

ПОРОЖДАЮЩЕЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ – ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЦИФРОВОГО ПРОТОТИПА ИЗДЕЛИЯ

Л.Н. Дейнеко, Н.Ф. Тертышная, А.В. Трубин

Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное», ул. Криворожская, 3, г. Днепр, 49008, Украина, e-mail: info@yuzhnoye.com

Розглянуто задачу мінімізації маси 3D-моделі деталі, яка входить до конструкції бака ракети-носія, з використанням технології генеративного проектування. Представлено інструменти і методологію генеративного проектування, з використанням програмного продукту Autodesk Inventor Professional. Проведено аналіз технологій виготовлення деталей, спроектованих по технології генеративного проектування.

Ключові слова: цифровий прототип вибору, генеративне проектування, субтрактивні технології, адитивні технології, CAD, CAE, ракета-носії, кронштейн, генератор форм, 3D-принтер, 3D-друк.

The problem of 3D-model weight optimization, which is used in a carrier rocket tank design, with use of technology of the generating design is considered. Tools and methodology of the generating design, with use of the Autodesk Inventor Professional software product are presented. The analysis of manufacturing techniques of the optimized details with technology of the generating design is carried out.

Keywords: digital prototype product, generate design, subtractive technology, additive technology, CAD, CAE, carrier rocket, corbel, shape generator, 3D-printer, 3D-printing.

Рассмотрена задача минимизации массы 3D-модели детали, которая используется в конструкции бака ракеты-носителя, с применением технологии порождающего проектирования. Представлены инструменты и методология порождающего проектирования, с использованием программного продукта Autodesk Inventor Professional. Проведен анализ технологий изготовления оптимизированных деталей по технологии порождающего проектирования.

Ключевые слова: цифровой прототип изделия, порождающее проектирование, субтрактивные технологии, аддитивные технологии, CAD, CAE, ракета-носитель, кронштейн, генератор форм, 3D-принтер, 3D-печать.

Введение. Требования, которые постоянно возрастают к массово-энергетическим характеристикам, вызывают необходимость поиска новых, нетрадиционных решений, чтобы обеспечить минимальную массу конструкции изделия [1].

При разработке изделий актуальными вопросами всегда являются улучшение способов проектирования и конструирования деталей, а также их оптимизация, с целью создания оптимальных конструкций с наилучшим соотношением веса, прочности и стоимости. Для РН важным параметром является вес. В связи с этим очень остро стоит вопрос оптимального проектирования, одним из вариантов которого является технология порождающего проектирования. Порождающее проектирование – общее понятие, которое описывает новые возможности систем автоматизированного проектирования. Преимуществом данной

© Дейнеко Л.Н., Тертышная Н.Ф., Трубин А.В. 2018

технологии является интеграция CAD/CAE программ, объединение знаний из разных областей, уменьшение материала без потери прочностных свойств, оптимизация стоимости за счет сокращения количества материала и пр.

Технология порождающего проектирования интегрирована в большинство современных программных продуктов: Autodesk Inventor Professional, Autodesk Within, ANSYS Topology Optimization и др.

Цель и задача. Целью данной работы является оптимизация массы 3D-модели детали, которая используется в конструкции бака РН, с применением технологии порождающего проектирования. Задачей является провести оптимизация детали для снижения веса. Изменение традиционной технологии изготовления изделий с помощью аддитивного производства для изготовления оптимизированных моделей по технологии порождающего проектирования.

Оптимизация выполнялась на примере кронштейна. Кронштейн является компонентом крепежного узла

конструкции бака РН, предназначенного для крепления тоннельного трубопровода.

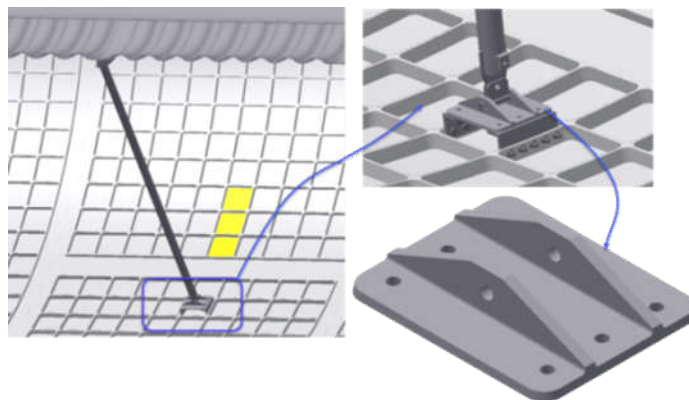


Рис. 1. 3D-модель детали кронштейна

Способ решения. Для решения задачи оптимизации кронштейна с помощью технологии порождающего проектирования был выбран специализированный модуль, программного продукта Autodesk Inventor Professional, генератор форм — инструмент, позволяющий разрабатывать облегченные детали при обеспечении максимальной жесткости детали с учетом заданных зависимостей [2]. Для решения

задачи оптимизации используется 3D-модель кронштейна и расчет с использованием метода конечно-элементного анализа.

