

A blue background with a close-up, high-angle view of water ripples, creating a sense of movement and depth.

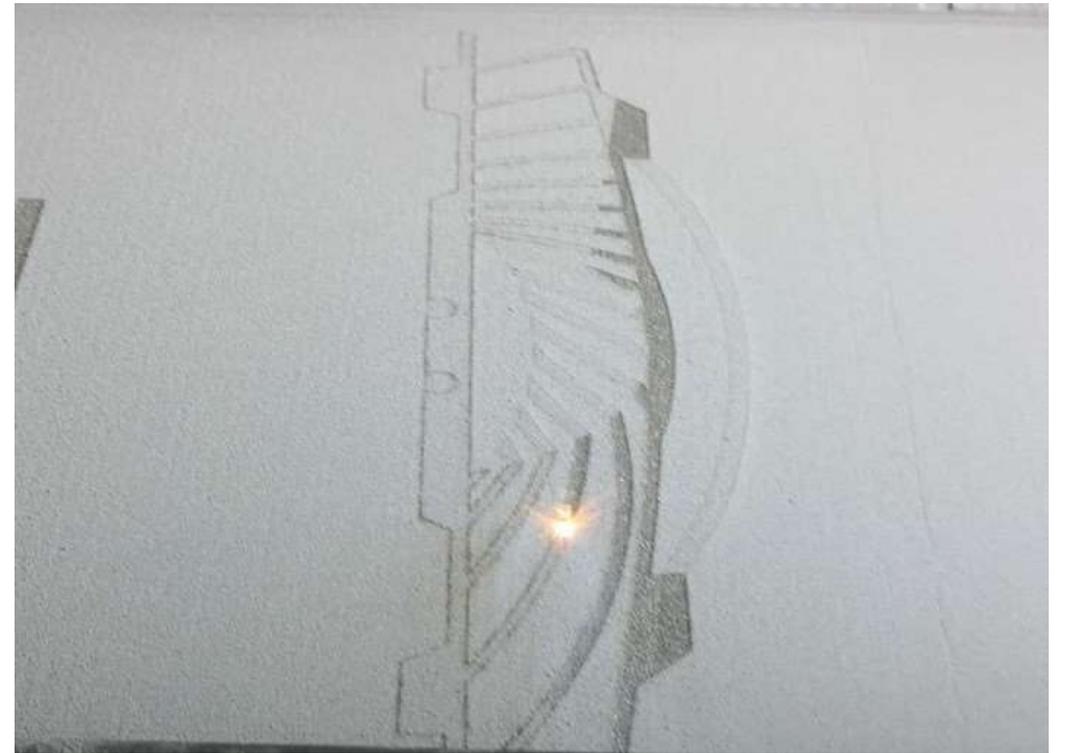
Численное моделирование и оптимизация для печати алюминиевых изделий

Мария Гроль
Руководитель проекта
Департамента аддитивных технологий ИЛМиТ



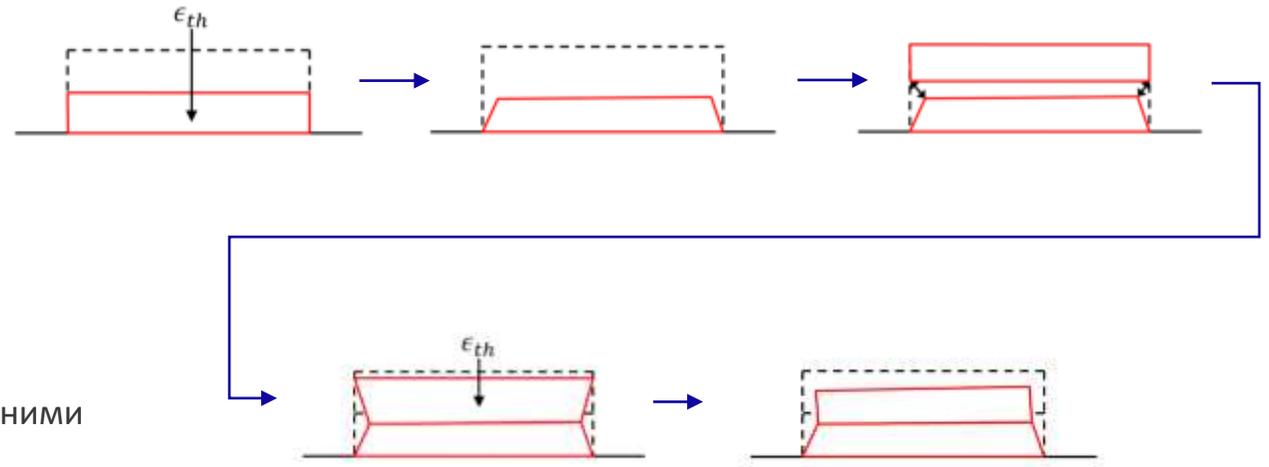
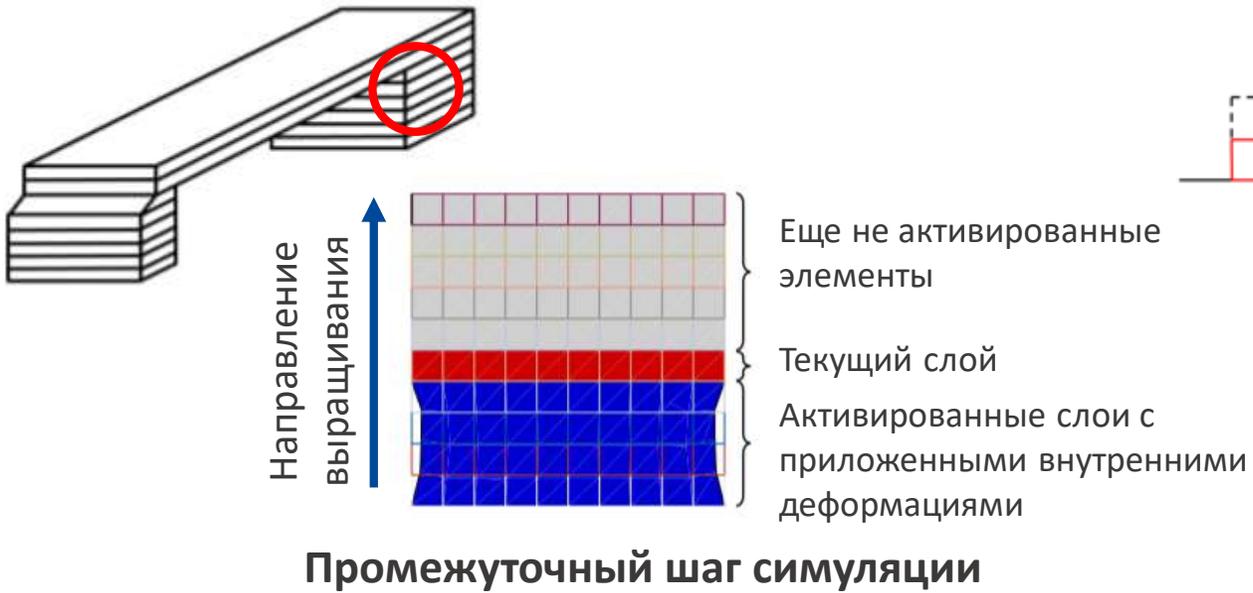
3D-печать

