

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 621.746.329.047:669.054.2

МОДЕРНИЗАЦИЯ ОГНЕУПОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ СОРТОВОЙ МНЛЗ

Рассматривается оборудование, устанавливаемое в разливочных камерах промежуточных ковшей машин непрерывного литья заготовок. Совершенствование оборудования обеспечивает эффективное формирование струи металла и создает условия для повышения его качества.

Ключевые слова: машина непрерывного литья заготовок, промежуточный ковш, потоки металла, математическое моделирование.

ВВЕДЕНИЕ

Постоянно повышающиеся требования к качеству металла, получаемого при разливке на сортовых машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), приводят к необходимости разработки специальных конструкций огнеупорных изделий промежуточного ковша (ПК). Особое внимание при этом уделяют конструкциям, обеспечивающим хорошую организацию потоков жидкого металла на участке промежуточный ковш – кристаллизатор [1].

Характер потока жидкого металла в ПК при непрерывной разливке является определяющим фактором, влияющим на распределение неметаллических включений в заготовке [2, 3]. В разливочном отверстии ПК для ограничения прямого потока металла в него устанавливают специальные устройства [4], отделяющие неметаллические включения [5] за счет организации потока металла в нужном направлении [6, 7].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Основной элемент, обеспечивающий дозирование истечения стали из ПК (рис. 1) в кристаллизатор на сортовых МНЛЗ — комплект стаканов-дозаторов (рис. 2) с сопутствующим оборудованием [8], который устанавливают в дно ПК.

К стаканам-дозаторам предъявляют следующие требования: равномерная подача металла в

кристаллизатор в течение всего периода разливки; формирование компактной струи без брызг

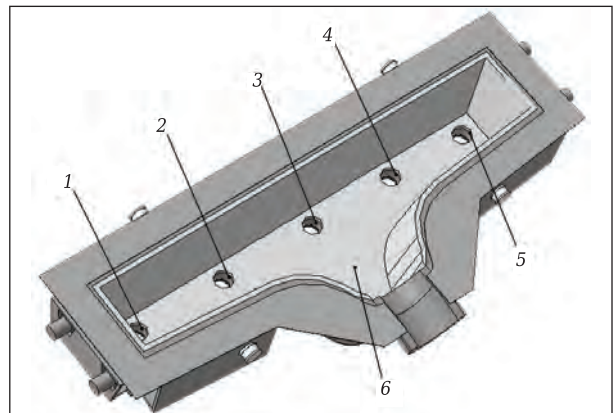


Рис. 1. Компоновка промежуточного ковша: 1–5 — разливочные отверстия ковша; 6 — бойное место

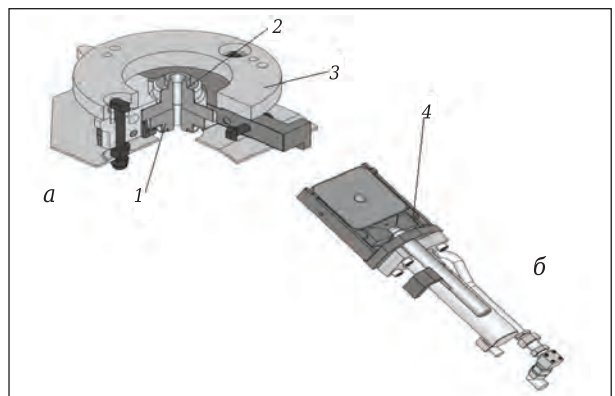


Рис. 2. Компоновка оборудования разливочного отверстия (а) и манипулятора (б) для замены нижнего стакана-дозатора: 1 — нижний стакан; 2 — верхний стакан; 3 — корпус; 4 — манипулятор для замены нижнего стакана-дозатора



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

металла; исключение дефекта разливки типа «веер» [7, 8].

При разливке открытой струей для сохранения постоянного расхода металла поддерживают постоянное ферростатическое давление металла в ПК при условии, что внутренний диаметр стакана-дозатора остается неизменным [9, 10]. Это относится главным образом к разливке металла на сортовых МНЛЗ.

Характерной особенностью разливки стали открытой струей через стакан-дозатор является малое сечение его внутренней полости, составляющее обычно 10–18 мм в зависимости от заданной скорости разливки и сечения заготовки. Стабильность разливки в течение всего цикла работы ПК достигается только при сохранении постоянного диаметра сечения стаканов-дозаторов. Внутреннюю вставку стакана-дозатора выполняют из дорогостоящего диоксида циркония. Следовательно, вопрос выбора конструкции комплектов оборудования и материала стаканов-дозаторов для ПК при разливке на сортовых МНЛЗ длинными сериями представляется актуальным [10].

