

УДК 616-77; 681.2

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЖЕСТКОСТИ НИТИНЛОВЫХ ЭНДОПРОТЕЗОВ

Савченко А. Л., Волкова О. Н., Сатторов С.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе приведены результаты исследования влияния температуры окружающей среды на результаты измерения механических характеристик эндопротезов сосудов из никелида титана. Выполнена оценка температурной составляющей погрешности измерения и даны рекомендации по использованию результатов в метрологической практике.

Ключевые слова: никелид титана, эндопротез, механические характеристики, температура, погрешность.

INFLUENCE OF TEMPERATURE ON THE RESULTS OF MEASURING THE RIGIDITY OF NITINOL ENDOPROSTHESIS

Savchenko A., Volkova O., Sattorov S.

Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper presents the results of a study of the influence of ambient temperature on the results of measuring the mechanical characteristics of vascular endoprostheses made of titanium nickelide. An assessment of the temperature component of the measurement error is made and recommendations are given for using the results in metrological practice.

Key words: nickel titanium, endoprosthesis, mechanical characteristics, temperature, error

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

Эндопротезы сосудов для кардиохирургии достаточно разнообразны по конструкции. К ним относятся как цельнометаллические пространственные конструкции, такие как стенты, кавалитры, окклюдеры, так и сборные устройства, помимо металлических включающие тканевые и другие элементы. К ним относятся стент-графты, клапан-содержащие стенты и др.

Отличительной особенностью многих эндопротезов является материал металлических элементов. Это никелид титана или нитинол, интерметаллид, соединение титана и никеля в примерном процентном соотношении 45 % Ti–55 % Ni. Этот материал обладает эффектом памяти формы, то есть требуемая форма изделия может быть получена путем термоформования – термообработки при определенных режимах, обеспечивающих нахождение при рабочей температуре в аутенитной фазе, обеспечивающей максимальную жесткость [1]. При термоформовании добиваются смещения точки фазового перехода в промежуток между температурой установки в систему доставки и температурой установки в кровеносный сосуд. В первом случае изгибная жесткость элементов минимальна, во втором максимальна [2, 3]. В результате изгибная жесткость элементов эндопротезов зависит от температуры. Это в некоторой степени усложняет контроль механических характеристик готовых элементов.

В производственных условиях радиальная и изгибная жесткость контролируется специальными техническими средствами, такими как тестер радиальных усилий RLU124 (Blockwise

Engineering LLC, США, рисунок 1) [4]. Достаточно сложная установка обладает широкими возможностями.

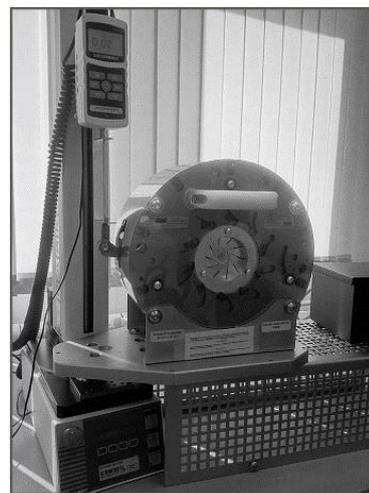


Рисунок 1 – Тестер RLU124

В [5] приведена методика измерения радиальной жесткости кольцевых элементов и изгибной жесткости проволоки с помощью специально разработанных устройств.

Особенностью рассматриваемых методик является проведение измерений в контролируемых температурных условиях. В частности, проводились исследования жесткости при температурах 15 °С, 37 °С и 42 °С. Это затрудняет методику измерений, особенно в производственных условиях. Гораздо проще было бы проводить измерения в

обычных лабораторных условиях, при комнатной температуре. Поэтому задачей исследования является оценка влияния температуры окружающего воздуха на результаты измерения изгибной жесткости проволоки.

Отправной точкой для исследований являлись результаты, ранее полученные авторами [5, 6] и результаты, изложенные в [7].

Были взяты образцы нитиноловой проволоки как из готовых стент-элементов из каркасов стентграфтов, производимых в Научно-технологическом парке БНТУ «Политехник» (рисунок 2), так и специально изготовленные и термообработанные Λ -образные элементы (рисунок 3). На рисунке 3 также показан элемент приспособления для измерения жесткости.

