

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИЛОВОГО КАРКАСА ДЛЯ FDM-ПЕЧАТИ С УЧЕТОМ ЕГО ВЛИЯНИЯ НА ИЗМЕНЕНИЕ АНИЗОТРОПИИ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛИ

Зоренко Д.А., Дожделев А.М., Туляев И.П.

Тверской государственный технический университет, Тверь, Россия

Ключевые слова: 3D-печать, FDM-технология, аддитивные технологии, структура каркаса, силовой каркас, механические свойства, анизотропия, параметры 3D печати.

Аннотация. Применение аддитивных технологий дает возможность получать готовые изделия цельными, полыми, а также с определенным процентом заполнения. Но помимо веса готового изделия заполнение позволяет существенно изменять и его механические свойства, в частности анизотропию прочностных свойств. В статье рассмотрен вопрос выбора наиболее удачного варианта внутренней структуры детали, изготавливаемой при помощи 3D печати, в зависимости от ее назначения.

ON THE DESIGN FEATURES OF A POWER FRAME FOR FDM- PRINTING, TAKING INTO ACCOUNT ITS INFLUENCE ON THE CHANGE IN ANISOTROPY OF THE PART'S STRENGTH PROPERTIES

Zorenko D.A., Dozhdelev A.M., Tulyayev I.P.

Tver State Technical University, Tver, Russia

Keywords: 3D printing, FDM-technology, additive technologies, frame structure, power frame, mechanical properties, anisotropy, 3D printing parameters.

Abstract. The use of additive technologies makes it possible to obtain finished products that are solid, hollow, and have a certain percentage of filling. However, in addition to the weight of the finished product, the filling can significantly affect its mechanical properties, particularly the anisotropy of its strength properties. The article discusses the choice of the most suitable internal structure for a 3D-printed part, depending on its purpose.

В современном мире 3D-печать по FDM-технологии (метод послойного наплавления) плотно укоренилась в качестве технологии единичного и мелкосерийного производства, а также быстрого прототипирования как в малом бизнесе, так и на больших предприятиях. При помощи данного метода выполняют печать как прототипов, так и готовых функциональных изделий, в том числе и серийно. Одним из основных преимуществ 3D печати по сравнению с литьем термопластов под давлением является то, что она позволяет получать изделия со сложной внутренней геометрией, а также изменять структуру и степень заполнения. При этом степень и вид заполнения существенно влияют на механические свойства напечатанных изделий, в частности на их прочностные свойства [1-3].

С экономической точки зрения регулирование степени заполнения позволяет снизить расход материала и, как следствие, себестоимость изделия. С технологической точки зрения это позволяет снизить массу изделия, а также уменьшить его усадку в процессе производства. В представленной

статье рассмотрены различные виды вариантов внутренней структуры изделия и связанные с этим изменения технологических и механических свойств.

Исходя из функциональных особенностей изготавливаемого изделия, варианты геометрической структуры заполнения можно сгруппировать следующим образом:

- низкая прочность: линии, зигзаги;
- средняя прочность: сетка, треугольники, шестигранник из треугольников;
- высокая прочность и жесткость: куб, четверть куба динамический куб, восьмигранник, гироид;
- высокие упругие свойства: концентрический, крестовой, крестовой 3D.

Для группы изделий, не подвергающихся воздействию статических и динамических нагрузок, используемых в качестве моделей-прототипов, задача которых - визуальная презентация, лучше всего подходят варианты структур, построенных на основе прямых, чаще всего пересекающихся под прямым углом, линий различной степени частоты (рис. 1, а, б, в). Наиболее применимый процент заполнения для таких моделей 7-15%, обеспечивающий достаточную прочность при малом расходе материала, легкости и низкой усадке позволяющей максимально точно передать внешний вид. Геометрические структуры, обеспечивающие среднюю прочность, используют при изготовлении деталей, подверженных незначительной статической рабочей нагрузке. Наиболее подходящие варианты – прямоугольная сетка, треугольники, а также различные многоугольные фигуры (рис. 1, г, д, е). Время печати таких деталей возрастает до 25% в сравнении с вышеописанными. При этом процент заполнения и соответственно расход материала возрастает до 15-20%.

