СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ В ОБЛАСТИ ПОДГОТОВКИ СТАЛИ К НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКЕ

А. Н. СМЕРНОВ¹, д-р техн. наук, профессор, ведущий научный сотрудник, stalevoz@i.ua;

С. В. КУБЕРСКИЙ², канд. техн. наук, профессор, проректор по научной работе;

Е. Н. СМЕРНОВ³, д-р техн. наук, профессор кафедры "Металлургия и металловедение"

(¹ Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев;

² Донбасский государственный технический университет, Украина, г. Алчевск;

³ Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал)

Национального исследовательского технологического университета "МИСиС", Россия, г. Старый Оскол)

Аннотация. Проблемы обеспечения гомогенности расплава в ковше особенно остро стоят при использовании технологии непрерывной разливки стали, требующей точного (и стандартного от плавки к плавке) регулирования температуры и химического состава металла. Показана важная роль внепечной обработки стали, разливаемой непрерывным способом, в получении металлопродукции с высоким уровнем физико-химических свойств.

Предложены технологические решения, позволяющие значительно улучшить технико-экономические показатели процесса аргонной продувки железоуглеродистого расплава в сталеразливочном ковше. Использование нового способа подачи аргона, а также установленных оптимальных параметров расположения продувочных узлов позволяет уменьшить интенсивность вторичного окисления стали в процессе инжектирования газа, износ рабочего слоя футеровки, а также загрязненность металла неметаллическими включениями, что позитивно сказывается на его качестве и стойкости ковшовых огнеупоров.

Изменения в конструкции днища сталеразливочного ковша, подходы к длительности цикла разливки, а также технологии перелива последних порций металла в промежуточный ковш повышают выход годного и качество металла.

Разработанные рекомендации к изменению технологии внепечной подготовки автолитовых сталей на установке ковш-печь обеспечивают получение требуемого содержания примесей в узких пределах химического состава и снижение расхода дорогостоящих раскисляющих добавок.

Ключевые слова: непрерывная разливка стали; сталеразливочный ковш; внепечная обработка стали; обработка металла вакуумом; продувка расплава инертными газами; электродуговой подогрев металла.

Ссылка для цитирования. Смирнов А.Н., Куберский С.В., Смирнов Е.Н. Современные проблемы и решения в области подготовки стали к непрерывной разливке // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2018. № 11. С. 42–50.

Doi: 10.32339/0135-5910-2018-11-42-50

Сталь как конструкционный материал обладает уникальным комплексом физических, технологических и эксплуатационных свойств, который позволяет широко использовать ее в разных отраслях промышленности.

В последние годы в практике металлургического производства наблюдается устойчивая тенденция к ужесточению требований к гомогенности расплава в ковше по содержанию элементов и температуре, стабильности химического состава стали, а также к загрязненности ее вредными примесями, неметаллическими включениями, газами и цветными металлами. Особенно остро эти вопросы стоят при использовании технологии непрерывной разливки, требующей точного (и стандартного от плавки к плавке) регулирования температуры и химического состава металла, а также высокого его качества.

Поэтому основная цель данной работы предусматривала анализ современных проблем и

разработку эффективных технологических решений по внепечной подготовке металла к непрерывной разливке для получения стали высокого качества.

Со второй половины XX столетия в сталеплавильном производстве начали широко использоваться технологические схемы, предусматривающие выполнение максимально возможного числа операций по доводке металла в сталеразливочном ковше с применением установок ковш-печь (УКП) и вакууматоров. Такая трансформация технологии позволила значительно увеличить производительность плавильных агрегатов, обеспечить высокое качество подготовки металла для последующей его разливки, понизить себестоимость стали, а также синхронизировать дискретную технологию выплавки стали с квазинепрерывной ее разливкой.

