

5 шагов для компенсации
технологических деформаций

REDITIVE.COMPENSATION

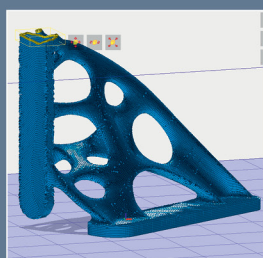
РЕШЕНИЕ ОДНОЙ ИЗ ГЛАВНЫХ ПРОБЛЕМ
АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ —
ДЕФОРМАЦИИ ПРИ 3D-ПЕЧАТИ

ИСХОДНАЯ МОДЕЛЬ

коробления более 1 мм

КОМПЕНСИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ

коробления менее 0.1 мм

Импорт исходной
и фактической моделиСоздание карты
отклоненийНастройка параметров
расчета компенсацииПредеформация
моделиЭкспорт отчета
и компенсированной модели8 800 600-1-678 |
reditive.ru |
in@reditive.ru |Неплоский
слайсинг

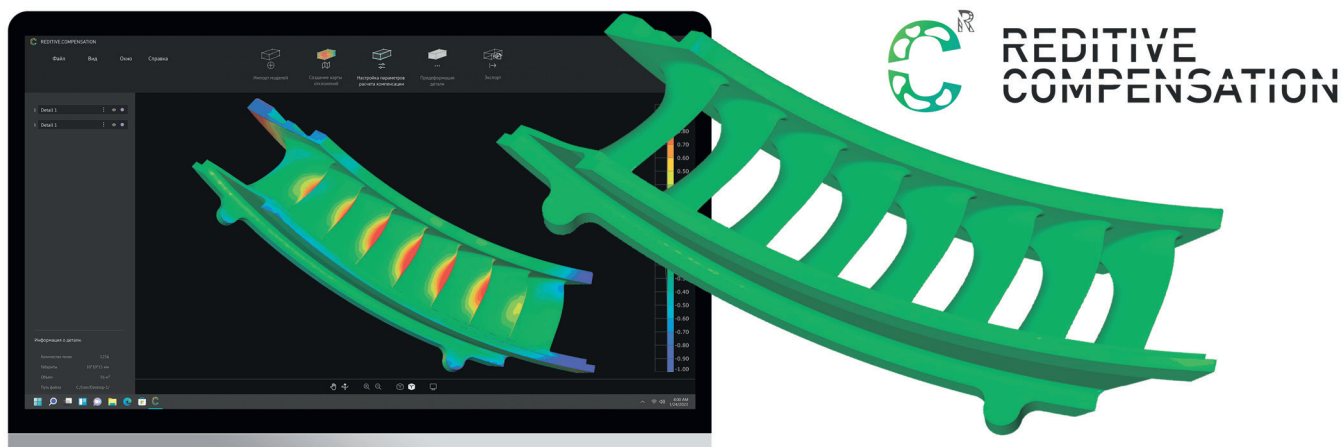
34

Электрохимическая
обработка изделий
аддитивного
производства
из металлов и
сплавов

49

АТ в медицине:
перспективы
развития,
ближайшие
ориентиры

58



REDITIVE.COMPENSATION

Программное обеспечение для увеличения точности 3D-печати

ООО «КБ РЭДИТИВ»

Аддитивные технологии обладают множеством преимуществ перед механообрабатывающими и формообразующими методами производства. Достоинства 3D-печати заключаются в существенном снижении сроков и упрощении технологической цепочки производства, в возможности оптимизации конструкции и в увеличении эксплуатационных параметров детали.

Однако возникновение технологических деформаций в аддитивном производстве приводит к низкой точности конечных деталей и заготовок. Из-за этого увеличиваются срок, стоимость и трудоемкость их изготовления и постобработки. Таким образом, ключевые преимущества 3D-печати не реализуются.

В этой статье мы расскажем об основных методах предотвращения высоких короблений деталей, а также продемонстрируем собственную разработку для эффективного решения данной проблемы — REDITIVE.COMPENSATION©. Наше программное обеспечение

позволяет быстро и с минимальными усилиями решать проблемы технологических деформаций, как в металлической, так и в полимерной 3D-печати. REDITIVE.COMPENSATION© уже успешно применяется КБ «РЭДИТИВ» для снижения технологических деформаций в аддитивном производстве.

