

УНИВЕРСАЛЬНАЯ УЛЬТРАЗВУКОВАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ РАЗМЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ХРУПКИХ И ОСОБО ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ.

В. Н. Хмелев (к.т.н.), С.Н. Цыганок, Р.В. Барсуков, И. И. Савин, Е. В. Чипурин.

Бийский технологический институт

Алтайского государственного технического университета, Бийск, Россия

Аннотация – Работа посвящена созданию ультразвуковой установки для обработки хрупких твердых материалов. Предложены и разработаны конструкции ультразвуковых сменных концентраторов и рабочих инструментов, позволивших расширить функциональные возможности ультразвукового оборудования для размерной обработки.

Abstract – This article is devoted to development of ultrasonic device for hard and brittle materials processing. The constructions of ultrasonic transducers and changeable working tools are offered and developed. It allows to extend ultrasonic equipment functionality for hard and brittle materials processing.

I. ВВЕДЕНИЕ.

Широкому распространению хрупких и особо твердых материалов, таких как стекло, полупроводниковые материалы, ферриты, керамики, препятствует невозможность их механической обработки (в частности, выполнения отверстий заданного диаметра или профиля) традиционными методами. Используемые в настоящее время для обработки таких материалов электрохимический, электроэрозионный и электроннолучевой способы не позволяют решить проблемы, поскольку пригодны для обработки только электропроводящих непрозрачных материалов, характеризуются очень высокой энергоемкостью процесса, не обеспечивают необходимой точности обработки. Сложившаяся ситуация стимулирует развитие новых высокоэффективных способов обработки хрупких и особо твердых материалов. Одним из наиболее эффективных и перспективных способов обработки хрупких и особо твердых материалов является ультразвуковая размерная обработка.

II. УЛЬТРАЗВУКОВАЯ РАЗМЕРНАЯ ОБРАБОТКА.

Основное достоинство ультразвукового способа размерной обработки, развиваемого в лаборатории акустических процессов и аппаратов Бийского технологического института [1] заключается в невысокой энергоемкости процесса (не превышающей энергоемкости традиционной металлообработки), возможности обработки практически любых хрупких и особо твердых материалов, а так же в отсутствии после обработки остаточных напряжений, приводящих при использовании других способов к образованию трещин на обрабатываемой поверхности.

Ультразвуковым способом эффективно обрабатываются такие материалы, как - агат, алебастр, алмаз, гипс, германий, гранит, графит, карбид бора, кварц, керамика, корунд, кремний, мрамор, нефрит, перламутр, рубин, сапфир, стекло, твердые сплавы, термокорунд, фарфор, фаянс, ферриты, хрусталь, яшма и многие другие.

Технология ультразвуковой обработки заключается в подаче абразивной суспензии в рабочую зону, т.е. пространство между колеблющимся с высокой частотой торцом рабочего инструмента и поверхностью обрабатываемого материала. Зерна абразива под действием ударов колеблющегося инструмента, ударяют по поверхности обрабатываемого материала и осуществляют его разрушение.

Применение ультразвуковых колебаний позволяет интенсифицировать процесс хрупкого разрушения обрабатываемого материала. В качестве абразивного материала обычно используются карбид бора или карбид кремния, в качестве жидкости - вода. Вследствие воздействия частичек абразива на поверхность рабочего инструмента происходит его разрушение. Для уменьшения износа рабочего инструмента его обычно выполняют из вязких материалов, не поддающихся сколам под действием ударных нагрузок.

Частицы абразива под действием ударов раскалываются. Поэтому, в зону обработки непрерывно подается абразивная суспензия, несущая зерна свежего абразива и удаляющая частицы снятого материала и размельченный абразив. Подача рабочего инструмента в направлении колебаний обеспечивает формирование полости, точно копирующей форму рабочего инструмента.

В конце прошлого века, в нашей стране и за рубежом было создано большое количество специализированных ультразвуковых станков. К сожалению, большинство из них не отвечают требованиям современности по габаритным размерам, энергоемкости и функциональным возможностям.

Современные малые и высокотехнологичные предприятия нуждаются в малогабаритном, многофункциональном станке, способном удовлетворить потребности различных современных производств (полупроводниковая, мебельная, ювелирная промышленность).

Опыт разработки и эксплуатации ультразвуковых станков на различных предприятиях страны позволил сформулировать общие требования к малогабаритному, многофункциональному станку:

1. Возможность оперативной перестройки мощности и амплитуды колебаний для обработки различных по свойствам материалов и выполнения различных технологических операций, при условии автоматического поддержания условий оптимального воздействия по частоте.
2. Возможность оперативного изменения диаметра и формы выполняемого отверстия или изображения путем замены рабочего инструмента с целью выполнения сквозных и глухих отверстия необходимого диаметра и глубины, а так же нанесения рельефного рисунка на поверхности хрупких и твердых материалов.

