СПбГМТУ

Turichin G.A., Tzibulski I.A., Zemlyakov E.V.

High productive technology of direct laser deposition of light alloys structures

17 September 2018г.

INSTITUTE OF LASER AND WELDING TECHNOLOGY
ОРГАНИЗАЦИОННАЯ СТРУКТУРА

ИЛМИСТ

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И СВАРОЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

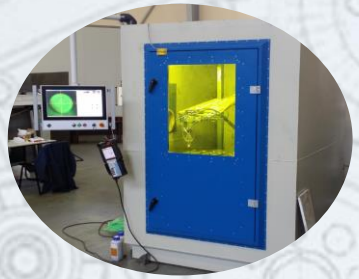
- ✓ Кафедра «Сварка судовых конструкций»
- ✓ Лаборатория «Лазерные и аддитивные технологии»
- ✓ Кафедра «Материаловедения и технологии материалов»

ПОЛИТЕХ
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

- ✓ Кафедра «Лазерные технологии»
- ✓ Российско-Германский центр лазерных технологий

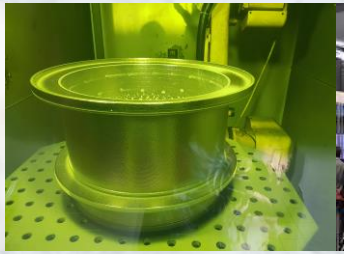
ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
ЦЕНТР ТЕХНОЛОГИИ СУДОСТРОЕНИЯ И СУДОРЕМОНТА

- ✓ НТФ «Судотехнология»
- ✓ Лаборатории лазерных технологий в судостроении



Large Lightweight construction for additive manufacturing

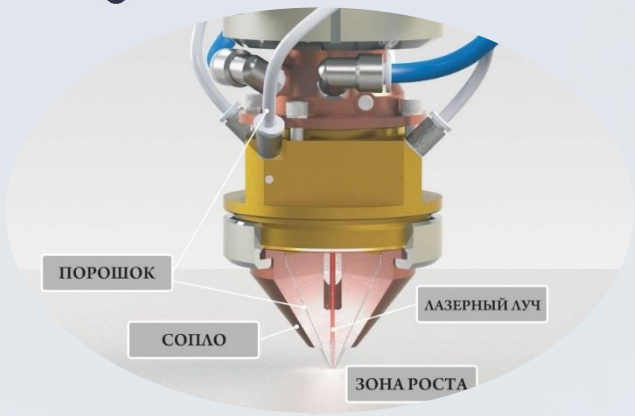
- Parts for compressor of turbofan engines
- Parts for water jet propulsion unit
- Ship fitments
- Parts for aircraft and missile bodies
- Spaceships



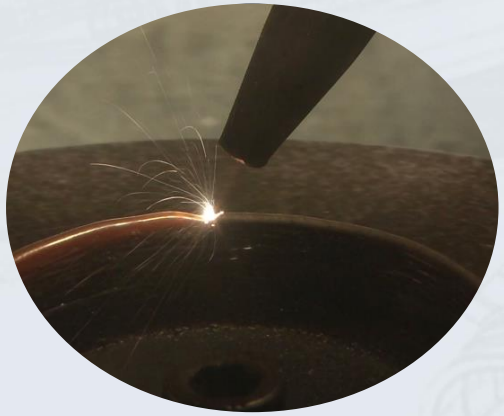
Direct laser deposition (powder)	Direct laser deposition (wire)	3D arc melting (Wire)
Ti alloys Al alloys (Al-Mg, Al-Sc, Al-Zn)	Al alloys (Al-Mg, Al-Sc, Al-Zn)	Al alloys (Al-Mg, Al-Sc, Al-Zn)
0.7-1 kg/h	2-3 kg/h	3-5 kg/h
0.2 mm	0.5 mm	2 mm

TECHNOLOGY OF DIRECT LASER DEPOSITION

Схема процесса

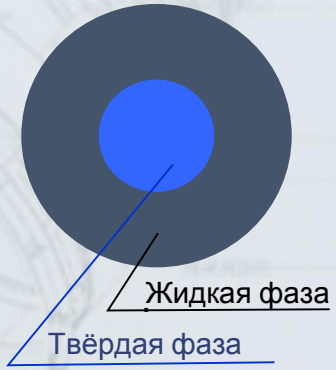


Коаксиальная схема



Некоаксиальная схема

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



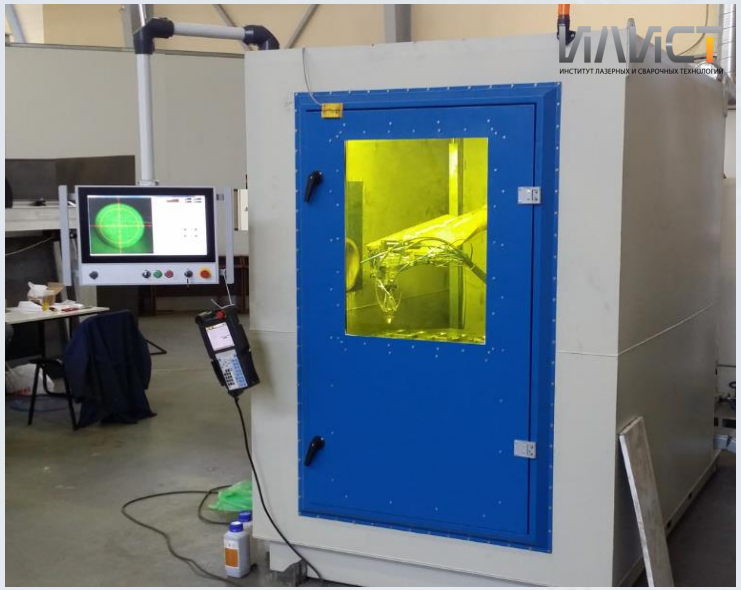
Физические процессы

- ✓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

EQUIPMENT FOR DIRECT LASER DEPOSITION



Ввод в эксплуатацию - Сентябрь 2018

S – Ø 300 мм, h 300мм

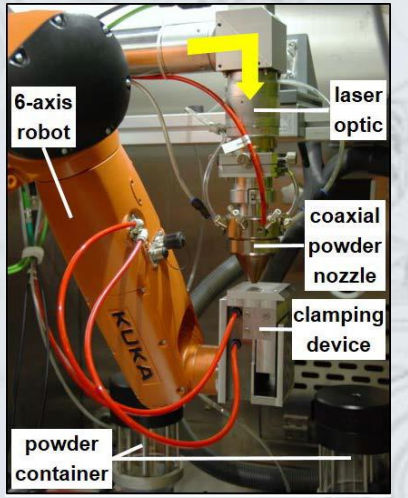
M – Ø 800 мм, h 500мм

L – Ø 1300 мм, h 600мм

XL – Ø 2200 мм, h 600мм

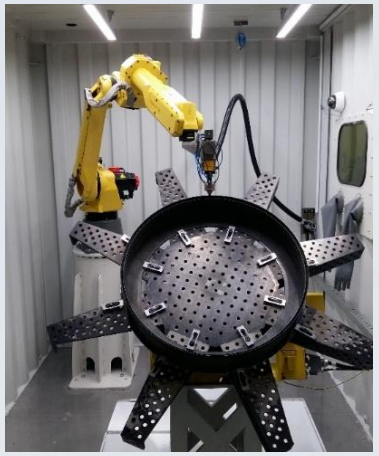
XXL - ???

Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Institute of Materials Research, Materials Mechanics, Joining and Assessment



BeAM
BE ADDITIVE MANUFACTURING

LARGE SCALE TECHNOLOGICAL INSTALLATION FOR DIRECT LASER DEPOSITION



Основные характеристики установки	
Размер рабочей зоны технологической установки (диаметр изделия)	2000x2000x800 (1500)
Мощность лазера	3 кВт
Количество координат манипулятора	6 + 2
Толщина одного наплавляемого слоя	от 200 мкм
Количество смешиваемых порошков	2
Массовый расход порошка	до 5 кг/ч
Производительность	до 50 куб. мм/с
Материалы	Сплавы на основе Fe, Ni, Co, Cu

Отгружена на ПАО «КУЗНЕЦОВ» (г. Самара)

ИЛИСТ ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И СВАРОЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

ПОЛИТЕХ Санкт-Петербургский Политехнический Университет Петра Великого

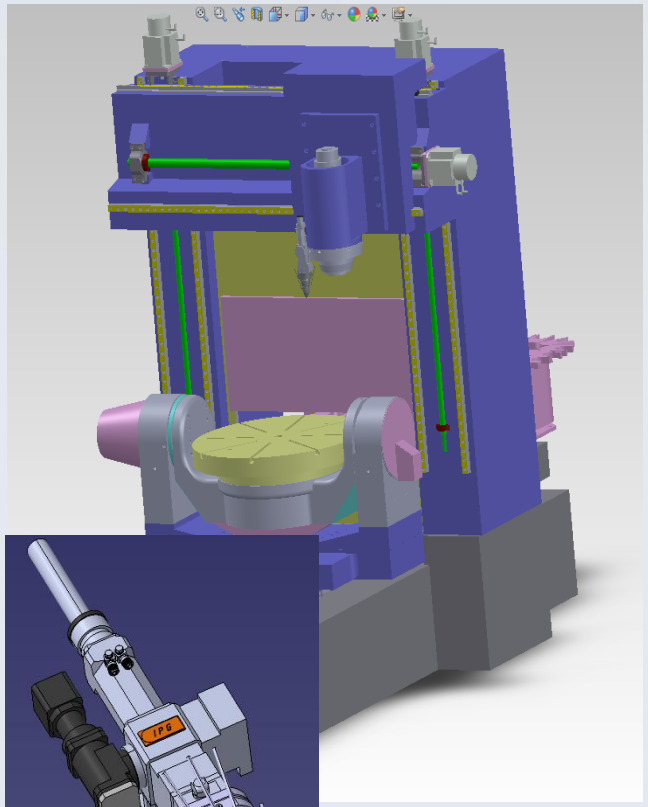
HYBRID TECHNOLOGICAL MACHINE FOR DIRECT LASER DEPOSITION AND MECHANICAL TREATMENT OF LARGE SCALE PARTS

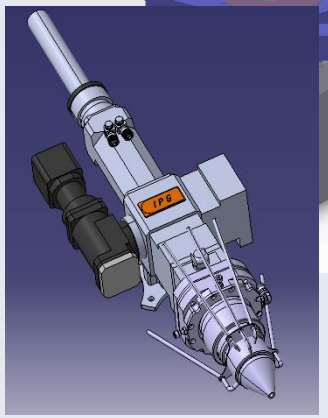
САЛЮТ

ПОЛИТЕХ
Санкт-Петербургский Политехнический Университет Петра Великого

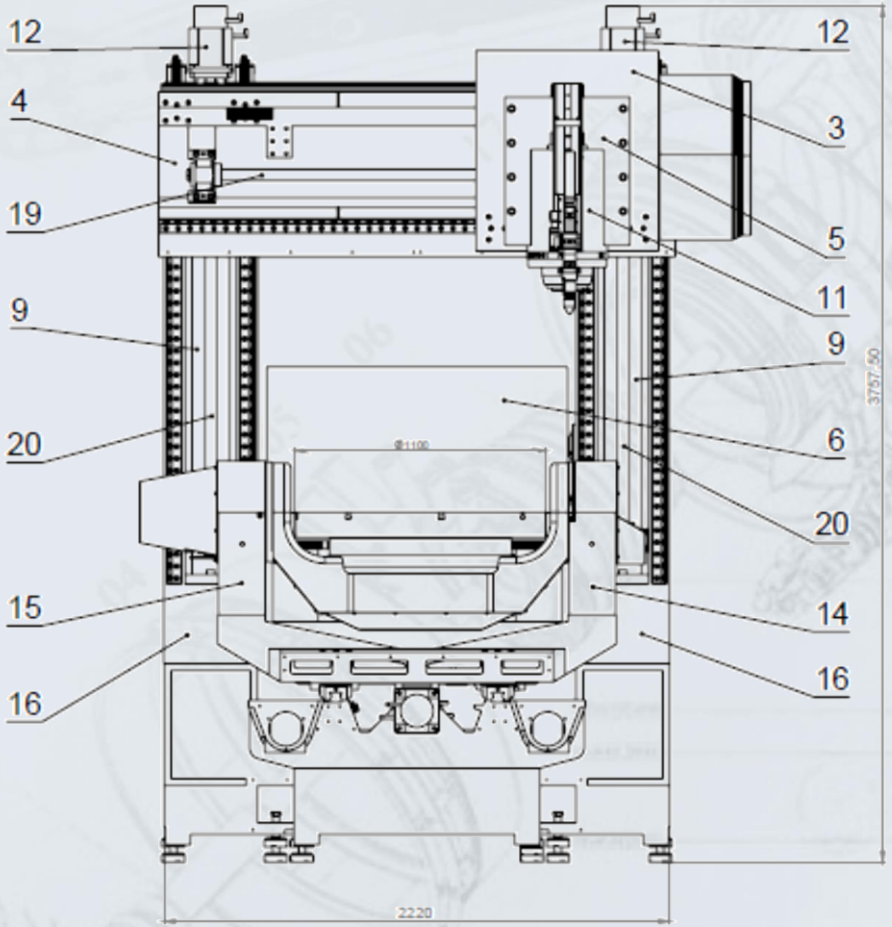
СКБ СТАНКОСТРОЕНИЕ
Специальное конструкторское бюро

ИЛИСТ
ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И СВАРОЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ





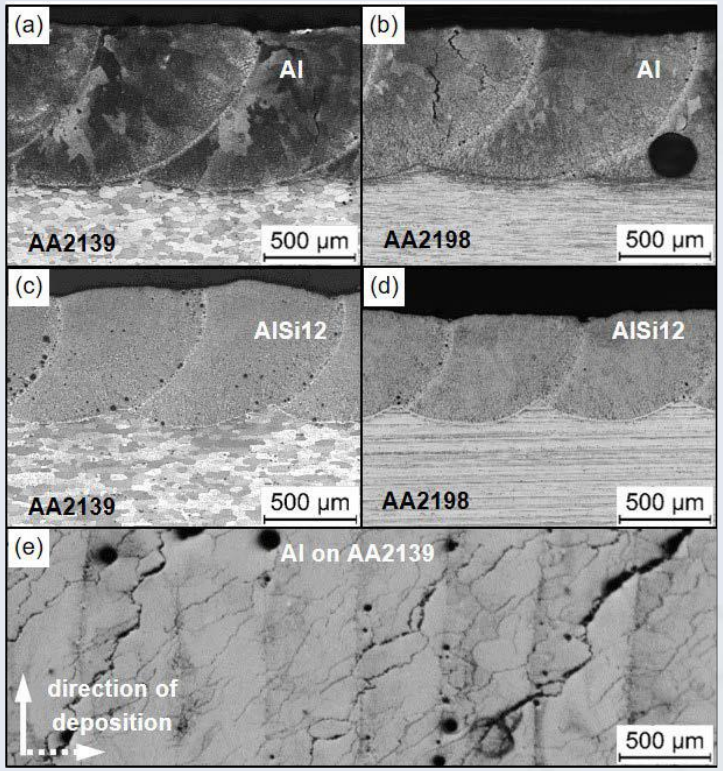
Ввод в эксплуатацию - Ноябрь 2018 г.



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 тригерный датчик. Точность измерения 0,01мм	Renishow omp60

Al alloys powder LMD. Structure and properties.

