

ТЕХНОЛОГИИ

УДК 621.317.082.4

**УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОЦЕССОВ
УДАЛЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ С МИКРОРЕЛЬЕФНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ
ЭЛЕКТРОННО–ОПТИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ**

В.С. ТОМАЛЬ

*РУП "Оптическое станкостроение и вакуумная техника"
Филимонова, 25, Минск, 220114, Беларусь**Поступила в редакцию 14 июня 2006*

Разработаны ультразвуковые ванны, содержащие пьезоэлектрические преобразователи, закрепленные к дну ванн в шахматном порядке в виде решетки треугольной структуры, что обеспечило наиболее равномерное по площади ультразвуковое поле при трехфазном возбуждении преобразователей, подключенных к разным каналам.

Ключевые слова : ультразвук, ванны, очистка.

Введение

Воздействие мощных ультразвуковых (УЗ) полей на жидкие среды вызывает в них процессы кавитации, макро- и микропотоки в объеме жидкости, прилегающей к излучаемой поверхности ванны. Захлопывание кавитационных газовых полостей сопровождается образованием ударных микроволн, давления в которых могут достигать $(1-5) \cdot 10^8$ Па. Такие микроудары разрушают не только оксидные пленки и загрязнения на обрабатываемой поверхности изделий, но и в определенной степени изменяют морфологию поверхности [1]. Одновременно в объеме жидкости, прилегающей к излучаемой поверхности ванны, возникают микро- и макропотоки, которые способствуют удалению загрязнений и ускорению процесса смачивания поверхности. Обусловленные кавитацией динамические и тепловые эффекты, возникновение микро- и макропотоков определяют интенсификацию процесса удаления загрязнений со сложно профилированных поверхностей изделий под действием УЗ поля. Использование рабочих частот в диапазоне 80–120 кГц обеспечивает неразрушающую очистку и удаление загрязнений размером до 1 мкм с микрорельефных поверхностей [2].

Развитие технологии ультразвуковой очистки и обезжиривания поверхностей изделий за последние десятилетия показало, что наиболее производительным является групповой способ обработки мелких изделий, уложенных в кассеты или корзины [3]. Для обеспечения высокого качества изделий необходимо обеспечить равномерность распределения интенсивности ультразвукового поля в объеме жидкости.

Модульное построение ультразвуковых излучающих систем

Обеспечить равномерное воздействие ультразвукового поля в жидкости возможно в основном двумя способами. Первый состоит в разработке ультразвуковых ванн с равномерным полем излучения, создаваемым изгибно–колеблющейся диафрагмой, возбуждаемой системой распределенных магнитострикционных преобразователей, закрепленных попарно в пучностях

изгибных колебаний пластины или пьезокерамических преобразователей, укрепленных на стенках тонкостенной ванны в определенном порядке. Второй заключается в разработке специальных устройств, обеспечивающих равномерную очистку с неравномерным полем за счет электрического или механического сканирования поля по поверхности детали.

Разрушение поверхностных пленок в жидкости под действием ультразвука происходит в результате кавитации и акустических течений, причем основной вклад дает кавитация. В связи с этим обоснована необходимость равномерности кавитационной области. Однако распределение кавитационных пузырьков в кавитационной области в большинстве случаев далеко от равномерного. В жидкой среде количество кавитационных пузырьков существенно превышает число их зародышей. Вокруг захлопывающегося пузырька идет процесс размножения зародышей, в результате чего появляются скопления пузырьков той или иной формы. Наличие таких скоплений существенно нарушает равномерность распределения пузырьков: в скоплениях число их велико, а в пространстве между скоплениями мало или даже равно нулю. Как правило, скопления возникают на границе раздела "жидкость–твердое тело", где всегда в достаточном количестве присутствуют кавитационные зародыши. Часто можно наблюдать скопления кавитационных пузырьков, имеющих форму тяжей, которые исходят из одной точки. Причины образования скоплений такой формы пока не ясны, однако конфигурация тяжей существенно меняется при незначительном изменении рабочей частоты. Отсюда можно предположить, что тяжести связаны с интерференционной структурой ближнего поля излучателя — единственным фактором, сильно реагирующим на незначительные изменения частоты.