3D-печать позволяет создавать детали сложной формы, которые сложно или невозможно произвести традиционными методами

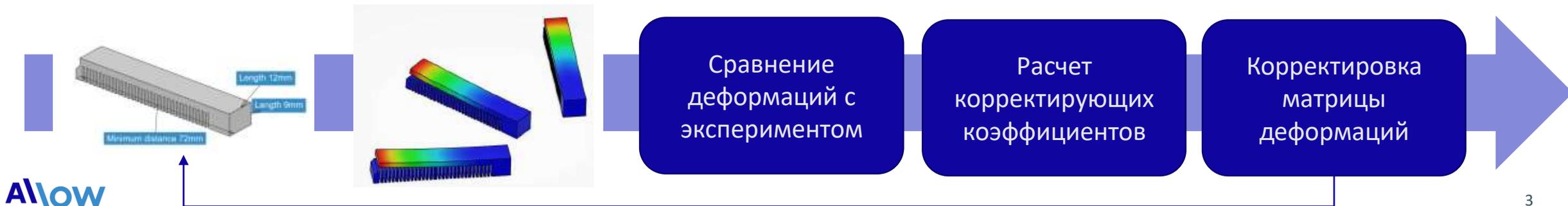


Моделирование процесса печати

Метод 1: метод собственных деформаций



Процесс калибровки



Моделирование процесса печати

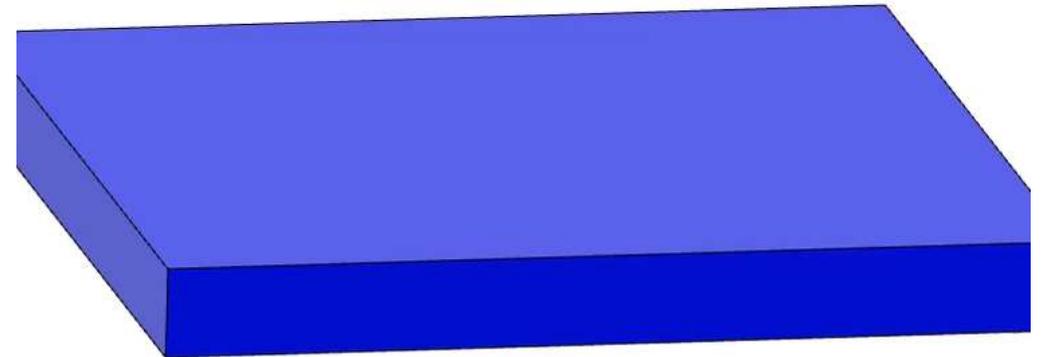
Метод 1: метод собственных деформаций

Достоинства

- Быстрота расчета
- Нетребовательность к ПК
- Относительная простота необходимых экспериментальных данных

