

Д. Т. Н. К. Н. Вдовин¹, Василий В. Точилкин¹, В. И. Умнов²,
Д. Т. Н. Виктор В. Точилкин¹ (✉)

¹ ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова», г. Магнитогорск, Россия

² ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», г. Иркутск, Россия

УДК 621.746.047:669.054.2

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОГНЕУПОРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ СИСТЕМЫ СТАЛРАЗЛИВОЧНЫЙ КОВШ – ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ КОВШ МНЛЗ

Рассмотрено огнеупорное оборудование системы сталеразливочный ковш – промежуточный ковш машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Разработаны конструкции элементов устройства для защиты струи металла при разливке стали. Рассмотрены конструкции устройства с применением вставок из пластичных огнеупоров, предотвращающие прохождение воздуха в струю металла при разливке и обеспечивающие рациональные параметры подачи аргона в кольцевую выемку огнеупорной трубы. В результате обеспечивается стабильность процесса разливки и повышение качества разливаемого металла.

Ключевые слова: машина непрерывного литья заготовок, сталеразливочный ковш, промежуточный ковш, поток металла, огнеупорная конструкция, аргон.

Система сталеразливочный ковш – промежуточный ковш является важнейшим технологическим элементом МНЛЗ и при разливке стали в значительной степени определяет стабильность процесса, оказывая большое влияние на повышение качества разливаемого металла [1].

На металлургических предприятиях в последние годы проводят реконструкцию действующих установок или сооружают новые, используя более совершенные разработки в области технологии непрерывной разливки. Неотъемлемой частью реконструкции является разработка и совершенствование устройств и систем для защиты стали от вторичного окисления на участке сталеразливочный ковш – промежуточный ковш (рис. 1) [2–4].

Манипуляторы и устройства для защиты металла от вторичного окисления различаются по принципу действия и видам приводов и служат в конечном итоге одной цели — защите струи металла от окисления [3, 4]. В качестве самой защиты при разливке металла используют жаростойкие неметаллические трубы [2, 5]. В устройствах и манипуляторах используют различные принципы подвода-отвода защитных труб к отверстию в шиберном или ином затворе на сталеразливочном ковше и применяют ряд манипуляторов.

Защита струи, выходящей из сталеразливочного ковша, — действенное решение благодаря простоте, эффективности и гибкости этой подсисте-

мы, которую можно применить на любой МНЛЗ, начиная от слябовой до сортовой для непрерывнолитых заготовок небольших размеров.

Подсистема защитной трубы сталеразливочного ковша (рис. 1, а) представляет собой керамическую трубу, имеющую коническое соединение с удлиненным стаканом шиберного затвора сталеразливочного ковша.

Защитную трубу выполняют из огнеупорных материалов, позволяющих использовать ее повторно после очистки канала кислородом [2]. В

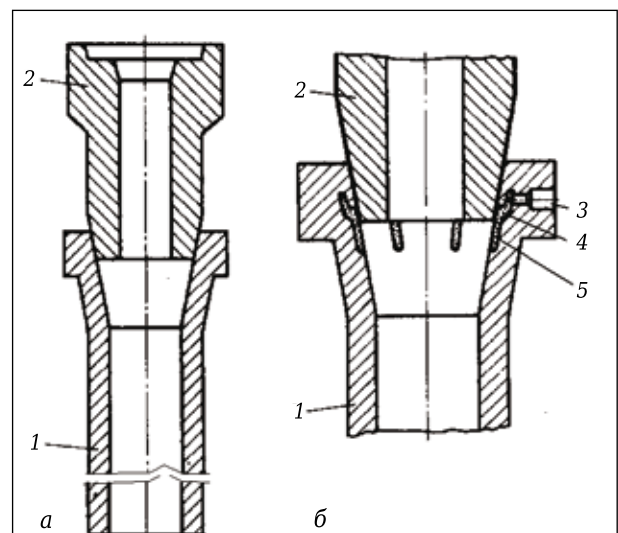


Рис. 1. Установка защитной трубы сталеразливочного ковша: а — без подачи аргона; б — с подачей аргона; 1 — защитная труба; 2 — разливочный стакан; 3 — отверстие для подачи аргона; 4 — уплотнительное устройство; 5 — пазы для подачи аргона



Виктор В. Точилкин
E-mail: toch56@mail.ru

процессе разливки стали защитная труба поддерживается захватом манипулятора, закрепленным на тележке промежуточного ковша (ПК) или на металлоконструкциях разливочного участка. К недостаткам таких устройств защиты относится низкое качество разливаемого металла вследствие попадания в него газов, в частности азота [2]. Между внутренней поверхностью огнеупорной трубы и поверхностью стакана шибера затвора в процессе разливки возникают зазоры. В результате происходит интенсивное насыщение разливаемого металла газами, в частности азотом, что приводит к снижению качества непрерывно литой заготовки.

