

УДК 621.7-216:62-216.57:621.747.015

DOI: 10.18698/0536-1044-2016-1-87-93

Взаимосвязь характеристик формовочных материалов с качеством литых станин металлорежущих станков

А.Г. Ягопольский, Е.С. Озерова, О.М. Савохина

МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

The Correlation between Molding Sand Characteristics and the Quality of Cast Beds of Machine Tools

A.G. Yagopolskiy, E.S. Ozerova, O.M. Savokhina

BMSTU, 105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1



e-mail: elizaveta.ozeroва@gmail.com, savokhina@mail.ru



Рассмотрены вопросы повышения качества литья при изготовлении литых станин и корпусных деталей технологических машин на основе использования в литейном производстве комбинированных технологий изготовления формы отливки, которые позволяют сокращать металлоемкость отливки, предотвращать литейные дефекты и брак выпускаемой продукции. Проведен анализ современных формовочных песчано-глинистых смесей. Показано, что качество песчано-глинистой формы напрямую зависит от ее состава и качества входящих в нее компонентов. Предложена возможность применения гибридных форм с применением для их изготовления аддитивных технологий, позволяющих получать отливки сложной конфигурации — облегченные станины с сохранением, а в ряде случаев и с повышением их эксплуатационных характеристик. Такая комбинированная технология сочетает преимущества песчано-глинистых смесей — высокую податливость, газопроницаемость и хорошую выбиваемость — с достоинствами аддитивных технологий, при которых возможно получение форм практически любой конфигурации, что немаловажно при изготовлении сложных станин металлорежущих станков.

Ключевые слова: металлорежущий станок, станина, отливка, формовочные смеси, бентонитовая и огнеупорная глина, аддитивная технология, гибридная технология.



The article describes issues related to the improvement of quality of casting when manufacturing cast beds and basic parts of machine tools. This improvement can be achieved through the application of combined casting technologies that make it possible to reduce metal consumption, prevent casting defects and rejects of the finished products. The analysis of modern molding sand-clay mixtures is performed. It shows that the quality of the sand-clay mold directly depends on its composition and the quality of the components. The authors consider the possibility of using hybrid molds made with the application of additive technologies. It allows manufacturing castings of complex configuration such as reduced-weight machine-tool beds of equal, or in some cases, enhanced characteristics. This combined technology incorporates the advantages of sand-clay mixtures (high malleability, gas permeability and good removability) as well as the advantages of additive technologies where you can make a mold of nearly any configuration, which is important when manufacturing machine-tool beds of complex shapes.

Keywords: machine tool, machine tool bed, casting, molding sands, bentonite and refractory clay, additive technology, hybrid technology.

Совершенствование используемых и применение новых технологий в литейном производстве приводит к уменьшению металлоемкости отливки с сохранением ее эксплуатационных характеристик и к улучшению качества литья станин технологических машин, например станин металлорежущих станков.

Цель статьи — рассмотреть возможность получения облегченных станин и корпусных деталей технологических машин при использовании в литейном производстве комбинированных технологий изготовления формы отливки.

Современный металлорежущий станок — сложная технологическая машина, оснащенная системой ЧПУ и предназначенная для выполнения различных видов обработки металла резанием, с целью получения деталей заданной формы и размеров. Конструкции станков разнообразны и состоят из большого числа узлов и механизмов, которые базируются на несущей системе станка. К основным элементам несущей системы станка относят станину и корпусные детали. Станина является одной из наиболее ответственных деталей станка, определяющей многие его эксплуатационные характеристики, поэтому к качеству изготовления формы отливки станины и к самому процессу литья предъявляют жесткие требования. Станина должна обеспечивать правильное взаимное положение узлов, частей и механизмов станка на базирующих поверхностях, на которые устанавливаются подвижные (суппорты, столы, каретки, перемещаемые шпиндельные бабки и т. д.) и неподвижные узлы (коробки скоростей и подач, неподвижные шпиндельные бабки и т. д.). Поверхности станины, по которым перемещаются подвижные узлы станка, т. е. направляющие прямолинейного или кругового движения, определяют точность перемещения

подвижных узлов станка [1–3]. Это требует качественного изготовления самой станины.

