



ИЛИСТ СПбГМУ

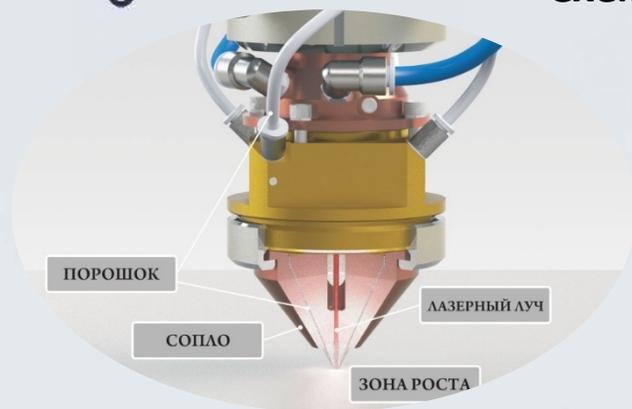
ИЛИСТ
ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И СВАРОЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

РАЗВИТИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРЯМОГО ЛАЗЕРНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ В СПБГМУ

Туричин Г.А.

25 МАЯ 2021 г.

Схема процесса

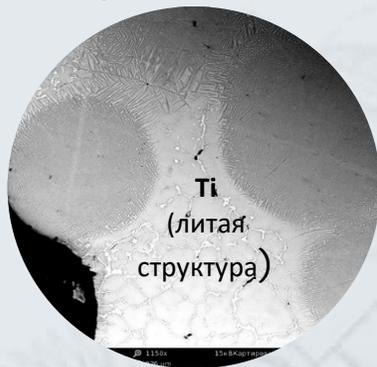


Коаксиальная схема



Некоаксиальная схема

- ✓ Через газопорошковую струю пропускается лазерное излучение.
- ✓ Получаем жидкую оболочку и твёрдое ядро порошинки.
- ✓ Контролируемое плавления порошка.
- ✓ Двухфазная ванна расплава и объемная кристаллизация.

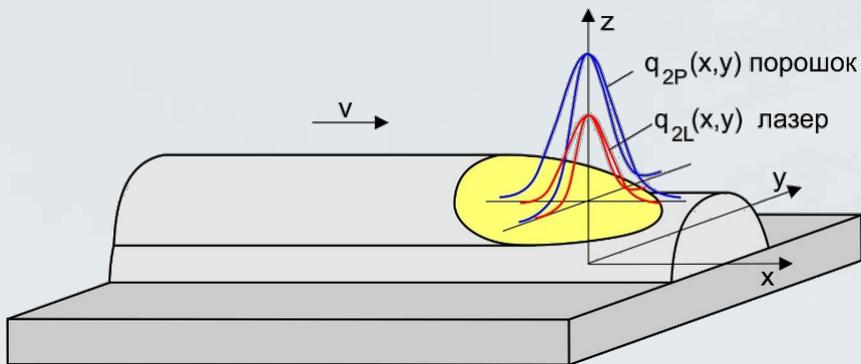


Физические процессы

- ✓ Газодинамические процессы переноса порошка в газовой струе
- ✓ Нагрев и плавление частиц порошка лазерным излучением
- ✓ Тепловые процессы в зоне роста
- ✓ Кристаллизация расплава и формирование поверхности изделия
- ✓ Формирование микроструктуры изделия.

Основные преимущества

- ✓ Увеличение производительности изготовления деталей сложной формы (до 2.5 кг/ч) из труднообрабатываемых материалов
- ✓ Снижение материалоемкости производства
- ✓ Возможность получения изделий с градиентными эксплуатационными характеристиками



Нелинейная квазистационарная задача теплопроводности

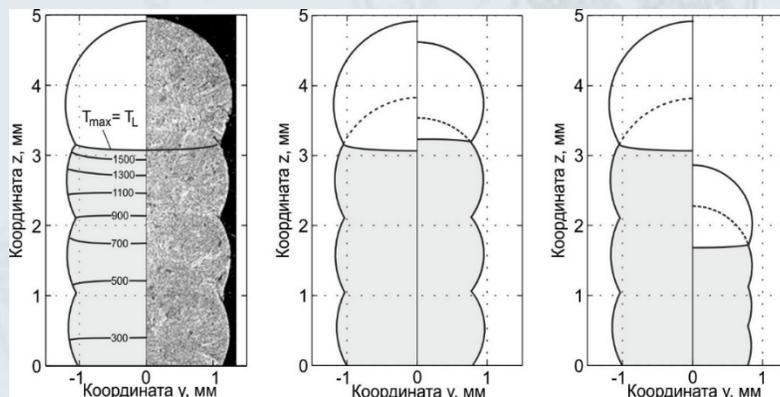
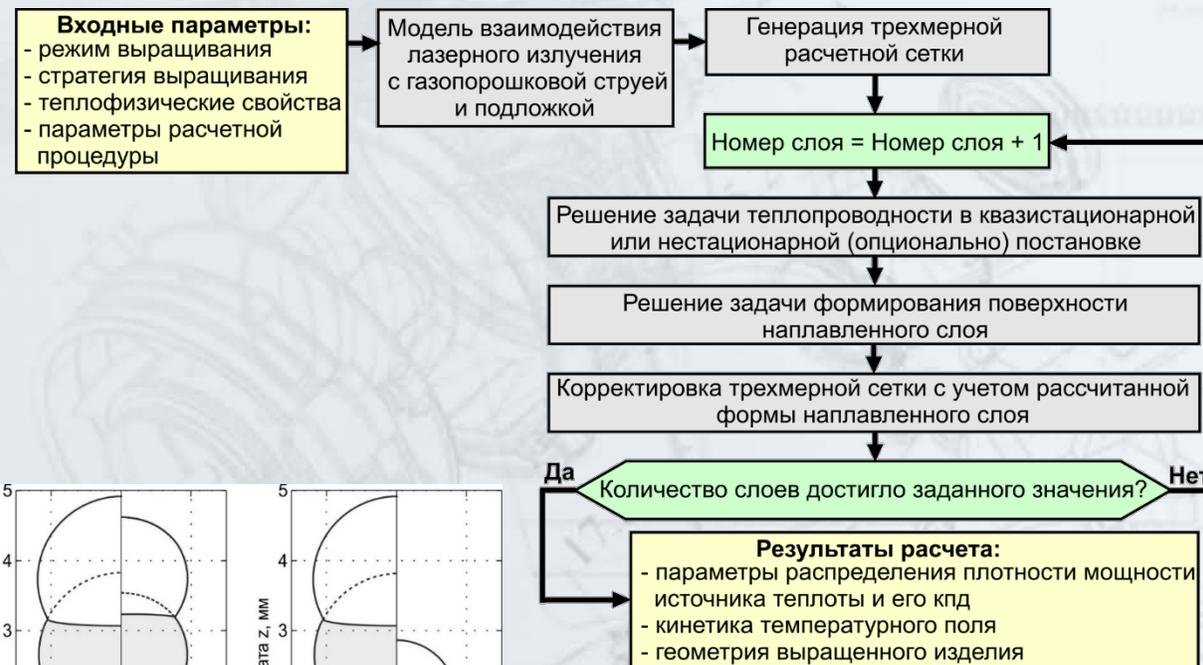
$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) + v c \rho \frac{\partial T}{\partial x} = 0$$

Нормально распределенный эллиптический источник теплоты:

$$q_{2L}(x, y) = \frac{\eta q_L \sin \beta}{\pi r_L^2} \exp \left[-\frac{(x \sin \beta)^2 + y^2}{r_L^2} \right]$$

Уравнение равновесия жидкой фазы в поле сил тяжести:

$$\sigma \kappa = -\rho g z_0 + C$$



а) б) в) Влияние распределения плотности мощности (а, б) и скорости процесса на форму поперечного сечения (в)

