

УДК 621.763

DOI: 10.30987/1999-8775-2021-7-12-18

М.Ю. Куликов, М.А. Ларионов, Д.В. Гусев, Е.О. Шевчук

УЛУЧШЕНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Вскрыты причины низкой шероховатости поверхностей деталей, полученных с помощью аддитивных технологий. Изучено улучшение этого показателя последующей обработкой гибким абразивным инструментом. Выявлена перспективность использования смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) при данных условиях обработки.

Определены условия работы мягкого абразивного инструмента и влияние СОЖ на показатели шероховатости обработанной поверхности деталей из полимерных материалов.

Ключевые слова: аддитивные технологии, 3D-печать, фотополимер, технология, качество, шероховатость.

M. Yu. Kulikov, M. A. Larionov, D. V. Gusev, E. O. Shevchuk

SURFACE ROUGHNESS IMPROVEMENT OF PARTS MADE OF POLYMERIC MATERIALS OBTAINED BY MEANS OF ADDITIVE TECHNOLOGIES

In the paper there is under consideration an effort to achieve the roughness index of $Ra < 0.8$ with the aid of soft abrasive tool use. As a result the purpose of this work became development of the technology for surface quality improvement of parts manufactured with the aid of additive technologies.

The authors carried out a number of experiments with the samples manufactured with the aid of the method of *FDM* print. With the aid of *3D Ultra 3* printer of *EnvisionTec* company. The samples were made of *ABS*-plastic in the amount of 6 pieces. On each sample there were defects after printing which contributed to the deterioration of surface quality in products. By means of *TR220* profilometer there was measured roughness before and after the experiment. There was carried out dry processing and with the use of *SCL*. As a result, dry processing resulted in worsening surface quality, heavy wear of an abrasive tool and grain contamination. Analyzing the data obtained from the profilometer in the experiment and *SCL* use a considerable improvement of the surface layer quality at minimum allowance is observed.

Investigation methods: in the work basis there are experimental methods of investigation. The investi-

gations are carried out with the use of a microscope and profilometer. Processing investigation results was carried out as a result of the comparison of the measuring data obtained.

Work Novelty: there are defined conditions of soft abrasive tool operation and *SCL* impact upon *Ra* indices.

The results obtained indicate a possibility of *Ra* improvement on a part surface which is achieved due to a combined shaping with the aid of additive technologies and further machining carried out on a single technological basis. The experience without *SCL* use has shown the overheating possibility the result of which is a meltback and plastic sticking both on the surface, and on abrasive grains of the cutter which is inadmissible and results in considerable worsening of *Ra* on the surface machined and cutter wear.

In view of this the *SCL* use in finishing is promising, but to achieve better results *SCL* chemistry must be improved.

Key words: additive technologies, 3D print, photo-polymer, technology, quality, roughness.

Введение

На сегодняшний день сформировалась целая индустрия аддитивного производства, десятки различных методов технологий, а также оборудования и материалов для послойного выращивания изделий. В результате с каждым годом эта техноло-

гия совершенствуется и становится всё более популярной.

Процесс изготовления происходит автоматически без участия человека. Все основные настройки (заполнение, толщина слоя, коррекция шаг платформы), осуществляются на стадии подготовки к печа-

ти, после запуска человек выступает в качестве оператора и не вмешивается в процесс до полного изготовления изделия.

Использование технологии послойного выращивания деталей позволяет

обойтись без сборочных операций, изготовление происходит за одну установку изделия, имеющего сложно фасонную поверхность.

Формирование рельефа деталей, изготовленных с помощью аддитивных технологий

При печати использовался метод *FDM* (метод послойного наплавления) – технология аддитивного производства, широко используемая при создании трехмерных моделей, при прототипировании и в промышленном производстве. В качестве материала использовался *ABS*-пластик – ударопрочная техническая термопластиче-

ская смола на основе сополимера акрилонитрила с бутадиеном и стиролом.

Во время процесса печати могут появляться также и дефекты, связанные с перегревом сопла, либо не достаточной температурой камеры, и говорить о достижении требуемой шероховатости не приходится все это ведет к браку изделия, как показано на рис. 1.

