

ВАРИАНТНЫЙ АНАЛИЗ ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ ДЛЯ КРУПНОГАБАРИТНОЙ ЧУГУННОЙ ОТЛИВКИ

Т.Д. Клюквина

tklyukvina@yandex.ru

SPIN-код: 5140-2679

Д.В. Пуклинов

puklinov@gmail.com

SPIN-код: 9172-4030

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

Аннотация

Проанализированы конструкции литниково-питающих систем различных типов для крупногабаритной отливки «Шкив» из сплава ВЧ35: с кольцевым шлакоуловителем, центральная с крестовым питателем, центральная с питателем в форме пластины и зумфом. Проведен предварительный расчет элементов литниковой системы (питатель, шлакоуловитель, стояк, прибыли) по методике Диттерта. Выполнено моделирование процессов заливки и затвердевания расплава с помощью пакета программ FLOW-3D. Предполагается изготавливать отливку способом литья в песчаные формы. По результатам моделирования выбрана литниковая система, использование которой предотвращает возникновение дефектов типа «усадочные раковины» и обеспечивает плавное заполнение каналов формы.

Ключевые слова

Отливка, моделирование, дефект, усадочная раковина, затвердевание, литниково-питающая система, flow-3D, песчаная форма

Поступила в редакцию 13.04.2018

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018

Формирование свойств отливки зависит от совокупности теплофизических, геометрических и физико-химических факторов взаимодействия отливки с формой [1]. Из-за большого количества указанных выше факторов оптимизация формы экспериментальным методом является дорогостоящей и времязатратной процедурой. Однако современное программное обеспечение позволяет проводить моделирование процессов с помощью современных пакетов программ (ProCast, LVMFlow, FLOW-3D и т. п.) для всех этапов [2, 3]: заливка и кристаллизация расплава в форме, образование усадочных дефектов, выбивка и обрезка литниковой системы, термообработка и т. п. В данной работе исследованы процессы заполнения и затвердевания литниково-питающих систем (ЛПС), представленных на рис. 1. Габаритные размеры детали «Шкив»: высота $h = 110$ мм, диаметр $d = 720$ мм.

Размеры элементов литниковых систем определяли по методике, приведенной в работе [4]. Согласно данной работе, все расчеты выполнены в сантиметрах. В качестве примера рассмотрим расчет ЛПС, показанной на рис. 1 в. Литниковые системы, изображенные на рис. 1, а, б, рассчитывают аналогично.

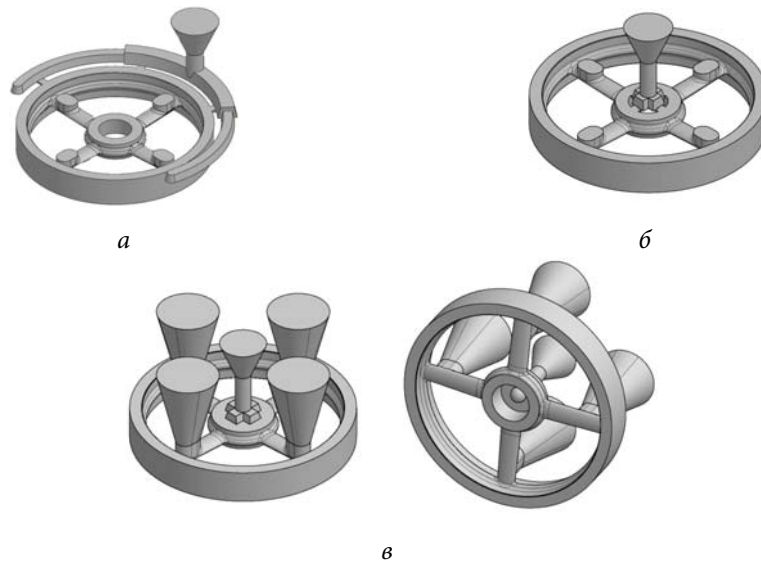


Рис. 1. Рассматриваемые типы ЛПС:

a — ЛПС с полукольцевым шлакоуловителем; *б* — центральная ЛПС с крестовым питателем; *в* — центральная ЛПС с питателем в форме пластины и зумпфом

