

Немного об использовании ультразвука в процессе отмывки

Успех выполнения процесса отмывки в электронике зависит от огромного количества составляющих. И немалый вклад в положительный результат вносит оборудование. Причиной этого является наличие в оборудовании агитации — воздействия, которое ускоряет и увеличивает эффективность операции отмывки. Основной вид агитации при отмывке погружением — ультразвук. Очень часто в своей практике я вижу принципиально разные отношения к ультразвуку: одни специалисты считают, что ультразвук моет все и это самый лучший вид агитации, другие уверены, что ультразвук портит все и использовать его категорически нельзя. Но, как обычно, истина где-то посередине, и тому, где именно ее искать, и посвящена эта статья.

**Татьяна Кузнецова,
к. х. н.**

T.V.Kouznetsova@gmail.com

Начнем с обсуждения того, что же такое ультразвук.

Ультразвук — звуковые волны, имеющие частоту выше воспринимаемых человеческим ухом, обычно, под ультразвуком понимают частоты выше 20 кГц [1]. По физической природе ультразвук представляет собой упругие волны, и в этом он не отличается от звука, а потому частотная граница между звуковыми и УЗ-волнами условна [2].

Главное, что нам надо понять, — ультразвуковые колебания перемещаются в виде волны и, по сути, к ним применимы все те законы, что изучаются в курсе оптики. Но в отличие от световых волн ультразвук распространяется в упругой среде (это в первую очередь жидкости и твердые тела), в вакууме ультразвук не распространяется (так как, по сути, передача ультразвука — это смещение частиц вещества под действием УЗ-излучения, и поскольку в вакууме вещества нет, а в газах его очень мало, то условно считаем, что там ультразвук не распространяется).

Колебания, вызываемые источником ультразвука, приводят к смещению среды в направлении, перпендикулярном движению волны (рис. 1).

Если наполнить ультразвуковую ванночку чистой водой и включить ультразвук, можно сразу увидеть круги, расходящиеся по воде (рис. 2).

В однородной среде ультразвук распространяется прямолинейно и равномерно; на границе двух сред он будет отражаться, преломляться и рассеиваться; а также будет затухать на определенной длине от источника и поглощаться средой, превращаясь в тепло. Также колебания ультразвука могут вызывать резонанс, что становится причиной повреждения кварцевых генераторов, частота которых близка к частоте колебаний ультразвука (а именно часовых кварцев с частотой 32,768 кГц). Тут сразу же хочется оговориться, что частота используемого в целях отмывки ультразвука находится в пределах 25–45 кГц и никак не может вступать в резонанс с мегагерцевыми колебаниями, а все остальные резонаторы,

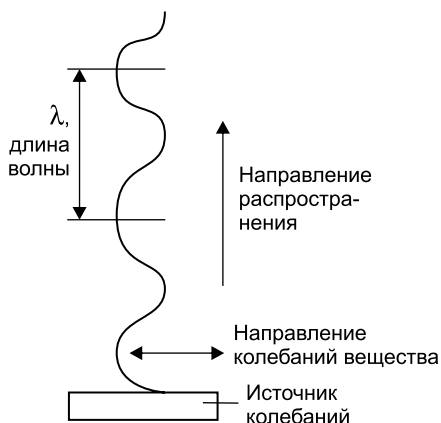


Рис. 1. Смещение среды вследствие колебаний, вызываемых источником ультразвука



Рис. 2. Воздействие ультразвука на воду



Рис. 3. Воздействие ультразвука на резонаторы:
а) мегагерцевый резонатор не повреждается ультразвуком;
б) часовые кварцы могут повреждаться при использовании частоты ультразвука 35 кГц, но не будут повреждаться при 40 или 25 кГц

за исключением часовых кварцев, работают именно в мегагерцевом диапазоне). Другими словами, те резонаторы, чья частота далека от 25–45 кГц, никак не повреждаются ультразвуком, если, конечно, их корпус выдерживает отмывку (рис. 3).

