

С. Г. Жилин, О. Н. Комаров, Н. А. Богданова

## МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ТОЧНОЙ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ОТЛИВКИ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЭТАПАХ ЕЕ ПОЛУЧЕНИЯ

*Хабаровский Федеральный исследовательский центр ДВО РАН, г. Комсомольск-на-Амуре,  
Россия*

**Аннотация.** Решение задач, связанных с физической трансформаций материала, сопровождающей этапы получения биметаллических отливок повышенной точности, актуально и востребовано в машиностроении. Распространенный метод получения таких изделий - литье по выплавляемым моделям. Проблемными стадиями являются прессование воскообразного слоя удаляемой модели и формирование поверхности из пластических материалов на стальном каркасе. Упругий отклик, возникающий вследствие теплофизических процессов формоизменения, определяет необходимость устранения напряжения в материалах.

**Ключевые слова:** воскообразные материалы, прессование, пластичность, упругий отклик, напряженно-деформированное состояние, давление, размерно-геометрическая точность

DOI: 10.37972/chgpu.2020.11.35.024

УДК: 621.74.045 / 046

### Введение

В машиностроении актуальность использования производственных процессов, направленных на выпуск литой металлопродукции повышенной точности, обусловлен

---

© Жилин С. Г., Комаров О. Н., Богданова Н. А., 2020

*Жилин Сергей Геннадьевич*

**e-mail:** sergeyzhilin1@rambler.ru, кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Хабаровский Федеральный исследовательский центр ДВО РАН, г.Комсомольск-на-Амуре, Россия.

*Комаров Олег Николаевич*

**e-mail:** olegnikolaevitsch@rambler.ru, кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Хабаровский Федеральный исследовательский центр ДВО РАН, г.Комсомольск-на-Амуре, Россия.

*Богданова Нина Анатольевна*

**e-mail:** joyful289@inbox.ru, младший научный сотрудник, Хабаровский Федеральный исследовательский центр ДВО РАН, г.Комсомольск-на-Амуре, Россия.

Работа выполнена в рамках государственного задания ХФИЦ ДВО РАН

Поступила 01.09.2020

необходимостью сокращения издержек, связанных со значительным количеством технологических этапов. В этом аспекте предпочтение отдается технологиям, позволяющим получать металлоизделия с механическими характеристиками, качеством поверхности и размерной точностью, максимально приближенными к конечным деталям. Последовательность технологических этапов традиционных процессов получения деталей, как правило, включает непосредственно стадии формирования литой заготовки с последующими стадиями термомеханической обработки, определяющих увеличение временных и материальных затрат. Среди немногочисленных методов, позволяющих решить задачу получения литой заготовки с минимальным припуском на механическую обработку, а в ряде случаев вообще без ее применения, наиболее распространен метод литья по выплавляемым моделям (ЛВМ) [1, 2, 3]. Методом ЛВМ получают отливки сложной пространственной конфигурации с размерами до 500 мм, выполненными с точностью, соответствующей 11-12 квалитетам. Практика применения такого способа, как правило, не затрагивает варианты формирования биметаллического изделия, а подразумевает получение тела отливки целиком, или формирование его части на каркасе [4]. В последнем случае получение литой детали с высокой размерно-геометрической точностью всех поверхностей представляется затруднительным ввиду того, что воскообразный модельный материал на каркас наносят и формируют вручную. Актуальность использования деталей ответственного назначения, выполненных в виде биметаллических литых заготовок с высокими размерно-геометрическими характеристиками, представляющих собой поверхность из цветного сплава сформированную на стальном каркасе, в настоящее время высока и продиктована необходимостью сокращения технологических издержек, увеличения конструкционной прочности изделий за счет каркаса, получение развитой конфигурации поверхности из различных цветных сплавов с присущими им характеристиками: электропроводностью и пластичностью [5]. Решение задачи получения таких изделий видится в синтезе технологических методов, объединяющих процессы формоизменения пластических материалов прессованием с традиционной технологией ЛВМ [6, 7]. Последовательность операций в ЛВМ состоит из формирования выплавляемой модели (ВМ) заливкой жидкого воскообразного состава в пресс-форму, сборки ВМ на модельном блоке (МБ), нанесения и сушки слоев оболочковой формы (ОФ), выплавления ВМ, прокатки и заливки ОФ расплавом металла. Неустойчивость теплофизических и реологических процессов в модельных материалах, сопровождающих этапы изготовления и удаления ВМ, определяют возможность усадочных явлений в теле ВМ (величина объемной усадки может достигать 14 %) и нарушение точности размеров конечного изделия [8].

