

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА КОНСТРУКЦИЙ С ЗАДАНЫМИ ПРОЧНОСТНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

*Шавров Егор Дмитриевич (staff@vniief.ru), Лимин Дмитрий Павлович,
Полянцев Дмитрий Владимирович, Корепанов Андрей Васильевич,
Сергеев Дмитрий Викторович, Царев Михаил Анатольевич*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

В статье рассматривается топологическая оптимизация и аддитивный метод производства деталей на примере изделия «Кронштейн». Использование современных методов проектирования и производства позволило не учитывать ограничения, наложенные классическими методами. Также это помогло ускорить время производства детали и снизить ее вес, при этом соблюдая требования структурной целостности и прочности. На основе проведенной работы был сделан вывод, что аддитивные технологии являются эффективными, но при этом требуют особого подхода в проектировании, а также дальнейшего развития.

Ключевые слова: аддитивные технологии, 3D-печать, топологическая оптимизация, PETG пластик.

MODERN METHODS OF DESIGN AND PRODUCTION OF STRUCTURES WITH SPECIFIED STRENGTH CHARACTERISTICS

*Shavrov Egor Dmitrievich (staff@vniief.ru), Limin Dmitry Pavlovich,
Polyantsev Dmitry Vladimirovich, Korepanov Andrey Vasilievich,
Sergeev Dmitry Viktorovich, Tsarev Mikhail Anatolievich*

FSUE «RFNC-VNIIEF», Sarov Nizhny Novgorod region

The article discusses topological optimization and an additive method for the production of parts on the example of the "Bracket" product. The use of modern design and production methods made it possible to disregard the limitations imposed by classical methods. It also helped to speed up the part's production time and reduce its weight, while respecting structural integrity and strength requirements. Based on the work carried out, it was concluded that additive technologies are effective, but at the same time they require a special approach in design, as well as further development.

Key words: additive technologies, 3d printing, topological optimization, PETG plastic.

Введение

Развитие технологий приводит к появлению различных методов проектирования и производства изделий. В наше время, помимо субтрактивного метода, активно развивается 3D-печать, а также аддитивное производство [1–4]. Субтрактивный метод – это процесс, в котором различные трехмерные объекты создаются путем резки материалов с помощью классического процесса обработки, например, свер-

лением или фрезерованием. Такой метод называют традиционным производством, и он используется, например, при обработке с использованием станков с ЧПУ. Альтернативой является аддитивный метод. Так называется технология, которая применяется при создании трехмерных объектов путем послойного добавления материала. При таком методе производства сложная геометрия деталей достигается созданием и последующим удалением вспомогательных опор. Эта технология позволяет быстро и точно соз-

дать прототип объекта, что, в свою очередь, ускоряет и удешевляет дальнейший производственный процесс. Существуют семь различных технологий аддитивного метода производства:

- послойное построение объекта расплавленной пластиковой нитью (FDM);
- селективное лазерное сплавление металлических порошков (SLM);
- селективное лазерное спекание полимерных порошков (SLS);
- отверждение жидкого фотополимерного материала под действием лазера (SLA);
- многоструйное моделирование фотополимерным или восковым материалом (MJM);
- отверждение жидкого фотополимера под действием ультрафиолетового излучения (PolyJet);
- послойное распределение клеящего вещества по порошковому гипсовому материалу (CJP).

Главной особенностью аддитивного производства является возможность создания объектов со сложной геометрией.

Проектирование для аддитивного производства

Для изделий, разрабатываемых в сфере специального назначения, особенно важными являются массогабаритные характеристики. При проектировании деталей для субтрактивного производства необходимо учитывать ограничения, наложенные данным методом. Существующие ограничения можно преодолеть использованием сочетания аддитивных технологий и специального проектирования деталей с полыми участками, что позволит значительно уменьшить вес, а также реализовать сверхсложные формы геометрии объектов, и при этом соблюсти (или даже повысить) все требования структурной целостности и прочности конструкции.

Для создания сложной геометрии детали требуется альтернативный подход. С помощью современного программного обеспечения можно задавать расположение опор и распределение нагрузок по материалу для обеспечения оптимальной формы объекта. Также, данный алгоритм позволяет импортировать CAD геометрию и выполнять проверочные расчеты оптимизированной конструкции. Таким образом, повышается точность пространственного моделирования деталей, предназначенных для аддитивного метода производства. Данный процесс называется топологической оптимизацией.

Стандартный процесс топологической оптимизации состоит из нескольких шагов:

- создание конечно-элементной модели;
- формулирование задачи оптимизации;
- оптимизация;
- корректировка и сглаживание конечно-элементной сетки;
- создание геометрии;
- верификация.

Современное программное обеспечение позволяет почти полностью автоматизировать оптимизацию конструкции, что ускоряет процесс создания конечной модели для печати.

Создание, оптимизация и печать изделия «Кронштейн»

В качестве объекта исследования, в САПР Компас-3D была разработана модель кронштейна, способная гарантированно выдержать 12 кг. Конструкция создана таким образом, чтобы ее можно было изготовить субтрактивным методом производства. Модель представлена на рис. 1. Если деталь изготавливать аддитивным методом из PETG пластика, то вес конструкции с внутренним заполнением 20 % и толщиной внешней стенки 0.8 мм составит 39 гр.