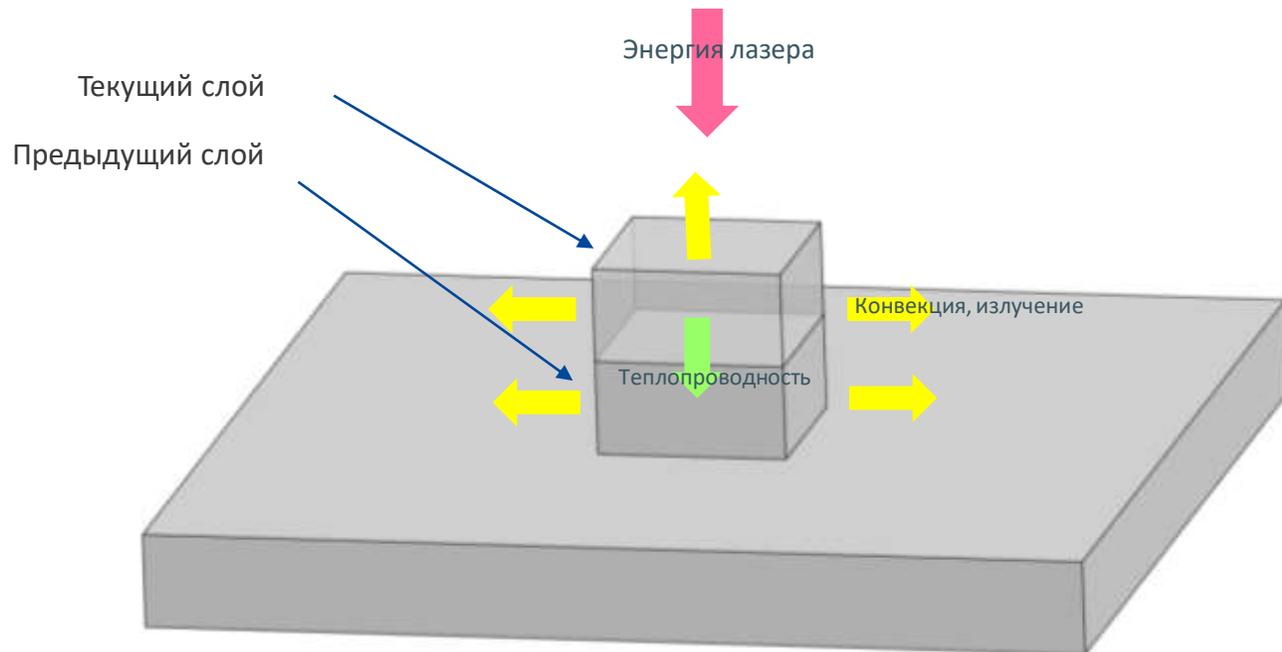
Недостатки

- Воксели неточно описывают геометрию детали
- Низкая точность расчета
- Для каждой стратегии печати необходимы новые образцы
- Нельзя оценить влияние отдельно тех или иных факторов печати, граничных условий



Моделирование процесса печати

Метод 2: термомеханический



Деталь, поддержки,
режим печати

Подготовка работы: построение
поддержек, назначение
стратегии печати

Подготовка КЭМ и назначение
свойств материала

Задание тепловых нагрузок и
граничных условий

Решение теплового шага

Перенос тепловой истории на
прочностной шаг

Решение прочностного шага

Напряженно-
деформированное
состояние

Моделирование процесса печати

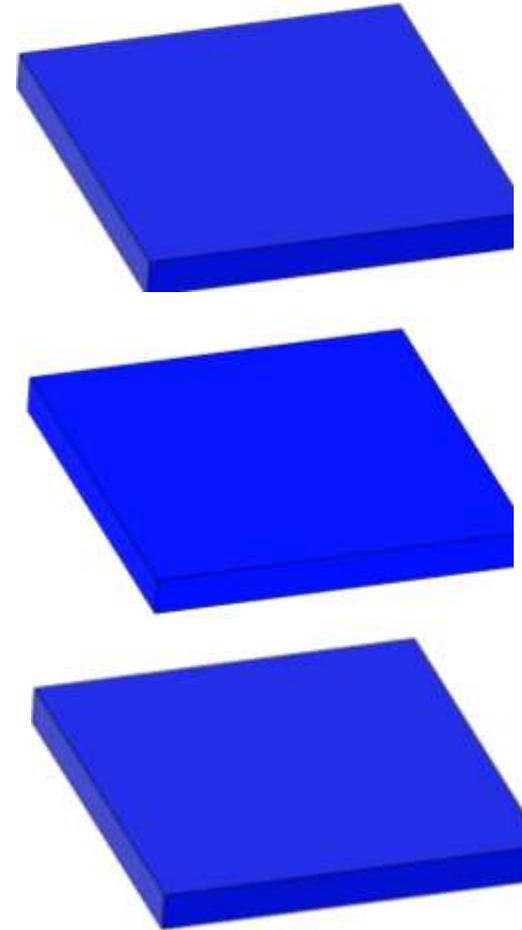
Метод 2: термомеханический

Достоинства

- Точность результатов
- Возможность подробного моделирования тех или иных эффектов
- Точность описания даже самой сложной геометрии

Недостатки

- Требовательность к ПК
- Длительность расчета и большой объем хранимых данных во время и после расчета данных
- Есть допущения, не моделируется процесс на микроуровне



Моделирование процесса печати в ИЛМиТ

Деталь «Крыльчатка вентилятора»



Стандартная технология

АМг6

Материал

3 мес.

Цикл изготовления

60 шт.

Количество сварных соединений

9 кг

Расход материала на 1 деталь

3D печать

Материал

АК7ч

Цикл изготовления

60,5 ч.