Подсистема защитной трубы сталеразливочного ковша позволяет реализовать следующие преимущества [2]:

- улучшить качество стали в результате значительного сокращения вторичного окисления металла между сталеразливочным и промежуточным ковшами и подвода металла под уровень в промежуточном ковше, что уменьшает турбулентность металла и облегчает отделение неметаллических включений;

- уменьшить зарастание погружаемого стакана ПК частицами оксида алюминия, что способствует увеличению времени разливки через ковш до его замены;

- уменьшить образование настывей в промежуточном ковше и повысить стойкость его футеровки;

- повысить безопасность работы, так как не происходит разбрызгивание металла;

- многократно использовать защитные трубы.

Дальнейшее усовершенствование защитной трубы, которое позволяет получать более чистую

сталь, заключается в создании систем с применением аргона [4–6]. Труба (рис. 1, б) спроектирована с таким расчетом, что аргон вводится в кольцевую полость на ее верхнем фланце и по ряду пазов поступает в струю металла [5, 7]. При этом внутри защитной трубы создают положительное давление, что устраняет опасность подсоса воздуха между стаканом шибера затвора и защитной трубой, а также способствует отделению неметаллических включений в промежуточном ковше. Кроме того, сокращается опасность подсоса воздуха между плитами скользящего затвора сталеразливочного ковша.

На рис. 2 изображен общий вид разработанного устройства для защиты струи металла при разливке на МНЛЗ (поперечный разрез) [4, 7]. Устройство содержит огнеупорный стакан 1, с подводящим каналом 2 и наружной конусообразной поверхностью 3, огнеупорную трубу 4. Верхняя часть отверстия трубы 4 выполнена по форме контактирующего с ней участка конусообразной поверхности 3 стакана 1 и содержит кольцеобразную выемку 5 и отверстие 6 для подвода аргона, прокладку 7, расположенную по контактирующему участку стакана 1 и трубы 4. Верхняя часть прокладки 7 имеет верхнюю торцевую поверхность, расположенную по торцевой поверхности огнеупорной трубы 4. Нижняя торцевая поверхность прокладки 7 расположена над кольцеобразной выемкой огнеупорной трубы 4. Верхняя торцевая поверхность прокладки 7 выполнена с наружным диаметром D не менее 1,2 диаметра d отверстия огнеупорной трубы 4 в верхней своей части. Прокладка 7 выполнена из пластичного огнеупорного материала. Такое конструктивное выполнение прокладки 7 обеспечивает надежную фиксацию трубы 4 относительно стакана 1, исключение прохождения воздуха в струю металла и рациональные параметры подачи аргона в кольцевую выемку 5 трубы 4. При этом надежная фиксация трубы 4 исключает возможность ее смещения относительно стакана 1 в течение всего цикла разливки стали из сталеразливочного ковша, что также приводит к повышению качества разливаемого металла.

В процессе установки огнеупорной трубы 4 относительно конусообразной поверхности 3 стакана 1 возможно смещение нижней торцевой поверхности прокладки 7, что приводит к частичному или полному перекрытию кольцеобразной выемки 5 и отверстия 6 для подачи аргона. В результате происходит подсос воздуха в струю металла при разливке. Это приводит к интенсивному насыщению разливаемого металла газами, в частности азотом, и к снижению качества непрерывно-литой заготовки. Выполнение верхней торцевой поверхности прокладки 7 диаметром D не менее 1,2 диаметра d отверстия огнеупорной трубы 4 в верхней своей части позволяет избежать указанных недостатков. При использовании данного устройства на МНЛЗ предварительно на трубу 4 в верхней

