

DOI: 10.21122/2227-1031-2018-17-1-51-55

УДК 621.79 (075.8)

Определение размерных параметров кольцевого концентратора ультразвуковой системы

Канд. техн. наук, доц. В. П. Луговой¹⁾, инж. И. В. Луговой¹⁾¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)© Белорусский национальный технический университет, 2018
Belarusian National Technical University, 2018

Реферат. Традиционные ультразвуковые системы содержат концентраторы продольного типа для усиления и передачи колебаний инструменту. Наряду с ними в качестве концентраторов ультразвуковых колебаний акустических систем могут быть эффективно использованы упругие кольца с переменной толщиной сечения. Для их практического применения необходима научно обоснованная методика определения геометрических параметров. В статье дано обоснование методу определения размеров кольцевых концентраторов с переменным сечением, которые могут повысить эффективность работы ультразвукового оборудования для выполнения различных технологических задач. Визуальный анализ акустических волн, излучаемых кольцевыми концентраторами, показал, что наиболее интенсивные колебания возбуждаются в наиболее тонких сечениях. Компьютерное моделирование колебаний колец наружным диаметром 50 мм с переменным сечением показало, что наибольшее усиление амплитуды колебаний достигается при определенном соотношении толщин и диаметров кольца. Анализ численных значений коэффициента усиления амплитуды колебаний K_d показал, что существует предельная граница соотношения толщин стенок кольца, которая в свою очередь зависит от соотношения наружного и внутреннего диаметров кольца при определенных значениях эксцентриситета оси отверстия. Количественно соотношение диаметров выражается коэффициентом K_d . Анализ результатов численных расчетов коэффициента усиления амплитуды, выполненных для указанной модели кольца диаметром 50 мм, показал, что это соотношение должно находиться в пределах $1,30 > K_d > 1,15$. Полученные результаты могут быть использованы в ультразвуковых устройствах с кольцевыми концентраторами для выполнения различных технологических задач.

Ключевые слова: ультразвуковая система, кольцевой концентратор, коэффициент усиления амплитуды колебаний, геометрические параметры

Для цитирования: Луговой, В. П. Определение размерных параметров кольцевого концентратора ультразвуковой системы / В. П. Луговой, И. В. Луговой // *Наука и техника*. 2018. Т. 17, № 1. С. 51–55. DOI: 10.21122/2227-1031-2018-17-1-51-55

Determination of Dimensional Parameters for Annular Concentrator of Ultrasonic System

V. P. Lugovoi¹⁾, I. V. Lugovoi¹⁾¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. Conventional ultrasonic systems contain concentrators of longitudinal type to amplify and transfer vibrations to a tool. Along with them, elastic rings with variable cross section thickness can be used effectively as concentrators for ultrasonic vibrations of acoustic systems. Their practical application requires a scientifically substantiated methodology for determination of geometric parameters. The paper provides substantiation of the method used to determine dimensions of annular concentrators with a variable cross section which can enhance effectiveness of the ultrasound equipment while performing various technological tasks. Visual analysis of acoustic waves radiated by annular concentrators has shown that the most intensive vibrations are produced in the most thin sections. Computer simulation of oscillations in rings with an external diameter of 50 mm and a variable cross section has demonstrated that the largest increase of vibration amplitude is achieved

Адрес для переписки

Луговой Вячеслав Петрович
Белорусский национальный технический университет
ул. Я. Коласа, 22,
220013, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 293-91-01
kipp@bntu.by

Address for correspondence

Lugovoi Vyacheslav P.
Belarusian National Technical University
22 Ya. Kolasa str.,
220013, Minsk, Republic of Belarus
Tel: +375 17 293-91-01
kipp@bntu.by

at a certain ratio of ring thicknesses and diameters. An analysis of numerical values for amplification factor of vibrational amplitude K_d has revealed that there is a limit boundary for the ratio of ring wall thicknesses which, in its turn, depends on the ratio of ring outer and inner diameters at certain values of hole axis eccentricity. The ratio of diameters is expressed quantitatively by the coefficient K_d . An analysis of the results concerning numerical calculations of amplitude amplification factor performed for the specified model of the ring having 50 mm diameter have illustrated that this ratio should lie between $1.3 > K_d > 1.15$. The obtained results can be used in ultrasonic devices with annular concentrators in order to perform various technological tasks.

