

ЛІТЕРАТУРА

1. Самарець Ю. Локальні геоінформаційні системи. / Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій: Зб. наук. пр. / Наук. ред. О.П. Приставка. – Д.: Вид-во ДНУ, 2003. – Т.7 – С. 107.
2. Приставка П.О., Самарець Ю.В. Програмне забезпечення проведення картографічного моніторингу / Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій. – 2002. –Т.6. –С. 33-40.
3. Приставка П.О., Самарець Ю.В. Картографічний моніторинг ґрунтових вод в автоматизованій системі «ThreeD» / Науковий вісник НГУ. –Д.: НГУ. – 2003. –№9. –С.75-79.
4. Приставка П.О. Поліноміальні сплайни при обробці даних: Монографія. –Д.: Вид-во ДНУ, 2004. – 236 с.
5. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий, ОНД-86. – М.: Гидрометеозидат, 1987. – 93 с.
6. Web-сайт Soft Fund Ltd. //Ел. ресурс. URL: <http://www.sfund.kiev.ua>
7. Web-сайт предприятия «ЛиДа инж.». //Ел. ресурс. URL: <http://ecolida.ru/>

пост. 02.04.07.

Усовершенствование конструкции шиберных устройств на основе математического моделирования их теплового режима

И.И. ЖУЛЬКОВСКАЯ, А.Д. КУЛИК, О.А. ЖУЛЬКОВСКИЙ

Днепродзержинский государственный технический университет

Методом математического моделирования исследованы закономерности теплопереноса и получено пространственное распределение температур в корпусе, огнеупорных плитах и стакане-коллекторе ковшового шиберного затвора при различных способах разливки стали в слитки и на машинах непрерывного литья заготовок. На основе анализа результатов математического моделирования разработана новая, рациональная конструкция ковшового шиберного затвора, оборудованная малогабаритными огнеупорными плитами. Проведено опытно-промышленное опробование и доказана экономическая целесообразность и технологическая возможность ее широкого использования.

Чисельно досліджено закономірності теплопереносу та отримано просторовий розподіл температур у корпусі, вогнетривких плитах і стакані-колекторі ковшового шиберного затвора при різних способах розливки сталі у зливки і на машинах безперервного лиття заготовок. На основі аналізу результатів математичного моделювання розроблено нову, раціональну конструкцію шиберного затвора з малогабаритними вогнетривкими плитами. Проведено дослідно-промислове випробування і доведено економічну доцільність та технологічну можливість її широкого застосування.

The appropriateness of heat transfer have been numerically investigated and spatial distribution of temperature in a frame, refractory plates and nozzle-collector of ladle gate lock under different methods of steel casting into ingots and in machines of continuous stock casting has been obtained. On the base mathematical modeling results analysis a new rational design of gate lock with small-sized refractory plates has been developed. Research and industrial testing has been conducted and economical expediency and technological potentialities of its wide employment has been proved.

Объективным следствием несовершенной концепции современного развития черной металлургии Украины является самый высокий удельный уровень потребления сырья, огнеупоров, топлива и энергии. Эти показатели на 20–30% выше соответствующих показателей в развитых странах – на тонну украинского металла тратится в 1,5–1,8 раз больше энергии, чем на аналогичную продукцию в странах Западной Европы или Японии [1].

Для повышения конкурентоспособности отечественной металлургии требуется радикальная и неотложная реконструкция отрасли в целом и ее завершающего этапа – разливки стали – в частности. Главным образом следует отметить актуальность проблемы дальнейшего совершенствования оборудования для разливки стали путем повышения надежности и эффективности работы ковшовых затворов и стойкости при-

меняемых шиберных огнеупоров [2].

Универсальным показателем эффективности бесстопорной технологии разливки является удельный расход огнеупорных плит. Так, например, для 250-т ковшей конвертерного цеха ОАО «Днепропетровский металлургический комбинат» (ДМК) удельный расход шиберных огнеупоров составляет 0,1 кг/т готовой продукции, что превышает средние мировые показатели (0,03–0,05 кг/т) в 2–3 раза.