Технологические деформации в процессе аддитивного производства

В большинстве методов 3D-печати технологические деформации возникают из-за неравномерной усадки заготовки. Их интенсивность и неравномерность зависят от ряда факторов:

- тип используемой аддитивной технологии;
- режимы работы конкретной установки;
- конструкция и геометрия детали;
- последующие технологические операции.

Рис. 1. Влияние ПО для предеформации на эффективность аддитивного производства.



Технологических деформаций в процессе 3D-печати избежать невозможно. При этом они негативно сказываются на экономической и технологической эффективности аддитивного производства.

Дополнительный припуск, который может решить эту проблему, увеличивает стоимость и время 3D-печати заготовки, трудоемкость последующей механической обработки и износ инструмента. Технологические деформации на сложнопрофильных элементах конструкции, которые не имеют и не предполагают припуск для механической обработки, негативно влияют на геометрическую точность детали, ее прочность, аэродинамические и другие эксплуатационные характеристики.

Поэтому разработка методов снижения и предотвращения технологических деформаций является важной и актуальной темой для всей индустрии аддитивного производства.

Методы снижения технологических деформаций

На практике реализуются несколько способов предотвращения высоких короблений:

- метод технологической адаптации;
- метод предварительной деформации заготовки, где искажения модели в процессе 3D-печати не уменьшаются, а используются для смещения геометрического профиля до идеальной, номинальной формы. Для применения этого метода создается новая предварительно деформированная (предеформированная или скомпенсированная) модель заготовки.

Способы первой группы заключаются в оптимизации тепловложения и жесткости заготовки за счет ее положения, режимов 3D-печати, специальных конструктивных элементов (силовые пояса и ребра, теплоотводы). Это обеспечивает незначительное снижение короблений, но приводит к увеличению трудоемкости постобработки и удорожанию 3D-печати. Использование данного метода ограничено и не подходит для тонкостенных, сложнопрофильных деталей.

Метод предеформации является более эффективным и результативным (рис. 1). Он заключается в изменении исходной модели таким образом, чтобы возникающие в процессе 3D-печати технологические деформации, искажали геометрию детали до идеальной, требуемой формы. Получить предеформированную модель можно при помощи компьютерного моделирования аддитивного процесса или инверсией реальных отклонений.

Предеформация в REDITIVE.COMPENSATION© основана на продвинутых методах обработки результатов отклонений реальных деталей (рис. 2). Создание компенсированной заготовки происходит в несколько этапов:

- загрузка, анализ и выравнивание результатов отклонений (оптическое 3D-сканирование или компьютерная томография, формат STL) и номинальной CAD-модели (формат STL);
- создание и экспорт предеформированной модели.

Аналогичным образом происходит компенсация технологических деформаций в программах моделирования аддитивных процессов. Но у них есть ключевое отличие — деформированная модель вычисляется на компьютере при помощи специальных численных методов.

На данный момент используются следующие подходы компьютерного анализа 3D-печати: многоуровневое термомеханическое моделирование (ANSYS ADDITIVE©, FLOW-3D AM©, Autodesk Netfabb Simulation©), метод собственных деформаций (Oqton Amphyon©, Materialise Magics Simulation©, Simufact Additive©). Они достаточно корректно определяют деформации заготовок простейших форм, но в сложных случаях точность моделирования, а, следовательно, и эффективность предеформации снижается.

Это происходит из-за накопления ошибок на этапах гомогенизации поддержек (моделирование сложных периодических структур объемными элементами со специальными характеристиками), упрощения началь-

Рис. 2. Этапы компенсации технологических деформаций в REDITIVE.COMPENSATION©.

