

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ 3D-ПЕЧАТИ НА КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ И ТОЧНОСТЬ ДЕТАЛЕЙ

Тараховский А.Ю., Репинский Б.А.

Севастопольский государственный университет, Севастополь

Ключевые слова: 3D-печать; аддитивные технологии, высота слоя, температура сопла, скорость печати, качество поверхности, точность деталей, FDM, PLA, экспериментальное исследование.

Аннотация. В статье рассматривается влияние основных параметров 3D-печати на качество поверхности и точность изготовленных деталей, применяемых в промышленности, инженерии и дизайне. Особое внимание уделяется таким технологическим характеристикам, как высота слоя, температура нагрева сопла и стола, скорость печати, параметры заполнения и ориентация модели. С целью определения изменения шероховатости поверхности от варьирования следующих параметров: высота слоя, температура сопла и скорость печати, был проведен эксперимент. Для эксперимента использовался PLA пластик. Анализ результатов эксперимента показал прямую зависимость качества поверхности от высоты слоя, а на точность получаемых размеров влияет подбор оптимальной температуры сопла и скорости печати. Научная новизна статьи заключается в системном исследовании влияния параметров 3D-печати на качество изделий с экспериментальной верификацией, практическая значимость – в возможности оптимизации технологических режимов для повышения качества продукции. Материалы статьи будут полезны инженерам, технологам и исследователям в области аддитивного производства.

INFLUENCE OF 3D-PRINTING PARAMETERS ON SURFACE QUALITY AND DIMENSIONAL ACCURACY OF PARTS

Tarakhovskiy A.Yu., Repinsky B.A.

Sevastopol State University, Sevastopol

Keywords: 3D-printin, additive manufacturing, layer height, nozzle temperature, print speed, surface quality, dimensional accuracy, FDM, PLA, experimental study.

Abstract. The article examines the influence of key 3D-printing parameters on the surface quality and dimensional accuracy of parts used in industry, engineering, and design. Special attention is given to such technological characteristics as layer height, nozzle and bed temperature, printing speed, infill parameters, and model orientation. An experiment was conducted to determine how surface roughness changes when varying the following parameters: layer height, nozzle temperature, and printing speed. PLA filament was used for the experiment. The analysis of the experimental results revealed a direct dependence of surface quality on layer height, while dimensional accuracy is affected by the optimal selection of nozzle temperature and printing speed. The scientific novelty of the article lies in a systematic study of the influence of 3D-printing parameters on product quality with experimental verification. The practical significance consists in the possibility of optimizing technological modes to improve product quality. The materials of the article will be useful for engineers, technologists, and researchers in the field of additive manufacturing.

Современные технологии трехмерной печати широко применяются в различных сферах промышленности, медицине, инженерии и дизайне [1]. Одной из ключевых задач при использовании аддитивных методов является обеспечение высокого качества поверхности и точности изготовленных деталей [2]. Эти параметры напрямую зависят от множества технологических и конструкторских

факторов, что предъявляет требования к правильному подбору параметров принтера и режимов работы [3-9]. В данной статье рассматривается влияние основных параметров 3D-печати на качество поверхности и точность деталей, а также выявляются оптимальные режимы для получения высококачественных изделий.

Процесс 3D-печати включает ряд технологических параметров, которые оказывают влияние на конечный результат (табл. 1).

В лаборатории была проведена серия экспериментов с использованием 3D-принтера на базе FDM-технологии и PLA-пластика. Для оценки влияния параметров печати исследовались образцы кубов размером 20×20×20 мм:

- высота слоя: 0,1 мм, 0,2 мм, 0,3 мм;
- температура сопла: 190°C, 210°C, 230°C;
- скорость печати: 40 мм/с, 60 мм/с, 80 мм/с.

Табл. 1. Влияние основных технологических параметров 3D-печати FDM на качество поверхности и точность деталей

Параметр	Суть параметра	Влияние на качество поверхности	Влияние на точность/прочность деталей
Высота слоя	Толщина слоя наплавленного материала.	Меньшая высота слоя уменьшает выраженность ступенчатости и повышает гладкость поверхности.	Снижение высоты слоя повышает детализацию, но увеличивает время печати и риск ошибок позиционирования.
Температура сопла	Температура расплава на выходе из экструдера.	Оптимальная температура улучшает межслойную адгезию и снижает видимые дефекты на поверхности.	Слишком низкая температура ухудшает сплавление слоев, слишком высокая вызывает перегрев и деформации.
Температура стола	Температура рабочей платформы принтера.	Правильный нагрев уменьшает дефекты первого слоя и артефакты, связанные с отрывом от стола.	Несоответствие температур вызывает коробление, отрыв модели и геометрические искажения.
Скорость печати	Линейная скорость движения головки и скорость экструзии.	Слишком высокая скорость вызывает пропуски и повышенную шероховатость, слишком низкая – наплывы и неровности.	При чрезмерной скорости падает точность позиционирования, при слишком низкой растет риск перерасхода материала и деформаций.

