

Защита металла, разливаемого на МНЛЗ, от вторичного окисления и теплопотерь

Внедрены мероприятия по защите жидкого металла от теплопотерь и вторичного окисления: теплоизолирующие смеси для сталеразливочных ковшей, теплоизолирующие и шлакообразующие рафинировочные смеси для промежуточных ковшей, шлакообразующие смеси для кристаллизаторов машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), комбинированная защита струи металла от вторичного окисления с помощью огнеупорных изделий и инертного газа.

Ключевые слова: непрерывная разливка, вторичное окисление металла, теплопотери металла, теплоизолирующие смеси, шлакообразующие рафинировочные смеси, защита металла

Рынок металла диктует все возрастающие требования к выпускаемой продукции, что предполагает ее высокое качество и экономию материальных ресурсов. Одним из таких направлений в ККЦ ПАО «Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича» является разработка и внедрение мероприятий по защите жидкого металла от теплопотерь и вторичного окисления на пути от конвертера до кристаллизатора (К) машины непрерывного литья заготовок.

Полупродукт, получаемый в конвертерах емкостью 150 т, сливают в ковши с основной футеровкой, предварительно разогретой до 1200 °С на стендах высокотемпературного разогрева стальной ковше (СК), и подают на агрегат доводки стали (АДС). После обработки на АДС плавки утепляют теплоизолирующей смесью (ТИС) и направляют на МНЛЗ. Разработку ТИС* выполняли в два этапа.

На первом этапе, когда утепление осуществлялось на старом АДС, смесь вводили в ковш с помощью крана в одноразовых контейнерах, разрушающихся от тепла поверхности расплава [1]. Для этих целей в условиях серийного производства были испытаны ТИС, состоящие из, %мас.: (10-30) углеродсодержащих материалов (УСМ); (20-70) кислого огнеупорного наполнителя «Легон»; до 30 высокоосновных (на основе MgO и CaO) мелкодисперсных огнеупорных наполнителей; (5-20) органических наполнителей; (20-90) гранулированного огнеупорного наполнителя.

После проведенных испытаний в качестве базовой была принята ТИС, состоящая из «Легона» (60-70 %мас.) и УСМ (30-40 %мас.).

На втором этапе – с пуском нового АДС – возникла необходимость разработки гранулированной ТИС-3 для ввода в ковш с использованием оборудования АДС – систем хранения, дозирования, подачи и равномерного распределения утеплителя по зеркалу металла через конусный рассекатель. Разработка технологии утепления металла в СК потребовала проведения специальных исследований. Был уточнен характер взаимодействия между материалом утеплителя, покровным ковшовым шлаком и материалом огнеупорной футеровки СК на основе MgO и Cr₂O₃.

В ранее проведенных исследованиях [2] отмечено преобладающее влияние толщины слоя покровного шлака и особенно содержания в нем оксидов железа на стойкость футеровки СК.

Сравнением проб шлака из СК на различных этапах установлено, что снижения основности шлака во время выдержки плавки в ковше не происходит; перехода материала огнеупорной футеровки (MgO) в шлак не замечено; после ввода алюминия увеличение содержания FeO и Al₂O₃ в ковшовых шлаках менее выражено на плавках с утеплением ТИС-3, что косвенно свидетельствует о снижении вторичного окисления в верхних слоях металла во время выдержки и разливки на МНЛЗ.

В качестве базовой принята гранулированная ТИС-3, состоящая на 84-90 %мас. из гранулята огнеупорного наполнителя и 10-16 %мас. УСМ. При этом получены следующие показатели: скорость снижения температуры на участке АДС – МНЛЗ (первый замер) – 1,14 °С/мин (1,23 °С/мин – на ТИС); среднее изменение температуры в промковше – 5,0 °С (8,0 °С – на ТИС); средний расход – 1,6 кг/т.

