



Применение гибридных аддитивных
технологий в производстве
крупногабаритных изделий

Кратное снижение
срока получения заготовок

Снижение стоимости – **до 50%**

Повышение коэффициента использования
материала – **в три и более раз**

Снижение сроков изготовления **на 30% и более
процентов**

Снижение складских издержек

Высокое качество получаемого металла

Контроль процесса изготовления

Широкая номенклатура материалов



Область применения:

Печать заготовок для опытных деталей

Изготовление заготовок средней сложности для конечных изделий

Печать заготовок для производства оснастки

Изготовление и ремонт штамповой оснастки

Предприятия авиастроения,
авиадвигателестроения,
автомобилестроения, ракетостроения,
нефтегазового машиностроения и др.





Российский разработчик и производитель 3Д принтеров для печати крупногабаритных заготовок наплавкой проволок

Линейка продуктов – роботизированные принтеры и установки портального типа для трехмерной печати

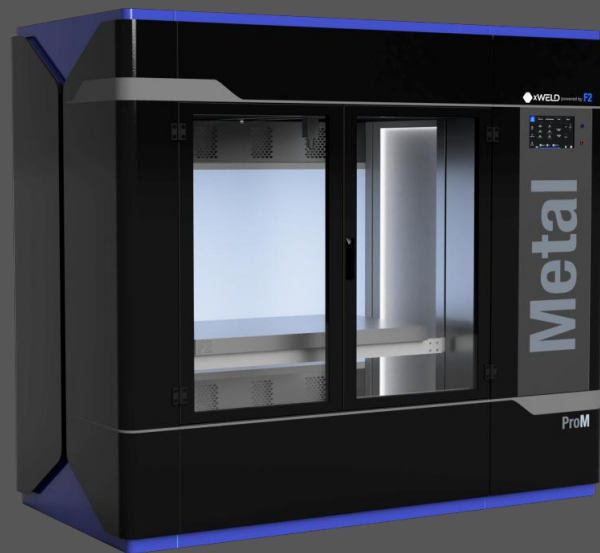
Уникальные разработки:

- Оборудование и технологии лазерной проволочной наплавки
- Оборудование и технологии плазменной наплавки проволок большого диаметра
- Система управления процессом
- Технологии и оборудование послойного деформационного упрочнения





отечественное оборудование
для трехмерной печати



Компактные 3Д принтеры

- ProM Arc
- ProM Plasma
- ProM xLight
Laser



Портальные 3Д принтеры

- Portal Arc
- Portal Plasma

Опции проковки
и предварительной
механообработки

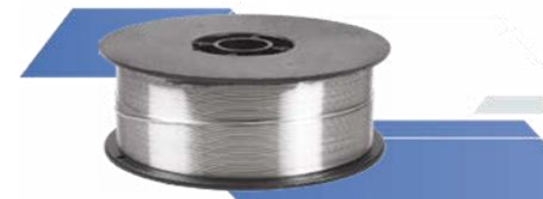


Принтеры
на базе манипуляторов

- RoboM Arc
- RoboM Plasma
- RoboM xLight
Laser



- плазменные
- дуговые
- лазерные системы



Моделирование тепломассопереноса

[Pang, 2019]

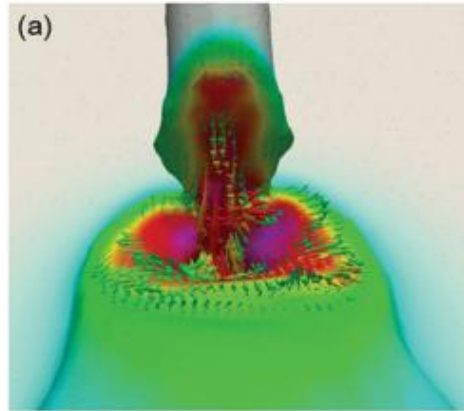
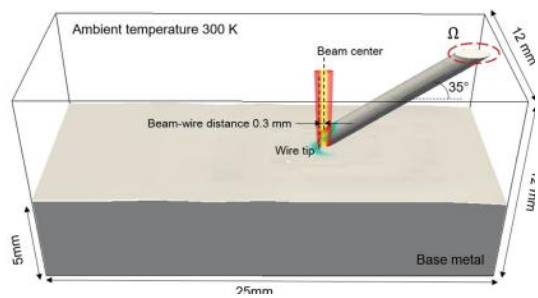


Figure 6. Fluid flow on the liquid bridge at 250 ms in Process

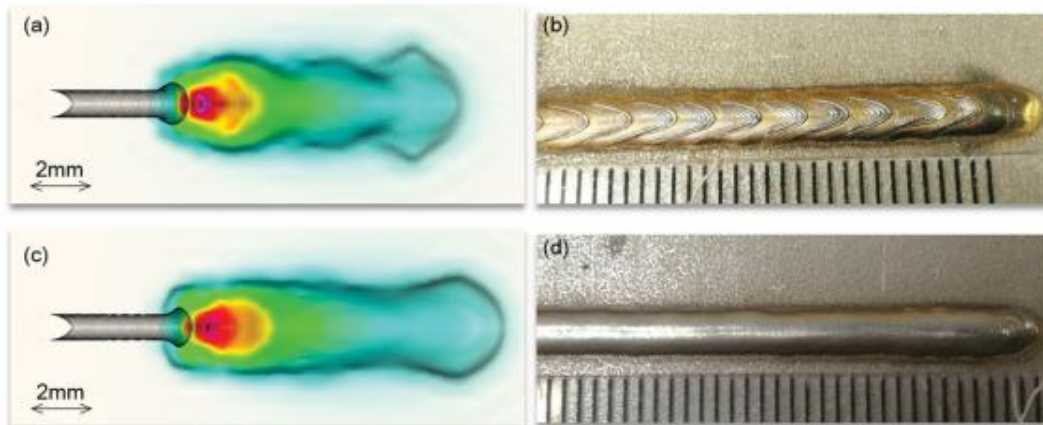


Figure 7. Appearances of the deposits in different processes. (a,b) Process No. 2; (c,d) Process No. 4.

26.11.2025

[Trautmann, 2017]

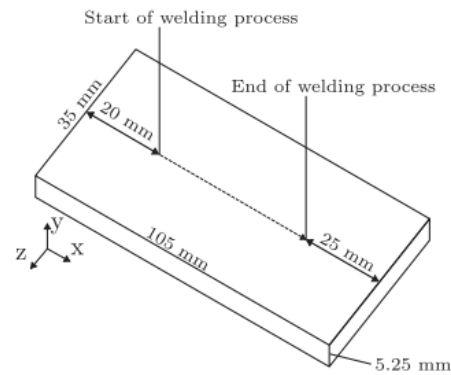
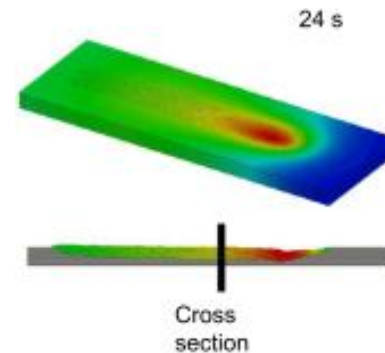


Fig. 2. Computational domain.