В современных условиях развития мирового сталеплавильного комплекса внеагрегатная до-

водка стали при подготовке ее к непрерывной разливке является неотъемлемым звеном технологической цепочки производства специальных и высококачественных сталей и основана на использовании одного или одновременно нескольких технологических приемов [1]:

- обработка металла вакуумом;
- продувка расплава инертными газами;
- электродуговой подогрев металла;
- вдувание порошкообразных материалов и ввод порошковой проволоки;
- перемешивание металла со специально приготовленными шлаками или лигатурами.

С начала 90-х годов прошлого века в практику сталеплавильного производства более интенсивно начали внедряться различные агрегаты и технологии для обработки железоуглеродистого расплава вакуумом. Практически все построенные в тот период новые металлургические предприятия имели в своем составе вакууматоры, а многие существующие проводили рекон-

струкцию с целью внедрения этих агрегатов в имеющуюся технологическую схему. Предпосылками к широкому использованию вакуума в сталеплавильных технологиях стало широкое внедрение способа непрерывной разливки стали, требующего кардинально новых подходов к качеству поступающего на машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) металла, а также существенный рост потребностей мирового рынка в автолистовых сталях и сталях для глубокой вытяжки, предъявляющих особые требования к содержанию примесей. Обеспечить чистоту таких сталей по примесям и ультранизкое содержание углерода без использования вакуумирования практически невозможно.

Наиболее интенсивно ввод в эксплуатацию установок для вакуумирования проходил в 1990–2010 гг., когда было построено более 500 различных технологических агрегатов (рис. 1), способствующих решению глобальных проблем современного сталеплавильного производства.

Рис. 1. Общее число установок для вакуумирования, введенных в эксплуатацию в 1990–2010 гг.

Fig. 1. Total number of vacuuming facilities, put into operation in 1990–2010

Одним из наиболее распространенных способов ковшовой металлургии является продувка расплава в ковше инертным газом с целью его гомогенизации по химическому составу и температуре, а также рафинирования от неметаллических включений эндогенного и экзогенного происхождения. Как правило, такой способ внепечной обработки предусматривает вдувание в расплав через пористые пробки, расположенные в днище ковша, или погружные фурмы определенного количества инертного газа (аргона) в единицу времени.

Несмотря на многообразие технологий газодинамической обработки расплавов, работы, направленные на оптимизацию параметров, усовершенствование оборудования и повышение эффективности такого вида внепечной подготовки металла для последующего передела являются весьма актуальными.

Скорость гомогенизации и возникающих в процессе продувки циркуляционных потоков находится в прямой зависимости от удельного расхода инертного газа и места расположения продувочных узлов. Однако при увеличении интен-

сивности продувки возникает ряд существенных проблем, обусловленных развитием процессов вторичного окисления и повышенного износа футеровки сталеразливочного ковша.

Основной причиной вторичного окисления стали является раскрытие зеркала металла, вызванное выходом пузырьков инертного газа на поверхность при высокой интенсивности продувки, и взаимодействие его с кислородом атмосферы, что приводит к образованию дополнительного количества оксидной фазы, снижению качества стали по загрязненности неметаллическими включениями, а также к уменьшению выхода годного металла ввиду ухудшения уровня его физико-химических свойств.

Повышенный износ футеровки может иметь место при воздействии на нее образующихся при продувке интенсивных газожидкостных потоков. Особенно это проявляется при перемещении продувочных пробок ближе к поверхности стенок ковша с целью предотвращения образования застойных зон в этой части объема ванны.

Проведенные в многочисленных работах [2–6] исследования позволили установить наиболее рациональные параметры обработки жидкой стали аргоном, обеспечивающие высокое качество металла, повышение стойкости футеровки и времени эксплуатации сталеразливочного ковша на основе новых представлений о механизме влияния способа и интенсивности вдувания аргона, числа и расположения продувочных узлов на время перемешивания и характер циркуляционных потоков расплава в ковше.

