

К. Т. Н. М. В. Краснянский¹ (✉), И. В. Егоров¹, А. Е. Орленко¹,
С. И. Иваница², М. Г. Джундиет², Ю. В. Балавнева²

¹ ООО «Кералит», Москва, Россия

² ООО «НЛМК-Калуга», с. Ворсино Боровского р-на Калужской обл., Россия

УДК 666.974.2:666.762.1]:[621.746.329.047:669.18.046.518

РАЗРАБОТКА МЕТАЛЛОПРИЕМНИКОВ ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОВША, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ НЕПРЕРЫВНУЮ РАЗЛИВКУ СВЕРХДЛИННЫМИ СЕРИЯМИ

Приведен обзор современных металлоприемников для промежуточных ковшей. На основании математического моделирования и промышленных испытаний разработана новая комбинированная конструкция металлоприемника для многоручьевых сортовых МНЛЗ, позволяющая достичь высоких показателей серийности и повысить качество разливаемой заготовки.

Ключевые слова: непрерывная разливка, промежуточный ковш (ПК), металлоприемники, шлаковый пояс, стойкость футеровки ПК.

Повышение серийности разливки металла на сортовых машинах непрерывного литья заготовки (МНЛЗ) является важной задачей для любого металлургического предприятия. Оно приводит не только к увеличению выхода годного металла за счет снижения количества технологической обрезки, но и к снижению удельного расхода огнеупоров, улучшению качества литой заготовки, сокращению длительности простоев и в конечном итоге к повышению производительности всего предприятия. Особенно это актуально для металлургических мини-заводов, основной концепцией которых является минимизация производственных затрат и издержек.

Как известно [1, 2], на современных сортавых МНЛЗ, оснащенных системой быстрой замены стаканов-дозаторов, серийность ограничена в основном стойкостью рабочего слоя футеровки в приемной зоне промежуточного ковша (ПК). Струя металла, воздействуя на футеровку ПК в «бойной» зоне, повышает ее механический износ. Кроме того, после отражения струи образуются турбулизированные потоки металла, которые с высокой скоростью воздействуют на футеровку стен ПК в этой области. Для защиты «бойной» зоны ПК традиционно применяют металлоприемники. Однако при работе на современных многоручьевых сортавых МНЛЗ металлоприемник должен выполнять одновременно несколько важных функций: усилить «бойную» зону ПК, тормозить

поток металла и гасить его турбулентную кинетическую энергию, защищать шлаковый пояс футеровки ПК в приемной зоне, а также распределять поток металла между ручьями, обеспечивающий усреднение температуры, химического состава и всплывание неметаллических включений [3, 4].

В настоящее время на рынке огнеупорных изделий в основном представлены металлоприемники двух типов: струегасители и для длительных серий. Металлоприемники первого типа обычно применяют на одно-, двух-ручьевых МНЛЗ при разливке малыми сериями (рис. 1, а–в). Вогнутая форма стенок ударной поверхности таких металлоприемников позволяет эффективно тормозить падающую струю металла непосредственно внутри изделия за счет взаимного гашения поступающего и отраженного потоков металла и направлять ламинарные потоки металла в объем ПК. Однако струегаситель не обеспечивает защиту рабочего слоя футеровки стенки ПК (в особенности шлакового пояса) в приемной зоне, что и является причиной низкой серийности разливки при его использовании. Для разливки большими сериями применяют металлоприемники с высокими стенками, защищающими футеровку ПК в приемной зоне, а также противоположную стенку в этой зоне (рис. 1, г–е). Кроме того, благодаря проемам в стенках использование таких металлоприемников позволяет перенаправлять потоки металла к крайним ручьям ПК для более равномерного распределения новых порций металла из сталеразливочного ковша между ручьями. По этой причине на многоручьевых МНЛЗ рекомендуется использовать металлоприемники этого типа.