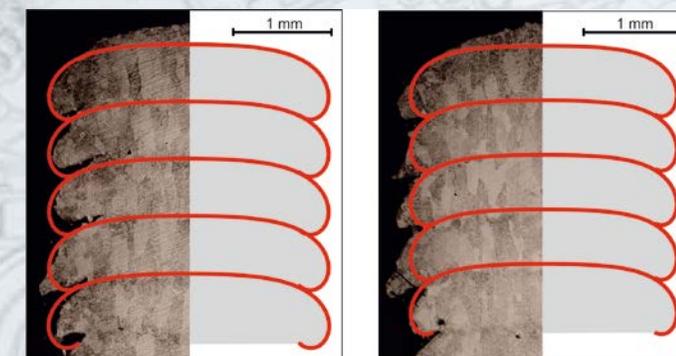
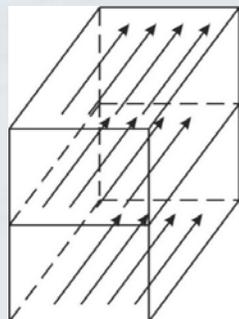
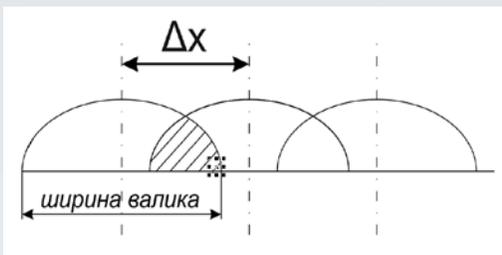
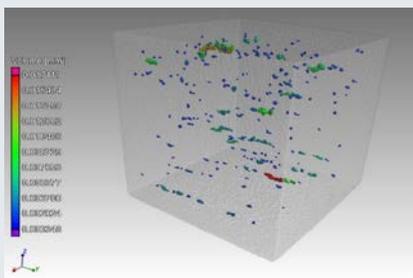




Схема формообразования при ПЛВ



Проблемы формообразования (несплавления)



Повышение качества поверхности за счет сканирования лазерным лучом в процессе ПЛВ



Без сканирования

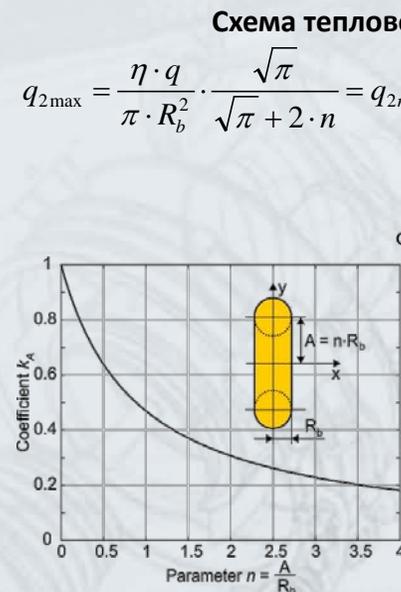
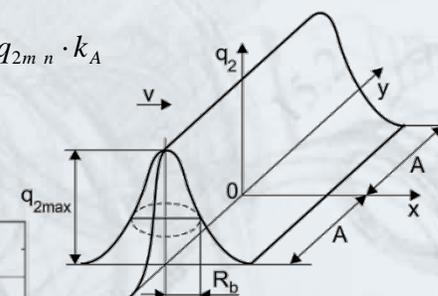


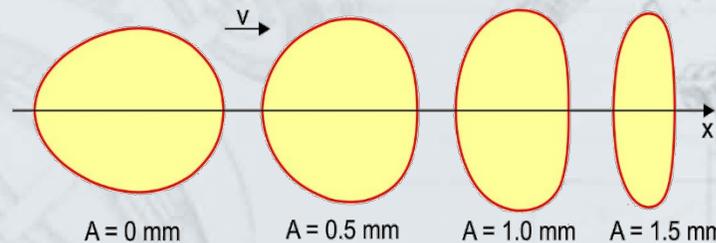
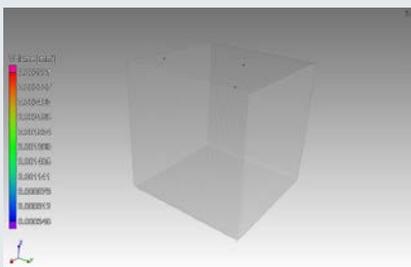
Схема теплового источника

$$q_{2max} = \frac{\eta \cdot q}{\pi \cdot R_b^2} \cdot \frac{\sqrt{\pi}}{\sqrt{\pi + 2 \cdot n}} = q_{2m n} \cdot k_A$$



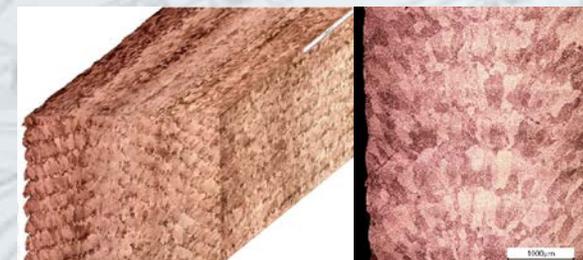
Со сканированием

Оптимизация технологических режимов



Форма ванны расплава при различных амплитудах сканирования

Радиус пучка 1.25 мм

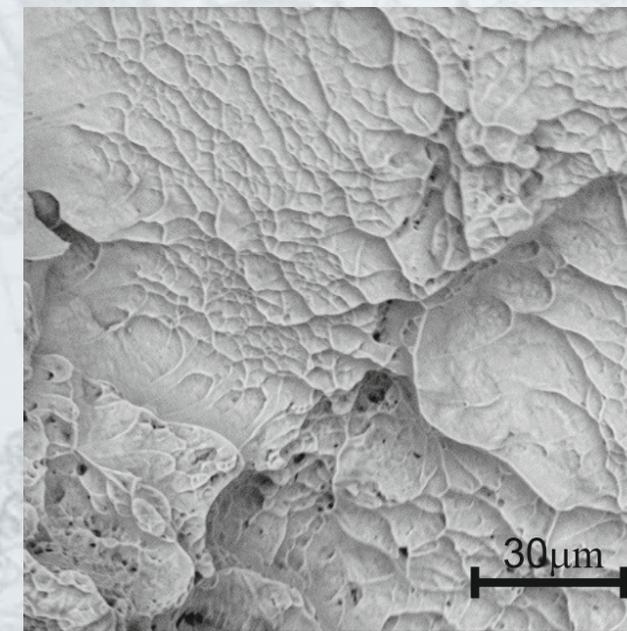




Материал	Производитель	Предел прочности, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение, %
Порошковые материалы отечественного производства				
ЭИ698П	ВИАМ	1021,0	837,0	18
ВВ751	ВИЛС	1115,6	981,9	8,7
ЖС6У	Композит	1353,0	1046,0	11,5
ВТ-20		968,0	882,0	6,6
ВТ-6	Галион	1150	1090	11
ПР-09Х14НЧБ	Полема	1451,4	1167,0	13,5
ПР28Х3СНМВФА		1667,2	1068,9	11,3
Порошковые материалы зарубежного производства				
Inconel 625	Höganäs	865,0	489,0	28,5
316L		570,0	272,5	41,0