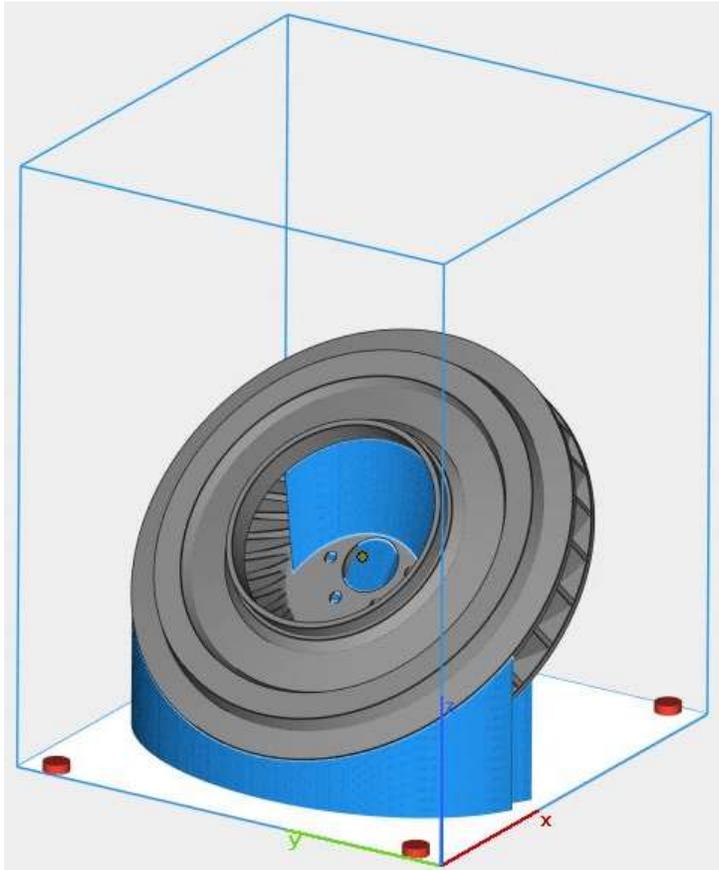
Количество сварных соединений

0 шт.

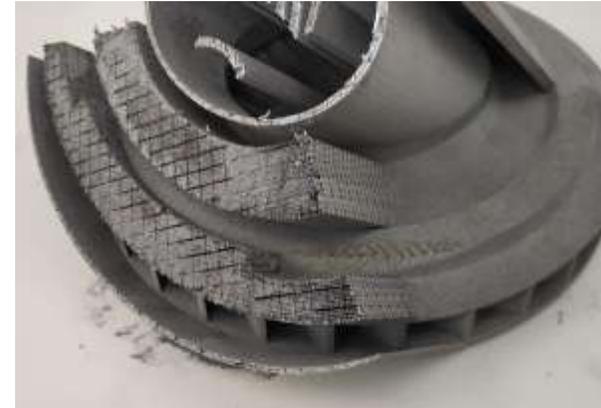
Расход порошка на 1 деталь

1,8 кг

Моделирование процесса печати в ИЛМиТ

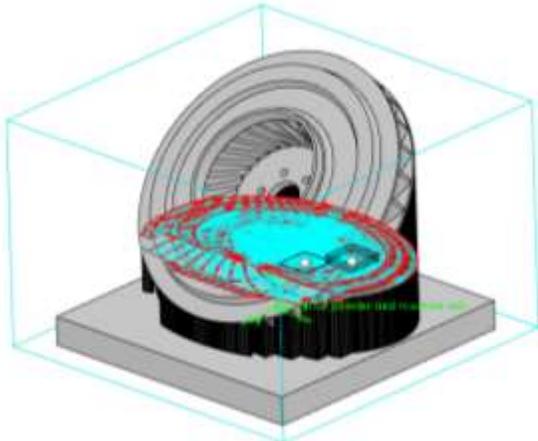


Попытка с первого раза напечатать массивную деталь: стандартная подготовка работы со стандартными поддержками и стратегией печати



Плохое качество поверхности и частично разрушившиеся поддержки

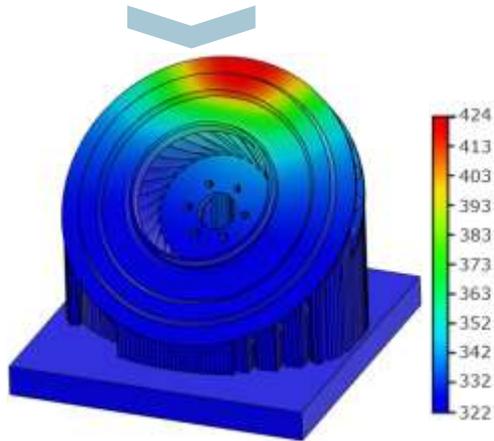
Моделирование процесса печати в ИЛМиТ



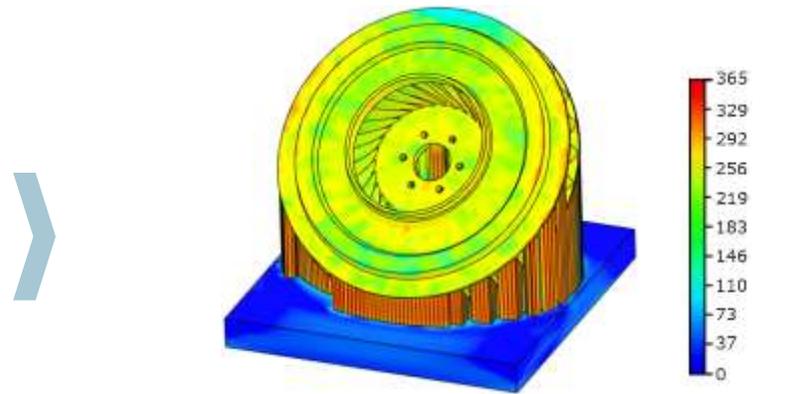
Расположение детали на платформе, подготовка стратегии печати

Изменения по сравнению с первой печатью:

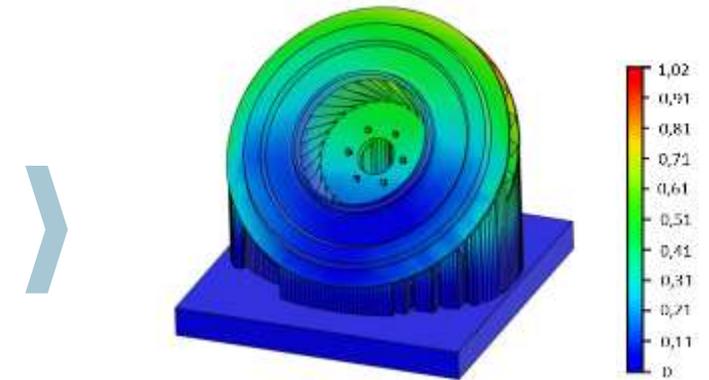
- Изменена ориентация детали
- Перегенерированы поддержки
- Проведено моделирование процесса печати



Распределение температур на последнем шаге, К



Распределение эквивалентных по Мизесу напряжений на последнем шаге, МПа



Распределение узловых перемещений на последнем шаге, мм

Технологическая оптимизация и агрегатирование

3D-печать дает возможность объединить многокомпонентные сборки в одну деталь для повышения технологичности



Форсунка двигателя LEAP 1A

Печать позволила сократить количество деталей в узле с 17 до 1

Снижение количества деталей позволило снизить стоимость логистики, сборки и монтажа
Измененная форма внутренних каналов повысила эффективность узла*

Иногда необходима доработка деталей с учетом особенностей 3D-печати. Иногда такая доработка может повысить не только технологичность, но и эффективность самой детали

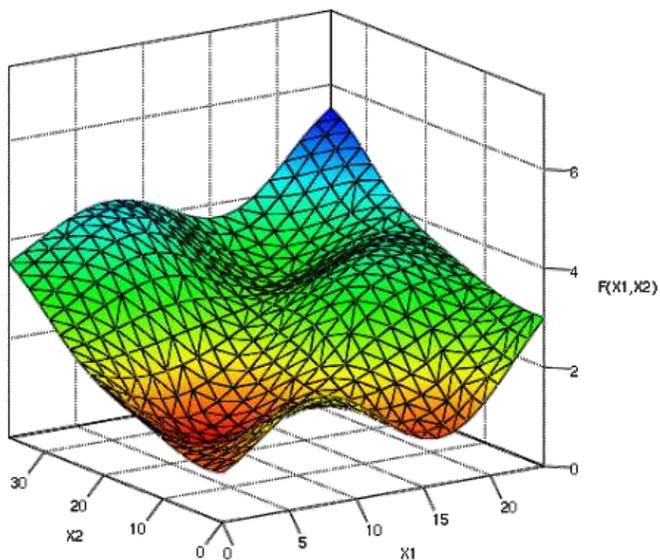


Смеситель (жидкость + газ) с помощью оптимизации перепроектирован из сборки, состоящей из 12 деталей, в 1 деталь; нет необходимости в операции сборки, прокладках и металлоемких фланцах**

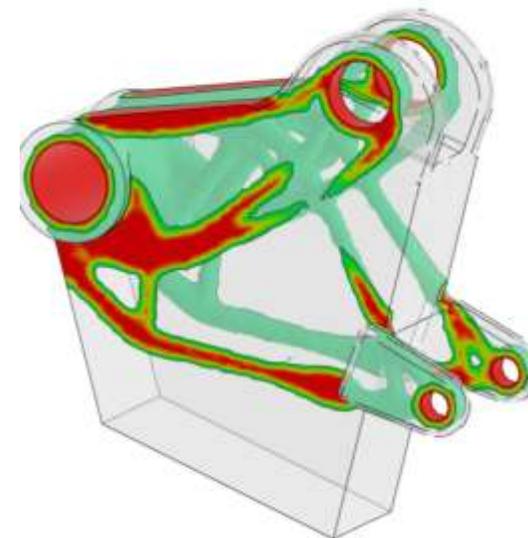
Оптимизационные подходы

Используя **традиционные** подходы к проектированию деталей, **все сложнее** создавать детали, отвечающие современным требованиям

