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 спектрометрия, 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 (Δh) 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 хромалюмофасфатного 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

3.1 Подача заявок на патенты РФ в области плазмохимического осаждения алмазных покрытий на режущий инструмент запланирована на этапы 2 и 3.

4. Назначение и область применения результатов проекта

4.1. Разработанные алмазные технологии по упрочнению режущего инструмента могут быть использованы Индустриальным партнером при выполнении государственного задания по высокопроизводительной и качественной обработке изделий из КМ для ракетной техники.

4.2. Благодаря сочетанию высоких теплофизических и прочностных свойств, упрочненный в СВЧ плазме из газовой метан-водород-азотной смеси новый режущий инструмент, найдет свое применение для различных операций по механической (токарной, фрезерной) обработке УУКМ и СКТХС .

4.3. Прогнозируется, что в перспективе значительная часть изделий из УУКМ и СКТХС будет производиться с использованием резцов и фрез упрочненных АП взамен традиционных инструментов, таких как WC+Co.

5. Эффекты от внедрения результатов проекта

Разрабатываемая технология предполагает получение упрочняющих покрытий в СВЧ плазме из поликристаллического алмаза высокотехнологичным, энергетически эффективным методом с высоким уровнем автоматизации производства. Упрочненный инструмент, благодаря уникальным теплофизическим свойствам будет иметь повышенную износостойкость и надежность при обработке различных типов КМ из УУКМ и СКТХС, применяемых Индустриальным партнером. Будет выполняться главное требование к механической обработке КМ - отказ от водяного охлаждения. Имеются хорошие возможности импортозамещения при развитии CVD алмазной технологии в России.

6. Формы и объемы коммерциализации результатов проекта

6. 1. Коммерциализация проектом не предусмотрена.

7. Наличие соисполнителей

7. 1. Соисполнители работ по проекту не привлекались.

ФГБУН Институт общей физики им. А.М. Прохорова
Российской академии наук
Заместитель директора _____ Кочиев Д.Г.

Руководитель проекта
Руководитель ЦЕНИ ИОФ РАН
академик _____ Конов В.И.