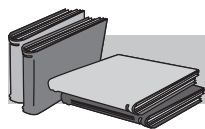


сокращению длительности внепечной обработки.

Таким образом, в условиях ЭСПЦ ОАО «Уральская сталь» использование при внепечной обработке стали соответствующего сортамента порошковой проволоки с

наполнением СК40 позволяет значительно снизить затраты на производство стали при обеспечении разливаемости и требуемого уровня качества металла.



ЛИТЕРАТУРА

1. «Ковш-печь» – современный агрегат для получения стали. Дюдкин Д. А., Кисиленко В. В., Павлюченков И. А., Болотов В. Ю. – Донецк: Норд-Пресс, 2008, 473 с.
2. Патент № 67016, Украина. Дріт для позапичної обробки металургійних розплавів / Дюдкин Д. А., Бать С. Ю., Кисиленко В. В. и др.
3. Патент № 2234541, РФ. Проволока для внепечной обработки металлургических расплавов / Дюдкин Д. А., Бать С. Ю., Кисиленко В. В. и др.
4. Дюдкин Д. А., Кисиленко В. В. Современная технология производства стали. – М.: Теплотехник, 2007, 528 с.
5. Гасик Л. Н., Игнатъев В. С., Гасик М. И. Структура и качество промышленных ферросплавов и лигатур. – Киев: Техніка, 1975, 151 с.

УДК 669.18

А. В. Кодак, Г. И. Касьян, П. М. Явтушенко, В. В. Сыроватский (ЗАО «ММЗ» Истил (Украина))

Повышение интенсивности процессов внепечной обработки после внедрения донного перемешивания расплава аргоном с расходом до 1000 л/мин на одну пробку

В период с 2001 по 2007 гг. производство стали на «ММЗ» Истил (Украина) возросло в 2,8 раза – 1,02 млн. т, а длительность обработки плавов на установке «печь-ковш» (УПК) при этом сократилось в 1,7 раз – с 73 до 44 мин, что позволило обрабатывать на УПК до 28 плавов в сутки.

Основные показатели технологии на установке «печь-ковш» фирмы «DANIELI» представлены в табл. 1.

Целью оптимизации энерго-технологических параметров обработки металла на установке «печь-ковш» в указанный период явилось обеспечение максимальной производительности линии (ДСП-УПК-VD / VOD-МНЛЗ), заданного качества стали при минимальных затратах на ее обработку.

Поскольку «печь-ковш» является буферным агрегатом, для реализации указанной цели осуществлялась настройка оптимальных параметров всей цепочки (ДСП-УПК-VD / VOD-МНЛЗ). Снижение длительности обработки плавов на УПК осуществлялось параллельно

На основании опытных данных, полученных в условиях ЗАО «ММЗ» Истил (Украина), показаны основные аспекты перемешивания металла в ковше при продувке аргоном через донные пробки. отработана технология донного перемешивания расплава аргоном с расходом до 1000 л/мин на одну пробку

со снижением длительности выплавки железометаллургического полупродукта на ДСП-120 по двум направлениям: за счет снижения длительности нагрева металла на УПК и за счет увеличения скорости десульфурации стали в процессе ее внепечной обработки.

Для снижения длительности нагрева металла на УПК была использована более мощная 5-я ступень трансформатора, что позволило повысить активную мощность электрических дуг на 10 МВт (с 38,3 до 39,3 МВт), и за счет этого увеличить максимальную скорость нагрева металла с 3,5 до 4,5 °С/мин. Кроме того, после оснащения ДСП-120 более мощным печным трансформатором, за счет увеличения температуры металла на выпуске была увеличена (с 1535 до 1550 °С) температура металла в начале обработки на УПК.

Более трудной задачей было снизить длительность обработки плавов на УПК за счет интенсификации процессов десульфурации сталей, выплавляемых для последующей разливки на МНЛЗ открытой струей. Доля производства этих сталей в сортаменте предприятия колеблется от 50 до 95 %.

