

Лекция 5

Особенности ультразвуковых аппаратов различного назначения

Уважаемые Студенты, Магистранты, Аспиранты, Коллеги!

(Слайд 1). Предлагаемое Вам сообщение (лекция) посвящено рассмотрению особенностей ультразвуковых аппаратов, предназначенных для создания ультразвуковых воздействий на различные среды, материалы и изделия с целью изменения их структуры и свойств при решении научных и промышленных задач.

В этой лекции, как и в предыдущих, изложены не только накопленные за многие годы знания, но и мой взгляд на существующие проблемы в особенностях и различиях в применении ультразвуковых аппаратов, а также мой подход к решению этих проблем.

Как и в предыдущей лекции, считаю необходимым предупредить слушателей о том, что раскрыть все особенности современных ультразвуковых аппаратов в одной лекции невозможно, поэтому я не претендуем на всеобъемлющее рассмотрение всех возможных особенностей и на полное решение всех проблем. Но я надеюсь, что полученные знания позволят Вам ориентироваться в проблеме.

Поэтому эта лекция представляется Вам как очередная маленькая частичка вклада моего коллектива, которая позволит Вам понимать особенности и возможности проектирования и применения различных аппаратов при решении конкретных задач, возникающих перед Вами при организации новых производств или решении проблем существующих старых технологий.

Главное, что полученные знания позволят Вам, в дальнейшем, решать вопросы создания эффективных алгоритмов управления УЗ аппаратами.

Как обычно, прежде чем приступить к сути сообщения – кратко о том: кто я и откуда.

(Слайд 2). Я научный руководитель большого коллектива. Это научная школа, это лаборатория акустических процессов и аппаратов в Алтайском государственном техническом университете, это малые инновационные предприятия, создающие и производящие большое количество разнообразных ультразвуковых аппаратов, которые можно посмотреть на наших сайтах.

Численно это небольшой, но молодой и дружный коллектив (более 20 человек), официально сформированный 24 мая 1994 года, сегодня реализующий себя как «Центр ультразвуковых технологий».

Объединяет коллектив ультразвуковые аппараты и технологии с применением ультразвука. Они создают возможности (и научные и финансовые), они объединяют и направляют нашу деятельность.

В предыдущих лекциях я говорил о промышленных УЗ аппаратах и их применении. А на последних лекциях мы анализировали составляющие этих аппаратов, т.е. рассмотрели пьезоэлектрические излучатели ультразвуковых колебаний и электронные генераторы для их питания. НО мы не рассматривали особенности работы ультразвуковых аппаратов при решении различных задач.

Поэтому в этой лекции - особенности аппаратов, разрабатываемых и применяемых в различных условиях при решении разнообразных задач современных производств. Ранее мы говорили об некоторых особенностях аппаратов, например о работе в агрессивных средах, различных температурах и давлениях и т.п.. Эти особенности проявлялись в конструкциях и работе аппаратов при создании УЗ колебаний в различных условиях, в частности в различных средах.

Но основная задача УЗ аппаратов - создать максимально эффективные воздействия (по эффективности и производительности) в любых средах для реализации определенных процессов или решении определенных задач.

Т.е. мы с Вами будем рассматривать те особенности аппаратов, которые обеспечивают их максимально эффективное применение. Это будут особенности правильного (оптимального или максимально рационального) создания ультразвуковых колебаний в обрабатываемых средах в различных условиях.

Как мы уже говорили, ультразвуковые технологии, основанные на применении ультразвуковых колебаний высокой интенсивности, широко применяются в промышленности, сельском и домашнем хозяйстве. Я, в очередной раз, хотел бы напомнить о широчайшем применении ультразвуковых технологий и огромной потребности в аппаратах для реализации таких технологий.

Сегодня растущие потребности промышленного производства и потребителей обуславливают не только необходимость постоянного совершенствования технологических процессов, активного развития и совершенствования всех элементов ультразвуковых технологических аппаратов, но и обеспечения максимально эффективной работы аппаратов в различных условиях, т.е. при создании колебаний в различных средах.