В ходе физического моделирования процесса аргонной продувки было установлено, что при использовании традиционной схемы обработки расплава в сталеразливочном ковше через две донные пробки с расходом 2 л/мин модельный газ образует две вращающихся газожидкостных струи, раскрывающиеся в верхней части модели. При этом происходит оголение зеркала воды и находящегося на ее поверхности масла, моделирующих сталь и шлак, что на реальном объекте приводит к развитию процессов вторичного окисления, а также к захвату шлака и вовлечению его нисходящими потоками в объем металлического расплава.

Площадь раскрытия поверхности модельной жидкости для рассмотренных условий продувки колебалась в пределах 17–25 % от площади зеркала модели, что вызывает интенсивное вторичное окисление расплава в течение всей техноло-

гической операции. Кроме того, отмечено, что объем жидкости, находящийся между газожидкостными струями, практически не подвергается гомогенизации, представляя собой застойную зону. Неметаллические включения в этой зоне практически не подвергались воздействию образованных потоков и витали в объеме металла, несмотря на свой достаточно большой размер (рис. 2). Поэтому можно утверждать, что при таком расходе инертного газа традиционный способ продувки с целью гомогенизации расплава и его рафинирования от неметаллических включений является малоэффективным.

Рис. 2. Характер поведения жидкости и неметаллических включений при традиционной схеме продувки через 2; 3,5 и 5 с от начала опыта

Fig. 2. Character of liquids and nonmetallic inclusions behavior at traditional blowdown schedule in 2; 3.5 and 5 s after test beginning

С целью повышения эффективности аргонной продувки расплава был исследован режим пульсирующей подачи модельного газа с частотой 120 импульсов/мин и аналогичным приведенному выше расходом.

При таком способе внепечной обработки было отмечено, что раскрытие вдуваемого потока газа происходит в средней части модели и к зеркалу модельной жидкости доходит поток, имеющий небольшую кинетическую энергию. Такой характер поведения вдуваемого газа способствует улучшению перемешивания жидкости в средней части модели и обеспечивает значительно меньшее раскрытие зеркала (2–3 % от общей площади), что позитивно влияет на процессы гомогенизации и снижение интенсивности вторичного окисления (рис. 3).

Рис. 3. Характер раскрытия зеркала металла при традиционной схеме продувки (а) и с использованием пульсирующей подачи газа (б)

Fig. 3. Character of metal mirror opening at traditional blowdown schedule (a) and with pulsating gas supply application (b)

Пульсирующая подача газа позитивно влияет на снижение не только площади, но и времени контакта расплава с атмосферой. Это обусловлено тем фактом, что чередующиеся импульсы приводят к периодическому раскрытию и закрытию зеркала металла над каждой из продувочных пробок, тогда как при традиционном способе продувки непосредственный контакт расплава и

атмосферы наблюдается в течение всей обработки.

Также было отмечено, что при пульсирующей подаче газа в результате раскрытия вдуваемого потока в средней части объема жидкости образуются потоки, способствующие выносу неметаллических включений к поверхности раздела металл – шлак (рис. 4).

Рис. 4. Характер поведения жидкости и неметаллических включений при пульсирующей схеме продувки через 1; 1,5; 2 и 4 с от начала опыта:
1, 2 — динамика перемещения потока вдуваемого газа

Fig. 4. Liquid and nonmetallic inclusions behavior character at pulsating blowdown schedule in 1; 1.5; 2 and 4 after the test beginning:
1, 2 — dynamics of blow-in gas flow movement

Важное значение для развития теории и усовершенствования технологии внепечной обработки имеют исследования, позволяющие оценить степень влияния места расположения продувочных узлов, а также их числа на эффектив-

ность гомогенизации расплава, удаление неметаллических включений и стойкость футеровки [3].

