

## ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НОЖА ДЛЯ СИСТЕМ УЛЬТРАЗВУКОВОГО РЕЗА

<sup>1</sup>Луцко В.Ф., <sup>1</sup>Рубаник В.В., <sup>1</sup>Кругляшов А. А. <sup>1</sup>Лабецкий В.С., <sup>2</sup>Казьмин А.А.

<sup>1</sup>ГНУ «Институт технической акустики НАН Беларуси», пр-т Генерала Людникова, 13, 210009, г. Витебск, Беларусь.

<sup>2</sup> УО «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы», ул. Ожешко, 22, 230023, г. Гродно, Беларусь  
(lutsko\_v@mail.ru)

Успешное применение ультразвуковой техники и технологии предполагает использование сложных ультразвуковых систем, проектирование и изготовление которых представляет трудоемкую задачу. В частности, высокие требования предъявляются к акустическим системам ультразвукового реза полотно автомобильных шин, которые должны обеспечивать амплитуду механических смещений режущей кромки ножа до 100 мкм. Ультразвуковая резка отличается от обычной тем, что наряду с поступательным движением ножа в нем возбуждаются ультразвуковые колебания [1]. Типичная ультразвуковая система реза (рис.1) включает в себя четыре основных компонента: ультразвуковой генератор (не показан), пьезоэлектрический преобразователь 1, бустер 2 и ультразвуковой нож 3 резонансных размеров. Ультразвуковой генератор представляет собой электронное устройство, которое трансформирует стандартное линейное напряжение 220 В переменного тока частотой 50 Гц в высокочастотные колебания. Ультразвуковой преобразователь представляет собой электромеханическое устройство, которое преобразует полученные высокочастотные электрические колебания от генератора, например, 20 кГц, в механические колебания той же частоты. Бустер представляет собой металлический волновод - концентратор, который увеличивает амплитуду механических колебаний ультразвукового ножа. Важнейший элемент системы – ультразвуковой нож, который выполняет резку заготовки полотна шин.

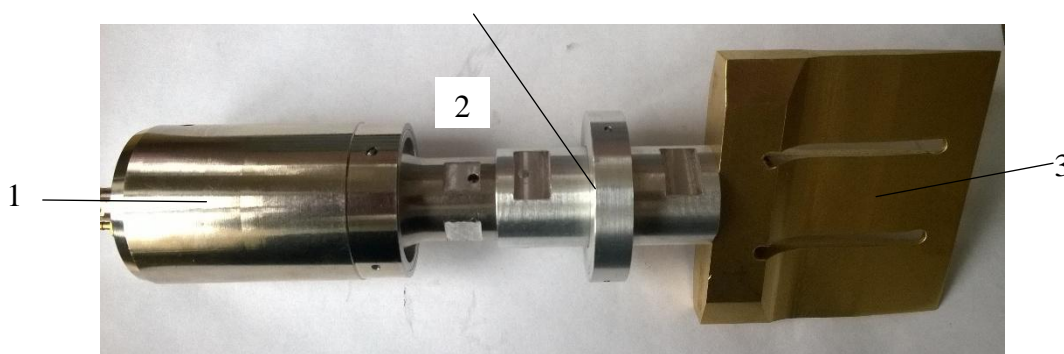


Рисунок 1 - Ультразвуковая система реза: 1 - пьезоэлектрический преобразователь, 2 – бустер, 3 – ультразвуковой нож

Ультразвуковой нож является единственной частью системы, которая уникальна для каждого процесса и обычно предназначен для работы на продольной моде колебаний в диапазоне частот 20-40 кГц. Чтобы уменьшить потери энергии и неравномерное распределение амплитуды колебаний на режущей кромке, вызванные поперечными колебаниями в направлении ширины ультразвукового ножа, в нем выполняют щели [3]. Как правило, ножи изготавливаются из титановых сплавов, которые имеют высокую усталостную прочность и низкие акустические потери.

Одной из важных характеристик конструкции ножа является резонансная частота колебаний. Резонансная частота волновода, имеющего простую геометрическую форму, может быть определена аналитически. Однако сложная геометрия ультразвукового ножа не позволяет произвести такой расчет.

