Содержание

#### Введение……………………………………………………………………3

#### Ультразвук………………………………………………………………….4

Ультразвук как упругие волны……………………………………..4

Специфические особенности ультразвука………………………………..5

Источники и приемники ультразвука……………………………………..7

Механические излучатели…………………………………………...7

Электроакустические преобразователи…………………………….9

Приемники ультразвука……………………………………………..11

Применение ультразвука…………………………………………………...11

Ультразвуковая очистка……………………………………………...11

Механическая обработка сверхтвердых и хрупких

материалов……………………………………………………………13

Ультразвуковая сварка……………………………………………….14

Ультразвуковая пайка и лужение……………………………………14

Ускорение производственных процессов………………..…………15

Ультразвуковая дефектоскопия…………………………..…………15

Ультразвук в радиоэлектронике………………………..……………17

Ультразвук в медицине………………………………..……………..18

Литература…………………………………………………..……………….19

ведение.

Двадцать первый век - век атома, покорения космоса, радиоэлектроники и ультразвука. Наука об ультразвуке сравнительно молодая. Первые лабораторные работы по исследованию ультразвука были проведены великим русским ученым-физиком П. Н. Лебедевым в конце XIX, а затем ультразвуком занимались многие видные ученые.

Ультразвук представляет собой волнообразно распространяющееся колебательное движение частиц среды. Ультразвук имеет некоторые особенности по сравнению со звуками слышимого диапазона. В ультразвуковом диапазоне сравнительно легко получить направленное излучение; он хорошо поддается фокусировке, в результате чего повышается интенсивность ультразвуковых колебаний. При распространении в газах, жидкостях и твердых телах ультразвук порождает интересные явления, многие из которых нашли практическое применение в различных областях науки и техники.

В последние годы ультразвук начинает играть все большую роль в научных исследованиях. Успешно проведены теоретические и экспериментальные исследования в области ультразвуковой кавитации и акустических течений, позволившие разработать новые технологические процессы, протекающие при воздействии ультразвука в жидкой фазе. В настоящее время формируется новое направление химии – ультразвуковая химия, позволяющая ускорить многие химико-технологические процессы. Научные исследования способствовали зарождению нового раздела акустики – молекулярной акустики, изучающей молекулярное взаимодействие звуковых волн с веществом. Возникли новые области применения ультразвука: интроскопия, голография, квантовая акустика, ультразвуковая фазомерия, акустоэлектроника.

Наряду с теоретическими и экспериментальными исследованиями в области ультразвука выполнено много практических работ. Разработаны универсальные и специальные ультразвуковые станки, установки, работающие под повышенным статическим давлением, ультразвуковые механизированные установки для очистки деталей, генераторы с повышенной частотой и новой системой охлаждения, преобразователи с равномерно распределенным полем. Созданы и внедрены в производство автоматические ультразвуковые установки, которые включаются в поточные линии, позволяющие значительно повысить производительность труда.

# льтразвук.

Ультразвук (УЗ) – упругие колебания и волны, частота которых превышает 15 – 20 кГц. Нижняя граница области УЗ-вых частот, отделяющая ее от области слышимого звука, определяется субъективными свойствами человеческого слуха и является условной, так как верхняя граница слухового восприятия у каждого человека своя. Верхняя граница УЗ-вых частот обусловлена физической природой упругих волн, которые могут распространяться лишь в материальной среде, т.е. при условии, что длина волны значительно больше длины свободного пробега молекул в газе или межатомных расстояний в жидкостях и твердых телах. В газах при нормальном давлении верхняя граница частот УЗ составляет ≈ 109 Гц, в жидкостях и твердых телах граничная частота достигает 1012-1013 Гц. В зависимости от длины волны и частоты УЗ обладает различными специфическими особенностями излучения, приема, распространения и применения, поэтому область УЗ-вых частот подразделяют на три области:

* низкие УЗ-вые частоты (1,5⋅104 – 105 Гц);
* средние (105 – 107 Гц);
* высокие (107 – 109 Гц).

Упругие волны с частотами 109 – 1013 Гц принято называть гиперзвуком.

## Ультразвук как упругие волны.

УЗ-вые волны (неслышимый звук) по своей природе не отличаются от упругих волн слышимого диапазона. В газах и жидкостях распространяются только *продольные* волны, а в твердых телах – *продольные и сдвигов*ые.

Распространение ультразвука подчиняется основным законам, общими для акустических волн любого диапазона частот. К основным законам распространения относятся *законы отражения звука и преломления звука на границах различных сред, дифракции звука и рассеяния звука* при наличии препятствий и неоднородностей в среде и неровностей на границах, *законы волноводного распространения* в ограниченных участках среды. Существенную роль при этом играет соотношение между длиной волны звука λ и геометрическим размером D – размером источника звука или препятствия на пути волны, размером неоднородностей среды. При D>>λ распространение звука вблизи препятствий происходит в основном по законам геометрической акустики (можно пользоваться законами отражения и преломления). Степень отклонения от геометрической картины распространения и необходимость учета дифракционных явлений определяются параметром , где r – расстояние от точки наблюдения до объекта, вызывающего дифракцию.