Cross section

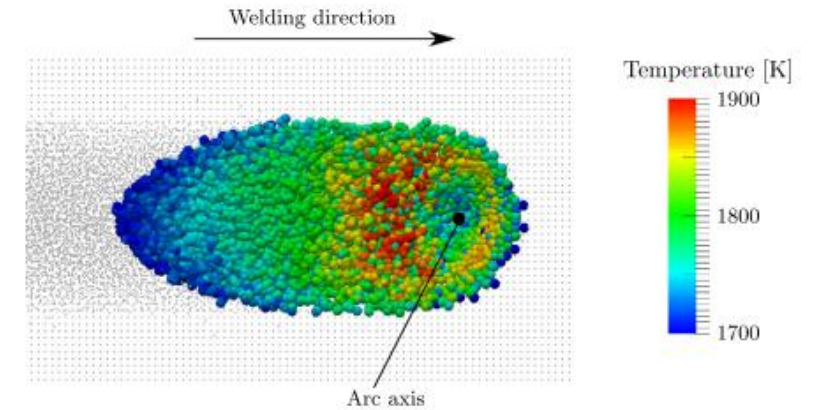


Fig. 13. Temperature on the weld pool surface.

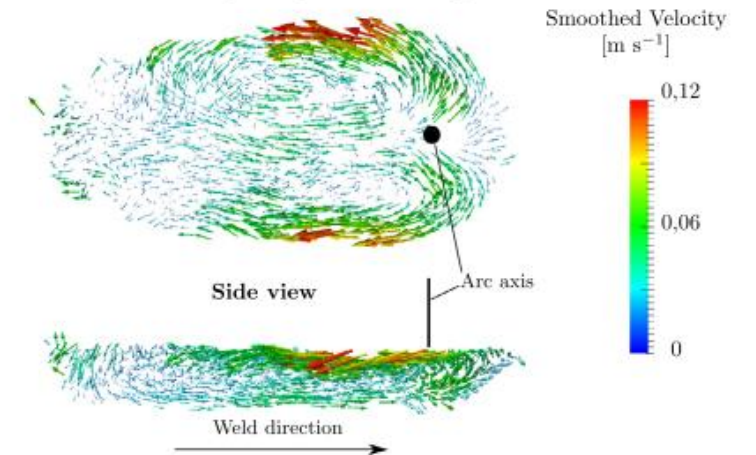
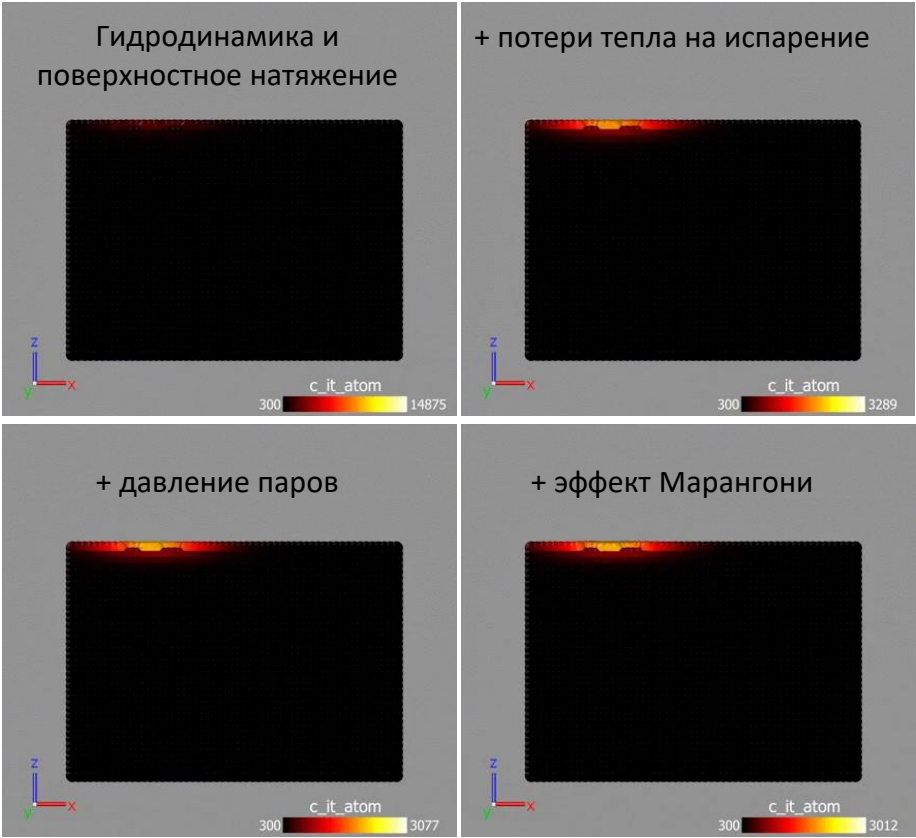
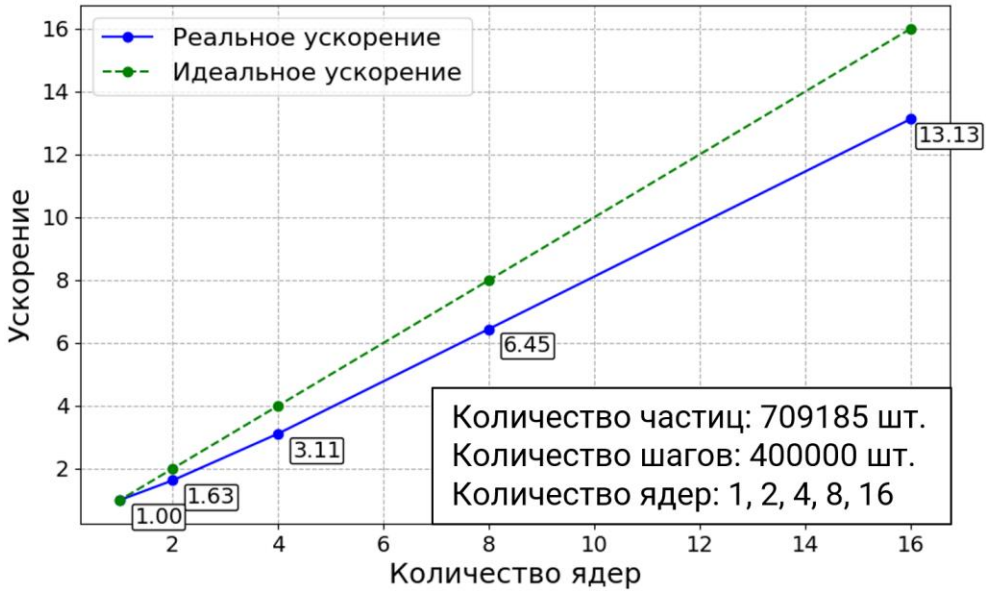