Проведенные в лабораторных и производственных условиях эксперименты позволили установить, что:

– увеличение расхода инертного газа, продувка через два продувочных узла и удаление их от вертикальной оси ковша способствуют уменьшению времени перемешивания;

– скорость восходящих потоков достигает максимальных значений в областях, прилегающих к рабочему слою футеровки под шлаковым поясом в зонах, расположенных над продувочными узлами на высоте 0,5–0,7 от высоты налива металла в ковше (рис. 5);

– продувка через две пробки при смещении их относительно вертикальной оси на расстояние 0,6–0,75 радиуса днища и расположение под углом 150–160 град. обеспечивает более интенсивное воздействие восходящих потоков на рабочий слой футеровки (рис. 6) и способствует уменьшению на 16–27 % уровня термических напряжений в нем. Это происходит вследствие оттеснения к центральной зоне более “нагретых” порций металла, расположенных под зеркалом металла.

Рис. 5. Развитие потоков при перемешивании жидкой стали в процессе продувки инертным газом через одно (а) и два (б) продувочных узла

Fig. 5. Flow development at liquid steel movement in the process of blowdown by an inert gas through one (a) and two (b) blowing units

Рис. 6. Внешний вид подшлаковой области футеровки стенки ковша над продувочным узлом (а) и растрескивание ее рабочего слоя (б)

Fig. 6. External view of under slag area of ladle wall refractory above the blowing unit (a) and its working layer crumbling (b)

Учитывая тот факт, что в практике сталеплавильного производства используются сталеразливочные ковши с различным отношением высоты налива металла H к диаметру ковша D , было исследовано влияние этих параметров на характер поведения металла при продувке его инертным газом [4–6].

Результаты проведенного физического моделирования свидетельствуют о том, что продувка аргоном в большегрузных ковшах, имеющих величину H/D в пределах 1,30–1,40, приводит к оголению в среднем на 25–30 % большей площади зеркала, чем при $H/D \approx 1$, при расходе вдуваемого газа в широком диапазоне значений. Установлено, что для ковшей с большим значением H/D в придонной части формируется застойная зона, которая занимает 0,15–0,25 объема жидкой ванны и не вовлекается в перемешивание основным циркуляционным потоком. Размеры этой зоны могут быть значительно уменьшены за счет смещения продувочной пробки к стенке ковша.

Кроме того, в условиях продувки металла аргоном в ковше возможен захват и вовлечение вглубь жидкой ванны крупных шлаковых включений сформировавшимися конвективными потоками. При этом такие включения в дальнейшем могут попадать в застойную зону в донной части ковша и служить источником загрязнения стали. Размеры таких шлаковых включений не превышают, как правило, 90–100 мкм, а их геометрическая форма близка к шаровидной или овальной.

Узкие пределы колебания химического состава стали от плавки к плавке, а также минимальное содержание в ней вредных примесей и неметаллических включений способствуют обеспечению высокого качества непрерывнолитого металла.

Наличие в стали неметаллических включений обусловлено протеканием химических реакций при вводе в металл раскисляющих и легирующих добавок, уменьшением температуры расплава, а следовательно, и растворимости примесных элементов, а также возможностью попадания в металлопроводку частиц огнеупоров в результате их износа, конечного печного шлака и шлака промежуточного ковша при развитии различных гидродинамических процессов.

Одним из основных источников шлаковых включений является конечный печной шлак, который может попадать в металлопроводку вследствие возникновения эффекта воронкообразования при переливе последних порций металла в промежуточный ковш.

Вихревые воронки в технологических емкостях возникают при определенном остаточном уровне налива металла в них. Поэтому для предотвращения их образования и развития целесообразно заканчивать разливку при уровне на-

лива, превышающем некоторое критическое значение. Однако при этом увеличиваются потери металла с ковшовым остатком и значительно снижается выход годного.

