



Современные российские алюминиевые проволочные материалы для аддитивных технологий



Иван Грушин

Институт Легких Материалов и Технологий ОК РУСАЛ

В 2017 году РУСАЛ основал новый R&D центр – 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

Более 50 сотрудников 15 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 и проволоочных материалов
- **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



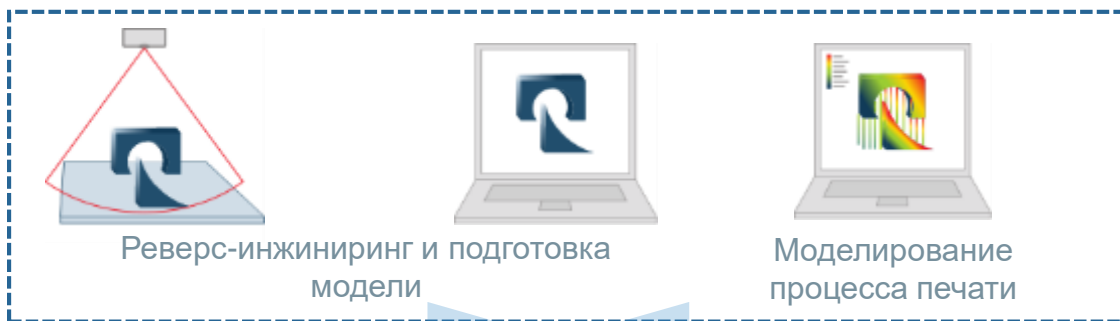
Более 20 партнеров – университетов и компаний в РФ и за рубежом



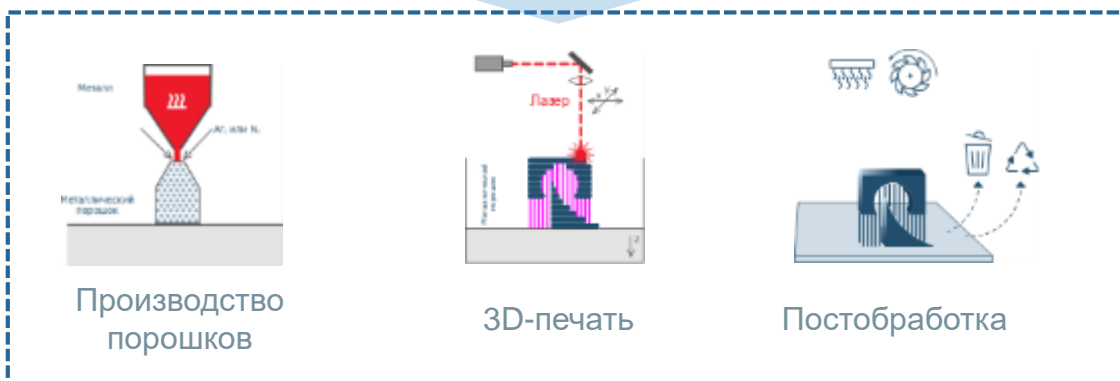
В разработке более 20 новых типов продукции

