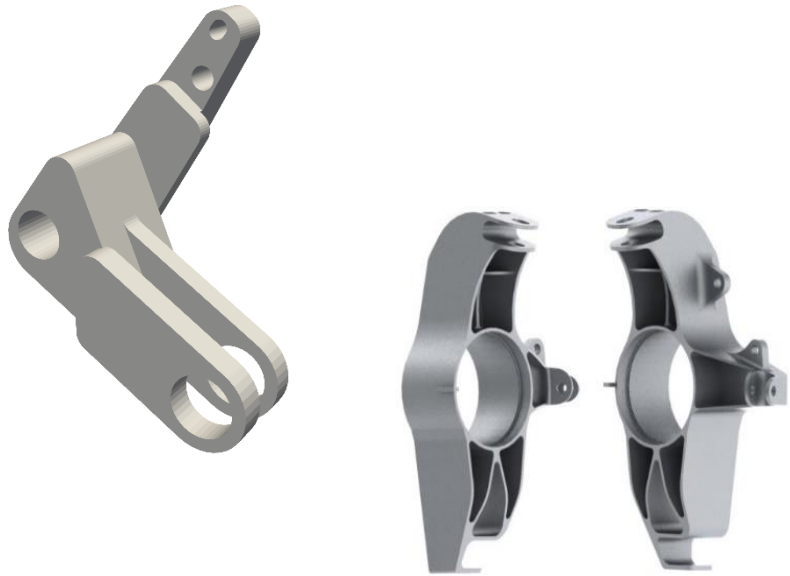


**Проектирование и топологическая оптимизация
деталей для аддитивного производства.
Компьютерное моделирование процессов 3D-печати
на основе решений корпорации MSC Software.**

Эдуард Юрьевич Князев
*Руководитель технического отдела
MSC Software RUS, Москва*

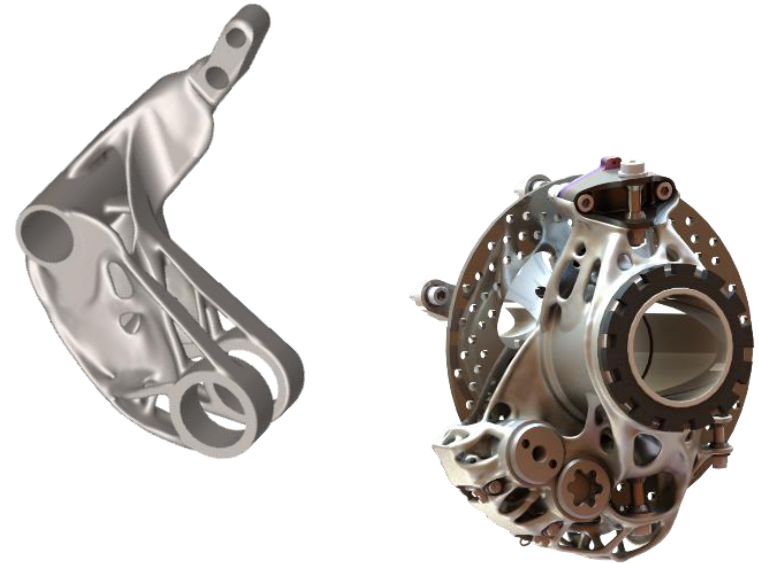
Проектирование изделий: существующее положение и будущее

Существующее положение



- Конструкции массивны и имеют простую геометрию
- Ограничения при проектировании:
 - программное обеспечение (CAD & CAE)
 - ручная оптимизация конструкции
 - технологии изготовления
- Большое количество отходов материала при изготовлении деталей

Будущее



- Легкие конструкции для экономии материала при изготовлении и повышении эффективности при эксплуатации
- Аддитивные технологии способны производить конструкции сложной формы без дополнительных затрат
- Получение конструкций со сложной формой требуют применение специального программного обеспечения

Сложно ли создавать облегченные конструкции?

Использование существующего ПО

- Топологическая оптимизация – эффективный метод получения облегченных конструкций
- Особенности использования топологической оптимизации:
 - проектирование включает несколько этапов;
 - длительный и сложный процесс;
 - часто требуются экспертные знания и применение специального ПО для отдельных этапов проектирования;
 - ограниченные возможности многих CAD систем по проектированию конструкций сложной формы (конструкций для аддитивных технологий);

Топологическая оптимизация



Использование AMENDATE :

- Полностью автоматизированный процесс: от исходной CAD-модели до оптимизированной CAD-модели
- Супер быстрый и эффективный
- Простой рабочий процесс проектирования
- Удобный и понятный интерфейс
- Идеально сглаженная геометрия после оптимизации
- Готовые к применению результаты

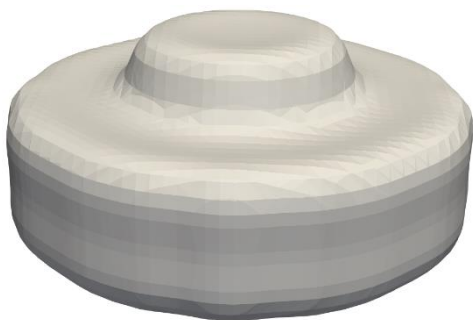
AMENDATE - когда время имеет значение!

Что делает AMENDATE ?