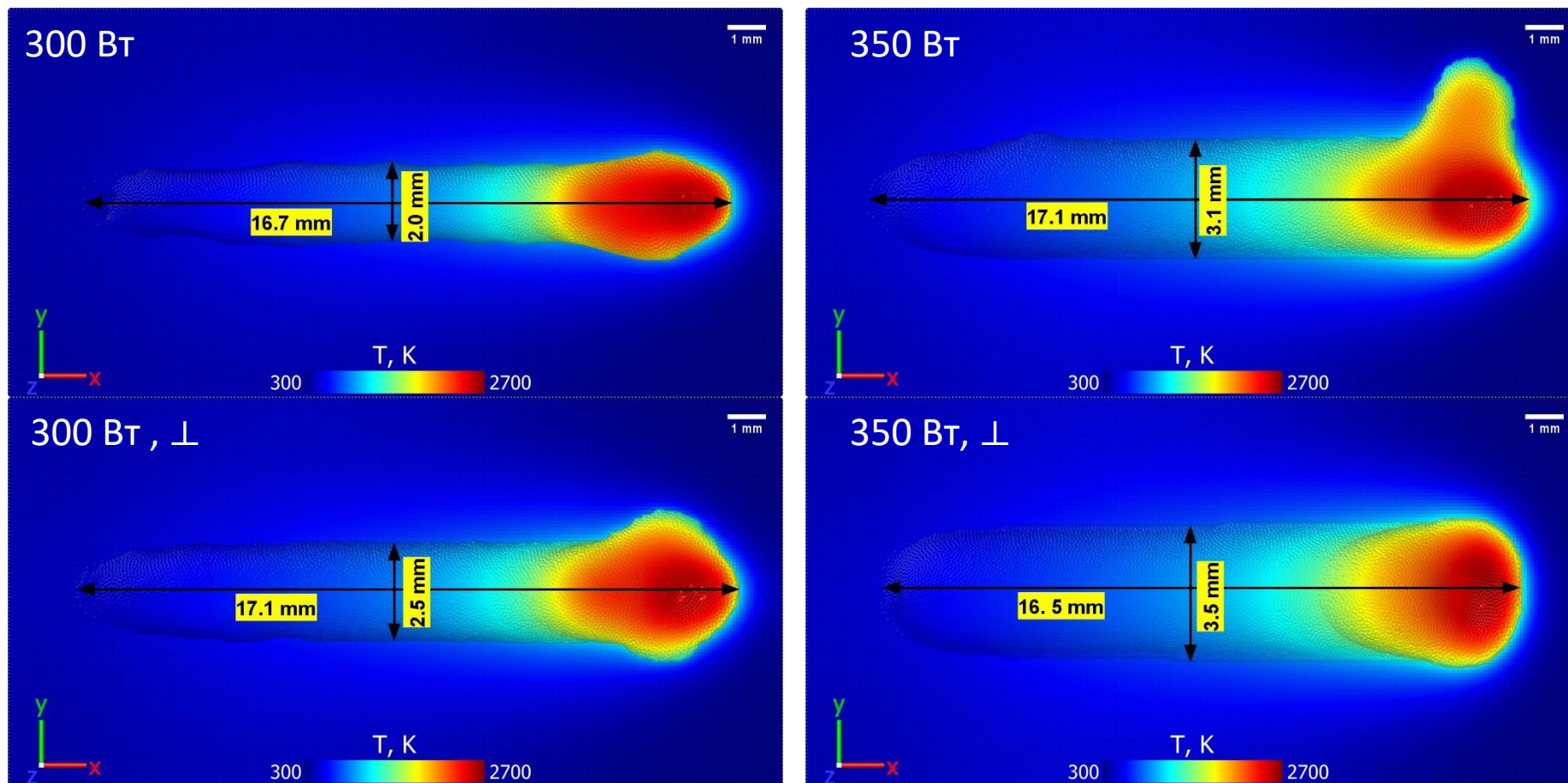
Fig. 12. Smoothed velocity field in the weld pool.

Характеристики ЭВМ	
Процессор	Threadripper 3970X 32-Core Processor 3.70 GHz
ОЗУ	128 ГБ DDR4
Видеокарта	NVIDIA RTX A5000
Видеопамять	24564 МБ GDDR6
ОС	Ubuntu 20.04.6 LTS



- + Кристаллизация
- + Давление паров
- + Поверхностное натяжение
- + Эффект Марангони
- + Распределение теплового источника