Образец для механических испытаний
ГОСТ 11701-84



Излом ВТ-6, фракция порошка 100-200

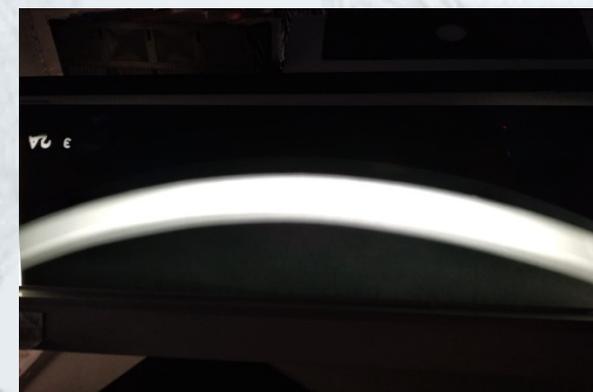


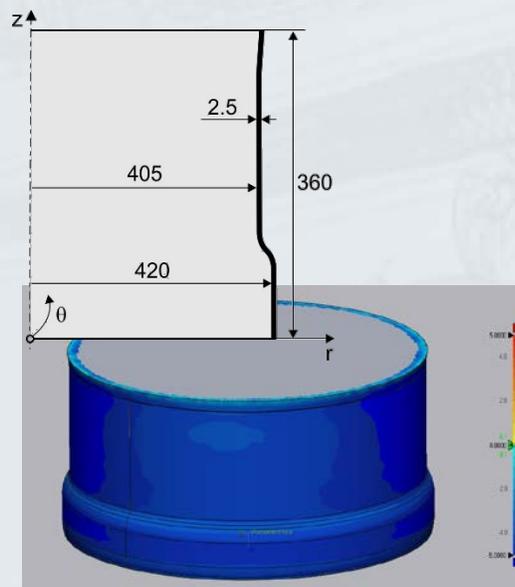
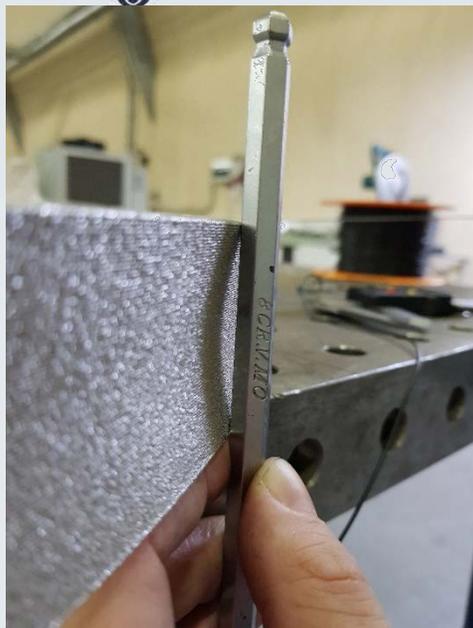
РЕНТГЕНОГРАФИЯ ИЗДЕЛИЙ

ИЛЛСТ

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И СВАРОЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

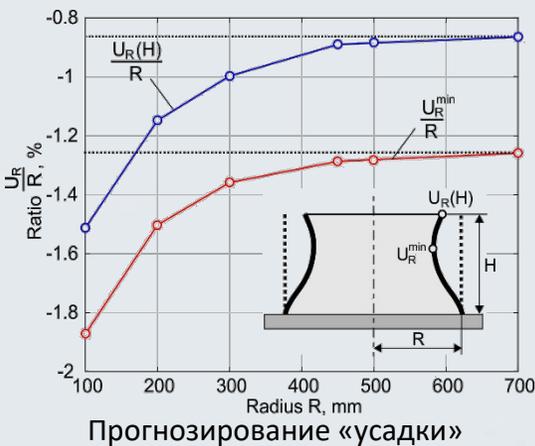
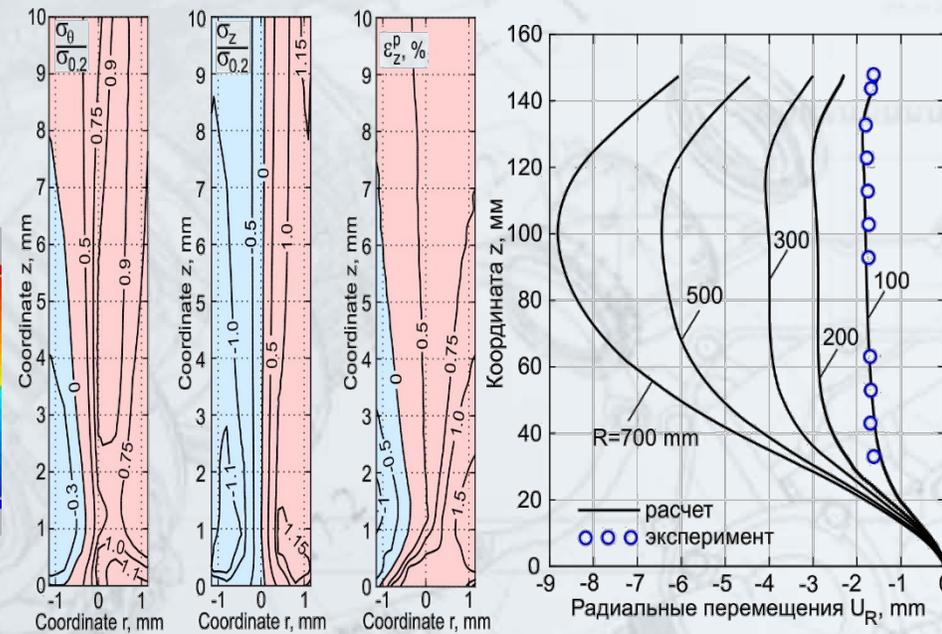
5



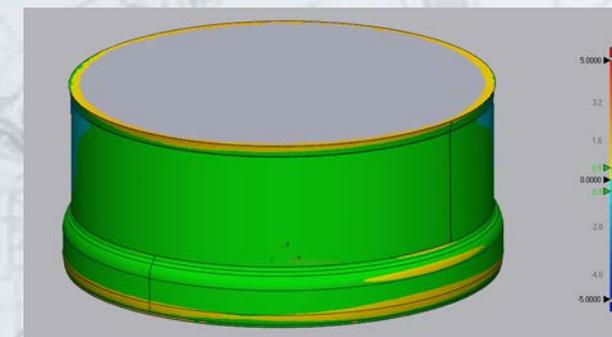


Уменьшение заданного радиуса на 5 мм

Моделирование напряженно-деформированного состояния



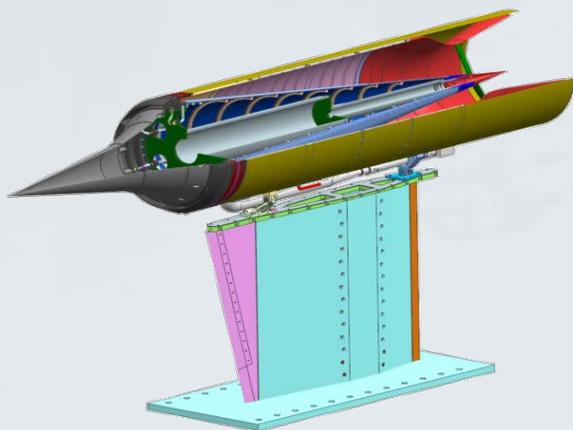
Корректировка управляющей программы на основе результатов моделирования



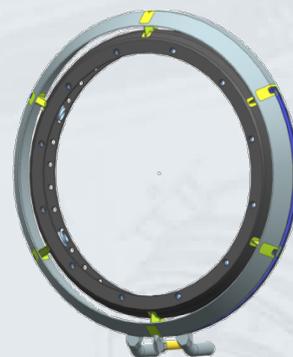
Точность построения +/- 0.2 мм на радиусе 420 мм (квалитет 9-10)



ИЗГОТОВЛЕНИЕ ВЫСОКОТОЧНЫХ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ ДЕТОНАЦИОННОГО ПРЯМОТОЧНОГО ВОЗДУШНО-РЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ



Прямое лазерное выращивание
Высокоточных заготовок



Входное устройство
(температура эксплуатации ≥ 950 °C)

Лазерная сварка входного устройства



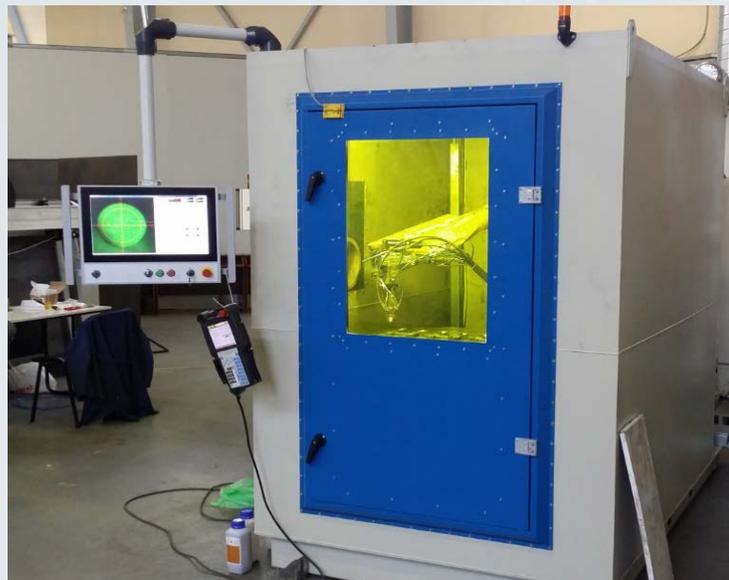
Топливный коллектор
(давление топлива 100 атм.)

