
УДК 004.9

**ПОРОЖДАЮЩЕЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ – ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К
ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЦИФРОВОГО ПРОТОТИПА ИЗДЕЛИЯ**

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

Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное», г. Днепр, Украина

Аннотация: Рассмотрена задача оптимизации массы 3D-модели детали и сборочного узла, которые используются в конструкции бака ракеты-носителя (РН), 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: ракета-носитель, методология порождающего проектирования,

Внедрение принципов новой концепции промышленности – Industry 4.0 при проектировании и производстве изделий позволяет получать ряд преимуществ, недоступных в традиционных методах. Актуальными вопросами, при разработке изделий, всегда являются улучшение способов проектирования и конструирования деталей, а также их оптимизация, с целью создания оптимальных конструкций с наилучшим соотношением веса, прочности и стоимости. Немаловажным вопросом, также является выбор эффективного способа изготовления деталей, который позволяет учитывать все нюансы проектирования, конструирования и технологии изготовления. Для РН важным параметром является вес. На сегодняшний день очень остро стоит вопрос оптимального проектирования, одним из вариантов которого является технология порождающего проектирования – общее понятие, которое описывает новые возможности инструментов автоматизированного проектирования. Технология порождающего проектирования интегрирована в ряд 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 и сборочного узла, которые используются в конструкции бака РН, с применением технологии порождающего проектирования.

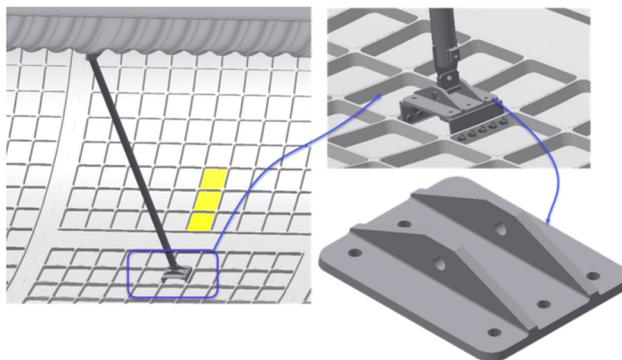


Рис.1. Исходная форма изделия

Задачей является провести оптимизацию изделий с целью снижения веса и изменения традиционной технологии изготовления изделий с помощью аддитивного производства для изготовления оптимизированных моделей по технологии порождающего проектирования.

Оптимизация выполнялась на примере детали кронштейна и сборочного изделия – крепежного узла конструкции бака РН, предназначенного для крепления тоннельного трубопровода (Рис.1).

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.

Алгоритм технологии генератора форм следующий:

1. Выбрать модель детали для анализа.
2. Выбрать материал для изделия, из которого оно будет изготовлено.
3. Применить зависимости и нагрузки, которые деталь будет испытывать при его эксплуатации.
4. Указать области, которые не должны изменяться в процессе создания формы.
5. Задать параметры сетки и критерии для поиска оптимальной формы детали.

Выполнить исследование. Результатом является сеточная модель формы, соответствующая заданным граничным условиям и критериям.

6. Преобразовать форму в деталь. С помощью стандартных инструментов редактирования детали Autodesk Inventor Professional спроектировать окончательный вид детали.

7. Провести проверочный расчет.

Полученные результаты. В результате исследования вес алюминиевого кронштейна был оптимизирован на 30% от начального веса (0,227 кг) (Рис. 2). Вес оптимизированной детали составил 0,159 кг.

Без учета изменения технологии производства данная оптимизация может считаться успешной. Результатом применения технологии порождающего проектирования являются модели с более сложной конфигурацией и их изготовление оправдано с применением аддитивных технологий, позволяющие изготавливать гораздо более сложные геометрии изделий. При этом трехмерная печать может работать не только с алюминием, а и с пластиком

(для создания макетных образцов), и с сыпучими порошкообразными материалами, состоящими из нескольких компонентов, предназначенными только для процессов аддитивного производства.

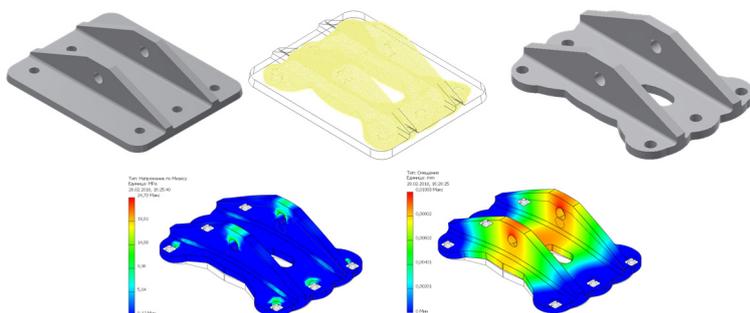


Рис.2-Этапы оптимизации кронштейна из материала Алюминий-6061

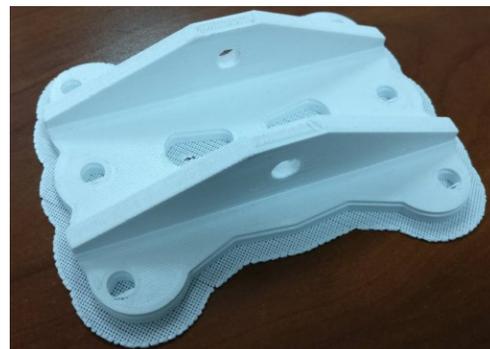


Рис.3-Макет кронштейна напечатанного из материала ABS

Для демонстрации полученной формы был изготовлен макет оптимизированной детали с помощью 3D принтера (материал ABS) (рис.3). После печати образец подвергается доработке для удаления вспомогательных элементов (подложки, суппорта).