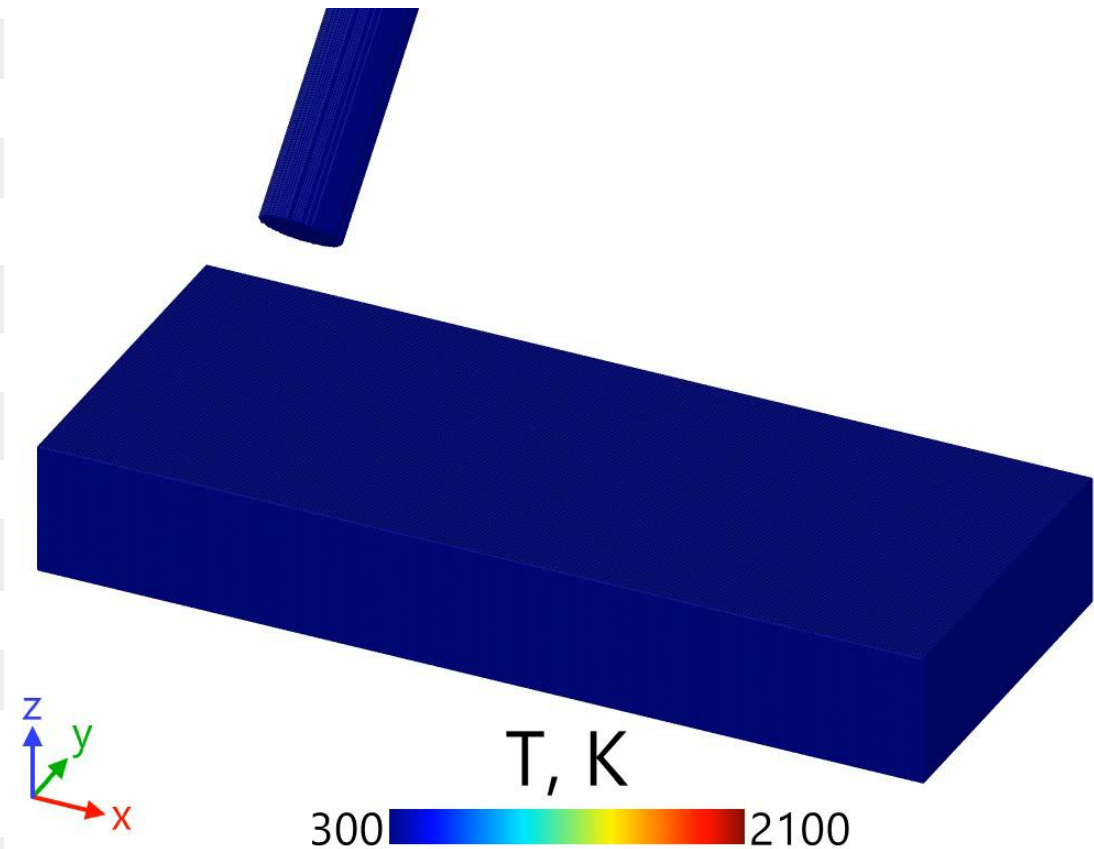
Анализ результатов



Геометрические характеристики валиков после наплавления

Моделирование процесса проволоочной наплавки

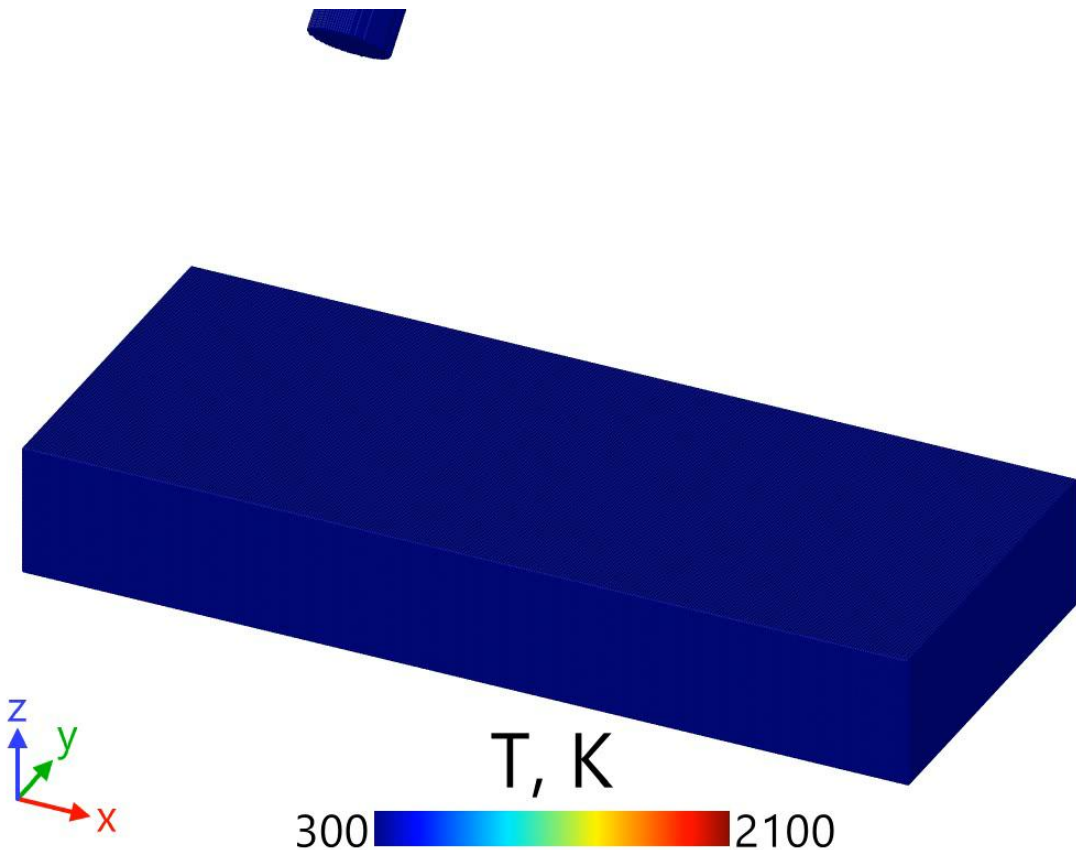
Параметры процесса			
Диаметр проволоки	d	мм	3
Длина проволоки	l	мм	55
Размер подложки	(ш×д×в)	мм мм мм	35×14×5
Скорость подачи (до контакта)	$v_{\text{нет.конт.}}$	м/с	-
Скорость подачи (после контакта)	$v_{\text{конт.}}$	м/с	0.04
Время подачи (после контакта)	$t_{\text{конт.}}$	с	Всё время
Скорость подачи (обратная)	$v_{\text{об.}}$	м/с	-
Время подачи (обратная)	$t_{\text{об.}}$	с	-
Время без подачи	$t_{\text{без подачи}}$	с	-
Время работы источника энергии	$t_{\text{раб}}$	с	1.45
Мощность источника энергии	Q	Вт	1500
Диаметр источника энергии	d_Q	мм	3
Параметр дискретизации	h	мм	0.1
Количество частиц	n	шт	2905305
Количество шагов	N	шт	800000
Физическое время	t	с	2.0
Время расчёта	t	ччч:мм:сс	97:19:35



Процесс проволоочной наплавки с постоянной подачей присадочного материала

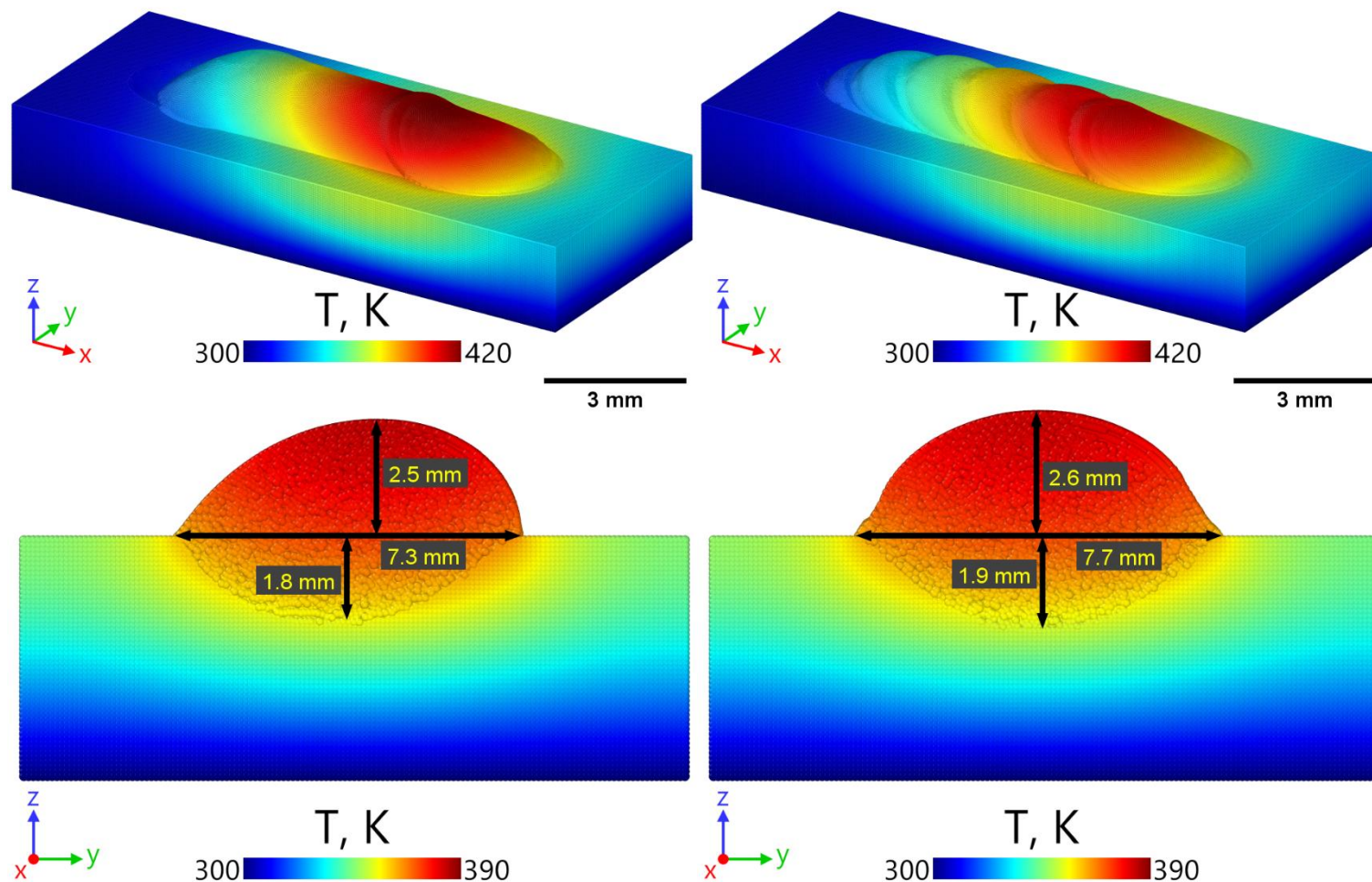
Моделирование процесса проволочной наплавки