Полноразмерный демонстратор ДПВРД

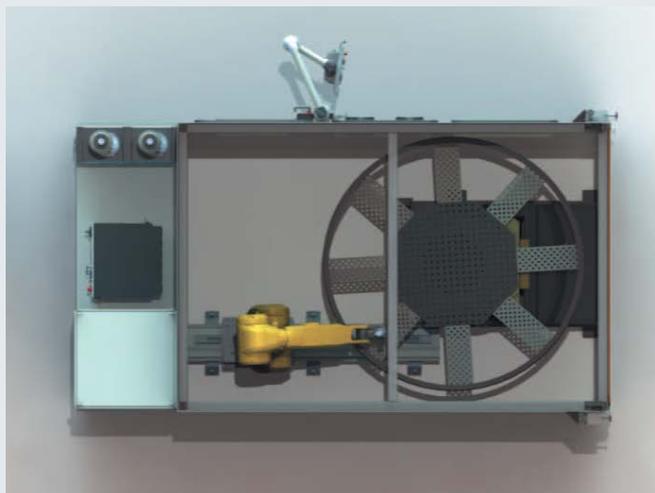




СУЩЕСТВУЮЩИЙ ТИПОРАЗМЕРНЫЙ РЯД ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ПРЯМОГО ЛАЗЕРНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ



Ввод в эксплуатацию - Июль 2018



Ввод в эксплуатацию - Февраль 2019

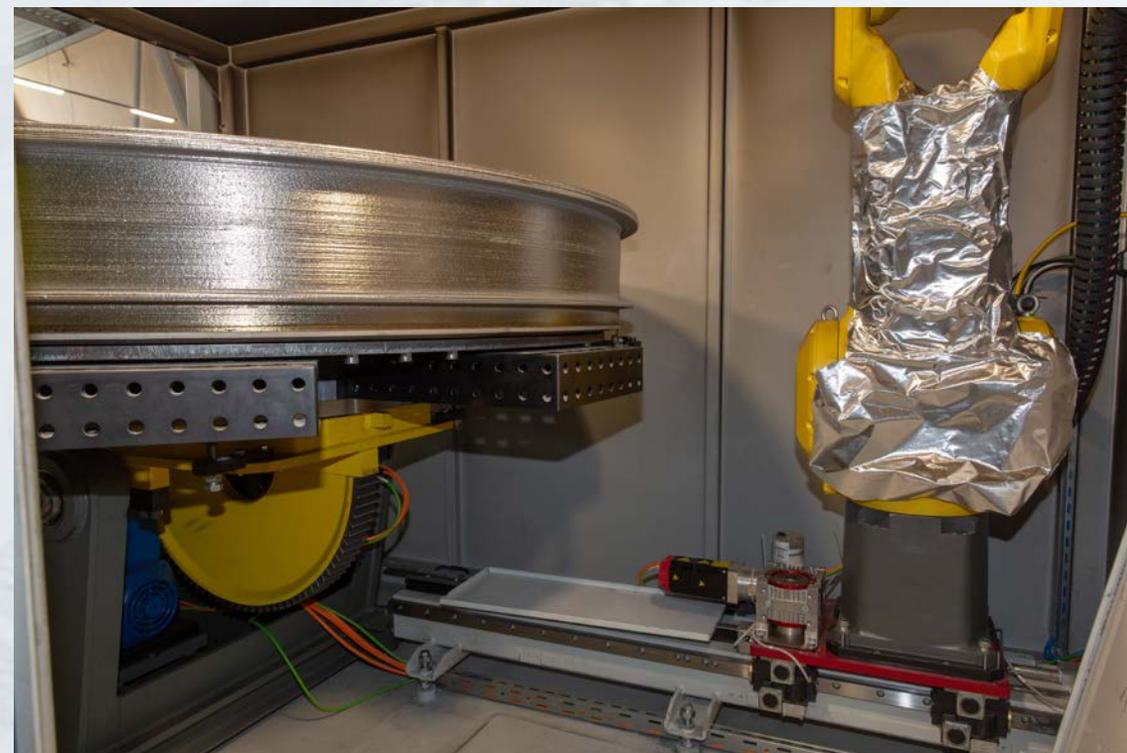


- S** – Ø 300 мм, h 300мм
- M** – Ø 800 мм, h 500мм
- L** – Ø 1300 мм, h 600мм
- XL** – Ø 2200 мм, h 600мм
- XXL** - ???

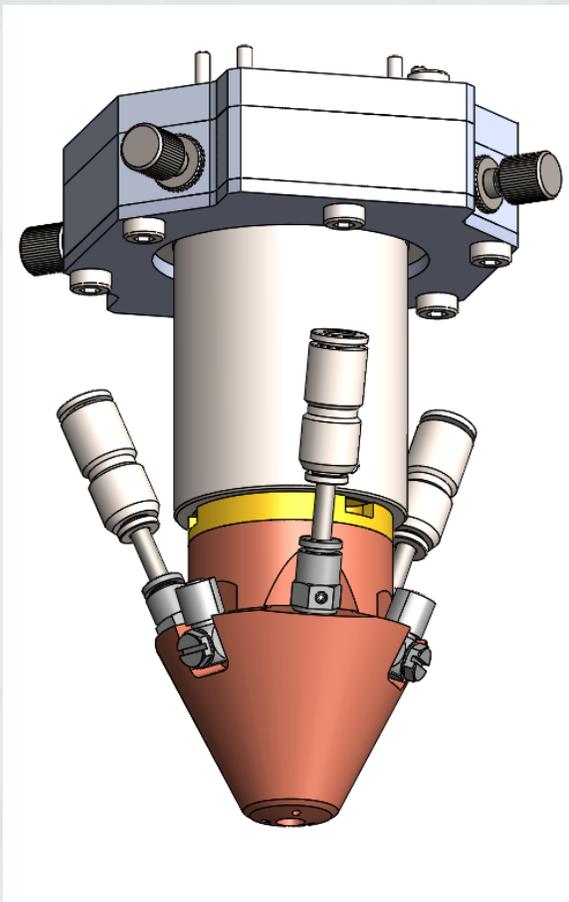
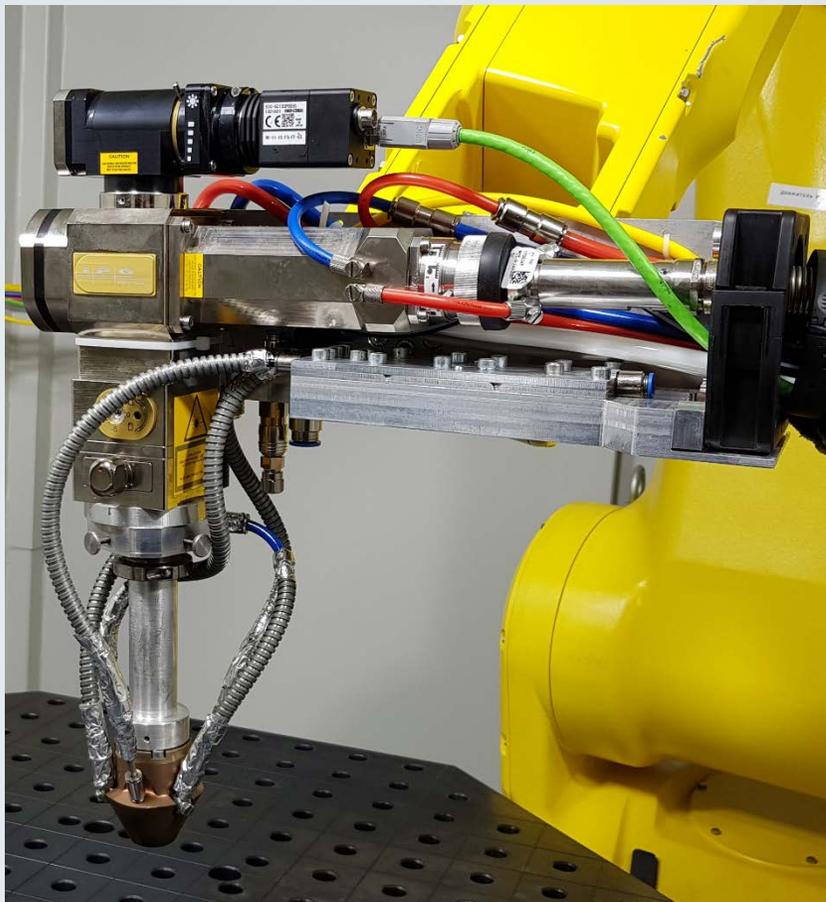


Механическая структура

- Робот M20iB/25 (Контроллер R30iB-Plus)
- Двухосевой позиционер Technorobot TR4501-150
- Линейная ось Gudel TMF-1



- Контролируемая атмосфера аргона ($O_2 < 100$ ppm)
- Максимальный размер изделия: $\phi 2200$ мм
- Волоконный лазер ЛС-3 (3 кВт)
- Технологический инструмент с коаксиальным соплом
- Порошковый питатель: 2 колбы по 5 л.