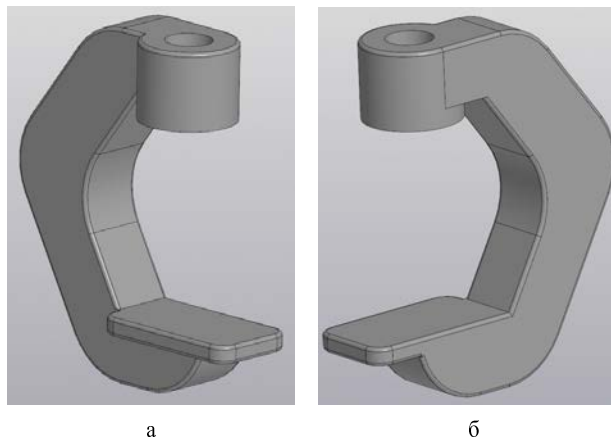


Рис. 1. 3D модель детали «Кронштейн», а – вид слева, б – вид справа

Следующим шагом является оптимизация конструкции кронштейна для аддитивного метода производства. Основная цель – уменьшение веса конструкции без потери прочности. Результат оптимизации представлен на рис. 2.

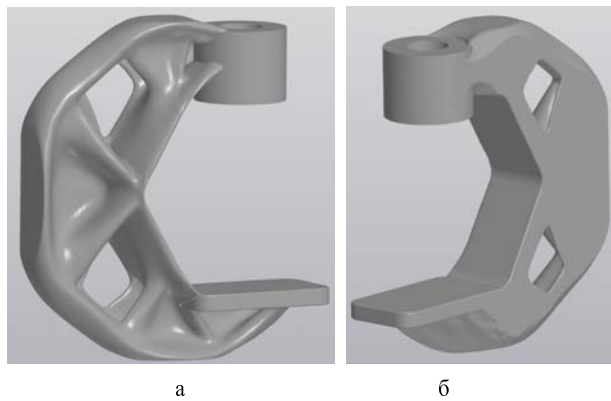


Рис. 2. оптимизированная 3D модель детали «Кронштейн», а – вид слева, б – вид справа

Кронштейн будет изготавливаться аддитивным методом из PETG пластика, с внутренним заполнением 20 % (рис. 3). Для оптимизации процесса изго-

товления, одна сторона сделана плоской. Это поможет избежать создания большого количества опор, что значительно уменьшит время изготовления и расход материала.

Процесс печати занял примерно 10 часов. Результаты представлены на рис. 4 и 5.



Рис. 3. Внутреннее заполнение

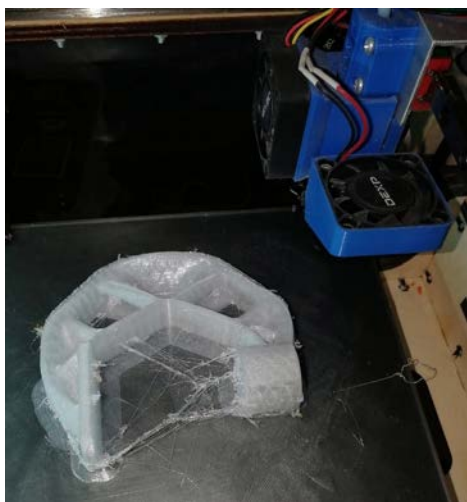


Рис. 4. Модель после печати



Рис. 5. Обработанная модель

Вес детали составляет 31 гр, что на 20 % меньше, чем у исходного варианта конструкции. При своем весе, полученный кронштейн способен выдержать вес более 16 кг. Это позволяет сделать вывод, что было успешно достигнуто снижение массы детали без потери структурной целостности, а также что конструкция обладает запасом прочности.

Выводы

Аддитивный метод производства позволяет изготавливать детали со сложной геометрией, но при этом требует особого подхода к проектированию. В данной работе, на примере кронштейна из PETG пластика, наглядно показано, что такой подход к разработке и созданию конструкций является эффективным, и требует дальнейшего развития. Изготовленная по современным методам деталь соответствует заданным требованиям, имеет запас прочности, не уступающий исходной конструкции, а также на 20 % легче начального варианта.

В процессе работы также был выявлен существенный недостаток аддитивного метода производства: присутствует расход материала на создание опор, необходимых для качественной печати. Количество таких опор напрямую связано со сложностью разработанной детали, т. е. чем сложнее конструкция, тем больше ей потребуется поддержек. Также недостатком является финальная обработка детали: необходимо убрать созданные опоры. В зависимости от сложности изделия, они могут находиться в труднодоступных местах, что негативно скажется на скорости массового производства, но, так как приборы специального назначения заказываются малыми партиями, применение аддитивных технологий в этой области является перспективным направлением для исследования и развития.

Список литературы

1. Черепанов И. Е., Вовк Н. Н., Лучкин Д. А., и др. Бионический дизайн (топологическая оптимизация) корпусных деталей электронных приборов / 16-я научно-техническая конференция «Молодежь в науке» // Сборник докладов. Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2018. Т. 2. С. 279–281;
2. Shishkovsky I. V. Additive Manufacturing of High-performance Metals and Alloys. Modelling and Optimization. London: InTech, 2018.
3. Слюсар С. Д. Аддитивные технологии // Конструктор 2016. № 8. С. 102–105.
4. Steinbuch Rolf Bionic Optimization in Structural Design. Berlin: Springer, 2016.