Полный цикл создания конечных изделий

Инжиниринг



Разработка материала



Атомайзер BluePower AU12000



EOS M290



Kreon Ace Skyline

Участок литья и термической обработки

Участок механической обработки

Лаборатория моделирования производственных процессов

Лаборатория исследования физических свойств

Лаборатория исследования механических свойств материалов

Лаборатория коррозионных исследований

Лаборатория металлографического и химического анализа



Металлография



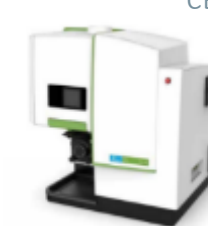
Физические свойства



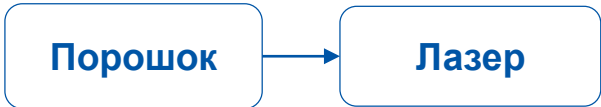
Механические свойства



Химический анализ



Классификация аддитивных технологий для AI



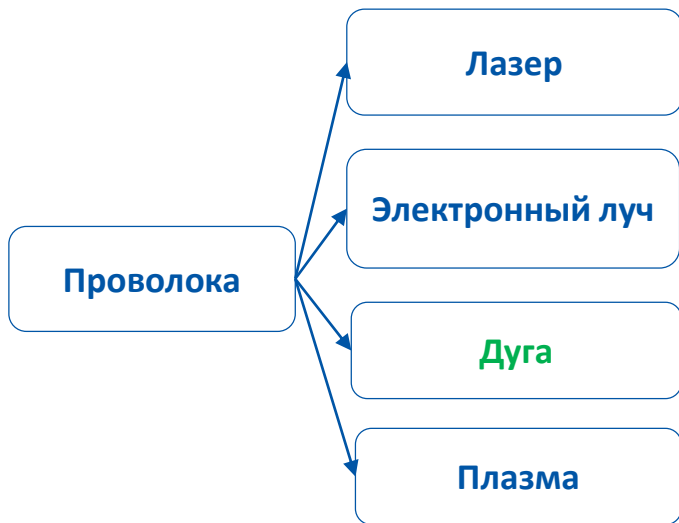
- +**
 - ✓ Точность изготовления **0,05 мм**
 - ✓ Изготовление сложнопрофильных деталей
 - ✓ Минимальная постобработка
- - ✓ Высокая стоимость оборудования
 - ✓ Высокая стоимость порошков
 - ✓ Максимальные габариты деталей 800x400x500 мм;
 - ✓ Скорость печати до 1 кг/ч;



EOS M-Series



AlSi10Mg – 20 USD/kg



- +**
 - ✓ Максимальные габариты деталей **до 5 м;**
 - ✓ Невысокая стоимость оборудования и проволоки;
 - ✓ Скорость печати – **до 10 кг/ч;**
- - ✓ Точность изготовления 0,3 мм (необходимость механической обработки)

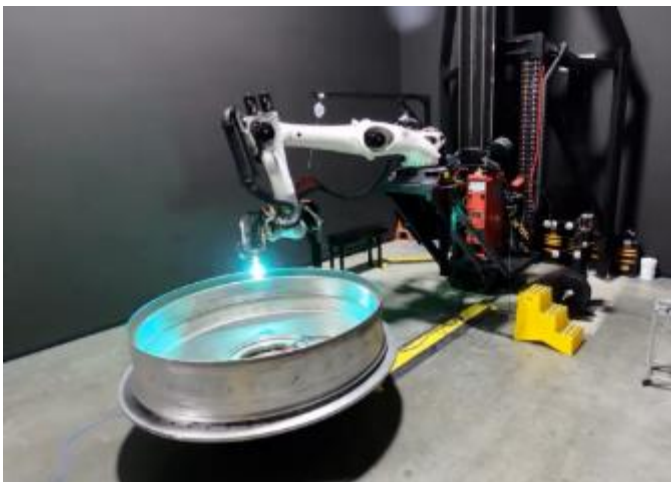


0,8 млн. USD



5XXX – 8 USD/kg

Проволочные аддитивные технологии



Сухая масса ракеты-носителя – 9,3 т
Высота 33,5 м
Диаметр – 2,28 м
Грузоподъёмность полезной нагрузки – 1,25 Т

В 2024 году запланирован запуск ракеты-носителя с полезной нагрузкой до 20 т и диаметром 4,9 м