Скорость распространения УЗ-вых волн в неограниченной среде определяется характеристиками упругости и плотностью среды. В ограниченных средах на скорость распространения волн влияет наличие и характер границ, что приводит к частотной зависимости скорости (дисперсия скорости звука). Уменьшение амплитуды и интенсивности УЗ-вой волны по мере ее распространения в заданном направлении, то есть затухание звука, вызывается, как и для волн любой частоты, расхождением фронта волны с удалением от источника, рассеянием и поглощением звука. На всех частотах как слышимого, так и неслышимых диапазонов имеет место так называемое «классическое» поглощение, вызванное сдвиговой вязкостью (внутренним трением) среды. Кроме того, существует дополнительное (релаксационное) поглощение, часто существенно превосходящее «классическое» поглощение.[[1]](#footnote-1)

При значительной интенсивности звуковых волн появляются нелинейные эффекты:

* нарушается принцип суперпозиции и возникает взаимодействие волн, приводящее к появлению тонов;
* изменяется форма волны, ее спектр обогащается высшими гармониками и соответственно растет поглощение;
* при достижении некоторого порогового значения интенсивности УЗ в жидкости возникает кавитация (см. ниже).

Критерием применимости законов линейной акустики и возможности пренебрежения нелинейными эффектами является: М << 1, где М = v/c, v – колебательная скорость частиц в волне, с – скорость распространения волны.

Параметр М называется «число Маха».

 пецифические особенности ультразвука

Хотя физическая природа УЗ и определяющие его распространение основные законы те же, что и для звуковых волн любого диапазона частот, он обладает рядом специфических особенностей. Эти особенности обусловлены относительно высокими частотами УЗ.

Малость длины волны определяет *лучевой характер* распространения УЗ-вых волн. Вблизи излучателя волны распространяются в виде пучков, поперечный размер которых сохраняется близким к размеру излучателя. Попадая на крупные препятствия такой пучок (УЗ луч) испытывает отражение и преломление. При попадании луча на малые препятствия возникает рассеянная волна, что позволяет обнаруживать в среде малые неоднородности (порядка десятых и сотых долей мм.). Отражение и рассеяние УЗ на неоднородностях среды позволяют формировать в оптически непрозрачных средах *звуковые изображения* предметов, используя звуковые фокусирующие системы, подобно тому, как это делается с помощью световых лучей.

Фокусировка УЗ позволяет не только получать звуковые изображения (системы звуковидения и акустической голографии), но и *концентрировать* звуковую энергию. С помощью УЗ-вых фокусирующих систем можно формировать заданные *характеристики направленности* излучателей и управлять ими.

Периодическое изменение показателя преломления световых волн, связанное с изменением плотности в УЗ-волне, вызывает *дифракцию света на ультразвуке*, наблюдаемую на частотах УЗ мегагерцевого-гигагерцевого диапазона. УЗ волну при этом можно рассматривать как дифракционную решетку.

Важнейшим нелинейным эффектом в УЗ-вом поле является *кавитация* – возникновение в жидкости массы пульсирующих пузырьков, заполненных паром, газом или их смесью. Сложное движение пузырьков, их схлопывание, слияние друг с другом и т.д. порождают в жидкости импульсы сжатия (микроударные волны) и микропотоки, вызывают локальное нагревание среды, ионизацию. Эти эффекты оказывают влияние на вещество: происходит разрушение находящихся в жидкости твердых тел (*кавитационная эрозия*), возникает перемешивание жидкости, инициируются или ускоряются различные физические и химические процессы. Изменяя условия протекания кавитации, можно усиливать или ослаблять различные кавитационные эффекты, например с ростом частоты УЗ увеличивается роль микропотоков и уменьшается кавитационная эрозия, с увеличением давления в жидкости возрастает роль микроударных воздействий. Увеличение частоты приводит к повышению порогового значения интенсивности, соответствующей началу кавитации, которое зависит от рода жидкости, ее газосодержания, температуры и т.д.. Для воды при атмосферном давлении оно обычно составляет 0,3÷1,0 Вт/см2. Кавитация – сложный комплекс явлений. УЗ-вые волны, распространяющиеся в жидкости, образуют чередующиеся области высоких и низких давлений, создающих зоны высоких сжатий и зоны разрежений. В разреженной зоне гидростатическое давление понижается до такой степени, что силы, действующие на молекулы жидкости, становятся больше сил межмолекулярного сцепления. В результате резкого изменения гидростатического равновесия жидкость «разрывается», образуя многочисленные мельчайшие пузырьки газов и паров. В следующий момент, когда в жидкости наступает период высокого давления, образовавшиеся ранее пузырьки схлопываются. Процесс схлопывания пузырьков сопровождается образованием ударных волн с очень большим местным мгновенным давлением, достигающим нескольких сотен атмосфер.

