

ОБЪЕДИНЕННАЯ ДВИГАТЕЛЕСТРОИТЕЛЬНАЯ КОРПОРАЦИЯ

АО «ОДК-Пермские моторы»

УТВЕРЖДАЮ

Исполнительный директор
АО «ОДК-Пермские моторы»


_____ С.А.Харин

« _____ » _____ 2025 г.

Конкурсная работа

в номинации «За создание новой технологии»

в конкурсе «Авиастроитель года» по итогам 2024года

«Импортонезависимость в технологии нанесения теплозащитного
прирабатываемого покрытия, а также применяемого в ней материала для
деталей горячего тракта ГТД в изделиях двигателей семейства ПД»

Пермь 2025

Содержание

1. Термины, определения.....	3
2. Введение.....	3
3. Актуальность работы.....	3
4. Цель работы.....	4
5. Краткое описание работы.....	4
5.1.Напыление ТЗПП с отечественным прирабатываемым материалом на сектора 1й и 2й ступени ТВД	4
5.2.Исследования исходного состояния покрытия.....	5
5.3.Исследования покрытия после термоциклических испытаний.....	6
5.4.Металлографическое исследование после термоциклических испытаний.....	6
5.5.Сравнительный анализ порошков и покрытий Metco 2460NS и отечественного прирабатываемого материала.....	8
6. Результат и практическая значимость выполненных работ.....	9
7. Заключение.....	10

1. Термины, определения

ГТД – газотурбинный двигатель

ГТУ – газотурбинная установка

КПД – коэффициент полезного действия

ТВД – турбина высокого давления

ТЗПП – теплозащитное прирабатываемое покрытие

2. Введение

Одним из эффективных направлений совершенствования ГТД и ГТУ является обеспечение минимального радиального зазора между деталями ротора и статора. Согласно отечественным и зарубежным исследованиям, увеличение радиального зазора в паре ротор-статор приводит к снижению КПД двигателя до 5 %. Изменение радиального зазора зависит от условий работы двигателя, к примеру, вследствие перегрузок при взлете и посадке воздушного судна. На протяжении 30 лет специалистами АО «ОДК-ПМ» проводятся научно-исследовательские работы по созданию теплозащитного прирабатываемого покрытия (ТЗПП), работающего в проточной части турбины в паре статор-ротор. На сегодняшний день в качестве основного материала ТЗПП применяется порошок Metco 2460NS (Oerlikon-Metco, Швейцария).

3. Актуальность работы

Отсутствие ТЗПП на деталях «горячей» части ТВД приводит к изменению величины радиального зазора в процессе работы ГТД на различных режимах, что приводит к снижению КПД двигателя. При совпадении определенных факторов возникает трение между вращающимися лопатками и неподвижным статором. Этот процесс контактного взаимодействия, происходящий при высоких скоростях, приводит к чрезмерному повышению температуры в месте контакта и дополнительным нагрузкам на лопатки, что может быть причиной износа, в редких случаях поломки.

Для обеспечения безопасности и КПД современных двигателей целью данной работы является создание ТЗПП на основе отечественных материалов, способного в полной мере заменить безальтернативный импортный материал Metco 2460NS.

4. Цель работы

Обеспечение ипортонезависимости технологии нанесения ТЗПП на перспективные двигатели семейства ПД.

5. Краткое описание работы

5.1. Нанесение ТЗПП с отечественным прирабатываемым материалом на сектора 1-й и 2-й ступени ТВД

Плазменное напыление покрытия выполнено на базе АО «ОДК-Пермские моторы». Объектом применения является кольцо разрезное 1-й и 2-й ступени ТВД двигателей семейства ПД.

Покрытие из отечественного материала нанесено в составе ТЗПП на сектора кольца разрезного 1-й и 2-й ступени ТВД двигателя и образец-свидетель, напыление выполнено плазменным методом в открытой атмосфере (APS) на роботизированном комплексе. Внешний вид образца-свидетеля и секторов с покрытием приведен на рисунке 1.

Состав слоев ТЗПП:

- NiCoCrAlY(APS);
- 7YSZ(APS);
- Отечественный прирабатываемый материал(APS).