Литниковые системы для отливок из высокопрочного чугуна выполняют запертыми, элементом с наименьшей площадью является питатель. Расчет начинают с определения суммарной площади питателя («узкого элемента») по уравнению [5]:

$$\sum F_{\text{пит}} = \frac{m_{\text{ф}}}{\mu \rho_{\text{м.ж}} \tau_{\text{зал.ф}} \sqrt{2gH_{\text{р}}}}, \quad (1)$$

где $\sum F_{\text{пит}}$ — суммарная площадь питателя, см^2 ; $m_{\text{ф}}$ — металлоемкость формы, кг; μ — коэффициент расхода металла; $\rho_{\text{м.ж}}$ — плотность жидкого металла, $\text{кг}/\text{м}^3$; $\tau_{\text{зал.ф}}$ — продолжительность заливки формы, с; g — ускорение свободного падения; $H_{\text{р}}$ — расчетный металлостатический напор, м.

Время заливки, с, определяют из следующего уравнения [6]:

$$\tau_{\text{зал.ф}} = A \delta_{\text{отл}}^m m_{\text{отл}}^n,$$

где A — эмпирический коэффициент; $\delta_{\text{отл}}$ — толщина стенки отливки, мм; $m_{\text{отл}}$ — суммарная масса отливок, кг.

В частности, для чугуна используют формулу Диттерта [4]:

$$\tau_{\text{зал.ф}} = S \sqrt{m_{\text{отл}}},$$

где S — эмпирический коэффициент; $m_{\text{отл}}$ — масса отливки.

Эмпирический коэффициент S для отливки из высокопрочного чугуна с толщиной стенки $\delta_{\text{отл}} > 15$ мм равен 2,2.

Тогда

$$\tau_{\text{зал.ф}} = 2,2\sqrt{102,1} = 22,2 \text{ с.}$$

Далее необходимо определить расчетное значение металлостатического напора. Для этого используем энергетический способ. Имеем:

$$m_{\text{отл}}H_p = m_1H + m_2\left(H - \frac{P}{2}\right),$$

где m_1 — масса части отливки, находящейся в нижней полуформе, кг; m_2 — масса части отливки, находящейся в верхней полуформе, кг; H — металлостатический напор, мм; H_p — расчетный металлостатический напор, мм.

Поскольку вся отливка расположена в нижней полуформе, то

$$m_{\text{отл}}H_p = m_1H.$$

В форме находится одна отливка, следовательно, $m_{\text{отл}} = m_1$, тогда

$$H_p = H.$$

В данном случае

$$H_p = H = 250 \text{ мм.}$$

Подставив числовые значения в формулу (1), получим:

$$\sum F_{\text{пит}} = \frac{102,108}{0,3 \cdot 7200 \cdot 18,3 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,25}} \cdot 10^4 = 11,664 \text{ см}^2.$$

Питатель имеет форму пластины, его площадь $F_{\text{пит}}$ можно выразить следующим образом:

$$F_{\text{пит}} = \pi d_{\text{пит}} h_{\text{пит}},$$

где $d_{\text{пит}}$ — диаметр питателя, см; $h_{\text{пит}}$ — высота питателя, см.

Отсюда выразим высоту питателя $h_{\text{пит}}$:

$$h_{\text{пит}} = \frac{F_{\text{пит}}}{\pi d_{\text{пит}}}.$$

Подставив числовые значения, получим:

$$h_{\text{пит}} = \frac{11,664}{\pi \cdot 12,5} = 0,297 \text{ см} = 2,97 \text{ мм.}$$

С помощью экспериментальной зависимости из [4] определим минимальную высоту питателя для чугунных отливок:

$$h_{\min} = 3,5 - 0,01 \left[T_{\text{зал}} - (1670 - 124C_{\text{экв}}) - 100 \right],$$

где $T_{\text{зал}}$ — заливочная температура, К; $(1670 - 124C_{\text{экв}})$ — температура ликвидуса чугуна, К.

