

## ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ СИСТЕМ РЕЗА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА АВТОМАБИЛЬНЫХ ШИН

В.Ф.Луцко<sup>1+</sup>, В.В. Рубаник<sup>1</sup>, А.А. Казьмин<sup>2</sup>, О.В. Кимстач<sup>1</sup>

<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.

Ультразвуковые технологии, основанные на использовании энергии ультразвука, заняли прочное место среди высоких технологий, так как позволяют интенсифицировать и усовершенствовать большое количество технологических процессов при помощи оборудования, которое не требует специальных условий применения, характеризуется небольшими массогабаритными показателями, малым энергопотреблением и достаточно высоким КПД. Несмотря на эти успехи, по-прежнему существует большое количество высокопроизводительных ультразвуковых технологий, которые не получили широкого распространения. Часто причиной этому является незнание фундаментальной механики ультразвуковых акустических систем и, как следствие, трудности в проектировании таких систем. Успешное применение ультразвуковой техники и технологии требует использования сложных ультразвуковых систем, проектирование которых является достаточно трудной задачей. Исследования, представленные в этой статье, помогут получить фундаментальную информацию о характере динамики мощных ультразвуковых систем и, следовательно, оказать помощь в их проектировании на примере разработки системы ультразвукового реза.

Среди всего спектра применений мощного ультразвука наиболее высокие требования предъявляются к системам ультразвукового реза полуфабрикатов для сборки автомобильных шин. В этом случае, применение ультразвука - это единственное возможное решение поставленной производственной задачи. Ультразвуковое резание отличается от традиционного наложением на поступательное движения лезвийного инструмента (ножа) колебательного движения, создаваемого ультразвуком. В результате применения ультразвука происходит уменьшение силы резания в 3÷5 раз, что приводит к улучшению геометрии и качества поверхностей [1].

Типичная ультразвуковая система реза (см. рис. 1) включает в себя четыре основных компонента: источник питания 1, пьезоэлектрический преобразователь 2, бустер 3 и излучатель - ультразвуковой нож 4. Ультразвуковой источник питания (генератор) представляет собой электронное устройство, которое преобразует стандартное напряжение сети переменного тока 50 Гц в высокочастотную электрическую энергию. Ультразвуковой преобразователь представляет собой электромеханическое устройство, которое получает от генератора высокочастотную электрическую энергию, например, частотой 40 кГц и преобразует ее посредством пьезокерамических элементов в высокочастотные механические колебания той же частоты. Бустер увеличивает амплитуду смещения этих колебаний до заданной величины и передает их на ультразвуковой нож. Бустер разработан так, что в узловой плоскости, где стоячая волна имеет минимальную амплитуду смещения, с помощью монтажного узла осуществляется его крепление. Ультразвуковой нож выполняет фактическое резание и имеет несколько функций. Первая функция – передача ультразвуковой энергии колебаний в зону резания через прямой механический контакт и локализация энергии в этой области. Вторая функция – увеличение амплитуды колебаний лезвия ножа, исходя из требований технологического процесса резания. Увеличение амплитуды колебаний может быть достигнуто за счет изменения размеров

и формы поперечного сечения излучателей по определенному закону. Третья функция – передача усилия резания на полотно автомобильной шины.



Рисунок 1 - Ультразвуковая система реза: 1- электронный генератор, 2 – пьезоэлектрический преобразователь, 3 – бустер, 4 – ультразвуковой нож

Конструктивные элементы ультразвуковой системы реза различны по своему функциональному назначению и соответственно различаются по используемым для их изготовления материалам, однако есть и некоторые общие требования, предъявляемые к ним. К таким общим требованиям относятся малые акустические потери (малое затухание колебаний) и высокая усталостная прочность. Очевидно, что из всех элементов ультразвуковой системы реза наибольшие знакопеременные динамические напряжения испытывает материал ультразвукового ножа. По совокупности требований, к которым относятся: наименьший коэффициент потерь, высокие прочностные показатели при динамических нагрузках, стабильность свойств при изменении температурного режима, стоимость и дефицитность материала, обрабатываемость на металлорежущем оборудовании, наиболее подходящим материалом для ножей являются высокопрочные титановые сплавы. К тому же, используя волноводы из титановых сплавов, можно получить наиболее высокую амплитуду на режущей кромке ножа. Согласно экспериментальным данным при длительной работе она может в 2 раза превышать амплитуду колебаний из высокопрочных сталей [2].

Одной из наиболее сложных задач является проектирование ультразвуковых ножей, протяженность рабочей поверхности которых существенно превышает половину длины продольной волны материала ножа. Это связано с возникновением в ноже поперечных волн, что приводит к неравномерному распределению амплитуды смещения вдоль режущей кромки ножа. Одним из возможных путей решения этой задачи является создание с помощью ряда узких щелей (см. рис. 1, поз. 4), перпендикулярных излучающей кромке, межщелевых сегментов шириной  $h < \lambda/3$ , где  $\lambda$  – длина продольной волны в материале излучателя [3]. Щели и плечи, включая утолщение сверху и коническая форма ножа, необходимы для достижения равномерно высокой амплитуды на режущей кромке.

