

---

Научная статья

УДК 621.74.045

DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-7-3-11

## ГРАНУЛИРОВАНИЕ МОДЕЛЬНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ПРОИЗВОДСТВА НИЦ «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ» – ВИАМ ДЛЯ ЛИТЬЯ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ

Т.Л. Форостович<sup>1</sup>, А.Р. Нарский<sup>1</sup>, О.Н. Битюцкая<sup>1</sup>, Н.А. Мокеев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Москва, Россия; admin@viam.ru

**Аннотация.** Рассматриваются технологии изготовления современных высококачественных модельных композиций типа ВИАМ на основе отечественного сырья для получения деталей методом литья по выплавляемым моделям. Результаты экспериментальных исследований, проведенных в НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, по изучению возможности гранулирования модельных композиций позволили улучшить технологичность процесса их изготовления. Благодаря высокой насыпной плотности полученные гранулы позволили упростить как загрузку прессового оборудования, так и фасовку для последующего хранения.

**Ключевые слова:** модельные композиции, воск, пластификатор, нефтеполимерная смола, точное литье, жаропрочные сплавы, гранулирование

**Для цитирования:** Форостович Т.Л., Нарский А.Р., Битюцкая О.Н., Мокеев Н.А. Гранулирование модельных композиций производства НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ для литья по выплавляемым моделям // Труды ВИАМ. 2024. № 7 (137). Ст. 01. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-7-3-11.

Scientific article

## GRANULATION OF MODEL COMPOSITIONS PRODUCED BY NATIONAL RESEARCH CENTER «KURCHATOV INSTITUTE» – VIAM FOR CASTINGS ON SMELTED MODELS

T.L. Forostovich<sup>1</sup>, A.R. Narsky<sup>1</sup>, O.N. Bityutskaya<sup>1</sup>, N.A. Mokeev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific-Research Institute of Aviation Materials» of National Research Center «Kurchatov Institute», Moscow, Russia; admin@viam.ru

**Abstract.** The technological issues of manufacturing modern high-quality model compositions of the VIAM type based on domestic raw materials for the production of parts by casting on smelted models are considered. The results of experimental studies conducted at the National Research Center «Kurchatov Institute» – VIAM, to study the possibility of granulating model compositions made it possible to improve the manufacturability of their production process. The resulting granules, due to their high bulk density, made it possible to simplify both the loading of pressing equipment and packaging for subsequent storage.

**Keywords:** model compositions, wax, plasticizer, petroleum polymer resin, precision casting, superalloys, granulation

**For citation:** Forostovich T.L., Narsky A.R., Bityutskaya O.N., Mokeev N.A. Granulation of model compositions produced by National Research Center «Kurchatov Institute» – VIAM for castings on smelted models. *Trudy VIAM*, 2024, no. 7 (137), paper no. 01. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-7-3-11.

### **Введение**

Широкую номенклатуру деталей различного назначения изготавливают как в России, так и за рубежом, чаще всего методом точного литья по выплавляемым моделям. Этот метод позволяет получать требуемую отливку любой, в том числе сложной, конфигурации с высокой точностью размеров. Поскольку дополнительная обработка полученной отливки практически не требуется, то трудоемкость и себестоимость литейного производства оказывается значительно ниже, чем при изготовлении аналогичных деталей другими способами. Так, литьем по выплавляемым моделям получают различные детали авиационных газотурбинных двигателей и энергетических установок. Важнейшее значение среди таких деталей имеют лопатки из никелевых жаропрочных сплавов [1–4]. Они подвергаются действию целого комплекса термических и механических нагрузок, поэтому надежность лопаток определяет максимальную продолжительность эксплуатации двигателя [5]. Работоспособность рабочих и сопловых лопаток обеспечивается системой их охлаждения, так как температура газа на входе в турбину намного выше температуры плавления жаропрочных сплавов [6].