С целью сокращения, а в ряде случаев полного устранения, температурных дефектов воскообразных литейных моделей при получении биметаллического точного литья предложено использование нового принципа ее формирования, основанного на запрессовке порошковых фракций модельной массы в зазор между внутренней полостью пресс-формы и опорным каркасом [9, 10]. Экспериментально установлено, что формирование качества поверхности такой прессовки достигается при плотности меньшей, чем плотность, характерная для этого материала, полученного в условиях свободной заливки [11]. Однако, получение распределенной пористости в структуре прессовки, позволяющее констатировать равенство напряжений в различных ее частях, достигается не во всех случаях, вследствие чего в переуплотненных зонах становится возможным появление упругого отклика материала [12]. Исследование вариантов снижения

значений упруго отклика сводится к определению параметров уплотнения: скорости прессования и времени выдержки материала под нагрузкой. Результаты исследований позволят учитывать это явление при проектировании пресс-форм.

### **Цель и задачи**

В связи с отмеченным выше, целью настоящей работы стало исследование механизмов, сопровождающих теплофизические процессы формирования поверхности точной биметаллической отливки на технологических этапах ее получения.

В рамках поставленной цели решались задачи, связанные с изучением влияния скорости перемещения прессующих элементов на величину упругого возврата воскообразного модельного материала, уплотняемого на жестком стальном каркасе, а также изучение влияния времени релаксации уплотненного материала на величину его упругого возврата.

### **Основное содержание**

Управление процессом формирования «финишного» воскообразного слоя на стальном каркасе, а именно возможность регулирования плотности и, как следствие, упруго отклика материала, в участках прессовок различной толщины и в местах сопряжений их элементов представляется малоизученным. В ходе экспериментов установлено, что величина упруго отклика, возникающего при уплотнении воскообразного порошкового тела, зависит от направления приложения деформирующего усилия. Так, в направлении оси уплотнения она составляет 0,7-1,2 %, а в направлении перпендикулярном оси уплотнения 0,4-0,6 % от размеров формообразующей полости пресс-формы соответственно [13]. Предлагаемый к рассмотрению процесс формирования воскообразной поверхности на упругом каркасе может быть представлен при помощи схемы, изображенной на рис.1

Этапы получения биметаллического литья следующие: в зазор между пресс-формой 1, снабженной подвижными прессующими элементами 2, и помещенным внутрь упругим (стальным) каркасом 3 поступает фракция воскообразного модельного состава, который, в результате перемещения подвижных элементов 2, уплотняется, формируя поверхностный слой 4. На полученном блоке послойным нанесением и сушкой формируют огнеупорную керамическую оболочку 5, затем выплавляют из оболочки напрессованную модельную массу. После прокалки зазор между оболочкой и стальным каркасом заполняют расплавом металла 6 с температурой ниже температуры плавления материала каркаса.

Поскольку воскообразные модельные материалы обладают уникальными физическими (модуля Юнга  $E = 80$  ГПа и коэффициента Пуассона  $\nu = 0,5$ ), но не являются конструкционными, то адаптация известных расчетных методик их поведения при нагружении в результате напрессовки на твердую основу (в том числе в канале) представляется затруднительной. В этой связи целесообразным видится экспериментальное моделирование процесса формирования воскообразного напрессованного слоя посредством мундштучного выдавливания через канал определенного сечения.

Реализацию экспериментальной части исследования осуществляли мундштучным выдавливанием порошкового тела, состоящего из воскообразного модельного материала ПС 50/50 фракций 0,63-2,5 мм, с различной скоростью перемещения пресс-пунсона. В эксперименте использовали профилирующий мундштук переменного диаметра. Процесс выдавливания позволяет имитировать перемещение воскообразного материала, заполняющего объем пресс-формы между стальным каркасом и ее формообразующей стенкой [14]. Регистрацию нагрузки осуществляли на тестовой машине

