

ISSN 0135-5910 (Print)
ISSN 2619-0753 (Online)

ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

Бюллетень научно-технической и экономической информации

ЗАВОДУ «АЛТАЙ-КОКС» - 40 лет



**2021 год – победа в XVIII отраслевом конкурсе в номинации
«Природоохранная деятельность и ресурсосбережение»**

Ferrous Metallurgy

Bulletin of Scientific, Technical and Economic Information

Том 77. № 11

2021

Редактор – Смильтина В.В.
Ведущие редакторы разделов – Бухова Л.М., Зиновьева Н.Г.
Корректор – Власова Н.А.
Компьютерная верстка – Яшина Н.Н., Галахова А.Г.

Контакты по вопросам подписки, публикации статей и рекламы: *Бессонов Анатолий Васильевич* +7(495) 719-07-38; +7-903-513-56-39
bessonov@chermetinfo.com

Контакты по вопросам доставки: +7(499) 124-49-09 *Бухова Людмила Михайловна*

*Издатель - ОАО «Центральный научно-исследовательский институт информации
и технико-экономических исследований черной металлургии»
117218, Москва, ул. Крижжановского, д. 14, корп. 3, ОАО «Черметинформация»
Тел: (495) 718-07-10, 719-07-92, Факс: (499) 125-78-44 E-mail: main@chermetinfo.com Адрес сайта: www.chermetinfo.com*

ОАО «Центральный научно-исследовательский институт информации
и технико-экономических исследований черной металлургии»

ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

БЮЛЛЕТЕНЬ научно-технической и экономической информации

Журнал включен в перечень научных изданий, рекомендованных ВАК РФ для публикации основных результатов диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия
Регистрационный номер ШИ № 77-18479

Издается с 1944 года, ежемесячно

Том 77, № 11

2021

Москва,
ОАО «Черметинформация»

СОДЕРЖАНИЕ

НА ПРЕДПРИЯТИЯХ И В ИНСТИТУТАХ

Горнорудное производство

Голик В.И., Разоренов Ю.И., Вагин В.С., Ляшенко В.И. Исследование возможности получения альтернативных вяжущих из отходов производства для закладки техногенных пустот 1115

Коксохимическое производство

Золотухин Ю.А., Беркутов Н.А., Купрыгин В.В., Куприянова С.Н. Прогноз качества промышленного кокса в АО ЕВРАЗ НТМК по данным пассивного промышленного эксперимента. Сообщение 1. Прогноз CSR и CRI промышленного кокса 1124

Аглодомненное производство

Кобелев В.А., Нечкин Г.А., Исаенко Г.Е., Кирсанов В.В. Влияние фракционного состава шихты на содержание углерода по высоте слоя агломерационной шихты 1136

Сталеплавильное производство

Чернятевич А.Г., Молчанов Л.С., Сигарев Е.Н., Дудченко С.А., Вакульчук В.В., Юшкевич П.О., Чубин К.И., Похвалитый А.А., Чубина Е.А. Видеофиксация физико-химических процессов в полости конвертера при верхней продувке ванны с использованием различных конструкций кислородных фурм. Сообщение 3. Картина продувки ванны с применением двухъярусных фурм 1142

Князев С.В., Куценко А.И., Усольцев А.А., Гизатулин Р.А., Оздобихина Н.В. Исследование технологических схем получения литых композиционных функциональных материалов 1156

Прокатное производство

Рубцов В.Ю., Новожилов И.С., Чередников В.А., Улегин К.А., Алыпов П.А. Методика расчета калибровки валков для прокатки рельсов с использованием уравнений регрессии 1161

Сычков А.Б., Котцева Н.В., Ефимова Ю.Ю., Атангулова (Камалова) Г.Я. Распознавание поверхностных дефектов листового проката при помощи микрорентгено-спектрального анализа 1168

Метизное производство

Харитонов В.А., Усанов М.Ю. Выбор способа волочения углеродистой проволоки 1177

Экономика, управление и организация производства, инвестиции

Манцевич А.В., Карманович А.В., Мозгов С.А. Этапы и порядок проработки предынвестиционной стадии по проектам в металлургии на примере ОАО “БМЗ – управляющая компания холдинга “БМК” 1186

Модернизация оборудования и реконструкция заводов черной металлургии за рубежом 1194

