

УДК 669.147

*к.т.н. Куберский С. В.,  
к.т.н. Проценко М. Ю.,  
Грязнов В. Д.,  
Семенов В. В.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)*

## ПОВЫШЕНИЕ ВЫХОДА ГОДНОЙ СТАЛИ ПРИ ПЕРЕЛИВЕ ЕЕ ИЗ СТАЛЕРАЗЛИВОЧНОГО КОВША

*С использованием физического моделирования проведен анализ отдельных технологических параметров, влияющих на выход годной стали при переливе ее из сталеразливочного ковша. Показано, что значительное влияние на выход годной стали оказывает процесс образования вихревой воронки в конце перелива. В результате воронкообразования в металлопроводку может попадать покровный шлак, что вызывает необходимость прекращения перелива. Установлены зависимости, описывающие влияние времени выдержки расплава до перелива, массового расхода стали, а также кратковременного прекращения перелива на величину остаточного объема жидкости в модели до момента начала образования вихревой воронки. На основании полученных результатов предложены и опробованы в условиях действующего производства технологические рекомендации для усовершенствования технологии перелива стали из сталеразливочного ковша.*

**Ключевые слова:** *сталь, перелив, физическое моделирование, вихревая воронка, время выдержки, массовый расход, шиберный затвор, перекрытие, металлический остаток, выход годного.*

При разливке чугуна и стали, а также заливке литейных форм в ковше всегда остается шлакометаллический остаток, представляющий собой часть железоуглеродистого расплава и весь находящийся на его поверхности покровный шлак. Наличие металлического остатка (чугуна или стали) в ковше приводит к уменьшению выхода годного металла, что влечет за собой увеличение себестоимости продукции и снижает ее конкурентоспособность на мировом и внутреннем рынках.

На основании ранее проведенных исследований [1, 2] установлено, что на завершающем этапе перелива стали из сталеразливочного ковша при непрерывной разливке образуется вихревая воронка, которая затягивает покровный шлак в металлопроводку и транспортирует его в промежуточный ковш. При этом часть шлака под действием мощных конвективных потоков может попасть в кристаллизатор. Особенно часто это происходит при разливке на МНЛЗ последней в серии плавки. Попадание печного шлака в кристаллизатор вызы-

вает изменение химического состава и свойств шлакообразующей смеси, находящейся на его поверхности, что приводит к нарушению процесса формирования оболочки непрерывнолитой заготовки, ее качества и увеличивает вероятность возникновения прорывов. С целью недопущения подобных ситуаций при появлении шлака в струе перелив стали прекращают, а оставшийся в ковше металл сливают в шлаковую чашу. Следует отметить, что из практики работы кислородно-конвертерного цеха (ККЦ) Филиала № 12 ЗАО «Внешторгсервис» (АМК) известны случаи прекращения перелива стали из сталеразливочного ковша емкостью 300 т из-за появления в струе частиц шлака при остатке в нем стали до 10 т, что приводит к значительному снижению выхода годного металла.

Аналогичная картина имеет место и при разливке в изложницы, а также при получении чугуновых и стальных отливок. Такая ситуация приводит к снижению выхода годного и возврату части товарной продукции в технологический передел в виде

оборотного лома, что ухудшает технико-экономические показатели производства.

С целью снижения шлакометаллического остатка в сталеразливочном ковше в работе [3], выполненной в условиях действующего производства, было проанализировано влияние технологических параметров процесса получения непрерывнолитого сляба на количество шлака, попадающего в промежуточный ковш в результате образования вихревой воронки в конце перелива стали. В результате проведенных исследований установлено, что время начала развития процесса воронкообразования зависит от:

- физических свойств разливаемой стали, определяемых ее химическим составом и температурой;

- продолжительности цикла внепечной обработки стали на агрегате «ковш-печь» (АКП);

- массовой скорости перелива металла из сталеразливочного ковша, которая зависит от площади проходного сечения металлопроводки, регулируемой шиберным затвором.

**Цель данной работы** заключалась в разработке технологических рекомендаций, способствующих снижению шлакометаллического остатка в сталеразливочном ковше, а следовательно, способствующих повышению выхода годной стали.