И так, про особенности применения УЗ аппаратов (Слайд 3).

Мы с Вами уже знаем, что УЗ аппарат может работать в различных условиях, которые оказывают существенное влияние на его работу и реализуемые функциональные возможности.

На ультразвуковой аппарат может воздействовать ряд внешних и внутренних факторов, которые стремятся нарушить нормальную работу УЗ аппарата. К таким факторам относятся:

- величина и характер акустической нагрузки (обрабатываемой среды);
- динамика изменения свойств акустической нагрузки (изменения свойств обрабатываемых сред);
- нестабильность параметров питающей сети;
- температура (обрабатываемой среды, УЗ излучателя, генератора);
- другие факторы (степень кавитации, степень износа инструмента, внешнее давление и т.п.).

Именно эти влияющие факторы, а вернее необходимость учета их влияния и обеспечения максимальной эффективности в таких сложных условиях и определяют особенности современных ультразвуковых аппаратов.

Слайд 4.

Таким образом, необходимость обеспечения максимальной эффективности воздействия это необходимость оптимизировать воздействие на разные среды. Поэтому, далее давайте рассмотрим особенности обеспечения работы аппаратов в различных условиях.

В первую очередь это создание УЗ воздействий в различных по свойствам средах. Именно среды определяют и инструменты воздействия и конструкции колебательных систем.

Но важнейшим является то, что создание оптимальных режимов УЗ воздействия в различных средах обеспечивается по разному и требует различной работы и управления работой электронного генератора УЗ аппарата.

Состояния технологических сред, в которых реализуются необходимые для человека процессы может быть различными. Поэтому условно разделяют ультразвуковое воздействие на основные агрегатные состояния веществ – газообразное, жидкое и твердое.

Далее рассмотрим особенности максимально эффективного ультразвукового воздействия, осуществляемого за счет введения

ультразвуковых колебаний в основные виды обрабатываемых сред - среды с преимущественной жидкой фазой.

Слайд 5.

Здесь кратко показаны основные реализуемые процессы в средах с преимущественно жидкой фазой.

Различные технологические среды с преимущественно жидкой фазой могут очень существенно различаться по химическому составу, плотности, температуре, иметь избыточное, в сравнении с атмосферным, давление. В большинстве случаев жидкие фазы таких сред могут существенно отличаться вязкостью, скоростью распространения в них ультразвуковых колебаний, их затуханием, поверхностным натяжением, кавитационной прочностью и др. Т.е. необходимо решать самые разнообразные задачи, часть которых представлена на слайде 5.

Нам уже известно, что там, где есть жидкая фаза - основное влияние на скорость реализации технологических процессов оказывает кавитация (Слайд 6). Это физическое явление обеспечивает очень эффективное преобразование энергии УЗ колебаний в энергию взрывающихся пузырьков, т.е. в энергию ударных волн и коммюлятивных струй. Именно они обеспечивают изменения структуры и свойств веществ, т.е. необходимые технологические изменения сред и материалов.

Поэтому для жидких сред основная задача ультразвукового воздействия – необходимость обеспечения максимально эффективного кавитационного процесса.

Условно эффективность процессов зависит от интенсивности ультразвукового воздействия, как оказано на следующем рисунке, т.е. имеет экстремальный характер (Слайд 7).

Поэтому, в первую очередь, возникает необходимость создания кавитационного процесса в различных средах.

Вот перед Вами на Слайде 8 пример формирования и развития кавитационного процесса в высоковязкой среде (эпоксидная смола).

Когда мы говорим о различной кавитационной прочности жидких сред мы считаем, что это могут быть обычные (классические), т.н. «ньютоновские» жидкости, в которых вязкость не зависит от параметров воздействия и возможно формирование кавитационного процесса. (Слайд 8). Но, поскольку они отличаются кавитационной прочностью, порог зарождения кавитации в них будет существенно отличаться. Например в водной среде кавитационный процесс будет стабильно формироваться при интенсивности около 1 Вт/см^2 , в маслах при 10 Вт/см^2 , а в эпоксидных смолах при $30...40 \text{ Вт/см}^2$.

