

дуговой печи, работающей на полом (трубчатом) электроде, составляет $\eta_d = 0,64$, что на 13 % выше, чем при работе на сплошном электроде ($\eta_d = 0,58$). Это объясняется тем, что за счет более сильного заглубления дуги в металл и эффективного экранирования электрической дуги сверху электродом уменьшается интенсивность облучения футеровки стены, что позволяет организовать более направленный тепловой поток от электрической дуги на ванну металла и тем самым интенсифицировать тепловую работу ДСП. Это подтверждается расчетами величины среднего углового коэффициент излучения электрической дуги на металл в период жидкой ванны. Так для печи, работающей на полом (трубчатом) электроде $\varphi_{д-м} = 0,62$, а при работе на сплошном $\varphi_{д-м} = 0,55$. Необходимо отметить, что КИТ электрических дуг в ДСП, работающей на полых (трубчатых) электродах, в сравнении с работой на сплошных электродах будет больше на 13 % на протяжении всего времени плавки, так как после формирования колодцев, которое для сверхмощных ДСП в среднем длится 5–7 мин, дуги заглубляются в жидкометаллическую ванну. Все это говорит о том, что применение на ДСП полых (трубчатых) электродов позволяет увеличить на 13 % вводимую в ванну мощность и сократить удельный расход электроэнергии. Таким образом, применение полых (трубчатых) электродов в ДСП является экономически целесообразным, так как позволяет повысить технико-экономические показатели ее работы.

Выводы. Аналитическими исследованиями установлено, что при равных условиях проведения плавки

стали для ДСП одинаковой мощности и вместимости наибольший коэффициент использования тепла электрических дуг наблюдается на печах, работающих на полом (трубчатом) электроде за счет большего среднего углового коэффициента излучения электрических дуг на поверхность металла и организации более направленного теплового потока. Кроме того, за счет увеличения на 13 % вводимой мощности уменьшается длительность электроплавки и сокращается удельный расход электроэнергии, что свидетельствует об эффективности и перспективности применения полых электродов в ДСП.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Егоров А.Е., Никольский Л.Е., Огороков Н.В. // Электротермия. 1962. № 9. С. 27–31.
2. Огороков Н.В., Никольский Л.Е., Егоров А.В. // Электротермия, 1962. № 9. С. 13–18.
3. Макаров А.Н., Макаров Р.А. // Изв. вуз. Черная металлургия. 1998. № 2. С. 11–14.
4. Макаров А.Н. Теплообмен в электродуговых и факельных печах и топках паровых котлов. – Тверь: ТГТУ, 2003. – 348 с.
5. Макаров А.Н., Макаров Р.А. // Изв. вуз. Черная металлургия. 1999. № 6. С. 16–19.
6. Промышленные установки электродугового нагрева и их параметры. / Под. общ. ред. Л.Е. Никольского. – М.: Энергия, 1971. – 272 с.
7. Сазонов А.В., Кожухов А.А., Меркер Э.Э. // Черная металлургия. Бюл. ин-та «Черметинформация». 2007. № 11. С. 40–42.

© 2012 г. А.С. Ткачев, А.А. Кожухов, Э.Э. Меркер
Поступила 23 июля 2012 г.

УДК 669.412: 621.047

В.А. Ульянов, В.Н. Гуцин, С.А. Балан

Нижегородский государственный технический университет

ВЛИЯНИЕ ЕМКОСТИ МОДЕРНИЗИРОВАННЫХ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ КОВШЕЙ НА ОЧИЩЕНИЕ РАСПЛАВА ОТ ПРИМЕСНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

Конструкция и форма промежуточного ковша должны выполняться таким образом, чтобы уменьшить попадание в кристаллизатор неметаллических включений, иметь возможность быстро заменить ковш при неполадках, обеспечить удобное наблюдение за мениском металла в кристаллизаторе и осуществить выполнение различных технологических операций, например подачу защитных смесей на мениск, замену разливочных стаканов, контроль и поддержание уровня металла в кристаллизаторе [1, 2]. Конфигурация некоторых промежуточных ковшей, применяемых при разливке слабовых МНЛЗ, приведена на рис. 1.

