



УДК 621.74.94

Поступила 06.10.2021

ТЕХНОЛОГИИ РАСКИСЛЕНИЯ И РАФИНИРОВАНИЯ ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ СПЛАВОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРЕССИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*А. В. ЧАЙКИН, ООО «Металлург» СОАЛ, г. Сафоново, Смоленская обл., Россия, ул. Советская, 47, оф. 3.
E-mail: a.chaykin@metallurg-ral.ru*

В. В. КОЛПАКОВ, Рубцовский филиал АО «Алтайвагон», г. Рубцовск, Алтайский край, Россия

В. А. ЧАЙКИН, ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия

В статье описаны преимущества применения дисперсных смесевых материалов для диффузионного раскисления сталей, выплавляемых в дуговых печах с основной и кислой футеровкой; рафинирования черных и цветных сплавов; раннего наведения шлака при плавке стали 110Г13Л методом переплава.

Ключевые слова. Рафинирование, раскисление, сталь, чугуны, алюминий.

TECHNOLOGIES OF DEOXIDATION AND REFINING OF FERROUS AND NON-FERROUS ALLOYS USING ADVANCED MATERIALS

A. V. CHAIKIN, ООО "Metallurg" SOAL, Smolensk Region, Safonovo, Russia, 47, Sovetskaya str., office 3.

E-mail: a.chaykin@metallurg-ral.ru

V. V. KOLPAKOV, Rubtsovsky Branch of JSC "Altayvagon", Rubtsovsk, Russia

V. A. CHAIKIN, FGBOU VO MGTU named after G. I. Nosov, Magnitogorsk, Russia

The article describes the advantages of using dispersed mixed materials for diffusion deoxidation of steels smelted in arc furnaces with basic and acid lining; refining of ferrous and non-ferrous alloys; early slag guidance during melting of 110G13L steel by remelting.

Keywords. Refining, deoxidation, steel, cast iron, aluminum.

Прогрессивные материалы для раскисления и рафинирования сталей в электродуговых печах, обладающие уникальными физико-механическими, технологическими и функциональными свойствами, отличительным признаком которых является дисперсность компонентов, разработаны ООО «Металлург» СОАЛ (<http://metallurg-ral.ru>) [1]. Следует отметить, что достижение требуемого эффекта рафинирования представляет собой сложный процесс, в котором можно выделить два основных элемента: физический и физико-химический. Первый состоит в распределении смеси при подаче в печь или ковш и последующем образовании определенного числа контактов между компонентами смеси и шлаком. Очевидно, что здесь играют роль преимущественно физические характеристики смесей – гранулометрия и удельная поверхность. Второй фактор заключается в процессах, обуславливающих рафинирование сталей. Здесь компоненты смеси выступают как участники химического взаимодействия со шлаком и металлом. В этом случае имеет значение наличие в смеси компонентов, химически активных к шлаковой фазе, т. е. физико-химическая природа компонентов. Подбор рационального состава смесей предопределяет дисперсную структуру с сильно развитой поверхностью и открытыми химическими связями, т.е. химически активными.

Одним из эффективных и наиболее часто используемым на заводах среди разработанных ООО «Металлург» СОАЛ материалов является раскислитель диффузионный алюмосодержащий (РДА). В его основу положены порошки углеродсодержащего материала (УСМ), кремнийсодержащего материала (КСМ) и сильнейшего раскислителя – алюмосодержащего материала (АСМ). Кроме того, в состав [2] введено оптимальное количество поверхностно-активных веществ, состоящих из кальций-стронциевого карбоната, соединений калия и натрия, которые придают ему жидкоподвижность и еще больше активизируют [3].

Проведенные расчеты показали, что на каждый см^3 шлака приходится от 10^9 до 10^{10} частиц смеси, что на несколько порядков выше, чем у традиционных смесей, т. е. шлак восстановительного периода можно рассматривать как суспензию, в которой дисперсной фазой являются частицы дисперсных раскислительных смесей, а дисперсионной средой – шлак [4].