Внедрение технологии утепления зеркала металла в СК позволило снизить температуру металла на выпуске на 15 °С, что отразилось на уменьшении составляющих расходного коэффициента металлошихты и доли отходов. Улучшены условия обслуживания СК и увеличена стойкость шлакового пояса за счет исключения шлако-металлического настыва в шлаковом поясе и полного слива остатков шлака из СК после разливки плавки. Достижению данных показателей способствовало использование на более 96 % плавков футерованных крышек (стойкость футеровки более 4000 пл.) которые устанавливаются на СК в резервной позиции подъемно-поворотного стенда МНЛЗ.

Одним из эффективных технологических приемов, обеспечивающих существенное улучшение качества непрерывно-литого металла и условий эксплуатации промежуточных ковшей (ПК), является применение для защиты зеркала металла в ПК теплоизолирующих смесей, которые должны выполнять такие функции: теплоизоляцию зеркала металла; ассимиляцию

*Разработка ТИС для СК, ТИС и шлакообразующей рафинировочной смеси (ШРС) для промежуточного ковша (ПК) и шлакообразующей смеси на плавленной основе для К выполнялась совместно с НПП «Техмет», Донецк, Украина

неметаллических включений; обеспечение безаварийной работы ПК в течении серии на ПК.

С августа 1996 г. на всем марочном сортаменте разработаны и внедрены [3] теплоизолирующие смеси для ПК (ТИС-2) следующего состава, %мас.: SiO_2 – 25-50; $\text{CaO} + \text{MgO}$ – 15-40; C – 22-35; Al_2O_3 – до 5; $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ – до 7. ТИС-2 представляет собой окомкованную с применением связующих порошкообразную массу насыпной плотностью не более $0,55 \text{ т/м}^3$. Формирование защитного покрытия на зеркале металла толщиной не менее 30 мм осуществляется вводом в ПК (в начале разливки первой плавки на ПК) порций ТИС-2, фасованных по 5 кг.

В дальнейшем, через 2-3 плавки, производится возобновление защитного покрытия вводом 10-20 кг ТИС-2 в полость ПК.

Для улучшения условий работы ПК (особенно стойкостью 15 и более плавов) возникла необходимость увеличения емкости ТИС по Al_2O_3 и сохранения работоспособности ТИС на протяжении работы серии на ПК. Этого достигли применением двухслойного покрытия, когда в начале разливки в ПК подается шлакообразующая рафинировочная смесь (ШРС), а сверху, после ее подплавления и равномерного распределения по зеркалу металла в ПК, – утепляющая ТИС-2.

В ШРС содержание $\text{CaO} + \text{MgO}$ увеличено до 70 %, основность – до 1,2-1,8, что, исходя из диаграммы состояния шлаков системы $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$, показывает возможность значительного увеличения Al_2O_3 и в данной системе оказывает разжижающее действие на шлак, а также способствует увеличению его ассимилирующей способности. Получено значительное улучшение условий ассимиляции Al_2O_3 (с 25 до 37 %) и MnO , в ПК ТИС жидкоподвижная, не образует «коржей» на зеркале металла, нейтральна по отношению к футеровке ПК, обеспечивает нормальную работоспособность стопора. Исследованиями установлено, что ТИС-2 и ШРС практически не влияют на изменение химического состава жидкой стали.

Внедрение ТИС-3 в СК, крышек для СК, ШРС и ТИС-2 в ПК позволило снизить температуру металла на выпуске из конвертера на 20°C , стабилизировать температуру плавки в ПК в пределах 5°C , против $15\text{-}20^\circ\text{C}$ при использовании ШОС для К в ПК. При этом значительно сократилась доля отходов, характеризующих эффективность теплоизоляции в ПК: насталь в ПК, немерные пояса вследствие снижения скорости разливки по вине приварки стопоров к футеровке ПК, «холодный» металл.

Непрерывным условием к технологии производства непрерывно-литых слябов является наличие эффективной защиты струи металла от вторичного окисления при транспортировке металла на участках между СК-ПК-К. В период освоения непрерывной разливки на нашем комбинате защита осуществлялась с применением таких огнеупорных изделий: огнеупорной трубы на участке СК-ПК, устанавливаемой в рабочее положение с помощью автономно расположенных на площадке разлищика со стороны рабочей позиции поворотного стенда МНЛЗ механических манипуляторов с тремя степенями свободы, которые позволяют в любой период плавки производить уста-

новку защитных труб; погружного стакана на участке ПК-К, но результаты получались нестабильными из-за инжектирования воздуха к жидкому металлу в месте стыковки защитной трубы со стаканом-коллектором шибера узла СК и погружного стакана с разливочным стаканом ПК [4].

