

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СУСПЕНЗИЙ НА ОСНОВЕ ГЛИН

Т.Д. Клюквина
С.А. Яшина

tklyukvina@yandex.ru
sof.ya.shina@gmail.com

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Изучены реологические особенности суспензий на основе глин. Сформулированы рекомендации для режимов приготовления бентонитовых суспензий с учетом особенностей их реологических моделей

Ключевые слова

Литейное производство, литье в песчаные формы, глинистая суспензия, реологическая модель бентонитовых суспензий

Поступила в редакцию 06.11.2016

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016

Литье в песчано-глинистые формы является одним из самых распространенных литейных процессов [1]. При литье в песчано-глинистые формы инструментом, позволяющим получать отливку, является литейная форма, которая состоит из песка, глины и специальных добавок [2]. В качестве связующего вещества применяют каолиновую (огнеупорную) и бентонитовую глины [3]. До середины прошлого столетия в качестве связующей глины зачастую использовали каолиновую. После добычи ее в комовом виде доставляли прямо на литейные заводы, помещали в специальную установку приготовления глинистых суспензий, где под действием перемешивающих устройств (рис. 1) глина измельчалась и смешивалась с водой, образуя суспензию.

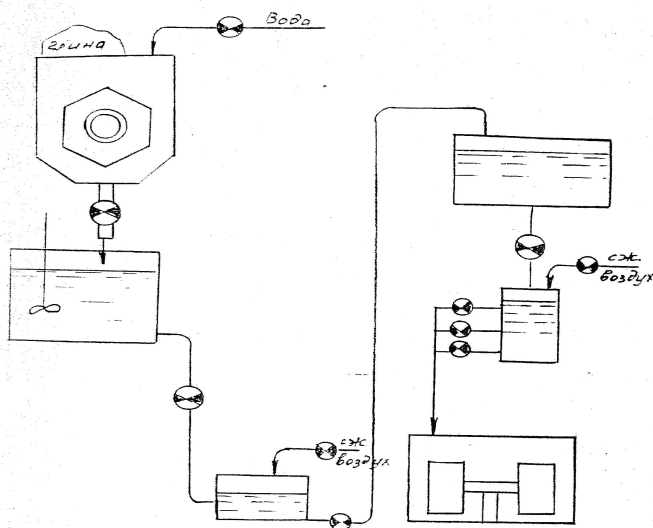


Рис. 1. Установка для приготовления глинистой суспензии.

Чугунолитейный завод им. П.Л. Войкова

Суспензии на основе каолиновой глины имели относительно невысокую вязкость при концентрации сухого вещества до 35 %, что позволяло вводить всю необходимую для освежения смеси глину в виде суспензии. Однако при переходе с каолиновой на бентонитовую глину возникли сложности, связанные с высокими коллоидальностью и набухаемостью новых глин. Получение высококонцентрированных суспензий на основе бентонитовых глин стало невозможным из-за высокой вязкости таких суспензий. Так, 13%-ая суспензия на основе Хакасского активированного бентонита имеет вязкость выше 40 сП (условная вязкость более 56 с), что затрудняет ее течение, а 15%-ая суспензия уже не течет. Это привело к тому, что часть заводов переориентировала производство на сухой ввод бентонитов, другая часть — стала применять понизители вязкости бентонитовых суспензий такие, как нитрилотриметилфосфоновая кислота (НТФ), полифенолы лесохимические (ПФЛХ), углещелочные реагенты (УЩР) и комплексные формовочные модификаторы Литасорб-Р и Литасорб-Н [4], что позволило приготавливать суспензии с концентрацией сухого вещества в 1,5–2 раза больше. Отметим ряд преимуществ суспензионной технологии, по сравнению с сухим вводом бентонита.

1. Отсутствие в смеси балластного состояния бентонита. В смеси при сухом вводе в течение одного или нескольких циклов может присутствовать ненабухший бентонит, который будет достигать своего оптимального состояния за счет постепенного поглощения влаги, что приводит к необходимости дополнительного ввода бентонита в смесь. Суспензионная технология, вследствие предварительного набухания и диспергирования, значительно уменьшает количество ненабухшего бентонита. В случае применения в качестве смесителей высокоинтенсивных вихревых смесителей с коротким циклом перемешивания (до 90 с) для смесей с повышенным освежением суспензионная технология позволяет компенсировать кратковременность воздействия на смесь за счет предварительного набухания глины.