Исходная
(перетяжеленная)
конструкция

Облегченная
конструкция



Старт оптимизации

Визуализация формы в
процессе оптимизации

Готовая к 3D печати
окончательная конструкция

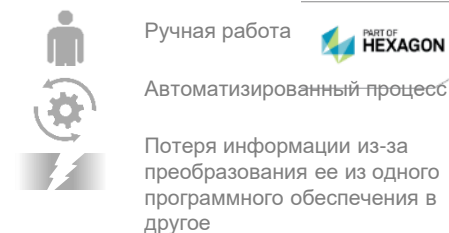
3 минуты после начала
оптимизации*

36 минут после начала
оптимизации*

* стандартная рабочая станция с
Nvidia Quadro P5000 GPU

AMENDATE
INNOVATIVE AM OPTIMIZATION

Сравнение процессов проектирования



Существующее ПО



- Требуется несколько программ (часто от разных производителей)
- Потеря информации между программами
- Много ручной работы, низкая автоматизация

Полный цикл проектирования - 6 дней

AMENDATE



- Упрощает процесс проектирования
- Обеспечивает в кратчайшие сроки нахождение оптимальной для 3D печати
- Полностью автоматизированный процесс проектирования

Полный цикл проектирования с AMendate - 6 часов



80%

Сокращение
времени
проектирования



AMENDATE
INNOVATIVE AM OPTIMIZATION

Стандартный процесс топологической оптимизации

AMENDATE – сложное теперь легко!

Создание
КЭ модели

- Нагрузки
- Материалы
- КЭ сетка

Быстрый и автоматизированный процесс создания качественной сетки в [AMENDATE](#)!

Формулирование
задачи
оптимизации

- Ограничения: напряжения, перемещения, ...
- Целевые функции: вес, жесткость, ...

Оптимизация

- Оптимизация для достижения целевой функции
- Учет ограничений при оптимизации

Визуализация и
интерпретация
результатов

- Формирование (изменение) конструкции в процессе оптимизации, прочность, эффективность оптимизации, ...

Не требуется с [AMENDATE](#)!

Корректировка/
Сглаживание

- Сглаживание КЭ сетки после оптимизации
- Инструмент “очистки”/лечения

Автоматизированный и интегрированный процесс в [AMENDATE](#)!

Создание
геометрии

- Создание геометрии на основе КЭ сетки
- CAD-модель

Автоматизированный и интегрированный процесс в [AMENDATE](#)!

Верификация

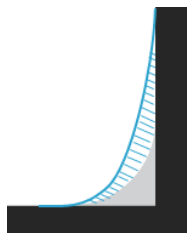
- КЭ анализ для новой (оптимизированной) геометрии

Не требуется с [AMENDATE](#)!
По запросу полностью интегрирован в [AMENDATE](#)!

Уникальные возможности с AMENDATE



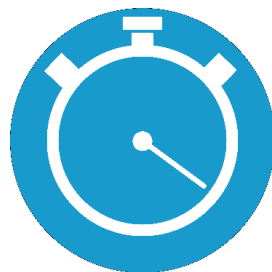
Решетчатые
структуры



Ориентированная на
учет напряжений
оптимизация



Оптимизированное
для Аддитивного
производства решение

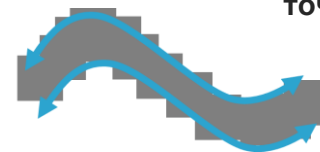


Значительное
сокращение
времени

До
80%



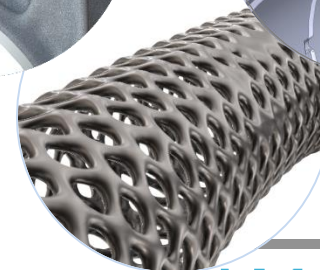
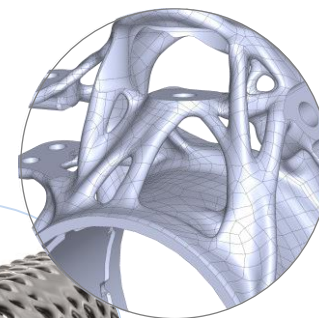
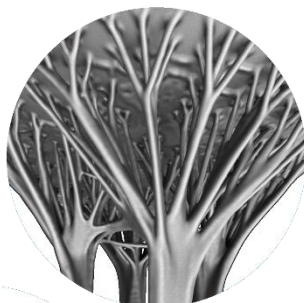
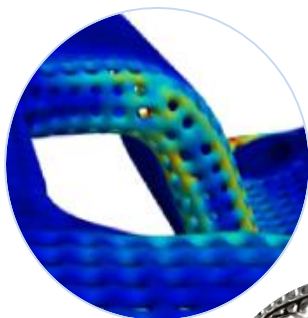

Высокая
точность



Эффективное
сглаживание



Автоматическое
создание
CAD-модели

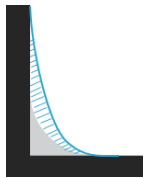


Обзор ключевых преимуществ AMENDATE



Превосходное разрешение при оптимизации для получения ажурных структур

AMendate стремится к созданию очень сложных, ажурных структур с упором на Аддитивное производство. Осуществление необходимого объема вычислений для таких структур при оптимизации труднореализуемо или невозможно для обычного программного обеспечения.



Ориентированная на учет напряжений оптимизация

Напряжения обычно являются наиболее важным критерием будущей формы детали. Используемая в AMendate технология способна проводить оптимизацию конструкции с акцентом на напряжения в ней. Такой подход позволяет получить бионическую форму с однородно распределённым полем напряжений в ней для обеспечения высокой равномерной прочности детали.



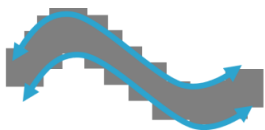
Учет правил и особенностей проектирования конструкций для Аддитивного производства

Каждая технология изготовления требует учета своих правил и особенностей проектирования для успешного производства детали. Такие правила проектирования существуют и для аддитивного производства. В отличие от большинства распространенных программ топологической оптимизации, AMendate содержит интегрированные правила и полностью подходит для Аддитивного производства.



Автоматическое создание CAD-модели

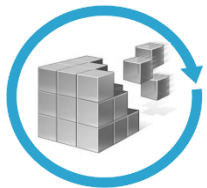
Полученная после оптимизации структура должна быть сохранена в соответствующие CAD-файлы. Обычное программное обеспечение для топологической оптимизации требует дополнительного программного обеспечения, а также знание и опытом работы в нем для сохранения геометрии. AMendate включает в себя эту возможность и автоматически сохраняет геометрию для оптимальной работы с ней в CAD/CAM системах.