 сточники и приемники ультразвука.

В природе УЗ встречается как в качестве компоненты многих естественных шумов (в шуме ветра, водопада, дождя, в шуме гальки, перекатываемой морским прибоем, в звуках, сопровождающих грозовые разряды, и т.д.), так и среди звуков животного мира. Некоторые животные пользуются УЗ-выми волнами для обнаружения препятствий, ориентировки в пространстве.

Излучатели ультразвука можно подразделить на две большие группы. К первой относятся излучатели-генераторы; колебания в них возбуждаются из-за наличия препятствий на пути постоянного потока – струи газа или жидкости. Вторая группа излучателей – электроакустические преобразователи; они преобразуют уже заданные колебания электрического напряжения или тока в механическое колебание твердого тела, которое и излучает в окружающую среду акустические волны.

Механические излучатели.

В излучателях первого типа (механических) преобразование кинетической энергии струи (жидкости или газа) в акустическую возникает в результате периодического прерывания струи (сирена), при натекании ее на препятствия различного вида (газоструйные генераторы, свистки).

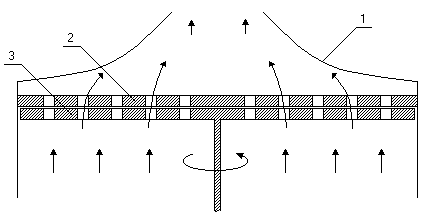
УЗ сирена – два диска с большим количеством отверстий, помещенные в камеру (рис. 1).Поступающий под большим давлением в камеру воздух выходит через отверстия обоих дисков. При вращении диска-ротора (3) его отверстия будут совпадать с отверстиями неподвижного диска-статора (2) только в определенные моменты времени. В результате возникнут пульсации воздуха. Чем больше скорость вращения ротора, тем больше частота пульсации воздуха, которая определяется по формуле:

Рис1. Ультразвуковая механическая сирена.

1 – корпус; 2 – неподвижный диск;

3 – вращающийся диск.

,

где N – число отверстий, равнораспределенных по окружности ротора и статора; ω - угловая скорость ротора.

Давление в камере сирен обычно составляет от 0,1 до 5,0 кгс/см2. Верхний предел частоты УЗ, излучаемого сиренами не превышает 40÷50 кГц, однако известны конструкции с верхним пределом 500 кГц. КПД генераторов не превышает 60%. Так как источником излучаемого сиреной звука являются импульсы газа, вытекающего из отверстий, частотный спектр сирен определяется формой этих импульсов. Для получения синусоидальных колебаний используют сирены с круглыми отверстиями, расстояния между которыми равны их диаметру. При отверстиях прямоугольной формы, отстоящих друг от друга на ширину отверстия, форма импульса треугольная. В случае применения нескольких роторов (вращающихся с разной скоростью) с отверстиями расположенными неравномерно и разной формы, можно получить шумовой сигнал. Акустическая мощность сирен может достигать десятков кВт. Если в поле излучения мощной сирены поместить вату, то она воспламенится, а стальные стружки нагреваются докрасна.

Принцип действия УЗ генератора-свистка почти такой же, как и обычного милицейского свистка, но размеры его значительно больше. Поток воздуха с большой скоростью разбивается об острый край внутренней полости генератора, вызывая колебания с частотой, равной собственной частоте резонатора. При помощи такого генератора можно создавать колебания с частотой до 100 Кгц при относительно небольшой мощности. Для получения больших мощностей применяют газоструйные генераторы, у которых скорость истечения газа выше. Жидкостные генераторы применяют для излучения УЗ в жидкость. В жидкостных генераторах (рис. 2) в качестве резонансной системы служит двустороннее острие, в котором возбуждаются изгибные колебания.

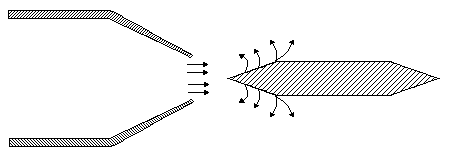
Струя жидкости, выходя из сопла с большой скоростью, разбивается об острый край пластинки, по обе стороны которой возникают завихрения, вызывающие изменения давления с большой частотой.

Рис. 2 Принцип действия жидкостного генератора.

Для работы жидкостного (гидродинамического) генератора необходимо избыточное давление жидкости 5 кГ/см2. частота колебаний такого генератора определяется соотношением:

,

где v – скорость жидкости, вытекающей из сопла; d – расстояние между острием и соплом.

Гидродинамические излучатели в жидкости дают относительно дешевую УЗ-вую энергию на частотах до 30÷40 кГц при интенсивности в непосредственной близости от излучателя до нескольких Вт/см2.

