ISSN: 0368–0797. Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2016. Том 59. № 8. С. 547 – 551.
© 2016. *Чернышов Е.А., Евлампиев А.А., Королев А.В., Иванова Л.А., Моисеева О.В.*

УДК 621.74.015+621.74.019

ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФОРМ НА РАЗЛИЧНЫХ СВЯЗУЮЩИХ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ ОТЛИВОК

Чернышов Е.А.[1], *д.т.н., профессор кафедры «Металлургические технологии и оборудование»* (nil_st@nntu.nnov.ru)
Евлампиев А.А.[2], *к.т.н., профессор кафедры «Технология металлов и литейное производство»* (tmilp@rambler.ru)
Королев А.В.[2], *к.т.н., доцент кафедры «Технология металлов и литейное производство»* (tmilp@rambler.ru)
Иванова Л.А.[2], *старший преподаватель кафедры «Технология металлов и литейное производство»* (tmilp@rambler.ru)
Моисеева О.В.[2], *инженер кафедры «Технология металлов и литейное производство»* (tmilp@rambler.ru)

[1] **Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева**
(603950, Россия, Нижний Новгород, ул. Минина, 24)
[2] **Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова**
(428015, Россия, Чувашия, Чебоксары, Московский пр., 15)

Аннотация. Рассмотрены основные термомеханические свойства формовочных смесей и факторы, от которых они зависят. Проанализированы условия теплового и динамического воздействий расплава на стенки формы в процессе заливки и затвердевания металла и их влияние на образование поверхностных дефектов. Приведены результаты исследования зависимости деформации образцов из наиболее распространенных формовочных смесей от продолжительности нагрева при имитации реальных условий формирования отливок. Показана связь деформационной способности смеси с дефектами, образующимися на отливках, и податливостью формовочной (стержневой) смеси. Предложен комплекс мер по предотвращению поверхностных дефектов. Установлено, что образование ужимин, просечек и пригара на отливках является следствием деформационных изменений и разрушения поверхностных слоев смеси. Лучшими, с точки зрения исключения поверхностных дефектов и экологических аспектов, являются жидкостекольные и металлофосфатные смеси.

Ключевые слова: форма, формовочная смесь, термомеханические свойства, тепловое воздействие, силовое воздействие, напряжение, разрушение, поверхностный слой, податливость, деформационная способность, дефект, отливка.

DOI: 10.17073/0368-0797-2016-8-547-551

Термомеханические свойства формы – комплекс механических свойств при тепловом и силовом нагружениях, которые проявляются в течение всего периода формирования отливки (при заливке жидкого металла, затвердевании и охлаждении): горячая прочность, термостойкость, деформационная способность, остаточная прочность, эрозионная стойкость и другие. Степень проявления термомеханических свойств определяется интенсивностью теплообмена между расплавом (отливкой) и формой, а также величиной динамических нагрузок и условиями протекания процессов на контактных поверхностях.

Низкие уровни термомеханических характеристик формы при интенсивном и длительном нагружении могут способствовать образованию различных дефектов в отливках. В реальной форме тепловое воздействие расплава начинается с момента появления в полости формы зеркала металла. Передача теплоты к стенкам формы происходит излучением и при непосредственном контакте жидкого металла и затвердевающей отливки. Это вызывает значительные изменения в приповерхностных слоях формы, их растрескивание с образованием трещин и различных дефектов на отливках [1 – 3].

На процесс растрескивания поверхностного слоя и отслоения корочек смеси влияет множество факторов: изменение объема (модификационные превращения) зерен наполнителя и глинистых прослоек (усадка манжет); разрушение адгезионных связей; скорость деструкции органических веществ; объем образуюшихся газов; парообразование. Но определяющими являются деформационная способность формы и продолжительность воздействия расплава в процессе заливки и затвердевания отливки [1, 4, 5]. Именно поэтому изучение деформационной способности материалов формы и стержней при нагревании особенно актуально.