Для повышения эффективности защиты в полость огнеупорных изделий подвели инертный газ через кольцевые коллектора. Опробовали газообразный азот и аргон с расходом 300-400 л/мин в защитную трубу и 170-250 л/мин в погружной стакан, однако в случае с азотом эффективность оказалась низкой из-за высокого содержания в нем кислорода (3-7 %). Более стабильные результаты получили при использовании комбинированной защиты струи металла с помощью огнеупорных изделий и аргона. В настоящее время вместо кольцевого коллектора с аргоном применяют уплотнительные вкладыши, аналогичные по эффективности.

Внедрение данных мероприятий на 50-70 % (отн.) снизило угар легкоокисляющихся элементов (Al, Ti) в стали на участке СК-ПК-К и в 2,5-3,0 раза уменьшило количество неметаллических включений. Количество металла с дефектами, выявляемыми УЗК, снизилось в 2,0-2,5 раза.

В кристаллизаторе защиту зеркала металла от вторичного окисления и теплопотерь, смазку между стенками кристаллизатора и формирующейся корочкой слитка, а также ассимиляцию неметаллических включений осуществляют шлакообразующей смесью (ШОС) двух типов: пятикомпонентной ШОС-5 механического смешения на основе шлакопортландцемента или двухкомпонентной на плавленной основе [5].

В период пуска МНЛЗ работали на ШОС-4 на основе отходов ферросплавного производства, поставляемой по кооперации с МК «Азовсталь». Для изготовления ШОС собственного производства в ноябре 1998 г. на участке шлакообразующих смесей ввели в строй новое подразделение, в проекте которого была заложена ШОС-5. Переход с ШОС-4 на ШОС-5 собственного производства выявил преимущества новой смеси: она обладает лучшими служебными свойствами, хорошо работает на зеркале металла, равномерно подплавляясь, не комкуется, индекс прорывов по причине «подвисания» корочки слитка из-за неудовлетворительной работы ШОС снизился с 0,95-1,54 (под ШОС-4) до 0,31 прорыва на 1000 плавов (под ШОС-5). Также высокое содержание MnO в ШОС-4 (18 %) снижает эффективность обработки металла в ПК алюминиевой и проволокой с SiCa наполнителем, так как большая часть Ca и Al идет на восстановление оксидов Mn и Fe, содержащихся в шлаке К.

Однако остро встала проблема с выполнением требований по влажности (<0,5 %), поскольку смесь обладает повышенной гигроскопичностью и срок годности ШОС-5 составляет 24 ч. Вопрос по влажности был решен просушиванием готовой смеси в электропечи.

С 1995 г. на комбинате проводились НИР по разработке ШОС на плавленной основе, а так как она состоит всего из двух компонентов – плавленого флюса и углеродсодержащего материала (УСМ), – технология

приготовления значительно упрощается и ШОС может быть произведена на действующем участке смесей. Смесь обладает стабильностью химического состава, хорошими служебными свойствами, не гигроскопична, не сепарируется, флюс имеет неограниченный срок хранения.

Было опробовано две системы, $\text{CaO-SiO}_2\text{-MnO-R}_2\text{O-CaF}_2$ (совместно с ПГТУ, 1995-1997 гг.) и $\text{CaO-SiO}_2\text{-R}_2\text{O-CaF}_2$ (совместно с НПП «Техмет», 1998-2001 гг.).

Обе смеси показали хорошие результаты, но в первой содержание углерода достигало 15-18 %, а MnO – 9, поэтому окончательный выбор был сделан в пользу второй смеси на плавленной основе. Плавленный флюс производит НПП «Техмет». Сушка, помол флюса и смешивание с УСМ выполняются на новом участке приготовления ШОС. Было разработано три типа плавленных ШОС для сталей: общего сортамента (конструкционные стандарта ASTM), трещиностойких (главным образом типа X65, 13Г1СУ, 09-10Г2ФБ), 08Ю и сопутствующие, но предпочтительнее отдала универсальной ШОС на плавленной основе для всего марочного сортамента, отливаемого на МНЛЗ № 1 и 2. ШОС на плавленной основе характе-

ризуется меньшим (на 25 %) расходом по сравнению с ШОС-5, механического смешения, и экологически она более чистая.

