

## СНИЖЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ ИНЕРЦИОННОСТИ ФУТЕРОВКИ ПОДИНЫ ПЕЧЕЙ КАК СРЕДСТВО СОКРАЩЕНИЯ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ МЕТАЛЛА

*Предложено несколько концептуальных компоновок огнеупорных материалов в камерных печах, заключающихся в размещении легковесных и низкоинерционных огнеупорных материалов на подине печи с целью снижения аккумуляции тепла плотными огнеупорами. Основными предлагаемыми вариантами являются: продольные подставки под заготовки круглого сечения, поперечные подставки под массивные заготовки различных сечений и диаметров, легковесные бетонные блочные подставки, а также использование керамоволокнистых матов и блоков совместно с бетонными подставками.*

**Ключевые слова:** *керамоволокнистые огнеупоры, легковесные бетонные блоки, температурное состояние, охлаждение металла, скорость охлаждения.*

### Постановка проблемы

В последние годы по причине роста цен на энергетические ресурсы наблюдается интерес к повышению эффективности использования энергии топлива, а значит и к снижению его затрат. В стремлении к снижению энергозатрат все машиностроительные и металлургические предприятия переходят от использования плотных огнеупорных в качестве материала футеровки печей к низкоинерционным, с теплотехнической точки зрения, керамоволокнистым материалам. При производстве стальных изделий ответственного назначения обязательным этапом производства является термическая обработка. На данном этапе возможно управление свойствами и качеством металла в широком диапазоне путем выбора различных режимов термообработки. При этом важными параметрами, в конечном итоге существенно влияющими на свойства металла, являются темпы нагрева и охлаждения. Первый параметр задается путем регулирования мощности газогорелочных устройств и может быть установлен с большой точностью для каждой садки печи отдельно. Второй параметр напрямую зависит от типа применяемой футеровки, так как тепло аккумулируется как в металле, так и в материале футеровки, и в случае применения плотных огнеупоров реализация технологии воздушного охлаждения в печи становится нецелесообразной. Поэтому производители металлопродукции стремятся расширить применение керамоволокнистых материалов в качестве футеровки печей, однако некоторые поверхности, прежде всего подина печей, в общем случае не могут быть футерованы при помощи керамоволокна стандартными подходами.

### Анализ последних исследований и публикаций

Специалистами предприятия ООО «Морган Термал Керамикс Сухой Лог» Михалевым К.М. и Есауловым С.В. проделан сравнительный теплотехнический расчет использования керамоволокна и сделан вывод о том, что при переходе от традиционной футеровки к волокнистой футеровке будет получено снижение потерь тепла при нагреве футеровки до 14,5 раза и до 2,5 раза уменьшение потерь тепла через футеровку. Это позволило говорить о возможном уменьшении расхода газа. Фактическая экономия газа при частичном переходе печи на волокнистую футеровку составила 12 % [1].

В работе [2] авторами также показано, что использование муллитокремнеземистых волокон (огнеупорные модульные блоки, плиты, войлок и т.д.) позволяет снизить потери тепла за счет аккумуляции на 20-40 %, а также сократить массу футеровки стен и свода на 15-20 %.

Ниже, на рис. 1, представлена общепринятая последовательность футеровки керамоволокнистым материалом стационарной печи с подъемной дверью. Таким образом, традиционно керамоволокном покрывают стены и свод, а футеровка подины печи этим материалом не предусматривается. В свою очередь, это увеличивает тепловую инерционность печи при разогреве и охлаждении, так как подина печи изготовлена из плотных огнеупоров. Для сокращения длительности данных режимов целесообразным является размещение керамоволокна на подине печи.