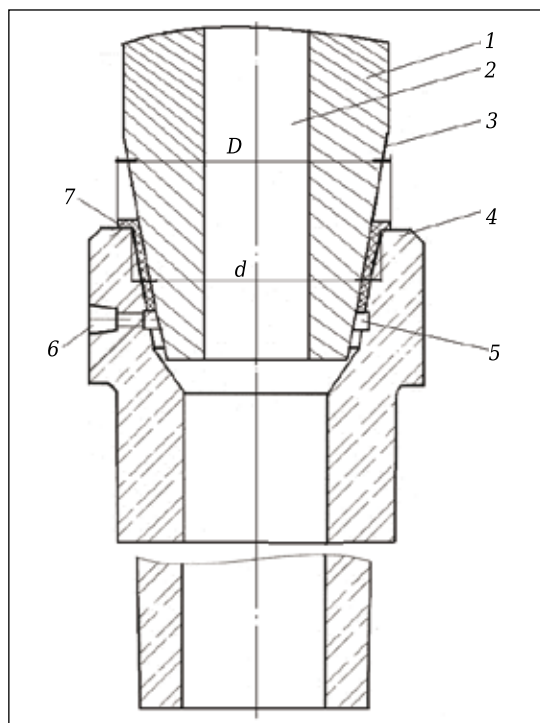


Рис. 2. Устройство для защиты струи металла при разливке на МНЛЗ

части устанавливают прокладку 7. Используя манипулятор, трубу 4 фиксируют на стакане 1. При этом форма выполнения сопрягаемых поверхностей и соответствие геометрических размеров конструктивных элементов позволяют обеспечить надежную фиксацию трубы 4 в стакане 1. Затем из отверстия 6 подают аргон, а через подводящий канал 2 стакана 1 подают жидкий металл [5].

На рис. 3 представлено модернизированное устройство. Отличительная особенность его — выполнение нижней торцевой поверхности 4 прокладки 2 в виде наклонной конусной поверхности, прилегающей к стакану 1. Рациональное расположение нижней торцевой поверхности 4 прокладки 2 над кольцевой выемкой позволяет обеспечить подачу аргона по всей поверхности трубы в зоне кольцевой выемки и оптимальную отсечку воздуха [8]. Кроме того, надежная фиксация трубы 3 в стакане 1, а также осевая центровка их полостей обеспечивают в процессе разливки формирование струй металла технологически заданной конфигурации без нарушения сплошности, при этом исключаются боковые смещения струй металла в трубе 3 и разрыв ее огнеупорного материала. Это также позволяет повысить качество разливаемого металла за счет исключения попадания в него частиц огнеупорных материалов [9].

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПОДАЧИ АРГОНА

При разработке системы подачи аргона [8, 10] для подсистемы защитной трубы при подаче стали в ПК следует обратить внимание на три аспекта, связанных с подачей газа:

- чистоту подаваемого газа аргона;
- стабильность давления газа при продувке;
- минимальный расход газа при получении положительных результатов продувки.

Давление p в системе подачи аргона определяем по зависимости

$$p = p_a + \rho_m g h_m + \rho_{sh} g h_{sh} + \Delta p_l + \Delta p_c + \Delta p_3,$$

где p_a — атмосферное давление; ρ_m , ρ_{sh} — плотности металла и шлака соответственно; h_m , h_{sh} — высота уровней в сталеразливочном ковше металла и шлака соответственно; Δp_l — потери давления по длине трубопровода; Δp_c — потери давления на выходе из сопла; Δp_3 — запас давления; g — ускорение свободного падения.

Задача, связанная с определением течения по трубопроводам аргона и истечения его через сопло в расплавленный металл, имеет некоторые сложности, связанные со сжимаемостью газа и, следовательно, меняющимся давлением и удельным объемом газа по длине трубопровода. Поэтому в газодинамике [11, 12] предпочитают иметь дело при расчетах не с давлением, а с массовым расходом газа. При установившемся процессе в соответствии с уравнением неразрывности потока газа [13, 14] массовый расход

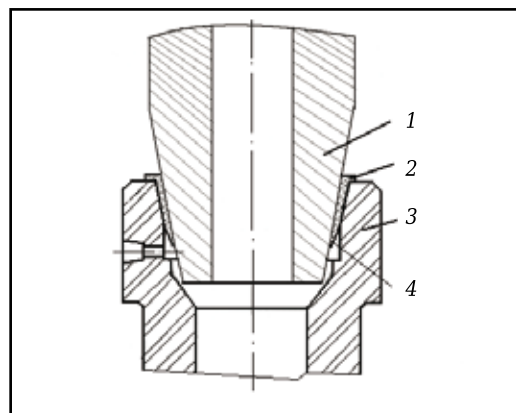


Рис. 3. Модернизированное устройство для защиты струи металла при разливке на МНЛЗ: 1 — стакан; 2 — прокладка; 3 — защитная труба; 4 — нижняя торцевая поверхность прокладки

аргона G плотностью ρ , протекающего через отверстие площадью f со скоростью u , определяется соотношением:

$$G = f \rho u = \text{const.}$$

Уравнения движения идеального газа при политропном режиме имеет вид [12, 14]:

$$\frac{u_1^2}{2} + \frac{n}{n+1} \cdot \frac{p_1}{\rho_1} + g z_1 = \frac{u_2^2}{2} + \frac{n}{n+1} \cdot \frac{p_2}{\rho_2} + g z_2,$$

где u_1 , u_2 ; p_1 , p_2 и ρ_1 , ρ_2 — скорость, давление и плотность газа в сечениях газового потока на входе в трубопровод и на выходе из трубопровода в отверстие подсистемы защитной трубы соответственно; n — показатель политропы; z_1 и z_2 — нивелированные высоты рассматриваемых точек газового потока.