Способ изготовления. Изменение технологии изготовления с помощью 3D печати на промышленных 3D принтерах (металл) вносит изменения в процесс проектирования 3D моделей, расширяет базы материалов, которые используются при аддитивных технологиях.

В базу материалов предприятия был добавлен материал Inconel625 –многокомпонентный порошкообразный материал, отличительной особенностью которого является высокая плотность, повышенная прочность, что позволяет значительно изменить конфигурацию оптимизируемой детали. По данным каталогов производителей материалов в Autodesk Inventor Professional создан новый материал по физическим свойствам данного материала. 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).

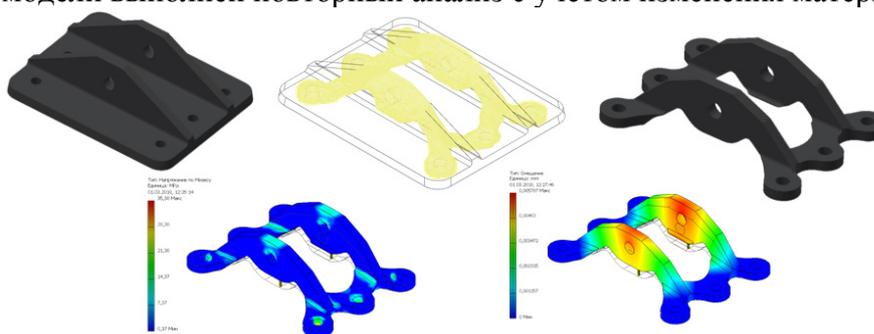


Рис.4-Повторная оптимизация с материалом Inconel625

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 (суппортов) 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).



Рис.5 Заготовка кронштейна напечатанного из материала Inconel625

Суппорта сохранены для демонстрации технологии печати на 3D принтере. В дальнейшем заготовка подвергается доработке для удаления поддерживающих суппортов.

Оптимизация сборки. Преимуществом совместного использования технологии порождающего проектирования и процессов аддитивного производства является возможность оптимизации сборки с целью создания единой детали для сокращения количества сборочных единиц.

Демонстрация оптимизации сборочного изделия с использованием технологии генератора форм представлена на примере крепежного узла, в состав которого входит деталь рассмотренного выше кронштейна в сборке с двумя угловыми кронштейнами, предназначенными для крепления сборочной конструкции к обечайки бака РН.

Возможности модуля Генератора форм не поддерживают оптимизацию сборок. Для решения поставленной задачи была доработана модель кронштейна, в частности создания угловых элементов с сохранением габаритных параметров. В результате доработки сборочного изделия с целью создания единой детали вес доработанного изделия уменьшился на 12% от начального веса (1,220 кг). Для анализа Генератора форм использовался материал – Inconel625. Оптимизация проводилась с аналогичными граничными условиями, которые использовались при анализе детали кронштейна с изменёнными точками контакта (рис.6).

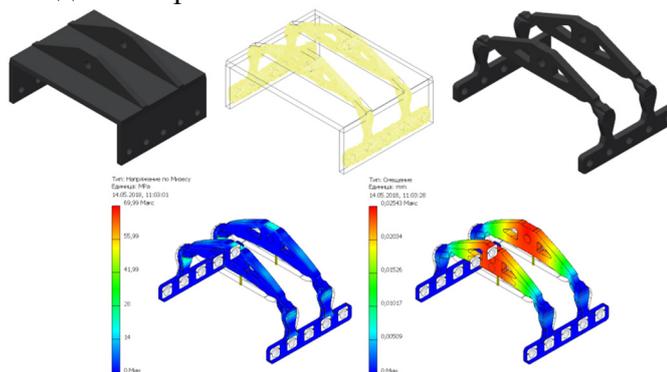


Рис.6. Оптимизация сборочного изделия

В результате исследования вес сборочного кронштейна был оптимизирован на 72% от начального веса (1,07 кг). Вес оптимизированной детали из материала Inconel625 составил 0,339 кг.

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.

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 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 является перспективным направлением в промышленных компаниях всего мира, и в ГП «КБ «Южное».

Список литературы

1. *Л.Н. Дейнеко*, А.В. Трубин, Н.Ф. Тертышная «Порождающее проектирование – инновационный подход к проектированию и дизайну цифрового прототипа изделия», XX Международная молодежная научно-практическая конференция «Человек и космос»
 2. *Л.Н. Дейнеко*, А.В. Трубин, Н.Ф. Тертышная «Порождающее проектирование – инновационный подход к проектированию цифрового прототипа изделия», Научный журнал «Вестник ДНУ им. О. Гончара»
 3. *Лидия Дейнеко*, Наталья Тертышная, Павел Плащевский, Журнал CAD/CAM/CAE Observer «Порождающее проектирование – инновационный подход к созданию цифрового макета изделия»
-