

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ РАЗМЕРОВ И КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТЕЙ ВОСКОВЫХ МОДЕЛЕЙ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ 3D-ПЕЧАТИ

Малышев Е.Н., Родионов Д.А.

*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана,
Москва, Россия*

Ключевые слова: 3D-печать, восковые модели, точность размеров, качество поверхностей, технология FDM, Direct экструзия.

Аннотация. В работе исследованы точность размеров и качество поверхностей восковых моделей, изготовленных методом 3D-печати по технологии FDM с Direct-экструзией. Проведены измерения на координатно-измерительной машине, выявлены деформации материала и поверхностные дефекты. Предложены технологические мероприятия по улучшению качества печати, позволившие сократить погрешности размеров и устранить дефекты поверхности. Результаты актуальны для литейного производства по выплавляемым моделям.

DIMENSIONAL ACCURACY AND SURFACE QUALITY ASSURANCE OF WAX MODELS PRODUCED BY 3D-PRINTING

Malychev E.N., Rodionov D.A.

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Keywords: 3D-printing, wax models, dimensional accuracy, surface quality, FDM technology, Direct extrusion.

Abstract. The paper studies the dimensional accuracy and surface quality of wax models produced using 3D-printing technology based on FDM with Direct Extrusion. Measurements were conducted using a coordinate measuring machine, and material deformations and surface defects were identified. Technological measures were proposed to improve the printing quality, which helped to reduce dimensional errors and eliminate surface defects. The results are relevant for investment casting production.

Цель проведенного и представленного исследования –проанализировать точность линейных размеров и качество поверхностей восковых моделей из воска WAX3D, полученных с помощью 3D-печати. Такие модели применяются как выплавляемые (выжигаемые) мастер-модели при получении заготовок методом литья по выплавляемым моделям [1].

Исследования, представленные в этой работе, проводились над моделями, изготовленными на принтере Qidi Tech X-Plus 3 по технологии FDM с Direct экструзией.

3D-печать позволяет создавать сложные геометрии и формы, которые невозможны для производства традиционными методами [2]. Однако, в процессе 3D-печати или последующего охлаждения могут возникать существенные деформации материала изделия. Важно учитывать эти

погрешности при разработке 3D-моделей и настраивать параметры печати соответствующим образом [3].

Исходя из основных конструктивных особенностей деталей машиностроения была спроектирована 3D-модель детали размерами 72x45x25 мм, включающая следующие конструктивные блоки (рис. 1, 2):

Блок 1 – Бобышка эллиптической формы;

Блок 2 – Эллиптическое отверстие;

Блок 3 – Бобышка на основе сплайн-поверхности, образованная кривой произвольной формы;

Блок 4 и Блок 6 – Цилиндрические отверстия разных диаметров;

Блок 5 – Бобышка на основе поверхности, образованная кривой второго порядка;

Блок 7 и Блок 8 – Цилиндрические бобышки разных диаметров;

Блок 9 – Бобышка на основе поверхности, образованная экспонентой.