Параметры процесса			
Диаметр проволоки	d	мм	3
Длина проволоки	l	мм	55
Размер подложки	(ш×д×в)	мм мм мм	35×14×5
Скорость подачи (до контакта)	v _{нет.конт.}	м/с	0.15
Скорость подачи (после контакта)	v _{конт.}	м/с	0.10
Время подачи (после контакта)	t _{конт.}	с	0.14
Скорость подачи (обратная)	v _{об.}	м/с	0.08
Время подачи (обратная)	t _{об.}	с	0.08
Время без подачи	t _{без подачи}	с	0.03
Время работы источника энергии	t _{раб}	с	1.45
Мощность источника энергии	Q	Вт	1500
Диаметр источника энергии	d _q	мм	3
Параметр дискретизации	h	мм	0.1
Количество частиц	n	шт	2905305
Количество шагов	N	шт	800000
Физическое время	t	с	2.0
Время расчёта	t	ччч:мм:сс	126:58:14



Процесс проволочной наплавки с импульсной подачей присадочного материала

Результаты



Постоянная подача:

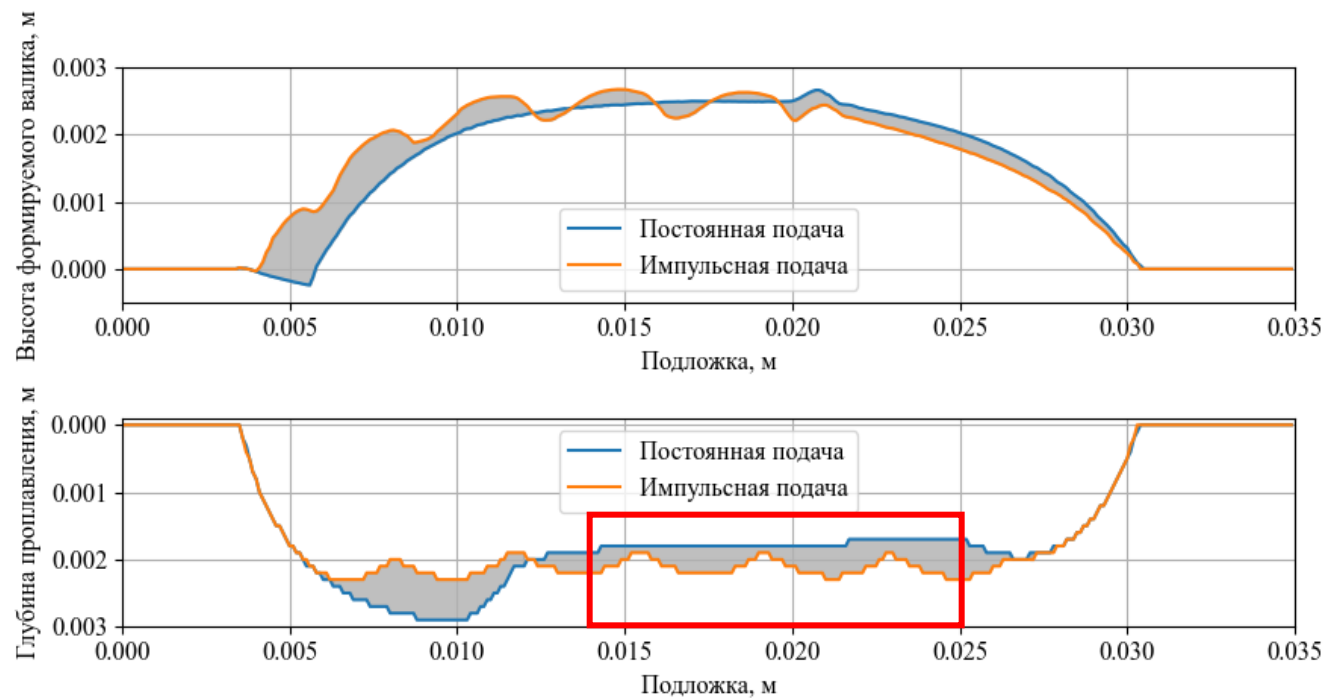
- Несимметричность валика
- Зона несплавления со стороны подачи проволоки

Импульсная подача:

- Симметричность валика
- Отсутствие зоны несплавления

Наплавленные валики при постоянной (слева) и импульсной (справа) подаче присадочного материала и их поперечные срезы

Результаты



Графики высоты формируемых валиков (сверху) и глубины проплавления подложки (снизу) при разных способах подачи проволоки

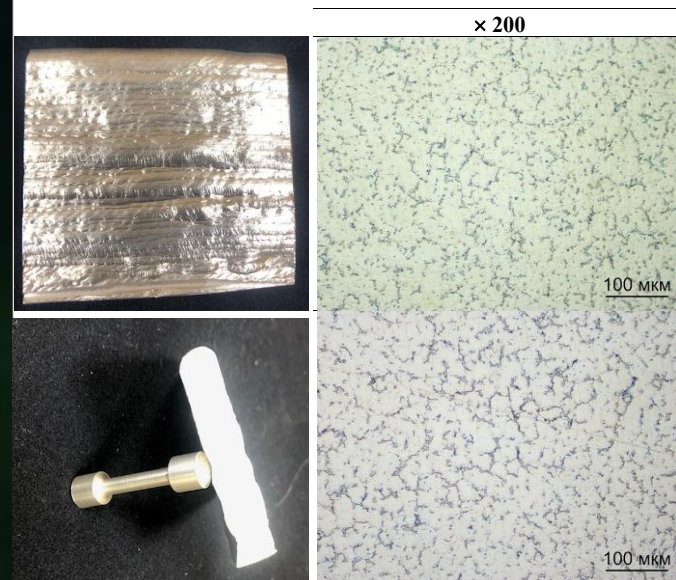
Средняя глубина проплавления при импульсной подаче выше, чем при постоянной

