

*СЕКЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ
И ТЕХНОЛОГИИ»*

УДК 621.793.14

**ПРИМЕНЕНИЕ ВАКУУМНО-ДУГОВОГО
ИСПАРЕНИЯ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ
НА ОСНОВЕ ОКСИНИТРИДА ТИТАНА
НА АРТЕРИАЛЬНЫЕ СТЕНТЫ**

Августовский П. А.

*Научный руководитель: канд. техн. наук,
доцент Комаровская В. М.*

*Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь*

Заболевания сердечно-сосудистой системы являются ведущей причиной смертности населения. Стентирование кровеносных сосудов в настоящее время является наиболее прогрессивным методом лечения подобного рода заболеваний. Нержавеющая сталь (316L), является наиболее часто используемым металлом для стентов. Сталь хорошо подходит по механическим свойствам и обладает достаточной коррозионной стойкостью. Однако, при использовании нержавеющей стали существует вероятность высвобождения ионов никеля, хрома и молибдена из стента, что может вызвать аллергические реакции, неоинтимальную гиперлазию (избыточное нарастание внутренней оболочки сосуда) и рестеноз (повторное сужение сосуда в месте установки стента). Поэтому проблема биосовместимости материалов стентов, в настоящее время, является актуальной.

Модифицирование поверхности стентов путем формирования покрытий является самым распространенным способом преодоления этой проблемы. Большой интерес вызывают тонкопленочные покрытия на основе оксинитридов титана из-за их способности улучшить антитромбогенные свойства, а также из-за высокого уровня гемосовместимости [1]. Титан явля-

ется биологически инертным металлом, обладает антикоррозионной стойкостью, высокими механическими показателями, оксид азота NO способствует расширению сосудов, увеличению содержания кислорода в крови, препятствует образованию тромбов и снижает пагубное воздействие стрессовых гормонов. Авторы работы [2] провели сравнительный анализ использования голометаллических стентов и стентов с биоактивным покрытием на основе оксинитрида титана. Результаты показали, что при использовании стентов с биоактивным покрытием осложнения (тромбоз/рестеноз) через 6 месяцев наблюдались у 5,6 % пациентов, у пациентов с голометаллическими стентами 18,8 %. Через 12 месяцев – 7,5 % и 8,7 %, через 24 месяца – 3,8 % и 10,1 % соответственно. Уровень оксида азота NO в крови при применении биоактивного стента был в среднем больше в 1,7 раза. Через 12 месяцев наблюдалось возвращение данного показателя к дооперационным значениям в обеих группах. В [3] установлено, что наилучшая гемосовместимость была обнаружена у покрытия состава $TiN_{0,4}O_{1,6}$, которое было получено при отношении парциальных давлений кислорода и азота $p(O_2) / p(N_2) = 1/1$.

Однако сдерживающим фактором широкого применения стентов с покрытием оксинитрида титана являются жесткие требования, предъявляемые к получаемому покрытию: высокие адгезионная и когезионная прочности, отсутствие несплошностей, дефектов, пор и трещин, минимальная шероховатость (не более 50 нм), а также толщина самого покрытия не должна превышать 1 мкм.

Метод вакуумно-дугового испарения (Arc-PVD) благодаря своим достоинствам: высокая адгезионная прочность покрытия с основой, малая пористость получаемых покрытий, возможность создания многокомпонентных покрытий, достаточная однородность покрытий, хорошая производительность является одним из наиболее эффективных способов нанесения покрытий на основе оксинитрида титана на сосудистые стенты.

Главным недостатком является вероятность образования большого количества макрочастиц или капельной фазы, если катодное пятно «задерживается» в точке испарения, наличие которых снижает эксплуатационные характеристики покрытий. Тем не менее в работе [4] приводятся аргументы, что наличие алюминия в составе катода, снижает вероятность образования капельной фазы титана в покрытиях. А результаты количественного анализа образованных на поверхности сферических кластеров показали, что концентрация азота и кислорода практически не отличается от их концентрации на участках, не содержащих указанные кластеры. Следовательно, данные кластеры не являются капельной фазой металлического титана [5].

В заключении можно сделать следующие выводы: 1. Вакуумно-дуговое испарение благодаря своим возможностям является эффективным методом нанесения покрытий на основе оксинитрида титана на артериальные стенты; 2. Покрытия из оксинитрида титана за счет высоких качественных и эксплуатационных характеристик, а также хорошей биосовместимости являются эффективным способом увеличения функциональности и долговечности использования стентов по сравнению с основным материалом изделия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванова, Н. М. Покрытия на основе оксинитридов титана, осажденные методом реактивного магнетронного распыления: морфология поверхности и химический состав // Современные техника и технологии: сб. докл. / Нац. исслед. Томский политех. ун-т; редкол.: О. В. Сидорова [и др.]. – Томск, 2014. – С. 327–328.

2. Сравнительный анализ использования голометаллических стентов и стентов с биоактивным покрытием при атеросклеротическом поражении поверхностной бедренной арте-

рии / А. Н. Олещук [и др.] // Вестн. Нац. медико-хирург. Центра им. Н. И. Пирогова. – 2020. Т. 15, № 3, Ч. 2 – С. 24–30.

3. Получение гемосовместимых покрытий на основе титана с помощью метода плазменно-иммерсионной ионной имплантации и осаждения металлов / И.А. Цыганов [и др.] // Вестн. Нижегородск. ун-та им. Н. И. Лобачевского, Физика тв. тела. – 2007. № 4. – С. 52–56.

4. Гончаров, В. С. Методы упрочнения конструкционных материалов. Функциональные покрытия : учеб. пособие / В. С. Гончаров. – Тольятти: Тольяттин. гос. ун-т, 2017. – 205 с.

5. Анализ морфологии и состава покрытий на основе нитрида титана, сформированных методом конденсации с ионной бомбардировкой / П. В. Орлов [и др.] // Конденсированные среды и межфазные границы. – 2018. Т. 20, № 4. – С. 630–643.

УДК 62-242.2

УПЛОТНЕНИЕ МНОГОЭЛЕМЕНТНОГО ПОРШНЯ КОМПРЕССОРА ХОЛОДИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Автух А. Л.

*Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: ст. преподаватель Орлова Е. П.

Холодильные установки работают в условиях переменных тепловых нагрузок, в результате чего требуется предусматривать устройства, регулирующие холодопроизводительность. Внедрение многоэлементного поршня в компрессор позволяет производить регулирование [2]. Конструкция данного поршня представлена на рисунке 1.