Новости зарубежной периодики 1200

ЭКСПРЕСС-ИНФОРМАЦИЯ 1203

Статистика 1211

CONTENTS

AT ENTERPRISES AND IN INSTITUTES

Ore-Mining Industry

Golik V.I., Razorenov Yu.I., Vagin V.S., Lyashenko V.I. Study of possibility of obtaining alternative binders from production wastes for filling man-caused voids 1115

Coking and By-Products Process

Zolotukhin Yu.A., Berkutov N.A., Kuprygin V.V., Kupriyanova S.N. Forecasting of industrial coke quality at JSC EVRAZ NTMK based on data of passive industrial experiment. Report 1. Forecasting of CSR and CRI of industrial coke 1124

Sintering and Blast Furnace Processes

Kobelev V.A., Nechkin G.A., Isaenko G.E., Kirsanov V.V. Influence of particles size distribution on the carbon content throughout sinter bed height 1136

Steelmaking

Chernyatevich A.G., Molchanov L.S., Sigarev E.N., Dudchenko S.A., Vakul'chuk V.V., Yushkevich P.O., Chubin K.I., Pokhvalityi A.A., Chubina E.A. Video registration of physicochemical processes in BOF cavity at bath top blowing at application oxygen lances of various designs. Report 3. The picture of bath blowing at application two-level oxygen lances 1142

Knyazev S.V., Kutsenko A.I., Usol'tsev A.A., Gizatulin R.A., Oznobikhina N.V. Investigation of technology schemes for the production of cast composite functional materials 1156

Rolling Mill Practice

Rubtsov V.Yu., Novozhilov I.S., Cherednikov V.A., Ulegin K.A., Alypov P.A. A methodology of roll pass design calculation for rails rolling using regression equations 1161

Sychkov A.B., Koptseva N.V., Efimova Yu.Yu., Atangulova (Kamalova) G.Ya. Recognition of surface defects of rolled steel in sheets by application micro-X-ray spectral analysis 1168

Wire Products Manufacturing

Kharitonov V.A., Usanov M.Yu. Choice of a method of carbon wire drawing 1177

Economics, Management, and Organization of Production, Investments

Mantsevich A.V., Karmanovich A.V., Mozgov S.A. Phases and workup order of pre-investment stage of projects in metallurgy by the example of OJSC “BMZ – managing company of holding “BMK” 1186

Modernization of Equipment and Reconstruction of the Steel works abroad 1194

News of the Foreign Periodicals 1200

EXPRESS INFORMATION 1203

Statistics 1211

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ПОЛУЧЕНИЯ ЛИТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

С. В. КНЯЗЕВ, канд. техн. наук, доцент кафедры материаловедения, литейного и сварочного производства, krookia@mail.ru; А. И. КУЦЕНКО, канд. техн. наук, доцент кафедры менеджмента качества и инноваций, начальник управления научных исследований; А. А. УСОЛЬЦЕВ, канд. техн. наук, доцент кафедры материаловедения, литейного и сварочного производства; Р. А. ГИЗАТУЛИН, д-р техн. наук, профессор кафедры металлургии цветных металлов и химической технологии; Н. В. ОЗНОБИХИНА, аспирант кафедры материаловедения, литейного и сварочного производства (Сибирский государственный индустриальный университет, Россия, Кемеровская обл., г. Новокузнецк)

