ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

INTERNATIONAL WORKSHOP

**«Multiscale Biomechanics and Tribology
of Inorganic and Organic Systems»**

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

**«Перспективные материалы с иерархической структурой
для новых технологий и надежных конструкций»**

**VIII ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ,
ПОСВЯЩЕННАЯ 50-ЛЕТИЮ ОСНОВАНИЯ
ИНСТИТУТА ХИМИИ НЕФТИ**

«Добыча, подготовка, транспорт нефти и газа»

DOI: 10.17223/9785946218412/342

**ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ С
ПРИМЕНЕНИЕМ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ
ОБРАБОТКИ**

Чучкова Л.В., Белов А.С., Матц О.Э.

Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск

Аннотация: в работе приведены результаты исследований структуры и износостойкости, которые доказывают эффективность применения аддитивных технологий для повышения триботехнических характеристик титановых сплавов. Показано, что наплавка порошковой смеси системы Cr-B₄C позволяет сформировать покрытия толщиной до 3 мм, и повысить стойкость к изнашиванию в 3,5 раза в сравнении с материалом основы.

В современном машиностроении в зависимости от условий эксплуатации к изделиям предъявляются определенные требования, в том числе рабочие среды и эксплуатационные нагрузки. Существующие конструкционные металлы не всегда удовлетворяют поставленным задачам, в связи с чем формирование новых материалов является необходимым.

Благодаря высокой коррозионной стойкости, удельной прочности и жаропрочности титановые сплавы активно применяются в медицине, самолето- и судостроении [1]. Однако низкие значения стойкости к изнашиванию в различных условиях трения сдерживают повсеместное применение титана и сплавов на его основе в промышленности.

На сегодняшний день аддитивные технологии являются одними из самых передовых и включают в себя такие процессы как напыление, экструзия, наплавка [2]. Применение аддитивной технологии электронно-лучевого оплавления позволяет получать равномерные слои толщиной до 5 мм с широким выбором наплавочных материалов благодаря высокой мощности электронного пучка. Для повышения триботехнических характеристик титановых сплавов применяется упрочнение высокопрочными частиц, в том числе карбидами, боридами и нитридами [3].

В данной работе в качестве материала основы применялись пластины из титанового сплава ВТ6, размер которых составил 12×50×100 мм. Для повышения износостойкости поверхностных слоев была подобрана наплавочная смесь, состоящая из порошков карбида бора, хрома и фтористых флюсов. Формирование покрытий осуществлялось методом электронно-лучевого оплавления в воздушной среде на ускорителе электронов типа ЭЛВ-6. Технологические режимы, такие как мощность пучка (100 кВт), частота сканирования (50 Гц), диаметр пучка электронов (12 мм) и удельная поверхностная энергия (3,1 кДж/см²) оставались неизменными. Варьируемой величиной стала концентрация исходных порошков карбида бора и хрома в составе наплавочной смеси. Для первого образца она составила 20 вес. % В₄C + 30 вес. % Cr и для второго 30 вес. % В₄C + 20 вес. % Cr.

Определение фазового состава сформированных поверхностно-легированных слоев осуществлялось на дифрактометре высокого разрешения ARLX'TRA в системе θ - θ . Съемка реализовывалась с применением Cu K α излучения в угловом диапазоне от 20 до 80 °. Расшифровка полученных картин дифракции проводилась с применением баз данных PDF-4. Металлографические исследования реализовывались на световом и растровом электронном микроскопах (Carl Zeiss Axio Observer Alm и Carl Zeiss EVO50 XVP). Анализ триботехнических свойств осуществлялся при трении в условиях воздействия закрепленных частиц абразива по ГОСТ 17367-71. В качестве эталонного материала применялся титановый сплав ВТ6.

Анализ дифракционных картин, полученных с поверхностных слоев образцов показал, что покрытия состоят из карбида и борида титана, карбида хрома, а также α (α')- и β - титана. Формирование мартенситной (α')-фазы титана было предположено вследствие высоких скоростей охлаждения образцов в процессе обработки, однако подтвердить ее присутствие методами рентгенофазового анализа практически невозможно.

Секция 7. Аддитивные технологии формирования материалов, изделий и конструкций с иерархической структурой

В результате металлографических исследований было выявлено, что структура первого и второго образцов отличается незначительно. Во всех покрытиях был зафиксирован тонкий слой дендритных частиц карбида хрома, не превышающий в толщину 100 мкм (рисунок 1 а). Наплавка 30 вес. % хрома позволяет получить равномерный дендритный слой по всей поверхности покрытия, в то время как снижение концентрации порошка хрома на 10 вес. % приводит к формированию лишь локальных участков данных частиц. Помимо дендритных кристаллов карбида хрома, в поверхностно-легированных слоях была зафиксирована мелкая эвтектическая фаза, распределенная по границам зерен, вытянутых в направлении отвода тепла (рисунок 1 б). На более высоких разрешениях эвтектика представляет собой кристаллы боридов титана вытянутой игольчатой формы и частицы карбида титана округлой морфологии (рисунок 1 в). Толщина исследуемых покрытий, сформированных электронным пучком составила порядка 3 мм.

Рисунок 1 – Структура поверхностно-легированных слоев, полученных методом электронно-лучевой обработки в воздушной среде: а, б – световая металлография; в – электронная микроскопия

Триботехнические испытания в условиях воздействия закрепленных частиц абразива показали эффективность упрочнения титановых сплавов электронно-лучевой наплавкой. В результате испытаний было выявлено, что наплавочная смесь, состоящая из 30 вес. % карбида бора и 20 вес. % хрома, позволяет повысить износостойкость титанового сплава ВТ6 в 2,6 раз. Повышение концентрации хрома до 30 вес. % и снижение карбида бора до 20 вес. % значительно влияет на стойкость к изнашиванию сплава ВТ6. Покрытие, полученное при наплавке данной порошковой смеси, в 3,5 раза превышает износостойкость эталонного материала. Такое повышение стойкости к изнашиванию можно объяснить формированием равномерного тонкого слоя карбида хрома, который эффективно снижает изнашивание поверхности в процессе эксплуатации.

В качестве вывода можно отметить, что применение электронно-лучевой наплавки порошковой смеси В₄С-Сг на титановый сплав ВТ6 позволяет сформировать бездефектные покрытия толщиной до 3 мм, состоящее из тонкого слоя дендритных частиц карбида хрома и эвтектики. Кроме того, полученные образцы показали существенное повышение износостойкости материала основы (в 3,5 раза) при трении в условиях воздействия закрепленных частиц абразива.

Работы выполнены при финансовой поддержке государства в лице Минобрнауки России (Соглашение № 14.610.21.0013, идентификатор проекта RFMEFI61017X0013).

1. Чечулин Б.Б., Ушков С.С., Разуваева И.Н. Титановые сплавы в машиностроении. Санкт-Петербург: Машиностроение, 1977. 248 с.
2. Зленко М.А., Попович А.А., Мутылина И.Н. Аддитивные технологии в машиностроении. Санкт-Петербург: Издательство политехнического университета, 2013. 221 с.
3. Степанова Т.Ю. Технологии поверхностного упрочнения деталей машин. Иваново, 2009. 64 с.