



УДК 621.746.32

**М.-Э.Х. Исакаев, А.С. Тюфтяев, Д.И. Юсупов**  
Объединённый институт высоких температур РАН  
г. Москва, Россия  
E-mail: spt\_yusupov@mail.ru  
Дата поступления 05.03.2015

*В авторской редакции*

## ПЛАЗМЕННЫЙ ПОДОГРЕВ СТАЛИ И КОНСТРУКЦИИ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ КОВШЕЙ МНЛЗ ДЛЯ ЕГО РЕАЛИЗАЦИИ

### Аннотация

Описан зарубежный и отечественный опыт применения плазменного подогрева стали в проковше МНЛЗ для снижения перегрева стали над ликвидусом и стабилизации температуры, разливаемой стали, что положительно сказывается на качестве непрерывнолитой заготовки и повышает выход годного металла. Приведены особенности конструкций промежуточных ковшей с камерами для плазменного подогрева стали при непрерывной разливке, разработана конструкция двухручьевого проковша с камерами подогрева для первого отечественного опытно-промышленного опробования технологии.

Ключевые слова: проковш, конструкция, непрерывная разливка, камера подогрева, плазменный подогрев стали, качество сляба.

Многолетний зарубежный опыт применения плазменного подогрева стали в промежуточном ковше при непрерывной разливке [1, 2] и недавние опытно-промышленные испытания технологии на ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» [3] показали эффективность и надёжность данной технологии. Возможность оперативного тепловложения в разливаемый металл непосредственно перед попаданием его в кристаллизатор позволяет снизить температуру разливаемой стали и приблизить её к температуре ликвидуса для разливаемой марки стали с перегревом в пределах 5-10 °С, свести к минимуму колебания температуры стали при разливке, улучшить условия охлаждения металла в кристаллизаторе и зоне вторичного охлаждения, снизить уровень термомеханических напряжений в затвердевающей корочке. Кроме этого, уменьшается ширина зоны столбчатых кристаллов, увеличивается доля равноосных кристаллов в сечении сляба, снижается вероятность возникновения таких дефектов, как осевая ликвация и центральная пористость.

Технологию плазменного подогрева стали в проковше используют многие зарубежные фирмы: CORUS (Великобрита-

ния), DUNAMET ANVAL (Швеция), KAVASAKI, NIPPON STEEL NKK (Япония), POSKO (Ю. Корея), SOLLAC (Франция) и др. Тепловой КПД нагрева газа в генераторах плазмы (плазмотронах) в указанных технологиях варьируется в широких пределах: от 30% до 80%. Нагрев металла обеспечивается излучением плазмы и тепловым потоком от опорных пятен дуги на поверхности жидкой стали. Эффективность нагрева определяется многими факторами: направлением и скоростью потоков металла в промежуточном ковше, количеством шлака на поверхности металла, скоростью разливки, конфигурацией промежуточного ковша и его свода, длиной и силой тока дуги [1].

Специалистами ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», ОАО «ММК», ОИВТ РАН и ООО «АГНИ-К» впервые в России в ноябре 2011 года были успешно проведены опытно-промышленные испытания (рисунок 1) технологии и оборудования плазменного подогрева стали в проковше МНЛЗ №4 ККЦ ОАО «ММК» [4]. Последующие исследования металла слябов, разлитых с применением новой технологии показали, что снижение перегрева стали над ликвидусом при разливке

с 30 до 10 °С приводит к значительному росту показателей пластичности и снижению разброса значений показателей пластичности и прочности по сечению сляба [5, 6]. Кроме того, снижение перегрева при разливке уменьшает расход воды на охлаждение непрерывнолитой заготовки,

повышает срок службы футеровки промковша за счёт более благоприятных температурных условий и экономит электроэнергию и графитовые электроды в агрегате печь-ковш, а также позволяет повысить производительность разливки.



Рисунок 1. Испытания плазменного подогрева в промковше

В начале внедрения технологии непрерывной разливки стали промежуточный ковш имел функцию промежуточной ёмкости между сталковшом и кристаллизатором, необходимой для того, чтобы иметь возможность заменять опорожнённый сталковш на полный, не прерывая при этом разливку и сохраняя относительно постоянный напор металла, поступающего в кристаллизатор. Исполнение промковшей с учетом влияния на расплав негативных факторов позволяет рассматривать промковш как отдельный металлургический агрегат, предназначенный для дополнительного, внепечного рафинирования стали и другого воздействия, повышающего ее качество. Современные промковши МНЛЗ оснащены устройствами, снижающими загрязнение стали от вторичного окисления, взаимодействия со шлаком, эрозии огнеупоров и т.п. За счет организации рационального движения металла обеспечивается всплытие и отделение неметаллических включений, исключение

укороченных путей и застойных зон, а также использование дополнительных технологических приемов: применение крышек специальной конструкции и покровных флюсов, продувка нейтральным газом, регулирование температуры, осуществление микролегирования и раскисления стали [7, 8].

