



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-1-43-48>
УДК 621.745

Поступила 11.02.2021
Received 11.02.2021

ПОЛУЧЕНИЕ ЧУГУНА ПРИ ПЛАВКЕ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ В КОКСОВЫХ ВАГРАНКАХ

С.Л. РОВИН, Белорусский государственный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: rovin.sl@mail.ru

Л.Е. РОВИН, В.А. ЖАРАНОВ, Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого, г. Гомель, Беларусь, пр. Октября, 48. E-mail: kaf_metallurgy@gstu.by

При производстве минерального сырья в вагранках в качестве побочного и вредного продукта образуется и, как правило, сбрасывается в отвал значительное количество чугуна (до 3% от исходного сырья). В статье представлены технические решения, обеспечивающие разделение минерального расплава и чугуна. Кроме того, описываются результаты оптимизации конструкции изложниц, используемых для слива жидкого металла из минераловатной вагранки и его транспортировки. Полученные в результате чугунные слитки затем вполне могут быть использованы в качестве шихты при выплавке марочных литейных сплавов.

Ключевые слова. Минеральный расплав, чугун, вагранка, установка слива металла, восстановление оксидов железа.

Для цитирования. Ровин, С.Л. Получение чугуна при плавке минерального сырья в коксовых вагранках / С.Л. Ровин, Л.Е. Ровин, В.А. Жаранов // Литье и металлургия. 2021. № 1. С. 43–48. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-1-43-48>

PRODUCTION OF CAST IRON DURING THE MELTING OF MINERAL RAW MATERIALS IN COKE CUPOLAS

S. L. ROVIN, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosty ave. E-mail: rovin.sl@mail.ru

L. E. ROVIN, V. A. JARANOV, Gomel State Technical University named after P. O. Sukhoj, Gomel, Belarus, 48, Ocyabrya ave. E-mail: kaf_metallurgy@gstu.by

In the production of mineral raw materials in cupolas, as a by-product and harmful product, a significant amount of cast iron (up to 3% of the raw material) is formed and, as a rule, thrown into the dumps. The article presents technical solutions that ensure the separation of mineral melt and cast iron. In addition, the article describes the results of optimizing the design of ladders used for draining liquid metal from the mineral wool cupola and transporting it. The resulting cast iron ingots can then be used as a charge in the smelting of branded cast alloys.

Keywords. Mineral melt, cast iron, cupola furnace, install the drain of the metal, the reduction of iron oxides.

For citation. Rovin S. L., Rovin L. E., Jaranov V. A. Production of cast iron during the melting of mineral raw materials in coke cupolas. Foundry production and metallurgy, 2021, no. 1, pp. 43–48. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-1-43-48>

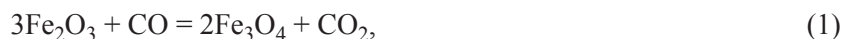
Шахтные плавильные печи, к которым относится минераловатная коксовая вагранка, отличаются высокой эффективностью работы: высокая удельная производительность – до 150 т и более расплава на 1 м² сечения печи в сутки, тепловой КПД – до 60–70%, относительная простота управления тепловым и газодинамическим режимами, низкий уровень удельных эксплуатационных затрат [1, 2].

Полученный в вагранке минеральный расплав при температуре 1450–1470 °С разливается на орошаемые водой валки, что приводит к образованию нитей (волокон), которые затем смачиваются связующим и спрессовываются в маты различной плотности и толщины. Теплоизоляционные свойства минераловатных матов обуславливаются высокой пористостью изделий, которая достигает 90–95% [3].

Сырьем для производства минеральной ваты и теплоизоляционных материалов на ее основе являются горные породы базальтовой группы, осадочные породы типа доломитов и техногенные отходы, например, металлургические шлаки. Все перечисленные материалы, в том числе базальт, содержат примеси железа, в основном в виде оксидов Fe₂O₃. Общее содержание железа в сырье составляет в среднем около 2,5–3,5%. В качестве топлива в минераловатных вагранках, как правило, используется кокс [3].