Изготовление образцов и деталей методом литья по выплавляемым моделям состоит из следующих стадий: изготовление модели детали и литниково-питающей системы в пресс-формах; отделка моделей; соединение моделей в блоки; послойное нанесение огнеупорной керамической суспензии, состоящей из связующего и наполнителя, с обсыпкой каждого слоя шлифпорошком и просушкой, т. е. получение оболочковой формы; удаление модели из формы; прокалка оболочковой формы; заливка оболочки жаропрочным сплавом.

Физико-химические свойства и качество модельных композиций оказывают решающее влияние на геометрическую точность и класс чистоты поверхности отливки, получаемой точным литьем [7]. Отсюда главное требование к модельным композициям – обязательное обеспечение высокого качества литых деталей при одновременном удобстве применения (технологичности). Оптимальный состав модельной композиции должен основываться на принципе использования недефицитных материалов и минимизации числа компонентов. Модельная композиция должна также иметь хорошую текучесть в пастообразном состоянии, невысокую и стабильную усадку; обладать прочностью и твердостью для недопущения деформации и повреждения моделей; не взаимодействовать химически с материалом пресс-формы и со связующим; обладать хорошей смачиваемостью, минимальной зольностью для большей полноты выгорания при прокалке форм и недопустимости образования поверхностных дефектов на отливке; иметь невысокую температуру плавления для обеспечения хорошей заполняемости пресс-формы в процессе изготовления моделей и простоты их удаления из оболочковой формы. При выборе модельной композиции дополнительно учитывают такие параметры, как легкость припаивания, возможность регенерации и отсутствие вредных компонентов [2, 3, 8].

В СССР в промышленных масштабах при литье по выплавляемым моделям использовали воскообразные выплавляемые парафино-стеариновые модельные составы, такие как ПС 50-50 и ПС 70-30, а также состав с добавлением этилцеллюлозы ПСЭ 70-25-5 [2]. Модели на основе природных сырьевых материалов (минеральных восков, нефти, торфа, каменного угля) несколько десятилетий являлись основными в отечественной авиационной промышленности, где практически все пресс-формы были рассчитаны на использование этих композиций.

Но несмотря на хорошие реологические свойства в пастообразном состоянии, составы отличались малой теплостойкостью ~35 °С. Более того, стеарин мог вступать

в реакцию с растворителями этилсиликатного связующего, входящего в состав керамической суспензии.

Получение более точных моделей, не взаимодействующих с компонентами суспензии и водой при их удалении из оболочковой формы, было обеспечено новыми составами, в основу которых входили синтетические полимеры, полиэтиленовые воски – например, состав ПВ-200. Они оказывали положительное влияние на прочность и термоустойчивость моделей. Самый известный состав марки ВИАМ-102 (парафин, буроугольный воск, торфяной воск, триэтаноламин) впоследствии был снят с производства из-за дефицита торфяного воска. Опыт применения подобных модельных масс в промышленности показал ряд их недостатков, таких как низкая смачиваемость суспензией, высокие коэффициент термического расширения и зольность, склонность к трещинообразованию.

Постоянно возрастающие требования к качеству поверхности литых деталей и размерной точности приводили, в свою очередь, к непрерывному повышению требований к качеству применяемых модельных композиций и совершенствованию технологических процессов их изготовления и нанесения керамического покрытия на модельные блоки. Но отечественные научно-исследовательские работы в области разработки новых модельных композиций в конце 1980-х гг. были прекращены, большинство двигателестроительных заводов оказались вынуждены работать с импортными модельными составами. Чаще всего для изготовления рабочих и сопловых лопаток, деталей соплового аппарата, камеры сгорания газотурбинного двигателя применяли модельные композиции производства США и Великобритании [8]. Они представляли собой твердые растворы олигомеров в предельных углеводородах разной степени насыщения – например, парафин и церезин с пластификатором сэвиленом (сополимер этилена с винилацетатом) и упрочняющими добавками – полимерными смолами.