Таблица 1

Основные показатели технологии на установке «печь-ковш»

Параметры УПК	Год						
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Длительность обработки, мин	73	59	52	55	55	44	44
Уд. расход эл.энергии, кВт·ч/т	62,72	49,24	46,69	55,4	59,42	46,32	38,22
Уд. расход электродов, кг/т	0,90	0,66	0,66	0,78	0,83	0,67	0,60
Уд. расход аргона, м³/т	0,25	0,24	0,33	0,30	0,35	0,32	0,32

Особенностью технологии производства указанных сталей на «ММЗ» Истил (Украина) является высокое содержание серы в железоуглеродистом полупродукте плавки, выплавленных с использованием 100 % стального лома. Среднее содержание серы в металле в начале внепечной обработки плавки составляет 0,068 %, а фактическое ее содержание колеблется в пределах 0,035-0,110 %. Учитывая ограничение по содержанию серы в НЛЗ не более 0,018 % (для предупреждения повышенной ромбичности квадратных литых заготовок) и достигнутую среднюю длительность обработки плавки на УПК – 44 мин (для обеспечения объемов производства стали 1 млн. т), средняя скорость удаления серы в процессе внепечной обработки должна составлять не менее 0,0015 % / мин.

Ниже приведено уравнение кинетики процесса десульфурации стали для момента времени t

$$\frac{d[\%S]_t}{dt} = -K_s \frac{A}{V} \left\{ [\%S]_t - \frac{(\%S)_t}{L_s} \right\}$$

где K_s – коэффициент, характеризующий условия перемешивания, $m \cdot c$ (его часто называют «кинетическим коэффициентом десульфурации»); A – площадь реакционной зоны на уровне поверхности раздела «металл-шлак», m^2 ; V – объем стали, m^3 ; $[\%S]_t$ и $(\%S)_t$ – концентрации серы в металле и шлаке в момент t ; L_s – коэффициент распределения серы между металлом и шлаком.

Кинетический коэффициент десульфурации может быть оценен для данной конкретной установки расчетами конвективных потоков в объеме металла, исходя из характеристик источников энергии перемешивания. Это было осуществлено в 5-тонном опытном ковше института «IRSID» во Франции [1].

Для установок различных размеров и объемов жидких фаз получено удовлетворительное описание реакций «металл-шлак» при десульфурации и дефосфорации в ковшах с перемешиванием инертным газом, выражающее K_s в следующем виде:

$$K_s = \beta \cdot \left(D_s \cdot \frac{Q}{A} \right)^{1/2}$$

где β – коэффициент диффузии серы; $D_s = 4,56 \cdot 10^9 m^2 \cdot c^{-1}$ при $1625^\circ C$; Q – реальный объемный расход газа (его можно рассчитать, исходя из расхода вдуваемого газа), $m^3 \cdot c^{-1}$; $\beta = 500 m^{-0,5} c^{-1}$ – коэффициент, определенный экспериментально и позволяющий учесть совокупность результатов.

В работе [2] K_s был определен для технологических условий перемешивания на заводе «Fukuyama» фирмы «Nippon Steel» Corp. (Япония). При промышленной обработке в обогреваемом ковше согласно результатам K_s колеблется в пределах $2,4-4,6 \cdot 10^{-3} m \cdot c^{-1}$, а степень десульфурации составляла 80-90 % при тщательном контроле состава шлака и энергии перемешивания.

Для условий «ММЗ» Истил (Украина) при достигнутых средних значениях коэффициента распределения серы между шлаком и металлом ($L_s = 70-100$) при обработке на УПК плавки с содержанием алюминия не более 0,007 %, вычисленный кинетический коэффициент десульфурации составляет $K_s = 4,1 \cdot 10^{-3} m \cdot c^{-1}$. Для достижения средней скорости десульфурации стали равной 0,015 %/мин, перемешивание металла необходимо осуществлять со средним расходом аргона 2000 л/мин [2].

Ближайший к указанному значению расход аргона (до 1000 л/т) для эффективной десульфурации стали приведен также в монографии В. А. Кудрина [3].

