



УДК 621.74.04  
DOI: 10.21122/1683-6065-2019-2-13-18

Поступила 05.03.2019  
Received 05.03.2019

## ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПЕСЧАНО–СМОЛЯНЫХ ОБОЛОЧЕК НА КАЧЕСТВО ИЗГОТОВЛЕННЫХ В НИХ ОТЛИВОК

*В. Ю. КУЛИКОВ, С. С. КВОН, Т. В. КОВАЛЕВА, Е. П. ЩЕРБАКОВА, Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, Республика Казахстан, Бульвар Мира, 56.*

*E-mail: mlpikm@mail.ru,*

*Е. Н. ЕРЕМИН, Омский государственный технический университет, г. Омск, Российская Федерация, Проспект Мира, 11. E-mail: weld\_techn@mail.ru*

*Смола в песчано-смоляных смесях в процессе нагревания при изготовлении литейных оболочковых форм претерпевает изменения состояния: твердое-жидкое-твердое. С целью повышения прочности и снижения содержания связующего (пудльвербакелита) в смеси при формировании оболочки наряду с термическим воздействием использовали статическое давление, изменяющееся в соответствии с изменением агрегатного состояния смолы. Базовое давление составляет 0,25 МПа и подается через прессовую плиту сразу после засыпки смеси на нагретую до 230 °С модельную плиту. Через 10 с давление повышается до 0,35 МПа, а еще через 10 с понижается до 0,2 МПа. Экспериментально определено, что отливки, полученные в оболочковых формах, изготовленных с использованием вариативного давления, имеют минимальные и однородные внутренние напряжения. Также исследования показали, что такие отливки имеют высокую чистоту поверхности ( $R_z$  70–80) и отсутствие внутренних дефектов.*

**Ключевые слова.** *Оболочковая форма, смесь, песок, смола, отливка, напряжение, шероховатость.*

**Для цитирования.** *Куликов, В. Ю. Влияние режимов формообразования песчано-смоляных оболочек на качество изготовленных в них отливок / В. Ю. Куликов, С. С. Квон, Т. В. Ковалева, Е. П. Щербакова, Е. Н. Еремин // Литье и металлургия. 2019. № 2. С. 13–18. DOI: 10.21122/1683-6065-2019-2-13-18.*

## INFLUENCE OF THE MODES OF SHAPING OF SAND–RESIN SHELLS ON QUALITY OF THE PRODUCED CASTINGS

*V. YU. KULIKOV, S. S. KVON, T. V. KOVALYOVA, E. P. SHCHERBAKOVA, Karaganda State Technical University, Karaganda, Republic of Kazakhstan, 56, Mira Boulevard. E-mail: mlpikm@mail.ru,*

*E. N. EREMIN, Omsk State Technical University, Omsk, Russian Federation, 11, Mira ave.*

*E-mail: weld\_techn@mail.ru*

*Resin in sand-resin mixes in the course of heating at production of casting shell molds undergoes changes of a state: solid – liquid – solid. For the purpose of increase in durability and decrease in contents of binding (pulverbakelit) in mix when forming a shell, along with thermal influence, the static pressure, the resins changing in compliance with change of aggregate state was used. Basic pressure is 0.25 MPas and moves through a press plate right after filling of mix on heated up to 230 °C model plate. In 10 seconds pressure increases up to 0.35 MPas. And in 10 seconds pressure goes down to 0.2 MPas. It is experimentally defined that the castings received in the shell forms made with use of variable pressure have the minimum and uniform internal tension. Also researches showed that such castings have high purity of a surface ( $R_z$  70–80) and lack of internal defects.*

**Keywords.** *Shell form, mix, sand, resin, casting, tension, roughness.*

**For citation.** *Kulikov V. Yu., Kvon S. S., Kovalyova T. V., Shcherbakova E. P., Eremin E. N. Influence of the modes of shaping of sand-resin shells on quality of the produced castings. Foundry production and metallurgy, 2019, no. 2, pp. 13–18. DOI: 10.21122/1683-6065-2019-2-13-18.*

Одним из способов изготовления прецизионных отливок является литье в песчано-смоляные формы. Данный метод позволяет получать весьма точные по геометрическим размерам отливки с низкой шероховатостью [1, 2]. Вместе с тем, одним из направлений повышения качества изготавливаемых отливок за счет оболочек является их формообразование с использованием вариативного давления [3–5]. При нагреве песчано-смоляной смеси смола при температуре порядка 130 °С переходит в жидкое состояние, а при температуре более 200 °С необратимо затвердевает, т. е. смола меняет свое агрегатное состояние.

