

А.С. Затуловский, д-р техн. наук, ст. науч. сотр., зав. отделом

А.Г. Малявин, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник

В.А. Щерецкий, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., e-mail: Shcheretskiy@nas.gov.ua

А.А. Кузьменко, мл. науч. сотрудник

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев, Украина

Минеральное каменное литье – прогрессивное научно-техническое направление литейного производства

Приведены сведения о научно-исследовательских и опытно-промышленных разработках минерального каменного литья, связанных с его применением в литейном производстве и металлургии. Разработаны новые виды каменного литья и технология, которые позволили создать поточно-механизированные линии получения крупногабаритных и фасонных изделий. Технология и поточно-механизированные линии были внедрены на камнелитейных предприятиях.

Ключевые слова: петрургия, минеральное каменное литье, абразивный износ, коррозия, формирование отливок, минералообразование, футеровка, поточно-механизированная линия, фторфлогопитовый материал.

Для повышения эксплуатационной стойкости и долговечности агрегатов, работающих в условиях абразивного износа и химической коррозии, большое значение имеет разработка и внедрение материалов и изделий, превосходящих по свойствам применяемые материалы. Необходимость в таких материалах вызывается также тем обстоятельством, что в современной промышленности оборудование работает в сложных условиях, при высоких температурах, давлениях и повышенном воздействии агрессивных сред [1–3].

Одним из эффективных и прогрессивных материалов, нашедших применение в XX веке, является каменное литье. Каменное литье – это плавленололитой стеклокристаллический материал, получаемый путем плавления горных пород и специальных шихт и последующего формирования из расплава литых изделий и их термической обработки. Базальтовые камнелитые изделия отличаются высокой износостойкостью, устойчивостью к кислотам, щелочам и температурному воздействию. Это позволяет использовать их в условиях абразивных и агрессивных сред, влажности, запыленности, механических нагрузках. Каменное литье более долговечно и работоспособно, чем изделия из таких традиционных материалов как сталь, чугун, железобетон, огнеупоры. Благодаря своим свойствам изделия из каменного литья применяются в металлургической, горнорудной, энергетической, угольной, химической и других областях промышленности. Каменное литье не подвержено старению, его свойства со временем не изменяются.

Рождение и становление петрургии как отрасли промышленности в Украине относится ко второй половине XX века. Геологи (Институт геологических наук УССР) изучали горные породы Украинского кристаллического щита, бассейна р. Мокрая Волноваха и др. Технологические свойства сырья – горных пород юга Украины изучали в Днепропетровском хими-

ко-технологическом институте, Научно-исследовательском горнорудном институте г. Кривой Рог, Научно-исследовательском и Проектно-технологическом институте тяжелого машиностроения г. Краматорск [4]. Первый камнелитейный завод в Украине был запущен в Донецке (Донецкий завод) в конце 1958 г., а на Криворожском ЮГОКе – цех по изготовлению камнелитых изделий из местного сырья. В стране в это время проводились реформы, которые базировались на всемерном развитии ведущих отраслей промышленности (металлургической, горнорудной, угольной, химической и др.) основных потребителей каменного литья. Основной задачей являлось обеспечение высокой долговечности и надежности работы технологического оборудования при максимальной экономии и сокращении расхода металла. Поэтому перспективным являлось применение камнелитых изделий для защиты металлических узлов и оборудования от износа и коррозии.

Учитывая необходимость развития в стране камнелитейной промышленности и обеспечения научного подхода к проблеме, расширение объема научно-исследовательских работ в области петрургии Президиумом АН УССР было принято решение об организации в Институте литейного производства отдела каменного литья. Организатором и научным руководителем отдела до выхода на пенсию в 1984 г. был д. т. н., профессор Б.Х. Хан.

