

Сведения о выполненных работах
в период с 01.07.2023 г. по 30.06.2024 г.

по проекту «Исследование сверхтвёрдых материалов на основе AlMgB₁₄»,
поддержанному Российским научным фондом

Соглашение № 19-79-10042

Руководитель: д-р физ.-мат. наук Жуков Илья Александрович

В рамках выполнения проекта были продолжены теоретические исследования, направленные на поиск термодинамически стабильных кристаллических двухмерных структур систем Al_xB_y и Mg_xB_y при количестве атомов 9–16. Обнаружено, что термодинамически стабильными бинарными структурами системы Al_xB_y являются Al₂B₁₄, Al₂B₈ и Al₄B₁₀. При этом, максимальное значение твердости 15,0 ГПа было обнаружено у соединения Al₂B₈. Это соединение представлено гексанами бора, формирующими островную структуру и окруженными атомами алюминия. Для системы Mg_xB_y термодинамически стабильными бинарными структурами являются Mg₇B₆, Mg₃B₈, Mg₂B₁₀ и MgB₁₀. Наибольшей твердостью 16,2 ГПа обладает соединение MgB₁₀. Это значение близко к твердости соединения MgB₆ (16,5 ГПа), обнаруженного в первый год выполнения проекта. По итогам двух лет выполнения проекта было обнаружено, что наибольшими значениями механических свойств обладает кристаллическая решетка B₈: её показатель модуля Юнга составляет 401,2 ГПа, а твердость по Виккерсу оценивается в 18,4 ГПа. Тернарная структура Al₂Mg₂B₄ показала усредненное значение твердости 10,3 ГПа. Из полученных результатов можно сделать вывод, что для формирования комплексных боридных соединений со сложными и более жесткими каркасами (тетраэдров, октаэдров, икосаэдров) необходимо большое количество атомов в кристаллической решетке (по всей видимости, больше 20). Эти исследования могут быть перспективными, однако требуют большого количества вычислительных ресурсов.

В рамках экспериментального блока исследований проведены работы по определению влияния покрытий на основе AlMgB₁₄ на параметры высокоскоростного взаимодействия макетных образцов кинетических ударников и на стойкость режущего инструмента.

Получен комплекс данных, описывающих высокоскоростное взаимодействие с алюминиевой преградой макетных образцов кинетических ударников на основе вольфрамового тяжелого сплава с покрытием на основе AlMgB₁₄ в сравнении с кинетическими ударниками без покрытия. Определен характер влияния покрытия на основе AlMgB₁₄ на минимальную скорость пробития преграды и на потерю скорости ударником при прохождении преграды. Установлено, что величина потраченной в преграде энергии для ударников с напылением немного ниже, чем для ударника без напыления. Данные результаты говорят о том, что покрытие на основе AlMgB₁₄ дает улучшение характеристик взаимодействия данного типа ударников с алюминиевыми преградами толщиной 50 и 40 мм в диапазоне скоростей от 340 до 500 м/с.

В части исследования влияния покрытий на основе AlMgB14 на эксплуатационные свойства (стойкость) твердосплавных режущих пластин, установлено, что при токарной обработке стали 45 по схеме продольного точения без СОЖ при достижении ширины фаски износа $\approx 0,3$ мм стойкость режущих пластин без покрытия составляет 1600 мм. Стойкость пластин с покрытием на основе AlMgB14 толщиной 1,5 мкм и 3 мкм и с двухслойным покрытием на основе AlMgB14 (3 мкм) с подслоем на основе CrN (1,5 мкм) составляет 1000 мм, 1200 мм и 800 мм, соответственно. Низкая стойкость режущих пластин с покрытием может быть обусловлена снижением механических характеристик (прочность и твёрдость) в зоне режущей кромки в процессе нанесения покрытия из-за травления поверхности и температурных воздействий. Установлено, что покрытие разрушается по механизму деляминации, что указывает на низкую адгезию к подложке. При этом, более низкая стойкость пластин с двухслойным покрытием говорит о еще более низкой адгезии к нитриднему подслою. Повысить адгезию возможно за счёт изменения материала подложки (марки твёрдого сплава) или введения дополнительных операций финишной механической обработки пластин (буксирная галтовка, щёточно-абразивное полирование и т.п.).

Возможность практического использования результатов проекта:

Результаты проекта являются научным заделом для дальнейшего применения разработанных покрытий на основе AlMgB14 с целью снижения коэффициента трения различных изделий и функциональных узлов установок. Полученные в рамках второго года выполнения проекта продления результаты испытаний кинетических ударников с нанесенными покрытиями на основе AlMgB14 показали положительное влияние напыления на потерю энергии при прохождении алюминиевой преграды за счет снижения коэффициента трения поверхности. Таким образом, разработанные покрытия могут найти применения в части снижения коэффициента трения узлов трения, работающих в экстремальных условиях при повышенной скорости.