Keywords: ultrasound system, annular concentrator, amplification factor of vibrational amplitude, geometric parameters

For citation: Lugovoi V. P., Lugovoi V. I. (2018) Determination of Dimensional Parameters for Annular Concentrator of Ultrasonic System. *Science and Technique*. 17 (1), 51–55. DOI: 10.21122/2227-1031-2018-17-1-51-55 (in Russian)

Введение

Одно из перспективных направлений развития ультразвуковой техники – совершенствование акустических систем, в частности по применению упругих элементов в качестве резонаторов, концентраторов и инструментов. Достоинством таких систем является возможность использования упругих свойств элементов для накопления и передачи потенциальной энергии рабочему инструменту. Упругие элементы широко используются в механизмах и приборах для различных целей, в том числе для усиления колебаний [1, 2]. Некоторые из них нашли применение в ультразвуковой технике в качестве инструментов для осуществления ряда технологических операций: абразивной обработки хрупких материалов, пластического деформирования пластичных материалов, измерений и т. д. [3, 4]. Известна также акустическая система с упругим элементом в виде трубы с переменной жесткостью, которая является резонатором ультразвуковой системы [5]. Однако вопросам, посвященным применению упругих элементов в качестве концентраторов колебаний, уделено недостаточное внимание. Решение данной проблемы может открыть новые возможности по использованию ультразвуковой технологии в ряде отраслей народного хозяйства, что требует научного обоснования и разработки акустических систем с упругими элементами [6]. В связи с этим авторами проведены теоретические исследования по обоснованию выбора геометрических параметров кольцевых концентраторов, обладающих упругими свойствами.

Анализ влияния размерных параметров кольца на коэффициент усиления амплитуды колебаний

Возможность усиления амплитуды колебаний концентраторами кольцевого типа под-

тверждается результатами визуального анализа фигур Хладни, образующихся при акустическом излучении колец. Для сравнения результатов были исследованы кольцо одной толщины сечения и кольца с переменной толщиной сечения. Все они имели одинаковый наружный диаметр 50 мм и ширину 10 мм. В образцах колец с переменным сечением изменялись размер отверстия d и величина смещения оси этих отверстий относительно оси симметрии кольца e (рис. 1).

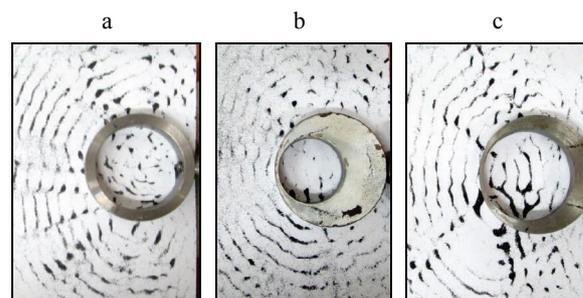


Рис. 1. Фигуры Хладни, образованные акустическим излучением колец: а – толщина сечения кольца 5 мм, $e = 0$; б – $d = 20$ мм, $e = 7$ мм; в – $d = 40$ мм, $e = 4$ мм

Fig. 1. Chladni figures formed by acoustic radiation of rings: а – ring section thickness 5 mm, $e = 0$; б – $d = 20$ mm, $e = 7$ mm; в – $d = 40$ mm, $e = 4$ mm

Номинальная частота ультразвуковых колебаний акустической системы $f = 20$ кГц. На фотографии рис. 1 отчетливо виден волновой характер распределения колебаний в виде повторяющихся узловых линий. В первом случае узловые линии образуются из равномерно расположенных линий по периметру кольца, что указывает на равномерное распределение энергии колебаний по всему периметру кольца. При изменении формы колец наблюдаются усиление изгибных колебаний и концентрация энергии на участках с наиболее тонкими сечениями (рис. 1б, в). Форма распространения волн по периметру круговых колец с переменным сечением свидетельствует об усиле-

нии амплитуды колебаний по мере уменьшения размера толщины кольца. Эпюры распределения амплитуды колебаний представлены на рис. 2.