Разработанные смеси имеют технологические преимущества. Их применение не требует дополнительной подготовки к использованию. Смеси поступают к заказчику в готовом к употреблению виде. Они фасуются в пакеты от 3 до 10 кг, что позволяет снизить трудоемкость ручного труда сталеваров при проведении диффузионного раскисления, экономично и равномерно распределить смесь по поверхности шлака и наладить контроль за рациональным расходом материала. Это является важным преимуществом материалов.

Внедрение РДА на Рубцовском филиале АО «Алтайвагон» позволило повысить эффективность диффузионного раскисления стали по сравнению с используемой ранее заводской смесью за счет существенного увеличения в системе количества активных центров реагирующих частиц и межфазной поверхности, принудительного перемешивания шлаков из-за диссоциации карбонатов. Среднее содержание серы при раскислении РДА снизилось на 23%: до 0,0110 против 0,0143% при применении заводской смеси. После обработки стали РДА микроструктура отливки стала более благоприятной. Индекс загрязненности в среднем уменьшился с 1,853 до $1,472 \cdot 10^{-3}$. KCV^{-60} , который до внедрения составлял в среднем 240 кДж/м^2 , после внедрения увеличился до 310 кДж/м^2 и существенно стабилизировался. Это позволило усовершенствовать отливку «балка надрессорная» и повысить ее грузонесущую возможность с 23,5 до 25 т. Расход РДА уменьшился по сравнению с заводской технологией с 4,24, до 2,37 кг/т жидкого. Годовой экономический эффект от внедрения составил около 6 млн. руб. РФ [2].

В Рубцовском филиале хорошо зарекомендовали себя диффузионное раскисление стали РДА в сочетании с ковшовой обработкой рафинирующей смесью универсальной (PCY) в количестве 1,25 кг/т жидкого, которую применяли при производстве мелкого и среднего железнодорожного литья. Особенностью смеси PCY является то, что она изготовлена на основе системы оксидов $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O-CaF}_2$ и карбонатов CaCO_3 и SrCO_3 . Смесь характеризуется отсутствием гидратации и сепарации, а также большей скоростью формирования шлаковой фазы. PCY представляет собой усовершенствованный синтетический шлак с высокой основностью и низкой окисленностью, с низкими температурой плавления, вязкостью и поверхностным натяжением. Это позволяет образующимся в процессе выпуска металла каплям PCY аккумулировать оксиды марганца, железа, алюминия и сульфиды, очищая металл, а также дегазируя его, повышая, тем самым, его механические свойства.

PCY обеспечила более полное очищение металла от оксидов железа, сульфидов и других неметаллических включений. Это привело к дальнейшему повышению KCV^{-60} стали с 310 до $351,7 \text{ кДж/м}^2$. Кроме того, шлак, обработанный смесью PCY, несколько вспенился и стал теплоизолятором. В результате снизилось падение температуры металла в ковше во время разливки и, как результат, снизился брак типа «складчатость», недолив. Металл стал разливаться полностью без остатков в ковше. Уменьшилась трудоемкость очистки ковша от остатков шлака и сократилось время межплавочной подготовки ковша. PCY также разжижает густой шлак в ковше, полученный после вынужденного горячего простоя печи, а также магниезальные шлаки. После охлаждения шлак имеет пористую структуру, напоминающую структуру газобетона, что облегчает отделение металла от шлака при разделке «коржей» на бойной площадке.

Очень эффективны три направления совершенствования технологического процесса плавки стали 110Г13Л методом переплава с использованием разработанных материалов для получения требуемых механических свойств ответственных железнодорожных отливок, таких, как крестовины железнодорожные.