Для минимизации остатка металла в сталеразливочном ковше на практике часто используется операция визуальной отсечки шлака, которая заключается в закрытии шиберного затвора при появлении шлака в районе защитной трубы. Количество попадающего в промежуточный ковш шлака во многом зависит от эффективности действий разливщика и может увеличиваться при большей жидкоподвижности шлакового расплава. Таким образом, после завершения разливки плавки из сталеразливочного ковша в районе погружения защитной трубы образуется концентрированное пятно высокоосновного печного шлака, химический состав которого значительно отличается от шлака, присаживаемого в промежуточный ковш для обеспечения изолирующих и рафинирующих функций.

Высота налива металла, при которой образуется вихревая воронка, в значительной степени зависит от интенсивности потоков, существующих в сталеразливочном ковше до начала разливки.

Рассматривая технологическую схему производства непрерывнолитой стали, необходимо отметить, что практически все технологические переливы, а также перемешивание расплава инертным газом способствуют возникновению различных потоков в объеме жидкого металла, обладающих определенным уровнем кинетической энергии. Не менее значимыми при этом являются различные физико-химические процессы, происходящие в жидкой ванне ковша, также способствующие возникновению конвективных потоков различной интенсивности.

Физическое моделирование процесса воронкообразования при истечении расплава из технологических емкостей позволило установить зависимости высоты образования воронки в сталеразливочном ковше от длительности выдержки металла после внепечной обработки, а также от массового расхода стали на заключительном этапе разливки.

Полученные результаты были подтверждены в производственных условиях. Установлено, что при меньшей длительности цикла разливки плавки и особенно выдержки металла после внепечной обработки, а также при более высокой температуре стали количество печного шлака, попадающего в промежуточный ковш, увеличивается вследствие более раннего возникновения вихревых потоков и образования воронок на заключительном этапе перелива.

Следует отметить, что короткие циклы разливки обусловлены сокращением цикла внепечной подготовки плавки на УКП. При этом приме-

няются более интенсивные процессы нагрева и перемешивания расплава инертным газом, значительно сокращаются интервалы времени между окончанием подготовки плавки на У КП и началом разливки на МНЛЗ. Иногда в производственных условиях вынужденно сокращается время “мягкого режима” продувки аргоном в конце подготовки плавки на У КП. Все указанные факторы приводят к более сильным инерционным последствиям динамического состояния объема металла перед разливкой и существенно влияют на выход годной непрерывнолитой заготовки. Это обусловлено в первую очередь остатком стали в сталеразливочном ковше.

Для уменьшения остаточного количества металла в сталеразливочном ковше, при котором образуются вихревые воронки, были разработаны и внедрены специальные технологические мероприятия, предусматривающие:

- изменение конструкции футеровки днища сталеразливочного ковша [7, 8], что обеспечивает уменьшение массы остающегося в нем металла и площади контакта его со шлаком при достаточном для предотвращения воронкообразования уровне столба расплава в районе дозирующих устройств;

- максимальный расход металла для наполнения промежуточного ковша, например при остатке в 300-т сталеразливочном ковше на уровне 4–5 т расплава;

- дискретный перелив последних порций стали (1–2 т) с использованием дросселирования струи шиберным затвором для подавления развития вихревых потоков и уменьшения уровня остаточного металла, при котором образуется вихревая воронка.

В последнее десятилетие все большую долю в сортаменте производства современных металлургических предприятий занимают низкоуглеродистые безкремнистые стали, раскисленные алюминием, изделия из которых получают путем глубокой вытяжки при холодной обработке давлением. Наибольшее применение такие стали находят в автомобилестроении.

Одним из основных условий получения высоких механических характеристик этих сталей является минимальное содержание кремния (на уровне следов), поскольку кремний повышает предел текучести и предел прочности, но вместе с тем снижает относительное удлинение стали, коррозионную стойкость и способность стали к цинкованию. Особенно плохо кремний может влиять на свариваемость стали, поскольку существенно снижает температуру солидуса при неравновесной кристаллизации. Кроме того, кремний является вредной технологической присадкой для высокопрочных высокоотпускаемых сталей.