Табл. 1. Продолжение

Параметр	Суть параметра	Влияние на качество поверхности	Влияние на точность/прочность деталей
Параметры заполнения	Процент и схема внутреннего инфила модели.	Косвенно влияет на ровность внешних стенок через степень поддержки и стабильность формы.	Высокий процент увеличивает жесткость и точность, но повышает массу и время печати; низкий снижает прочность и размерную стабильность.
Ориентация детали	Пространственное расположение модели на столе при печати.	Горизонтальные и вертикальные поверхности обычно более гладкие, наклонные страдают от «лестницы» слоев.	Влияние на распределение нагрузок и анизотропию свойств; позволяет направлять слои вдоль или поперек критических зон.
Поддержки	Временные опоры под нависающие элементы модели.	В местах контакта с поддержками поверхность грубее, требуется последующая обработка.	Правильное использование поддержек предотвращает провисания и деформации, но увеличивает расход материала и время печати.

Измерения качества поверхности

Шероховатость поверхности измерялась профилометром (R_a , мкм). Результаты показали, что при уменьшении высоты слоя с 0,3 мм до 0,1 мм величина R_a уменьшалась в среднем с 25 мкм до 6 мкм, что значительно улучшает визуальное и тактильное качество поверхности.

Точность размеров

Линейные размеры образцов измерялись штангенциркулем с разрешением 0,01 мм. Максимальное отклонение от проектных размеров наблюдалось при самой высокой скорости печати (80 мм/с) и достигало 0,15 мм, в то время как при скорости 40 мм/с отклонение не превышало 0,05 мм.

На рисунке 1 представлен график, иллюстрирующий влияние параметров 3D-печати (высоты слоя, скорости печати и температуры сопла) на шероховатость поверхности (R_a) и точность размеров деталей. По оси X показаны параметры с их значениями, по оси Y – значения шероховатости в микрометрах и отклонений по размеру в миллиметрах.

Табл. 2. Отображение результатов эксперимента

Параметр	Ra, мкм (шероховатость)	Отклонение по размеру, мм
Высота слоя 0,1 мм	6	0,04
Высота слоя 0,2 мм	12	0,08
Высота слоя 0,3 мм	25	0,15
Скорость 40 мм/с	8	0,05
Скорость 60 мм/с	12	0,10
Скорость 80 мм/с	18	0,15
Температура 190°C	20	0,10
Температура 210°C	10	0,07
Температура 230°C	15	0,12