Таким образом, существует проблема получения в технологическом объеме ванн очистки равномерной кавитационной области. В наиболее часто используемых конструкциях дном ванны служит излучающая диафрагма преобразователя ПМС-6-22. Распределение акустического давления, создаваемого такими системами, крайне неравномерно — до 50%. В центре ванны над диафрагмой давление принимает максимальное значение и уменьшается к краю мембраны. Иногда для обеспечения равномерности ультразвукового поля на большой площади используют изгибно-колеблющуюся диафрагму, возбуждаемую системой распределенных магнитострикционных преобразователей, припаянных попарно в пучностях изгибных колебаний пластины. Такую конструкцию имеет преобразователь ПМС-38. Однако значение акустического давления над такой системой также имеет максимумы и минимумы. Кроме того, сборка и настройка таких систем чрезвычайно сложна.

Более перспективной является модульная система с распределенными пьезокерамическими преобразователями (ПП), установленными в шахматном порядке таким

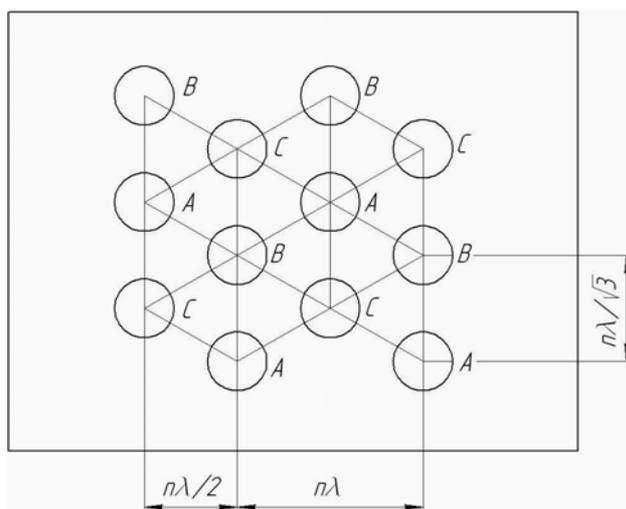


Рис. 1. Расположение ультразвуковых преобразователей: n — целые числа 1, 2, 3...; А, В, С — преобразователи, подключенные к каналам А, В и С УЗГ

образом, что если мысленно провести прямые через их центры, то образуется решетка треугольной структуры с длиной стороны, кратной $\lambda/\sqrt{3}$, где λ — длина волны ультразвуковых колебаний в воде [3] (рис. 1). Такое расположение ПП создает наиболее равномерное по площади поле при трехфазном возбуждении за счет суперпозиции ультразвуковых волн, излучаемых ПП, подключенными к разным каналам. ПП разбиты на три группы по 4 ПП в каждой группе.

Расстояние между центрами в группе кратно длине волны λ распространяющихся в жидкости ультразвуковых волн. ПП в каждой группе электрически соединены параллельно и подключены к соответствующим каналам А, В или С модульного ультразвукового генератора (рис. 2).

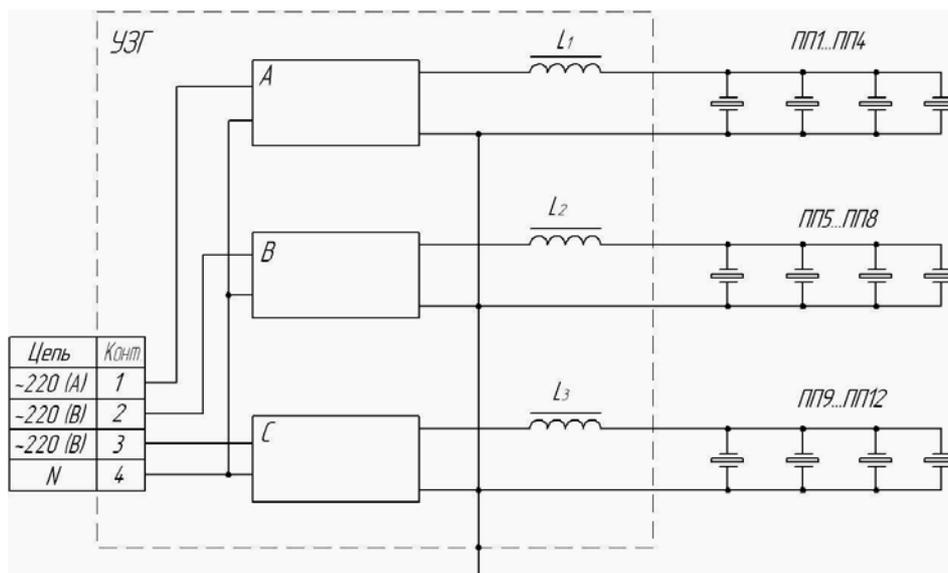


Рис. 2. Схема модульного ультразвукового генератора: А, В, С — каналы УЗГ; L₁, L₂, L₃ — дроссели согласования; ПП1–ПП12 — пьезоэлектрические преобразователи

