



МТФ - 2025 ИННОВАЦИИ. ТЕХНОЛОГИИ. ПРОИЗВОДСТВО

ИЛИСТ СПбГМТУ

Опыт ИЛИСТ СПбГМТУ в восстановлении компонентов ГТД

Задыкян Г.Г.

Инженер технологического отдела ИЛИСТ

17-18 апреля
Рыбинск, 2025 г.



ИЛИСТ
ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И СВАРОЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ



НАПРАВЛЕНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИЛИСТ

- > 150 научно-инженерных сотрудников
- > 160 промышленных проектов
- > 20 выполненных научных грантов (РФФИ, РНФ, Минобрнауки)
- > 2 500 м² помещений научно-производственных подразделений
- ИЛИСТ участник государственных проектов Приоритет 2030, ПИШ, ИЦМУ

- Газо- и гидродинамика
- Термодинамика и кинетика
- Тепломассоперенос
- Напряжения и деформации

Фундаментальные и прикладные исследования

Исследование структуры и свойств материалов

- Металлы и сплавы
- Композиционные материалы
- Высокоэнтропийные сплавы
- Интерметаллиды
- Металлокерамика

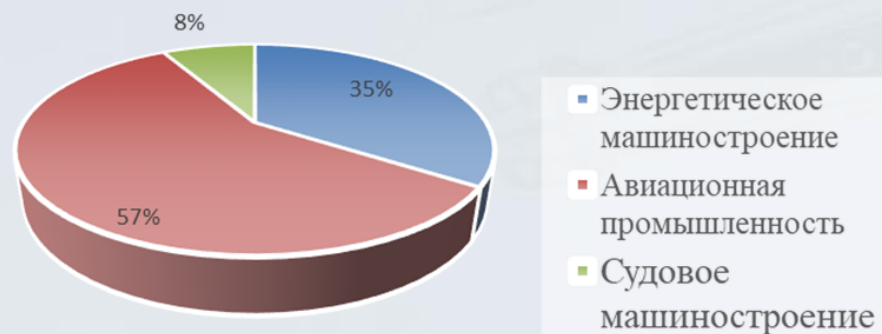
Проектирование технологического оборудования

Лазерные и гибридные технологии обработки материалов

- Мобильное
- Портальное
- Роботизированное
- Оснастка

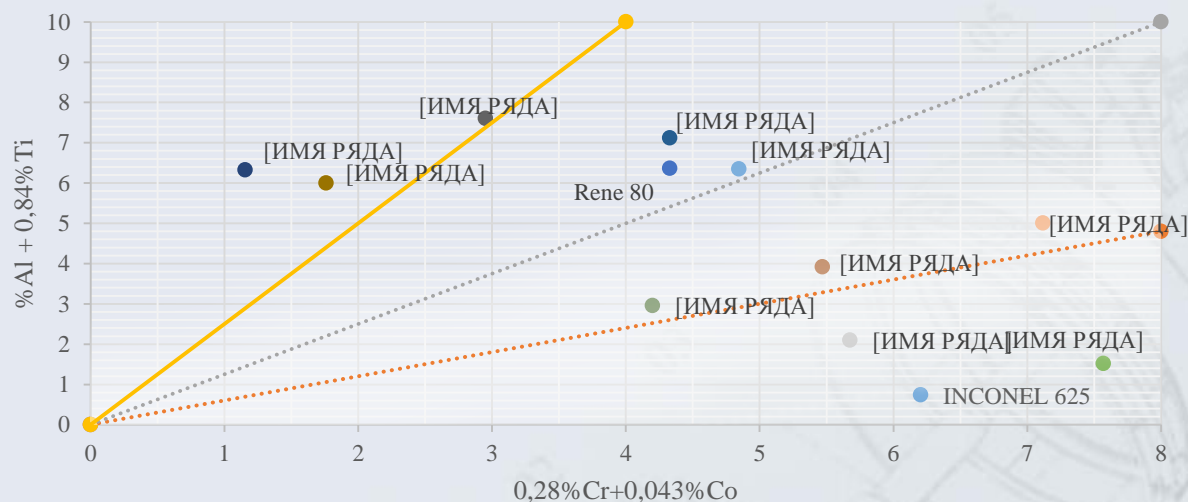
- Сварка
- Наплавка
- 3D-печать
- Резка
- Термообработка