Для уменьшения попадания в кристаллизатор неметаллических включений (НВ) и частиц шлака применяются ковши сложной конфигурации. Это обеспечивается за счет увеличения расстояния от места подвода металла до разливочного отверстия. С этой же целью в промежуточных ковшах устанавливают огнеупорные перегородки [3–5].

Промежуточный ковш современных МНЛЗ снабжен приспособлениями, позволяющими устранить влияние таких источников загрязнения, как вторичное окисление, эрозия огнеупоров, взаимодействие с ковшевым шлаком, обеспечить всплывание и отделение НВ за счет правильной организации движения металла,

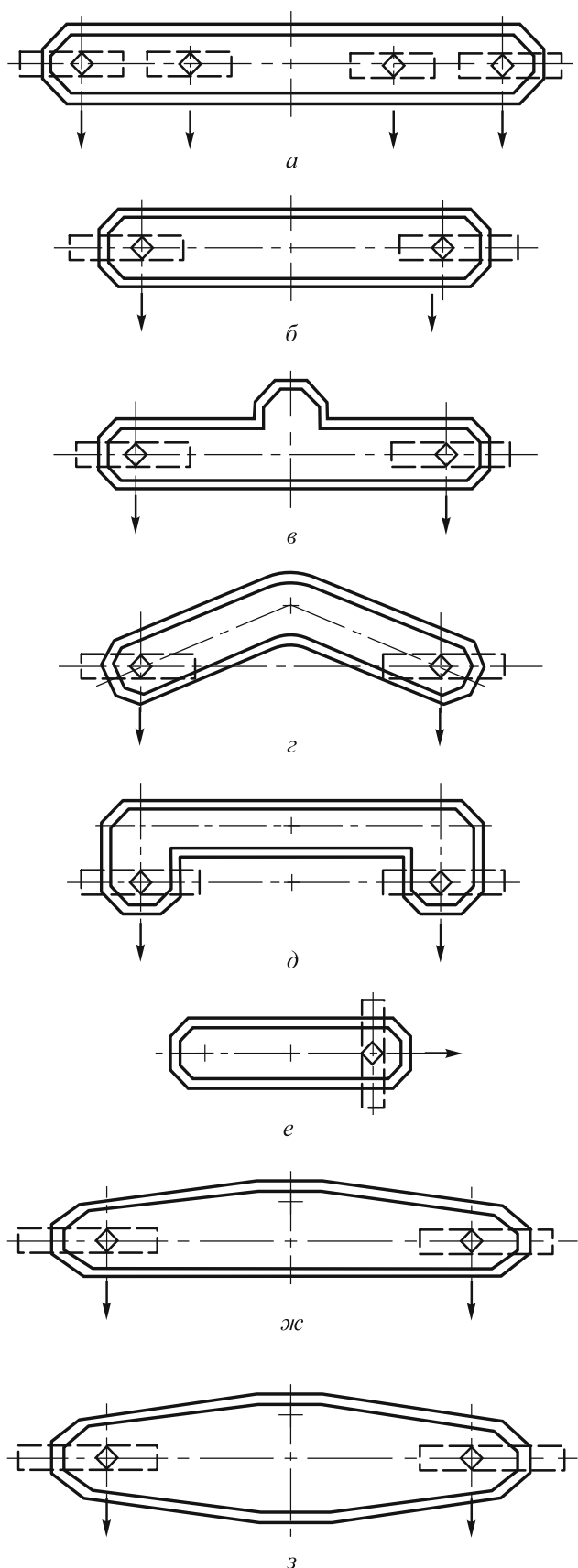


Рис. 1. Формы промежуточных двухручьевых ковшей с перегородками, применяемых для разливки слабовых заготовок:
a – прямоугольная четырехручьевая; *б* – прямоугольная двухручьевая; *в* – Т-образная; *г* – Л-образная; *д* – П-образная; *е* – прямоугольная одноручьевая; *ж* – трапециевидная; *з* – бочкообразная

исключающей появление застойных зон и укороченных путей, обеспечить использование дополнительных технологических приемов – продувки инертными газами, применение специальных крышек и покровных флюсов, регулирование температуры, проведение раскисления и микролегирования стали [6 – 8].