Целью настоящей работы является проведение сравнительных испытаний деформационной способности формовочных смесей с различными связующими и оценка потенциальной возможности образования поверхностных дефектов на стальных отливках.

Зависимости деформации (ε) образцов из различных смесей при нагревании от продолжительности нагрева (τ) представлены на рис. 1. Способность к деформации образцов в зависимости от продолжительности выдержки их при температуре (*T*) 1000 °С под нагрузкой 0,4 МПа оценивали на дилатометре по величине деформации образцов диам. 28,6 мм и длиной 50,8 мм при испытаниях по методике Г. Дитерта. Нагрузка выбрана с учетом статического напора металла в реальной форме при заливке стали [1, 4, 6].

Значительную деформационную способность проявляют образцы из песчано-глинистой смеси (ПГС) с содержанием около 9 % активной глины, примерно 3,2 % влаги, около 1 % органических веществ. Специалисты считают, что чистые на свежих песках формовочные смеси с низким содержанием инертной мелочи более склонны к образованию дефектов расширения с образованием просечек и ужимин. Характер деформации образца (рис. 1, кривая *1*) показывает, что уплотненная ПГС обладает повышенной деформационной способностью даже при заливке мелких форм, и основные изменения объема происходят в первые 5 – 20 с. Повышенная (положительная) деформационная способность, в основном, и определяет напряжения, возникающие в поверхностном слое формы, и величину ужимин на отливках [7, 8].

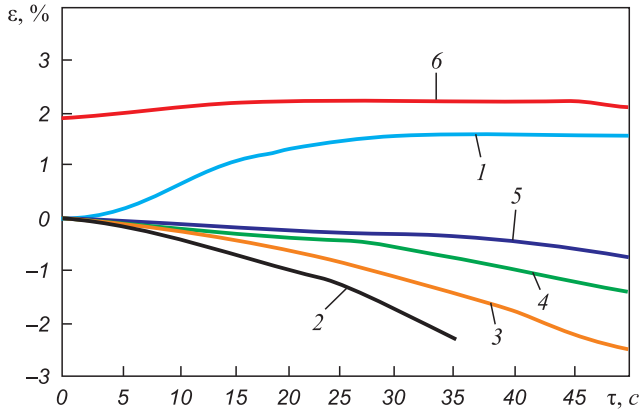

Рис. 1. Зависимость деформации образцов из различных смесей от продолжительности нагрева:
1 – ПГС; *2* – жидкостекольная смесь (ЖСС) с тепловой сушкой ($T_{суш}$ = 220 °С, τ = 1 ч); *3* – ЖСС с феррохромовым шлаком; *4* – металлофосфатная смесь (МФС) с АХФС и пылью электросталеплавильного производства (холоднотвердеющая); *5* – МФС с тепловой сушкой ($T_{суш}$ = 180 °С, τ = 1 ч); *6* – песчано-смоляная смесь (ПСС) на фенольной смоле с БСК (связующее – смола ОФ-1, катализатор твердения – БСК в 2,5 %-ном растворе поливинилбутирального лака)

Fig. 1. Deformation dependence of the samples from different mixtures on the duration of heating:
1 – sand-clay mixture (SCM); *2* – sodium silicate mixture (SSM) with thermal drying ($T_{суш}$ = 220 °C, τ = 1 h); *3* – SSM with ferrochromium slag; *4* – metal phosphate mixture (MPM) with chrome-alumina-phosphate binder and dust of electric steel-making (cold-hardening); *5* – MPS with thermal drying ($T_{суш}$ = 180 °C, τ = 1 h); *6* – sand-phenolic-resin mixture (SPRM) on phenolic resin with benzene sulphonic acid (BSA) (binder – resin OF-1, hardening catalyst – BSA in 2.5 %-solution of polyvinylbutyral varnish)

По иному ведут себя жидкостекольные смеси (ЖСС) и металлофосфатные смеси (МФС) (рис. 1, кривые *2* – *5*): в течение всего периода испытаний их деформация остается отрицательной.