Количество используемых ГТД по отраслям



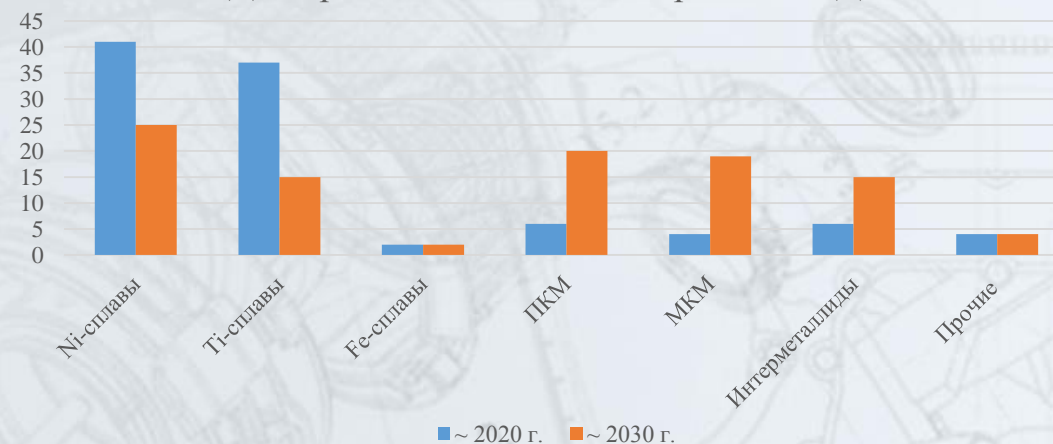
1 – отчет ОДК (<https://www.uecrus.com/>);

2 – отчет Минпромторга (<https://minpromtorg.gov.ru>).

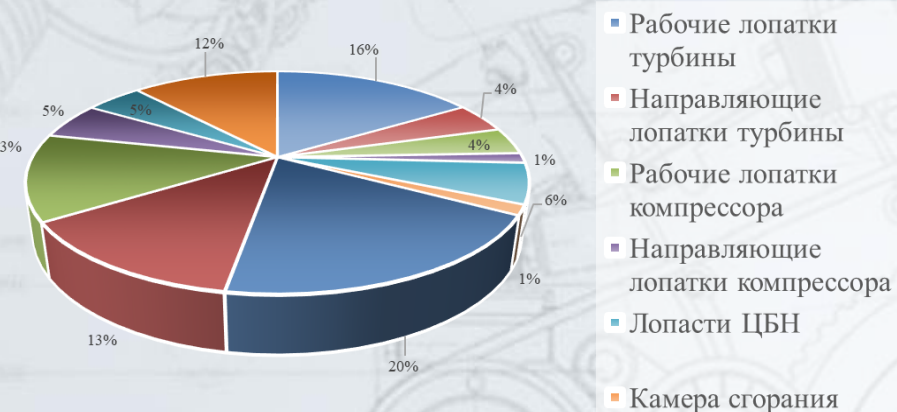


Количество зарубежных газовых турбин¹ ~ 80 %
 > 30% от общего количества аварий связано с отказом силовой установки²

Доли различных видов материалов ГТД



Статистика повреждений основных деталей ГТУ



1 - Отчет Центра комплексных европейских и международных исследований (ЦКЕМИ) Высшей школы экономики (ВШЭ);

2 - Данные Electric Power Research Institute (<https://www.epri.com/Power-Generation/Gas-Turbines/Reliability-Maintenance>)

КОНЦЕПЦИЯ РЕАЛИЗАЦИИ НИР И/ИЛИ КОНТРАКТНЫХ РАБОТ ПО ЛН КОМПОНЕНТОВ ГТД

5

Входные группа мероприятия

- Визуальный контроль;
- 3D сканирование деталей
- Оценка величин деформации относительно КД
- Металлография исходной детали: химический состав основы, состав подслоев и ТБП;
- Отработка восстанавливающей ПТО
- ...

