

The background of the slide is a composite image. The top left portion shows a close-up of blue water with ripples. The bottom right portion shows several 3D printed metal parts with a complex, lattice-like structure, arranged in a row. The parts are light gray and have a matte finish.

Преимущества применения новых алюминиевых материалов для 3D печати

Дмитрий Рябов

Институт Легких Материалов и Технологий ОК РУСАЛ

Институт Легких Материалов и Технологий (ИЛМиТ)

Стратегические цели

- Создание новой продукции с высокой добавленной стоимостью, разработка технологий и их внедрение (сплавы, композиционные материалы, керамические и армирующие материалы)
- Научная и технологическая поддержка производства и поиск новых применений производимой продукции
- Формирование научно-производственного кластера потребителей и разработчиков для расширения сфер потребления алюминия

Коллектив ИЛМиТ

Из 52 сотрудников 18 имеют степень кандидатов наук



Расположение: Москва, Ленинский проспект 6 стр. 21

Компетенции ИЛМиТ

Департамент литейных сплавов

- Новые сплавы
- Литейные технологии
- Комбинированные технологии производства

Департамент аддитивных технологий

- Материалы для 3D-печати
- Технологии изготовления деталей
- Производство порошков

Департамент деформируемых сплавов и композиционных материалов

- Металлы и композиционные материалы
- Технологии экструзии, волочения, прокатки,ковки

Департамент химических технологий, легирующих и армирующих добавок

Новые неметаллические продукты

Легирующие и армирующие материалы

Технологии получения фторидов и редкоземельных материалов

В работе **12** R&D проектов

Более **20** партнеров – университетов и компаний в РФ и за рубежом

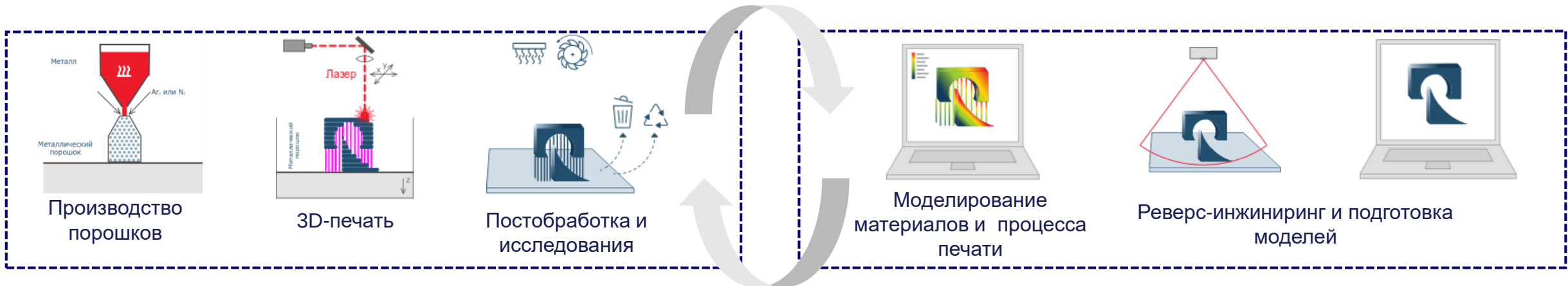
В разработке более **20** новых типов продукции



АДДИТИВНЫЙ ЦЕНТР РУСАЛ

Блок производства/исследований материалов

Инжиниринговый блок



Атомайзер
BluePower AU12000



EOS M290



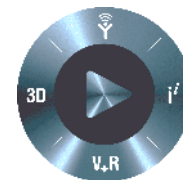
Испытательный
центр



3D-
сканирование



Термодинамическое
моделирование



3DEXperience: топологическая оптимизация,
расчеты, моделирование процессов печати

