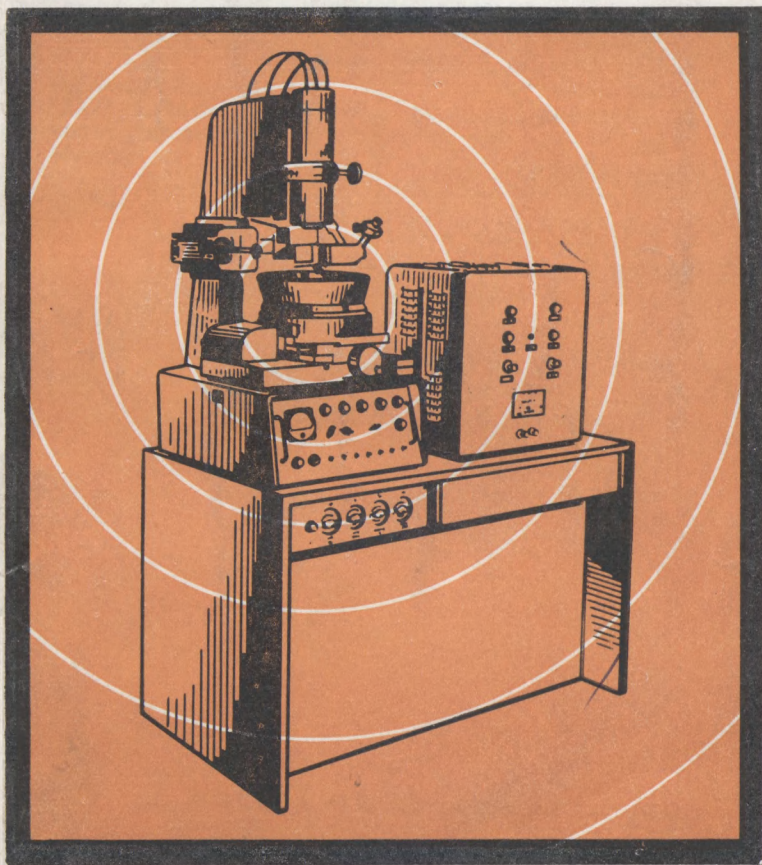




В.А. ВОЛОСАТОВ

РАБОТА НА УЛЬТРАЗВУКОВЫХ УСТАНОВКАХ



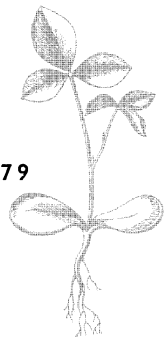
В. А. ВОЛОСАТОВ

РАБОТА НА УЛЬТРАЗВУКОВЫХ УСТАНОВКАХ

Одобрено Ученым советом Государственного комитета СССР по профессионально-техническому образованию в качестве учебного пособия для подготовки рабочих на производстве



МОСКВА «ВЫСШАЯ ШКОЛА» 1979



Scan AAW

ББК 34.56
В68
УДК 621.789.2

Отзывы и замечания просим присылать по адресу:
101430, Москва, К-51, Неглинная ул., 29/14, издательство
«Высшая школа».

Волосатов В. А.

В68 Работа на ультразвуковых установках: Учеб. пособие для подготовки рабочих на производстве.— М.: Высш. школа, 1979. — 191 с., ил.— (Профтехобразование. Ультразвуковая обраб. материалов).

25 к.

В книге рассмотрены основные направления технологического применения ультразвуковых колебаний, изложены сведения о производстве и организации работ на ультразвуковых установках, рассмотрены физическая сущность ультразвука, колебательные системы и источники питания технологических установок.

Подробно описывается очистка, размерная обработка, сварка, пайка и лужение с использованием ультразвука. Особое внимание уделено вопросам эксплуатации и наладки оборудования.

Книга предназначена для подготовки на производстве операторов ультразвуковых установок.

В 31104—374
052(01)—79 78—79 2704050000

6П4.4
ББК 34.56

© Издательство «Высшая школа», 1979

ВВЕДЕНИЕ

Решающим условием повышения эффективности общественного производства является ускорение темпов научно-технического прогресса, что решается, в частности, за счет технического перевооружения производства, широкого внедрения прогрессивной технологии, обеспечивающей повышение производительности труда и качества продукции. Первостепенное значение при выполнении этой задачи приобретает развитие машиностроения как основы подъема всех других отраслей народного хозяйства. Особое внимание в текущей пятилетке придается созданию и широкому внедрению машин и станков для новых прогрессивных технологических процессов.

К числу таких технологических процессов, сокращающих трудоемкость изготовления деталей и повышающих их качество, относится ультразвуковая обработка, т. е. использование механических колебаний ультразвуковой частоты в технологических целях. За последние годы этому прогрессивному направлению уделяется много внимания. Так, все более широкое распространение получает ультразвуковая очистка, позволяющая достигнуть высокого качества деталей и узлов при одновременной замене ручного труда машинным. Получают практическое применение механизированные ультразвуковые ванны и конвейерные многопозиционные очистные установки; в последних возможно совмещение других, смежных с очисткой, операций (сушка, пассивирование и т. д.).

Незаменима ультразвуковая технология при формообразовании деталей из твердых хрупких (жестких) материалов: стекла, кварца, керамики, ферритов, кремния, германия и т. д. Эти материалы получают все более широкое применение в различных отраслях промышленности, а обработка их без применения ультразвука непроизводительна, а зачастую и вообще невозможна.

Получают распространение во многих отраслях

промышленности ультразвуковые сварка, пайка и лужение, позволяющие качественно соединять некоторые разнородные металлические материалы и пластмассы, исключая в ряде случаев необходимость применения флюсов.

Перечисленным не исчерпываются пути технологического применения ультразвука. Так, с расширением использования в промышленности вязких труднообрабатываемых сталей и сплавов с повышенными физико-механическими характеристиками за последнее время в металлообработке стали применять ультразвук при резании со снятием стружки. Придавая режущим инструментам (сверлам, метчикам и др.) механические колебания ультразвуковой частоты, удается в ряде случаев значительно повысить стойкость инструментов и улучшить качество обрабатываемых поверхностей.

Существенно повысить эффективность шлифования металлических и неметаллических материалов можно также применяя ультразвук. На некоторых предприятиях реализован процесс шлифования с введением ультразвуковых колебаний в смазочно-охлаждающую жидкость (СОЖ) для очистки шлифовальных кругов от засаливания.

Эффективно стали применять за последнее время ультразвук для упрочнения поверхности деталей машин, работающих в тяжелых условиях; это позволяет значительно повысить их эксплуатационные данные. К сожалению, имеются лишь частные примеры практического применения этих процессов, что можно отчасти объяснить отсутствием серийно выпускаемого для этой цели оборудования.

Разработаны теоретические основы и направления применения ультразвука при листовой штамповке и в металлургических процессах. Доказана эффективность введения механических колебаний ультразвуковой частоты в расплавы и зоны формообразования при штамповке.

Таким образом, многие технологические процессы можно интенсифицировать, используя ультразвуковые колебания. Поэтому расширению области практического применения ультразвука в технологических целях необходимо придавать серьезное внимание для повышения производительности труда и улучшения качества продукции.

В связи со сказанным важное значение приобретает

подготовка квалифицированных специалистов-операторов ультразвуковых установок, знающих основы ультразвуковой технологии и ее практическое применение, а также применяемое ультразвуковое оборудование.

Настоящее учебное пособие предназначено для подготовки на производстве рабочих по специальности «Оператор ультразвуковых установок». Написано оно на основе «Сборника типовых программ для подготовки на производстве операторов ультразвуковых установок», разработанного Центральным учебно-методическим кабинетом профессионально-технического образования Государственного Комитета СССР по профессионально-техническому образованию.

В соответствии с назначением данного учебного пособия в нем рассмотрены основные, наиболее распространенные на практике процессы и соответствующее оборудование. Процессы и оборудование, имеющее ограниченное распространение, здесь не отражены. Очень сжато рассмотрены общие вопросы ультразвуковой технологии. Интересующихся более глубоким изучением этих вопросов адресуем к специальной литературе, список которой приведен в конце книги.

Глава I

СВЕДЕНИЯ О МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

§ 1. Основы производственного процесса

Производственным процессом называют совокупность отдельных процессов, осуществляемых для изготовления из материалов и полуфабрикатов готовых изделий (продукции). Производственный процесс является основой деятельности промышленного предприятия. Он выполняется в различных цехах предприятия (заготовительных, литейных, кузнечно-штамповочных, механических, гальванических, сборочных и др.).

В производственный процесс входят не только основные процессы (этапы) по формообразованию, отделке и сборке, но и вспомогательные, связанные с необходимостью транспортирования материалов, полуфабрикатов и деталей, контролем, изготовлением различных приспособлений и инструментов, необходимых для выполнения основных процессов.

Различают три вида производства: массовое, серийное и единичное. Они отличаются количеством и регулярностью выпуска продукции определенной номенклатуры.

Массовое производство характерно большим количеством и небольшой номенклатурой выпуска родственной продукции. Такое производство, при хорошей оснащенности и организации выгодно, так как позволяет достичь наивысшей производительности труда при небольшой себестоимости продукции.

Серийное производство характеризуется выпуском большей, чем при массовом производстве, номенклатуры небольшими партиями. Следует различать крупносерийное, среднесерийное и мелкосерийное производство.

Единичное производство имеет широкую номенклатуру продукции, которая изготавливается единицами и повторяется в течение года редко. Такой тип произ-

водства характерен для опытных изделий мощных машин, агрегатов, станков и т. д.

Производственные цехи предприятий организовываются по технологическому, предметному или смешанному принципам. В первом случае в цехе сосредоточивается однотипное технологическое оборудование; при этом цеху надлежит выполнять однотипные процессы (например, термическую обработку, окраску и др.).

Предметная организация цеха имеет целью изготовлять в нем определенную номенклатуру деталей или узлов изделия. В состав такого цеха входит различное оборудование. Такие цехи обычно называют по наименованию выпускаемой в них продукции (например, цех шасси автомобильного завода и др.).

В цехах смешанного типа (предметно-технологического) производят определенную номенклатуру деталей и узлов.

Цехи основного производства выпускают запланированную продукцию, а вспомогательные — средства производства (приспособления, станки, стенды, инструменты) для использования внутри предприятия.

Ультразвуковые установки функционируют, как правило, в цехах основного производства (механических, гальванических, сборочных) и лабораториях, где проводятся опытные и исследовательские работы.

Одним из главных показателей производства является качество продукции. Под качеством понимают совокупность свойств продукции, удовлетворяющих предъявленным к этой продукции требованиям в соответствии с ее назначением. Главными показателями качества являются надежность и долговечность изделий. Лучшим по качеству изделиям присваивается Государственный знак качества; он является высшей оценкой качества изделия. Повышение качества выпускаемой продукции является важнейшей задачей всех работников предприятий.

§ 2. Структура предприятия и цеха

Основой каждого предприятия являются производственные цехи и участки. Управление предприятием осуществляется руководством через функциональные службы (технические, производственные и т. д.).

Для обслуживания цехов основного производства на предприятиях действуют различные вспомогательные цехи (инструментальные, ремонтные и т. д.). Задачей обслуживающих хозяйств (склады, транспортные цехи, лаборатории и т. д.) является обеспечение основного и вспомогательного производства всем необходимым для выполнения производственного процесса.

Производственная структура цеха — это совокупность его производственных участков, вспомогательных и обслуживающих служб и форма их взаимоотношений. Цех подразделяется на производственные участки и отделения.

Производственный участок (отделение) представляет собой рабочие места, где рабочие выполняют определенный этап производственного процесса. Участки ультразвуковой обработки организуются по технологическому принципу (например, участок ультразвуковой очистки, участок размерной обработки и т. д.).

На некоторых предприятиях принята бесцеховая система управления производством, когда дирекция непосредственно или через производственную службу руководит работой участков, мастерских или отделений. Эта система наиболее часто распространена на небольших предприятиях, где благодаря этому значительно сокращается численность управленческого персонала.

Важная роль в работе предприятий принадлежит общественным организациям. Завкомы и месткомы предприятий вместе с администрацией организуют трудящихся на выполнение и перевыполнение производственных заданий, повышение качества продукции и эффективности труда. Профсоюзы проводят большую работу по социальным, бытовым и другим вопросам.

§ 3. Технологический процесс

Технологическим процессом называют часть производственного процесса, во время которого происходит последовательное изменение формы, размеров или свойств материала (полуфабриката) в соответствии с заданными техническими требованиями. Технологический процесс изготовления деталей состоит из операций, переходов, проходов, приемов.

Операция — это законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте

одним рабочим (реже группой рабочих) и охватывающая все последовательно выполняемые действия без снятия заготовки со станка или ее перестановки.

Основные технологические части операции называют переходами; они выполняются одним и тем же инструментом за один или несколько проходов. Последние являются частью переходов и имеют задачу снятия одного слоя материала. К переходам относятся установка, закрепление, раскрепление и снятие заготовки или детали.