**Основная задача**, решаемая в представленных исследованиях, состояла в определении влияния массовой скорости перелива стали из сталеразливочного ковша и дросселирования металлопроводки в конце перелива на момент начала образования вихревой воронки и остаточное количество шлакометаллического остатка в ковше до образования вихревой воронки.

**Объект исследования:** процесс перелива металла из сталеразливочного ковша.

**Предмет исследования:** условия образования вихревой воронки в конце процесса перелива стали.

**Методы исследования:** моделирование процессов перелива стали из ковша на его

физической модели; промышленный эксперимент по определению металлического остатка в шлаковых чашах; обработка экспериментальных данных на ПЭВМ с использованием стандартных пакетов прикладных программ Statistica 64 Version 10 и Microsoft Excel.

При проведении экспериментов на физической модели в качестве жидкости, моделирующей сталь, использовалась вода, гранулы пенопласта моделировали шлак, а запорно-регулирующая арматура в виде полудюймового шарового крана позволяла управлять расходом жидкости при ее переливе по аналогии с шиберным затвором, устанавливаемым на промышленных сталеразливочных ковшах.

Для расчета массовой скорости истечения модельной жидкости из физической модели сталеразливочного ковша необходимо знать площадь проходного сечения шарового крана при различном его открытии. В качестве запорно-регулирующего элемента шарового крана выступает плавающий шар (рис. 1).

Авторами работы [4] исследовано, что при открытии шарового крана и фиксации рукоятки в различных положениях (под различным углом) проходное сечение для истечения рабочей жидкости представляет собой сложную геометрическую фигуру, состоящую из сегментов двух окружностей разных диаметров (рис. 2).

Для определения площади проходного сечения шарового крана использовали схему, представленную на рисунке 3.



Рисунок 1 Конструкция запорно-регулирующего элемента шарового крана

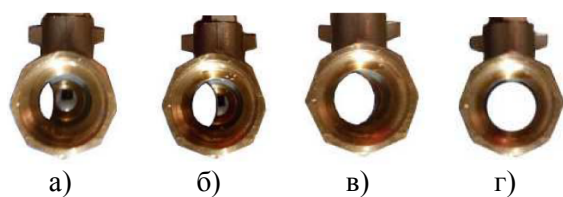
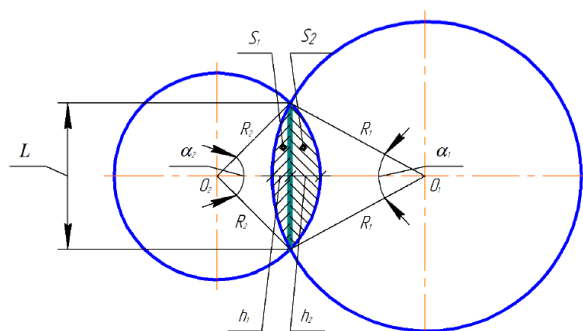


Рисунок 2 Конфигурация проходного сечения шарового крана при открытии затвора на: а — 25 %; б — 50 %; в — 75 %; г — 100 %



О — центр окружности; R — радиус окружности;  $\alpha$  — центральный угол; L — хорда; h — высота сегмента

Рисунок 3 Схема проходного сечения, образующегося при открытии шарового крана

Площадь проходного сечения в соответствии с обозначениями, представленными на рисунке 3, находили по формулам

$$S = S_1 + S_2, \quad S_1 = \frac{1}{2} \cdot R_1^2 \cdot \left( \pi \cdot \frac{\alpha_1}{180^\circ} - \sin \alpha_1 \right),$$

$$S_2 = \frac{1}{2} \cdot R_2^2 \cdot \left( \pi \cdot \frac{\alpha_2}{180^\circ} - \sin \alpha_2 \right).$$

Результаты расчета площади проходного сечения полудюймового шарового крана при различных углах открытия запорно-регулирующей арматуры указаны в таблице 1.