В функциональных, нагруженных 3D моделях реальных деталей механизмов машин, в первую очередь стремятся обеспечить высокую прочность и жесткость. В таких изделиях необходимо стремиться анизотропию механических свойств приблизить к изотропному состоянию. При этом имеются отдельные случаи, при которых наиболее удачным вариантом является ярковыраженная анизотропия в необходимом с функциональной точки зрения направлении. Геометрические структуры, способные в наибольшей степени обеспечить требуемые механические свойства это объемная кубическая, переменная кубическая, восьмигранная и гироидная (рис. 1, ж, з, и). При этом средний процент заполнения $\geq 50\%$. При изготовлении изделий с высокими упругими свойствами используют такие структуры, как крестовая, крестовая 3D и концентрическая (рис. 1, к, л, м).

Помимо различных вариантов заполнения внутреннего объема детали есть ряд технологических приемов, повышающих прочностные характеристики получаемой детали. Изменение направления линий заполнения.

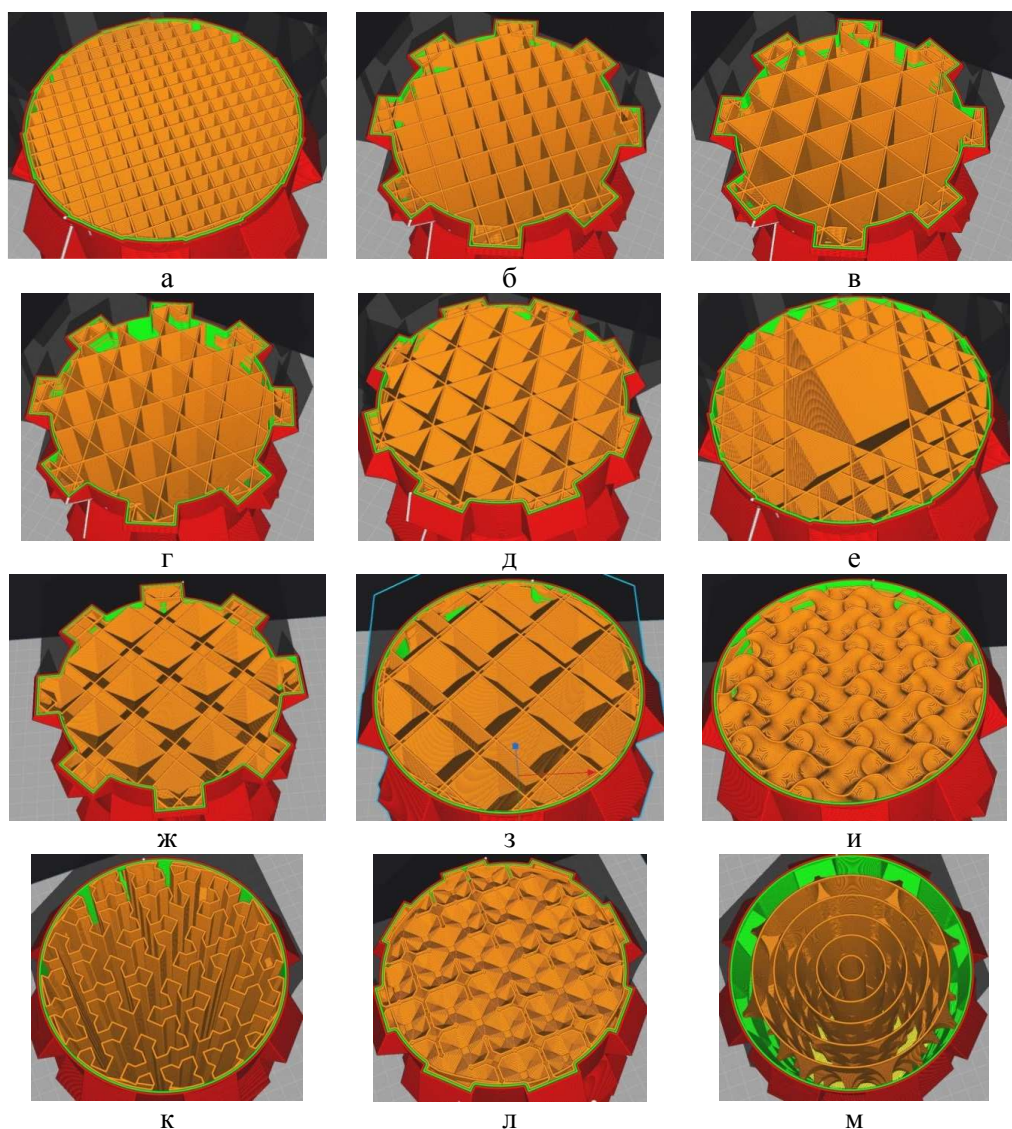


Рис. 1. Примеры шаблонов заполнения: а) линии; б) сетка; в) треугольник; г) шестиугольник и треугольник; д) куб; е) динамический куб; ж) восьмигранник; з) четверть куба; и) гироидное; к) крестовое; л) крестовое 3D; м) концентрические линии [4]