Вместе с нагревом и расплавлением минерального сырья в вагранке происходят процессы твердофазного, а затем и жидкофазного восстановления железа. Восстановителями при этом выступают, в первую очередь, CO, углерод кокса и в определенной степени водород. По мере опускания шихты в шахте вагранки протекают следующие реакции:

в зоне прогрева – предварительное восстановление при температурах от ~ 350 до 1000 °С:



в зоне плавления и перегрева (при температурах ~ 1000–1400 °С) – косвенное восстановление за счет CO и H₂:



и прямое восстановление за счет взаимодействия расплава с коксом:



Количество образующегося металла зависит от исходного сырья и составляет, как правило, около 2–3% от массы минерального расплава. По составу металл близок к низкоуглеродистому чугуно, с некоторым превышением по примесям и содержанию серы: С – 2,4–3,2%, Si – 0,4–1,3, Mn – 0,50–1,25, P – 0,03–0,08, S – 0,3–0,9%, а также примеси Mo – 1,4–2,1%, Ni – до 0,5, Cr – до 0,3% и др.

Наличие железоуглеродистого расплава в горне минераловатной вагранки является негативным фактором, его попадание в минеральную вату снижает технико-эксплуатационные характеристики и качество готовых изделий (капли металла и корольки разрушают тонкие стеклообразные нити минеральной ваты, увеличивают плотность, снижают тепловое сопротивление теплоизоляционных матов и т.д.) и соответственно конкурентоспособность продукции. Кроме того, попадание капель чугуна в минеральный расплав приводит к быстрому износу и выходу из строя технологической оснастки и снижает технико-экономические показатели работы всей производственной линии [3].

В связи с этим из вагранки должен периодически производиться сброс накопленного металла. Как правило, при этом вместе с металлом теряется и значительное количество минерального расплава. Разделить эти материалы после затвердевания очень сложно, поэтому они вывозятся в отвал. Очевидно, что такая практика приводит к значительным потерям [4].

Для решения этой проблемы сотрудниками кафедры «Металлургия и технологии обработки материалов» ГГТУ им. П.О. Сухого и УП «Технолит» (дочернее предприятие Технопарка БНТУ «Политехник») были разработаны технология, оборудование и оснастка, предназначенные для отделения и отдельного слива чугуна, которые прошли успешную апробацию и внедрение на минераловатных вагранках различного типа ОАО «Гомельстройматериалы».

До внедрения разработанных технических решений металл периодически (2–3 раза в смену) сливали через рабочую летку вместе с минеральным расплавом и сбрасывали в приемную яму, откуда после охлаждения удаляли в отвал. Помимо 3–4 т металла в сутки при этом терялось не меньшее количество минерального расплава.

Для традиционных вагранок типа СМТ 208, расположенных на нулевой отметке, наиболее удачным техническим решением стал «слив через специальную металлическую летку»: футерованное днище вагранки профилируется с уклоном в сторону металлической летки, которая выполняется ниже основной на 200–250 мм и разворачивается в сторону приемного ковша для жидкого металла (рис. 1).

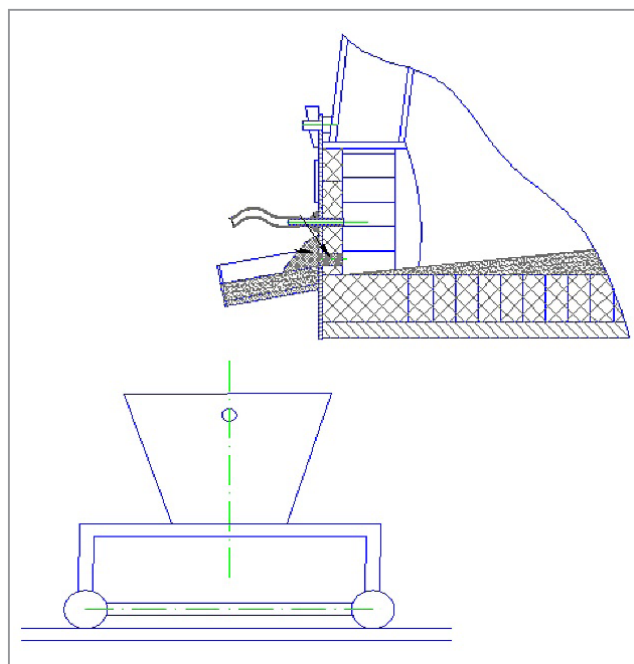


Рис. 1. Схема устройства для выпуска чугуна из минераловатной вагранки через третью летку

Для того чтобы эта зона горна не остывала в период накопления металла, над леткой выполняется дутьевое отверстие и подается воздух из дутьевого коллектора. Допускается использование и сжатого воздуха. Таким образом, над металлической леткой образуется дополнительная зона горения кокса, что повышает температуру металла и препятствует образованию настывлей. Контроль температуры осуществляется по термопаре, вмонтированной в горновой части вагранки.