Для эффективного резания режущая кромка лезвия должна быть тонкой. Как следствие, из-за высоких знакопеременных напряжений и малого поперечного сечения в материале ножа образуются трещины, приводящие к его поломке. Поэтому

геометрия и форма ножа должны быть очень тщательно разработаны, чтобы обеспечить ему высокую амплитуду колебаний и долговечность.

Настоящая работа посвящена определению методом конечных элементов с помощью программного комплекса ANSYS резонансной частоты колебаний ультразвукового ножа и места расположения максимального напряжения на режущем лезвии с целью повышения его эксплуатационных характеристик. При этом не учитывалось нелинейное взаимодействие волн с неосновными модами колебаний. Также не учитываются при расчете резонансных частот внутренние потери в системе.

В качестве материала ножа был выбран титановый сплав ВТ6 плотностью  $\rho=4,5 \text{ г/см}^3$ , модулем упругости  $E=113 \text{ Гпа}$  и коэффициентом Пуассона  $\mu=0,34$ . Возбуждающая сила, имитирующая работу пьезокерамики, приложенная к режущей кромке ножа равнялась  $100 \text{ Н}$ . Выбранный заранее предполагаемый участок частоты для возбуждающей силы, на котором проводили расчёт амплитудно частотной и фазочастотной характеристик, а также напряжений, находился в диапазоне  $38 - 41 \text{ кГц}$ . Стандартное окружение среды - воздух.

На рис.2 показаны результаты расчета вышеуказанных частотных характеристик ряда мод в заданном диапазоне частот для ультразвукового ножа. Резонансная частота ножа  $40700 \text{ Гц}$  соответствует наибольшему значению амплитуды колебаний на графике амплитудно частотной характеристики и в месте, где происходит переход фазы  $0^\circ$  в  $180^\circ$  или наоборот на графике фазочастотной характеристики.

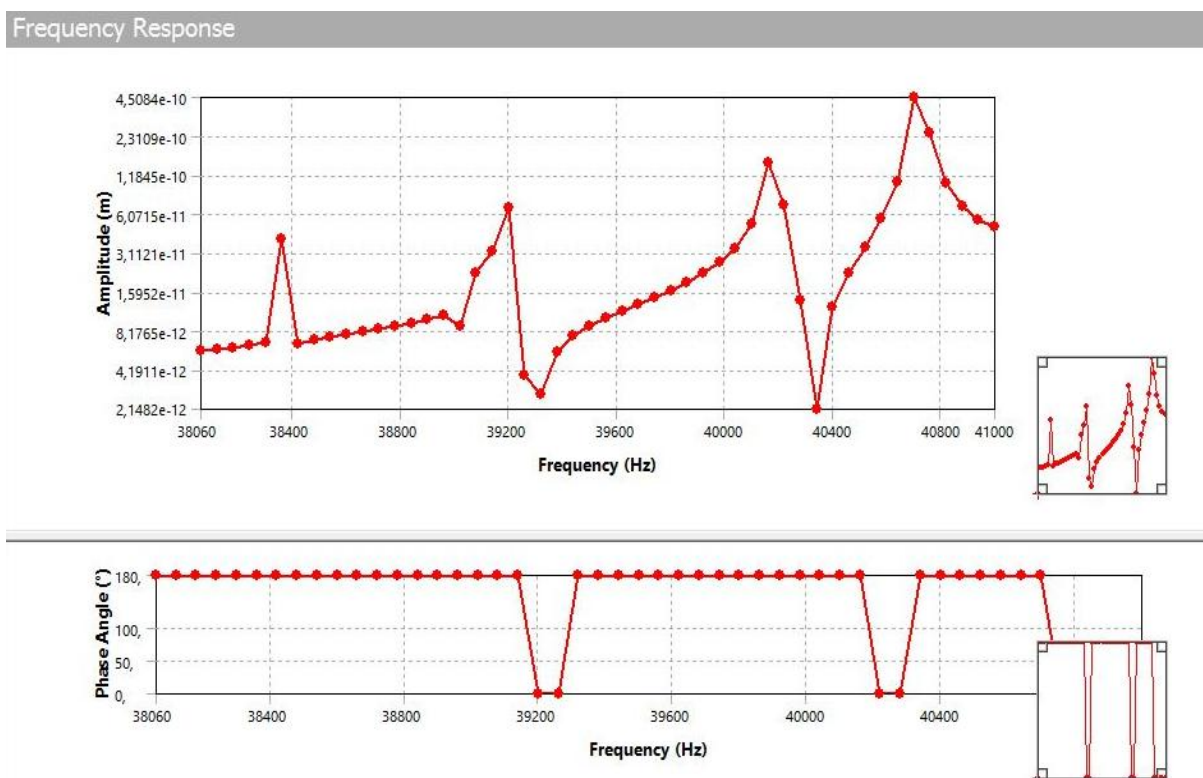


Рисунок 2 - Амплитудно частотная и фазочастотная характеристики ультразвукового ножа