Компания «Кералит» имеет в своем арсенале большой спектр металлоприемников обоих



М. В. Краснянский
E-mail: krasnyansky@keralit.com

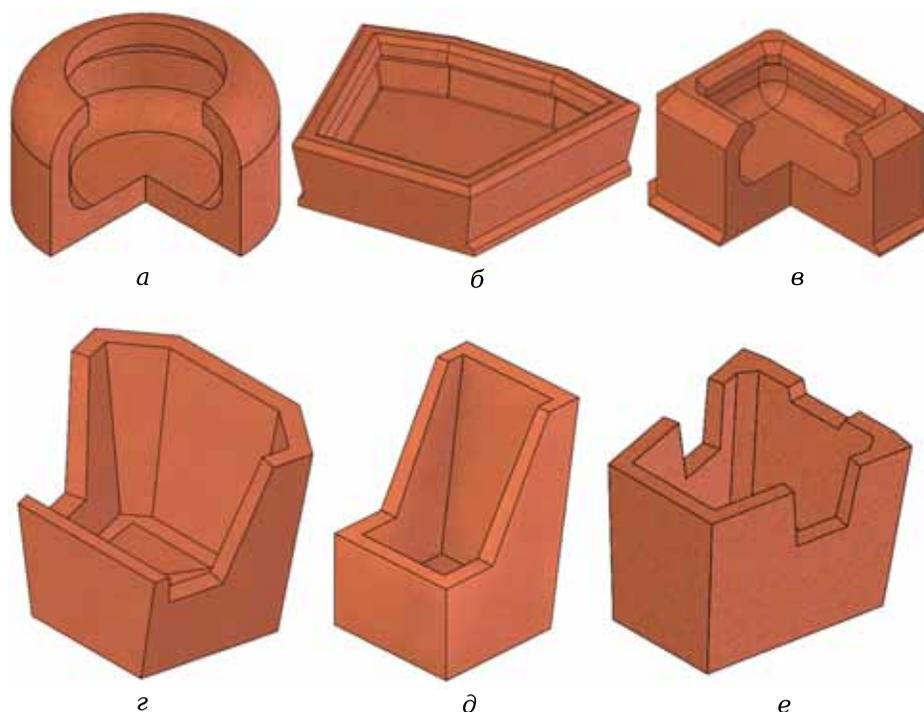


Рис. 1. Metalloприемники конструкции компании «Кералит»: *а-в* — струегасители; *г-е* — для разливки больших серий

типов (см. рис. 1), предназначенных для различных конструкций ПК и обеспечивающих необходимую серийность разливки. Бетоны, применяемые для производства metalloприемников, изготавливают из табулярного глинозема и благодаря этому готовые изделия имеют высокую огнеупорность и прочность как в горячем состоянии, так и в холодном. Кроме того, добавка в бетон металлической фибры из жаропрочной стали позволяет повысить износо- и трещиностойкость metalloприемников. Результаты их эксплуатации приведены в таблице.

В 2013 г. была запущена первая очередь современного отечественного электрометаллургического мини-завода «НЛМК-Калуга», включающая ДСП-120, УКП и 8-ручьевую сортовую МНЛЗ. Перед специалистами компании «Кералит» была поставлена задача предложить metalloприемник, учитывающий специфику разливки на первой в стране высокопроизводительной 8-ручьевой МНЛЗ и обеспечивающий разливку сверхдлинными сериями (100 плавков и более). Для этого было решено спроектировать новое изделие, объединяющее преимущества обоих

вышеописанных типа metalloприемников. В технической литературе описаны результаты исследований и разработок подобных комбинированных изделий [5, 6], однако сведения об их успешном применении на металлургических предприятиях России или стран СНГ отсутствуют.

Для разработки нового metalloприемника предварительно было проведено математическое моделирование процесса разливки стали в 8-ручьевом ПК мини-завода «НЛМК-Калуга» с использованием различных вариантов metalloприемников. Результаты, полученные на математической модели ПК, подтвердили высокую эффективность metalloприемника-струегасителя CERALIT 012028 (см. рис. 1, *а*) в торможении падающей струи металла и

Результаты эксплуатации metalloприемников на металлургических предприятиях России и стран СНГ

Предприятие	Тип МНЛЗ, подразделение	Вместимость ПК, т	Стойкость, плавки
<i>Металлоприемники для разливки больших серий</i>			
Челябинский МК	Сортовая № 3	30	72
	Сортовая № 4	30	75
Енакиевский МЗ	Сортовая, ККЦ	30	40
Северсталь	Сортовая, ЭСПЦ	30	40
БМЗ	Сортовая № 1 и 2, ЭСПЦ-1	20	50
НСММЗ	Сортовая № 2	25	40
НЛМК-Калуга	Сортовая	39	125
<i>Металлоприемники-струегасители</i>			
Уральская сталь	Слябовая, ЭСПЦ	25	11
Узметкомбинат	Блочная № 1–3, ЭСПЦ	25	8
НТМК	№ 2, ККЦ	30	14
	№ 4, ККЦ	30	10
Алчевский МК	№ 1 и 2	60	10
БМЗ	№ 3	20	7
Ашинский МЗ	Слябовая, ЭСПЦ-2	16	12
ОЭМК	Сортовая № 6	30	15
НЛМК	Сортовая, КЦ-2	50	10