По умолчанию устанавливают значение 45° , что позволяет добиться большей жесткости и прочности детали в результате тангенциального распределения нагрузки по ребрам относительно наружной поверхности. При этом значении оба привода по координатам основной плоскости печати X, Y работают синхронно, что позволяет добиться максимальной скорости заполнения. Однако изменение угла заполнения также может влиять на максимальную прочность и упругость изделия. Подобное влияние оказывают градиентное и постепенное заполнение. Градиентное заполнение подразумевает локальное изменение плотности заполнения внутри детали, в

тех местах, где деталь воспринимает наибольшую нагрузку. Такой метод позволяет экономить материал, при этомкратно повышать прочностные характеристики изделия в наиболее слабых местах. Постепенное заполнение обусловлено изменением процента заполнения по одной из координат (как правило, по оси Z). Кроме этого, эффективным способом повышения прочности является множественная плотность структур. Он позволяет одновременно создавать ряд областей заполнения, имеющих различные структуры с переменным процентом заполнения.

Таким образом, можно сделать вывод о существенном влиянии внутренней структуры детали, не имеющей стопроцентного внутреннего наполнения, получаемой методом FDM-печати на ее механические свойства. А также, изучение и внедрение сложных внутренних геометрических структур, получаемых с помощью аддитивных технологий, позволяют по сравнению с традиционной технологией более рационально использовать дорогостоящие полимерные материалы практически без потери прочностных свойств изделия.

Список литературы

1. Левина Т.А., Кушнир И.С., Глухих Я.М., Клочков А.Я. К вопросу о влиянии параметров процесса на механические свойства 3D-печати FDM: комплексный обзор // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2023. – Т. 15, №3. – С. 123-131. – DOI: 10.36508/RSATU.2023.20.11.002.
2. Балашов А.В., Белоplotов С.В., Малышев С.О. Исследование свойств изделий, полученных 3D-печатью // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2017. – Т. 4, №2. – С. 120-126.
3. Турченко М.В., Гончарова Ю.А., Касимов Р.М. Исследование прочности 3D-печатных изделий при варьировании технологических параметров в процессе печати // Агроинженерия. – 2023. – Т. 25, №2. – С. 46-51. – DOI: 10.26897/2687-1149-2023-2-46-51.
4. Заполнение в 3D печати. Разновидности и какое выбрать? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://3d-diy.ru/blog/zapolnenie-3d-pechat-i-raznovidnosti/>.

References

1. Levina T.A., Kushnir I.S., Glukhikh Ya.M., Klochkov A.Ya. On the Influence of Process Parameters on the Mechanical Properties of 3D FDM Printing: A Comprehensive Review // Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University n.a. P.A. Kostychev. 2023, vol. 15, no. 3, pp. 123-131. DOI: 10.36508/RSATU.2023.20.11.002.
2. Balashov A.V., Beloplotov S.V., Malyshev S.O. Investigation of the properties of products obtained by 3D printing // Actual problems in mechanical engineering. 2017, vol. 4, no. 2, pp. 120-126.
3. Turchenko M.V., Goncharova Yu.A., Kasimov R.M. Investigation of the strength of 3D-printed products with varying technological parameters in the printing process // Agroengineering. 2023, vol. 25, no. 2, pp. 46-51. DOI: 10.26897/2687-1149-2023-2-46-51.

4. Filling in 3D printing. Varieties and which one to choose? [electronic resource]. – Access mode: <https://3d-diy.ru/blog/zapolnenie-3d-pechati-raznovidnosti/>.

Зоренко Дмитрий Анатольевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры ТАМ	Zorenko Dmitry Anatolyevich – candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the department of TAM
Дожделев Алексей Михайлович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры Технология металлов и материаловедение	Dozhdelev Aleksey Mikhailovich – candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the Department metal technology and materials science
Туляев Илья Петрович – аспирант dzorenko@yandex.ru	Tulyaev Ilya Petrovich – postgraduate student

Received 25.06.2025