Проведенный анализ промышленной эксплуатации шиберных устройств, а также накопленный опыт работы отечественных и зарубежных металлургических предприятий по бесстопорной технологии разливки [3, 4], позволил сделать следующие выводы:

– сталеплавильные цехи металлургических предприятий эксплуатируют дорогостоящие и устаревшие в моральном отношении массивные ковшовые затворы с

крупногабаритными огнеупорными плитами с многократным запасом прочности;

– надежность используемых затворов определяется тепловым режимом, составом (теплофизическими и физико-химическими свойствами) и качеством (физико-механическими свойствами) огнеупоров, используемых для изготовления шиберных плит, и не всегда отвечает требованиям технологии разливки стали;

– габариты используемых шиберных плит значительно превышают геометрические параметры зон износа шиберных огнеупоров в процессе разливки.

Исходя из вышесказанного, выработаны следующие направления проведения исследований:

– снижение тепловой нагрузки огнеупорных плит затвора за счет увеличения их теплопроводности;

– уменьшение габаритных размеров огнеупорных шиберных плит.

Для реализации указанных направлений усовершенствования бесстопорной технологии разливки предложено использовать в шиберных системах новые металлоогнеупорные плиты. Такая плита представляет собой огнеупорный сердечник (вкладыш), обрамленный металлической (стальной) кассетой.

Таким образом, с одной стороны решается проблема снижения тепловой нагрузки огнеупоров шиберного затвора, т.к. теплопроводность стали в 7–8 раз пре-

вышает теплопроводность магнезиального огнеупора, а с другой – решается вопрос экономии дорогостоящих огнеупорных изделий за счет уменьшения их габаритных размеров (массы).

Доказательство правомерности выдвинутой идеи требует проведения трудноосуществимых и материально необоснованных лабораторных и опытно-промышленных экспериментов, что предопределило [5] выбор математического моделирования как метода исследований в данной работе.

Для проведения вычислительного экспериментирования использована математическая модель теплового режима шиберного затвора [6], унифицированная для различных технологических условий разливки стали через опытный (гипотетический) затвор в конвертерном цехе ДМК. В [6] было доказано, что как сама математическая модель, так и полученные с ее помощью результаты могут быть использованы при разработке новых и модернизации действующих ковшовых шиберных устройств, а также при исследовании температурного режима эксплуатации внедряемых затворов и современных технологий непрерывной разливки стали с их использованием.

Конструктивные размеры, т.е. расчетная область температур опытного шиберного затвора, представлены на рис. 1.

