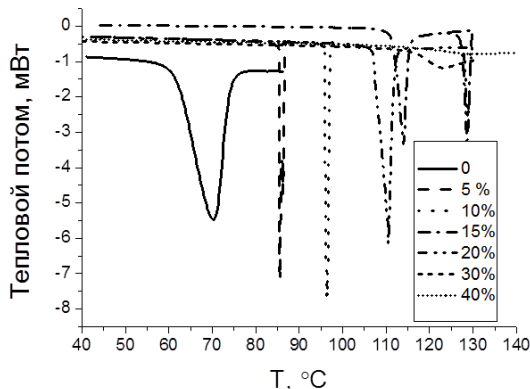
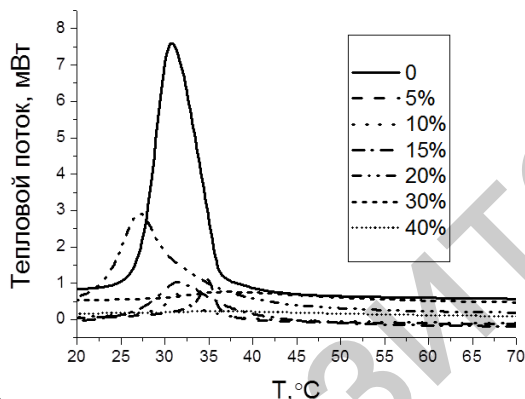


деформация образца до 40 % не вызывает его разрушения.

Анализ температурных зависимостей теплового потока (рисунок 2) показал, что предварительная деформация TiNi образцов приводит к смещению температурных интервалов как прямого, так и обратного фазовых переходов: с увеличением величины деформации TiNi образцов увеличивается значение температур, соответствующих температурным пикам (A_n , A'_n) обратного фазового перехода (нагрев), в то время как при прямом фазовом переходе (охлаждение) температуры пиков поглощения теплоты (M_n) существенно не изменяются (рисунок. 3).



а)



б)

Рисунок 2 – Калориметрические зависимости никелида титана при нагреве (а) и охлаждении (б) после их предварительной деформации

После деформации TiNi образцов на 15 % и более, кинетика обратного фазового перехода

изменяется при нагреве с $B19' \rightarrow B2$ на $B19' \rightarrow R \rightarrow B2$ с образованием промежуточной ромбоэдрической R фазы, в то время как при охлаждении остается прежней $B2 \rightarrow B19'$.

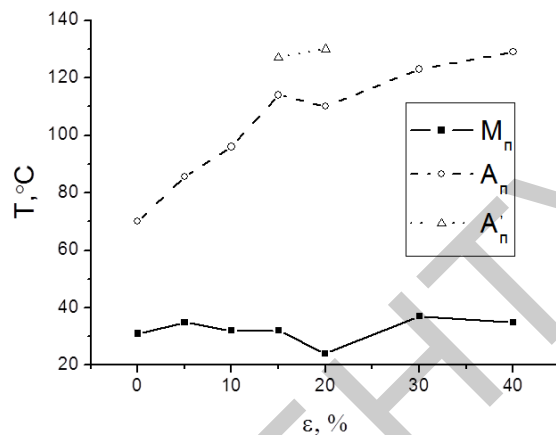


Рисунок 3 – Зависимость характеристических температур фазовых переходов никелида титана от предварительной деформации

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта БРФФИ-РФФИ М № Т17РМ-112.

Литература

1. Ооцука, К. Сплавы с эффектом памяти формы / К. Сумидзу, Ю. Судзуки [и др.] ; под ред. Х. Фунакубо ; пер. с японск. И.И. Дружинина. – М.: Металлургия, 1990. – 224 с.
2. Материалы с эффектом памяти формы: Справ изд.: в 4 т. / под ред. В.А. Лихачева. – СПб.: Изд-во НИИХ СПбГУ, 1998.
3. Гюнтер, В.Э. Медицинские материалы и имплантаты с памятью формы / В.Э. Гюнтер [и др.]. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1998. – 487 с.
4. Shape memory alloys: fundamentals, modeling and applications / V. Brailovskii, S. Prokoshkin, P. Terriault and F. Trochu. – Montreal: ETS Publ., 2003. – 844 p.
5. Никелид титана. Медицинский материал нового поколения / В.Э. Гюнтер [и др.]. – Томск: Изд-во МИЦ, 2006. – 296 с.

