С. Веев

Слышимая человеческим ухом область звуковых колебаний занимает полосу частот от 16—20 до 16 000—20 000 колебаний в секунду. Поразительно широкую область звуков воспринимает человеческое ухо по их силе. Едва слышимые звуки по силе отличаются от звуков, вызывающих болевые ощущения, в 10^{12} раз. На рис. 1 сплошной линией показан порог слышимости, пунктирной — порог болевых ощущений. На этом же рисунке показаны области звуков, используемых при разговоре и в музыке.

Не воспринимает ухо человека звуки ниже 16—20 *гц* (инфразвуки) и выше 16—20 *кгц* (ультразвуки).

Природа ультразвуков и слышимых звуков едина. Деление на звук и ультразвук условное и основано лишь на физиологических особенностях слухового аппарата человека. Многие животные, например собаки, кошки, летучие мыши, некоторые птицы и насекомые, слышат ультразвуки. Дети воспринимают звуки более высокой частоты, чем люди пожилого возраста. Все основные законы, присущие звуку, присущи и ультразвуку. Так, например, скорость распространения как звуковых, так и ультразвуковых волн одинакова и равна в обычных условиях в воздухе — 331 *м/сек*, в воде — 1 430 *м/сек*, в железе —4 310 *м/сек*, в свинце — 1 250 *м/сек*.

Рис. 1. Область звукового диапазона. Сплошной линией указан порог слышимости, пунктирной — порог болевого ощущения.

Ультразвуковые и звуковые волны — есть процесс распространения чередующихся сжатий и разряжений среды. Они возникают и распространяются при колебаниях любого тела.

Однако различие звука и ультразвука по их частоте обусловливает весьма существенные различия и особенности в проявлении некоторых их свойств.

Так с увеличением частоты колебаний значительно легче могут быть получены во много раз более высокие скорости колебаний частиц среды, то есть значительно легче могут быть получены колебания бо́льшей силы. Интенсивность или сила звука пропорциональна квадрату амплитуды и частоты колебаний. Эта квадратичная зависимость позволяет при повышении частоты сравнительно легко получать ультразвуки огромной силы. Так, например, при частоте ультразвука 0,5—1,0 *Мгц* без особых затруднений получают силу звука до 10 *вт/см²* и выше. Чтобы легче представить себе эту величину, достаточно сказать, что сила звука комнатного громкоговорителя в миллиард, а пушечного выстрела — в 1 000 раз слабее. Эта возможность является весьма важной в целом ряде практических применений.

Сила или интенсивность звука — есть звуковая мощность, проходящая через единицу поверхности, перпендикулярную направлению распространения, измеряется в ваттах на квадратный сантиметр (*вт/см²*).

Эффективное звуковое давление — есть средняя эффективная величина мгновенного давления в данной точке, оно характеризует громкость звука, измеряется в динах на квадратный сантиметр (*дин/см²*).

Порог слышимости равен $2 \cdot 10^{-4}$ *дина/см²*. Порог болевых ощущений — $2 \cdot 10^{3}$ *дина/см²*.

Звук и ультразвук, так же как свет можно фокусировать с помощью рефлекторов или придавая соответствующую форму излучателям. Однако практически только в ультразвуковом диапазоне с помощью простых фокусирующих устройств колебания могут быть сфокусированы в узкие направленные пучки. Для круглой пластинки —излучателя радиусом R, работающей как жесткий поршень, излучение сосредоточивается внутри конуса, угол раскрытия которого определяется из выражения $\Theta = \frac{0{,}61\lambda}{R}$, где Θ— половина угла раскрытия диаграммы направленности, λ — длина волны. Таким образом, чем меньше длина волны, тем меньших размеров потребуется излучатель, чтобы получить такой же узкий пучек излучения. Так, например, при частоте 40 *кгц*, то есть при длине волны 3,7 *см*, излучатель диаметром в 25 *см* создает узкий ультразвуковой пучек подобно световому сфокусированному лучу. Чтобы получить такой же узкий пучок в области обычных слышимых звуков, источник звука должен быть диаметром около 10 *м*. Эта особенность также создает преимущества в ряде практических применений.

Наконец следует еще отметить большую проникающую способность ультразвука.

Важнейшим элементом приборов, создающих ультразвуковые колебания, является ультразвуковой излучатель.

ИЗЛУЧАТЕЛИ УЛЬТРАЗВУКА

Механические излучатели. Простейшим образом ультразвуковые колебания могут быть получены с помощью камертонов небольших размеров, с длиною вилки несколько миллиметров, и ультразвуковых свистков. На рис. 2 дан разрез простейшего излучателя

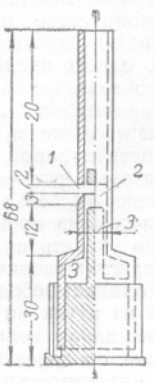


Рис. 2. Ультразвуковой свисток: 1—кольцеобразная щель и ниже кольцеобразное острие, 2— резонатор, 3— стержень, меняющий объем резонатора.