Конструкции станин обусловлены требованиями жесткости, виброустойчивости, длительного сохранения точности, зависят от расположения направляющих (горизонтальных, вертикальных, наклонных), массы, размеров и длины ходов подвижных узлов станка, условий удаления стружки и смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ), необходимости расположения внутри станины различных механизмов, агрегатов и резервуаров для масла и СОЖ, удобства проведения ремонтных работ и т. п. Учитывают и технологические факторы (обработки, сборки и пр.) [4–6].

Форма станин обычно приближается к коробчатой с внутренними стенками и перегородками, которые нужны для повышения жесткости и образования отдельных полостей и отсеков. Также в целях повышения жесткости станины выполняют с двойными стенками или сечением замкнутого контура, с увеличенным числом перегородок и ребер, с этой же целью исключают люки и окна или уменьшают их размеры.

Основными критериями оценки работоспособности станин являются жесткость и виброустойчивость. Первая характеризуется отклонением инструмента относительно изделия в результате деформаций станины под действием заданных сил, вторая — частотой и амплитудой колебаний, возникающих во время резания. В процессе работы станины подвергаются изгибным и крутильным деформациям. В соответствии с этим их проверяют на статическую жесткость изгиба и статическую жесткость кручения.

Станины в основном бывают горизонтальными, вертикальными (стойки) и порталными. На рис. 1 представлены станки, имеющие

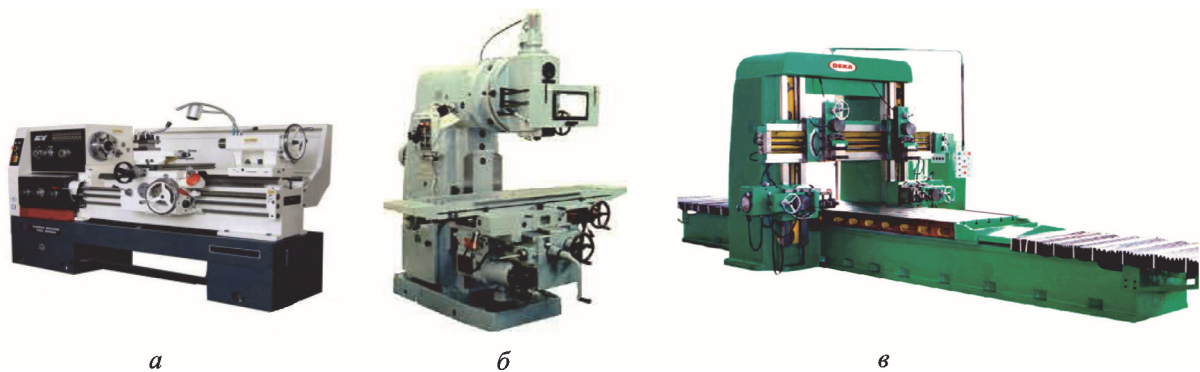


Рис. 1. Станки с разными станинами

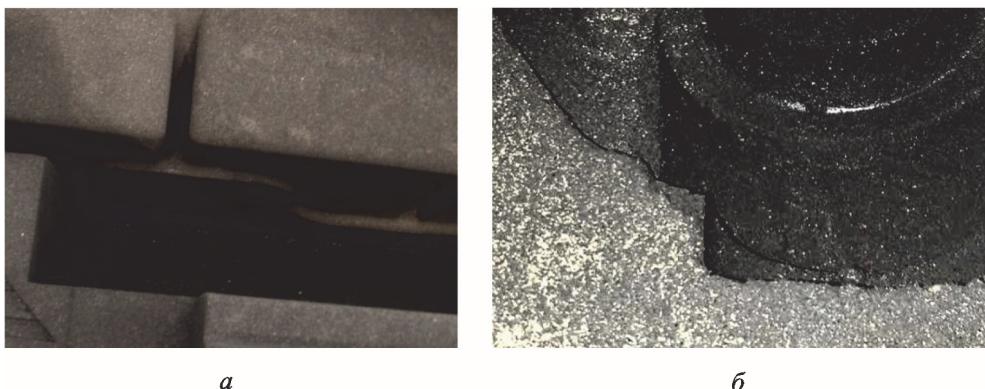


Рис. 2. Формы, изготовленные из высокопрочных бентонитовых глин (а); огнеупорных глин (б)

горизонтальную (рис. 1, а), вертикальную (рис. 1, б) и порталную (рис. 1, в) станины.