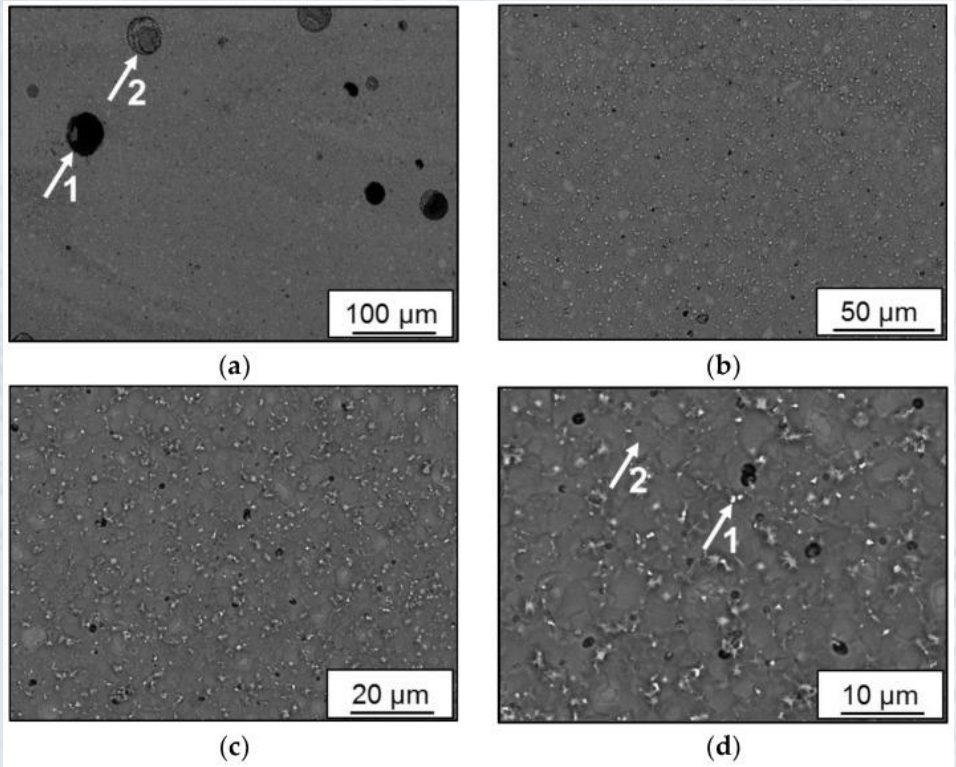
Micrographs of the optimized Al coatings on (a) AA2139 and (b) AA2198 and the optimized AlSi12 coating on (c) AA2139 and (d) AA2198; micrograph of an non-optimized (e) Al coating on AA2139



Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Institute of Materials Research, Materials Mechanics, Joining and Assessment

- Cracks
- Porosity
- Oxide layers

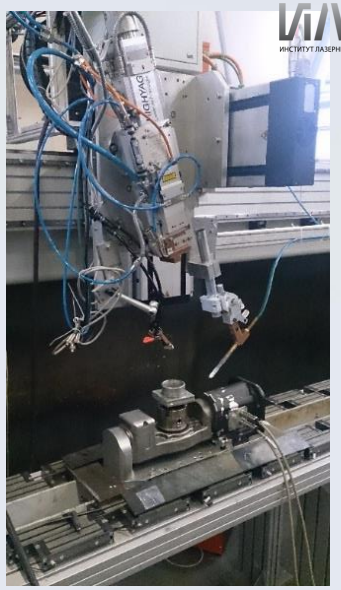
Scanning electron microscopy (SEM) micrographs in melt tracks of batch C (Scalmalloy® LMD): (**a**) 200X; (**b**) 500X; (**c**) 1000X; (**d**) 2000X.

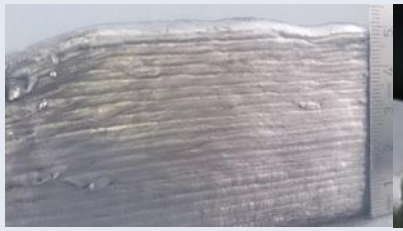


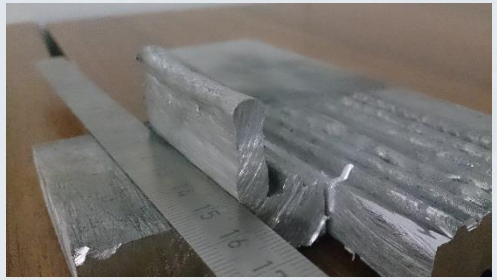
Comparison of Microstructure and Mechanical Properties of Scalmalloy® Produced by Selective Laser Melting and Laser Metal Deposition, Mustafa Awd, Jochen Tenkamp, Markus Hirtler, Shafaqat Siddique, Markus Bambach, and Frank Walther

Экспериментальные исследования процесса прямого выращивания

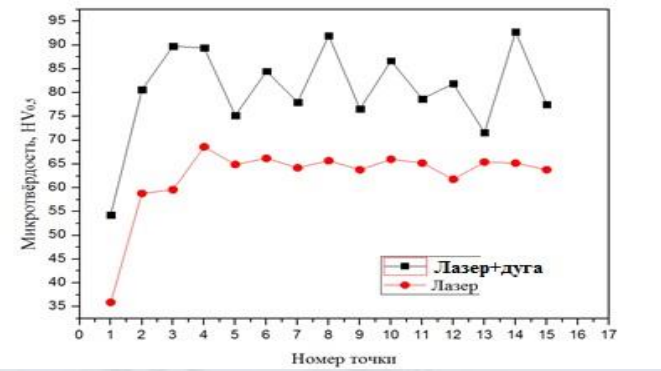
installation on the base 16 kw fiber laser and arc power source







Микроструктура образца изготовленного из алюминиевой проволоки AlMg6.Zr. методом
а) прямого лазерного выращивания
б) прямого лазерно-дугового выращивания



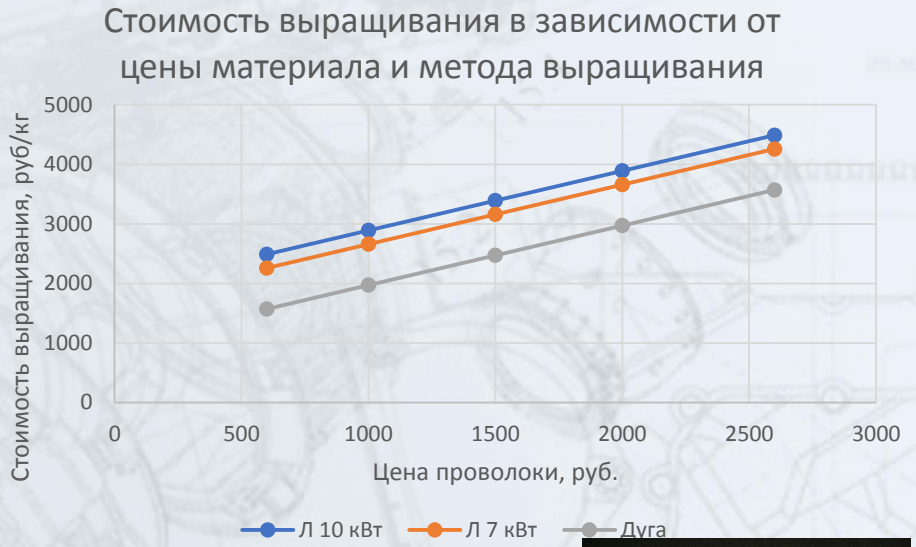
Измерения микротвёрдости

Химический состав образцов

Спектр	Mg	Al	Si	Mn	Fe
Проволока (рис. 5а)					
1	2.91	79.95	0.17	9.93	7.04
2	1.57	77.16	0.11	12.04	9.12
3	0.45	74.85	0.16	13.68	10.85
4	6.13	92.96	0.38	0.53	0.00
5	6.06	93.02	0.20	0.71	0.00
6	6.05	93.18	0.20	0.57	0.00
Лазер+Дуга (рис. 5б)					
1	2.69	81.78	0.47	9.49	5.57
2	3.76	82.86	0.42	8.13	4.82
3	3.60	80.72	1.45	7.24	6.99
4	4.07	82.52	0.52	7.85	5.04
5	6.99	89.35	1.16	1.80	0.71
6	6.59	91.20	1.73	0.48	0.00
Лазер (рис. 5в)					
1	4.19	80.95	0.59	8.60	5.68
2	4.32	83.67	0.46	7.93	3.62
3	5.68	89.11	1.25	2.28	1.68
4	4.10	86.64	0.42	5.27	3.56
5	4.57	94.19	0.43	0.81	0.00
6	3.63	94.90	0.60	0.87	0.00

