

## ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ИЗДЕЛИЙ ИЗ НИТИНОВОЙ ПРОВОЛОКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УЛЬТРАЗВУКА

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

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь,  
andrewk@tut.by

<sup>2</sup>Институт технической акустики НАН Беларуси, Витебск, Беларусь

Качество упругого элемента из нитинола во многом определяется технологическим процессом. Режимы некоторых технологических операций, таких, например, как механическая или термическая обработка упругого элемента из нитинола, оказывают прямое влияние на упругие и прочностные свойства материала, а следовательно, и на рабочие характеристики упругого элемента.

Анализ конструкций изделий медицинского назначения показал, что применение традиционных технологий при изготовлении элементов и деталей конструкций не всегда приводят к положительным результатам из-за особых свойств нитиноловых материалов. Так изготовление сложных зигзагообразных элементов для стентграфтов, требует предварительного формования формы изгибов на специальных оснастках. На этих оснастках нитиновая проволока должна быть натянута на множество выступов и затем произведена термообработка для формования памяти формы. Из-за сверхупругости нитинола и значительного трения в зонах изгиба нитиновой проволоки на выступах невозможно обеспечить равномерное натяжение проволоки. При обычном натяжении и дальнейшем отжиге при высокой температуре нитиновая проволока теряет упругие свойства и проседает, при этом радиус изгиба увеличивается.

Применение метода предварительного охлаждения приспособления и нитиновой проволоки частично решает задачу обеспечения копирования приспособления. Если приложить небольшое механическое усилие, изделию из нитинола в охлажденном мартенситном состоянии можно придать любую конфигурацию. Она будет сохраняться до тех пор, пока предмет не нагреют до температуры начала аустенитного превращения, и в процессе нагрева до температуры завершения аустенитного превращения нитинол не перейдет в аустенитную фазу, полностью восстанавливая прежнюю форму и реализуя при этом эффект памяти формы. Однако при сложных конструкциях и малых радиусах изгиба, а также большого числа изгибов из-за трения в зонах контакта нитинол-выступ приспособления невозможно обеспечить хорошее и надежное копирование заданной приспособлением формы.

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

Устройство для гибки и термообработки каркаса стентграфта разработано на основе ранее использовавшегося приспособления для натяжения и термообработки проволоки [1] и показано на рисунке 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 нитиновой 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.

При натяжении проволоки она возбуждается ультразвуковыми колебаниями от преобразователя 10.

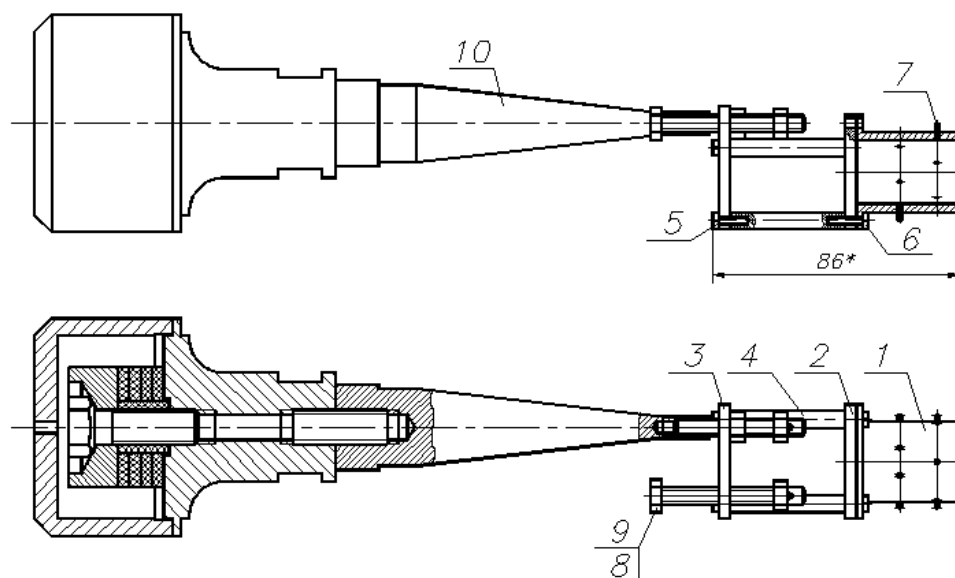


Рисунок 1 – Устройство для гибки и термообработки каркаса с ультразвуком

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.

