

УДК 6П5.8

ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОЛЬЦЕВЫХ КОНЦЕНТРАТОРОВ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ СИСТЕМ

Луговой В.П.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Известно, что повышение производительности ультразвуковой при прошивании отверстий в хрупких материалах достигается выбором благоприятных условий и режимов обработки за счет изменений технологических и акустических факторов [1]. Однако в последнее десятилетие обращается внимание еще на один фактор, который позволит интенсифицировать ультразвуковое воздействие на объекты производства. К этому фактору относится конструктивное изменение акустической системы, которое позволит регулировать и управлять модулированием колебаний акустической системы и, тем самым, создать условия для образования дополнительной энергии в рабочей части колебательной системы. Источником дополнительной энергии может служить промежуточный элемент акустической системы, расположенный перед рабочим инструментом, в качестве которого может быть использован волновод-концентратор. Наиболее подходящим для этой цели видом пружин являются плоские пружины, выполненные в форме круглого кольца и кольца с плоскопараллельными сторонами [2,3] с размерными параметрами, приведенными на рисунке 1.

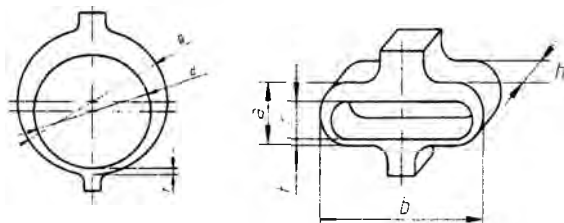


Рисунок 1 – Упругие кольцевые концентраторы акустической системы

Причем для повышения эффективности работы колебательной системы упругий элемент выполнен в виде кольца с переменным сечением, что позволяет использовать такую и в качестве концентратора колебаний, преобразующим поршневые колебания волновода продольных колебаний в изгибные колебания кольца. Жесткость поперечного сечения кольца в любом произвольном сечении зависит от переменной толщины $H(x)$ и наибольшие упругие деформации при действии сил возникают в сечениях с наименьшей жесткостью кольца, т.е. в зоне с минимальной толщиной.

Известно [4], что потенциальная энергия, накопленная в пружине зависит от упругих

свойств материала и величины упругого сжатия пружин u и выражается формулой

$$П = cu^2/2,$$

где c - коэффициент упругости. u перемещение (сжатие) пружины. Линейное перемещение u складывается из двух составляющих компонентов: статического перемещения u_c от действия сжимающей силы P и динамического перемещения u_d , вызванного действием периодических сил P_d

$$u = u_c + u_d.$$

Первая составляющая, вызванная действием статической силы, определяет величину накопленной пружинной энергии.

Упругие деформации в круговом кольце с переменным сечением [5] зависят от жесткости поперечного сечения и геометрических размеров кольца

$$u = \frac{3Pb^2}{Ebc^3} \int_0^\pi \left[\sin \varphi - \frac{4\sqrt{1-\frac{t^2}{c^2}}}{\pi(2+\frac{t^2}{c^2})} \right] \sqrt{\frac{a^2}{b^2} \cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi} \frac{d\varphi}{(1-\frac{t}{c} \cos \varphi)^3}$$

где t - толщина поперечного сечения кольца, E - жесткость сечения, a и b - размеры полуосей кольца, c - величина эксцентриситета эллипсов наружного и внутреннего контура, P - статическое усилие.

Кольцевые концентраторы были изготовлены из стали 45, что обусловлено требованиями, которые предъявляют к конструкциям волноводов ультразвуковых систем: прочность, упругость, высокие акустические характеристики.

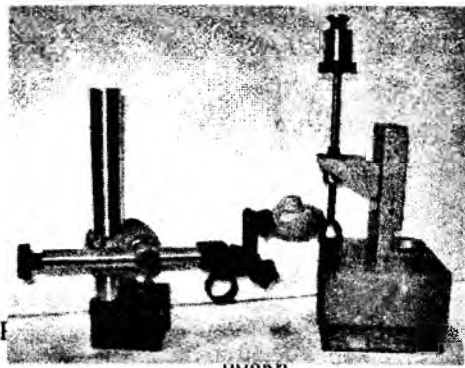
Для оценки характера её влияния и величины были произведены исследования на экспериментальной установке, фотография которой представлена на рисунке 2. Она состоит из массивного основания, на который жестко крепится кольцевой концентратор. К кольцу сверху прикладывался груз, имитирующий статическую нагрузку.