Выпуск металла производится по мере его накопления в горне вагранки. Момент выпуска определяется визуально по первым каплям металла, появляющимся в летке для минерального расплава. После этого основная летка закрывается, пробивается металлическая летка, и накопившийся металл сливается в приемный ковш. При появлении в металлической летке минерального расплава она затыкается огнеупорным составом, снова открывается основная летка и возобновляется технологический процесс производства минерального волокна. Кроме технологических выпусков металла (2–3 раза в смену), производится слив чугуна в конце плавильной кампании (перед выбивкой) и при длительных (более 1 ч) остановках работы вагранки.

Внедрение разработанных технических решений позволило ОАО «Гомельстройматериалы» решить задачу регулярного отделения металла от минерального расплава, повысить качество продукции, на порядок снизить потери минерального расплава и сократить простои технологического оборудования. Кроме того, получило возможность ежемесячно сдавать на базы втормета около 100 т чугуна.

После проведения модернизации с целью увеличения объемов производства на ОАО «Гомельстройматериалы» была произведена замена плавильных печей на новые современные вагранки закрытого типа с высокотемпературным подогревом дутья, тонкой очисткой отходящих газов, автоматическим управлением и т.п. [5, 6]. Новые вагранки были установлены на высоте более 4 м от нулевой отметки и их конструкция предусматривала донное отверстие для слива металла (рис. 2). Соответственно разработанная схема отделения и слива металла оказалась неприемлемой.



Рис. 2. Прожигание донного отверстия кислородом для слива металла

Была поставлена задача разработать устройство, которое принимало бы металл непосредственно под днищем вагранки, затем опускало его на нулевую отметку для дальнейшего использования, при этом устройство не должно было препятствовать открыванию створок днища (в момент выбивки), а также прожиганию донного отверстия, контролю процесса слива металла и перекрытию донного отверстия после слива расплава.

На стадии предварительной проработки решения рассматривались различные варианты подачи ковша или изложницы под сливное отверстие в днище вагранки, в том числе с помощью шаржирного крана и поворотного крана-укосины. Один из таких вариантов представлен на рис. 3.