Analysis of economical and technical applicability of Al-Sc alloys and wire based DLD technology

	ПЛДВ	ПЛВ	ДВ
Масса выращиваемого изделия, кг	1	1	1
Производительность процесса выращивания, кг/час	1	1	1
Затраты на электроэнергию, руб	360	360	129
Затраты на заработную плату на изготовление одного изделия, руб	300	300	300
Стоимость комплекса, руб.	31225755	29000000	4100000
Цеховая себестоимость на одно изделие, руб	66,9	66,9	66,9



Примеры возможного продуктового ряда

Заслонка 4,2 кг

Водозаборник 11 кг

Крышка насоса 3,5 кг

Корпус редуктора 2,3 кг

Крышка редуктора 1,4 кг

Корпус 0,25 кг

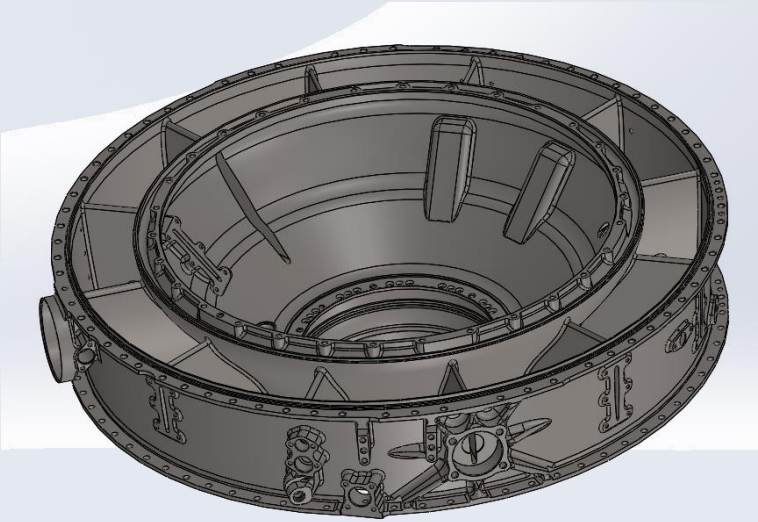
15 kg aluminium wing rib (DR = 1kg/h)

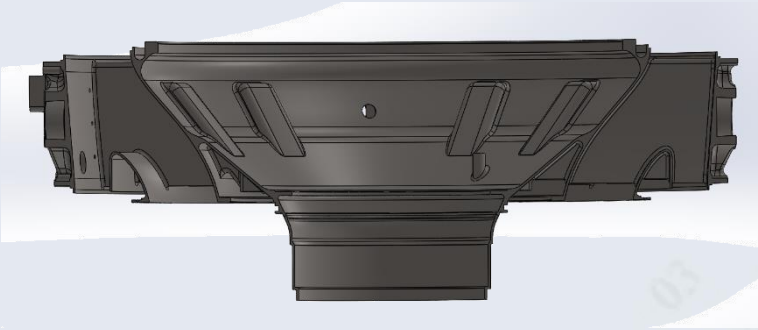
	BTF	Cost (£k)	Cost red.
Machined from solid	45	4.9	-
WAAM option 1	2.9	1.7	65%
WAAM option 2	12.3	2	58%

Экономия металла при прямом выращивании по сравнению с традиционными методами

Possible ways of manufacturing of large Ti body of support for turbofan engine

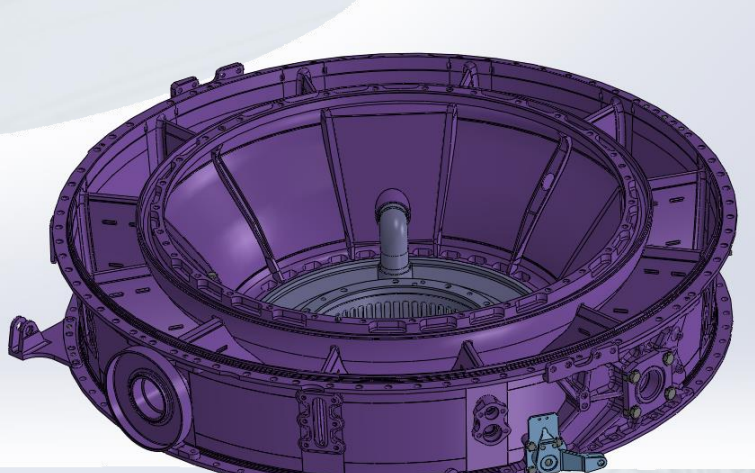
Casting





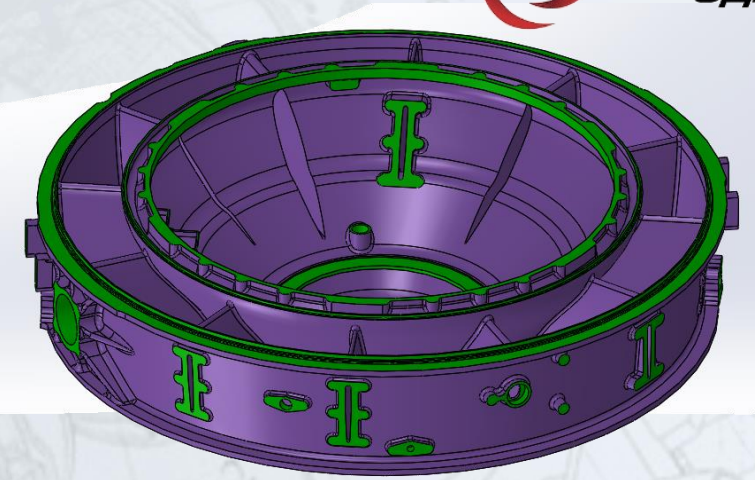
Масса – 40,7 кг
Минимальная толщина стенок определяется технологией литья – 3 мм.

Welding



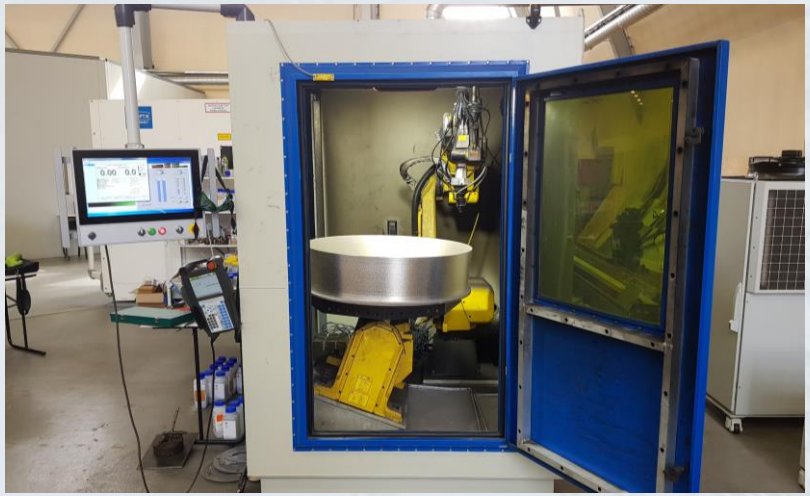
Масса – 49 кг
Большой объем присадочного материала при сварке увеличивает массу.