Ознакомление специалистов отдела с работой существующих в стране камнелитейных предприятий и опытных производств выявило наличие ряда проблем, требующих научного, экспериментального и производственного решений. Так, Донецкий камнелитейный завод работал, используя в качестве основного сырья – горелые породы терриконов – отходы шахтных выработок при добыче угля, отличающихся нестабильностью химического состава и требующих большого количества добавок в шихту. Поэтому

изготавливаемая продукция имела низкие физико-химические свойства и не удовлетворяла техническим требованиям, предъявляемым к камнелитым изделиям. В связи с этим основной направленностью работ отдела явилось изыскание в Украине петругического сырья. Были изучены Черкасские амфиболиты, диабазы, андезит-базальты, серпентинит Закарпатья, диабазы Криворожья [3]. Совместно с Донецким заводом проводили промышленное опробование отобранных пород и на его базе выполняли исследования процесса затвердевания и кристаллизации расплавов при формировании отливок. В результате руководство завода отказалось от использования неэффективного сырья – «горелой породы» терриконов и по рекомендации отдела было налажено производство камнелитых изделий из расплава на основе Ровенского базальта. Отделом были разработаны технические условия на сырье для камнелитейного производства.

Для этого периода характерно углубленное развитие науки о каменном литье на основе изучения литейных свойств, процесса плавления и затвердевания петругических расплавов, процессов минералообразования при неравновесных условиях кристаллизации, структуры плавнелитых материалов. Изучены свойства литого материала при обычной и повышенной температурах, технологический процесс формирования отливок, установлены причины возникновения в них термических напряжений, определены рациональные режимы отжига камнелитых изделий [5–7]. Совместно с Институтом Гипростроммашина Минстройдормаша СССР (г. Киев) проводились работы по усовершенствованию существующего и созданию новых видов технологического оборудования, проектирования камнелитейных предприятий. По разработанному проекту был построен и введен в эксплуатацию цех каменного литья на Криворожском центральном рудоремонтном заводе горного оборудования Минчермета УССР [8].

Поскольку базальтовое литье недостаточно надежно работает в условиях колебаний температур, возникла необходимость в разработке и создании новых видов каменного литья с улучшенной технологичностью и повышенными физико-механическими свойствами. Эти материалы были синтезированы на основе малоуглеродистых расплавов, кристаллизую-

щихся с образованием основных материалообразующих минералов диопсида и волластонита. Разработан новый вид волластонит-пироксенового литья. Эти материалы отличаются повышенной термостойкостью и абразивной устойчивостью [9]. Сравнительные характеристики свойств базальтового и новых видов каменного литья приведены в таблице.

Придавая важное значение развитию камнелитейного производства, отделом была проведена работа по выявлению потребности и расширения сферы применения каменного литья в энергетике [10]. Были проведены испытания опытных партий, армированных металлической сеткой, крупногабаритных камнелитых изделий для футеровки улиток дымососов и мельничных вентиляторов электростанций, работающих на твердом топливе. Опыт защиты таких агрегатов базальтовыми плитами размером 300*200*30 мм с центральным отверстием, изготавливаемые отечественными предприятиями, не дал положительных результатов. При защите оборудования этими изделиями образуется большое количество выступов, неровностей и швов толщиной до 10 мм, которые, вызывая завихрения потока отходящих газов насыщенных пылевидными частицами, способствуют повышенному износу футеровки. Кроме того, даже незначительные трещины в плитах приводят в условиях эксплуатации оборудования (большие скорости потока отходящих газов, повышенные температуры – 250-300 °С и вибрация) к разрушению футеровки каменного литья и обнажению защищаемого участка агрегата.

Определили, что наиболее приемлемыми для футеровки улиток дымососа Д25х2ШБ и мельничного вентилятора ВМ-100/1000 являются армированной металлической сеткой камнелитые плиты правильной геометрической формы размером 675(500х335)х250х40 мм [7].

Опытная партия камнелитых изделий массой ~ 80 т применена для футеровки 12-ти дымососов и 2-ух мельничных вентиляторов Бурштынской ГРЭС Министерства энергетики и электрификации УССР. Эксплуатация камнелитой футеровки показала ее высокую стойкость и надежность. Так, после 3 лет эксплуатации дымососа, износ плит составил 1,5–2 мм, в то время как стальные бронеплиты толщиной 20 мм выходят из строя в течение 1 года.