Снижение содержания кремния в металле существенно влияет на характер макроструктуры заготовки и дисперсность дендритной структуры, значительно уменьшая расстояние между осями дендритов второго порядка и ширину межосных участков. При содержании кремния до 0,03 % металл характеризуется практически полным отсутствием зоны столбчатых кристаллов, что обусловлено подавлением развития транскристаллизации.

В течение всего времени пребывания металла в сталеразливочном ковше, особенно в ходе ковшовой обработки, наблюдается прирост содержания кремния. Основными источниками кремния в малокремнистых автолистовых сталях могут быть раскисляющие, легирующие и шлакообразующие добавки, конечный печной шлак, а также огнеупоры рабочего слоя сталеразливочного и промежуточного ковшей.

Проведенные авторами работ [9, 10] исследования позволили, например, установить механизм обескремнивания низкоуглеродистой малокремнистой раскисленной алюминием стали путем подачи оксида магния в область горения электрических дуг при ее обработке под восстановительным шлаком в У КП в результате протекания реакции силикотермического восстановления магния, влияние окисленности металла и шлака на процесс восстановления кремния при десульфурации, а также определить долю кремния, восстанавливаемого из кремнезема шлака.

На основании полученных результатов была разработана методика автоматизированного расчета изменения содержания кремния в стали, количества присаживаемого в ковш оксида магния и длительности дугового нагрева после его присадки для организации эффективной технологии производства малокремнистых автолистовых сталей.

Исключение из технологии внепечной обработки малокремнистых автолистовых сталей необходимости применения принудительного вторичного окисления кремния привело к снижению расхода алюминия на 2 кг/т стали на плавках, в которых содержание кремния по ходу обработки на У КП превышает регламентируемые пределы.

В качестве основных выводов по представленным результатам можно отметить следующее:

- внепечная подготовка металла к непрерывной разливке оказывает решающее влияние на технико-экономические и качественные показатели производства металлопродукции;

- пульсирующий способ продувки стали инертным газом имеет существенные преимущества по сравнению с традиционной технологией и обеспечивает эффективную доводку стали;

– число и схема расположения продувочных узлов, в том числе и для сталеразливочных ковшей с величиной отношения H/D в пределах 1,30–1,40, оказывают значительное влияние на процессы гомогенизации, вторичного окисления, загрязненность стали неметаллическими включениями, а также стойкость футеровки;

– предложенные изменения в конструкции днища сталеразливочного ковша, подходы к длительности цикла разливки, а также техноло-

гии перелива последних порций металла в промежуточный ковш обеспечивают повышение выхода годного и качество металла;