ультразвука — свистка. Свисток состоит из двух разъемных частей, соединенных винтовой нарезкой. Щелевое сопло полукруглой формы находится против острозаточенного края прорези, напоминающей прорезь в обычном свистке. При перемещении стержня с помощью нарезной системы в полость резонатора изменяется собственная частота колебаний свистка. При уменьшении длины полости резонатора звук становится все выше и одновременно слабеет, а затем исчезает. Но и ослабление и исчезновение звука кажущееся. Это можно проверить с помощью так называемых крутильных весов.

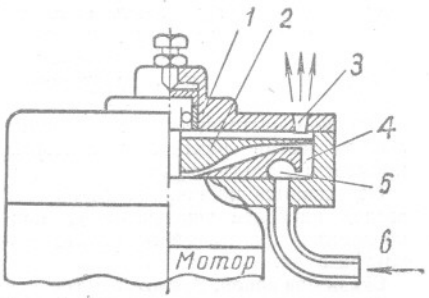


Рис. 3. Ультразвуковая сирена: 1 — статор, 2 — ротор, 3 — отверстия статора, ниже — ротора, 4, 5 — кольцеобразная щель и камеры, 6 — подача воздуха.

Наиболее мощным источником ультразвука в воздухе являются ультразвуковые сирены (рис. 3). Создание ультразвука в сирене обеспечивается продуванием воздуха через систему отверстий статора, перекрываемых вращающимся ротором. Количество отверстий статора и ротора 100—150. Диаметр отверстий 3—5 *мм*. Диапазон частот до 35 *кгц*. Сила звука достигает 100 *вт/см²*. Это огромная мощность. Внесенный в звуковое поле такой сирены клочок ваты сгорает в течение 6 секунд.

Магнитострикционные излучатели. Эффект магнитострикции состоит в том, что при удлинении или укорочении ферромагнитного стержня, находящегося в постоянном магнитном поле и расположенного вдоль магнитных силовых линий, в намотанной на нем катушке возникает электродвижущая сила. Явление это обратимо, то есть если по обмотке стержня будет проходить переменный ток определенной частоты, то стержень будет вибрировать (укорачиваться и удлиняться) с той же частотой.

Магнитострикционный эффект наблюдается у всех ферромагнитных материалов. Но наиболее сильно он выражен в сплаве железа 49% с кобальтом 49% и ванадием 2% (перемендюр), а также у чистого никеля и его сплавов.

Для усиления эффекта магнитострикции необходимо использовать явление резонанса. С этой целью размеры сердечников должны быть такими, чтобы собственная частота их колебаний была равна частоте возбуждения.

С повышением температуры до 100° С магнитострикционные свойства слабеют, а при температуре выше 300° С почти совсем исчезают.

Для уменьшения потерь магнитострикционные вибраторы собираются из пластин толщиной 0,1—0,3 *мм*. Собственная частота колебаний магнитострикционного вибратора может быть определена по формуле $f=\frac{2{,}5\cdot 10^6}{l}$ (*гц*), l — длина вибратора в *мм*.

Сила звука таких излучателей 5—10 *вт/см²*.

Ферритовые излучатели. В последнее время все шире стали применяться ферритовые вибраторы, в которых также используется магнитострикционный эффект. Но в отличие от металлов в ферритах потери практически отсутствуют, и поэтому вибраторы из феррита можно применять на высоких частотах. Однако с помощью ферритовых излучателей затруднено получение больших мощностей. Допустимая интенсивность излучения 1—2 *вт/см²*. Ферритовые излучатели получены на мощности до 50 *вт*.

Пьезоэлектрические излучатели. Пьезоэлектрический метод преобразования электрических колебаний высокой частоты в механические в настоящее время нашел наиболее широкое применение.

Как известно, пьезоэлектрический эффект состоит в том, что при растяжении и сжатии некоторых кристаллов в определенных направлениях на их поверхностях возникают электрические заряды и, наоборот, если к кристаллу приложить напряжение определенной частоты, то кристалл будет растягиваться и сжиматься с той же частотой. Причем эта обратная реакция проявляется в наиболее сильной степени в момент резонанса, то есть когда собственная частота кристалла равна частоте возбуждающих колебаний. Для возбуждения пьезокристаллов применяются обычные генераторы высокой частоты. Сила звука, развиваемая колеблющимся кристаллом, зависит от напряженности электрического поля в кристалле и от размеров его поверхности.

Формы пьезоэлектрических излучателей могут быть самые различные: плоские, сферические, цилиндрические и др. (рис. 4). Для получения интенсивных колебаний пьезоэлектрических излучателей важно правильно их укреплять в держателе — должны быть обеспечены свободные колебания. Контактные поверхности излучателей тщательно шлифуются и для лучшего контакта с токоподводящими проводами покрываются тонким слоем серебра.