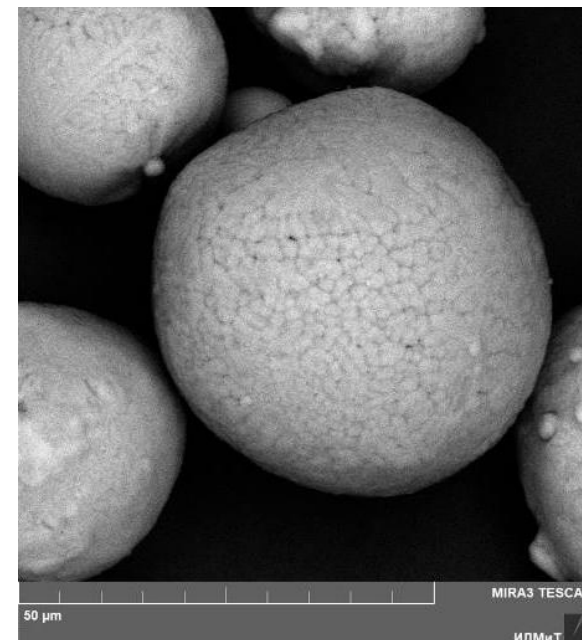
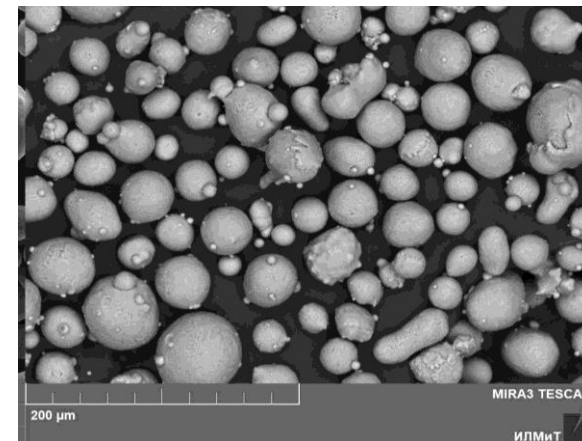
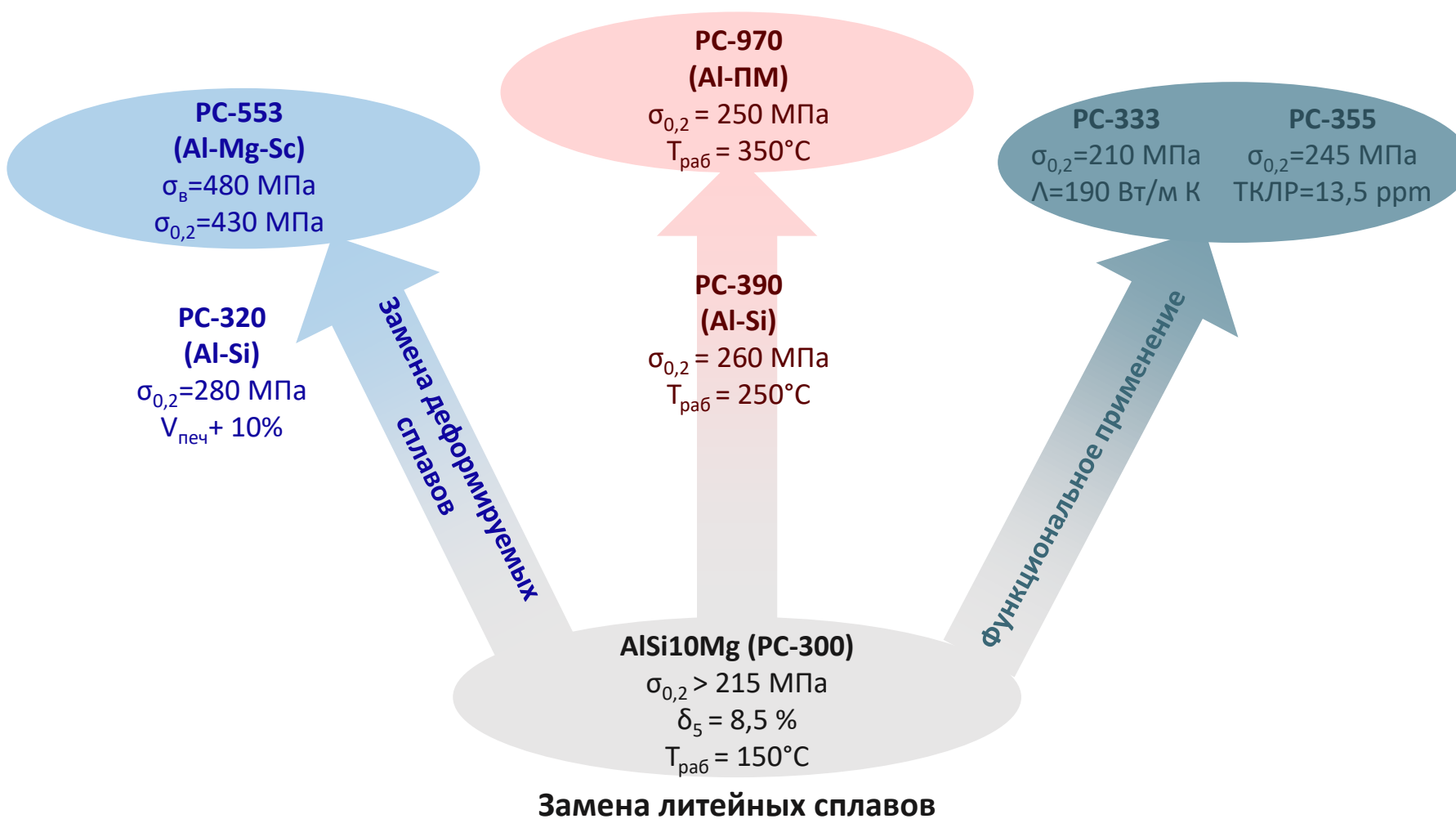