Температуру заливки чугуна выбирают в среднем на 100...150 °С выше температуры ликвидуса [7]. Таким образом, $T_{\text{зал}} = 1708$ К. Тогда минимальная высота питателя

$$h_{\min} = 3,5 - 0,01 \cdot [1708 - 1608 - 100] = 3,5 \text{ мм.}$$

Примем $h_{\text{пит}} = 4$ мм. Площадь питателя (рис. 2) с учетом нового значения высоты составит

$$F_{\text{пит}} = \pi \cdot 12,5 \cdot 0,4 = 15,7 \text{ см}^2.$$

Вычислив площадь питателя, можно определить площади других элементов. Для этого используем соотношение [8]:

$$\sum F_{\text{пит}} : \sum F_{\text{шл}} : \sum F_{\text{ст}} = K_1 : K_2 : K_3.$$

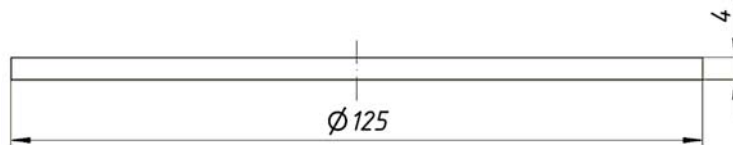


Рис. 2. Поперечное сечение питателя

Начальным значением является площадь узкого сечения (питателя) с коэффициентом $K_1 = 1$. Значения коэффициентов K_2 , K_3 выбираем из числа рекомендованных. Для крупных отливок

$$\sum F_{\text{пит}} : \sum F_{\text{шл}} : \sum F_{\text{ст}} = 1 : 1,05 : 1,1.$$

Получим:

$$\sum F_{\text{шл}} = 1,05 \sum F_{\text{пит}} = 1,05 \cdot 15,7 = 16,49 \text{ см}^2.$$

Примем высоту шлакоуловителя $h_{\text{шл}} = 3$ см (рис. 3). Тогда размер $b_{\text{шл}}$ верхнего основания поперечного сечения шлакоуловителя можно определить по формуле

$$b_{\text{шл}} = \frac{\sum F_{\text{шл}}}{h_{\text{шл}}}, \quad (2)$$

где $\sum F_{\text{шл}}$ — площадь поперечного сечения шлакоуловителя, см²; $h_{\text{шл}}$ — высота шлакоуловителя, см.

Подставив вычисленные значения в формулу (2), получим

$$b_{\text{шл}} = \frac{16,49}{3} = 5,5 \text{ см} = 55 \text{ мм.}$$

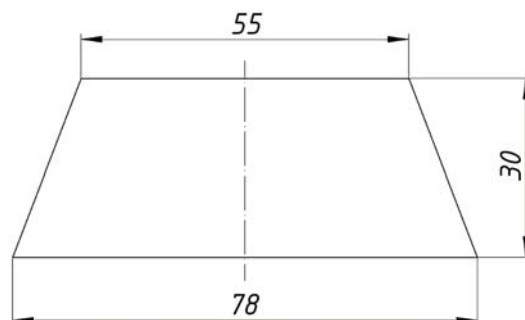


Рис. 3. Поперечное сечение шлакоуловителя

Размер нижнего основания $a_{\text{шл}}$ рассчитаем следующим образом [4]:

$$a_{\text{шл}} = \frac{b_{\text{шл}}}{0,7} = \frac{5,5}{0,7} = 7,85 \text{ см} \approx 78 \text{ мм.}$$

С учетом размеров нижнего и верхнего основания шлакоуловителя (см. рис. 3) его площадь составит

$$F_{\text{шл}} = \frac{a_{\text{шл}} + b_{\text{шл}}}{2} h_{\text{шл}} = \frac{7,8 + 5,5}{2} \cdot 3 = 19,95 \text{ см}^2.$$

Площадь стояка $\sum F_{\text{ст}}$ вычислим по формуле

$$\sum F_{\text{ст}} = 1,1 \sum F_{\text{шл}} = 1,1 \cdot 19,95 = 21,95 \text{ см}^2.$$

Диаметр стояка (рис. 4) найдем следующим образом:

$$d_{\text{ст}} = \sqrt{\frac{4 \sum F_{\text{ст}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 21,95}{\pi}} = 5,29 \text{ см.}$$

Примем $d_{\text{ст}} = 55 \text{ мм.}$

Согласно рекомендациям [4], для стояка при машинной формовке рекомендуется соблюдать соотношение

$$d_{\text{ст.в}} = d_{\text{ст}},$$

где $d_{\text{ст.в}}$ — верхний диаметр стояка, мм; $d_{\text{ст}}$ — диаметр стояка, мм.