Использование оболочковых форм значительно повышает качество поверхности и геометрическую точность литья [6, 7].

В первоначальный момент после засыпки песчано-смоляной смеси из бункера на модельную плиту подается определенное давление (0,25 МПа). Это способствует удалению излишков воздуха из смеси и повышению числа контактов между частицами песка и смолы, что приводит к увеличению теплопередачи. В период образования вблизи модели прослойки с жидкой смолой целесообразно увеличить давление до 0,35 МПа. Эксперименты показали, что при этом происходит более тесный контакт между песчинками, более равномерно распределяется смола по всей формирующейся оболочке, она полностью обволакивает частицы песка (плакирование). После затвердевания вблизи модели слоя корки давление следует снова снизить во избежание выдавливания песка из уже сформированной оболочки и в целом разрушения оболочки.

Ранее [8] был определен наиболее оптимальный состав песчано-смоляной смеси для формообразования с использованием вариативного давления (табл. 1).

Таблица 1. Оптимальный состав песчано-смоляной смеси

Наименование компонента	Содержание в смеси, %
Кварцевый песок марки 1К0315	70
Кварцевый песок марки 1К02	30
Пulьвербакелит СФ-011А	4,5 (сверх 100%)
Керосин	0,2–0,4 (сверх 100%)
Уайт-спирит	2–3 (сверх 100%)
Борная кислота	0–0,2 (сверх 100%)

Технологический процесс выглядит следующим образом: после перемешивания песчано-смоляную смесь засыпали в бункер машины. После производили опрокидывание бункера со смесью на нагретую до 230 °С модельную плиту с моделями отливок. При этом одновременно через плиту подавали давление 0,25 МПа. Через 10 с давление повышали до 0,35 МПа, а еще через 10 с понижали до 0,2 МПа. При этом формировалась оболочковая форма толщиной 10–12 мм. После этого формы спекались в течение 2 мин при температуре 320–340 °С. Некоторые оболочковые формы для различных отливок приведены на рис. 1.

Для правильного выбора технологических параметров оболочки целесообразно определить их влияние на концентрацию напряжений получаемой отливки, так как слишком плотная и прочная форма будет препятствовать усадке металла.

Известно, что напряжения представляют большую опасность в первоначальный период остывания из-за того, что сплавы показывают весьма низкую прочностью при высоких температурах. К тому же прочность может быть и еще меньше, если в сплаве образуются легкоплавкие фазы. Напряжения приводят к возникновению горячих трещин в отливках.

Оболочковые формы изготавливали на установке для изготовления оболочковых форм на ТОО «КМЗ им. Пархоменко» (г. Караганда). Материал отливок – Ст35Л, выплавленный в дуговой трехфазной печи.

Напряжения в отливках определяли с помощью измерителя концентрации напряжений ИКН-3М-12 (рис. 2, а). Измеритель позволяет определять, регистрировать и обрабатывать данные диагностики напряженно-деформированного состояния металлов и сплавов посредством метода магнитной памяти металла.