Аннотация. Получение и использование лигатур, модификаторов и раскислителей для получения конструкционных сплавов заданного состава и свойств в металлургии и литейном производстве является важной производственной задачей. Одной из существующих разработок в области технологий приготовления функциональных композитов на матричной основе для цветных и черных сплавов является объединение твердого наполнителя с расплавом активного металлического связующего. При этом из материала наполнителя, который выбирают из группы, включающей железо, никель, титан, кремний, бор, марганец, сначала формируют пористую заготовку заданной геометрической формы с технологическим суммарным объемом пор, затем нагревают ее до температуры, соответствующей температуре ликвидуса активного связующего, причем нагрев ведут в газовой инертной среде, после чего для объединения наполнителя со связующим нагретую заготовку пропитывают расплавом этого связующего путем принудительной инфильтрации расплава в поры заготовки под давлением преимущественно методом жидкой штамповки. Задача исследования заключалась в расширении области использования композитов, создании единой гибкой универсальной и при этом упрощенной технологии, которая обеспечит возможность получения широкого диапазона разнообразных по составу и служебным характеристикам раскислителей, модификаторов и лигатур для цветных и черных сплавов. Разработанная технология, основанная на вакуумной пропитке (всасывании) матричного сплава через пористый наполнитель, позволяет получить новые функциональные металломатричные композиционные материалы заданного состава для использования в качестве недорогих лигатур, модификаторов и раскислителей в металлургических процессах, а также упростить и сделать безопасным их использование. Предлагаемый способ получения лигатур, модификаторов и раскислителей обеспечивает возможность их промышленного серийного производства и прост в исполнении, а также удешевляет получаемый с их помощью продукт металлургии за счет повышения эффективного содержания активных составляющих и более полного их усвоения, что снижает расход дефицитных и дорогостоящих материалов.

Ключевые слова: легирование и модифицирование, композиционные функциональные материалы, вакуумная пропитка, принудительная инфильтрация расплава, матричный сплав, пористый наполнитель.

Ссылка для цитирования: Князев С.В., Куценко А.И., Усольцев А.А., Гизатулин Р.А., Ознобихина Н.В. Исследование технологических схем получения литых композиционных функциональных материалов // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2021. Т. 77. № 11. С. 1156-1160.

Doi: 10.32339/0135-5910-2021-11-1156-1160

INVESTIGATION OF TECHNOLOGY SCHEMES FOR THE PRODUCTION OF CAST COMPOSITE FUNCTIONAL MATERIALS

S. V. KNYAZEV, PhD (Tech.), Prof. Ass., Dpt. "Material science, foundry and welding", krookia@mail.ru; A. I. KUTSENKO, PhD (Tech.), Prof. Ass., Dpt. "Management of quality and innovations", Head of Research Administration; A. A. USOLTSEV, PhD (Tech.), Prof. Ass., Dpt. "Material science, foundry and welding"; R. A. GIZATULIN, HD (Tech.), Prof., Dpt. "Metallurgy of nonferrous metals and chemical technology"; N. V. OZNOBIKHINA, Postgraduate, Dpt. "Material science, foundry and welding" (Siberian State Industrial University, Russia, Kemerovo rgn., Novokuznetsk)

Abstract. Obtaining and using ligatures, modifiers and deoxidizers to obtain structural alloys of a given composition and properties in metallurgy and foundry is an important production task. One of the existing developments in the field of technologies for the preparation of functional composites on a matrix basis for non-ferrous and ferrous alloys is the combination of solid filler with a melt of an active metal binder. At that, from the filler material, which is selected from the group comprising iron, nickel, titanium, silicon, boron, manganese, first a porous workpiece of a given geometric shape with a technological total pore volume is formed, then it is heated to a temperature corresponding to the liquidus temperature of the active binder, the heating being carried out in a gas inert medium, after which the heated workpiece is impregnated with the melt of this binder by forced infiltration of the melt into the pores of the workpiece under pressure, mainly by the method of liquid stamping. The task of the study was to expand the scope of use of

composites, to create a single flexible universal, and at the same time, simplified technology that will provide an opportunity to obtain a wide range of diverse in composition and service characteristics of deoxidizers, modifiers and ligatures for non-ferrous and ferrous alloys. The developed technology, based on vacuum impregnation (suction) of the matrix alloy through porous filler, makes it possible to obtain new functional metal-matrix composite materials of a given composition for use as inexpensive ligatures, modifiers and deoxidizers in metallurgical processes, as well as to simplify and make their use safe. The proposed method for obtaining ligatures, modifiers and deoxidizers provides a possibility of their industrial serial production and is easy to perform, and also reduces the cost of the metallurgy product obtained with their application by increasing the effective content of active components and their more complete assimilation, which reduces the consumption of scarce and expensive materials.

Keywords: alloying and modifying, composite functional materials, vacuum impregnation, forced infiltration of melt, matrix alloy, porous filler.

For citation: Knyazev S.V., Kutsenko A.I., Usol'tsev A.A., Gizatuln R.A., Oznobikhina N.V. Investigation of technology schemes for the production of cast composite functional materials. *Chernaya metallurgiya. Byulleten' nauchno-tekhnicheskoi i ekonomicheskoi informatsii = Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information*, 2021, vol. 77, no. 11, pp. 1156-1160. (In Russ.).