Свойства видов каменного литья

Свойство	Виды каменного литья			
	Базальтовое	Диопсидовое	Волластонитовое	Базальт-перовскитовое
Удельный вес, кг/м ³	3000	2700	2900	3100
Предел прочности при сжатии, кг/см ²	3000	8000	3500	3000
Предел прочности при изгибе, кг/см ²	600	1500	700	600
Ударная вязкость, кг*см/см ²	2,4	3,2	2,7	2,5
Потери на истирание, г/см ²	0,03	0,012	0,013	0,01
Термостойкость, °С	480	670	780	680
Кислотостойкость в серной кислоте, %	99,6–99,8	99,5–99,8	99,4–99,6	99,6–99,8

Внедрение камнелитых изделий для футеровки дымососов по опыту Бурштынской ГРЭС экономит 1,5–2 тыс. рублей (по курсу 1974 года) в год на каждом дымососе и сохранит около 5 т стального литья. При этом значительно сокращается количество ремонтных работ, облегчаются условия труда работников электростанции. Выполненные работы позволили скорректировать номенклатуру выпускаемой продукции, показать эффективность применения камнелитых изделий в новых отраслях промышленности.

Специалистами отдела были исследованы особенности формирования отливок в зависимости от тепловых условий воздействия на затвердевающий расплав. Определены зависимость строения от интенсивности теплообмена между отливкой и формой, причины возникновения температурных напряжений в литых изделиях. Поскольку во многих случаях именно физические свойства стеклофаз определяют характеристики и режимы получения литья, изучали кристаллизационные превращения в стеклах. Определено влияние различных модификаторов на кристаллизационную способность, минералообразование при нагреве стеклообразных веществ из расплавов горных пород и шлаков. Выполнен комплекс исследований закономерностей кристаллизации расплавов и стекол различного состава в зависимости от тепловых условий затвердевания, тепловой работы металлической формы, температурно-временных параметров формирования отливок. Доказана возможность получения отливок стеклокристаллического строения при одноступенчатом режиме термической обработки отливок, основанном на совмещении двух методов кристаллизации «сверху» (из расплава) и «снизу» (из переохлажденных стеклообразных слоев) плит. Изучены условия формирования отливок, тепловая работа кокилей. Показана возможность последующей эффективной термообработки камнелитых плиточных изделий без литейных форм и в случае применения массивного формового комплекта при их изготовлении. Проведены экспериментальные работы по применению метода подпрессовки расплава в замкнутом объеме при производстве изделий со сложнорифленной поверхностью. Изучены деформационные свойства каменного литья в широком диапазоне температур. Данные о деформационных свойствах камнелитого материала при термических нагрузках позволили научно обосновать возможность проведения и определить параметры скоростного режима отжига плиточных изделий [11]. Выполненные теоретические, лабораторные и экспериментальные работы дали возможность сформулировать основные положения прогрессивной технологии, позволяющей механизировать формирование и термическую обработку камнелитых плит, применить машины и оборудование для создания механизированных поточных линий. Разработанный технологический процесс исключал тяжелый ручной труд, способствовал улучшению условий труда рабочих, увеличил производительность, уменьшил брак и снизил себестоимость выпускаемой продукции. Опробованы разработанные режимы и уточнение параметров технологии производства камнелитых футеровочных

плит впервые в практике камнелитейного производства было проведено на опытно-промышленной линии, созданной отделом совместно с сотрудниками Института газа АН УССР, Института Гипростроммашина и работниками Донецкого завода. Кристаллизация и отжиг изделий осуществлялись в течение 2, а не 48 часов в кристаллизационно-отожиговой печи на роликовом конвейере. Формирование отливок проводили на машине карусельного типа. Процесс получения изделий был полностью механизирован и проходил без применения ручного труда. Впоследствии на заводе при участии тех же организаций была создана промышленная механизированная линия производства камнелитых футеровочных плит производительностью 150 тыс. м² в год [12].

Проведенные исследования, экспериментальные работы на опытной и промышленной линиях явились основой для последующей разработки и создания механизированного способа производства крупногабаритных и фасонных плит на Донецком заводе и Кондопожском заводе камнелитых изделий. Была усовершенствована и механизирована технология получения плит толщиной 30–50 мм, а также плиточных изделий с одной криволинейной поверхностью (элементы футеровки гидрозолоудаления). Одновременно с этой работой сотрудники отдела принимали участие в реконструкции цеха каменного литья треста «Укрметаллургремонт» (г. Кривой Рог). Основной целью ее было увеличение выпуска и расширение ассортимента производимой продукции, механизация технологического процесса. В итоге производительность цеха увеличилась с 4–6 до 11 тыс. тонн. В этом цехе был опробован и внедрен метод центробежного литья двухслойных труб «металл-камень».