Автоматическое сглаживание

Эффективный интеллектуальный алгоритм для автоматического создания гладких поверхностей на КЭ сетке. Получение поверхностей без дефектов для создания высокого качества геометрии детали.

Обзор ключевых преимуществ AMENDATE



Автоматическое создание КЭ сетки

Вместо ручного, трудоемкого процесса создания КЭ сетки для оптимизации в обычном программном обеспечении, AMENDATE автоматически создает не содержащую ошибок КЭ сетку.



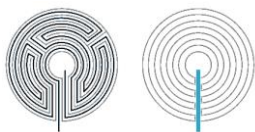
Оптимизация без области проектирования

Стандартное программное обеспечение для топологической оптимизации требует задания области проектирования из которого будет “удаляться” неработающий материал. AMendate позволяет запустить процесс оптимизации без начального определения области проектирования. Такой подход намного быстрее и более управляемый для получения оптимальной формы.



Надежная автоматическая регулировка размера КЭ сетки

В процессе оптимизации AMendate может автоматически регулировать размер КЭ сетки (перестраивать сетку) для получения оптимальной ажурной формы детали. После создания грубой сетки на исходной геометрии, AMendate уменьшает размерность КЭ сетки до тех пор, пока не будет получена детальная тонкая конструкция.



Оптимизация с первого раза

Использование стандартного программного обеспечения для топологической оптимизации требует расчёта несколько вариантов с различными начальными условиями. Каждая вариант требует временных и финансовых ресурсов. AMendate позволяет быстро увидеть первое (начальное) направление оптимизации и легко изменить его для получения правильного результата.



Значительное сокращение времени

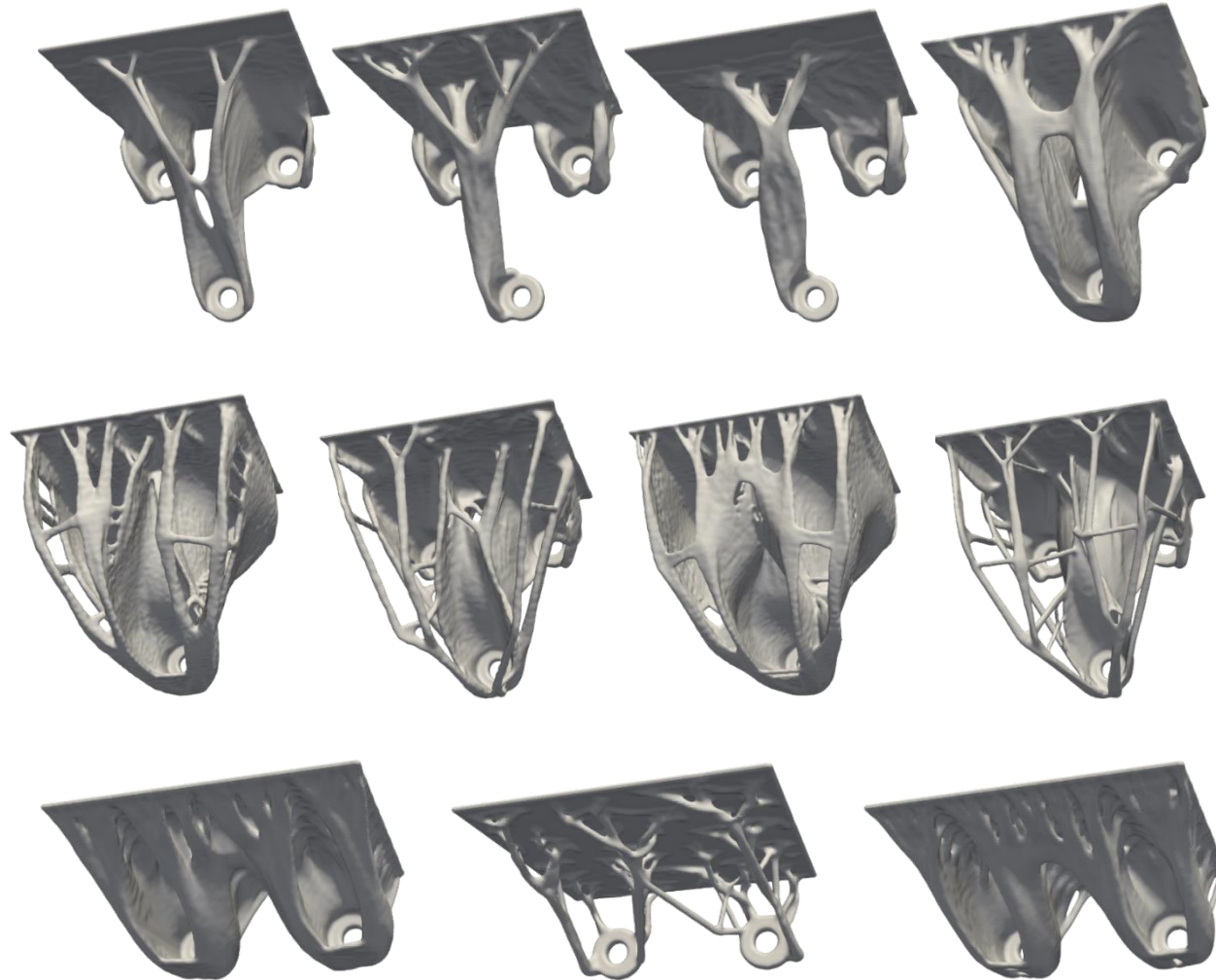
Инновационная технология AMendate и ее ориентированность на скорость в сочетании с высоким уровнем автоматизации обеспечивает значительное сокращение времени оптимизации. Результатом является быстрый, экономичный и интегрированный процесс проектирования деталей для Аддитивного производства.

