

УДК 669.013: 669.18.04:669.89

*к.т.н. Куберский С. В.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)*

## РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОВША МНЛЗ ДЛЯ УСЛОВИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ МИКРО-ЗАВОДОВ

*С использованием методов физического и математического моделирования проанализировано влияние конструкции промежуточного ковша МНЛЗ на образование циркуляционных потоков металла и рафинирование его от неметаллических включений. Предложена конструкция промежуточного ковша с электромагнитным перемешиванием расплава, а также возможность его нагрева, раскисления, легирования и рафинирования с использованием заглубленного в объем металла дугового разряда.*

**Ключевые слова:** непрерывная разливка, промежуточный ковш, циркуляционные потоки, застойные зоны, электромагнитное перемешивание, дуговое глубинное восстановление, нагрев, раскисление, легирование, неметаллические включения, рафинирование.

Промежуточный ковш является последней металлургической емкостью, через которую поток расплавленного металла перетекает в кристаллизатор до его затвердевания. В функционально-технологическом плане он выполняет важнейшую операцию совмещения дискретной схемы подачи металла сталеразливочными ковшами с его непрерывной разливкой на МНЛЗ. В процессе транспортировки металла через промежуточный ковш имеют место снижение его температуры, контакт с огнеупорами, покровным шлаком и атмосферой, что вызывает угар некоторого количества легирующих компонентов, а также загрязнение стали неметаллическими включениями, образующимися в результате протекания различных физико-химических процессов.

Поэтому в последнее время на современных машинах непрерывной разливки стали технологи стремятся выполнять часть операций по доводке стали и ее рафинированию в промежуточном ковше. Для этого используются различного рода металлоприемники, перегородки, пороги, электромагнитные, индукционные и дуговые устройства, приспособления для гомогенизации металла по температуре и химическому составу, а также ввода различных добавок, позволяющих как удалять вредные примеси, так и насыщать металл

полезными компонентами, позитивно влияющими на уровень его эксплуатационных и механических свойств.

В настоящее время конструкция промежуточного ковша, как правило, предполагает реализацию определенных локальных задач. Однако, на наш взгляд, технологические и конструктивные решения этого важного узла МНЛЗ по созданию дополнительных возможностей для организации разливки стали с высоким выходом годной заготовки, снижения расхода огнеупоров и расходуемых материалов, а также обеспечения высокого качества заготовки далеко не исчерпаны. Поэтому актуальным является проведение глубоких фундаментальных и прикладных исследований по целому ряду важных и не нашедших на сегодняшний день ответа вопросов, к которым можно отнести:

– создание мультифункционального промежуточного ковша, объединяющего в себе технологические и конструктивные решения по использованию электрического тока и магнитных полей, для реализации в нем основных операций по внепечной обработке расплава, а именно: гомогенизации, нагреву, рафинированию, раскислению-легированию и др.;

– оценку эффективности и возможности реализации в промежуточном ковше дуго-

вого нагрева наряду с плазменным и индукционным;

– расширение возможностей по эффективному управлению процессами нагрева и направленного движения потоков расплава в промежуточном ковше за счет использования раздельных источников питания;

– разработку технических решений, позволяющих осуществлять в промежуточном ковше дораскисление стали и ее микролегирование, что особенно актуально при использовании элементов с высоким сродством к кислороду и азоту, более поздний ввод которых способствует повышению степени их усвоения.

Основная цель представленной работы заключалась в разработке конструкции многофункционального промежуточного ковша, позволяющего реализовать часть технологических операций внепечной обработки, свойственных традиционным агрегатам ковш-печь (АКП).

Особенно актуальным является использование такого промежуточного ковша в условиях микро-заводов, эксплуатирующих технологические агрегаты небольшой вместимости, для которых реализация традиционных высокоэффективных решений по внепечной обработке и, в частности, обработке на АКП не всегда представляется возможной в силу сложности организации процесса нагрева, больших потерь тепла и высоких удельных затрат на огнеупоры. Кроме того, такой промежуточный ковш может быть достаточно эффективен при разливке качественных и сложнолегированных марок сталей на заготовки малых сечений, производимых, как правило, сравнительно небольшими партиями, что затрудняет их доводку в сталеразливочных ковшах малой емкости.