Рисунок 1 – Внешний вид напылённого покрытия на образце-свидетеле.



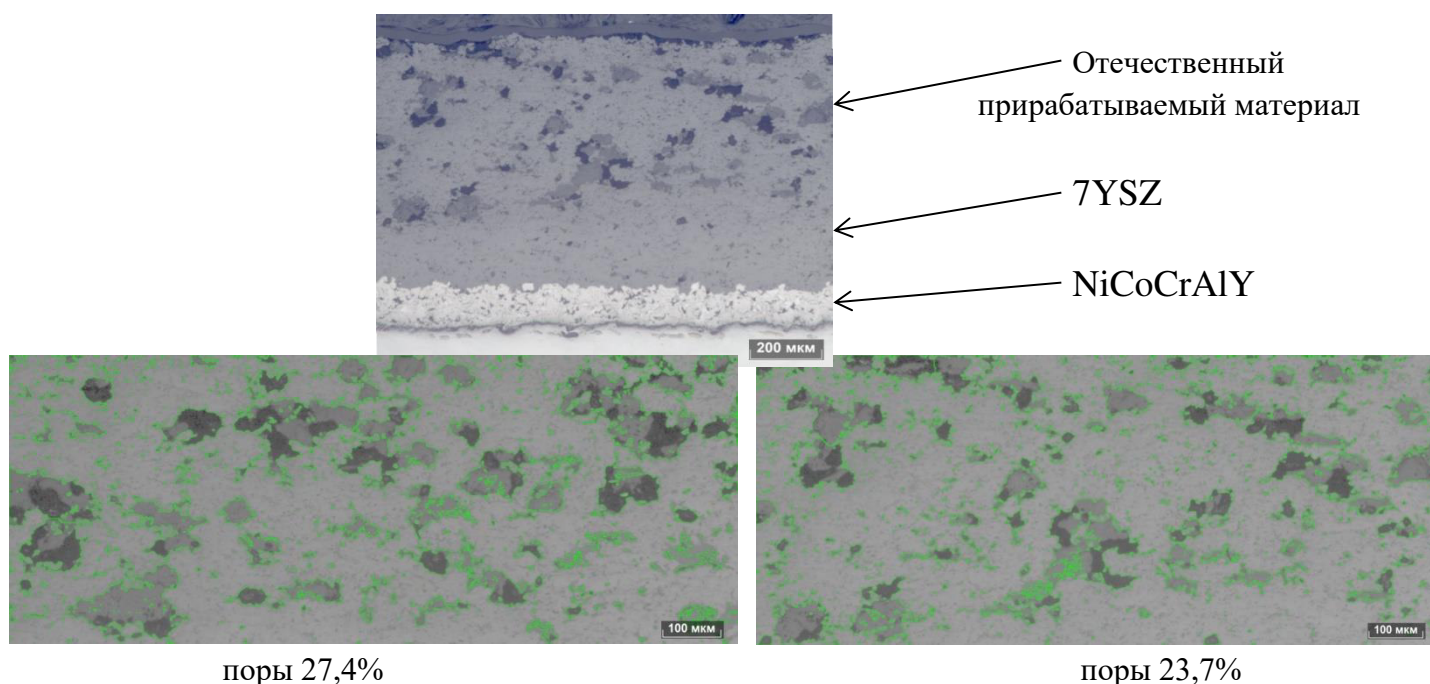
Рисунок 1 (продолжение) – Внешний вид напыленных секторов 1-й и 2-й ступени ТВД

5.2. Исследования исходного состояния покрытия

Металлографическое исследование образца-свидетеля показало:

- На образце-свидетеле выполнен замер пористости отечественного прирабатываемого материала металлографическим методом. Среднее арифметическое значение пористости по результатам четырех замеров составило – 25,75 %, см. таблицу 1. Вид формирования покрытий на образце-свидетеле и фрагменты с замерами пористости приведены на рисунке 2.