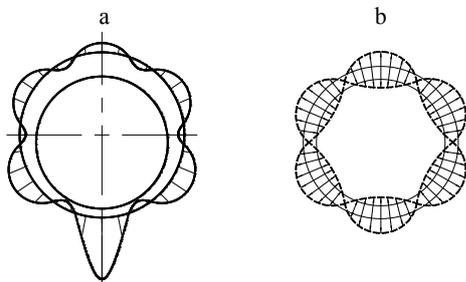


Рис. 2. Эпюры изменения амплитуды колебаний по периметру колец с постоянным (а) и переменным (б) сечениями

Fig. 2. Epure for oscillatory amplitude changes along the perimeter of rings with constant (a) and variable (b) sections

Кольцевой концентратор с переменным сечением преобразует продольные колебания акустической системы в изгибные, которые всегда более эффективны, чем продольные.

Теоретические исследования и анализ влияния двух геометрических параметров на усиление амплитуды колебаний были проведены с использованием компьютерных программ моделированием колебаний в кольцах наружным диаметром 50 мм. Для сравнения изучались кольца с переменным сечением, в которых изменялись диаметр отверстия d и толщина в результате смещения оси отверстия относительно оси кольца. Такое изменение размеров позволило изменить форму кольца при увеличении значения эксцентриситета осей e . Результаты численного расчета амплитуды колебаний в тонком сечении представлены на рис. 3, 4.

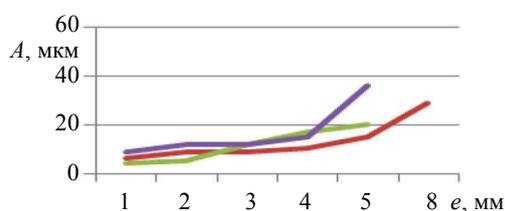


Рис. 3. Зависимость амплитуды колебаний A кольца от величины эксцентриситета e для диаметров отверстия d

Fig. 3. Dependence of ring oscillatory amplitude A on eccentricity value e for hole diameters d

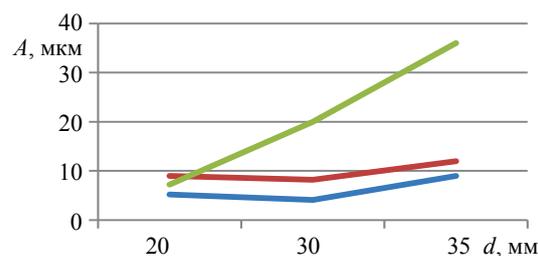


Рис. 4. Зависимость амплитуды колебаний A кольца от внутреннего диаметра кольца d для эксцентриситета e :

Fig. 4. Dependence of ring oscillatory amplitude A on ring internal diameter d for eccentricity e

Анализ результатов показывает, что увеличение амплитуды колебаний на выходе кольцевого концентратора достигается одновременным увеличением размера внутреннего отверстия и эксцентриситета осей окружностей.

Для количественной оценки трансформации колебаний в кольцевом концентраторе введен коэффициент усиления амплитуды колебаний K [7], который рассчитывается как отношение амплитуды колебаний ξ_1 на входе к амплитуде на выходе ξ_0 :

$$K = \xi_1 / \xi_0. \quad (1)$$

Результатами численных расчетов установлено, что коэффициент усиления амплитуды колебаний K в кольцевых концентраторах с переменной толщиной сечения зависит от соотношения толщин сечения, выражаемого коэффициентом

$$N = \frac{t_1}{t_2} = \frac{(D-d)/2+e}{(D-d)/2-e}, \quad (2)$$

где t_1, t_2 – толщина кольца в верхнем и нижнем сечениях; e – эксцентриситет окружностей.

Таким образом, из (1) и (2) следует, что коэффициент усиления амплитуды колебаний зависит от размеров наружного и внутреннего диаметров кольца, а также от величины эксцентриситета осей.

