

В процессе макротрения [1] покрытие толщиной 100 нм демонстрирует самый низкий коэффициент трения 0,57, когда при толщине 300 и 500 нм он составляет 0,79 и 0,61 соответственно. При переходе к царапанию реализуются большие контактные давления, и $k_{тр}$ в микромасштабе при толщине 100 нм становится больше, чем при 300 нм.

Заключение. Методом нанскретч-теста определены значения коэффициента трения алмазоподобных покрытий разной толщины на стальной подложке. Добавление подслоя титана и увеличение толщины покрытия снижали микротвердость и коэффициент трения покрытий. Для защиты поверхностей микроустройств можно рекомендовать покрытия толщиной 500 нм, за счет низкого коэффициента трения и меньшей шероховатости.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке гранта БРФФИ № Ф20Р-217 и № Ф22М-006.

Литература

1. Evolution via friction of properties of DLC nanofilms on steel / Т. А. Kuznetsova [et. al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2021.
2. Silicon addition as a way to control properties of tribofilms and friction of DLC coatings / Т. Kuznetsova [et al.] // Applied Surface Science. – 2023. – Vol. 608. – P. 155115.
3. Особенности наноскретч-теста при исследовании алмазоподобных покрытий / Р. Э. Трухан [и др.] // Приборостроение-2021 : матер. 14-й Междунар. науч.-техн. конфер., 17–19 ноября 2021 г., Минск, Республика Беларусь / редкол.: О. К. Гусев (председатель) [и др.]. – Минск : БНТУ, 2021. – С. 239–241.

УДК 617-089.844

СВАРКА НИТИНОВЫХ ПРОВОЛОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В СТЕНТ-ГРАФТАХ

Уласевич А.О.¹, Минченя В.Т.², Савченко А.Л.²

¹Государственное предприятие «Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»

²Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В статье рассматриваются различные методы сварки проволок нитинола, используемых в эндопротезах, и их воздействие на температурный интервал мартенситного превращения. Дается оценка наиболее подходящему методу сварки.

Ключевые слова: Стент-графт, нитинол, сварка, лазерно-импульсная, мартенситное превращение.

WELDING OF NITINOL WIRES USED IN STENT GRAFT

Ulasevich A.¹, Minchenya V.², Savchenko A.²

¹State enterprise “Science and technology park of BNTU Polytechnic”

²Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The article discusses various methods of welding nitinol wires used in endoprotheses and their effect on the temperature range of martensitic transformation. The most suitable welding method is evaluated.

Key words: Stent graft, nitinol, welding, laser pulse welding, martensitic transformation.

Адрес для переписки: Савченко А.Л., пр. Независимости, 65, Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: ulasevich_aleksandr@park.bntu.by

Стент-графт состоит из упругих элементов, которые поддерживают форму аорты и бесшовным полиэфирным материалом, выполняющий функцию недопуская попадая кровотока в ослабленные участки стенок аорты. Упругие элементы выполнены из материала с «памятью формы». Сплав этот называется – нитинол (сплав титана и никеля), обладающий высокой коррозионной и эрозивной стойкостью (рис. 1).



Рисунок 1 – Стент-графт грудного отдела аорты

При применении сплавов с эффектом памяти формы в медицине необходимо, чтобы они обеспечивали не только надежность выполнения механических функций, но и химическую надежность (сопротивление ухудшению свойства в биологической среде, сопротивление разложению, растворению, коррозии), биологическую надежность (биологическую совместимость, отсутствие токсичности, канцерогенности, сопротивление образованию тромбов и антигенов). Простые металлические элементы имеют сильное токсичное действие, но в соединении с другими элементами обнаруживается эффект взаимного ослабления токсичности. Однако большее значение, чем образование ионов, имеет растворимость пассивирующих пленок, возникающих на поверхности металлов. Например, используемые в качестве биологических материалов хромоникелевые сплавы, кобальтхромовые сплавы, чистый Ti,

содержит элементы, имеющие сильное токсичное действие в виде простых элементов, но пассивирующие пленки, образующиеся в контакте с биологическими организмами, являются достаточно стабильными. В связи с этим наиболее широкое распространение в медицине получил сплав никеля с титаном.