Как правило, в условиях металлургических микро-заводов имеет место разливка одиночными плавками или серийная с небольшим количеством ковшей, разлитых плавка на плавку. Кроме того, для таких предприятий не всегда актуален подход, предусматривающий повышение произво-

дительности технологических агрегатов с целью снижения удельных затрат на единицу металлопродукции, что является неотъемлемым атрибутом повышения конкурентоспособности для интегрированных производств. Поэтому традиционное повышение скорости непрерывного литья для высокопроизводительных МНЛЗ в условиях микро-заводов не является актуальным, а следовательно, необходим поиск новых решений по оптимизации технологической схемы производства металлопродукции. При разливке с небольшими скоростями изменяется характер формирования заготовки и создаются более благоприятные условия для обеспечения высокого ее качества.

Микро-заводы, ориентированные на мелкооптовых, как правило, региональных потребителей и выпускающие в небольших объемах эксклюзивную с точки зрения марок и типоразмеров продукцию, могут занимать монопольное положение в секторах сталеплавильного производства, малопривлекательных для крупных металлургических комбинатов. Говоря о специфике использования качественных легированных сталей машиностроительными предприятиями, можно отметить, что их месячное потребление в виде заготовок различных марок сталей составляет, как правило, 2–5 т (по каждой марке). Собственно производство таких объемов стали нецелесообразно привязывать к крупным сталеплавильным агрегатам. Более целесообразным представляется создание технологической системы на базе плавильных агрегатов (дуговая сталеплавильная или индукционная печь) массой плавки 3–10 т.

Известно [1], что значительному сокращению издержек способствует приближение размеров непрерывнолитых заготовок к размерам готовой продукции с обеспечением минимально необходимой величины кратности обжатия. В этом случае получить круглую заготовку диаметром до 100 мм или квадратную со стороной менее этого показателя в цехах, эксплуатирующих плавильные агрегаты садкой более

100 т, практически невозможно, а затраты на производство, например, катанки из квадрата 150 мм и 80 мм будут существенно отличаться. В то же время отливать на МНЛЗ (МПНЛЗ) заготовки сечением 70–80 мм из ковшей 3–10 т вполне реально.

В этих условиях промежуточный ковш должен обеспечивать решение следующих основных технологических задач:

- гомогенизацию металла по химическому составу и температуре;
- удаление неметаллических включений;
- дополнительный нагрев металла;
- легирование металла (особенно компонентами, имеющими высокое сродство к кислороду и азоту) и рафинирование его от вредных примесей;
- снижение количества шлакометаллического остатка, обусловленного эффектом воронкообразования на заключительном этапе истечения расплава из технологической емкости.

Немаловажным фактором является вместимость промежуточного ковша, которая может быть значительно больше сталеразливочного ковша для обеспечения серийной разливки или получения крупных заготовок. Особенно это актуально для предприятий, где лимитирующим звеном технологии по производительности является не выплавка стали, а разливка, и таким образом обеспечивается прием большего количества металла из более производительных плавильных агрегатов.

Кроме того, как было отмечено выше, значительное влияние на качество металла, его гомогенизацию, стойкость футеровки, количество шлакометаллического остатка и др. параметры оказывает наличие в промежуточном ковше различных конструктивных элементов.

В настоящее время наиболее часто в промежуточных ковшах используют металлоприемники, значительно снижающие кинетическую энергию струи, истекающей из сталеразливочного ковша, и придающие ей определенное направление движения, а также перегородки, позволяющие создавать

потоки, способствующие рафинированию металла от неметаллических включений.

Поэтому на первом этапе исследований с использованием физического моделирования был изучен характер течения и циркуляции жидкости в промежуточных ковшах различной конструкции.

Анализ скоростей конвективных потоков в одноручьевом промежуточном ковше МНЛЗ малой производительности, полученных на гидравлической модели без перегородок и расчетных скоростей всплывания примесных образований, показывает, что среднее время перемещения неметаллических включений от поступающей струи металла до торцевой стенки составляет 50–90 с. С глубины 400–450 мм (зоны максимальных скоростей) включения размером 150 мкм всплывают за 40–200 с в ламинарном потоке и за 20–30 с в турбулентном, включения размером 500 мкм — за 5–15 с в обоих режимах движения гидравлического потока. Для включений размером 100 мкм минимальное время всплытия с этой глубины превышает 100 с (в турбулентном потоке).