В некоторых случаях корпус подины изготавливается из стальных профилей, которые

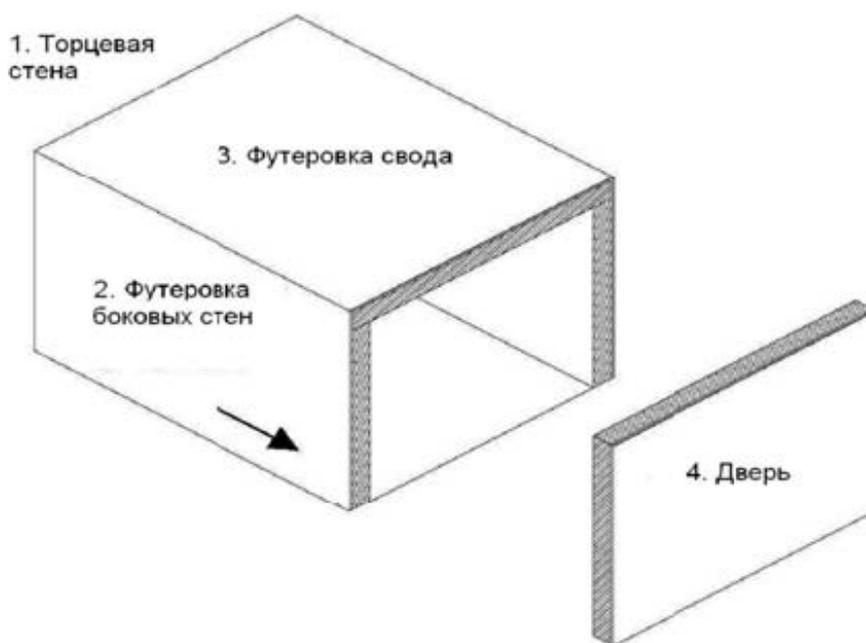


Рис. 1. Последовательность футеровки камерной печи

покрыты листовым металлом и затем футерованы [3]. Части, подвергающиеся воздействию высоких температур, изготовлены из отливок жаропрочного сплава. Корпус подины печи также покрашен термостойкой краской. Под помещен на колеса соответствующей грузоподъемности. В печи футеруются внутренняя поверхность печи, за исключением пода, двери, дымоотводящих каналов.

В работе [4] при помощи разработанной авторами математической модели исследовано влияние параметров футеровки на длительность воздушного охлаждения. Сравниваются две наиболее используемые и концептуальная компоновки футеровки:

- использование полностью плотных огнеупоров толщиной 1 метр;
- использование плотных материалов на подине и керамоволокнистых на стенах и своде;
- использование керамоволокна толщиной 0,2 м на всех внутренних поверхностях печи (концептуальная компоновка).

Исследовано охлаждение четырех стальных цилиндрических заготовок диаметром 1 м и длиной 6 м, охлаждаемых в камерной печи. Результаты исследования представлены на рис. 2. Из рисунка видно, что использование керамоволокна на подине печи взамен плотного огнеупора существенно снижает требуемое время охлаждения на 10-22 % в зависимости от расхода воздуха. Но широкого применения такое размещение футеровки пока не получило из-за ряда причин.

Использование керамоволокна в качестве футеровки подины печи является концептуальным на сегодняшний день и вызывает ряд слож-

ностей: с одной стороны, к подине предъявляется ряд требований, среди которых способность выдержать массу обрабатываемых заготовок, с другой – изготовление подины исключительно из плотного огнеупора не позволяет снизить тепловую инерционность при различных тепловых процессах и тем самым уменьшить длительность технологических операций. Вследствие своих прочностных характеристик керамоволокнистые материалы не способны выдерживать механические нагрузки от охлаждаемых заготовок, потому в настоящее время подину печей продолжают изготавливать и футеровать плотными огнеупорами.

Процесс нагрева металла в окислительной атмосфере неизбежно связан с появлением окалины на поверхности заготовок. При нагреве и выгрузке металла из печи окалина попадает на подину, и в случае размещения керамоволокна на подине печи возникает необходимость разработки рационального способа удаления окалины с поверхности огнеупора без нарушения целостности покрытия.

### Цель (задачи) исследования

Целью данной работы является создание концептуальной футеровки подины камерной печи, обладающей существенно меньшей тепловой инерционностью, чем подина из плотного материала.

### Основной материал исследования

Авторами предлагаются несколько вариантов реализации подставок для металла, в основе которых лежит использование бетонных конструк-