Все действия рабочего, совершаемые им для выполнения технологической операции, состоят из отдельных приемов. К ним относятся, например, пуск станка или установки, переключение или переналадка их на другие режимы работы и т. д.

Операции и переходы выполняются в строгом соответствии с технологическим процессом, который отражен в технологических картах, выдаваемых рабочему. Форма, содержание и правила оформления этих карт установлены соответствующими стандартами Единой системы технологической документации (ЕСТД). Различают операционные карты с эскизами обрабатываемой детали и без эскизов. Операционные технологические карты, как правило, применяют в массовом и серийном производстве. В единичном производстве чаще применяют маршрутные карты (по ЕСТД).

Операции и переходы нумеруются: номера переходов следуют по порядку в пределах одной операции. В каждом переходе указывается число проходов (они не нумеруются).

В технологических картах кратко формулируется название операции, указывается материал, наименование и модель оборудования, приспособлений, инструментов, режимы работы и другие данные, необходимые для выполнения данной операции.

Операционный эскиз обрабатываемой детали включает необходимые для данной операции размеры, обрабатываемые и базовые поверхности и при необходимости указания мест закрепления, положения заготовки, приспособления и инструмента.

Таким образом, технологическая документация представляет собой комплекс текстовых и графических документов, определяющих процесс получения продук-

ции и содержащих данные для организации ее производства. Строгое выполнение всех положений технологической документации является законом производства и обязанностью каждого работника; в этом заключается смысл понятия — технологическая дисциплина.

В технологических картах указываются нормы штучного и подготовительно-заключительного времени на операцию. Штучное время включает кроме машинного времени время обслуживания рабочего места, время перерывов на отдых и личные надобности.

Норма времени объединяет норму штучного и подготовительно-заключительного времени. Последняя учитывает необходимое время на ознакомление с чертежом и технологическим процессом, подготовку рабочего места, оборудования, приспособлений и инструмента, уборку рабочего места и оборудования и т. д.

В ряде производств устанавливают норму выработки, т. е. количество единиц продукции (например, деталей), которое должно быть изготовлено в единицу времени (час, смену и т. д.). Нормы должны быть прогрессивными, т. е. учитывать современные технические достижения.

Технологическим процессом устанавливается разряд квалификации данной работы (операции), исходя из ее сложности. Чем больше при выполнении данной работы требуется знаний и опыта, тем выше разряд выполняемой работы. Разряды устанавливаются согласно перечню работ и квалификационной характеристике Единого тарифно-квалификационного справочника работ и профессий рабочих.

Присвоение разрядов производится администрацией предприятия на основании проверки теоретических знаний и практических навыков рабочего (по согласованию с профсоюзной организацией). Знания оценивает квалификационная комиссия предприятия или цеха. При этом рабочий сдает квалификационную пробу, т. е. выполняет определенные операции, позволяющие определить его квалификацию. Характер и объем работ для квалификационной пробы обычно определяются тарифно-квалификационным справочником, в котором по каждой профессии и соответствующим разрядам даются характеристики и примеры работ. Квалификационная проба может быть выбрана из числа выполняемых на участке работ; в этом случае экзаменуемого полагается заранее

ознакомить с перечнем работ. Качество квалификационной пробы, срок ее выполнения, наличие опыта у экзаменуемого оцениваются квалификационной комиссией.

§ 4. Особенности участков ультразвуковой обработки

В связи с особенностями эксплуатации ультразвуковых установок их обычно располагают на специализированных участках, входящих в состав определенного цеха. Например, ультразвуковые очистные установки часто устанавливают в гальванических или сборочных цехах, а станки для размерной обработки — в механических. Действуют на предприятиях и специализированные участки, где сосредоточены ультразвуковые установки различного технологического назначения.

Участки ультразвуковой обработки занимают, как правило, отдельные помещения с основными и запасными выходами на случай необходимости эвакуации работающих. Эти помещения должны отвечать санитарным и противопожарным требованиям. Ультразвуковые установки допускается размещать и в общих с другим оборудованием помещениях (например, со станками для механической обработки резанием); при этом они должны отвечать требованиям, предъявляемым к помещениям для ультразвуковой обработки, и иметь ограждения для предотвращения попадания на ультразвуковые генераторы стружки, искр и т. п.

Ввод в эксплуатацию новых и реконструированных участков ультразвуковой обработки допускается только с санкции службы техники безопасности, технической инспекции, санитарного и пожарного надзора и профсоюзной организации предприятия.

Помещения, где установлены ультразвуковые установки, должны иметь вентиляционные устройства. Размещать эти установки в помещениях без вентиляции и естественного освещения не допускается; окна должны иметь открывающиеся створки (фрамуги).

Ультразвуковые станки и установки, работающие с выделением химических веществ, паров и т. д. (очистка, сварка, пайка, лужение и др.), должны оборудоваться индивидуальной приточно-вытяжной вентиляцией. При неработающей вентиляции (общей и индивидуальной) такое оборудование должно автоматически выключаться

с помощью специальных блокировок. Желательно оборудовать рабочие места операторов ультразвуковых установок кондиционерами. На участках ультразвуковой обработки необходимо наличие общего и индивидуального освещения согласно действующим нормам.

Ультразвуковые генераторы желательно размещать в отдельном помещении, доступ в которое разрешают только специалистам, обслуживающим эти генераторы и имеющим соответствующий допуск. В этом случае работой генераторов управляет оператор со своего рабочего места при помощи специальных пультов дистанционного управления. Расстояние от генератора до ультразвуковой установки не должно превышать норм, установленных паспортами на это оборудование. Не рекомендуется устанавливать ультразвуковые генераторы в помещениях, где работают гальванические ванны, так как пары растворов кислот и щелочей, применяемых в этих ваннах, приводят к преждевременным неисправностям генераторов. Это же наблюдается при работе ультразвуковых установок для пайки, лужения и сварки. В этих условиях генераторы необходимо размещать на отдельных отгороженных участках.

При необходимости выполнять на участке пайку ультразвуковых инструментов мягкими и твердыми припоями следует выделить для этого специальное помещение, оборудованное приточно-вытяжной вентиляцией и противопожарными средствами (огнетушителями и т. д.). Это помещение целесообразно использовать и для приготовления абразивной суспензии и растворов для ультразвуковой очистки, а также для других целей. Отдельное помещение выделяется для хранения легко воспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ), компонентов моющих растворов и абразивных материалов.

Состав оборудования, приборов, приспособлений и контрольно-измерительной аппаратуры участка ультразвуковой обработки определяется технологическим процессом, исходя из характера выполняемых операций и специфики производства.

Все помещения участка ультразвуковой обработки должны быть оснащены пожарной сигнализацией и необходимыми средствами для тушения пожара.

Расположение ультразвукового оборудования на участке должно строго соответствовать утвержденной планировке, паспортным данным на это оборудование и

обеспечивать удобство его обслуживания, ухода за ним и ремонта с учетом требований техники безопасности.

На видных местах участка должны быть вывешены инструкции по технике безопасности и правилам пожарной безопасности.

Участок ультразвуковой обработки должен быть оборудован системой снабжения холодной и горячей водой с индивидуальными и групповыми точками. Индивидуальное снабжение холодной водой необходимо для охлаждения источников питания (генераторов) и узлов самих установок; групповое снабжение холодной и горячей водой предназначается для промывки заготовок после обработки от остатков абразивной суспензии (при размерной обработке твердых хрупких материалов), а также для мытья рук операторов. Точки индивидуального водоснабжения желательно иметь для каждого рабочего места, а группового — одну на 2—3 рабочих места. Размещают эти точки согласно планировкам и указаниям паспортов на оборудование.

Вода, применяемая для охлаждения ультразвуковых установок, особенно генераторов, не должна содержать механических примесей (песок и т. д.). Для очистки этой воды на участках ультразвуковой обработки устанавливают отстойники или фильтры. Давление воды должно соответствовать требованиям паспортов эксплуатируемого оборудования. Для контроля давления воды систему водоснабжения ультразвуковых установок оборудуют манометрами.

Канализационная система участка должна обеспечивать сток использованных жидкостей (вода, растворы и др.) от всех точек водоснабжения. Во избежание засорения системы отработанными абразивами и другими отходами на пути стока устанавливают отстойники. Периодически, не реже одного раза в неделю, отстойники чистят. При необходимости канализационная система оборудуется фильтрами и другими устройствами аналогичного назначения.

Система водоснабжения выполняется резиновыми (дюритовыми) или металлическими трубами необходимого сечения. Длина труб должна быть минимально возможной; недопустимы переплетения резиновых шлангов, так как это может привести к их пережиму и нарушению циркуляции жидкости. Эти шланги необходимо располагать в таких местах, где исключено хождение

обслуживающего персонала, так как в противном случае возможен их пережим и прекращение подачи воды для охлаждения генератора или преобразователя. Учитывая это, расположенные на полу резиновые шланги лучше закрыть металлическим или деревянным каркасом. Концы шлангов необходимо прочно закрепить на штуцерах металлическими скобами или специальными замками. Утечка жидкостей в этих местах недопустима. Шланги и трубы слива воды из ультразвукового оборудования укладывают индивидуально для каждого станка. Не допускается объединять их, так как при этом не

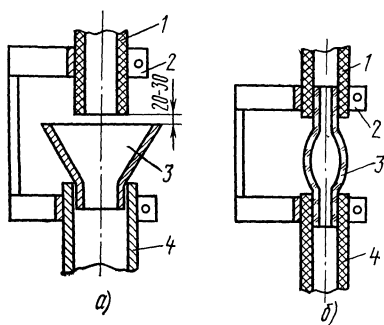


Рис. 1. Устройства для визуального наблюдения за стоком воды:
а — через зазор, б — через прозрачную трубку

обеспечивается надежный слив. Для этого сливные трубы укладывают ниже уровня баков насосов и других устройств самого оборудования и с уклоном в сторону стока.

При эксплуатации ультразвуковых установок с водяным охлаждением преобразователей необходимо следить за циркулирующей водой в системе охлаждения. Визуально это удобно наблюдать

по сливу воды из системы. Для этого в патрубок 4 (рис. 1, а) сточной системы устанавливают воронку 3, а шланг 1 несколько приподнимают над ней, чтобы просматривался сток воды. При этом шланг необходимо надежно закрепить скобой 2 на патрубке (или стене), не допуская разбрызгивания воды или стока ее вне воронки. Для этой же цели можно установить на видном месте (в зоне видимости оператора) прозрачную трубку 3 (рис. 1, б), соединив ее со шлангом 1 слива скобой 2. Конец трубки опускают в патрубок канализационной системы. Если патрубок находится далеко от рабочего места оператора (вне видимости), то второй конец трубки соединяют аналогично с другим резиновым шлангом 4; последний подводят к патрубку. Такую трубку можно закрепить непосредственно на ультразвуковом

оборудовании, на стене помещения или на кронштейне.

Особые требования к размещению, монтажу и подключению ультразвуковых установок, специфичные для каждого их типа, указываются в паспортах оборудования и инструкциях.

Изменять расположение ультразвукового оборудования без соответствующего изменения и утверждения планировки участка запрещается.

§ 5. Рабочее место оператора

Рабочее место — это часть производственной площади, где оператор выполняет производственное задание. На рабочем месте оператора ультразвуковых установок размещается ультразвуковая установка с необходимой аппаратурой управления и источником питания (генератором), если он не расположен в отдельном помещении.

Для размещения необходимых при работе приспособлений и инструментов рабочее место оператора оборудуется верстаком или тумбочкой. В них содержат также необходимую при работе техническую документацию. В верстаке или тумбочке предусматривается место для размещения набора ультразвуковых инструментов, например концентраторов различного диаметра при ультразвуковой размерной обработке. Удобно содержать такие наборы в ячейках откидной полки; размеры ячеек принимают в соответствии с размерами инструментов. Для сокращения времени на отыскание инструмента нужного размера ячейки клеймят или обозначают краской основные размеры и назначение инструмента, который расположен в данной ячейке. Такими же полками оснащают и верстаки. Верстак или тумбочка должны иметь подставку для чертежа обрабатываемой детали или операционной технологической карты.

Для хранения и транспортирования заготовок и деталей, изготавливаемых из дорогостоящих материалов, какими являются, например, многие из обрабатываемых ультразвуковым резанием твердые хрупкие материалы, применяют деревянные подносы, специальные пластмассовые пеналы с ячейками и футляры (рис. 2). Эти приспособления предохраняют детали и заготовки от повреждений и создают удобство при работе. Их применяют также при ультразвуковой сварке, пайке, лужении и очи-

стке деталей и узлов радио- и электронной аппаратуры, точного приборо- и машиностроения. В верстаке или тумбочке оператора необходимо предусмотреть места для размещения таких подносов, пеналов и футляров.