- На образце-свидетеле формирование слоя керамики 7YSZ и металлического подслоя NiCoCrAlY типично для данного вида покрытий и способа нанесения. Слой отечественного прирабатываемого материала представляет собой керамическую матрицу с включениями полиэстера разных форм – крупных округлых, продолговатых и мелких расплюснутых частиц. Качество прилегания к подложке и между слоями покрытий удовлетворительное, трещин, расслаиваний нет.



поры 27,4%

поры 23,7%

Рисунок 2 – Вид покрытий на образце-свидетеле с замерами пористости отечественного прирабатываемого материала в произвольных участках

5.3. Исследования покрытия после термоциклических испытаний

Внешний вид сектора после термоциклических испытаний (1000 циклов) приведен на рисунках 3.

Режим термоциклических испытаний: 25 минут нагрев 1100⁰С, 5 минут охлаждение воздухом.

Осмотр показал:

Сектор 1-й ступени – рисунок 3

- поверхность керамики белого цвета;
- у отдельных охлаждающих отверстий по краю наблюдается вспучивание керамики;
- по периметру сектора наблюдаются участки с отслаиванием покрытий и расслоением в керамике. Сколов нет;

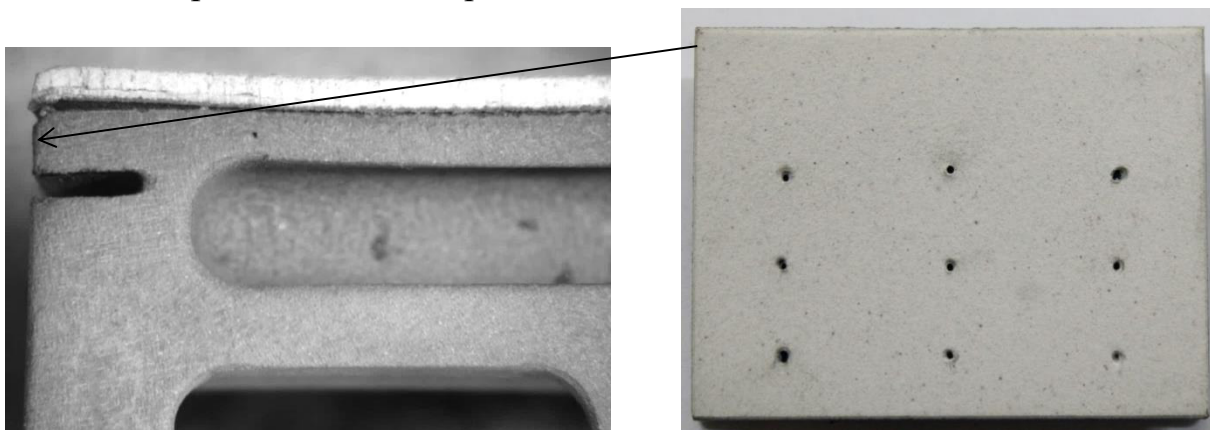


Рисунок 3 – Вид сектора 1й ступени

5.4. Металлографическое исследования после термоциклических испытаний

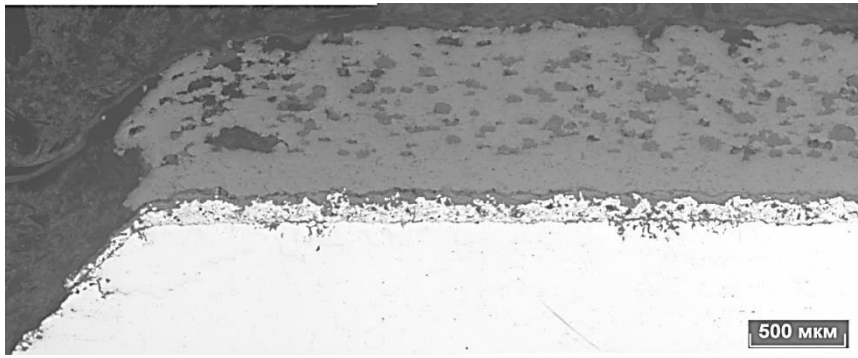
Металлографическое исследование показало:

- *в отечественном прирабатываемом слое* монолитных структур не выявлено. Полного выгорания полиэстера в исследуемых сечениях секторов не наблюдается;
- *значения замеров пористости* отечественного прирабатываемого материала сведены в таблицу 1. Вид покрытий и вид с замерами пористости приведен на рисунке 4,5.