Собственный аддитивный центр позволяет поставлять комплексный продукт, представляющий собой порошок с режимами печати

Помимо этого мы готовы оказывать услуги по инжинирингу, печати изделий и технологическому сопровождению при организации производства у Потребителя

ЛИНЕЙКА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ АТ

Порошки производятся серийно в условиях ВАЛКОМ ПМ соответствии с ТУ 24.42.00-002-44669951-2019



СПЛАВ РС-320 С ПОВЫШЕННОЙ ПРОЧНОСТЬЮ

РС-320 – Сплав системы Al-Si-Cu с высокой технологичностью при СЛС. Сплав может применяться после отжига и после РС-320 может применяться в качестве замены литейных и некоторых деформируемых среднечных сплавов

Механические свойства (типичные)	РС-320		AlSi10Mg	A360-F* (Литое)
	Отжиг	T6	Отжиг	Отжиг
E, ГПа	71	71	68	71
σ_B , МПа	430	370	350	317
$\sigma_{0,2}$, МПа	240	300	220	165
δ_5 , %	4,0	6,1	7,5	3,5
НV	124	124	120	75

>30%

Повышенные характеристики прочности по сравнению с алюминиевым литьем

<0,3%

Пористость деталей



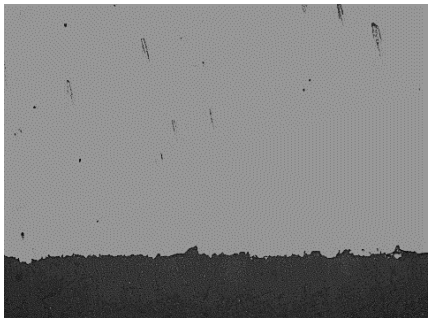
Корпус раздаточной коробки передач

- Время изготовления детали – 68 часов
- Характеристики лучше чем при литье в металлическую форму
- Время подготовки производства – 2 часа

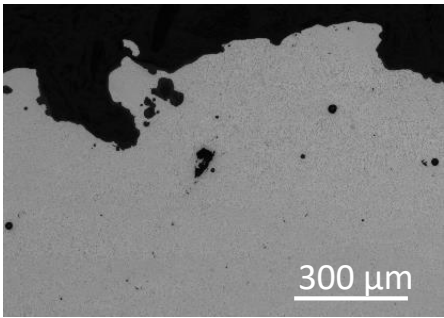
ЭКОНОМНОЛЕГИРОВАННЫЙ СПЛАВ РС-553

РС-553 коррозионностойкий высокопрочный сплав системы Al-Mg-Sc. Высокий уровень эксплуатационных характеристик достигается за счет отжига, без проведения закалки. Комплексное легирование Sc и переходными металлами позволяет достичь оптимального уровня характеристик при конкурентной стоимости по сравнению с традиционными Sc-содержащими сплавами

Свойства после отжига		РС-553	Д16Т*
Е, ГПа		72	73
σ _В , МПа	XY	485	440
	Z	480	
σ _{0,2} , МПа	XY	440	290
	Z	430	
δ ₅ , %	XY	12,5	10,0
	Z	11,7	
МнЦУ (K _t = 1, N = 2 · 10 ⁷), МПа	XY	180	155
	Z	150	