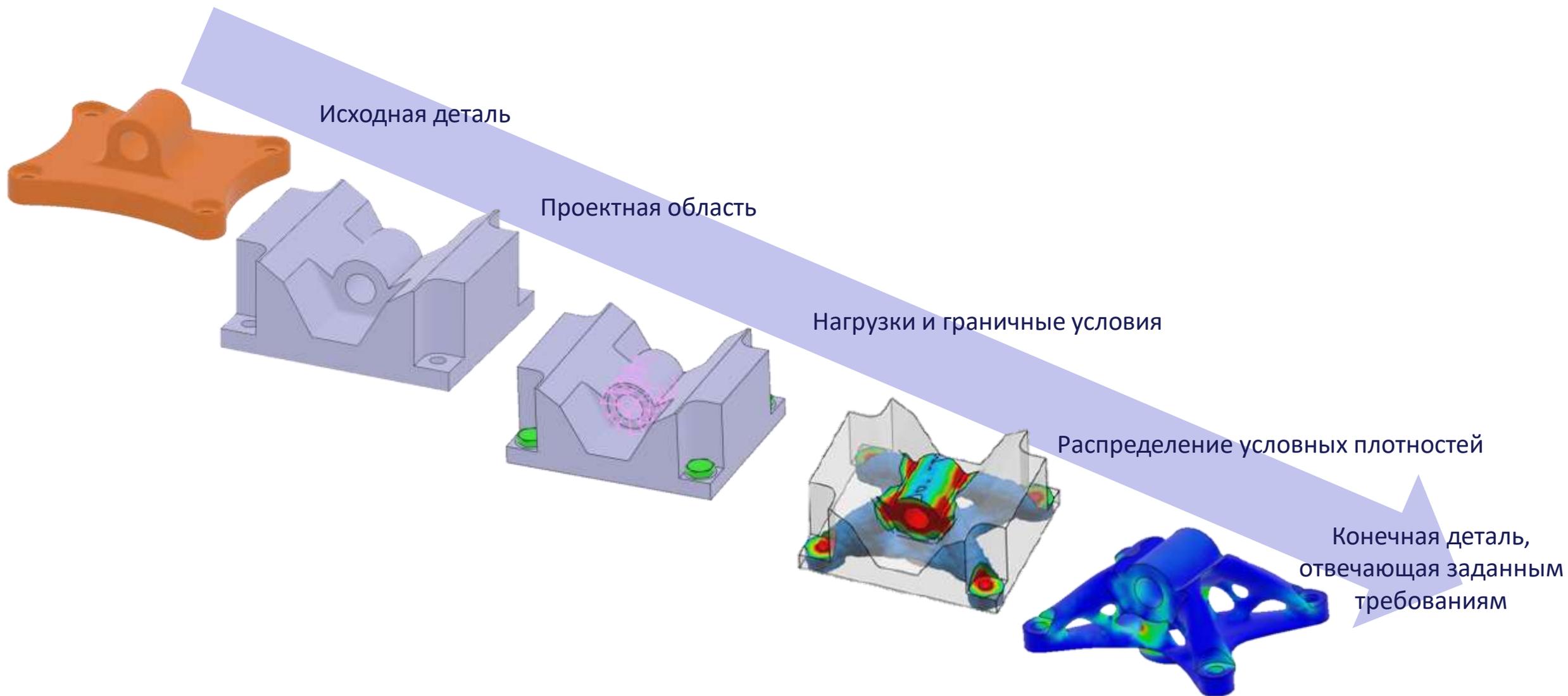
Параметрическая оптимизация



Топологическая оптимизация



Топологическая оптимизация

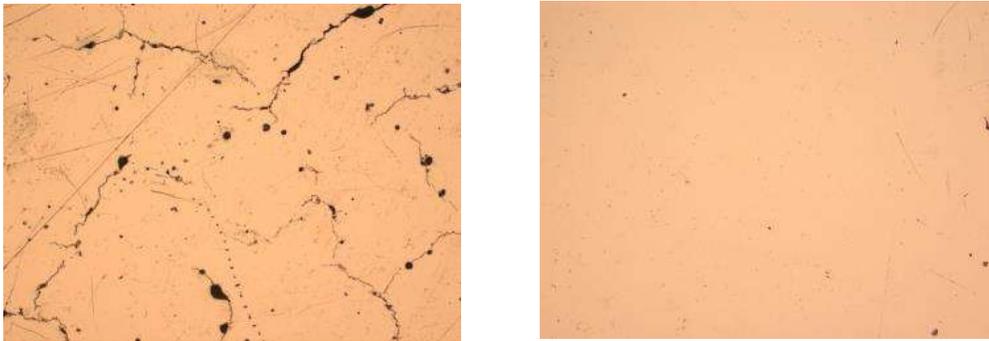


Новые сплавы для аддитивных технологий

Высокопрочные сплавы

Сплав системы Al-Mg-Sc (RS-553)

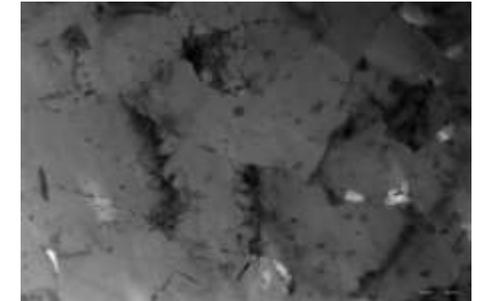
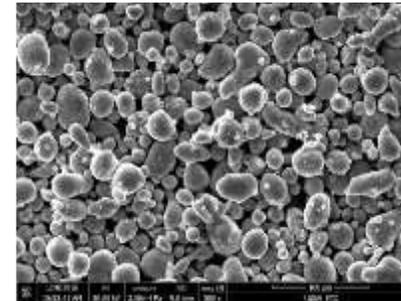
- **Снижение в 2 раза содержания скандия** in обеспечивает преимущество в стоимости по сравнению с аналогами
- **Сплав не нуждается в закалке**-> детали не подвержены поводкам при обработке
- **По характеристикам коррозионной** стойкости сплав не уступает традиционным **сплавам 5XXX серии**
- **Плотность синтезированного материала – 2,658 г/см³**



Разработанные режимы СЛС обеспечивают отсутствие горячих трещин, обеспечивая уровень пористости синтезированных образцов не более

Сплав системы Al-Mg (RS-507)

- Разработанные параметры обеспечивают сплошность материала (гарантированный уровень пористости – менее **25 % об.**);
- **Сплав не нуждается в закалке**-> детали не подвержены поводкам при обработке
- **По характеристикам коррозионной** стойкости сплав не уступает традиционным **сплавам 5XXX серии**
- **Сниженная стоимость** благодаря отсутствию дорогостоящего Sc
- **Плотность – 2,677 г/см³**



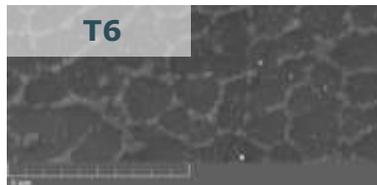
Сплав	Airbus Scalmalloy	RS-553	RS-507
σ_B , МПа	490	475	430
$\sigma_{0,2}$, МПа	450	435	340
δ , %	8	10	15
% Sc	0,7	0,3	-