Канал представляет собой транзисторный автогенератор, выполненный по полумостовой схеме с индуктивной обратной связью по току, работающий в ключевом режиме. Блок питания каждого канала собран по двухполупериодной схеме выпрямления без фильтрации, за счет чего осуществляется амплитудная и частотная модуляция выходного сигнала частотой 100 Гц. При этом выходной сигнал представляет собой сумму трех гармонических колебаний с основной частотой ω и боковыми частотами $(\omega + 100)$ Гц и $(\omega - 100)$ Гц

Выпрямители блоков питания каналов через понижающие трансформаторы подключены к соответствующим фазам трехфазной сети переменного тока, в результате чего сигналы на выходе каналов сдвинуты по фазе на 120° , а на ПП поступают группы импульсов ультразвуковых колебаний, сдвинутые по фазе на тот же угол (рис.3). Область наибольшего акустического давления, соответствующая максимальному напряжению на ПП, последовательно перемещается от преобразователя А к В и от В к С (или наоборот при перефазировке каналов) в каждой группе из трех ПП. В результате возникают направленные потоки жидкости из зоны большего акустического давления в зону меньшего давления.

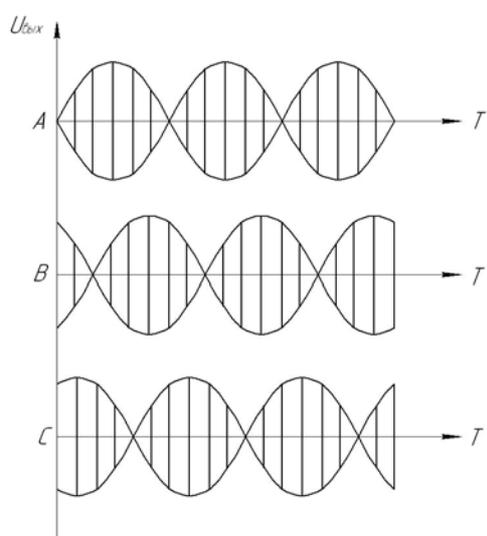


Рис. 3. Форма выходного сигнала каналов А, В, С

Так как движение областей происходит со сравнительно низкой частотой (100 Гц), то в жидкой среде с определенной вязкостью возникают вихревые макротоки, которые наряду с микропотоками, возникающими в процессе ультразвукового воздействия (потоки, возникающие в вязком пограничном слое вблизи препятствий, шлихтинговское течение, рэлеевское течение и т.д.), интенсифицируют процессы массопереноса и растворения, а следовательно, и процесс очистки.

Поскольку автогенераторы питаются пульсирующим напряжением, из-за нелинейной зависимости параметров пьезоэлементов наблюдается эффект периодического качания частоты, что дополнительно способствует усреднению ближнего поля ПП в результате периодического изменения интерференционной картины. Полные входные сопротивления групп ПП образуют вместе с компенсирующими индуктивностями L (рис. 2)

резонансные контуры, определяющие рабочую частоту соответствующих каналов генератора. В связи с этим все изменения технологических условий (температуры раствора, состава раствора, внесение кассеты с деталями в ванну) приводят к изменению полного входного сопротивления ПП, а значит, и к изменению частоты генерируемых колебаний. За счет правильного выбора рабочей точки на кривой зависимости полного входного сопротивления ПП от частоты обеспечивается автоподстройка частоты.

Результаты исследования равномерности ультразвукового поля

Исследовалось кавитационное поле в рабочем объеме ультразвуковой ванны с модульным расположением ультразвуковых излучающих систем. В качестве показателя неравномерности кавитационного поля использовалось среднеквадратичное отклонение кавитационного давления по площади и глубине ванны, выраженное в процентах.