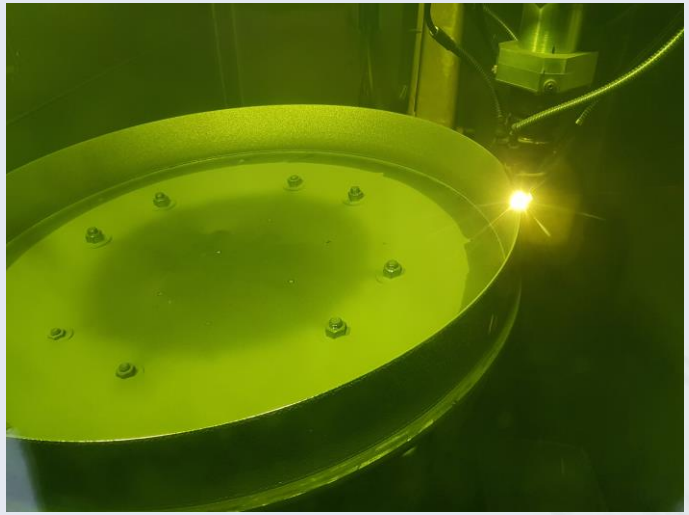
DLD

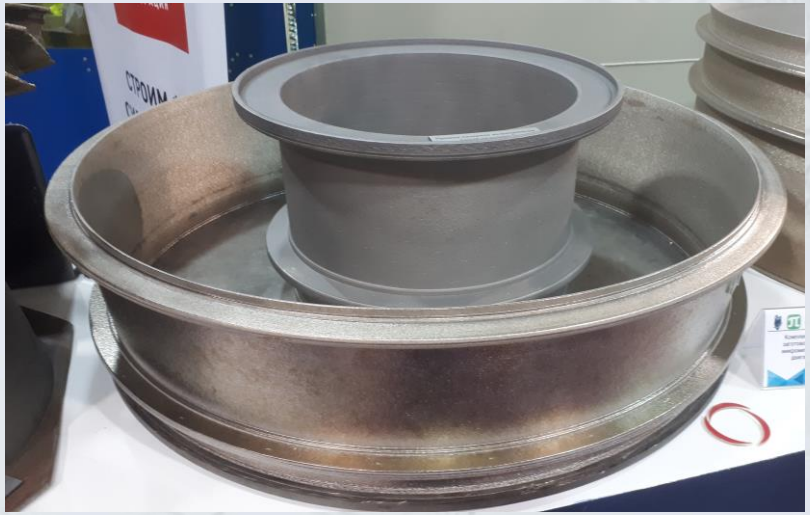


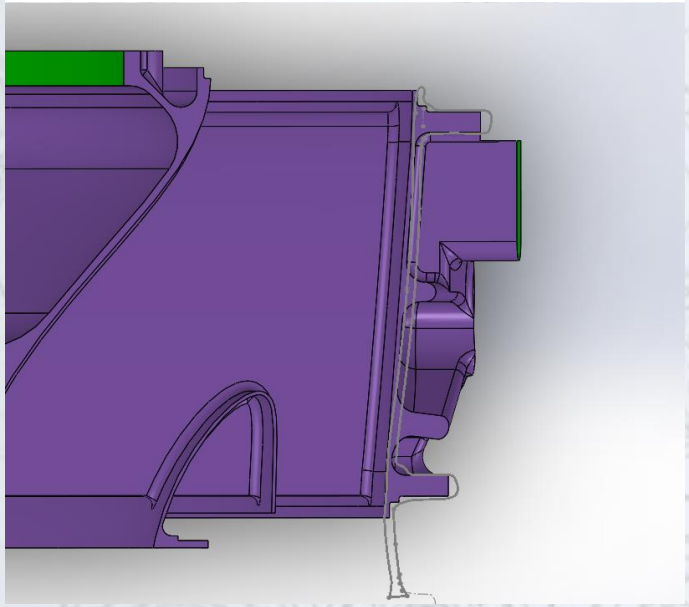
Масса – 37 кг
Сборка из укрупненных частей,
Минимизация сварочных операций,
минимальная мехобработка.

Manufacturing of joint parts



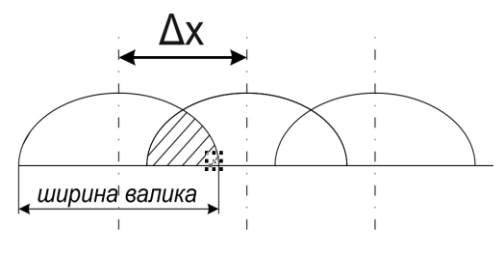


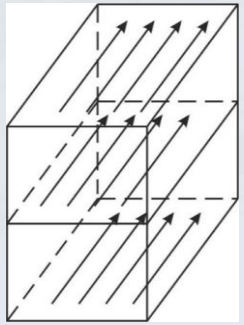




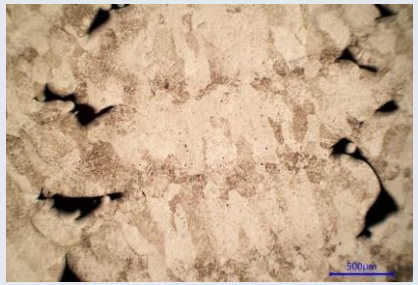
Peculiarities of technology

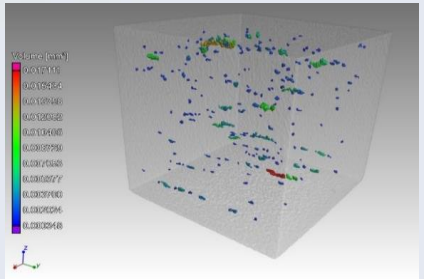
Схема формообразования при ПЛВ



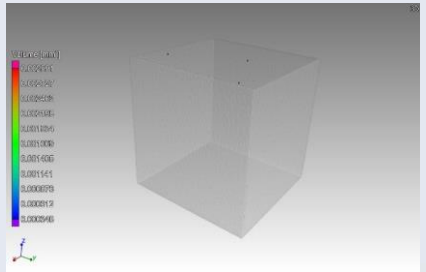


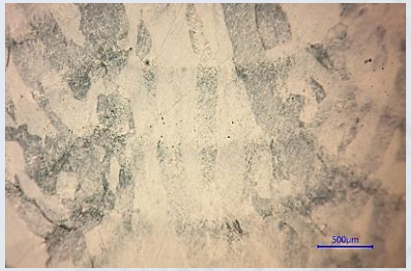
Проблемы формообразования (несплавления)



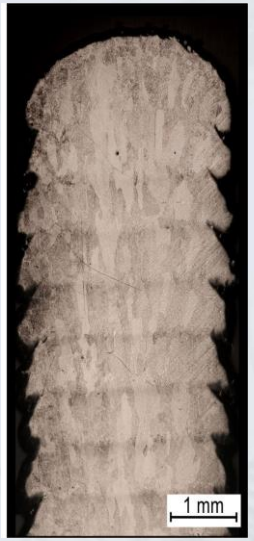


Оптимизация технологических режимов





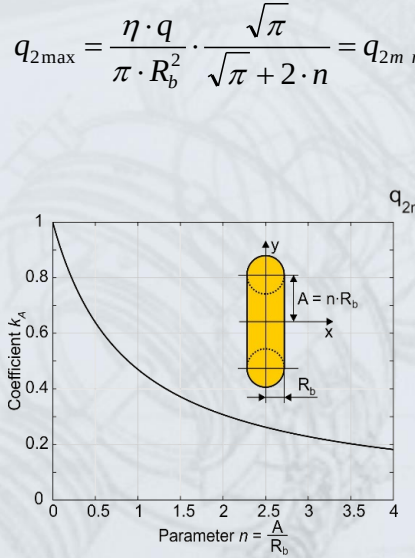
Повышение качества поверхности за счет сканирования лазерным лучом в процессе ПЛВ