2. Повышение термостойкости смеси в связи с увеличением количества набухшего бентонита в смеси.

3. Обеспечение более равномерного распределения бентонита в смеси, облегчение процесса перемешивания компонентов.

4. Снижение потерь бентонита в процессе приготовления формовочных смесей, связанных с уносом (попаданием, всасыванием) его в вентиляционную систему.

5. Улучшение санитарно-гигиенических условий труда как следствие отсутствия пыления бентонитовых порошков во время транспортных операций и в процессе приготовления смеси.

Однако существует и ряд существенных недостатков суспензионного ввода бентонита в смесь.

1. Многостадийность процесса: подготовка суспензии в агрегате приготовления суспензии, выдерживание суспензии для набухания бентонита в промежуточной емкости, транспортирование, раздача суспензии.

2. Использование суспензий с концентрацией менее 30 % может приводить к переувлажнению и низкой прочности смеси. При большей концентрации перекачивание суспензии по трубам затруднительно из-за высокой вязкости. Даже

при повышенной с помощью понизителей вязкости концентрации суспензии применение бентонитовых суспензий затрудняется по причине переувлажнения смеси. Однако это можно компенсировать, если вводить суспензию в смеситель-охладитель на еще горячую смесь.

3. Отсутствие специализированного технологического оборудования для приготовления бентонитовых суспензий.

Попытки использовать в качестве оборудования для приготовления суспензий стандартное оборудование, применяемое на заводах для приготовления глинистых суспензий из комового сырья, не увенчались успехом [5]. Из-за повышенного, по сравнению с каолиновыми глинами, водопоглощения бентонитовых глин для приготовления высоко концентрированных бентонитовых суспензии необходимо применять специализированное оборудование. При проектировании такого специализированного оборудования невозможно обойтись без полноценного представления о реологии глинистых суспензий.

Особенно важным при проектировании установок для приготовления суспензий является установление влияния скорости сдвига на вязкость суспензии. Это определяет технологические требования к устройству для приготовления суспензий: скорость вращения перемешивающего устройства, мощность, необходимую для перемешивания и др.

В ходе проведенных исследований изучено влияние скорости вращения измерительного цилиндра на эффективную вязкость бентонитовых суспензий на основе глин Черногорского месторождения (Республика Хакасия, 10-й хутор) и каолиновых суспензий на основе глин Нижнеуельского месторождения (Челябинская область). Результаты исследований представлены в табл. 1.

Таблица 1

Влияние скорости вращения измерительного цилиндра на эффективную вязкость

Исследуемая суспензия	Время выстаивания	Скорость вращения измерительного цилиндра, об/мин	Эффективная вязкость, сП
Суспензия на основе Хакасского (Черногорского) активированного бентонита (13%-ая)	Без выстаивания (условная вязкость 56 с)	200	48,47
		300	39,77
		400	31,69
		600	23,86
	3 ч	200	79,79
		300	58,66
		400	46,61
		600	33,56
	24 ч	200	107,38
		300	78,05
		400	62,64
		600	45,49

Исследуемая суспензия	Время выстаивания	Скорость вращения измерительного цилиндра, об/мин	Эффективная вязкость, сП
Суспензия на основе Нижнеуфельской глины (20%-ая)	Без выстаивания (условная вязкость 32 с)	200	43
		300	31
		400	26
		600	18
Суспензия на основе Нижнеуфельской глины (25%-ая)	Без выстаивания (условная вязкость 43 с)	200	97
		300	69
		400	52
		600	37

На основе результатов исследований построены графики зависимости вязкости от скорости вращения измерительного цилиндра (рис. 2, 3).