РС-553: коррозия отсутствует



AlSi10Mg: максимальная глубина коррозии - 300 мкм

2,67 г/см³
Плотность материала

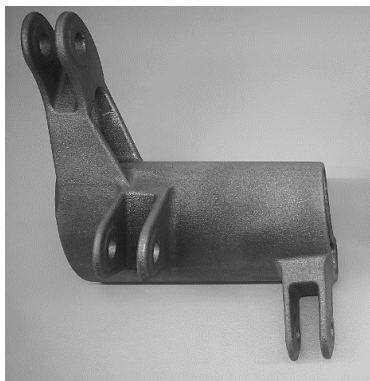
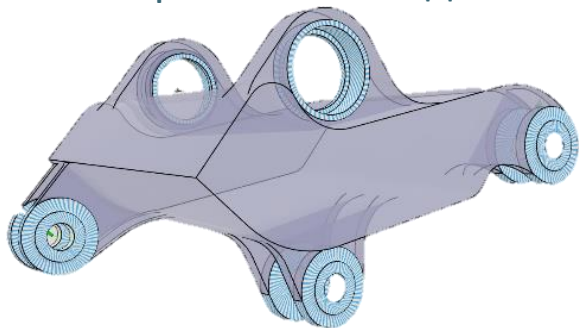
Не склонен
К горячим трещинам

<0,5%
Пористость деталей



ДЛЯ ЧЕГО НУЖНЫ НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

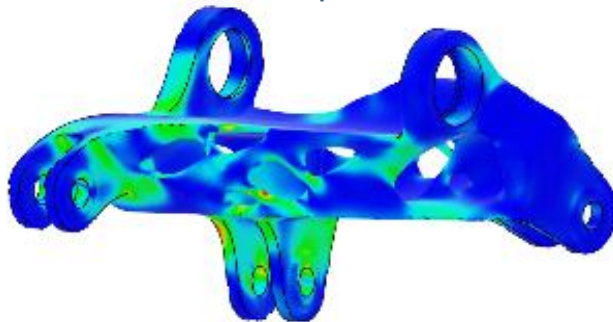
Оригинальная деталь



АК7ч (литье)

Масса - 641 г

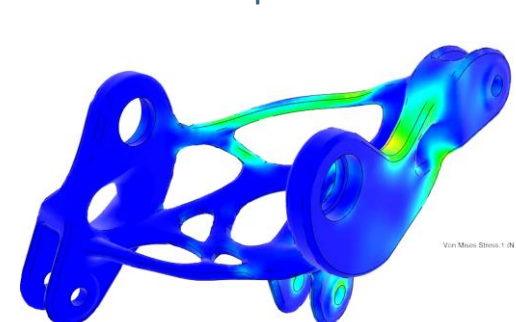
Концепт 1



PC-320 (3D печать)

Масса - 544 г (-15%)

Концепт 2



PC-553 (3D печать)

Масса - 370 г (-33%)

Новые материалы в совокупности с новыми подходами к проектированию деталей под АТ позволяют обеспечить существенный выигрыш в массе

СПЛАВ РС-333 С ПОВЫШЕННОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬЮ

РС-333 – среднепрочный алюминиевый сплав системы Al-Si-Mg с высокой теплопроводностью для изготовления элементов теплообменных агрегатов. Готовые детали должны быть подвергнуты искусственному старению без промежуточной операции закалки. По уровню механических и тепло-физических свойств является альтернативой деформируемым сплавам систем 6061 (АД33) и 6063 (АД31)

Типичные свойства (средние значения)			
		Синтез	Отжиг
Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	XY	160	235
	Z	170	240
Предел прочности σ_B , МПа	XY	300	315
	Z	310	320
Отн. удлинение δ_5 , %	XY	21,0	16,0
	Z	20,0	17,0
Твердость, HV		85	95
Теплопроводность (λ), Вт/м·К		170	188

Физические свойства	
Плотность, г/см ³	2,656
Пористость, об. %	≤ 0,35

Терморегулирующий корпус
детектора гамма-излучения
спутника «Ярило»