Результаты. В результате исследования вес алюминиевого кронштейна был оптимизирован на 30 % от начального веса (0,227 кг). Вес оптимизированной детали составил 0,159 кг.

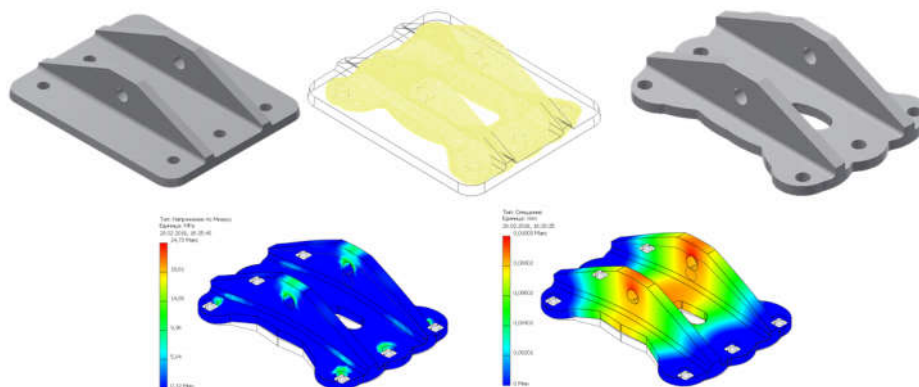


Рис. 2. Этапы оптимизации кронштейна

Без учета изменения технологии производства данная оптимизация может считаться успешной. Результатом применения технологии порождающего проектирования являются модели с более сложной конфигурацией, что может привести к усложнению техпроцесса изготовления данной детали. Альтернативой является применение аддитивных технологий, которые позволяют изготавливать гораздо более

сложную геометрию изделий. При этом трехмерная печать может работать с широким выбором порошкообразных материалов, состоящих из нескольких компонентов, предназначенных только для процессов аддитивного производства.

Для демонстрации полученной формы был изготовлен макет оптимизированной детали с помощью 3D-принтера. Для печати был использован материал ABS.

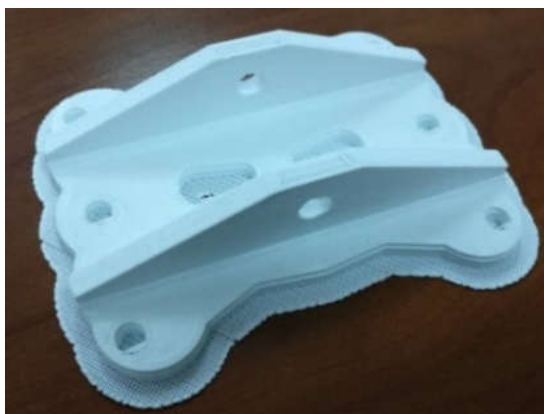


Рис. 3. Макет кронштейна, напечатанный из материала ABS

Способ изготовления. Изменение технологии изготовления с помощью 3D-печати на промышленных 3D-принтерах (металл), требует помимо применения технологии порождающего проектирования, внести изменения в процесс проектирования 3D-моделей, с учетом расширения базы материалов, используемых при аддитивных технологиях.

В базу материалов предприятия был добавлен материал Inconel625. Это многокомпонентный порошкообразный материал, который используется на предприятии в случае использования технологий аддитивного производства. По

данным каталогов производителей материалов, в Autodesk Inventor Professional создан новый материал по физическим свойствам данного материала. Отличительной особенностью данного материала является высокая плотность, повышенная прочность, что позволяет значительно изменить конфигурацию оптимизируемой детали.

В исходной модели кронштейна материал алюминий заменен на Inconel625. С учетом плотности материала, вес 3D-модели изменился и составил 0,712 кг. Для данной модели выполнен повторный анализ с учетом изменения материала.