Таблица 1

Площадь проходного сечения при различных углах открытия шарового крана

$\alpha$ , град.	10	20	30	40	50
S, мм <sup>2</sup>	1,8	10,8	29	67,5	80,2
$\alpha$ , град.	60	70	80	90	
S, мм <sup>2</sup>	103,5	120,2	126,3	132,7	

На первом этапе исследований было установлено, что большее время выдержки жидкости в модели до перелива, а также уменьшение массовой скорости ее истечения способствуют более позднему образованию вихревой воронки и затягиванию в нее гранул пенопласта, а следовательно, меньшему остаточному объему жидкости в модели. Это можно объяснить двумя факторами. Во-первых, большая выдержка жидкости способствует некоторому снижению интенсивности образовавшихся после наполнения емкости циркуляционных потоков, что по аналогии может позитивно влиять на потоки, образующиеся в объеме металлического расплава в результате аргонной продувки его при обработке на АКП. Во-вторых, уменьшение проходного сечения канала, через который переливается жидкость, снижает интенсивность развития циркуляционных потоков, что также способствует более позднему воронкообразованию. Зависимости остаточной высоты столба жидкости и ее объема в модели перед началом воронкообразования от угла открытия шарового крана и массового расхода жидкости при переливе показаны на рисунке 4.

Представленные на рисунке 4 зависимости свидетельствуют о значительном влиянии на процесс воронкообразования массовой скорости перелива жидкости. Чем больше площадь проходного сечения, тем при большем остаточном объеме жидкости в модели начинает образовываться вихревая воронка. Поэтому для снижения шлакометаллического остатка в сталеразливочном ковше в конце его опорожнения необходимо снижать площадь проходного сечения металлопроводки, т. е. уменьшать массовый расход стали.

Однако применить такой технологический прием при непрерывной разливке серии плавов практически невозможно ввиду необходимости синхронизации поступления металла из сталеразливочного ковша в промежуточный и из промежуточного ковша в кристаллизатор. Снижение объема

стали, поступающей в промежуточный ковш, при сохранении рабочей скорости разливки вызовет падение уровня металла в нем ниже необходимого для перековшовки. Причем технология серийной разливки предусматривает максимальное наполнение промежуточного ковша в конце перелива стали из сталеразливочного ковша, что необходимо для успешной замены опорожненного ковша на полный.

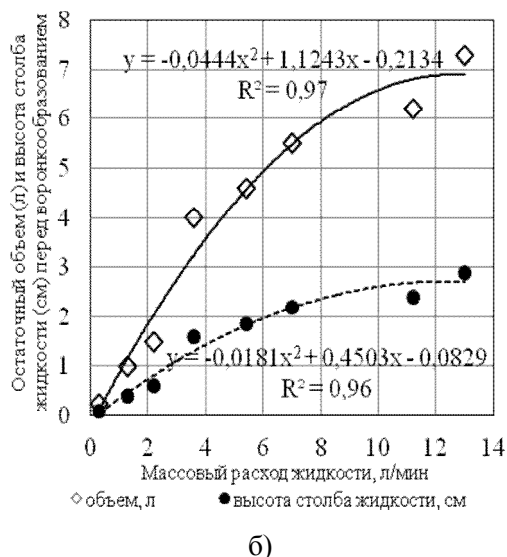
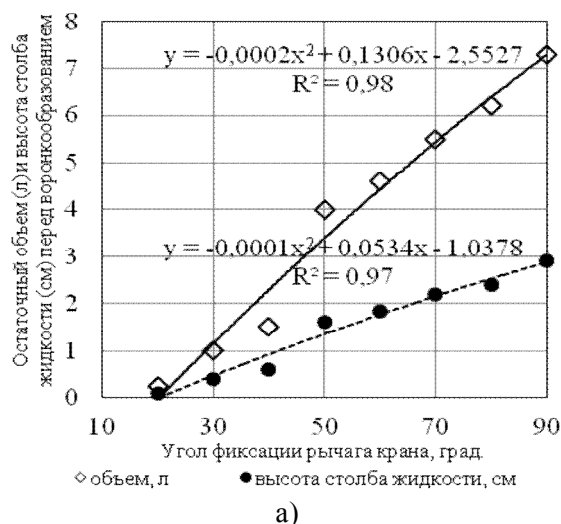


