

УДК 666.762.11:666.364]:669.182.71

## ПРИМЕНЕНИЕ ИЗВЕСТКОВО-СИЛИКАТНЫХ И ИЗВЕСТКОВО-ГЛИНОЗЕМИСТЫХ ПЛАВЛЕННЫХ РАФИНИРОВОЧНЫХ ФЛЮСОВ ДЛЯ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ

Приведены технологические варианты использования известково-глиноземистых плавленных рафинировочных флюсов для обработки стали в АКП. Отмечено, что при этом снижается риск вторичного газонасыщения, уменьшается загрязненность металла НМВ и расход  $\text{CaF}_2$

**Ключевые слова:** известково-глиноземистые плавленные рафинировочные флюсы, внепечная обработка стали, агрегат ковш-печь (АКП), шлаковый режим.

Известен опыт обработки металла в ковшах на выпуске плавки из кислородного конвертера (ККЦ МК «Азовсталь») с применением электроплавленных известково-глиноземистых синтетических шлаков с удельным расходом 45–50 кг/т. Несмотря на высокую степень десульфурации металла, сказалось сверхнормируемое восстановление Ti из шлаковой фазы. На некоторых предприятиях юго-востока Украины (Днепропетросталь, ФСЛЦ ММК им. Ильича — для «Азовмаша») выплавку известково-силикатных и известково-глиноземистых синтетических шлаков производили в отражательных или электродуговых печах. Выпуск плавленной шлаковой композиции основностью 3,5–4,5 проводили в «шлаковни» с последующей закалкой расплава. Выплавленный шлак дробили и использовали при выплавке легированных марок стали с обработкой как в ДСП, так и в ковшах на выпуске плавки.

Принципиально новый подход — самоплавкие шлаковые смеси (СШС); технология ДонНИИчермета (руководитель — Л. И. Крупман). В состав шихты входило до 20 % флуоритового концентрата, 20–24 % натриевой селитры, 14–21 % порошка алюминиевого пассивированного (ПАП), чаще — отсева алюминиевой стружки (ОАС), до 10 % магнезитовой пудры, остальное — известь металлургическая. Смесь загружали на дно ковша, сжигали в специальных стендах с

вытяжкой и далее ковш с готовым жидким шлаком с удельным расходом 7–14 кг/т подавали под выпуск плавки [1]. Смесь применяли в основном в мартеновских цехах Коммунарского (сейчас Алчевского), Макеевского МК, ЕМЗ, ДМЗ, ММК им. Ильича, Днепропетростальского МК.

Отмечено, что вследствие дробления струи металла при ее контакте с полимеризованным синтетическим шлаком с высоким поверхностным натяжением улучшается не только процесс десульфурации [2]. Происходит значительная ассимиляция различных групп неметаллических включений (НМВ) во время выпуска плавки в сравнении с обычной ТШС (3/4 извести и 1/4 флуоритового концентрата, иногда с добавками алюмошлаков). Полученные синтетические шлаки основностью 2,5–4,0 ( $\text{MgO}$  2–7 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  12–20 %,  $\text{Na}_2\text{O}$  3–6 % и  $\text{CaF}_2$  5–8 %) обеспечивали необходимые технологические свойства. Однако технология была «экологически небезопасной» ввиду значительных выбросов продуктов сгорания во время сжигания СШС до начала обработки. Это сдерживало ее распространение.

Известны труды НПП «Техмет», г. Донецк (разработчик и рук. работ — А. П. Богун), по использованию плавленных рафинировочных флюсов ИРС-2 собственного производства, выплавленных на Донецком камнелитейном заводе «Магма». Коллектив НПП «Техмет» сформирован на базе лаборатории рафинирования и разлива стали ДонНИИчермета. Флюсы основностью 3,3–4,0 общего назначения имели температуру «оплавления» (эквивалент 1/2 высоты образца) 1240–1270 °С, более высокоосновные (4,4–6,0) с увеличенным содержанием  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 1320–1350 °С. Эти показатели близки к показателям шлаков от СШС. Высокоосновные флюсы ИРС-2 применяли на РУП БМЗ и Алчевском МК,

\* В работе принимали участие М. С. Федосова и Е. Ю. Добронравова (✉).



Е. Ю. Добронравова  
E-mail: mail@izometica.ru

низкоосновные ИРС-2 — на других предприятиях [3–5].

Формирование «легкоплавкой подложки» в начальный момент шлакообразования при выпуске плавки в ковш улучшало кинетику десульфурации. За счет наличия в шлаке F и  $\text{Na}_2\text{O}$  в предварительно сплавленном (химически связанном) виде с меньшим их угаром шлак в большинстве случаев сохранялся жидкоподвижным большее время, чем при использовании только ТШС. Повышалась продолжительность ассимиляции НМВ.