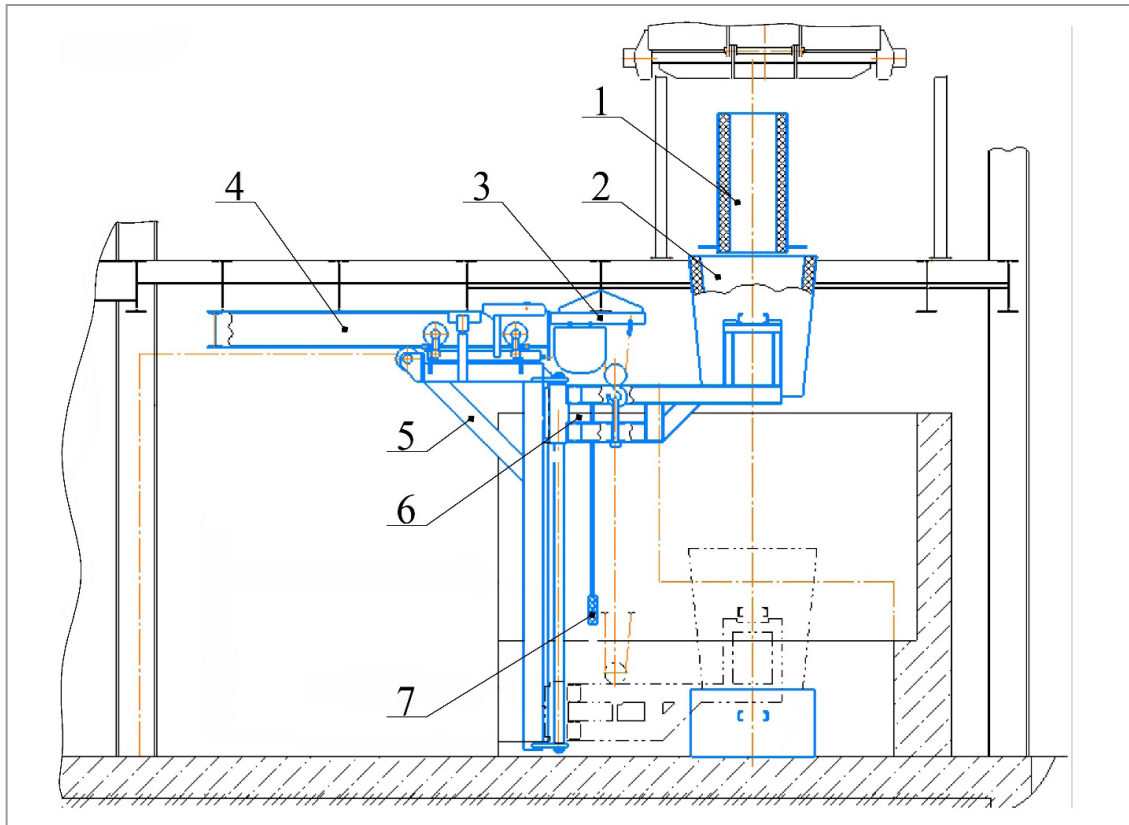


Рис. 3. Схема установки слива с помощью подъемной каретки:
 1 – отводная воронка; 2 – футерованная изложница; 3 – таль грузоподъемностью 3,2 т;
 4 – ездовая балка подъемника; 5 – рама подъемника; 6 – каретка подъемная; 7 – пульт управления