На верстаке оператора по ультразвуковой размерной обработке предусматривают место для размещения электроплитки. Плитку жестко крепят на массивной металлической плите, которую устанавливают на асбестовую подкладку. Над этой электроплиткой должен быть смонтирован колпак вытяжной вентиляции. Лучше эту операцию выполнять в специально выделенном для этой цели помещении.

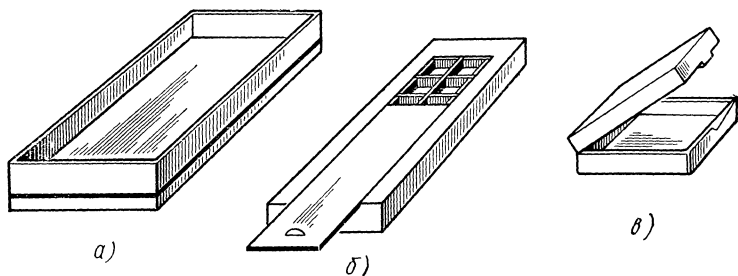


Рис. 2. Поднос (а), пенал (б) и футляр (в) для хранения и транспортирования деталей и полуфабрикатов

Настольные ультразвуковые установки (например, малогабаритные очистные ванны, сварочные пистолеты и т. д.) размещают непосредственно на верстаке оператора. Если же на рабочем месте необходимо разместить несколько единиц ультразвукового малогабаритного оборудования, например несколько ванн очистки с различными растворами, что практикуется в лабораторных условиях и при небольшой серийности производства, то такие рабочие места оснащают дополнительно настенными полками, стеллажами или подставками.

На рабочих местах, где производится ультразвуковая очистка деталей в кассетах, контейнерах или других приспособлениях, необходимо предусмотреть стеллажи или специальные подставки для складирования и хранения как самих деталей, так и этих приспособлений. Нередко на таких рабочих местах располагают устройства для регенерации технологических жидкостей с соответствующей аппаратурой.

Рабочее место оператора, выполняющего ультразвуковую сварку деталей значительных габаритов, оснащается соответствующей тарой для заготовок и полуфабрикатов или стеллажами.

На каждом рабочем месте оператора ультразвуковых установок обязательно должен быть резиновый диэлектрический коврик для ног.

Рациональная организация рабочего места должна предусматривать наиболее удобное размещение как самого оборудования, так и всех необходимых для работы приспособлений, инструментов, заготовок и вспомогательных принадлежностей. На рабочем месте оператора не должно быть лишних предметов и устройств. Набор приспособлений и инструментов необходимо подбирать в соответствии с технологическим процессом на выполняемую операцию или комплекс операций и хранить в определенном порядке на одном и том же месте.

Контрольные вопросы

1. Что такое производственный процесс? Назовите виды производства.
2. Назовите принципы организации цехов предприятия.
3. Что понимается под качеством продукции?
4. В чем разница в цеховой и бесцеховой структуре производства?
5. Что такое технологический процесс? Расскажите об его структуре.
6. С какими видами технологической документации работает оператор?
7. Что такое норма выработки и норма времени?
8. Каков порядок присвоения разрядов на производстве?
9. Перечислите особенности участков ультразвуковой обработки.
10. Как правильно организовать свое рабочее место?

Глава II

СВЕДЕНИЯ ОБ УЛЬТРАЗВУКЕ

§ 6. Физическая сущность

Все известные в природе звуки по своей физической сущности едины. Они представляют собой упругие колебания, распространяющиеся в газах, жидкостях и твердых телах в виде волн. Существенной физической разницы между звуком и ультразвуком нет. Их различие заключается в способности человеческого уха реагировать на упругие колебания среды; звуковые колебания

являются слышимыми, а ультразвуковые — неслышимыми.

Сущность упругих колебаний можно пояснить таким примером. Если тело M (рис. 3), упруго скрепленное пружиной с жесткой опорой, из положения равновесия сдвинуть в положение I , растянув для этого пружину, а затем отпустить его, то оно начнет совершать колебательные движения от положения I до положения II . С потерей энергии эти колебания постепенно прекратятся, но при повторном воздействии на тело возобновятся.

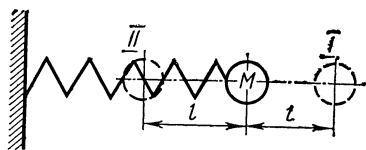


Рис. 3. Схема простейшей колебательной системы

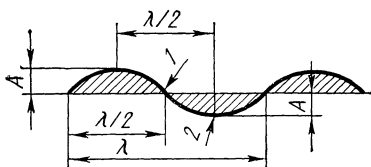


Рис. 4. Схема незатухающих колебаний:

1 — область разрежения, 2 — область сжатия

Размах этих колебаний с определенным допущением можно выразить величиной $2l$, т. е. тело M относительно своего положения равновесия совершает в нашем случае колебания в обе стороны по горизонтали условно с одинаковым смещением l . Наибольшее смещение колеблющегося тела от положения своего равновесия называют амплитудой (A) колебаний; размах колебаний составляет величину $2A$.

Механические упругие колебания распространяются в виде волн, следующих одна за одной с определенной частотой (f). Частотой называют число колебаний, совершаемых в одну секунду. За единицу частоты принято одно колебание в секунду — герц (Гц); 1000 Гц составляют 1 килогерц (кГц).

Под ультразвуковыми колебаниями принято понимать упругие механические колебания в диапазоне частот от 16 кГц (16 тыс. колебаний в секунду) и выше (до 10^7 Гц). На практике наиболее часто используют упругие механические колебания частотой до 48—70 кГц.

Отрезок времени, в течение которого выведенное из состояния равновесия тело совершает одно полное коле-

бание, т. е. выходит из положения I (см. рис. 3) и вновь к нему возвращается, называется периодом (T) колебания. Число, показывающее, какая часть периода прошла от начала колебания тела, называется фазой колебания. Если фазы двух колебаний одинаковы, то говорят, что эти колебания происходят в одной фазе. И, наоборот, если фазы двух колебаний отличаются на $0,5$ периода, то это означает, что колебания происходят в противоположных фазах.

Выведенное из состояния равновесия тело будет продолжать колебаться без дополнительного (повторного) воздействия некоторое время, частоту таких колебаний называют собственной частотой колебаний тела. Постепенно амплитуда таких колебаний будет уменьшаться. Поэтому их называют затухающими, или свободными. Они возникают, когда тело, получив некоторое количество энергии извне, например от толчка, колеблется некоторое время под воздействием силы, направление которой противоположно направлению смещения тела (возвращающая сила).

Если же какой-либо источник колебаний периодически сообщает телу колебания, а амплитуда последних остается в течение какого-то времени неизменной, то такие колебания называют незатухающими. Незатухающие колебания, вызванные внешним периодическим воздействием, называют вынужденными колебаниями.

Незатухающие колебания можно представить схематично в виде упругих, например, продольных волн. Продольными называют волны, при которых направление следования колебаний частиц среды (твердое тело, жидкость или газ) совпадает с направлением распространения волн. Эти волны имеют синусоидальный характер (рис. 4). При прохождении их в какой-либо среде отдельные участки последней подвергаются деформациям сжатия и разрежения. Эти деформации являются упругими в любой среде: твердой, жидкой и газообразной. Поэтому продольные упругие волны могут распространяться в любой из этих сред.

Важнейшей характеристикой волнового движения является длина волны (λ), представляющая собой расстояние между двумя соседними сжатиями или разрежениями, находящимися в одном периоде колебаний или в одной фазе.

Волной называют явление распространения звуковых колебаний в определенной среде. Звуковые волны, распространяющиеся в среде, вызывают колебания ее материальной точки. Энергия колебаний последней передается окружающим ее частицам этой среды, а они в свою очередь передают колебания новым частицам и т. д. Таким образом, звуковые и ультразвуковые колебания периодически, т. е. с определенной частотой, изменяют состояние среды, в которой они распространяются. В результате всем частицам данной среды, связанным друг с другом, сообщается энергия звуковых волн.

Если частицы среды движутся перпендикулярно направлению распространения волн, то эти волны называют поперечными (сдвиговыми). Поперечные волны имеют место только в твердых телах; в жидкостях и газах они не распространяются, так как такие среды не обладают упругостью формы.

В твердых телах кроме продольных и поперечных волн могут иметь место поверхностные волны, которые не проникают в глубину тела, а распространяются по его поверхности. На практике наиболее широкое применение имеют продольные волны.

Скорость (C) распространения упругих колебаний различна для различных сред и зависит от их плотности и сжимаемости. Так, для многих металлических материалов скорость распространения продольных волн составляет от 4000 до 7000 м/с, а поперечных — от 2000 до 3500 м/с. Отсюда видно, что скорость распространения поперечных волн примерно в 2 раза меньше, чем продольных. Приблизительно считают, что скорость распространения поверхностных волн составляет 0,9 скорости распространения поперечных волн. В связи с малой плотностью жидкостей и тем более газов скорость распространения упругих волн в таких средах значительно ниже, чем в твердых телах.

Скорость распространения звуковых волн зависит от плотности среды и ее температуры; измеряют скорость в м/с. Эта скорость составляет:

Воздух	330	Железо	5100
Вода	1430	Алюминий	5250
Керосин	1320	Латунь	3420

При распространении звуковой волны в заданном направлении происходит постепенное затухание ее, т. е. уменьшение амплитуды колебаний. Степень затухания

зависит от частоты колебаний и свойств среды, в первую очередь ее однородности, вязкости и теплопроводности. С другой стороны, чем выше частота колебаний, тем больше поглощение амплитуды.

Ультразвуковые волны распространяются прямолинейно. На границе одной среды, например твердого тела, с другой, например с воздушной средой, они встречают препятствия и отражаются. Так возникают отраженные волны. При этом

часть энергии волны, падающей на границу (плоскость) раздела двух сред, поглощается средой, смежной со средой, по которой распространяется падающая волна. Поэтому энергия отраженной волны меньше энергии падающей. Угол падения звуковой волны равен углу отражения.

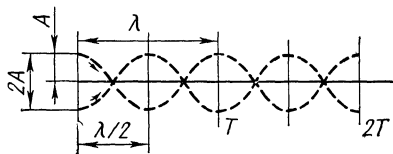


Рис. 5. Схема возникновения стоячих волн

При распространении в среде двух волн с одинаковым периодом происходит их взаимное наложение — явление, называемое интерференцией. В этом случае в зависимости от разности фаз колебаний обеих волн результирующая амплитуда может быть равна сумме или разности амплитуд колебаний волн в данной точке. Интерференция встречных волн одинаковой длины приводит к образованию стоячих волн (рис. 5), которые характеризуются постоянством положения точек, в которых амплитуда колебаний максимальна (пучности) или равна практически нулю (узлы). Стоячие волны могут образовываться в среде, где возможно отражение волн точно в обратном падающей волне направлении, т. е. когда расстояние между границами среды, а также между узлами и пучностями кратно целому числу полувольт ($\lambda/2$). Образование стоячих волн происходит в том случае, если граничащие друг с другом среды имеют различную плотность, а следовательно, и разную скорость распространения звуковых волн.

В практике применения ультразвуковой технологии почти всегда образуются стоячие волны. В одних случаях (например, при размерной обработке) они полезны, так как позволяют интенсифицировать процесс; в дру-

гих, наоборот, вредны (например, при ультразвуковой дефектоскопии).

Чередование в звуковых волнах сжатий и разрежений, соответствующее частоте следования волн, называют звуковым давлением. Единица измерения звукового давления — паскаль (Па). На практике уровень звукового давления измеряют внесистемной единицей — децибел (дБ). Постоянный поток среды, в которой распространяются звуковые волны, носит название звукового ветра. Звуковое давление и звуковой ветер способствуют протеканию многих технологических процессов ультразвуковой обработки.

§ 7. Колебательные системы

Общая характеристика. Основным узлом всех ультразвуковых установок является колебательная система. Ее задача — преобразование электрических импульсов ультразвуковой частоты, поступающих от источника питания, в механические (упругие) колебания рабочего элемента установки. В общем виде любая колебательная система состоит из двух элементов: активного и пассивного. Во многих случаях (например, при обработке твердых хрупких материалов, ультразвуковой сварке и т. д.) система дополняется рабочим инструментом.

Активным элементом колебательной системы является преобразователь электрической энергии в механические колебания, а пассивным — акустический трансформатор колебания (концентратор). Пассивный элемент выполняет основную технологическую задачу — передает упругие колебания в рабочую зону. Однако он может выполнять и ряд вспомогательных функций технологического и конструктивного характера — осуществлять крепление системы в станке, защищать активный элемент от воздействия агрессивных сред и др.

Все элементы колебательной системы строго увязываются между собой по акустическим, механическим и конструктивным параметрам. Они взаимодействуют с вполне определенной характеристикой и назначением. Для получения необходимой в данном технологическом процессе амплитуды колебаний пассивного элемента колебательная система должна быть резонансной.

