

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ КОРПУСНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОМПАКТНЫХ РЕДУКТОРОВ

Зоренко Д.А., Фадина Д.С.

Ключевые слова: аддитивные технологии, корпус редуктора, 3D-печать, экструзия, CAD-модели, термопластичные материалы, ABS-пластик, прототипирование.

Аннотация. В статье рассмотрены варианты применения аддитивных технологий для производства корпусных деталей редукторов современных технических устройств. Представлены основные результаты исследования режимов формования и применяемых материалов способных удовлетворять техническим требованиям, предъявляемым к корпусным деталям компактных малонагруженных редукторов.

FEATURES OF THE APPLICATION OF ADDITIVE TECHNOLOGIES IN THE PRODUCTION OF HOUSING ELEMENTS OF COMPACT GEARBOXES

Zorenko D.A., Fadina D.S.

Keywords: additive technologies, gearbox housing, 3D printing, extrusion, CAD models, thermoplastic materials, ABS plastic, prototyping.

Abstract. The article discusses the application of additive technologies for the production of housing parts of gearboxes of modern technical devices. The main results of the study of molding modes and applied materials capable of meeting the technical requirements for the body parts of compact low-load gearboxes are presented.

Целью исследовательской работы, проведенной в Тверском государственном техническом университете, явился поиск возможности применения аддитивных технологий в производстве корпусных элементов компактных редукторов, в условиях мелкосерийного производства способных конкурировать с традиционными машиностроительными технологиями. Поиск наиболее удачного варианта аддитивной технологии стал одной из основных задач. Объектом исследования явились существующие технологии 3D-печати и их основные режимы. Предметом исследования явились организационно-технические и экономические характеристики процесса.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: проведен анализ существующих технологий 3D-печати и используемых при этом материалов; проведено сравнение качества и работоспособности корпуса, полученного аддитивным и традиционным методами; проведено экономическое обоснование внедрения аддитивных технологий в производство компактных корпусов; подобраны режимы, материал, и оборудование, удовлетворяющие условиям изготовления корпусных элементов редукторов; сформулированы рекомендации по производству корпусных элементов компактных редукторов.

Актуальность темы исследования обусловлена потребностью производства в различном специальном инструменте и оснастке,

производство которой характеризуется малыми сериями выпуска. При этом геометрия изделий достаточно сложная и требует затратной, во всех смыслах, подготовки традиционного производства. В описанных условиях экономически целесообразной, а иногда и единственно возможной становится технология 3D-печати деталей из полимерных материалов. Достаточно широкое распространение получают компактные малонагруженные редуктора, основным материалом которых являются полимеры и чаще всего термопластичные пластики. Одним из передовых аддитивных методов изготовления деталей из пластика является 3D-печать. Вместо традиционного метода обработки резанием, где с заготовки удаляется излишний материал, 3D-печать позволяет создавать деталь послойно, без траты лишних ресурсов и без получения отходов.

Детали, полученные методом трёхмерной печати, имеют более высокие эксплуатационные характеристики, чем заводские. Так же, использование современных 3D-принтеров позволяет получать детали сложных форм из материалов, трудно поддающихся обработке таких, как титан, металлокерамика, а также твердые сплавы. В настоящее время в мире насчитывается более 100 официально зарегистрированных методов трехмерной печати, как полимерами, так и металлами [1, 2]. 3D-печать металлами менее распространена в результате существенно более высокой стоимости оборудования. Соответственно это направление не рассматривалось. Из ныне существующих методов в указанной сфере наиболее применим метод FDM-печати. FDM (Fused Deposition Modelling) – технология трехмерной печати, при которой построение объекта идет за счет расплавления нити пластика, которая через экструдер подается на рабочую поверхность. Корпуса, полученные этим методом, имеют наиболее приемлемые механические свойства, точность размеров и качество поверхности и могут применяться в изделиях без существенной механической доработки. Доработки, как правило, требуют лишь посадочные места под подшипники. Чтобы осуществить FDM-печать необходимо иметь 3D-модель нужного изделия в формате STL. Для печати всей модели на принтер сначала передаются данные о форме первого слоя, после чего устройство начинает выдавливать в строго заданных местах расплавленный пластик. Сегодня FDM-технология может обеспечить толщину слоя в 0,02-0,05 мм. После нанесения пластика экструдер отдалается от модели на эту толщину и весь процесс повторяется. [5, 6] Анализ материалов показал, что наиболее удачным с технологической точки зрения является ABS-пластик (акрилонитрилбутадиенстирол), позволяющий получать тонкие слои и соответственно наилучшую сплошность материала, качество поверхности и точность размеров, тем самым и эксплуатационные характеристики корпуса получаются наилучшими. Это самый популярный и один из лучших расходных материалов для 3D-печати. ABS не имеет запаха, не токсичен, ударопрочен и эластичен. Температура плавления составляет от 240°C до 248°C. 3D-модели, сделанные из ABS-пластика, долговечные и прочные [4,6].

Ассортимент цветов очень большой, позволяет воплотить любое цветовое решение, но с помощью этого материала невозможно получить прозрачные модели, так как прозрачного ABS-пластика не существует, что для данной задачи не критично.