Механические излучатели используются в низкочастотном диапазоне УЗ и в диапазоне звуковых волн. Они относительно просты по конструкции и в эксплуатации, их изготовление не дорого, но они не могут создавать монохроматическое излучение[[2]](#footnote-2) и тем более излучать сигналы строго заданной формы. Такие излучатели отличаются нестабильностью частоты и амплитуды, однако при излучении в газовых средах они имеют относительно высокую эффективность и мощность излучения: их кпд составляет от нескольких % до 50%, мощность от нескольких ватт до десятков кВт.

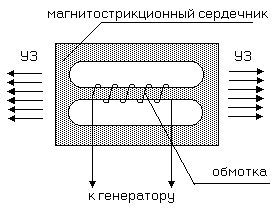
Электроакустические преобразователи.

Излучатели второго типа основываются на различных физических эффектах электромеханического преобразования. Как правило, они линейны, то есть воспроизводят по форме возбуждающий электрический сигнал. В низкочастотном УЗ-вом диапазоне применяются *электродинамические* излучатели и излучающие *магнитострикционные* преобразователи и *пьезоэлектрические* преобразователи. Наиболее широкое распространение получили излучатели магнитострикционного и пьезоэлектрического типов.

В 1847 г. Джоуль заметил, что ферромагнитные материалы, помещенные в магнитное поле, изменяют свои размеры. Это явление назвали *магнитострикционным* эффектом[[3]](#footnote-3). Если по обмотке, наложенной на ферромагнитный стержень, пропустить переменный ток, то под воздействием изменяющегося магнитного поля стержень будет деформироваться. Никелевые сердечники, в отличии от железных, в магнитном поле укорачиваются. При пропускании переменного тока по обмотке излучателя его стержень деформируется в одном направлении при любом направлении магнитного поля. Поэтому частота механических колебаний будет вдвое больше частоты переменного тока.

Чтобы частота колебаний излучателя соответствовала частоте возбуждающего тока, в обмотку излучателя подводят постоянное напряжение поляризации. У поляризованного излучателя увеличивается амплитуда переменной магнитной индукции, что приводит к увеличению деформации сердечника и повышению мощности.

Магнитострикционный эффект используется при изготовлении УЗ-вых магнитострикционных преобразователей (рис. 3).



Эти преобразователи отличаются большими относительными деформациями, повышенной механической прочностью, малой чувствительностью к температурным воздействиям. Магнитострикционные преобразователи имеют небольшие значения электрического сопротивления, в результате чего для получения большой мощности не требуются высокие напряжения.

Рис.3 Магнитострикционный преобразователь

Чаще всего применяют преобразователи из никеля (высокая стойкость против коррозии, низкая цена). Магнитострикционные сердечники могут быть изготовлены и из ферритов. У ферритов высокое удельное сопротивление, в результате чего потери на вихревые токи в них ничтожно малы. Однако феррит – хрупкий материал, что вызывает опасность их перегрузки при большой мощности. Кпд магнитострикционных преобразователей при излучении в жидкость и твердое тело составляет 50÷90%., интенсивность излучения достигает нескольких десятков Вт/см2.

В 1880 году братья Жак и Пьер Кюри открыли *пьезоэлектрический* эффект – если деформировать пластинку кварца, то на ее гранях появляются противоположные по знаку электрические заряды. Наблюдается и обратное явление – если к электродам кварцевой пластинки подвести электрический заряд, то ее размеры уменьшатся или увеличатся в зависимости от полярности подводимого заряда. При изменении знаков приложенного напряжения кварцевая пластинка будет то сжиматься, то разжиматься, то есть она будет колебаться в такт с изменениями знаков приложенного напряжения. Изменение толщины пластинки пропорционально приложенному напряжению.

Принцип пьезоэлектрического эффекта используется при изготовлении излучателей УЗ-вых колебаний, которые преобразуют электрические колебания в механические. В качестве пьезоэлектрических материалов применяют кварц, титанат бария, фосфат аммония.

Кпд пьезоэлектрических преобразователей достигает 90%, интенсивность излучения – несколько десятков Вт/см2. Для увеличения интенсивности и амплитуды колебаний используют УЗ-вые *концентраторы.* В диапазоне средних УЗ-вых частот концентратор представляет собой фокусирующую систему, чаще всего в виде пьезоэлектрического преобразователя вогнутой формы, излучающего сходящуюся волну. В фокусе подобных концентраторов достигается интенсивность 105-106 Вт/см2.

Приемники ультразвука.

В качестве приемников ультразвука на низких и средних частотах чаще всего применяют электроакустические преобразователи пьезоэлектрического типа. Такие приемники позволяют воспроизводить форму акустического сигнала, то есть временную зависимость звукового давления. В зависимости от условий применения приемники делают либо резонансными, либо широкополосными. Для получения усредненных по времени характеристик звукового поля используют термическими приемниками звука в виде покрытых звукопоглощающим веществом термопар или термисторов[[4]](#footnote-4). Интенсивность и звуковое давление можно оценивать и оптическими методами, например по дифракции света на УЗ.