Рис. 1. Оболочковые формы различных отливок

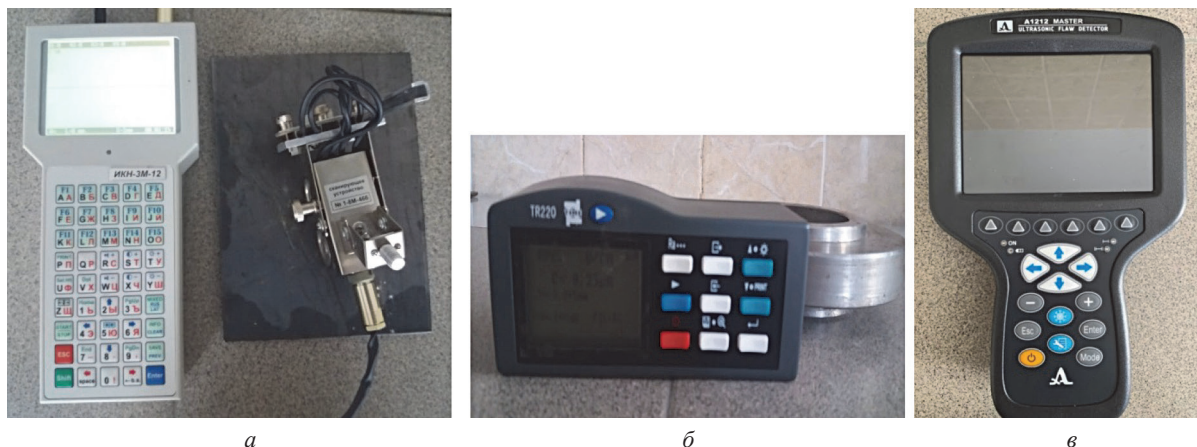


Рис. 2. Приборы, использованные в исследованиях отливок: а – измеритель концентрации напряжений ИКН-3М-12; б – прибор для измерения шероховатости TR-220; в – ультразвуковой дефектоскоп А1212 Master

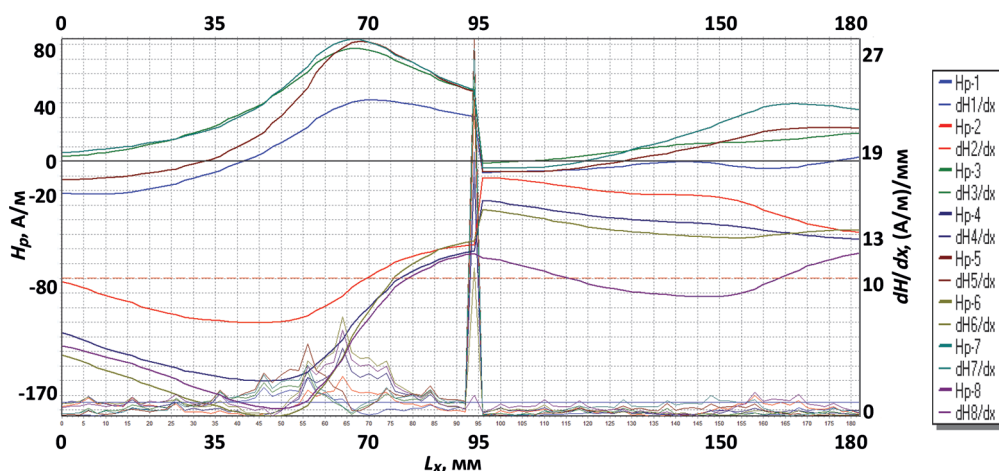


Рис. 3. Распределение напряжений по поверхности отливки «Крышка» от периферии к центру (оболочковая форма получена только при использовании термического воздействия)

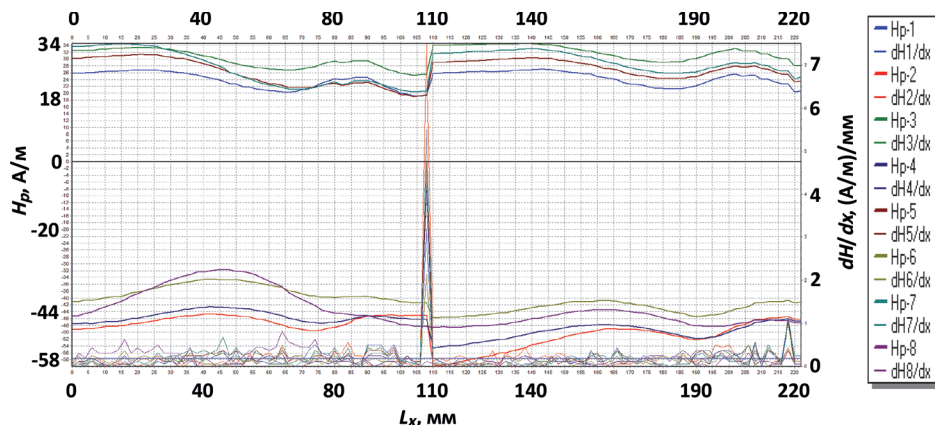


Рис. 4. Распределение напряжений по поверхности отливки «Крышка» от периферии к центру (оболочковая форма получена при использовании одновременно термического и статического воздействия)

Также исследовали шероховатость отливок после их очистки с использованием прибора для измерения шероховатости TR-220 (рис. 2, б). Как известно, точность отливок, изготовленных в оболочковые формы соответствует точности по 6–11 квалитетам (СТ СЭВ 144-75). Это достигается за счет хорошей заполняемости оболочки расплавами, что способствует изготовлению тонкостенных отливок. Оценку сплошности металла и проверку наличия дефектов проводили на ультразвуковом дефектоскопе А1212 Master (рис. 2, в).