С горизонтальными станинами выполняют подавляющее большинство станков токарной группы для обработки цилиндрических изделий (токарно-винторезные, токарно-револьверные, кругло- и внутришлифовальные и др.).

Вертикальные станины или стойки обычно применяют в станках, где необходимы вертикальные относительные перемещения инструмента и изделия. Основное применение вертикальная станина находит в станках с вертикальными шпинделями или вертикальным ходом ползунов. Вертикальные станки имеют меньшие габариты в плане и преимущества в удобстве обработки заготовок, для которых по технологическому процессу ось шпинделя или ход ползуна должны быть перпендикулярны к основной базовой поверхности изделия. По конфигурации вертикальная станина с корпусными деталями может образовывать незамкнутый (открытый) контур, как это имеет место у сверлильных, расточных, вертикально-фрезерных и других станков.

Станины порталного типа обладают повышенной жесткостью по сравнению с простыми станинами одностоечных и горизонтальных станков. Несущие системы этих станков состоят из основания, или горизонтальной станины, двух стоек, перекладины и поперечины, соединенных между собой и образующих рамную систему (закрытый контур). К таким станкам относят продольно-строгальные, продольно-фрезерные и другие станки.

Станины и корпусные детали составляют 80...85 % от массы станка. Таким образом, экономия металла в станкостроении наиболее эффективна в направлении снижения масса этих деталей. Однако получение таких облегченных

деталей сопряжено с усложнением литейной технологии их изготовления.

В настоящее время для изготовления крупногабаритных отливок станин наиболее часто применяют сырые песчано-глинистые формы. Более 60 % стальных отливок изготавливают именно с помощью таких форм [7].

Качество песчано-глинистой формы напрямую зависит от ее состава и свойств (рис. 2) входящих в нее компонентов [8]. В настоящее время в литейном производстве широко применяют формовочные смеси на основе высокопрочных бентонитовых глин [9]. Такие смеси позволяют получать формы сложной конфигурации с высоким качеством поверхности [10].

В отличие от смесей на основе огнеупорных глин бентонитовые смеси обладают высокими прочностными характеристиками (рис. 3), даже смесь с 4%-ным содержанием бентонитовой глины значительно прочнее, чем смесь с 12%-ным содержанием огнеупорной глины. Это позволяет получать формы с гораздо более низким содержанием связующего материала.

Прочность при сколе для огнеупорных глин очень невелика (рис. 4), что существенно ограничивает возможности применения таких смесей при изготовлении форм с протяженными гранями, так как при протяжке есть риск подрыва или даже разрушения болвана.

Текучесть формовочных смесей на основе бентонитовых глин значительно выше, чем у смесей на основе огнеупорной глины (рис. 5), что дает возможность изготавливать формы с глубокими карманами и поднутрениями.

Однако бентонитовая глина, в отличие от огнеупорной, значительно более чувствительна к изменениям влажности, даже незначительное снижение влажности в 0,2 % ведет к существен-

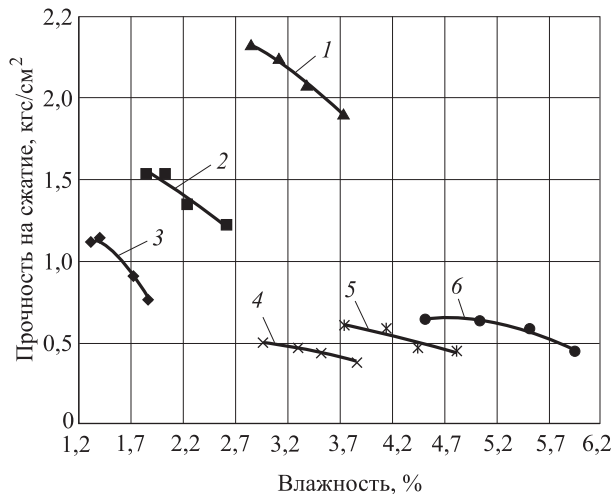


Рис. 3. Влияние типа формовочной глины на прочность при сжатии в сыром состоянии формовочных смесей:

1 — смесь 8%-ной бентонитовой глины; 2 — смесь 6%-ной бентонитовой глины; 3 — смесь 4%-ной бентонитовой глины; 4 — смесь 8%-ной огнеупорной глины; 5 — смесь 10%-ной огнеупорной глины; 6 — смесь 12%-ной огнеупорной глины

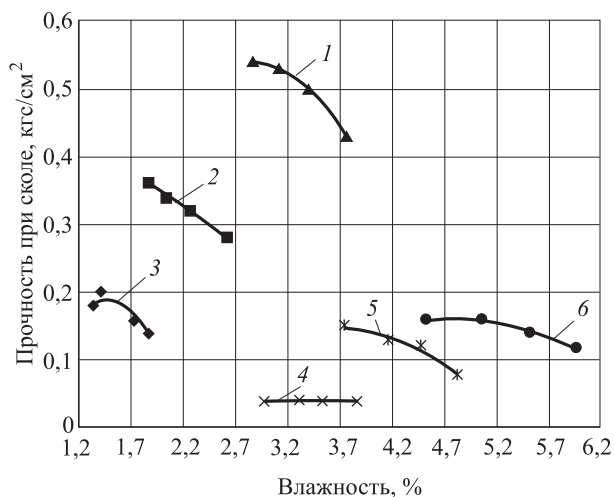


Рис. 4. Влияние типа формовочной глины на прочность при сколе:

1 — смесь 8%-ной бентонитовой глины; 2 — смесь 6%-ной бентонитовой глины; 3 — смесь 4%-ной бентонитовой глины; 4 — смесь 8%-ной огнеупорной глины; 5 — смесь 10%-ной огнеупорной глины; 6 — смесь 12%-ной огнеупорной глины

ному изменению технологических свойств смеси (см. рис. 3–5). Это создает дополнительные трудности при мелкосерийной ручной формовке, так как нельзя допускать пересыхания смеси и длительного выстаивания открытых форм до заливки.

Применение бентонитовых глин также позволяет отказаться от использования двух смесей (облицовочной и наполнительной) при

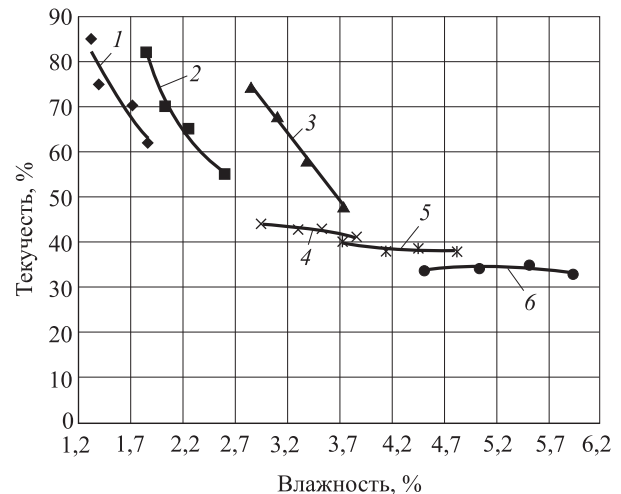
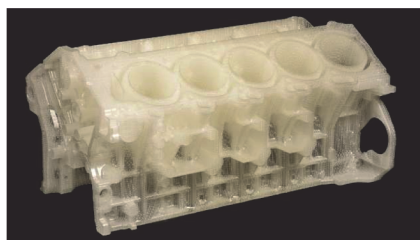


Рис. 5. Влияние типа формовочной глины на текучесть формовочных смесей:

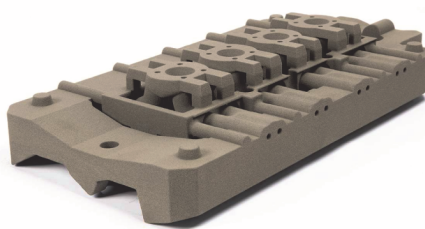
1 — смесь 8%-ной бентонитовой глины; 2 — смесь 6%-ной бентонитовой глины; 3 — смесь 4%-ной бентонитовой глины; 4 — смесь 8%-ной огнеупорной глины; 5 — смесь 10%-ной огнеупорной глины; 6 — смесь 12%-ной огнеупорной глины

изготовлении форм для крупного литья, например станин и порталов металлорежущих станков. Хотя на территории РФ все еще применяют такие «двухсоставные» смеси, в США и Европе ограничиваются единой смесью на основе высокопрочных бентонитовых глин. Такие смеси обладают высокой прочностью — до 1,5...2,0 кгс/см² (0,15...0,2 МПа) при достаточно невысоком содержании глины — 6...10 % [11].