 рименение ультразвука.

Многообразные применения УЗ, при которых используются различные его особенности, можно условно разбить на три направления. Первое связано с получением информации посредством УЗ-вых волн, второе – с активным воздействием на вещество и третье – с обработкой и передачей сигналов. При каждом конкретном применении используется УЗ определенного частотного диапазона (табл. 1). Расскажем лишь о некоторых из многочисленных областей, где нашел применение УЗ.

Ультразвуковая очистка.

Качество УЗ очистки несравнимо с другими способами. Например, при полоскании деталей на их поверхности остается до 80% загрязнений, при вибрационной очистке – около 55%, при ручной – около 20%, а при ультразвуковой – не более 0,5%. Кроме того, детали, имеющие сложную форму, труднодоступные места, хорошо можно очистить только с помощью ультразвука. Особое преимущество УЗ-вой очистки заключается в ее высокой производительности при малой затрате физического труда, возможности замены огнеопасных или дорогостоящих органических растворителей безопасными и дешевыми водными растворами щелочей, жидким фреоном и др.

Ультразвуковая очистка – сложный процесс, сочетающий местную кавитацию с действием больших ускорений в очищающей жидкости, что приводит к разрушению загрязнений. Если загрязненную деталь поместить в

Таблица 1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Применения | | | Частота в герцах | | | | | | | | |
| 103 104 105 106 107 108 109 1010 1011 | | | | | | | | |
| Получение информации | Научные исследования | в газах, жидкостях | ⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛ | | | | | |  |  | |
| в твердых телах |  |  |  | ⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛ | | | | | |
| О свойствах и составе веществ;  о технологических процессах | в газах |  | ⬛⬛⬛⬛⬛ | |  |  |  |  |  | |
| в жидкостях |  |  |  | ⬛⬛⬛⬛⬛⬛ | |  |  |  | |
| в твердых телах |  | ⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛ | | | | |  |  | |
| гидролокация | | ⬛⬛⬛⬛⬛⬛ | |  |  |  |  |  |  | |
| УЗ дефектоскопия | |  |  | ⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛ | | |  |  |  | |
| контроль размеров | |  | ⬛⬛⬛⬛⬛ | |  |  |  |  |  | |
| Медицинская диагностика | |  |  |  | ⬛⬛⬛⬛ | |  |  |  | |
| Воздействие на вещество | Коагуляция аэрозолей | | ⬛⬛⬛ | |  |  |  |  |  |  | |
| Воздействие на горение | | ⬛⬛⬛ | |  |  |  |  |  |  | |
| Очистка | |  | ⬛⬛ |  |  |  |  |  |  | |
| Воздействие на химические процессы | |  | ⬛⬛ |  |  |  |  |  |  | |
| Эмульгирование | |  | ⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛ | | |  |  |  |  | |
| Диспергирование | |  | ⬛ |  |  |  |  |  |  | |
| Распыление | |  | ⬛⬛ |  | ⬛⬛ |  |  |  |  | |
| Кристаллизация | |  | ⬛ |  |  |  |  |  |  | |
| Металлизация, пайка | |  | ⬛ |  |  |  |  |  |  | |
| Механическая обработка | |  | ⬛⬛ |  |  |  |  |  |  | |
| Сварка | |  | ⬛⬛ |  |  |  |  |  |  | |
| Пластическое деформирование | |  | ⬛ |  |  |  |  |  |  | |
| Терапия | |  |  | ⬛⬛⬛ | |  |  |  |  | |
| Хирургия | |  | ⬛⬛ | ⬛⬛⬛ | |  |  |  |  | |
| Обработка  сигналов | Линии задержки | |  |  |  | ⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛ | | | |  | |
| Фильтры | |  | ⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛ | | | |  |  |  | |
| Акустооптические устройства | |  |  |  | ⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛ | | | | |  |
| Преобразователи сигналов в акустоэлектронике | |  |  | ⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛⬛ | | |  |  |  | |

жидкость и облучить ультразвуком, то под действием ударной волны кавитационных пузырьков поверхность детали очищается от грязи.

Серьезной проблемой является борьба с загрязнением воздуха пылью, дымом, копотью, окислами металлов и т.д. Ультразвуковой метод очистки газа и воздуха может применяться в существующих газоотводах независимо от температуры и влажности среды. Если поместить УЗ-вой излучатель в пылеосадочную камеру, то эффективность ее действия возрастает в сотни раз. В чем сущность УЗ-вой очистки воздуха? Пылинки, которые беспорядочно движутся в воздухе, под действием ультразвуковых колебаний чаще и сильнее ударяются друг о друга. При этом они сливаются и размер их увеличивается. Процесс укрупнения частиц называется коагуляцией. Улавливаются укрупненные и утяжеленные частицы специальными фильтрами.

Механическая обработка сверхтвердых

и хрупких материалов.