Генеративный дизайн с AMENDATE

Время больше не является проблемой!

Создание множества решений:

- Автоматически
- Удобный интерфейс
- Решение за несколько минут
- Всегда корректная форма
- Готовая CAD-модель



Установка приводов для регулирования СВЧ-фильтров

- Предназначен для использования в немецком спутнике связи Heinrich Hertz
- Материал: AlSi10Mg
- Принтер: TruPrint3000 - толщина слоя 30 μm
- Время печати: 20 ч. 50 мин. для 4 деталей



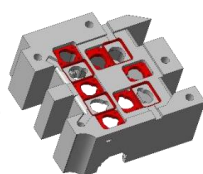
Уменьшение веса
на 55%

Увеличение жесткости
на 79%

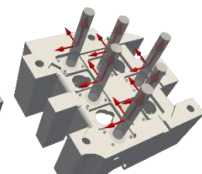
Уменьшение напряжений
на 31%



Обычная
конструкция



Область
оптимизации



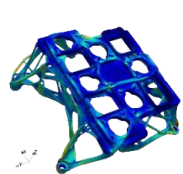
Варианты
нагружения



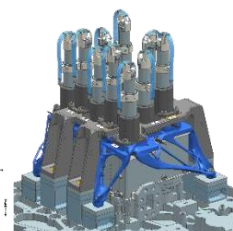
1ый цикл
оптимизации



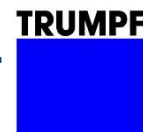
Окончательный
результат



Прочностной
анализ



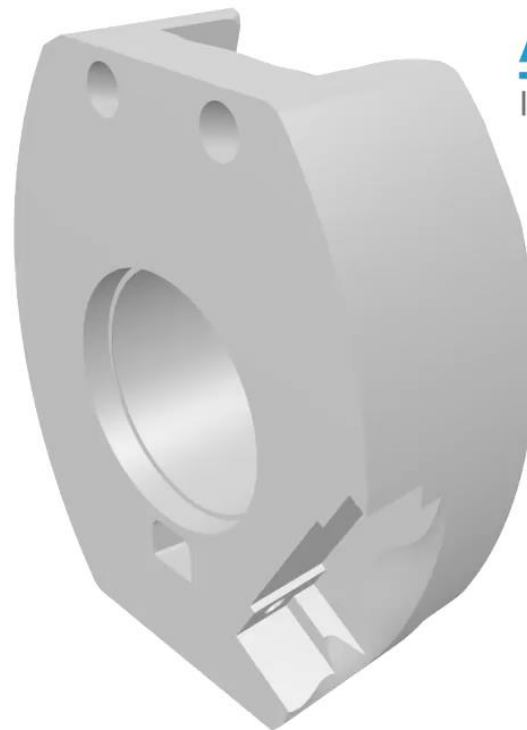
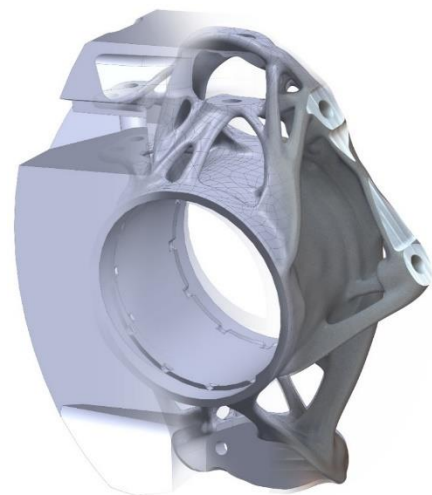
Окончательный
вариант сборки



Полностью автоматизированная оптимизация конструкции с AMENDATE

Всего за 6 часов от исходной CAD-модели до CAD-модели
оптимизированной конструкции с AMENDATE* :