Анализ данных качества проката показал снижение отсортировки по плене и трещине на 0,2-0,7 % по сравнению с прокатом из слябов, отлитых под ШОС-4. Индекс прорывов из-за неудовлетворительной работы ШОС снизился с 0,31 прорыва (под ШОС-5) до 0,23 на 1000 плавков (под ШОС на плавленной основе).

После пуска в октябре 2006 г. МНЛЗ № 3 производства SVAI спектр ШОС расширился за счет использования для новой МНЛЗ смесей фирм Stollberg, «Евротехмет» и др.

Разработки по защите металла от теплопотерь и вторичного окисления, внедренные в ККЦ ПАО «ММК им. Ильича», позволили расширить марочный сортамент продукции, уменьшить аварийность на МНЛЗ, снизить на 15-20 °С температуру металла на сливе из конвертера и тем самым уменьшить расход чугуна, повысить качество металлопродукции за счет уменьшения в 2,5-3,0 раза количества неметаллических включений в стали и 2,0-2,5 раза – количества дефектов на прокате, выявляемых УЗК.



ЛИТЕРАТУРА

1. Эффективность теплоизоляции поверхности металла в сталеразливочном ковше / Ю. В. Климов, А. А. Ларионов, Б. В. Небога и др. // Металл и литье Украины, 1997 г. – № 2-4. – С. 13-14.
2. Честер Д. Х. Огнеупоры в сталеплавильном производстве: Пер. с англ. – М.: ГНТИ по черной и цветной металлургии, 1961. – С. 109-110, 442-444.
3. Разработка и испытание двухслойного защитного покрытия металла в промковше УНРС / Э. Н. Шебаниц, А. А. Ларионов, А. П. Бочек и др. // Труды V конгресса сталеплавильщиков. – М., 1999 г. – С. 434-436.
4. Защита струи металла от вторичного окисления при разливке на УНРС / А. П. Бочек, Э. Н. Шебаниц, М. Н. Якин и др. // Труды V конгресса сталеплавильщиков. – М., 1999 г. – С. 410.
5. Смеси, применяемые на МНЛЗ в ККЦ ОАО «ММК им. Ильича» / А. П. Бочек, В. В. Климанчук, И. Н. Фентисов и др. // Труды VI конгресса сталеплавильщиков. – М., 2001 г. – С. 577-579.

Анотація

Бочек А. П., Климанчук В. В., Ларіонов О. О., Фентісов І. М., Токій А. М., Губко І. Г.
Захист металу, що розливається на МБЛЗ, від вторинного окислення та тепловтрат

Впроваджено заходи для захисту рідкого металу від тепловтрат і вторинного окислення: теплоізолюючі суміші для сталерозливних ковшів, теплоізолюючі та шлакоутворювальні рафінувальні суміші для проміжних ковшів, шлакоутворювальні суміші для кристалізаторів МБЛЗ, комбінований захист струменя металу від вторинного окислення за допомогою вогнетривких виробів та інертного газу.

Ключові слова

безперервне розливання, вторинне окислення металу, тепловтрати металу, теплоізолюючі, шлакоутворюючі, рафінувальні суміші, захист металу

Summary

Bochek A., Klimanchuk V., Larionov A., Fentisov I., Tokiy A., Gubko I.
Protection of casted steel from secondary oxidation and heat losses

There has been taken measures to protect liquid steel from heat loss and secondary oxidation with the help of: heat-insulating mixtures for steel teeming ladles, heat-insulating and slag forming refining mixtures for tundishes, slag forming mixtures for caster moulds, dual protection of steel stream from secondary deoxidation with the help of refractory products and inert gas.

Keywords

continuous casting, secondary oxidation, steel heat loss, heat-insulating mixtures, slag-forming refining mixtures, steel protection