Постоянная подача:

- Гладкая верхняя часть валика
- Постоянная глубина проплавления

Импульсная подача:

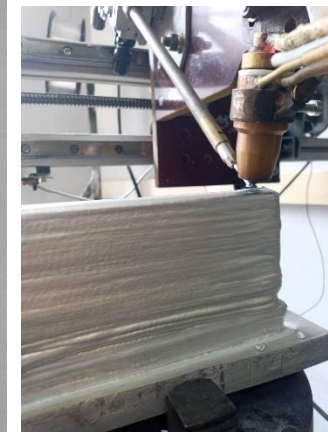
- Волнистый характер верхней части валика и глубины проплавления



Магниевый сплав МА5



Алюминиевый сплав



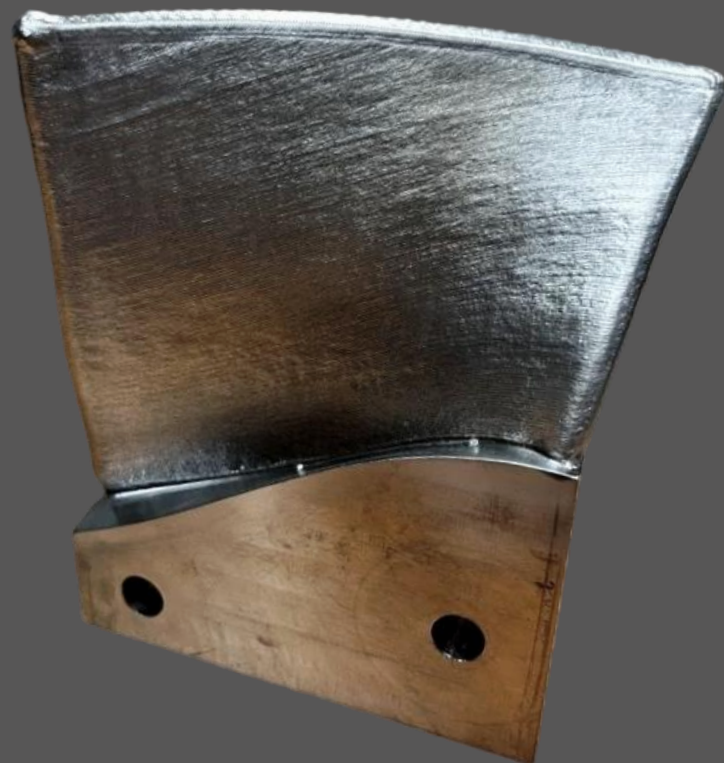


Система адаптивного управления процессом

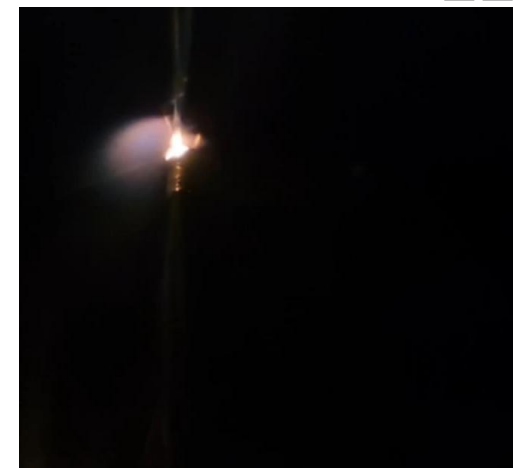
Разработанная в компании **xWeld** система управления процессом выращивания за счет одновременного контроля целого ряда технологических параметров, изменяющихся в зависимости от фактического теплоотвода и расхода материала обеспечивает следующие ключевые, уникальные преимущества:

- ☒ Качество поверхности изделийкратно превосходящее другие проволочные технологии, сравнимое с LPBF
- ☒ Автоматическое выравнивание высоты слоя
- ☒ Печать слоями переменной толщины
- ☒ Минимизация участия человека в процессе 3D печати

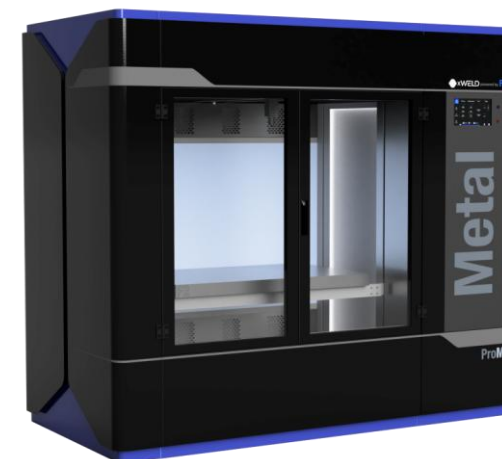
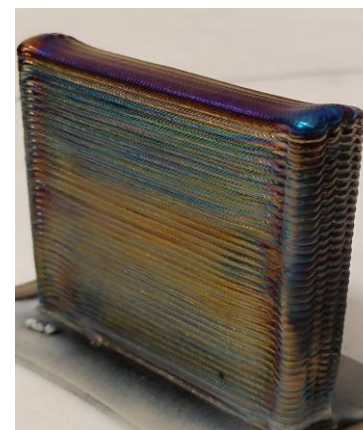
Уникальные технологии
Система xLight vacuum - лазерная наплавка проволок в вакууме