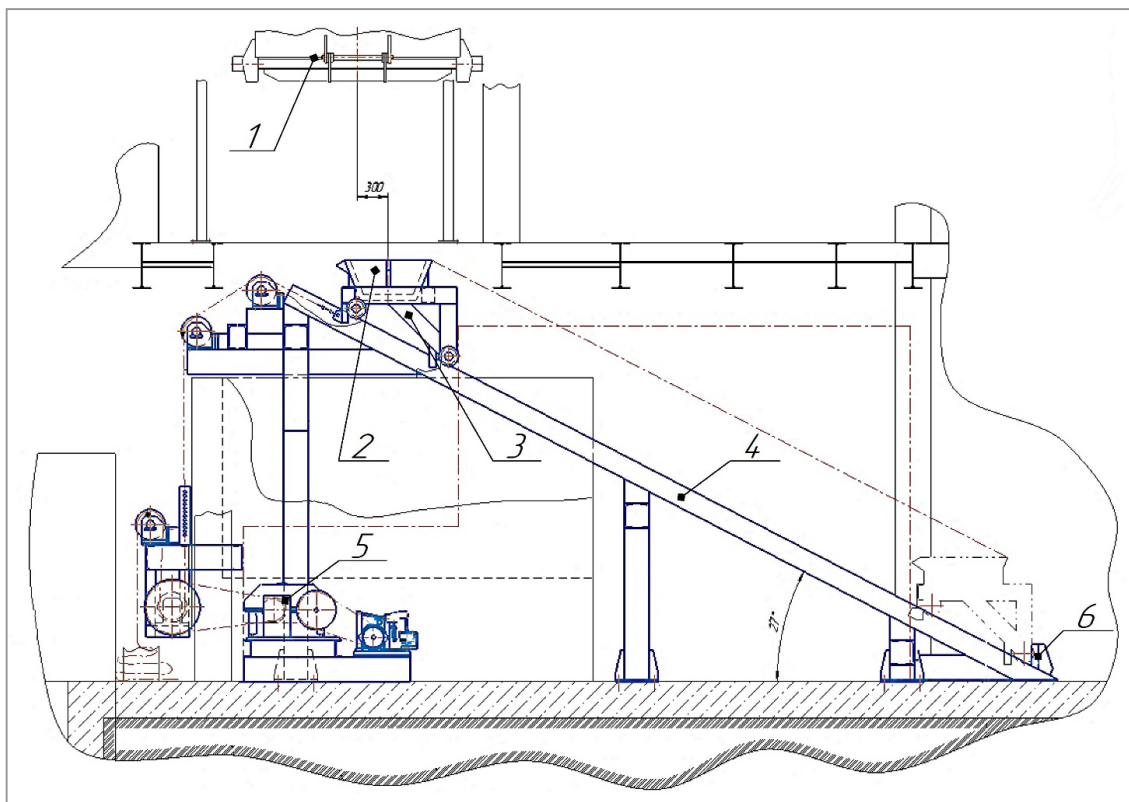


Рис. 4. Схема установки слива металла из вагранок ОАО «Гомельстройматериалы»:
 1 – днище минераловатной вагранки; 2 – изложница для слива металла; 3 – каретка для перемещения изложницы,
 4 – рельсовый путь движения каретки; 5 – привод тянущей цепи; 6 – упор

Однако после проведения расчетов эти схемы были отклонены по причине недостаточной жесткости и необходимости усиления строительных конструкций, а также трудностей с позиционированием технологической емкости (ковша или изложницы) под сливным отверстием.

Наконец, по согласованию со специалистами ОАО «Гомельстройматериалы», было принято решение о разработке системы с автономным наклонным подъемником, позволяющим не только осуществить приемку металла, но и при необходимости последующую разливку чугуна на конвейере (рис. 4).

В исходном положении изложница опущена и закреплена на каретке (рельсовой тележке). В рабочем положении изложница находится в крайнем верхнем положении, при этом ее центр совмещен с осью летки вагранки. В таком положении она не мешает процессу прожига выпускного отверстия, а после прожига выпускаемый расплав сливается в изложницу. Когда вместо металла через донное отверстие начинает поступать минеральный расплав, оно перекрывается керамической пробкой и каретка с изложницей возвращается в исходное положение. Подготовка изложницы заключается в нанесении защитного противопригарного покрытия и его подсушке.

Каретка дополнительно оснащена скребками перед передней парой колес и при ее ходе вверх происходит очистка рельсового пути от налипших брызг металла и шлака, что обеспечивает надежную эксплуатацию установки.

Пробная эксплуатация установки выявила необходимость оптимизации конструкции самой изложницы, которая должна выдерживать значительный гидростатический удар струи металла и температурное воздействие перегретого до 1400–1450 °С расплава.

Для совершенствования конструкции изложницы были исследованы вопросы получения слитков оптимальной геометрии и распределение температурных полей в изложницах различной формы с применением защитных покрытий различного состава и толщины. Исследования проводили с применением натуральных испытаний и компьютерного моделирования (рис. 5).

Некоторые из исследованных вариантов формы слитков показаны на рис. 6. Деление слитка на сегменты обусловлено соображениями удобства разделки металла перед завалкой в плавильные печи.