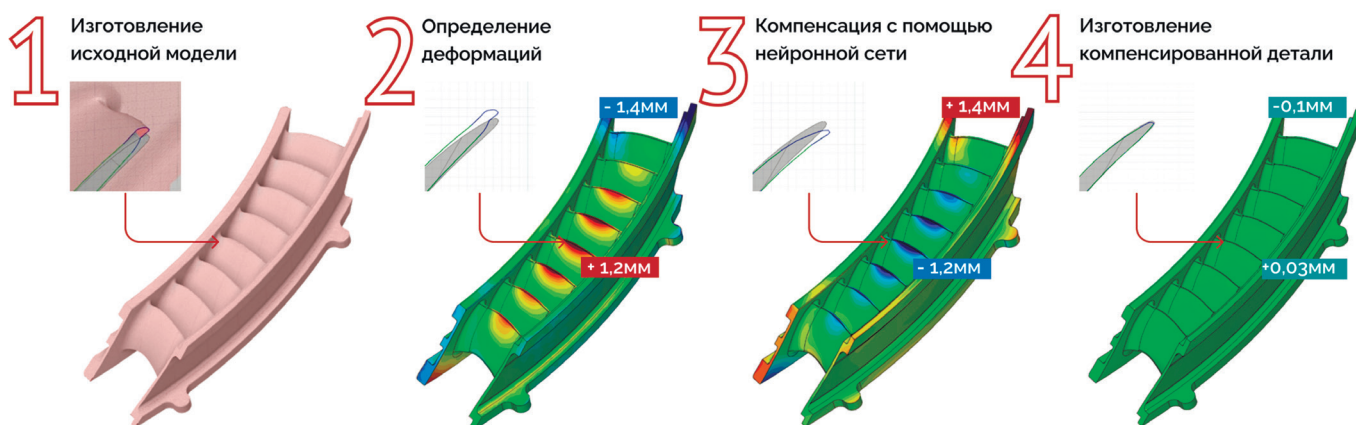
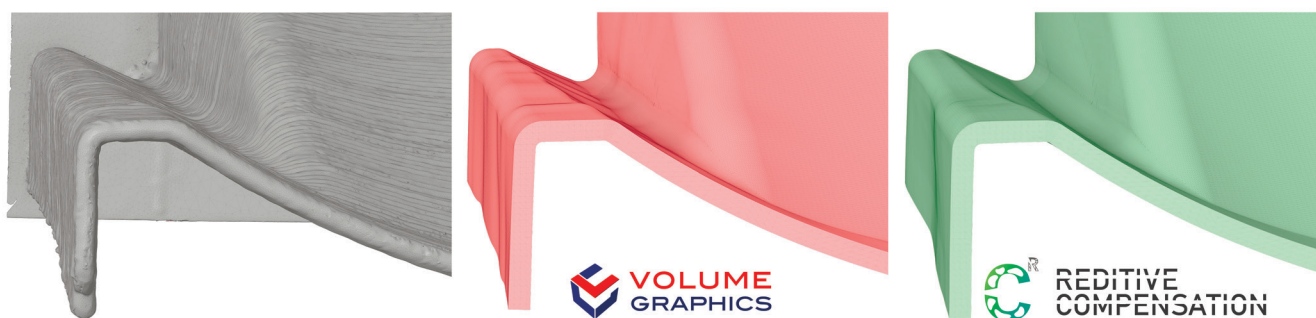


Рис. 3. Сравнение алгоритмов искажения компьютерной 3D-модели по результатам реальных отклонений, где REDITIVE.COMPENSATION© демонстрирует более точные и гладкие результаты аппроксимации исходных данных.



ных и граничных условий в механическом, тепловом или термомеханическом анализе процесса 3D-печати.

Сравнение REDITIVE.COMPENSATION© с конкурирующими решениями и подходами

Помимо нашего решения, метод предеформации по результатам реальных отклонений реализован в Volume Graphics© — программе для анализа и визуализации данных промышленной компьютерной томографии. В ходе тестирования и сравнения ПО на нескольких прикладных примерах мы определили, что REDITIVE.COMPENSATION© корректнее и точнее обрабатывает входные данные и создает предеформированную модель без геометрических ошибок.