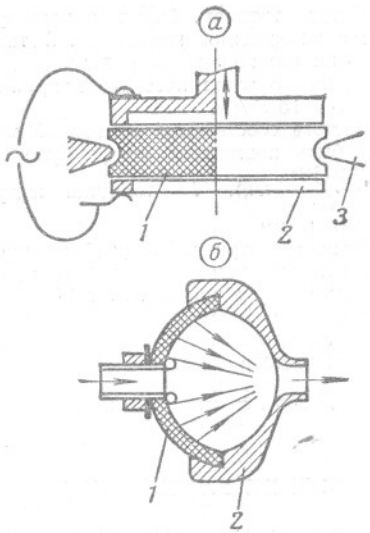


Рис. 4. Пьезоэлектрические излучатели: а — пьезоэлектрический плоский: 1 — кристалл, 2 — контактная пластина, 3 — крепление кристалла; б — сферической формы, предназначенный для облучения жидкости: 1 — пьезокерамический элемент, 2 — оправа.

Кварцевые излучатели. До последнего времени в технике ультразвука для изготовления излучателей наиболее широко применялся кварц. Собственная частота кварцевой пластинки по толщине может быть подсчитана по формуле.

$f=\frac{2{,}87\cdot 10^6}{l}$ (*гц*), где l — толщина пластинки в *мм*.

Допустимое напряжение для собственно кварца высокое и лимитируется обычно окружающей средой: в воздухе — 500 *в/мм*, в трансформаторном масле — 5 000 *в/мм*.

Титанатбариевые излучатели. Титанат бария имеет пьезоэлектрический модуль (коэффициент характеризующий пьезоэлектрическую чувствительность кристалла) примерно в 100 раз больше, чем у кварца. Поэтому на такой излучатель не требуется подавать большие напряжения. Но не менее важным качеством излучателей из титаната бария является то, что они могут быть изготовлены любой формы и размеров. Это позволяет весьма просто решать вопросы фокусировки ультразвука.

Как недостаток титанатбариевых излучателей по сравнению с кварцевыми можно отметить более низкую электрическую добротность и термостойкость. Допустимая сила звука 1—3 *вт/см²*. Получение еще больших мощностей возможно лишь при наличии специального охлаждения, например водяного. Пьезоэлектрические

свойства титанат бария придаются после завершения керамической технологии его получения под действием постоянного электрического напряжения 10—15 *кв/см*.

Частота собственных колебаний может быть подсчитана по формуле $f=\frac{2{,}2\cdot 10^6}{l}$ (*гц*), l — толщина излучателя в *мм*.

Сегнетоэлектрики. Это наиболее чувствительный пьезокристалл. Его пьезомодуль в 150, а при t=24°C в 1 000 раз выше, чем у кварца. При температуре 56° С сегнетовая соль плавится. Собственная частота может быть подсчитана по формуле $f=\frac{2{,}1\cdot 10^6}{l}$ (*гц*).

ПРИЕМ УЛЬТРАЗВУКА

Прием ультразвука применяется в измерительной технике, дефектоскопии, гидроакустике и др.

Методы приема, применяемые в звуковом диапазоне частот, непригодны для ультразвуковых частот, так как обычные микрофоны либо малочувствительны вследствие большой массы подвижной системы, либо оказываются велики по сравнению с длиной волны и могут служить препятствием для их распространения, что недопустимо в технике измерений.

Электрические приемники звука. В качестве микрофонов в ультразвуковом диапазоне используются главным образом пьезокристаллы.

На частотах 30—40 *кгц* удовлетворительные результаты дают специальные малогабаритные конденсаторные микрофоны. Если ультразвуковое колебание модулировано низкой звуковой частотой, то можно применять обычный микрофон, работающий на частоте модулирующего сигнала.

Для измерительных целей изготовляются миниатюрные микрофоны с пьезоэлементами площадью 5—10 *мм*² (рис. 5). Наиболее чувствительные микрофоны могут быть получены с применением кристаллов, имеющих наибольший пьезоэлектрический модуль, и, в частности, микрофоны, сделанные на основе кристаллов сегнетовой соли.

Однако, несмотря на пониженную в несколько раз по сравнению с сегнетовой солью чувствительность титанат бария, его также часто применяют в микрофонах.

При конструировании пьезомикрофонов необходимо использовать явление резонанса. Для этого толщина пьезопластин должна быть подобрана строго определенной, приближенно определяемой формулами, приведенными выше для пьезоизлучателей. Точная подгонка толщины пластин микрофонов, обеспечивающая резонансный прием ультразвука, затруднена. Поэтому наряду с подгонкой толщины пластин применяется электрическая подстройка. Это достигается путем изменения зазора между поверхностью пьезопластины и одним из электродов, а также путем включения последсвательно с пьезокристаллом небольшого конденсатора переменной емкости.

