. %, что находится на грани ошибки химического анализа.

После испытаний добавки была отобрана проба полученного шлака в количестве более 50 кг (рис. 2, а). Проба представляла собой смесь шлакового щебня с размером кусков от 10 до 70 мм. Верхняя часть кусков имела более темный цвет, чем средняя. На нижней части кусков щебня наблюдались налипшие фрагменты шлака более темного цвета от предыдущей партии шлака, слитого из ковша. Через 1 сут хранения шлака было обнаружено, что часть шлака рассыпалась. Количество рассыпавшегося шлака (рис. 2, б) составило 320 г, или 0,64 % массы пробы.

Для оценки физико-механических свойств шлакового щебня на соответствие требованиям ГОСТ 3344–83 «Щебень и песок шлаковые для дорожного строительства» проба была направлена в сертифицированную строи-

Десульфурация металла по штатной технологии и с применением опытного материала

Плавки	Содержание S в металле, мас. %		Длительность обработки металла, мин	Средняя скорость десульфурации, мас. % / мин
	до начала обработки	после обработки		
Сталь марки СтЗГсп				
Опытные	0,0529	0,0110	42,8	0,0010
Штатные	0,0564	0,0099	43,4	0,0011
Отклонение	-0,0035	0,0011	-0,63	0,0001
Сталь марки СтЗпс				
Опытные	0,0477	0,0086	51,7	0,0008
Штатные	0,0559	0,0099	53,0	0,0009
Отклонение	-0,0081	-0,0013	-1,33	0,0001



Рис. 1. Флюс, загруженный в биг-бэг

тельную лабораторию. Часть шлака подвергали совместному помолу с дигидратом сульфата кальция в количестве 4 % массы шлака и тоже была направлена в сертифицированную строительную лабораторию. Как оказалось, по основным показателям качества шлаковый щебень отвечает требованиям ГОСТ 3344–83, кроме содержания металлических включений и зерен фракций 40 и 50 мм. Однако эти показатели являются регулируемыми, так как при налаженной технологии производства щебня можно будет домалывать шлак и производить его сортировку с удалением магнитных включений магнитной сепарацией. Полученное на основе шлакового щебня минеральное вяжущее соответствует требованиям ГОСТ 31108–2003 только по изменению объема цементного теста. Сроки схватывания короткие — начало схватывания 6 мин, конец схватывания 12 мин при требовании стандарта к началу схватывания не ранее 45 мин. По прочностным показателям (с учетом того, что через неделю цементные образцы набирают 50 % марочной прочности) минеральное вяжущее будет иметь марочную прочность при сжатии около 10 МПа, что не соответствует ни одной марке цемента. Однако эти показатели не противоречат требованиям к гипсовому вяжущему.

Таким образом, установлено, что разработанная флюсообразующая добавка позволяет снизить стоимость производства стали за счет уменьшения расхода ферросплавов и раскислителей. Кроме того, добавка позволяет снизить расход, а на ряде марок и исключить использование плавикового шпата. Применение алюминий-содержащей добавки при производстве «безалюминиевых» сталей возможно без значительного увеличения содержания алюминия в металле. В сертифицированной строительной лаборатории подтверждено, что применение разработанной флюсообразующей добавки позволяет получать из шлаков внепечной обработки стали щебень, удовлетворяющий ГОСТ 3344–83.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В сортаменте некоторых производств «безалюминиевые» стали могут занимать до 90 % всего объема выплавки. Прежде всего, это стали, разливаемые от-



Рис. 2. Отбор пробы шлака (а) и куски стабилизированного шлака (б)

крытой струей на мелкосортных МНЛЗ, стали энергетического, транспортного и военного назначения. До недавнего времени считалось, что для ограничения перехода алюминия в металл при обработке таких сталей целесообразно уменьшать использование материалов, содержащих алюминий и его оксид. Поэтому в качестве разжижителя шлаков обычно используют плавиковый шпат, а не глиноземистые флюсы. Проведенные авторами эксперименты показали, что данное ограничение неоправданно. Рациональный состав флюса, а также технология его использования позволяют сохранить в стали низкое содержание алюминия, провести десульфурацию (не хуже, чем с плавиковым шпатом), а также сформировать в шлаке фазы, делающие его пригодным к использованию в строительстве.

Работа выполнена по Государственному заданию № 0396-2015-0083.

Библиографический список

1. **Шешуков, О. Ю.** Стабилизация рафинировочных шлаков путем корректировки их фазового состава / О. Ю. Шешуков, И. В. Некрасов, М. А. Михеенков [и др.] // Сталь. — 2016. — № 5. — С. 12–15.
2. **Михеенков, М. А.** Придание сталеплавильным шлакам свойств минеральных вяжущих веществ / М. А. Михеенков, О. Ю. Шешуков, И. В. Некрасов [и др.] // Сталь. — 2016. — № 3. — С. 66–69. ■

Получено 14.11.16

© О. Ю. Шешуков, И. В. Некрасов,
М. А. Михеенков, Д. К. Егизарьян, Д. А. Лобанов,
О. В. Неугодинов, Б. А. Иванов, 2017 г.