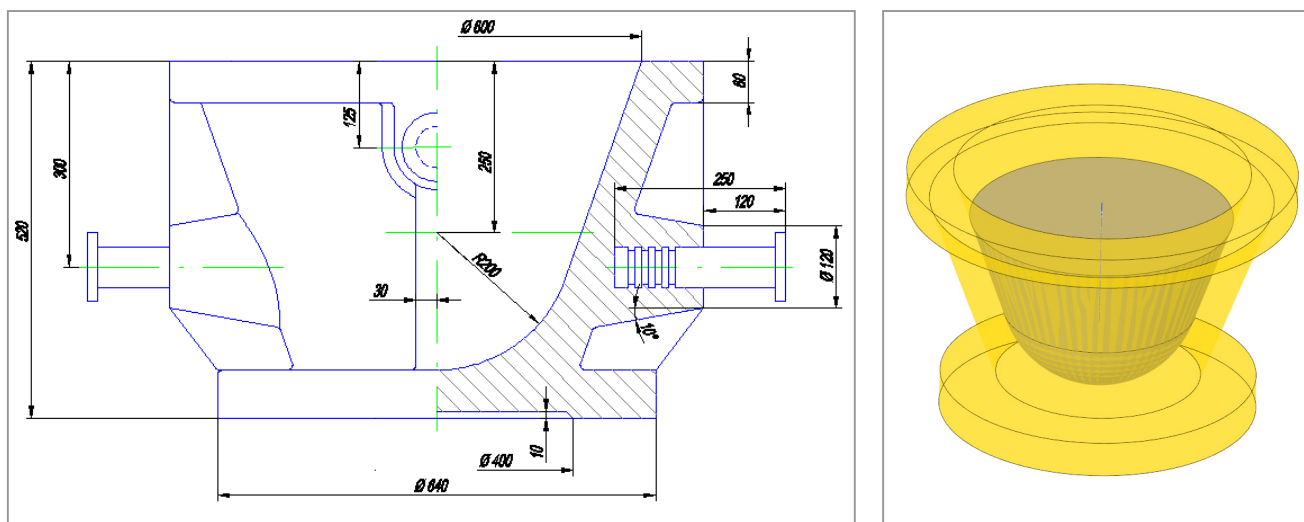


Рис. 5. Эскиз и 3D-модель изложницы

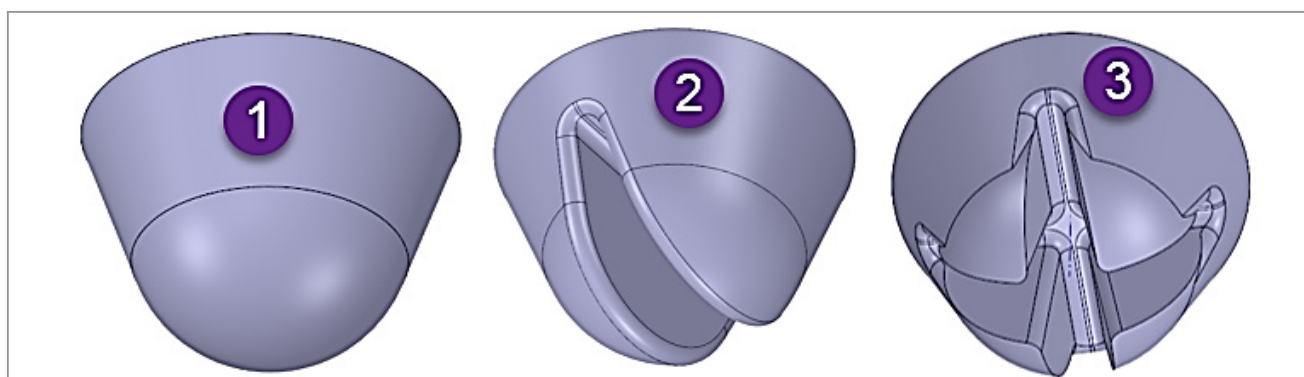


Рис. 6. Исследованные варианты формы слитков (масса слитка ~ 400 кг)

Анализ результатов моделирования позволил выявить зоны, в которых существует опасность местного перегрева тела изложниц (на 100–150 °С и более) и соответственно повышенного износа и разгара поверхности.

Для решения проблемы перегрева и повышения стойкости изложниц был спроектирован вариант с системой охлаждаемых воздушных каналов и ребер (рис. 8). Такая конструкция позволила интенсифицировать теплоотвод в местах локального перегрева и значительно снизить разгар и износ изложницы (рис. 8).