Следующим этапом были работы Завода металлургических смесей (А. П. Богун, 2009–2011 гг.) по использованию электроплавляемых флюсов СШР-4, в том числе в сочетании с сильными раскислителями SiCa и  $\text{CaC}_2$  [6]. Данные по внедренным результатам применения плавляемых флюсов ИРС-2 и СШР-4 приведены в табл. 1.

Приведенные технологические варианты основаны либо на повышении степени десульфурации, либо на сокращении цикла внепечной доводки плавки. Так, на примере обработки флюсами штрипсового сортамента ККЦ МК «Азов-сталь» (флюс СШР-4, 2010–2011 гг.) результаты обработки опытного массива данных показали:

– длительность обработки с применением СШР-4 в среднем на 13,7 мин меньше, чем на сравнительных плавках;

– скорость десульфурации составляет  $0,29 \times 10^{-3}$  против  $0,20 \cdot 10^{-3}$  %/мин на сравнительных плавках;

– усвоение алюминия на опытных плавках выше: содержание алюминия в готовом металле составило 0,035 % при удельном расходе 0,302 кг/т против 0,033 % при расходе 0,312 кг/т на сравнительных плавках;

– количество удаленной серы составляет в среднем 0,0179 % на опытном и 0,0149 % на сравнительном массиве данных;

– температура металла в начале обработки плавки на ковше-печи ниже в среднем на 3,4 град, в том числе на низколегированных марках ниже на 3,3 град, на штрипсовых ниже на 5,7 град.

Однако с вводом в эксплуатацию агрегатов ковш-печь (АКП) и тонкостенных кристаллизаторов МНЛЗ актуализировался ряд дополнительных вопросов по обеспечению заданных параметров качества металлопродукции. Так, в сравнении с технологией продувки металла молотым ( $\text{SiCa} + \text{CaF}_2$ ) штрипсовых марок ста-

Таблица 1. Данные о применении рафинировочных флюсов ИРС-2 (НПП «Техмет», г. Донецк) и СШР-4 (Завод металлургических смесей, г. Донецк) для внепечной доводки стали (чугуна) в ковшах

Предприятие, цех	Период использования ТИС	Вместимость сталеразливочного (чугуновозного) ковша, т	Способ ввода рафинировочных флюсов	Удельный расход рафинировочных флюсов, кг/т	Обрабатываемый марочный сортament стали, чугуна
МК «Азов-сталь», ККЦ	2006–2011 гг.	340	Отдача ИРС-2 (СШР-4) на АКП (СШР-4: на выпуске на дно ковша)	0,6–1,1 (ИРС-2) на АКП, 1,47–2,2 (СШР-4) на выпуске	Штрипсовые (трубные), конструкционные, судосталь
МК «Азов-сталь», МЦ	1999–2011 гг.	230	Отдача с ферросплавами на выпуске в ковш	4,0–4,5 (ИРС-2), 2,2–4,5 (СШР-4)	Рельсовые, конструкционные марки
МК «Азов-сталь», ДЦ	2002–2009 гг.	(140)	Совместно с Mg при обработке чугуна на «колоколе»	2,0–2,5	Десульфурированный передельный чугун с $S \leq 0,011\%$
АМК, МЦ, затем ЦНРС	2002–2006 гг.	300	В ковш на выпуске из МП, затем при переливе в сталеразливочном ковше (ЦНРС)	На выпуске (МЦ) 3,0–4,0 ИРС-2; на переливе 4,0–7,0 (ИРС-2)	Средне- и низкоуглеродистый, легированный сортament
РУП БМЗ	2000–2012 гг.	110	В ковш на выпуске; при продувке молотым ИРС-2 в ДСП	На выпуске из ДСП 3,3–3,5; с использованием ПКН для вдувания в ДСП 2,0–4,0	Ответственный сортament
ДМЗ, ДЦ	2006–2012 гг.	(140)	Подача на дно ковша на выпуске	Совместно с обработкой Mg-проволокой; ИРС-2 5,0–7,0	Низкосернистые ( $S \leq 0,012\%$ ) литейные чугуны в чушках
ММК им. Ильича, ККЦ	1998–2006 гг.	160	Продувка тонкомолотым ИРС-2 на АДС с использованием ПКН для продувки SiCa	1,87–4,15	Штрипсовые, низколегированные марки стали
«Электро-сталь» (Курахово), ЭСПЦ	2010–2011 гг.	60	Подача на выпуске	2,0–3,0	Среднеуглеродистые, в том числе легированные марки