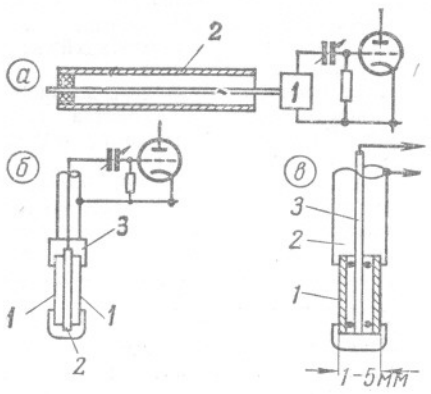


Рис. 5. Пьезоэлектрические микрофоны: а—микрофон, воспринимающий колебания с помощью специального вибратора—стержня (проволоки); б—микрофон из двух пластин пьезоэлектрических кристаллов; в — тинат-бариевый микрофон цилиндрической формы; 1 — пьезоэлектрические элементы, 2, 3— оправы микрофонов.

Для усиления принятых микрофоном ультразвуков применяются обычные усилители. В целях уменьшения уровня электрических помех и наводок каскад предварительного усиления необходимо располагать в непосредственной близости от пьезокристалла.

Оптические методы приема и измерения ультразвука основаны на использовании явлений дифракции, интерференции и изменении коэффициента преломления в жидкостях, возбужденных ультразвуком. Оптические методы применяются главным образом при исследовании свойств различных веществ.

Механические методы приема ультразвука используют взвеси (туман, пыль, пузырьки воздуха, примеси различных жидкостей) в воздухе или в жидкости, которые под действием ультразвука собираются в узлах колебаний и таким образом позволяют измерять длину волны. Например, в воздухе могут быть использованы различные пылевые частицы, а в жидкостях — образующиеся под действием ультразвука пузырьки газа. Для измерения давления излучения используются крутильные весы (рис. 6). Однако эти методы служат лишь для индикации и грубого измерения.

ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКА

Первое применение ультразвука не было полезным — ультразвук был использован браконьерами. Как уже упоминалось, что некоторые животные, в том числе собаки, воспринимают звуки за верхней границей слышимости человеческого уха. Этим обстоятельством воспользовались браконьеры для зова собак с помощью ультразвукового свистка.

Однако в настоящее время можно насчитать сотни различных полезных применений ультразвука.

Остановимся на некоторых, на наш взгляд, наиболее перспективных направлениях практического применения ультразвука.

Связь под водой. Эхолот. Ультразвук для целей связи в воздухе не может быть использован вследствие большого поглощения. Использование ультразвука для этой цели возможно лишь в воде, где затухание в тысячи раз меньше. Ниже в таблице приводятся расстояния, на которых сила звука различных частот в воздухе и в воде убывает вдвое.

Впервые ультразвук был успешно применен для целей подводной локации Шиловским и Ланжевеном в I мировую войну 1914 года для обнаружения подводных лодок противника. Были получены дальности действия 2—3 *км*.

В настоящее время гидроакустика достигла большого развития и больших успехов. С помощью ультразвука производится поиск косяков рыбы, китов, съемка с помощью эхолота профиля дна морей и океанов и др.

Ультразвук с успехом используется для изучения обитателей озер, рек, морей и океанов, многие из которых,

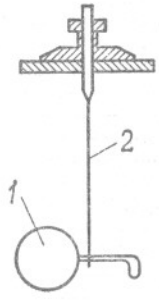


Рис. 6. Крутильные весы: 1— легкая пластина, 2— тонкая нить.

Среда \ Частота, *кгц*	10	20	30	100	500	1000
Воздух	220 *м*	55 *м*	24 *м*	220 *см*	88 *см*	2,2 *см*
Вода	400 *км*	100 *км*	44 *км*	4 *км*	160 *м*	40 *м*

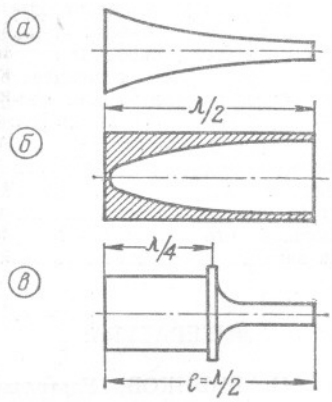


Рис. 7. Концентраторы: а, б — экспоненциальные, в — из двух четверть волновых цилиндров.

как стало известно, «разговаривают» между собой в области ультразвукового диапазона.

Располагая излучатели и приемники на дне морей, можно измерять уровень приливов и отливов за счет отражения ультразвука от поверхности моря.

Обработка металлов. Высокая энергия ультразвуковых колебаний с успехом используется для обработки и резания металлов и минералов. Особенно эффективны ультразвуковые методы при сложных формах обработки деталей и при обработке деталей весьма малых габаритов.