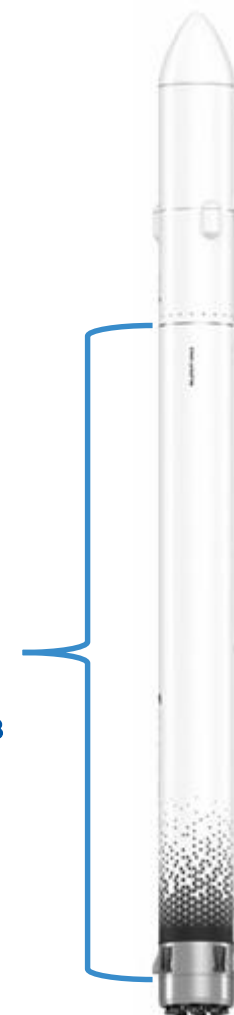
Судостроение
Damen Shipyards

Авиастроение
Stella+CT Ingénierie

Двигателестроение
Aircraft Philipp



Первая ступень
Выполнена из
алюминиевых
сплавов

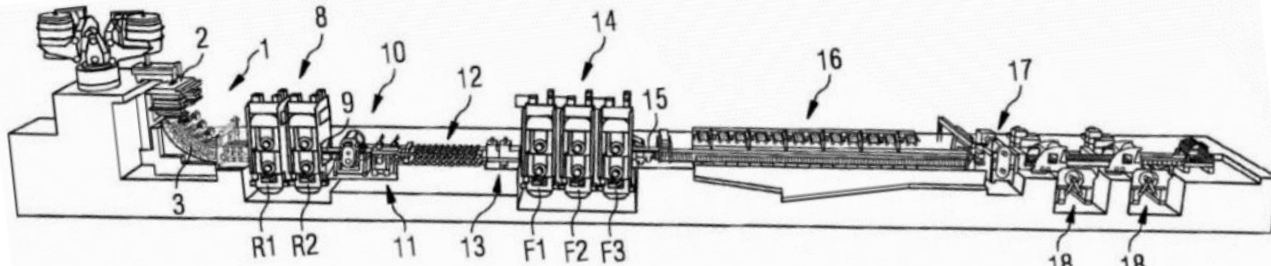


Опытные алюминиевые сплавы для технологии WAAM



При разработке материала необходимо учитывать не только комплекс физико-механических и специализированных характеристик конечных изделий, но и технологические особенности получения полуфабрикатов на всех стадиях производства

1. Линия совмещенного литья и прокатки-прессования



2. Получение сварочной проволоки заданного диаметра



Технологические особенности процесса на стадии получения проволоки при разработке материала:

1. Скорость деформации материала,
2. Температура разогрева при деформации
3. Пластичность материала
4. Текучесть материала

1. Скорость деформации материала
2. Температура разогрева при деформации
3. Соотношение пластичности и прочности материала

3. Отработка режимов синтезирования изделий

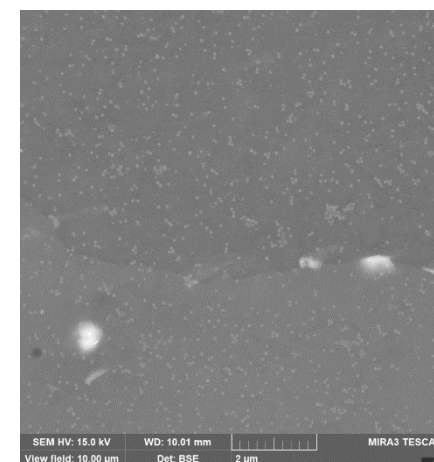
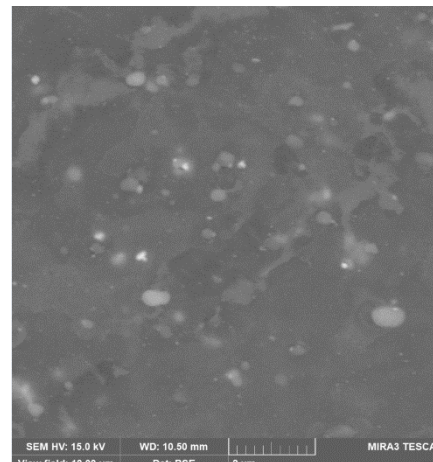
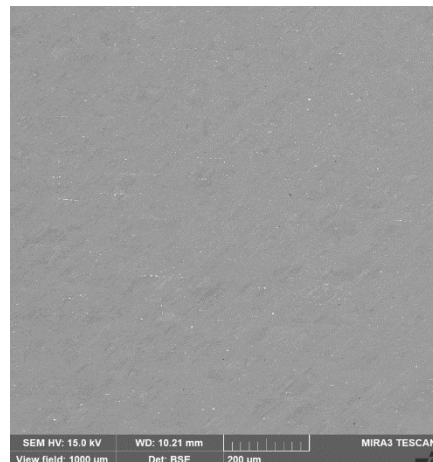
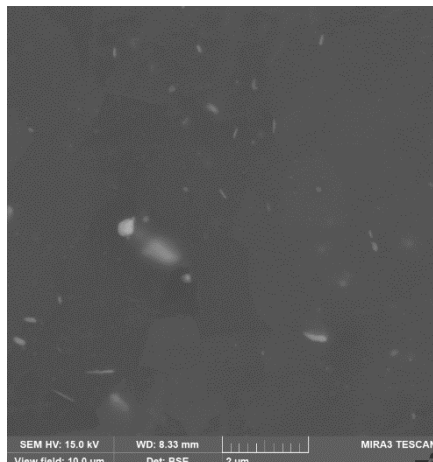
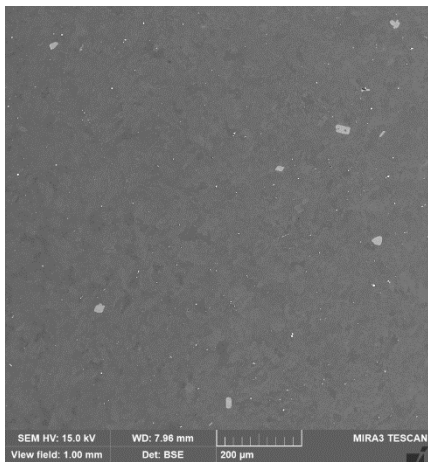