Экспериментально-исследовательская группа

- Экспериментальные исследования влияния входных параметров процесса ЛН на формирование присадочных слоев на детали;
- Металлографические исследования (разрушающие: контроль дефектов структуры, изучение микроструктуры и тд)
- Металлографические исследования (неразрушающие: ПВК, РГК, УЗК, ...)

Испытания. Выпуск НД

- Твердость/микротвердость областей ЗТВ, переходной и наплавленной
- Статическое одноосное растяжение (при различных $T, ^\circ C$);
- Ресурсные испытания восстановленных деталей
- Комплекты ТД на процесс ремонта ДСЕ ГТД методом ЛН

Подготовка ДСЕ

- - Визуальный контроль;
- Контроль основных размеров;
- Очистка поверхности деталей;
- Металлографические исследования (разрушающие/неразрушающие методы)
- Удаления покрытий;
- ПТО;
- Выборка дефектов

Ремонт ДСЕ

- - Восстановление геометрии деталей методом ЛН;
- Нанесение подслоев
- Нанесение ТБП
- Промежуточный контроль дефектов и геометрии

Постобработка ДСЕ

- - ОТО;
- Шлифовка/полировка;
- Восстановление отверстий;
- Открытие охлаждающих отверстий;
- Контроль геометрии

МАТЕРИАЛЬНАЯ БАЗА ИЛИСТ, Ч.1

ИЛИСТ-М – размеры изделий:

Ø 600 мм, h – 400 мм, масса – до 100 кг



ИЛИСТ-L – размеры изделий:

Ø 1300 мм, h – 800 мм, масса – до 400 кг.



ИЛИСТ-XL – размеры изделий:

Ø 2200 мм, h – 600 мм, масса – до 1200 кг.



ИЛИСТ-2XL – размеры изделий:

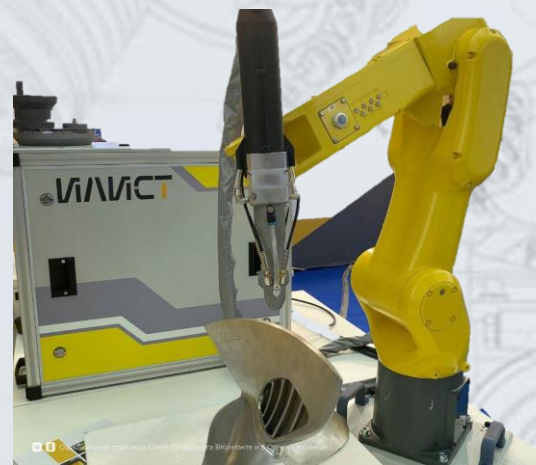
Ø 2200 мм, h – 1000 мм, масса – до 8000 кг.



Линейка роботизированных комплексов ИЛИСТ

- Источник лазерного излучения: 1,5 - 4 кВт
- Количество управляемых осей в комплексах: 6 - 13
- Габариты обрабатываемой детали: Ø 600, h – 400 мм (min); Ø 2200, h – 1 000 мм
- Масса обрабатываемой детали: до 8 000 кг
- Объем контролируемой атмосферы: 4,5 – 20 м³
- Производительность: до 250 см³/ч
- Количество порошковых питателей: 2-4 (по 5 л)
- Вакуумируемый шлюз

Мобильная установка лазерной порошковой наплавки
«ИЛИСТ-МН»



МАТЕРИАЛЬНАЯ БАЗА ИЛИСТ, Ч.2

Оборудование для пробоподготовки

- Прецизионный отрезной станок METKON MICROCUT 202
- Шлифовально-полировальный станок ATM SAPHIR 250 A1 ECO
- Станок горячей запрессовки ATM OPAL X-PRESS
- Электроэрозионный проволочно-вырезной станок серии DK-7740
- Ленточнопильный станок Metal Master BSG-812