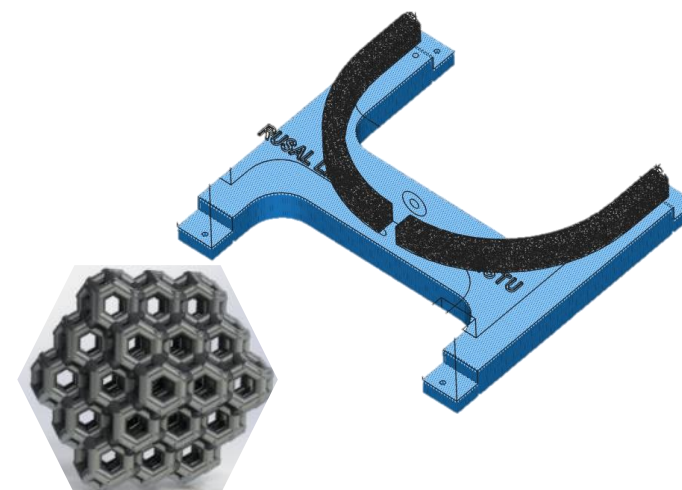


Время полного цикла
изготовления

40 часов

Деталь была включена в состав спутника, который отправлен на орбиту Земли в 2020г.

Внутренняя структура



Размер ячейки– 0.3 мм

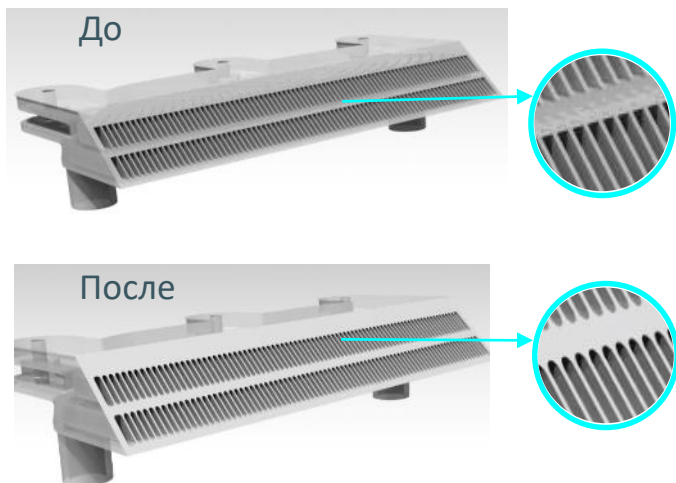
Снижение веса ~ 25%

Увеличение теплоотвода ~20%

ПРЕИМУЩЕСТВА НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

ПРИМЕНЕНИЕ СПЛАВА РС-333 ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ РКП

Оптимизация внутренней структуры под аддитивное производство



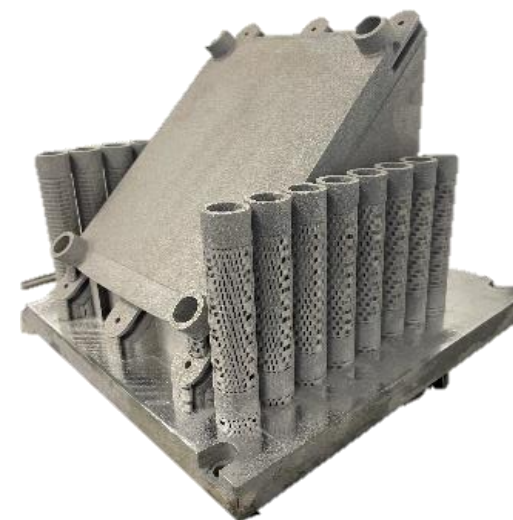
Время полного цикла изготовления ~120 часов

- ○ Подготовка модели
- ○ Подготовка 3D-принтера
- ○ Печать изделия
- ○ Удаление порошка из внутренних каналов
- ○ Термическая обработка
- ○ Удаление поддерживающих структур
- ○ Оценка геометрической точности детали

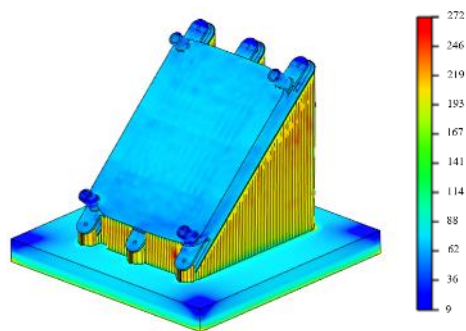
Процесс печати



Термоплата



Моделирование процесса печати



Оптимизация режима печати down-skin (45°)



$R_a = 28 \mu m$

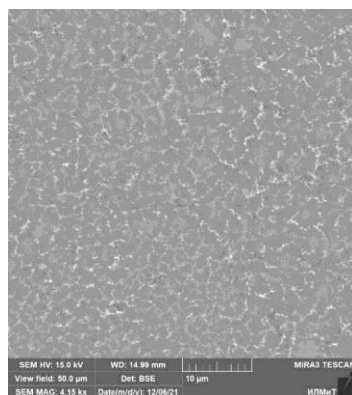


$R_a = 14 \mu m$

СПЛАВ РС-355 С ПОНИЖЕННЫМ ТКЛР

РС-355 – сплав на основе Al-Si, обладающий пониженным коэффициентом линейного теплового расширения с целью использования для печати прецизионных изделий, работающих в условии нагрева в контакте с другими материалами. Состав сплава был оптимизирован для технологии селективного лазерного сплавления. Материал рекомендуется применять после стабилизирующего отжига.

