

УДК 621.763
DOI: 10.12737/20252

М.Ю. Куликов, М.А. Ларионов, Д.В. Гусев

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ТОЧНОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ПРОТОТИПИРОВАНИИ

Исследованы проблемы, возникающие в процессе формообразования при трехмерной печати деталей. Сделан вывод о причинах возникновения дефектов деталей. Даны некоторые рекомендации по избежанию дефектов при прототипировании по технологии DLP.

Ключевые слова: трехмерная печать, прототипирование, точностные параметры, фотополимер, седлообразность, STL-формат, технология DLP.

M.Yu. Kulikov, M.A. Larionov, D.V. Gusev

ANALYSIS OF REGULARITIES IN ACCURACY PARAMETERS FORMATION AT PROTOTYPING

The purpose of the work was the study of regularities in the cylindrical surface formation at prototyping. To achieve the task there were developed sketches of two parts of "cylinder" type. According to the sketches in the CAD medium there were formed two 3D computer parts. The next step to achieve the task was the conversion of the designed and created parametric 3D part in STL format. The printing was carried out in two product lines: the cylinders of the first product line were printed at the maximum rate of the formation ($V_{form}=12.7\text{mm/h}$) and at the maximum layer thickness ($S_{layer}=100\text{mkm}$), and cylinders of the second product line – at $V_{print}=5\text{mm/h}$; $S_{layer}=50\text{mkm}$. The parts were printed according to the method of rapid prototyping (RP) – photopolymer light curing (Direct

Light Projection –DLP) on Envision Ultra 3SP plant. Material – high-temperature photopolymer resin HTM 140. Heat-resistance of this material makes 140°C .

As a result of the research there was revealed a vivid saddle-shaped form in printed cylinders. The reason of a hidden defect lies in a high rate of printing and also in a layer thickness. It should be excluded that the reason of an error can be electronic mistakes during a 3D conversion of an object from CAD medium into STL format.

Key words: 3D printing, prototyping, accuracy parameters, photopolymer, saddle-shape form, STL format, DLP technique.

Предметом исследования и разработки в технологии машиностроения являются виды обработки, выбор заготовки, качество обрабатываемых поверхностей, точность обработки и припуски на нее, базирование заготовок; способы механической обработки поверхностей – плоских, цилиндрических, сложнопрофильных и др. [1].

Изготовление деталей по традиционной технологии основано на механической обработке их заготовок. Так как это весьма трудоемкая и энергозатратная задача, то традиционные технологии становятся менее практичными и перспективными. Для штучного и мелкосерийного производства наиболее оптимальным решением является

внедрение генеративных технологий, например технологий 3D-печати. В случае невозможности изготовления детали по традиционной технологии механообработки из-за сложной формы изделия 3D-печать является одним из выходов из сложившейся ситуации. Современные технологии 3Dпрототипирования позволяют достаточно оперативно получить точную деталь с минимальными затратами.

Прототипирование - быстрая черновая реализация базовой функциональности для анализа работы системы в целом. На этапе прототипирования малыми усилиями создается работающая система (возможно, неэффективно, с ошибками и не в полной мере). После этапа прототипирования в

большинстве случаев следуют этапы пере-
смотра объекта, разработки, реализации и
тестирования конечного продукта.

Целью работы было изучение зако-
номерностей формирования цилиндриче-

ских поверхностей при прототипировании.
Для достижения поставленной цели были
разработаны две детали типа «цилиндр»,
эскизы которых приведены на рис. 1 и 2, и
напечатаны на 3D-принтере.