Для испытания ультразвуковых систем реза был спроектирован и изготовлен специальный стенд пневматического действия (см. рис.2). Стенд работает следующим образом. Нагнетаемый компрессором 1 сжатый воздух через регулятор давления 2 попадает в пневмодрессель 3. Регулятор давления понижает давление воздуха до требуемого уровня и постоянно поддерживает его на этом уровне, а пневмодрессель задает необходимую скорость подачи воздуха в пневмосистему. Сжатый воздух подается на пневмораспределительный клапан 4, который открывает и закрывает доступ воздуха в полости пневмоцилиндра 5. Давление воздуха в пневмоцилиндре фиксируется манометром 6. При подаче сжатого воздуха в одну из полостей цилиндра

и соединения другой полости с атмосферой, поршень вместе со штоком перемещается, создавая толкающее или тянущее усилие на каретку 7 механизма возвратно поступательного перемещения. Под воздействием магнитного поля поршня замыкается внутренний контакт магнитного датчика положения (не показан), через который подается электрический сигнал в цепь управления микроконтроллера электронного генератора 8. От генератора электрические колебания частотой  $40,0 \pm 2,5\%$  кГц подаются на ультразвуковую систему реза, закрепленную на каретке. Входящий в состав системы реза пьезокерамический преобразователь 9 преобразовывает электрические колебания в механические колебания той же частоты, которые с помощью бустера 10 передаются на ультразвуковой нож 11. Лезвие последнего воздействует на разрезаемый материал 12.

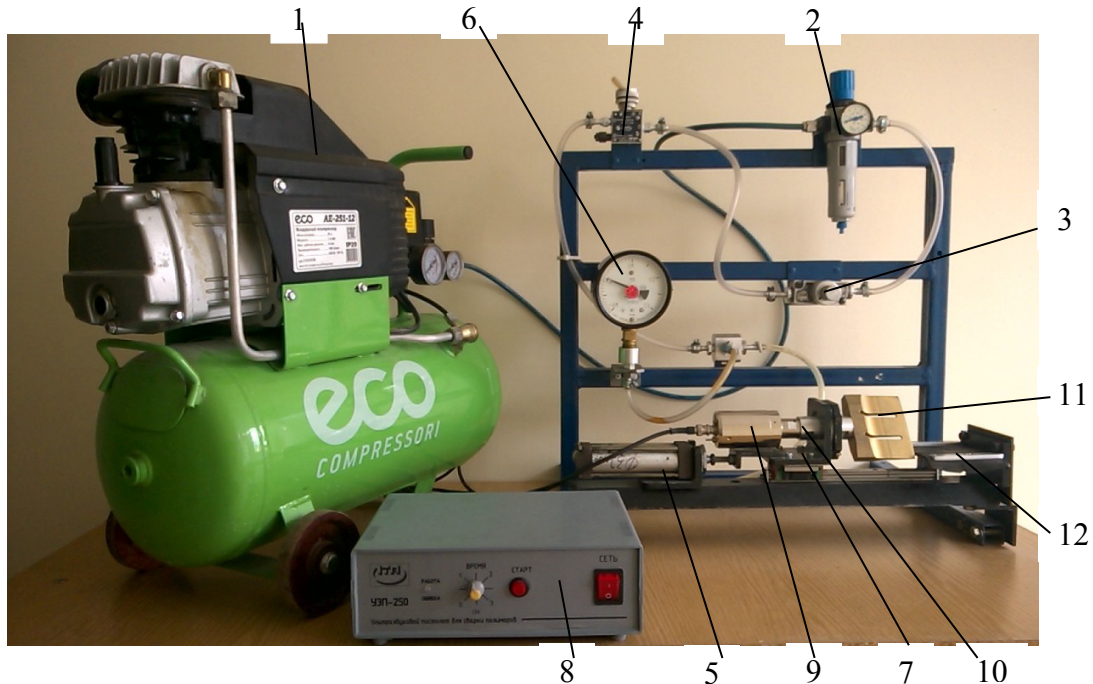


Рисунок 2 - Стенд для испытаний ультразвуковых систем реза.

Изменяя в пневмосистеме испытательного стенда давление и скорость подачи воздуха можно уменьшать или увеличивать соответственно усилие и скорость резания. Испытательный стенд позволяет также исследовать влияние на процесс ультразвукового резания амплитуды смещения, частоты колебаний режущей кромки ножа и его геометрии.

Разработанное оборудование используется при проектировании и изготовлении ультразвуковых систем для производства автомобильных шин на ОАО «Белшина».

#### Литература

1. A. Smith, A. Nurse, G. Graham, M. Lucas, "Ultrasonic cutting—a fracture mechanics model", *Ultrasonics*, vol. 34, 1996, pp. 197-203.
2. Волков С.С., Черняк Б.Я. Сварка пластмасс ультразвуком.. М.: Химия, 1986. 254с.
3. U.S. Pat. No. 3,113,225. Cl. 310—26, Ultrasonic Vibration Generator/ Claus Kleesattel, Forest Hills, Lewis Balamuth, Arthur Kuris; Assignee: Cavitron Ultrasonics Inc - No. 35,057 7 Appl. June 9, 1960; Date of Patent Dec. 3, 1963.