Эффект памяти первоначальной формы нитинола выражается в способности при повышении температуры воздействия до порога фазового превращения восстанавливать деформированный профиль в исходное состояние, которое было придано нитинолу при определенной температуре. Сверхупругость проявляется во время перехода при нагревании из одного структурного внутреннего состояния в другое. При достижении значения фазового превращения сплав как пружина принимает первоначальный вид. Эффект памяти формы нитинола стал возможен благодаря изменению кристаллической решетки во время полиморфного превращения из фазы аустенита в фазу мартенсита, рис. 2.

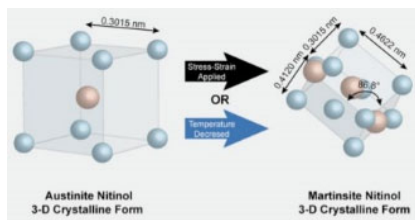


Рисунок 2 – Изменение кристаллической решетки нитинола

При сварочном нагреве возможен распад интерметаллидов эквиатомного состава с образованием Ti_2Ni и $TiNi_3$ и появление внутренних термических напряжений, что может привести к изменению температурного интервала мартенситного превращения и степени восстановления формы. Для соединения сплавов системы Ni-Ti ранее были опробованы такие процессы сварки плавлением, как сварка вольфрамовым электродом в инертном газе, лазерная и электронно-лучевая сварка. При сварке плавлением возникает несколько проблем, которые приводят к растворению кислорода, водорода и азота, потере сверхупругости и эффекта памяти формы в месте сварки, формированию интерметаллических соединений, хрупких и не имеющих памяти формы. Вместе с тем поверхностный нагрев нитинола ультракороткими импульсами не приводит к ухудшению структуры. Существуют исследования в которых были приведены данные степени восстановления формы после сварки и результатами стало восстановление формы от 80–100 процентов от исходной формы.

Известно, что наиболее производительными являются различные способы сварки плавлением, однако при их использовании в зоне соединения всегда образуется переходная литая сварная зона,

которая может обладать повышенной, по сравнению с основой соединяемых материалов, хрупкостью. Для соединения нитинола с титаном и его сплавами исследовали способ лазерной сварки. Установлено, что получению качественных сварных соединений препятствуют формирование литой дендритной микроструктуры в сварном шве и изменение его фазового состава.

Способ лазерной сварки позволяет получить сварное соединение нитинола с титаном с прочностью при растяжении 108 МПа. Аналогичные результаты обнаружены и при применении электронно-лучевой и аргонодуговой сварки. Однако у лазерной сварки есть очень необходимый параметр – точность сварочного места и уменьшением количества энергии, наличие которого приводит к нагреву поверхности выше температуры распада металлидов типа Ti_2Ni и снижению температуры мартенситного превращения, что для является нежелательным явлением, так как в случае раннего «раскрытия» стент-элемента в доставочной системе создаст дополнительное трение для его высвобождения.

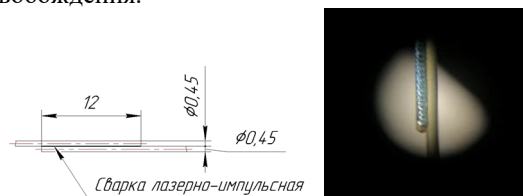


Рисунок 3 – Фото под микроскопом места приварки лазерно-импульсной сваркой нитинола с нитинолом и схемы приваривания

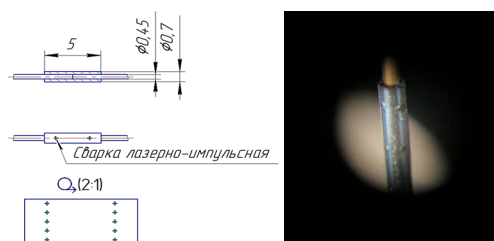


Рисунок 4 – Фото под микроскопом места приварки лазерно-импульсной сваркой нитинола с нитинолом и схемы приваривания

В случае ручной дуговой сварки неплавящимся вольфрамовым электродом в среде инертного защитного газа было получено сварное соединение нитинола с его сплавом с прочностью при растяжении 108 МПа. Однако использование ручной дуговой сварки невозможно из-за габаритных размеров свариваемых проволок. У сварных соединений, полученных электронно-лучевой сваркой, этот показатель составил 70,85 МПа.