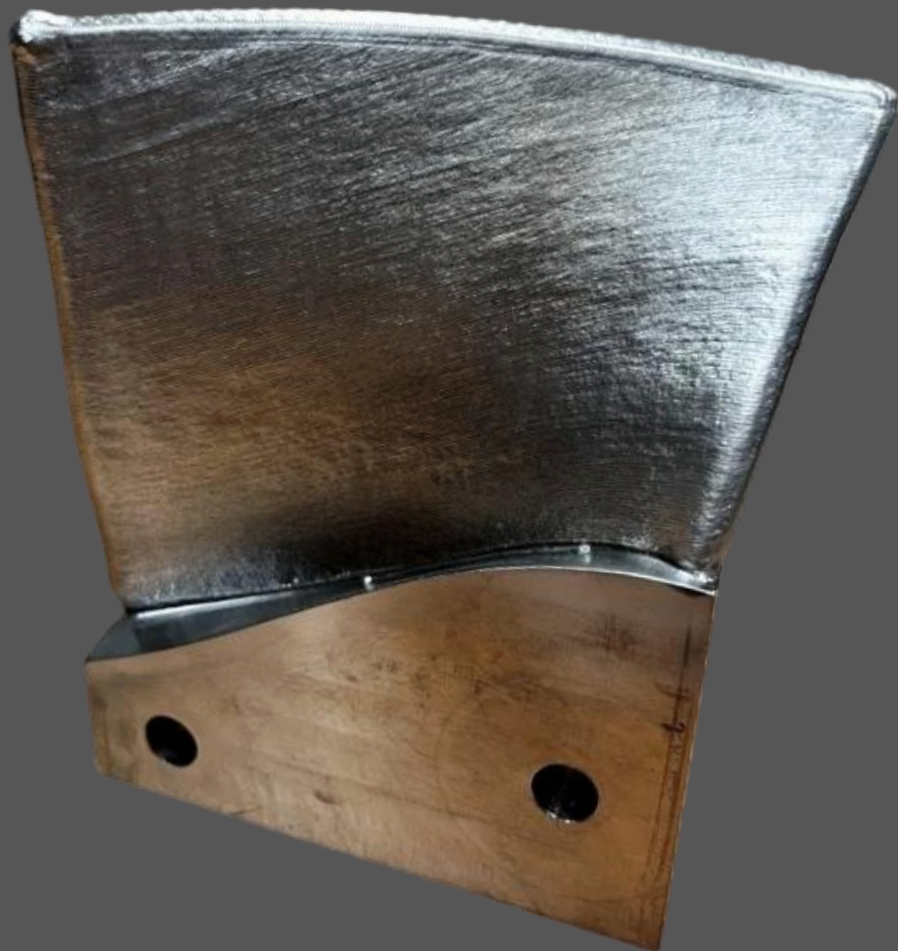
- сниженное тепловложение и расход материала
- высокое качество наплавленного металла
- низкая стоимость
- надежность и универсальность процесса
- вертикальная подача проволоки
- отсутствие рентгеновского излучения
- неглубокий вакуум
- Свойства материала на уровне поковок!!!



№	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %
Материал в состоянии наплавки				
Л-1.1-1	984	884	12,9	29,0
Л-1.1-2	971	880	12	15,7
Л-1.1-3	953	850	13,3	26,5
Материал после ТО				
Л-1.2-1	912	824	22,0	28,4
Л-1.2-2	923	830	17,0	23,9
Л-1.2-3	924	838	14,1	18,9



Награда в номинации «Вклад в развитие отрасли» на выставке
Weldex 2024



Технологические кейсы



Материал: **сплав ВТ6**
проволока **Ø 1.2 мм**



Высота слоя: **0.8 мм**



Габариты: **105x50x150 мм**



Припуски: **1.5 мм**



Масса наплавки: **1.5 кг**



12 часов

Затраты на материалы

Материал	ВТ6	18 тыс. руб.
Газ	Аргон	25 тыс. руб.
Электричество		8 тыс. руб.



51 тыс. руб.

Авиастроение

Выращивание лопатки взамен дефектной на моноколесе. Используется наплавка в 5-ти координатах с применением неплюского слайсинга. Слайсер xWeld совместно с ООО «Аддитивные технологии». Слои повторяют форму основы, на которую производят наплавку, что обеспечивает высокое качество сплавления. Экономический эффект до 10 млн. руб. Наплавлено на оборудовании **Vac xLight**

Vac xLight

LASER

ProM xLight

LASER

Portal

ARC PLASMA

RoboM 6+2

ARC PLASMA

Hybrid

ARC PLASMA



Материал: **титановый сплав ВТ6**
проволока **Ø 1.2 мм**



**пермский
политех**



Высота слоя: **2.4 мм**



Габариты: **760x350x910 мм**



Припуски: **3...5 мм**



Масса наплавки: **56 кг**



72 часа

Затраты на материалы

Материал

ВТ6

672 тыс. руб.

Газ

Аргон + Гелий

275 тыс. руб.

Электричество

120 тыс. руб.



1067 тыс. руб.

Авиастроение

Заготовка обтекателя. Используется наплавка в 5-ти координатах в камере с защитной атмосферой. Срок изготовления изделия вместе с фрезерной механической обработкой 2 месяца. Срок изготовления штамповой оснастки для производства по традиционной технологии – 14 месяцев.

Электродуговая (плазменная) проволоочная наплавка Система – RoboM с камерой с защитной атмосферой.



Технологические кейсы

Vac xLight

LASER

ProM xLight

LASER

Portal

ARC PLASMA

RoboM 6+2

ARC PLASMA



Материал: **сталь 308**
проволока **Ø 1.6 мм**



120 часов



Высота слоя: **1.2 мм**



Габариты: **2007x2007x221 мм**



Припуски: **5 мм**



Масса наплавки: **479 кг**

Затраты на материалы

Материал	308	622 тыс. руб.
Газ	Аргон	45 тыс. руб.
Электричество		70 тыс. руб.



739 тыс. руб.

Авиадвигателестроение

Заготовка входного конфузора для использования в составе испытательного стенда газотурбинного двигателя. Наплавка производилась в 3+2 координатах на оборудовании **RoboM 6+2**



Материал: **сталь 316L**
проволока **Ø 1.2 мм**



Высота слоя: **1.0 мм**



Габариты: **450x200x130 мм**



Припуски: **0 мм**



Масса наплавки: **2.5 кг**



12 часов

Затраты на материалы

Материал	316L
----------	------

3.6 тыс. руб.

Газ	Аргон
-----	-------

12 тыс. руб.

Электричество

10 тыс. руб.



25.6 тыс. руб.

Вертолетостроение

Стальной кронштейн. Выращивание заготовки в трех координатах под обработку посадочных поверхностей. Наплавлено на оборудовании **ProM xLight**