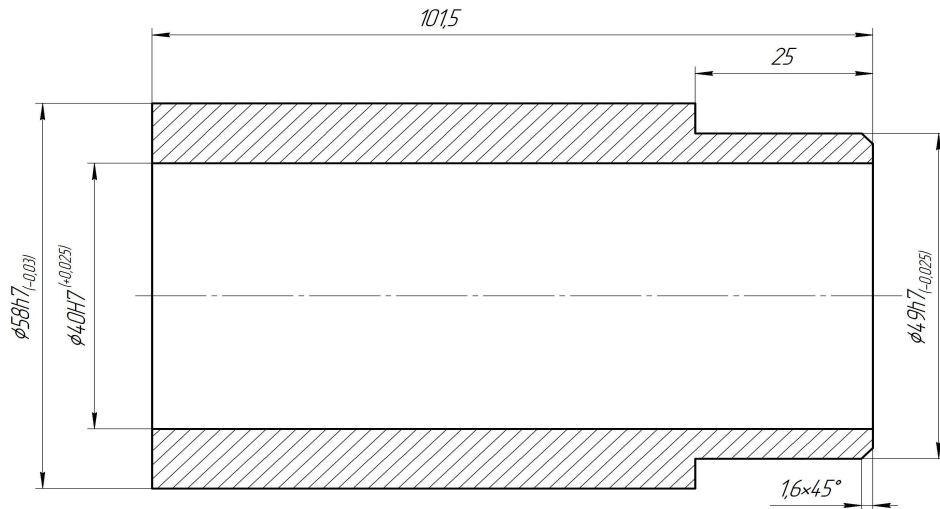


Рис. 1. Цилиндр первой серии

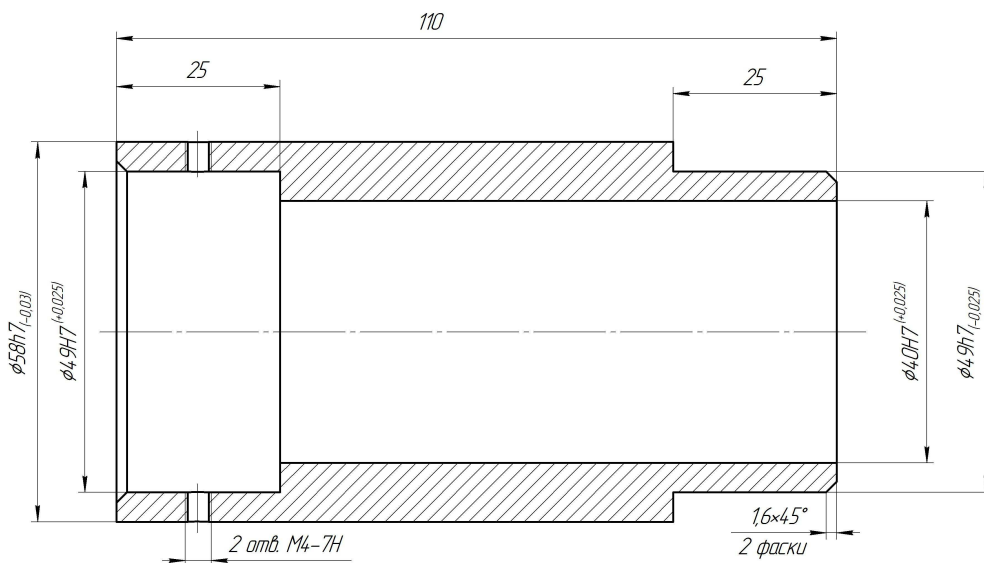


Рис. 2. Цилиндр второй серии

Печать происходила двумя сериями:
цилиндры первой серии были напечатаны
при максимальной скорости построения
($V_{\text{построения}}=12,7$ мм/ч) и максимальной
толщине слоя ($S_{\text{слоя}}=100$ мкм), а цилиндры
второй серии – при $V_{\text{печати}}=5$ мм/ч, $S_{\text{слоя}}=50$
мкм. Каждая серия состояла из 4 деталей.
Детали печатались по методу быстрого
прототипирования (Rapid Prototyping - RP)
– светотверждения фотополимера (Direct
Light Projection - DLP) на установке
Envisiontec Ultra 3SP. Материал – НТМ

140, теплостойкость которого составляет
140°C.

Сущность данного метода печати со-
стоит в том, что строятся трехмерные объ-
екты по методу проецирования световых
масок. Полимеризация материала осуще-
ствляется не по точкам, а послойно, по
растровым маскам. Благодаря этому ско-
рость построения не зависит от размеров и
сложности детали. Для построения модели
используется акриловый фотополимер.
Отверждение слоя осуществляется ульт-

рафиолетовой лампой. Процесс, разработанный компанией Texas Instruments, используется фирмой Envisiontec (Германия) [2].

По эскизам (рис. 1 и 2) в среде CAD были созданы две трехмерные компьютерные детали типа «цилиндр». Следующим шагом к достижению поставленной цели стал перевод спроектированной и созданной трехмерной детали в STL-формат.

После изготовления (без всякой дальнейшей механообработки) один из цилиндров первой серии был установлен на оправку и закреплен в трехкулачковом патроне станка 16К20 с целью измерения биения и отклонения от круглости. На рис. 3 показана схема измерения детали, которое выполнялось с помощью индикатора часового типа (цена деления - 0,002 мм) через каждые 6° на расстоянии 10 мм по поверхности детали.

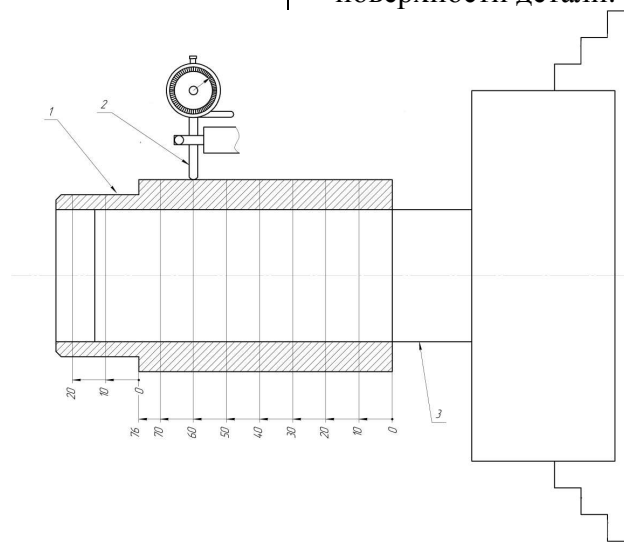


Рис. 3. Схема измерения: 1 – цилиндр первой серии; 2 – индикатор часового типа; 3 – оправка

Далее на биение и отклонение от круглости был проверен цилиндр второй серии. На основании полученных данных построен график отклонения от круглости (рис. 4), из которого видно, что на обоих цилиндрах прослеживается ярко выраженная седлообразность.