Для устранения дефектов при затвердевании ЛПС [9] были установлены прибыли. В работе [4] предложены несколько эмпирических методов расчета прибылей. Воспользуемся методом Й. Пржибыла. Согласно этому методу уравнение для объема прибыли имеет вид

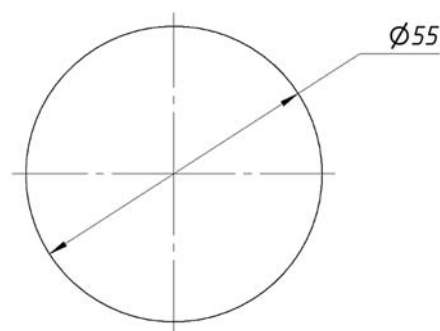


Рис. 4. Поперечное сечение стояка

$$V_{\text{п}} = \frac{\varepsilon_{V_{\Sigma}} K_{\text{п}}}{1 - \varepsilon_{V_{\Sigma}} K_{\text{п}}} V_0,$$

где $\varepsilon_{V_{\Sigma}}$ — суммарная относительная объемная усадка затвердевания и усадка в жидком состоянии; $K_{\text{п}}$ — коэффициент прибыли; V_0 — объем отливки, м³.

Необходимые данные для расчета объема прибыли взяты из [4, табл. 14.7]:

$$V_0 = \frac{m}{\rho} = \frac{69,5}{7200} = 9,653 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3;$$

$$V_{\text{п}} = \frac{0,05 \cdot 11}{1 - 0,05 \cdot 11} \cdot 9,653 \cdot 10^{-3} = 0,012 \text{ м}^3.$$

Таким образом, суммарный минимальный объем прибылей составил 0,012 м³. Поскольку прибыль устанавливается на все четыре балансовые бобышки, минимальный объем каждой прибыли равен 0,003 м³. Открытые прибыли в форме усеченного конуса ставят на балансовые бобышки шкива. Нижнее основание прибыли повторяет очертание самой бобышки. Диаметр верхнего основания прибыли равен 150 мм. Чертеж детали «Шкив» с элементами ЛПС приведен в приложении.

После назначения размеров элементов ЛПС (питатель, шлакоуловитель, стояк, прибыли) было проведено моделирование литниково-питающих систем всех трех типов в пакете программ FLOW-3D. Порядок действий, необходимых для проведения моделирования, показан на рис. 5.

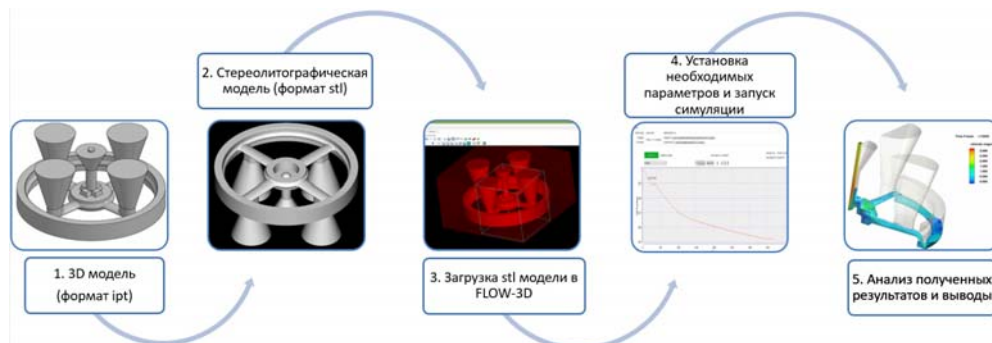


Рис. 5. Последовательность проведения моделирования

Моделирование ЛПС, представленной на рис. 1, а, показало, что данная литниковая система обеспечивает плавное заполнение формы, однако при затвердевании образуются усадочные раковины, поскольку перемерзают спицы шкива (рис. 6). Данные дефекты можно скомпенсировать, установив прибыли в центр и на балансовые бобышки шкива. Однако расход металла будет слишком большим, поэтому такой вариант ЛПС не является технологичным.

Моделирование ЛПС, представленной на рис. 1, б, показало, что в теле отливки также будут образовываться усадочные раковины (рис. 7). Для устранения усадочных дефектов на внешнем кольце рекомендуется увеличить объем прибылей [10], а для компенсации усадки на внутреннем кольце предусмотреть питатель в форме пластины.