### **Материалы и методы**

Возобновление исследований и создание модельных композиций нового поколения на основе синтетических смол и восков низкой зольности относится к началу 2000-х гг. Всесторонние исследования, проведенные специалистами ФГУП «ВИАМ» (в настоящее время – НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ) и ФГУП «ММПП «Салют» (в настоящее время – производственный комплекс «Салют» АО «ОДК»), позволили разработать модельные композиции с улучшенными технологическими характеристиками на основе отечественных синтетических материалов, таких как нефте- и термополимерные смолы и их сополимеры [1, 3, 4, 7–13]: сначала – типа Салют, а затем – типа ВИАМ. На рис. 1 представлены образцы нескольких марок модельных композиций типа ВИАМ.

В современный типовой модельный состав нового поколения входят около десяти различных компонентов: парафин, воск, смолы; пластификаторы, повышающие трещиностойкость; присадки, красители; наполнители, увеличивающие прочность и стабильность готовых моделей (например, терефталевая кислота).

Разработка современных отечественных модельных композиций нацелена на устранение необходимости приобретения иностранной продукции российскими авиа- и двигателестроительными предприятиями.

В таблице представлены основные физико-механические характеристики модельных композиций типа ВИАМ: предел прочности при статическом изгибе, линейная усадка, теплоустойчивость, температура каплепадения, зольность. Они обладают также хорошей текучестью, инертностью к материалам керамической формы, устойчивостью к трещинам, нетоксичностью и технологической безопасностью [14].

**Физико-механические свойства модельных композиций типа ВИАМ**

Свойства	Значения свойств для модельных композиций марок			
	МК-Л	МК-1	МК-2	МК-4
Предел прочности при статическом изгибе, МПа, при температуре 20±1 °С (не менее)	4,5	7	8	4
Свободная линейная усадка, %	0,84	0,65	0,6	0,75
Теплоустойчивость, °С (не менее)	35	42	48	40
Температура каплепадения, °С	60–70	80–90	85–95	50–70
Массовая доля золы (зольность), % (не менее)	0,05	0,05	0,05	0,05

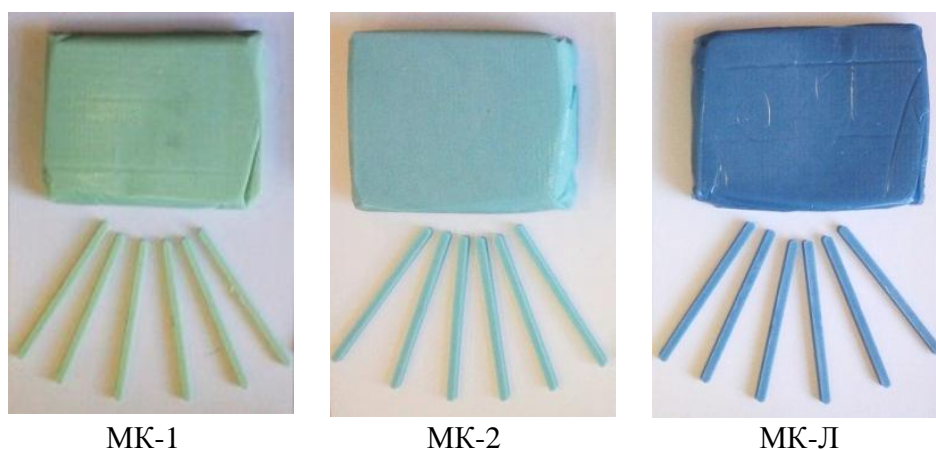


Рис. 1. Образцы отдельных модельных композиций типа ВИАМ

Модельные композиции изготавливают из отечественных синтетических материалов высокого качества, что гарантирует стабильность и высокий уровень физико-механических и технологических свойств готовой продукции, а также низкую стоимость (по сравнению с зарубежными аналогами). Таким образом, проблема импортозамещения в технологии производства современных модельных композиций была решена.