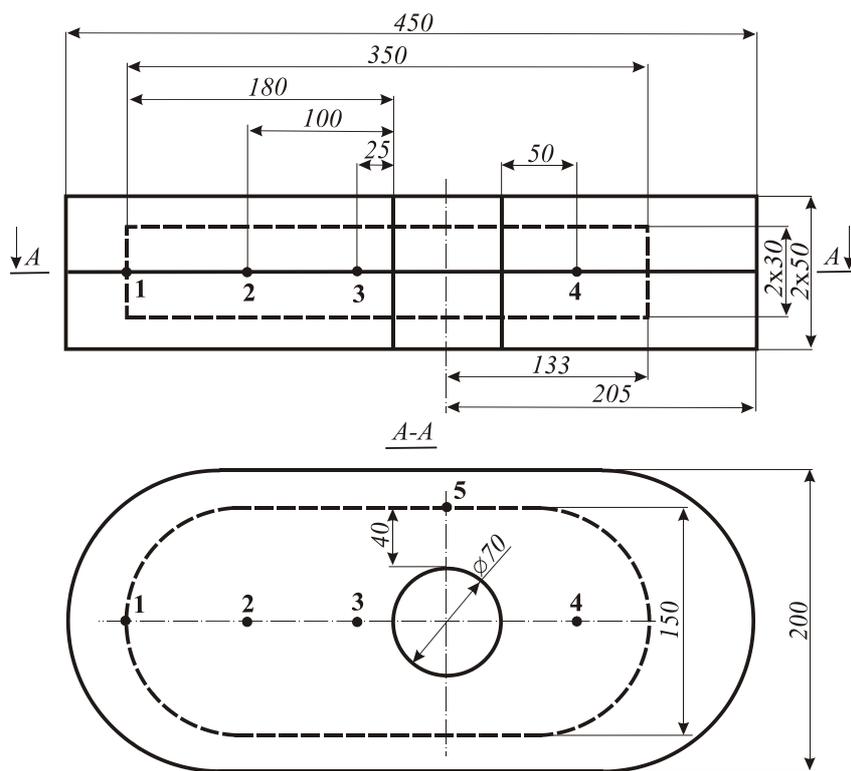


Рис. 1. Схема штатных (сплошные линии) и опытных (пунктир) огнеупорных плит шиберного затвора и точки контроля температуры по ходу операции разливки стали

Таким образом, габаритные размеры предлагаемых металлоогнеупорных плит полностью соответствуют габаритным размерам штатных плит №10А, а размеры огнеупорного вкладыша сопоставимы с соответствующими размерами периклазового вкладыша ука-

занных плит (для надежности опытной системы высота вкладыша была увеличена с 20 до 30 мм). Итак, опытные металлоогнеупорные плиты абсолютно совместимы со штатными и могут монтироваться в шиберный затвор без существенных конструктивных его изменений.

Используемая математическая модель полностью удовлетворяет требованиям поставленной задачи с внесением коррективов лишь в описание теплофизических характеристик (плотность, теплопроводность и теплоемкость) расчетной области.

Дополнительно проведено численное моделирование теплового режима затвора при условиях внешнего охлаждения конструкции сжатым воздухом с общим расходом 150 м³/час через два цилиндрических сопла диаметром 10 мм, размещенных таким образом, что потоки воздуха омывают боковые поверхности (длинные стороны) устройства.

При обдуве шибберного затвора сжатым воздухом средняя по поверхности теплоотдача рассчитывается для турбулентного пограничного слоя по формуле [7]:

$$Nu = 0,037 \psi Re^{0,8} Pr^{0,43}, \quad (1)$$

где ψ – поправка на переменность теплофизических свойств, учитывающая влияние эффектов, характерных для течения быстродвижущегося газа.

Значение поправки ψ может быть рассчитано по формуле [8]:

$$\psi = \left(1 + \frac{k-1}{2} M^2\right)^{-0,38}, \quad (2)$$

где k – показатель степени адиабаты (при $T_0=273K$ для воздуха $k=1,4$); M – число Маха.

При этом в уравнениях, задающих граничные условия теплообмена на рассматриваемых поверхностях устройства, в качестве температуры набегающего потока принимается адиабатная (равновесная) температура поверхности, учитывающая фактор интенсивности диссипации энергии движения при высоких ($M>0,3$) скоростях и сжимаемость газа [7–9]:

$$T_{с.а} = T_r \left(1 + r \frac{k-1}{2} M^2\right), \quad (3)$$

где T_r – средняя температура воздуха в потоке; r – коэффициент восстановления температуры (при продольном обтекании корпуса плит затвора $r = \sqrt[3]{Pr} = 0,9$; при поперечном обдуве стакана-коллектора $r=0,92$).

При расчете вынужденной конвекции в качестве определяющих размеров принимаются продольный размер шибберного затвора и наружный диаметр стакана-коллектора. Значения физических свойств воздуха выбираются при температуре набегающего потока.

Расчет скорости истечения газа из сопла (насадка) при высоком давлении ведется по формуле [10]:

$$V_r = \lambda \sqrt{\frac{2k}{k+1} R T_*}, \quad (4)$$

где λ – коэффициент скорости; T_* – температура торможения газа; R – газовая постоянная (для воздуха $R = 288$ Дж/кг·К).