Это обеспечивается за счет собственного алгоритма, в основе которого лежат методы машинного обучения, в частности нейронная сеть. Разработанная архитектура нейронной сети определяет общий характер деформации детали. При этом не учитываются локальные де-

фекты как самой заготовки (смещения, шероховатости, остатки от поддерживающих структур), так и дефекты 3D-сканирования (затененные зоны, несплошности, пустоты и другие). Благодаря этому, алгоритм точно вычисляет компенсированное состояние детали, а геометрия предеформированной модели имеет более сглаженные поверхности, чем у конкурентных решений (рис. 3).

В завершение сравнения выделим преимущества метода предеформации и ПО REDITIVE.COMPENSATION©:

- более высокая точность компенсации деформации для сложнопрофильных и крупногабаритных заготовок;
- процесс предеформации сокращается в разы, с нескольких дней до одного часа;
- для создания компенсированной модели не требуются опыт компьютерного моделирования, мощная вычислительная техника, большое количество исходных данных о материале и параметрах процесса;
- это полностью отечественная разработка.

Рис. 4. Результат предеформации на примере детали «корпус редуктора» (технология изготовления — SLM). Изображение слева — деталь, в центре — ее коробления до компенсации, справа — коробления после компенсации.

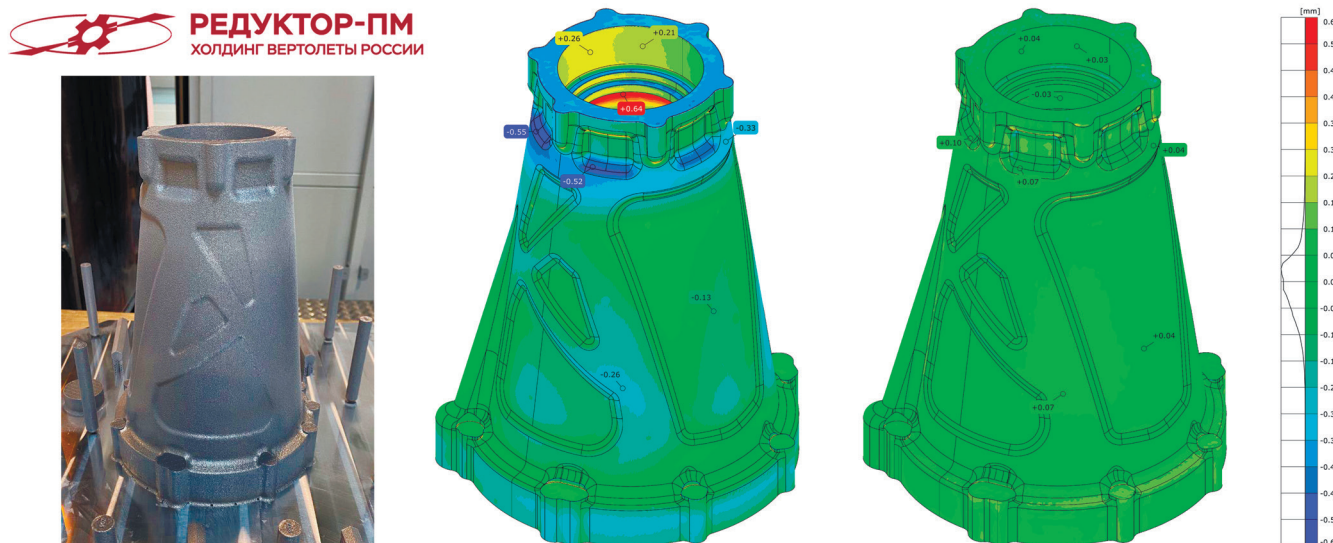
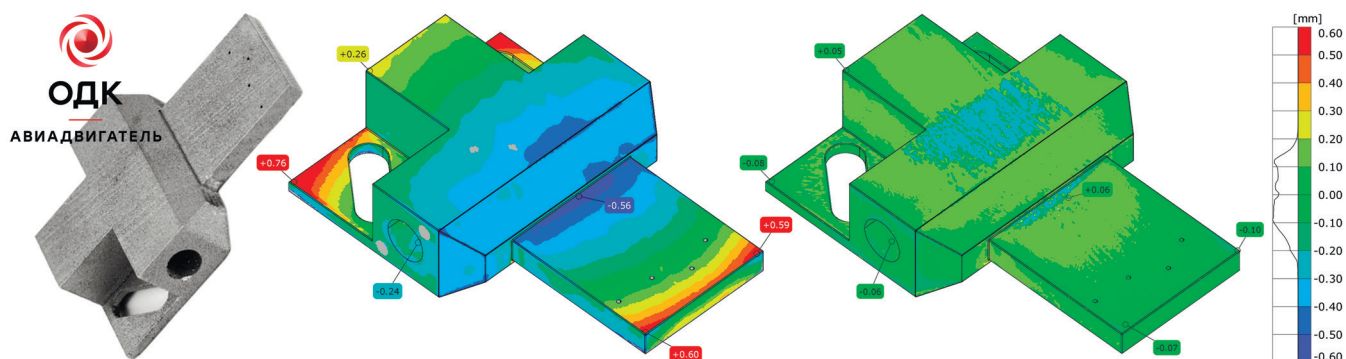