Увеличение или уменьшение температуры, давления и скорости запрессовки модельных композиций типа ВИАМ не приводит к изменению технологических свойств. Комплекс выполненных исследований позволил разработать нормативную документацию: Технические условия 1-595-1-1545–2015 (с изменением № 1) на модельные композиции и Технологическую инструкцию 1-595-1-838–2023 на изготовление модельных композиций. В 2016 г. коллектив авторов во главе с академиком РАН Е.Н. Кабловым получил патент РФ 2600468 «Композиция для изготовления выплавляемых моделей» [15].

Высокий спрос, возникший со стороны промышленных предприятий, привел к созданию в НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ в середине 2010-х гг. специального производственного участка по изготовлению модельных композиций нового поколения. Выпускается следующая продукция – модельные композиции марок Салют-1, Салют-2, Салют-3, Салют-4, ВИАМ МК-1, ВИАМ МК-2, ВИАМ МК-4, а также производится марка ВИАМ МК-Л, применяемая для литниково-питающих систем. Производственная мощность участка составляет 60 т в год [14]. На производственном участке для изготовления модельных композиций используют

специальную установку, состоящую из пяти смесителей и роликового конвейера (рольганга), которая в течение рабочего дня позволяет изготавливать до 250 кг различных композиций. Проверку качества готовой продукции осуществляют в специальном помещении, оснащённом необходимым испытательным оборудованием и средствами измерения: автоматическим аппаратом для определения температуры каплепадения упрочняющих компонентов; аппаратом для определения пенетрации; автоматическим прибором для определения температуры размягчения полимеров; аналитическими весами, используемыми для определения зольности; универсальной испытательной машиной для определения предела прочности при статическом изгибе; электропечью и термостатом.

Модельные композиции производятся как для внутреннего использования в цехах НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ при изготовлении образцов и деталей газотурбинных двигателей, так и для поставки на следующие предприятия: ПАО «ОДК-УМПО» (Уфа), ООО «Башполимерхим» (Уфа), АО «КМПО» (Казань), АО «МПО «Металлист» (Москва), ООО «Виола Кемикал» (Москва), ФГУП ВНИИА им. Н.Л. Духова (Москва), ООО «ПТК «Электросталь» (Москва), Иркутский авиационный завод – филиал ПАО «Яковлев» (Иркутск), Филиал ПАО «ОДК-Сатурн – ОМКБ» (Омск) и другие.

Сотрудниками лаборатории «Технологии литейных процессов жаропрочных сплавов и сталей» проведена исследовательская работа по изучению влияния процесса гранулирования на технологичность получения готовых модельных композиций типа ВИАМ. Для этого в НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ приобретена и введена в эксплуатацию специальная линия грануляции, производительность которой составляет от 60 до 100 кг в смену (рис. 2).

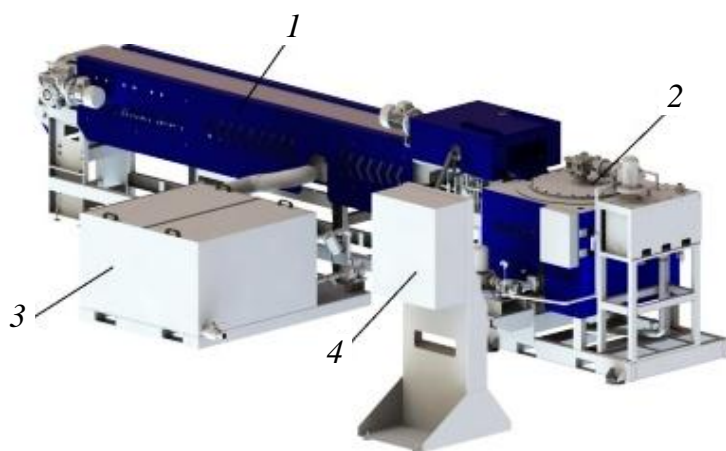


Рис. 2. Линия грануляции модельных композиций: 1 – ленточный гранулятор; 2 – бак нагрева; 3 – водяной бак охлаждения; 4 – пульт управления

Конструкция линии грануляции восков, парафинов и смол предусматривает возможность ее использования также для производства композиционных материалов на основе названного сырья.