Встретив препятствие, ультразвук либо обогнет его (если размеры препятствия существенно меньше длины волны), либо отразится от препятствия (если размеры сопоставимы или больше длины волны). Для частоты 35 кГц длина УЗ-волны в воде составит порядка 4,2 см (вычислено по формуле $\lambda = c/f$, при помощи данных о скорости УЗ в воде — 1480 м/с, взятых из [3]). Таким образом, от крупных компонентов, лежащих на дне ванне изделий и т. п. ультразвук будет отражаться, а вот мелкие загрязнения в растворе и мелкие компоненты не станут препятствием для волны, то есть очистка будет происходить и под ними. Из сказанного следует, что для обеспечения прохождения волны нужно помещать изделия в ультразвуковую ванну вертикально, причем категорически нельзя использовать корзины, дно которых закрыто и толщина сетки превышает 5 мм. Кроме того, нельзя класть платы параллельно излучателю (все это относится к большинству оборудования, у которого излучатели располагаются на дне ванны либо сам корпус является резонатором). В противном случае вместо отмывки можно просто испортить свою ванну (рис. 4).

В продолжение разговора о корзинах надо добавить, что «правильная» корзина никогда не стоит на дне ванны, а размещается на ножках на высоте 15–30 мм над дном, причем так, чтобы ножки не попадали на излучатели.

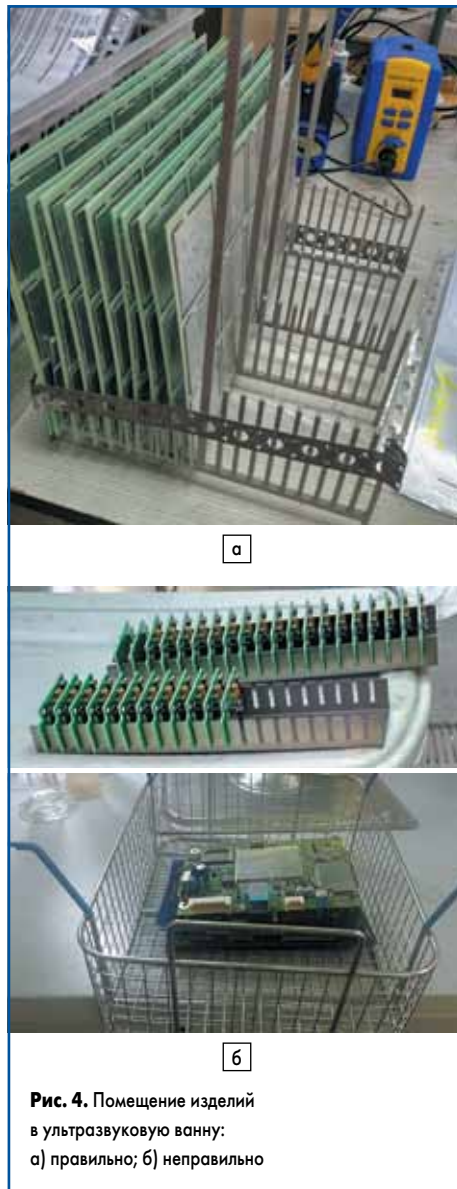


Рис. 4. Помещение изделий в ультразвуковую ванну:
а) правильно; б) неправильно

Нахождение посторонних предметов на излучателях вызывает избыточный шум, неправильную работу и в конечном итоге портит излучатели.