Первое направление – это раннее наведение шлака. Оно применяется при методе переплава. Во время плавления шихты на подину загружается известняк в количестве 50 кг/т жидкого и по его поверхности равномерно распределяется разработанный флюс «разжижитель шлака» (РШ) в количестве 5 кг/т жидкого. Основу РШ составляет дисперсный кальций-стронциевый карбонат, который повышает основность шлаков. Для снижения температуры плавления и повышения эффективности РШ в его состав введены флюсы, содержащие в своем составе соединения калия и натрия, а также и Al_2O_3 . Отличительной особенностью РШ является высокая дисперсность, что, в свою очередь, снижает температуру плавления шлака. Температура плавления РШ составляет $1197 \text{ }^\circ\text{C}$. Флюс РШ расширяет временной и температурный интервал разжижающей способности плавикового шпата. Ускоренно образующийся легкоплавкий

шлак, который легче металла, поднимается вверх и заполняет прорезаемые электродами колодцы. Он экранирует дуги, в результате чего все тепло начинает расходоваться на расплавление металла, при этом резко снижается угар марганца и железа, уменьшается время плавания шихты, экономятся материалы и электроэнергия.

Второе направление – совершенствование технологического процесса восстановительного периода плавки заключается в том, что во время диффузионного раскисления расплава и доводки металла по химическому составу диффузионное раскисление в печи проводили до получения шлака, рассыпающегося в белый порошок, «раскислителем диффузионным алюмосодержащим» (РДА) в количестве 6–7 кг/т жидкого после повышения основности шлака до ($B > 2$) добавками извести. РДА более технологичен по сравнению с заводской раскислительной смесью, поскольку заменяет сразу три компонента (порошок алюминия, ферросилиций молотый и коксовый порошок) и более эффективен.

Третий этап рафинирования проводится в ковше при выпуске стали. В ковше осуществляли окончательное раскисление стали алюминием в количестве 1 кг/т жидкого. Дополнительно проводится внепечная обработка расплава рафинирующей смесью универсальной (PCY) в количестве 2,5–4,5 кг/т жидкого. PCY аккумулирует оксиды марганца, железа, алюминия и сульфиды, очищая металл, а также дегазируя его, повышая, тем самым, его механические свойства.

В АО «КМЗ» (г. Керчь) новая технология обеспечила сокращение времени наведения шлакового покрова и времени расплавления шихты; уменьшение расхода электроэнергии; повышение эффективности диффузионного раскисления и снижение затрат на него; уменьшение расхода марганецсодержащих ферросплавов.

Внедренная технология обеспечила требуемую микроструктуру и механические свойства особо ответственных железнодорожных отливок – крестовины железнодорожные, соответствующие 1-м и 2-м группам качества по ГОСТ 7370 [5], не уступающие механическим свойствам стали, выплавляемых методом окисления. Кроме того, что очень важно, внедрение новой технологии выплавки марганцовистой стали методом переплава взамен окисления наряду с повышением качества металла позволило резко уменьшить себестоимость отливок, и получить годовой экономический эффект свыше 48 млн. руб [6].

Хорошо зарекомендовали себя новые материалы в печах с кислой футеровкой. Как известно, себестоимость кислой стали существенно ниже, чем основной. Поэтому в АО «Алтайвагон» для снижения себестоимости отливок в технологический процесс плавки стали в печах с кислой футеровкой было дополнительно введено диффузионное раскисление новыми дисперсными материалами: раскислителями диффузионными РД19П, РД21П и внепечная обработка расплава рафинирующей смесью PCY. Основой РД19П служит кальций-стронциевый карбонат с размерами частиц 20 мкм [3]. Для усиления разжижающей способности раскислителя в него введены карбонат натрия Na_2CO_3 и УСМ для вспенивания шлака. Раскислительная смесь РД21П состоит из УСМ, АСМ (алюмосодержащего материала). Остальные компоненты – соединения натрия и калия служат для разжижения шлака. Кремнийсодержащий материал и глинозем исключены из состава смеси, так как в кислой плавке достаточно много оксидов Si, а Al_2O_3 образуется в процессе окисления АСМ. Обработка шлаков РД19П и РД21П наряду с восстановлением оксидов железа вспенивала шлак, что способствовало ускоренному росту температуры металла. В результате усиливались эндотермические реакции кремнийвосстановительного процесса. Выплавленная сталь была получена с более низкими содержаниями оксидов Fe и Mn в шлаке и соответственно в металле. Кремнийвосстановительный процесс способствовал росту в металле содержания кремния и снижению расхода ферросилиция. Дополнительная обработка стали PCY в ковше интенсифицировала рафинирование металла. При комплексной обработке расплава в ковше происходило одновременное модифицирование включений с последующей флотацией их пузырьками CO_2 на зеркало металла. В результате существенно повысились относительное удлинение образцов из стали с 25,1 до 28%, т. е. на 11,6%, а ударная вязкость – с 707,6 до 1001,75 кДж/м², т. е. на 41,5 кДж/м², что дало возможность расширить номенклатуру ответственного железнодорожного литья, выплавляемого в кислых печах, и, тем самым, удешевить его. Кроме того, сокращено время плавки на 10 мин. Появилась возможность: разливать плавки без остатков металла в ковше; снизить трудоемкость удаления остатков шлака из ковша; увеличить срок службы ковшей; экономить ферросплавы; снизить температуру выпуска стали на 20 °С [4].

