



# **Подготовка специалистов в области технической эксплуатации и восстановления двигателей летательных аппаратов**

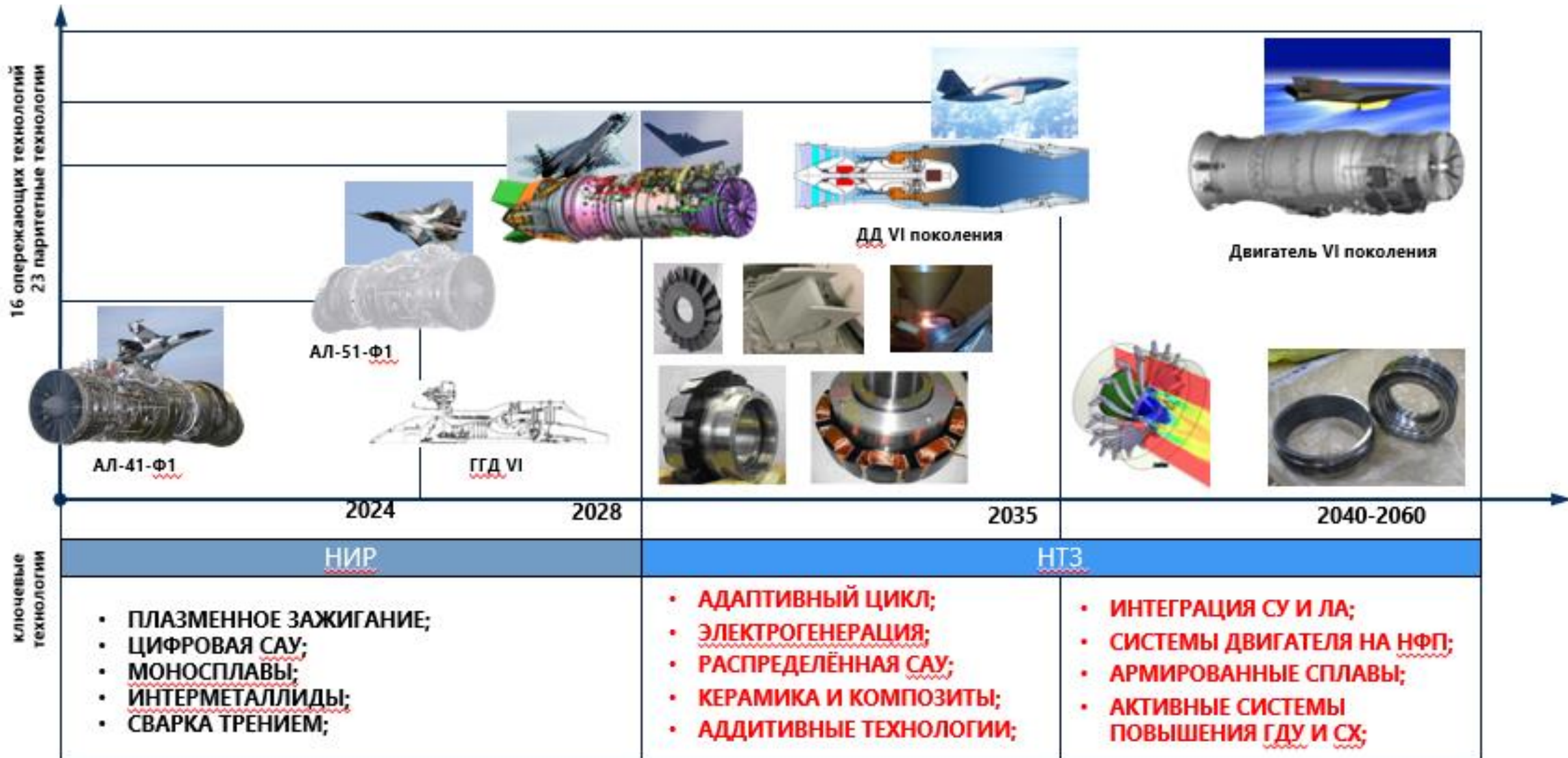
Монахова Вероника Павловна, МАИ, Директор Института №2 «Авиационные, ракетные двигатели и энергетические установки»;

Ионов Алексей Владимирович, МАИ, доцент кафедры №205 «Технология производства двигателей летательных аппаратов»

г. Санкт-Петербург, 2023 г.



# ПЕРСПЕКТИВЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИЯ





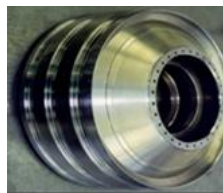
НА ОСНОВЕ ЗАКЛЮЧЕНИЙ ОКБ ИМ. А. ЛЮЛЬКИ

**ВЕНТИЛЯТОР**

- Полая лопатка I ступени;
- **Диффузионная сварка;**
- Деформирование в изотермических условиях;
- Блисковая конструкция;
- Плунжерное фрезерование;
- **Технологии соединения трудносвариваемых материалов;**
- Обработка пера методами ППД, плазменными, имплантац. методами;
- Вентилятор с мероприятиями по обеспечению СХ.