Doi: 10.32339/0135-5910-2021-11-1156-1160

Развитие техники невозможно без разработки новых конструкционных и функциональных материалов с заранее заданными составами, как следствие, свойствами, среди которых большой интерес представляют металломатричные композиционные сплавы (МКС), состоящие обычно из литой основы — металломатрицы и наполнителя — формообразованных гранул, дробы, стружки, а также пористой преформы, с возможным добавлением частиц малого размера, в том числе и наноразмерных [1–5].

В МКС основой являются литейные сплавы, а функциональным наполнителем — легирующие и модифицирующие элементы, дисперсные частицы, искусственно внедренные в металломатрицу. При этом, как правило, в качестве функциональных добавок (элементов) используются алюминий в качестве раскислителя, магний в качестве модификатора, а также добавки тугоплавких частиц оксидов, карбидов, боридов, нитридов.

Одним из методов получения МКС являются жидкофазные технологические схемы. В основном используют три схемы производства МКС:

- введение частиц в расплав при интенсивном перемешивании с помощью импеллера или магнитогидродинамического перемешивателя;
- пропитку формообразованных дисперсных частиц или пористых преформ матричным расплавом;
- порошковую технологию.

Для реализации технологий получения функциональных МКС для металлургии было выбрано второе направление, где процесс пропитки осуществляется путем просасывания вакуумом матричного расплава сквозь пористую преформу. Технология пропитки расплавом пористого наполнителя в настоящее время единственная, которая позволяет получать широкий спектр изделий из МКС любых размеров и конфигурации, сочетающих в одном изделии многокомпонентную структуру (рис. 1 и 2).

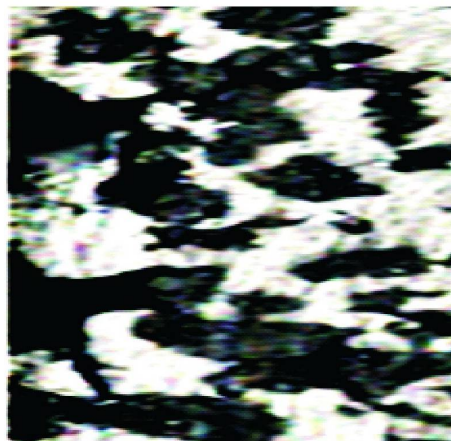


Рис. 1. Металломатричный композиционный сплав с алюминием (матричный материал) и графитом (формообразованный пористый наполнитель)

Fig. 1. Metal-matrix composite alloy with aluminum (matrix material) and graphite (formed porous filler)

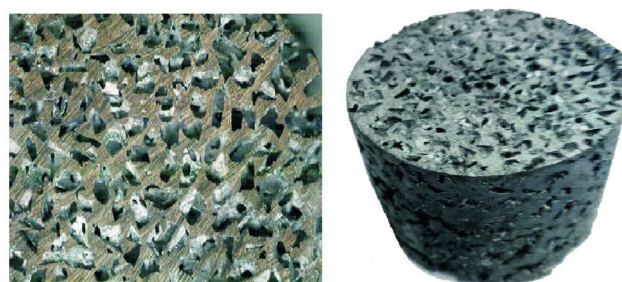


Рис. 2. Пористая заготовка — преформа из матричного алюминиевого сплава для ввода в поры частиц малого размера, в том числе и наноразмерных

Fig. 2. Porous workpiece – preform of matrix aluminum alloy for leading into pores of small size particles, including nano-size ones

В качестве основного технологического оборудования для получения изделий из МКС рекомендована индукционная вакуумная машина для литья металлического сплава INDUTHERM

VC3000V, обладающая улучшенными по сравнению с аналогами и предшественниками характеристиками. Ключевыми преимуществами данного устройства являются комплектация виброприводом, пневматическим замком камеры плавления и функция избыточного давления. При относительно небольшом внешнем габарите и весе данная установка может одновременно обрабатывать до 9 кг металла, в частности, она считается одной из лучших для изготовления изделий из алюминия и магния, что позволяет использовать ее в оснащении производства изделий из МКС. По сравнению с другими моделями INDUTHERM VC3000V обладает увеличенным до 3400 см³ тиглем и преформой с максимальным размером 450×600 мм, что позволяет использовать ее в промышленных целях.