Если между рабочей поверхностью УЗ-вого инструмента и обрабатываемой деталью ввести абразивный материал, то при работе излучателя частицы абразива будут воздействовать на поверхность детали. Материал разрушается и удаляется при обработке под действием большого числа направленных микроударов (рис. 4).

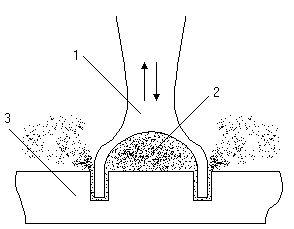


Рис.4 Ультразвуковая обработка материалов.

1 – ультразвуковой инструмент;

2 – абразивные зерна;

3 – обрабатываемая деталь.

Кинематика ультразвуковой обработки складывается из главного движения – резания, т.е. продольных колебаний инструмента, и вспомогательного движения – движения подачи. Продольные колебания являются источником энергии абразивных зерен, которые и производят разрушение обрабатываемого материала. Вспомогательное движение – движение подачи – может быть продольным, поперечным и круговым. Ультразвуковая обработка обеспечивает большую точность – от 50 до 1 мк в зависимости от зернистости абразива. Применяя инструменты различной формы можно выполнять не только отверстия, но и сложные вырезы. Кроме того, можно вырезать криволинейные оси, изготавливать матрицы, шлифовать, гравировать и даже сверлить алмаз. Материалы, используемые в качестве абразива – алмаз, корунд, кремень, кварцевый песок.

Ультразвуковая сварка.

Из существующих методов ни один не подходит для сварки разнородных металлов или если к толстым деталям нужно приварить тонкие пластины. В этом случае УЗ-вая сварка незаменима. Ее иногда называют холодной, потому что детали соединяются в холодном состоянии. Окончательного представления о механизме образования соединений при УЗ-вой сварке нет. В процессе сварки после ввода ультразвуковых колебаний между свариваемыми пластинами образуется слой высокопластичного металла, при этом пластины очень легко поворачиваются вокруг вертикальной оси на любой угол. Но как только ультразвуковое излучение прекращают, происходит мгновенное «схватывание» пластин.

Ультразвуковая сварка происходит при температуре значительно меньшей температуры плавления, поэтому соединение деталей происходит в твердом состоянии. С помощью УЗ можно сваривать многие металлы и сплавы (медь, молибден, тантал, титан, многие стали). Наилучшие результаты получаются при сварке тонколистовых разнородных металлов и приварке к толстым деталям тонких листов. При УЗ-вой сварке минимально изменяются свойства металла в зоне сварки. Требования к качеству подготовки поверхности значительно ниже, чем при других методах сварки. УЗ сварке хорошо поддаются и неметаллические материалы (пластмасса, полимеры)

Ультразвуковая пайка и лужение.

В промышленности все большее значение приобретает УЗ-вая пайка и лужение алюминия, нержавеющей стали и других материалов. Трудность пайки алюминия состоит в том, что его поверхность всегда покрыта тугоплавкой пленкой окиси алюминия, которая образуется практически мгновенно при соприкосновении металла с кислородом воздуха. Эта пленка препятствует соприкосновению расплавленного припоя с поверхностью алюминия.

В настоящее время одним из эффективных методов пайки алюминия является ультразвуковой, пайка с применением УЗ производится без флюса. Введение механических колебаний ультразвуковой частоты в расплавленный припой в процессе пайки способствует механическому разрушению окисной пленки и облегчает смачивание припоем поверхности.

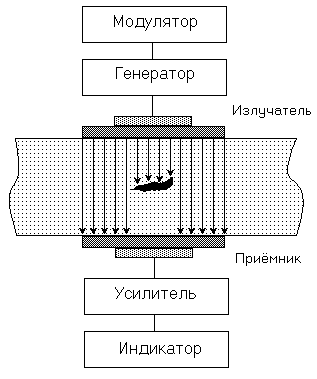
Принцип УЗ-вой пайки алюминия заключается в следующем. Между паяльником и деталью создается слой жидкого расплавленного припоя. Под действием УЗ-вых колебаний в припое возникает кавитация, разрушающая оксидную пленку. Перед пайкой детали нагревают до температуры, превышающей температуру плавления припоя. Большим преимуществом метода является то, что его можно с успехом применять для пайки керамики и стекла.

Ускорение производственных процессов

с помощью ультразвука.

* Применение ультразвука позволяет значительно ускорить смешивание различных жидкостей и получить устойчивые эмульсии (даже таких как вода и ртуть).
* Воздействуя УЗ-выми колебаниями большой интенсивности на жидкости, можно получать тонкодисперсные аэрозоли высокой плотности.
* Сравнительно недавно начали применять УЗ для пропитки электротехнических намоточных изделий. Применение УЗ позволяет сократить время пропитки в 3÷5 раз и заменить 2-3 кратную пропитку одноразовой.
* Под действием УЗ значительно ускоряется процесс гальванического осаждения металлов и сплавов.
* Если в расплавленный металл вводить УЗ-вые колебания, заметно измельчается зерно, уменьшается пористость.
* Ультразвук применяется при обработке металлов и сплавов в твердом состоянии, что приводит к «разрыхлению» структуры и к искусственному их старению.
* УЗ при прессовании металлических порошков обеспечивает получение прессованных изделий более высокой плотности и стабильности размеров.