1. Свариваемость
2. Особенности структурообразования
3. Выгорание ЛЭ
4. Напряженно-деформированное состояние

Опытные алюминиевые сплавы для технологии WAAM. Структура



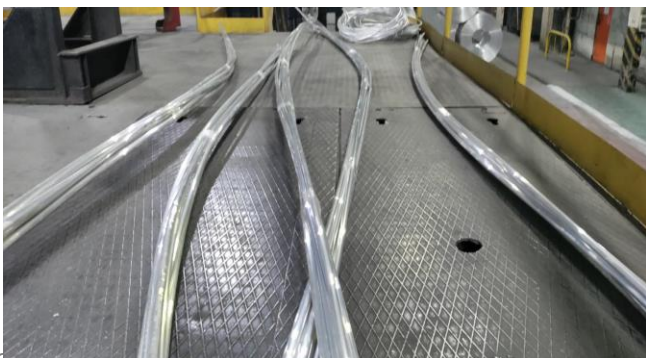
Учитывая все технологические особенности получения проволочных материалов были разработаны составы систем легирования Al-Mg-Zr-Sc и Al-Cu, легированные переходными элементами (ПМ) и редкоземельными металлами (РЗМ), которые позволяют обеспечить необходимое формирование фазового состава и структуры материала. Которые в свою очередь позволяют получить необходимые свойства материала на всех стадиях производства, а также обеспечить высокие показатели физико-механических характеристик конечного изделия.



Структура прутков, полученных на линии совмещенного процесса литья и прокатки-прессования

Структура проволоки диаметром 1.2 мм, полученной методом волочения

Структура после наплавки

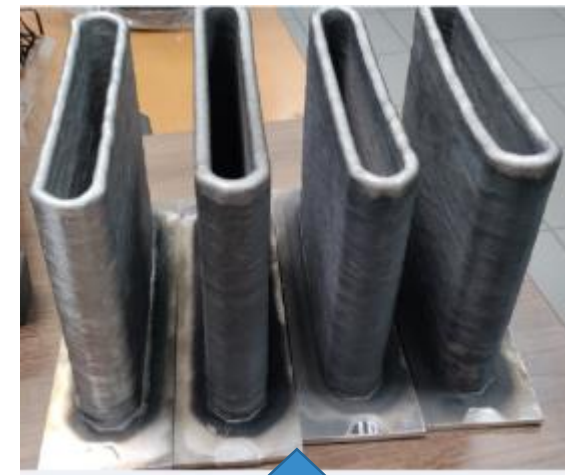
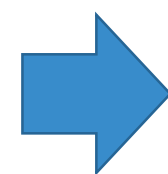
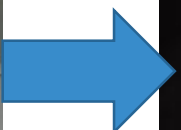


Опытные алюминиевые сплавы для технологии WAAM.

Отработка режимов печати



На установке проволочно-дугового аддитивного производства С7 предприятия ООО «Космические транспортные системы» были отработаны режимы синтеза опытных составов Al-Mg-Zr-Sc и Al-Si с добавками ПМ и РЗМ, а также получены пробные изделия в виде замкнутых стенок.



Опытные алюминиевые сплавы для технологии WAAM.