В качестве вибраторов применяются пьезоэлектрические (чаще керамические) и магнитострикционные элементы.

Амплитуда колебаний вибраторов и в особенности магнитострикционных весьма незначительна и достигает 5—10 *мк*. Относительные удлинения имеют величины порядка 10^{-4}—10^{-6}. А для эффективной обработки необходимо, чтобы рабочий конец стержня вибрировал с амплитудой 0,01—0,1 *мм*. Для усиления колебаний применяются трансформаторы скорости или концентраторы (рис. 7), использующие эффект усиления колебаний при уменьшении сечения стержня. Законы изменения сечения концентратора могут быть различны: коническими, экспоненциальными и составленными из двух четвертьволновых цилиндров. Все эти формы дают примерно одинаковое увеличение амплитуд колебаний во столько раз, во сколько уменьшается сечение концентратора.

В качестве примера применения ультразвука для обработки металлов на рис. 8 дан схематический чертеж сверлильного станка. Сверлильные станки в настоящее время приобретают все более широкое применение.

Испытание материалов. Измеряя скорость распространения и коэффициент преломления ультразвука можно определить упругие свойства вещества: плотность, вязкость и модули упругости. Для измерения скорости применяются импульсные и интерферометрические способы.

Большая проникающая способность ультразвуковых волн и то, что ультразвуковые волны в твердых телах на границе металл-воздух почти полностью отражаются, позволило использовать их для проверки металлических изделий на наличие в них неоднородностей, пустот, трещин или же для измерения толщины изделий. Для измерения применяется либо импульсный метод, при котором дефект обнаруживается по отраженному сигналу, либо резонансный метод, основанный на том, что когда толщина образца равна целому числу длин полуволн ультразвука, то этот момент фиксируется приборами как явление резонанса. Рабочая частота таких приборов 1—7 *Мгц*. Точность измерения 1—3% от толщины. Нашей промышленностью для этой цели выпускается специальный ультразвуковой толщинометр УЗТ.

Для целей дефектоскопии используется также метод «просвечивания» изделия ультразвуком. Этим методом, в частности, пользуются для проверки автомобильных покрышек (рис. 9), выявления расслоений и пустот в покрышке.

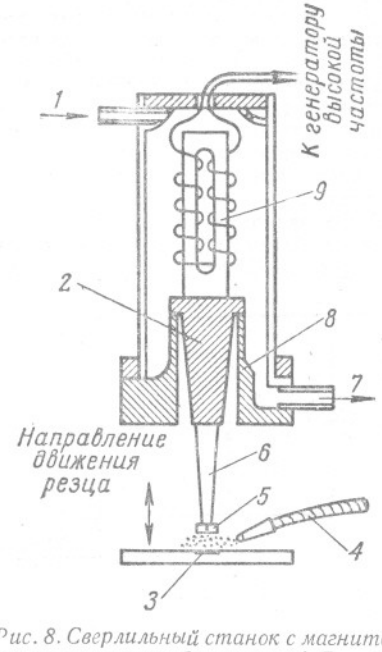


Рис. 8. Сверлильный станок с магнитострикционным вибратором: 1, 7 — подача воды для охлаждения, 2, 6 — концентратор, 3 — обрабатываемая деталь, 4 — подача образива, 5—насадка по форме высверливаемого отверстия, 8 — станина, 9 — магнитострикционный вибратор.

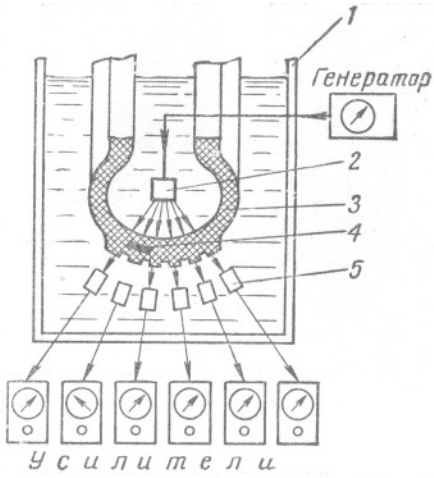


Рис. 9. Ультразвуковая проверка автомобильных покрышек: 1 — сосуд с водой, 2 — излучатель, 3 — покрышка, 4—дефект-воздушная полость, 5 — ультразвуковые приемники.

Образование смесей. Ультразвук с успехом используется для образования различного рода эмульсий из жидкостей, несмешивающихся в обычных условиях, например, таких, как вода и масло, вода и парафин, вода и ртуть.

С помощью ультразвука можно получать топливо-водные эмульсии, добавление которых к горючему повышает октановое число топлива.

Эмульгирование с помощью ультразвука приобретает широкое применение для приготовления лекарственных эмульсий из несмешиваемых в обычных условиях составных частей, а также для приготовления коллоидных растворов. С помощью ультразвука производится образование так называемых туманов из лекарственных препаратов с таким расчетом, чтобы их можно было вдыхать.