– разработанные рекомендации к изменению технологии внепечной подготовки автолистовых сталей на УКП обеспечивают получение требуемого содержания примесей в узких пределах химического состава и снижение расхода дорогостоящих раскисляющих добавок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Смирнов А.Н., Зборщик А.М. Внепечное рафинирование чугуна и стали: учебное пособие. — Донецк: ДонНТУ, 2012. — 186 с.
2. Еронько С.П., Смирнов А.Н., Салмаш И.Н. и др. Оптимизация режимов продувки жидкого металла в сталеразливочных ковшах // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2004. № 8. С. 123–126.
3. Ткаченко С.В., Фистик С.А., Куберский С.В. Моделирование пульсирующего режима продувки расплава в сталеразливочном ковше // *IV Междунар. научно-практич. конф. молодых ученых и студентов “Металлургия XXI столетия глазами молодых”*: сб. докладов. — Донецк: ДонНТУ, 2018. С. 48–51.
4. Смирнов А.Н., Ошовская Е.В., Салмаш И.Н. и др. Некоторые вопросы оценки интенсивности перемешивания при продувке металла в ковше инертным газом. Сообщение 1 // *Процессы литья*. 2008. № 4. С. 41–48.
5. Смирнов А.Н., Ошовская Е.В., Салмаш И.Н. и др. Некоторые вопросы оценки интенсивности перемешивания при продувке металла в ковше инертным газом. Сообщение 2 // *Процессы литья*. 2008. № 5. С. 30–35.
6. Смирнов А.Н., Ошовская Е.В., Сафонов В.М., Писмарев К.Е. Некоторые вопросы оценки интенсивности перемешивания при продувке металла в ковше инертным газом. Сообщение 3 // *Процессы литья*. 2009. № 5. С. 11–19.
7. Пат. 81840 Україна, МПК В 22 D 41/02. Сталерозливний ківш / О.М. Смірнов, Є.М. Максаєв, А.В. Головчанський, С.В. Куберський, М.Б. Левіт, І.М. Салмаш // Заявл. 04.02.2013; опубл. 10.07.2013. Бюл. № 13.
8. Усовершенствование конструкции футеровки днища сталеразливочного ковша для повышения качества и выхода годной непрерывнолитой стали / С.В. Куберский, Е.Н. Максаев, С.В. Семирягин, А.В. Головчанский; под ред. проф., д.т.н. А.Н. Смирнова // *Современные огнеупоры: ресурсосбережение и применение в металлургических технологиях*: сб. научн. тр. — Донецк: Ноулидж, 2013. С. 99–104.
9. Кузнецов Д.Ю., Куберский С.В., Ямполь А.И. Разработка технологии получения заданного содержания кремния в непрерывнолитой стали для автолиста // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2010. № 7. С. 203, 204.
10. Кузнецов Д.Ю., Куберский С.В., Ямполь А.И. Разработка технологии внепечной обработки автолистовых сталей с удалением кремния: сб. науч. трудов ДонГТУ. — Алчевск: ДонГТУ, 2011. № 33. С. 208–214.

MODERN PROBLEMS AND SOLUTIONS IN THE AREA OF STEEL PREPARATION TO CONTINUOUS CASTING

A. N. SMIRNOV¹, HD (Tech), Professor, Leading Research Associate, stalevoz@i.ua;

S. V. KUBERSKY², PhD (Tech), Professor, Pro-rector on scientific work;

E. N. SMIRNOV³, HD (Tech), Professor, Dpt “Metallurgy and Metal Science”

(¹ Physics and Technology Institute of Metals and Alloys NAS of Ukraine, Ukraine, Kiev;

² Donbass State Technical University, Ukraine, Alchevsk;

³ Sary Oskol Technology Institute after A.A. Ugarov (branch) of National Research Technological University “MISiS”, Russia, Sary Oskol)

Abstract. The problem of melt homogeneity in ladle provision are particularly important at usage of continuous casting technology, which requires accurate (and standard from a heat to heat) metal temperature and chemical composition control. The important role of ladle treatment of continuously casted steel for metal products obtaining having high level of physical and chemical properties.

Technological solutions proposed, enabling to improve considerably the technical and economic indices of argon blow-down process of iron-carbon melt in steel ladle. Application of the new method of argon supply, as well as determined optimal parameters of blow facilities location enables for decrease steel secondary oxidation intensity in the process of gas injection, lining working layer wear, and also the metal pollution by nonmetallic inclusions, that means a positive influence on its quality and ladle refractory durability.

Alteration of the steel ladle bottom design, approach to the casting cycle duration as well as technologies of metal last portions pouring into tundish increase metal yield and quality.

The elaborated recommendations for automobile steels ladle preparation technology alteration at ladle-furnace facility provide obtaining the required impurities content in low limits and decreasing of expensive deoxidizing additions consumption.

Key words: steel continuous casting; steel ladle; steel ladle treatment; metal treatment by vacuum; melt blow-down by inert

gases; metal heating by electric arc.

For citation: Smirnov A.N., Kubersky S.V., Smirnov E.N. Modern problems and solutions in the area of steel preparation to continuous casting. *Chernaya metallurgiya. Byulleten nauchno-tehnicheskoy i ekonomicheskoy informacii* = *Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information*, 2018, no. 11, pp. 42–50. (In Russ.).