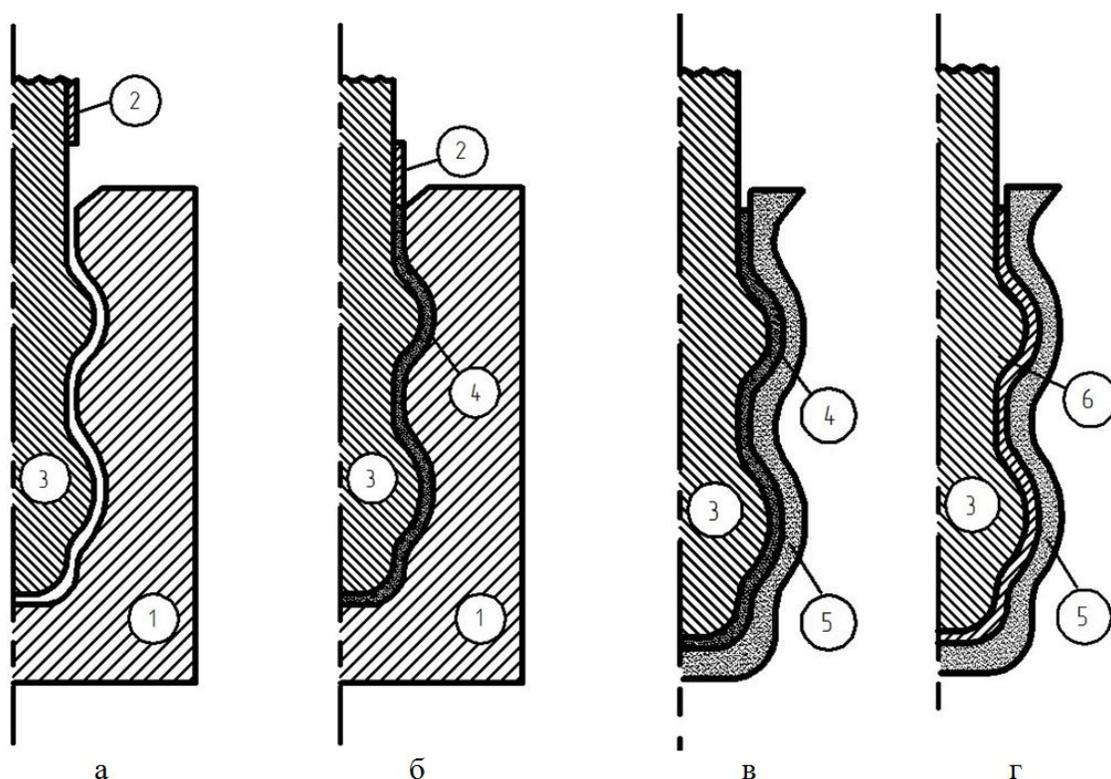


Рис. 1. Схема последовательности формирования биметаллической отливки: 1 – пресс-форма; 2 – подвижный пресс-пуансон; 3 – стальной каркас; 4 – воскообразный напрессованный слой; 5 – керамическая оболочка; 6 – биметаллическая отливка в оболочковой форме.

AG-X plus Shimadzu, обеспечивающей отклонение значения нагрузки не более 0,03 % от задаваемого.

В ходе серии предварительных экспериментов установлено технологически приемлемое время выдержки материала под нагрузкой, позволяющего сократить напряжения в прессовке, возникающие в процессе уплотнения материала в закрытой матрице. При этом установлено, что интенсивность снижения величины упругого возврата материала прессовки замедляется в течение 30 минут.

В ходе эксперимента установлено, что с увеличением фракции и скорости диффузии нагрузка на пресс-пуансоне возрастает, что приводит к росту напряжений в уплотняемом порошковом теле и, следовательно, необходимости увеличения времени его релаксации для сокращения упругого отклика материала прессовки. Определено, что для материалов типа ПС 50/50 технологически приемлемая релаксация напряжений достигается уже на 8-ой минуте выдержки материала под нагрузкой (когда все элементы пресс-формы находятся в сомкнутом состоянии).