Измельченное сырье загружается в бак нагрева для получения расплава и равномерного смешивания компонентов. Расплавленный материал далее транспортируется при помощи насоса в формующую головку. Она состоит из обогреваемого цилиндрического статора, в который подается жидкий продукт, и перфорированного кожуха, который вращается вокруг статора и распределяет капли

продукта по всей рабочей ширине стальной ленты конвейера, выполняющего также функцию охладителя.

Система распределительных каналов и внутренних форсунок, встроенных в цилиндрический статор, создает одинаковое давление по всей его ширине, что обеспечивает равномерную подачу продукта через все отверстия внешнего перфорированного кожуха. Благодаря этому по всей ширине ленты происходит формирование гранул одинаковой формы и равной прочности, при этом пылеобразование исключается. Скорость вращения формующей головки синхронизирована со скоростью движения ленты, что не допускает возможности деформации гранул при их распределении.

Тепло, выделяемое при охлаждении и кристаллизации, отводится через стальную ленту с помощью подаваемой воды, охлаждающей внутреннюю сторону ленты. Вода собирается в поддонах и возвращается в систему обратного водоснабжения, не контактируя с продуктом. Для дополнительного охлаждения ленты в конвейер встроена также система воздушного охлаждения.

Отделение готовых охлажденных гранул модельного состава от ленты производят с помощью специального скребка. Гранулы пересыпают в зону загрузки пневмотранспорта для дальнейшей транспортировки в фасовочное оборудование.

### Результаты

Проведенная работа по опробованию технологии грануляции модельных композиций типа ВИАМ позволила сделать следующие выводы. Полученные в процессе изготовления гранулы обладают хорошей сыпучестью и становятся практически идеальными как для переработки или смешивания, так и для транспортировки или хранения с целью использования в дальнейшем. Гранулирование модельных композиций позволяет осуществлять удобную загрузку в пресс, улучшая адаптированность к современным пресс-машинам. Гранулированные продукты обладают более высокой насыпной плотностью и улучшенными характеристиками для расфасовки.



Рис. 3. Смесь гранул модельных композиций типа ВИАМ

Следует отдельно отметить, что технология гранулирования – экологически чистое производство, поскольку применяемая охлаждающая среда (вода) не соприкасается с продуктом, что исключает даже малейшую возможность его загрязнения. Высокая теплопроводность стальной ленты обеспечивает небольшую продолжительность охлаждения модельных композиций, а следовательно, только немного испарений или газов может попасть в атмосферу; в то же время лишь

минимальное количество кислорода может проникнуть в продукт. Гранулы образуются непосредственно из расплава, избавляя от необходимости затрат на энергию и оборудование, связанных с последующим перемалыванием, дроблением или каким-либо иным процессом измельчения продукта. На рис. 3 представлены полученные в результате исследования гранулы различных марок модельных композиций типа ВИАМ.

Благодаря проведенной исследовательской работе НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ получил возможность производить для отечественной промышленности модельные композиции как в виде плит (брикетов), так и в виде гранул.

### **Обсуждение и заключения**

При изготовлении различных литых образцов и деталей (в том числе лопаток газотурбинных двигателей) методом литья по выплавляемым моделям свойства модельной композиции определяют точность детали и класс чистоты поверхности. Проведенные экспериментальные исследования по гранулированию модельных композиций типа ВИАМ с помощью специального оборудования (линии грануляции) позволили улучшить технологичность процесса в части подготовительной работы как перед запрессовкой в плане удобства загрузки пресса, так и при хранении, смешивании, погрузке и перемещении продукции.

Применение современных модельных композиций с улучшенными технологическими характеристиками позволяет обеспечить отечественные предприятия высококачественными материалами для изготовления лопаток газотурбинных двигателей сложной формы, различных фасонных, корпусных и иных деталей. Это способствует обеспечению более высокого выхода годных отливок.

Исключительно важно, что применение высококачественных сырьевых материалов отечественного производства позволяет полностью исключить зависимость от импорта.