Статические деформации кольца измерялись микрометром с точностью 1 мкм. Для исследований были использованы три разновидности круглых колец с переменным сечением с размерами (в мм):

$$1 - D_1=50, d_1=40, t_1=2,5;$$

$$2 - D_2=45, d_2=35, t_2=2,5;$$

$$3 - D_3=37, d_3=27, t_3=2,25.$$



Результаты измерений приведены на рисунке 3.

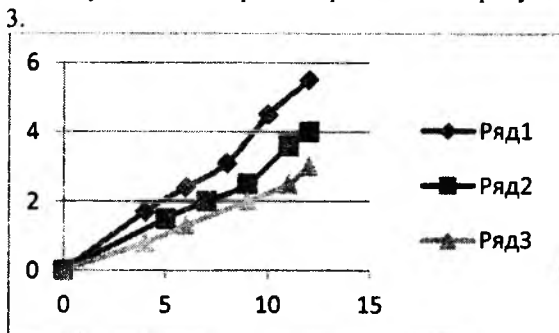


Рисунок 3 – Упругая характеристика круглого кольца с переменным сечением

На рисунке 4 приведены результаты измерений упругих характеристик колец второго типа

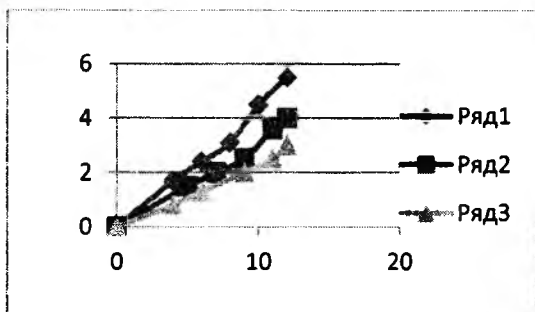


Рисунок 4 – Упругая характеристика кольца с параллельными сторонами (размеры в мм)

- 1 ряд - $b_1=50$ $a_1=10$ $c_1=16$ $t_1=1$
- 2 ряд - $b_2=30$ $a_2=14$ $c_2=6,5$ $t_2=2$
- 3 ряд - $b_3=30$ $a_3=14$ $c_3=7,5$ $t_3=1,5$

Полученные графики во всех случаях наглядно демонстрируют пропорциональную зависимость между статической нагрузкой и упругой деформацией. Видно, что увеличение диаметра и уменьшение толщины поперечного сечения, которые приводят к снижению жесткости кольца, сопровождаются увеличением величины упругой деформации.

Аналогичные зависимости были получены при измерении статических упругих деформаций колец с плоскопараллельными сторонами.

Результаты экспериментальных исследований хорошо согласуются с результатами теоретических расчетов и указывают на доминирующее влияние геометрических параметров кольцевых концентраторов на их упругие характеристики.

Таким образом, новый тип концентраторов, обладающих упругими свойствами, по своим техническим характеристикам превосходят традиционные поршневые ультразвуковые системы.

Применение упругих концентраторов при обработке хрупких материалов позволяет обеспечить виброударный режим работы инструмента и создать благоприятные условия для обратотки хрупких материалов

1. Волосатов, В.А. Ультразвуковая обработка / В.А. Волосатов // Лениздат, 1973. – 247 с.
2. Пат. 8169 РБ, МПК В24В 1/04, В06В 1/00. Ультразвуковой инструмент для обработки отверстий / Луговой И.В., Минченя В.Т., Луговой В.П.; номер заявки и 20110701 заявл. 16.09.11; опубл. 16.09.2012,
3. Пат. 8459 РБ, МПК В06В 3/00. Устройство для ультразвуковой обработки / Луговой И. В., Минченя В. Т., Луговой В. П.; номер заявки и 20120039 заявл. 16.01.12; опубл. 16.01.2012.
4. Андреева, Л.Е. Упругие элементы приборов/ Л.Е.Андреева. - М.: Машиностроение, 1981. – 392с.
5. Босаков С.В. К определению перемещений в упругом эллиптическом кольце / С.В. Босаков, И.В. Луговой // Наука и техника. - БНТУ, - 2013 №3. - с.59-63.