Новые сплавы для аддитивных технологий

Жаропрочные сплавы

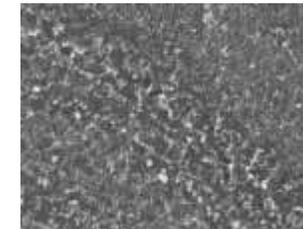
Сплав системы Al-Si (RS-320)

- **Скорость печати идентична AlSi10Mg** – аналогичные временные затраты на построение детали;
- Разработанные параметры СЛС обеспечивают низкую пористость (не более **0,2 % об.**);
- Проведен **широкий спектр испытаний на механические свойства в аккредитованной лаборатории**



Сплав системы Al-Si-Ni (RS-390)

- Разработанные параметры СЛС обеспечивают уровень пористости не более **0,30 % об.**
- Сплав может применяться как после **отжига**, так и после **закалки и старения (Т6)**
- **Высокая устойчивость к термическим воздействиям** благодаря добавкам переходных металлов
- **Плотность – 2,820 г/см³**



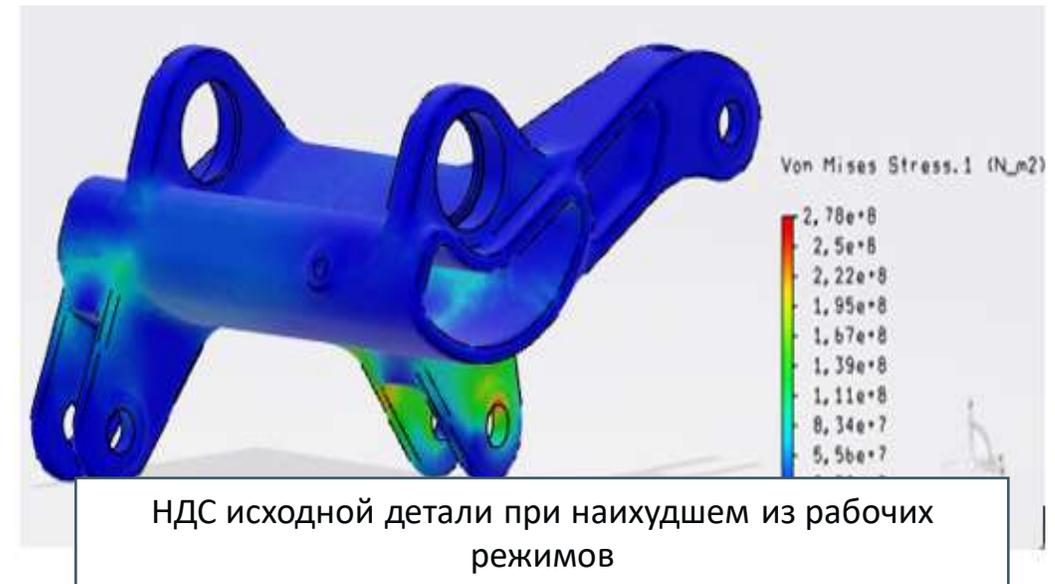
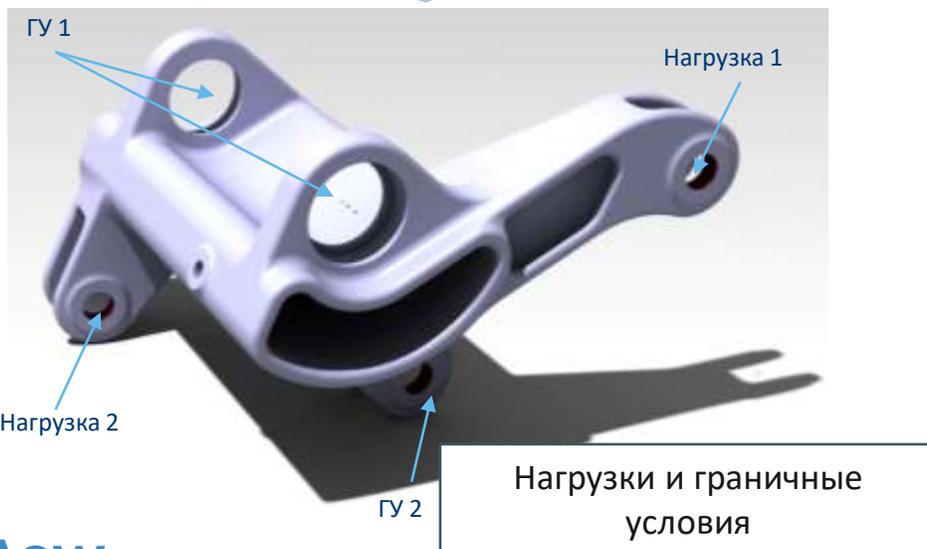
Сплав	AlSi10Mg (RS-300)	RS-390	RS-230
σ_B^{20} , МПа	350	360	490
$\sigma_{0,2}^{20}$, МПа	215	265	430
T раб °C	175	250	250
$\sigma_B^{раб}$, МПа	140	170	170