Типичные свойства		
	РС-355 3D печать + отжиг	CAC-1
Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	325	225
Предел прочности σ_B , МПа	245	215
Относительное удлинение δ_5 , %	0,5	0,8
ТКЛР (0-100°C), $10^{-6} \cdot 1/K$	13,7	14,5-15,5



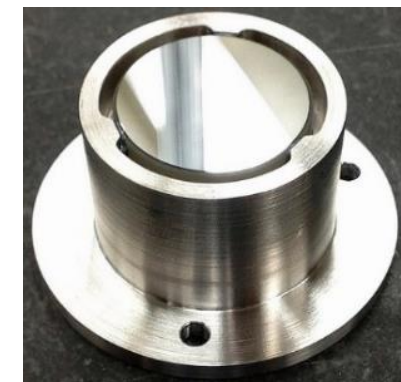
Пример структуры

КОЭФФИЦИЕНТ ЛИНЕЙНОГО ТЕПЛОВОГО РАСШИРЕНИЯ, $10^{-6} \cdot 1/K$			
	20-100°C	20-200°C	20-300°C
РС-355	13,7	14,6	15,1

18 см³/ч
Скорость печати

Не склонен
К горячим трещинам

<0,3%
Пористость деталей

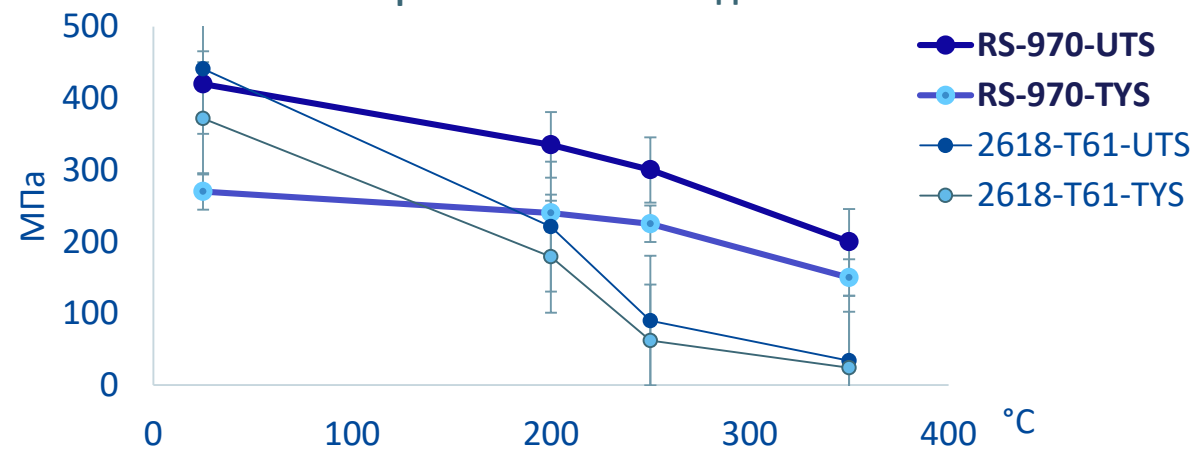


ЖАРОПРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

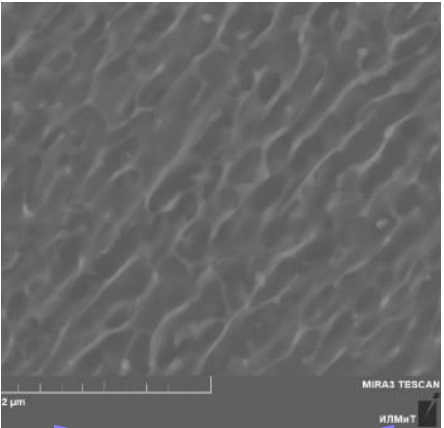
PC-970 – новый среднепрочный сплав на основе алюминия, стабилизированный переходными металлами, для работы в условиях повышенных температур. Сплав демонстрирует высокую производительность при СЛС и удовлетворительный уровень свойств в синтезированном состоянии и после отжига