Диффузионные и сварки трением рассматривать не имеет смысла из-за необходимости в высокой скорости вращения и толщины свариваемой нити.

В экспериментальной части использовалась импульсно-лазерная сварка Coherent Rofin. Примеры экспериментальных мест сварки на рис. 3 и 4.

В работе были разработаны новые способы крепления концов нитиноловой проволоки методом точечной лазерной сварки. Все эти способы были подвергнуты одинаковому испытанию на прочностную характеристику. В результате испытания удалось установить, что при точечной сварке нитинола с нитинолом без втулки происходит значительный

нагрев материала, что приводит к изменениям температурного интервала мартенситного превращения, что может вызвать неполноценное восстановление формы в организме человека или более раннее восстановление формы, что затруднит установку стент-графта во время операции.

УДК 658.562

ПРОБЛЕМЫ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СМК НА ЭТАПЕ ПРИМЕНЕНИЯ Хвистик М.Д., Серенков П.С.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. Рассмотрены основные этапы жизненного цикла СМК. Приведен анализ целей и задач, решаемых на этапах разработки и применения СМК. Рассмотрен комплекс функциональных подсистем, необходимых СМК. Приведены результаты анализа функциональной подсистемы сбора и анализа данных, выявлены ключевые функции и определены целевые показатели. С учетом структурной неоднородности выявлена необходимость представления подсистемы сбора и анализа данных в виде двух контуров (локальный и общий). Определены задачи по разработке комплексной методики организации эффективной системы сбора и анализа данных СМК организации на стадии применения.

Ключевые слова: СМК, система сбора и анализа данных, локальный контур, общий контур.

PROBLEMS OF SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL SUPPORT OF THE QMS AT THE STAGE OF IMPLEMENTATION Khvistik M., Serenkov P.

*Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus*

Abstract. The main stages of the life cycle of the QMS are considered. The analysis of objectives and tasks to be solved at the stages of development and application of QMS. The complex of functional subsystems required by the QMS is considered. The results of the analysis of the functional subsystem of data collection and analysis are presented, the key functions and the target indicators are defined. Taking into account the structure variety of data collection and analysis system the necessity of data collection and analysis system presentation in the form of two concepts (local and general) is determined. Tasks to develop a complex methodology for the organization of an effective system of data collection and analysis of the QMS of the organization are defined at the stage of implementation.

Key words: QMS, data collection and analysis system, local concepts, general concepts.

*Адрес для переписки: Хвистик М.Д., пр. Независимости, 65, Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: mkhivistikm@gmail.com*

В соответствии с определением ISO 9000, СМК – совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих элементов, предназначенных для руководства и управления организацией применительно к качеству, т. е. для разработки политики и целей в области качества и достижения этих целей. Качество является одним из ключевых критериев выбора для потребителя, однако оно также является эффективным инструментом повышения конкурентоспособности и развития.

В современных условиях результативный менеджмент качества возможен при условии решения групп задач и их согласования на трех основных этапах жизненного цикла СМК[1]:

- разработка и проектирование СМК;
- внедрение и применение СМК как инструмента менеджмента, а также поддержание ее в рабочем состоянии;
- анализ и совершенствование СМК.

Предположим, что для решения групп задач, решаемых на различных этапах жизненного цикла СМК, следует использовать различные модели процессов представления СМК.

Несмотря на разницу решаемых задач на различных этапах жизненного цикла СМК, на каждом этапе должны использоваться четыре функциональные подсистемы [2]:

- сеть процессов – описание процессов СМК, их состава, взаимодействий и взаимосвязей;
- целеполагание – структурирование функции качества по всей иерархии процессов и ответственности, распределения ответственности и полномочий в отношении деятельности в области качества;
- сбор и анализ данных о результативности продукции и процессов;
- поддержка принятия управленческих решений, привязанную к структуре процесса.