Оборудование для исследования структуры

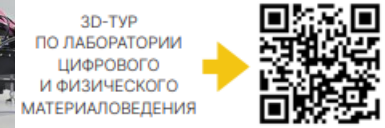
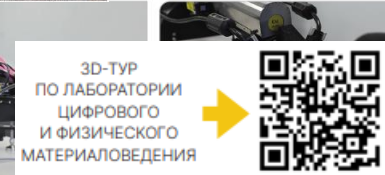
- Просвечивающий электронный микроскоп Thermo Fisher Talos F200X G2
- Сканирующий электронный микроскоп Tescan Mira 3, оснащенный системой
- энергодисперсионного микроанализа AZtec Live Advanced Ultim Max 65
- и системой анализа картин дифракции отраженных электронов AZtec HKL Standard C-Nano
- Инвертированный металлографический микроскоп Leica DMi8A
- Рентгеновский дифрактометр D2 PHASER
- Оптико-эмиссионный спектрометр «ИСКРОЛАЙН 1000»
- Анализаторы углерода и серы, азота, кислорода, водорода «МЕТЭК»
- ИК спектрометр с Фурье-преобразованием WQF-530 FTIR

Оборудование для изучения свойств

- Микротвердомер Future Tech FM-310 с программным комплексом Tihomet Pro
- Портативный ультразвуковой твердомер портативный ультразвуковой TKM-459C
- Универсальная испытательная машина Shimadzu AGS-100kNX
- Универсальная машина для динамических испытаний Santam SAF-50
- Печь высокотемпературная для разрывной машины ПВ-300/1100
- Маятниковый копер Santam SIT-450
- Портативный рентгеновский анализатор напряжений DS-21P фирмы Hanyuan Instruments Co., Ltd
- Потенциостат-гальваностат P40X

Вспомогательное оборудование

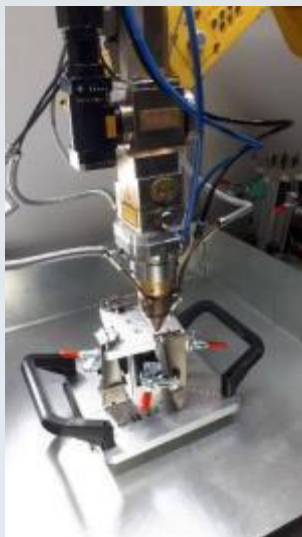
- Система ионного утонения образцов для ПЭМ FISCHIONE INSTRUMENTS 1051 TEM MILL
- Планетарная мельница BM6 PRO





ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАБОЧИХ ЛОПАТОК ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

8



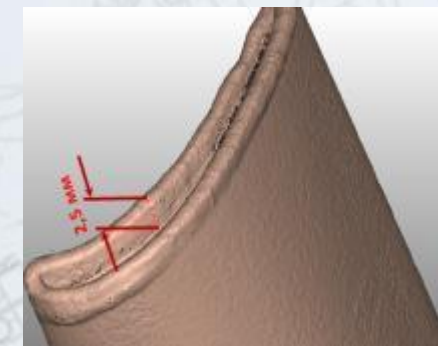
ОДК-ПМ заявлено к наплавке: 20 000 РЛ/год: РЛ
1 и 2 ст. ТВД
РЛ 1, 2 и 3 ст. СТ
Газотурбинные установки:
ГТУ-16П, ГТУ-12П, ГТУ-10П, ГТУ-25П

Основные характеристики установки

Размер рабочей зоны технологической установки	500x800x500
Мощность лазера	700 Вт
Количество координат манипулятора	6
Повторяемость	0,03 мм
Кассетная оснастка	+

Технологические параметры

Производительность	70-900 г/час
Перемешивание с основным металлом	Не более 10%
КИМ	Не менее 50%
Материалы основы	ЧС70У-ВИ, ЖС6У-ВИ, ЖС32-ВИ
Наплавляемые материалы	ЭП648, ЖС32-ВИ, Stellite 6