Типичные механические свойства				
Сплав	PC-970 Отжиг	1201-T6 плита	AK4-T6 штамповка	Интерметаллид
σ_B , МПа	420	400	430	480
$\sigma_{0,2}$, МПа	270	290	380	420
δ_5 , %	6,0	6,0	7,2	2,5

Стабильность структуры материала обеспечивает работоспособность до 350 °C

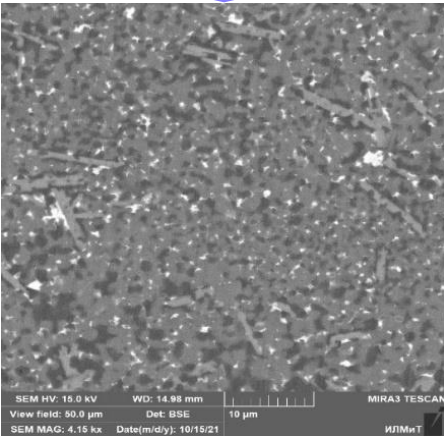


PC-970



HV = 145
Доля интермет. 10%

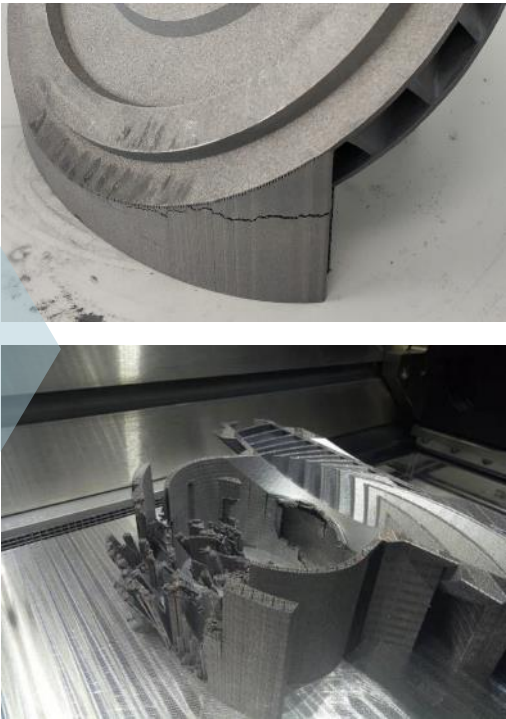
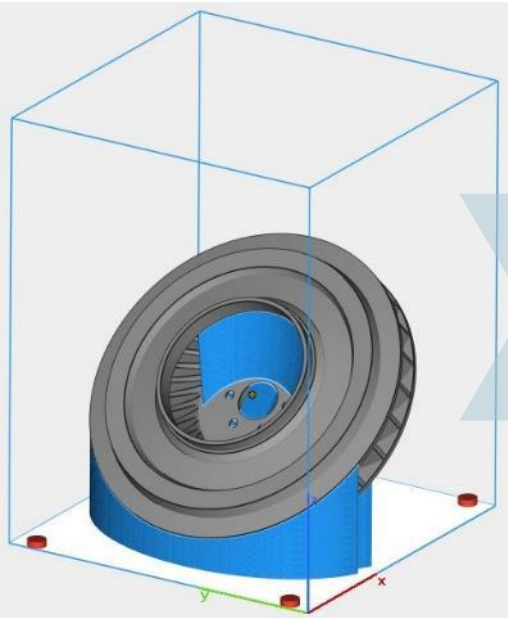
Интерметаллидный



HV = 220
Доля интермет. >40%
Траб > 350°C

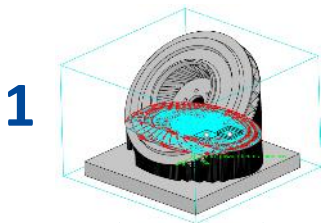
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕЧАТИ В ИЛМИТ

СТАНДАРТНЫЙ «ИТЕРАТИВНЫЙ» МЕТОД ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ



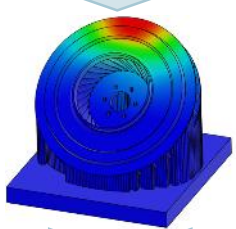
Плохое качество поверхности и частично разрушившиеся поддержки

