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: 10.17223/9785946218412/291

**ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ ПРИ МИКРОДУГОВОМ
ОКСИДИРОВАНИИ НА АДГЕЗИОННУЮ ПРОЧНОСТЬ КАЛЬЦИЙФОСФАТНЫХ
ПОКРЫТИЙ**

^{1,2}Казанцева Е.А., ²Комарова Е.Г.

¹*Национальный исследовательский Томский государственный университет*

²*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН*

Одним из наиболее перспективных направлений в медицинском материаловедении является модификация поверхности металлических имплантатов, для обеспечения нового комплекса эксплуатационных свойств. Микродуговое оксидирование (МДО) представляет собой эффективный метод получения прочно срастивающихся с костной тканью биоактивных кальций-фосфатных (КФ) покрытий на поверхности вентильных металлов. Свойства МДО-покрытий определяются в значительной степени параметрами микроразрядов, которые можно изменить, прикладывая внешнее давление, создаваемое в электролите ультразвуковыми колебаниями (УЗК) [1]. Увеличение интенсивности каскада микроплазменных разрядов под действием УЗК приводит к увеличению пористости в покрытиях, что может послужить причиной снижения адгезионной прочности, которая является важной эксплуатационной характеристикой покрытий, используемых для медицинских целей.

Целью работы было исследование адгезионной прочности КФ покрытий к титановой подложке, сформированных методом МДО в условиях внешнего УЗ.

Нанесение КФ покрытий на образцы из титана марки ВТ1-0 проводили методом МДО на установке MicroArc-3.0 в электролите и при параметрах процесса, описанных ранее в работе [2]. Были выбраны три основных режима нанесения покрытий: режим 1 (контрольный, МДО без внешнего УЗ); режим 2 (МДО с внешним импульсным УЗ, мощностью 35 Вт и частотой УЗК 37 кГц); режим 3 (МДО с внешним непрерывным УЗ, мощностью 100 Вт и частотой 35 кГц). В работе для измерения адгезионной прочности покрытий к металлической основе был выбран метод равномерного отрыва (клеевой метод). Испытания на отрыв проводили на универсальной испытательной машине Walter+Bai AG LFM (ЦКП «Нанотех» ИФПМ СО РАН).

В работе было установлено, что рост толщины покрытий при осаждении методом МДО в режимах 2 и 3 происходит интенсивнее, чем в контрольном режиме. За 10 мин процесса в режимах 2 и 3 формируются покрытия толщиной до 60 ± 2 мкм, в то время покрытия, синтезированные в режиме 1, имеют меньшую толщину до 50 ± 2 мкм. Помимо этого, пропускание УЗК через электролит сопровождается формированием в покрытиях внутренних макропор больших размеров (15-40 мкм). Это приводит к увеличению внутренней пористости покрытий осажденных в режиме 2 до 41% и в режиме 3 до 38%. Тогда как покрытия, нанесенные методом МДО, характеризовались пористостью, не превышающей 25%.

Методом оптической микроскопии показано, что на поверхности титановых образцов после предварительной подготовки отчетливо наблюдались полосы шлифования (рис.1 а, б), а на поверхности образцов с нанесенным в трех режимах МДО-покрытием присутствовали структурные элементы – сферы. На оптических изображениях всех образцов после отрыва было видно, что на поверхности присутствуют как области с оставшимся не отслоившимся покрытием, так и области «голой» подложки. Это указывает на то, что отрыв покрытий происходил по адгезионно-когезионному механизму. Однако, области «голой» подложки на оптических снимках покрытий после отрыва внешне отличались от подложки после предварительной обработки – на них не наблюдались полосы шлифования, что может быть связано с модифицированием поверхности титана в начальной стадии процесса МДО и формированием на поверхности пограничного оксидного подслоя. Отрыв покрытий, сформированных в режимах 2 и 3, происходил преимущественно по границе с подложкой, поскольку областей с оксидным подслоем на оптических изображениях было значительно больше, чем у покрытий, сформированных в режиме 1. Это может быть связано с увеличением

Секция 4. Научные основы разработки материалов с многоуровневой иерархической структурой, в том числе для экстремальных условий эксплуатации

толщины и внутренней пористости, а также формированием локальных макропор в граничащих с подложкой слоях у КФ покрытий, синтезированных в условиях внешнего УЗ. Увеличение толщины и объемной пористости у покрытий, сформированных в условиях внешнего УЗ (режимы 2 и 3), сопровождается ростом остаточных внутренних напряжений, уменьшающих прочность соединения покрытия с подложкой. В результате этого механизм отрыва покрытия менялся – образование трещин происходило по контактными поверхностям структурных элементов, границам макропор и межслойным границам.

Средние значения адгезионной прочности составили: $23,4 \pm 3,3$ МПа – для покрытий, нанесенных в контрольном режиме; $19,3 \pm 3,0$ МПа – для покрытий, нанесенных в режиме 2; $20,1 \pm 1,6$ МПа – для покрытий, нанесенных в режиме 3.

Таким образом, в работе установлено, что наложение ультразвукового поля в процессе синтеза покрытий приводит к уменьшению адгезионной прочности покрытий от 23 до 19 МПа, что обусловлено увеличением толщины (до 60 мкм) и внутренней пористости (до 41%) покрытий и формированием локальных макропор в нижних граничных с подложкой слоях. Все сформированные покрытия имеют адгезионную прочность, достаточную для их эксплуатации в медицинских целях (ГОСТ Р ИСО 13779-4-2013).

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 гг., направление III.23.2.

1. Нечаев Г.Г., Попова С.С. О возможности внешнего воздействия на микроразряды при микроплазмохимическом электролитическом процессе // Тезисы докладов II Междунар. конференции «Покрытия и обработка поверхности» 15-17 марта 2005 г., Москва. – М.: Центр Международной торговли, 2005. – С. 63-64.
2. Казанцева Е.А., Комарова Е.Г. Влияние ультразвука при микродуговом оксидировании на формирование структуры кальцийфосфатных покрытий // Сборник трудов Междунар. научно-технической молодежной конференции «Перспективные материалы конструкционного и медицинского назначения», 26-30 ноября 2018 г., Томск, Россия. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2018. – С. 345-346.