При известном давлении газа P_0 коэффициент скорости вычисляется по формуле:

$$\lambda = \sqrt{\frac{k+1}{k-1} \left[1 - \left(\frac{P_{окр}}{P_0}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right]}, \quad (5)$$

где $P_{окр}$ – давление окружающей среды.

Для определения действительной скорости истечения газа необходимо ввести поправку на трение – коэффициент скорости φ , принимающий значения в

зависимости от типа насадки и равный 0,53–1,50 (обычно $\varphi=0,96-0,97$). При определении действительного расхода необходимо ввести в соответствующую формулу коэффициент сжатия струи ε , также определяемый типом насадки и равный 0,64–1,0 (обычно $\varepsilon \approx 1$) [11].

Итак, коэффициент расхода определяется по формуле [12]

$$\mu = \varphi \cdot \varepsilon = 0,87 - 0,25 \frac{P_{окр}}{P_0} \quad (6)$$

и принимает значения от 0,62 до 0,87.

Для более полного представления о тепловом режиме плит опытного затвора исследована динамика изменения температуры в контрольных точках устройства (см. рис. 1) и сопоставление полученных значений с результатами расчета для затвора штатной конструкции при аналогичных условиях разливки стали в слитки и на МНЛЗ.

Как показывают полученные результаты математического моделирования (рис. 2.1–2.3), опытный затвор, использующий малогабаритные огнеупорные плиты, практически на протяжении всего времени операции разливки работает в более «комфортных» термических условиях в сравнении с затвором штатной конструкции.

В начале разливки, в течение примерно 20 минут времени операции, динамика изменения температуры внутренних участков огнеупорных плит опытного затвора практически аналогична изменению температуры в идентичных зонах затвора штатной конструкции (см. рис. 2.1–2.3, поз. 2, 3 и 4).

В дальнейшем, по ходу операции, динамика изменения температуры рассматриваемых участков огнеупоров опытного и штатного затворов носит равномерный и подобный характер, о чем свидетельствует параллельность кривых нагрева. При этом опытный затвор характеризуется относительно более низкими температурами (местами до 50⁰С) внутренних зон огнеупорных плит.

Отдельного рассмотрения заслуживает тепловой режим граничных участков шибберных огнеупоров (см. рис. 2.1–2.3, поз. 1 и 5). Более высокая интенсивность теплоотвода через обрамляющую огнеупоры металлическую кассету в поперечном направлении обуславливает существенное (140–150⁰С) относительное снижение температуры в граничных с кассетой участках опытных огнеупорных плит (см. рис. 2.1–2.3, поз. 5). В то же время, граничные участки опытных плит (с длинной стороны), соприкасающиеся со стальной кассетой (здесь ее толщина незначительна) в продольном направлении теплоотвода имеют несколько более высокую (на 20–25⁰С) относительную температуру (см. рис. 2.1–2.3, поз. 1).

При внешнем охлаждении конструкции путем обдува сжатым воздухом обеспечивается существенное (местами до 200–300⁰С) снижение температур по всему сечению как опытных, так и штатных шибберных огнеупорных плит (см. рис. 2.1–2.3).

Как показывает анализ проведенных численных исследований, использование огнеупорных шибберных плит, обрамленных более высокотеплопроводной стальной кассетой (металлоогнеупорных плит), обеспечивает снижение тепловой нагрузки используемых огнеупорных элементов (вкладышей) за счет увеличения интенсивности теплоотвода на границе стыковки металлической и огнеупорной составляющих конструкции.