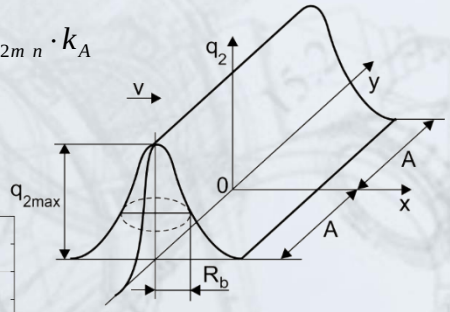


Без сканирования

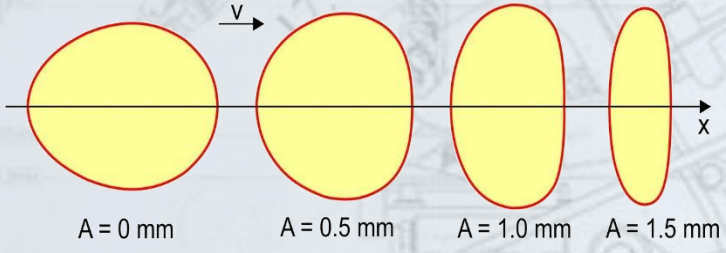
Схема теплового источника

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





Со сканированием



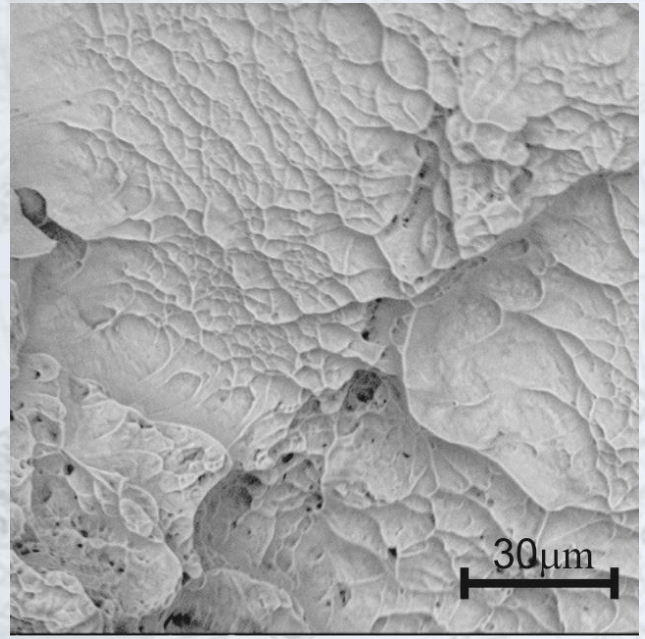
Форма ванны расплава при различных амплитудах сканирования

Радиус пучка 1.25 мм

Results of mechanic tests of DLD samples

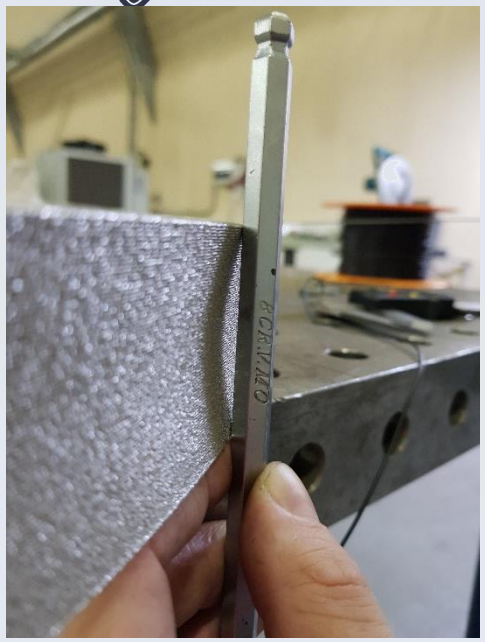
Материал	Производитель	Предел прочности, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение, %
Порошковые материалы отечественного производства				
ЭИ698П	ВИАМ	1021,0	837,0	18
ВВ751	ВИЛС	1115,6	981,9	8,7
ЖС6У	Композит	1353,0	1046,0	11,5
ВТ-20		968,0	882,0	6,6
ВТ-6	Галион	1150	1090	11
ПР-09Х14НЧБ	Полема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

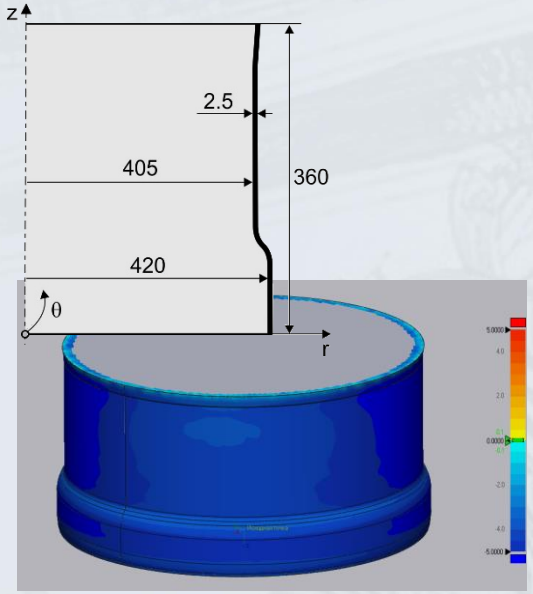
Образец для механических испытаний ГОСТ 11701-84



Излом ВТ-6, фракция порошка 100-200

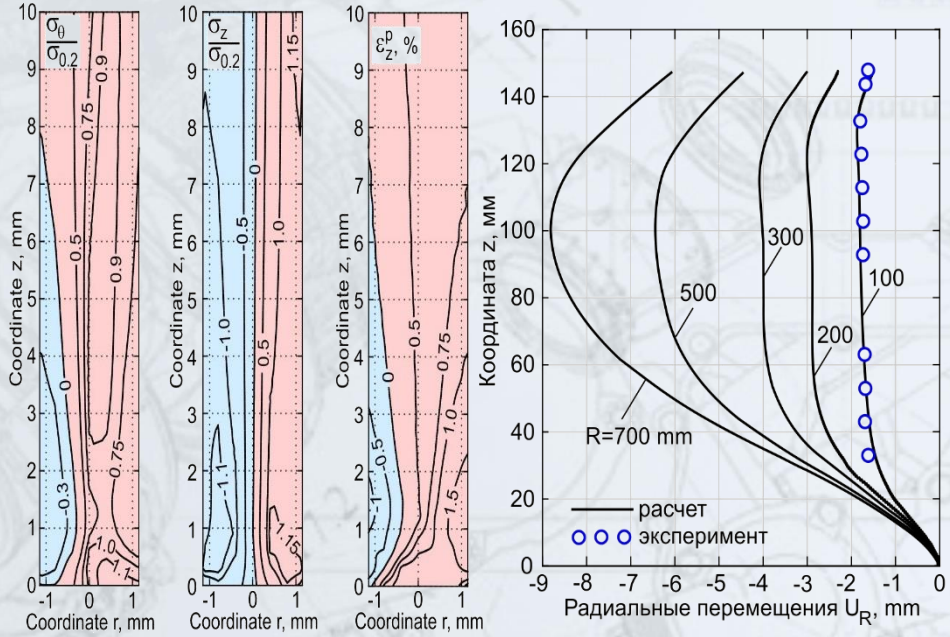
Influence of thermal stress on shape of large parts