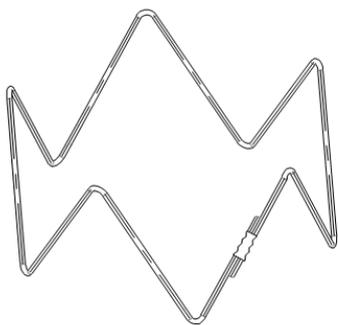


Рисунок 2 – Стент-элемент

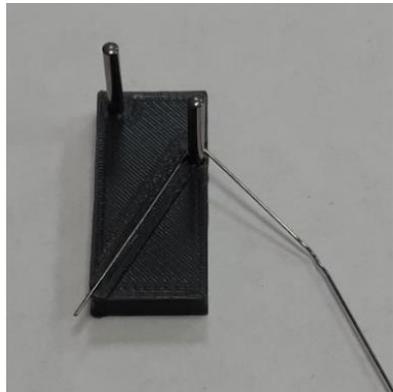


Рисунок 3 – Изгибной элемент в приспособлении

Для создания температурно контролируемой среды измерения проводились в воде с требуемой температурой.

Для оценки температур фазовых переходов фрагменты проволоки из образцов подвергались исследованию с использованием дифференциального сканирующего калориметра DSC-3 (Mettler Toledo, США).

В результате исследований было установлено следующее.

Температуры фазовых переходов в разных образцах, несмотря на сходные условия термической обработки, имеют довольно большой разброс – от 16 °С до 27 °С. Вероятно, это вызвано плохой повторяемостью условий термообработки. Тем не менее, фазовые переходы наблюдаются в нужном для эксплуатации диапазоне между температурой установки в систему доставки 15 °С и температурой эксплуатации в кровеносном сосуде 37 °С.

Измерения жесткости при температурах выше температуры фазового перехода дают идентичные результаты, что согласуется с данными, приведенными в [7]. Это объясняется стабильностью механических характеристик нитинола в аустенитной фазе.

Можно сделать вывод, что для измерений механических характеристик изделий из нитинола можно специально не стабилизировать температурные условия, если обеспечить разброс температур фазовых переходов, укладываемый в диапазон ниже диапазона колебаний температуры в помещении для измерений. Для этого, вероятно, потребуется стабилизировать условия термической обработки.

Литература

1. Никелид титана. Медицинский материал нового поколения / В. Э. Гюнтер [и др.]. Томск: МИЦ, 2006. – 296 с.
2. Рубаник, В. В. Оптимизация режимов термообработки TiNi проволоки медицинского назначения / В. В. Рубаник, С. Н. Милюкина, В. В. Рубаник (мл.) // Материалы 8-й Междунар. конф. передовой обработки в машиностроении, Болгария, 18–20 июня 2008 г. Краево, 2008. – С. 199–203.
3. Shape Memory Alloy Shape Training Tutorial. A Teacher's Guide to Teaching Shape Memory Alloy Shape Training / L. Case [et al.] // ME559 – Smart Materials and Structures, University of Michigan. – 2004.
4. Тестирование in vitro прототипа митрального биопротеза для транскатетерной имплантации по методике «клапан-в-клапан» / А. В. Богачев-Прокофьев [и др.] // Клини. и эксперимент. хир. Журн. им. акад. Б. В. Петровского. – 2018. – № 1. – С. 77–83.
5. Минченя, В. Т. Оценка механических характеристик эндопротезов сосудов / В. Т. Минченя, А. Л. Савченко, Н. Т. Минченя // Наука и техника. – 2017. – Т. 16, № 5. – С. 400–406.
6. Разработка методики оценки радиальной жесткости эндоваскулярных стент-графтов / В. Т. Минченя [и др.] // Теоретическая и прикладная механика: междунар. науч.-техн. сб. Минск: БНТУ, 2012. – Вып. 27. – С. 137–141.
7. Ab ovo: factors affecting the radial stiffness of thoracic aorta stent-grafts / I. Yu. Zhuravleva [et al.] // Sovremennye tehnologii v medicine – 2021. – V. 13 (1). – P. 17–26.