Созданный отделом МГД Института проблем литья АН УССР магнитодинамический насос МДН-6 для алюминиевых и цинковых сплавов получил путевку в жизнь только благодаря разработке отдела литья окисных расплавов нового камнелитейного материала фторфлогопитового состава, разработке конструкции и изготовлению камнелитого канала и литейной технологии его изготовления [13]. Поиск работы, проведенные совместно с ИПМ АН УССР, позволили установить возможность применения для изготовления канала слюдокристаллического материала фторфлогопитового состава [14]. Камнелитой материал фторфлогопитового состава отличается высокими механическими характеристиками и термостойкостью, а также химической инертностью к алюминиевым сплавам. Основу (85–90 % об.) камнелитого материала составляют пластинчатые кристаллы фторфлогопита $[KMg_3Si_3AlO_{10}]F_2$. В материале имеются также примесные минералы (шпинель, хондродит и др.) в количестве (5–8 % об.) и остаточная стеклофаза (5–7 % об.). Кристаллизация литого материала происходит из жидкого состояния в процессе затвердевания расплава в форме, поэтому он не имеет канальной пористости присущим всем огнеупорам, изготовленным по керамической технологии.

Первые опытные партии каналов насосов типа МДН были получены в 1970 г. на экспериментальном участке отдела, а в 1971 г. в литейном цехе Опытного

производства ИПЛ АН УССР организован их серийный выпуск [13]. Ежегодно, начиная с 1974 г., Опытное производство производило по 800–900 каналов, которые поставляли в качестве сменных деталей действующих насосов МДН-6, эксплуатировавшихся на предприятиях Украины, России, Белоруссии. Впоследствии они экспортировались в США, Германию, Францию, Венгрию, Болгарию, Бельгию и другие страны [15, 16].

На машинах литья под низким давлением алюминиевых сплавов применение камнелитых металлопроводов и тиглей вместо титановых металлопроводов и графитошамотных тиглей решило проблему получения особо сложных отливок. Ресурс работы фторфлогопитовых тиглей и металлопроводов при 3-сменной работе составил до 1,5–2 месяцев при стабильном и неизменном химическом составе алюминиевого сплава. В этих условиях титановый металлопровод и графитошамотный тигель работали не более недели. Производство фторфлогопитовых металлопроводов и тиглей для своих потребностей было организовано на механических заводах в г. Реж и Зеленодольск (Россия). При плавке деформируемых сложнoleгированных алюминиевых сплавов на индукционных канальных печах ИАК-16 (Белокалитвенский металлургический завод, Ростовской обл., Россия) применение камнелитой футеровки каналов обеспечило стабильную, безаварийную работу печей и требуемые технические характеристики продукции. Эксплуатационный ресурс печей увеличился на 30–35 %, время ремонтных работ сократилось на 50 %, что увеличило их производительность. На предприятии был создан специализированный участок, внедрен технологический процесс по изготовлению камнелитых каналов для футеровки плавильных печей.

Специалистами отдела был разработан процесс изготовления фасонного фторфлогопитового литья. Были изучены условия синтеза, физико-химические и технологические свойства фторсиликатных расплавов, строение и свойства синтезированных материалов, исследованы особенности литейной технологии получения фторфлогопитовых изделий [16, 17]. Для расширения сфер применения фторфлогопитовых изделий была изучена химическая стойкость литого материала в расплавах цветных металлов и различных флюсах, а также расплавах хлоридов щелочных и щелочноземельных металлов. Установлено, что фторфлогопитовый материал обладает пирохимической стойкостью к воздействию жидких сплавов цветных металлов (цинка, алюминия, меди и ее сплавов – бронз, латуней и др.), агрессивных расплавов хлоридов, сульфатов, ванадатов, вольфрамов, а также атмосфере (хлора, азота, углекислого газа, кислорода, водорода и их производных).