Исходя из изложенных выше соображений, начиная с 2002 г. начали повышать интенсивность продувки металла аргоном на УПК сначала за счет сокращения длительности обработки при постоянном удельном расходе, а с 2003 г. также за счет увеличения удельного расхода аргона на плавку – за счет использования в период присадки в ковш основной массы шлакообразующих материалов и ферросплавов режима перемешивания «байпас». Кроме того, для интенсификации процессов десульфурации металла были осуществлены следующие мероприятия:

- продувочные пробки производства фирмы «Ларфарж» были заменены на специально разработанные продувочные пробки щелевого типа конструкции ОАО «УкрНИИО им. А. С. Бережного» с толщиной щели (капилляра) 0,25 мм, суммарной шириной 720 мм, обеспечивающие расход аргона до 800 л/мин на каждую из двух пробочек ковша;

- разработан и внедрен режим перемешивания «регулируемый байпас», который позволил осуществлять регулирование расхода аргона через две пробки ковша с расходом от 0 до 1600 л/мин (регулируемый расход аргона с помощью газорегулирующей станции фирмы «Danieli» позволял изменять расход аргона в пределах от 0 до 750 л/мин);

- присадка в ковш комовой извести на выпуске плавки из ДСП-120 была увеличена с 300 до 1000 кг/плавку. Внедрение нового шлакового режима привело к увеличению средней величины степени десульфурации металла на выпуске в ковш с 3 до 10 % и позволило на 5,2 % (с 89,02 до 94,23 %) увеличить долю плавки, разливаемых на МНЛЗ открытой струей, с содержанием серы в готовой стали не более 0,018 %;

- при увеличении активности кислорода в металле, находящимся в промежуточном ковше более 25 ppm, последующие плавки серии МНЛЗ раскисляли на УПК алюминием до его содержания не более 0,008 %, после чего производили обработку металла кальцийсодержащей порошковой проволокой;

- газораспределительная станция УПК с регулируемым расходом аргона до 350 л/мин на продувочную пробку заменена на газораспределительную станцию с регулируемым расходом аргона до 1000 л/мин на продувочную пробку.

В табл. 2 приведена динамика изменения скорости и степени десульфурации сталей, разливаемых на МНЛЗ открытой струей в зависимости от изменения интенсивности продувки металла аргоном и массы присаживаемой в ковш извести.

Из табл. 2 следует, что с увеличением интенсивности продувки металла аргоном, а также с увеличением массы извести, отдаваемой в ковш на выпуске из ДСП, возрастают скорость и степень десульфурации металла в процессе внепечной обработки.

Недостатком обычного режима «байпас» является значительное оголение зеркала металла, что способствует увеличению содержания в стали водорода, а также образованию настывей металла и шлака на обечайке стальной ковша и на своде УПК, приводящих к простоям УПК и к снижению стойкости ковшей. Вместе с тем, при

Таблица 2

Динамика изменения скорости и степени десульфурации стали, разливаемой на МНЛЗ открытой струей

Период, г.	Расход извести (в т. ч., на выпуске из ДСП), кг/т	Интенсивность продувки металла аргоном, (л/т•мин)	Скорость удаления [S], %/мин	Степень десульфурации металла, %
2001	12,2 (2,6)	3,42	0,00041	59,2
2002	12,1 (5,0)	4,10	0,00066	65,4
2003	12,0 (5,7)	6,35	0,00109	79,7
2004	13,2 (5,9)	5,45	0,00100	79,7
2005	13,2 (5,9)	6,36	0,00100	80,3
2006	13,0 (5,8)	7,27	0,00130	79,0
2007	13,5 (8,4)	7,27	0,00140	88,0

перемешивании в обычном режиме «байпас» наиболее эффективно усваиваются металлом присадки сыпучих углеродсодержащих материалов, имеющие удельный вес ниже удельного веса шлака, быстрее расплавляются присадки извести.

Особенностью перемешивания с использованием режима продувки «регулируемый байпас» является возможность регулирования расхода аргона, более низкая степень оголения металла в ковше, в связи с чем снизилось количество настывшей металла на обечайке ковша и своде УПК, в меньшей степени возрастало содержание в металле водорода и азота. Перемешивание металла с использованием обычного режима «байпас» с общим расходом аргона до 1600 л/мин и режима «регулируемый байпас» с общим расходом аргона до 800 л/мин применялось в начале обработки, во время основных присадок на УПК извести, ферросплавов, УСМ. Указанные выше режимы перемешивания использовали в соотношении 30/70 % соответственно. Вместе с тем, эффективность использования режимов «байпас» снижается с увеличением средней интенсивности продувки более 6,5 л/т•мин в связи с перечисленными выше недостатками.

По нашему мнению, основным недостатком перемешивания металла, в том числе через продувочные пробки конструкции ОАО «УкрНИИО им. А. С. Бережного», является струйный характер истечения через них аргона. При высокой интенсивности продувки нисходящие потоки расплава отжимают восходящие к стенке ковша, при этом их скорость резко возрастает. Это приводит к заметному размыванию футеровки в районе восходящих потоков и образованию застойных зон, не участвующих в перемешивании вдали от этих потоков.