<https://youtu.be/ADe-4EbsNyM>



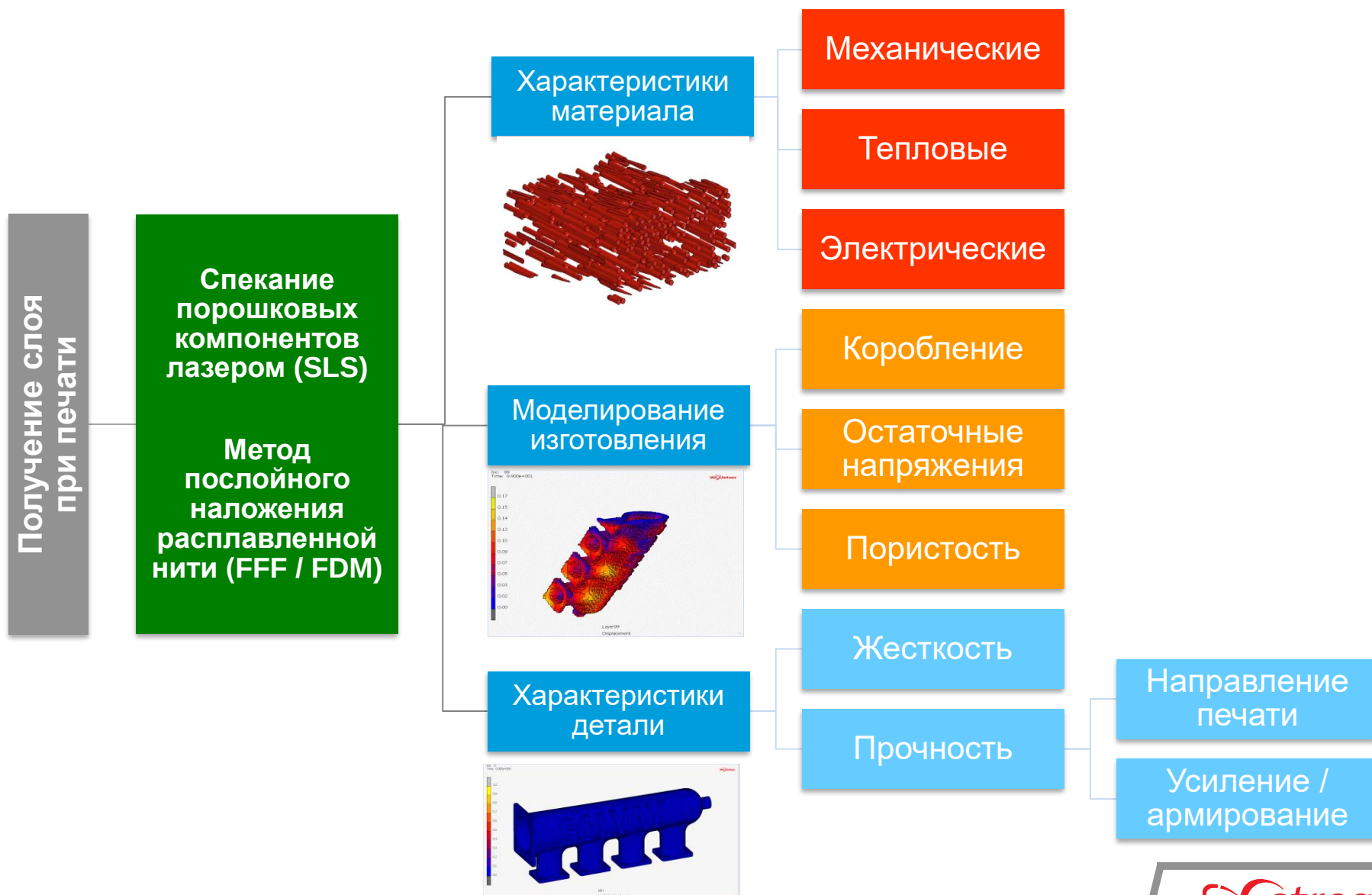
AMENDATE
INNOVATIVE AM OPTIMIZATION



* - топологическая оптимизация кронштейна для
команды UPBracing с помощью Amendate

AMENDATE
INNOVATIVE AM OPTIMIZATION

Комплексное решение Digimat Additive Manufacturing для полимеров и композиционных материалов

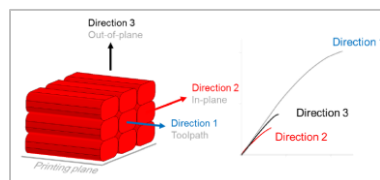


Многоуровневое моделирование для точного определения характеристик материала

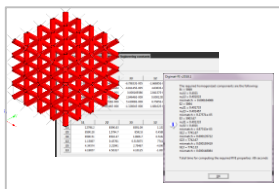
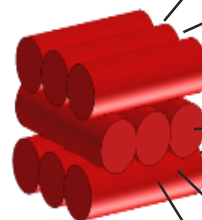
Макро

Мезо

Микро



Плотная структура



Решетчатая структура

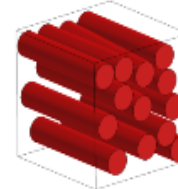
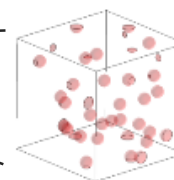


Пограничный слой между нитями

Поверхность раздела

Нить

Пористость в матрице

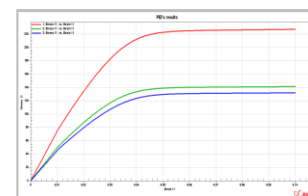


Армирование (волокна, гранулы)



Наплавленные слои

Пористость между слоями



Моделирование изготовления деталей из полимеров и композиционных материалов методом 3D-печати

Цель моделирования

- Определить коробление и остаточные напряжения, возникающие при 3D печати детали, в зависимости: от технологических параметров процесса, стратегии печати и выбранного материала

Процессы аддитивного производства

- SLS – метод спекания порошковых компонентов лазером
- FFF / FDM – метод наплавления нитей / метод послойного наплавления

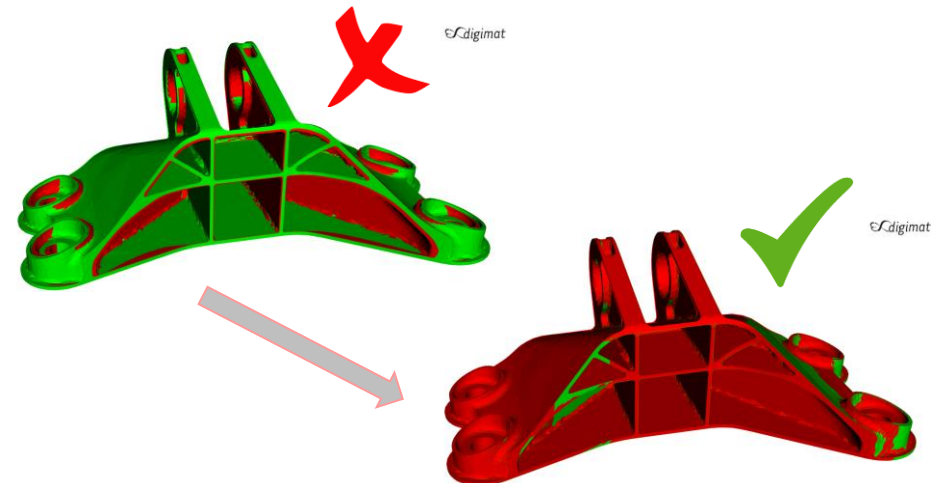
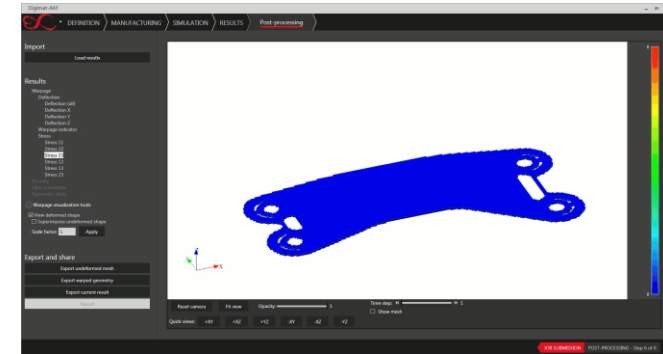
Материал