Для осуществления эффективного плазменного подогрева стали при разработке конструкции промковша необходимо учитывать, что металл должен не только нагреваться в камере подогрева, но и выпускаться из промежуточного ковша в кристаллизатор с минимальными отклонениями по температуре в течение всего времени разливки плавки. Известно, что переливные каналы активно влияют на тепло- и массообменные процессы в промежуточном ковше. При плазменном нагреве роль переливных каналов возрастает. Форма и вид переливных каналов обеспечивают равномерное распределение температуры металла в камере подогрева и

разливочном отсеке, а также повышение качества литой заготовки.

Известна конструкция промежуточного двухручьевого ковша [9] с двумя камерами для плазменного подогрева жидкого металла с крышками 43, в которой камеры для плазменного подогрева металла расположены между приемным 36 и разливочными 42 отсеками и разделены перегородками 37, 40 с переливными каналами

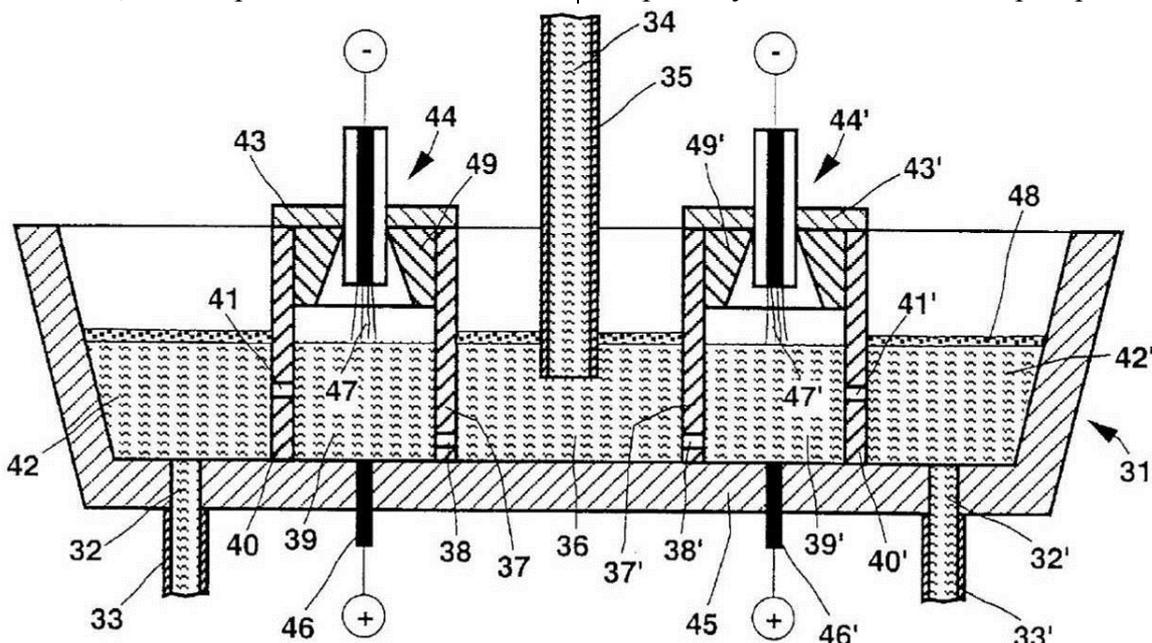


Рисунок 2. Конструкция промежуточного ковша с камерами подогрева

Недостатком этого ковша является малая турбулентность металла как в камере подогрева металла, так и в разливочных отсеках ковша при перемещении металла на пути от приемного отсека промежуточного ковша до разливочного стакана и кристаллизатора. Отмечается низкое качество непрерывнолитых заготовок из-за затягивания неметаллических включений в зону действия стопоров и последующему зарастанию погружного стакана.

Для проведения опытно-промышленного опробования технологии и установки плазменного подогрева стали (УППС) в промковше МНЛЗ № 4 ККЦ ОАО «ММК» был разработан и запатентован двухручьевого промковш с камерами для плазменного подогрева стали [10, 11, 12].

Разливка стали с применением плазменного подогрева осуществляется следующим образом (рисунок 3). С помощью механизмов перемещения плазмотроны 6

41, 38 (рисунок 2). Внутренние стены промежуточного ковша и перегородки сформированы из огнеупорного материала. Вставка 49 из огнеупорного материала, имеющая отверстие расширяющейся формы, дополняет крышку 43 и верхнюю часть внешней стены промежуточного ковша и перегородок камеры нагрева. Крышка крепится к огнеупорной части промежуточного ковша и перегородок.