Даная зависимость установлена в результате теоретического анализа для кольца с наружным диаметром 50 мм, диаметр отверстия которого изменялся в пределах 20–40 мм, а эксцентриситет – в пределах 0,5–12,0 мм. Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Зависимость коэффициента N отношения толщин кольца от размера внутреннего диаметра d и эксцентриситета e

Dependence of ring thickness ratio N on internal diameter d and eccentricity e

Эксцентриситет e , мм	Значение коэффициента N при внутреннем диаметре кольца d , мм						
	20	30	35	40	45	47	49
0,5	1,06	1,10	1,14	1,2	1,5	4,0	3,0
1	1,14	1,20	1,30	1,5	2,3	5,0	
2	1,30	1,50	1,70	2,3	9,0		
3	1,50	1,85	2,30	4,0			
4	1,70	2,30	3,20	9,0			
5	2,00	3,00	5,00				
6	2,30	4,00	9,00				
7	2,75	5,60					
8	3,20	9,00					
9	4,00						
10	5,00						
12	9,00						

Из табл. 1 видно, что увеличение внутреннего диаметра кольца даже при незначительном эксцентриситете приводит к резкому повышению численного значения коэффициента N .

По полученным данным был построен график зависимости (рис. 5) предельных значений коэффициента толщин N от внутреннего диаметра кольца d , имеющего наружный диаметр 50 мм.

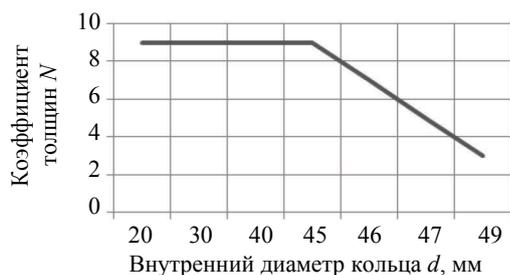


Рис. 5. График предельных значений коэффициента толщин N

Fig. 5. Diagram of limiting values for thickness ratio N

Как видно из рис. 5, оптимальный размер отверстия исследуемого кольца наружным диаметром 50 мм, который позволяет получить предельный коэффициент $N = 9$, примерно 46 мм. Дальнейшее увеличение размера отверстия

приводит к постепенному уменьшению коэффициента N , а следовательно, и коэффициента усиления амплитуды колебаний K . Таким образом, введя еще один коэффициент, равный отношению наружного диаметра кольца D к внутреннему диаметру d , можно установить оптимальные соотношения геометрических параметров кольца

$$K_d = \frac{D}{d}.$$

Анализ полученных результатов показал, что рациональные размеры круглого кольцевого концентратора могут быть назначены при соблюдении условия соотношения толщин $1,30 > K_d > 1,15$.

Полученные результаты предложены в виде новых технических решений для практического применения в ультразвуковых системах технологического назначения [8–10].

ВЫВОДЫ

1. Результаты теоретических расчетов показывают, что кольцевые концентраторы позволяют получить значительное усиление амплитуды колебаний.
2. Предложенная модель кольцевого концентратора с переменным сечением может быть использована в ультразвуковых колебательных системах вместо стержневых концентраторов, а также совместно с ними, что обеспечивает еще большее усиление амплитуды колебаний инструмента.
3. Коэффициент усиления амплитуды колебаний кольцевого концентратора зависит от соотношения диаметров кольца и отверстия, а также от их взаимного расположения.
4. Установлено, что рациональное соотношение наружного и внутреннего диаметров кольца лежит в пределах 1,30–1,15.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреева, Л. Е. Упругие элементы приборов / Л. Е. Андреева. М.: Машиностроение, 1981. 392 с.
2. Попов, Э. А. Упругие накопители энергии в текстильных машинах / Э. А. Попов, Ф. Б. Караев, Л. М. Квартин. М.: МТИ, 1984. 5 с.

