



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2024-3-37-40>  
УДК 621.074

Поступила 08.04.2024  
Received 08.04.2024

## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ SLA-ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ПРЕСС-ФОРМ ДЛЯ ЛИТЬЯ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ

К. В. НИКИТИН, В. Н. ДЬЯЧКОВ, С. В. ХАРЧЕНКО, Д. М. ЮДИН, К. А. ЮДИНА,  
Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия, ул. Молодогвардейская, 244.  
E-mail: kvn-6411@mail.ru

*Представлены результаты применения SLA-технологии при изготовлении пресс-форм для получения восковых моделей при литье по выплавляемым моделям. Разработаны режимы 3D-печати пресс-форм, обеспечивающие требуемую шероховатость рабочих поверхностей и стойкость получаемых пресс-форм. Установлены оптимальные параметры запрессовки воскового состава в пресс-формы, изготовленные по SLA-технологии. Показано, что применение SLA-технологии для изготовления пресс-форм позволяет получать восковые модели и отливки требуемого качества. Разработана опытная технология получения отливок из бронзы литьем по выплавляемым моделям.*

**Ключевые слова.** Аддитивное производство, стереолитография, пресс-форма, литье по выплавляемым моделям, восковые модели.

**Для цитирования.** Никитин, К. В. Особенности применения SLA-технологии при изготовлении пресс-форм для литья по выплавляемым моделям / К. В. Никитин, В. Н. Дьячков, С. В. Харченко, Д. М. Юдин, К. А. Юдина // *Литье и металлургия*. 2024. № 3. С. 37–40. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2024-3-37-40>.

## FEATURES OF USING SLA-TECHNOLOGY IN THE MANUFACTURE OF MOLDS FOR LOST WAX CASTING

K. V. NIKITIN, V. N. DYACHKOV, S. V. KHARCHENKO, D. M. YUDIN, K. A. YUDINA,  
Samara State Technical University, Samara, Russia, 244, Molodogvardeyskaya str. E-mail: kvn-6411@mail.ru

*The results of using SLA-technology in the manufacture of molds for obtaining wax models in lost wax casting are presented. 3D printing modes of molds have been developed to ensure the required roughness of the working surfaces and durability of the resulting molds. The optimal parameters for pressing the wax composition into molds made using SLA technology have been established. It is shown that the use of SLA technology for the manufacture of molds makes it possible to obtain wax models and castings of the required quality. An experimental technology has been developed for the production of castings from bronze by casting according to smelted models.*

**Keywords.** Additive manufacturing, stereolithography, mold, lost wax casting, wax models.

**For citation.** Nikitin K. V., Dyachkov V. N., Kharchenko S. V., Yudin D. M., Yudina K. A. Features of using SLA-technology in the manufacture of molds for lost wax casting. *Foundry production and metallurgy*, 2024, no. 3, pp. 37–40. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2024-3-37-40>.

Основные задачи повышения эффективности литейного производства были поставлены в известной парадигме выдающегося ученого-литейщика Б. Б. Гуляева в конце XX в.: «Как получить расплав и отливку заданного качества при минимальных затратах материалов, энергии, труда и минимальном загрязнении среды» [1].

Бурное развитие цифровых технологий в конце XX – начале XXI вв. способствовало появлению нового вида производства фасонных изделий сложной конфигурации: аддитивное производство. Внедрение аддитивных технологий в литейное производство в полной мере соответствует приоритетным направлениям Стратегии научно-технологического развития РФ до 2035 г. (Указ Президента РФ № 642 от 01.12.2016 г., п. 20, п/п «а»): «переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта».

Использование технологий 3D-печати в литейном производстве способствует сокращению временных и финансовых затрат на этапах подготовки: изготовление модельных комплектов, элементов

литейных форм и т. д. Интеграция аддитивных технологий и литейного производства наиболее эффективна при изготовлении литых изделий малой серийности с использованием литья по выплавляемым моделям [2, 3].

Одной из разновидностей аддитивных технологий является лазерная стереолитография (SLA-технология), при которой формирование слоя происходит за счет фотополимеризации жидкого строительного материала (фотополимера) под воздействием ультрафиолетового излучения. Благодаря ряду преимуществ (низкая шероховатость поверхности, высокая геометрическая точность изделия при печати) SLA-технологии можно использовать в нескольких направлениях при подготовке литейного производства: изготовление пресс-форм для получения восковых моделей; изготовление мастер-моделей для последующего передела [4–6]. Если восковая модель имеет ось симметрии или является телом вращения, то пресс-форму можно производить по SLA-технологии. Далее восковая модель изготавливается по традиционной технологии: методом инъекции жидкого воскового состава в полость пресс-формы.