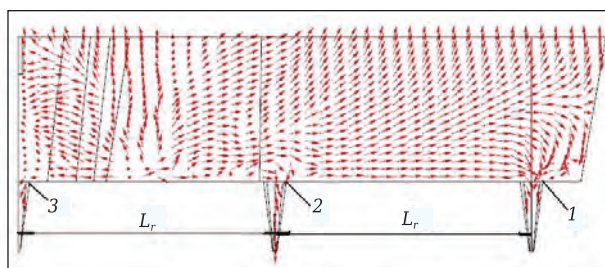


Рис. 3. Компоновка промежуточного ковша и характер потока металла в объеме ковша: 1–3 — ручки ковша; L_r — расстояние между ручьями

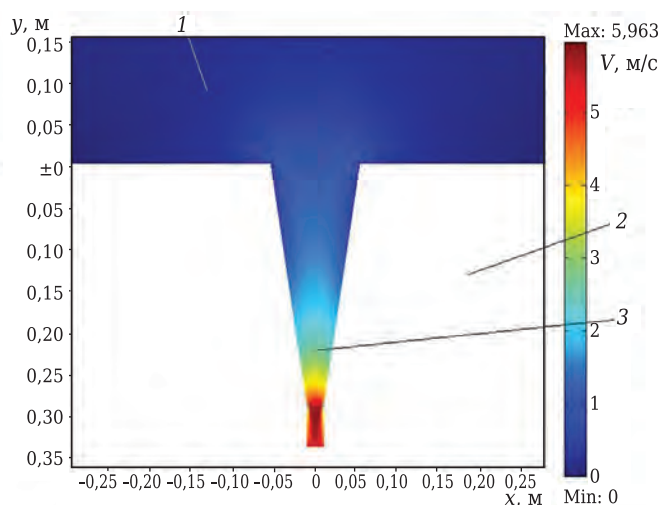


Рис. 4. Распределение скоростей V потоков металла в полости разливочного стакана: 1 — полость ПК со сталью; 2 — футеровка ПК; 3 — разливочное отверстие. V — скорость, м/с; x — расстояние от оси разливочного отверстия (нулевое значение совпадает с осью разливочного отверстия), м; y — высота (нулевое значение — дно промежуточного ковша), м

Было проведено численное моделирование конструкций оборудования ПК [1, 3]. Математическая модель описывает движение жидкого металла [2, 11] в промежуточном ковше. При ее составлении использованы уравнения: Навье – Стокса, неразрывности потока, конвективной диффузии. Геометрию модели определяют компоновкой ковша и расположением оборудования внутренней полости ПК. Масштаб модели 1:1. Соответствующие уравнения имеют вид:

$$\begin{cases} \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + (\vec{V} \cdot \nabla) \vec{V} = \vec{F} - \frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \nabla^2 \vec{V}, \\ \nabla \vec{V} = 0, \\ \vec{u} \nabla C - D \nabla^2 C = 0, \end{cases}$$

где \vec{V} — вектор скорости жидкости; t — время; ∇ — оператор; \vec{F} — объемные силы; ρ — плотность стали; ∇p — градиент давления; p — давление жидкости; ν — коэффициент кинематической вязкости; ∇^2 — лапласиан \vec{V} ; \vec{u} — вектор скорости движения частиц включений; C — концентрация примеси; D — коэффициент диффузии.

Полученные в результате численного моделирования результаты представлены на рис. 3 и 4. На рис. 3 стрелками показаны векторы и линии тока потоков металла.

Движение металла в объеме промежуточного ковша в процессе разливки характеризуется интенсивным движением потоков металла к поверхности и по дну ковша в пространстве между ручьями и сосредоточенными интенсивными потоками из средней и верхней частей ковша в сторону дна ковша в районе разливочных отверстий ПК.

На рис. 4 представлено распределение скоростей потоков металла в полости разливочного стакана при отсутствии дополнительных элементов полости отверстия. Для исключения попадания неметаллических включений и мусора в разливочное отверстие используют стартовую трубу.

Корпус промежуточного ковша для непрерывной разливки металла [9] с огнеупорной футеровкой снабжен установленными в дно стаканами-дозаторами с конусообразной полостью, оборудованными шиберными затворами. Цилиндрические трубы из огнеупорного материала размещают нижним концом в полости стаканов-дозаторов с возможностью всплытия. Такая конструкция не обеспечивает высокого качества разливаемого металла из-за попадания в него неметаллических включений, так как цилиндрическая форма всплывающих труб не фиксируется строго в конусообразной полости стаканов-дозаторов и смещает ось струи металла при разливке, а также нарушает ее целостность. Огнеупорная поверхность стакана-дозатора ин-

тенсивно размывается и преждевременно разрушается, частицы его попадают в разливаемый металл, снижая его качество.