Т а б л и ц а 1 – Пористость отечественного прирабатываемого материала на секторах и образце-свидетеле

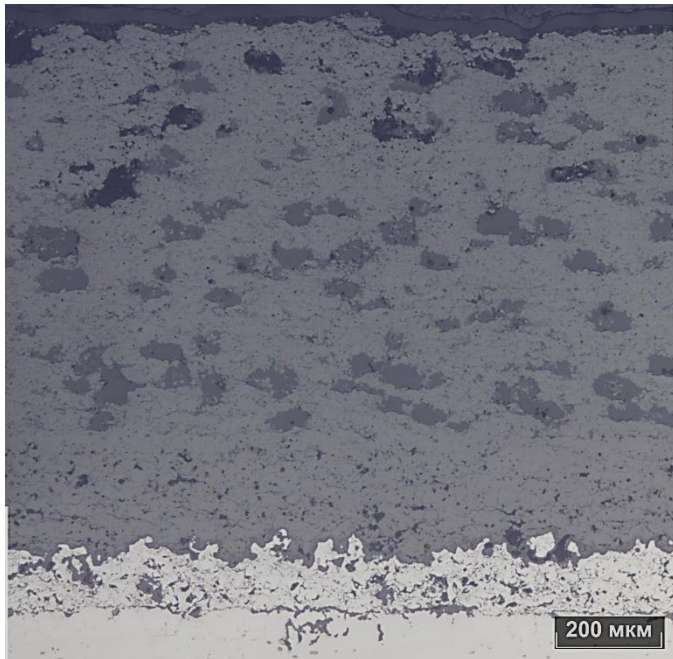
Сектор	Среднеарифметическое значение пористости полученное при металлографических исследованиях, %
Образец свидетель	25,75 (23,7; 27,4; 27,5; 24,4)
Сектор 1-й ступени	24,2 (24,5; 23,9)
Необходимая пористость	20-30

Анализ таблицы 1 показывает, что пористость отечественного прирабатываемого материала соответствует требуемой 20-30%.

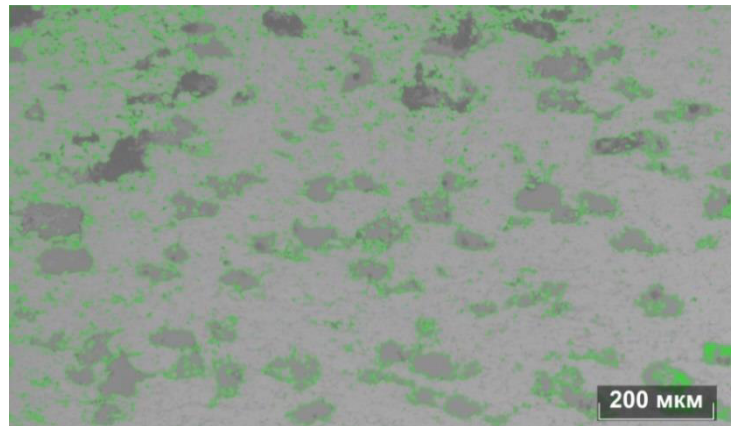


Сектор 1-й ступени

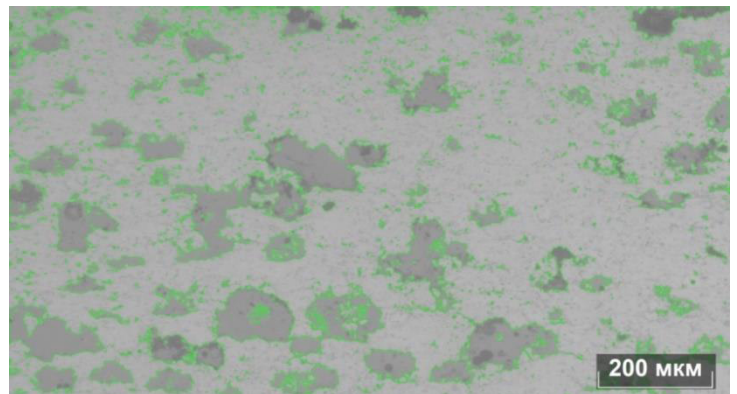
Рисунок 4 – Характер окисления по краям секторов и вид отслаивания покрытий