Ультразвук улучшает качество фотоэмульсий, обеспечивая получение более мелкозернистой структуры фотоэмульсии.

Для работы в интервале частот 15—30 *кгц* используются магнитострикционные, а на более высоких частотах пьезоэлектрические излучатели.

Если на эмульсии ультразвуковые волны оказывают расщепляющее действие, то на аэрозоли (туман, дым, пыль) они действуют обратным образом,— способствуют коагуляции (собиранию) их. Это свойство с успехом может быть использовано, например, для очистки дымов, выбрасываемых фабричными трубами. Фотография (рис. 10) иллюстрирует эффективность этого метода для очистки дыма. В качестве излучателей ультразвука в этом случае используются мощные ультра-

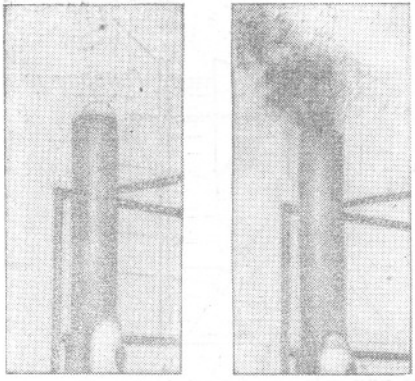


Рис. 10

звуковые сирены, о которых уже шла речь выше.

Другие применения ультразвука. Ультразвуковые колебания высокой интенсивности могут разрушать животные и растительные клетки. При сильном облучении ультразвуком небольшие животные, рыбы, моллюски и некоторые микроорганизмы и даже некоторые бактерии погибают.

Ультразвуковые колебания умеренной интенсивности, напротив, могут быть использованы в лечебных целях. Так, получены удовлетворительные результаты при лечении невралгий и ревматизма.

Обезгаживание расплавов с помощью ультразвука позволяет получать однородные металлы без газовых включений.

Широкое применение ультразвук находит в пищевой промышленности для ускорения ряда процессов. Например, после облучения созревание сыра ускоряется в 2—3 раза.

Улучшение и ускорение очистки различных и в особенности мелких ювелирных изделий и деталей, ускорение многих химических и электрохимических реакций, покраски тканей, моющих процессов, ускорение и улучшение дубления кожи, совершенствование процессов расщепления целлюлозы — таков краткий перечень успешного применения ультразвука.

Возможно некоторые направления применения ультразвука могут оказаться не вполне перспективными, но несомненно, что ультразвук будет весьма важным помощником человека.

ЛИТЕРАТУРА:

1. О. И. БИБИКОВ, Ультразвук и его применение в промышленности. М., Госиздат. Физ.-мат. литература, 1958 г.

2. Л. БЕРГМАН, Ультразвук. М., ИЛ, 1957 г.

3. Б. Б. КУДРЯВЦЕВ, О неслышимых звуках. М., Воениздат, 1958 г.

Ультразвук

В текущем семилетии в народное хозяйство все шире внедряются приборы и устройства, созданные благодаря успехам новых областей физики и радиоэлектроники. В том числе из стен лаборатории вышло немало различной аппаратуры, в которой используются удивительные свойства ультразвука.

Ультразвук применяется сейчас для обработки материалов, интенсификации технологических процессов, а также в дефектоскопии.

Значительную роль в развитии ультразвуковой техники играет радиоэлектроника. Например, большинство приборов для ультразвукового контроля представляют собой сложные электронные устройства, построенные на базе современных достижений радиотехники и радиолокации. Методы электроники позволили создать достаточные акустические мощности, необходимые в промышленности. Кроме того, многие достижения ультразвуковой техники стали возможны благодаря появлению новых материалов, таких как титанат бария, пермаллой и ферриты, позволивших решить сложные вопросы, связанные с преобразованием энергии электромагнитных колебаний в акустические.

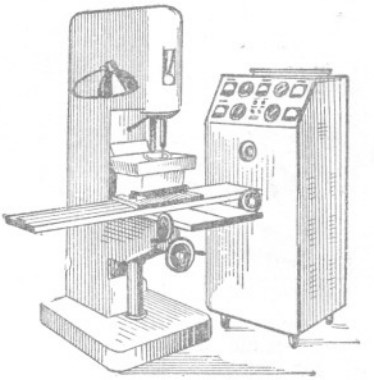
Все ультразвуковые устройства состоят из источника колебаний и излучателя. В качестве источника колебаний применяют электронные генераторы непрерывного действия. Они выпускаются нашей промышленностью в разных вариантах мощностью от 1 до 10 *квт*. Диапазон их частот лежит обычно в пределах 15—25 *кгц*. В качестве излучателей наиболее широко используются излучатели магнитострикционного типа.