Таким образом, результаты математического моделирования подтверждают выдвинутое предположение

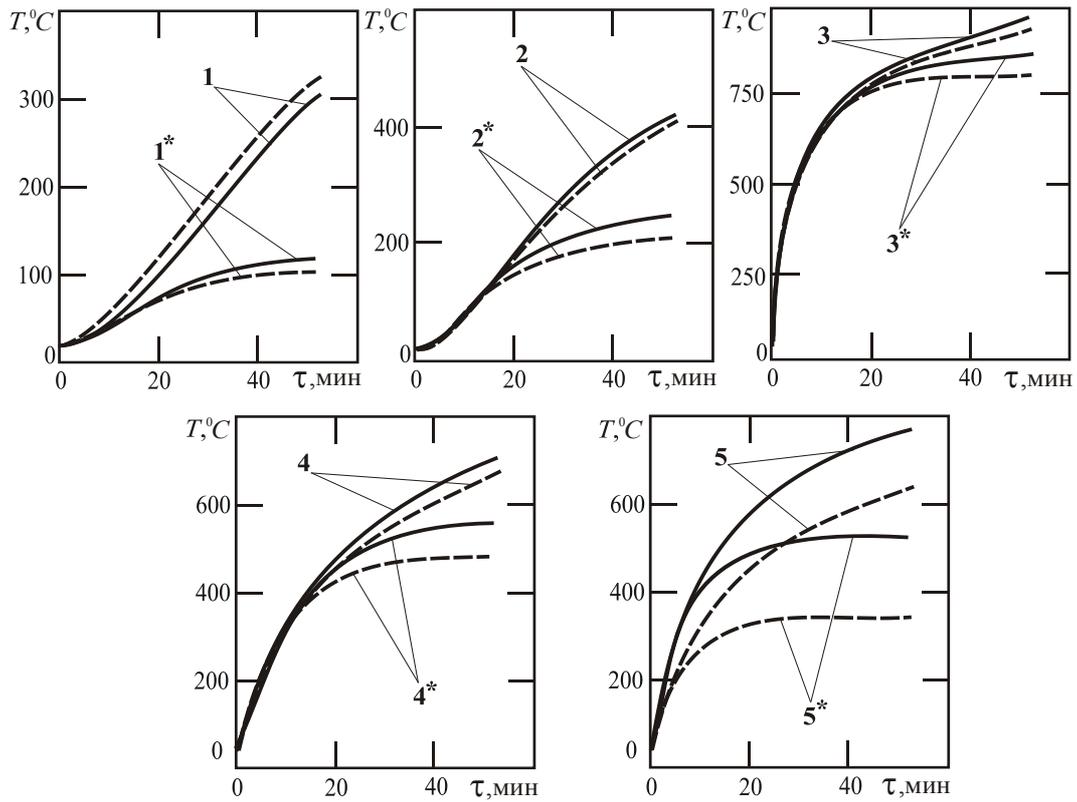


Рис. 2.1. Динамика изменения температуры в контрольных точках штатного (сплошные линии) и опытного (пунктир) загвора по ходу операции верхней разливки стали (* – варианты с охлаждением)