Для получения пористых преформ и формирования пористых наполнителей используются следующие принципиальные технологические схемы:

- получения пористых преформ из пористого алюминия или магния: наполнитель (NaCl) – сушка и очистка – рассев по фракциям – засыпка наполнителя в оболочку и формообразование – нагрев наполнителя – заливка расплава под вакуумом (просасывание через наполнитель) – кристаллизация и охлаждение в форме – удаление отливки (литой заготовки) из формы – механическая обработка отливки – вымывка наполнителя в отливке водой (растворение соли) – сушка готового изделия;

- получения пористых преформ из пористого чугуна или стали: наполнитель (бой керамических корочек от ЛВМ) – сушка и очистка – рассев по фракциям – засыпка наполнителя в оболочку и формообразование – нагрев наполнителя – заливка расплава под вакуумом (просасывание через наполнитель) – кристаллизация и охлаждение в форме – удаление отливки (литой заготовки) из формы – механическая обработка отливки – вымывка наполнителя в отливке щелочным раствором NaOH (выщелачивание) – промывка в воде и сушка готового изделия;

- из сыпучего материала наполнителя (дробь, стружка, гранулы, порошки и пр.) формируют пористую заготовку в виде любой целесообразной геометрической объемной фигуры, например цилиндра. Заготовку можно формировать любым известным образом, наиболее оптимально уплотнение встряхиванием в оболочках, например трубе, брикетирование материала наполнителя прессованием или с помощью промежуточного пассивного связующего, в качестве которого может быть использовано жидкое стекло. На стадии формирования заготовки обеспечивают определенный технологи-

ческий суммарный объем ее пор, задавая таким образом соответствующий объем матричного материала в готовом изделии, соответственно, и его массу, и доленое участие в рецептуре. Если заготовку формируют брикетированием материала наполнителя с пассивным связующим (жидким стеклом), то объем пор обеспечивают соотношением исходных объемов наполнителя и жидкого стекла. В этом случае материал наполнителя смешивают с жидким стеклом в заданном соотношении, полученную смесь формируют и подсушивают до состояния сохранения формы, иногда совмещая эту операцию с нагревом заготовки под пропитку. При формировании заготовки прессованием объем обеспечивают достигаемой при прессовании степенью плотности заготовки [6].

Готовую пористую заготовку нагревают в печи в среде инертного газа (аргона или азота) до температуры, соответствующей температуре ликвидуса металла, выбранного в качестве матричного материала.

Материал твердого наполнителя, являющийся основой для приготовления раскислителя или лигатуры в виде МКС с требуемыми функциональными свойствами, выбирают из группы, включающей железо, титан, никель, марганец, кремний, бор, и используют в виде порошка, гранул, стружки или в другой какой-либо технологически целесообразной форме с размером фракций от 0,25 до 10 мм.

Матричный материал также в зависимости от служебных свойств изготавливаемого изделия выбирают из группы металлов, содержащей алюминий, магний, медь, свинец, цинк, используя их в чистом виде или в виде сплавов на основе любого из них.

Получение МКС может быть использовано при создании эффективных лигатур и модификаторов для алюминиевых сплавов. Технология заключается в том, что тугоплавкие частицы легирующего материала размером не менее 0,25 мм засыпают в форму (трубу диам. 50–100 мм) при комнатной температуре в воздушной среде, форму нагревают до температуры около 500 °С, помещают в вакуумную камеру для дегазации, после чего заливают ее расплавом алюминия с обеспечением просасывания расплава алюминия в поры между тугоплавкими частицами легирующего материала.

МКС с функциями ферросплавов и лигатур для раскисления и легирования сталей изготавливается следующим образом. Раскислитель выполнен в виде композита, в котором алюминий содержится в качестве легкоплавкого матричного компонента, а сплав на основе железа — в качестве тугоплавкого пористого компонента при отношении массовых долей матричного и пористого компонентов в пределах

25/75–50/50. В качестве пористого компонента из сплава на основе железа используют сталь и/или чугун в виде частиц размером 0,25–10,0 мм, что обеспечивает увеличение усвояе-

мости алюминия жидкой сталью на 20–40 % и улучшение качества стали за счет повышения стабильности процесса ее раскисления [7, 8].