В Центре литейных технологий СамГТУ с применением технологии 3D-печати были спроектированы пресс-формы для получения восковых моделей отливок мелкой серии (от 35 до 40 шт.). Печать осуществляли на стереолитографическом принтере AnyCubic Photon Mono X2 (табл. 1). Технологические возможности принтера позволяют получить пресс-формы с необходимыми размерами, точностью и шероховатостью, а также с оптимальной скоростью печати.

Таблица 1. Характеристики 3D-принтера AnyCubic Photon Mono X2

Технология формирования слоев	SLA
Область печати, мм	200×196×122
Точность печати, мкм	4
Рабочий материал	Фотополимерная смола
Минимальная толщина слоя, мкм	35–100
Скорость печати, мм/ч	60

Для печати использовали фотополимерную смолу марки RESIONE. Данный полимер был выбран для изготовления пресс-формы из-за его эластичности и прочности, которые способствуют легкому извлечению восковых моделей сложной конфигурации. Кроме того, он способен сохранять физические свойства для требуемого количества изготавливаемых восковых моделей: твердость по Шору полимера составляет 60–75 по шкале А; вязкость – 1250 mPas.

Для создания восковых моделей применяли ненаполненный модельный состав REMET GTR со средней температурой плавления 70–75 °С, подходящий для использования в инъекционных машинах. В исследовании использовали инъекционную установку LOGIMEC 1500d (табл. 2).

Таблица 2. Технические характеристики инъекционной установки LOGIMEC 1500d

Объем рабочей камеры, л	1,5
Регулировка температуры, °С	До 99
Точность поддержания температуры, °С	0,1
Габаритные размеры установки, мм	160×160×535
Масса установки, кг	5,5
Мощность нагревателя, Вт	160
Параметры напряжения питания	220 В, 50 Гц, ток однофазный

На первом этапе по математическим моделям отливок были разработаны математические модели пресс-форм с учетом линейных усадок используемых фотополимера и модельного состава. На рис. 1–3 в качестве примера показаны конструктивные особенности математических моделей некоторых пресс-форм.

В конструкциях полуформ были предусмотрены фиксаторы на плоскостях смыкания, а также каналы для подачи воска и вентиляционные каналы для удаления воздуха из рабочих полостей в процессе запрессовки воскового состава. С целью сокращения времени изготовления печать проводили на двух принтерах. После окончания печати произвели дозасвечивание фотополимера для придания полуформам требуемой жесткости и прочности.

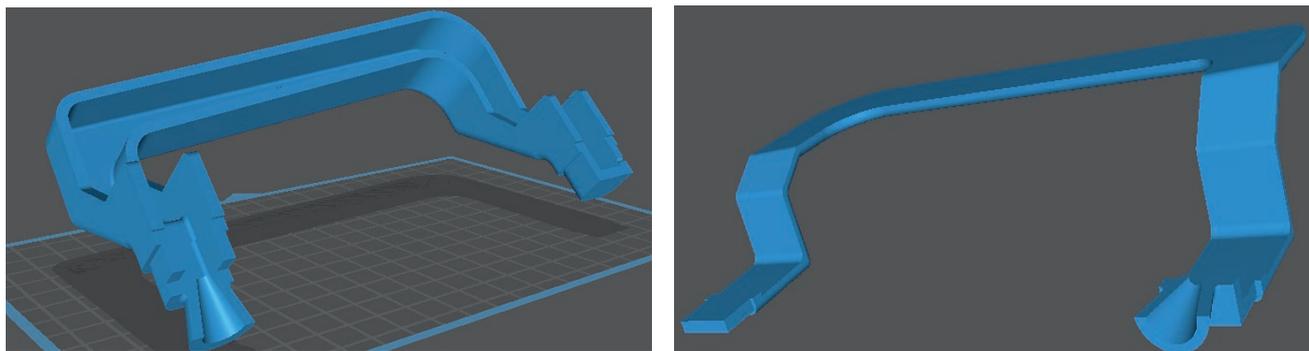


Рис. 1. Части пресс-формы для отливки «Ручка»: *а, б* – нижняя и верхняя полуформы