**КВД**

- Сплав ВЖ172;
- Сварной ротор (последние ступени);
- Сплав ВИТ1 (лопатка);
- ЭЛС ротора (первые ступени) из ВТ41.



**КАМЕРА СГОРАНИЯ**

- $Ni_3Al$  сплав ВКНА;
- Монокристаллическое литье сегментов жаровой трубы.



**ТУРБИНА**

- Диск ТНД из гранульного сплава ВВ751;
- Интерметаллидные сплавы  $Ni_3Al$  сплав ВКНА (литые сопловые лопатки ТНД);
- Спрямляющие аппарат ТНД Ti-Nb (ВТИ4);
- Сварной корпус опоры турбины;
- Сплав ВЖМ4. Монокристаллические лопатки ТВД;



**РЕАКТИВНОЕ СОПЛО**

- Жаростойкий сплав ВЖ155 со сквозным азотированием;



**Промежуточный корпус**

- Крупногабаритное титановое тонкостенное литье (ВТ20Л)

- Теплозащитное покрытие с теплопроводностью  $< 1$  Вт/мК на основе оксидов РЗЭ (узлы КС, Т, ФУ, РС);
- Сверхвысокотемпературная керамика на основе карбонитрида гафния.

- Щёточные уплотнения (9 наименований).

- **Лазерная обработка;**
- **Ультразвуковая обработка;**
- **Обработка керамических и композитных материалов**



# УГСН 24.00.00



## Объекты профессиональной деятельности

	АПД		Гибридные СУ
	Эл.ДУ		
Комбинированные силовые установки	ВРД	ГТД	
		СПВРД (ГПВРД)	
		ПВРД	
		ГТУ	
	ЖРД		
	РДТТ		
	ЭРД		
	ЭУЛА		



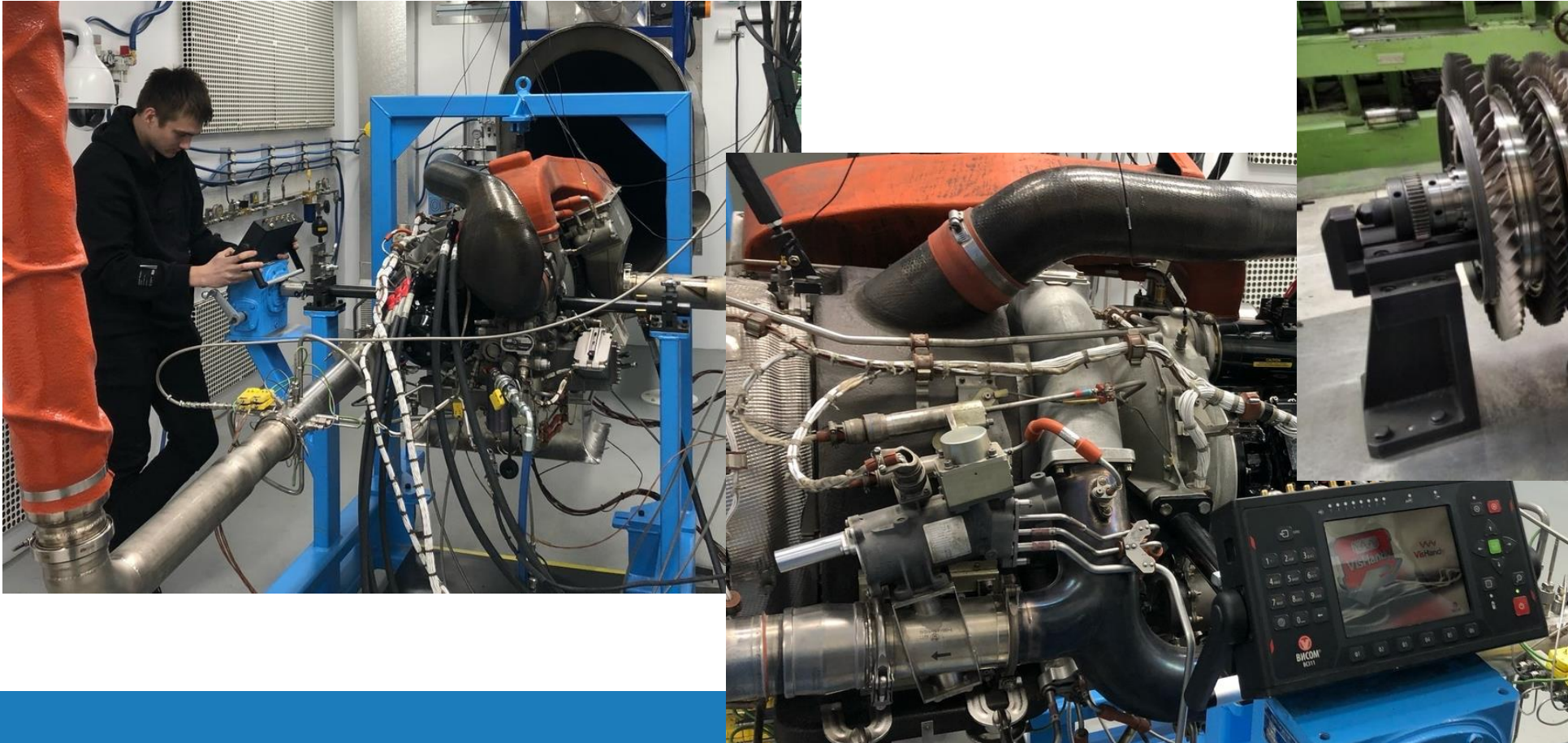
## Программа магистратуры «Техническая эксплуатация и восстановление двигателей боевых летательных аппаратов»