Doi: 10.32339/0135-5910-2018-11-42-50

REFERENCES

1. Smirnov A.N., Zborshchik A.M. *Vnepechnoe rafinirovanie chuguna i stali* [Ladle refining of hot metal and steel: a textbook]. Donetsk: DonNTU, 2012. 186 p. (In Russ.).
2. Eron'ko S.P., Smirnov A.N., Salmash I.N., Kukui D.P., Tsuprun A.Yu. Optimization of liquid metal blowdown regimes in steel ladles. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'*, 2004, no. 8, pp. 123–126. (In Russ.).
3. Tkachenko S.V., Fistik S.A., Kuberskii S.V. *Modelirovanie pul'siruyushchego rezhima produvki rasplava v stalerazlivochnom kovshe* [Simulation of melt blowdown pulsating regime in steel ladle]. *IV Mezhdunar. nauchno-praktich. konf. molodykh uchenykh i studentov materialy "Metallurgiya XXI stoletiya glazami molodykh": sb. dokladov* [IV Intern. scientific and practical conf. young scientists and students materials "Metallurgy of the XXI century through the eyes of young people": collection of reports]. Donetsk: DonNTU, 2018, pp. 48–51. (In Russ.).
4. Smirnov A.N., Oshovskaya E.V., Salmash I.N., Safonov V.M., Pismarev K.E. Some items of stirring intensity estimation at metal blowdown in a ladle by an inert gas. Report 1. *Protsessy lit'ya*, 2008, no. 4, pp. 41–48. (In Russ.).
5. Smirnov A.N., Oshovskaya E.V., Salmash I.N., Safonov V.M., Pismarev K.E. Some items of stirring intensity estimation at metal blowdown in a ladle by an inert gas. Report 2. *Protsessy lit'ya*, 2008, no. 5, pp. 30–35. (In Russ.).
6. Smirnov A.N., Oshovskaya E.V., Salmash I.N., Safonov V.M., Pismarev K.E. Some items of stirring intensity estimation at metal blowdown in a ladle by an inert gas. Report 3. *Protsessy lit'ya*, 2009, no. 5, pp. 11–19. (In Russ.).
7. Smirnov O.M., Maksaev E.M., Golovchanskii A.V., Kuberskii S.V., Levit M.B., Salmash I.M. *Stalerazlivochnyi kovsh* [Steel ladle]. Patent Ukraine no. 81840. IPC B 22 D 41/02. *Byulleten' izobretenii*, 2013, no. 13.
8. Kuberskii S.V., Maksaev E.N., Semiryagin S.V., Golovchanskii A.V. *Usovershenstvovanie konstruktii futerovki dnishcha stalerazlivochnogo kovsha dlya povysheniya kachestva i vykhoda godnoi nepreryvnolitoi stali* [Improving of ladle bottom refractory design for quality and yield increasing of CC steel]. *Sovremennye ogneupory: resursosberezhenie i primeneniye v metallurgicheskikh tekhnologiyakh: sb. nauchn. tr.* [Modern refractories: resources saving and application in metallurgical technologies: collection of scientific papers]. Smirnov A.N. ed. Donetsk: Noulidzh, 2013, pp. 99–104. (In Russ.).
9. Kuznetsov D.Yu., Kuberskii S.V., Yampo' A.I. Development of technology of obtaining required silicon content in CC steel for automobile sheet. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'*, 2010, no. 7, pp. 203, 204. (In Russ.).
10. Kuznetsov D.Yu., Kuberskii S.V., Yampo' A.I. *Razrabotka tekhnologii vnepechnoi obrabotki avtolistovykh stalei s udaleniem kremniya: sb. nauch. trudov DonGTU* [Technology development of auto steels ladle treatment for silicon removal: collection of scientific papers DonSTU]. Alchevsk: DonGTU, 2011, no. 33., pp. 208–214. (In Russ.).