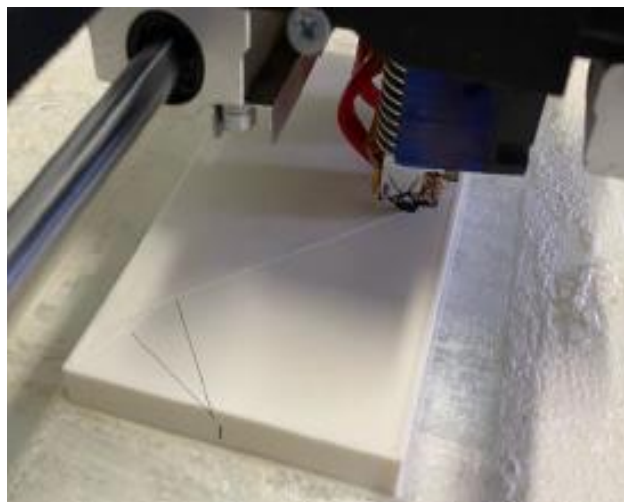


Рис. 1. Дефект наложения слоёв во время печати

Так как дефект появился на поверхностном слое изделия, а именно при печати последнего слоя, было решено исследовать его глубину с помощью электронного микроскопа Альтами СМ0745-Т (рис. 2).

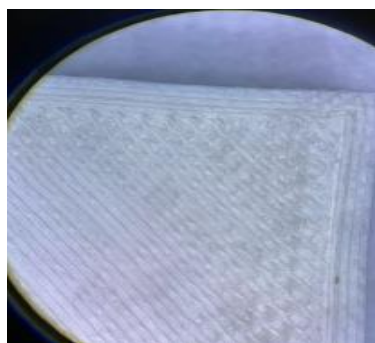


Рис. 2. Картина дефекта

Согласно работе [1] значение шероховатости Ra на поверхности детали полученной с помощью аддитивных технологий лежит в пределах $Ra \geq 1,2$. Также на всех изготовленных образцах с помощью аддитивных технологий характерно наличие отчетливых зон неровностей (рис. 3) на поверхностном слое изделия. Поэтому было принято решение более детально исследовать полученную поверхность.

Измерение шероховатости производилось с помощью профилометра *TR220* в 12-ти точках на поверхности детали. В результате были получены следующие данные, представленные в табл. 1

Таблица 1

Показатели шероховатости после печати

№ точки измерения	Показатель шероховатости
1лк	1,943
2лк	2,838
3лк	2,321
4лк	2,674
1цг	3,928
2цг	2,743
3цг	2,260
4цг	2,119
1пк	5,362
2пк	2,201
3пк	3,429
4пк	2,190

Изучение формирования рельефа при шлифовании при минимальном припуске

Используя опыт, полученный в работе [1], была предпринята попытка достичь показателя $Ra < 0,8$ при min припуске с помощью использования механообработ-

Анализируя полученные данные, наглядно видно, что шероховатость поверхности неоднородна, в некоторых точках имеются значительные ухудшения показателя Ra . Точка 1пк Ra 5,362 свидетельствует дефекту, показанному на рис. 1.

Дальнейшее улучшение шероховатости, а, следовательно, и поверхностного слоя может достигаться комбинированным формообразованием с помощью аддитивных технологий и последующей механической обработки, произведенных на одной технологической платформе.

ки. Для этого были напечатаны, обработаны, а впоследствии измерены образцы - бруски размером $155 \times 80 \times 12$ мм (рис. 3).



Рис. 3. Объект исследования

Финишная обработка производилась на станке с ЧПУ *MIKRON HPM 600 U*, при этом использовался мягкий абразивный инструмент. Использование данного абразивного инструмента объясняется тем, что изготовленные с помощью аддитивных технологий детали имеют сложную фасонную поверхность, инструмент на жёсткой основе не сможет обрабатывать такие поверхности. Мягкие щётки позволяют проходить по поверхностям, имеющим сложную форму, не затрачивая дополнительное время на переустановку заготовки.

Инструмент состоит из множества абразивных зёрен, в зависимости от вида обработки, материала заготовки, подбирается его жёсткость. На основании опытов было установлено, что щётка может работать только по плоской поверхности, в результате необходима последующая его доработка.

При проведении опытов использовались следующие режимы обработки: частота вращения шпинделя $n = 4500$ об/мин, подача $S = 800$ мм/мин, общий слой снимаемого материала $t = 0,3$ мм, за 1 проход снимался слой равный $0,05$ мм. Таким образом обработка происходила за

6 проходов. Вылет инструмента из корпуса составлял 11 мм. Опыты проходили в двух режимах: в сухую и с применением СОЖ.

При обработке в сухую было установлено, что поверхность в процессе механической обработки мягким абразивным инструментом перегревается, в результате, пластик начинает плавиться и происходит налипание стружки (рис. 4) в виде нарастающих волн. Шероховатость поверхности резко уменьшается и выходит за пределы измерений из-за неоднородности выступов и полученного рельефа в виде налипшего пластика.