опускают через отверстия 14 в крышках 7 до необходимого положения их торцов от зеркала металла 4. Оператор посредством компьютера производит запуск процесса нагрева. Подается аргон, включаются источники вспомогательных дуг. После замыкания рабочей дуги через расплав параметры процесса подогрева определяются в зависимости от температуры и скорости разливки стали. Вертикальное перемещение при работе плазмотронов осуществляется в соответствии с изменением уровня металла в промежуточном ковше. Металл 4, подаваемый из сталь-ковша через защитную трубу 3, попадает в приёмный отсек 2 промковша 1. Через цилиндрические отверстия 8 в скиммерных перегородках 16, расположенных под углом к горизонтали, расплав из приёмного отсека 2 поступает в камеры подогрева 5 в направлении столба дуги плазмотрона. Эффективному тепловложению в расплав от плазменного столба способствует перемешива-

ние металла в камере подогрева и его постоянное течение под анодным (катодным) пятном на зеркале расплава. Для этого в центре камеры подогрева 5 уставлен отбойник 11, который увеличивает вертикальную составляющую скорости течения расплава, полученную от его прохождения через цилиндрические отверстия 8. Сочетание отверстий 8, расположенных под углом к горизонтали, и отбойника 11 обеспечивает направление основного потока металла непосредственно к источнику тепла – столбу дуги генератора плазмы 6. После прохождения зоны нагрева металл поступает в разливочный отсек 15 через прямоугольное отверстие 9 в перегородке 17, от-

куда производится разливка в кристаллизатор МНЛЗ. Для полного опорожнения проковша при его замене предусмотрены отверстия 10 в отбойнике 11 и отверстие 12 в перегородке 17, через которые проходит незначительный расход металла при работе проковша в установившемся режиме. Через отверстие 18 в перегородке 17 сбрасывается избыток давления газа из камеры подогрева 19 в разливочный отсек 15. Замер температуры разливаемого металла производится с помощью системы непрерывного измерения температуры, термопара 13 которой погружается в расплав в разливочном отсеке.

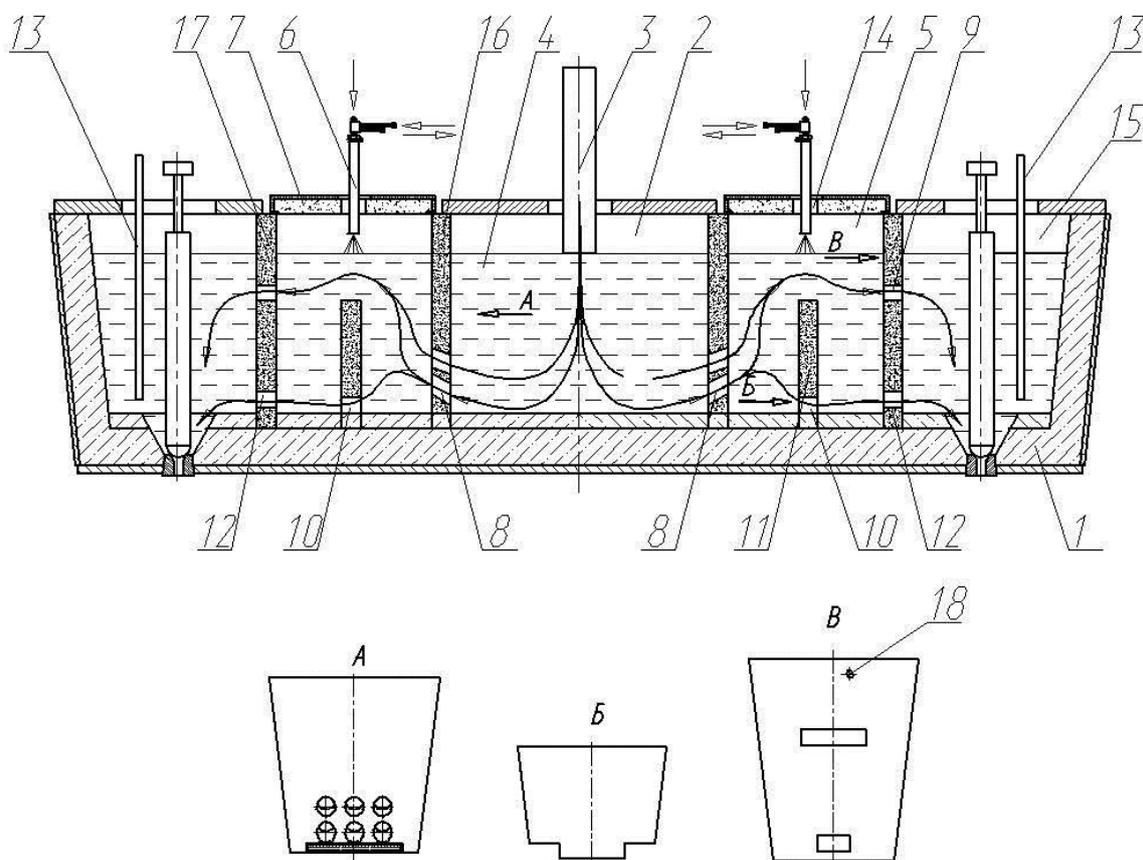


Рисунок 3. Схема течения стали в проковше с камерами подогрева

На рисунке 4 представлен экспериментальный проковш с камерами для плазменного подогрева стали при непрерывной разливке.