В отливках в формах из жидкостекольных смесей, обладающих высокими природными термомеханическими свойствами, ужимины не образуются. Очевидно, что критические напряжения в поверхностных слоях формы при прогреве не возникают. Считается, что гель связующего при нагревании свыше 600 – 700 °С может переходить в пластичное (жидкое) состояние, а при больших температурах переходит в аморфное состояние с потерей прочности материала в этих слоях. Наблюдается отрицательная деформация и уменьшение размеров образцов при нагревании (рис. 1, кривые *2*, *3*), что, очевидно, компенсирует напряжения в объемах формы (стержня). Это исключает образование трещин, ужимин и просечек на отливках [9, 10].

На поверхностях отливок, полученных в формах из металлофосфатных смесей, в переуплотненных местах могут возникать ужимины типа складок, выступов, так как деформационная способность образцов из МФС несколько ниже (рис. 1, кривые *4*, *5*), чем у образцов из жидкостекольной смеси. Деформация образцов также отрицательная; можно предположить, что при нагревании часть напряжений в поверхностных слоях формы снимается. При этом формы из МФС имеют большую отрицательную деформацию и меньшую склонность к образованию поверхностных дефектов [11, 12].

Если отливки изготовлены с использованием форм или стержней на органических связующих (песчано-смоляной смеси (ПСС)), то велика вероятность образования просечек из-за разрывов поверхностных уплотненных слоев формы (стержня). Очевидно, что стержни, изготовленные из холоднотвердеющих смесей, склонны к растрескиванию на глубину 4 – 5 мм при нагревании поверхностного слоя излучением еще до контакта с жидким металлом. Характер кривой деформации ПСС подтверждает данное предположение. Деформация поверхностного слоя образца из ПСС (рис. 1, кривая *6*) происходит практически сразу после загрузки его в нагретую печь (дилатометр). При этом поверхностный слой образца из ПСС в результате термоудара начинает расширяться в первые 5 – 10 с и растрескиваться [2, 3]. К моменту восстановления температуры до заданной (1000 °С) деформация составляет 1,8 %, а затем при выдержке образца при заданной температуре остается положительной (рис. 1, кривая *6*). Вероятно, после деструкции пленок связующего в присутствии воздуха (кислорода) коксовый каркас на по-

верхности образца разрушается, поверхностная прочность формы (стержней) снижается, а растрескивание происходит в основном из-за термического расширения зерен кварца. Поэтому ПСС на фенольной смоле особенно склонны к образованию просечек.

Просечки на отливках являются серьезной проблемой, особенно в случае, когда они образуются в глубоких поднутрениях, так как затрудняется их удаление. Кроме того, если трещин образовалось множество, то в этих местах образуется сетка трещин, в которые профильтровывается жидкий металл, образуются просечки на отливках. Причиной образования сетки просечек является, как правило, объемно-напряженное состояние смеси вблизи поверхности формы (стержня). Как отмечается в работе [11], смоляная смесь на кварцевом песке разрушается под действием возникающих напряжений с образованием поперечных и продольных трещин при нагревании с высокой скоростью, близкой к термоудару. В поверхностных слоях формы (стержня) образуются поперечные трещины глубиной 4 – 5 мм. После прогрева разрушаются и глубинные слои смеси с образованием продольных трещин, глубина залегания которых достигает 10 – 12 мм. После заполнения в результате фильтрации сетки трещин жидким металлом на отливке образуется трудноудалимый пригар [11 – 13].

Для предотвращения образования дефектов поверхности (просечек, ужимин, пригара) обычно применяют следующие меры: используют наполнители с низким коэффициентом термического расширения; покрывают формы и стержни отражающими излучение термостойкими противопригарными покрытиями; наносят на модели противоужиминную сетку; добавляют в составы смесей захолаживающие волокнистые добавки и крахмалит; формы и стержни сушат или снижают влажность смесей до оптимальных величин; применяют технологические меры по захолаживанию металла на проблемных участках при заполнении рабочей полости (прошпиливание гвоздями, вставки из захолаживающих смесей) [14].