Методы определения динамических характеристик:

- 1) Экспериментальное определение подвижности методом удара;
- 2) Экспериментальное определение подвижности методом вибродинамическим;
- 3) Дисбалансное вибровозбуждение.



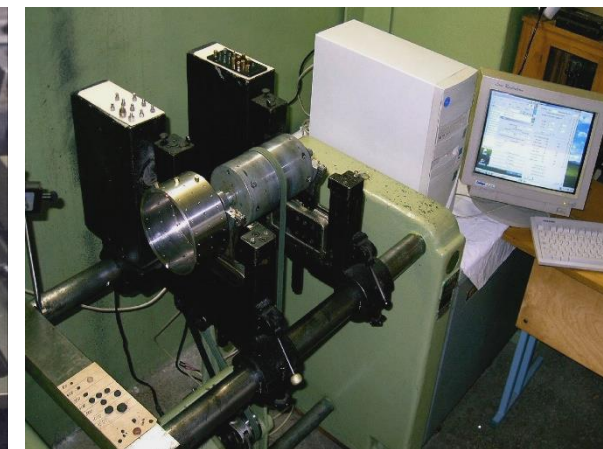
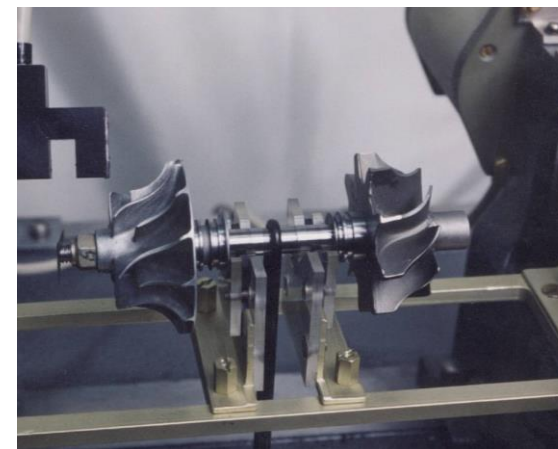




## Вакуумный разгонно-балансируемый стенд



## Последовательная балансировка малогабаритных роторов на стендах ДБ-10 и ДБ-50



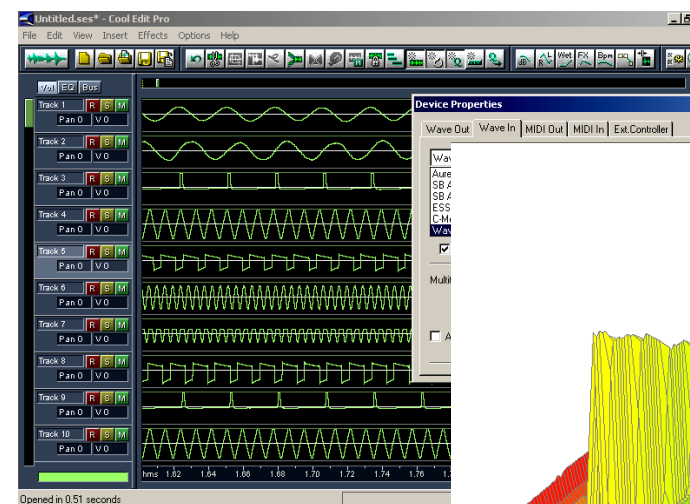
### Назначение:

- Низко и высокочастотная балансировка роторов;
- Исследования неуравновешенности и динамичности роторов;
- Влияния технологических и конструктивных факторов на виброактивность.

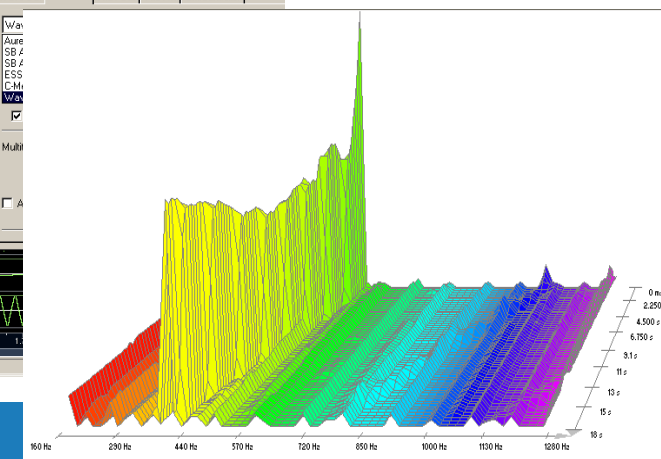
### Характеристики стенда:

- Тип привода – высокоскоростной электрошпиндель;
- Частота вращения ротора – 1000...24000 об/мин;
- Разрежение в камере стенда – 3...7 мм рт. ст.;
- Размеры камеры: длина – 1800 мм, высота оси - 540 мм;
- Точность измерения динамических перемещений ротора – 5 мкм;
- Точность измерения динамических дисбалансов ротора массой 100 кг – 200гмм.