Так что же происходит в УЗ-ванне? Если говорить простыми словами, то под действием ультразвука частички жидкости двигаются вправо-влево, образуя разрывы, в которых пустота (вакуум), а также пары жидкости и области, где этот разрыв схлопывается с достаточно большой силой. То есть по ходу движения волны в первой фазе, фазе разрыва, жидкость расходится, а во второй фазе при схлопывании возникает локальное повышение давления и температуры. Такое явление называется «кавитация» (рис. 5). Кавитационные пузырьки возникают преимущественно в граничных поверхностях между жидкостью и очищаемыми изделиями, так как дефекты поверхности и загрязнения в растворе способствуют разрыву жидкости. И собственно то механическое очищающее действие, которое оказывает ультразвук, осуществляется по большей части за счет этого явления — механического воздействия на очищаемое изделие. Надо понимать, что такое воздействие выражено тем сильнее, чем меньше частота (количество колебаний в еди-

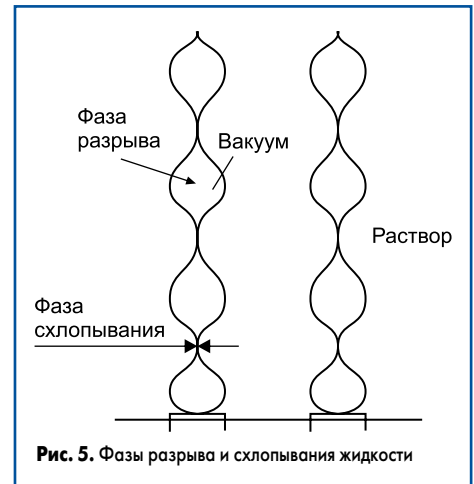


Рис. 5. Фазы разрыва и схлопывания жидкости

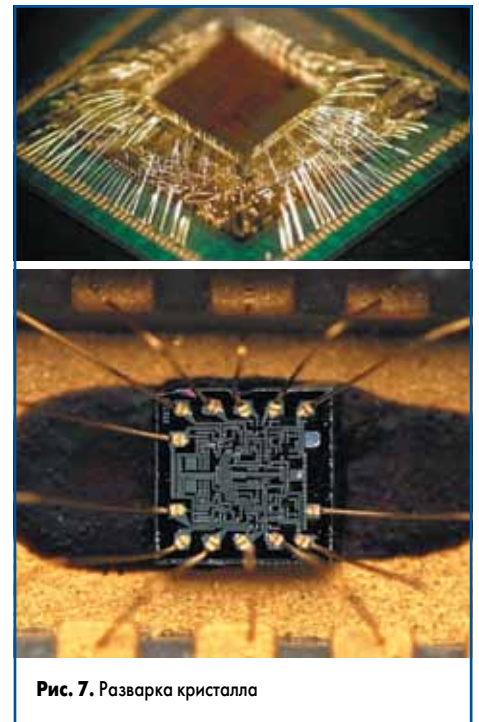
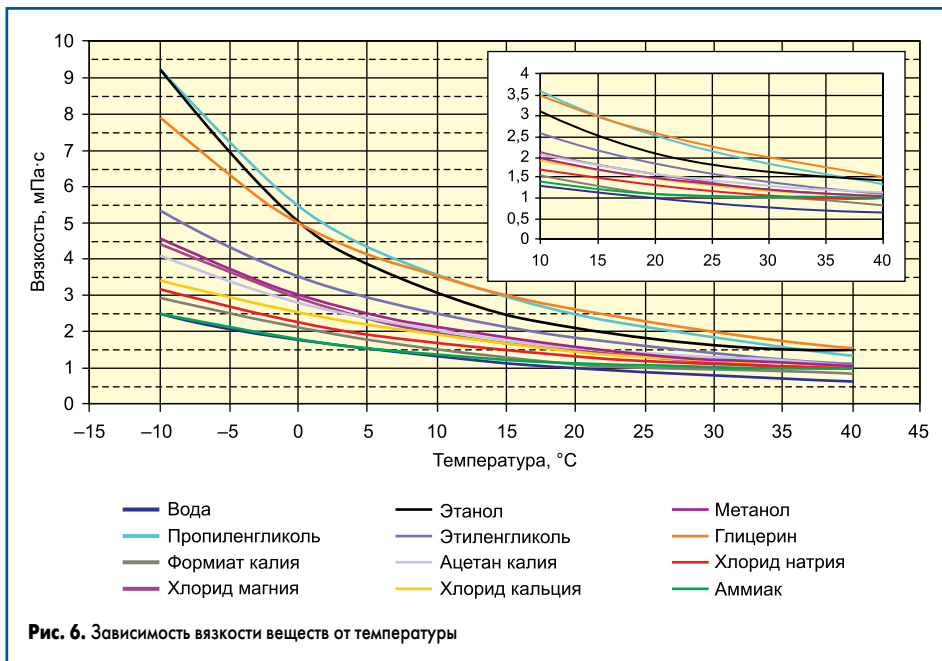
ницу времени), поскольку размер пузырька с уменьшением длины волны и увеличением частоты будет значительно сокращаться (он примерно равен $1/6\pi\lambda^3$ и, значит, при уменьшении длины волны в 2 раза уменьшится в 8 раз).