Технологический инструмент ПЛВ:

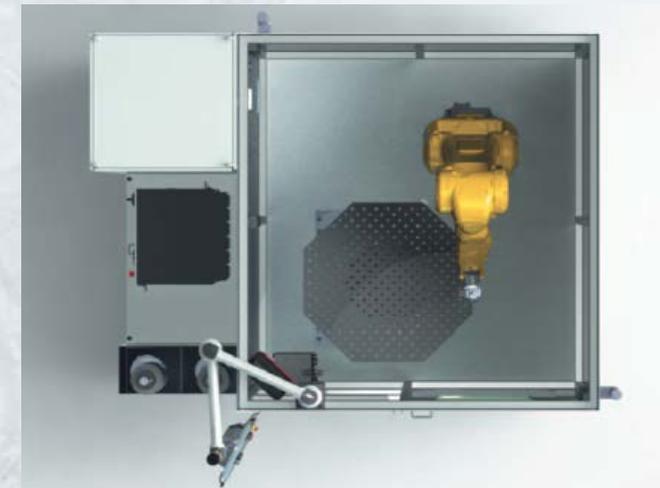
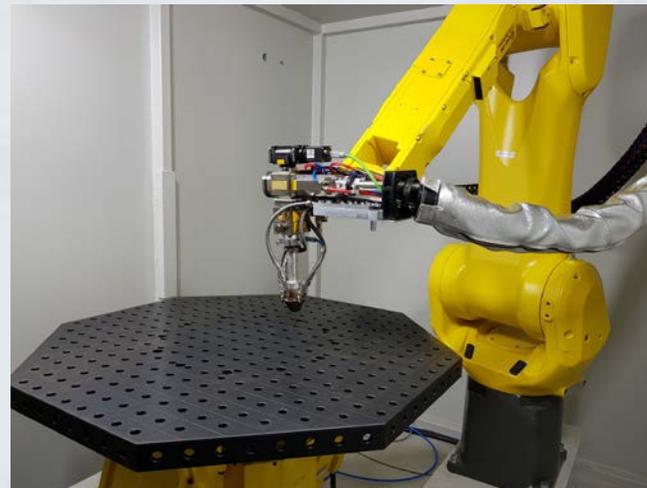
- Оптическая лазерная головка
- Сопло подачи металлического порошка
- Система видеонаблюдения
- Система мониторинга

Характеристики:

- Производительность до 2.5 кг/ч
- Ширина валика: от 0,8 до 5 мм
- Локальная газовая защита ванны расплава
- Максимальная мощность лазера до 5 кВт
- Быстросменные сопла
- Переналадка на сварку, термообработку
- Опционально: вобблер, бимшейпер



Лаборатория лазерных и аддитивных технологий СПбГМТУ



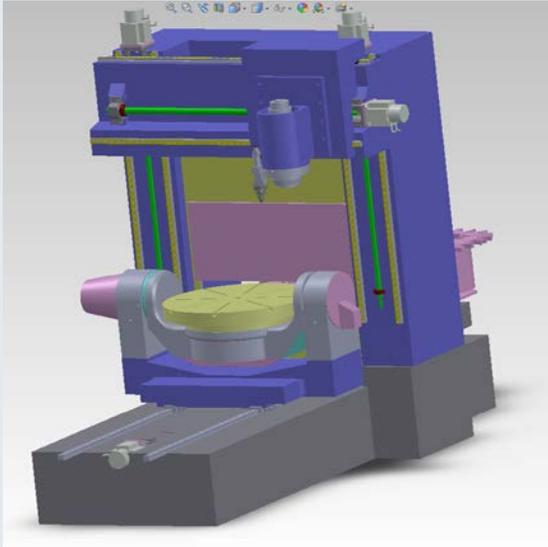
Среднегабаритная установка ПЛВ:

- Манипулятор: робот + 2х осевой позиционер
- Максимальный размер изделия: \varnothing 1300 мм, h=800мм
- Производительность на сплавах Ti: до 1,25 кг/ч
- Производительность на сплавах Fe, Ni, Co: до 2,5 кг/ч
- Контролируемая атмосфера чистого Аргона
- Волоконный лазер ЛС-3: 3 кВт
- Порошковый питатель: 2 x 5 л



Прямое лазерное выращивание: Оборудование

Гибридная установка на базе обрабатывающего центра:
Мехобработка + выращивание
Ø 1100 мм, h=400мм, m=500 кг

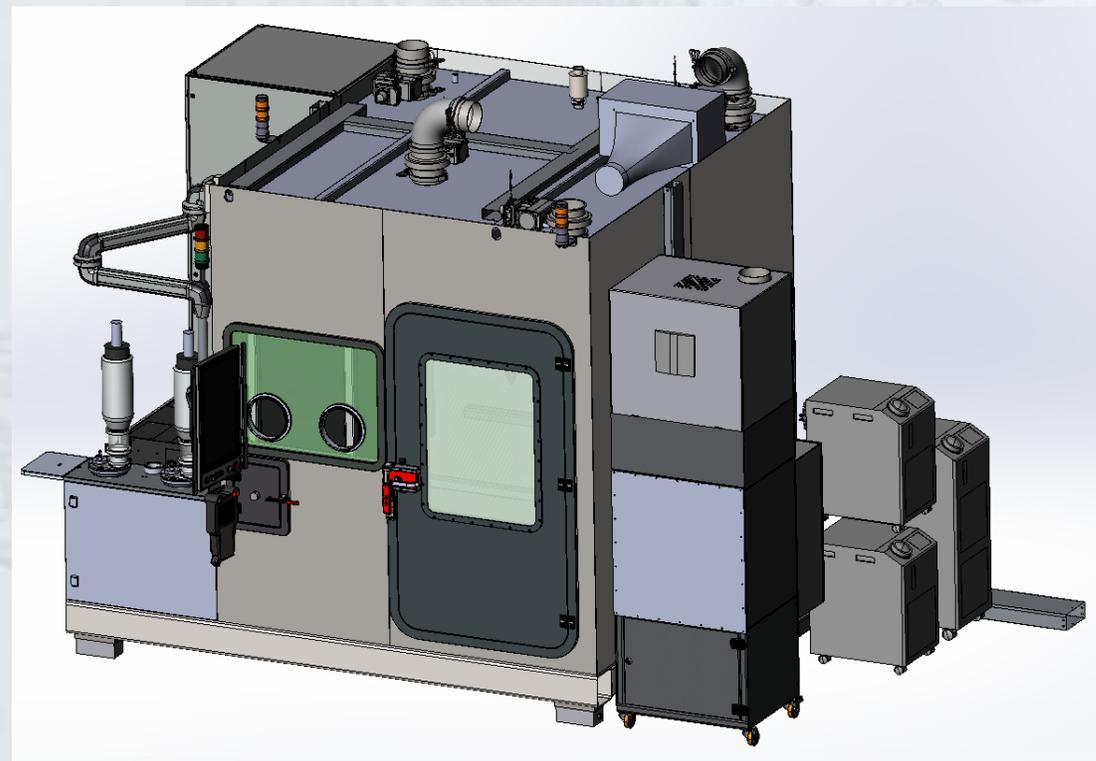


Наименование параметра	Значение
Перемещение по координатам	
X,Y,Z	770x1300x750
Точность позиционирования по осям X, Y, Z, мм	±0,005
Число одновременно управляемых осей координат	5
Размеры рабочей поверхности планшайбы, мм	Ø 1100
Точность углового позиционирования по осям B, C (при непрерывном отсчете координат), угл. сек.	±3
Наибольшее расстояние от торца шпинделя до зеркала планшайбы, мм	950
Наибольшее расстояние от торца шпинделя до оси поворотного стола (ось C), мм	800
Наибольшая масса обрабатываемой детали с технологической оснасткой кг, не более	400
Конус шпинделя	HSK A 100
Пределы частот вращения шпинделя, мин ⁻¹	0...10000
Крутящий момент на шпинделе, Н м (S6/S1)	280/180
Емкость инструментального магазина, шт.	30
Время смены инструмента, сек	15
Мощность лазерного излучения, кВт	3
Рабочий инструмент – головка лазерная	+
Коаксиальное кольцевое сопло для подачи порошка	+
Юстировочный узел сопла относительно оптической оси головки	+
Диаметр газопорошковой струи, не более, мм	3
Коаксиальная цифровая HD-камера	+
Диапазон регулировки массового расхода порошка в г/мин	от 0,5 до 30
Фракционный состав транспортируемых порошков, мкм	от 5 до 200
Интегрированная система управления (механическая обработка плюс лазерное выращивание) и автоматического контроля	Siemens Sinumerik 840Dsl
Контактный 3D триггерный датчик. Точность измерения 0,01мм	Renishow omp60