Рисунок 4 Зависимости остаточной высоты столба жидкости в модели и ее объема перед началом воронкообразования от угла открытия шарового крана (а) и массового расхода жидкости при переливе (б)

Тем не менее такой способ дозирования стали для снижения шлакометаллического остатка может быть успешно использован при разливке в изложницы, а также для перелива металла из промежуточного ковша в кристаллизатор при разливке последней в серии плавки. Такой подход может позитивно сказаться не только на выходе годного, но и на повышении качества слэбов по усадочной пористости, так как в этом случае можно разливать металл с более низкой скоростью в отличие от общепринятого в настоящее время резкого прекращения подачи стали из промежуточного ковша.

Следующие исследования предполагали определение влияния дросселирования канала сталеразливочного стакана в конце перелива на условия образования вихревой воронки.

Серия экспериментов по моделированию процесса перелива с использованием традиционной технологии позволила установить, что при истечении жидкости через полностью открытый канал шарового крана затягивание гранул пенопласта в образующуюся вихревую воронку (рис. 5) происходит при среднем остатке жидкости в модели в объеме 3,5 л.

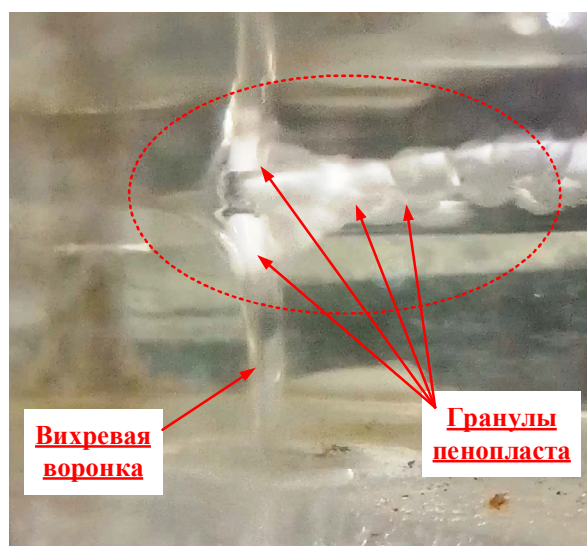


Рисунок 5 Процесс затягивания гранул пенопласта в образующуюся вихревую воронку

Для снижения интенсивности вихревых потоков, которые возникают в процессе наполнения модели жидкостью и усиливаются в процессе ее истечения, было исследовано влияние на их интенсивность и развитие, а следовательно, и на остаточный объем жидкости до образования воронки временного прекращения перелива и последующего перелива при полном открытии канала и с меньшим массовым расходом.

Первая серия экспериментов предусматривала перелив воды из физической модели сталеразливочного ковша при полном открытии арматуры до момента начала затягивания гранул пенопласта в переливной канал (рис. 6).

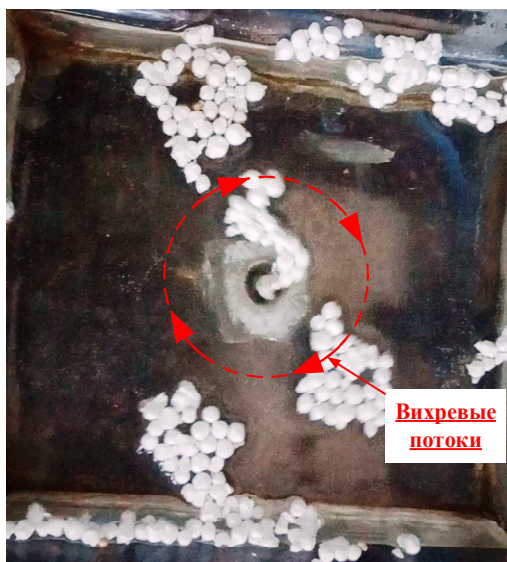


Рисунок 6 Характер потоков в начале затягивания пенопласта в переливной канал

После начала затягивания пенопласта перелив продолжали примерно 2,5 с, и при остаточном объеме жидкости в модели 3 л перекрывали кран. Среднее количество гранул пенопласта, попадающих в переливной канал, на основании результатов трех переливов составило 73 шт.