3. Ультразвуковой инструмент: а. с. 382439 СССР: МКИ В 06 В3/00 / А. А. Горбунов, В. М. Салтанов, В. Г. Моисеев, Н. В. Савенков, Е. П. Калинин; дата публ.: 23.05.1973.
4. Устройство для ультразвукового полирования: а. с. 854685 СССР: МКИ В 24 В1/04 / В. Ф. Зимовец, П. М. Герасемчук, С. Н. Стручков, С. Д. Вуйчик; дата публ.: 15.08.1981.
5. Ультразвуковая колебательная система с промежуточным резонатором: пат. 2106205 Рос. Федерации: МКИ В 06 В3/00 / В. Н. Аленичев, Л. О. Макаров, А. А. Рухман; дата публ.: 10.03.1998.
6. Марков, А. И. Ультразвуковая обработка материалов / А. И. Марков. М.: Машиностроение, 1980. 237 с.
7. Разработка и исследование нового типа концентраторов ультразвуковых колебаний на основе кольцевых упругих элементов / Д. А. Степаненко [и др.] // Материалы. Технологии. Инструменты. 2013. Т. 18, № 2. С. 90–94.
8. Ультразвуковой инструмент для обработки или изменения детали: пат. 19219 Респ. Беларусь: МПК В 06В 1/00 / И. В. Луговой, В. Т. Минченя, В. П. Луговой; дата публ. 30.06.2015.
9. Ультразвуковой инструмент для обработки отверстий: пат. 8169 Респ. Беларусь: МПК В 24 В1/04 / И. В. Луговой, В. Т. Минченя, В. П. Луговой; дата публ.: 30.04.2012.
10. Устройство для ультразвуковой обработки детали: пат. 19108 Респ. Беларусь: МПК В 06В 1/00 / И. В. Луговой, В. Т. Минченя, В. П. Луговой; дата публ.: 30.04.2015.

Поступила 02.05.2017

Подписана в печать 27.07.2017

Опубликована онлайн 29.01.2018

REFERENCES

1. Andreeva L. E. (1981) *Elastic Elements of Instruments*. Moscow, Mashinostroenie Publ. 392 (in Russian).
2. Popov E. A., Karaev F. B., Kvartin L. M. (1984) *Elastic Energy Storage System in Textile Machines*. Moscow, Moscow Technological Institute. 5 (in Russian).
3. Gorbunov A. A., Saltanov V. M., Moiseev V. G., Savenkov N. V., Kalinin E. P. (1973) *Ultrasonic Tool*. Inventor's Certificate USSR No 382439 (in Russian).
4. Zimovets V. F., Gerasimchuk P. M., Struchkov S. N., Wojcik S. D. (1981) *Device for Ultrasonic Polishing*. Inventor's Certificate USSR No 854685 (in Russian).
5. Alenichev V. N., Makarov L. O., Rukhman A. A. (1998) *Ultrasound Vibration System with Intermediate Resonator*. Patent Russian Federation No 2106205 (in Russian).
6. Markov A. I. (1980) *Ultrasonic Treatment of Materials*. Moscow, Mashinostroenie Publ. 237 (in Russian).
7. Stepanenko D. A., Minchenya V. T., Lugovoi V. P., Lugovoi I. V. (2013) Development and Research of New Ultrasonic Vibration Concentrators on the Basis of Ring Elastic Elements. *Materialy. Tekhnologii. Instrumenty* [Materials. Technologies. Tools], 18 (2), 90–94 (in Russian).
8. Lugovoi I. V., Minchenia V. T., Lugovoi V. P. (2015) *Ultrasonic tool for Processing or Measurement of Part*. Patent of the Republic of Belarus No 19219 (in Russian).
9. Lugovoi I. V., Minchenia V. T., Lugovoi V. P. (2012) *Ultrasonic Tool for Hole Processing*. Patent of the Republic of Belarus No 8169 (in Russian).
10. Lugovoi I. V., Minchenia V. T., Lugovoi V. P. (2015) *Device for Ultrasonic Treatment of a Part*. Patent of the Republic of Belarus No 19108 (in Russian).

Received: 02.05.2017

Accepted: 27.07.2017

Published online: 29.01.2018