Пренебрегая разностью высот, получим

$$\frac{u_1^2}{2} + \frac{n}{n+1} \cdot \frac{p_1}{\rho_1} = \frac{u_2^2}{2} + \frac{n}{n+1} \cdot \frac{p_2}{\rho_2}.$$

Принимая $u_1 = 0$ (т. е. пренебрегаем скоростью газа в расходном резервуаре) и учитывая для идеального газа соотношение $\rho_2 = \rho_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{1}{n}}$, получим скорость газового потока на входе в отверстие подсистемы защитной трубы

$$u_2 = \sqrt{\frac{n}{n-1} \cdot \frac{p_1}{\rho_1} \left(1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right)}.$$

Массовый расход газа

$$G = f \rho_2 \sqrt{\frac{2n}{n-1} \cdot \frac{p_1}{\rho_1} \left(1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right)},$$

или, учитывая вышеприведенное соотношение для идеального газа, объемный расход газа

$$Q = f \sqrt{\frac{2n}{n-1} \cdot p_1 \rho_1 \left(\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{2}{n}} - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n+1}{n}} \right)}.$$

Для разрабатываемой подсистемы защитной трубы с подачей аргона определены параметры

продувки. Подаваемое давление в аргонопроводе 0,25–0,3 МПа, расход газа при этом должен составлять 0,25–0,4 л/мин.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показано, что конструкция модернизированного устройства для защиты струи металла при разливке на машине непрерывного литья заготовок исключает прохождение воздуха в струю металла при разливке и обеспечивает рациональные параметры подачи аргона в кольцевую выемку огнеупорной трубы, что позволяет повысить качество разливаемого металла.

Библиографический список

1. **Вдовин, К. Н.** Непрерывная разливка стали : монография / К. Н. Вдовин, В. В. Точилкин, И. М. Ячиков. — Магнитогорск : Изд-во Магнитогор. гос. техн. ун-та им. Г. И. Носова, 2012. — 540 с.
2. **Маки, Ж.** Последние достижения в области разливочных огнеупорных систем / Ж. Маки, С. Задковски, Р. Брук // Достижения в области непрерывной разливки стали : тр. междунар. конгресса / пер. с англ. Д. П. Евтева, И. Н. Колыбанова. — М. : Металлургия, 1987. — С. 77–90.
3. **Точилкин, В. В.** Электромеханические манипуляторы для транспортирования и ориентации устройств, обеспечивающих защиту струи стали при разливке / В. В. Точилкин, К. Н. Вдовин // Изв. вузов. Электромеханика. — 2004. — № 2. — С. 111, 112.
4. **Вдовин, К. Н.** Новые вставки из пластичных огнеупоров для защиты струи металла при разливке на МНЛЗ / К. Н. Вдовин, В. В. Точилкин, О. А. Марочкин [и др.] // Новые огнеупоры. — 2014. — № 7. — С. 41–43.
5. **Вдовин, К. Н.** New plastic refractory linings for protecting a metal stream during pouring into a CBCM / K. N. Vdovin, V. V. Tochilkin, O. A. Marochkin [et al.] // Refractories and Industrial Ceramics. — 2014. — Vol. 55, № 4. — P. 318–320.
6. **Вдовин, К. Н.** Применение пластичных огнеупоров усовершенствованной конструкции для защиты струи металла при разливке на сортовых МНЛЗ / К. Н. Вдовин, В. В. Точилкин, О. А. Марочкин // Новые огнеупоры. — 2014. — № 1. — С. 3–5.
7. **Вдовин, К. Н.** Анализ работы системы сталеразливочный ковш – промежуточный ковш сортовой МНЛЗ и совершенствование огнеупорных конструкций приемной камеры промежуточного ковша / К. Н. Вдовин, Василий В. Точилкин, Виктор В. Точилкин // Новые огнеупоры. — 2016. — № 5. — С. 3–5.
8. **Вдовин, К. Н.** Analysis of operation of a steel-pouring ladle-tundish system for a section CBCM and improved refractory structures for the tundish receiving chamber / K. N. Vdovin, Vasilii V. Tochilkin, Viktor V. Tochilkin // Refractories and Industrial Ceramics. — 2016. — Т. 57, № 3. — P. 221–223.
9. **Пат. на полезную модель РФ 102552, МПК В 22 D 41/08.** Устройство для защиты струи металла при разливке на машине непрерывного литья заготовок / Бигеев В. А., Вдовин К. Н., Точилкин В. В. и др. ; заявлено 07.10.10 ; опубл. 30.10.11, Бюл. № 7.
10. **Вдовин, К. Н.** Разработка систем подачи аргона для промежуточного ковша сортовой МНЛЗ / К. Н. Вдовин, С. Н. Ушаков, О. А. Марочкин, В. В. Точилкин // Технологии металлов. — 2013. — № 6. — С. 38–40.