- Однородный полимер;
- Армированный волокнами полимер;

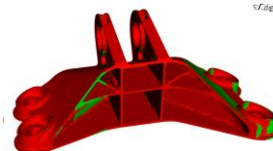
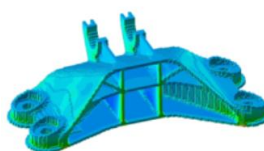
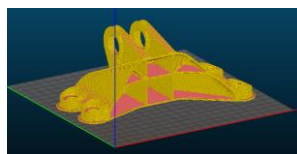
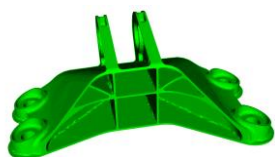
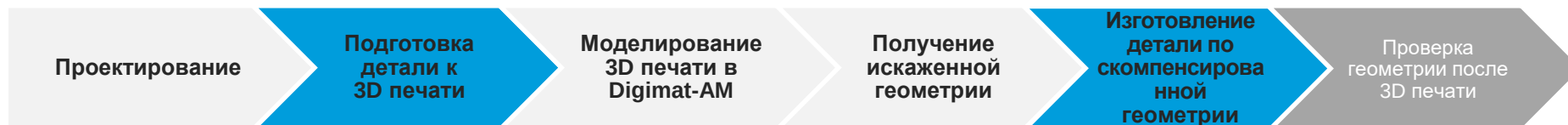
Результаты моделирования

- Остаточные деформации;
- Остаточные напряжения;
- Искаженная после изготовления форма;
- Определение возможных мест расслоения и отслоения материала от опоры

Полный процесс изготовления: 3D печать, удаление опоры, охлаждение детали



Рабочий процесс для минимизации коробления детали при изготовлении методом 3D-печати

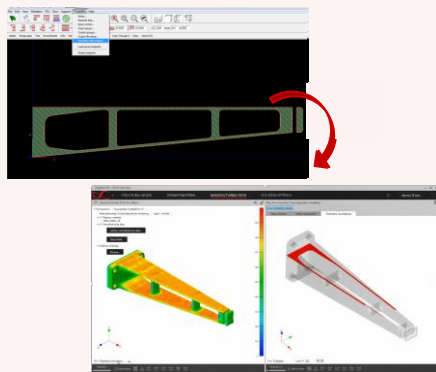


Моделирование 3D-печати
скомпенсированной геометрии

- Высокоэффективный процесс: итерационный цикл в Digimat для получения скомпенсированной геометрии занимает менее 1 часа!!!
- Скомпенсированная геометрия может быть использована для изготовления детали с первого раза!

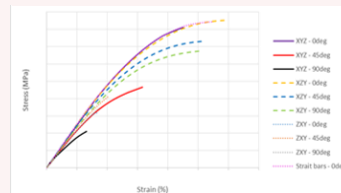
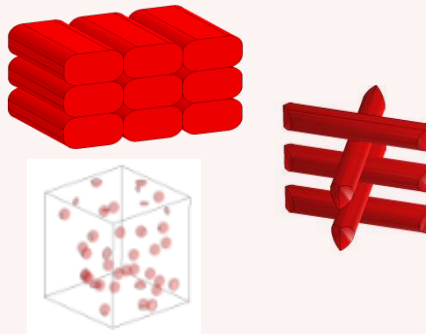
Определение характеристик конструкции с учетом микроструктуры в ней после 3D-печати

Данные моделирования 3D-печати, переданные на КЭ сетку для структурного анализа

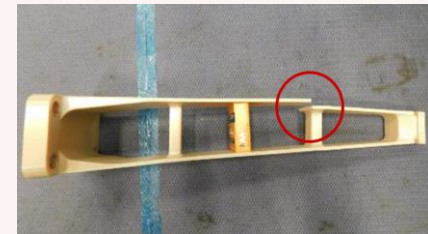
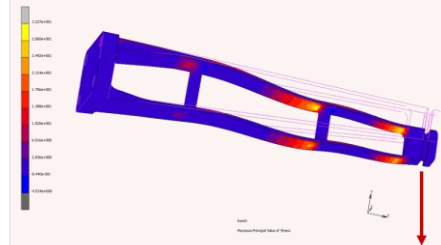


- Остаточные напряжения
- Локальное направление печати

Нелинейная модель материала, чувствительная к микроструктуре



Характеристики детали (прочность, жесткость и др.) с учетом микроструктуры после изготовления



Component: isotropic-dummy-1 ☐ Show only selected components

Manufacturing: Injection molding Type: SFRP

Digit material

Add D

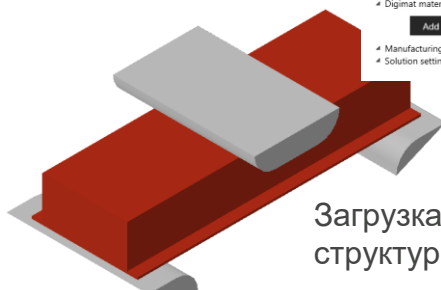
Injection molding

Compression molding

Selective laser sintering

Fused filament fabrication

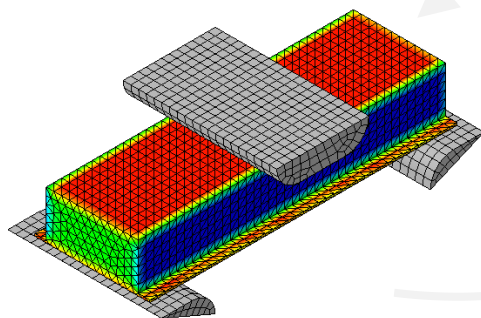
Fused deposition modeling



Загрузка КЭ модели для структурного анализа

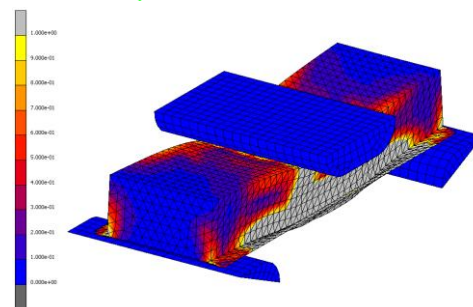
[illegible]