### Запись вибросигналов по 10 каналам

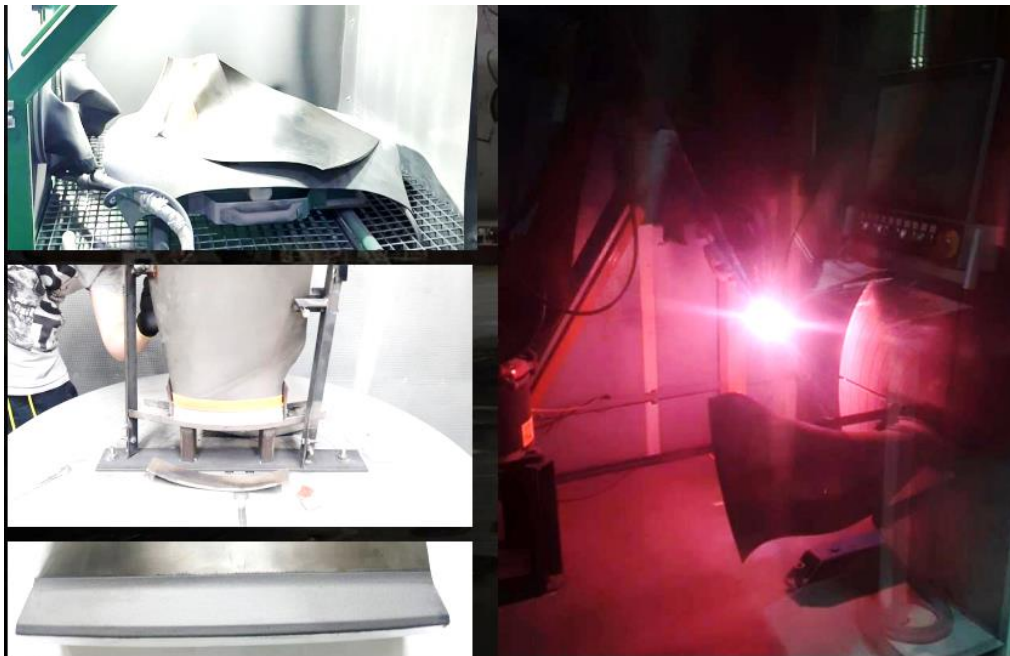


Тренд АЧХ выбега ротора на ВВК (36000 об/мин)



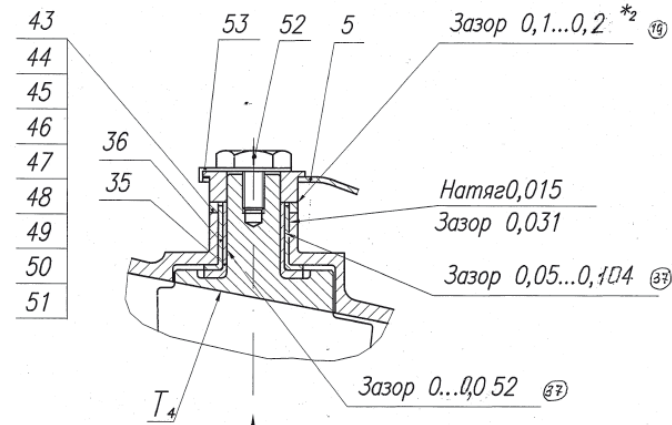


Формирование твердого смазочного покрытия МАИ по  
ТУ 20.59.59-010-02066606-2019 на хвостовик  
вентиляторной РЛ двигателя ПД-14



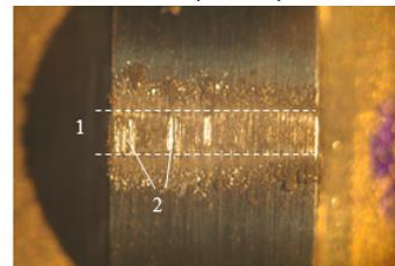
### Характеристики машины трения 3308:

Давление в контакте: до 700 МПа  
Амплитуда перемещения: 0,2 мм  
Частота перемещения: 20 Гц  
Температура: до 600°C