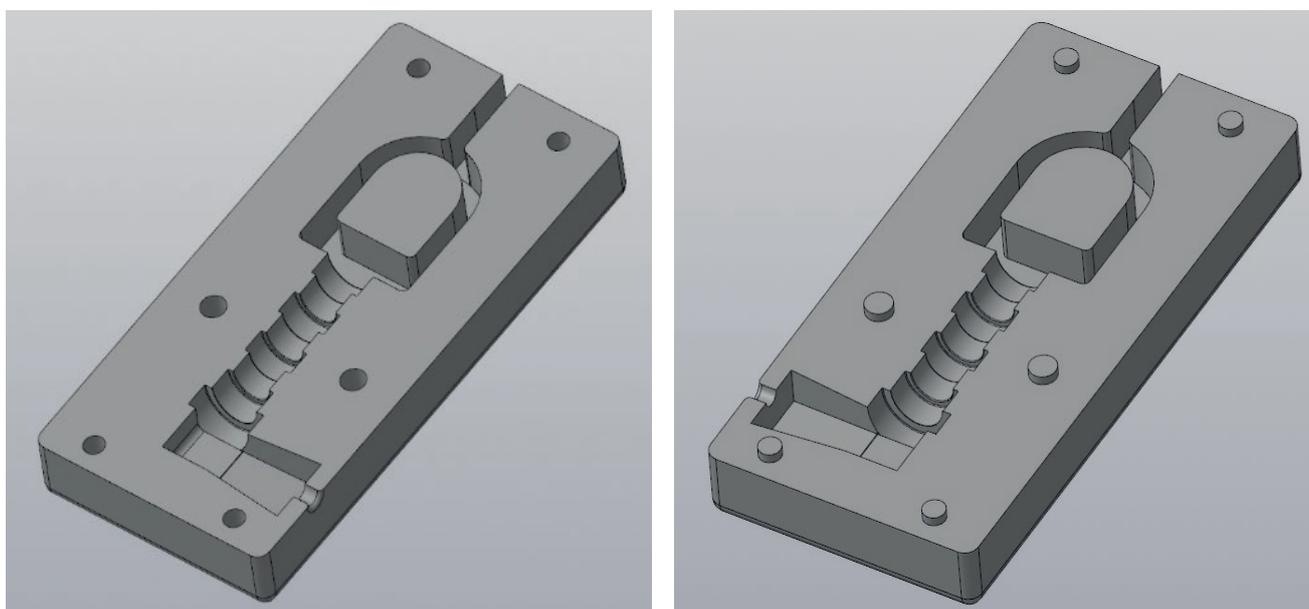


Рис. 2. Части пресс-формы для отливки «Прижим»: *а, б* – нижняя и верхняя полуформы

В результате исследования технологических процессов в модельной лаборатории был проведен первый этап отработки режимов запрессовки модельного состава. Изучены такие факторы, как температура жидкого модельного состава перед запрессовкой, давление запрессовки и время охлаждения пресс-формы с модельным составом, их влияние на качество поверхности моделей. Эти технологические параметры в значительной степени определяются размерами и толщиной стенок создаваемой модели. Также была проведена оценка соответствия геометрии, отсутствия дефектов в виде воздушных раковин и следов инъекции модельного состава на поверхностях моделей. Наиболее оптимальные параметры, установленные в рамках данной работы, приведены в табл. 3.

Таблица 3. Технологические параметры получения восковых моделей

Наименование модели	Температура жидкого модельного состава, °С	Давление запрессовки, кгс/см <sup>2</sup>	Время охлаждения в ванне с проточной водой, мин
Ручка	70–75	0,3	3–5
Прижим		0,5	

На рис. 3 в качестве примера показаны готовые восковые модели.

По разработанной технологии было изготовлено 40 восковых моделей «Ручка» и 30 восковых моделей «Прижим». Изготовление огнеупорных керамических форм, а также получение бронзовых отливок осуществляли по отработанному технологическому процессу [6].

По результатам входного контроля у заказчика все отливки были признаны годными.