Промышленные испытания опытной партии фторфлогопитовых изделий для магниевых электролизеров и хлораторов, проведенные на Усть-Каменогорском титано-магниевоком комбинате (УК ТМК, г. Усть-Каменогорск, Казахстан), показали, что материал не пропитывается расплавами хлоридов, коррозионное взаимодействие его с хлором и расплавам карноллита отсутствует. Положительные ре-

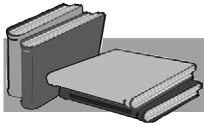
зультаты проведенных испытаний явились основанием для расширения внедрения камнелитых изделий. Для этого в 1975 г., в литейном цехе комбината была установлена плавильная электропечь, переданная ИПЛ АН УССР комбинату и разработана до настоящего времени инструкция на технологический процесс получения фторфлогопитовых изделий.

Организация опытного производства на УК ТМК и освоение технологии получения фторфлогопитовых изделий позволили провести реконструкцию цеха электролиза с заменой электролизеров шторного типа на бездиафрагменные электролизеры с фторфлогопитовыми переточными каналами. Срок службы электролизеров увеличился на 25–30 %, а срок службы и продуктивность титановых хлораторов на 20 % [18]. Результатом проведенной работы явилась организация на УК ТМК в 1981 г. цеха производства фторфлогопитового каменного литья, обеспечивающего потребности комбината в этих изделиях до настоящего времени [19]. Экономический эффект от внедрения результатов проведенной работы составил около 1 млн рублей в год (по курсу 1981 г.). Срок окупаемости вложенных средств на реконструкцию цеха составил ~ 1 год.

Большой объем работ выполнен по организации цеха производства фторфлогопитовых изделий производительностью до 1000 т литья в год, на предприятии «ВСМПО-АВИСМА» (г. Березняки, Россия). В настоящее время подготовительные работы по организации изготовления фторфлогопитовых изделий проводятся на Запорожском титано-магниевоком комбинате (г. Запорожье, Украина), которому передана разработанная ФТИМС НАН Украины Технологическая инструкция. Разработана технология, изготовлены детали литейной оснастки для производства алюминиевой катанки (г. Запорожье, Украина), камнелитые проточные тракты и плиты каналов электромагнитного перемешивателя для печей плавки алюминия (Завод цветного литья, г. Рига, Латвия) [16].

Результаты работ в области создания, разработки составов, способов производства и внедрения технологии каменного литья легли в основу кандидатских диссертаций И.И. Быкова (1964 г.), В.П. Кораблина (1965 г.), С.В. Ладохина (1966 г.), А.В. Косинской (1973 г.), А.Г. Малявина (1983 г.) и докторской Б.Х. Хана (1969 г.).

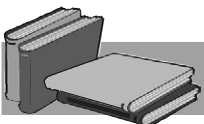
Работы продолжают в сфере расширения номенклатуры и областей применения каменного литья. Это позволяет создавать более эффективные литейные и металлургические агрегаты, внедрять новые прогрессивные технологические процессы, повышать производительность, долговечность и в 2–3 раза – срок службы оборудования.