УСТАНОВКА ОТГРУЖЕНА ЗАО ПЛАКАРТ ДЛЯ ОСНАЩЕНИЯ
УЧАСТКА ОДК-ПЕРМСКИЕ МОТОРЫ

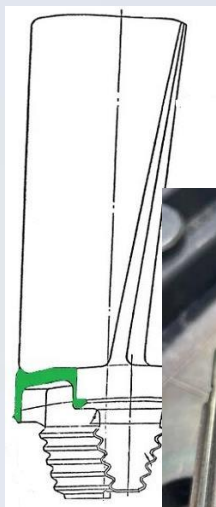


ВОССТАНОВЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИИ РЛ 1 СТУПЕНИ

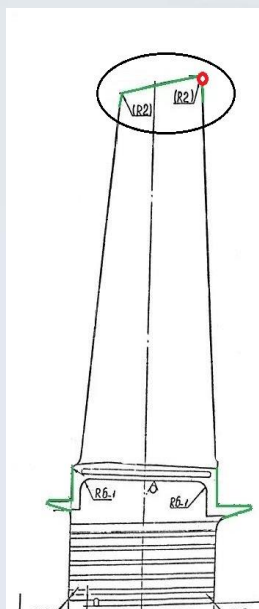
Неохлаждаемые рабочие лопатки
1 ступень ГТД ДР-59Л

- Основной материал: ЧС70
- Наплавляемый материал: Stellite 21

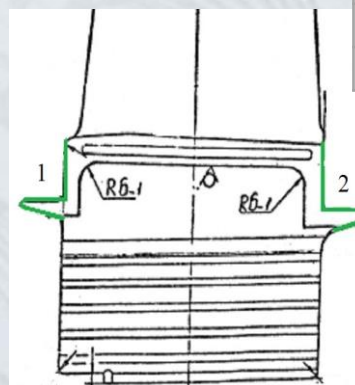
- ✓ Суммарно отгружено более 160 РЛ
- ✓ Технологический процесс интегрирован в СГАУ для дальнейших работ (комплекс ИЛИСТ L)



Наплавка торца
нижней полки РЛ



Наплавка гребешков
уплотнителей РЛ



Наплавка пера РЛ

Марка	Предел текучести, $\sigma_{0,2}$, МПа	Предел прочности, σ_B , МПа	Относительное удлинение, δ , %
ЧС-70 ¹	750	900	3,0
Stellite 21 ²	550	724	9,0
1	692	995	6,7
2	743	982	4,5



¹ ТУ 14-1-3658-83: ХН58КВТЮМБЛ (ЧС-70; СН25)

² <https://www.matweb.com>



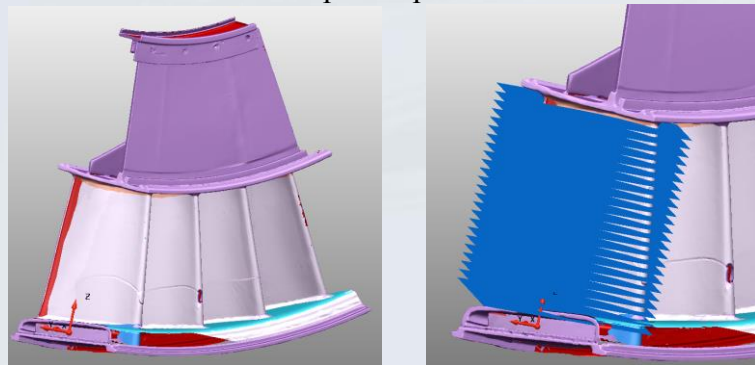
ЛАЗЕРНАЯ НАПЛАВКА ЛОПАСТИ СОПЛОВОГО АППАРАТА ГТД ДО63

10

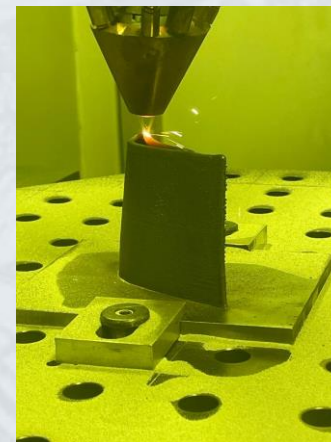
Материал основы СА: ЭК9Л
(ХН60КМЮВТБ)