Определенное повышение эффективности всплытия неметаллических включений может быть достигнуто при использовании специального порога, расположенного в зоне между стаканом-дозатором и падением струи из сталеразливочного ковша. При этом в зоне, прилегающей к перегородке, скорость движения металла достигает 0,2 м/с. Потоки в этой зоне сильно турбулизованы, так как перегородка изменяет направление движения потока, т. е. является турбулизатором. В области, локализованной над стаканом-дозатором, максимальная скорость потоков достигает 0,15 м/с. Скорость у зеркала металла — не более 0,015 м/с, т. е. активного перемешивания металла со шлаком, по-видимому, здесь не наблюдается. В области между задней стенкой ковша и защитной трубой зарождаются два вихря. Нижний вихрь, обусловленный влиянием стенки ковша на истекающий в стакан металл, имеет максимальную скорость

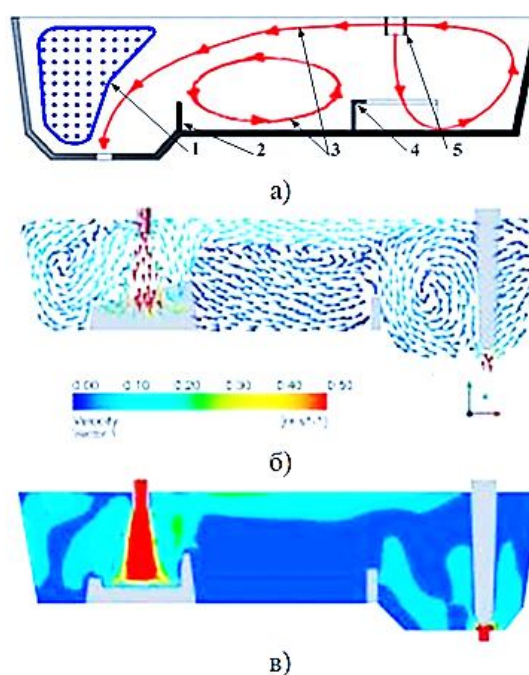
0,07 м/с. Верхний вихрь, скорость которого достигает 0,2 м/с, вызывает затягивание шлака в расплав металла.

Установлено, что изменение уровня металла в промежуточном ковше существенно влияет на вихревую структуру, особенно в верхней части жидкой ванны. С понижением уровня расплава (например, при замене сталеразливочного ковша) область перегородки становится ближе к зеркалу металла и больше турбулизирует поверхность, что может привести к более интенсивному затягиванию частиц шлака в расплав. Поэтому для промежуточных ковшей одноручьевых МНЛЗ малой производительности использование специальных перегородок или порогов представляется технически достаточно сложным проектом. Более того, падение уровня металла в промежуточном ковше более чем на 300–350 мм делает использование таких перегородок и порогов весьма проблематичным без внесения дополнительных усовершенствований в его конструкцию.

На втором этапе исследований в результате физического и математического моделирования была определена оптимальная конструкция металлоприемника типа «turbostop», а также условия расположения его и порога в промежуточном ковше. Установлено, что максимальный рафинирующий эффект достигается при применении металлоприемника с различными по высоте поперечными стенками, установленного меньшей стенкой к задней стенке промежуточного ковша (рис. 1), что обеспечивает рациональную для всплытия неметаллических включений траекторию движения циркуляционных потоков. При установке порога на расстоянии примерно 1/3 от расстояния между осью стакана-дозатора и осью падающей из сталеразливочного ковша струи со стороны стакана-дозатора вертикальный циркуляционный поток, формирующийся в области промежуточного ковша со стороны стакана-дозатора, деформируется и уменьшается в объеме. При этом в средней части промежуточного ковша кон-

вективные потоки, идущие от металлоприемника, распространяются вдоль поверхности раздела металл – шлак, что способствует удалению неметаллических включений.

При такой конструкции промежуточного ковша и расположении в нем дополнительных технологических элементов эффективность удаления неметаллических включений из жидкой ванны возрастает в результате увеличения резидентного времени пребывания металла в промежуточном ковше, а также его направленного движения вдоль поверхности шлак–металл, что создает благоприятные условия для ассимиляции неметаллических включений покровным шлаком.