ли (НЛМК, Азовсталь) и регламентированным получением не менее 0,003 % Са (следы) в середине 1990-х годов с вводом в эксплуатацию трайб-аппаратов в начале 2000-х рекомендовалось содержание 0,005–0,006 % Са. Регламентировались отношение Са/Al, Са/S и другие параметры. Примерно к 2004–2006 гг. содержание Са в низкоуглеродистом и легированном листовом прокате уже составляло 0,0010–0,0012 %; каких-либо данных об улучшении уровня механических свойств проката либо показателей качества прокатного передела в этот период нет. Сейчас содержание Са на уровне 0,0012–0,0015 %, при разливке низкоуглеродистых марок стали на сортовых МНЛЗ — до 0,0020 % на многих металлургических предприятиях. Данные о фазовом составе и морфологии НМВ не приводятся. Отношение Са/Al как показатель пластических характеристик выдерживается лишь на заводах трубного профиля. Кроме того, ужесточились требования к снижению вторичного азотирования металла. Более широкое использование SiC и СаС<sub>2</sub> в качестве раскислителей в ряде случаев (при использовании мелких фракций карбидов) сопровождается значительным протеканием экзотермических реакций в шлаке. Это вызывает как дополнительную эрозию огнеупоров шлакового пояса, так и повышение газопроницаемости покровных шлаков в сталеразливочных ковшах.

Одним из технологических вариантов снижения газопроницаемости покровных шлаков при минимизации их толщины является использование плавящих известково-глиноземистых флюсов — алюминатов кальция. Интересен опыт ми-

рового производителя огнеупорных материалов KERNEOS по их использованию. В общем случае при использовании плавящих алюминатов кальция ставились две задачи: ускорение формирования покровного шлака заданных химического и минерального составов, обеспечивающих проведение регламентированных процессов доводки стали в ковше; снижение «вторичного» газонасыщения и, как следствие, оптимизация состава и распределения НМВ в готовом прокате. Исходя из обобщенной практики производителя агрегатов АКП [7], в табл. 2 приведены рекомендации по шлаковому режиму доводки стали на АКП. Содержание в шлаке MgO должно составлять 5–10 %, уменьшая таким образом износ огнеупоров. Температура растворения шлака выше 1600 °С допускается благодаря использованию защищенной дуги для нагрева стали.

После подачи легирующих следует добавить синтетический шлак, который в основном состоит из извести (СаО) и алюмината (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> или боксит). Если используется доломитовая известь, то основным параметром следует считать содержание в шлаке MgO (~5 %). Не рекомендуется добавлять плавиковый шпат (СаF<sub>2</sub>), поскольку он неэкологичен и сокращает срок эксплуатации футеровки АКП. До расплавления металла рекомендуется использовать синтетические шлаки для обработки марок стали с узким пределом по содержанию водорода. Преимуществом является хорошая растворимость, но это не очень экономично. Во избежание быстрого износа огнеупоров из-за высокой степени излучения дуги рекомендуется использовать защищенную дугу при минимальном содержании шлака в ковше в количестве 10 кг/т жидкого металла. Длина дуги определяется напряжением. Для предотвращения рекристаллизации стали графитом электрода минимальная длина дуги должна быть от 50 до 120 мм в зависимости от ввода энергии и мощности ковша. При увеличении мощности ковша растёт и длина дуги.

Приведенный выше технологический вариант использования алюминатов кальция рассчитан на цикл обработки плавки на АКП около 35

Таблица 2. Рекомендации по шлаковому режиму доводки стали на АКП

Оксид	Содержание оксида в стали, %, при ее раскислении	
	кремнием [1]	алюминием [2]
CaO	40–50	45–60
MgO	≤10	≤10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	≤20	25–40
SiO <sub>2</sub>	25–40	≤20
FeO + MnO	<0,5	<0,5

Таблица 3. Основные показатели снижения затрат на производство балочной заготовки

Показатели затрат	Величина снижения	Технологический параметр	Обычная технология	Рекомендуемый вариант
Снижение:				
брака на прокатном переделе	5–10 % (отн.)	Окисленность металла	–	<10 ppm на АКП и 15–30 ppm в промежуточном ковше
расхода СаF <sub>2</sub>	0,3 кг/т	Стойкость футеровки сталеразливочных ковшей	65 плавов	70 плавов (+7 % абс.)
расхода электроэнергии	1,0 кг/т	Десульфурация, конечное содержание S	<300 ppm S	Достижение <300 ppm S менее чем за 30 мин
удельного расхода:		Стойкость футеровки сталеразливочных ковшей	75 плавов	85 плавов (+11 % абс.)
СаF <sub>2</sub>	1,4 кг/т			
MgO (гранулы)	0,64 кг/т			
SiC (брикет)	0,14 кг/т			
Увеличение расхода флюса LDSFRG	0,5 кг/т (от 1,8 до 2,3)			