Резонансом называют явление резкого возрастания амплитуды вынужденных колебаний в колебательной системе, наступающее при приближении частоты периодического внешнего воздействия к значениям, определяемым свойствами данной системы. Иными словами, резонанс в какой-либо колебательной системе наступает при приближении частоты внешнего воздействия (источника колебаний) к частоте собственных колебаний системы в целом или каждого ее элемента в отдельности; при достижении полного резонанса амплитуда колебаний пассивного элемента максимальна.

Понятно, что каждый элемент колебательной системы должен быть резонансным, т. е. его собственная частота должна быть равной собственной частоте любого другого элемента системы (например, частоты концентратора и преобразователя). Для обеспечения этого условия все элементы акустических колебательных систем рассчитываются по определенным зависимостям и при необходимости подгоняются до полного согласования частот. Отметим, что из-за различной скорости распространения ультразвуковых волн в различных материалах длины резонансных элементов определенной колебательной системы могут быть различными, несмотря на одинаковую их собственную частоту.

Колебательные системы ультразвуковых установок различают по их технологическому назначению и конструктивному исполнению.

На рис. 6 приведены две типовые колебательные системы, применяемые в станках для размерной обработки твердых хрупких материалов, сварки, пайки и других процессов. Наиболее распространена система по рис. 6, а с креплением за фланец концентратора, припаянного к преобразователю. Такие системы применяются, в частности, в станках и установках мощностью свыше 0,6 кВт. На рис. 6, б изображена колебательная система с креплением посредством дополнительного фланца. В обоих случаях плоскости А находятся в узле колебаний, что позволяет свести к минимуму потери мощности за счет передачи энергии деталям станка (в плоскости А амплитуда равна нулю). Вариант крепления колебательной системы по рис. 6, б применяют, как правило, в станках и установках небольшой мощности (до 0,4 кВт). Здесь дополнительный фланец гайкой скреплен с переходным фланцем, который припаян к торцу преобразователя.

Обе конструкции обеспечивают высокую жесткость и точность крепления колебательной системы в станке при минимальных потерях энергии в местах крепления.

Освоено серийное изготовление нескольких типов колебательных систем, объединяемых на практике понятием «преобразователи». Они выпускаются в виде само-

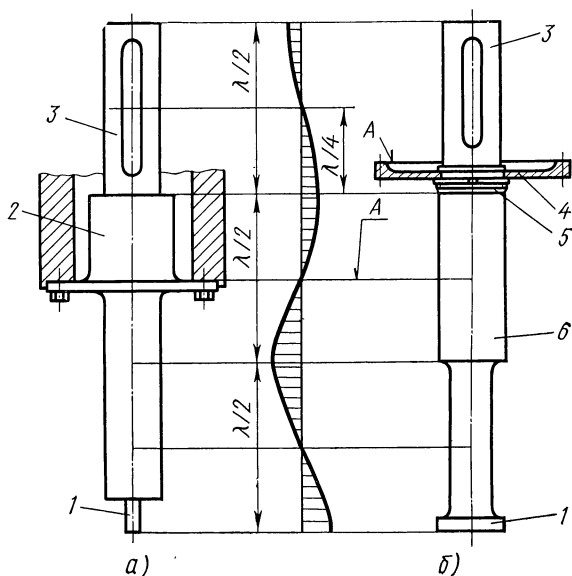


Рис. 6. Колебательные системы ультразвуковых станков:

1 — рабочий инструмент, 2 — концентратор, 3 — преобразователь, 4 — дополнительный фланец, 5 — переходной фланец, 6 — сменный концентратор

стоятельных узлов и могут использоваться в различных технологических ультразвуковых установках, в том числе и в ультразвуковых станках для размерной обработки. Наиболее распространенным является преобразователь типа ПМС-15А-18. Колебательная система его приведена на рис. 7. Ее потребляемая мощность 4 кВт; резонансная частота 18 кГц. Она состоит из преобразователя, который припаян твердым припоем к концентратору. Последний имеет фланец для крепления всей системы в корпусе преобразователя или непосредственно

в станке. На свободном (выходном) торце концентратора имеется резьбовое отверстие для присоединения рабочего инструмента.

Эта колебательная система имеет датчик акустической обратной связи (АОС), также припаянный к торцу концентратора. Благодаря наличию АОС обеспечивается стабильность амплитуды колебаний инструмента в процессе работы при использовании генераторов с автоподстройкой частоты по АОС. Преобразователь обматывается проводом; датчик АОС имеет аналогичную обмотку. Эти провода присоединяются к источнику питания — генератору. На свободный торец преобразователя наклеивают отражающую накладку из губчатой водостойкой резины. Это способствует отражению ультразвуковых волн от свободного торца преобразователя и повышает к. п. д. системы.

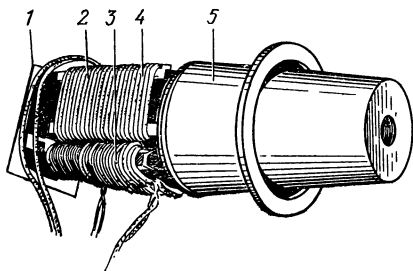


Рис. 7. Колебательная система преобразователя ПМС-15А-18:

1 — отражающая резиновая накладка, 2 — обмотка, 3 — пакет-датчик АОС, 4 — пакет-преобразователь, 5 — концентратор

Для ультразвуковых сварочных установок применяются колебательные системы, принципиально не отличающиеся от рассмотренных. Они также состоят из преобразователя и концентратора; однако в ряде случаев они дополняются сварочными наконечниками различной формы (см. ниже).

Колебательные системы, применяемые в ультразвуковых ваннах для очистки, отличаются тем, что здесь преобразователь (пакет) жестко соединен не с концентратором, а с излучающей пластиной — мембраной (рис. 8). Эта пластина (пассивный элемент системы) может иметь постоянное или переменное сечение. Она изготавливается из нержавеющей стали; размеры и профиль ее сечения рассчитываются так, чтобы было достигнуто наилучшее согласование с пакетом и свойствами моющей жидкости, залитой в очистную ванну. Такие колебательные системы выпускаются серийно и широко применяются на практике. Преобразователь типа

ПМС-6-22 имеет мощность 2,5 кВт, а типа ПМ-1,5Д — 1,5 кВт.

В технологических ультразвуковых установках для работы с жидкостями за последние годы стали применять колебательные системы с пассивным элементом трубчатой (цилиндрической) формы (рис. 9). В одном случае (рис. 9, а) на наружной образующей трубы 1 радиально расположены припаянные к ней преобразовате-

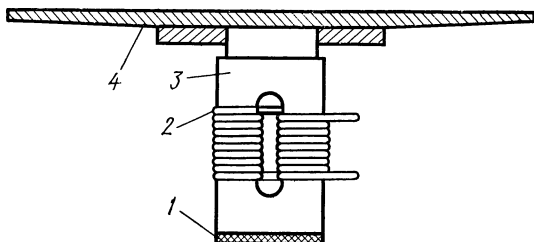


Рис. 8. Колебательная система типа ПМС-6-22:
1 — резиновая накладка, 2 — обмотка, 3 — преобразователь, 4 — излучающая пластина

ли 2. Система ЦМС (цилиндрический магнитострикционный преобразователь, рис. 9, б) имеет один преобразователь 2 кольцевого типа, насаженный на тонкостенную трубу 1. В обоих случаях ультразвуковые механические колебания распространяются вдоль оси трубы. Такие колебательные системы нашли, в частности, применение в установках для интенсификации различных химических и физико-химических процессов.

В рассмотренных выше колебательных системах применены магнитострикционные преобразователи, в которых использованы металлические ферромагнитные материалы, обладающие эффектом Джоуля. Такие материалы имеют способность изменять свои геометрические размеры (удлиняться или укорачиваться) под действием переменного магнитного поля.

При пропускании переменного тока по обмотке возбуждения магнитострикционного преобразователя образуется переменное магнитное поле, под действием которого возникает магнитострикционный эффект. При этом изменение длины преобразователя происходит в каждый полупериод изменения магнитного поля. Следовательно,

в один период (два полупериода) изменения магнитного поля происходит два периодических изменения длины преобразователя, т. е. частота колебаний преобразователя превышает частоту переменного тока в 2 раза. Для того чтобы преобразователь работал на частоте колебаний магнитного поля, т. е. на основной частоте, через

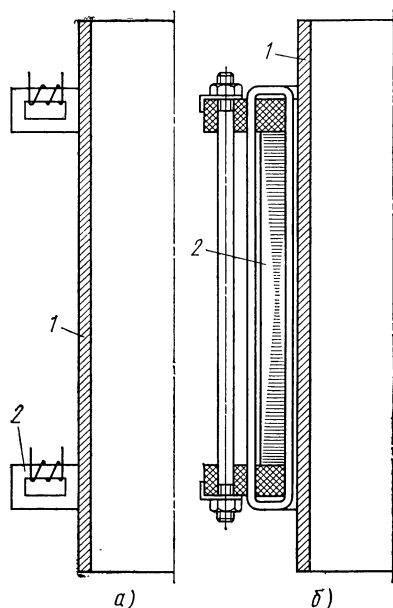


Рис. 9. Цилиндрические преобразователи:
 а — с радиально расположенными пакетами, б — с центральным кольцевым пакетом

обмотку возбуждения пропускают одновременно и постоянный ток (ток подмагничивания). При этом амплитуда колебаний обоих торцов преобразователя становится максимальной и носит линейный характер.

В ультразвуковых ваннах и устройствах для очистки, лужения, пайки и других процессов небольшой мощности (до 0,4 кВт) применяются пьезоэлектрические колебательные системы (рис. 10, а). В них активный элемент представляет собой пластину, изготовленную из кристаллических материалов, обладающих пьезоэлектрическим эффектом, т. е. способностью деформироваться в

определенном направлении под действием электрического поля. Пассивными элементами таких колебательных систем являются две металлические накладки: частотопонижающая и излучающая. Последняя соединяется с очередным элементом колебательной системы или непосредственно с ванной и сообщает им механические колебания. Пластины такого преобразователя имеют обратную полярность и насажены на изоляционную втулку.

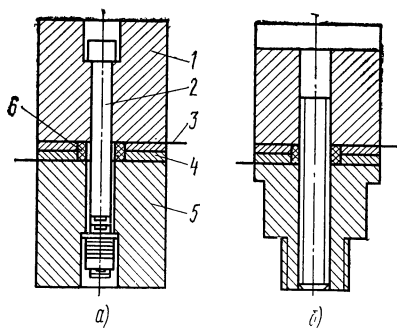


Рис. 10. Пьезоэлектрические колебательные системы:

1 — частотопонижающая накладка, 2 — крепежный болт, 3 — выводы, 4 — активные элементы-пластины, 5 — излучающая накладка, 6 — изоляционная втулка

Выводы соединяются с ультразвуковым генератором. Вся конструкция стягивается с определенным усилием центральным болтом.

Частотопонижающая накладка изготавливается из дюралюмина, а излучающая — из стали 45. Излучающей накладкой колебательная система крепится к ультразвуковой ванне или другому оборудованию. Для удобства крепления таких колебательных систем излучающую накладку часто выполняют с резь-

бовым хвостовиком (рис. 10, б), а болт удлиняют на нужную величину.

Известны колебательные системы (тип ПП1-2,5/18), в которых к одной пластине крепится 32 пьезокерамических излучателя мощностью по 0,1 кВт. Они применяются, в частности, в ультразвуковых очистных установках.

Согласно существующим стандартам диапазоны рабочих частот колебательных систем для ультразвуковых установок принимаются равными $18 \text{ кГц} \pm 7,5\%$, $22 \text{ кГц} \pm 7,5\%$ и $44 \text{ кГц} \pm 10\%$. Первые два диапазона чаще используются в станках для размерной обработки и других установках. Третий диапазон частот используют, в частности, в ультразвуковых паяльниках и других установках.

Магнитострикционные преобразователи. Работа магнитострикционных преобразователей основана на эффек-

те магнитострикции, т. е. изменении размеров и формы тела при его намагничивании, которым обладают ферромагнетики. Основные металлические ферромагнитные материалы, используемые в промышленности для изготовления магнитострикционных преобразователей, и их основные характеристики приведены в табл. 1.

1. Характеристики некоторых ферромагнитных материалов

Характеристики	Никель НО	Пермендюр		Альфер Ю-14
		К49Ф2	К-65	
Магнитострикционная деформация, см ($\times 10^{-6}$)	35	70	90	40
Точка Кюри, °С	360	980	820	500
Скорость звука, м/с ($\times 10^3$)	4,78	5,2	5	4,75
Удельная мощность, Вт/см ²	50—80	90—100		60—80
Электрические потери, кВт/кг	2,8	0,8	2,75	1,17

Величина линейной деформации этих материалов зависит от их свойств, технологии изготовления преобразователя, величины предварительного намагничивания и температуры нагрева его при работе.