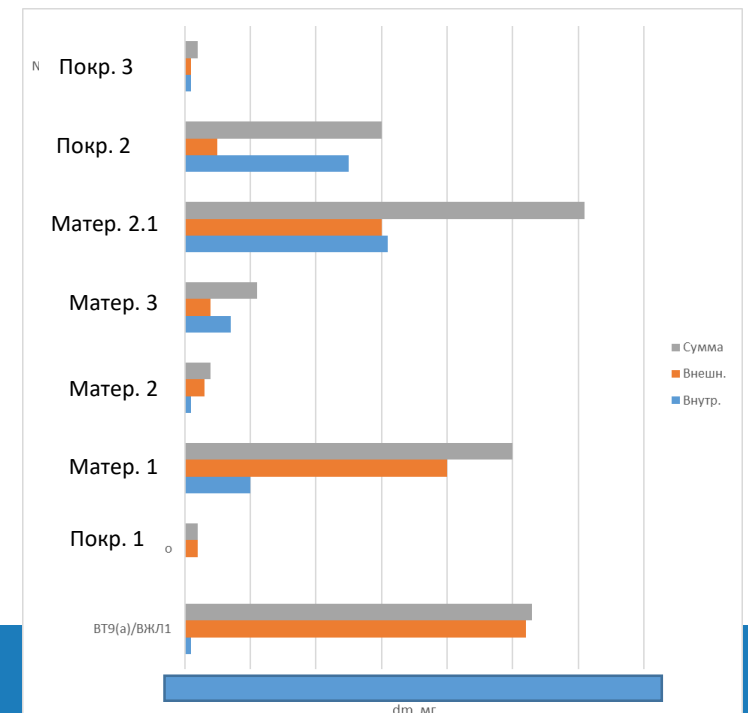
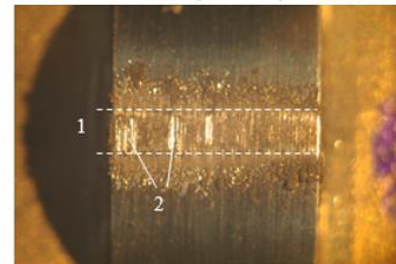


### Результаты сравнительных испытаний различных материалов и покрытий

ВТ9 (AlCrN)



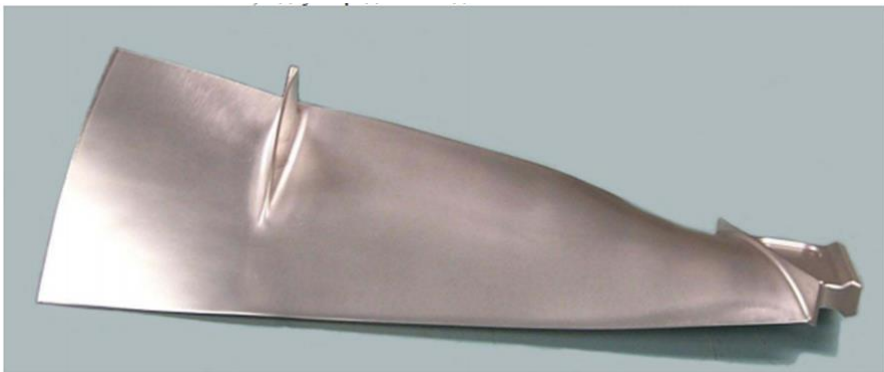
ВТ9 (AlCrN)