Однако растущие требования к сложности конфигурации отливок не позволяют ограничиться лишь использованием классических методов литья. Все чаще в литейном производстве находят применение аддитивные технологии — литье в выращенные песчаные формы [12] и с применением фотополимерных моделей [13]. Такие технологии позволяют получать отливки практически любой сложной конфигурации синтез-форм и синтез-моделей с помощью технологий послойного синтеза с использованием 3D CAD-моделей (рис. 6) [14]. При применении технологии выращивания песчано-смоляных форм нет необходимости в изготовлении литейной модели, что позволяет быстро изготавливать отливки даже самой сложной конфигурации [15]. Недостатком аддитивных технологий является, прежде всего, высокая стоимость: изготовление одной формы может в десятки или даже сотни раз превышать стоимость изготовления формы по



а



б

Рис. 6. Аддитивные технологии, применяемые в литейном производстве:

а — синтез-модель, изготовленная на принтере ProX™ 950; б — синтез-форма, изготовленная на принтере VX1000

классическим литейным технологиям, таким как литье в песчано-глинистые формы, литье по выплавляемым моделям.

Поэтому все чаще в литейном производстве применяют комбинированное, гибридное литье, классические и аддитивные технологии, при которых не вся форма, а только некоторые ее части применяют с помощью 3D-принтеров (рис. 7). Это позволяет не только существенно снизить стоимость формы, но и избежать многих дефектов, связанных с применением в составах смесей для 3D-принтеров смоляных связующих высокой концентрации [15].

Такая гибридная технология сочетает преимущества песчано-глинистых смесей — высокую податливость, высокую газопроницаемость и хорошую выбиваемость — с достоинствами аддитивных технологий, при которых возможно получение форм практически любой конфигурации, что немаловажно при изготовлении сложных станин металлорежущих станков. Это позволяет не только снизить риски образования газовых дефектов, горячих трещин, пригара, но и существенно упростить производственный процесс, избавившись от трудоемких операций склейки или сборки сложных стержней [16].

Применение гибридных технологий открывает новые возможности для получения легких, но жестких станин и корпусных деталей. Таким образом, конструирование и изготовление качественных базовых и корпусных деталей, к которым относится станина, — это поиск компромиссного решения между противоречивыми требованиями: созданием жестких конструкций, однако имеющих малую массу; простых по конфигурации, но обеспечивающих высокую точность; дающих экономию металла, но учитывающих особенности и возможности



Рис. 7. Применение комбинированной технологии при изготовлении стальной отливки

современной литейной технологии при изготовлении литых станин.

Выводы

1. Установлено, что применение бентонитовых глин в составе песчано-глинистой формы позволяет получать формы с высоким качеством поверхности и сложной конфигурации, например для сложнопрофильных станин.
2. Показано, что применение бентонитовых глин позволит отказаться от использования облицовочной и наполнительной смесей при изготовлении форм для крупного литья, например станин технологических машин.
3. Предложено применение аддитивных технологий, которое открывает новые возможности для получения сложных облегченных отливок станин, не всегда оправданное в связи с высокой стоимостью форм.
4. Предложено применение гибридных технологий, что позволяет сочетать достоинства классических технологий — низкую стоимость, хорошую выбиваемость и податливость — с преимуществами аддитивных технологий.