Рис. 5. Результат предеформации на примере детали «корпус датчика» (технология изготовления – SLM). Изображение слева – деталь, в центре – ее коробления до компенсации, справа – коробления после компенсации.



Примеры использования REDITIVE.COMPENSATION®

КБ «РЭДИТИВ» активно использует данный продукт в конструкторско-технологической подготовке аддитивного производства.

Первые пилотные проекты нашего решения: корпуса датчика (рис. 5) и редуктора (рис. 4), которые изготавливались по технологии SLM. Технологические деформации исходных конструкций превышали $\pm 0,6$ мм. После предеформации, коробления заготовок не превышали $\pm 0,1$ мм на ответственных поверхностях. Проекты выполнялись по заказу АО «ОДК-Авиадвигатель» и АО «Редуктор-ПМ».

Следующий сложный проект – предеформация крупногабаритных заготовок элемента авиационного двигателя (рис. 6). Первые партии изготавливались по технологии проволоочной наплавки из стали, а затем из титана. Из-за больших габаритов (высота заготовки – 900 мм) и сложного геометрического профиля в про-

цессе 3D-печати возникали высокие технологические деформации. Усложняла ситуацию термическая обработка. Она вносила дополнительные несимметричные коробления из-за особого расположения и фиксации заготовки в термопечи.

По завершении 3D-печати и термообработки максимальные технологические деформации титановой заготовки были около 10 мм. Предеформация, выполненная в REDITIVE.COMPENSATION®, позволила снизить технологические коробления до 2 мм. Благодаря этому припуск и, как следствие, материалоемкость заготовки, трудоемкость и стоимость постобработки были существенно снижены.

В результате скорость изготовления конечной детали сократилась с четырех месяцев до нескольких недель. Проект выполнялся по заказу АО «Пермский завод «Машиностроитель».

REDITIVE.COMPENSATION® может использоваться для снижения технологических деформаций и в полимерной 3D-печати. Это подтверждается со-

Рис. 6. Результат предеформации на примере крупногабаритной заготовки (технология изготовления – DED-W). Изображение слева – заготовка, в центре – ее коробления до компенсации, справа – коробления после компенсации.