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП «Климатические испытания» НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ.

### **Список источников**

1. Оспенникова О.Г., Пикулина Л.В., Шункин В.Н. Модельные композиции для литья лопаток газотурбинных двигателей // *Литейное производство*. 2001. № 10. С. 23–24.
2. *Литье по выплавляемым моделям* / Под общ. ред. Я.И. Шкленника, В.А. Озерова. Изд. 3-е. М.: Машиностроение, 1984. 408 с.
3. Оспенникова О.Г., Асланян И.Р. Направления развития технологии изготовления модельных композиций для лопаток и других деталей ГТД // *Литейное производство*. 2018. № 3. С. 20–24.
4. Оспенникова О.Г., Каблов Е.Н., Шункин В.Н. Разработка и исследование пластификатора для модельных композиций на основе природных восков // *Авиационные материалы и технологии*. 2002. № 3. С. 68–70.
5. Нарский А.Р., Дейнега Г.И., Кузьмина И.Г. Получение мелкозернистой структуры отливок из жаропрочных никелевых сплавов при использовании модификатора – алюмината кобальта // *Авиационные материалы и технологии*. 2023. № 3 (72). Ст. 01. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 25.03.2024). DOI: 10.18577/2713-0193-2023-0-3-3-14.
6. Ечин А.Б., Бондаренко Ю.А., Колодяжный М.Ю., Сурова В.А. Обзор перспективных высокотемпературных жаропрочных сплавов на основе тугоплавких металлических материалов для производства газотурбинных двигателей // *Авиационные материалы и технологии*. 2023. № 3 (72). Ст. 03. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 25.03.2024). DOI: 10.18577/2713-0193-2023-0-3-30-41.

7. Оспенникова О.Г. Теплофизические и реологические характеристики синтетических смол для модельных композиций // Литейное производство. 2016. № 10. С. 26–28.
8. Оспенникова О.Г. Жаропрочные сплавы нового поколения и модельные композиции для литья по выплавляемым моделям // Литейное производство. 2016. № 3. С. 17–20.
9. Гусева М.А., Асланян И.Р. Влияние наполнителей на реологические характеристики модельных композиций для литья по выплавляемым моделям // Труды ВИАМ. 2019. № 5 (77). Ст. 11. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 25.03.2024). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-5-94-102.
10. Оспенникова О.Г., Хаютин С.Г. Структура модельных композиций для литья по выплавляемым моделям // Материаловедение. 2009. № 10. С. 46–51.
11. Оспенникова О.Г. Исследование влияния наполнителей на свойства и стабильность модельных композиций, выбор оптимальных составов // Авиационные материалы и технологии. 2014. № 3. С. 14–17. DOI: 10.18577/2071-9140-2014-0-3-14-17.
12. Оспенникова О.Г. Исследование и разработка параметров технологического процесса изготовления моделей из модельных композиций на основе синтетических восков // Авиационные материалы и технологии. 2014. № 3. С. 18–21. DOI: 10.18577/2071-9140-2014-0-3-18-21.
13. Оспенникова О.Г., Каблов Е.Н., Шункин В.Н. Модельные композиции на основе синтетических материалов для литья лопаток ГТД // Авиационные материалы и технологии. 2002. № 3. С. 64–67.
14. Ечин А.Б., Дейнега Г.И., Нарский А.Р. Новые разработки НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ в области материалов для литейных процессов жаропрочных сплавов // Труды ВИАМ. 2023. № 8 (126). Ст. 02. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 25.03.2024). DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-8-13-24.
15. Композиция для изготовления выплавляемых моделей: пат. 2600468 С2 Рос. Федерация; заявл. 20.03.15; опубл. 10.08.16.