Таким образом, скорость перемещения пресс-пуансона при мундштучном выдавливании ПС 50/50 из диффузора, установленная на основании экспериментальных данных, принадлежит диапазону значений 0,5-1,5 мм/с, что обеспечивает скорость

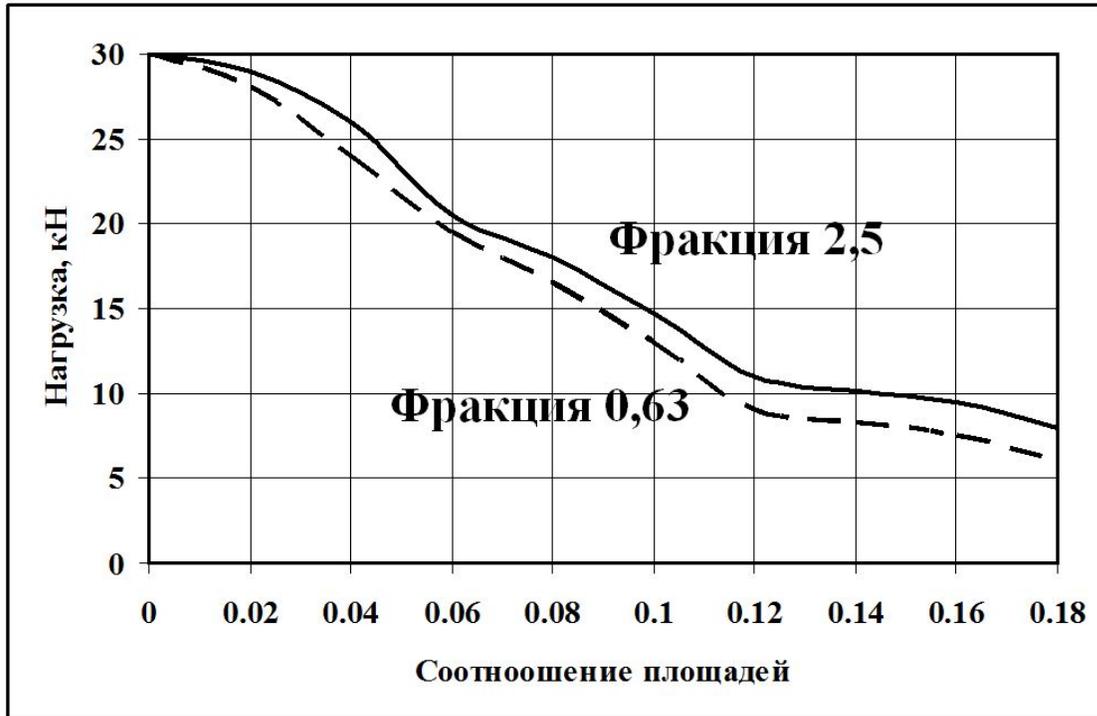


Рис. 2. Экспериментальные зависимости нагрузки от соотношения площадей мундштука и основания пресс-пуансона для различных фракций ПС 50/50.

диффузии материала не превышающую 6 мм/с [15], а значит, не приводит к значительному росту отклонения размеров прессовки от внутренних размеров формообразующей полости пресс-формы. Перемещение пресс-пуансона призвано обеспечить уплотнение порошкового тела до плотности пластического течения, создавая условия для экструзии материала через профилирующий мундштук, внутренний диаметр которого в ходе эксперимента изменялся по отношению к площади пресс-формы от 1/60 до 1/6. На рис.2. представлены экспериментальные результаты по определению влияния нагрузки от соотношения площадей мундштука и основания пресс-пуансона для различных фракций ПС 50/50. видно, что увеличение соотношения площадей пресс-пуансона и мундштука значение максимальной нагрузки, соответствующей началу процесса выдавливания пластифицированного материала, уменьшается. При этом нагрузка, необходимая для экструзии ПС 50/50 фракции 2,5 ммнесколько выше, чем нагрузка, характерная для получения прессовки из фракции 0,63 мм.