Для стержневой смеси не менее важным свойством является ее податливость, характеризующая способность материала стержня деформироваться в процессе затвердевания и усадки отливки [15]. Литейщики изучают поведение (характер разрушения) поверхностных и глубинных слоев смеси в период времени после контакта расплава с литейной формой (стержнем) и образования прочной корочки металла. В этот период теплопроводность поверхностного сухого слоя смеси существенно снижается, последующие слои продолжают прогреваться, к моменту начала усадки их температура достигает 800 – 600 °С.

Характер разрушений различных смесей прогнозировали после исследований деформационной способности различных смесей при этих температурах на образцах диаметром и высотой 50 мм. Деформационная способность исследуемых смесей при температурах 600 и 800 °С представлена кривыми деформации на рис. 2 (параметры сушки образцов из ЖСС и из МФС: T = 220 °С, τ = 1 ч и T = 180 °С, τ = 1 ч соответственно).

Жидкостекольная смесь при тепловой сушке при нагреве в течение 20 мин при 600 °С деформируется с увеличением размеров (высоты образца) примерно на 1 % (рис. 2, кривая *1*), что может вызвать некоторое противодействие усадке. Далее при большей выдержке величина положительной деформации снижается. При выдержке при температуре 800 °С в течение первых 5 мин величина положительной деформации образцов растет (кривая *2*), достигает максимума (около 0,4 %, небольшой рост образца), а далее через 9 мин положительная деформация начинает снижаться и переходит в область отрицательных значений. Образец жидкостекольной смеси под действием нагрева претерпевает в основном отрицательную деформацию, таким образом обеспечивается способность к хорошей податливости формы (стержня).

Деформационная способность металлофосфатных смесей умеренная. Образцы при прогреве до 600 °С и выдержке при этой температуре растут медленно в течение 20 мин до достижения 1 %, далее рост несколько замедляется (кривая *3*). В этот период смесь формы способна противодействовать усадке отливки при затвердевании. Однако при температуре нагрева 800 °С образцы металлофосфатной смеси после выдержки в течение 20 мин прекращают рост, противодействие усадке снижается (кривая *4*). При использовании ме-

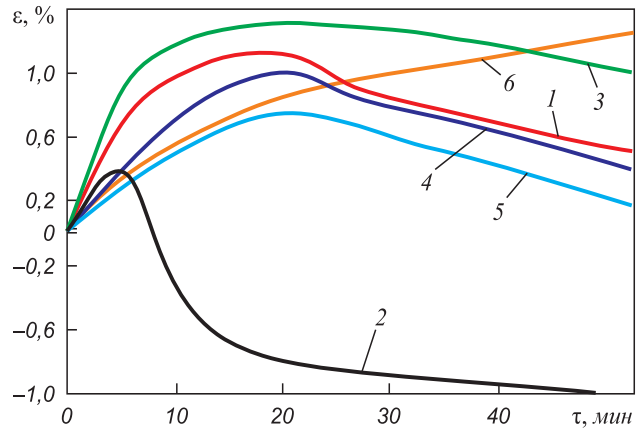

Рис. 2. Зависимость деформации образцов из различных смесей от продолжительности выдержки смеси при температурах: *1* – ЖСС с тепловой сушкой при 600 °С; *2* – ЖСС с тепловой сушкой при 800 °С; *3* – МФС с тепловой сушкой при 600 °С; *4* – МФС с тепловой сушкой при 800 °С; *5* – ПС на фенольной смоле при 600 °С; *6* – ПС на фенольной смоле при 800 °С

Fig. 2. Deformation dependence of the samples from different mixtures on the duration of mixture exposure at different temperatures: *1* – SSM with thermal drying at the temperature of 600 °C; *2* – SSM with thermal drying at the temperature of 800 °C; *3* – MPM with thermal drying at the temperature of 600 °C; *4* – MPM with thermal drying at the temperature of 800 °C; *5* – SM on phenolic resin at the temperature of 600 °C; *6* – SM on phenolic resin at the temperature of 800 °C

таллофосфатных смесей наблюдается высокая податливость форм и стержней при заливке сталью, которая позволяет решить проблемы по возникновению горячих трещин в отливках.