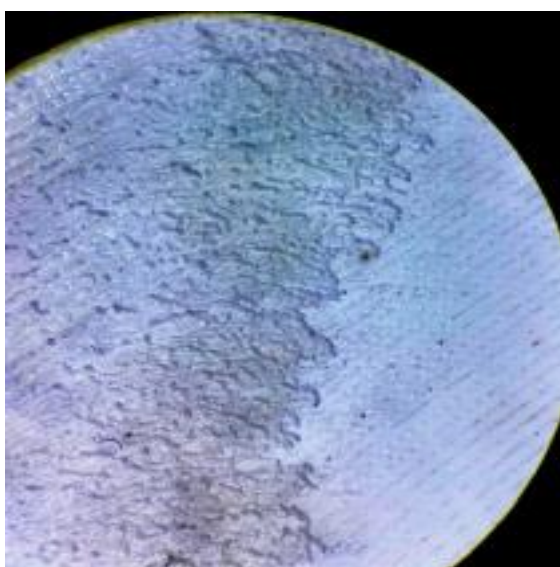


Рис. 4. Следы плавления пластика на поверхности

На рис. 4 наглядно видно образование нового слоя, состоящего из расплавленного пластика в процессе обработки.

Установлено, что плавится не только поверхность детали, но и происходит сильный износ инструмента. Наросты окрашиваются в цвет режущего инструмента. На щётке появляются следы оплавления, в виде загрязнения абразивного зерна налипшим пластиком (рис. 5)

В результате, будет не только уменьшаться шероховатость самой детали, но и снижаются режущие способности инструмента. Налипший пластик забивается в поры волокон, нарушается абразивная связка.



Рис. 5. Загрязнение абразивных зёрен

В опыте с использованием СОЖ такая проблема не наблюдается. Деталь не перегревается, обработка происходит равномерно, зёрна режущего инструмента чистые. При работе с установленными ранее режимами были получены следующие результаты, представленные в табл. 2.

Таблица 2

Результаты опыта с использованием СОЖ

№ точки измерения	Показатель шероховатости до обработки	Показатель шероховатости после обработки
1лк	1,943	0,576
2лк	2,838	0,762
3лк	2,321	0,658
4лк	2,674	0,894
1цт	3,928	0,809
2цт	2,743	1,132
3цт	2,260	1,291
4цт	2,119	0,743
1пк	5,362	1,334
2пк	2,201	0,789
3пк	3,429	0,837
4пк	2,190	0,676

Характеристики качества поверхности после обработки показывают уменьшение Ra , в некоторых точках достигнуть показателя менее 0,8 не удалось из-за слишком больших выступов. Обработанные результаты представлены в виде диаграммы (рис. 6).

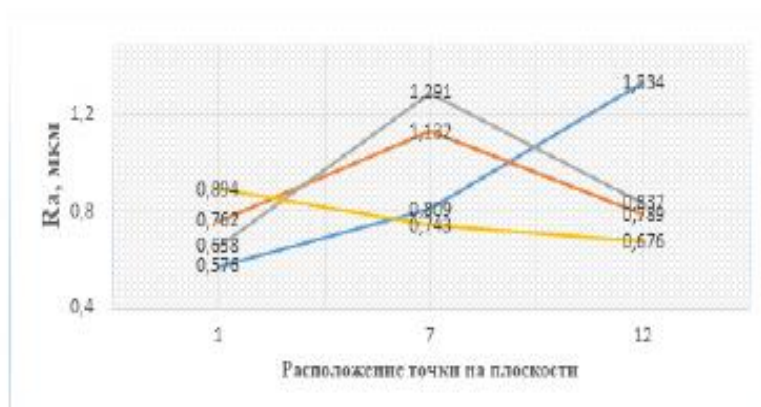


Рис. 6. Распределения шероховатости на поверхности детали после обработки

В результате, подбирая параметры обработки и используя разное сечение волокна, можно достигнуть необходимого

показателя шероховатости, который соответствует заявленным требованиям детали.

Сравнение качества поверхности представлено на диаграмме (рис. 7).