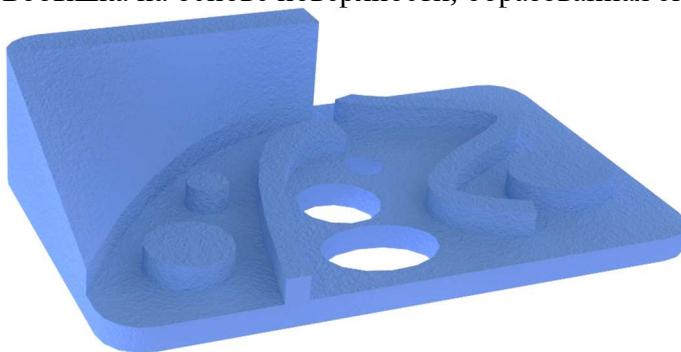


Рис. 1. Экспериментальная комплексная 3D-модель

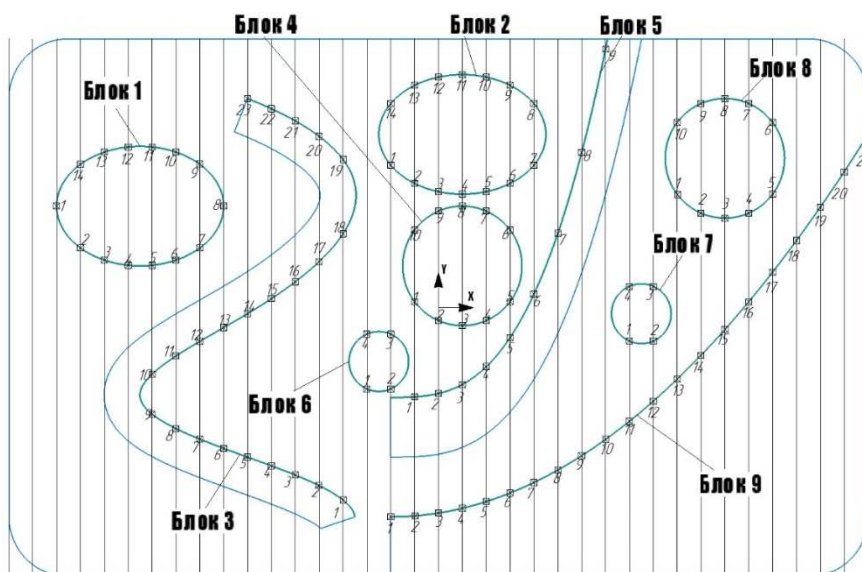


Рис. 2. Конструктивные блоки и расположение контрольных точек модели

Для 3D-печати были приняты режимы, приведенные в таблице 1.

Табл. 1. Режимы 3D-печати

Раздел	Параметр печати	Значение
Инструмент	Диаметр сопла	0,2 мм
Качество	Высота слоя	0,10 мм
	Ширина линии	0,2 мм
	Количество слоев дна	2 шт.
	Количество слоев крышки	4 шт.
Заполнение	Плотность заполнения	20%
	Шаблон заполнения	Гироид
	Множитель линии заполнения	2
Материал	Температура сопла	120°C
	Температура стола	30°C
	Процент экструзии	100%
Скорость	Скорость печати заполнения	25 мм/с
	Скорость печати дна/крышки	30 мм/с
Охлаждение	Охлаждающий вентилятор	50%

Измерения размеров «отпечатанного» изделия проводились на координатно-измерительной машине DURAMAX 5/5/5. В ходе измерений и сравнений размеров реального изделия с моделью были установлены максимальные разности размеров поверхностей по блокам, приведенные в таблице 2.

Табл. 2. Максимальная разность размеров «напечатанного» изделия и модели

Номер Блока	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Разность размеров, мм	0,301	0,184	0,367	0,141	0,194	0,226	0,279	0,252	0,235

Также были обнаружены отдельные дефекты поверхностей глубиной до 0,2 мм и местные пробелы в местах спайки слоев.

Для снижения указанных погрешностей размеров и качества поверхностей были предложены и реализованы следующие технологические мероприятия [4]: увеличена плотность заполнения формы материалом; внедрена Direct-система экструзии – экструзионный двигатель перемещен непосредственно над горячей частью; использован обдув детали при печати элементов Блока 2; снижен процент экструзии для внешних стенок.

Внедрение перечисленных мероприятий позволили практически вдвое сократить разность размеров реального изделия с моделью и исключить поверхностные дефекты.

Список литературы

1. Рэдвуд Б., Шофер Ф., Гаррэт Б. 3D-печать. Практическое руководство: руководство / перевод с английского М.А. Райтмана. – М.: ДМК Пресс, 2020. – 220 с.
2. Муканов Э.М. Методы 3D-печати металлами // Автоматизированное проектирование в машиностроении. – 2023. – №15. – С. 121-127.
3. Мищенко Е.В., Асонов Д.Г., Король В.В. Причины дефектов и проблем производства изделий методом FDM (FFF) 3D-печати // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2025. – №2(370). – С. 27-33.
4. Зайцев А.И., Сотов А.В., Абдрахманова А.Э., Попович А.А. Аддитивное производство полимер-керамических материалов методом послойного наплавления материала (FDM-технология): Обзор // Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. – 2024. – №18(6). – С. 77-88.

References

1. Redwood B., Schofer F., Garrett B. 3D Printing. A Practical Guide: A Guide / B. Redwood; translated from English by M.A. Raithman. – M.: DMK Press, 2020. – 220 p.
2. Mukanov E.M. Methods of 3D Printing with Metals // Automated Design in Mechanical Engineering. 2023, no. 15, pp. 121-127.
3. Mishchenko E.V., Asonov D.G., Korol V.V. Causes of Defects and Problems in Manufacturing Products Using FDM (FFF) 3D Printing // Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology. 2025, no. 2(370), pp. 27-33.
4. Zaitsev A.I., Sotov A.V., Abdrakhmanova A.E., Popovich A.A. Additive Manufacturing of Polymer-Ceramic Materials by Layer-by-Layer Material Deposition (FDM Technology): Review // News of Universities. Powder Metallurgy and Functional Coatings. 2024, no. 18(6), pp. 77-88.

Малышев Евгений Николаевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Машиностроительные технологии»	Malyshev Evgeny Nikolaevich – candidate of technical sciences, associate professor, head of the department «Mechanical engineering technologies»
Родионов Денис Анатольевич – магистрант	Rodionov Denis Anatolyevich – master student
malen@bmstu.ru	

Received 22.07.2026