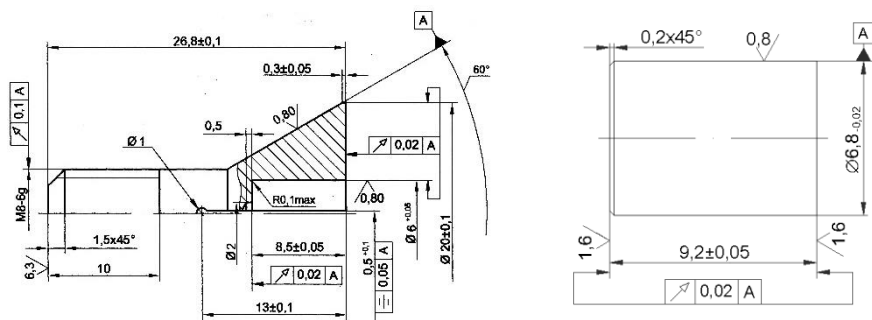




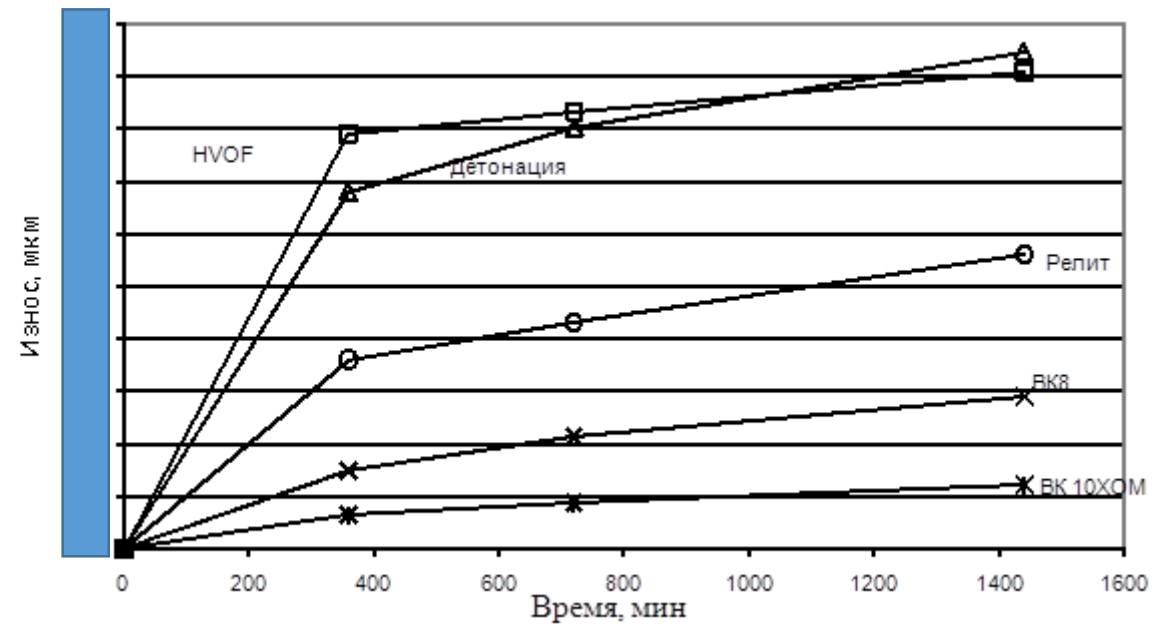
Лопатка вентилятора ГТД с бандажной полкой



Приспособление и образцы для сравнительных испытаний



Результаты сравнительных испытаний различных  
материалов и покрытий





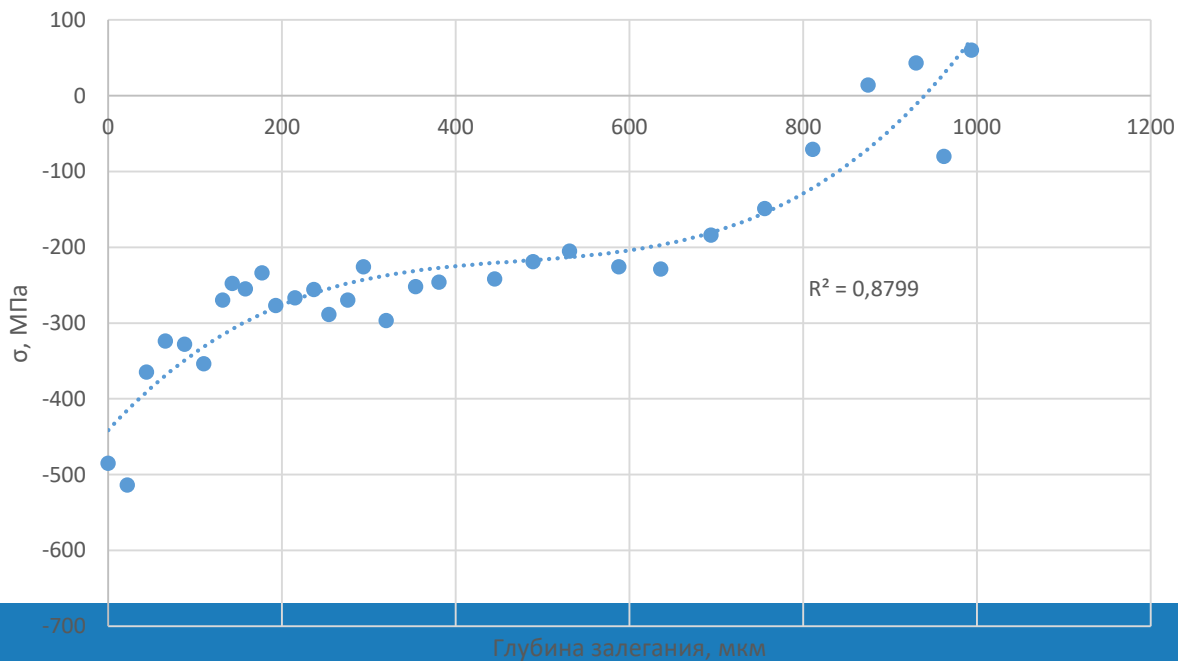
Образец титанового сплава ВТ6 обработанного при различных режимах