Сектор 1-й ступени



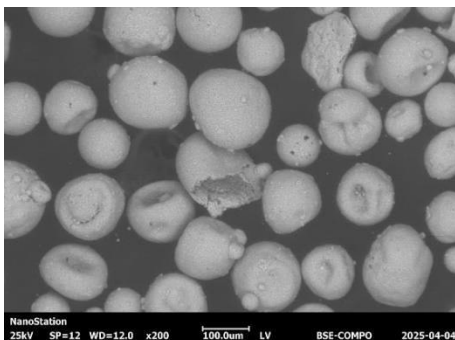
пористость 24,5%



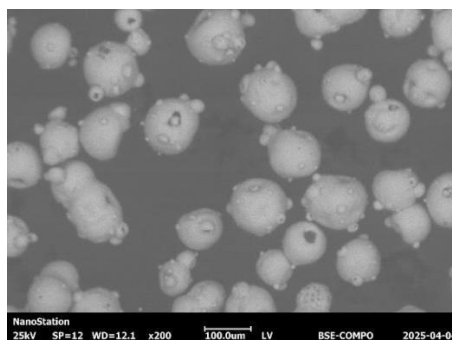
пористость 23,9%

Рисунок 5 – Вид покрытий и участки с замерами пористости на секторах

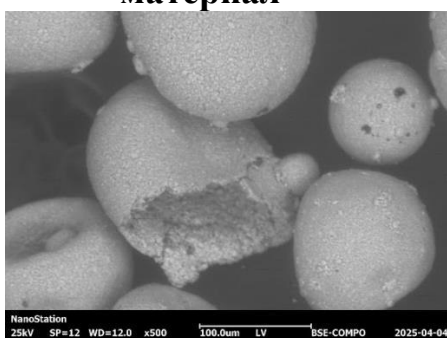
5.5. Сравнительный анализ порошков и покрытий Metco 2460NS и отечественного прирабатываемого материала



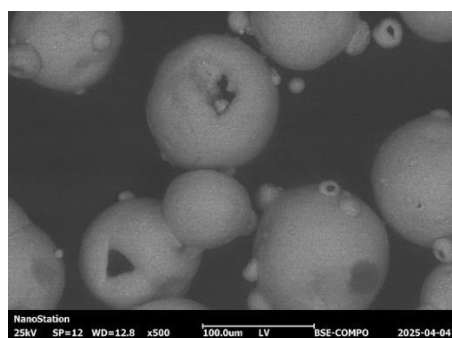
Отечественный прирабатываемый материал



Metco 2460NS



Отечественный прирабатываемый материал

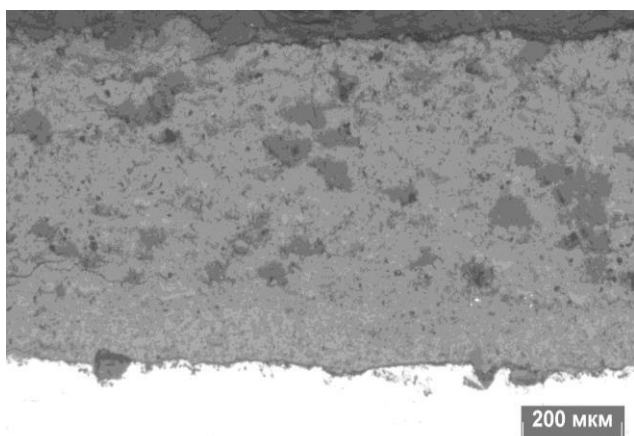


Metco 2460NS

Рисунок 6 – Внешний вид частиц порошка отечественного прирабатываемого материала и Metco 2460 NS