Кроме таких классических жидкостей существует большое количество, так называемых «неньютоновских» жидкостей, в которых вязкость зависит от различных факторов воздействия на эти среды. Ранее считалось, что кавитационный процесс в таких жидкостях сформировать невозможно. Однако сегодня практически во всех подобных жидкостях удается сформировать кавитационный процесс при относительно высоких интенсивностях УЗ воздействия (более 30 Вт/см^2).

Слайд 9. Кавитационный процесс в таких «неньютоновских» жидкостях - это особенное явление.

Посмотрите на слайде, как проявляется кавитационный процесс в таких средах. Его проявление и влияние на параметры жидких сред требует особого понимания и изучения. Это все относится к однородным жидкостям.

Но может быть и по другому.

Если в жидкой однородной среде находится еще одна или несколько жидких фракций или в жидкой среде находятся инородные частицы в другом агрегатном состоянии (газовом или твердом), такие среды относятся к жидкодисперсным средам.

Поэтому мы вынуждены рассматривать среды, в основе которых жидкая фракция, в которой содержатся инородные твердые или жидкие частицы различных размеров и химического состава (в том числе химически агрессивные или абразивные). Размер, форма, состав наполнителей

определяют свойства таких сред (вязкость, плотность и т.п.), поэтому эффективное ультразвуковое воздействие для обработки таких сред (диспергирование, эмульгирование, растворение, распределение, разделение наночастиц или нанотрубок) требует оптимизации воздействия с учетом непрерывного изменения свойств сред в процессе их обработки.

Воздействие в таких случаях осуществляется не только непосредственно на жидкие среды, но чаще, целью воздействий становится преобразование различных сред или объектов, находящихся в них (твердые или жидкие частицы) или отделенных от излучателей жидкими промежутками (дегазация).

Поскольку наиболее эффективное воздействие обеспечивается в зоне формирования кавитационного процесса возникает необходимость формирования зон определенного размера или формы.

Т.е. особенность работы УЗ аппаратов еще и в том, что при создании кавитации в процессе реализации ультразвукового воздействия следует учитывать условия формирования полей ультразвуковых колебаний в обрабатываемых технологических объемах и камерах.

Посмотрите слайд 10.

В частности, различные условия воздействия возникают при обработке жидких сред в различных по размерам и форме объемах, т.е. в различных по размерам слоях, имеющих различные ограничения (отражатели) или даже в слоях, размеры которых меньше длины волны формируемых УЗ колебаний.

На слайде 11 представлена картина формирования зон кавитационного воздействия от различных по форме излучателей в цилиндрических по форме объемах.

Рассматривая процесс в жидких средах типа воды (отсутствует затухание колебаний) можно говорить о распространении колебаний в ограниченных объемах.

Но при рассмотрении картины в вязких средах с высоким затуханием можно говорить о формировании кавитационного процесса в безграничных средах. Это же влияние можно имитировать не только применением различных сред, но и мощностью излучения (слайд 12):

В общем случае необходимо различать следующие условия реализации УЗ воздействия

– УЗ воздействие на безграничные технологические среды (слайд 13), в частности на процесс диспергирования твердых частиц в жидкости за счет кавитационных процессов. В чем особенность формирования такого воздействия

УЗ колебания распространяются без каких либо отражений, т.е. вся энергия распространяемых УЗ колебаний затрачивается на реализацию положительного действия – от возникновения и создания кавитационной области, в которой реализуется основной технологический процесс (кавитационное преобразование) с последующим ультразвуковым воздействием в безкавитационном режиме (дегазация, активация бактерий, деимульгирование и т.п.), вплоть до полного затухания колебаний;

