

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКА ПРИ ФОРМООБРАЗОВАНИИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ НИТИНОВОЙ ПРОВОЛОКИ

Минченя В.Т.<sup>1</sup>, Савченко А.Л.<sup>1</sup>, Рубаник В.В. (мл.)<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет, Минск, РБ,  
vladimir.minchenya@mail.ru

<sup>2</sup>Витебский государственный технологический университет, Витебск, РБ, jr@tut.by

В связи с с ростом сердечно-сосудистых патологий и появлением новых методик их лечения Беларусь имеет и все возрастает потребность в расходных материалах для сосудистой хирургии. К ним, в том числе, относятся специальные эндопротезы, изготавливаемые из никелида титана (нитинола) – стенты, стентграфты, клапан-содержащие стенты, фильтры-ловушки и др. Эти изделия представляют собой достаточно сложные по форме пространственные структуры, получаемые гибкой из нитиноловой проволоки с использованием дополнительных операций сварки, соединения пластическим деформированием с помощью трубок. Нитиноловые эндопротезы в настоящее время поступают в Республику Беларусь из-за рубежа, хотя на базе Научно-технологического парка БНТУ «Политехник» готовится к серийному выпуску ряд изделий. Поэтому актуальными являются методики, позволяющие усовершенствовать имеющиеся технологические процессы и повысить качество изделий медицинского назначения.

В ходе исследований были рассмотрены основные аспекты использования ультразвукового воздействия для формообразования и управления характеристиками изделий из нитинола.

К ним относятся изучение влияния ультразвука на эффект памяти формы никелида титана и исследование процесса обнаружения дефектов в нитиноловой проволоке по возникающим при приложении УЗК деформациям.

Была разработана следующая программа экспериментальных исследований.

1. Исследование ультразвуковых колебаний в качестве фактора инициирования памяти формы.

Исследовались различные режимы ультразвуковой обработки заготовки (частота и интенсивность колебаний, длительность ультразвукового воздействия), которой с помощью приспособлений придана требуемая форма, в том числе в сочетании с отжигом в печи при ранее подобранных режимах [1]. Обработанная таким образом заготовка подвергалась оценке полученных свойств: запоминание приданной формы, механические характеристики (в первую очередь изгибная жесткость стержневых элементов), при появлении эффекта памяти формы – продолжительность времени, в течение которого эти свойства сохраняются.

2. Исследование влияния ультразвуковых колебаний на температурные диапазоны аустенит-мартенситного перехода.

Задачей обработки нитинолового сортамента различными способами является получение требуемых характеристик в нужном температурном диапазоне. Изделия медицинского назначения должны иметь минимальную жесткость при температуре установки в системы доставки (около 15 °С) и максимальную жесткость при рабочей температуре внутри человеческого тела (36...42 °С). Предполагалось, что ультразвуковое воздействие позволит смещать диапазоны аустенит-мартенситного перехода в нужные участки температурной шкалы. При этом рассматривалось ультразвуковое воздействие как до термической обработки, так и после нее.

3. Исследование процесса обнаружения дефектов в нитиноловой проволоке возбуждением в ней ультразвуковых колебаний.

В ходе исследований возбуждались УЗК в отрезках проволоки. Предполагалось, что в местах расположения дефектов можно наблюдать возникающие за счет эффекта памяти формы деформации или регистрировать изменения механических напряжений в материале.

4. Исследование процесса упрочнения нитинола пластическим деформированием.

Для повышения механических характеристик изделий из нитиноловой проволоки осуществлялось ее поверхностное пластическое деформирование прокаткой или волочением с ультразвуком. Это воздействие сочеталось с термической обработкой до или после него. Исследовались различные режимы ультразвуковой обработки заготовки (частота и интенсивность колебаний, длительность ультразвукового воздействия). Обработанная таким образом заготовка подвергалась оценке полученных свойств: запоминание приданной формы, механические характеристики (в первую очередь изгибная жесткость стержневых элементов), при появлении эффекта памяти формы – продолжительность времени, в течение которого эти свойства сохраняются.

Для исследования были взяты образцы проволоки Ti-44,48; Ni-49.16; Cu-6.02 фирмы «Фукарава» (Япония) диаметром 0,36 и 0,45 мм, используемой для изготовления каркасов стент-графтов. Проволока подвергалась ультразвуковому воздействию в диапазоне частот 22...26 кГц как в свободном состоянии, так и при механическом воздействии. В ходе исследований было установлено следующее.

1. Установлено, что при ультразвуковом воздействии на нитиноловую проволоку полученная форма образца слабо выражена. Механические и структурные характеристики материала при этом практически не изменяются. После термообработки обработанных ультразвуком образцов существенных отличий в механических характеристиках и проявлении эффекта памяти формы от исходных не выявлено. Следовательно, использование ультразвукового воздействия для упрочнения нитиноловой проволоки и, тем более, замена термообработки нецелесообразна.