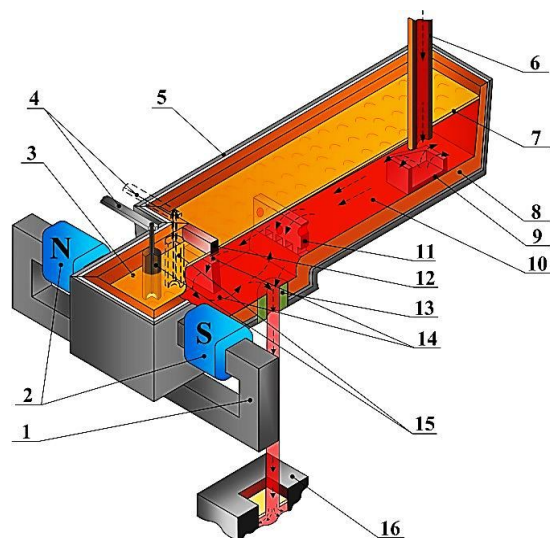
1 – застойная зона; 2 – порог; 3 – циркуляционные потоки металла; 4 – металлоприемник; 5 – защитная труба

Рисунок 1 Направление циркуляционных потоков (а), векторная (б) и контурная (в) картины результирующей скорости движения расплава в плоскости симметрии промежуточного ковша

Тем не менее даже при такой конструкции промежуточного ковша возможно образование застойных зон, в которых про-

цессы гомогенизации и рафинирования протекают достаточно медленно.

На основании результатов физического и математического моделирования был предложен представленный на рисунке 2 промежуточный ковш, в котором под действием электромагнитной силы, возникающей в результате взаимодействия скрещенных электрического и магнитного полей [2], обеспечивается возможность произвольного регулирования потоков металла по скорости и направлению для его гомогенизации и удаления неметаллических включений. Кроме того, предложенная конструкция промежуточного ковша позволяет осуществлять в нем подогрев металла, а также раскисление-легирование и рафинирование его от вредных примесей за счет восстановления необходимых для этих процессов элементов в глубине расплава в условиях низкотемпературной плазмы дугового разряда [3, 4].



- 1 – электромагнит; 2 – полюсы электромагнита;  
 3 – дополнительная камера; 4 – электрододержатели;  
 5 – кожух; 6 – защитная труба; 7 – шлак;  
 8 – футеровка; 9 – металлоприемник; 10 – потоки металла; 11 – фильтрационная перегородка;  
 12 – керамическая перегородка; 13 – стакан-дозатор;  
 14 – переливные каналы; 15 – дуговые блоки;  
 16 – кристаллизатор

Рисунок 2 Схема двухкамерного промежуточного ковша с электромагнитным перемешиванием и электродуговым раскислением-легированием металла

Особенностью такого промежуточного ковша является наличие отъемной дополнительной камеры 3, неферромагнитный кожух которой присоединяется к ферромагнитному кожуху промежуточного ковша 5 и помещается между полюсами 2 электромагнита 1.

Место расположения дополнительной камеры может быть произвольным и выбирается исходя из геометрической формы существующего промежуточного ковша (В, Т или W-образная), технических условий конкретного предприятия и необходимости реализации тех или иных технологических задач. Дополнительная камера снабжена токоподводами на обмотки электромагнита и расплав. Рабочее пространство промежуточного ковша и дополнительной камеры разделены керамической перегородкой 12, образующей верхний и нижний переливные каналы 14 для циркуляции металла.

Токоподводы на электромагнит 1 и расплав выполнены с возможностью регулирования по отдельности тока, поступающего на обмотки 2 и на металл дополнительной камеры через электрические дуги с помощью электродной системы 4.

При подаче тока в обмотки 2 электромагнита 1 и на электродную систему 4 в металле дополнительной камеры возникает магнитное поле с индукцией  $B$  и перпендикулярное ему электрическое поле тока электродной системы, поступающего через дуги, образуемые в торцевой части дуговых блоков 15. Взаимодействие этих полей формирует «моторную» силу  $g_e$ , которая алгебраически складывается с ускорением силы тяжести  $g$ .

