

УДК 620.17:669.295:616-77

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА ИЗДЕЛИЙ ИЗ НИТИНОЛА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

Д. Ю. БОГДАН, А. Л. САВЧЕНКО,
В. М. ЛОВШЕНКО, А. А. СУХОДОЛЬСКАЯ
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Нитиноловые сплавы широко применяются при изготовлении самораскрывающихся сосудистых эндопротезов благодаря сочетанию сверхупругости и эффекта памяти формы [1, 2]. Одним из основных параметров, определяющих работоспособность изделий, является температура завершения фазового перехода, поскольку именно она определяет механическое поведение материала в условиях эксплуатации.

На практике температура фазового перехода определяется преимущественно методами дифференциальной сканирующей калориметрии и другими методами термического анализа. Однако применение такого оборудования в условиях серийного производства затруднительно вследствие высокой стоимости оборудования, продолжительности исследований и необходимости подготовки образцов. В связи с этим актуальной является разработка более простой методики, основанной на механических испытаниях готовых изделий.

В работе исследованы стент-элементы и Λ -образные образцы, изготовленные из нитиноловой проволоки Ti–Ni–Cu диаметром 32 (рис. 1) и 40 мм. Испытания проводились на экспериментальной установке, оснащенной климатической камерой, обеспечивающей изменение температуры исследуемых образцов. На каждой температурной ступени определялась механическая жесткость изделия. Экспериментальные результаты показали, что зависимость жесткости от температуры во всех случаях состоит из двух практически линейных участков. Первый соответствует области протекания мартенситно-аустенитного превращения, второй – области полностью сформированного аустенита, где механические характеристики практически стабилизируются.

Для определения температуры фазового перехода предложено выполнять линейную аппроксимацию каждого участка экспериментальной зависимости. Температура пересечения полученных прямых принимается за температуру окончания фазового перехода. Анализ экспериментальных данных показал хорошее совпадение полученных значений с результатами традиционных методов контроля. При этом для определения температуры достаточно ограниченного числа экспериментальных точек, что существенно сокращает продолжительность испытаний.

Предлагаемая методика позволяет отказаться от применения дорогостоящих методов термического анализа при производственном контроле изделий из нитинола, сохраняя достаточную точность определения температуры фазового

перехода. Дополнительным преимуществом является возможность проведения испытаний непосредственно на готовых изделиях либо на технологических образцах без изменения существующего производственного процесса [1].

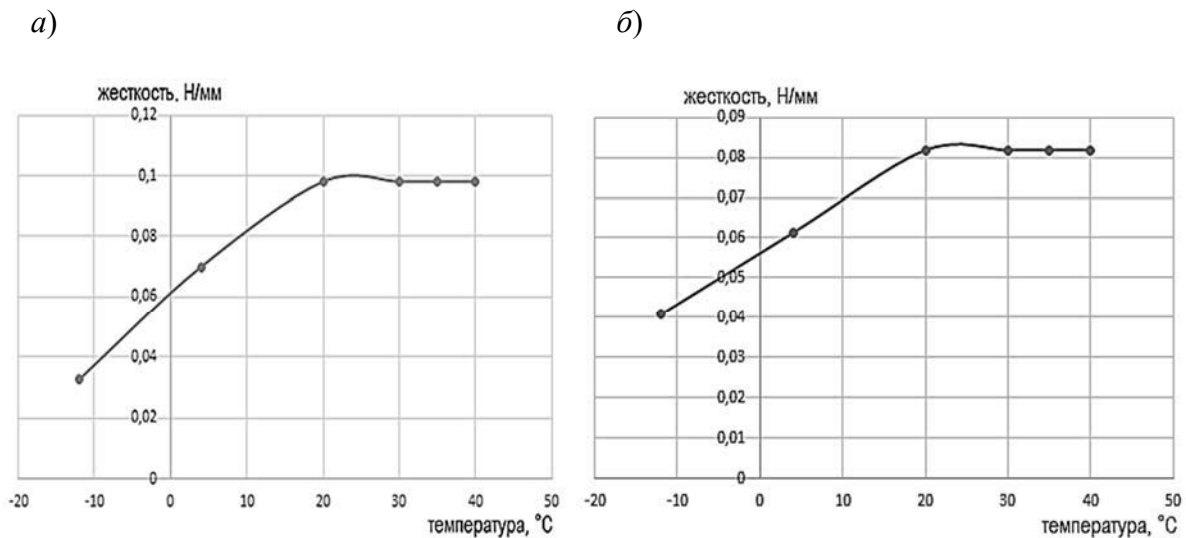


Рис. 1. Зависимости радиальной жёсткости стент-элементов от температуры измерения: а – $\varnothing 32$ мм, режим термообработки 1; б – $\varnothing 32$ мм, режим термообработки 2

Научная новизна работы заключается в разработке способа определения температуры фазового перехода изделий из нитинола по результатам механических испытаний с использованием линейной аппроксимации температурной зависимости жесткости. В отличие от существующих методов, предложенный подход не требует применения специализированного термоаналитического оборудования и обеспечивает возможность оперативного технологического контроля изделий непосредственно в процессе производства. Практическая реализация методики позволяет сократить продолжительность испытаний, уменьшить стоимость контроля и повысить воспроизводимость оценки свойств нитиноловых изделий [1–3].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Savchenko, A. L.** Evaluation of mechanical characteristics of vascular endoprostheses / A. L. Savchenko, V. T. Minchenya, N. T. Minchenya // Science and Technology. – 2017. – Vol. 16, № 5. – P. 400–406.
2. **Jedwab, M. R.** A study of the geometrical and mechanical properties of a self-expanding metallic stent / M. R. Jedwab, C. O. Clerc // Journal of Applied Biomaterials. – 1993. – Vol. 4, № 1. – P. 77–85.
3. **Pelton, A. R.** Fatigue and durability of Nitinol stents / A. R. Pelton // Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials. – 2008. – Vol. 1, № 2. – P. 153–164.