гашении ее кинетической энергии (рис. 2, а, б). Скорость потока металла при достижении дна ПК составляет около 1 м/с, в то время как на выходе из металлоприемника она уменьшается примерно до 0,1 м/с (см. рис. 2, а). Тем не менее из-за отсутствия у металлоприемника защитных стенок потоки металла воздействуют на футеровку в приемной зоне ПК, вызывая повышенную эрозию шлакового пояса, что подтверждается высокими касательными напряжениями, возникающими в этой области (см. рис. 2, б). Кроме того, из рис. 2, а видно, что потоки из металлоприемника направляются к средним ручьям ПК, в то время как у

крайних ручьев образуются застойные зоны, что может негативно влиять на качество разлитого металла.

При использовании металлоприемника CERALIT 012376 (см. рис. 1, з) стенки ПК в приемной зоне надежно защищены конструкцией металлоприемника (см. рис. 2, б'). В то же время ударная поверхность этого металлоприемника не обеспечивает достаточного торможения струи металла, и потоки металла после отражения с высокой скоростью (~0,2 м/с) воздействуют на стенки металлоприемника, что видно из рис. 2, а'. Это может привести к их преждевременному размыванию и, как

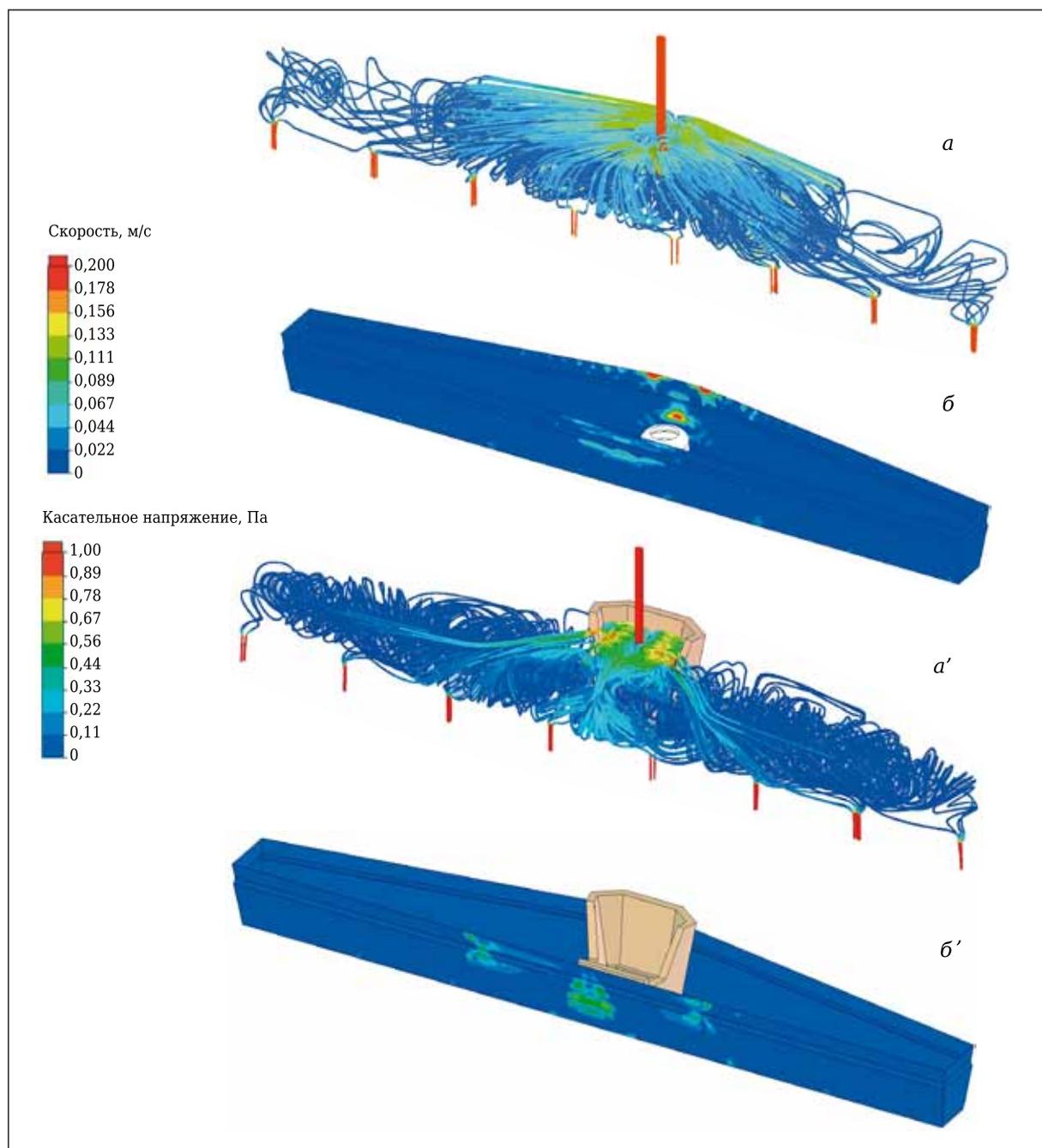


Рис. 2. Траектории потоков металла в ПК (а, а') и касательные напряжения от их воздействия (б, б') при использовании металлоприемников CERALIT 012028 (а, б) и CERALIT 012376 (а', б')

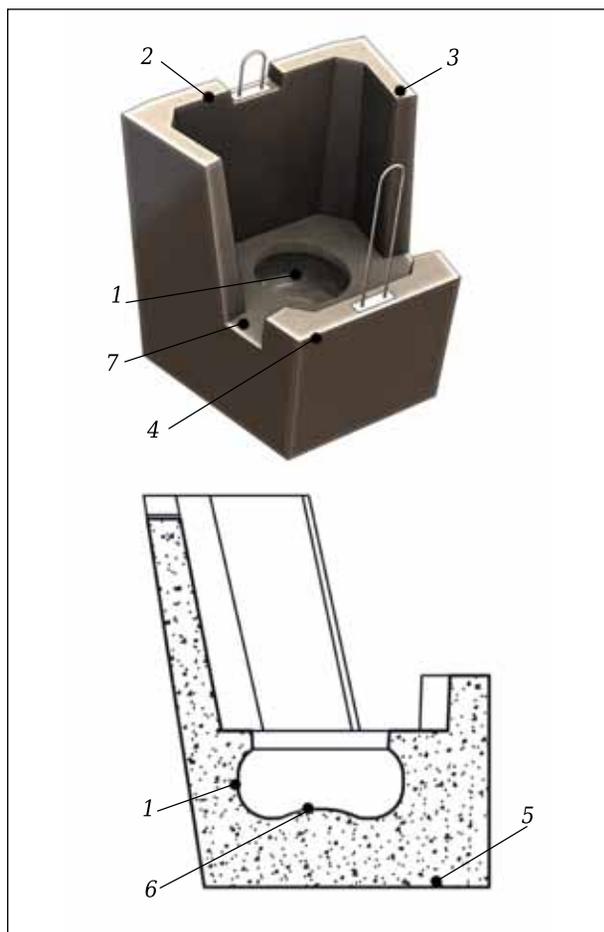


Рис. 3. Комбинированный металлоприемник CERALIT 012723

следствие, к снижению стойкости футеровки ПК. Тем не менее металлоприемник CERALIT 012376 обеспечивает равномерное распределение потоков между ручьями и благодаря усиленной «бойной» зоне позволяет достичь средней серийности 40–50 плавков (см. таблицу).

Предварительные исследования, основанные на анализе распределения потоков металла, многолетний опыт специалистов компании «Кералит» в проектировании футеровки ПК и активное сотрудничество технического отдела мини-завода «НЛМК-Калуга» позволили разработать новую конструкцию металлоприемника CERALIT 012723 (рис. 3), базирующуюся на хорошо зарекомендовавших себя изделиях CERALIT 012028 и CERALIT 012376.