Деформационная способность песчано-смоляных смесей при повышении температуры нагрева до 600 °С сопоставима с деформационной способностью металлофосфатных смесей (кривая *5*). При прогреве в течение примерно 20 мин положительная деформация образца возрастает, затем рост прекращается, при этом податливость, очевидно, снижается. Но при прогреве до 800 °С положительная деформация форм (образцов) резко повышается (кривая *6*); образцы проявляют высокую термостойкость, горячую прочность, образуется твердый коксовый каркас, что сказывается на податливости [16].

Проведенные исследования дают наглядное представление об изменении размеров образцов из различных смесей, а результаты изучения деформационной способности в зависимости от времени выдержки при различных температурах хорошо согласуются с их реальной податливостью при изготовлении стального литья. Кроме отмеченных преимуществ, как отмечается в работах [1, 4, 14], МФС являются экологически чистыми и не оказывают вредного влияния на окружающую среду.

Выводы. Результаты проведенных исследований позволяют установить связь высокотемпературных деформационных изменений смесей на различных связующих и потенциальной возможности появления поверхностных дефектов на отливках. Образование просечек, ужимин, а при их развитии и пригара на отливках является следствием разрушения поверхностного слоя формы (стержня) и ее глубинных слоев при заливке и последующем затвердевании металла отливки. Использование жидкостекольных и металлофосфатных форм с высокими термомеханическими и служебными свойствами позволяет получать практически любые отливки из сплавов черных металлов без поверхностных дефектов. С учетом высокой экологичности и эрозионной стойкости жидкостекольных и металлофосфатных форм необходимо продолжить работу по их совершенствованию.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чернышов Е.А., Евлампиев А.А. Технология литейного производства. – М.: Высшая школа – Абрис, 2012. – 383 с.
2. Жуковский С.С. Прочность литейной формы. – М.: Машиностроение, 1989. – 288 с.
3. Жуковский С.С., Лясс А.М. Формы и стержни из холоднотвердеющих смесей. – М.: Машиностроение, 1978. – 224 с.
4. Металлофосфатные связующие и смеси / И.Е. Илларионов, Е.С. Гамов, В.П. Васин, Е.Г. Чернышевич; Под общ. ред. И.Е. Илларионова. – Чебоксары: изд-во при Чуваш. ун-те, 1995. – 524 с.
5. Серебро В.С. Исследование размыва поверхности формы при заливке // Литейное производство. 1978. № 7. С. 4 – 5.
6. Медведев Я.И., Валисовский И.В. Технологические испытания формовочных материалов. – М.: Машиностроение, 1973. – 312 с.
7. Трухов А.П., Сорокин Ю.А., Бычков Н.В. Механизм образования ужимин и способы их предупреждения // Заготовительные производства в машиностроении. 2005. № 4. С. 7 – 12.
8. Технология литейного производства: Литье в песчаные формы / А.П. Трухов, Ю.А. Сорокин, М.Ю. Ершов и др.; под ред. А.П. Трухова. – М.: ИЦ «Академия», 2005. – 528 с.
9. Формовочные материалы и технология литейной формы / С.С. Жуковский, Г.А. Анисович, Н.И. Давидов и др.; под ред. С.С. Жуковского. – М.: Машиностроение, 1983. – 432 с.
10. Формовочные и стержневые смеси / С.С. Жуковский, А.Н. Болдин, А.И. Яковлев и др.; под ред. С.С. Жуковского. – Брянск: изд. БГТУ, 2002. – 469 с.
11. Ромашкин В.Н. Термомеханическое разрушение литейной формы и образование поверхностных дефектов. – В кн.: Труды девятого съезда литейщиков. – Уфа, 2009. С. 268 – 271.
12. Ромашкин В.Н., Нуралиев Ф.А., Степашкин Ю.А., Валисовский И.В. Введение в термомеханику разрушения формовочных смесей // Литейное производство. 2010. № 4. С. 25 – 30.
13. Валисовский И.В. Пригар на отливках. – М.: Машиностроение, 1983. – 192 с.
14. Кукуй Д.М., Скворцов В.А., Эктова В.Н. Теория и технология литейного производства. – Минск: Дизайн ПРО, 2000. – 416 с.
15. Евлампиев А.А., Чернышов Е.А. Тенденции развития, технологические особенности и перспективы использования песчано-фосфатных смесей // Литейщик России. 2009. № 11. С. 35 – 37.
16. Болдин А.Н., Давыдов Н.И., Жуковский С.С. и др. Литейные формовочные материалы. Формовочные, стержневые смеси и покрытия: Справочник. – М.: Машиностроение, 2006. – 507 с.