Выводы

Исследованию и разработке металломатричных композиционных материалов уделяется значительное внимание практически во всех экономически развитых странах благодаря комплексу технологических свойств, в том числе, как “носителя” состава, спланированных ком-

плексов лигатур и модификаторов, при разработке новых конструкционных материалов, которые могут быть получены в этом классе функциональных материалов и которые труднодостижимы в материалах, получаемых с использованием традиционных технологий [9, 10].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Knyazev S.V., Usoltsev A.A., Kutsenko A.I. etc. Small-scale production of cast porous and composite materials // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: 21, Technologies, Innovation, Quality, Novokuznetsk, October 23–24, 2019. — Novokuznetsk, 2020. P. 012013. Doi: 10.1088/1757-899X/866/1/012013.
2. Князев С.В., Усольцев А.А., Куценко А.И. Новая технология ввода наноматериалов в расплав на основе использования пористых литых материалов // Инновационные технологии в литейном производстве: сб. трудов Междунар. научно-технич. конф., посвященной 150-летию факультета “Машиностроительные технологии” и кафедры “Технологии обработки материалов” МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 22–23 апреля 2019 г. / Под общ. ред. К.А. Батышева, К.Г. Семенова. — М.: Московский государственный областной университет, 2019. С. 61–65.
3. Князев С.В., Усольцев А.А., Куценко А.И. Наноматериалы на основе пористых литых металлов и способ их ввода в расплав // Литейное производство. 2019. № 9. С. 5–7.
4. Мамедов Р.О., Долгополов А.Е., Дмитриенко А.В. и др. Технология получения отливок из сплава 30ХГСЛ // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Новокузнецк, 13–15 июня 2018 г. — Новокузнецк: Сибирский государственный индустриальный университет, 2018. С. 184–187.
5. Соколов Б.М., Ознобихина Н.В., Долгополов А.Е. и др. Разработка лабораторного оборудования для исследования процессов литья и сварки в вакууме // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Новокузнецк, 13–15 июня 2018 г. — Новокузнецк: Сибирский государственный индустриальный университет, 2018. С. 190–192.
6. Долгополов А.Е., Мамедов Р.О., Шевченко Р.А. и др. Использование симплекс-метода Нелдера–Мида для оптимизации состава смесей при литье и сварке // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Новокузнецк, 13–15 июня 2018 г. — Новокузнецк: Сибирский государственный индустриальный университет, 2018. С. 193–198.
7. Князев С.В., Лубяной Д.А., Мамедов Р.О. Плавка стали в малой дуговой печи // Metallurgy of machine building. 2021. № 3. С. 18–20.
8. Lubyanyov D.A., Mamedov R.O., Sokolov B.M. etc. Resource and energy saving technology for producing high-quality steel castings with heat-time treatment // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: 21, Technologies, Innovation, Quality, Novokuznetsk, October 23–24, 2019. — Novokuznetsk, 2020. P. 012044. Doi: 10.1088/1757-899X/866/1/012044.
9. Knyazev S.V., Usoltsev A.A., Skopich D.V. etc. Automated system of control and diagnostics of cast-steel defects in the mass production // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. V. 150. P. 1–5 (012039).
10. Antipenko V.I., Knyazev S.V. Diagnostics of steel castings production with the aid of technological pilot samples // Soviet Castings Technology (English Translation of Liteinoe Proizvodstvo), 1987. № 7. P. 34.

Поступила 29 июня 2021 г.