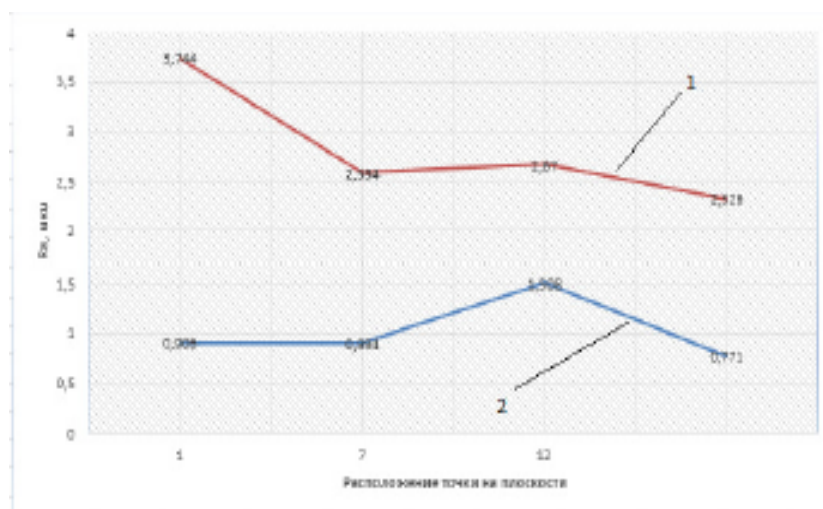


Рис. 7. Сравнение шероховатости до и после обработки: кривая 1 - поверхности до обработки, кривая 2- поверхность после обработки

Было установлено, что после изготовления детали с использованием технологии 3D-печати необходима последующая финишная механическая обработка. Предварительная шероховатость поверхности оказывает влияние на показатели

после обработки, в зависимости от глубины съёма материала показатели будут неоднородны, для получения более однородной поверхности требуется увеличить глубину обработки.

Заключение

Полученные опытным путём результаты свидетельствуют о возможности улучшения величины Ra на поверхности детали, которое достигается комбинированным формообразованием с помощью аддитивных технологий и последующей

механической обработки, произведенных на одной технологической платформе. Опыт без использования СОЖ показал возможность перегрева, следствием которого является оплавление и налипания пластика как на поверхность, так и на аб-

разивные зёрна режущего инструмента, что является недопустимым и приводит к значительному ухудшению показателя Ra на обработанной поверхности и износу режущего инструмента. В виду этого ис-

пользование СОЖ в процессе финишной обработки перспективно, но для достижения более лучшего результата, необходимо доработать ее химический состав.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куликов, М. Ю. Обеспечение качества деталей, изготовленных с помощью аддитивных технологий / М. Ю. Куликов, М. А. Ларионов, Д. В. Гусев, Е. О. Шевчук // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2020. – № 12(97). – С. 4–10.
2. Куликов, М. Ю. Исследование закономерностей формирования точностных параметров деталей при прототипировании / М. Ю. Куликов, М. А. Ларионов, Д. В. Гусев // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2016. – № 2(50). – С. 104–107.
3. Куликов, М. Ю. О взаимодействии шероховатости поверхности прототипированных образцов с условиями их базирования при изготовлении / М. Ю. Куликов, М. А. Ларионов, Д. В. Гусев // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2016. – № 1(25). – С. 88–92.
4. Гусев, Д. В. Повышение показателей качества изготавливаемых изделий при использовании технологии быстрого прототипирования: специальность 05.02.08 «Технология машиностроения»: диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук / Денис Витальевич Гусев; Ульяновский государственный технический университет. – Ульяновск, 2019. – 116 с.
5. Литунов, С. Н. Обзор и анализ аддитивных технологий. Часть 2 / С. Н. Литунов, В. Н. Слободенюк, Д. В. Мельников // Омский научный вестник. – 2016. – № 5(149). – С. 20-24.
6. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – Москва : Наука, 1976. – 278 с.
7. Зленко, М. А. Аддитивные технологии в машиностроении. Пособие для инженеров. / М. А. Зленко, М. В. Нагайцев, В. М. Довбыш. – Москва : ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2015. – 220 с.
8. Зенкин, Н. В. Эффективность влияния СОЖ на шероховатость фрезерованных поверхностей при различных режимах резания / Н. В. Зенкин, И. А. Варичкин // Научный альманах. – 2017. – № 3-3(29). – С. 93–96.
9. Баранчиков, В. И. Обработка специальных материалов в машиностроении: Справочник. Библиотека технолога / В. И. Баранчиков, А. С. Тарапанов, Г. А. Харламов. – Москва : Машиностроение, 2002 – С. 52-56.
1. Kulikov, M.Yu. Quality assurance of parts manufactured using additive technologies / M.Yu. Kulikov, M.A. Larionov, D.V. Gusev, E.O. Shevchuk // *Bulletin of Bryansk State Technical University*. – 2020. – No. 12(97). – pp. 4-10.
2. Kulikov, M.Yu. Regularity investigation in formation of accuracy parameters in parts at prototyping / M.Yu. Kulikov, M.A. Larionov, D.V. Gusev // *Bulletin of Bryansk State Technical University*. – 2016. – No. 2(50). – pp. 104-107.
3. Kulikov, M.Yu. On interaction of surface roughness of prototyped samples with conditions of their basing during manufacturing / M.Yu. Kulikov, M.A. Larionov, D.V. Gusev // *Proceedings of Komsomolsk-upon-Amur State Technical University*. – 2016. – No. 1(25). – pp. 88-92.
4. Gusev, D.V. Quality increase in products manufactured using technologies of quick prototyping: specialty 05.02.08. "Engineering Technique": thesis for competition of academic degree of Can. Sc. Tech. / Denis Vitalievich Gusev; Uliyanovsk State Technical University. – Uliyanovsk, 2019. – pp. 116.
5. Litunov, S.N. Review and analysis of additive technologies. Part II / S.N. Litunov, V.N. Slobodenyuk, D.V. Melnikov // *Omsk Scientific Bulletin*. – 2016. – No. 5(149). – pp. 20-24.
6. Adler, Yu.P. *Experiment Planning at Optimum Conditions Search* / Yu.P. Adler, E.V. Markova, Yu.V. Granovsky. – Moscow: Science, 1976. – pp. 278.
7. Zlenko, M.A. *Additive Technologies in Mechanical Engineering*. Manual for engineers. / M.A. Zlenko, M.V. Nagaitsev, V.M. Dovbysh. – Moscow: SSC RF FSUP "NAMI", 2015. – pp. 220.
8. Zenkin, N.V. Effectiveness of SCL impact upon roughness of milled surfaces at different cutting modes / N.V. Zenkin, I.A. Varichkin // *Scientific Anthology*. – 2017. – No. 3-3(29). – pp. 93-96.
9. Baranchikov, V.I. *Special Material Processing in Mechanical Engineering: Reference Book*. Technologist's Library / V.I. Baranchikov, A.S. Tarapanov, G.A. Kharlamov. – Moscow: Mechanical Engineering, 2002 – pp. 52-56.