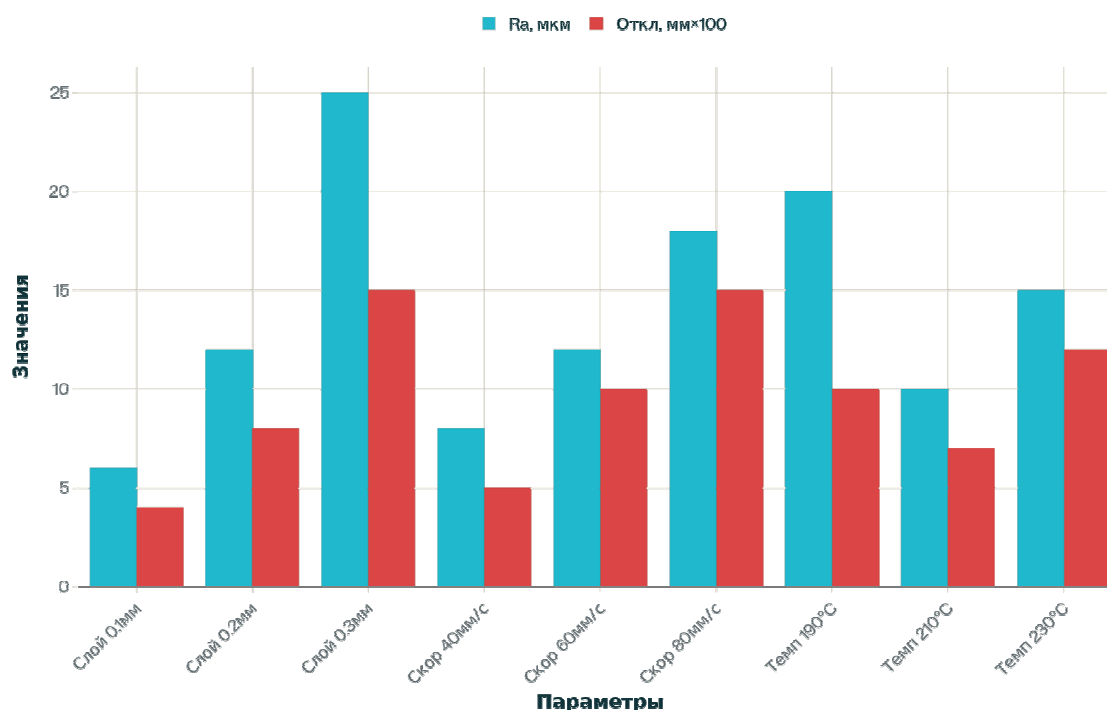


Рис. 1. Влияние параметров 3D-печати

На основе проведенных экспериментов можно сделать вывод о том, что за счет точного подбора таких параметров, как высота слоя, температура и скорость печати можно управлять качеством поверхности (шероховатостью) и точностью размеров и формы деталей напечатанных FDM способом.

В дальнейшем требуется продолжение исследований для автоматизации выбора оптимальных параметров 3D печати.

Список литературы

1. Пышкин А.А., Ковтун Е.Г., Тараховский А.Ю. Аддитивные технологии в современном мире // Перспективные технологии реверс-инжиниринга и быстрого прототипирования: Сборник статей всероссийской научно-практической конференции, Севастополь, 13-15 мая 2024 года. – Севастополь: Севастопольский государственный университет, 2024. – С. 83-85.
2. Симонова Ю.Э., Бородин, Сапожников А.П. Перспективы аддитивных технологий в инженерии // Современные технологии производства в машиностроении: Межвузовский сборник научных трудов. – Воронеж: Издательско-полиграфический центр "Научная книга", 2025. – С. 107-114.

3. Тараховский А.Ю. Оптимизация выбора материалов для 3D-печати (FDM): влияние теплового расширения и механических свойств // Перспективные технологии реверс-инжиниринга и быстрого прототипирования: сборник статей всероссийской научно-практической конференции, Севастополь, 12-14 февраля 2025 года. – Севастополь: Севастопольский государственный университет, 2025. – С. 49-54.
4. Трегубов Ф.О., Долгушин В.В. Исследование прочностных свойств образцов при их различных положениях на печатном столе при FDM печати // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2025. – Т. 12, №3-4. – С. 30-35.
5. Потапов А.А., Красильников В.П. Определение параметров FDM-печати изделий с требуемыми физико-механическими свойствами // Технология металлов. – 2025. – №5. – С. 26-34. – DOI: 10.31044/1684-2499-2025-0-5-26-34.
6. Карасев Н.И., Носов Н.В., Галлямов А.Р. Разработка регрессионной модели влияния процесса 3D-печати на шероховатость поверхности // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2024. – Т. 26, №4-2(120). – С. 256-264. – DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-4(2)-256-264.
7. Стариков А.И., Губенко А.С., Пермьяков М.А., Соловьев В.М., Цыганова А.А. Некоторые аспекты повышения качества изделий, получаемых методом аддитивных технологий // Архитектура, строительство, транспорт. – 2024. – №3(109). – С. 111-119. – DOI: 10.31660/2782-232X-2024-3-111-119.
8. Малкова А.О. Исследование качества поверхности при получении детали методом аддитивных технологий // Высокие технологии в машиностроении: Материалы XXI всероссийской научно-технической конференции с международным участием, Самара, 10-12 апреля 2024 года. – Самара: Самарский государственный технический университет, 2024. – С. 48-51.
9. Тараховский М.А., Тараховский А.Ю. Определение оптимальной ориентации для повышения точности изготовления валов методом 3D-печати // Современные технологии: проблемы и перспективы: сборник статей всероссийской научно-практической конференции для аспирантов, студентов и молодых учёных, Севастополь, 14-17 апреля 2025 года. – Севастополь: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Севастопольский государственный университет", 2025. – С. 206-211.
10. Чабаненко А.В. Обеспечение качества аддитивного производства посредством моделирования процессов печати // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – №4. – С. 33-39. – DOI: 10.24412/2071-6168-2024-4-33-34.

Сведения об авторах:

Тараховский Алексей Юрьевич – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Цифровое проектирование»;

Ретинский Богдан Александрович – ассистент кафедры «Цифровое проектирование».