– УЗ воздействие на ограниченные по размерам технологические объемы, в которых УЗ колебания распространяются с большим количеством безрезонансных или резонансных отражений. Когда реализуются безрезонансные условия отражений, происходит некоторое усреднение амплитуды колебаний, возникают зоны повышенной интенсивности и зоны отсутствия колебаний. Воздействие в таких случаях становится не эффективным;

- При реализации резонансного режима (Слайд 14) воздействия в ограниченных средах (при наличии твердого отражателя) возможно формирование режима «стоячей» ультразвуковой волны и повышение ее реальной амплитуды не менее чем в три раза. При этом вся энергия распространяемых УЗ колебаний затрачивается на реализацию положительного действия – создания кавитационной области, в которой

реализуется основной технологический процесс (кавитационное преобразование). Максимальный положительный эффект такого воздействия достигается при реализации однородного кавитационного облака во всем резонансном промежутке.

На слайде 14 представлен особенный случай ультразвукового воздействия на ограниченный по размерам жидкостный промежуток реализуется при формировании ультразвуковых колебаний в тонком слое жидкости, ограниченным газовой средой. В таком случае, ультразвуковое воздействие формирует кавитационные пузырьки в жидкости вблизи колеблющейся поверхности. Формируемые парогазовые пузырьки взрываются в жидкой среде, формируя ударные волны. Ударные волны достигают границы с воздушной средой и формируют на поверхности жидкости (в газе) капиллярные поверхностные волны. Если вдоль сформированных волн (между гребнями) пропускать инородный газ – он будет очень эффективно поглощаться жидкостью, Так реализуются технологии поглощения вредных газов

При реализации кавитационного процесса в слое определенной толщины (Слайд 14) энергия ударных волн на поверхности становится достаточной для формирования поверхностных волн, гребни которых фокусируют колебания и разрушаются, создавая и разбрасывая от поверхности жидкости частички жидкой среды. Причем размеры этих частиц определяются частотой колебаний, а производительность амплитудой колебаний и толщиной слоя;

В каждом отдельном случае (простейший представлен на слайде 15 – где показан работающий излучатель с торцевой поверхностью) возникает необходимость создания кавитационного процесса, обеспечивающего достижение поставленной цели с максимальным эффектом, т.е. управления процессом воздействия.

Каковы же особенности аппаратов, позволяющие реализовать эти процессы с максимальной эффективностью.

Максимальная сложность связана с воздействием на жидкие среды. С этого и начинаем рассмотрение.

Учет особенностей ультразвукового воздействия на жидкие или жидкодисперсные среды может (и должен) включать последовательность следующих действий:

Слайд 16. Погружение УЗ излучателя или его части (рабочего инструмента) в обрабатываемую среду, подключение его к электронному генератору и подача питающего пьезоэлектрический преобразователь электрического напряжения.

Для создания механических колебаний ультразвуковой частоты пьезоэлектрическим преобразователем (обеспечения работы преобразования энергии электрических колебаний в механические) необходимо обеспечивать повышение при помощи электронного генератора величины питающего электрического напряжения и изменять генерируемую частоту этого электрического напряжения в определенном диапазоне, соответствующем диапазону нахождения собственной резонансной частоты пьезоэлектрического преобразователя и всей колебательной системы (предварительно установленному при сборке и испытаниях системы на измерительном стенде).

Осуществлять непрерывный контроль параметров собственных механических колебаний всей колебательной системы до выявления момента возникновения резонанса, т.е. соответствия частоты электрического питающего напряжения собственной частоте всей системы). Таким образом, мы определяем резонансную частоту колебательной системы в любой обрабатываемой среде и устанавливаем ее питание напряжением нужной частоты.

Слайд 17. При установлении величины собственной рабочей частоты всей колебательной системы (суммарно всей системы, состоящей из пьезопреобразователя, промежуточного - бустерного звена, креплений, концентратора и рабочего инструмента) с учетом влияния среды, в которую

погружен рабочий инструмент (т.е. с учетом «присоединенной массы» обрабатываемой среды) возможно дальнейшее увеличение питающего напряжения для увеличения выхода энергии механических колебаний в обрабатываемую среду.