Из данных табл. 1 видно, что наибольшим магнитострикционным эффектом обладает пермендюр. Этот материал обладает наивысшей точкой Кюри, что является важным преимуществом, так как преобразователи, изготовленные из такого материала, могут устойчиво работать при значительной температуре охлаждающей их воды, а иногда и без водяного охлаждения. Пермендюр обладает наименьшими потерями. Указанные преимущества пермендюра выгодно отличают его от других ферромагнитных материалов. Поэтому пермендюр широко применяется для изготовления преобразователей ультразвуковых станков. К недостаткам этого материала следует отнести относительно малую коррозионную стойкость; однако при правильной эксплуатации ультразвуковых установок это не сказывается на работоспособности преобразователей, изготовленных из пермендюра.

Железоалюминиевые сплавы, в частности альфер марки Ю-14, также обладают высокими магнитострикционными свойствами. Альфер обладает тем же относительным удлинением, что и никель, но обладает значи-

тельно меньшими электрическими потерями. Благодаря этому в преобразователях из альфера к.п.д. значительно больше, чем в преобразователях из никеля. Однако альфер практически не поддается пайке, что заставляет применять для соединения их с концентраторами сварку. Это значительно усложняет и удорожает изготовление колебательной системы.

Величина магнитострикционной деформации весьма мала (см. табл. 1) и характеризуется относительным удлинением $\Delta l/l$. Характерно, что преобразователи, изготовленные из пермендюра, при намагничивании удлиняются, а из никеля — укорачиваются. Эта величина зависит от температуры среды, в которой работает преобразователь. С повышением температуры деформация снижается, а в точке Кюри совершенно исчезает. Так, например, при нагревании никеля до 100°C магнитострикционный эффект уменьшается на 10—20%, а при температуре около $+360^\circ\text{C}$ (точка Кюри никеля) совершенно исчезает. У пермендюра магнитострикционные свойства сохраняются до больших температур. Для сохранения магнитострикционных свойств преобразователей из приведенных в табл. 1 материалов их необходимо охлаждать в процессе работы; для этого обычно применяют проточную воду. Практически амплитуда на торцах магнитострикционных преобразователей не превышает 5 мкм.

В ультразвуковых установках наиболее часто применяют одно- и многостержневые преобразователи (рис. 11). Одностержневой преобразователь имеет разомкнутый магнитный поток (показан пунктиром со стрелками). Эти преобразователи обладают низким к.п.д. из-за больших потерь. С этой точки зрения лучшими являются двухстержневые преобразователи, имеющие замкнутую магнитную цепь; их наиболее часто применяют в ультразвуковых установках. Конструктивно магнитострикционные преобразователи из металлических материалов представляют собой набор пластин, собранных в пакет.

Работа магнитострикционных преобразователей сопровождается различными потерями энергии, которая преобразуется в тепло. Некоторые потери удается снизить до минимума, применяя тонколистовые пластины. Практически пластины из никеля делают толщиной 0,1 мм, а из пермендюра 0,1—0,2 мм.

Размеры магнитострикционного преобразователя рассчитывают в зависимости от требуемой мощности и рабочей частоты. При этом необходимо учитывать, что к.п.д. магнитострикционного преобразователя обычно не превышает 0,5. Поэтому акустическая мощность, излучаемая преобразователем, примерно в 2 раза меньше электрической мощности, подводимой для его питания. Необходимо отметить, что размеры сечения пакетов преобразователей должны быть значительно меньше половины длины волны, т. е. $\lambda/2$. Иначе из-за наличия поперечных колебаний пакета не удастся добиться его эффективной работы.

Кроме стержневых получили распространение на практике кольцевые магнитострикционные преобразователи, представляющие собой пакет тонколистовых пластин — колец (рис. 12). Пластина имеет отверстия для размещения обмотки; провод пропускают через эти отверстия и по наружной образующей колец. Иногда наружный контур кольца выполняют с пазами, куда укладывают провод.

Магнитострикционным эффектом обладают также ферриты. Изготовленные из ферритов магнитострикционные преобразователи отличаются от никелевых и пермдюртовых значительно меньшим расходом электрической энергии, отсутствием необходимости подмагничивания постоянным током, более высоким, чем у никелевых преобразователей, магнитострикционным эффектом и малым температурным коэффициентом. Весьма важно, что ферритовые преобразователи могут работать при температурах до $+300$ — 450°C , что позволяет отказаться от принудительного водяного охлаждения; это значительно упрощает конструкцию акустических головок и станков в целом.

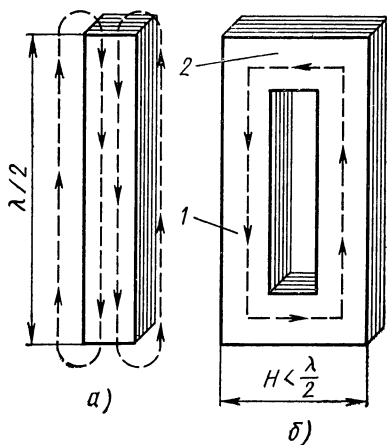


Рис. 11. Одностержневой (а) и двухстержневой (б) магнитострикционные преобразователи:
1 — стержень, 2 — накладка

Типовой ферритовый преобразователь и его основные размеры приведены на рис. 13. Он состоит из двух сердечников, имеющих резонансную частоту 23 кГц. Между ними расположены постоянные магниты из феррита БА-2. После склейки и сушки преобразователь шлифуется по торцам и к нижнему его торцу приклеивается

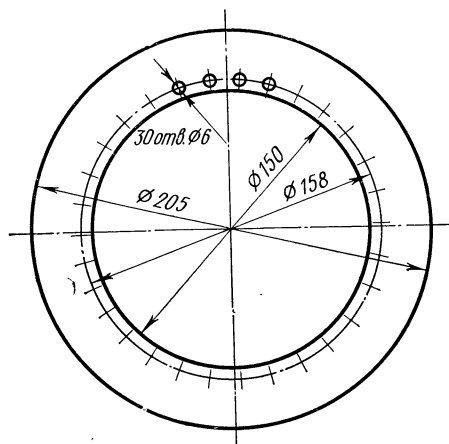


Рис. 12. Пластина цилиндрического магнитострикционного преобразователя

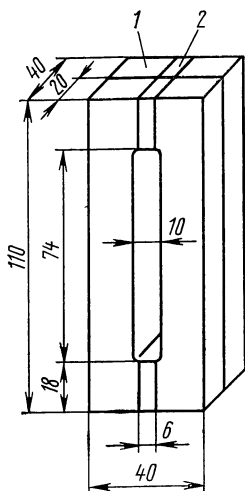


Рис. 13. Ферритовый преобразователь:

1 — сердечник, 2 — постоянный магнит

фланец из титанового сплава, обладающего близким к ферриту коэффициентом линейного расширения. На выходном торце фланца выполняется резьбовое отверстие для присоединения концентратора, а на его боковых поверхностях — лыски под ключ для удержания преобразователя при закручивании концентратора.

Несмотря на указанные преимущества, ферритовые преобразователи пока редко применяются в ультразвуковых станках, что можно отчасти объяснить сложностью получения в производственных условиях надежного соединения преобразователя с фланцем.

Пьезоэлектрические преобразователи. Кристаллические естественные и искусственные материалы обладают пьезоэлектрическим эффектом — появлением электриче-

ских зарядов разного знака на противоположных гранях некоторых кристаллов — пьезоэлектриков — при их механических деформациях: сжатии, растяжении и т. п. Такой эффект называют прямым пьезоэффектом.

При обратном пьезоэффекте имеет место деформация (изменение размеров) кристалла под действием электрического поля. Обратный и прямой пьезоэффекты обратимы; в первом случае деформация пластины прекращается после прекращения воздействия на нее электрического поля, и пластина принимает свои первоначальные размеры. Во втором случае электрический заряд исчезает после снятия механической деформации пластины. В ультразвуковых пьезоэлектрических преобразователях используется обратный пьезоэффект. К естественным пьезокристаллам относятся кварц и сегнетова соль; к искусственным — пьезокерамики.

Кварцевые пьезоэлектрические элементы прочны, работают при довольно высоких температурах (до $+550^{\circ}\text{C}$), не растворяются в воде и кислотах. Однако их применение на практике ограничивается довольно высокой стоимостью и невозможностью получения пластин большого диаметра (свыше 50—60 мм).

Пластины из кристаллов сегнетовой соли обладают большим пьезоэффектом, но не стойки в воде и теряют свои пьезосвойства при температуре свыше 50—54° C. Поэтому применение этого материала для ультразвуковых преобразователей ограничено.

Наибольший практический интерес представляют пьезокерамики на основе титаната бария (BaTiO_3). Его готовят из гидроокиси бария и солей титановой кислоты. Пластины из пьезокерамики поляризуют, после чего они приобретают пьезоэлектрические свойства.

На практике распространена пьезокерамика из цирконата-титаната свинца (ЦТС). Она обладает большим, чем титанат бария пьезоэффектом и прочностью. Благодаря довольно высокой точке Кюри (330°C) такие пластины стойки к температурным воздействиям и могут устойчиво работать при рабочей температуре до $+220$ — 240°C без водяного охлаждения. Известно несколько марок пластин из ЦТС; наиболее распространенной является ЦТС-19.

Пьезокерамическая пластина ультразвукового преобразователя обычно имеет круглую форму. Ее толщина равна половине длины волны, т. е. $\lambda/2$. При этом условии

пластина совершает упругие колебания на основной частоте.

Некоторые характеристики пьезокерамических материалов приведены в табл. 2.

2. Некоторые характеристики пьезоэлектрических материалов

Характеристики	Пьезокварц	Пьезокерамика	
		титанат бария	цирконат-титанат свинца (ЦТС)
Плотность, г/см ² . .	2,65	5,3	7,8
Точка Кюри, °С . .	576	120	330
Скорость звука, м/с ($\times 10^3$)	5,7	4,4	2,9

Концентраторы и волноводы. Для передачи ультразвуковых колебаний от преобразователя на рабочий инструмент или в рабочую среду в ультразвуковых установках применяют концентраторы и волноводы, которые имеют, как правило, постоянную площадь поперечного сечения и цилиндрическую форму.

Волноводы применяют в тех случаях, когда нет необходимости в усилении амплитуды колебаний преобразователя. По технологическому назначению различают волноводы продольных, изгибных, радиальных и поперечных колебаний.

Концентраторы являются трансформаторами скорости; они имеют переменную площадь поперечного сечения и чаще цилиндрическую форму. Благодаря такому сечению они преобразуют ультразвуковые колебания малой амплитуды, сообщаемые преобразователем и сосредоточенные на его входном торце, в колебания большей амплитуды выходного торца. Последние сообщаются рабочему органу (инструменту) ультразвуковой установки. Трансформация амплитуды происходит из-за разницы площадей входного и выходного торцов концентратора. Поэтому площадь первого (входного) торца концентратора всегда больше площади второго.

Волноводы и концентраторы должны быть резонансными; поэтому их длина всегда кратна целому числу полуволен ($\lambda/2$). При этом условии создаются наилучшие возможности для согласования их с источником пита-

ния, колебательной системой в целом и присоединяемой к ним массой (рабочим инструментом).

В ультразвуковых технологических установках наибольшее применение имеют концентраторы экспоненциальной (рис. 14, а), конической (рис. 14, б) и ступенчатой формы. Последние могут выполняться с фланцем (рис. 14, в) или без него (рис. 14, г). Встречаются и конические концентраторы с фланцем (например, в пре-

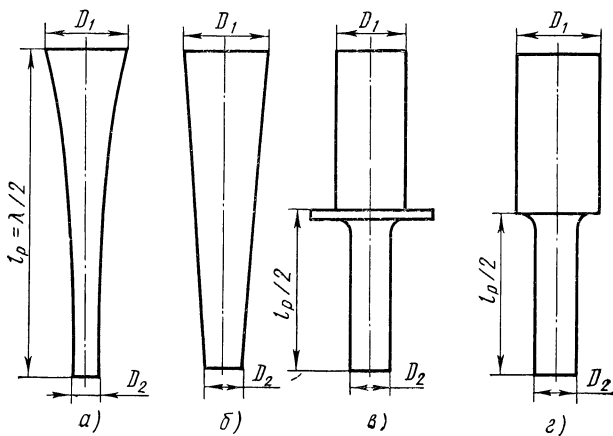


Рис. 14. Концентраторы полуволновой длины

образователе типа ПМС-15А-18), а также комбинированные концентраторы, у которых ступени выполняются различной формы. Концентраторы, у которых верхняя ступень выполнена цилиндрической, а нижняя — конической формы, применяют, как правило, в специальном ультразвуковом оборудовании.

Концентраторы и волноводы могут быть неотъемлемой частью колебательной системы или сменным ее элементом. В первом случае они припаиваются непосредственно к преобразователю. Сменные концентраторы соединяются с колебательной системой (например, с переходным фланцем) посредством резьбы или другим способом.