Топологическая оптимизация деталей в ИЛМиТ

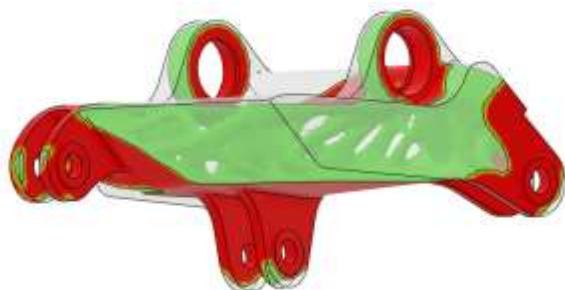


Деталь для оптимизации: качалка системы механизации крыла

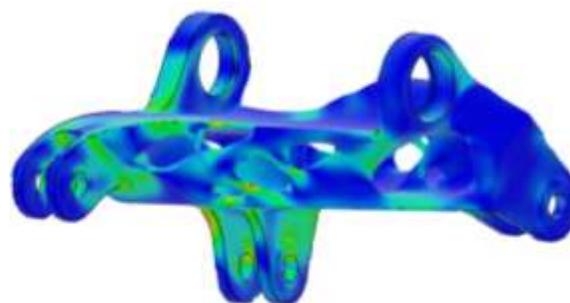
Цель оптимизации: снижение массы при условии минимизации податливости



Топологическая оптимизация деталей в ИЛМиТ



Распределение условных плотностей



НДС оптимизированной детали



Деталь перед установкой на стенд

Параметры оптимизации		
	До	После
Масса, кг	0,641	0,544*
Сплав	AK7	RS-320
Плотность, г/см ³	2,7	2,7
Технология производства	Литье	3D-печать

*Минимальный коэффициент запаса при наихудшем случае нагружения составляет 1,68. Выигрыш в массе 15%

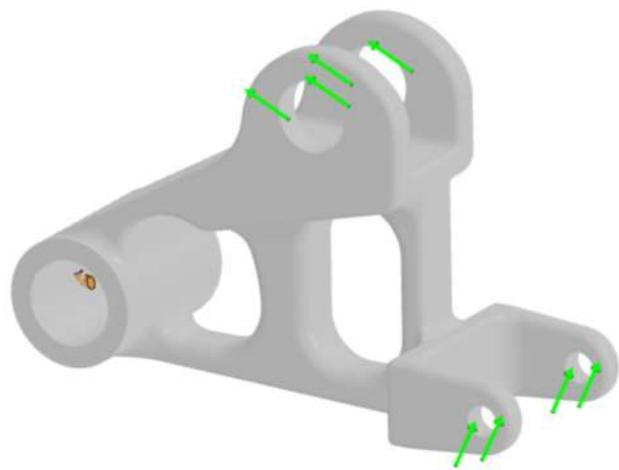
Топологическая оптимизация деталей в ИЛМиТ

Деталь для оптимизации: кронштейн авиационной техники

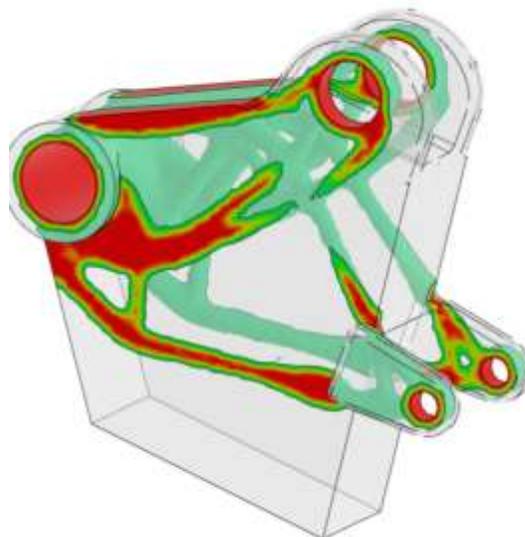
Цель оптимизации: снижение массы при условии минимизации податливости

Параметры оптимизации		
	До	После
Масса, кг	3,15	1,58
Сплав	AK9	RS-300
Плотность, г/см ³	2,7	2,7
Технология производства	Литье	3D-печать

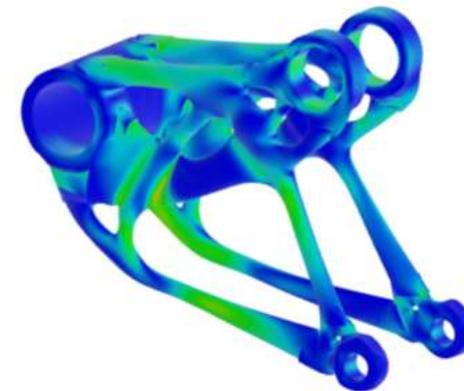
*Минимальный коэффициент запаса при наихудшем случае нагружения составляет 1,73. Выигрыш в массе 51%



Исходная деталь с нагрузками и ГУ



Распределение условных плотностей



НДС оптимизированной детали

Центр АТ ИЛМиТ

Основное оборудование центра АТ



Атомайзер BluePower
AU12000
30 кг по алюминию



3D сканнер Kreon
Ace Skyline
Точность 15 μm



Принтер EOS M290



ПО 3DEXPERIENCE

- Моделирование процесса печати изделия
- Топологическая оптимизация (под традиционные технологии производства и 3D-печать)
- Перепроектирование детали под АТ
- Прочностные расчеты
- Реверс-инжиниринг

Испытательный центр ИЛМиТ

Участок литья и термической обработки

Участок механической обработки

Лаборатория исследования физических свойств

определение теплоемкости, теплопроводности, КТР

Лаборатория исследования механических свойств материала

Определение статической прочности при комнатной температуре и с нагревом, испытания на МЦУ, МнЦУ

Лаборатория коррозионных исследований

Общая коррозия, климатическая коррозия, фреттинг-коррозия

Лаборатория металлографического и химического анализа



ALLOW

aluminium crafted by hydro power



По всем вопросам:

Мария Гроль, Руководитель проекта Департамента аддитивных технологий ИЛМиТ
Mariya.Grol@rusal.com