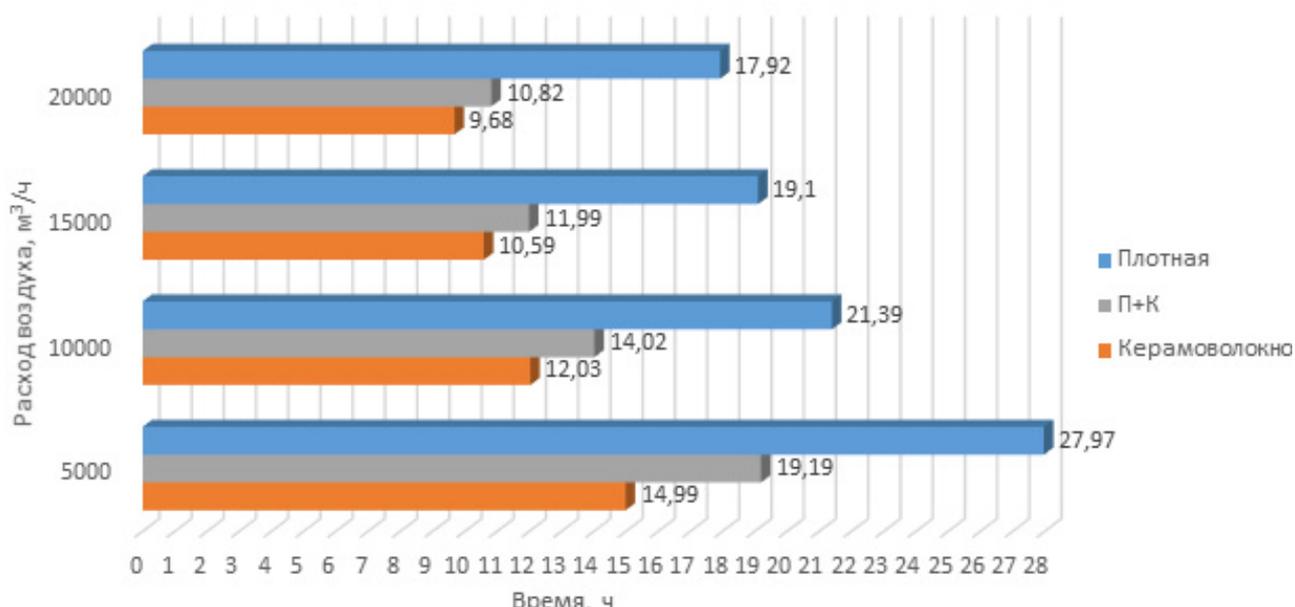


Рис. 2. Сравнение влияния параметров футеровки на длительность воздушного охлаждения металла в камерной печи

ций для опоры металла и покрытие оставшейся части подины керамоволокнистым материалом.

Так как рассматривается процесс производства крупных заготовок ответственного назначения, использующихся для изготовления роторов турбин и прокатных валков, в данной работе будет представлено размещение круглых заготовок в камерной печи.

Так, например, круглые заготовки могут быть размещены на бетонной подкладке следующим образом (рис. 3). С целью предотвращения скатывания металлических заготовок предусмотрены борта. Следует также отметить, что на поверхности подставки предусмотрен уклон в центр, с целью удержания заготовки в фиксированном положении. В противном случае, если верхнюю часть подставки изготовить плоской, то заготовка может скатиться к краю подставки и борта будут выступать в роли концентраторов напряжения, что вызовет их быстрое разрушение с последующим сваливанием заготовки на подину печи.

На виде сверху проекция данной подставки представляет собой прямоугольник. При охлаждении заготовок с небольшим диаметром в печи могут быть размещены несколько охлаждаемых тел, расположенных параллельно друг другу. Пример размещения трех заготовок в печи представлен на рис. 4.

В случае охлаждения крупной заготовки могут быть использованы варианты размещения трех опорных подставок: в центре и по краям заготовки, остальное же пространство подины заполняется керамоволокнистым материалом. В таком случае вид сверху на подставки будет ана-

логичен рис. 4, но массивная заготовка будет располагаться на всех трех блоках одновременно. Оставшееся пространство заполняется керамоволокном, как показано на рис. 5.

Вместе с тем, проблема снижения тепловой инерционности подины печи может быть частично решена даже при отсутствии керамоволокнистого материала за счет покрытия всей площади подины легковесными блоками.

Для решения проблемы удаления окалины с поверхности керамоволокна на подине предлагается разработка специальных скребковых уст-