Металл в дополнительной камере «утяжеляется» или «облегчается» в зависимости от полярности подключения тока. Под действием электромагнитного давления металл выжимается через нижний канал в рабочее пространство промежуточного ковша, а через верхний канал переливается обратно в рабочее пространство дополнительной камеры 3. При изменении полярности подключения

движение происходит в обратном направлении. Скорость потока стали, выжимаемого из камеры 3 через нижний канал, может достигать до 1,5 м/с и регулируется в широких пределах изменением электрических параметров на электромагните и дуге. Создаваемые циркуляционные потоки позволяют прокачивать металл, находящийся в промежуточном ковше, через дополнительную камеру, в которой на поверхности металла может быть наведен рафинировочный шлак для удаления вредных примесей и неметаллических включений. Уровень металла в дополнительной камере расположен несколько выше переливного канала, что препятствует захвату шлака и транспортированию его в промежуточный ковш.

Тепло, выделяющееся при вводе тока в металл дополнительной камеры 3 с помощью электрической дуги, создает условия для подогрева стали при практически отсутствии ее науглероживания электродной системой, входящей в состав дуговых блоков 15. При использовании дугового разряда в условиях электромагнитного перемешивания имеется возможность нагревать металл со скоростью 1–1,5 °/мин, что значительно превышает тепловые потери, вызванные естественным остыванием стали в промежуточном ковше (~0,5 °/мин). Поэтому температуру металла, поступающего в кристаллизаторы, можно поддерживать постоянной и регулировать с большой точностью, изменяя значение силы тока на электрических дугах. Увеличить КПД электродугового нагрева на 20–30 % возможно за счет углубления дуги в жидкий расплав. При этом эффективность предложенного способа регулирования температуры металла будет значительно выше.

Регулируемыми по скорости и направлению потоками тепло переносится по всему объему металла в промежуточном ковше, выравнивая температуру стали, поступающей в кристаллизаторы. Нагрев металла можно осуществлять с использованием представленной на рисунке 2 двух-

электродной системы, либо системы, предусматривающей наличие верхнего электрода и подового, встроенного в подину дополнительной камеры по аналогии с конструкцией электродной системы печей постоянного тока.

Организация с использованием электромагнитного воздействия на расплав потоков металла в дополнительной камере и промежуточном ковше над стаканом-дозатором, перпендикулярных к направлению истечения стали из сталеразливочного ковша, позволяет решить комплекс важных проблем, возникающих в ходе непрерывной разливки:

- уменьшить вероятность образования застойных зон (рис. 1, поз. 1);

- уменьшить скорость нисходящих потоков, образующихся в результате турбулизации расплава при истечении из сталеразливочного ковша;

- увеличить степень гомогенизации металла и его рафинирования от неметаллических включений за счет захвата их дополнительными циркуляционными потоками и транспортирования к поверхности раздела металл — шлак. Кроме того, условия всплытия включений улучшаются в результате утяжеления расплава и увеличения его кажущейся плотности под действием скрещенных электрического и магнитного полей;

- уменьшить высоту образования вихревой воронки над стаканом-дозатором при истечении последних порций металла из промежуточного ковша.

Возможность регулирования по отдельности тока, поступающего на обмотки электромагнита и на электродную систему, позволяет изменять в широких пределах соотношение между скоростями потоков металла и мощностью его подогрева дугами для выполнения различных технологических операций:

- усреднения стали в промежуточном ковше по химическому составу и температуре;

- насыщения расплава полезными элементами для корректировки его химиче-

ского состава и рафинирования от вредных примесей;

- устранения «застойных» зон в ванне промежуточного ковша;

- применения рафинирующей обработки стали шлаками для освобождения ее от эндогенных и экзогенных неметаллических включений.

Исполнение корпуса дополнительной камеры отъемным от корпуса промежуточного ковша обеспечивает удобство проведения ремонтных работ и возможность размещения одной или большего количества дополнительных «активных» камер на различных участках промежуточного ковша. Кроме того, изменяя уровень расположения нижнего переливного канала дополнительной камеры, можно организовывать горизонтальные потоки металла на различных горизонтах промежуточного ковша для предотвращения попадания в кристаллизатор витающих в них неметаллических включений, которые выносятся к поверхности контакта металла и покровного шлака. Для более эффективно рафинирования металла создаются горизонтальные потоки, скорость которых превышает усредненную скорость движения металла от бойной плиты (металлоприемника) до дозирующих устройств. Наличие циркуляционных потоков над каналом стакана-дозатора позволяет снизить высоту образования вихревой воронки при истечении последних порций металла из промежуточного ковша, что способствует уменьшению остающегося в нем шлакометаллического остатка и повышению выхода годной стали.