У концентраторов площадь поперечного сечения изменяется по определенной закономерности. Основной характеристикой их является теоретический коэффициент усиления K , показывающий, во сколько раз ам-

плитуда колебаний его выходного торца больше амплитуды на входном торце. Этот коэффициент зависит от соотношения N диаметров входного D_1 и выходного D_2 торцов концентратора:

$$N = \frac{D_1}{D_2}.$$

Наибольший коэффициент усиления амплитуды при одном и том же значении N обеспечивается ступенчатым концентратором. У него $K=N^2$. Этим объясняется широкое применение концентраторов ступенчатого типа в различных ультразвуковых установках. Кроме того, эти концентраторы проще других в изготовлении, что подчас является важнейшим условием для успешного применения ультразвуковой обработки. Ступенчатые концентраторы допускают самые различные комбинации в сочетании с инструментами сложной формы, вплоть до изготовления их зацело с концентратором. Расчет ступенчатого концентратора гораздо проще, чем концентраторов других типов.

Значение коэффициента усиления амплитуды ступенчатого концентратора принимается с учетом предотвращения возможности возникновения боковых колебаний, что наблюдается при больших коэффициентах усиления ($K > 8 \div 10$), а также его прочностных данных. На практике коэффициент усиления у ступенчатого концентратора принимают равным 4—6.

Резонансная длина ступенчатого концентратора l_p определяется из выражения

$$l_p = \frac{\lambda}{2} = \frac{C}{2f},$$

где λ — длина волны в стержне постоянного сечения, см; C — скорость продольных волн (для стали $C=5100$ м/с); f — резонансная частота, Гц.

Учитывая, что, как правило, концентраторы изготавливают из стали, т. е. значение C постоянно, при определении их резонансной длины на практике можно пользоваться данными табл. 3.

При выборе материала для изготовления концентраторов необходимо учитывать, что в режиме ультразвуковых колебаний концентраторы работают со знакопеременными нагрузками. Поэтому материал, из которого изготовлен концентратор, должен иметь достаточно вы-

3. Длины полуволновых концентраторов в зависимости от резонансной частоты системы

Частота, кГц	18	19	20,5	21	21,5	22	22,5
l_p , мм	142	132	122	119	116	114	111

ские прочностные характеристики и, в частности, усталостную прочность. Малоуглеродистые стали марки 10, 20, 30 непригодны для изготовления ультразвуковых концентраторов, так как не позволяют получить на выходном торце амплитуды более 0,03 мм, что не обеспечивает эффективной обработки.

Хорошие результаты дает применение для изготовления концентраторов сталей 40Х, 38ХМЮА и титановых сплавов. Однако изготовление концентраторов из таких материалов в связи с их высокой стоимостью целесообразно рекомендовать в условиях серийного производства, при многократном использовании концентраторов или при исследовательских и экспериментальных работах. На практике наиболее приемлемыми материалами для изготовления концентраторов являются сталь 45 или 40Х. При этом амплитуда может достигать до 40—60 мкм (без разрушения концентраторов).

Повышение предела выносливости материала концентратора дает упрочнение его поверхностей обкаткой роликом. В этом случае предел выносливости может быть увеличен в среднем на 50%. Аналогичное повышение предела выносливости концентраторов достигается азотированием, цементацией и цианированием.

При поверхностной закалке токами высокой частоты предел выносливости концентраторов повышается на 60—70%. При этом ступенчатые концентраторы, наиболее часто подвергающиеся разрушению, могут устойчиво работать при значительных амплитудах (до 60—70 мкм).

Меры по повышению прочностных характеристик концентраторов целесообразно применять в условиях серийного производства после отработки колебательной системы в целом, получения устойчивой резонансной ее характеристики и удовлетворительных результатов при обработке первых партий деталей.

У сменных концентраторов на входном торце выполняют резьбовое отверстие с мелким шагом резьбы. Такие концентраторы с колебательной системой соединяются резьбовой шпилькой. Резьбу на шпильке несколько ослабляют с тем, чтобы за счет люфта в резьбовом соединении добиться плотного прилегания плоскостей. Эти плоскости тщательно шлифуют, а нередко и притирают. В этом случае достигается хороший акустический контакт соединяемых деталей, что снижает потери в колебательной системе. Для этого же резьбовое соединение обильно смазывают машинным маслом. Сменные концентраторы могут являться и непосредственно рабочим инструментом, например при размерной обработке. В этом случае их выходной торец должен иметь форму обрабатываемой поверхности детали.

Необходимо отметить, что концентраторы, являющиеся одновременно рабочими инструментами, применяют наиболее часто в единичном производстве, так как из-за быстрого износа их рабочей части требуется их частая замена или восстановление. В то же время восстановление изношенной рабочей части таких концентраторов является довольно сложной задачей. В серийном производстве это экономически невыгодно. Тем более невыгодно изготовление большого числа концентраторов-инструментов. Поэтому в серийном и массовом производстве часто применяют сменные рабочие инструменты, соединяемые с концентратором колебательной системы установки с помощью резьбы.

В производственных условиях, как правило, концентраторы изготавливают к конкретному преобразователю или колебательной системе, собственная частота которых уже известна. В этом случае линейные размеры концентратора, зависящие от фактической частоты преобразователя, можно определить с достаточной точностью, и после изготовления его исключить дополнительную подгонку.

Если же концентратор изготавливают одновременно с преобразователем, т. е. размеры его определены расчетным путем, а собственная частота преобразователя еще не известна, то концентратор лучше изготовить с припуском около 5 мм по длине (с двух торцов равномерно) на последующую подгонку. После изготовления преобразователя, зная его собственную частоту, необходимо подогнать длину концентратора, срезая оставленный

припуск. Избежать такой доработки можно, изготовив раньше преобразователь, а затем, зная его собственную частоту,— концентратор.

Особое внимание необходимо уделять чистоте обработки концентраторов. Известно, что всякого рода риски, надирь и острые углы являются предпосылкой для образования микротрещин и могут привести к поломке концентраторов.

Как явствует из сказанного, изготовление концентраторов для ультразвуковых установок является относительно сложным и трудоемким процессом. Поэтому на практике необходимо стремиться к использованию уже проверенных, отработанных конструктивно концентраторов. По этим же причинам нужно проводить их унификацию, применяя ограниченное число их типоразмеров.

Изготовление и испытания колебательных систем. Большое влияние на качество работы ультразвуковых технологических установок оказывает соблюдение правильной технологии изготовления всех элементов колебательных систем. В то же время эта технология отличается определенной спецификой, требует специального оборудования и оснастки. Поэтому изготовлением (как и ремонтом) колебательных систем, как правило, занимаются специализированные участки и цехи.

Оператору ультразвуковых установок не приходится сталкиваться с этими вопросами на производстве. Однако ему необходимо, хотя бы в общем виде, представлять структуру технологического процесса изготовления основных элементов колебательных систем, их сборки, отладки и испытания.

Наиболее сложным является изготовление, испытание и отладка преобразователей. Магнитострикционные преобразователи, как уже было отмечено выше, изготавливают из тонколистовых пластин. Их штампуют и собирают в пакеты, которые затем подвергают отжигу для придания им магнитострикционных свойств. Затем пакеты испытывают по акустическим и электрическим параметрам. При этом проверяется их резонансная частота, электрическая мощность, электроакустический к.п.д. Амплитуду колебаний преобразователей проверяют довольно редко в связи со сложностью этой операции. Указанные параметры проверяют на специальных стендах и установках с применением комплекса измерительных приборов и аппаратуры.

Затем к пакетам припаивают твердыми припоями пассивный элемент колебательной системы: волновод, концентратор или переходной фланец. Пайку выполняют в специальных приспособлениях на установках ТВЧ или другими способами. После этого колебательную систему вновь проверяют по частоте и согласовывают с фактическим ее значением сменный элемент — концентратор, срезая припуск с торцов сменного концентратора. При этом добиваются, чтобы частота колебательной системы в целом (со сменными концентраторами) соответствовала исходной частоте колебательной системы (преобразователь с припаянным концентратором или фланцем).

Сердечники и постоянные магниты ферритовых преобразователей изготавливают прессованием в пресс-формах, а затем склеивают по специальной технологии. Фланец также приклеивают клеями, приготовленными по особым рецептам.

Пластины пьезокерамических преобразователей получают прессованием и спеканием. Затем их шлифуют по торцам в размер и поляризуют. После этого они приобретают пьезоэлектрические свойства. Преобразователи из естественных материалов изготавливают механической обработкой, применяя алмазные инструменты. Акустические и электрические параметры этих преобразователей также измеряют на специальных стендах.

Оператор ультразвуковых установок должен уметь измерить амплитуду колебаний выходного торца концентратора колебательной системы. Эту работу выполняют на специальном стенде при испытаниях и отладке колебательных систем или непосредственно на ультразвуковом станке. Для этого систему подключают к ультразвуковому генератору соответствующей мощности. В цепь питания колебательной системы включают осциллограф и частотомер. Подключают эту аппаратуру и генератор специалисты, имеющие соответствующие знания и разрешение. Они проверяют правильность присоединения станка (или стенда) к водопроводной и канализационной сетям согласно указаниям паспорта или инструкции.

Вначале проверяют согласование присоединенного к колебательной системе станка сменного концентратора (или инструмента). Для этого на столе станка (или стенда) устанавливают сосуд с водой. Включают питание аппаратуры и генератора и охлаждение преобразовате-

ля. После прогрева генератора осуществляют настройку частоты. Для этого опускают торец концентратора в воду и включают ультразвуковые колебания на генераторе. Варьируя ручкой генератора «Частота», добиваются максимального «бурления» воды. При этом следят по осциллографу за кривой, которая должна иметь синусоидальный характер. В этом режиме проверяют показания частотомера; частота колебательной системы с присоединенным (сменным) концентратором или инстру-

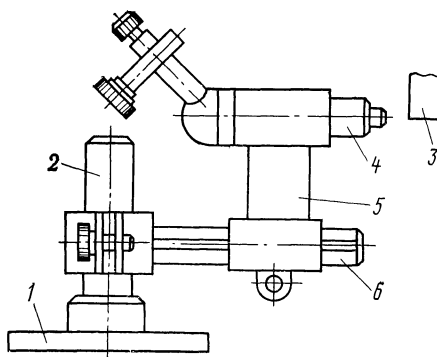


Рис. 15. Схема измерения амплитуды колебаний концентратора оптическим методом:
1 — основание, 2 — стойка, 3 — инструмент, 4 — оптическая система, 5 — кронштейн, 6 — штанга

ментом должна соответствовать фактической частоте колебательной системы станка (указывается в паспортах оборудования). Если при этой проверке обнаружится расхождение в значениях этих частот, то необходимо вернуть концентратор на доработку или переделку. При соответствии частот можно приступить к измерению амплитуды колебаний выходного торца концентратора.

Наиболее универсальным методом, имеющим практическое применение, является оптический (бесконтактный) метод измерения амплитуды, схема которого приведена на рис. 15. Жесткое по конструкции основание устанавливается на стенде или столе ультразвукового станка. В качестве оптической системы применяют микроскоп от прибора ПМТ-3 с увеличением $\times 500$ (можно применить и другие оптические системы). Настроив ультразвуковой генератор, осциллограф и частотомер,

как было указано выше, направляют окуляр оптической системы на выходной торец концентратора. При этом необходимо найти на образующей концентратора (у его выходного торца) характерную, четко обозначенную точку и заметить ее положение на сетке окуляра оптической системы. При включении ультразвуковых колебаний эта точка растянется в осевом направлении, т. е. увеличится по размерам. Разница между первоначальным размером этой точки и ее увеличенным размером и будет величиной размаха колебаний (2А). Этот способ измерения амплитуды колебаний отнимает значительное время на поиск характерной точки.

Более удобно фокусировать оптическую систему микроскопа непосредственно на выходной торец концентратора. При правильном освещении объекта измерения в окуляре можно заметить четкую границу блестящей металлической поверхности торца концентратора и темный фон окружающего его пространства. О величине амплитуды торца судят аналогично сказанному выше.

Оптическим методом освоено измерение довольно малых амплитуд (20—30 мкм) с большой точностью (до 10 мкм). Однако применение этого метода требует определенного навыка и исключения каких-либо механических воздействий на объект измерений и аппаратуру (толчки, вибрации и т. п.).

Освоено измерение амплитуды колебаний ультразвуковых инструментов прибором УВВ (ультразвуковой виброметр). Однако в связи с отсутствием серийно изготавливаемых приборов этого типа должного распространения этот метод на практике не получил, несмотря на удобство работы с такими приборами и довольно высокую точность измерений.