Литература

- [1] Чернянский П.М., ред. *Проектирование автоматизированных станков и комплексов*. В 2 т. Москва, Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012, т. 1, 336 с., т. 2. 303 с.
- [2] Вереина Л.И., Ягопольский А.Г. *Расчет и конструирование станков*. Москва, Издательский центр «Академия», 2014, 272 с.
- [3] Комшин А.С., Сырицкий А.Б. Измерительно-вычислительные технологии эксплуатации металлорежущего оборудования и инструмента. *Мир измерений*, 2014, № 12, с. 3–9.
- [4] Мухин А.В., Спиридонов О.В., Схиртладзе А.Г., Харламов Г.А. *Производство деталей металлорежущих станков*. Москва, Машиностроение, 2001, 560 с.
- [5] Комшин А.С., Потапов К.Г., Сырицкий А.Б. Оценка технического состояния станка УТ16П фазохронометрическим методом. *Наука и Образование. МГТУ имени Н.Э. Баумана*, 2013, № 2, doi: 10.7463/0213.0532755.
- [6] Комшин А.С. Фазохронометрический метод диагностики состояния металлорежущих станков. *Ритм*, 2012, № 10(78), с. 34–37.
- [7] State of The Union: Modern Casting breaks down the US metal casting industry by material, process and state. *A Modern Casting staff report, Modern casting*, 2015, vol. 105, no. 1, pp. 25–29.
- [8] Кваша Ф.С. *Стабилизация состава и свойств песчано-глинистых формовочных смесей*. Москва, МГИУ, 2003. 108 с.
- [9] Болдин А.Н., Давыдов Н.И., Жуковский С.С. *Литейные формовочные материалы. Формовочные, стержневые смеси и покрытия*. Москва, Машиностроение, 2006. 507 с.
- [10] Трухов А.П., Сорокин Ю.А., Ершов М.Ю., Благодравов Б.П., Минаев А.А., Гини Э.Ч. *Технология литейного производства: Литье в песчаные формы*. Москва, Издательский центр «Академия», 2005. 528 с.
- [11] Brown John R. *Foseco Ferrous Foundryman Handbook*. Oxford, Butterworth Heinmann, 2013. 362 p.
- [12] Bohra H., Ramrattan S., Joyce M. Evaluation of 3D light cured sand for rapid casting technology. *AFS transactions*, 2014, vol. 122, pp. 201–210.
- [13] Seals M.E., McKinney S.R., Stockhausen P.J., Bottoms S.R., Druschitz A.P. Evaluation of 3D printed polymers for investment casting expendable patterns. *AFS transactions*, 2014, vol. 122, pp. 145–160.
- [14] Зленко М.А., Забеднов П.В. Аддитивные технологии в опытном литейном производстве. Часть I. Литье металлов и пластмасс с использованием синтез-моделей и синтез-форм. *Металлургия машиностроения*, 2013, № 2, с. 45–54.
- [15] Denise Kapel Cause and defect: Detect the causes of and determine remedies for common surface flaws in sand casting. *Modern casting*, 2014, vol. 104, no. 3, pp. 54–57.
- [16] Ягопольский А.Г., Куцай А.Ю., Савохина О.М., Зайцев А.Н. Повышение эксплуатационных характеристик литых станин и корпусных деталей на стадии их изготовления. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2015, № 3(660), с. 35–41.

References

- [1] Chernianskii P.M., red. *Proektirovanie avtomatizirovannykh stankov i kompleksov* [Design of automated machines and systems]. Moscow, Bauman Press, 2012, vol. 1, 336 p., vol. 2. 303 p.
- [2] Vereina L.I., Iagopol'skii A.G. *Raschet i konstruirovaniye stankov* [Calculation and design of machines]. Moscow, Publishing House Akademiia, 2014. 272 p.
- [3] Komshin A.S., Syritskii A.B. Izmeritel'no-vychislitel'nye tekhnologii ekspluatatsii metallorezhushchego oborudovaniia i instrumenta [Measuring and computing technologies operating cutting equipment and tools]. *Mir izmerenii* [Measurement World]. 2014, no. 12, pp. 3–9.
- [4] Mukhin A.V., Spiridonov O.V., Skhirtladze A.G., Kharlamov G.A. *Proizvodstvo detalei metallorezhushchikh stankov* [Production of parts of machine tools]. Moscow, Mashinostroenie publ., 2001. 560 p.
- [5] Komshin A.S., Potapov K.G., Syritskii A.B. Otsenka tekhnicheskogo sostoiianiia stanika UT16P fazokhronometricheskim metodom [Assessment of technical condition of a ma-