Сканирование и построение
траектории



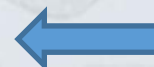
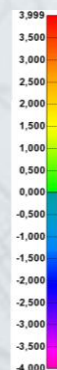
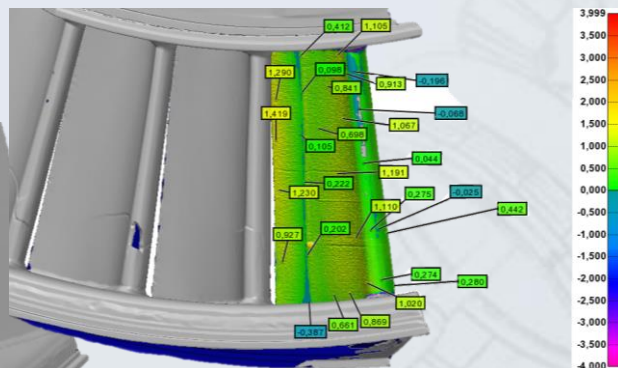
I этап – ПЛВ лопасти + сварка



III этап – Лазерная наплавка лопастей



Контроль геометрии наплавленной лопасти



II этап – Лазерная сварка
трещин на лопастях

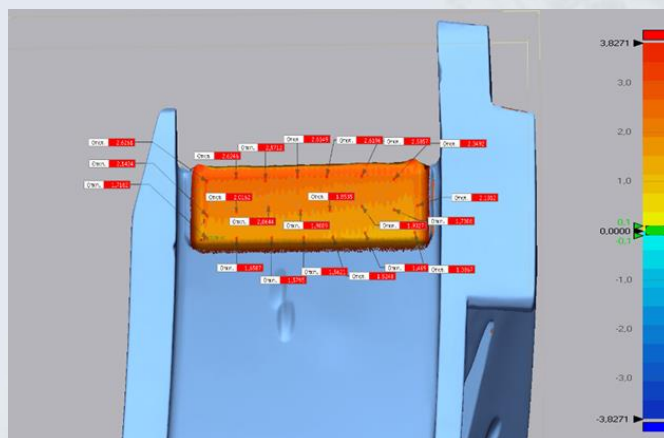
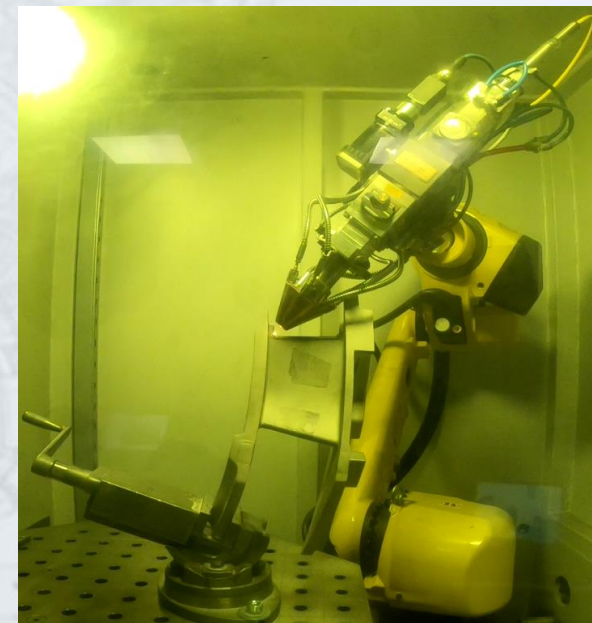
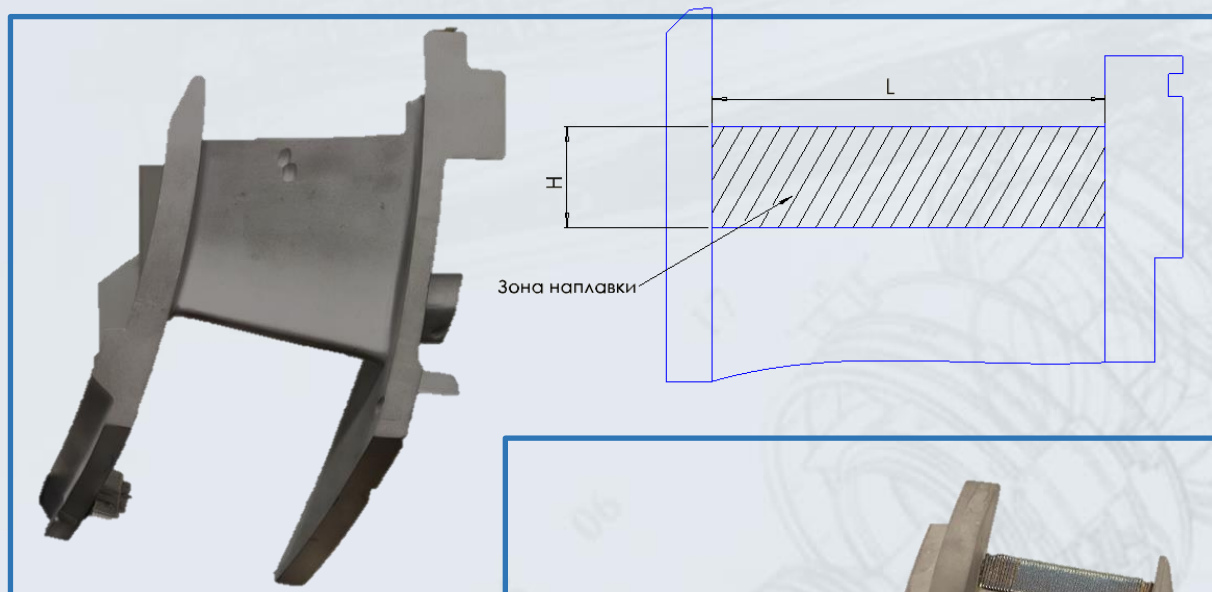
Макс. припуск: 1.5 мм
Мин. припуск: 0.2 мм