Таблица 4. Основные показатели снижения загрязненности НМВ при производстве подшипниковой стали

Типы НМВ	Длина НМВ (1000-кратное увеличение), мкм, полученная по технологии		Примеси	Содержание примесей, ppm, полученных по технологии	
	обычной	рекомендованной		обычной	рекомендованной
А: сульфиды					
В: строчечные	1,90	0,80	[S]	50	40
С: силикаты					
Д: глобулярные	0,40	0,30	[H]	1,5	1,03

мин. Флюс присаживается в определенном соотношении с известью порционно при продувке металла через пробки; масса присадок рассчитывается, исходя из требуемого содержания S в готовой стали с учетом количества вводимых при этом раскислителей Al, Si, Ca. Другой вариант использования алюминатов кальция направлен на снижение загрязненности стали НМВ. В табл. 3 приведены основные показатели снижения затрат на производство балочной заготовки ([C] 0,11–0,21 %) с использованием флюса LDSFRG на выпуске плавки в ковш при увеличении расхода флюса от 1,8 до 2,3 кг/т.

На примере производства подшипниковой стали марки 100GB при условии сохранения базовых величин [S] и [H] получено снижение загрязненности НМВ при использовании флюса LDSFLT. Основные показатели представлены в табл. 4.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Применение известково-силикатных и известково-глиноземистых флюсов (синтетических шлаков) способствует повышению кинетических факторов десульфурации и снижению ряда ресурсо- и энергосоставляющих калькуляции производства жидкой стали на агрегатах АКП, УДМ.

## Библиографический список

1. А. с. 430166 СССР от 05.10.1977 / Л. И. Крупман, А. Е. Сочнев, Б. В. Гавронский, С. П. Ефименко, Л. М. Покрасс, А. В. Воропаев, В. В. Мосиашвили, А. М. Офенгенден.
2. А. с. 434100 СССР от 25.01.1977 / А. Е. Сочнев, Б. В. Гавронский, Л. И. Крупман, А. М. Оконников, В. С. Чумаченко, В. М. Гудкевич.
3. Исаев, О. Б. Комплексное использование высокоосновных теплоизолирующих, шлакообразующих, рафинировочных и разливочных смесей при высокоскоростной разливке на слабовых МНЛЗ / О. Б. Исаев, В. В. Акулов, А. И. Троцан [и др.] // Черная металлургия. — 2007. — № 7. — С. 25–31.
4. Богун, А. П. Смеси и флюсы для разливки на МНЛЗ, в слитки и десульфурации металлургических расплавов / А. П. Богун // Металлургическая и горнорудная промышленность. — 2004. — № 7. — С. 16–21.
5. Богун, А. П. Производственный опыт использования шлакообразующих и рафинировочных смесей ново-

2. В условиях «малошлаковых процессов» внепечной доводки стали в зависимости от марочного сортамента и условий разливки целесообразно получение технологически необходимого содержания ( $Al_2O_3$ ) в покровном шлаке за счет использования флюсов — «алюминатов кальция». Они ускоряют шлакообразование без экзотермических реакций, обладают более высокой скоростью шлакообразования в сравнении, например, с алюмотермическими шлаками.

3. При раннем наведении плотных «полимеризованных» покровных шлаков в сталеразливочном ковше за счет использования флюсов  $CaO-Al_2O_3$  снижается риск «вторичного» газонасыщения во время интенсивной продувки плавки на АКП. Это находит косвенное подтверждение в увеличении и выходе годного на прокатном переделе.

4. Снижение загрязненности металла НМВ при обработке плавки флюсами  $CaO-Al_2O_3$  отмечено даже на высокоуглеродистом подшипниковом сортаменте с относительно низкой температурой внепечной доводки.

5. Снижение расхода  $CaF_2$  за счет введения в технологию ВОС флюсов  $CaO-Al_2O_3$  способствует повышению стойкости футеровки сталеразливочных ковшей.

го поколения при ковшевой обработке и непрерывной разливке стали / А. П. Богун, Д. А. Галинков, Ю. В. Галагура [и др.] // Металлургическая и горнорудная промышленность. — 2003. — № 8. — С. 106–110.

6. Матюхов, С. А. Особенности технологии десульфурации стали на выпуске с использованием смеси СШР-4 производства ООО «Завод металлургических смесей»: Материалы 3-й конференции УКАС «50 лет непрерывной разливки стали в Украине» / С. А. Матюхов, С. А. Вильдяйкин, А. П. Богун [и др.]. — 2010. — С. 156–159.

7. Инструкция по управлению процессом обработки стали. Донецк, ДМЗ-13100000. VAI-FUCKSDDU. SE3|PBS001. — С. 31–40. ■

Получено 01.02.17

© А. П. Богун, Н. А. Годынский, 2017 г.