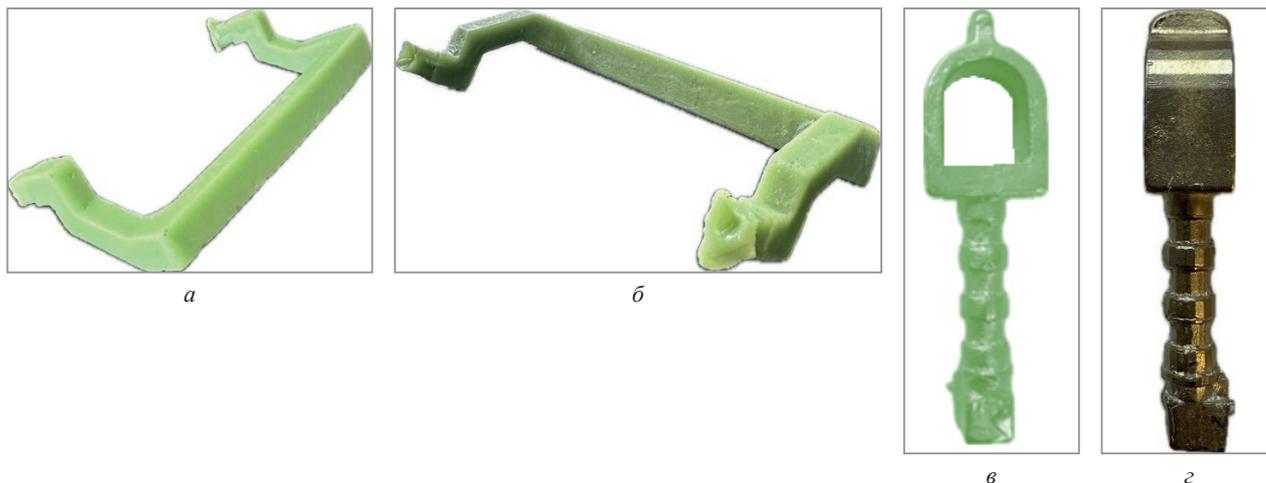


Рис. 3. Восковые модели, полученные запрессовкой воска в пресс-формы, изготовленные по SLA-технологии:  
а, б – «Ручка»; в, г – «Прижим»

Таким образом, в условиях Центра литейных технологий СамГТУ разработан технологический цикл подготовки производства для получения отливок литьем по выплавляемым моделям, включающий проектирование и изготовление пресс-форм по технологии SLA-печати, изготовление восковых моделей, а также получение отливок требуемого качества.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гуляев, Б.Б. Решенные и нерешенные задачи теории литейных процессов / Б.Б. Гуляев // Литейное производство.– 1990.– № 9.– С. 2–3.
2. Литье по выплавляемым моделям / В.Н. Иванов [и др.]; под общ. ред. Я.И. Шкленника, В.А. Озерова.– 3-е изд., перераб. и доп.– М.: Машиностроение, 1984.– 408 с.
3. Повышение эффективности литья по выплавляемым моделям при использовании аддитивных технологий / Г.Н. Митраков [и др.] // Омский научный вестник: технические науки.– 2015.– № 2.– С. 85–87.
4. Зленко, М.А. Аддитивные технологии в машиностроении: пособие для инженеров / М.А. Зленко, М.В. Нагайцев, В.М. Довбыш.– М.: ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2015.– 220 с.
5. Зленко, М.А. Аддитивные технологии в опытном литейном производстве. Часть I. Литье металлов и пластмасс с использованием синтез-моделей и синтез-форм / М.А. Зленко, П.М. Забеднов // Metallurgiya mashinostroeniya.– 2013.– № 2.– С. 45–54.
6. Инновации в литье по выплавляемым моделям / К.В. Никитин [и др.].– Самара: СамНИЦ РАН, 2017.– 144 с.

#### REFERENCES

1. Gulyaev B.B. Reshennyye i nereshennyye zadachi teorii litejnykh processov [Solved and unsolved problems of the theory of foundry processes]. *Litejnoe proizvodstvo = Foundry production*, 1990, no. 9, pp. 2–3.
2. Ivanov V.N., Kazennov S.A., Kurchman B.S., Shklyennik Y.I., Ozerov V.A. (ed.) *Lit'e po vyplavlyаемым modelyam* [Lost wax casting]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1984. 408 p.
3. Mittrakov G.N., Sazonov V.S., Polyakova A.V., Anikin I.S. Povyshenie effektivnosti lit'ya po vyplavlyаемым modelyam pri ispol'zovanii additivnykh tekhnologij [Increasing the efficiency of lost wax casting using additive technologies]. *Omskij nauchnyj vestnik: tekhnicheskie nauki = Omsk Scientific Bulletin: technical sciences*, 2015, no. 2, pp. 85–87.
4. Zlenko M.A., Nagaitsev M.V., Dovbysh V.M. *Additivnyye tekhnologii v mashinostroenii: posobie dlya inzhenerov* [Additive technologies in mechanical engineering: a manual for engineers]. Moscow, State scientific center of the Russian Federation FSUE "NAMI", 2015. 220 p.
5. Zlenko M.A., Zabednov P.V. Additivnyye tekhnologii v opytном litejном proizvodstve. Chast' I. Lit'e metallov i plastmass s ispol'zovaniem sintez-modelej i sintez-form [Additive technologies in an experimental foundry. Part I. Casting of metals and plastics using synthesis patterns and synthesis molds]. *Metallurgiya mashinostroeniya = Metallurgy mechanical engineering*, 2013, no. 2, pp. 45–54.
6. Nikitin K.V., Sokolov A.V., Nikitin V.I., Dyachkov V.N. *Innovacii v lit'e po vyplavlyаемым modelyam* [Innovations in lost wax casting]. Samara, SamSC RAS Publ., 2017. 144 p.