В последнее время для ультразвуковых установок стали применяться импульсные генераторы. Особенность их работы заключается в медленном заряде конденсатора и затем его быстром разряде через излучатель. Такие генераторы уже успешно применяются для предотвращения накипи в котлах. Они настолько просты в изготовлении, что могут быть собраны силами радиолюбителей.

Ниже рассказывается о различных ультразвуковых установках, применяемых в нашей промышленности.

Этот станок —2УПС предназначен для обработки изделий из хрупких материалов (стекла, керамики и др.). Состоит он из двух основных частей: собственно станка и генератора. По внешнему виду станок мало отличается от обычного сверлильного или вертикально-фрезерного. Основное отличие заключается в инструменте. В качестве рабочей головки используется магнитострикционный преобразователь, к вибрирующему торцу которого крепится специальный инструмент, представляющий собой стержни с переменным сечением. В таких стержнях происходит трансформирование скорости, и рабочий конец имеет амплитуду вибрации в несколько раз большую, чем конец, соединенный с вибратором. Сам вибратор представляет собой пакет из материала, который сжимается или растягивается под действием магнитного поля. Этот эффект носит название магнитострикции. Катушка вибратора питается от генератора, вырабатывающего колебания мощностью 1,5 квт с частотой 16,5 кгц.

Выходной каскад генератора трансформаторный, собранный по



двухтактной схеме на лампах ГУ-80. Точность обработки 0,01 мм, производительность 700 мм³/час.

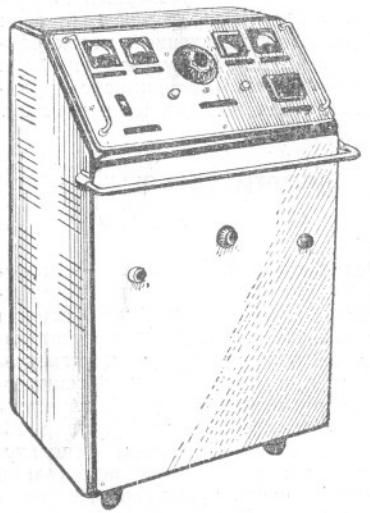
Между инструментом и изделием подается смесь абразивного порошка с водой. Так как стержень вибрирует с большой частотой, то частички абразива получают большие ускорения, и под действием небольшого давления стержень погружается в обрабатываемый материал. Кавитационные процессы, имеющие место в жидкости, значительно ускоряют обработку.

Ультразвуковой метод обработки твердых и хрупких материалов очень удачно используется в зубоврачебной практике. Созданы опытные образцы ультразвуковых бормашин, причем процесс обработки совершенно безболезнен, так как давление на зуб передается через вибрирующие частички абразива.

Нашей промышленностью выпускается целый ряд генераторов, предназначенных для различных технологических процессов с применением ультразвука. К таким генераторам относятся УЗГ-1, УЗГ-2,5, УЗГ-10. Отличаются они друг от друга конструктивным оформлением и выходной мощностью. Наиболее компактный, получивший довольно широкое распространение генератор УЗГ-1 показан на рисунке. Генератор питается от однофазной сети переменного тока напряжением 220 в и частотой 50 гц. Мощность, потребляемая от сети 3—4 квт, выходная — 1,25 квт. Выходной каскад собран на мощном триоде типа ГУ—27 А.

Частота генератора может в некоторых пределах изменяться (от 40 до 60 кгц). На выходе для согласования с вибратором имеется трансформатор. В качестве излучателей используются магнитострикционные преобразователи пакетного типа. Генераторы комплектуются стандартными излучателями, но могут работать с излучателями, предназначенными для эхолотов типа НЭЛ-IV, НЭЛ-V и другими.

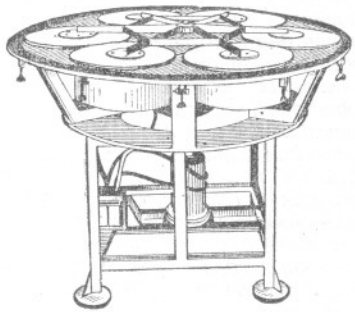
Выпрямитель для подмагничивания вибратора — селеновый и монтируется в кожухе генератора.



Часто бывает необходимо очистить мелкие детали от жира, пыли или других загрязнений. Операция эта требует много времени, особенно если детали имеют сложную конфигурацию. В таких случаях на помощь приходит ультразвук. Очистка ультразвуком производится в обычных рабочих жидкостях, но процесс значительно ускоряется.

Процесс очистки под действием ультразвука достаточно сложен, так как является сочетанием больших ускорений, сообщаемых жидкости, и кавитации (захлопывания воздушных пузырьков), при которой появляются чрезвычайно большие местные давления и эмульгирование жировых примесей. Таким способом можно удалять также ржавчину, окалину или пленки окислов.