В последнее время особое внимание уделяют новому способу рафинирования металла через специальные отверстия в перегородках, устанавливаемых во внутренней полости промежуточного ковша. Между тем, как показывает практика, применение такого рода перегородок требует оптимизации размещения, формы, размеров, угла наклона перепускных отверстий. Кроме того, в зависимости от формы и емкости промежуточного ковша очень важным моментом, в значительной мере определяющим его рафинирующую способность, является месторасположение и форма самих полнопрофильных перегородок.

Исследования в этом направлении проводились с помощью специализированных методик гидравлического моделирования на прозрачных моделях с использованием разнородных порошкообразных материалов в качестве моделируемых примесных образований при дальнейшем промышленном опробовании полученных разработок [4, 5, 8]. Моделирование поведения включения в промежуточном ковше проводилось из расчета высокой стойкости футеровки последнего, т.е. минимизации экзогенного образования примесных образований в самой жидкой ванне за счет эрозийного воздействия на нее потоков расплава. Полученные положительные результаты прошли промышленную проверку.

Условия для повышения качества литья за счет оптимизации процессов, происходящих в промежуточных ковшах, включают следующие основные критерии:

- устранение внешних источников загрязнения металла;
- обеспечение условий для выделения и удаления НВ, что связано с увеличением времени отстоя металла, рациональной организацией потока металла, сведением к минимуму мертвых зон, организацией фильтрации металла и т.п.;
- разработка и введение ряда таких вспомогательных технологических операций, как усовершенствование подачи металла в ковш, снижающей и исключаящей поглощение и эмульсификацию шлака в разливочном отсеке, использование подогревающих устройств, введение в ковш добавок (легирующих, раскислительных и т.п.), продувка газами, контроль металла и шлака.

Проблема рафинирования металла от включений традиционно решалась путем рациональной организации процессов, связанных с образованием включений (раскисление, десульфурация) и процессов, обеспечивающих абсорбцию образующихся включений шлаком [1, 2].

В настоящее время комплексное использование методов флотации и фильтрации включений становится повсеместной практикой. Образовавшиеся или попавшие в металл каким-то иным способом НВ при этом сталкиваются друг с другом. Число этих столкновений зависит, прежде всего, от интенсивности искусственного или естественного перемешивания расплава. Неметаллические включения менее 1 мкм движутся по законам случайных блужданий (броуновское движение). При столкновении частиц НВ может происходить их полное слияние (коалесценция) или слипание в более крупный конгломерат (коагуляция). В промежуточных ковшах для лучшего очищения от них устанавливают пороги-стенки, перегородки.

В процессе проведения многочисленных исследований было установлено, что содержание НВ в литом металле значительно уменьшается при разливке стали через емкие и глубокие промежуточные ковши с установленными в них порогами-стенками, полнопрофильными стенками [3, 4].

Таким образом, разливка расплавов через промежуточный ковш без шлакоулавливающих устройств не может считаться удовлетворительным технологическим процессом. При прочих равных технологических режимах меньшая емкость ковша приводит к:

- снижению степени улавливания примесных образований, т. е. увеличению вероятности попадания различного рода примесных образований через разливочные стаканы в жидкую лунку непрерывнолитых заготовок;
- уменьшению перепада температур по длине жидкой лунки, т. е. сохранению достаточной величины перегрева;
- увеличению динамичности мениска и повышению вероятности в местах наибольшего проявления стоячих волн оголения (от шлакового покрова) мениска, что чревато вторичным газонасыщением расплава.

Проведенные исследования на 10 – 70-т промежуточных ковшах различной формы с применением разного рода шлакоулавливающих порогов (рис. 2, а) не показали большого преимущества в степени улавливания примесей. Исследования на 27 – 50-т промежуточных ковшах с применением полнопрофильных перегородок, отделяющих приемную часть ковша (отсек с защитной трубой) от разливочных частей ковша (разливочные отсеки) (рис. 2, б), дали более существенные результаты как по увеличению степени улавливания примесных образований, так и по возможности снижения температурных перепадов в расплаве по длине ковшей большой емкости.