В работах [10, 11] рассматривают варианты конструкций стартовых труб комплекта стаканов-дозаторов с различными видами стартовых труб, устанавливаемых в разливочные отверстия. Стартовые трубы также имеют цилиндрическую форму в верхней части, что приводит к интенсивному захлестыванию потоков металла в процессе его первоначального поступления, попаданию частиц шлака и мусора, а также неметаллических включений в разливочное отверстие. При этом затруднено всплытие стартовых труб, так как в их нижней части, соприкасающейся с поверхностью отверстия стакана-дозатора, нет конструктивных элементов, способствующих отделению и всплытию.

Компоновка стаканов-дозаторов в разливочном отверстии промежуточного ковша с модернизированными стартовыми элементами — трубами представлена на рис. 5 [12]. Промежуточный ковш состоит из корпуса 1 с огнеупорной футеровкой 2, установленных в дно 3 корпуса футерованных стаканов-дозаторов 4 с шиберными затворами 5 и по числу стаканов-дозаторов труб 6, выполненных из огнеупорного материала в виде керамики или бетона. Каждый стакан-дозатор имеет конусообразную полость 7, в которой труба размещена с возможностью всплытия.

Наружный диаметр трубы равен диаметру входного отверстия конусообразной полости стакана-дозатора, нижний конец трубы выполнен по форме контактирующего с ним участка конусообразной полости стакана-дозатора. Это обеспечивает надежную фиксацию стартовых труб в полостях разливочных отверстий и осевую центровку полостей, что позволяет в процессе разливки обеспечить целостность струи металла и предотвратить боковые смещения струи в сторону огнеупорной футеровки стаканов-дозаторов. Это предохраняет футеровку от размыва и интенсивного разрушения, а следовательно, позволяет исключить попадание частиц футеровки в разливаемый металл, в результате чего качество металла повышается. Кроме того, надежная фиксация труб исключает возможность их преждевременного всплытия, и тем самым предотвращает попадание в полость разливочного отверстия неметаллических включений, находящихся в придонных потоках металла, что также приводит к повышению качества разливаемого металла. На верхнем конце каждой трубы выполнен кольцевой выступ 8, а полость трубы в осевой плоскости образована цилиндрической и сопряженной с ней конической поверхностями. Такая форма полости труб позволяет в процессе разливки металла формировать в каждой из них струю технологически заданной конфигурации без нарушения сплош-

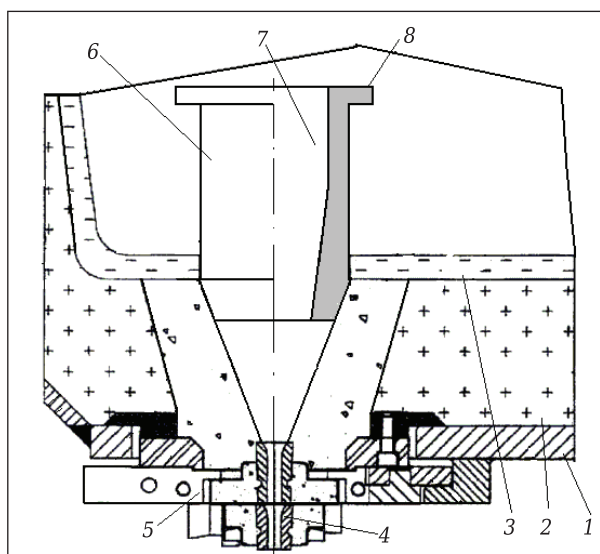


Рис. 5. Компоновка оборудования разливочного отверстия ковша: 1 — корпус; 2 — огнеупорная футеровка; 3 — дно; 4 — стаканы-дозаторы; 5 — шиберный затвор; 6 — труба; 7 — конусообразная полость; 8 — кольцевой выступ трубы

ности, а также обеспечивает осевую центровку струй металла в полости стаканов-дозаторов. Это предотвращает размыв футеровки, исключает возможность попадания частиц разрушенной футеровки в разливаемый металл, в результате чего качество металла повышается. Кроме того, модернизированная конструкция труб позволяет выполнить торец их нижнего конца площадью, достаточной для восприятия со стороны жидкого металла гидростатического давления, обеспечивающего всплытие труб при выходе разливки металла на установившийся режим.