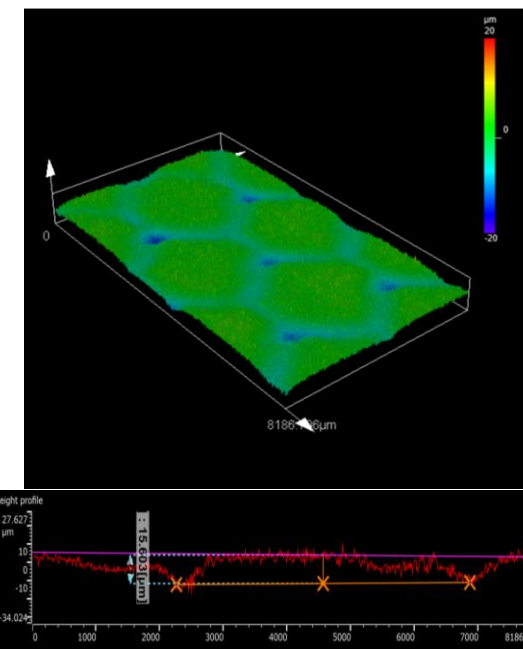
Образец лопатки КНД из титанового сплава ВТ6 с обработанной входной кромкой (отработка технологии)



Распределение остаточных напряжений в поверхностном слое (параметры лазера 5 Дж, 3,8 ГВт/см<sup>2</sup>)