Поскольку величины волновых сопротивлений колебательной системы и жидких сред существенно отличаются, выход энергии затруднен, большая часть энергии при этом потребляется на реализацию механических колебаний всей системы, обеспечивая небольшой выход энергии в обрабатываемую среду. По этой причине величина питающего электрического напряжения может увеличиваться до значительных величин (до 300 вольт на 1 мм толщины пьезоэлектрического элемента). Непрерывный контроль величины этого напряжения позволяет исключить непредсказуемое нарастание амплитуды колебаний и механическое разрушение пьезоматериала или его электрической пробой.

По мере увеличения питающего электрического напряжения при обеспечении соответствия частот питания и собственной частоты системы, увеличивается выход энергии из рабочего инструмента системы в обрабатываемую среду, т.е. начинается непосредственное УЗ воздействие на обрабатываемую среду. Однако, для обеспечения кавитационного режима воздействия требуется дальнейшее увеличение напряжения питания, поступающего с генератора.

Слайд 18. Продолжаем увеличивать напряжение питания колебательной системы.

Поскольку среда подвергается уже высокоинтенсивному ультразвуковому воздействию, в среде начинают происходить очень специфические физические явления, в частности, в местах наличия каких либо центров инициализации начинают возникать разрывы жидкой среды в моменты прохождения зон разрядки ультразвуковых колебаний. Т.е., вокруг какого либо зародыша (газовый пузырек, твердая субмикронная частица) формируется разрыв жидкой среды. В зоне отрицательных давлений

ультразвуковых колебаний этот пузырек начинает увеличиваться в размерах за счет диффузии в него растворенных в жидкости газов. Пузырек возрастает в размерах, запасая внутри себя энергию колебаний.

Как относится к моменту возникновения парогазовых пузырьков в жидкой среде пьезоэлектрическая колебательная система и электронный генератор, и знают ли они об изменениях, происходящих в обрабатываемой среде. Безусловно, должны знать, поскольку появление пузырьков в жидкости приводит к изменению свойств жидкой среды, в частности за счет появления в жидкости газовых полостей плотность жидкой среды начинает уменьшаться и скорость распространения колебаний также уменьшается.

Изменения свойств обрабатываемой среды приводят, в первую очередь к изменению величины присоединенной массы, т.е. к изменению собственной рабочей частоты колебательной системы. Частота питающего электрического напряжения начинает не совпадать с собственной частотой колебательной системы и резонансные колебания уменьшаются, Для компенсации потерь электронный генератор должен увеличивать амплитуду питающего напряжения. Однако это становится невозможным, поскольку выход энергии в обрабатываемую среду уменьшается, а потери внутри системы возрастают (приближается электрический и тепловой пробой).

В этот момент пьезоэлектрическая колебательная система должна начать работать в качестве датчика, контролирующего изменения, происходящие в обрабатываемой среде. А электронный генератор начинает сканирование частотного диапазона в заданных пределах и постоянно получает информацию об изменениях собственной резонансной частоты всей колебательной системы.

Дальнейшее повышение питающего напряжения возможно и необходимо осуществлять только с учетом получаемой информации об изменениях собственной резонансной частоты системы. Такие изменения собственной частоты происходят непрерывно, поскольку количество кавитационных пузырьков постоянно возрастает, и в каждом из пузырьков

происходит накопление энергии колебаний. Электронный генератор должен непрерывно увеличивать напряжение питания, одновременно изменяя частоту питающего напряжения для обеспечения накачки кавитационных пузырьков энергией по мере их роста (расширения).

Когда количество кавитационных пузырьков достигнет определенного значения (определенного индекса кавитации), плотность кавитационного облака перед излучающей поверхностью будет такова, что обрабатываемая среда будет обладать практически свойствами газа (парогазовых пузырьков в жидкости) и собственная резонансная частота системы, будет соответствовать собственной частоте системы в воздухе.