Представленный ковш для непрерывной разливки металла работает следующим образом. Предварительно в конусообразной полости стаканов-дозаторов посредством оправки устанавливают трубы нижним концом. При этом форма выполнения сопрягаемых поверхностей и соответствие геометрических размеров конструктивных элементов позволяют не только обеспечить надежную фиксацию труб в стаканах-дозаторах, но и осуществить осевую центровку их полостей. После установки труб на внутреннюю поверхность корпуса ковша наносят слой огнеупорной футеровки, которым дополнительно фиксируют трубы, предотвращая возможность их преждевременного всплытия при последующей подаче в ковш жидкого металла. Затем в промежуточный ковш подают жидкий металл. Струи металла равномерно распределяются по объему ковша и при открытых шиберных затворах через полость труб и полость стаканов-дозаторов поступают в кристаллизатор МНЛЗ. При этом кольцевые выступы на трубах позволяют в начальный период разливки металла отсекать от него перемещающиеся на

поверхности придонных потоков неметаллические включения, предотвращая попадание их в кристаллизатор, что повышает качество разливаемого металла. Кроме того, надежная фиксация труб в стаканах-дозаторах, а также осевая центровка их полостей обеспечивают в процессе разливки формирование струи металла технологически заданной конфигурации без нарушения ее сплошности, исключая также боковые смещения струи в сторону футеровки стаканов-дозаторов. Это позволяет повысить качество разливаемого металла за счет исключения попадания в него частиц футеровки. По мере выхода процесса разливки на установившийся режим полость стаканов-дозаторов полностью заполняется металлом и под действием гидростатического давления жидкого металла на торец ниж-

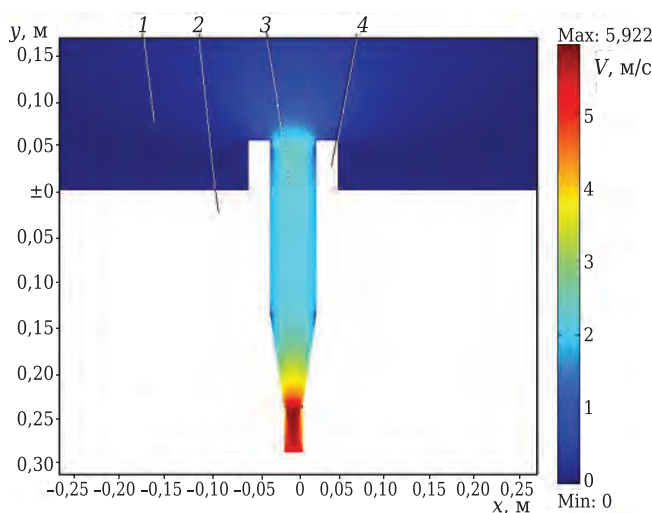


Рис. 6. Распределение скоростей потоков металла в полости модернизированного разливочного стакана: 1 — полость ПК со сталью; 2 — футеровка ПК; 3 — разливочное отверстие; 4 — стартовая труба. V — скорость, м/с; x — расстояние от оси разливочного отверстия (нулевое значение совпадает с осью разливочного отверстия), м; y — высота (нулевое значение — дно промежуточного ковша), м



Рис. 7. Установка стартовых труб в полости промежуточного ковша: 1 — ковш; 2 — боковая стенка ковша; 3 — стартовая труба

него конца труб они всплывают. После всплытия трубы попадают в покровный шлак, находящийся на поверхности металла. Далее жидкий металл разливают только через стаканы-дозаторы. Таким образом, представленная конструкция промежуточного ковша позволяет повысить качество разливаемого металла за счет уменьшения попадания в него неметаллических включений [13].

Было проведено математическое моделирование предложенных конструкций разливочного оборудования. Полученные поля скоростей в разливочном отверстии при использовании стартовой трубы показаны на рис. 6.

Разливка металла при использовании созданных комплектов огнеупорные изделия — стартовые трубы обеспечивает движение потоков металла в сторону разливочного отверстия из средней части ковша без вовлечения значительного числа неметаллических включений со дна ПК и с меньшей турбулентностью [14].

На основе полученных данных и по результатам моделирования изготовили новые модернизированные конструкции комплектов огнеупорные изделия — стартовые трубы и провели их испытания (рис. 7).

Комплекты были установлены в промежуточный ковш сортовой МНЛЗ. Использование созданного комплекта в производстве показало, что наряду с повышением стойкости футеровки всего комплекса оборудования разливочной камеры благодаря хорошей организации потоков металла было обеспечено повышение качества разливаемого металла.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Совершенствование и разработку технологии непрерывной разливки стали можно проводить путем модернизации элементов системы промежуточного ковша МНЛЗ, обеспечивающих подачу стали в кристаллизатор.

