

**Резюме проекта ПНИ  
выполненного в рамках ФЦП  
«Исследования и разработки по приоритетным  
направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 - 2020  
годы»  
по этапу 1**

Номер Соглашения о предоставлении субсидии № 075-02-2018-187 (14.604.21.0206)

Тема: «Разработка технологических основ плазмохимического осаждения сверхтвердых алмазных покрытий на режущий инструмент для эффективной обработки новых композиционных материалов в аэрокосмической промышленности»

Приоритетное направление: Индустрия наносистем и материалов (ИН)

Критическая технология: Технологии получения и обработки функциональных наноматериалов.

Период выполнения: с «31» мая 2018 г. по «31» декабря 2020 г.

Плановое финансирование проекта: 10,0 млн. руб.

Внебюджетные средства – 2,5 млн. руб.

Получатель субсидии: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук, г. Москва.

Индустриальный партнер: Акционерное общество «Композит» Госкорпорация «Роскосмос», г. Королев, Московская область, Россия.

Ключевые слова: режущий инструмент, упрочняющие покрытия, композиционный материал, поликристаллический алмаз, СВЧ-плазменный реактор, инфракрасная пирометрия, моделирование СВЧ поля, РЭМ, КР спектроскопия, адгезия, напряжения.

## **1. Цель прикладного научного исследования**

Разработка базовых технологических операций плазмохимического осаждения алмазных покрытий на режущий инструмент, и создание опытных образцов сверхтвердого инструмента для эффективной обработки конструкционных материалов, в том числе из угле- и стеклопластиков, используемых в аэрокосмической технике.

Целью работ на Этапе 1 являлось: изучение состояния вопроса, проведение патентных исследований по технологическим аспектам синтеза упрочняющих CVD-алмазных покрытий для разработки высокотехнологичной, основанной на высоком уровне автоматизации производства технологии группового роста алмаза, анализ строения ЭМ поля в СВЧ плазме реактора, моделирование режимов роста экспериментальных образцов алмазных покрытий на подложках из твердого сплава, рекомендованных Индустриальным партнером, анализ их строения и структуры, адгезионных и трибологических свойств.

## **2. Основные результаты проекта**

2.1. Проведен анализ современной научно-технической литературы на основе публикаций в российских и зарубежных изданиях (162 источника). Сделан вывод о преимуществах метода осаждения алмазных покрытий в СВЧ-плазме (частота 2,45 ГГц) по факторам отсутствия загрязнений реактора, степени активации и скорости роста алмазной пленки. Выделен вариант синтеза микро-, нанокристаллической алмазной пленки в СВЧ реакторе, перспективный для группового осаждения однородной пленки на высоко-аспектных ПРТС (пластины режущие твердосплавные) любой формы и геометрии с числом подложек в группе больше трех.

2.2. Проведен патентный поиск по 490 источникам, выделены наиболее близкие 29 технических решений по CVD технологиям упрочняющих покрытий, способам управления температурой подложки в СВЧ реакторе с помощью технологических методов и специальной технологической оснастки.

2.3. Выбран и обоснован оптимальный вариант направлений исследований, нацеленный на усовершенствование технологии группового роста за счет повышения уровня автоматизации управления нагревом ПРТС с использованием изменяемой геометрии технологической оснастки в СВЧ реакторе при неизменных режимах синтеза, усовершенствования методов предварительной обработки твердосплавных подложек ПРТС для повышения адгезии алмазных покрытий.

2.4. Предложена новая компоновка камеры СВЧ-реактора, разработан проект (ЭКД) и единый алгоритм управления ростом алмазного покрытия на ПРТС в СВЧ плазме с обратной связью по температуре.

2.5. Для обеспечения адгезии CVD алмазного покрытия выбран и обоснован комплексный метод последовательного снижения концентрации кобальтовой связки на поверхности ПРТС с помощью химического травления, нанесения блокирующего слоя вольфрама и засевом суспензией с нано размерным алмазом в ультразвуке.

2.6. Экспериментально установлен эффект влияния разности высот ( $\Delta h$ ) между подложками и окружающей их оснасткой в камере СВЧ реактора на температуру подложек при фиксированных параметрах осаждения.

2.7. Дана оценка адгезии и трибологических свойств АП критической минимальной толщины (~3 мкм) осажденных на модельных образцах ПРТС при температурах 750 - 905 °С. Методом измерительного царапания показано, что наибольшая критическая нагрузка локального истирания слоя АП соответствует температуре образца 856 °С и составляет 20,5 Н.

2.8. С использованием комплекса современных материаловедческих методик получены экспериментальные данные о структуре и свойствах алмазных покрытий, совершенстве алмазной кристаллической решетки и упругим напряжениям сжатия в различных режущих зонах модельных ПРТС.

2.9. На модели электромагнитного (ЭМ) поля в камере СВЧ реактора продемонстрирована возможность равномерного нагрева, как четырех, так и девяти ПРТС, расположенных внутри технологической оснастки СВЧ реактора в упрощенной геометрии, построен поперечный срез ЭМ поля по оси окон реактора. (Программа Comsol Multiphysics).

2.10. Силами **Индустриального Партнера** за счет собственных средств из внебюджетных источников выполнены следующие работы:

Ремонт, оснащение и модернизация лабораторных помещений научно-производственного комплекса для проведения испытаний опытных КМ (композиционных материалов); подготовка оборудования для изготовления опытных образцов КМ с различной структурой и физико-механическими свойствами: из углеродных жгутовых лент и эпоксидных связующих (УУКМ) и из минерального стеклопластика на основе кварцевой ткани и хромальюмофосфатного связующего (СКТХС); изготовлена пробная партия опытных образцов КМ из УУКМ и из СКТХС; разработана программа и методика (ПМ) механических испытаний опытных образцов КМ из УУКМ и СКТХС; проведены механические испытания опытных образцов КМ из УУКМ и из СКТХС.

Полученные результаты будут использованы в ходе работ на последующих этапах для изготовления модернизированной конструкции реактора и корректировки на нем режимов выращивания алмазных покрытий на экспериментальных ПРТС с целью улучшения их характеристик, режимов обработки и качества получаемых опытных изделий из КМ.

### **3. Охраноспособные результаты интеллектуальной деятельности (РИД), полученные в рамках прикладного научного исследования и экспериментальной разработки**