ЛАЗЕРНАЯ НАПЛАВКА ВЫХОДНОЙ КРОМКИ СОПЛОВОГО АППАРАТА ГТК-10И

11

Материал основы СА: ЦНК21





ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАБОЧИХ ЛОПАТОК КОМПРЕССОРА 1, 2 ст. ГТД 6.3PM

12

Материал основы РЛ: ВТ8
Присадочный материал: ВТ6



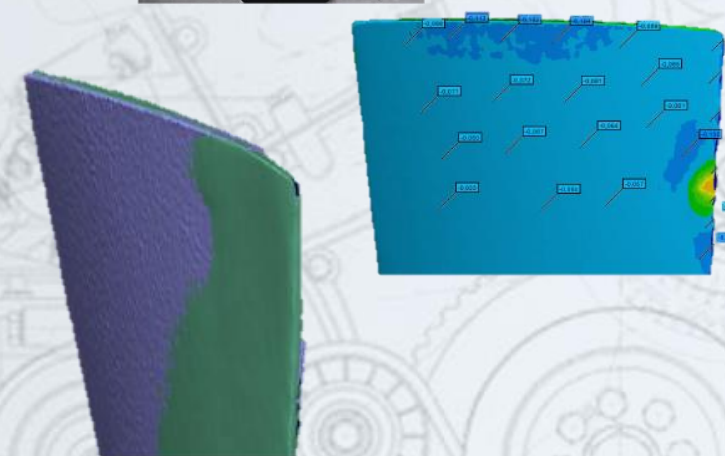
Исходное
состояние РЛ



Лазерная наплавка



Механическая
обработка





ПОЛНЫЙ ЦИКЛ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ГТД

13



УФИМСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ



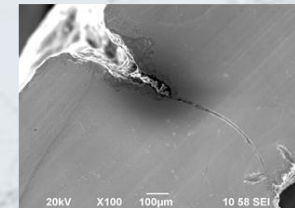
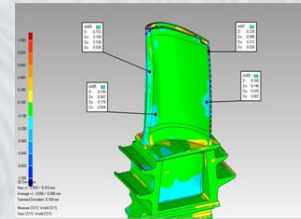
ИЛЛМСТ
ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И СВАРОЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