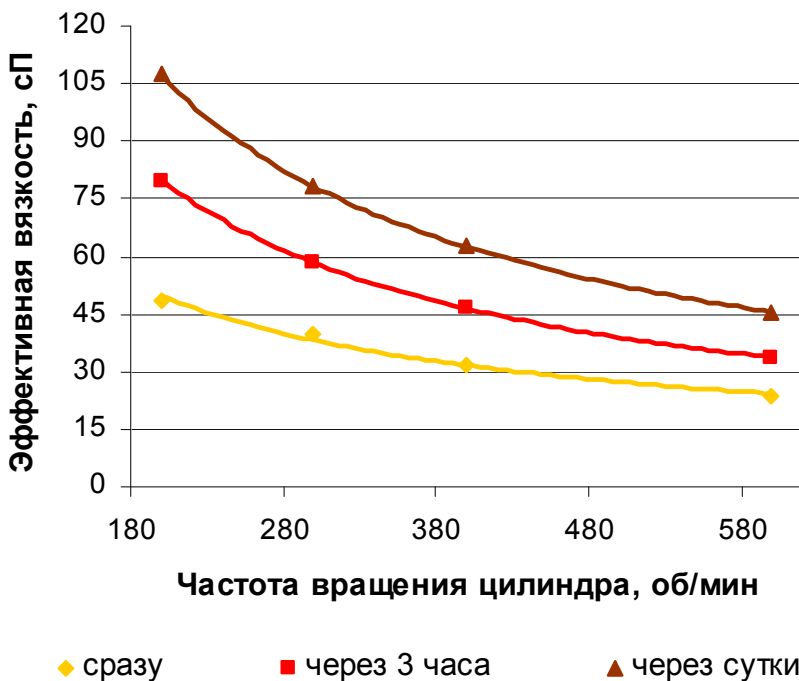


Рис. 2. Зависимость эффективной вязкости от скорости вращения измерительного цилиндра для 13%-ой суспензии на основе Хакасского активированного бентонита

Полученные данные позволяют сделать вывод, что как для бентонитовых суспензий, так и для каолиновых суспензий характерно снижение вязкости при увеличении скорости сдвига. Таким образом, бентонитовые суспензии являются неньютоновскими жидкостями, для которых с увеличением скорости сдвига

значение эффективной вязкости уменьшается, что характерно для псевдопластичных и вязкопластичных жидкостей.

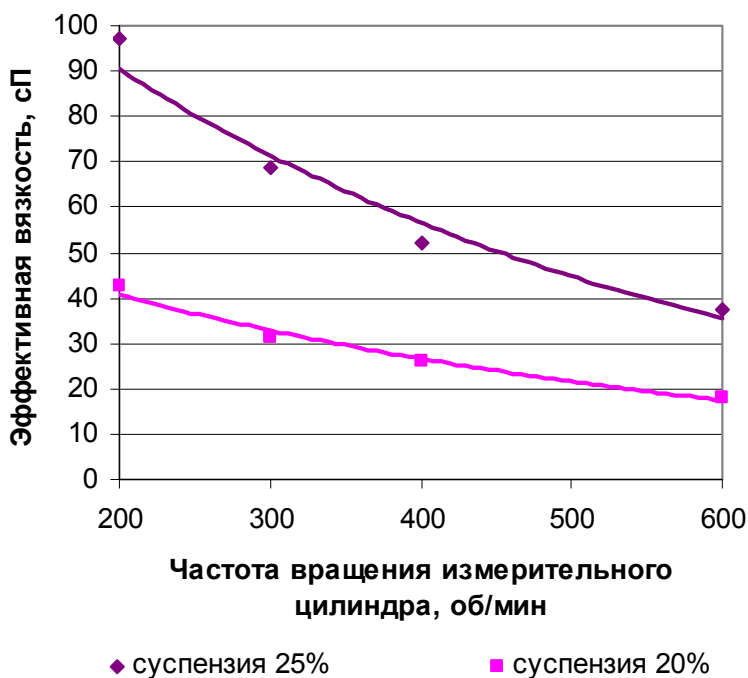


Рис. 3. Зависимость эффективной вязкости от частоты вращения измерительного цилиндра для суспензий на основе Нижнеуевельской глины

Для определения типа реологической модели глинистых суспензий необходимо построить реограммы (графики зависимости касательных напряжений $\tau(\gamma)$, вызывающих сдвиг слоя, от скорости сдвига γ) для суспензий различного состава. Динамическая вязкость является коэффициентом пропорциональности между напряжением сдвига и скоростью сдвига (градиентом скорости), поэтому касательные напряжения могут быть определены по формуле