Поступила 22 января 2015 г.

Izvestiya VUZov. Chernaya Metallurgiya = Izvestiya. Ferrous Metallurgy. 2016. Vol. 59. No. 8, pp. 547–551.

THERMOMECHANICAL PROPERTIES OF FORMS ON VARIOUS BINDERS AND THE FORMING CONDITIONS OF HIGH-QUALITY CASTINGS

***E.A. Chernyshov*[1], *A.A. Evlampiev*[2], *A.V. Korolev*[2], *L.A. Ivanova*[2], *O.V. Moiseeva*[2]**

[1] Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia
[2] Chuvash State University, Cheboksary, Russia

Abstract. The paper presents the basic thermomechanical properties of the molding and core mixtures and the factors they depend on. The authors of the work have analyzed the conditions for thermal and dynamic effects of melt on the walls of the form during the filling and hardening of the metal and their influence on the formation of surface defects in the casting. The article also gives the results of deformation dependence of the most common molding sands on the duration of heating when simulating actual conditions of casting formations. The connection of deformation capacity of the mixture with the defects formed on the castings and compliance of molding (core) mixture has been shown. A set of measures to prevent surface defects has been offered in the paper. It has been established that the formation of scabs, breaks and burnings-on at castings is a consequence of the deformation changes

and destruction of surface layers of the mixture. From the point of view of exclusion of surface defects and environmental aspects, the best are sodium silicate and metallophosphate mixtures.

Keywords: form, molding sand, thermomechanical properties, thermal and physical impact, stress, fracture, surface layer, compliance, deformation capacity, defect, casting.

DOI: 10.17073/0368-0797-2016-8-547-551

REFERENCES

1. Chernyshov E.A., Evlampiev A.A. *Tekhnologiya liteinogo proizvodstva* [Foundry engineering technology]. Moscow: Vysshaya shkola – Abris, 2012, 383 p. (In Russ.).

2. Zhukovskii S.S. *Prochnost' liteinoi formy* [Strength of casting molds]. Moscow: Mashinostroenie, 1989, 288 p. (In Russ.).

3. Zhukovskii S.S., Lyass A.M. *Formy i sterzhni iz kholodnotverdeyushchikh smesei* [Forms and bars from cold-hardening mixtures]. Moscow: Mashinostroenie, 1978, 224 p. (In Russ.).

4. Illarionov I.E., Gamov E.S., Vasin V.P., Chernyshevich E.G. *Metallofosfatnye svyazuyushchie i smesi* [Metallophosphate binders and mixtures]. Illarionov. I.E. ed. Cheboksary: izd-vo pri Chuvash. un-te, 1995, 524 p. (In Russ.).