Определяли напряжения в отливке «Крышка» (сталь 35Л), изготовленных в оболочковых формах, полученных только с использованием термического воздействия (рис. 3) и одновременно термического и статического воздействия (рис. 4).

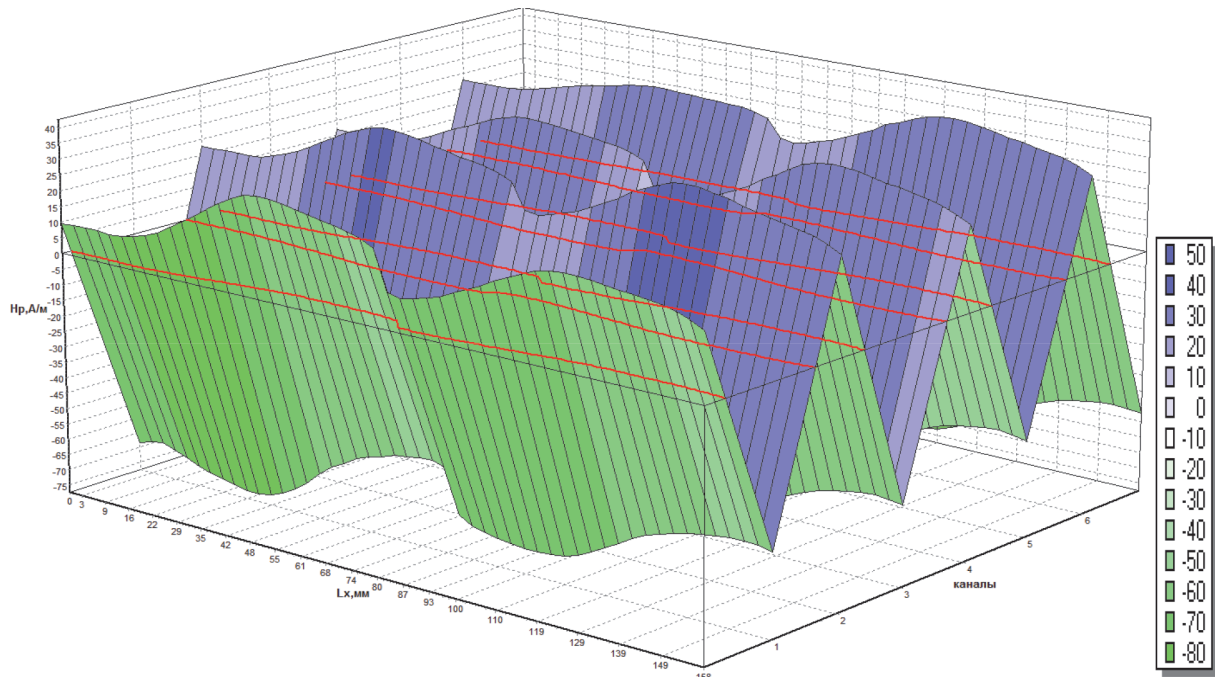


Рис. 5. Трехмерный график распределения нормальной составляющей напряженности магнитного поля  $H_p$

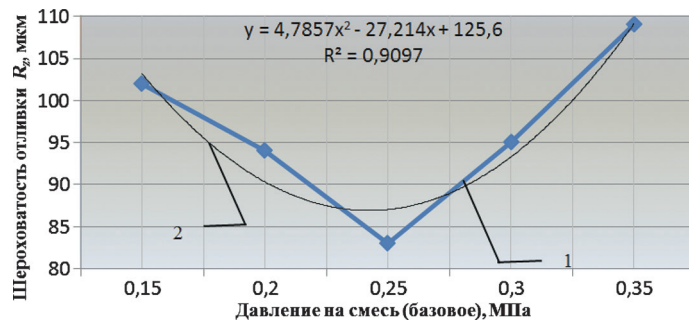


Рис. 6. Зависимость шероховатости отливки от величины давления на смесь в период ее формообразования: 1 – теория; 2 – эксперимент

Из рисунков видно, что концентрация напряжений во втором случае более равномерная и не имеет столь выраженного роста к центру отливки. Это, очевидно, связано с большей податливостью формы, изготовленной при нестационарном давлении. Как было отмечено выше, при использовании повышенного давления в момент жидкого состояния смолы происходит равномерное обволакивание смолы частиц песка. При этом в целом форма становится более податливой, что, в конечном итоге, позволяет металлу свободную усадку. В первом случае растягивающие напряжения достигают 65 А/м. Во втором образце максимальное напряжение 30 А/м.