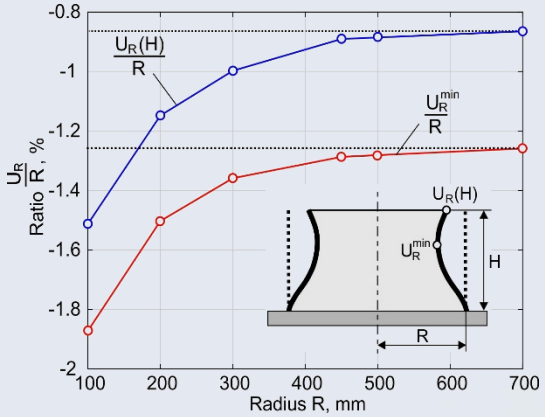




Уменьшение заданного радиуса на 5 мм

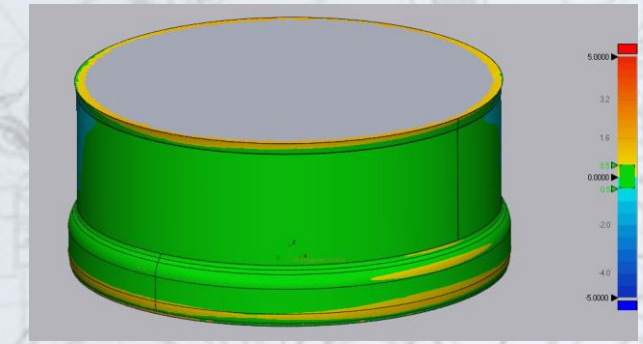
Моделирование напряженно-деформированного состояния





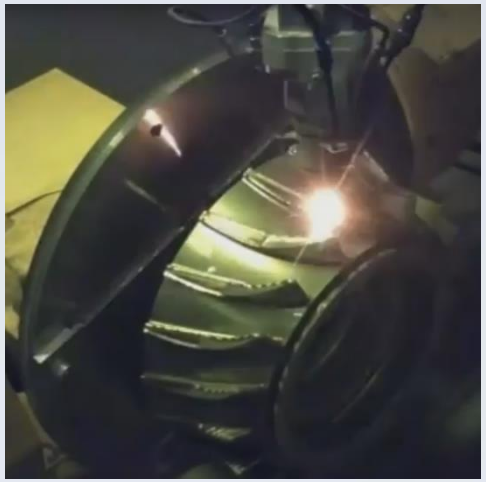
Прогнозирование «усадки»

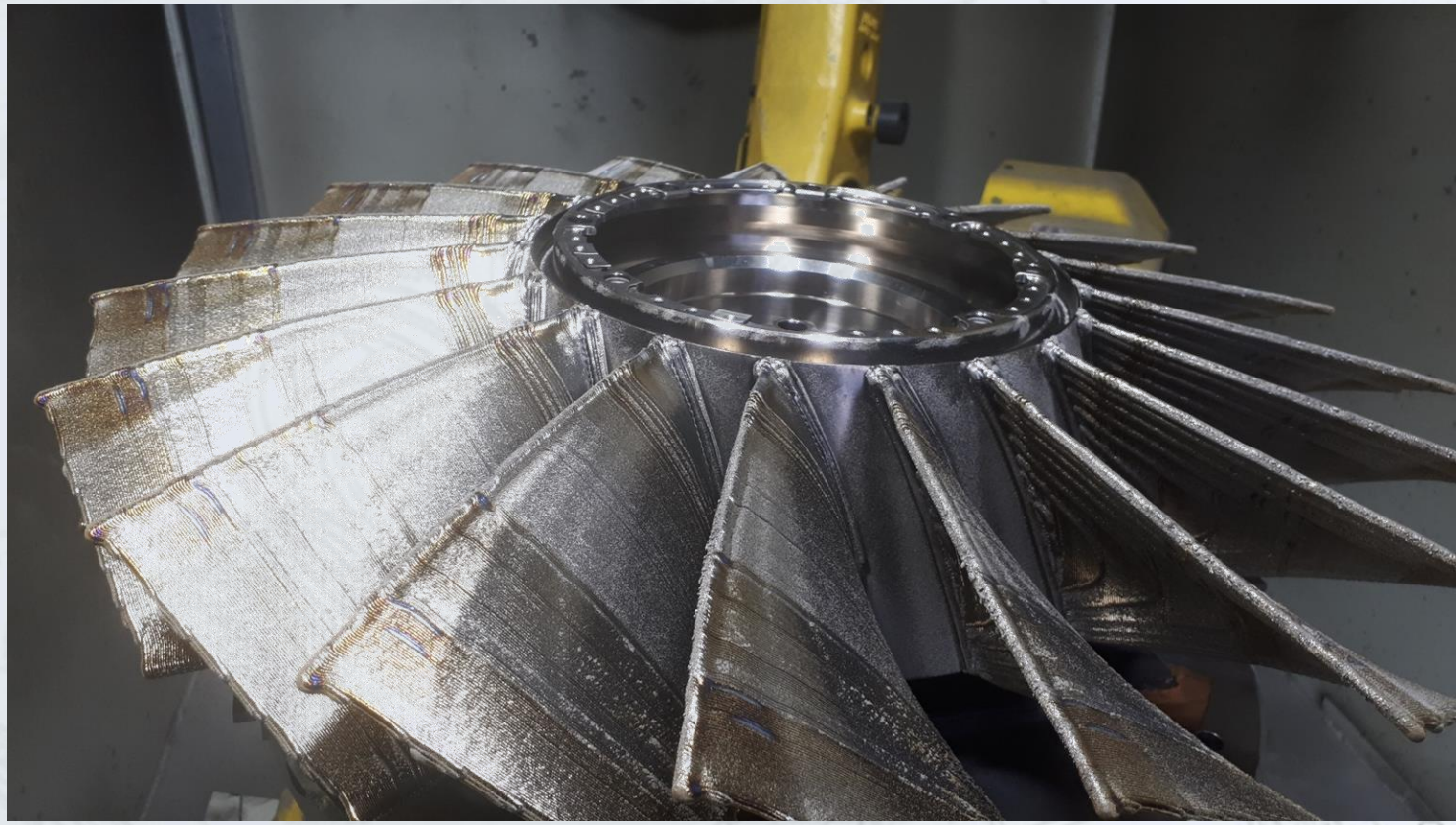
Корректировка управляющей программы на основе результатов моделирования



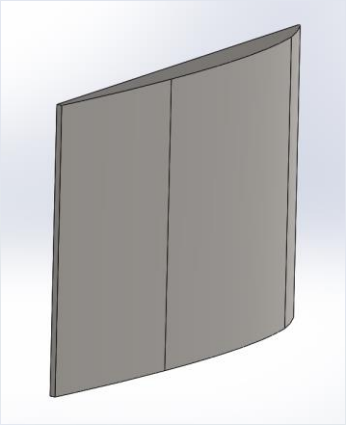
Точность построения +/- 0.2 мм на радиусе 420 мм (квалитет 9-10)