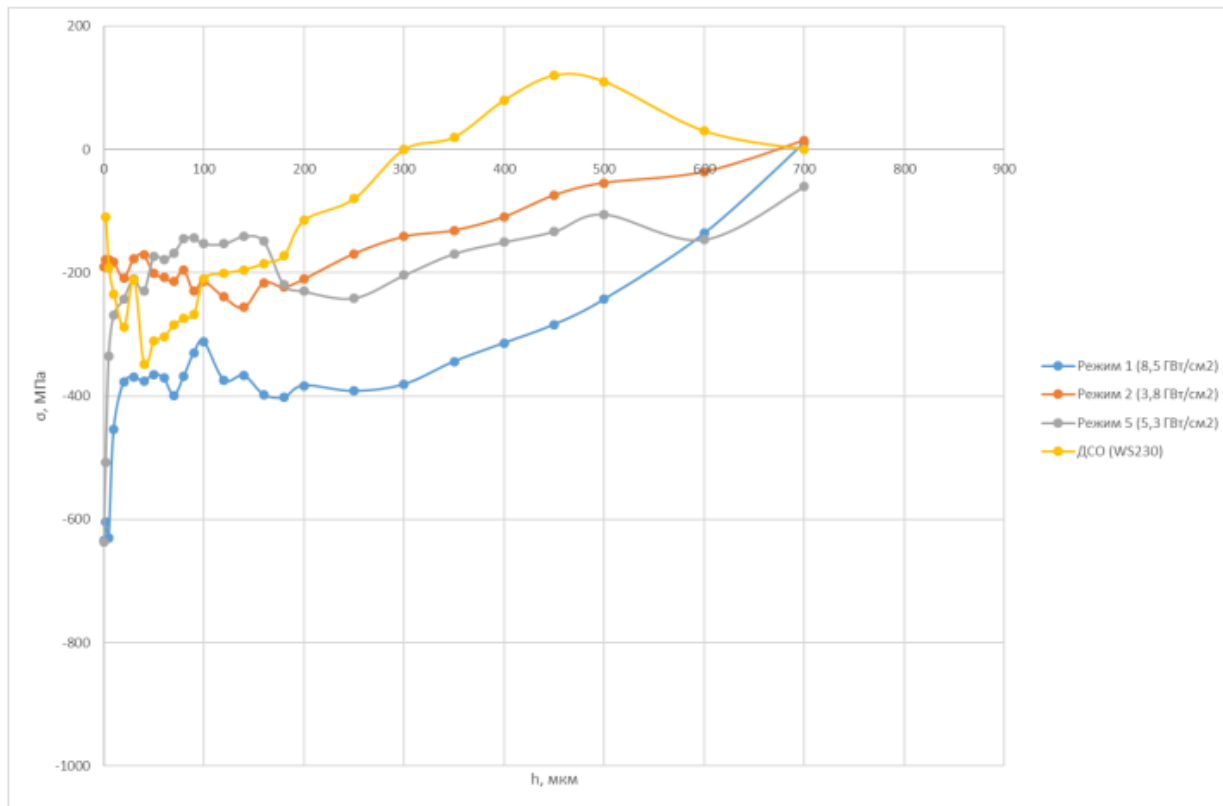


3D профиль

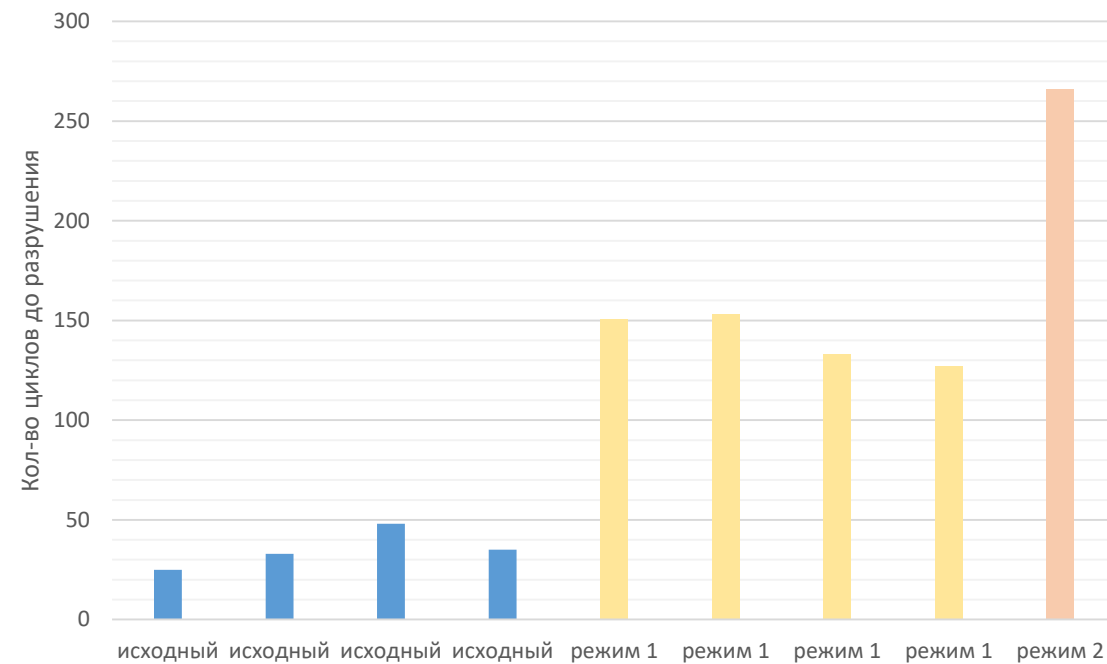




Остаточные напряжения измеренные методом ак. Давиденкова



Результаты усталостных испытаний образцов обработанных лазерным ударом





# УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ВЫСОКОИНТЕНСИВНАЯ ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ

УЗ генераторы с излучателями



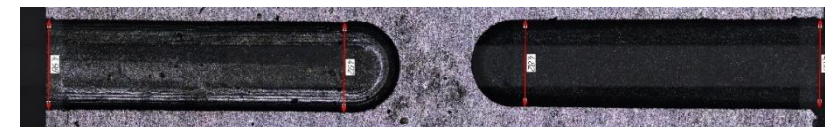
Примеры очистки полостей элементов ГТД



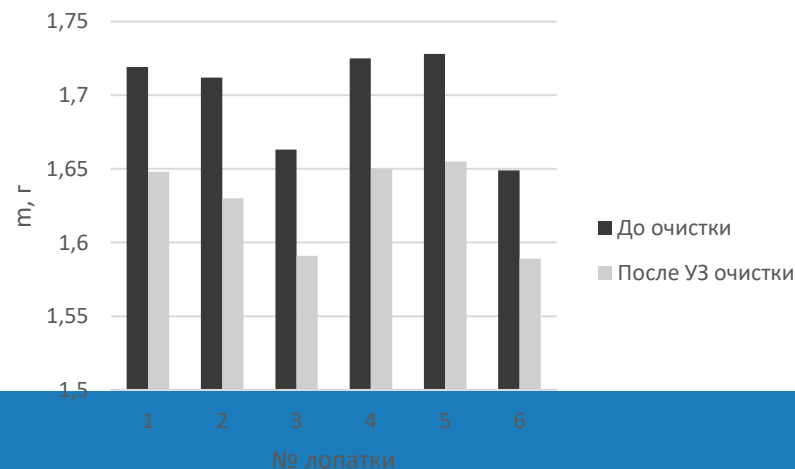
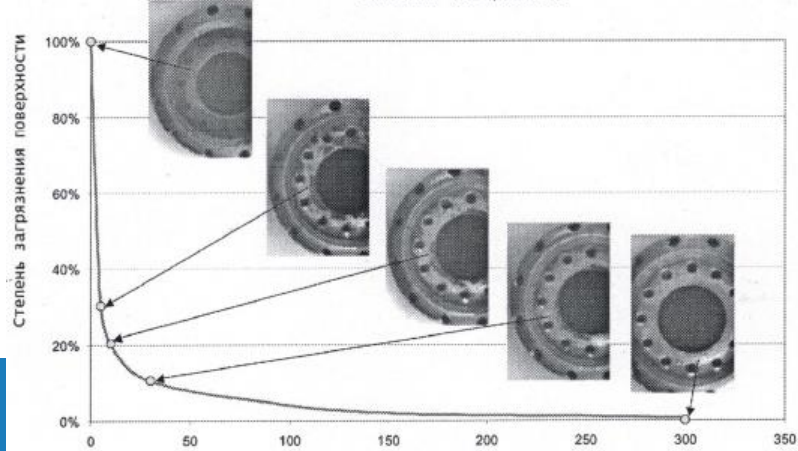
Установка для отработки технологии  
фрезерования композиционных материалов  
и труднообрабатываемых сплавов



Паз на КМ SiC/SiC, обработанный  
алмазным фрезерованием без и с УЗ



Влияние продолжительности обработки на качество  
очистки поверхности



Шероховатость SiC/SiC после обработки