Седлообразность - частный вид отклонения профиля продольного сечения, при котором образующие цилиндрической детали непрямолинейны, а ее диаметры уменьшаются от краев детали к ее середине.

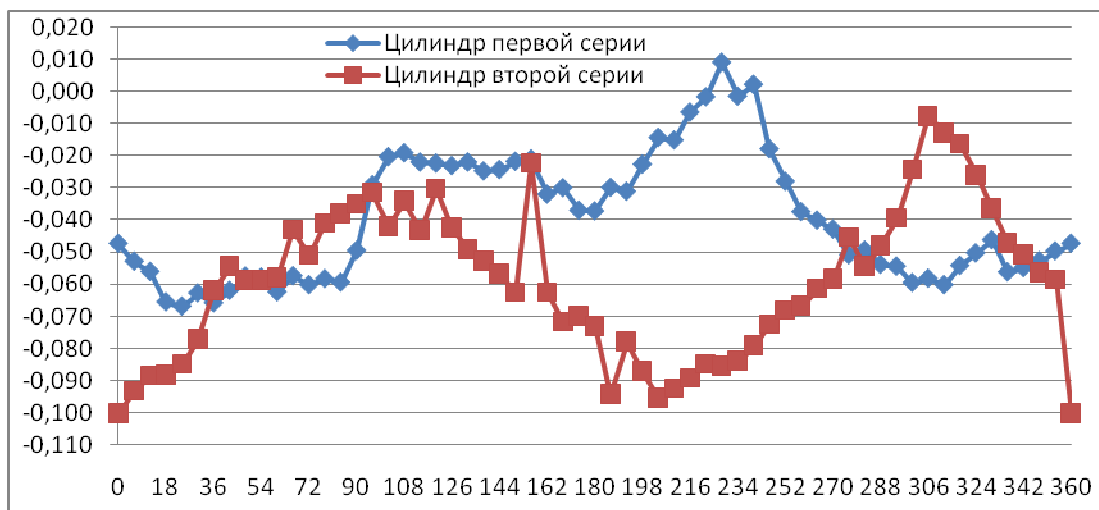


Рис. 4. График отклонения от круглости

Причина такого дефекта обеих деталей кроется в высокой скорости печати, а также толщине слоя. Нельзя исключать и того, что причиной погрешности могут быть электронные ошибки при переводе трехмерного объекта из САД-среды в STL-

формат. Еще одной причиной является позиционирование деталей на подложке во время печати: слой фотополимера, который наносился при печати, не успевал затвердевать полностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Евсеев, Д.Г. Оптимизация процессов механической обработки: учеб. пособие /Д.Г. Евсеев, О.М. Тарасевич. - М.: МИИТ, 2007.-107 с.
2. Грабченко, А. И. Интегрированные генеративные технологии: учеб. пособие / А. И. Грабчен-

ко, Ю. Н. Внуков, В.Л. Доброскок; ред. А.И. Грабченко. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2011. – 416 с.

1. Yevseyev, D.G. Machining Optimization: Reference book/ D.G. Yevseyev, O.M. Tarasevich. – M.: MPT, 2007. – pp.107.

2. Grabchenko, A.I. Integrated Generative Techniques: Reference book / A.I. Grabchenko, Yu.N. Vnukov, V.L. Dobroskok; ed. A.I. Grabchenko. – Kharkov: NTU “KHPI”, 2011. – pp. 416.

*Статья поступила в редколлегию 9.11.2015.
Рецензент: д.т.н., профессор Верещака А.С.*

Сведения об авторах:

Куликов Михаил Юрьевич, д. т. н., профессор кафедры «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава» Московского государственного университета путей сообщения, e-mail: muk.56@mail.ru.

Ларионов Максим Александрович, к.т.н., начальник группы, ст. научный сотрудник ФГУП

ЦНИИмаш, г.Королев, e-mail: pioneer_maxim@mail.ru.

Гусев Денис Витальевич, аспирант кафедры «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава» Московского государственного университета путей сообщения, e-mail: dess.2010@mail.ru.

Kulikov Mikhail Yurievich, D.Eng. , Prof. of the Dep. “Technology of Transport Engineering and Rolling-Stock Repair”
Moscow State Communications University, e-mail: muk.56@mail.ru.

Larionov Maxim Alexandrovich, Can.Eng., Chief of the Group, Senior Researcher of FSEC CSRI mach, Korolyov, e-mail: pioneer_maxim@mail.ru.

Gusev Denis Vasilievich, Post graduate student of the Dep. “Technology of Transport Engineering and Rolling-Stock Repair” Moscow State Communications University, e-mail: dess.2010@mail.ru.