- chine tool UT16P by a phase-chronometric method]. *Nauka i Obrazovanie. MGTU imeni N.E. Baumana* [Science and education. BMSTU]. 2013, no. 2, doi: 10.7463/0213.0532755.
- [6] Komshin A.S. Fazokhronometricheskii metod diagnostiki sostoiianiia metallorezhushchikh stankov [Chronometric phase method of diagnosing the state of machine tools]. *Ritm* [Rhythm]. 2012, no. 10(78), pp. 34–37.
- [7] State of The Union: Modern Casting breaks down the US metalcasting industry by material, process and state. A Modern Casting staff report, Modern casting, vol. 105, no. 1, January 2015, pp. 25–29.
- [8] Kvasha F.S. *Stabilizatsiia sostava i svoistv peschano-glinistykh formovochnykh smesei* [Stabilization of the composition and properties of sand and clay molding compounds]. Moscow, MGIU publ., 2003. 108 p.
- [9] Boldin A.N., Davydov N.I., Zhukovskii S.S. *Liteinye formovochnye materialy. Formovochnye, sterzhnevye smesi i pokrytiia* [Foundry molding materials. Molding, core mixtures and coatings]. Moscow, Mashinostroenie publ., 2006. 507 p.
- [10] Trukhov A.P., Sorokin Iu.A., Ershov M.Iu., Blagonravov B.P., Minaev A.A., Gini E.Ch. *Tekhnologiia liteinogo proizvodstva: Lit'e v peschanye formy* [Technology foundry: Sand Casting]. Moscow, Publishing House Akademiia, 2005. 528 p.
- [11] Brown J.R. *Foseco Ferrous Foundryman Handbook*. Oxford, Butterworth Heinmann, 2013. 362 p.
- [12] Bohra H., Ramrattan S., Joyce M. Evaluation of 3D light cured sand for rapid casting technology. *AFS transactions*, 2014, vol. 122, pp. 201–210.
- [13] Seals M.E., McKinney S.R., Stockhausen P.J., Bottoms S.R., Druschitz A.P. Evaluation of 3D printed polymers for investment casting expendable patterns. *AFS transactions*, 2014, vol. 122, pp. 145–160.
- [14] Zlenko M.A., Zabednov P.V. Additivnye tekhnologii v opytном liteinom proizvodstve. Chast' I. Lit'e metallov i plastmass s ispol'zovaniem sintez-modelei i sintez form [Additive Technologies in an Experimental Foundry. Part I. Casting of Metals and Plastics Using Synthesis Patterns and Synthesis Molds]. *Metallurgiiia mashinostroeniia* [Metallurgy of Machinery Building]. 2013, no. 2, pp. 45–54.
- [15] Kapel D. Cause and defect: Detect the causes of and determine remedies for common surface flaws in sand casting. *Modern casting*, 2014, vol. 104, no. 3, pp. 54–57.
- [16] Iagopol'skii A.G., Kutsaia A.Iu., Savokhina O.M., Zaitsev A.N. Povyslenie ekspluatatsionnykh kharakteristik litykh stanin i korpusnykh detalei na stadii ikh izgotovleniia [Improving the performance of cast housings and stationary base members at the production stage]. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Mashinostroenie* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building]. 2015, no. 3(660), pp. 35–41.

Статья поступила в редакцию 16.05.2015

Информация об авторах

ЯГОПОЛЬСКИЙ Александр Геннадиевич (Москва) — старший преподаватель кафедры «Металлорежущие станки». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

ОЗЕРОВА Елизавета Сергеевна (Москва) — ассистент кафедры «Литейные технологии». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: elizaveta.ozeroва@gmail.com).

САВОХИНА Ольга Михайловна (Москва) — ассистент кафедры «Литейные технологии». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: savokhina@mail.ru).

Information about the authors

YAGOPOLSKIY Aleksandr Gennadievich (Moscow) — Senior Lecturer, Department of Metal-Cutting Machines. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1).

OZEROVA Elizaveta Sergeevna (Moscow) — Assistant Lecturer, Department of Foundry Technologies. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: elizaveta.ozeroва@gmail.com).

SAVOKHINA Olga Mikhailovna (Moscow) — Assistant Lecturer, Department of Foundry Technologies. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: savokhina@mail.ru).