Разработаны конструкции устройств защиты струи металла для сортовой МНЛЗ. Совместная подача аргона как в стык устройства для защиты струи металла, так и в элементы промежуточного ковша (пороги, перегородки) позволяет решить задачу комплексной подачи аргона в элементы промежуточного ковша [1, 8]. Все это позволяет обеспечить стабильность процесса разливки и повышение качества разливаемого металла.

Разработаны аналитические зависимости по определению параметров подачи аргона для эффективной работы системы сталеразливочный ковш – промежуточный ковш, оснащенной защитной трубой.

9. **Вдовин, К. Н.** Технологии управления потоками стали и разработка огнеупорных конструкций для промежуточного ковша четырехручьевого МНЛЗ / К. Н. Вдовин, Виктор В. Точилкин, Василий В. Точилкин // Новые огнеупоры. — 2016. — № 2. — С. 3–5.

Vdovin, K. N. Technologies for controlling flows of steel and the development of refractory structures for the tundish of a four-strand continuous caster / K. N. Vdovin, Viktor V. Tochilkin, Vasilii V. Tochilkin // Refractories and Industrial Ceramics. — 2016. — Vol. 57, № 1. — P. 6–8.

10. **Вдовин, К. Н.** Разработка элементов приемной камеры промежуточного ковша слябовой МНЛЗ / К. Н. Вдовин, Е. А. Мельничук, А. В. Неведов, В. В. Точилкин // Изв. вузов. Черная металлургия. — 2014. — № 3. — С. 23–27.

Vdovin, K. N. Intake chamber of the tundish in a continuous slab-casting machine / K. N. Vdovin, E. A. Melnichuk, A. V. Nefedov, V. V. Tochilkin // Steel in translation. — 2014. — Vol. 44, № 3. — P. 186–189.

11. **Вдовин, К. Н.** Разработка огнеупорных конструкций для промежуточного ковша сортовой МНЛЗ / К. Н. Вдовин, В. В. Точилкин, И. М. Ячиков // Новые огнеупоры. — 2015. — № 11. — С. 3–7.

Vdovin, K. N. Designing refractories for the tundish of a continuous caster / K. N. Vdovin, V. V. Tochilkin, I. M. Yachikov // Refractories and Industrial Ceramics. — 2016. — Т. 56, № 6. — P. 569–573.

12. **Точилкин, В. В.** Пневмопривод металлургических манипуляторов : монография / В. В. Точилкин, А. М. Филатов. — Магнитогорск : МГТУ, 2005. — 211 с.

13. **Вдовин, К. Н.** Создание имитатора рабочей среды для повышения износостойкости огнеупоров при разливке стали на сортовых МНЛЗ / К. Н. Вдовин, О. А. Марочкин, В. В. Точилкин // Новые огнеупоры. — 2013. — № 11. — С. 10–13.

Vdovin, K. N. Creating a stream simulator to improve the wear resistance of refractories during the casting of steel on continuous section casters / K. N. Vdovin, O. A. Marochkin, V. V. Tochilkin // Refractories and industrial ceramics. — 2014. — Vol. 54, № 6. — P. 435–437.

14. **Вдовин, К. Н.** Непрерывная разливка стали. Гидромеханика машин непрерывного литья заготовок : монография / К. Н. Вдовин, В. В. Точилкин, И. М. Ячиков. — Магнитогорск : Изд-во Магнитогор. гос. техн. ун-та им. Г. И. Носова, 2014. — 348 с. ■

Получено 19.12.16

© К. Н. Вдовин, Василий В. Точилкин, В. И. Умнов, Виктор В. Точилкин, 2017 г.