Описанное явление кавитации происходит только при определенной мощности, которая зависит от частоты ультразвука и применяемой жидкости. Для воды в низкочастотном диапазоне при атмосферном давлении это составляет 300–1000 Вт/л [4]. Сравнивая такие цифры с цифрами из таблицы, можно сделать вывод, что при отмывке электроники кавитации не происходит. А что же тогда дает эффективную отмывку? Как было отмечено выше, скорость ультразвука в воде достигает 1480 м/с (1,5 км/ч!), и если на его пути встречается препятствие, то при огибании возникают акустические течения. Природа акустических течений объясняется законом сохранения импульса. Звуковая волна, проходящая через среду, несет в себе импульс, который постепенно передается частицам среды, вызывая их упорядоченное движение [5]. Такие течения способны «отколотить» препятствие, если оно плохо держится на поверхности и ускорить процесс растворения загрязнений на поверхности. Свой вклад вносит и звуковое давление, создающее периодические импульсы на границе отмывочной среды и препятствия.

Рекомендуемые для очистки электроники частоты находятся в диапазоне 30–45 кГц (больше не эффективно, меньше слишком разрушительно). Следует также отметить, что нежелательно включать ультразвук совместно с барботажем, поскольку вместо областей вакуума появятся области с воздухом, на сжатие которого будет тратиться механическая энергия. Никакой нормальной очистки при этом не произойдет, а вот перегрев жидкости гарантирован.

Таблица. Зависимость удельной мощности от объема бака [6]

Объем бака, л	Мощность ультразвука, Вт/л	
	Магнетострикционный преобразователь	Пьезоэлектрический преобразователь
19	66–76	33–38
38	53–68	26,5–29
95 и выше	21–32	10,5–16



Очень часто в рекламе оборудования можно увидеть, что воздух в жидкости мешает работать ультразвуку, поэтому «покупайте у нас оборудование с функцией дегазации». Гнаться за кнопкой Degas не надо, дегазация выполнится сама собой, если мы до начала работы просто включим ванночку с ультразвуком на 10–20 мин.

В стандарте IPC-CN-65 [7] написано, что наибольшая эффективность ультразвука достигается в водных растворах при температурах +40...+75 °С. Но объяснения, почему происходит именно так, нет, хотя, на мой взгляд, это примитивно просто. Если вновь мы обратимся к рис. 5 и вспомним, что ультразвук вызывает колебания жидкости и в результате этих колебаний происходит образование и схлопывание полостей, то нам станет понятно, что легче всего раздвигаться и схлопываться будут наиболее плотные и наименее вязкие жидкости. А если обратиться к справочникам, можно увидеть, что наиболее плотной и наименее вязкой средой является вода и водные растворы. Для того чтобы понять, почему рекомендуется использовать ультразвук при температурах выше +45 °С, обратимся к рис. 6. Как мы видим, после температуры +40 °С вязкость всех показанных на рисунке веществ падает меньше 1,5 мПа/с, то есть все растворители при такой температуре становятся мало вязкими, а плотность их все еще достаточно велика (например, для воды плотность при +20 °С — 999,2 кг/м³, а при +50 °С — 988 кг/м³).