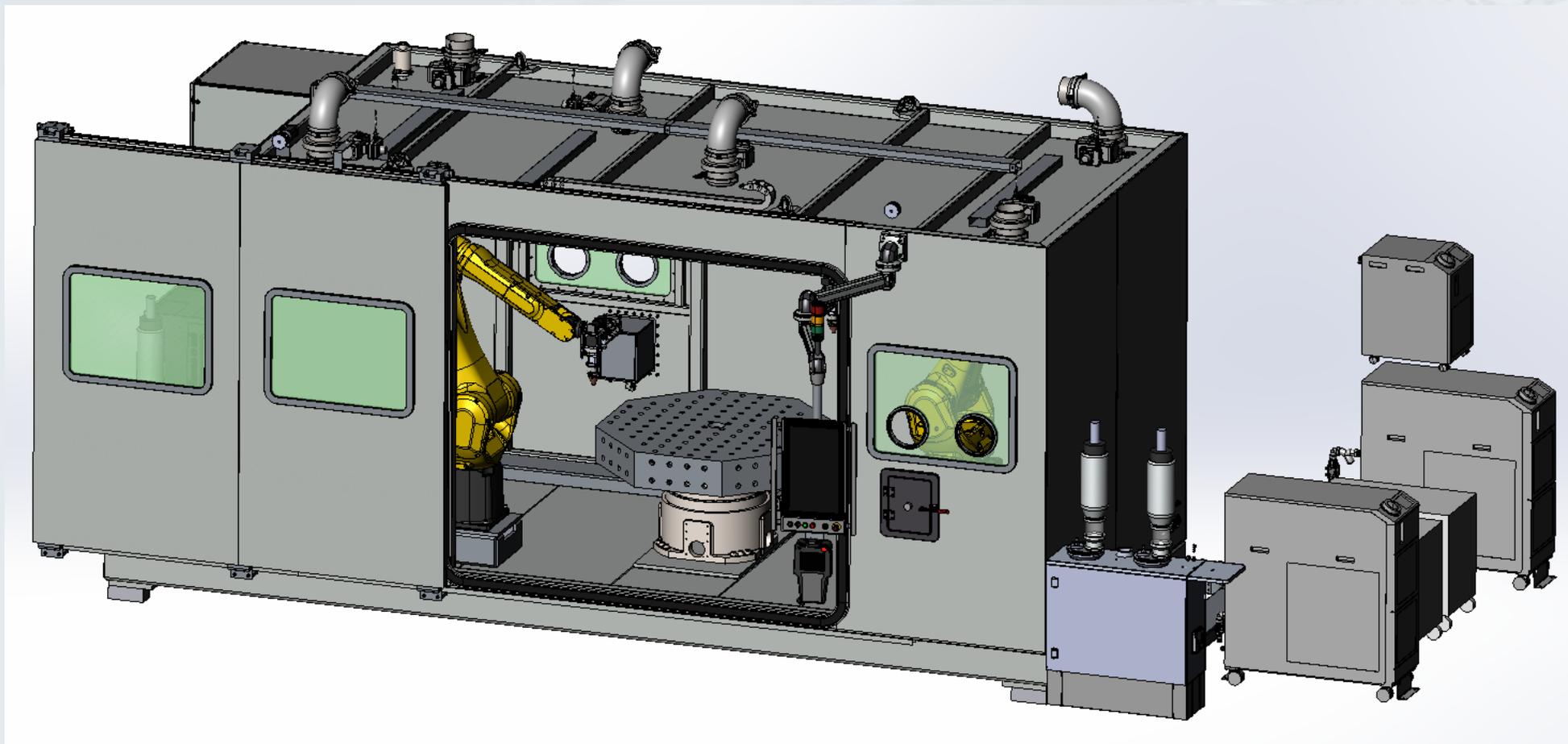
Технологическая установка для аддитивного производства алюминиевых корпусных конструкций космических ракет



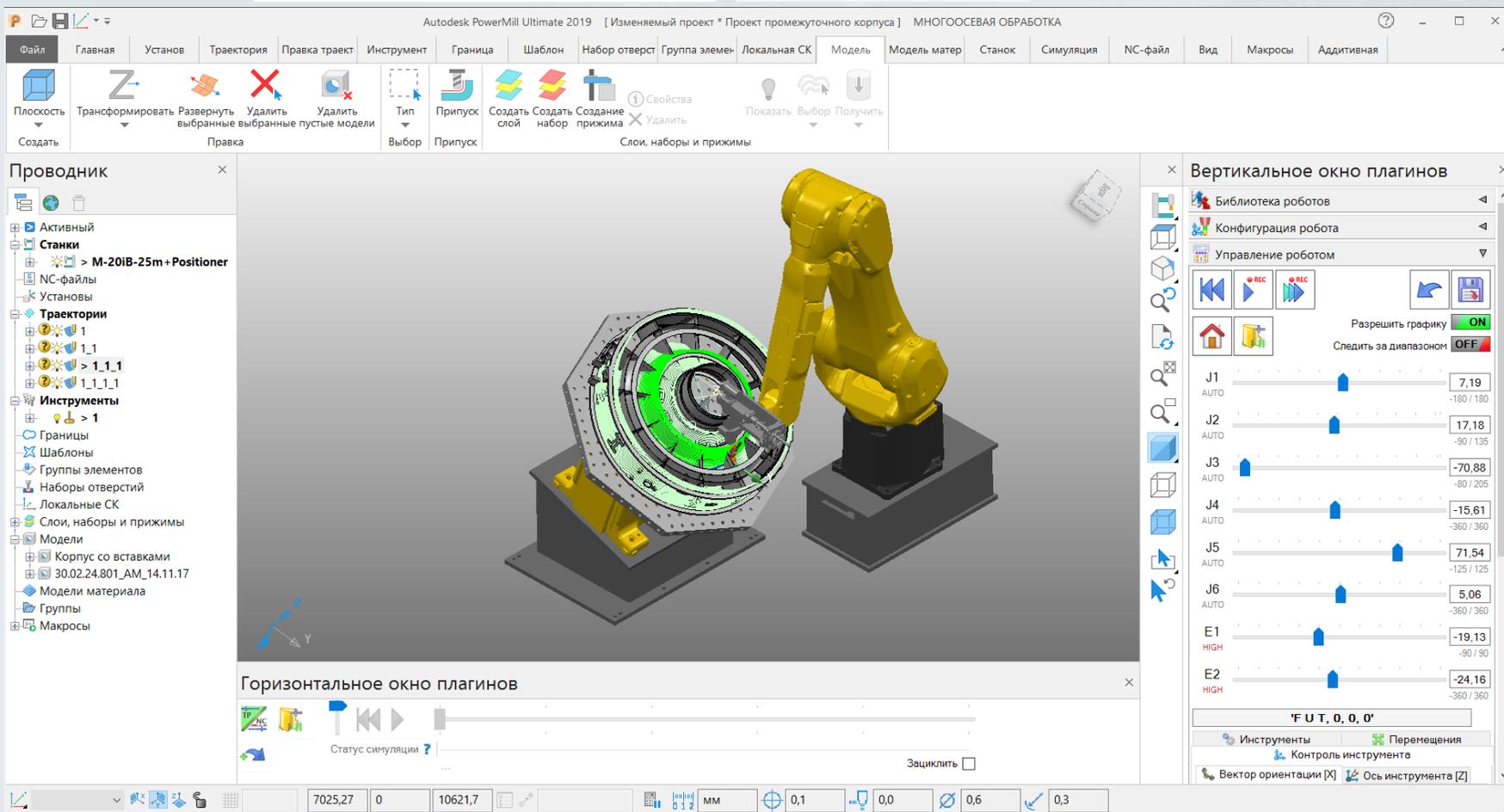
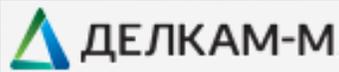
Технологическая установка для аддитивного производства компонентов двигателей космических ракет