Vac xLight

LASER

ProM xLight

LASER

Portal

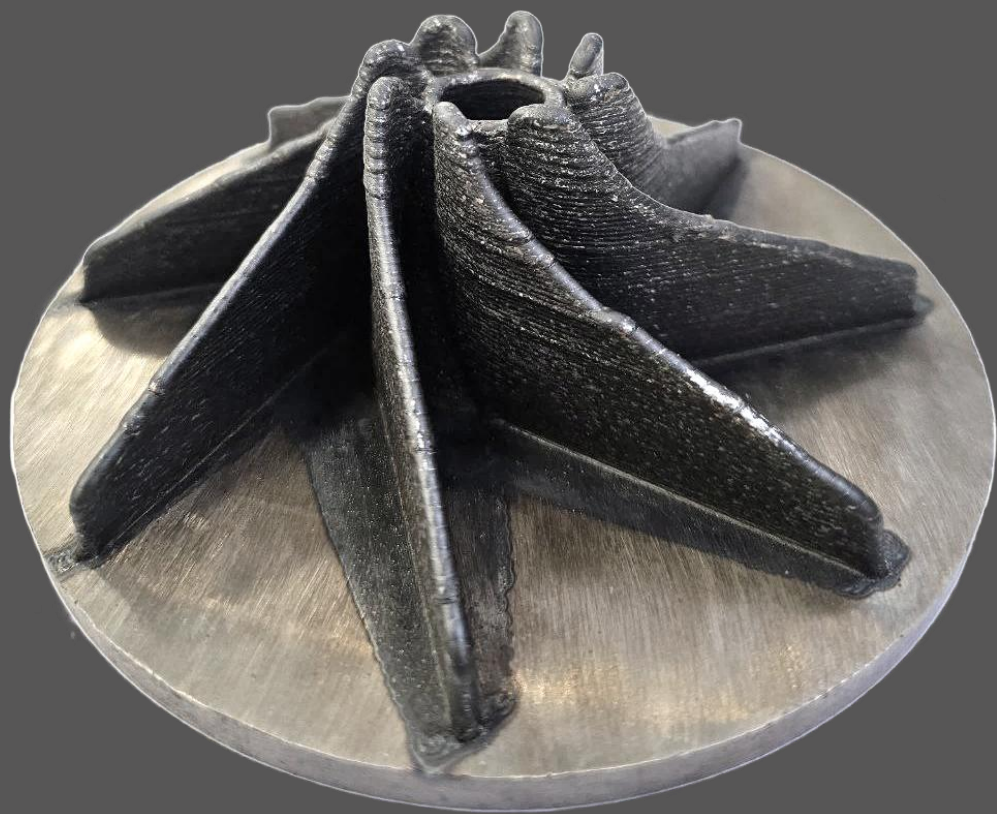
ARC PLASMA

RoboM 6+2

ARC PLASMA

Hybrid

ARC PLASMA



Материал: **сталь 316L**
проволока **Ø 1.2 мм**



Высота слоя: **1 мм**



Габариты: **150x150x65 мм**



Припуски: **1 мм**



Масса наплавки: **0.8 кг**



3 часа

Затраты на материалы

Материал	316L	1.2 тыс. руб.	 3.4 тыс. руб.
Газ	Аргон	1.2 тыс. руб.	
Электричество		1 тыс. руб.	

Нефтегазовое машиностроение

Заготовка крыльчатки. Выполнена выращиванием в трех координатах в виде гибридной конструкции. Подложка является частью изделия. Наплавлено системой **ProM xLight**

Vac xLight

LASER

ProM xLight

LASER

Portal

ARC PLASMA

RoboM 6+2

ARC PLASMA

Hybrid

ARC PLASMA

Материал: **сталь 30ХГСА**
проволока **Ø 1.6 мм**

Высота слоя: **2.4 мм**

Габариты: **650x650x460 мм**

Припуски: **3..5 мм**

Масса наплавки: **460 кг**

 **116** часа

Затраты на материалы

Материал	Сталь 30ХГСА	303 тыс. руб.
Газ	Аргон	50 тыс. руб.
Электричество		45 тыс. руб.

 **398** тыс. руб.

Двигателестроение

Станочная оснастка. Наплавка с использованием 3+2 координат. Конструкция оптимизирована со снижением материалоемкости и уменьшением количества используемых при изготовлении деталей.

Vac xLight
LASER

ProM xLight
LASER

Portal
ARC PLASMA

RoboM 6+2
ARC PLASMA



Материал: Al 5087
проволока Ø 1.2 мм

Высота слоя: 2 мм

Габариты: мм

Припуски: 3..5 мм

Масса наплавки: 120 кг

72 часа

Затраты на материалы

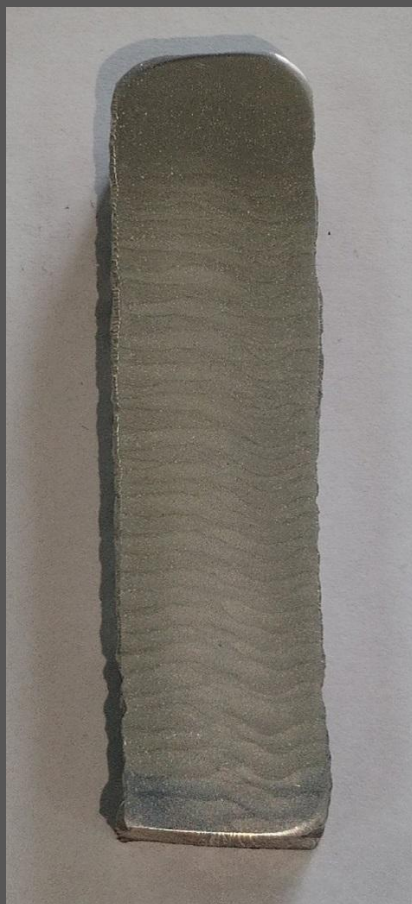
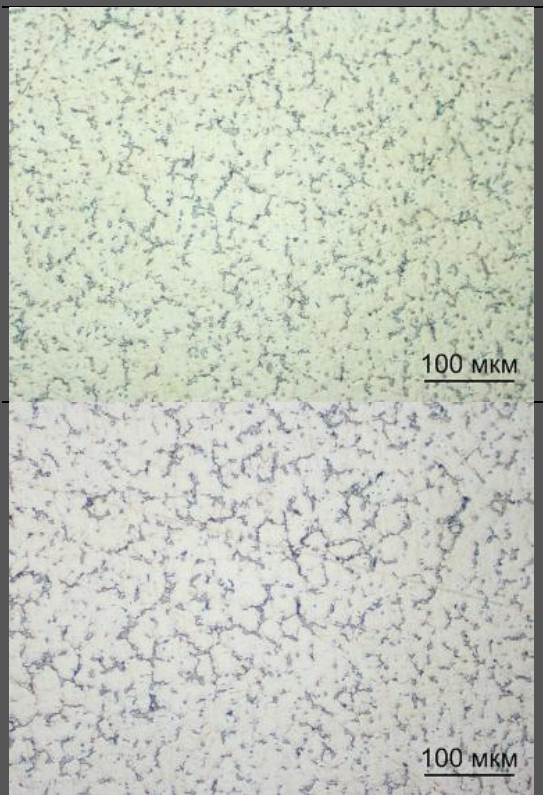
Материал	Al 5087	264 тыс. руб.
Газ	Аргон	50 тыс. руб.
Электричество		45 тыс. руб.
		 245 тыс. руб.

Двигателестроение



Материалы -
высокая плотность
и механические характеристики
на уровне проката

× 200



Материал	Рекомендуемая система
08Г2С	Дуга
30ХГСА	Дуга (плазма и лазер в проработке)
12Х18Н10Т (321Н)	Плазма, дуга, лазер
04Х19Н11М3 (316LSi)	Плазма, дуга, лазер
03Х12Н9М2С <i>адаптированная термообработка</i>	дуга (плазма и лазер в проработке)
АМг5 (5087)	Плазма, дуга
1575	Плазма, дуга
ВТ6 (Ti-6Al-4V) <i>адаптированная термообработка</i>	Плазма, дуга, лазер
ХН45МВТЮБР (Alloy 718)	Плазма, дуга, лазер
Д20	Плазма, дуга
Alloy 625	Плазма, дуга, лазер