Экспериментально определено, что формирование технологически приемлемого качества напрессованной на стальной каркас поверхности достигается при величине зазора между стенками пресс-формы и стальным каркасом не менее 10 % от площади поперечного сечения каркаса. Таким образом, реализация рассмотренного в работе подхода к формированию поверхности из воскообразного модельного материала позволяет получать биметаллические отливки повышенной размерно-геометрической точностью.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Литье по выплавляемым моделям /В. А. Озеров, В. Ф. Гаранин, В. Н. Иванов и др.; Под общ.ред. В.А. Озерова. 4 изд., переработ. и доп. М.: Машиностроение, 1994. 448 с.
- [2] Жилин С. Г., Богданова Н. А., Комаров О. Н., Соснин А. А. Снижение упругого отклика при уплотнении порошковой парафиностеариновой композиции // Деформация и разрушение материалов. 2020. № 1. С. 29-33
- [3] Leushin I. O., Ul'yanov V. A., Leushina L. I. Predicting Gas-defect Formation on Changing the Investment-casting Technology // Steel in Translation, 2013, vol. 43, no. 11, pp. 681–683
- [4] Коваленко П. А., Ковалев Д. С. Новый способ литья по выплавляемым моделям с кристаллизацией под давлением // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2017. Т. 1. № 13. С. 401-403
- [5] Kuroda H., Hiruta H., Aoyama M. Patent JP №5147040. Copper alloy material, copper alloy conductor and its production method, trolley wire for overhead contact wire, and cable. Publ. 20.02.2013
- [6] Комаров О. Н., Жилин С. Г., Панченко Г. Л., Предеин В. В., Абашкин Е. Е., Потянихин Д. А., Попов А. В. Способ получения стальных отливок из термитной шихты Патент РФ № 2634818. Заявл. 30.05.2016, Опубл. 03.11.2017, Бюл. №31
- [7] Sapchenko I. G., Zhilin S. G., Potianikhin D. A, Komarov O. N. Mesomechanics of Technological Properties of Powdered Polymer Compacts in Lost Wax Casting.// AIP Conference Proceedings, 2014, vol. 1623, pp. 543–546
- [8] Осенникова О. Г. Теплофизические и реологические характеристики синтетических смол для модельных композиций // Литейное производство. 2016. № 10. С. 26–28
- [9] Zhilin S. G., Komarov O. N., Bogdanova N. A. Production of the steel casting with improved dimensional and geometrical accuracy using complex models // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020, 709(3). 033104
- [10] Богданова Н. А., Жилин С. Г., Комаров О. Н. Способ получения биметаллической отливки // Патент на изобретение RU 2696118 C1, 31.07.2019. Заявка № 2018140932 от 21.11.2018.
- [11] Sosnin A. A., Bogdanova N. A., Zhilin S. G., Komarov O. N. Finite Element Modeling of the Stress-Strain State of Waxy Compacts // Mechanics, Resource and Diagnostics of Materials and Structures (MRDMS-2019)AIP Conf. Proc. 2176, pp. 030017-1–030017-4
- [12] Буренин А. А. Упругий отклик среды при развитии, остановке и повторном вязкопластическом течении, включая мгновенную разгрузку // Фундаментальные проблемы теоретической и прикладной механики. Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2011. № 4 (5). С. 2043–2044
- [13] Жилин С. Г., Комаров О. Н., Соснин А. А., Потянихин Д. А. Особенности формирования пористой структуры прессовок из полимерного дисперсного материала // Ученые записки КнАГТУ. 2016. IV-(28). С. 26-33.
- [14] Жилин С. Г., Богданова Н. А., Комаров О. Н. Влияние гранулометрического состава и скорости выдавливания воскообразной композиции на геометрию длинномерной прессовки при мундштучном экструдировании // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. 2018. № 4 (38). С. 54-64.
- [15] Жилин С. Г., Богданова Н. А., Комаров О. Н. Влияние параметров уплотнения порошкового тела из воскообразного материала на формирование остаточных напряжений прессовки // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. 2019. № 3 (41). С. 110-121.

*S. G. Zhilin, O. N. Komarov, N. A. Bogdanova*

## MECHANISMS FOR SURFACE FORMATION OF ACCURATE BIMETALLIC CASTING AT TECHNOLOGICAL STAGES OF ITS PRODUCTION

*Khabarovsk Federal Research Center of the FEB RAS, Komsomolsk-na-Amure, Russia*

**Abstract.** Solving problems associated with the physical transformations of the material that accompanies the stages of obtaining bimetallic castings of high accuracy is relevant and in demand in engineering. A common method for producing such products is lost wax casting. The problematic stages are the pressing of the waxy layer of the removed model and the formation of the surface from plastic materials on a steel frame. The elastic response arising from thermophysical processes of shaping determines the need to eliminate stress in materials.

**Keywords:** waxy materials, pressing, ductility, elastic response, stress-strain state, pressure, dimensional and geometric accuracy.