Представлена конструкция модернизированного комплекта оборудования разливочных отверстий ПК с рациональными конструкциями стартовых труб. Их использование позволяет повысить качество непрерывнолитых сортовых заготовок за счет уменьшения турбулентности потоков стали в разливочном отверстии и далее в кристаллизаторе.

Библиографический список

1. **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.
2. **Вдовин, К. Н.** Рафинирование стали в промежуточном ковше МНЛЗ : монография / К. Н. Вдовин, М. В. Семёнов, В. В. Точилкин. — Магнитогорск : МГТУ, 2006. — 118 с.

3. **Вдовин, К. Н.** Непрерывная разливка стали : монография / К. Н. Вдовин, В. В. Точилкин, И. М. Ячиков. — Магнитогорск : Изд-во Магнитогор. гос. техн. ун-та, 2012. — 540 с.

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.

Vdovin, K. N. New plastic refractory linings for protecting a metal stream during pouring into a CBCM / K. N. Vdovin, O. A. Marochkin, V. V. Tochilkin [et al.] // Refract. Ind. Ceram. — 2014. — Vol. 55, № 4. — P. 318–320.

5. **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 // Refract. Ind. Ceram. — 2016. — Vol. 57, № 1. — P. 6–8.

6. **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 // Refract. Ind. Ceram. — 2014. — Vol. 54, № 6. — P. 435–437.

7. **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 // Refract. Ind. Ceram. — 2016. — Vol. 56, № 6. — P. 569–573.

8. **Смирнов, А. Н.** Процессы непрерывной разливки : монография / А. Н. Смирнов, В. Л. Пилющенко, А. А. Минаев [и др.]. — Донецк : ДонНТУ, 2002. — 536 с.

9. Пат. на полезную модель 76836 Российская Федерация. Ковш промежуточный для непрерывной

разливки металла / Бутурлакин Д. Е., Вдовин К. Н., Точилкин В. В., Ведешкин Н. В., Прохоров С. В., Сидоров Е. В., Николаев О. А., Ушаков С. Н., Хоменко А. А. ; заявл. 25.05.08 ; опубл. 10.10.08, Бюл. № 28.

10. Пат. на полезную модель 80373 Российская Федерация. Ковш промежуточный для непрерывной разливки металла / Бутурлакин Д. Е., Вдовин К. Н., Точилкин В. В., Ведешкин Н. В., Прохоров С. В., Николаев О. А., Артюшин В. А., Чеусов И. С., Хоменко А. А. ; заявл. 01.09.08 ; опубл. 10.02.09, Бюл. № 4.

11. **Вдовин, К. Н.** Совершенствование конструкции огнеупоров разливочной камеры промежуточного ковша сортовой МНЛЗ / К. Н. Вдовин, В. В. Точилкин, О. А. Филатова // Новые огнеупоры. — 2015. — № 9. — С. 3–7.

Vdovin, K. N. Redesign of refractories for the pouring chamber of the tundish of a continuous section caster / K. N. Vdovin, V. V. Tochilkin, O. A. Filatova // Refract. Ind. Ceram. — 2016. — Vol. 56, № 5. — P. 439–445.

12. Пат. на полезную модель 51920 Российская Федерация. Промежуточный ковш для непрерывной разливки металла / Тахавтдинов Р. Ф., Вдовин К. Н., Корнеев В. М., Осипов В. А., Точилкин В. В., Ушаков С. Н. ; заявл. 10.10.06 ; опубл. 10.03.06, Бюл. № 7.

13. **Вдовин, К. Н.** Совершенствование процесса разливки стали на сортовых МНЛЗ / К. Н. Вдовин, О. А. Марочкин, В. В. Точилкин // Металлург. — 2014. — № 4. — С. 80–82.

Vdovin, K. N. Improvement of steel pouring in section CBCM / K. N. Vdovin, O. A. Marochkin, V. V. Tochilkin // Metallurgist. — 2014. — Vol. 58, № 3/4. — P. 306–309.

14. **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.

Vdovin, K. N. 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 // Refract. Ind. Ceram. — 2016. — Vol. 57, № 3. — P. 221–223. ■

Получено 16.02.2017

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

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

FEMS 30
FEDERATION OF EUROPEAN MATERIALS SOCIETIES
1987–2017
www.fems.org

EUROMAT 2017
ЕВРОПЕЙСКИЙ КОНГРЕСС И ВЫСТАВКА
ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

17–22 сентября 2017 г.
г. Солоники, Греция

EUROMAT 2017

www.euromat2017.fems.eu