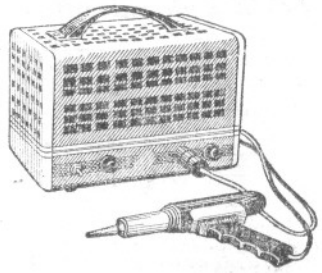
Промышленным образцом ультразвукового агрегата для очистки



деталей является показанный на рисунке аппарат типа УЗА.

УЗА—шестипозиционный агрегат с автоматическим циклом работы, предназначенный для очистки мелких деталей. Загрузка и выгрузка производится через одно окно. Детали перемещаются внутри агрегата в сетках и последовательно проходят стадии очистки, ополаскивания и сушки предварительной и ультразвуковой. Излучателями ультразвука являются два магнитострикционных преобразователя типа ПМС-4, встроенные в днища двух ванн. В качестве источника, питающего вибраторы, применяется генератор типа УЗГ-10. Более портативными являются устройства для очистки, в которых используется в качестве излучателя мозаика из титаната бария.

Применение алюминия и его сплавов в известной степени тормозилось тем, что не было надежного метода его пайки. Вся



трудность при пайке алюминия заключается в том, что припой может схватываться только с чистой поверхностью металла, а алюминий на воздухе очень быстро покрывается окисной пленкой. Предлагались различные способы пайки (например, пайка в атмосфере инертного газа), но эти способы были слишком сложны и поэтому не находили массового применения. Нужно, либо предохранять поверхность от окисления, либо разрушать пленку и в тот же момент наносить припой. Ультразвук помогает успешно решить вторую задачу. Если заставить вибрировать жало обычного паяльника или ванночки, в которой происходит лужение, то под действием ультразвуковых колебаний пленка окиси разрушается и припой успевает прочно соединиться с чистым металлом. Разрушение пленки происходит под действием кавитации, возникающей в слое расплавленного припоя.

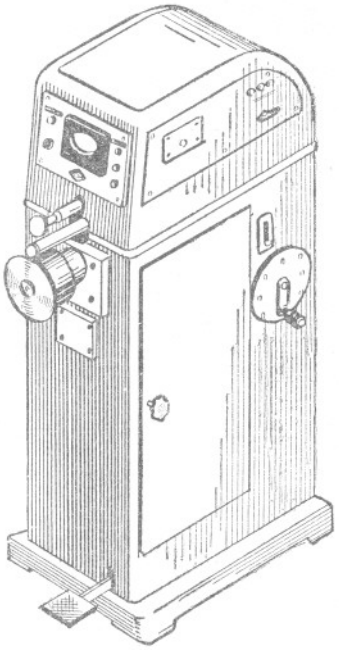
Ультразвуковой паяльник УП-42 выпускается нашей промышленностью серийно. Он состоит из двух частей: генератора и паяльника.

В генератор входит возбудитель, собранный по схеме RC, фазоинверсный каскад и двухтактный выходной усилитель на лампах 6П3С. Выходная мощность генератора 30 вт. Рабочая частота 23—26 кгц. Питается генератор от сети переменного тока 220 в. Для увеличения амплитуды колебаний вибратора применяется подмагничивание. Выпрямитель подмагничивания и нагревательный элемент паяльника питаются от отдельных обмоток силового трансформатора. Мощность, потребляемая всей установкой от сети, порядка 300 вт.

Медный стержень паяльника жестко соединен с вибратором магнитострикционного типа. Для удобства работы корпусу паяльника придана форма пистолета.

СВАРКА УЛЬТРАЗВУКОМ

Несколько лет назад в Советском Союзе был разработан метод холодной сварки металлов. Он основан на том, что при плотном соприкосновении металлов с абсолютно чистыми поверхностями в результате давления, которое сообщалось деталям в месте сварки появляется течение металла. При этом наблюдается диффузия, то есть проникновение одного металла в другой. Использование ультразвука значительно упрощает этот процесс. Отпадает необходимость в тщательной очистке свариваемых поверхностей и можно работать при значительно более низких давлениях.



Под действием ультразвука в месте контакта возникают переменные внутренние напряжения, улучшающие течение металла и ускоряющие процесс сварки. Нашей промышленностью выпускается показанный на рисунке сварочный аппарат УЗСМ-2.

Он рассчитан на питание от генератора УЗГ-10 (для более толстых материалов) или УЗГ-2,5.

Соединяемые металлические листы устанавливаются на нижний ролик и прижимаются друг к другу с помощью верхнего ролика, который является наконечником ультразвукового инструмента.

Оба ролика сварочного аппарата, как верхний, так и нижний, вращаются специальным приводом. В аппарате используется ультразвуковой преобразователь типа ПМС-15. Мощность, потребляемая преобразователем, 3—4 квт, рабочая частота 19,5 кгц, усилие 20÷140 кг, скорость от 75 до 850 мм/мин.

Ультразвуковая сварка является новым процессом соединения металлов без расплавления и без резкого теплового воздействия на металл. Наряду со сваркой металлов начинает находить применение сварка пластмасс.