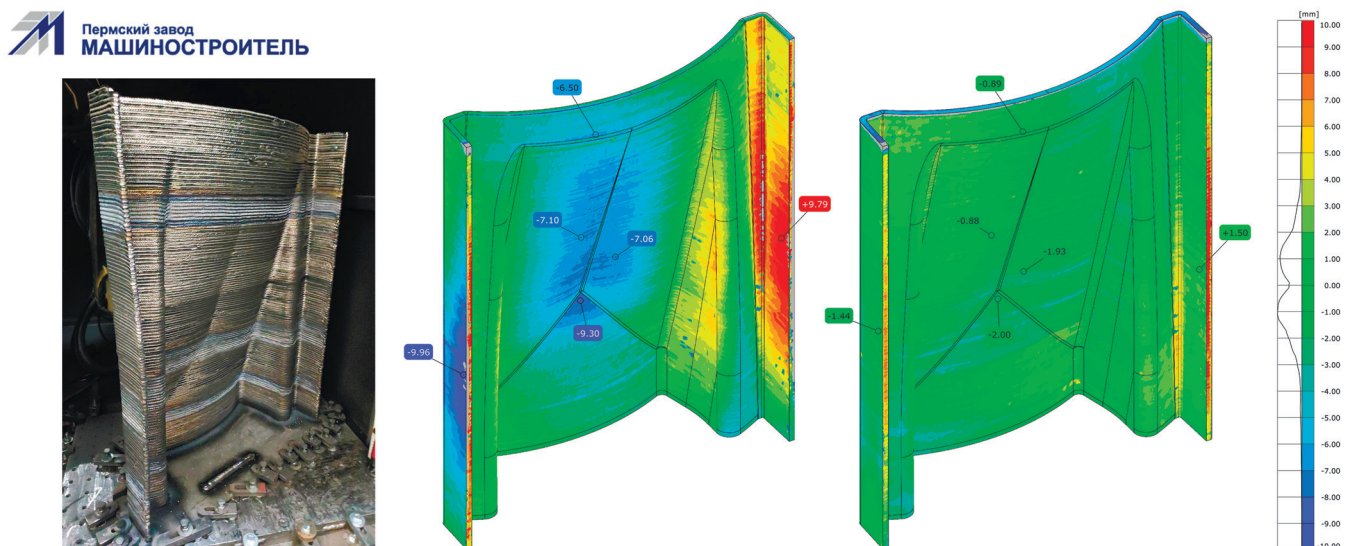
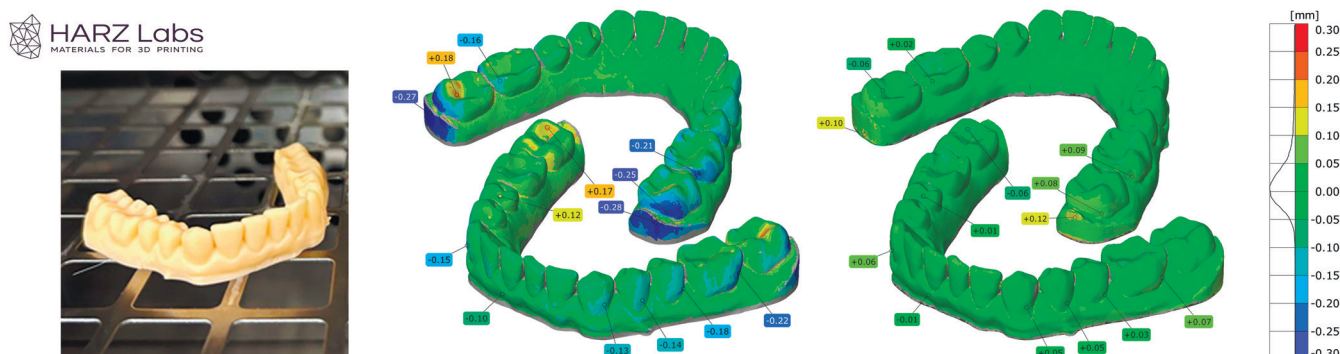


Рис. 7. Результат предеформации на примере стоматологической модели (технология изготовления – DLP). Изображение слева – модель, в центре – ее коробления до компенсации, справа – коробления после компенсации.



вместным проектом с Harz Labs (ведущий российский производитель фотополимеров для DLP/LCD и SLA 3D-принтеров), в котором удалось снизить технологические деформации стоматологических моделей для производства элайнеров более чем в два раза (рис. 7).

Проект, который невозможно реализовать без применения ПО REDITIVE.COMPENSATION©, — компенсация технологических деформаций деталей перспективного авиационного двигателя-демонстратора (рис. 8). Их коробления в процессе SLM 3D-печати были снижены более чем в несколько раз до $\pm 0,05$ мм. Это позволило запустить стабильное мелкосерийное производство деталей в пределах допуска. Проект выполнялся по заказу АО «ОДК-Авиадвигатель».