а КЭ сетку

Загрузка
технологической
КЭ модели и
микроструктуры

Настройка КЭ модели и запуск на расчет

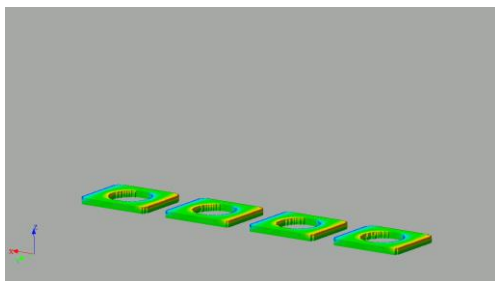
Анализ результатов КЭ анализа



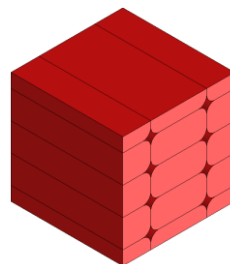
Комплексное решение *Digmat* для проектирования конструкций из композиционного материала с помощью 3D-печати

От моделирования технологического процесса изготовления до определения конечных характеристик конструкции

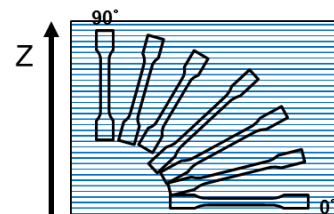
Моделирование технологического процесса изготовления детали методом 3D-печати



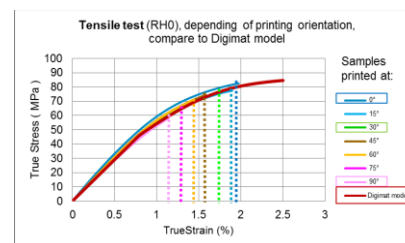
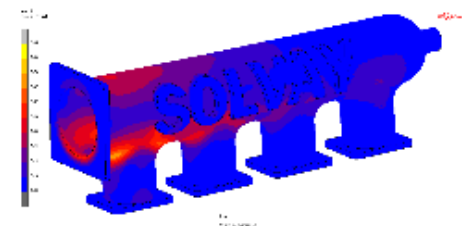
Микроструктура материала в каждой точке конструкции после изготовления



Свойства материала (механические, тепловые, электрические)

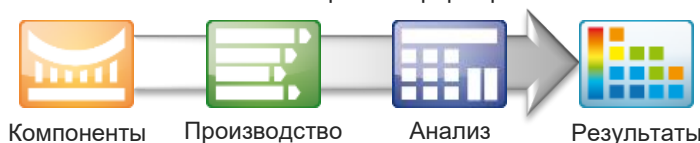


Характеристики конструкции (прочность, жесткость и др.)





Расплавление металла в заранее сформированном слое



Simufact Additive это:

- Полностью новая концепция интуитивного и простого в использовании GUI
- Импорт CAD моделей деталей и поддерживающих структур
- Возможность генерации поддерживающих структур с различными параметрами (в том числе, с использованием технологий компании Materialise)
- Автоматическое создание воксельных сеток на телах практически любой формы
- Доступ к библиотеке со свойствами материалов металлических порошков

Ключевые возможности Simufact Additive

- ◆ Масштабируемое решение, позволяющее выбрать между быстрым прочностным расчётом или подробным тепло-прочностным исследованием для более точного решения задачи
- ◆ Автоматическая компенсация искажений формы
- ◆ Автоматическая оптимизация поддержек
- ◆ Метод наилучшего соответствия для сравнения результатов моделирования с эталонной формой
- ◆ Помощник по выбору наилучшего позиционирования детали в пространстве камеры

Компьютерное моделирование технологий 3D-печати металлов

Место **Simufact Additive** в цепочке технологий MSC Software



Технологии **Simufact Additive** охватывают основные процессы производственной цепочки:

- Создание детали с использованием аддитивных технологий (3D-печать)
- Термообработка (ТО) для снятия внутренних напряжений
- Обрезка от опорной плиты
- Удаление поддержек
- Горячее Изостатическое Прессование (ГИП)

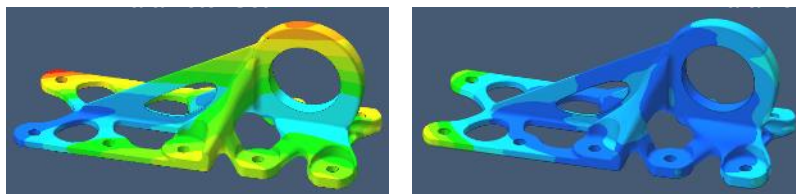
simufact additive

Вычисление искажений формы, напряжений и деформаций, ...