2. Установлено, что в ходе возбуждения свободных образцов ультразвуком в режиме резонанса на различных частотах на отдельных участках наблюдаются пластические изгибные деформации, сохраняющиеся в течение длительного времени. В некоторых случаях такие деформации возникают после снятия ультразвукового воздействия по истечении нескольких минут или даже часов. Следовательно, имеет смысл использовать ультразвуковое воздействие для обнаружения дефектов в проволоке

3. Установлено, что при резке ультразвуковым инструментом пластические изгибные деформации на концах проволоки отсутствуют. Следовательно, целесообразным является внедрение в технологический процесс изготовления изделий медицинского назначения из нитинола ультразвуковой резки проволоки.

4. Нами разработано ультразвуковое устройство, с помощью которого при предварительном натяжении на нитиноловую проволоку подают ультразвуковые колебания.

Устройство для гибки и термообработки каркаса стентграфта показано на рис. 1.

Устройство включает оправку 1 диаметром 28 мм с установленными на ней штифтами 7. Оправка крепится на пластине 2, которая соединена с пластиной 3 стойками 4 с винтами 5.

На оправку навивается зигзагообразный каркас из нитиноловой проволоки. Концы проволоки пропускаются в отверстия пластины 2 и фиксируются в отверстиях болтов 8

гайками 9. Затем с помощью болтов 8 проволока натягивается, и приспособление устанавливается в печь для термообработки.

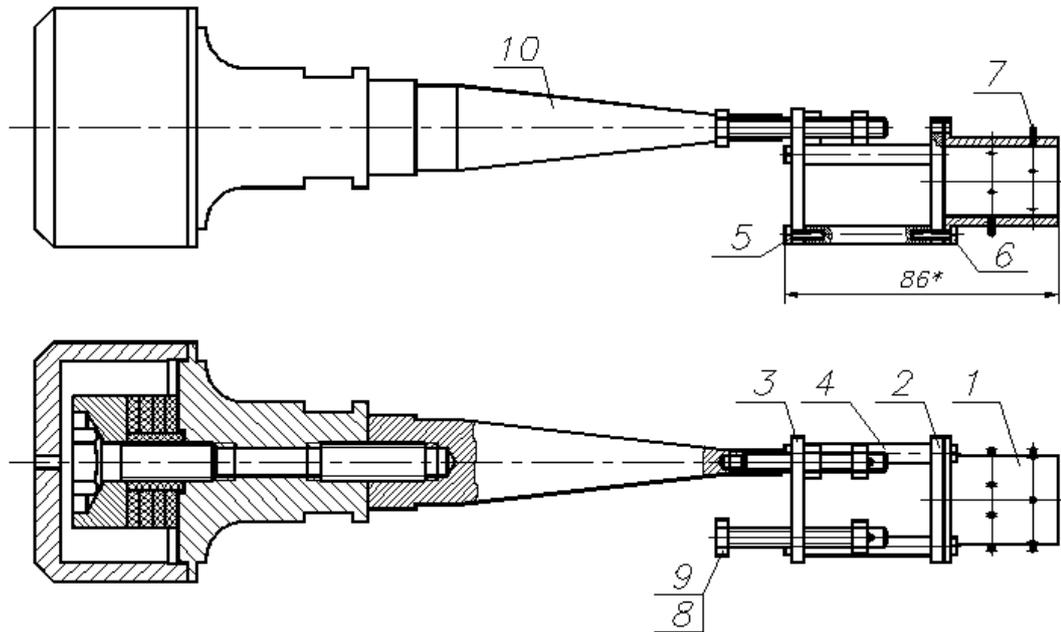


Рисунок 1

При натяжении проволоки она возбуждается ультразвуковыми колебаниями от преобразователя 10 (конструкция аналогично показанной на рис. 3). Преобразователь установлен таким образом, чтобы место его крепления располагалось в минимуме, а направляющие штифты – вблизи максимума стоячей волны.

Устройство выполнено на основе ранее использовавшегося приспособления [2].

Установлено, что при ультразвуковом воздействии резко снижаются силы трения в зонах контакта проволоки и оснастки, и повышается точность копирования изгибов на выступах. Таким образом применение ультразвука эффективно при формировании сложных форм нитиноловых изделий, таких как зигзагообразных с большим количеством изгибов, крючков с малыми радиусами изгиба и др.

На основе результатов исследований выполнена разработка маршрутного технологического процесса изготовления элемента каркаса стентграфта.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Разработка и исследование конструктивных и технологических параметров формообразования изделий медицинского назначения из никелида титана» в рамках задания 4.1.08 «Разработка и исследование технологии задания формы материалам на основе никелида титана для получения изделий медицинского назначения [электронный ресурс]: отчет о НИР (заключ.) / БНТУ; рук. В.Т. Минченя; исполн.: А.Л. Савченко [и др.] - Минск, 2015. – 120 с. - Библиогр.: с. 117-120. - № ГР 20141055.

2. Разработать оригинальную конструкцию системы аортального стентграфта и внедрить технологию применения системы аортального стентграфта для хирургического лечения аневризм грудной аорты при операциях с искусственным кровообращением [Электронный ресурс]: отчет о НИР (заключительный): ГБ 03.08-1/2011 / кол. авт. Белорусский национальный технический университет, рук. Минченя В.Т., исполн. Минченя Н.Т., исполн. Савченко А.Л., исполн. Степаненко Д.А. . - Электрон. дан. - Минск: [б. и.], 2013. . - N ГР 20113925 .- elib.