Все приведенные на рис. 3 результаты модельных опытов при высоте налива металла в 27-т промежуточном ковше $h_m = 850 - 1100$ мм, размером щелей $h_{щ} = 50$ мм и расположении их на высоте от дна $h_p = 300$ мм, угле наклона горизонтальных ще-

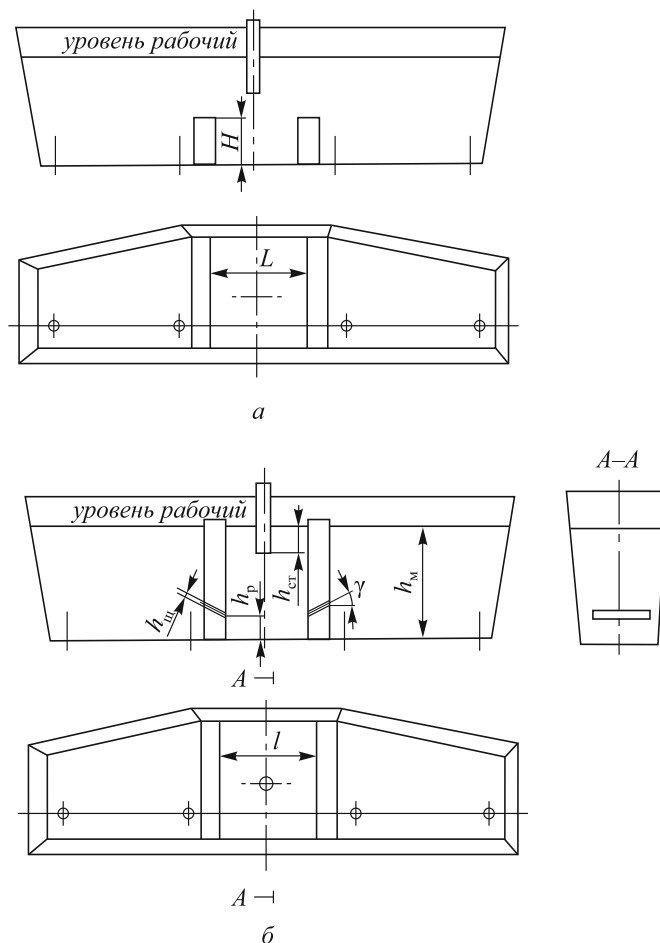


Рис. 2. Конструкции шлакоулавливающих систем трапециевидного промежуточного ковша:
а – с порогами; б – с полнопрофильными перегородками

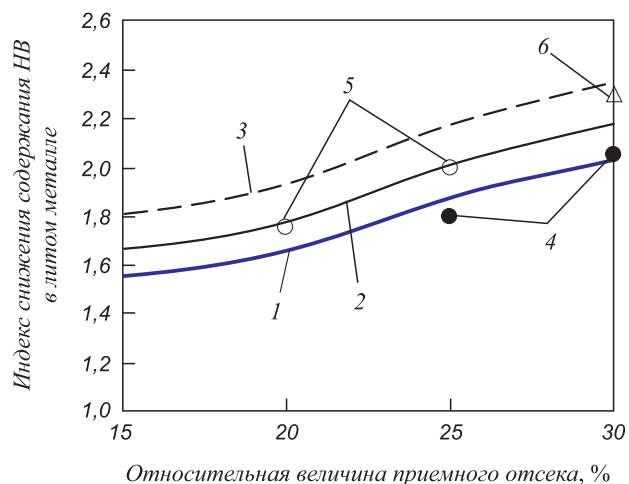


Рис. 3. Сводные сведения по использованию различных технических решений в случае применения полнопрофильных перегородок с горизонтальными щелями в промежуточных ковшах:

1 – 3 – данные моделирования; 4 – 6 – данные промышленных исследований; 1 – изменение объема приемного отсека при уровне расплава 850 мм; 2 – то же при уровне расплава 1100 мм; 3 – то же при уровне расплава 1100 мм и продувке инертным газом в разливочных отсеках; 4 – 6 – промышленные замеры (сталь 09Г2С) для приведенных выше вариантов (1, 2, 3), соответственно

лей $\alpha = 0 - 15^\circ$ и заглублении защитной трубы $h_{ст} = 100 - 200$ мм по улавливанию примесных образований получены для частиц размером более 100 мкм. Наиболее эффективно конструктивное решение с применением наклонных щелей в полнопрофильных перегородках получено при углах наклона $5 - 10^\circ$.