Изгибная жесткость образцов из нитиноловой проволоки непосредственно после ультразвукового возбуждения в резонансном режиме не отличается от жесткости исходных образцов. Тем не менее, изгибная жесткость в процессе возбуждения ниже на 30...40%, что способствует получению минимальных радиусов изгиба.

При ультразвуковом воздействии резко снижаются силы трения в зонах контакта проволоки и оснастки, и повышается точность копирования изгибов на выступах, так как нитиноловая проволока при воздействии ультразвука хорошо копирует приспособления и при отжиге сохраняет свою заданную на приспособлении форму. 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.

Метод формообразования с ультразвуком был опробован на технологическом процессе изготовления элемента стентграфта – внутрисосудистого эндопротеза, состоящего из проволочного каркаса и тканевой оболочки и предназначенного для лечения аневризм грудного отдела аорты.

Элемент стентграфта, взятый для разработки техпроцесса представляет собой зигзагообразный замкнутый контур, пришиваемый к тканевой оболочке стентграфта (рисунок 2). Элемент отличается большим количеством зигзагов и малой длиной прямолинейных участков. Это в совокупности со сверхупругими характеристиками нитинола затрудняет получение малых радиусов изгиба и приводит к излишней жесткости элемента.

Формообразование с использованием ультразвуковых колебаний позволило получить меньший радиус изгиба, что видно из рисунке 3.

Гибка производилась на приспособлении с диаметром направляющих штырей 1,6 мм. При этом с использованием ультразвуковых колебаний был получен радиус изгиба 0,85...0,88 мм, без использования ультразвука (по прежней технологии) – 0,98...1,44 мм. То есть использование ультразвуковых колебаний позволяет получить меньший радиус изгиба при меньшем разбросе размеров.



Рисунок 2 – Стент-элемент

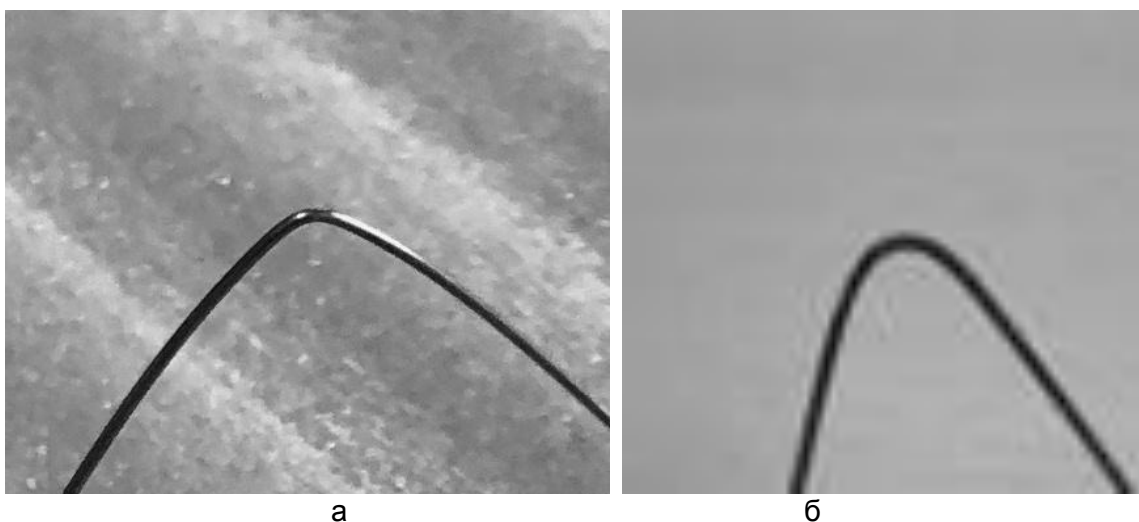


Рисунок 3 – Изгиб стент-элемента по новому техпроцессу (а) и по прежнему техпроцессу (б)

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

#### Литература

1. 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.