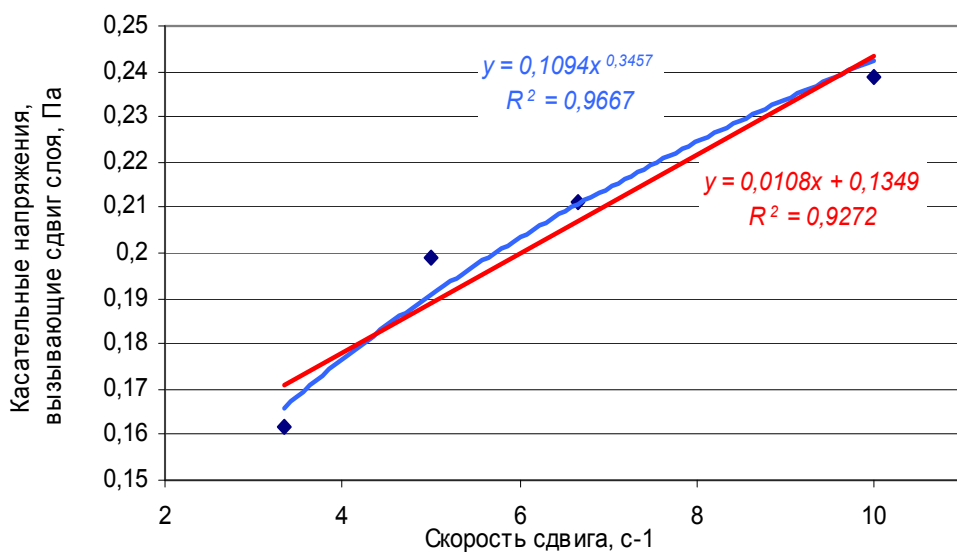
$$\tau(\gamma) = \eta \dot{\gamma},$$

где τ — касательное напряжение сдвига, Па; η — вязкость, Па·с; $\dot{\gamma}$ — скорость сдвига, с^{-1} .

На рис. 4–6 представлены реограммы бентонитовых суспензий, составленные на основании данных табл. 1. На каждой реограмме отражены две линии тренда — степенная и линейная. Степенная отражает поведение псевдопластичных жидкостей, линейная — вязкопластичных. Для каждой из линий тренда на рисунках и в табл. 2 приведены уравнения и величина аппроксимации, которая позволяет судить о том, какой вид зависимости точнее описывает влияние изменения частоты вращения на касательные напряжения сдвига суспензии.

Уравнения течения суспензий

Тип бентонитовой суспензии	Характеристики течения суспензии как псевдопластичной жидкости		Характеристики течения суспензии как вязкопластичной жидкости	
	Уравнение течения	Величина аппроксимации	Уравнение течения	Величина аппроксимации
Хакасский активированный бентонит без модификаторов	$\tau(\gamma)=0,1094\gamma^{0,3457}$	0,9667	$\tau(\gamma)=0,0108\gamma+0,1349$	0,9272
Нижнеуельская глина без модификаторов, 20%-ая суспензия	$\tau(\gamma)=0,2742\gamma^{0,13}$	0,978	$\tau(\gamma)=0,0071\gamma+0,3025$	0,9696
Нижнеуельская глина без модификаторов, 25%-ая суспензия	$\tau(\gamma)=0,1098\gamma^{0,2225}$	0,9354	$\tau(\gamma)=0,0274\gamma+0,0341$	0,8561



- ◆ 13% суспензия Хакасский активированный бентонит без модификаторов
- Степенной (13% суспензия Хакасский активированный бентонит без модификаторов)
- Линейный (13% суспензия Хакасский активированный бентонит без модификаторов)

Рис. 4. Реограмма 13%-ой суспензии на основе Хакасского активированного бентонита