Новый металлоприемник состоит из приемной емкости 1, задней 2 и боковых стенок 3 одинаковой высоты, а также передней стенки 4, высота которой составляет 0,2–0,6 от высоты задней стенки. Внутреннее пространство приемной емкости имеет сфероидальную форму, как у металлоприемников-струегасителей, для более эффективного гашения кинетической энергии падающей струи металла. Основание 5 приемной емкости имеет форму шестиугольника. В «бойной» зоне приемной емкости имеется утолщение 6 для повышения стойкости изделия. Задняя стенка 2 металлоприемника повторяет форму и наклон задней стенки ПК для более плотного встраивания в футеровку. Между передней и боковыми стенками имеются проемы 7 для перенаправления потоков металла к край-

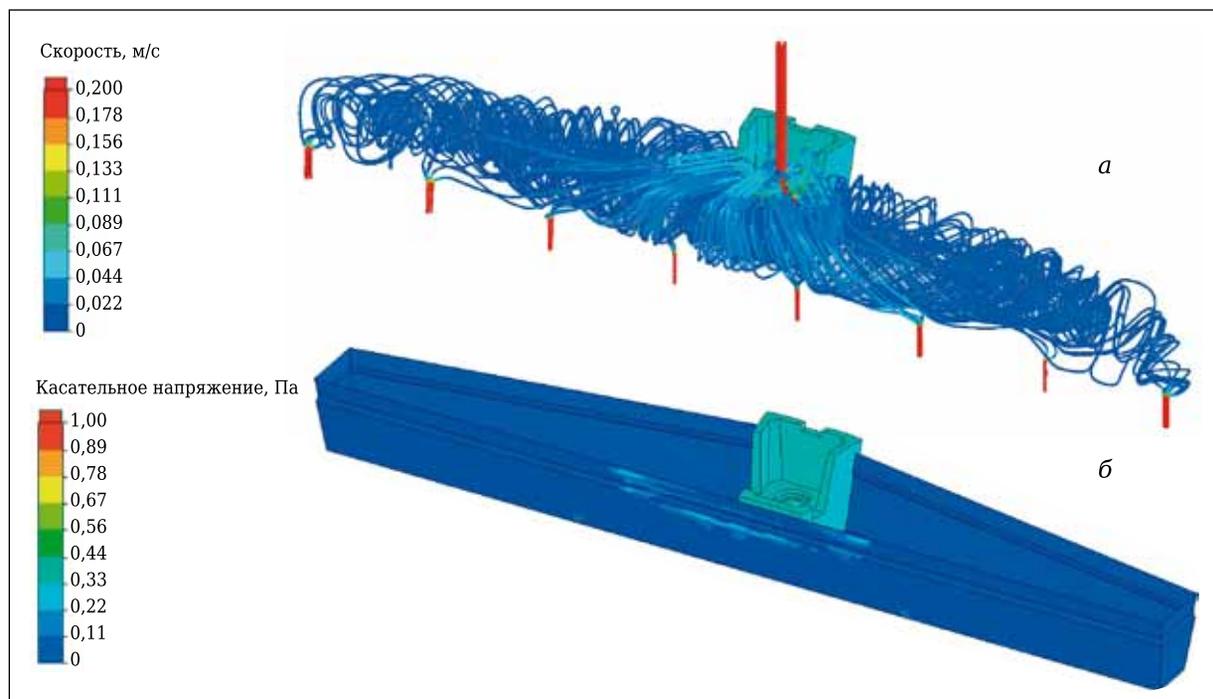


Рис. 4. Траектории потоков металла в ПК (а) и касательные напряжения от их воздействия (б) при использовании металлоприемников CERALIT 012723

ним ручьям ПК. На семейство комбинированных металлоприемников типа CERALIT 012723 получен патент 155940 [7].

Результаты моделирования потоков металла при разливке с комбинированным металлоприемником в условиях мини-завода «НЛМК-Калуга» показаны на рис. 4. Металл поступает в ПК из сталеразливочного ковша закрытой струей. Струя металла попадает в приемную емкость металлоприемника, где она тормозится благодаря вогнутой форме ударной поверхности и приемной емкости. После этого часть металла из металлоприемника поступает в пространство ПК через проемы в боковых стенках, а другая часть — через переднюю стенку. Из рис. 4, а видно, что скорость металла на выходе из металлоприемника не превышает 0,07 м/с. Таким образом, потоки металла направляются и к крайним ручьям, и к центральному, обеспечивая равномерное распределение новых порций металла между ними. При этом происходит усреднение температуры и химического состава металла, а также всплытие неметаллических включений и ассимиляция их шлаком. Равномерное распределение потоков металла минимизирует контакт новых порций горячего металла из сталеразливочного ковша с футеровкой шлакового пояса ПК в приемной зоне. Из рис. 4, б видно, что величина касательных напряжений на передней стенке ПК в 2–4 раза ниже, чем при применении изделий CERALIT 012028 и CERALIT 012376 (см. рис. 2).