III. УСТАНОВКА ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ РАЗМЕРНОЙ ОБРАБОТКИ.

Для решения поставленных задач необходимо разработать:

1. Ультразвуковую колебательную систему, способную обеспечить за счет применения различных сменных рабочих инструментов обработку отверстий диаметром от 1 мм до поверхностей порядка 30см² при выполнении рельефных рисунков.
2. Электронный генератор, обеспечивающий: автоматическую перестройку рабочей частоты при смене рабочих инструментов; возможность изменения мощности при использовании различных по площади рабочих инструментов; оперативное изменение производительности за счет изменения мощности, автоматическое изменение мощности при засверливании; автоматическую стабилизацию амплитуды колебаний в процессе обработки.
3. Рабочие инструменты, позволяющие выполнять: отверстия диаметром от 1 до 50 мм; рельефные рисунки размером от 10x10 до 50x50 мм.

Для решения поставленных задач была разработана и изготовлена установка ультразвукового оборудования «Сапфир» (Рисунок 1), модель УЗТА-0,4/22-М с генератором мощностью 400Вт, позволяющий выполнять отверстия различной формы, а так же нанесение рельефных рисунков на поверхности твердых хрупких материалов.



Рисунок 1–Ультразвуковая установка «Сапфир»

Основные технические характеристики представлены в таблице.

Питание от сети переменного тока напряжением, В	220± 22
Частота возбуждаемых механических колебаний, кГц	18±1,35
Максимальная потребляемая мощность, ВА	400
Регулирование мощности, %	10-100
Амплитуда колебаний на торце рабочего инструмента при максимальной мощности, мкм, не менее	30-50
Общая масса, кг, не более	15

Разработанная ультразвуковая установка конструктивно состоит из электронного блока и подключаемой к нему ультразвуковой колебательной системы (Рисунок 2).



Рисунок 2 – Ультразвуковая колебательная система со сменными концентраторами ультразвуковых колебаний

Электронный блок состоит из генератора ультразвуковых колебаний, блока автоматического управления и контроля процессом обработки, органов управления.

Органы управления электронного блока обеспечивают выбор уровня выходной мощности от 20 до 400 Вт и амплитуды колебаний рабочего инструмента от 5 до 50 мкм. Устанавливаемые параметры уровня выходной мощности позволяют использовать установку для обработки широкого ассортимента материалов, отличающихся по своим механическим и физическим свойствам. Ультразвуковая установка оснащена встроенной системой автоматического поддержания уровня установленной выходной мощности и системой автоматической подстройки частоты, при всех возможных изменениях параметров и свойств, обрабатываемых материалов. Это позволяет обеспечить стабильную производительность обработки.

Ультразвуковая колебательная система представляет собой пьезоэлектрический преобразователь со сменными концентраторами УЗ колебаний и сменными рабочими инструментами. К торцевой поверхности сменного концентратора посредством резьбового соединения устанавливается сменный рабочий инструмент.

Ультразвуковая колебательная система закрепляется на штативе, который обеспечивает ее вертикальное перемещение относительно заготовки.

Сменные концентраторы ультразвуковых колебаний выполняются в виде отдельных элементов колебательной системы и позволяют присоединять рабочие инструменты различного назначения посредством ряда стандартных резьбовых соединений.

Для обеспечения максимального коэффициента усиления при применяемом согласовании пьезопреобразователя с обрабатываемым материалом были использованы составные ступенчато-экспоненциальные концентраторы. При сравнительно небольших размерах они позволяют получать высокие значения коэффициента усиления, а наличие экспоненциального перехода позволяет снизить концентрацию напряжений, улучшая прочностные свойства концентраторов и обеспечивая согласование, близкое к оптимальному.

Экспериментально установлено, что максимальный коэффициент усиления может быть обеспечен для различных соотношений D/d при оптимальном соотношении длин участков l_1 и l_2 , определяемых коэффициентами n_1 и n_2 , как показано на рисунках 3 и 4.[5]