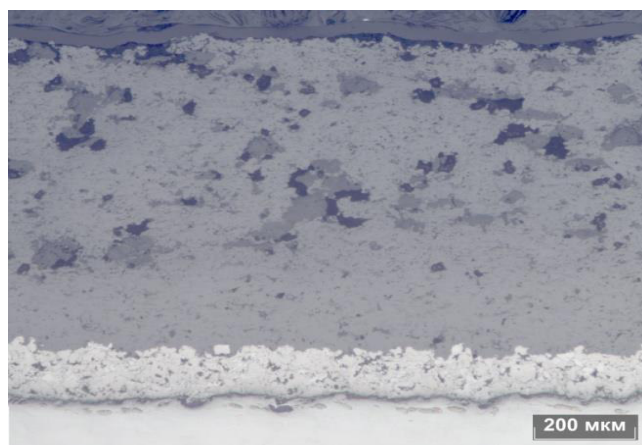
Внешний вид частиц порошка отечественного прирабатываемого материала аналогичен Metco 2460NS. Частицы по форме округлые, имеются бочкообразные, правильной формы. Визуально каждая частичка имеет углубление с округлыми краями, непрозрачные, белого цвета. Размер частиц 75-115 мкм, с небольшой частью более мелкой фракции (минимальный размер 10 мкм). Вид порошка отечественного прирабатываемого материала и Metco 2460NS приведен на рисунке 6.

Данные по испытаниям покрытия Metco 2460NS приведены из ранее проведенных исследований.



поры 22,3%

а) Metco 2460NS



поры 23,7%

б) отечественный прирабатываемый материал

Рисунок 7 – Вид ТЗП с покрытиями Metco 2460NS и отечественного прирабатываемого материала, участки с замерах пористости в исходном состоянии.

По формированию покрытие отечественного прирабатываемого материала аналогично покрытию Metco 2460NS – в керамической матрице пористость сформирована включениями частиц полиэстера преимущественно глобулярных форм. Распределение пористости достаточно равномерное по толщине слоя. В обоих покрытиях присутствуют мелкие рыхлоты. Вид покрытия отечественного прирабатываемого материала и Metco 2460NS приведены на рисунке 7

6. Результаты и практическая значимость выполненных работ

Разработан отечественный прирабатываемый материал аналог Metco 2460NS.

Отработана технология нанесения ТЗПП в составе с покрытием отечественного прирабатываемого материала

Проведены термоциклические испытания ТЗПП на секторах 1-й и 2-й ступени ТВД.

На АО «ОДК-ПМ» внедрено ТУ на отечественный прирабатываемый материал с 4 кв. 2024 г.

На сегодняшний день ТЗПП в составе с покрытием Metco 2460NS применяется на всех двигателях семейства ПД, металлографические исследования и термоциклические испытания ТЗПП в составе с

отечественный прирабатываемый материал аналогичны ТЗПП в составе с Metco 2460NS. Также проводятся испытания ТЗПП в составе с отечественным прирабатываемым материалом на двигателях семейства ПД.

7. Заключение

1. ТЗПП нанесенное в составе с отечественным прирабатываемым материалом имеет пористость 23,7-24,55%, что соответствует требованиям по пористости 20-30%.

2. ТЗПП NiCoCrAlY (APS) + 7YSZ (APS) + отечественный прирабатываемый материал(APS):

- в исходном состоянии структура слоев ТЗПП с отечественным прирабатываемым материалом аналогична серийно применяемому ТЗПП с покрытием Metco 2460NS;

- после термоциклических испытаний, структура слоев ТЗПП с отечественным прирабатываемым материалом аналогична серийно применяемому ТЗПП с покрытием Metco 2460NS по внешнему виду и структуре слоев.

4. Разработан отечественный прирабатываемый материал для ТЗПП полный аналог Metco 2460NS (Oerlikon-Metco, Швейцария), данный материал будет серийно применяться на семействе перспективных двигателей семейства ПД.

Главный инженер

Главный сварщик



В.Т. Хайрулин

Д.А. Максимов