§ 8. Ультразвуковые генераторы

Общая характеристика. Ультразвуковые генераторы являются источниками питания ультразвуковых установок. Они преобразуют электрическую энергию промышленной частоты (50 Гц) в энергию переменного тока ультразвуковой частоты, которая с помощью колебательной системы преобразуется в механические колебания рабочего инструмента установки. Этот ток является током возбуждения преобразователя. Одновременно генераторы вырабатывают ток подмагничивания,

необходимый для получения наибольшей величины относительного удлинения преобразователей (см. с. 29).

В ультразвуковых технологических установках в основном используют ламповые и полупроводниковые генераторы. Они могут работать по схеме с самовозбуждением и независимым возбуждением. Генераторы с самовозбуждением (однокаскадные автогенераторы) отличаются простотой схемы, но уступают генераторам с независимым возбуждением по стабильности частоты.

Более широкое применение в ультразвуковых технологических установках получили генераторы с независимым возбуждением. Они состоят, как правило, из трех каскадов (блоков): задающего, промежуточного и выходного. Задающий каскад преобразует ток промышленной частоты в ток ультразвуковой частоты (определенного диапазона) при малой мощности электрических импульсов. Промежуточный каскад усиливает эти импульсы до мощности, необходимой для питания выходного блока. Выходной блок окончательно усиливает импульсы тока ультразвуковой частоты до мощности, необходимой для возбуждения преобразователя (нагрузки).

Различают универсальные и специализированные генераторы. Первые рассчитаны на работу с различными технологическими установками и позволяют, как правило, регулировать выходные параметры в относительно широких пределах. Они применяются при размерной обработке, ультразвуковой очистке и сварке и т. д. Специализированные генераторы чаще применяют в массовом и серийном производстве, когда нет необходимости регулировать выходные параметры в широких пределах. Они, как правило, предназначаются для питания специальных ультразвуковых установок различного назначения (например, ультразвуковых очистных ванн, устройств для интенсификации механической обработки металлических материалов и т. д.).

К электрическим характеристикам ультразвуковых генераторов относятся рабочая частота, выходная мощность, к.п.д., стабильность частоты, стабильность амплитуды колебаний колебательной системы и уровень промышленных радиопомех. К неэлектрическим характеристикам генераторов относят ряд показателей, определяемых конструктивными данными: число органов

управления и их расположение, эксплуатационные и экономические показатели и др.

Рабочая частота (или диапазон частот) генератора выбирается в соответствии с его технологическим назначением; она должна соответствовать установленным стандартам. Для большинства ламповых и полупроводниковых генераторов рабочая частота устанавливается равной $18 \pm 1,35$; $22 \pm 1,65$; $44 \pm 4,4$ кГц и т. д.

Выходная мощность генератора означает электрическую мощность, передаваемую им колебательной системе ультразвуковой установки. Ряд номинальных мощностей генераторов включает мощности от 0,04 до 250 кВт. Наибольшее распространение получили ультразвуковые генераторы мощностью от 0,25 до 10 кВт. В генераторах мощность может регулироваться ступенчато и плавно.

К.п.д. генератора характеризует отношение его выходной мощности ко всей потребляемой им от сети мощности. Он зависит от схемы генератора, режима работы, качества исполнения и т. д. Для генераторов мощностью до 0,4 кВт к.п.д. должен составлять не менее 0,3 для лампового и 0,5 для полупроводникового генераторов, а, например, мощностью от 2,5 до 10 кВт — не менее 0,5 и 0,65 (соответственно).

Стабильность частоты выше у генераторов с независимым возбуждением, так как она определяется параметрами задающего блока, на работу которого не влияет изменение параметров нагрузки.

В процессе работы колебательных систем может происходить рассогласование по частоте системы и генератора, что является следствием, например, износа инструмента, нагрева концентратора и других причин. В результате рассогласования падает амплитуда колебаний рабочего элемента системы и, как следствие, производительность процесса. Для поддержания постоянной амплитуды колебаний рабочих элементов в процессе ультразвуковой обработки в генераторах применяют блоки автоматической подстройки частоты (блоки АПЧ). Эти блоки предусматривают подстройку частоты электрическими методами, для чего, в частности, в выходном блоке генератора монтируется узел выделения электрического сигнала, пропорционального амплитуде механических колебаний рабочего элемента колебательной системы. При рассогласовании частоты колебательной систе-

4. Основные технические характеристики некоторых ультразвуковых генераторов

Показатели	УЗГ8-0,1/22	УЗГ3-0,4	УЗГ5-1,6/2	УЗГ1-4	УЗГ2-4	УЗГ2-10
Выходная мощность, кВт . . .	0,1	0,4	1,6	4,5	4,5	10
Потребляемая мощность, кВт . .	0,28	1,1	4,2	7,5	6,4	19
Рабочая частота, кГц	18±1,35, 22±1,65	17,5—19,3 20,4—23 38,5—45	22±1,65	17,5—19,3 20,5—23,5	17,5—19,3 20,5—23,5	
Ток подмагничивания, А	3—7	2—8	0—25	15—30		0—30
Габаритные размеры, мм:						
в плане	370×380	385×630	540×650	580×720	580×720	760×800
высота	230	330	1280	1350		1870
Масса, кг	22	50	260	300	250	630

мы и генератора в обмотке выходного трансформатора последнего выделяется сигнал по величине и фазе тока нагрузки. Этот сигнал вызывает изменение вырабатываемой генератором частоты и сводит к нулю рассогласование; амплитуда колебаний инструмента восстанавливается, что позволяет продолжать операцию в заданном режиме.

Стабильность амплитуды колебаний нагрузки достигается также применением автоматической обратной связи (АОС) при использовании генераторов с автоподстройкой частоты.

Типы современных ультразвуковых универсальных генераторов и их основные технические характеристики приведены в табл. 4. Эти генераторы предназначены для работы с магнитострикционными преобразователями и имеют определенные диапазоны регулирования рабочей частоты.

Для установок с пьезоэлектрическими преобразователями применяют полупроводниковые генераторы с фиксированной (неизменяемой) рабочей частотой типа УЗГ4-0,1, УЗГ1-0,25 и УЗГ10-1,6, имеющие следующие основные технические характеристики:

	УЗГ4-0,1	УЗГ1-0,25	УЗГ10-1,6
Выходная мощность, Вт	100	250	1600
Потребляемая мощность, Вт	150	400	2000
Рабочая частота, кГц	$18 \pm 1,35$	$18 \pm 1,35$	$18 \pm 1,35$

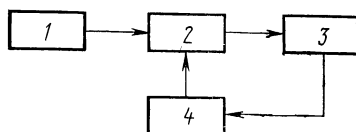
В настоящее время ламповые ультразвуковые генераторы вытесняются полупроводниковыми генераторами, имеющими лучшие характеристики и повышенную надежность.

Устройство и работа. Блок-схема автогенератора, который может играть роль задающего блока в генераторах с независимым возбуждением или в автогенераторах с самовозбуждением, приведена на рис. 16. Он состоит из источника питания, электронной лампы (для ламповых генераторов) или транзистора (для полупроводниковых генераторов), колебательного контура и цепи обратной связи. Известно, что во всяком колебательном контуре существуют токи, наличие которых вызвано тепловым хаотическим движением электронов в проводниках. Под влиянием этих токов в таком контуре периодически возникают и затухают собственные колебания. Частота этих колебаний определяется электрическими параметрами

рами контура (емкость и индуктивность). Эти колебания носят затухающий характер. Для превращения этих колебаний в незатухающие необходимо восполнять потери в контуре, т. е. за каждый период колебаний подавать в контур энергию, равную энергии потерь (баланс амплитуд). Восполнение потерь в контуре должно происходить в нужной фазе собственных колебаний контура (баланс фаз). Баланс амплитуд определяет количественную сторону пополнения энергии, а баланс фаз — временную. Эти восполнения обеспечиваются цепью об-

Рис. 16. Блок-схема автогенератора:

1 — источник питания, 2 — активный элемент (лампа или транзистор)
3 — колебательный контур, 4 — цепь обратной связи



ратной связи; она передает часть энергии контура на управляющий электрод лампы или транзистора в нужный момент времени. Цепью обратной связи может служить катушка связи, подключенная к сетке лампы, и индуктивность, связанная с контурной катушкой. Цепью обратной связи могут служить и элементы контура, с которых снимается часть контурного напряжения и подается на сетку лампы. Таким образом, цепь обратной связи в ламповых автогенераторах может быть выполнена по индуктивной, автотрансформаторной или емкостной схемам.

Самовозбуждение, т. е. возникновение колебаний, в автогенераторе происходит при включении питания и движении электронов. При этом возникают малые по амплитуде колебания, которые через обратную связь вызывают переменное напряжение на сетке лампы. Вызванный этим напряжением анодный ток увеличивает ток в контуре, что в свою очередь повышает напряжение на сетке. Амплитуда колебания возрастает до определенного значения, зависящего от электрических данных схемы. Частота колебаний также зависит от этих данных. Упрощенная электрическая схема лампового генератора с независимым возбуждением приведена на рис. 17. В качестве лампы здесь может применяться триод, пентод или тетрод. Генератор по этой схеме работает так. При включении генератора через источник питания E_a за счет флуктуации в контуре $L—C$ возникают не-

значительные по амплитуде колебания. Проходя через обмотку обратной связи L_c , эти колебания вызывают появление колебаний на сетке U_c лампы Π , анодного тока i_a и повышение амплитуды в контуре $L—C$. Ток в последнем обуславливает дальнейшее увеличение напряжения U_c на сетке лампы. Это увеличение происходит до определенной (стабильной) величины, обусловливаемой свойствами выбранной лампы. Частота этих коле-

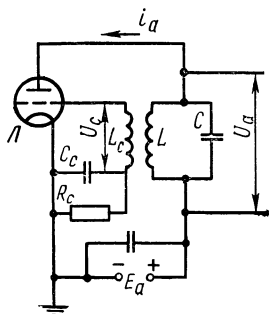


Рис. 17. Схема лампового генератора с независимым возбуждением

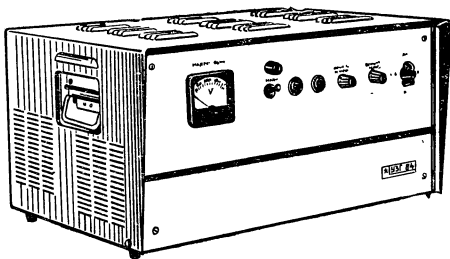


Рис. 18. Ультразвуковой генератор УЗГЗ-0,4

баний определяется параметрами контура $L—C$. Емкость C_c и сопротивление R_c служат для автоматического смещения на сетке лампы, необходимого для ее нормальной работы. Усиленные таким образом колебания тока i_a и напряжения U_a сообщаются нагрузке (преобразователю).

Лучшим из числа маломощных ультразвуковых генераторов является ламповый генератор УЗГЗ-0,4. Этот генератор (рис. 18) предназначен для питания ванн очистки и лужения, сварочного пистолета и паяльника. Генератор состоит из автогенератора, анодного выпрямителя, выпрямителя тока подмагничивания, выпрямителя экранной сетки, стабилизатора напряжения накала, цепей управления и защиты. Выходное напряжение регулируется плавно переменным резистором и ступенчато переключателем. Анодный выпрямитель питает автогенератор выпрямленным напряжением, изменение величины которого производится переключателем.

Ступенчатая регулировка величины тока подмагничивания, примененная в данном генераторе и осуществ-

ляемая пакетным переключателем, затрудняет использование его при размерной ультразвуковой обработке, когда требуется плавная регулировка величины тока подмагничивания. Однако при правильном согласовании с нагрузкой этот генератор, как показала практика, может успешно применяться и для этой цели.

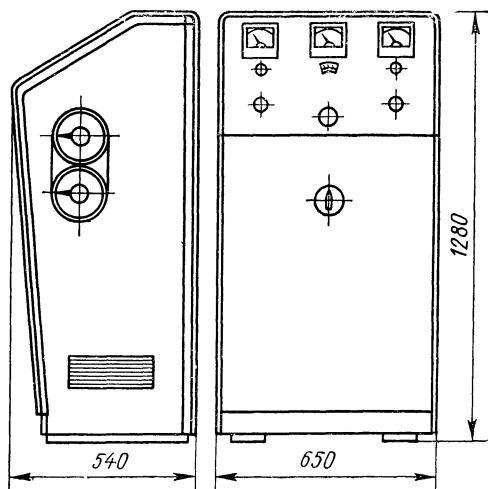


Рис. 19. Ультразвуковой генератор УЗГ5-1,6/22

Генераторная лампа и другие элементы генератора охлаждаются вентилятором. Органы управления, сигнализация и измерительный прибор — вольтметр смонтированы на передней панели, зажимы для присоединения нагрузки и предохранители — на задней панели. Здесь же имеется вилка включения генератора в сеть.

Более мощным является ультразвуковой генератор УЗГ5-1,6/22 (рис. 19). Он имеет высокую стабильность частоты и устройство для согласования с различными магнитострикционными преобразователями. Задающий блок этого генератора собран по схеме с индуктивной обратной связью. Первый, второй и третий каскады предварительного усиления выполнены на транзисторах; усилитель мощности — на триодах.