Следующая серия экспериментов предусматривала исследование эффективности кратковременного перекрытия переливного канала до момента образования вихревой воронки. Для этого при остаточ-

ном объеме жидкости в модели 4 л проводили полное перекрытие арматуры на 10 с для снижения интенсивности образовавшихся вихревых потоков с последующим полным открытием канала. При использовании такого способа перелива количество гранул пенопласта, попадающих в переливной канал, уменьшилось почти в 2 раза и составило в среднем 40 шт. Полученные результаты свидетельствуют о положительном влиянии кратковременного перекрытия запорно-регулирующей арматуры на процесс подавления интенсивности вихревых потоков, образующихся на заключительной стадии перелива жидкости.

На третьем этапе исследования при остаточном объеме жидкости в модели 4 л, при котором не образуется вихревая воронка, производили полное перекрытие канала шарового крана, а через 10 с открывали его на половину площади проходного сечения. При таком способе перелива затягивание гранул пенопласта в вихревую воронку происходило при среднем остатке жидкости в модели в объеме 1,5 л, т. е. уменьшилось более чем в 2 раза.

На основании полученных экспериментальных данных была предложена новая технология заключительного этапа перелива стали из сталеразливочного ковша для условий ККЦ АМК, которая заключается в следующем:

- при окончании перелива металла из сталеразливочного ковша емкостью 300 т (остаток 25–30 т) производили максимально возможное наполнение промежуточного ковша;
- при остатке в сталеразливочном ковше 5–10 т стали с целью снижения интенсивности циркуляционных потоков в объеме оставшегося металла и более позднего образования вихревой воронки шиберный затвор перекрывали на 8–10 с;
- после выдержки шиберный затвор открывали на половину проходного сечения сталеразливочного стакана, и перелив стали продолжали до появления шлака в струе.

Результаты опытных переливов стали из сталеразливочного ковша в условиях ККЦ

АМК по традиционной и предложенной технологиям представлены в таблице 2. Для анализа были приняты временные промежутки продолжительностью в 10 суток и учитывались шлаковые чаши, заполненные шлакометаллическим остатком с одной МНЛЗ, а чаши, поступающие с разливочного пролета после разливки стали в изложницы, во внимание не принимались.

Остатки металла и шлака после разливки ковша сливаются в шлаковую чашу, которая после наполнения транспортируется на шлаковый двор, где происходит разделение шлаковой и металлической составляющих. Средний вес металлического остатка в шлаковой чаше составил 4,27 т и 5,54 т для нового и традиционного способа перелива стали соответственно. Учитывая тот факт, что в шлаковую чашу сливается шлакометаллический расплав из четырех ковшей, то средний вес металлического остатка в одном ковше при использовании предложенной технологии составил 1,07 т, тогда как при традиционном способе перелива 1,39 т.

Результаты проведенных исследований в производственных условиях свидетельствуют о том, что использование предложенной технологии позволяет увеличить выход годного в среднем на 0,32 т на плавку (~1 кг/т), или на 0,1 %.

Однако необходимо отметить тот факт, что использование предложенной технологии перелива стали из сталеразливочного ковша с кратковременным перекрытием шиберного затвора и последующим окончанием процесса при частично перекрытой металлопроводке негативно сказывается на стойкости шиберных плит. Это обусловлено более интенсивным режимом их работы и дополнительным механическим воздействием переливаемого металла. При низком качестве плит возможен ранний выход из эксплуатации шиберных затворов, что становится причиной выведения из оборота сталеразливочных ковшей. Поэтому при широкомасштабном внедрении предложенной технологии необходимо уделять пристальное внимание этому важному фактору.

Таблица 2

Сравнительные результаты количества металлического остатка, кантуемого в шлаковую чашу при использовании различных технологий перелива

№ суток	Шлаковых чаш, шт.		Металлический остаток, т	
	Б*	Н	Б	Н
1	1	3	5	11
2	2	2	12	8
3	4	1	22	5
4	2	2	10	7
5	4	2	23	9
6	2	2	12	9
7	2	3	9	14
8	1	1	7	4
9	1	3	5	15
10	3	3	17	12
Итого:	22	22	122	94

\*Технологии перелива: Б — базовая, Н — новая.