Турбулентность металла в дополнительной камере повышает интенсивность теплоотвода от электрических дуг, вследствие чего увеличивается КПД дугового нагрева.

В соответствии с проведенными исследованиями установлено, что для промышленных промежуточных ковшей в зависимости от вида выполняемых операций (перемешивание, удаление неметаллических включений, рафинирование, нагрев и т. д.) требуется обеспечивать в дополнительной камере

индукцию магнитного поля 0,3–0,6 Тл, а плотность тока  $1\div 2 \cdot 10^5$  А/м<sup>2</sup>.

Основным преимуществом электромагнитного перемешивания расплава по предложенной технологии является исключение образования застойных зон, наличие которых характерно при использовании традиционной технологии перемешивания расплава в промежуточном ковше инертным газом.

При непрерывной разливке стали объем промежуточного ковша выбирают таким образом, чтобы порция поступающего из сталеразливочного ковша металла находилась в нем 8–10 мин. Этого времени вполне достаточно для обеспечения всплывания неметаллических включений, образующихся в результате протекания физико-химических процессов раскисления металла, зарождения и выделения их, обусловленного снижением температуры и, соответственно, растворимости неметаллических включений в жидкой стали. Использование технологических приемов, обеспечивающих дополнительное перемешивание металла в промежуточном ковше (продувка инертным газом, электромагнитное перемешивание), позволяет сократить время, необходимое для рафинирования, а следовательно, способствует увеличению скорости разливки и уменьшению технологически необходимого времени пребывания металла в промежуточном ковше или его вместимости.

При индукции магнитного поля 0,4 Тл и плотности тока на жидкой ванне активной зоны  $5 \cdot 10^4$  А/м<sup>2</sup> через дополнительную камеру, имеющую размеры 0,6×0,7×0,2 м и размер переливного канала 0,05×0,2 м, можно прокачать металл, находящийся в течение 10 мин в промежуточном ковше вместимостью 60 т, характерной для слабых МНЛЗ, разливающих крупные слябы. Учитывая толщину футеровки дополнительной камеры, индукция магнитного поля и плотность тока на жидкой ванне в промышленных условиях должны быть больше в зависимости от вида используемых огнеупоров на 30–50 %.

Кратность циркуляции обеспечивается регулированием силы тока, подводимого отдельно на электродную систему и магнит. При этом возможно осуществлять одно-, двух- и многократную циркуляцию металла через дополнительную камеру.

Совместно с кондукционным электромагнитным перемешиванием металла можно осуществлять процесс дугового глубинного восстановления различных элементов из их оксидов для рафинирования и раскисления-легирования металла.

Необходимый подогрев металла и дуговое глубинное восстановление в него элементов, используемых для раскисления-легирования (марганец, кремний, хром, ванадий, титан и др.) и рафинирования (магний, кальций), осуществляется синхронизацией количества тепла, поступающего на единицу объема металла в дополнительной камере, и скорости восстановления полезных элементов. При увеличении кратности циркуляции удельные расходы тепла и восстанавливаемых элементов на единицу обрабатываемого металла пропорционально уменьшаются.

При обеспечении предложенных выше электромагнитных параметров электромагнитное «утяжеление» стали составит 2,8, что позволит увеличить кажущийся удельный вес ее примерно на 30 % ( $9 \cdot 10^4$  кг/м<sup>3</sup>). Это, в свою очередь, будет положительно сказываться на скорости всплывания неэлектропроводных неметаллических включений и препятствовать затягиванию шлака в расплав.

При обработке металла в промежуточных ковшах малой вместимости (0,5–6 т) для циркуляции всего металла через объем активной зоны дополнительной камеры, имеющей размеры 0,4×0,4×0,1 м и размер переливного канала 0,04×0,1 м, достаточно иметь индукцию магнитного поля 0,2–0,3 Тл и плотность тока на жидкой ванне активной зоны  $0,5 \div 1 \cdot 10^4$  А/м<sup>2</sup>.