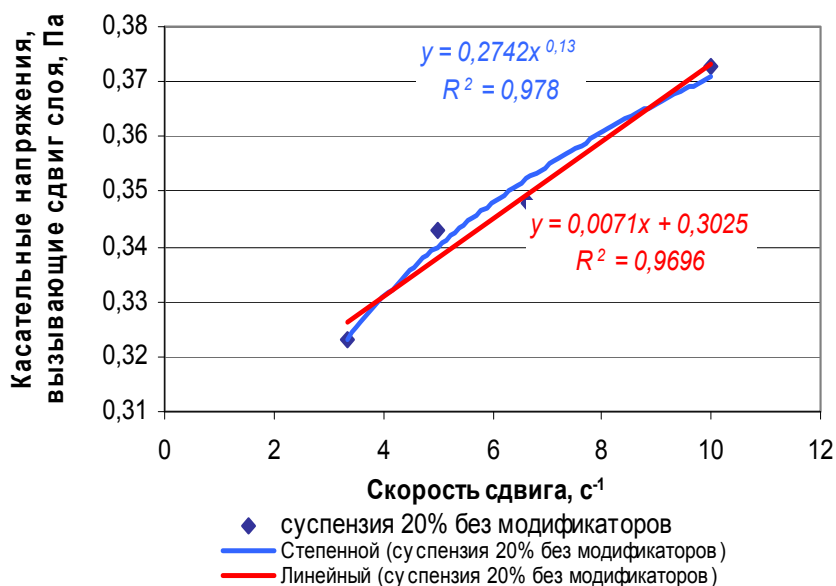


Рис. 5. Реограмма 20%-ой суспензии на основе Нижнеувельской глины

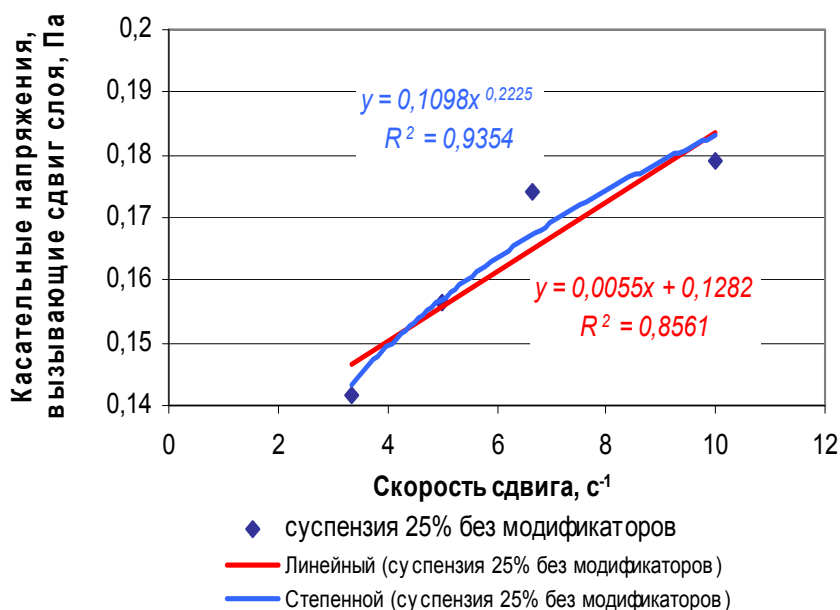


Рис. 6. Реограмма 25%-ой суспензии на основе Нижнеувельской глины

Сравнение величин аппроксимации для уравнений течения суспензий как псевдопластичных, и как вязкопластичных жидкостей, позволяет сделать вывод, что уравнение степенного вида более точно описывает течение глинистой суспензии, следовательно, суспензии представляют собой псевдопластичные жидкости. Такое поведение суспензий объясняется тем, что в процессе набухания глины образуются мелкие агрегаты и даже отдельные единичные слои, которые объ-

едняются структуры в результате контакта частиц глины. Такая структура сопротивляется сдвигу из-за взаимного притяжения частиц глины и сил трения между структурами [6].

По достижении критического динамического напряжения сдвига и начала течения суспензии частицы больше не взаимодействуют между собой, их влияние на вязкость глинистой суспензии сказывается только за счет занимаемого объема. При низких скоростях сдвига силы притяжения между структурами еще оказывают существенное влияние на течение глинистой суспензии, поэтому вязкость достаточно высока, однако при повышении скорости сдвига частицы постепенно располагаются в направлении течения, что приводит к снижению вязкости суспензий. Данный эффект будет сильнее проявляться на бентонитовых суспензиях, вследствие их высокой способности к набуханию.