Также была исследована трехмерная магнитограмма образца (рис. 5). Распределение магнитного поля образца  $H_p$  в целом равномерное, имеются небольшие отрицательные аномалии с амплитудой до 60 А/м.

Максимальный показатель напряженности магнитного поля  $H_p$  около 45 А/м, интенсивности изменения поля по длине  $dH/dx$  в пределах 10 (А/м)/мм.

Помеха в зоне  $L_x = 80-85$  мм вызвана резким движением оператора при перемещении сканирующего устройства.

Зависимость шероховатости отливки от величины давления на смесь в период ее формообразования приведена на рис. 6.

Из рисунка видно, что наиболее оптимальным является базовое давление 0,25 МПа. Величина давления, меньше указанных, снижает прочность формы, а большие величины приводят к разупрочнению и повышению шероховатости поверхности вследствие выгорания пудвербакелита и выдавливания частиц песка, а, следовательно, и растрескивания затвердевшей смеси.

Также рассматривали влияние вариативности давления на шероховатость смеси. Базовое давление составляло 0,25 МПа. Изменение давления происходило через 10–12 с. Общее время формообразования – 35 с.

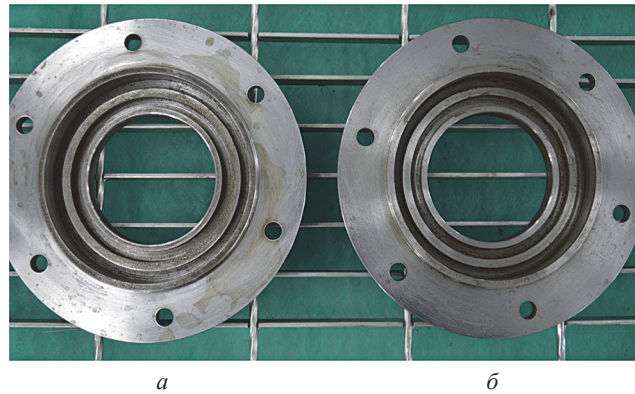


Рис. 7. Детали отливок, полученных литьем в оболочковые формы: *а* – с использованием только нагрева; *б* – с использованием нестационарного статического давления



Рис. 8. Данные с дефектоскопа при исследовании отливки, изготовленной литьем в оболочковую форму, полученной путем только нагрева (*а*); с использованием нестационарного прессования (*б*)

Таблица 2. Шероховатость отливок, полученных в оболочковые формы с различным давлением прессования

Давление на смесь (относительно базового), МПа	Шероховатость отливки $R_z$ , мкм
+0,20; -0,05	99
+0,10; -0,15	86
-0,20; +0,05	115
-0,10; +0,15	110

Экспериментально установлено, что использование вариативного давления положительно сказывается на качестве поверхности отливки. Формирующаяся при этом поверхность формы получается наиболее ровной, так как погружение поверхностного слоя песка достигает края расплавленной смолы и, тем самым, формируются достаточно гладкие участки.

Сравнивали отливку, полученную литьем в оболочковую форму, изготовленную только с использованием нагреваемой оснастки, и отливку (рис. 7, *а*), полученную в форму, изготовленную с использованием нестационарной нагрузки (рис. 7, *б*).

Поверхность отливки зачищали от пыли и грязи до  $R_z40$ . Для исследований использовали преобразователь ПЭП П121-8-70. В ходе контроля первой отливки был обнаружен недопустимый дефект (рис. 8, *а*) с глубиной залегания 5,4 мм (так как сигнал превысил браковочный уровень на 2 ДБ). Дефект, очевидно, мог возникнуть вследствие наличия поры или трещины в результате усадки отливки при затвердевании, что свидетельствует о недостаточной пластичности форм, изготовленных только с использованием нагрева.

Исследование второй отливки наличия недопустимых дефектов не показали (рис. 8, *б*), что свидетельствует об отсутствии в ней каких-либо литейных дефектов.

Таким образом, экспериментально установлено, что использование дополнительного статического приложения нагрузки при формировании оболочки дает возможность снизить процент брака отливок.

Данные исследования проведены в рамках реализации гранта Комитета науки МОН РК AP05130026 «Разработка и внедрение производства песчано-смоляных форм при нестационарном давлении с целью улучшения качества готовой продукции».