ПЕЧАТЬ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ МОДЕЛИРОВАНИЕМ ПРОЦЕССА СЛС



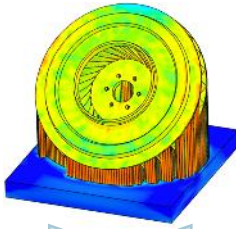
Расположение детали на платформе, подготовка стратегии печати

2



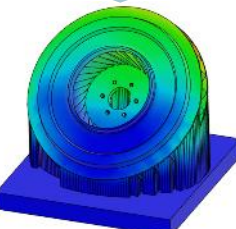
Распределение температур на последнем шаге, K

3



Распределение эквивалентных по Мизесу напряжений на последнем шаге, МПа

4



Распределение узловых перемещений на последнем шаге, мм

ИТОГ



Печать изделий без брака за 1 цикл

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕЧАТИ В ИЛМИТ

Деталь «Крыльчатка вентилятора»



Стандартная технология

3D печать

АМг6

Материал

3 мес.

Цикл изготовления

60 шт.

Количество сварных соединений

9 кг

Расход материала на 1 деталь

Материал

АК7ч

Цикл изготовления

60,5 ч.

Количество сварных соединений

0 шт.

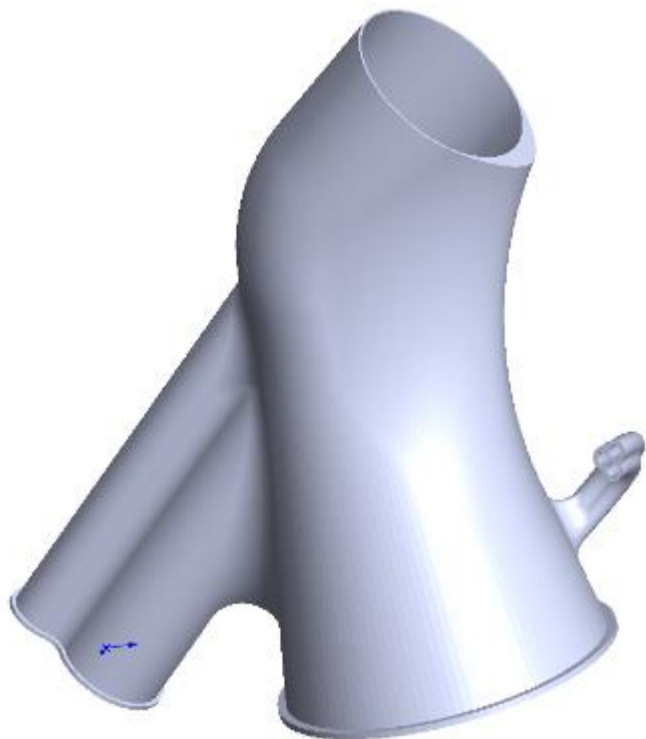
Расход порошка на 1 деталь

1,8 кг

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРОЦЕССОВ СЛС В ИЛМИТ

Оптимизация процесса СЛС является ключевым фактором снижения стоимости изделий. В результате исследований разработаны высокоскоростные режимы печати материалов **AlSi10Mg (PC-300)** и **AlSi7Mg (PC-356)**, обеспечивающих минимальное количество дефектов и сохранение уровня механических свойств.

Деталь для оптимизации: воздуховод
Объем: 1003, 25 см³
Метод изготовления: СЛС



Материал	PC-300 (AlSi10Mg)		
Режим печати	Стандартный	60 мкм	80 мкм
Скорость печати, см ³ /ч.	18,4	41,0	60,5
Время печати, ч.	97,5	46,2	34,3
Предел прочности, МПа	350	350	320
Шероховатость Rz, мкм	8	12	15



Пористость материала не превышает 0,2%

Производство порошков по заказу

Порошки производятся в среде защитных газов по собственной технологии. По запросу Потребителя может быть получен специализированный грансостав или организовано распыление любого алюминиевого сплава

Две площадки:



Валком ПМ (г. Волгоград) – промышленное производство больших партий



ИЛМиТ (г. Дмитров) – производство малых партий

AlloW

aluminium crafted by hydro power

По всем вопросам:

Дмитрий Рябов, Директор по науке ИЛМиТ

Dmitriy.Ryabov2@rusal.com

+7 (495) 720 51 70 доб. 1234