REFERENCES

1. Knyazev S.V., Usoltsev A.A., Kutsenko A.I. etc. Small-scale production of cast porous and composite materials. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: 21, Technologies, Innovation, Quality, Novokuznetsk, October 23–24, 2019. Novokuznetsk, 2020, pp. 012013. Doi: 10.1088/1757-899X/866/1/012013.
2. Knyazev S.V., Usoltsev A.A., Kutsenko A.I. *Novaya tekhnologiya vvoda nanomaterialov v rasplav na osnove ispol'zovaniya poristykh litykh materialov* [New technology for introducing nanomaterials into the melt based on the use of porous cast materials]. *Innovatsionnye tekhnologii v liteinom proizvodstve: sb. trudov Mezhdunar. nauchno-tekhnich. konf., posvyashchennoi 150-letiyu fakul'teta "Mashinostroitel'nye tekhnologii" i kafedry "Tekhnologii obrabotki materialov" MGTU im. N.E. Baumana, Moskva, 22–23 aprelya 2019 g.* [Innovative technologies in foundry production: collection of articles. Proceedings of Int. scientific and technical Conf., dedicated to the 150th anniversary of the Faculty of Machine-Building Technologies and the Department of Materials Processing Technologies of the Moscow State Technical University. N.E. Bauman, Moscow, April 22–23, 2019]. Batyshev K.A., Semenov K.G. ed. Moscow: Moskovskii gosudarstvennyi oblastnoi universitet, 2019, pp. 61–65. (In Russ.).

3. Knyazev S.V., Usol'tsev A.A., Kutsenko A.I. Nanomaterials based on porous cast metals and a method for their introduction into the melt. *Liteinoe proizvodstvo*, 2019, no. 9, pp. 5–7. (In Russ.).
4. Mamedov R.O., Dolgopolov A.E., Dmitrienko A.V. etc. *Tekhnologiya polucheniya otlivok iz splava 30KhGSL* [Technology for producing castings from alloy 30KhGSL]. *Nauka i molodezh': problemy, poiski, resheniya: Trudy Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh, Novokuznetsk, 13–15 iyunya 2018 g.* [Science and Youth: Problems, Searches, Solutions: Proceedings of the All-Russian Scientific Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists, Novokuznetsk, 13–15 June 2018]. Novokuznetsk: Sibirskii gosudarstvennyi industrial'nyi universitet, 2018, pp. 184–187. (In Russ.).
5. Sokolov B.M., Oznobikhina N.V., Dolgopolov A.E. etc. *Razrabotka laboratornogo oborudovaniya dlya issledovaniya protsessov lit'ya i svarki v vakuume* [Development of laboratory equipment for studying the processes of casting and welding in vacuum]. *Nauka i molodezh': problemy, poiski, resheniya: Trudy Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh, Novokuznetsk, 13–15 iyunya 2018 g.* [Science and Youth: Problems, Searches, Solutions: Proceedings of the All-Russian Scientific Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists, Novokuznetsk, 13–15 June 2018]. Novokuznetsk: Sibirskii gosudarstvennyi industrial'nyi universitet, 2018, pp. 190–192. (In Russ.).
6. Dolgopolov A.E., Mamedov R.O., Shevchenko R.A. etc. *Ispol'zovanie simpleks-metoda Nelder–Mida dlya optimizatsii sostava smesei pri lit'e i svarke* [Using the Nelder–Mead simplex method to optimize the composition of mixtures during casting and welding]. *Nauka i molodezh': problemy, poiski, resheniya: Trudy Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh, Novokuznetsk, 13–15 iyunya 2018 g.* [Science and Youth: Problems, Searches, Solutions: Proceedings of the All-Russian Scientific Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists, Novokuznetsk 13–15 June 2018]. Novokuznetsk: Sibirskii gosudarstvennyi industrial'nyi universitet, 2018, pp. 193–198. (In Russ.).
7. Knyazev S.V., Lubyanoi D.A., Mamedov R.O. Melting of steel in a small arc furnace. *Metallurgiya mashinostroeniya*, 2021, no. 3, pp. 18–20. (In Russ.).
8. Lubyanoi D.A., Mamedov R.O., Sokolov B.M. etc. Resource and energy saving technology for producing high-quality steel castings with heat-time treatment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: 21, Technologies, Innovation, Quality, Novokuznetsk, October 23–24, 2019*. Novokuznetsk, 2020, pp. 012044. Doi: 10.1088/1757-899X/866/1/012044.
9. Knyazev S.V., Usoltsev A.A., Skopich D.V., Fatyanova E.A., Dolgopolov A.E. Automated system of control and diagnostics of cast-steel defects in the mass production. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2016, vol. 150, pp. 1–5 (012039).
10. Antipenko V.I., Knyazev S.V. Diagnostics of steel castings production with the aid of technological pilot samples. *Soviet Castings Technology (English Translation of Liteinoe Proizvodstvo)*, 1987, no. 7, pp. 34.

Received June 21, 2021