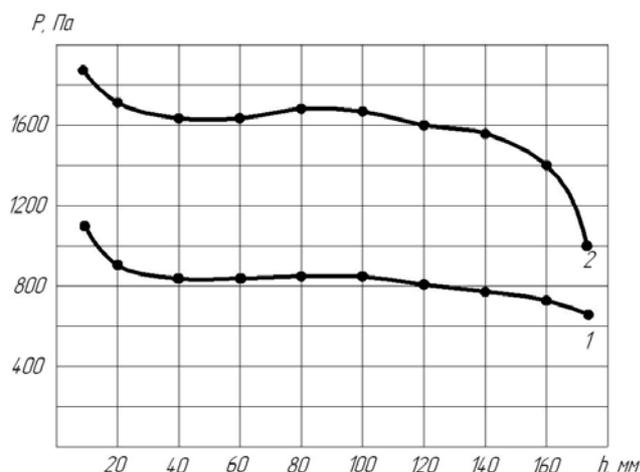


Рис. 4. Распределение давления УЗ поля в центре УЗ ванны в зависимости от расстояния до излучателя: 1 — в присутствии кассеты с деталями; 2 — в ее отсутствие

кавитационного давления уменьшается. Кассета с изделиями, находящаяся в ванне, уменьшает величину кавитационного давления и снижает неравномерность кавитационного поля. На рис. 5 показано распределение кавитационного поля по площади ванны.

Сравнивая результаты, представленные на рис. 4 и 5, можно сделать вывод, что неравномерность поля по глубине ванны больше, чем по площади. В связи с этим при разработке установки было предусмотрено устройство вертикального циклического перемещения кассеты с оптическими изделиями для усреднения воздействия ультразвукового поля по глубине. Для поддержания необходимой по технологическому процессу температуры моющего раствора ванны оснащены трубчатыми электронагревательными элементами.

Площадь ванны разбивалась на участки. В пределах каждого участка проводилось измерение кавитационного давления с помощью кавитометра [3] в пяти точках — в центре и по углам. Измерение проводилось в зоне очистки, а также на различных расстояниях от излучателя. Исследовалась равномерность кавитационного поля в присутствии кассеты с очищенными деталями и без нее.

На рис. 4 показано распределение кавитационного поля в центре ультразвуковой ванны в зависимости от расстояния до излучателя в присутствии кассеты с очищенными оптическими деталями диаметром 30 мм (кривая 1) и без нее (кривая 2).

Детали располагались перпендикулярно площади излучения. С удалением от излучателя величина

$\frac{1550}{3}$	$\frac{1540}{4}$	$\frac{1560}{3}$
$\frac{1530}{4}$	$\frac{1560}{5}$	$\frac{1580}{4}$
$\frac{1540}{4}$	$\frac{1580}{3}$	$\frac{1550}{5}$

Рис. 5. Распределение кавитационного давления по площади ванны: числитель — среднее значение, Па; знаменатель — неравномерность поля, %

Автоматизированные линии ультразвуковой очистки

Разработанные ванны были применены в автоматизированных линиях очистки оптических деталей [4], что позволило повысить производительность труда, улучшить его условия, снизить потери и исключить применение пожароопасных веществ. Роботизированный технологический комплекс промывки РТКП-1 (рис. 6) обладает следующими функциональными возможностями:

технологической гибкостью за счет унификации технологий очистки на основе водных растворов ПАВ с использованием органических композиций;

программной перенастройкой основных и вспомогательных систем и возможностью встраивания в гибкие производственные системы за счет автоматизации всех систем комплекса и управления ими от микро-ЭВМ или ПЭВМ;

автоматическим приготовлением моющих растворов, заправкой и пополнением уровней в ваннах; фильтрацией, автоматическим смешиванием горячей и холодной воды до заданных технологических параметров и подачи в ванны;

тонкой фильтрацией, подогревом и рециркуляцией воздуха для сушки.

Применение ЭВМ позволило объединить функции аналитического контроля, обработки получаемой информации и управления процессом очистки. Особое внимание было уделено удобству обслуживания оборудования и технике безопасности. Резко сокращена численность обслуживающего персонала, устранен контакт рабочих с моющими растворами. Полностью ликвидирована возможность производственных аварий, связанных с взрыво- и пожароопасностью используемых ранее растворителей, созданы системы регенерации и повторного использования отработанных водных моющих композиций.