Рис. 6. Затвердевшая отливка

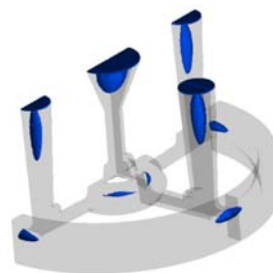


Рис. 7. Затвердевшая отливка

Моделирование ЛПС, показанной на рис.1, в, показало, что усадка полностью скомпенсирована (рис. 8).

Требования к ЛПС при заливке также обеспечены: заполнение плавное, скорости не превышают 3 м/с, значит, форму не размывает. Скорость в питателе на входе в отливку составляет чуть меньше 1 м/с (рис. 9).

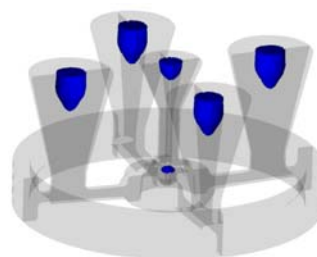


Рис. 8. Результаты моделирования на затвердевание

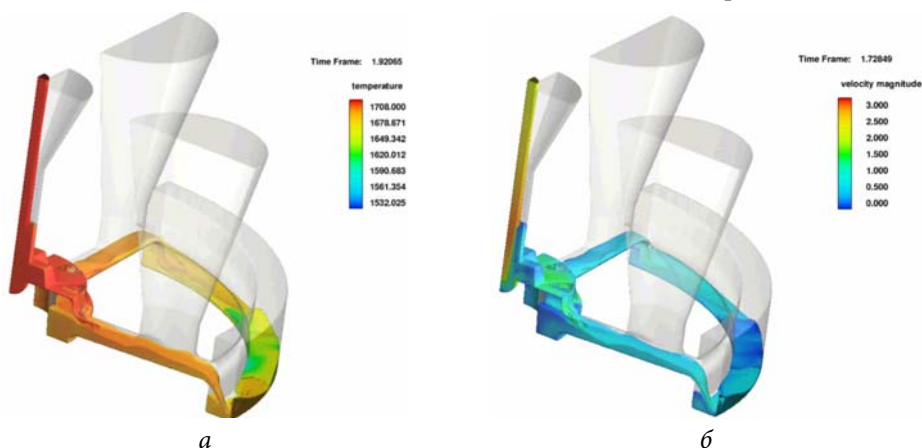


Рис. 9. Результаты моделирования ЛПС на заливку
a — распределение температур; *б* — распределение скоростей

По результатам рассмотрения возможных вариантов ЛПС для отливки «Шкив» окончательно была выбрана центральная ЛПС с питателем в форме пластины и прибылями, поскольку она обладает следующими преимуществами:

- позволяет обеспечить плавное заполнение каналов формы;
- дает возможность получить бездефектную отливку;
- требует меньшего расхода металла по сравнению с ЛПС, имеющими полукольцевой шлакоуловитель;
- скорость на входе в отливку при центральной ЛПС меньше (≈ 1 м/с), чем при ЛПС с полукольцевым шлакоуловителем ($\approx 1,3$ м/с).

Литература

- [1] Вернер А.К., Курбатова И.А., Парфеновская О.А. *Технология конструкционных материалов*. Москва, МГИУ, 2008, 135 с.
- [2] Клюквина Т.Д. Поиск оптимальной литниковой системы для изготовления отливки «Шкив» (сплав ВЧ35). *Труды Всеросс. науч.-тех. конф. «Студенческая научная весна 2017: Машиностроительные технологии»*. URL: <http://studvesna.ru/?go=articles&id=2043> (дата обращения 06.06.2018).
- [3] ESI Group website. URL: <http://www.esi-group.com/> (дата обращения 20.12.2017).
- [4] Трухов А.П., ред. *Технология литейного производства. Литье в песчаные формы*. Москва, Академия, 2005, 528 с.
- [5] Кукуй Д.М., Скворцов В.А., Андрианов Н.В. Теория и технология литейного производства. Ч. 2. *Технология изготовления отливок в разовых формах*. Минск, Новое знание; Москва, ИНФРА-М, 2013, 406 с.
- [6] Гиршович Н.Г., ред. *Справочник по чугунному литью*. Ленинград, Машиностроение, 1978, 758 с.
- [7] Арзамасов Б.Н., ред. *Конструкционные материалы*. Москва, Машиностроение, 1990, 688 с.
- [8] Титов Н.Д., Степанов Ю.А. *Технология литейного производства*. Москва, Машиностроение, 1974, 472 с.
- [9] Чуркин Б.С., ред. *Технология литейного производства*. Екатеринбург. Изд-во УрГППУ, 2000, 662 с.
- [10] Зотов Б.Н. *Художественное литье*. Москва, Машиностроение, 1982, 288 с.