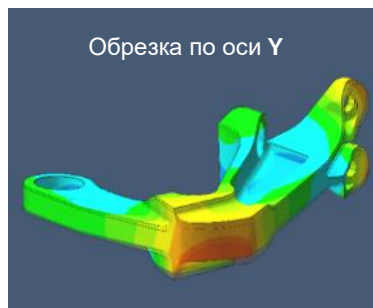
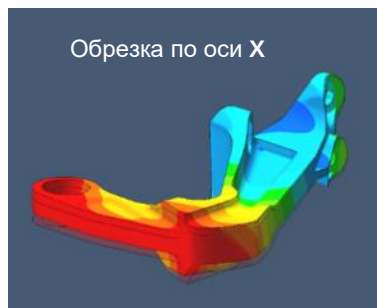


Виртуальное исследование влияния:

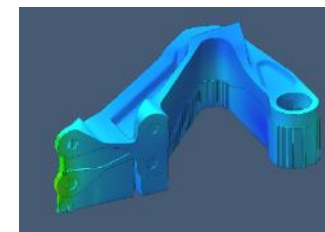
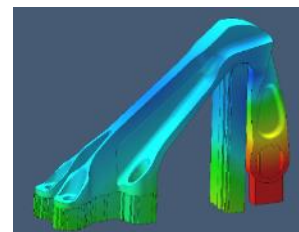
- Параметров производственного процесса & используемых материалов



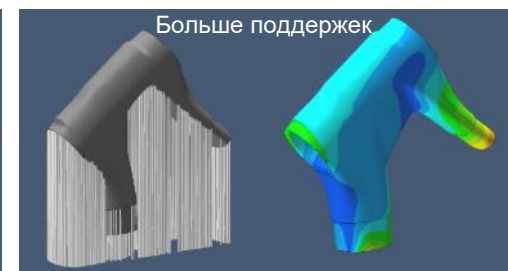
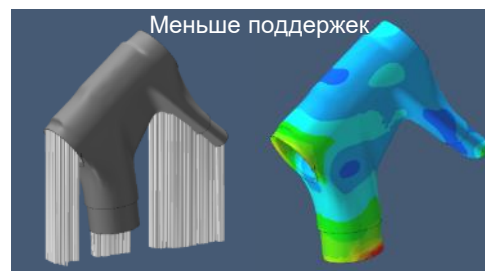
- Направление обрезки и порядок удаления поддержек



- ◆ Направления 3D-печати

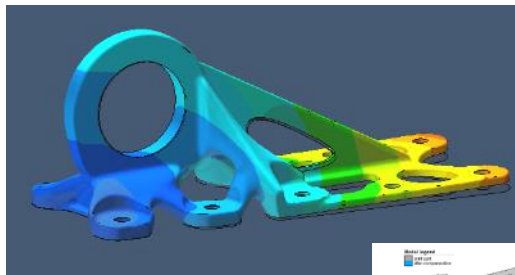
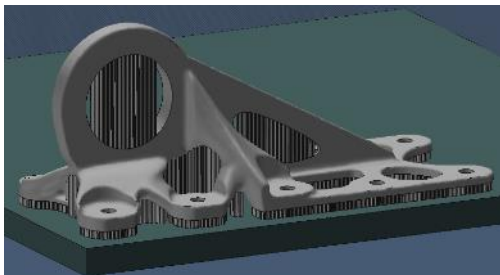


- ◆ Конфигурации и свойств поддерживающей структуры

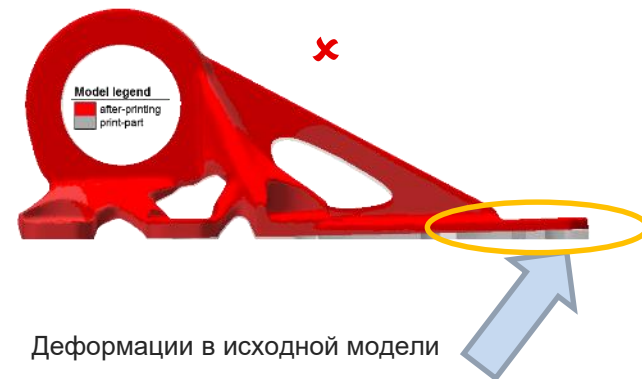


Перемещения, показаны в одинаковом масштабе

• Моделирование по исходной форме



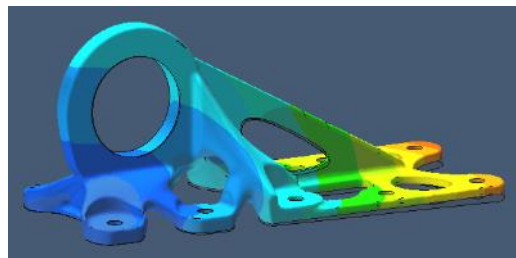
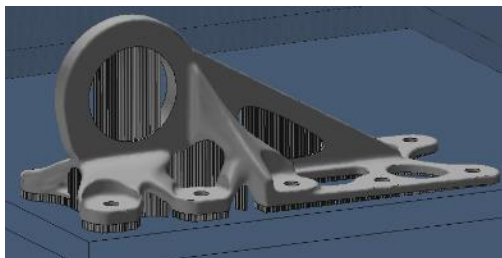
Деформации в модели



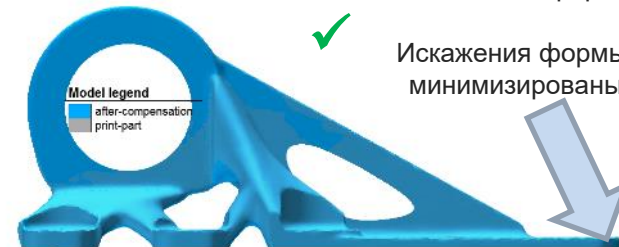
Деформации в исходной модели

Зона наибольших
искажений формы

• Моделирование по скомпенсированной форме



Деформации в модели



Деформации в изменённой модели

Искажения формы
минимизированы

Пользователи могут экспортировать как деформированную, так и скомпенсированную геометрию детали обратно в CAD формат (например, в формат STEP). Для этого требуется наличие исходной геометрии в CAD формате.



Спасибо за внимание!



Князев Эдуард Юрьевич

Руководитель технического отдела

ООО "Эм-Эс-Си Софтвэр РУС"

тел.: +7 (495) 363-06-83, доб. 107

моб.: +7 (910) 468-95-12

eduard.knjazev@mscsoftware.com

www.mscsoftware.com

www.mscsoftware.ru



HEXAGON