Тем не менее экономический эффект от реализации предложенной технологии перелива составил 0,437 \$/т (32,644 руб./т), а ожидаемый годовой экономический эффект при плановом производстве на АМК в объеме 2 млн т составит более 65 млн руб./год.

В результате проведенных исследований установлены зависимости, свидетельствующие о том, что для снижения шлакометаллического остатка в сталеразливочном ковше в конце его опорожнения необходимо уменьшать площадь проходного сечения металлопроводки, т. е. массовый расход стали, а также целесообразно кратковременное прекращение перелива с последующим его продолжением при открытии металлопроводки на половину ее проходного сечения.

Такой технологический прием может быть использован при заливке литейных форм, разливке в изложницы, а также переливе последней плавки в серии в случае непрерывного литья. Причем при непрерывной разливке последней плавки в серии целесообразно использовать предложенный способ дозирования и при переливе стали из промежуточного ковша в кристаллизатор.

В ходе дальнейших исследований с использованием физической модели необходимо проанализировать более широкий временной интервал прекращения дозирования жидкости при переливе, а также ис-

следовать характер изученных явлений и эффективность предложенных технологических приемов при переливе жидкости из физической модели промежуточного ковша в кристаллизатор.

### Библиографический список

1. Смирнов, А. Н. Некоторые аспекты возникновения прилипания и прорывов корочки непрерывнолитого сляба в кристаллизаторе [Текст] / А. Н. Смирнов, С. В. Куберский, Е. Н. Максаев // *Электрометаллургия*. — М., 2013. — № 9. — С. 13–21.
2. Смирнов, А. Н. Влияние неметаллических включений на подвисяние и прорыв оболочки непрерывнолитого слитка в кристаллизаторе МНЛЗ [Текст] / А. Н. Смирнов, Е. Н. Максаев, С. В. Куберский, В. Г. Ефремова // *Процессы литья*. — 2015. — № 4. — С. 22–30.
3. Куберский, С. В. Влияние эффекта воронкообразования на параметры процесса непрерывной разливки стали [Текст] / С. В. Куберский, Е. Н. Максаев // *Сборник научных трудов ДонГТУ*. — 2016. — № 4. — С. 61–68.
4. Труфляк, В. Е. Исследование работы элементов конструкции гидросеялки для посева овощных культур [Текст] / В. Е. Труфляк, И. С. Скоробогаченко, В. Ю. Сапрыкин, И. С. Труфляк // *Научн. журнал КубГАУ*. — 2016. — № 116 (02). — С. 1–14.

© [Куберский С. В.](#)  
 © [Проценко М. Ю.](#)  
 © [Грязнов В. Д.](#)  
 © [Семенов В. В.](#)

*Рекомендована к печати к.т.н., доц. каф. МЧМ ДонГТУ Должиковым В. В., зам. нач. ЦЛК Филиала № 12 ЗАО «Внешторгсервис» Тарасовым В. Н.*

Статья поступила в редакцию 01.06.20.

**PhD in Engineering Kuberskiy S. V., PhD in Engineering Protsenko M. Yu., Griaznov V. D., Semenov V. V. (DonSTU, Alchevsk, LPR)**

### INCREASING THE STEEL YIELD BY POURING IT FROM A STEEL LADLE

*Using physical modeling, the analysis of individual technological parameters affecting the steel yield by pouring it from a steel ladle is carried out. It is shown that the formation of a vortex funnel at the end of pouring has a significant effect on the steel yield. As a result of funnel formation, cover slag can get into the metal wiring, thereby necessitating to stop pouring. The dependences describing the influence of melt holding time before pouring, the mass steel spread, as well as the short-term failure of pouring on the value of residual volume of liquid in the model until the beginning of the vortex funnel formation are established. Based on the results obtained, technological recommendations for improving the technology of steel pouring from a steel ladle were proposed and tested in the current production conditions.*

**Key words:** steel, pouring, physical modeling, vortex funnel, holding time, mass spread, sliding gate, overlap, metal residue, yield.