Ультразвуковая дефектоскопия.

 Ультразвуковая дефектоскопия – один из методов неразрушающего контроля. Свойство УЗ распространяться в однородной среде направленно и без существенных затуханий, а на границе раздела двух сред (например, металл – воздух) почти полностью отражаться позволило применить УЗ-вые колебания для выявления дефектов (раковины, трещины, расслоения и т.п.) в металлических деталях без их разрушения.

При помощи УЗ можно проверять детали больших размеров, так как глубина проникновения УЗ в металле достигает 8÷10 м. Кроме того, ультразвуком можно обнаружить очень мелкие дефекты (до 10-6мм).

Рис.5 Теневой метод ультразвуковой

дефектоскопии.

УЗ-вые дефектоскопы позволяют выявлять не только образовавшиеся дефекты, но и определять момент повышенной усталости металла.

Существует несколько методов ультразвуковой дефектоскопии, основными из которых являются теневой, импульсный, резонансный, метод структурного анализа, ультразвуковой визуализации.

Теневой метод основан на ослаблении проходящих УЗ-вых волн при наличии внутри детали дефектов, создающих УЗ-вую тень. При этом методе используется два преобразователя. Один из них излучает ультразвуковые колебания, другой принимает их (рис. 5). Теневой метод малочувствителен, дефект можно обнаружить если вызываемое им изменение сигнала составляет не менее 15÷20%. Существенный недостаток теневого метода в том, что он не позволяет определить на какой глубине находится дефект.

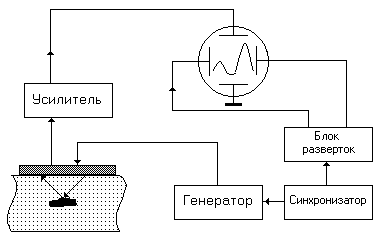
 Импульсный метод УЗ-вой дефектоскопии основан на явлении отражения ультразвуковых волн. Принцип действия импульсного дефектоскопа показан на рис. 6. Высокочастотный генератор вырабатывает кратковременные импульсы. Посланный излучателем импульс, отразившись, возвращается обратно к преобразователю, который в это время работает на прием. С преобразователя сигнал поступает на усилитель, а затем на отклоняющие пластины электроннолучевой трубки. Для получения на экране трубки изображения зондирующих и отраженных импульсов предусмотрен генератор развертки. Работой высокочастотного генератора управляет синхронизатор, который с определенной частотой формирует высокочастотные импульсы. Частота посылки импульсов может изменяться с таким расчетом, чтобы отраженный импульс приходил к преобразователю раньше посылки следующего импульса.

Рис. 6 Принцип действия УЗ дефектоскопа, основан-

ный на импульсном методе.

Импульсный метод позволяет исследовать изделия при одностороннем доступе к ним. Метод обладает повышенной чувствительностью, отражение даже 1% УЗ-вой энергии будет замечено. Преимущество импульсного метода состоит еще и в том, что он позволяет определить на какой глубине находится дефект.

Ультразвук в радиоэлектронике.

В радиоэлектронике часто возникает необходимость задержать один электрический сигнал относительно другого. Удачное решение нашли ученые, предложив ультразвуковые линии задержки (ЛЗ). Действие их основано на преобразовании электрических импульсов в импульсы УЗ-вых механических колебаний, скорость распространения которых значительно меньше скорости распространения электромагнитных колебаний. После обратного преобразования механических колебаний в электрические импульс напряжения на выходе линии будет задержан относительно входного импульса.

Для преобразования электрических колебаний в механические и обратно используют магнитострикционные и пьезоэлектрические преобразователи. Соответственно этому ЛЗ подразделяются на магнитострикционные и пьезоэлектрические.

Магнитострикционная ЛЗ состоит из входного и выходного преобразователей, магнитов, звукопровода и поглотителей.

Входной преобразователь состоит из катушки, по которой протекает ток входного сигнала, участка звукопровода из магнитострикционного материала, в котором возникают механические колебания УЗ-вой частоты, и магнита, создающего постоянное подмагничивание зоны преобразования. Выходной преобразователь по устройству почти не отличается от входного.

Звукопровод представляет собой стержень из магнитострикционного материала, в котором возбуждаются УЗ-вые колебания, распространяющиеся со скоростью примерно 5000 м/с. для задержки импульса, например, на 100 мкс длина звукопровода должна быть около 43 см. Магнит нужен для создания начальной магнитной индукции и подмагничивания зоны преобразования.