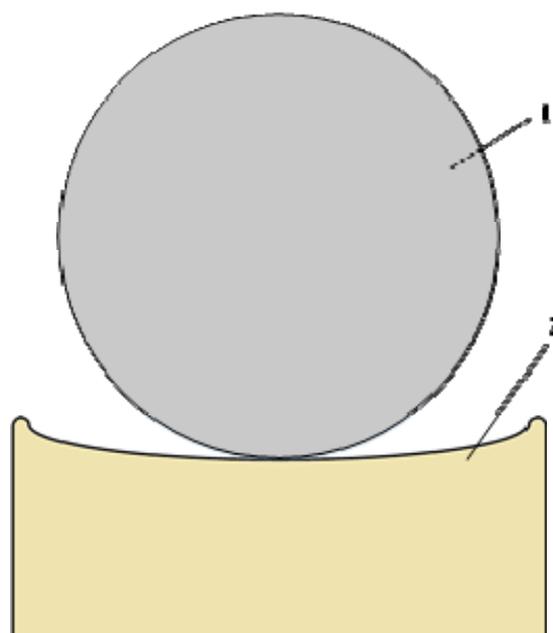


Рис. 3. Вариант способа размещения заготовки на подставке:

1 – металлическая заготовка; 2 – подставка

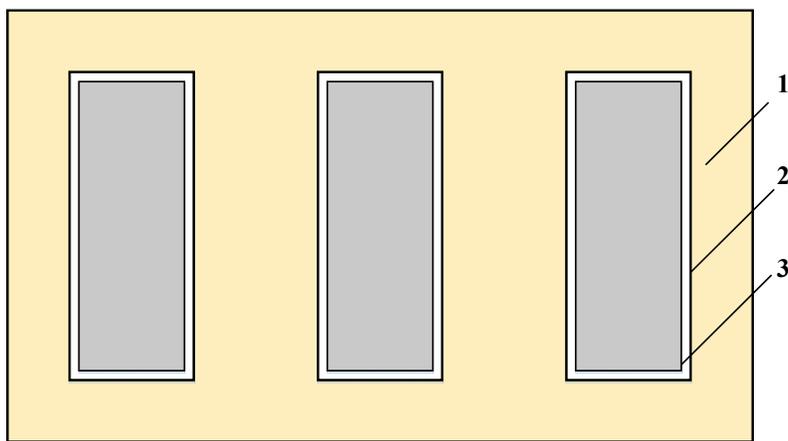


Рис. 4. Подставки и охлаждаемые заготовки (вид сверху):

1 – подина печи, покрытая керамоволокном; 2 – бетонная подставка; 3 – охлаждаемая заготовка

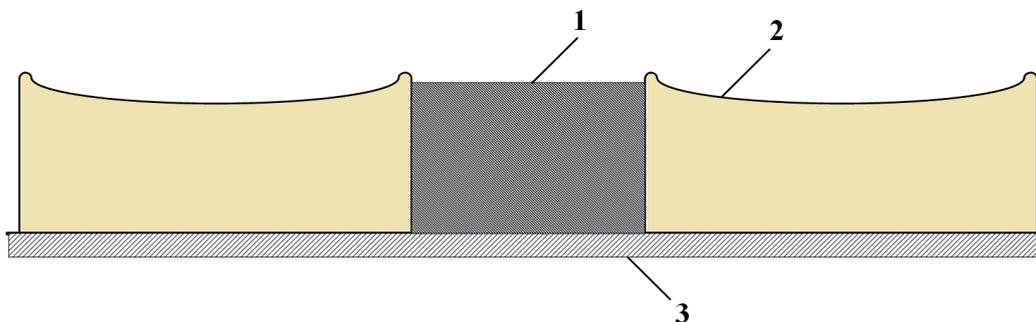


Рис. 5. Способ размещения керамоволокна и легковесных блочных подставок на подине:

1 – керамоволокно между подставками; 2 – подставки для заготовок; 3 – подина печи

ройств, позволяющих удалять окалину с поверхности огнеупора. Для решения данной проблемы может быть применено керамоволокно в виде формованных модулей типа kerablock [5], которые упрощают процесс удаления окалины и других материалов с поверхности изделия вследствие более плотной упаковки при сохранении низкой плотности. Для крепления блоков применяют жаростойкие и жаропрочные байонетные болты или болты с резьбой, которые монтируют на поверхности в соответствии с определенной схемой. Один из вариантов укладки и фиксации керамоволокнистых блоков на подине

печи, заполняющих пространство между плотными или облегченными блоками, представлен на рис. 7.

Для снижения массы каждого бетонного элемента конструкции рекомендуется на стадии изготовления выполнять в массиве бетона круглые отверстия в шахматном порядке. Малый диаметр отверстий не позволит развиваться конвекции внутри, в то время как снижение массы может быть существенным. Размер и количество отверстий регламентируется требованиями к прочности подкладок. Сборка из трех блоков представлена на рис. 6.