При проектировании установок для приготовления высококонцентрированной суспензии на основе глин необходимо учитывать особенности поведения глинистых суспензий как псевдопластичных жидкостей. При низких частотах вращения (менее 200 об/мин) вязкость глинистых суспензий больше, при высоких частотах — меньше, что значительно влияет на мощность, затрачиваемую на перемешивание. В процессе перемешивания суспензий при низких частотах вращения критерий мощности для мешалок будет значительно выше, чем при высоких частотах вращения, т. е. угол наклона кривой мощности мешалки будет уменьшаться и стремиться к нулю при увеличении частоты вращения мешалки. Следовательно, оптимальным является режим приготовления глинистых суспензий на высокоскоростных мешалках пропеллерного типа.

Литература

1. State of union // Modern Casting. 2015. No. 1. P. 24–27. URL: <http://www.afsinc.org/multimedia/contentMC.cfm?ItemNumber=17638>
2. Кукуй Д.М. Теория и технология литейного производства. Ч. 2. М.: Инфра-М.: 2013. 406 с.
3. Трухов А.П. Технология литейного производства. Литье в песчаные формы. М.: Издательский центр «Академия», 2005. 528 с.
4. Иванова А.В. Исследование и разработка формовочных модификаторов для песчано-бентонитовых смесей. Дис. ... канд. техн наук. М.: 2005. 173 с.
5. Отчет по этапам договора №3/51 ЗАО «Литаформ». М.: 1996. 137 с.
6. Грей Дж.Р., Дарли Г.С.Г. Состав и свойства буровых агентов (промывочных жидкостей). М.: Недра, 1985. 509 с.

Клюквина Татьяна Дмитриевна — студентка кафедры «Литейные технологии», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Яшина Софья Александровна — студентка кафедры «Литейные технологии», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Е.С. Озерова, ассистент кафедры «Литейные технологии», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

RHEOLOGICAL FEATURES OF SUSPENSIONS BASED ON CLAY

T.D. Klukvina

tklyukvina@yandex.ru

S.A. Yashina

sof.ya.shina@gmail

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The study tested rheological characteristics of suspensions based on clay. As a result, we give some recommendations for making bentonite suspensions based on the characteristics of their rheological models

Keywords

Foundry engineering, sand casting, clay slurry, rheological model of bentonite suspensions

© Bauman Moscow State Technical University, 2016

References

- [1] State of union. *Modern Casting*, 2015, no. 1, pp. 24–27.
URL: <http://www.afsinc.org/multimedia/contentMC.cfm?ItemNumber=17638>
- [2] Kukuy D.M. *Teoriya i tekhnologiya liteynogo proizvodstva. Ch. 2. [Foundry production theory and technology. Vol. 2].* Moscow, Infra-M Publ., 2013. 406 p. (in Russ.).
- [3] Trukhov A.P. *Tekhnologiya liteynogo proizvodstva: Lit'ye v peschanye formy [Foundry production technology: sand casting].* Moscow, "Akademiya" Publ. center, 2005. 528 p. (in Russ.).
- [4] Ivanova A.V. *Issledovanie i razrabotka formovochnykh modifikatorov dlya peschano-bentonitovykh smesey. Dis. kand. tekhn. nauk [Research and development of molding modifiers for sand-concrete mixes. Kand. tech. sc. diss.].* Moscow, 2005. 173 p. (in Russ.).
- [5] *Otchet po etapam dogovora №3/51 ZAO "Litaform" [Report on contract scheduling no. 3/51 ZAO "Litaform"].* Moscow, 1996. 137 p. (in Russ.).
- [6] Caenn R., Darley H.C.H., Gray G.R. *Composition and properties of drilling and completion fluids. Gulf Professional Publishing, 2011. 720 p. [Russ. ed.: Sostav i svoystva burovykh agentov (promyvochnykh zhidkostey). Moscow, Nedra Publ., 1985. 509 p.).*

Klyukvina T.D. — student of Department of Foundry Technology, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Yashina S.A. — student of Department of Foundry Technology, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — E.S. Ozerova, assistant of Department of Foundry Technology, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.