### REFERENCES

- [1] Lost wax casting / V. A. Ozerov, V. F. Garanin, V. N. Ivanov, etc .; Under the general ed. V.A. Ozerov. 4th ed., Revised. and add. Moscow: Mashinostroenie, 1994.448 p.
- [2] Zhilin S. G., Bogdanova N. A., Komarov O. N., Sosnin A. A. Decrease in elastic response during compaction of powder paraffin-stearin composition // Deformation and destruction of materials. 2020. No. 1. P. 29-33
- [3] Leushin I. O., Ul'yanov V. A., Leushina L. I. Predicting Gas-defect Formation on Changing the Investment-casting Technology // Steel in Translation, 2013, vol. 43, no. 11, pp. 681 –683
- [4] Kovalenko P. A., Kovalev D. S. A new method of investment casting with crystallization under pressure // Actual problems of aviation and cosmonautics. 2017.Vol. 1.No. 13.P. 401-403
- [5] Kuroda H., Hiruta H., Aoyama M. Patent JP No. 5147040. Copper alloy material, copper alloy conductor and its production method, trolley wire for overhead contact wire, and cable. Publ. 02/20/2013
- [6] Komarov O. N., Zhilin S. G., Panchenko G. L., Predein V. V., Abashkin E. E., Potyanikhin D. A., Popov A. V. Method of obtaining steel castings from the termite charge RF Patent No. 2634818. Appl. 05/30/2016, Publ. 03.11.2017, Bul. No. 31
- [7] Sapchenko I. G., Zhilin S. G., Potianikhin D. A, Komarov O. N. Mesomechanics of Technological Properties of Powdered Polymer Compacts in Lost Wax Casting.// AIP Conference Proceedings, 2014, vol. 1623, pp. 543-546
- [8] Ospennikova OG Thermophysical and rheological characteristics of synthetic resins for model compositions // Foundry. 2016. No. 10. P. 26–28
- [9] Zhilin S. G., Komarov O. N., Bogdanova N. A. Production of the steel casting with improved dimensional and geometrical accuracy using complex models // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020, 709 (3). 033104
- [10] Bogdanova N. A., Zhilin S. G., Komarov O. N. Method of obtaining bimetallic casting // Patent for invention RU 2696118 C1, 31.07.2019. Application No. 2018140932 dated 21.11.2018.

---

*Zhilin, Sergey Gennadevich* Ph. D. in Engineering sciences, associate professor, Leading Researcher. Khabarovsk Federal Research Center of the FEB RAS, Komsomolsk-na-Amure, Russia.

*Komarov, Oleg Nikolaevitsch* Ph. D. in Engineering sciences, associate professor, Leading Researcher. Khabarovsk Federal Research Center of the FEB RAS, Komsomolsk-na-Amure, Russia.

*Bogdanova, Nina Anatolievna* Junior Researcher. Khabarovsk Federal Research Center of the FEB RAS, Komsomolsk-na-Amure, Russia.

- 
- [11] Sosnin A. A., Bogdanova N. A., Zhilin S. G., Komarov O. N. Finite Element Modeling of the Stress-Strain State of Waxy Compacts // Mechanics, Resource and Diagnostics of Materials and Structures (MRDMS-2019) AIP Conf. Proc. 2176, pp. 030017-1-030017-4
- [12] Burenin A. A. Elastic response of the medium during development, stopping and repeated viscoplastic flow, including instantaneous unloading // Fundamental problems of theoretical and applied mechanics. Bulletin of the Nizhny Novgorod University. N.I. Lobachevsky. 2011. No. 4 (5). P. 2043–2044
- [13] Zhilin S. G., Komarov O. N., Sosnin A. A., Potyanikhin D. A. Features of the formation of the porous structure of compacts from a polymer dispersed material // Uchenye zapiski KnAGTU. 2016. IV- (28). S. 26-33.
- [14] Zhilin S. G., Bogdanova N. A., Komarov O. N. Influence of the granulometric composition and extrusion speed of the wax-like composition on the geometry of long pressing during die extrusion. // Bulletin of the Yakovlev Chuvash State Pedagogical University. Series: Mechanics of Limit State. 2018. No. 4 (38). S. 54-64.
- [15] Zhilin S. G., Bogdanova N. A., Komarov O. N. Influence of the parameters of compaction of a powder body made of a wax-like material on the formation of residual stresses in the pressing. // Bulletin of the Yakovlev Chuvash State Pedagogical University. Series: Mechanics of Limit State. 2019. No. 3 (41). S. 110-121.