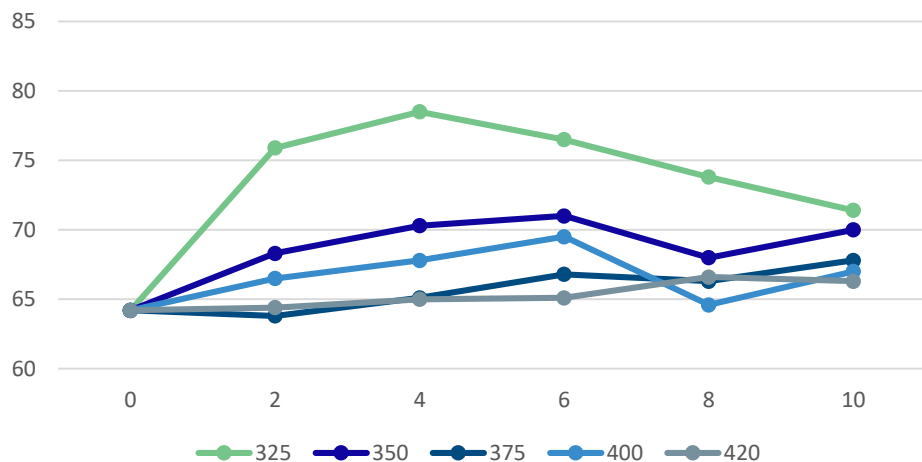
Режим термической обработки

В настоящий момент проводится работа по подбору режимов термической обработки, обеспечивающих:

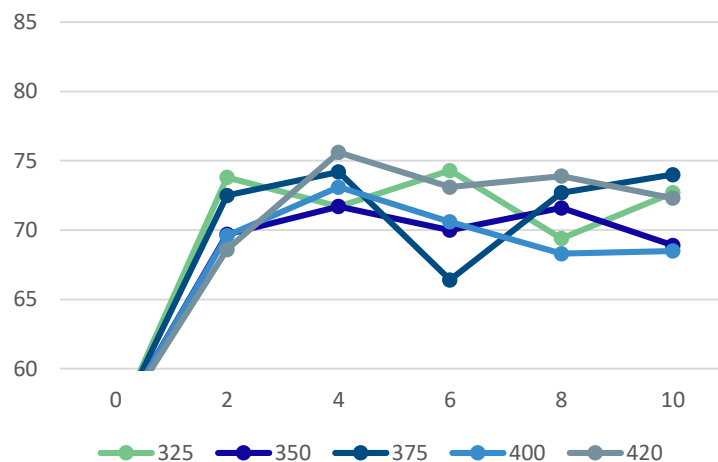
1. Формирование благоприятного структурного состояния
2. Снятие напряженного-деформированного состояния после синтезирования
3. Вариативность соотношения комплекса физико-механических характеристик

№ п/п	Вид ТО
1	Отжиг в интервале температур 325-420°С с временем выдержки от 2 до 12 ч
2	T6 (Закалка + старение)

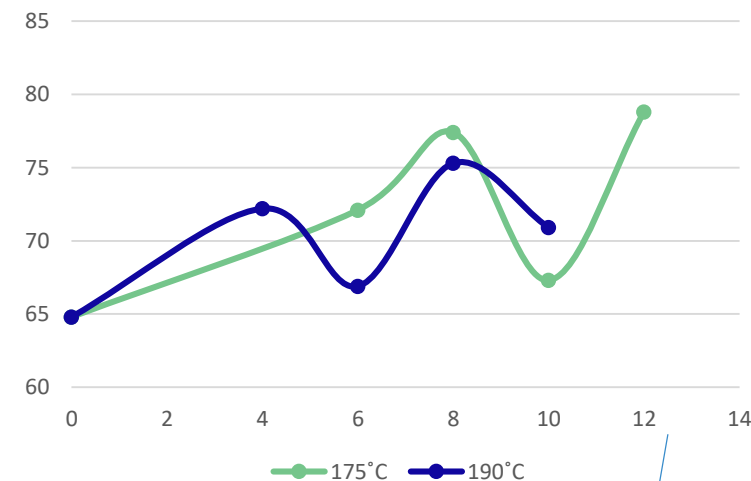
Твердость после ТО



Твердость после ТО



Твердость после ТО



Опытные алюминиевые сплавы для технологии WAAM.

Опытные составы систем легирования Al-Mg-Zr-Sc и Al-Cu, легированные переходными элементами (ПМ) и редкоземельными металлами (РЗМ) позволяют обеспечить высокий уровень физико-механических характеристик конечного изделия, а режимы термической варьировать их соотношение в широком диапазоне для обеспечения необходимого комплекса свойств.



Характеристики сплава		
Система	AlMgZrSc	AlCu
Предел текучести, МПа	Более 170 МПа	425 МПа
Предел прочности, МПа	Более 300 МПа	300 МПа
Отн. удлинение, %	Более 15	8