Разработаны также экологически безвредные материалы для проведения рафинирующей обработки расплавов на основе алюминия. Известно, что наибольшее негативное влияние на свойства отливок из алюминиевых сплавов оказывают присутствующие в нем пленообразные включения оксида алюминия

и водород, поэтому расплав перед разливкой подлежит обязательному рафинированию. Самыми распространенными материалами для рафинирования и модифицирования силуминов являются солевые композиции. При их применении серьезной проблемой становится загрязнение окружающей среды, что связано с наличием в составе указанных препаратов фтористых и хлористых соединений. Перспективными для решения указанных проблем оказались разработанные дисперсные рафинирующие смеси на основе КСК. Они успешно заменяют более дорогие импортные материалы «Degazal T 200», «Eutectal T 201» и препараты фирмы «Shäferg», содержащие вредные соединения хлора и фтора, а также токсичный таблетированный препарат «Дегазер» на основе гексахлорэтана и ряд других. КСК более экологичен, поскольку не содержит в своем составе вышеуказанных соединений. При этом создаются возможности для более комфортной работы литейщиков в цехе и получаются качественные отливки с требуемыми высокими механическими свойствами и герметичностью [7].

Рафинирующая смесь КСК не менее успешно применяется и при производстве отливок из бронзы.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Чайкин А. В.** Совершенствование технологий высокого уровня применением дисперсных раскислительных смесей в агрегате печь-ковш (АКП) / А. В. Чайкин, В. Л. Савицкий, В. А. Чайкин, В. В. Колпаков, К. Н. Вдовин // *Литейщик России*. 2019. № 9. С. 11–18.
2. **Чайкин В. А.** Применение дисперсных раскислительных смесей для повышения качества стали 20ГФЛ / В. А. Чайкин, А. В. Чайкин, В. В. Колпаков, Д. В. Маслов, Е. П. Закоптелов // *Металлургия машиностроения*. 2018. № 5. С. 10–13.
3. **Чайкин В. А.** Новый материал для диффузионного раскисления в агрегате комплексной обработки сталей / В. А. Чайкин, А. В. Чайкин, А. Д. Касимгазинов, П. О. Быков // *Черные металлы*, 2018. № 9. С. 6–11.
4. **Чайкин, А. В.** Инновации при выплавке сталей в кислых печах / А. В. Чайкин, В. А. Чайкин, В. В. Колпаков, К. Н. Вдовин // *Заготовительные процессы в машиностроении*. 2019. Т. 17. № 10. С. 293–295.
5. ГОСТ 7370–2015. Крестовины железнодорожные. Технические условия. М.: Стандартинформ. 2015. 62 с.
6. **Чайкин В. А.** Повышение механических свойств ответственных отливок из стали 110Г13Л путем совершенствования метода переплава / В. А. Чайкин, С. А. Якунина, В. М. Киселев, В. А. Чайкин, К. Н. Вдовин // *Литейщик России*. 2020. № 10. С. 7–15.
7. **Тютюков С. А.** Совершенствование технологии получения отливок из доэвтектического силумина / С. А. Тютюков, А. В. Андреев, А. В. Гаврилюк и [др.] // *Литейное производство*. 2017. № 10. С. 15–18.