5. Serebro V.S. Research of form surface washing at filling. *Liteinoe proizvodstvo*. 1978, no. 7, pp. 4–5. (In Russ.).

6. Medvedev Ya.I., Valisovskii I.V. *Tekhnologicheskie ispytaniya formovochnykh materialov* [In-process tests of molding material]. Moscow: Mashinostroenie, 1973, 312 p. (In Russ.).

7. Trukhov A.P., Sorokin Yu.A., Bychkov N.V Formation mechanism of scabs and the ways of their avoidance. *Zagotovitel'nye proizvodstva v mashinostroenii*. 2005, no. 4, pp. 7–12. (In Russ.).

8. Trukhov A.P., Sorokin Yu.A., Ershov M.Yu. etc. *Tekhnologiya liteinogo proizvodstva: Lit'e v peschanye formy* [Foundry engineering technology: Casting in sand forms]. Trukhov A.P. ed. Moscow: ITs "Akademiya", 2005, 528 p. (In Russ.).

9. Zhukovskii S.S., Anisovich G.A., Davydov N.I. etc. *Formovochnye materialy i tekhnologiya liteinoi formy* [Molding materials and the mechanism of casting molds]. Zhukovskii S.S. ed. Moscow: Mashinostroenie, 1983, 432 p. (In Russ.).

10. Zhukovskii S.S., Boldin A.N., Yakovlev A.I. etc. *Formovochnye i sterzhnevye smesi* [Molding and core sands]. Zhukovskii S.S. ed. Bryansk: izd. BGTU, 2002, 469 p. (In Russ.).

11. Romashkin V.N. Thermomechanical fracture of casting molds and the formation of surface defects. In: *Trudy devyatogo s"ezda liteishchikov* [Proceedings of the 9th Congress of Founders]. Ufa, 2009, pp. 268–271. (In Russ.).

12. Romashkin V.N., Nuraliev F.A., Stepashkin Yu.A., Valisovskii I.V. Introduction into thermal engineering of molding sand fractures. *Liteinoe proizvodstvo*. 2010, no. 4, pp. 25–30. (In Russ.).

13. Valisovskii I.V. *Prigar na otlivkakh* [Burnings-on at castings]. Moscow: Mashinostroenie, 1983, 192 p. (In Russ.).

14. Kukui D.M., Skvortsov V.A., Ektova V.N. *Teoriya i tekhnologiya liteinogo proizvodstva* [Theory and technology of foundry engineering]. Minsk: Dizain PRO, 2000, 416 p. (In Russ.).

15. Evlampiev A.A., Chernyshov E.A. Developmental trends, technological peculiarities and perspectives of using sand-phosphate mixtures. *Liteishchik Rossii*. 2009, no. 11, pp. 35–37. (In Russ.).

16. Boldin A.N., Davydov N.I., Zhukovskii S.S. etc. *Liteinye formovochnye materialy. Formovochnye, sterzhnevye smesi i pokrytiya: Spravochnik* [Casting molding materials. Molding, core sands and coatings: Reference book]. Moscow: Mashinostroenie, 2006, 507 p. (In Russ.).

Information about the authors:

E.A. Chernyshov, *Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Chair "Metallurgical Technology and Equipment"* (nil_st@nntu.nnov.ru)

A.A. Evlampiev, *Cand. Sci. (Eng.), Professor of the Chair "Technology of Metals and Foundry Engineering"* (tmilp@rambler.ru)

A.V. Korolev, *Cand. Sci. (Eng.), Assist. Professor of the Chair "Technology of Metals and Foundry Engineering"* (tmilp@rambler.ru)

L.A. Ivanova, *Senior Lecturer of the Chair "Technology of Metals and Foundry Engineering"* (tmilp@rambler.ru)

O.V. Moiseeva, *Engineer of the Chair "Technology of Metals and Foundry Engineering"* (tmilp@rambler.ru)

Received January 22, 2015