Blisk production from BT-6

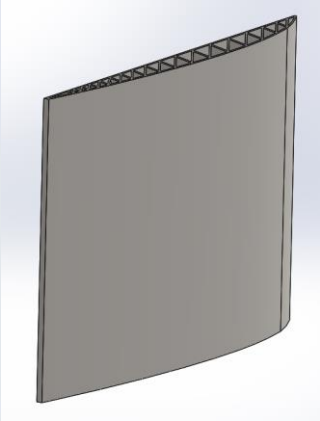




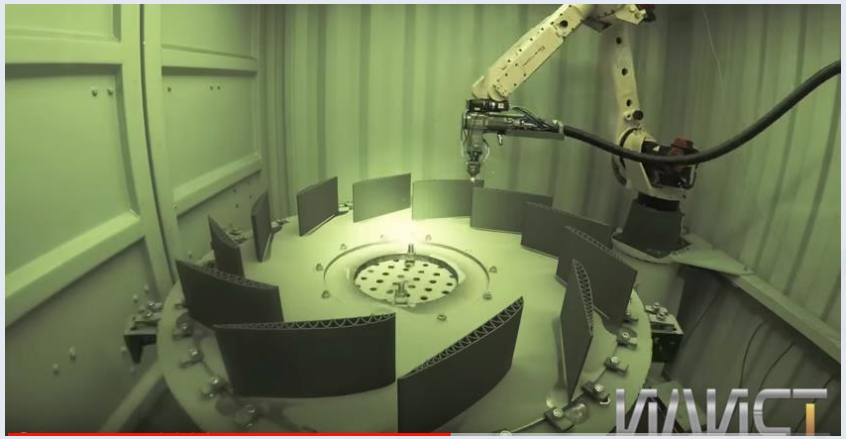
Production of high pressure fan

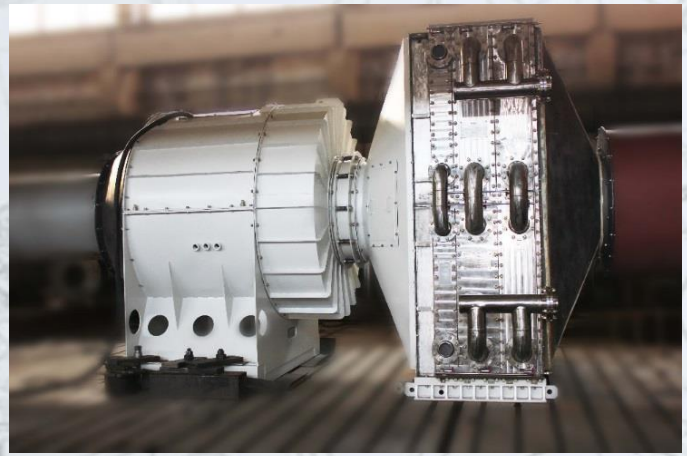


Масса сплошного варианта 16 кг



Масса варианта с внутренней фермой 7 кг



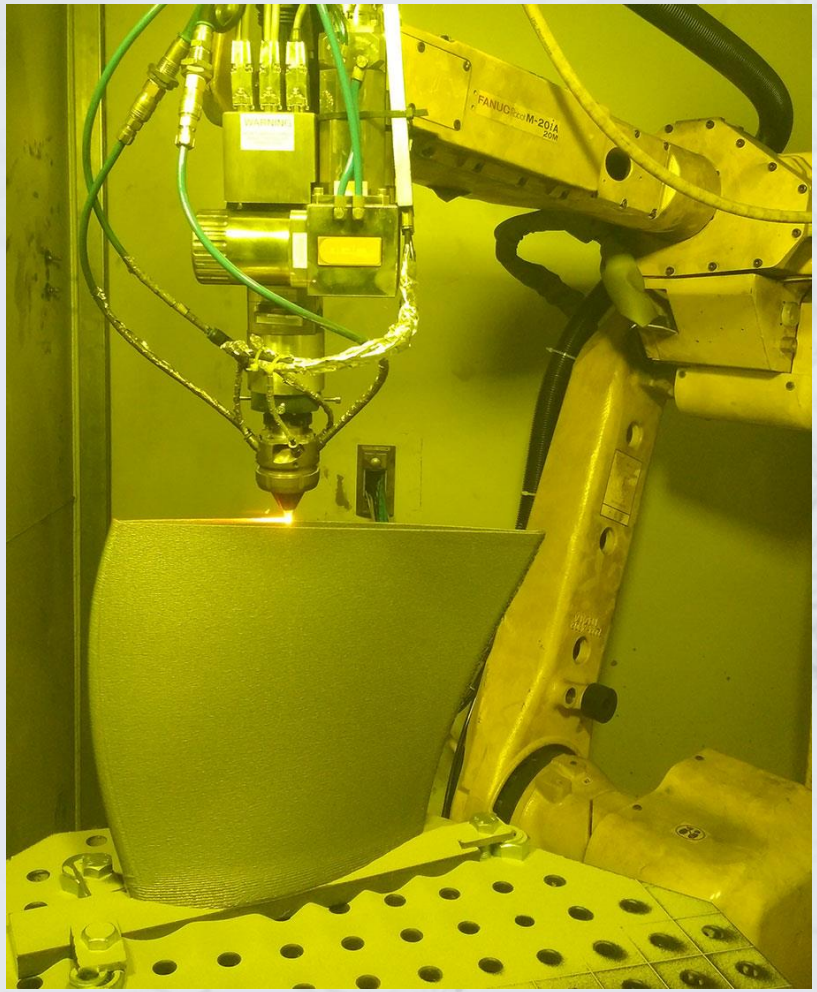


Снижение массы рабочего колеса более чем в 2 раза

Успешно проведены испытания, в том числе в составе рециркуляционной охлаждающей установки РОУ-80

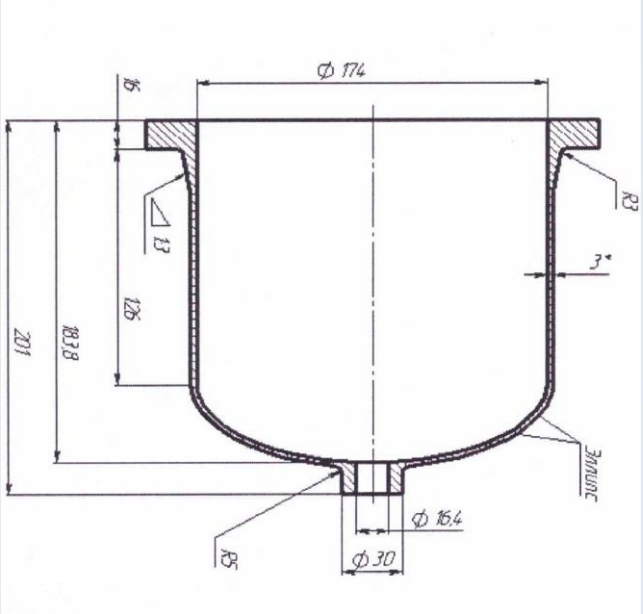
DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY OF DIRECT LASER DEPOSITION OF SHIP PROPELLERS

Уникальный идентификатор проекта
RFMEFI57417X0175

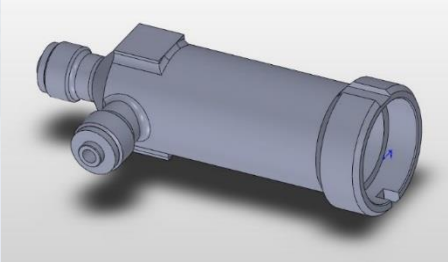


PRODUCTION OF SHIP FITMENTS AND PROPULSION SYSTEMS

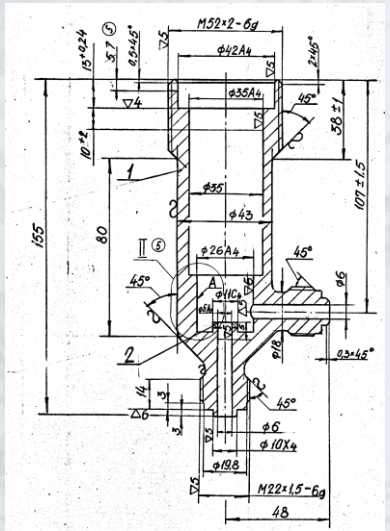
Гидрозатвор



КБ АРМАС

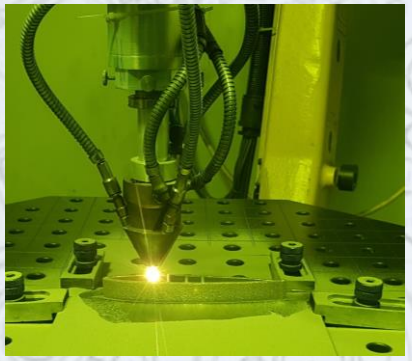


Корпус клапана запорного (316 L) с уплотнительным полем из ВЗК



ОАО «ЛГМ» основано в 1864 году

Ti blade for water jet propulsion



THANK YOU FOR ATTENTION