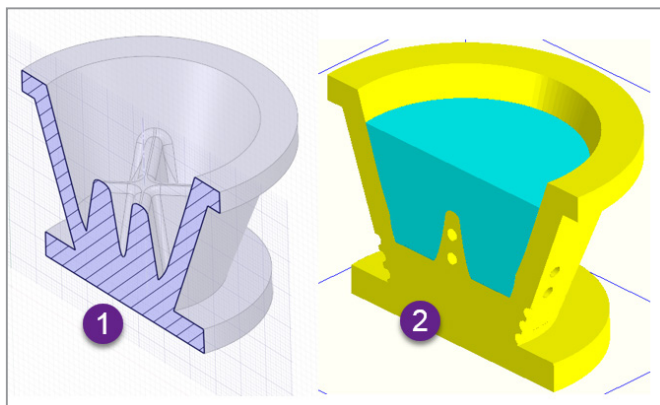


Рис. 7. Изложница 3-го типа до и после модернизации

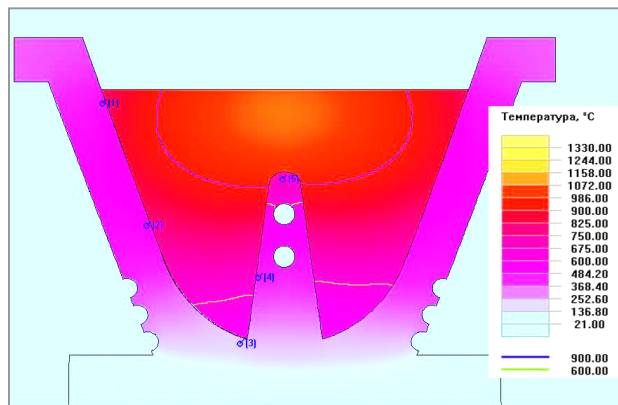


Рис. 8. Финальное распределение полей температур в модернизированной изложнице

В результате внедрения разработанных установок отделения и отдельного слива металла на ОАО «Гомельстройматериалы» удалось значительно повысить срок службы технологической оснастки, сократились простои оборудования, повысилось качество продукции, а потери минерального расплава снизились с 3–4 до 0,5–0,7%. Кроме того, это позволило ежегодно получать и реализовывать предприятиям втормета около 2000 т чугуна.

Существующие и новые минераловатные вагранки могут успешно оснащаться такого рода установками, без длительной остановки и усложнения основного производственного процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Селянин, И. Ф., Феоктистов А. В., Бедарев С. А. Теория и практика интенсификации технологического процесса в шахтных агрегатах малого диаметра. М.: Теплотехник, 2010. 379 с.
2. Гордон, Я. М. Тепловая работа шахтных печей с плотным слоем / Я. М. Гордон и др. М.: Metallurgia, 1989. 120 с.
3. Майзель, И. Л. Технология теплоизоляционных материалов / И. Л. Майзель, В. Г. Сандлер. М.: Metallurgia, 1988. 239 с.
4. Ровин, С. Л. Рецилинг металлоотходов в ротационных печах / С. Л. Ровин. Минск: БНТУ, 2015. 382 с.
5. Бобров, Ю. Л. Долговечность теплоизоляционных минераловатных материалов. М.: Стройиздат, 1987. 168 с.
6. Жуков, А. Д. Технология теплоизоляционных материалов. Часть 1. Теплоизоляционные материалы. Производство теплоизоляционных материалов. М.: МГСУ, 2011. 431 с.

REFERENCES

1. Seljanin I. F., Feoktistov A. V., Bedarev S. A. *Teorija i praktika intenzifikacii tehnologicheskogo processa v shahtnyh agregatah malogo diametra* [Theory and practice of technological process intensification in small-diameter mining units]. Moscow, Teplotehnik Publ., 2010. 379 p.
2. Gordon Ja. M. et al. *Teplovaja rabota shahtnyh pechej s plotnym sloem* [Thermal operation of mine furnaces with a dense layer]. Moscow, Metallurgija Publ., 1989, 120 p.
3. Majzel' I. L., Sandler V. G. *Tehnologija teploizoljacionnyh materialov* [Technology of thermal insulation materials]. Moscow, Metallurgija Publ., 1988, 239 p.
4. Rovin S. L. *Recikling metallootходов v rotacionnyh pechah* [Recycling of metal waste in rotary kilns]. Minsk, BNTU Publ., 2015, 382 p.
5. Bobrov Ju. L. *Dolgovechnost' teploizoljacionnyh mineralovatnyh materialov* [Durability of thermal insulation mineral wool materials]. Moscow, Strojizdat Pul., 1987, 168 p.
6. Zhukov A. D. *Tehnologija teploizoljacionnyh materialov. Chast' 1. Teploizoljacionnye materialy. Proizvodstvo teploizoljacionnyh materialov* [Technology of thermal insulation materials. Part 1. Thermal insulation materials. Production of thermal insulation materials]. Moscow, MGSU Publ., 2011, 431p.