Как видно из рис. 3, увеличение объема приемного отсека (относительно общего объема) трапецевидного промежуточного ковша до 30 %, образованного полнопрофильными перегородками, дает наилучшие результаты по снижению неметаллических включений в литом металле. В зависимости от дополнительных мер по повышению уровня расплава в промежуточном ковше и применения продувки, снижение неметаллических включений в литом металле в реальности наблюдалось в пределах 25 – 40 %.

На рис. 3 за единицу принят индекс снижения неметаллических включений при разливке жидкого металла через обычные промежуточные ковши без перечисленных технических решений.

Как показывают исследования, в промышленных и лабораторных условиях небольшой объем приемного отсека (менее 15 % для 27-т промежуточного ковша) оказывает влияние не только на распространение гидротоков в разливочных отсеках, но и на эмульсификацию поступающих в них шлаковых включений, всплытие которых с больших глубин затруднено. Источником эмульсификации шлакового покрова в стесненном приемном отсеке являются, как это было выявлено в ходе модельных испытаний, конусообразные вихри на мениске. Интенсивность и размеры последних зависят от скорости вхождения струи расплава в жидкую лунку и стесненности приемного пространства. Уменьшению эмульсификации, а следовательно и повышению чистоты расплава от включений способствуют применение «турбостоп», вдувание аргона через защитную трубу и донная продувка инертным газом.

Как показали исследования, степень очистки расплава от включений в промежуточных ковшах с полнопрофильными перегородками и без них при уве-

личении времени пребывания и размеров включений повышается.

Однако с увеличением времени пребывания расплава в ковше возрастают и перепады температур по длине ковша, что неблагоприятно сказывается на качестве заготовок, отливаемых через сливы у торцов промежуточных ковшей и стабильности их разливки.

Наличие в полнопрофильных перегородках перепускных отверстий площадью, соответствующей стабильному расходу расплава, расположенных под углом к горизонту, позволяет решить две проблемы: создать более благоприятную для всплытия неметаллических включений гидродинамику жидкой ванны и ускорить циркуляцию потоков, что снижает перепады температур расплава в разливочных отсеках.

Таким образом, перспектива применения полнопрофильных перегородок в промежуточных ковшах МНЛЗ очевидна.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вишкарёв В.А. и др. Рафинирование стали в промежуточном ковше УНРС – М.: Информсталь, 1990. С. 18 – 48.
2. Кудрин В.А. Теория и технология производства стали – М.: Мир, 2003. – 528 с.
3. Куклев А.В. и др. // Металлург. 2004. № 8. С. 43 – 45.
4. Гуцин В.Н, Ульянов В.А. Методы исследования и разработка градиентных промышленных технологий управления тепломассообменными процессами при разливке и формировании непрерывнолитых и стационарных заготовок. – Н. Новгород: НГТУ, 2006. – 141 с.
5. Ульянов В.А. и др. Внепечная обработка и разливка стали – Н.Новгород: НГТУ, 2008. – 129 с.
6. Кудрин В.А. Обработки стали на установках непрерывной разливки стали //Итоги науки и техники. Серия: производство чугуна и стали. Т. 20. – М.: ВИНТИ, 1990. С. 61 – 116.
7. Марченко И.К. Полунепрерывное литье стали. – М.: Металлургия, 1986. – 226 с.
8. Скворцов А.А, Акименко А.Д, Ульянов В.А. Влияние внешних воздействий на процесс формирования слитков и заготовок – М.: Металлургия, 1991. – 216 с.

© 2012 г. В.А. Ульянов, В.Н. Гуцин, С.А. Балан
Поступила 23 мая 2012 г.

УДК 669.18:621.746.047.007

Ю.А. Самойлович

Научно-исследовательский институт металлургической теплотехники

ФОРМИРОВАНИЕ СЖИМАЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ГОЛОВКЕ РЕЛЬСОВ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ

Обеспечение безопасности движения поездов в значительной степени зависит от исправного содержания и стойкости железнодорожных рельсов. В настоящее время проблема повышения работоспособности желез-

нодорожных рельсов остается достаточно актуальной. Отказы рельсов, преждевременный выход которых связан с их недостаточным качеством, наносит существенный ущерб ОАО «Российские железные дороги».