УДК 534-16:534-8:621.9.048.6

ВЛИЯНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЛНОВОДОВ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ТРОМБОЭКТОМИИ

Степаненко Д.А., Бунчук К.А., Емельянова А.С., Плескач М.А., Солодкая Н.В.

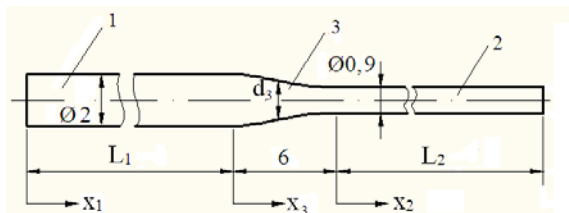
Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

Для ультразвукового разрушения тромбов в кровеносных сосудах (ультразвуковой тромбоэктомии) применяются ступенчатые волноводы с плавными переходными участками между ступенями, обеспечивающие высокий

коэффициент усиления колебаний по амплитуде при малой концентрации напряжений [1]. Авторами разработано несколько методик расчета и проектирования подобных волноводов, в частности, методика, основанная на

использовании метода передаточных матриц [2]. Однако остался нерассмотренным вопрос о влиянии погрешностей изготовления волноводов на их эксплуатационные характеристики, в частности, на резонансные частоты продольных колебаний.

В качестве объекта исследования рассмотрим двухступенчатый волновод, схема конструкции которого приведена на рисунке 1.



1, 2 – ступени волновода, 3 – переходный участок

Рисунок 1 – Схема конструкции волновода для ультразвуковой тромбозектомии

Зависимость диаметра переходного участка d_3 от продольной координаты x_3 задается таблицей 1.

Таблица 1

x_3 , мм	0	1	2	3	4	5	6
d_3 , мм	2,00	1,89	1,62	1,33	1,13	1,00	0,90

Условие резонанса продольных колебаний волновода может быть записано в виде

$$T_{21}(f, L_1, L_2) = 0, \quad (1)$$

где f – частота колебаний, $\mathbf{T}(f, L_1, L_2)$ – передаточная матрица волновода [2], определяемая по формуле

$$\mathbf{T}(f, L_1, L_2) = \mathbf{T}_2(f, L_2)\mathbf{T}_3(f)\mathbf{T}_1(f, L_1),$$

\mathbf{T}_1 , \mathbf{T}_2 – передаточные матрицы ступеней, \mathbf{T}_3 – передаточная матрица переходного участка.

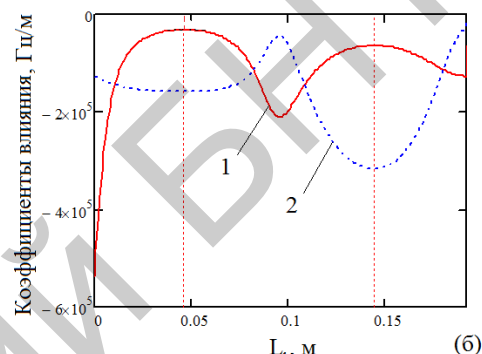
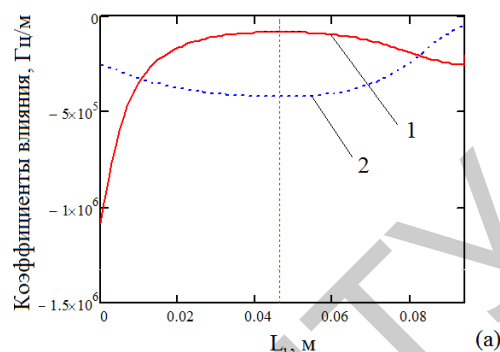
Для оценки влияния погрешностей изготовления волновода ΔL_1 , ΔL_2 на изменение его резонансной частоты $\Delta f_{рез}$ необходимо записать условие резонанса (1) через безразмерные переменные \tilde{f} , \tilde{L}_1 и \tilde{L}_2 , связанные с исходными переменными f , L_1 и L_2 таким образом, что конечным приращениям исходных переменных соответствуют малые приращения безразмерных переменных:

$$\tilde{f} = \frac{f}{f_0}, \quad \tilde{L}_1 = \frac{L_1}{\lambda}, \quad \tilde{L}_2 = \frac{L_2}{\lambda},$$