По результатам экспериментальных плавов с применением УППС скорректирована технология плазменного подогрева стали и стабилизации температуры металла в промежуточном ковше, проведены исследования металла слябов, показавшие,

что данная технология способствует повышению качества непрерывнолитой заготовки: уменьшается центральная химическая и структурная неоднородности заготовок, более равномерно распределяются неметаллические включения, уменьшается количество трещин, выравниваются механические свойства по сечению слитка, существенно повышается пластичность [5, 6].



Рисунок 4. Экспериментальный промковш с камерами для плазменного подогрева

Стоит отметить, что описанные выше конструкции промежуточных ковшей с камерами для плазменного подогрева стали предназначены для двухручьевого машины непрерывного литья заготовок. Для их совершенствования необходимо проводить исследования с применением методов математического моделирования течения металла в промковше, особенно, если задачей является разработка конструкции многоручьевого промковша с камерами подогрева.

Разработанная технология и полученные результаты применимы на металлургических предприятиях, особенно, при непрерывной разливке проблемных марок стали, например, перитектических сталей, склонных к образованию дефектов непрерывнолитой заготовки.

#### Библиографический список

1. Состояние и пути развития плазменного подогрева стали в промежуточном ковше МНЛЗ. Часть 1 / А.С. Тюфтяев, Г.А. Филиппов, Д.И. Юсупов и др. // Бюллетень научно-технической и экономической информации «Черная металлургия». – 2014. №4. – С. 42-47.
2. Пути развития плазменного подогрева стали в промежуточном ковше. Часть 2 / А.С. Тюфтяев, Г.А. Филиппов, Д.И. Юсупов и др. // Бюллетень научно-технической и экономической информации «Черная металлургия». – 2014. №5. – С. 50-55.
3. Применение плазменного подогрева металла в промежуточном ковше на примере технологии получения непрерывнолитых слябов на ОАО «ММК» /

- Ю.А. Пак, М.В. Глухих, Д.И. Юсупов и др. // Проблемы чёрной металлургии и материаловедения. – 2013. – №2. – С. 21-25.
4. Установка плазменного подогрева стали в промежуточном ковше / Э.Х. Исакаев, Г.А. Филиппов, Д.И. Юсупов и др. // Бюллетень научно-технической и экономической информации «Черная металлургия». – 2012. – №11. – С. 42-45.
5. Исследования макроструктуры и механических свойств стали, разлитой с применением плазменного подогрева в промежуточном ковше МНЛЗ / Э.Х. Исакаев, А.С. Тюфтяев, Г.А. Филиппов, Д.И. Юсупов // Металлург. – 2013. – №5. – С. 69-74.
6. Влияние перегрева при непрерывной разливке на структуру и свойства стали / Э.Х. Исакаев, А.С. Тюфтяев, Г.А. Филиппов, Д.И. Юсупов и др. // «Сталь». – 2014. №9. – С. 24-37.
7. Патент РФ № 2189292 Промежуточный ковш установки непрерывной разливки стали. Оpubл. 20.09.2002. Тахаутдинов Р.С., Корнеев В.М. и др.
8. Патент РФ № 2167030 Промежуточный ковш. Оpubл. 20.05.2001. Савченко В.И., Шталалов К.В. и др.
9. Патент США № 6110416(А), 10.03.2009.
10. Патент РФ № 2477197. Промежуточный ковш для разливки стали с камерами для плазменного подогрева жидкого металла при разливке. Оpubл. 10.03.2013. Галкин В.В., Исакаев М.-Э.Х., Пак Ю.Ю., Филиппов Г.А., Юсупов Д.И. и др.
11. Патент РФ № 2478021. Промковш МНЛЗ для плазменного подогрева металла. Оpubл. 27.03.2013. Пак Ю.А., Филиппов Г. А., Углов В. А., Глухих М. В., Исакаев М.-Э.Х., Тюфтяев А.С., Сарычев Б.А., Юречко Д.В., Юсупов Д. И. и др.
12. Патент РФ № 2490089. Двухручьевого промежуточный ковш установки непрерывной разливки стали. Оpubл. 20.08.2013. Исакаев М.-Э. Х., Тюфтяев А.С., Спектор Н.О., Филиппов Г.А., Юсупов Д.И.