Поглотители для уменьшения уровня паразитных отраженных сигналов располагаются на обоих концах звукопровода.

Принцип действия магнитострикционной ЛЗ основан на изменении размеров ферромагнитных материалов под воздействием магнитного поля. Механическое возмущение, вызванное магнитным полем катушки входного преобразователя, передается по звокопроводу и, дойдя до катушки выходного преобразователя, наводит в ней электродвижущую силу.

Пьезоэлектрические ЛЗ устроены следующим образом. На пути электрического сигнала ставят пьезоэлектрический преобразователь (пластинку кварца), который жестко соединен с металлическим стержнем (звукопроводом). Ко второму концу стержня прикреплен второй пьезоэлектрический преобразователь. Сигнал, подойдя к входному преобразователю, вызывает механические колебания УЗ-вой частоты, которые затем распространяются в звукопроводе. Достигнув второго преобразователя, УЗ-вые колебания вновь преобразуются в электрические. Но так как скорость распространения УЗ в звукопроводе значительно меньше скорости меньше скорости распространения электрического сигнала, сигнал, на пути которого был звукопровод, отстает от другого на величину, равную разности скорости распространения УЗ и электромагнитных сигналов на определенном участке.

Ультразвук в медицине.

Применение УЗ для активного воздействия на живой организм в медицине основывается на эффектах, возникающих в биологических тканях при прохождении через них УЗ-вых волн. Колебания частиц среды в волне вызывают своеобразный микромассаж тканей, поглощение УЗ – локальное нагревание их. Одновременно под действием УЗ происходят физико-химические превращения в биологических средах. При умеренной интенсивности звука эти явления не вызывают необратимых повреждений, а лишь улучшают обмен веществ и, следовательно, способствуют жизнедеятельности организма. Эти явления находят применение в УЗ-вой *терапии* (интенсивность УЗ до 1 Вт/см2)*.* При больших интенсивностях сильное нагревание и кавитация вызывают разрушение тканей. Этот эффект находит применение в УЗ-вой *хирургии*. Для хирургических операций используют фокусированный УЗ, который позволяет производить локальные разрушения в глубинных структурах, например мозга, без повреждения окружающих тканей (интенсивность УЗ достигает сотен и даже тысяч Вт/см2). В хирургии применяют также УЗ-вые инструменты, рабочий конец которых имеет вид скальпеля, пилки, иглы и т.п. Наложение УЗ-вых колебаний на такие, обычные для хирургии, инструменты придает им новые качества, существенно снижая требуемое усилие и, следовательно, травматизм операции; кроме того, проявляется кровоостанавливающий и обезболивающий эффект. Контактное воздействие тупым УЗ-вым инструментом применяется для разрушения некоторых новообразований.

Воздействие мощного УЗ на биологические ткани применяется для разрушения микроорганизмов в процессах стерилизации медицинских инструментов и лекарственных веществ.

УЗ нашел применение в зубоврачебной практике для снятия зубного камня. Он позволяет безболезненно, бескровно, быстро удалять зубной камень и налет с зубов. При этом не травмируется слизистая полость рта и обеззараживаются «карманы» полости, а пациент вместо боли испытывает ощущение теплоты.

Литература.

1. И.П. Голямина. Ультразвук. – М.: Советская энциклопедия, 1979.
2. И.Г. Хорбенко. В мире неслышимых звуков. – М. : Машиностроение, 1971.
3. В.П. Северденко, В.В. Клубович. Применение ультразвука в промышленности. – Минск : Наука и техника, 1967.

1. Релаксация акустическая – внутренние процессы восстановления термодинамического равновесия среды, нарушаемого сжатиями и разрежениями в УЗ-вой волне. Согласно термодинамическому принципу равномерного распределения энергии по степеням свободы, энергия поступательного движения в звуковой волне переходит на внутренние степени свободы, возбуждая их, в результате чего уменьшается энергия, приходящаяся на поступательное движение. Поэтому релаксация всегда сопровождается поглощением звука, а также дисперсией скорости звука. [↑](#footnote-ref-1)
2. В монохроматической волне изменение колеблющейся величины W во времени происходит по закону синуса или косинуса и описывается в каждой точке формулой: . [↑](#footnote-ref-2)
3. Различают два вида магнитострикции: линейная, при которой геометрические размеры тела изменяются в направлении приложенного поля, и объемная, при которой геометрические размеры тела изменяются во всех направлениях. Линейная магнитострикция наблюдается при значительно меньших напряженностях поля, чем объемная. Поэтому практически в магнитострикционных преобразователях используется линейная магнитострикция. [↑](#footnote-ref-3)
4. Термистор – резистор, сопротивление которого, зависит от температуры. Термопара – два проводника из разных металлов, соединенных вместе. На концах проводников возникает ЭДС пропорционально температуре. [↑](#footnote-ref-4)