Также коротко остановимся на мощности ультразвуковой ванны. Обратим внимание, что для разных объемов и разных генераторов есть разные цифры удельной мощности (таблица), и чем больше объем ванны, тем меньше значение мощности в Вт/л, рекомендуемой для отмывки. Это связано с тем, что не вся энергия уходит на создание колебаний в жидкости, и чем больше ванна, тем выше КПД передачи мощности в жидкость.

После того как мы сделали небольшой экскурс в физику данного явления, надо бы ответить на вопрос: а что же реально можно повредить ультразвуком и как это проверить?

Следует сразу обозначить ряд элементов, которые могут быть повреждены при отмывке ультразвуком:

- реле (за счет залипания контактов);
- предохранители в стеклянном корпусе;
- часовые кварцы, при использовании частоты 35 кГц;
- «советские» микросхемы в металлическом корпусе.

Что касается последних, именно из-за них бытует мнение, что никакие микросхемы нельзя мыть в ультразвуке, но это совершенно не соответствует действительности. Лет 40 назад «в те далекие времена, когда компьютеры были большими, а программы маленькими», микросхемы делались так: на подложку помещался кристалл, разваривали его золотыми проводками к «ногам» микросхемы и надевали металлический кожух (рис. 7). Именно эти микросхемы боялись и продолжают бояться ультразвука, потому что его вибрации, передаваясь на корпус микросхемы, повреждают эти самые тонкие золотые разварки, действуя на них, подобно пальцам гитариста на струны гитары.

Но с тех пор изменился не только размер компьютеров и программ для них, изменился и подход к корпусированию. Теперь большинство схем, особенно импортного производства, заливается компаундом, делающим разварки неподвижными, а во многих микросхемах исчезли и сами разварки. Поэтому прежде чем начать бояться мыть микросхему в ультразвуке, есть смысл внимательно посмотреть на нее и на ее даташит, в котором, как правило, есть раздел Cleaning — очень рекомендую читать его заранее, в нем бывает много неприятных неожиданностей, связанных отнюдь не только с ультразвуком. Если же остались сомнения, то в стандарте IPC-TM-650 тест 2.6.9.2. [6] описана следующая процедура проверки: налить

в УЗ-ванну, работающую на частоте примерно 40 кГц и с мощностью УЗ, как в таблице 1, деионизированную воду (причина использования воды как тестовой жидкости обсуждалась выше), нагреть до +60 °С, включить ультразвук на примерно 15 мин для дегазации жидкости, затем положить в корзину статистически достоверное количество каждого типа микросхем, устойчивость которых к ультразвуку мы хотим проверить (не забываем, что один и два статистически достоверным количеством не является) и включить ультразвук. Время воздействия ультразвука выбирают как предполагаемое время воздействия в процессе отмывки ×10. Другими словами, если мы предполагаем, что время отмывки составит 5 мин, то микросхему помещаем в УЗ-ванну на 50 мин.

По окончании теста вынимаем микросхемы, сушим, осматриваем на предмет визуальных повреждений и проводим функциональный тест. По результатам теста и принимается решение о том, что «мыть или не мыть».

Литература

1. www.ru.wikipedia.org/wiki/Ультразвук
2. Физический энциклопедический словарь. Под ред. А. М. Прохорова. М.: Советская энциклопедия, 1983.
3. Балдев Р., Раджендран В., Паланичами П. Применение ультразвука. М.: Техносфера, 2006.
4. Медведев А. М. Ультразвуковая очистка. Теория и практика // Схемотехника. 2001. № 9.
5. www.ru.wikipedia.org/wiki/Акустические_течения
6. IPC-TM-650. Руководство по методам тестирования, тест на устойчивость компонентов к ультразвуку. www.ipc.org/TM/2.6.9.2.pdf
7. IPC-CN-65. Руководство по очистке печатных плат и сборок, 2011.