Технологическая установка для изготовления перегородки реактора



- 2 лазерных источника
- 2 промышленных робота



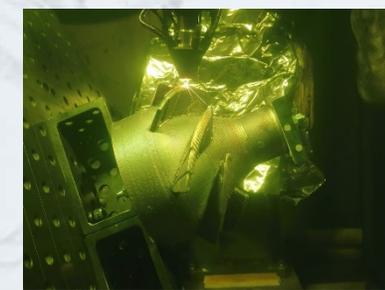
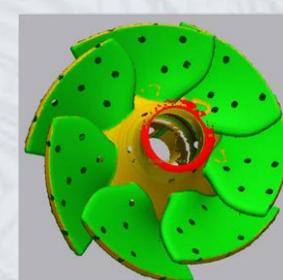
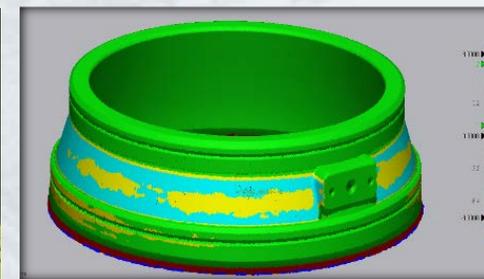
- Импорт геометрии всех распространённых стандартов
- Построение траекторий обработки
- Редактирование траекторий, сортировка по слоям, назначение порядка обработки
- Назначение технологических параметров: мощность лазера, расход газов и порошка
- Симуляция движения робота с учетом геометрии каждой отдельной установки
- Проверка движения робота на столкновения
- Постпроцессирование управляющей программы и отправка ее на установку ПЛВ



ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ ВОДОМЕТНЫХ ДВИЖИТЕЛЕЙ

ИЛЛСТ

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И СВАРОЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

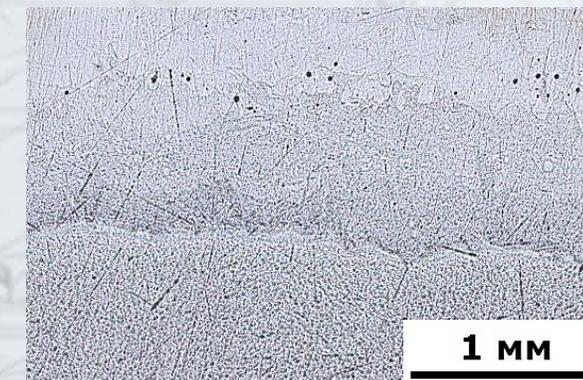
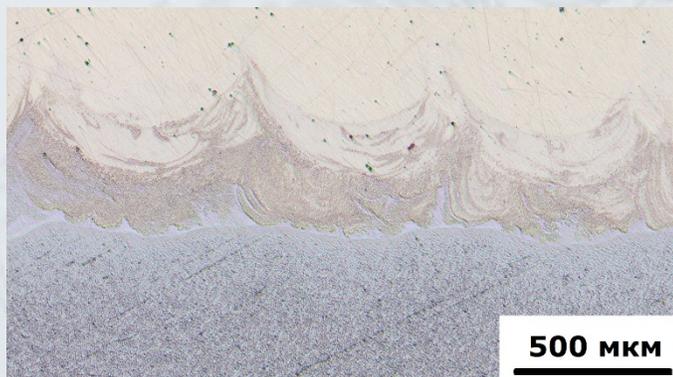


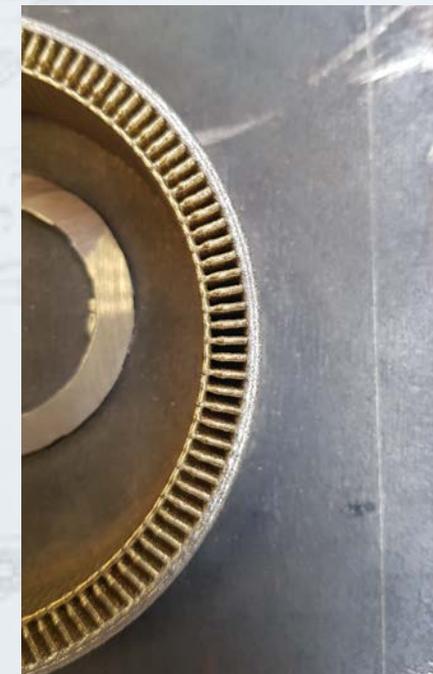
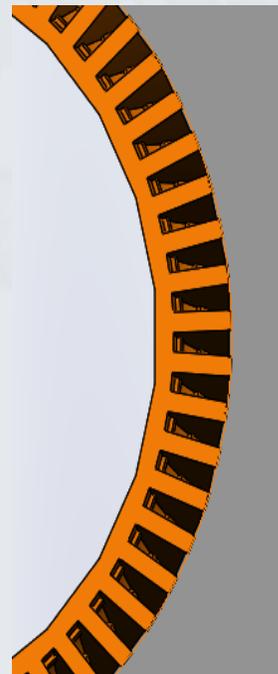
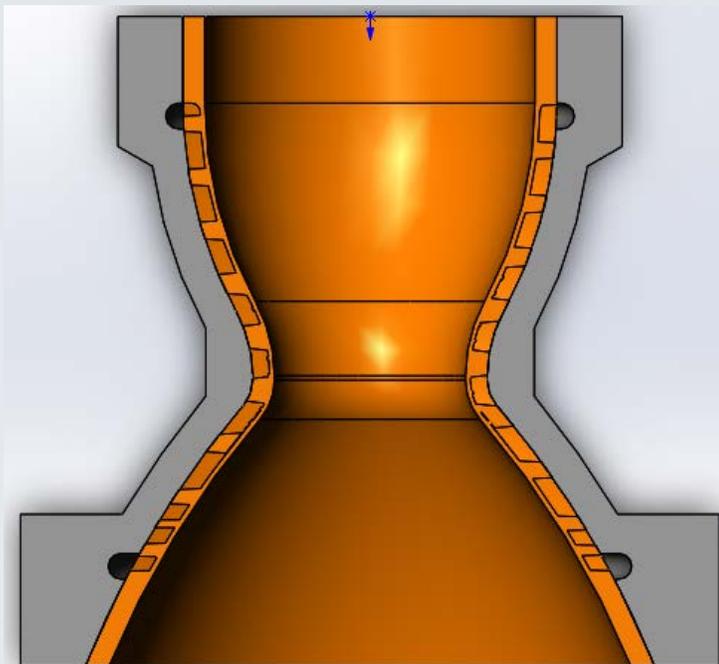


СОЗДАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ГРАДИЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ



- Создание переходных слоев между не свариваемыми материалами: Ti-Fe, Ti-Al, Ni-Ti, Ti-Cu и др. Материалы для изготовления перехода: Nb, Mo, Cr, V, Cu и др.
- Создание биметаллических изделий из сплавов с разными теплофизическими характеристиками: Cu-Fe, Cu-Ni. Чистые металлы и сплавы: бронзы, сплавы группы Inconel, нержавеющие аустенитные стали





Целевое изделие

- Масса заготовки: 6.6 кг
- Размеры: $\varnothing 160 \times h150$
- Материал: БрХ08 + сталь
- Минимальная толщина стенки 1.1 мм

Демонстратор

- Масса заготовки: 0,7 кг
- Размеры: $\varnothing 100 \times h30$
- Материал: CuNiAl + Inco625
- Минимальная толщина стенки 1.1 мм