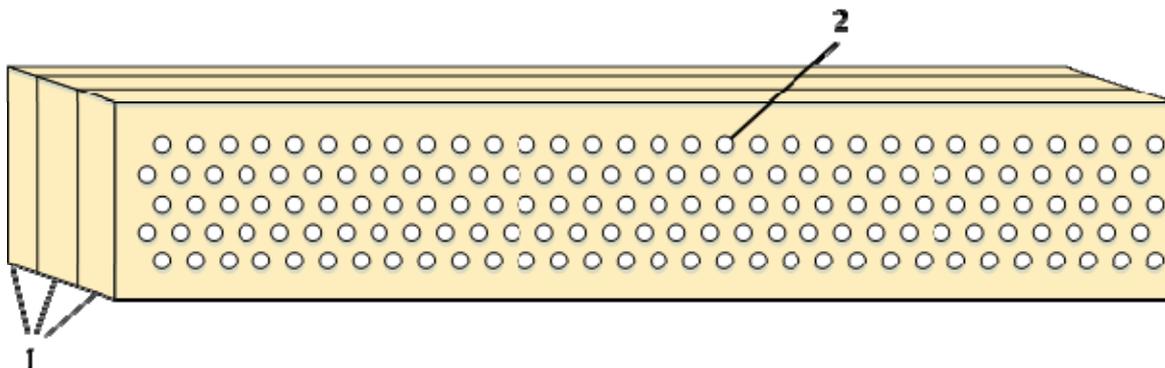


Рис. 6. Вариант изготовления подставки:

1 – сборка бетонных блоков; 2 – пустые отверстия

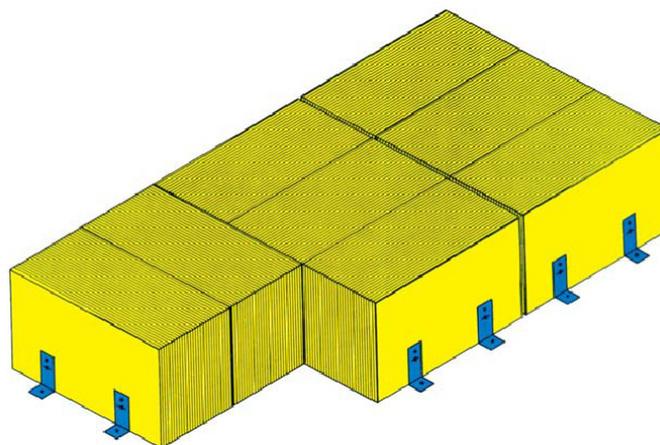


Рис. 7. Способ укладки и фиксации модульных керамоволокнистых блоков на подине печи

Такой вариант укладки позволяет исключить взаимодействие крепежных элементов с потоком продуктов сгорания в камере печи, а также создает практически монолитную конструкцию для предотвращения попадания окалины между блоками и на плотную часть подины. Для исследования влияния параметров теплоизоляционного и огнеупорного материала на длительность воздушного охлаждения металла в камерной печи может быть использована работа [6], в которой представлены основы создания математической модели, учитывающей особенности футеровки при воздушном охлаждении металла.

При математическом моделировании тепловой обработки металла в камерной печи с применением комбинированной футеровки подины наиболее сложным и важным является задание граничных условий с учетом футеровки [7], изготовленной из различных материалов. Для решения задач сложного теплообмена потребуется применение зональных методов [8], суть которых заключается в разбиении пространства камерной печи на участки, называемые зонами, и решении задачи для каждой зоны.

### Выводы

В настоящее время лишь на некоторых предприятиях осуществляют попытки размещения керамоволокнистых блоков на подине. Наибольшие трудности связаны с изготовлением подставок подходящей формы, а также с большой вероятностью повреждения волокна, заполняющего пространство между подставками.

Основная идея всех предлагаемых в работе вариантов заключается в снижении присутствия плотной составляющей на подине печи, при обеспечении достаточной прочности. Такой подход позволяет перейти к использованию керамоволокна в качестве дополнительного материала поверхностной футеровки подины, что в свою очередь позволит снизить тепловую инерцион-

ность печи и, соответственно, время выхода печи на режимную температуру. В работе представлены следующие варианты реализации концептуальной футеровки: продольные и поперечные подставки под металлические заготовки; подставки из легковесных бетонных блоков; размещение керамоволокна на подине печи для снижения тепловой инерционности, а также для облегчения удаления окалины. Предлагаемые способы реализации легковесных огнеупоров позволяют сокращать длительность воздушного охлаждения на 10-22 % в зависимости от расхода воздуха, а также удалять окалину с подины печи без повреждения поверхностного слоя огнеупора.