Поскольку возникновение, рост и разрушение кавитационных пузырьков являются основным действующим фактором, обеспечивающим диспергирование, эмульгирование, экстракцию, растворение, стерилизацию, гомогенизацию и другие процессы, т.е. обеспечение положительного эффекта ультразвукового воздействия, необходимо обеспечивать непрерывную подачу электрической энергии на собственной частоте системы для поддержания кавитационного процесса в режиме «развитой» кавитации, т.е. в таком режиме, при котором осуществляется максимальное энергетическое воздействие на обрабатываемые среды (т.е. обеспечивается получение продукта требуемого качества с максимальной производительностью).

Следует отметить, что в процессе реализации ультразвукового воздействия необходимо учитывать влияние большого количества дестабилизирующих факторов, оказывающих влияния на эффективность ультразвукового воздействия при реализации различных процессов. Это изменения температуры пьезоэлементов (изменения электропреобразовательных свойств), отдельных элементов колебательной системы и обрабатываемых сред, возникновение избыточных давлений в замкнутых объемах, кавитационное разрушение инструментов и т.п. Все это должно контролироваться в процессе работы генератора и колебательной

системы, компенсироваться за счет правильных алгоритмов управления для обеспечения одинаковых условий реализации процессов в течении часов или суток получения новых материалов.

В качестве примера вернемся к обработке высоковязких сред.

Слайд 19. При реализации технологических процессов в высоковязких средах требуется обеспечение снижения вязкости на первом этапе с приложением огромных энергий.

Слайд 20. Особые случаи УЗ воздействия реализуются в медицинской практике - терапевтического воздействия УЗ высокочастотными и низкочастотными колебаниями (массаж, введение лекарств и мазей через кожу), ультразвуковой внешней и внутренней липосакции (удаление подкожного жира) и лапораскопической хирургии, снижения болевых синдромов, дробления или передвижения камней в почках, остановка кровотечений при внутренних травмах и ранениях, кавитационная очистка ран, повышение биологической активности антибиотиков и лекарственных препаратов, разрушение новообразований и многие другие лечебные процедуры) требует очень осторожного УЗ воздействия на организм человека.

Поэтому воздействие на поверхность кожи человека осуществляется при интенсивностях воздействия, не способных приводить к возникновению кавитационных процессов (разрушению клеток) или импульсами определенной длительности.

Однако, при реализации липосакции требуется кавитационное разрушение жировых клеток. Поэтому возникает необходимость оптимизации УЗ воздействия по частоте, интенсивности и времени воздействия, используя как непрерывных, так и импульсные УЗ воздействия.

Таковы особенности ультразвуковых аппаратов при создании кавитационных воздействий в средах с жидкой фазой.

Все остальные применения имеют другие особенности и обеспечение работы аппаратов требует учета и использования других особенностей. работы аппаратов в др.

Далее рассмотрим воздействия на газовые среды. Слайд 21.

Газовая среда может иметь различный химический состав, плотность, температуру, иметь избыточное, в сравнении с атмосферным, давление, содержать инородные твердые или жидкие частицы различных размеров и химического состава (в том числе химически агрессивные или абразивные).

Воздействие в большинстве случаев осуществляется не только непосредственно на газовые среды, а на различные среды или объекты, находящиеся в них (твердые или жидкие частицы загрязненного воздуха, тонкие пленки жидкости в пене) или отделенные от излучателей газовыми промежутками (бесконтактная сушка).

Для организации ультразвукового воздействия необходимо обеспечить формирование и распространение колебаний в газовой среде.

Поэтому возникает необходимость применения специальных аппаратов, имеющих различные особенности.

Слайд 22. Т.е. возникает необходимость направлять колебания, исключать дифракционное расхождение, обеспечивать фокусировку, однонаправленность излучения.