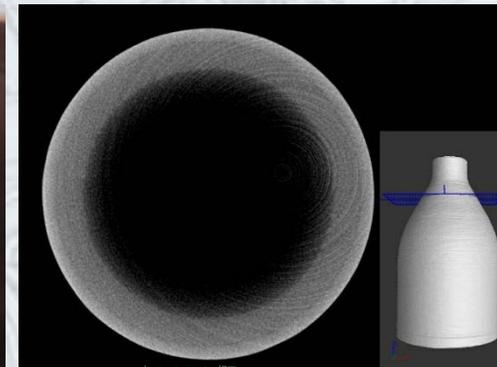
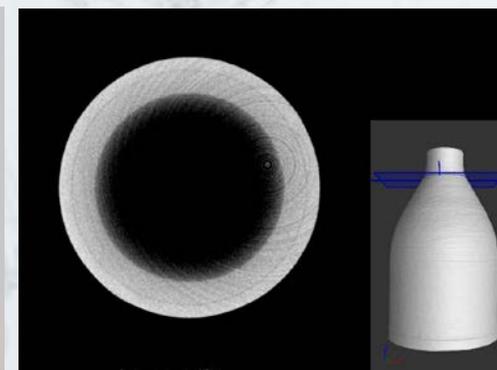
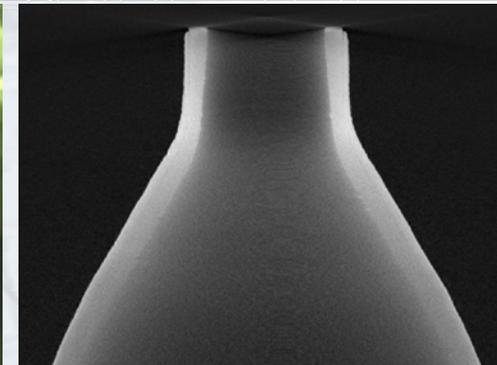
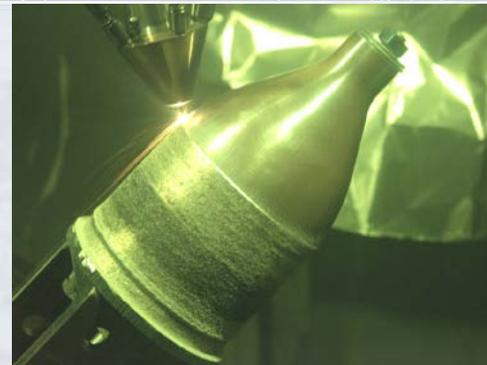
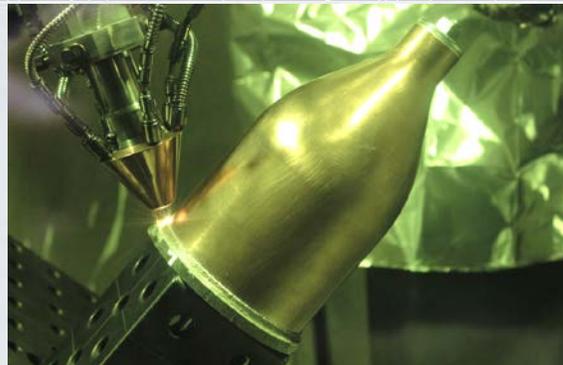
НАПЛАВКА РУБАШКИ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ИЗДЕЛИЯ

Создание биметаллического изделия путем наплавки рубашки из никелевого сплава на выполненную традиционными или аддитивными способами заготовку:

- Материал заготовки – БрХ08
- Наплавляемый материал – Inconel 718
- Наплавленный слой – от 1.5 мм
- Время изготовления – 1.5 часа
- КИМ – 80%
- Защита от окисления с применением контролируемой атмосферы

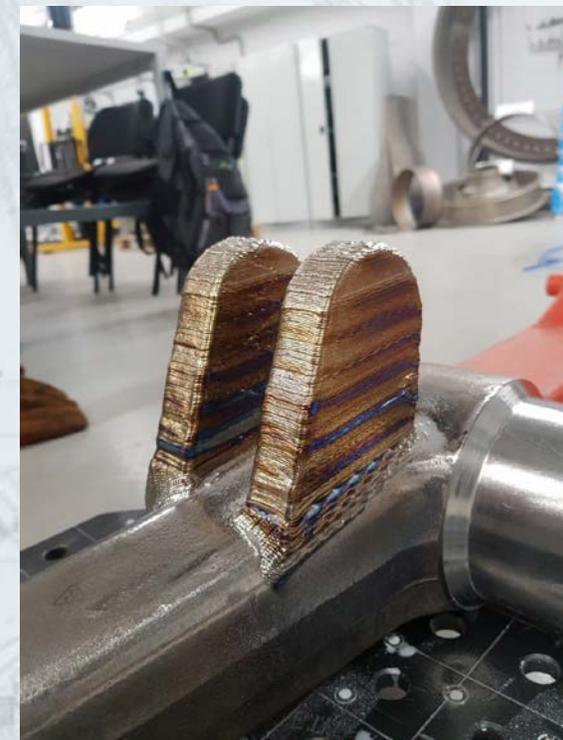
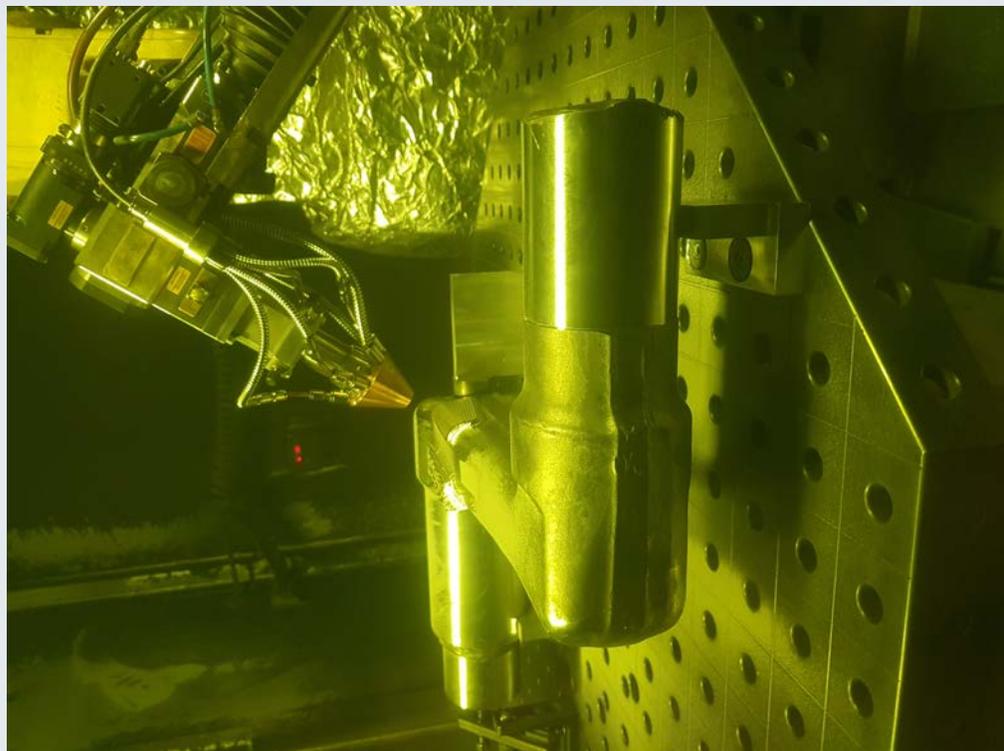
Результаты:

- Сварное соединение с минимальным проплавлением основы
- Отсутствие пор и несплавлений
- Высокая геометрическая точность за счет учета напряженно-деформированного состояния.





Наплавка балансиров для перспективной платформы «Курганец»





Восстановительный ремонт сопловых аппаратов ГТД ТВ 3-137, ТВ 3-237 (материал ЖС-3)

ИЛИСТ
ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И СВАРОЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

До наплавки

После наплавки и механической обработки



Использование: газотурбинные приводы буровых станций, газоперекачивающих передвижных электростанций



Направление подготовки: Машиностроение

- ✓ Бакалавриат «Лазерные технологии»

Прием 25 человек

- ✓ Программа магистратуры «Цифровые лазерные и аддитивные технологии»

Прием 15 человек

Основные модули программы:

- Проектирование оборудования для прямого лазерного выращивания
- Технологии прямого лазерного выращивания
- Конструктивно-технологическое проектирование под прямое лазерное выращивание
- Материаловедение для аддитивных технологий

Для сотрудников промышленных предприятий предлагаются программы повышения квалификации

- «Конструктивно-технологическое проектирование в аддитивном производстве»
- «Лазерная обработка материалов. Теория и практика»
- «Металлические и композиционные порошковые материалы для аддитивного производства»



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!