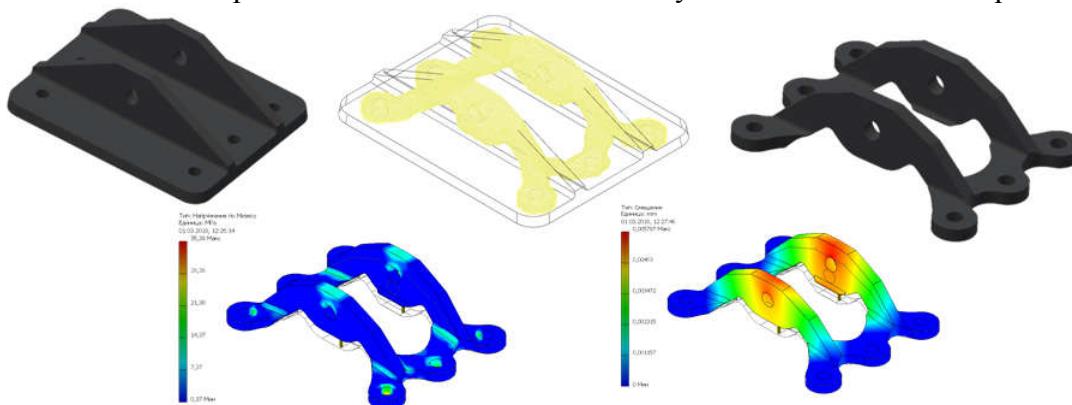


Рис. 4. Повторная оптимизация кронштейна при изменении материала

В результате повторной оптимизации деталь была оптимизирована на 70 % от начального веса. Вес детали из материала Inconel625 составил 0,230 кг.

Технологическая подготовка производства при печати на 3D-принтере имеет свои особенности. 3D-модель является одной из составляющих данного процесса. Для создания готового изделия необходимо выполнить проверку модели. Подготовка 3D-модели включает

определение и создание поддерживающих поверхностей для тех моделей, которые содержат отверстия и нависающие элементы, и мест крепления деталей на плите 3D-принтера. Также необходимо специализированное программное обеспечение для создания оптимальной траектории печати, позволяющей снизить остаточные напряжения, возникающие в процессе печати. В результате 3D-печати мы получаем заготовку, которая

подвергается доработке с помощью субтрактивных технологий.



Демонстрация напечатанной заготовки детали кронштейна приведена ниже.

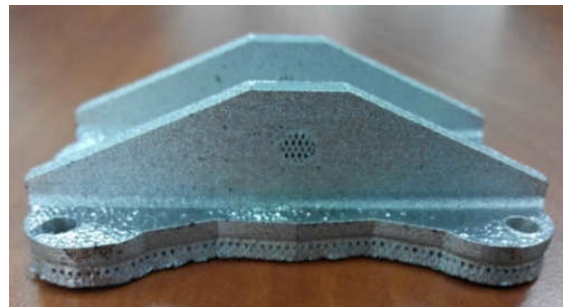


Рис. 5. Заготовка кронштейна, напечатанная из материала Inconel625

Суппорта сохранены для демонстрации технологии печати на 3D-принтере. В дальнейшем заготовка подвергается доработке для удаления поддерживающих суппортов в местах крепления детали на плите 3D-принтера – основание детали. По технологии печати, в вертикальных отверстиях также создаются суппорта. Для их удаления используются металлообрабатывающие технологии.

Выводы. Технология порождающего проектирования может быть применена к деталям основной конструкции, компонентам узлов и систем изделия, крепежным элементам и др. Высокая стоимость изготовления деталей с помощью 3D-принтера связана с новизной использования технологий аддитивного производства. Данная технология интенсивно развивается и вполне ожидаемой является тенденция к снижению стоимости материалов.

В настоящее время аддитивное производство применяется для изготовления сложных деталей, которые не могут быть изготовлены с помощью субтрактивных технологий. Использование аддитивных технологий позволяет создавать заготовки практически любой геометрии и это преимущество в комбинации с порождающим проектированием позволяет достигнуть снижения веса, что является значимым параметром для ракетостроительной отрасли. Серийное производство с использованием 3D-принтеров может стать достойной альтернативой станкам с ЧПУ,

когда материалы станут более доступными по цене.

Несмотря на дорогостоящее изготовление изделий с помощью аддитивных технологий, применение технологии порождающего проектирования и процессов аддитивного производства становится перспективным направлением в промышленных компаниях всего мира. Освоение технологии порождающего проектирования требует высокой квалификации специалистов. Необходимо проводить обучение технологии порождающего проектирования и процессов аддитивного производства.

Библиографические ссылки

1. Блізниченко В.В., Джур Є.О., Краснікова Р.Д., Кучма Л.Д., Линник А.К., Макарова А.С., Майданюк Д.М., Шевцов В.Ю. Проектування і конструкція ракетносіів: підручник; за ред. акад. С.М. Конюхова. Дніпро : Вид-во ДНУ, 2007. 504 с.

2. Дейнеко Л.Н., Тертышная Н.Ф., Трубин А.В. Порождающее проектирование – инновационный подход к проектированию цифрового прототипа изделия. *Материалы XX Международной молодежной научно-практической конференции «Человек и Космос»* (11 апр. – 13 апр. 2018 г.). Днепр : Национальный центр аэрокосмического образования молодежи им. Макарова [и др.], 2018.

3. Электронная справка в Autodesk Inventor Professional.

Надійшла до редколегії 29.06.2018 р.