Ссылка цитирования:

Куликов, М.Ю. Улучшение шероховатости поверхностей деталей из полимерных материалов, полученных с помощью аддитивных технологий / М.Ю. Куликов, М.А. Ларионов, Д.В. Гусев, Е.О. Шевчук // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2021. – № 7. – С. 12-18. DOI: 10.30987/1999-8775-2021-7-12-18.

Статья поступила в редакцию 02.02.21.

Рецензент: д.т. н., профессор Муромского филиала (института)
Владимирского государственного университета

Соловьев Д.Л.,

член редсовета журнала «Вестник БГТУ».

Статья принята к публикации 21.06.21.

Сведения об авторах:

Куликов Михаил Юрьевич, д.т.н., профессор, вед. научный сотрудник Института конструкторско-технологической информатики (ИКТИ РАН), тел.: +7(964)-578-56-89, e-mail: muk.56@mail.ru.

Ларионов Максим Александрович, к.т.н., ст. научный сотрудник Института конструкторско-технологической информатики (ИКТИ РАН), e-mail: pioneer_maxim@mail.ru.

Kulikov Michael Yurievich, Dr. Sc. Tech., Prof., Leading research assistant, Institute of Design-Technological Informatics (IKTI RAS), phone: 7 (964) 578 56 89, e-mail: muk.56@mail.ru.

Larionov Maxim Alexandrovich, Can. Sc. Tech., Senior research assistant, Institute of Design-Technological Informatics (IKTI RAS), e-mail: pioneer_maxim@mail.ru.

Гусев Денис Витальевич, к.т.н., инженер-технолог 2 категории, АО Научно-исследовательский институт точных приборов, e-mail: dess.2010@mail.ru.

Шевчук Евгений Олегович, аспирант кафедры «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава» Российского университета транспорта, e-mail: shev4uckloki@yandex.ru.

Gusev Denis Vitalievich, Can. Sc. Tech., engineer-technologist II cat., PC Scientific-Research Institute of Precise Appliances, e-mail: dess.2010@mail.ru.

Shevchuk Evgeny Olegovich, Post graduate student of the Dep. “Technology of Transport Mechanical Engineering and Repair of Rolling-Stock”, Russian University of Transport, e-mail: shev4uckloki@yandex.ru.