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Гини Э. Ч., Зарубин А. М., Рыбкин В. А. Технологии литейного производства. Специальные виды литья. М.: Машиностроение, 2008. 352 с.
2. Волков Д. А., Волков А. Д., Ефименко А. В. Литье в оболочковые формы и его универсальность в мелкосерийном и серийном производстве // Литейщик России. 2016. № 4. С. 26–30.
3. Куликов В. Ю., Квон С. С., Еремин Е. Н., Ковалева Т. В., Адамова Г. Х. Влияние вариативного давления на плотность и прочность песчано-смоляных форм // Литейное производство. 2018. № 9. С. 18–21.
4. Куликов В. Ю., Исагулов А. З., Еремин Е. Н., Ковалева Т. В. Повышение равномерности плотности и увеличение прочности оболочковой формы // Литейное производство. 2018. № 3. С. 27–29.
5. Исагулов А. З., Куликов В. Ю., Ковалева Т. В., Щербакowa Е. П. О реологических свойствах песчано-смоляных форм // Литейное производство. 2015. № 2. С. 15–17.
6. Исагулов А. З., Куликов В. Ю., Кипнис Л. С., Конунникова С. Г., Щербакowa Е. П. Исследование прочностных свойств смесей с фурилфенолформальдегидными смолами // Тр. университета. 2013. № 4. С. 26–28.
7. Пастухов А. Г., Минасян А. Г., Шарая О. А. Оценка напряженно-деформированного состояния сегмента пресс-валкового измельчителя // Технология машиностроения. 2016. № 3. С. 43–46.
8. Issagulov A., Kulikov V., Issagulova D., Shcherbakova E., Kuszhanova A. Developing technological process of obtaining guality casts // Metalurgija. 2014. T. 53. № 4. С. 601–604.

**REFERENCE**

1. Gini Je. Ch., Zarubin A. M., Rybkin V. A. *Tehnologii litejnogo proizvodstva. Special'nye vidy lit'ja* [Technologies of foundry production. Special types of casting]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2008. 352 p.
2. Volkov D. A., Volkov A. D., Efimenko A. V. Lit'e v obolochkovye formy i ego universal'nost' v melkoserijnom i serijnom proizvodstve [Casting in shell forms and its universality in small-scale and mass production]. *Litejshhik Rossii = Russian Foundryman*, 2016, no. 4, pp. 26–30.
3. Kulikov V. Ju., Kvon S. S., Eremin E. N., Kovaljova T. V., Adamova G. H. Vlijanie variativnogo davlenija na plotnost' i prochnost' peschano-smoljanyh form [Influence of variable pressure upon density and durability of sand-pitch forms]. *Litejnoe proizvodstvo = Foundry production*, 2018, no. 9, pp. 18–21.
4. Kulikov V. Ju., Isagulov A. Z., Eremin E. N., Kovaljova T. V. Povyshenie ravnomernosti plotnosti i uvelichenie prochnosti obolochkovej formy [Increase in uniformity of density and increase in durability of a shell form]. *Litejnoe proizvodstvo = Foundry production*, 2018, no. 3, pp. 27–29.
5. Isagulov A. Z., Kulikov V. Ju., Kovaljova T. V., Shherbakova E. P. O reologicheskikh svojstvah peschano-smoljanyh form [About rheological properties of sand-pitch forms]. *Litejnoe proizvodstvo = Foundry production*, 2015, no. 2, pp. 15–17.
6. Isagulov A. Z., Kulikov V. Ju., Kipnis L. S., Konunnikova S. G., Shcherbakova E. P. Issledovanie prochnostnyh svojstv smesej s furilfenolformal'degidnymi smolami [Research of strength properties of mixes with furylphenol formaldehyde pitches]. *Trudy universiteta = Proceeding University*, 2013, no. 4, pp. 26–28.
7. Pastuhov A. G., Minasjan A. G., Sharaja O. A. Ocenka naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija segmenta pressvalkovogo izmel'chitelja [Assessment of the intense deformed condition of a segment of the press roll grinder]. *Tehnologija mashinostroenija = Technology Engineering*, 2016, no. 3, pp. 43–46.
8. Issagulov A., Kulikov V., Issagulova D., Shcherbakova E., Kuszhanova A. Developing technological process of obtaining guality casts. *Metalurgija*, 2014, vol. 53, no. 4, pp. 601–604.