В случае появления препятствий на пути распространения ультразвуковых колебаний необходимо обеспечить, либо поглощение колебаний этой средой для реализации процессов, например сушки, пенногашения или коагуляции, или обеспечить отражение колебаний с определенной фазой в нужном направлении. Обычно требуется обеспечить возврат колебаний к излучателю для формирования режима стоячей волны, позволяющего увеличить амплитуду колебаний между излучателем и отражателем не менее чем в три раза, повысив тем самым эффективность УЗ воздействия.

Каковы особенности работы аппаратов. Основная особенность – высочайшая добротность излучателей (более 10000). При этом не исключаются все рассмотренные ранее дестабилизирующие факторы. Поддержания соответствия рабочей частоты генератора постоянно изменяющейся резонансной частоте высокочастотной системы отдельная проблема, требующая специальных решений.

При реализации ультразвукового воздействия на твердые среды (Слайд 23) необходимо учитывать следующее:

1. Воздействие на твердые среды ультразвуковыми колебаниями может быть направлено на реализацию различных технологических процессов. Основные из них можно описать следующим образом:

Слайд 24. Разрушение особо твердых или хрупких материалов (не обрабатываемых при помощи вращательных механических воздействий) при помощи ультразвукового воздействия через абразивные суспензии - это размерная обработка материалов (сверление, резка, изготовление пазов и т.п.):

Размерная обработка хрупких или особо твердых материалов реализуется колеблющимся ультразвуковым инструментом через абразивную суспензию, состоящую из частиц твердого материала и воды. Твердые частицы под действием на них УЗ колебаний выкалывают частички обрабатываемого материала, создавая трещины и формируя обрабатываемое изделие. Вода в абразивной суспензии формирует кавитационные процессы, результатом которых являются микро и макро потоки, уносящие отработанный (разрушенный) материал и доставляя новые порции свежей абразивной суспензии. Очевидно, что увеличение амплитуды колебаний до определенного значения будет способствовать увеличению скорости обработки.

Таким образом, реализация процесса размерной обработки аналогична реализации кавитационной обработки жидко дисперсных сред. Алгоритмы управления генератором аналогичные. Основная особенность заключается в

необходимости реализации процесса с непрерывным изменением напряжения питания системы при поддержании частоты этого напряжения изменяющейся частоте системы. На начальном этапе (засверливание) напряжение питания может реализовывать докавитационный процесс, затем, по мере заглубления возникает необходимость реализации кавитационного процесса с непрерывным повышением напряжения для компенсации демпфирования инструмента.

Слайд 25. Сварка металлов и полимерных материалов для соединения отдельных элементов при производстве изделий.

Слайд 26. Сварка полимерных материалов осуществляется за счет интенсификации диффузионный процессов на границе двух (или нескольких) соединяемых материалов за счет поглощения энергии ультразвуковых колебаний. Реализация такого процесса требует непрерывного контроля подаваемой и используемой для сварки энергии.

Особенности работы аппаратов заключаются в том, что необходимо обеспечить поглощение, а в тонких слоях – реализовать эффекты трения поверхностей за счет колебаний. Далее необходимо обеспечить перевод соединяемых материалов в вязкопластичное состояние, взаимное проникновение материалов, без возникновения перегревов и деструктивных изменений состояния полимерных материалов (не превышать температуры плавления материалов). В завершении необходимо стабилизировать сформированный шов нужной формы, вида и прочности. Все эти процессы должны быть реализованы в доли секунды – реального времени формирования сварочного соединения.

Таким образом, подводя итог сказанному в лекции.

Практическая реализация различных технологических процессов под действием ультразвуковых колебаний в разнообразных по структуре и свойствам средах, требует учета большого количества особенностей, связанных с формированием ультразвуковых колебаний, их введением в

различные по свойствам среды и реализацией самого воздействия с максимальной эффективностью.

Необходимость обеспечения максимальной эффективности технологических процессов требует применения единых регламентированных принципов управления аппаратами, т.е. создания аппаратов, обеспечивающих оптимальное ультразвуковое воздействие за счет автоматической системы управления работой электронного генератора.

Спасибо за внимание.