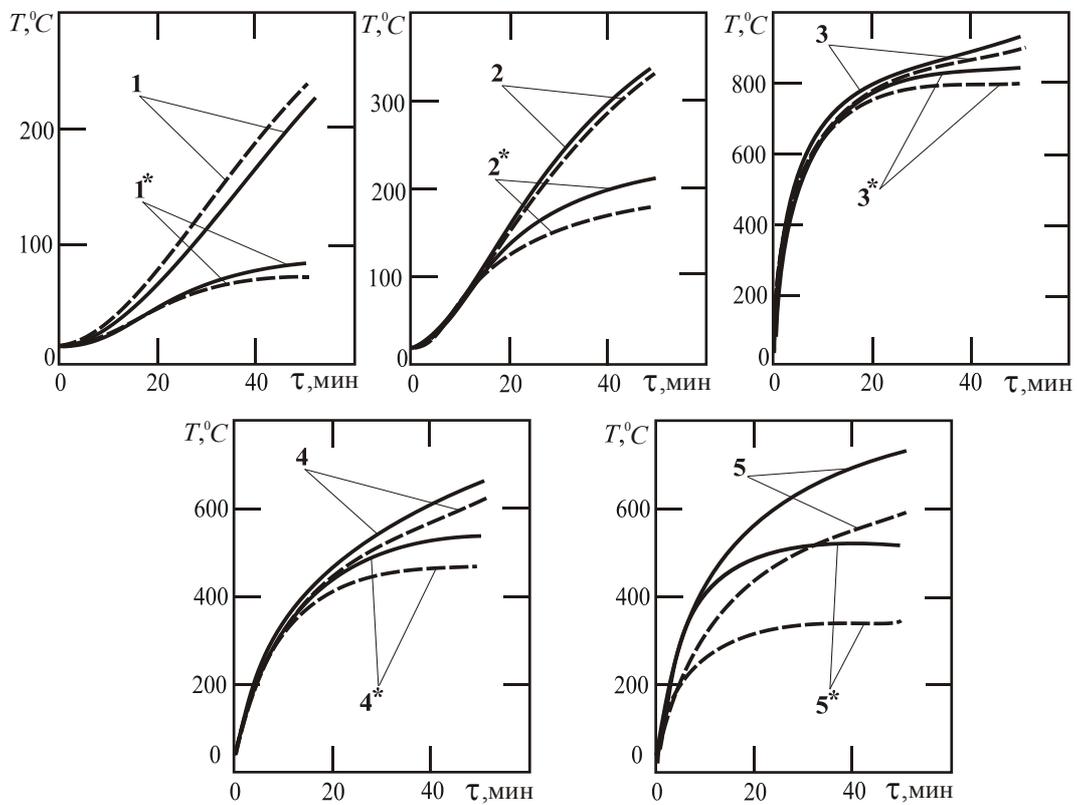


Рис. 2.2. Динамика изменения температуры в контрольных точках штатного (сплошные линии) и опытного (пунктир) загвора по ходу операции разливки стали сифоном (* – варианты с охлаждением)