Заключение

На большом количестве практических примеров и кейсов мы показали эффективность программного

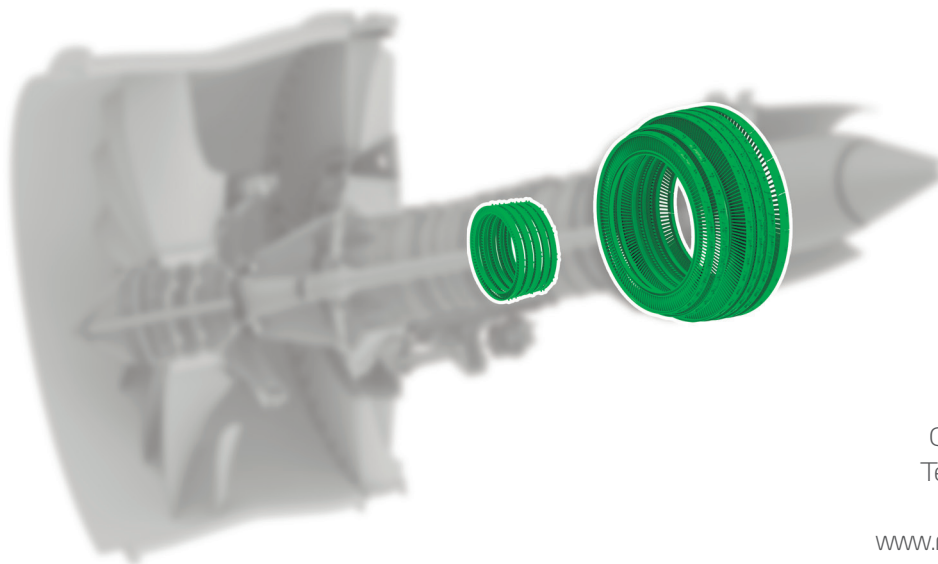
обеспечения REDITIVE.COMPENSATION©. Это решение имеет множество преимуществ перед прямыми и косвенными конкурентами в лице Volume Graphics©, ANSYS ADDITIVE©, Oqton Amphyon©, Materialise Magics Simulation© и других.

Используя REDITIVE.COMPENSATION© в своем технологическом процессе, вы получите:

- снижение остаточных деформаций и увеличение точности 3D-печати до десяти раз;
- быструю генерацию предеформированных моделей с минимальными усилиями, даже на основе исходных данных с дефектами фасетной сетки;
- снижение себестоимости аддитивного производства.

На сайте КБ «РЭДИТИВ» вы можете детально изучить принцип работы ПО, кейсы, а также заказать услугу по предеформации. Релиз REDITIVE.COMPENSATION© состоится во второй половине 2023 года. ■

Рис. 8. Предеформированные в REDITIVE.COMPENSATION© детали авиационного двигателя-демонстратора.



Контакты
ООО «КБ РЭДИТИВ»
Тел.: 8 (800) 600-1-678
E-mail: in@reditive.ru
www.reditive.ru | www.infcs.ru



Voxeldance Additive

Программное обеспечение для технологической подготовки к 3D-печати (SLM, DMLS, SLS, SLA, DLP/LCD)



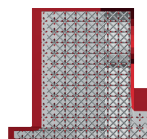
Процесс подготовки данных в Voxeldance Additive



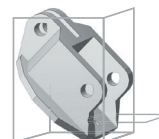
Импорт CAD



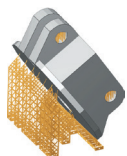
Исправление ошибок



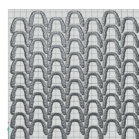
Редактирование



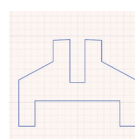
Ориентация



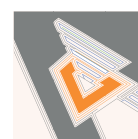
Моделирование
поддержек



Автоматическая
компоновка



Слайсинг



Задание траектории
сканирования

Почему Voxeldance Additive?

- Удобное и функциональное ПО по более доступной цене
- Все необходимые модули собраны в одном решении. Пользователь может выполнить все этапы подготовки файла к печати в одном программном обеспечении.
- Продуманная система модулей. Алгоритм системы оптимизирован так, чтобы моментально обрабатывать сложные массивы данных.

Для заказа тестовой лицензии
обратитесь к официальному
дистрибьютору Voxeldance
в РФ — ИННФОКУС

in@infcs.ru
8 800 222 77 59
voxeldance-russia.ru

