**ПРОЕКТ**

**«Создание математической модели устройства,**

**устраняющего пролапс митрального клапана»**

Пролапс митрального клапана (ПМК) (рисунок 1) – это провисание створок митрального клапана в полость левого предсердия во время систолы, что приводит к обратному току крови через клапан и может вызвать такие осложнения, как эндокардит, разрыв хорд и тромбоэмболия. Распространенность ПМК среди населения по одним данным оценена в 2-3% [1], по другим в 5-10% (у взрослой популяции). В большинстве случаев хирургическое вмешательство не требуется, но при высокой степени провисания створки необходима дорогостоящая операция с большим риском для жизни, так как для ее проведения требуется остановка сердца.

 Рисунок 1. Пролапс митрального клапана.

Устройство, для которого я создаю математическую модель, было разработано в Бостонской детской больнице и носит название LPC (Leaflet Plication Clip) [2]. Установка LPC является альтернативой хирургическому методу лечения пролапса митрального клапана и может быть выполнена без остановки сердца. Данное устройство представляет из себя специально изогнутую проволоку из сплава никелид-титана (NiTi) марки ТН-1. Этот материал биосовместим, стоек к коррозии, а также обладает свойством псевдоупругости или сверхупругости.

Псевдоупругость - это способность материала с эффектом памяти формы пластически деформироваться при определенных условиях и восстанавливать деформацию при снятии внешней деформирующей нагрузки (рисунок 2). В нашем случае важно, чтобы LPC обладал этим свойством, так как он должен восстанавливать изначально заданную форму после закрепления его на пролапсирующей створке митрального клапана, тем самым стягивая ее и не давая ей провисать.

Рисунок 2. График зависимости деформации (ε) от напряжения (σ):

а) нет псевдоупругости, есть остаточная деформация;

б) есть псевдоупругость, полное восстановление начальной формы.

Строение организма каждого человека уникально, следовательно и LPC для каждого случая должен иметь разные размеры и функционально-механические свойства. Для расчета этих параметров и создается математическая модель.

**Цель:**

Создание математической модели вживляемого устройства, устраняющего пролапс митрального клапана, для определения его параметров при изготовлении, а также для прогнозирования поведения LPC при различных манипуляциях с ним.

**Задачи:**

* Экспериментально исследовать различные образцы проволок из сплава NiTi ТН-1 для создания базы данных их функционально-механических свойств;
* Провести аналитический расчет поведения деформации для линейного растяжения по математической модели А.А. Мовчана [3];
* Создать крепкие крепления для закалки устройства сложной формы, учитывая большую энергию, выделяемую данным сплавом при термообработке;
* Создать собственный прототип устройства для детального исследования его поведения при различных манипуляциях ;
* Провести эксперименты на свином сердце;
* Создать 3D модель устройства, наделив ее функционально – механическими свойствами сплава;

**Используемые методы исследования:**

* Эксперименты: применение различных режимов термообработки для образцов проволоки разных диаметров; измерение температур фазовых переходов образцов с помощью дифференциального сканирующего калориметра (METTLER TOLEDO 822e); исследование зависимости деформации от напряжения в разрывной машине (LLOYD 30k Plus).
* Компьютерное моделирование: аналитические расчеты поведения деформации проволоки из сплава никелид-титана марки ТН-1 при линейном растяжении в Wolfram Mathematica; расчетная модель в программном комплексе Abaqus для прогнозирования поведения устройства при различных манипуляциях с ним.
* Сравнение: сопоставление реального прототипа и математической модели для определения правдивости расчетной модели .

**Научный задел:**

В ходе работы пишется статья «Функционально-механические свойства сплава NiTi ТН-1 как материала для вживляемого устройства, устраняющего пролапс митрального клапана» для выступления с ней на конференции «Сплавы с эффектом памяти формы», посвященной 85-летию В.А. Лихачева, с дальнейшим опубликованием в журнале «Materials Today: Proceedings» (издательство Elsevier) на английском языке.

Эффект памяти формы (ЭПФ) состоит в том, что образец, имеющий определенную форму в аустенитном состоянии при повышенной температуре, деформируют при более низкой температуре мартенситного превращения. После перегрева, сопровождающегося протеканием обратного превращения, исходная характерная форма восстанавливается. ЭПФ проявляется в сплавах, характеризующихся термоупругим мартенситным превращением, когерентностью решеток исходной аустенитной и мартенситной фаз, сравнительно небольшой величиной гистерезиса структурного превращения, а также малыми изменениями объема при превращениях [4]. В этих условиях при деформации образуются когерентные с исходной структурой двойниковые мартенситные кристаллы, а при отогреве и обратном превращении эти мартенситные кристаллы исчезают и плавно переходят в решетку исходной фазы. Обратимое движение когерентных межфазных границ при обратном превращении приводит к восстановлению первоначальной формы (рисунок 3). ****

Рисунок 3. Переход из кристаллической решетки аустенитной фазы в кристаллическую решетку мартенситной фазы.

Для аналитического расчета поведения деформации проволоки из сплава никелид-титана марки ТН-1 при линейном растяжении используется математическая модель А.А. Мовчана [3]. Микромеханический подход Мовчана заключается в рассмотрении зарождения и развития кристаллов мартенсита, которые дают определенный вклад в скорость изменения фазовой деформации в сплаве с эффектом памяти формы. Предполагается, что скорость роста кристаллов мартенсита пропорциональна накопленной фазовой деформации и уровню напряжений. Система определяющих соотношений формулируется следующим образом:

где – упругая и фазовая деформации.

где К – модуль объёмного сжатия, а - напряжение. Пусть q – это доля мартенсита, тогда

 :

:

Уравнения (3) и (4) соответствуют прямому превращению, а (5) и (6) – обратному, где , – значения модуля Юнга для мартенситного и аустенитного состояния;- температуры начала и конца прямого и обратного мартенситного превращения; , *k*, *–* коэффициенты материала, которые можно найти из опыта на прямое превращение; - фазовый предел текучести и осевая компонента фазовой деформации в точке начала разрузки.

**Основные планируемые результаты:**

* Будет создана база экспериментальных данных функционально-механических свойств разных образцов никелид-титана маркиТН-1;
* Будет изготовлен прототип устройства;
* Будет написан ряд научно-исследовательских статей;
* Будет создана 3D модель устройства.

**Области возможного их использования:**

* Практическое применение в медицине, при устранении пролапса митрального клапана;
* База данных может быть полезна как для международного научного сообщества в качестве подтверждения теоретических описаний поведения материала с эффектом памяти формы, так и для сектора производства, где важны характеристики различных металлов.

**Литература:**

1. Hayek E., Gring CN, Griffin BP (2005). Mitral valve prolapse. *Lancet* 365 (9458):507–18. doi: 10.1016/S0140-6736(05)17869-6. PMID 15705461.
2. Feins EN, Yamauchi H, Marx GR, Freudenthal FP, Liu H, del Nido PJ, Vasilyev NV. Repair of Posterior Mitral Valve Prolapse with a Novel Leaflet Plication Clip in an Animal Model. J Thorac Cardiovasc Surg. 2014 Feb;147(2):783-91.
3. Мовчан, А.А. Микромеханические определяющие уравнения для сплавов с памятью формы/ А.А. Мовчан // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 1994. – № 6. – С. 47–53.
4. Конспект лекций по дисциплине «Новые материалы в металлургии» / Авт. Зборщик А.М. – Донецк: ГВУЗ «ДонНТУ», 2008. – 253 с.

 Булдаков П.Ю.

Подпись соискателя (ФИО)