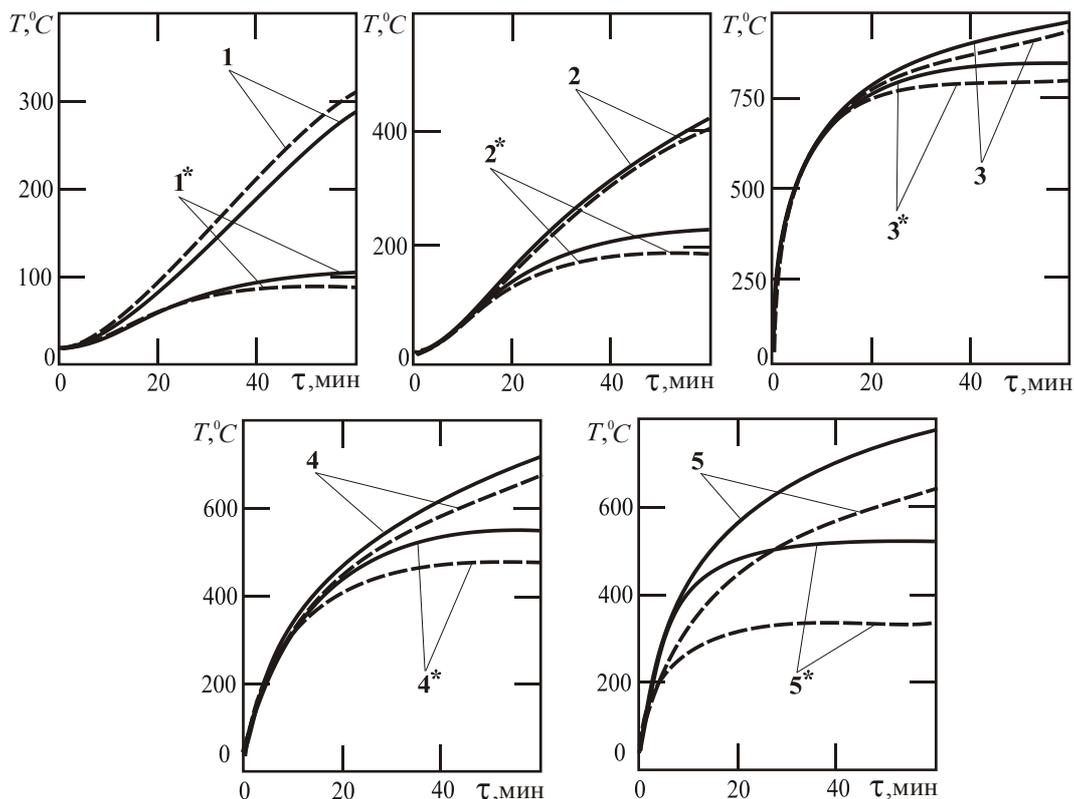


Рис. 2.3. Динамика изменения температуры в контрольных точках штатного (сплошные линии) и опытного (пунктир) затвора по ходу операции непрерывной разливки стали (* – варианты с охлаждением)

о возможности и целесообразности усовершенствования штатного затвора путем его переоснащения новыми металлоогнеупорными плитами, обеспечивающими снижение расхода огнеупоров с одновременным повышением надежности шиберной системы в целом.

Промышленное испытание новой конструкции шиберного затвора, оснащенного металлоогнеупорными плитами (масса периклазового сердечника составляла 4 кг), проводилось в конвертерном цехе ДМК при разливке металла рядового сортамента из 250-т сталеразливочного ковша.

В результате опытно-промышленной кампании плавок доказана работоспособность нового ковшового затвора, оборудованного малогабаритными огнеупорными плитами.

К тому же, следует заметить, что применение малогабаритных огнеупорных плит приводит к снижению удельного расхода огнеупоров с 0,1 – в штатном затворе до 0,033 кг/т готовой продукции в затворе новой конструкции, т.е. в три раза. Таким образом, обеспечиваются лучшие мировые показатели по расходу огнеупоров в ковшовых шиберных системах.

Этот факт является доминирующим в современных условиях дефицитности и дороговизны высокомагнезиальных огнеупоров и повышения конкурентоспособности отечественной металлургической отрасли.

ЛИТЕРАТУРА

1. Процессы непрерывной разливки / А.Н.Смирнов, В.Л.Пилюшенко, А.А.Минаев и др.– Донецк: ДонНТУ, 2002.– 536с.
2. Еронько С.П., Быковских С.В. Разливка стали: Тех-

нология. Оборудование.– К.: Техника, 2003.– 216с.

3. Современное состояние и особенности бесстопорной технологии разливки стали из 150-350-тонных ковшей / А.П.Огурцов, А.Д.Кулик, И.И. Жульковская и др. // Материалы VI Междунар. научно-техн. конф. «Тепло- и массообменные процессы в металлургических системах».– Мариуполь, 2000.– С.77-85.
4. Жульковская И.И. Усовершенствование конструкции ковшовых затворов на основе исследования их тепловых режимов: Дис... канд. техн. наук: 05.14.06.– Днепропетровск, 2006.– 141с.
5. Кулик А.Д. Основные проблемы шиберной технологии разливки стали // Сталь.– 2001.– №2.– С.13-15.
6. Жульковская И.И., Огурцов А.П., Жульковский О.А. Усовершенствование математической модели температурного режима шиберных устройств // Математичне моделювання.– 2006.– №1,2 (15).– С.72-76.
7. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент: Справочник / Под общ. ред. В.А.Григорьева, В.М.Зорина.– М.: Энергоатомиздат, 1988.– 560с.
8. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача.– М.: Энергоиздат, 1981.– 416с.
9. Кутателадзе С.С., Боришанский В.М. Справочник по теплопередаче.– М.; Л.: Госэнергоиздат.– 1959.– 414с.
10. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика.– М.: Наука, 1969.– 824с.
11. Теплотехнический справочник: В 2 т. / Под общ. ред. В.Н.Юреньева и П.Д.Лебедева.– М.: Энергия, 1976.– Т.2.– 896с.
12. Казанцев Е.И. Промышленные печи: Справочное руководство для расчетов и проектирования.– М.: Металлургия, 1975.– 368с.