#### References

1. Ospennikova O.G., Pikulina L.V., Shunkin V.N. Model compositions for casting blades of gas turbine engines. *Liteynoe proizvodstvo*, 2001, no. 10, pp. 23–24.
2. *Lost wax casting*. Ed. Ya.I. Shklennik, V.A. Ozerova. Ed. 3rd. Moscow: Mashinostroyenie, 1984, 408 p.
3. Ospennikova O.G., Aslanyan I.R. Directions for the development of technology for manufacturing model compositions for blades and other gas turbine engine parts. *Liteynoe proizvodstvo*, 2018, no. 3, pp. 20–24.
4. Ospennikova O.G., Kablov E.N., Shunkin V.N. Development and research of a plasticizer for model compositions based on natural waxes. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2002, no. 3, pp. 68–70.
5. Narsky A.R., Deynega G.I., Kuzmina I.G. Obtaining a fine-grained structure of castings from nickel superalloys using a cobalt aluminate modifier. *Aviation materials and technologies*, 2023, no. 3 (72), paper no. 01. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: March 25, 2024). DOI: 10.18577/2713-0193-2023-0-3-3-14.
6. Echin A.B., Bondarenko Yu.A., Kolodyazhny M.Yu., Surova V.A. Review of perspective high-temperature superalloys based on refractory non-metallic materials for production of gas turbine engines. *Aviation materials and technologies*, 2023, no. 3 (72), paper no. 03. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: March 25, 2024). DOI: 10.18577/2713-0193-2023-0-3-30-41.
7. Ospennikova O.G. Thermophysical and rheological characteristics of synthetic resins for model compositions. *Liteynoe proizvodstvo*, 2016, no. 10, pp. 26–28.
8. Ospennikova O.G. New generation heat-resistant alloys and model compositions for investment casting. *Liteynoe proizvodstvo*, 2016, no. 3, pp. 17–20.
9. Guseva M.A., Aslanyan I.R. The effect of fillers on the rheology of model composition. *Trudy VIAM*, 2019, no. 5 (77), paper no. 11. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: March 25, 2024). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-5-94-102.

10. Ospennikova O.G., Khayutin S.G. Structure of model compositions for lost wax casting. *Materialovedenie*, 2009, no. 10, pp. 46–51
11. Ospennikova O.G. Influence research of fillers on properties and stability of modelling compositions, a choice of optimum structures. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2014, no. 3, pp. 14–17. DOI: 10.18577/2071-9140-2014-0-3-14-17.
12. Ospennikova O.G. Research and working out of parametres of technological process of manufacturing of models from modelling compositions on the basis of synthetic waxes. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2014, no. 3, pp. 18–21. DOI: 10.18577/2071-9140-2014-0-3-18-21.
13. Ospennikova O.G., Kablov E.N., Shunkin V.N. Model compositions based on synthetic materials for casting gas turbine engine blades. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2002, no. 3, pp. 64–67.
14. Echin A.B., Deynega G.I., Narsky A.R. New developments of NRC «Kurchatov Institute» – VIAM in the field of materials for casting processes of superalloys. *Trudy VIAM*, 2023, no. 8 (126), paper no. 02. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: March 25, 2024). DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-8-13-24.
15. Composition for making lost wax models: pat. 2600468 C2 Rus. Federation; appl. 20.03.15; publ. 10.08.16.

#### *Информация об авторах*

**Форостович Татьяна Леонидовна**, начальник участка, НИЦ «Курчатовский институт» – VIAM, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

**Нарский Андрей Ростиславович**, ведущий инженер, НИЦ «Курчатовский институт» – VIAM, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

**Битюцкая Ольга Николаевна**, начальник лаборатории, НИЦ «Курчатовский институт» – VIAM, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

**Мокеев Никита Александрович**, инженер 2 категории, НИЦ «Курчатовский институт» – VIAM, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

#### *Information about the authors*

**Tatyana L. Forostovich**, Head of production area, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

**Andrey R. Narsky**, Leading Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

**Olga N. Bityutskaya**, Head of Laboratory, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

**Nikita A. Mokeev**, Second Category Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

Статья поступила в редакцию 30.05.2024; одобрена и принята к публикации после рецензирования 03.06.2024.

The article was submitted 30.05.2024; approved and accepted for publication after reviewing 03.06.2024.