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

Пуклинов Дмитрий Владимирович — студент магистратуры кафедры «Литейные технологии», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Мандрик Александр Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Литейные технологии», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

OPTIONAL ANALYSIS OF GATE SYSTEMS FOR LARGE-SIZED IRON CASTING

T.D. Klyukvina

tklyukvina@yandex.ru

SPIN-code: 5140-2679

D.V. Puklinov

puklinov@gmail.com

SPIN-code: 9172-4030

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The article analyzes the constructions of gating and feeding systems of various types for the large-sized casting "Sheave" from the alloy Vch35: the system with the ring-shaped skim gate, the central system with the cruciform feeding gate, the central system with the plate-shaped feeding gate and sprue base. We have conducted a preliminary calculation of the gate system elements (feeding gate, skim gate, downgate, heads) by means of the Dittert method. The simulation of the casting and melt solidification processes with the aid of the software package FLOW-3D has been realized. It is intended to manufacture the casting by means of founding into the sand molds. According to the simulation results we have chosen a gate system, the application of which prevents the defects of the "shrinkage holes" type from occurring and ensures smooth filling of the mold channels.

Keywords

Casting, simulation, defect, shrinkage hole, solidification, gating and feeding system, flow-3D, sand mold

Received 13.04.2018

© Bauman Moscow State Technical University, 2018

References

- [1] Verner A.K., Kurbatova I.A., Parfenovskaya O.A. Tekhnologiya konstruktivnykh materialov [Technology of constructional materials]. Moscow, MGIU publ., 2008, 135 p.
- [2] Klyukvina T.D. Poisk optimal'noy litnikovoy sistemy dlya izgotovleniya otlivki "Shki"v (splav VCh35) [Search of the optimal gating system for "Shkiv" cast production (alloy VCh35)]. *Trudy Vseross. nauch.-tekh. konf. "Studencheskaya nauchnaya vesna 2017: Mashinostroitel'nye tekhnologii"* [Proc. Russ. Sci.-Tech. Conf. "Student spring 2017: "Mechanical engineering technologies"]. Available at: <http://studvesna.ru/?go=articles&id=2043> (accessed 06 June 2018).
- [3] ESI Group website. Available at: <http://www.esi-group.com/> (accessed 20 December 2017).
- [4] Trukhov A.P., red. Tekhnologiya liteynogo proizvodstva. Lit'ye v peschanye formy [Foundry engineering technology. Sand mold casting]. Moscow, Akademiya publ., 2005, 528 p.
- [5] Kukuy D.M., Skvortsov V.A., Andrianov N.V. Teoriya i tekhnologiya liteynogo proizvodstva. Ch. 2. Tekhnologiya izgotovleniya otlivok v razovykh formakh [Theory and technology of foundry engineering. P. 2. Technology of cast production in temporary mold]. Minsk, Novoe znanie publ.; Moscow, INFRA-M publ., 2013, 406 p.
- [6] Girshovich N.G., ed. Spravochnik po chugunnomu lit'yu [Handbook on iron casting]. Leningrad, Mashinostroenie publ., 1978, 758 p.
- [7] Arzamasov B.N., ed. Konstruktivnyye materialy [Construction materials]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1990, 688 p.

- [8] Titov N.D., Stepanov Yu.A. Tekhnologiya liteynogo proizvodstva [Technology of foundry engineering]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1974, 472 p.
- [9] Churkin B.S., ed. Tekhnologiya liteynogo proizvodstva [Technology of foundry engineering]. Ekaterinburg. UrGPPU publ., 2000, 662 p.
- [10] Zotov B.N. Khudozhestvennoe lit'ye [Art casting]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1982, 288 p.

Klyukvina T.D. — Master's Degree student, Department of Casting Technology, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Puklinov D.V. — Master's Degree student, Department of Casting Technology, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — A.A. Mandrik, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Casting Technology, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.