С целью создания условий для предотвращения образования в объеме металла квазистационарных потоков и застойных зон нами был разработан режим циклической продувки через 2 пробки ковша с изменяющимся в противофазе расходом аргона через каждую пробку. Расход аргона через каждую пробку ковша изменяли от минимального до максимального значения в соответствии с уравнением трохойды, причем максимальный и минимальный расход аргона через разные пробки были смещены по фазе на 180°.

При одинаковой интенсивности продувки инертным газом режим циклической продувки позволил увеличить среднюю скорость десульфурации стали на 12 %, увеличить степень десульфурации стали на 6,4 %, снизить удельный расход электрической энергии на 0,9 %, существенно уменьшить степень оголения поверхности

металла от покровного шлака, снизить длительность гомогенизации расплава по химическому составу и температуре.

Увеличение на УПК средней интенсивности продувки металла аргоном до 7,27 л/т•мин в режиме циклической продувки позволило также снизить количество случаев неудовлетворительной продуваемости пробок стальной и, в связи с этим, на 19 % (0,008 кг/т) сократить расход огнеупорного припаса МКФ-7 для изготовления аварийных фурм.

Вместе с тем, ряд ковшей с использованием в процессе обработки на УПК режима циклической продувки аргоном с интенсивностью более 7,3 л/т•мин был выведен из эксплуатации со стойкостью футеровки 35- 44 плавки (при средней стойкости 50 плавки) по причине размывания нижних рядов кирпичной кладки шлакового пояса, а также стыка между нижним рядом штучных изделий шлакового пояса и наливной футеровки стен ковша. Анализ причин показал, что при прочих равных условиях резкое снижение стойкости футеровки ковшей наблюдается при увеличении по стальной ковше количества плавки с превышением присадок извести более 17 кг/т ($K_{\text{корр}} = -0,81$).

Известно, что основные шлаки обладают значительной электропроводимостью. С увеличением толщины слоя шлака, которая в основном зависит от массы присадок извести и шпата, все большая часть текущего через электроды тока замыкается не через металлическую ванну, а через шлак. Это способствует перегреву шлака над металлом на 350 °С и более, и как следствие, является причиной повышенного износа футеровки шлакового пояса сталеразливочного ковша, а при недостаточном перемешивании приводит к прогару футеровки.

Опыт работы Молдавского металлургического завода (г. Рыбница), показывает, что снижения расхода на внепечную обработку рафинировочного шлака возможно добиться, используя свежееобожженную известь фракцией (0-10) мм, отличающуюся более высокой реакционной способностью. Присадку порошкообразной извести на поверхность металлической ванны в ковше производят пневмотранспортом с помощью установки «Stein». Применение порошкообразной извести в условиях ММЗ (г. Рыбница) приводит к снижению общей массы присадок извести, в среднем, с 16 до 10 кг/т и позволяет за 30 мин при обработке на УПК обеспечить удаление серы из металла на 0,05 %.

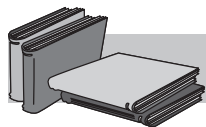
К сожалению, имеющаяся на «ММЗ» Истил (Украина) установка пылевдувания, поставленная фирмой «Danieli», не позволяет использовать ее для подачи извести на УПК в связи с удаленностью расположения, малой емкостью бункеров, отсутствием возможности аэрации порошка в силосе, которая необходима для предотвращения слеживания материалов.

Одним из способов предотвращения на ПК перегрева шлака при увеличенной массе присадок извести является применение пористых блоков с суммарной шириной капилляров порядка нескольких метров для

осуществления истечения аргона через пробки не в струйном, а в пузырьковом режиме. Такой блок позволяет осуществлять продувку металла с расходом аргона до 3 м³/т без образования в объеме металла квазистационарных потоков, в том числе, без нарушения сплошности шлакового слоя на поверхности металла [4, 5]. В связи с этим намечено дальнейшее совершенствование продувочных устройств для сталеразливочных ковшей в направлении оптимального расположения пористых пробок в днище ковша и увеличения в них суммарного

количества капилляров.