В качестве основных выводов по результатам изложенных в работе исследований можно отметить следующее:

– большое значение при разливке стали в условиях металлургических микромодулей имеют функциональные возможности промежуточного ковша;

– в результате физического и математического моделирования определены характер и скорость циркуляционных потоков, образующихся при использовании в промежуточном ковше различных конструктивных элементов;

– предложена рациональная конструкция металлоприемника и место расположения перегородки, позволяющие организовать циркуляционные потоки, способствующие уменьшению объемов застойных зон и более эффективному удалению неметаллических включений;

– для разливочных агрегатов небольшой производительности предложен многофункциональный промежуточный ковш, предусматривающий возможность электромагнитной и электродуговой обработки металла, решающих основные задачи подготовки его к разливке;

– в предложенном промежуточном ковше совместно с кондукционным электромагнитным перемешиванием металла, позитивно влияющим на удаление неметаллических включений и уменьшение объемов застойных зон, можно осуществлять процесс дугового глубинного восстановления различных элементов из их оксидов для рафинирования и раскисления-легирования металла, а также нагрев его до необходимой температуры;

– проведенные исследования позволили получить параметры, необходимые для проектирования промышленных промежуточных ковшей.

В ходе дальнейших исследований будут определены эффективные режимы эксплуатации отдельных узлов предложенного промежуточного ковша и разработаны технологические рекомендации для использования его в производственных условиях действующих металлургических предприятий.



## Библиографический список

1. Смирнов, А. Н. *Непрерывная разливка стали: учебник [Текст]* / А. Н. Смирнов, С. В. Куберский, Е. В. Штепан. — Донецк : ДонНТУ, 2011. — 482 с.
2. Куберский, С. В. *Кондукционный электромагнитный перемешиватель для стальной ванны [Текст]* / С. В. Куберский, С. Б. Эссельбах // *Черные металлы*. — Август 2012. — С. 17–22.
3. Куберский, С. В. *Электродуговое извлечение полезных примесей металлургических отходов и вторичных материалов в железоуглеродистые расплавы [Текст]* / С. В. Куберский // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. — 2010. — № 7. — С. 168–169.
4. Низяев, К. Г. *Десульфурация чугуна и стали магнием, восстановленным в зоне погруженной в металл электрической дуги [Текст]* / К. Г. Низяев, Б. М. Бойченко // *Бюллетень НТЭИ. Черная металлургия*. — 2007. — № 11. — С. 34–39.

© Куберский С. В.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф., зав. каф. МЧМ ДонГТУ Новохатским А. М., зам. начальника ЦЛК ПАО «АМК» Тарасовым В. Н.*

*Статья поступила в редакцию 15.06.17.*

**к.т.н. Куберский С. В.** (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

#### **РОЗШИРЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ПРОМІЖНОГО КОВША МБЛЗ ДЛЯ УМОВ МЕТАЛУРГІЙНИХ МІКРО-ЗАВОДІВ**

*З використанням методів фізичного і математичного моделювання проаналізовано вплив конструкції проміжного ковша МБЛЗ на утворення циркуляційних потоків металу і рафінування його від неметалічних включень. Запропоновано конструкцію проміжного ковша з електромагнітним перемішуванням розплаву, а також можливістю його нагрівання, розкислення, легування та рафінування з використанням заглибленого в об'єм металу дугового розряду.*

**Ключові слова:** *безперервне розливання, проміжний ківш, циркуляційні потоки, застійні зони, електромагнітне перемішування, дугове глибинне відновлення, нагрівання, розкислення, легування, неметалічні включення, рафінування.*

**PhD Kuberskiy S. V.** (DonSTU, Alchevsk, LPR)

#### **EXTENSION OF POURING BOX FUNCTIONALITY IN CONTINUOUS CASTING MACHINE AT METALLURGICAL MICRO-PLANTS**

*Using method of physical and mathematical modelling there has been analyzed how a pouring box design of continuous casting machine influences the formation of circulating metal flows and its refining. There has been proposed the design of pouring box with electromagnetic stirring and possibility of heating, deoxidation, alloying and refining of melt using the electric arc immersed in metal volume.*

**Key words:** *continuous casting, pouring box, circulating flow, dead levels, electromagnetic stirring, arc deep reduction, heating, deoxidation, alloying, nonmetallic impurities, refining.*