Эксплуатация металлоприемника CERALIT 012723 на мини-заводе «НЛМК-Калуга» подтвердила результаты теоретических исследований и математического моделирования. На первой плавке в серии при наполнении ПК отсутствовало раз-

брызгивание металла, характерное для металлоприемников с плоской ударной поверхностью. При заполненном ПК не наблюдалось сильного бурления и оголения зеркала металла от покровного шлака в приемной зоне. Кроме того, отмечалось общее повышение качества разливаемой заготовки благодаря снижению количества неметаллических включений и частиц шлака, а также более равномерному распределению металла между ручьями. Применение металлоприемника наряду с другими мероприятиями по оптимизации технологического процесса позволило достичь рекордных показателей серийности разливки — 125 плавов на одном ПК [8]. При этом общее время непрерывной разливки составило 84 ч 57 мин, а количество разлитого металла в серии 16,02 тыс. т.

Таким образом, семейство комбинированных металлоприемников компании «Кералит» отвечает всем требованиям современной высокопроизводительной разливки, а именно обеспечивает необходимое торможение струи металла, защиту футеровки ПК и организацию движения потоков металла при разливке на многоручьевых МНЛЗ. Однако сверхвысоких показателей серийности разливки невозможно достичь только лишь за счет инновационной конструкции и повышенной стойкости металлоприемника. В частности, значительное снижение уровня металла в ПК при перековках, несвоевременное скачивание шлака, а также отклонение защитной трубы от вертикальной оси может привести к заметному снижению стойкости футеровки ПК. Поэтому строгое соблюдение технологических инструкций и рекомендаций — один из главных факторов, влияющих на серийность разливки на сортовых МНЛЗ, а следовательно, и на эффективность работы всего цеха.

Библиографический список

1. **Смирнов, А. Н.** Современные сортовые МНЛЗ: перспективы развития технологии и оборудования / А. Н. Смирнов, А. Л. Подкорытов // Технологии. — 2009. — № 12. — С. 18–25.
2. **Орленко, А. Е.** Использование металлоприемников с целью увеличения ресурса эксплуатации промежуточных ковшей / А. Е. Орленко // Огнеупоры и техническая керамика. — 2008. — № 5. — С. 45–50.
3. **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.
4. **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. — Vol. 56, № 6. — P. 569–573.
5. **Вдовин, К. Н.** Анализ работы системы сталеразливочный ковш - промежуточный ковш сортовой МНЛЗ и совершенствование огнеупорных конструкций приемной камеры промежуточного ковша / К. Н. Вдовин, В. В. Точилкин, В. В. Точилкин // Новые огнеупоры. — 2016. — № 5. — С. 3–5.
6. **Смирнов, А. Н.** Развитие конструкции металлоприемников для проковшей высокопроизводительных сортовых МНЛЗ / А. Н. Смирнов, А. В. Кравченко // Современные огнеупоры: ресурсосбережение и применение в металлургических технологиях : сб. науч. тр. — Донецк : ДонНТУ, 2013.
7. **Пат. 149743 Российская Федерация, МПК⁷ В 22 D 41/00.** Металлоприемник для промежуточного ковша / Можжерин В. А., Мигаль В. П., Новиков А. Н. и др. ; ОАО «Боровичский комбинат огнеупоров» ; заявл. 22.05.14.
8. **Пат. 155940 Российская Федерация, МПК⁷ В 22 D 41/00.** Металлоприемник промежуточного ковша / Белецкий Ю. М., Горбаненко В. М., Городинец А. В., Егоров И. В. и др. ; ООО «Кералит» ; заявл. 03.07.15.
9. НЛМК-Калуга провел 125 плавов на одном проковше. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.metalinfo.ru/ru/news/84813> (Дата обращения: 06.06.16). ■

Получено 29.06.16

© М. В. Краснянский, И. В. Егоров,
А. Е. Орленко, С. И. Иваница, М. Г. Джундиет,
Ю. В. Балавнева, 2016 г.