Пластик ABS для 3Д-принтера обладает высокой механической прочностью, стойкостью к влаге, инертностью по отношению к кислотам и маслам, что позволяет использовать в изготавливаемых редукторах смазочные материалы, лёгкость обработки, высокие показатели теплоёмкости, способность работать в температурном диапазоне от -40°C до $+80^{\circ}\text{C}$. Для достижения наилучшего результата печати очень важно выбрать оптимальные параметры. Причём многое будет зависеть от возможностей и типа 3Д-принтера. Выбор касается таких характеристик, как температура плавления, скорость печати, толщина слоя, температура стола (если имеется функция его подогрева). Показатели подбирались опытным путём, то есть печатью ряда черновых вариантов, и внося при необходимости изменения. Результат печати представлен на рисунке 1. Наиболее удачной температурой экструзии явилась температура в 250° , толщина слоя $0,03\text{мм}$, коэффициент подачи пластика $0,85$, скорость печати 40мм/с . Поскольку для ABS-пластика характерны проблемы с адгезией к рабочей платформе принтера, то последняя должен быть обязательно оснащена подогревом.



Рис. 1. Корпус, выполненный с помощью 3d-печати (материал - ABS-пластик)

Таким образом, исходя из полученных результатов применение аддитивных технологий обеспечивает сокращение длительности технологической подготовки производства. Позволяет сократить трудоемкость изготовления подобных компактных корпусных деталей в условиях мелкосерийного производства почти в 6 раз с учетом отсутствия необходимости изготавливать дополнительную технологическую оснастку и

закупать специальный режущий инструмент. Кроме этого, 3D-печать в данном случае позволяет получать тонкостенные корпуса с толщиной стенок менее 2мм с большим количеством ребер жесткости. Применение ABS-пластика в качестве основного конструкционного материала позволяет получить хорошее сочетание прочности и упругости в широком диапазоне температур. Изделия, полученные с помощью описанной технологии, хорошо поддаются механической доработке и могут быть рассчитаны на долгий срок эксплуатации. ABS-пластик подходит для мелкосерийной печати корпусов и является более практичным по сравнению с остальными пластиками данного технологического назначения.

Аддитивные технологии постоянно развиваются, появляются новые методы воспроизводства объектов, а также дорабатываются уже имеющиеся методы с целью увеличения скорости печати, качества и энергоэффективности. Применение 3D-печати для производства корпусов компактных редукторов возможно в единичном мелкосерийном, а иногда и в среднесерийном производстве. Кроме рассмотренных элементов, представленная технология может найти применение в производстве малогабаритных деталей в различных отраслях промышленности. Таким образом, 3D-печать в условиях современного машиностроения, на ряду с недостатками, имеет массу преимуществ перед традиционными методами изготовления деталей, обеспечивая данной технологии дальнейшее широкое применение.

Список литературы

1. Кулик В.И. Аддитивные технологии в производстве изделий авиационной и ракетно-космической техники: учебное пособие / В.И. Кулик, А.С. Нилов. – СПб: БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова, 2018. – 160 с.
2. Должиков В.П. Технологии наукоемких машиностроительных производств: учебное пособие. – 2-е изд., стер. – СПб: Лань, 2021. – 304 с.
3. Звонцов И.Ф. Разработка технологических процессов изготовления деталей общего и специального машиностроения: учебное пособие / И.Ф. Звонцов, К.М. Иванов, П.П. Серебренецкий. – 2-е изд., стер. – СПб: Лань, 2019. – 696 с.
4. Преображенский А.П. О научных подходах при использовании аддитивных технологий / А.П. Преображенский, Н.М. Токарева // Вестник воронежского института высоких технологий. – 2018. – №3(26). – С. 22-24.
5. Аддитивные технологии в машиностроении: транспортная область [Электронный ресурс] – <https://3d-expo.ru/ru/article/additivnie-tehnologii-v-mashinostroenii-transportnaya-otrasl-75782>.
6. Дресвянников В.А. Классификация аддитивных технологий и анализ направлений их экономического использования / В.А. Дресвянников, Е. П. Страхов // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2018. – № 2 (26). – С. 16-28.

References

1. Kulik V.I. Additive technologies in the production of aviation and rocket and space technology products: a textbook / V.I. Kulik, A.S. Nilov. – St. Petersburg: D.F. Ustinov BSTU "Voenmeh", 2018. – 160 p.
2. Dolzhikov V.P. Technologies of high-tech machine-building industries: a textbook. – 2nd ed., erased. – St. Petersburg: Lan, 2021. – 304 p.
3. Zvontsov I. F. Development of technological processes for manufacturing parts of general and special engineering: a textbook / I.F. Zvontsov, K.M. Ivanov, P.P. Serebrenitsky. – 2nd ed., ster. – Saint Petersburg: Lan, 2019, 696 p.
4. On scientific approaches to the use of additive technologies / A.P. Preobrazhensky, N.M. Tokareva // Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies. – 2018. – №3(26). – P. 22-24.
5. Additive technologies in mechanical engineering: transport area [Electronic resource] – <https://3d-expo.ru/ru/article/additivnie-tehnologii-v-mashinostroenii-transportnaya-otrasl-75782>
6. Dresvyannikov V. A. Classification of additive technologies and analysis of the directions of their economic use / V.A. Dresvyannikov, E.P. Strakhov // Models, systems, networks in economics, technology, nature and society. – 2018. – No 2 (26). – С. 16-28.

Зоренко Дмитрий Анатольевич – кандидат технических наук, доцент, dzorenko@yandex.ru	Zorenko Dmitry Anatolievich – candidate of technical sciences, associate professor, dzorenko@yandex.ru
Фадина Дарья Сергеевна – магистрант, dasha_ch95@mail.ru	Fadina Darya Sergeevna – master's student, dasha_ch95@mail.ru
Тверской государственный технический университет, Тверь, Россия	Tver State Technical University, Tver, Russia

Received 19.12.2021