ЛИТЕРАТУРА

1. *Липовский И.Е., Дорофеев В.А.* Основы петруггии. – М.: Metallurgiya, 1972. – 319 с.
2. *Хан Б.Х., Быков И.И.* Производство и применение каменного литья. – Киев: Наукова думка, 1968. – 42 с.
3. Проблемы каменного литья. – Киев: АН УССР, 1963. – 228 с.
4. Промышленное использование петруггического сырья Украины. – Киев: АН УССР, 1959. – 244 с.
5. *Быков И.И., Хан Б.Х.* Тепловые условия формирования каменного литья. Инф. письмо № 24. – Киев: ИПЛ АН УССР, 1968. – 7 с.
6. *Хан Б.Х.* Метод оценки сырья и расчета шихты для пироксенового каменного литья. Инф. письмо № 26. – Киев: ИПЛ АН УССР. – 7 с.
7. *Быков И.И.* Рациональные режимы отжига изделий из каменного литья. Инф. письмо № 25. – Киев: ИПЛ АН УССР. – 7 с.
8. Проблемы каменного литья. – Киев: ИПЛ АН УССР. – 1968. – Вып. 2. – 246 с.
9. *Хан Б.Х., Быков И.И., Малявин А.Г., Косинская А.В.* Новые виды каменного литья и фасонные изделия из них. – Киев: Наукова думка, 1970. – 5 с.
10. *Сосюкин Л.Н., Павлюк В.Ф., Сапожников К.И., Малявин А.Г., Хан Б.Х., Быков И.И.* Опыт защиты оборудования топливopодачи и шлакозолоудаления каменным литьем // *Электрические станции*. – 1973. – № 10. – С. 68–70.
11. Проблемы каменного литья. – Киев: Наукова думка. – 1975. – Вып. 3. – 203 с.
12. *Биленко А.Т., Лекаренко Л.Ф., Косинская А.В.* и др. Производство камнелитых плит на поточно-механизированных линиях // *Стекло и керамика*. – 1984. – № 9. – С. 29–30.
13. *Хан Б.Х., Малявин А.Г.* Литые слюдокристаллические каналы магнитодинамических установок // *Литейное производство*. – 1972. – № 4. – С. 18–19.
14. А. с. СССР № 287520. Канал электромагнитного насоса / Тrefnyak В.А., Хан Б.Х. и др. Б.И. № 35, 1970.
15. Магнитодинамические насосы для жидких металлов / В.П. Полищук, М.Р. Цин, Р.К. Горн и др. Ред. Ефимов В.А. – Киев: Наукова думка, 1989. – 256 с.
16. *Полищук В.П.* и др. Применение магнитной гидродинамики в металлургии и литейном производстве (ПМГД). – 1981. – Ч. 2. – С. 145–149.
17. *Малявин А.Г.* Исследование и разработка технологии получения фасонного фторфлогопитового каменного литья: автореф. дисс. канд. ...техн. наук. – Киев, 1983. – 23 с.
18. *Малявин А.Г., Руженцева М.К.* Изучение строения и физико-механических свойств литого слюдокристаллического материала // *Проблемы каменного литья*. – 1975. – Вып. 3. – С. 158–167.
19. *Байбеков М.К.* и др. Эффективность реконструкции цеха электролиза на Усть-Каменгорском титано-магниевоm комбинате // *Цветная металлургия*. – 1982. – № 5. – С. 52–53.
20. *Хан Б.Х., Косинская А.В., Малявин А.Г.* Применение фторфлогопитового литья в производстве магния // *Цветные металлы*. – 1984. – № 4. – С. 61–64.

Поступила 08.10.2018



REFERENCES

1. *Lipovskiy, I.E., Dorofeev, V.A.* (1972). Basics of petrurgia. Moscow: Metallurgiya, 319 p. [in Russian].
2. *Khan, B.Kh., Bykov, I.I.* (1968). Production and use of stone casting. Kiev: Naukova. dumka, 42 p. [in Russian].
3. Stone casting problems (1963). Kiev: AN USSR, 228 p. [in Russian].
4. Industrial use of petroleum raw materials of Ukraine. (1959). Kiev: AN USSR, 244 p. [in Russian].
5. *Bykov, I.I., Khan, B.Kh.* (1968). Thermal conditions for the formation of stone casting. Inf. letter no. 24, Kiev: IPL AN USSR, 7 p. [in Russian].
6. *Khan B.Kh.* Method of evaluation of raw materials and calculation of the charge for pyroxene stone casting. Inf. letter no. 26, Kiev: IPL AN USSR, 7 p. [in Russian].
7. *Bykov, I.I.* Rational modes of annealing stone casting products. Inf. letter no. 25, Kiev: IPL AN USSR, 7 p. [in Russian].
8. Stone casting problems. (1968). Kiev: IPL AN USSR, Vyp. 2, 246 p. [in Russian].
9. *Khan, B.Kh., Bykov, I.I., Malyavin, A.G., Kosinskaya, A.V.* (1970). New types of stone casting and shaped products from them. Kiev: Naukova dumka, 5 p. [in Russian].
10. *Sosiukin, L.N., Pavliuk, V.F., Sapozhnikov, K.I., Malyavin, A.G., Khan, B.Kh., Bykov, I.I.* (1973). Experience in the protection of fuel supply equipment and slag ash removal by stone casting. *Elektricheskie stantsii*, no. 10, pp. 68–70 [in Russian].
11. Stone casting problems (1975). Kiev: Naukova dumka, Vyp. 3, 203 p. [in Russian].
12. *Bilenko, A.T., Lekarenko, L.F., Kosinskaya, A.V. et al.* (1984). Production of stone slabs on flow-mechanized lines. *Steklo i keramika*, no. 9, pp. 29-30 [in Russian].
13. *Khan, B.Kh., Malyavin, A.G.* (1972). Cast mica-crystal channels of magnetodynamic installations. *Liteinoe proizvodstvo*, no. 4, pp. 18–19 [in Russian].
14. А. s. USSR no. 287520 Electromagnetic pump channel. Trefnyak, V.A., Khan, B.Kh. et al., B.I. no. 35, 1970 [in Russian].
15. *Polishchuk, V.P., Tsyn, M.R., Gorn, R.K.* et al. (1989). Magnetodynamic pumps for liquid metals. Kiev: Naukova. dumka, 256 p. [in Russian].