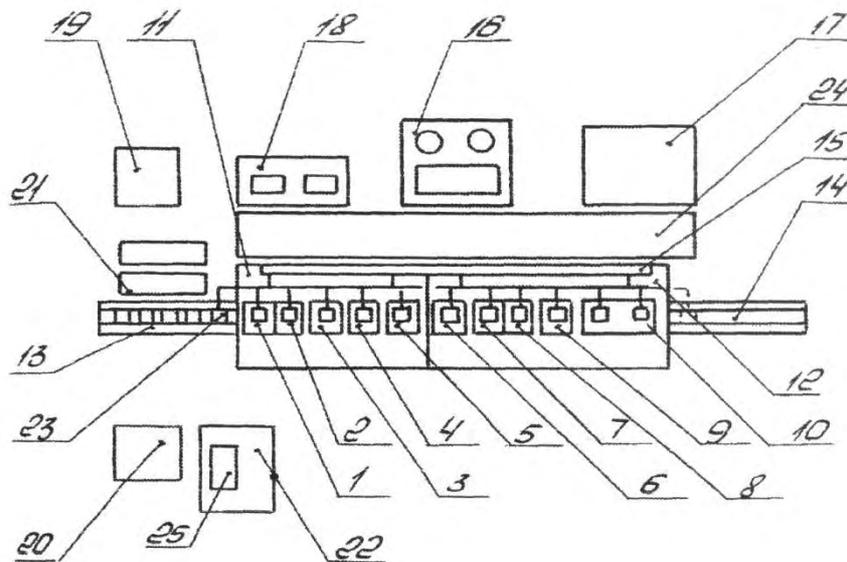


Рис. 6. Схема роботизированного комплекса промывки РТКП-1: 1–10 — ванны; 11 — ванны предварительной промывки; 12 — ванны окончательной промывки и сушки; 13 — транспортер-накопитель загрузки; 14 — транспортер-накопитель выгрузки; 15 — автооператор; 16 — блок дистилляции и подготовки воды; 17 — воздухоочиститель с подогревом; 18 — блок моющих растворов; 19 — стойка генераторов; 20 — стойка электрооборудования; 21 — емкость для моющих растворов; 22 — пульт управления; 23 — кассета; 24 — трап; 25 — дисплей

Отличительной особенностью РТКП-3 является независимое перемещение при работающем механизме качания, что позволяет производить очистку в ваннах с разными составами и с различным временем. Комбинации модулей и легко перенастраиваемая система управления роботом на микропроцессорной основе позволяют одновременно производить очистку поверхности деталей как из химически стойких, так и нестойких материалов.

Для очистки деталей малых серий разработана модульная автоматизированная линия "Орфей", отличительной особенностью которой является оснащение каждого модуля

независимыми системами интенсификации технологического процесса и управления, возможностью эксплуатации модулей как порознь, так и в составе технологических линий, высокая производительность, низкое энергопотребление при относительно малой емкости ванн и небольших габаритах.

Заключение

Расположение ПП в ультразвуковых ваннах в шахматном порядке в виде решетки треугольной структуры с длиной стороны, кратной $\lambda/\sqrt{3}$, создает наиболее равномерное по площади поле при трехфазном возбуждении за счет суперпозиции ультразвуковых волн, излучаемых ПП, подключенными к разным каналам. Разработанные ультразвуковые ванны с модульным построением излучающих систем позволяют при очистке обеспечить равномерность распределения ультразвукового поля и применять щелочные и кислотные растворы вместо пожароопасных жидкостей. Благодаря модульному принципу построения и использованию систем управления с ЭВМ автоматизированные линии РТКП-1, РТКП-3 и "Орфей" обладают широкими возможностями применения в различных областях техники и медицины.

ULTRASONIC EQUIPMENT FOR CONTAMINATING REMOVAL PROCESSES FROM MICRORELIEF SURFACES OF ELECTRO-OPTICAL UNITS

V.S. TOMAL

Abstract

The ultrasonic baths containing piezoelectric transducers fixed to bottom of baths in the chess order by the way of a lattice of triangular structure designed that has provided most uniform on the area a ultrasonic field at three-phase excitation of transformers, connected to different channels.

Литература

1. *Абрамов О.В.* Воздействие мощного ультразвука на жидкие и твердые металлы. М., 2000. С. 285–302.
2. *Schulz D.* // *Prod. Leiterplatt. und Syst.* 2004. Bd 6, № 9. S. 1512–1515.
3. Ультразвуковые процессы в производстве изделий электронной техники. Т. 2. / С.П. Кундас, В.Л. Ланин, А.П. Достанко и др.; Под общ. ред. акад. НАН Беларуси А.П. Достанко. Минск, 2003. С. 126–146.
4. *Томаль В.С.* // Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств: Материалы докл. Междунар. науч.-техн. конф., Новополоцк, 25–26 мая 2006 г. Новополоцк, 2006.