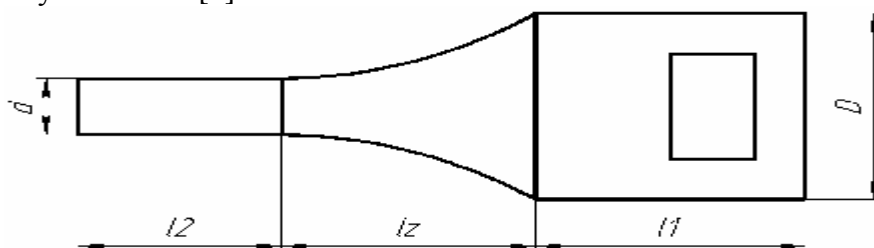


Рисунок 3

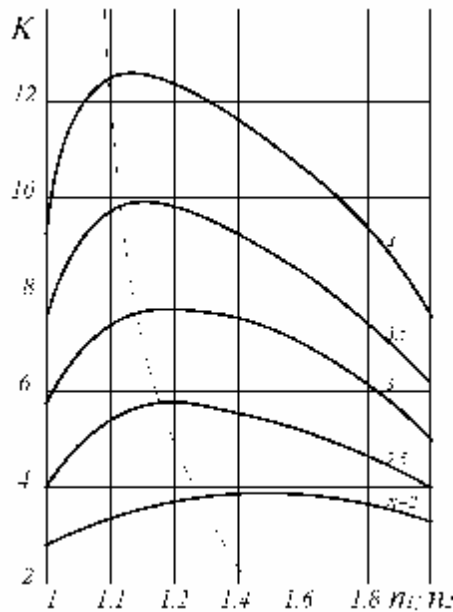


Рисунок 4

Длины участков выбираются в соответствии с приведенными формулами:

$$N = \frac{D}{d}$$

$$l_1 = \frac{c}{2p f} n_1$$

$$l_z = \frac{c}{2p f} \ln N$$

$$l_2 = \frac{c}{2p f} n_2$$

где f – частота колебаний,

c – скорость распространения продольных колебаний в стержневом волноводе.

Сменные рабочие инструменты так же выполняются в виде отдельных элементов колебательной системы т.к. в процессе эксплуатации подвергаются ударам абразивных зерен. Поверхности рабочих инструментов разрушаются в течение нескольких сотен часов эксплуатации.

Для работы в заданном частотном диапазоне рабочие инструменты в сборе с концентратором ультразвуковых колебаний и колебательной системой должны «попадать» в резонансный размер, кратный половине длины волны УЗ колебаний в материале преобразователя. Общие рекомендации к сменным рабочим инструментам таковы: инструменты должны обладать по возможности одинаковыми значениями массы, а так же во избежание разрушения резьбового соединения с концентратором, масса должны быть минимальной.

Рабочие инструменты, предназначенные для выполнения отверстий показаны на Рисунке 5. Для снижения площади и, соответственно, увеличения скорости обработки, они выполняются полыми.



Рисунок 5 – Рабочие инструменты для выполнения отверстий

Рабочие инструменты, предназначенные для выполнения рельефных рисунков, показаны на Рисунке 6.



Рисунок 6 – Рабочие инструменты для выполнения рельефных рисунков

Для увеличения производительности или обработки сложных слоистых конструкций возможно использование узла с вращением колебательной системы и рабочего инструмента, показанного на рисунке 7. [6]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Разработанная установка обладает следующими отличительными особенностями:

- расширенны функциональные возможности, обеспечившие выполнение различных операций (сверление отверстий диаметром от 1 до 50мм, выполнение рельефных рисунков, площадью от 10x10 до 50x50мм),
- созданы универсальные колебательные системы, обеспечивающие максимальный коэффициент усиления и возможность подключения сменных инструментов,
- создан генератор с автоматической подстройкой частоты, автоматической подстройкой и регулировкой уровня выходной мощности, что обеспечило возможность оперативной перестройки на различные технологические операции и поддержание стабильной производительности.

Разработанная установка характеризуется низкой энергоемкостью процесса обработки и универсальностью за счет использования сменных рабочих инструментов различного назначения.

Скорость сверления без вращения рабочего инструмента достигает 5 мм/мин (по стеклу). Скорость сверления с вращением рабочего инструмента достигает 10–15 мм/мин (по стеклу).

Разработанная в лаборатории акустических процессов и аппаратов Бийского технологического института ультразвуковая установка прошла лабораторные и

технические испытания и может быть рекомендована для промышленного применения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хмелев В.Н., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н. Ультразвуковая размерная обработка материалов: Монография/ Алт. гос. техн. ун-т им И.И. Ползунова – Барнаул: изд. АлтГТУ, 1999.-120 с.
2. Казанцев В.Ф. Ультразвуковое резание. – В кн.: Физические основы ультразвуковой технологии. Под ред. А.Д.Розенберга. М., Наука, 1970, с.9-70.
3. Применение ультразвука в промышленности. Под. Ред. А.И.Маркова. М. Машиностроение, София. Техника. С. 165.
4. Марков А.И. Ультразвуковая обработка материалов. М., машиностроение, 1980,237 с.
5. Хмелев В.Н., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н. Ультразвуковая колебательная система. Патент РФ №2141386.
6. Roman V. Barsukov, Sergey N. Tchyganok, Eugene V. Chipurin Development and Research the Device of Transmission Electrical Power at Gyration Piezoelectric Transducers electrodes. Siberian Russian Workshops and Tutorials on Electron Devices and Materials EDM'2002: Workshop Proceedings. - Novosibirsk: NSTU, 2002. -p 35-36.