Таким образом, в промышленных условиях подтверждена целесообразность интенсификации процессов десульфурации стали за счет увеличения до 7,3 л/т•мин расхода аргона на перемешивание расплава. Намечено дальнейшее совершенствование продувочных устройств для сталеразливочных ковшей в направлении оптимального расположения пористых пробок в днище ковша и увеличения в них суммарного количества капилляров.



ЛИТЕРАТУРА

1. Sede1meyer B. Diss. Dokt. Naturwiss. Fak. Phys. Univ. Stuttgart, 1985, 149 s. (РЖМет .1986.7А39.Д).
2. Литвинов В. С. V Всесоюзная конференция, ИМет УНЦ АН СССР, Тез. науч. сообщ., Ч. 2.- Свердловск, 1983.- С. 177-178.
3. Кудрин В. А. Теория и технология производства стали. М.: Мир, ООО «Изд-во АСТ», 2003, 528 с.
4. Живченко В. С., Олейник Ю. В., Дырул О. М. Рафинирование расплава металла при внепечной обработке. Металлургическая и горнорудная пром-сть.- 2002.- № 7.- С. 163-166.
5. Каблуковский А. Ф. и др. Внепечная обработка стали порошковой проволокой.- М.: Metallurgizdat, 2006, 288 с.

УДК 666.762

Б. П. Крикунов, Д. В. Колесников, Н. М. Переворочаев, А. И. Дрейко, Р. А. Аношин, В. А. Романов (Филиал «Металлургический комплекс» ЗАО «Донецксталь – металлургический завод»)

Совершенствование способов фиксации футеровки в корпусе сталеразливочного ковша агрегата «КОВШ-ПЕЧЬ»

За последние десятилетия в мировой практике широкое распространение получил процесс внепечной обработки стали в агрегате «ковш-печь» как общепризнанное средство повышения качественных показателей стали, расширения сортамента и увеличения объемов сталеплавильного производства.

В мартеновском цехе металлургического комплекса ЗАО «Донецксталь-МЗ» в соответствии с «Программой технического перевооружения мартеновского цеха» в 2003 г. построен агрегат «ковш-печь», модернизированы существующая слывовая МНЛЗ и ковшевое хозяйство с освоением новых технологий. До 2012 г. планируется замена мартеновского способа производства стали электросталеплавильным.

Ввод в эксплуатацию агрегата «ковш-печь» вызвал необходимость внесения изменений в конструкцию корпуса сталеразливочных ковшей, изменения схемы футеровки и применения новых огнеупорных материалов. В связи с этим в мартеновском цехе произведен поэтапный перевод всего парка сталеразливочных ковшей на комбинированную схему футеровки с монолитным рабочим слоем стен и днища из плотного корундошпинельного огнеупорного бетона и кирпичным рабочим рядом футеровки шлакового пояса из периклазоуглеродистого кирпича. Комбинированная схема футеровки сталеразливочных ковшей была выбрана на основе анализа существующих технологий и опыта

внедрена технология изготовления и эксплуатации ковшей с использованием анкерного крепления монолитного арматурного слоя и применение для его изготовления саморастекающегося огнеупорного бетона в условиях филиала «Металлургический комплекс» ЗАО «Донецксталь – металлургический завод», что обеспечило повышение стойкости сталеразливочных ковшей и сокращение расхода огнеупоров на 0,8 кг/т стали

металлургических предприятий с учетом особенностей работы мартеновского цеха [1-4].

Одним из важнейших элементов, обеспечивающих стойкость и эксплуатационную надежность футеровки, является система ее фиксации в корпусе сталеразливочного ковша. На большинстве металлургических предприятий для фиксации футеровки в ковшах с обратной конусностью применяется стальной ограничительный пояс на торце корпуса ковша [5-6]. В процессе эксплуатации ковшей стальной ограничительный пояс подвергается тепловому воздействию со стороны электрической дуги при обработке на агрегате «ковш-печь», воздействию шлака при удалении его из ковша после разливки и механическому воздействию со стороны футеровки, имеющей массу около 40 т. В результате ограничительный пояс деформируется и требует частых ремонтов и замены.

Специалистами металлургического комплекса ЗАО «Донецксталь-МЗ» вместо металлического пояса был предложен и принят в качестве базового иной элемент фиксации футеровки, который представляет собой монолитное огнеупорное замковое кольцо. Предвари-