На рис. 3 представлена фотография ножа (рис.3 а) с образовавшейся на нем трещиной от воздействия небольшого цикла ультразвуковых колебаний (знакопеременных напряжений) и модель распределения напряжений в ноже (рис. 3 б), полученная методом конечных элементов.

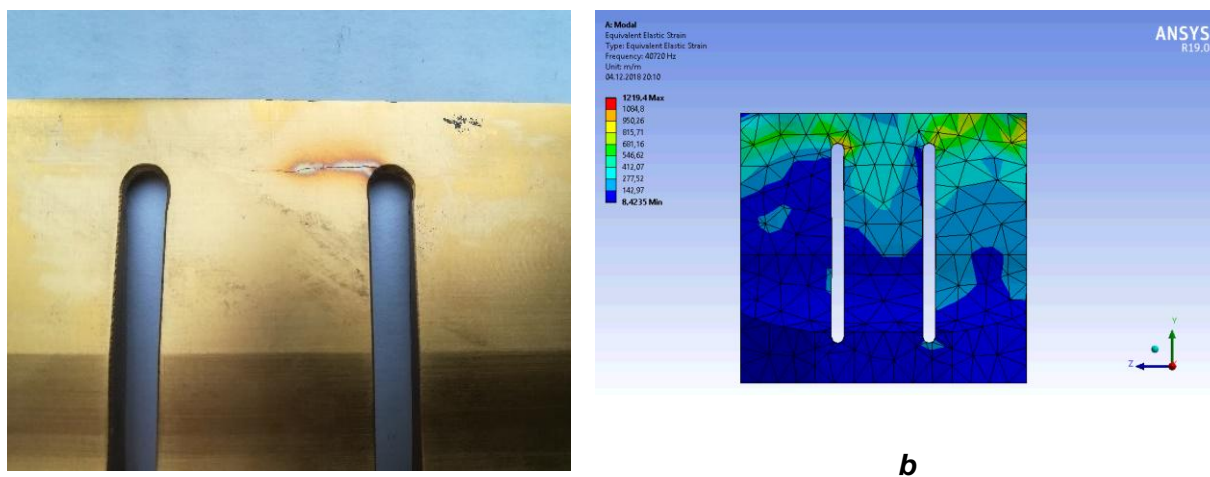


Рисунок 3- Ультразвуковой нож; **a**- фотография лезвия ножа с трещиной, **b**- модель распределени механических напряжений в ноже

Как видно, место расположения трещины на режущей кромке ножа (рис. 3 а) соответствует максимальным напряжениям (рис. 3 б) на лезвии ножа, полученным методом конечных элементов. Очевидно, что в этом случае, необходимо вместо титанового сплава ВТ6 выбрать другой сплав с более высокими прочностными характеристиками, материал которого сможет выдерживать длительное воздействие ультразвуковых колебаний, либо внести изменения в геометрию ножа для снижения механических напряжений, приводящих к возникновению и развитию трещин.

#### Литература

1. Schneider, Y., Zahn, S., and Rohm, H. (2011). Ultrasonic cutting of foods. In *Ultrasound Technologies for Food and Bioprocessing*, (eds.) Feng, H., Barbosa, G.V., Weiss, J. Springer, New York, NY.
2. . A. V. Stepanenko, H. Kim and P. P. Prokhorenko, Theory and Calculation of an Ultrasonic Waveguide with a Wide Output-Cross-Section, *Russian Ultrasonics*, pp 178-182, January 1979.
3. А. В. Абрамова. Анализ методов расчета и конструирования волноводных систем для ультразвуковых установок технологического назначения // *Материалы. Технологии. Инструменты*. – 2012. – т. 17. - №3 – С. 90-96.