### Список литературы

1. Качество керамоволокна и футеровок на его основе – ООО «Морган Термал Керамикс Сухой Лог» [Эл. рес.]. – Режим доступа: <http://lityo.com.ua/статья/873-качество-керамоволокна-и-футеровок-на-его-основе> (дата обращения: 08.09.2016).
2. Мазур В.Л. Производственный опыт теплоизоляции высокотемпературных агрегатов в металлургии / В.Л Мазур, В.А. Рябов, В.В. Мазур // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2009. – №3. – С. 131-134.
3. Печи с выкатным подом, термические камерные печи [Эл. рес.]. – Режим доступа: <http://infomundus.com/ru/termicheskaya-obrabotka/pechi-s-vykatnym-podom.html> (дата обращения: 08.09.2016).
4. Гнитиев П.А. Исследование влияния типа футеровки на продолжительность воздушного охлаждения металла в камерных печах / П.А. Гнитиев, А.Б. Бирюков // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2016. – Т.59, №11. – С. 759-763.
5. Модульные блоки KERABLOK: [Эл. рес.]. – Режим доступа: <http://www.keratech-cz.ru/i>

- ilodi-i-l-ernl-cre/c-ie-ociii-l-ernl-cre/eiaoeui-l-aeiec-kerablok (дата обращения: 08.09.2016).
6. Biryukov A.B. Mathematical model for studying of metal air-cooling process in furnaces / A.B. Biryukov, A.I. Voloshin, P.A. Gnitiev // Steel in Translation. – 2015. – Vol.45, Issue 7. – P. 534-538.
  7. Heat and mass transfer. Workbook / S.I. Ginkul, [et al.]. – Donetsk: Nord-Press, 2006. – 291 p.
  8. Арутюнов В.А. Математическое моделирование тепловой работы промышленных печей / В.А. Арутюнов, В.В. Бухмиров, С.А. Крупенников. – М.: Metallurgia, 1990. – 239 с.

**P.A. Gnitiev /Cand. Sci. (Eng.)/**  
 Donetsk National Technical University (Donetsk)

**REDUCING THE THERMAL INERTIA OF THE FURNACE BOTTOM LINING AS A MEANS OF REDUCING THE DURATION OF AIR COOLING OF METAL**

**Background.** A mandatory step in the production of large steel products is a heat treatment process often performed in heat treatment chamber furnaces. In the quest to reduce consumption of energy resources engineering enterprises are moving towards the use of low inertia insulation material – ceramic fiber. Also, the actual problem is the descaling of the furnace bottom made of fibrous materials.

**Materials and/or methods.** In the paper, the analysis of the types and configurations of lining in modern heat treatment chamber furnaces performed. Noted that linings in modern chamber furnaces are not covered with light refractories, and the furnace bottom, as a result, accumulates a significant amount of heat. The authors of the paper propose the use of longitudinal and transverse supports under the metal billets, supports made of lightweight concrete blocks, and the use of ceramic fiber on the furnace bottom to reduce the thermal inertia and to facilitate the descaling.

**Results.** The proposed ways of reducing heat accumulation enable reducing the time of air cooling in the furnace at a 10-22 % depending on air flow. The ways of descaling of ceramic fiber bottom with preserving the integrity of the coating proposed.

**Conclusion.** The proposed ways of placing metal billets on the furnace bottom with the use of lightweight refractories will reduce energy consumption for air cooling.

**Keywords:** ceramic fiber refractories, lightweight concrete blocks, temperature state, cooling metal, cooling rate.

**Сведения об авторе**

**П.А. Гнитиев**

SPIN-код: 1943-4196  
 AuthorID: 56916104300  
 Orcid ID: 0000-0001-9266-7969  
 Телефон: +380 (66) 671-34-71  
 Эл. почта: gnitiev.pavel@gmail.com

Статья поступила 28.11.2016 г.

© П.А. Гнитиев, 2016

Рецензент д.т.н., доц. Н.И. Захаров



Видеожурнал **“ДОНЕЦКИЙ ПОЛИТЕХНИК”**  
 смотрите каждую субботу  
 на телеканале **ОПЛОТ 2**  
 YouTube <https://goo.gl/d2kKr0>