где $\lambda = \frac{c}{f}$ – длина продольной волны в материале

волновода, c – скорость распространения продольной волны в материале волновода, $f_0 = c/2(L_1 + L_2)$ – резонансная частота основной

моды продольных колебаний волновода постоянного диаметра с длиной $L_1 + L_2$.



1 – для 1-й ступени, 2 – для 2-й ступени

Рисунок 2 – Расчетные кривые зависимости коэффициентов влияния погрешностей от длины L_1 первой ступени волновода: (а) для $n = 1$; (б) для $n = 2$

Приращение передаточной матрицы резонансного волновода при произвольных малых изменениях $\Delta \tilde{f}$, $\Delta \tilde{L}_1$, $\Delta \tilde{L}_2$ безразмерных параметров можно определить путем ее разложения в ряд Тейлора, ограничившись членами первого порядка малости:

$$\begin{aligned} \Delta \mathbf{T}(\tilde{f}_{рез}, \tilde{L}_{1рез}, \tilde{L}_{2рез}) &= \frac{\partial \mathbf{T}}{\partial \tilde{f}} \Big|_{\tilde{f}=\tilde{f}_{рез}, \tilde{L}_1=\tilde{L}_{1рез}, \tilde{L}_2=\tilde{L}_{2рез}} \Delta \tilde{f} + \\ &+ \frac{\partial \mathbf{T}}{\partial \tilde{L}_1} \Big|_{\tilde{f}=\tilde{f}_{рез}, \tilde{L}_1=\tilde{L}_{1рез}, \tilde{L}_2=\tilde{L}_{2рез}} \Delta \tilde{L}_1 + \\ &+ \frac{\partial \mathbf{T}}{\partial \tilde{L}_2} \Big|_{\tilde{f}=\tilde{f}_{рез}, \tilde{L}_1=\tilde{L}_{1рез}, \tilde{L}_2=\tilde{L}_{2рез}} \Delta \tilde{L}_2. \end{aligned} \quad (2)$$

Из условия резонанса (1) и разложения (2) может быть получено следующее выражение, связывающее приращение резонансной частоты продольных колебаний волновода с абсолютными погрешностями его геометрических параметров:

$$\begin{aligned} \Delta f_{рез} &= K_{\Delta f, L_1}(f_{рез}, L_{1рез}, L_{2рез})\Delta L_1 + \\ &+ K_{\Delta f, L_2}(f_{рез}, L_{1рез}, L_{2рез})\Delta L_2, \end{aligned}$$

где коэффициенты влияния погрешностей геометрических параметров волновода на резонансную частоту определяются формулой

$$K_{\Delta f, L_1}(f_{рез}, L_{1рез}, L_{2рез}) = -\frac{f_{рез}}{2(L_{1рез} + L_{2рез})} \times \frac{\left(\frac{\partial \Gamma}{\partial L_1} \Big|_{\tilde{f}=f_{рез}/f_{0рез}, \tilde{L}_1=L_{1рез}/\lambda_{рез}, \tilde{L}_2=L_{2рез}/\lambda_{рез}} \right)_{21}}{\left(\frac{\partial \Gamma}{\partial \tilde{f}} \Big|_{\tilde{f}=f_{рез}/f_{0рез}, \tilde{L}_1=L_{1рез}/\lambda_{рез}, \tilde{L}_2=L_{2рез}/\lambda_{рез}} \right)_{21}}$$

Аналогичные коэффициенты влияния используются в теории измерительных приборов для оценки влияния первичных погрешностей на точность показаний прибора.