ПРИМЕР РЕАЛИЗАЦИИ ПОЛНОГО ЦИКЛА РЕМОНТА РЛ 1 СТ. ТВД MS5002E

14

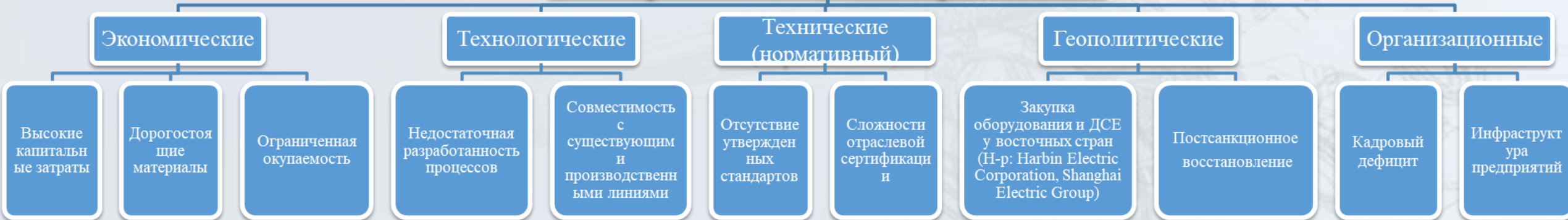
Перечень разработанных документов

1. Маршрутная карта
2. Техническая справка удаления покрытий
3. Технологическая инструкция (подготовка к дефектации/дефектация РЛ 1 ст.
4. Технологическая инструкция (нанесение покрытий)
5. Программа и методики испытаний восстановленных РЛ
6. Свидетельство процедуры сварки (WPS)



ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВНЕДРЕНИЯ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ

Ограничения и риски



Регламент проведения технического обслуживания компонентов ГТД

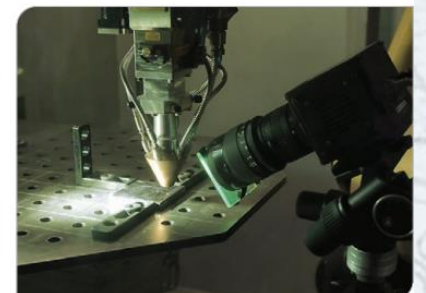
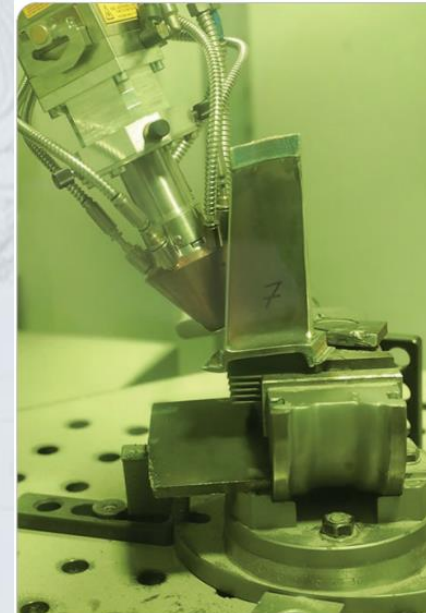
- Разработка НД на процесс ремонта ДСЕ ГТД методом лазерной порошковой наплавки;
- Аттестация присадочных материалов для ремонта ДСЕ ГТД методом лазерной порошковой наплавки;
- Разработка испытательных стендов для восстановленных деталей;
- ...

Обучение/переподготовка персонала.

- ИЛИСТ СПбГМТУ;
- МГТУ им. Баумана
- МИСИС;
- НГТУ;
- ООО Лазерная Наплавка;
- АО «Лазерные системы»
- ...

Интеграция в производственный цикл

- Оснащение перечнем основного и сопутствующего оборудования
- Адаптация технологического процесса ЛН в систему сервиса ДСЕ ГТД;
- Разработка маршрутной карты процесса восстановления ДСЕ ГТД (внутренний регламент)
- ...





СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Задыкян Григорий Григорович
Инженер технологического отдела
+7 (918) 300 44 47
gzadykyan@mail.ru



: Санкт-Петербург, пр-кт Маршала Жукова 38Б



: smtu.ru, ilwt-stu.ru