16. Polishchuk, V.P. et al. (1981). The use of magnetic hydrodynamics in metallurgy and foundry (PMGD), Part 2, pp. 145–149 [in Russian].
17. Malyavin, A.G. (1983). Research and development of technology for the production of shaped fluoropolytic stone casting: extended abstract of candidate's thesis. Kiev, 23 p. [in Russian].
18. Malyavin, A.G., Ruzhentseva, M.K. (1975). The study of the structure and physico-mechanical properties of cast mica-crystalline material. *Problemy kamennogo lit'ia*, Вып. 3, pp. 158–167 [in Russian].
19. Baybekov, M.K. et al. (1982). Efficiency of reconstruction of the electrolysis shop at the Ust-Kamengorsk Titanium-Magnesium Combine. *Tsvetnaia metallurgii*, no. 5, pp. 52–53 [in Russian].
20. Khan, B.Kh., Kosinskaya, A.V., Malyavin, A.G. (1984). Fluoroflogopite casting in magnesium production. *Tsvetnye metally*, no. 4, pp. 61–64 [in Russian].

Received 08.10.2018

Анотація

А.С. Затуловський, д-р техн. наук, ст. наук. співр., зав. відділу;
А.Г. Малявін, канд. техн. наук, ст. наук. співробітник;
В.О. Щерецький, канд. техн. наук, ст. наук. співр.,
e-mail: Shcheretskiy@nas.gov.ua;
О.А. Кузьменко, мол. наук. співробітник

*Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України,
Київ, Україна*

Мінеральне кам'яне литво – прогресивний науково-технічний напрямок ливарного виробництва

Наведено відомості про науково-дослідні і дослідно-промислові розробки мінерального кам'яного лиття, що пов'язані з його застосуванням в ливарному виробництві та металургії. Розроблено нові види кам'яного лиття і технологію, які дозволили створити поточно-механізовані лінії отримання великогабаритних і фасонних виробів. Технологія і поточно-механізовані лінії були впроваджені на каменеливарних підприємствах.

Ключові слова

Петрургія, мінеральне кам'яне литво, абразивний знос, корозія, формування виливків, мінералоутворення, футерівка, поточно-механізована лінія, фторфлогопітовий матеріал.

Summary

A.S. Zatulovskiy, Doctor of Engineering Sciences, Senior Researcher, Head of the department; **A.G. Malyavin**, Candidate of Engineering Sciences, Senior Researcher; **V.A. Scheretskiy**, Candidate of Engineering Sciences, Senior Researcher, e-mail: Shcheretskiy@nas.gov.ua; **A.A. Kuzmenko**, Junior Researcher

Physico-technological Institute of Metals and Alloys of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Mineral stone casting – progressive scientific and technical direction of foundry manufacture

The article provides information about the research and experimental development of mineral stone casting associated with its use in foundry and metallurgy. New types of stone casting and technology have been developed, which made it possible to create flow-mechanized lines for the production of large-sized and shaped products. The technology and flow-mechanized lines were introduced at the stone foundries.

Keywords

Petroleum, mineral stone casting, abrasive wear, corrosion, casting formation, mineral formation, lining, flow-mechanized line, fluoroflogopite material.