В качестве численного примера рассмотрим влияние погрешностей изготовления волновода на резонансную частоту при следующих исходных данных: резонансная частота $f_{рез} = 25$ кГц, скорость звука $c = 4900$ м/с. На рисунке 2 приведены расчетные зависимости коэффициентов влияния погрешностей геометрических параметров волновода на резонансную частоту от длины L_1 первой ступени для мод продольных колебаний с порядками $n = 1$ и $n = 2$.

Длина второй ступени L_2 при заданных резонансной частоте $f_{рез}$ и порядке n моды продольных колебаний связана с длиной первой ступени L_1 однозначной зависимостью, которая описывается условием резонанса (1), в связи с чем коэффициенты влияния погрешностей можно рассматривать как зависящие только от L_1 . Значения длины $L_1 = 46,3$ мм и $L_1 = 144,3$ мм, соответствующие максимальному значению коэффициента усиления, отмечены на рисунке 2 вертикальными линиями. Как видно из рисунка, в указанных точках коэффициент влияния погрешности длины L_1 принимает минимальное по модулю значение, а коэффициент влияния погрешности длины L_2 – максимальное по модулю значение (при $n = 2$ минимальное и максимальное значения понимаются в смысле локальных

экстремумов). При этом независимо от n и L_1 указанные значения отличаются примерно в 4,9 раза. Расчет показывает, что для волноводов с максимальным коэффициентом усиления отношение $K_{\Delta f, L_2}/K_{\Delta f, L_1}$ остается примерно равным 4,9 и при других значениях резонансной частоты: при изменении частоты в диапазоне от 20 до 30 кГц оно изменяется в интервале от 4,893 до 4,912. Из полученного результата следует, что для компенсации изменений резонансной частоты, вызванных малыми технологическими погрешностями размера L_2 второй ступени, может потребоваться значительное (по сравнению с изменением длины L_2) подстроечное изменение размера L_1 первой ступени, в связи с чем размер L_1 выполняется большим расчетного значения $L_{1рез}$: в частности, при технологической погрешности размеров L_1 и L_2 , равной $\pm 0,1$ мм, компенсация изменения резонансной частоты путем подстройки длины первой ступени возможна при условии $L_1 = (L_{1рез} + 0,6) \pm 0,1$.

Таким образом, разработанная методика расчетов позволяет проектировать ультразвуковые волноводы для тромбэктомии с учетом влияния возникающих при их изготовлении технологических погрешностей на резонансную частоту продольных колебаний и анализировать возможность компенсации этого влияния путем подстройки геометрических размеров волновода.

Литература

1. Минченя, В.Т. Перспективы использования гибких ультразвуковых волноводных систем в медицине и технике / В.Т. Минченя, Д.А. Степаненко // Приборы и методы измерений. – 2010. – № 1. – С. 6-16.
2. Исследование продольных колебаний гибких ультразвуковых волноводов с помощью метода передаточных матриц / Д.А. Степаненко [и др.] // Механика машин, механизмов и материалов. – 2011. – № 2 (15). – С. 71-75.

УДК 621.391.1(075.8)

ПРИБОР КОНТРОЛЯ РОЛИКОВ

Есьман Г.А., Новицкий М.В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

Прибор контроля роликов предназначен для контроля прямолинейности образующей (конических и цилиндрических роликов), непостоянства диаметра и угла конуса конических роликов. Применяется в подшипниковой отрасли.

Целью разработки данного прибора является совмещение контроля нескольких параметров на одном устройстве, а также снижение утомляемости оператора.

Прибор оснащен системой передачи данных с измерительных головок на ЭВМ, что обеспечивает автоматический сбор данных контроля. Результат

контроля отображается на мониторе ЭВМ в виде номера группы для сортировки. По результатам контроля происходит разделение роликов на годные и бракованные (дефектные). Годные ролики сортируются по группам, которые указаны в числовой области экрана ЭВМ. Для удобства все данные выводятся в таблице excel.

Прибор для контроля роликов представлен на рисунке 1.

На столе (04) находится измерительное устройство (01). При контроле параметров ролика данные с измерительного устройства (01), через