Выходная мощность этого генератора регулируется изменением напряжения питания каскада. Регулировка величины тока подмагничивания осуществляется автотрансформатором.

Все органы управления и сигнализации смонтированы на передней панели и правой боковой стенке. Генератор снабжен системой блокировки; его широко применяют для размерной ультразвуковой обработки твердых хрупких материалов, сварки и других процессов.

Генератор УЗГ2-4 также предназначен для питания магнитострикционных преобразователей различных технологических установок. Он собран на полупроводниковых приборах и имеет устройство автоматической подстройки частоты. Все органы управления смонтированы на передней панели; здесь же расположены контрольные приборы. Устройство генератора предусматривает возможность дистанционного управления его работой.

Особенности эксплуатации. Перед пуском нового или поступившего из ремонта генератора необходимо наладить его. Эту работу выполняют специалисты, имеющие на это специальное разрешение.

Генератор подключают согласно указаниям паспорта или инструкции по эксплуатации и наладке, которые прилагаются к каждому генератору. Необходимо установить генератор таким образом, чтобы к нему был обеспечен свободный доступ, и обязательно заземлить его корпус.

При наладке генератора необходимо проверить исправность системы блокировки, напряжение питания, согласованность с нагрузкой; надежность его работы.

Проверка 1. Включить генератор в сеть, как указано в паспорте или в руководстве. Включить цепи накала, а затем высокое напряжение. Пробуя открыть дверцы и выдвинуть из каркаса блоки, проверить срабатывание блокировки. При неплотно закрытых дверцах и сдвинутых со своего нормального положения блоках генератор должен отключиться от сети. При вывернутых из своих гнезд предохранителях проверить выключение соответствующих цепей генератора. При отключении водяного или воздушного охлаждения питание генератора должно отключиться.

Проверка 2. Подключить параллельно цепи накала вольтметр. Проверить соответствие напряжения номинальному (паспортному). Напряжение регулируют в

соответствии с указаниями паспорта. Таким же образом проверяют и регулируют все цепи накала. Измерения осуществляют при выключенном высоком напряжении.

Проверка 3. Согласование выходного блока генератора с нагрузкой (колебательной системой) нужно производить для лучшего использования полезной (выходной) его мощности и получения необходимой амплитуды механических колебаний на рабочем инструменте. Это согласование проверяется по показаниям ваттметра, включенного в цепь питания нагрузки. Согласование означает соответствие выходного сопротивления генератора входному сопротивлению нагрузки, т. е. равенство этих сопротивлений. Этого можно достигнуть включением в цепь питания нагрузки соответствующей емкости (для магнитострикционных преобразователей) или индуктивности (для пьезоэлектрических преобразователей). Условия согласования проще, когда элементы согласования включаются по параллельной схеме. Соответствующие указания по согласованию определенного генератора с нагрузкой, как правило, даются в паспортах.

Проверка 4. Надежность работы генератора проверяют включением его на непрерывную работу (при подключенной нагрузке) на время от 8 до 24 ч. В этот период проверяют надежность работы отдельных блоков, стабильность частоты и выходной мощности.

Если во время указанных проверок обнаружатся неисправности в работе генератора, то они фиксируются в паспорте, а затем принимается решение о возможности его эксплуатации.

Ультразвуковые генераторы эксплуатируются в соответствии с инструкциями по эксплуатации и правилами техники безопасности. Ни в коем случае нельзя допускать к работе с генераторами лиц, не изучивших эти инструкции и не прошедших специальный инструктаж.

В процессе эксплуатации ультразвуковых установок по разным причинам может произойти рассогласование генератора с колебательной системой, о чем в первую очередь свидетельствует падение скорости обработки. В этих случаях необходимо настроить генератор в резонанс. Практикуется такой способ настройки. Выходной (рабочий) торец инструмента или концентратора, соеди-

ненного с колебательной системой, погружают в сосуд с водой, установленный на столе станка. На входной торец концентратора, больший по диаметру, чем последний элемент колебательной системы, наливают воду. Ручку регулирования частоты на генераторе устанавливают в любое крайнее положение и включают генератор. После прогрева цепей последнего устанавливают ток подмагничивания до нужного значения (0,5—0,6 А) и, плавно вращая ручку регулирования частоты, наблюдают за состоянием воды на торце концентратора. По мере согласования частот поверхность воды на этом торце покроется рябью; при достижении резонанса произойдет ее распыление. Одновременно в сосуде, установленном на столе станка, установится режим максимальной кавитации (см. ниже, с. 54) воды, сопровождающийся характерным «кавитационным» шумом. Сказанное свидетельствует о правильном согласовании генератора с нагрузкой.

В случаях неисправности в работе генератора или невозможности произвести согласование собственными силами оператор должен отключить его от электрической сети и сообщить о замеченных неисправностях бригадир-у или специалисту по обслуживанию генераторов. Перечни наиболее часто встречающихся или возможных неисправностей в работе генераторов и методы их устранения приводятся в паспортах генераторов; оператор должен их изучить.

Для обеспечения нормальной работы генератора необходимо регулярно, один раз в неделю, пылесосом удалять пыль в блоках генератора; один раз в месяц протирать все изоляторы неволокнистой ветошью, смоченной этиловым техническим спиртом; один раз в месяц проверять надежность контактов всех электрических резьбовых соединений; проверять исправность измерительных приборов и средств блокировки и защиты не реже одного раза в 6 месяцев (через соответствующие службы предприятия).

Конструкции современных генераторов предусматривают необходимые блокировки, обеспечивающие безопасную его эксплуатацию и отключение цепей высокого напряжения в случае неисправности узлов или блоков.

Все ультразвуковые генераторы перед эксплуатацией подлежат обязательной регистрации в местной инспекции электросвязи.

Контрольные вопросы

1. Что такое ультразвуковые колебания?
2. Каков диапазон частот ультразвуковых колебаний?
3. Назовите виды волн и их особенности.
4. Перечислите элементы колебательной системы; их назначение и характеристики.
5. Назовите основные виды магнитострикционных и пьезоэлектрических преобразователей.
6. Перечислите основные типы ультразвуковых волноводов и концентраторов; их отличие и назначение.
7. Какие материалы применяют для изготовления концентраторов?
8. Назовите причины выхода из строя концентраторов.
9. Как измерить амплитуду колебаний концентратора на станке?
10. Какие вы знаете разновидности ультразвуковых генераторов?
11. Назовите основные характеристики ультразвуковых генераторов.
12. Перечислите основные блоки современного ультразвукового генератора.
13. Назовите органы управления генераторов основных типов.
14. Как подготовить генератор к работе?
15. Что должен сделать оператор при обнаружении неисправностей в генераторе?

Глава III

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ОЧИСТКА

В современной технике резко возросли требования к качеству деталей, узлов и самих изделий, что во многом предопределяет их надежность и долговечность. Большое значение при этом придается качеству очистки деталей и узлов. В этих условиях традиционные способы очистки деталей и узлов от различных загрязнений в большинстве случаев не удовлетворяют возросшим требованиям и уступают прогрессивным способам, например ультразвуковой очистке.

Ультразвуковая очистка позволяет механизировать ручные операции (например, очистку щетками), обеспечить высокое качество и стабильность очистки, исключить во многих случаях применение токсичных и легко воспламеняющихся растворов.

Ниже рассматривается технология ультразвуковой очистки и аналогичного по своей физической сущности процесса — снятия заусенцев.

§ 9. Сущность процессов

Ультразвуковая очистка основана главным образом на кавитационных явлениях в жидкостях. Ультразвуковая кавитация связана с тем, что жидкости очень

чувствительны к растягивающим усилиям. При прохождении ультразвуковой волны через жидкость в момент разрежения возникают такие усилия. В результате в жидкости образуется очень большое количество разрывов в виде мельчайших пузырьков, которые после кратковременного существования захлопываются. Последнее происходит в момент сжатия в звуковой волне. При этом в микрообъемах жидкости развиваются большие давления ударного характера, достигающие нескольких тысяч атмосфер. Эти давления распространяются во всем объеме «озвученной» жидкости.

Явление роста пузырьков в «озвученной» жидкости в течение полупериода отрицательных давлений ультразвукового поля (разрежение) с последующим захлопыванием их во время положительного полупериода (сжатие) носит название кавитации. Кавитация в жидкостях сопровождается характерным шумом — «шипением», что имеет место, в частности, при работе ультразвуковых очистных установок (ванн).

В результате кавитации жидкости на поверхностях твердых тел, помещенных в эту жидкость, возникают кавитационные разрушения, и сплошность пленки загрязнений нарушается. В места разрыва этой пленки проникают кавитационные пузырьки, которые перемещаются некоторое время под ней в результате воздействия дополнительных явлений в «озвученной» жидкости (гидродинамические потоки). При этом происходит их рост, а затем захлопывание. В результате пленка загрязнения разрушается и частицы ее отрываются от поверхности очищаемой детали. Акустические потоки и другие явления, происходящие в жидкостях под воздействием ультразвука, способствуют эвакуации отдельных частиц загрязнений и улучшают обмен моющего раствора за счет интенсивного перемешивания.

На рис. 20 схематично показаны стадии роста кавитационного пузырька и процесс скалывания пленки загрязнения при ультразвуковой очистке.

Количество и размеры кавитационных пузырьков зависят от интенсивности ультразвука, частоты колебаний и физических свойств рабочей жидкости (вязкости, плотности, температуры и т. д.). Эти пузырьки могут иметь диаметр от 0,01 до 1,0 мм. Мелкие по размерам пузырьки интенсивнее проникают под пленку загрязнения и разрушают ее при захлопывании. Более крупные

обладают меньшей способностью проникать в мельчайшие разрывы пленки загрязнения; они, как правило, оказывают меньшее влияние на процесс очистки.

Таким образом, при ультразвуковой очистке в результате кавитационных явлений в жидкости происходит механическое разрушение пленок загрязнений.

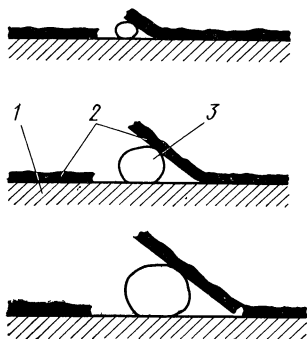


Рис. 20. Схема удаления пленки загрязнения при ультразвуковой очистке:

1 — твердое тело, 2 — пленка загрязнения, 3 — кавитационный пузырь

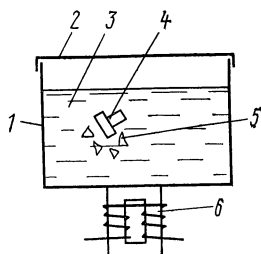


Рис. 21. Схема ультразвукового снятия заусенцев:

1 — корпус ванны, 2 — крышка, 3 — жидкость, 4 — деталь, 5 — абразивные зерна, 6 — магнитострикционный преобразователь

Близким по своей физической сущности является процесс удаления заусенцев с мелких металлических деталей, получающий за последние годы все более широкое распространение на практике. Этот процесс также основан на кавитационных явлениях в жидкостях, но в качестве жидкости используют суспензию — жидкость со взвешенными в ней мелкозернистыми абразивами. При воздействии ультразвуковых колебаний на эту суспензию, помещенную, как и обрабатываемые детали, в ванну (рис. 21), в первую очередь в результате кавитационных явлений разрушается место соединения заусенца с поверхностью детали. Граница деталь — заусенец является наиболее слабым местом, поэтому разрушение связи заусенца с деталью происходит быстро без каких-либо следов эрозии на поверхности самой детали. Абразивные зерна способствуют этому разрушению и притупляют острые кромки деталей.

Необходимым условием для протекания этого процесса является свободное перемещение деталей в рабочем объеме с суспензией под действием акустических течений. Для увеличения скорости акустических течений и кавитационного воздействия в рабочем объеме создают избыточное давление. При этом существенно увеличивается скорость акустических потоков жидкости и активизируется кавитационное разрушение заусенцев. Избыточное давление в ванне позволяет абразивным зернам и деталям, находящимся во взвешенном состоянии, интенсивно перемещаться относительно друг друга; при этом зерна абразива, имеющие меньшую, чем деталь, массу, успевают многократно воздействовать на нее, ускоряя тем самым снятие заусенцев и притупление ее острых кромок. Одновременно со снятием заусенцев и притуплением острых кромок этот процесс во многих случаях позволяет очищать детали от поверхностных загрязнений. Для этого применяют определенные составы жидкостей.

Аналогично происходит снятие облоя у армированных пластмассами металлических деталей.

Частота ультразвуковых колебаний оказывает главное влияние на эффективность очистки. Увеличение частоты приводит к уменьшению размеров кавитационных пузырьков из-за недостаточного для их роста времени. Соответственно падает эффективность процесса. Снижение рабочей частоты (ниже 18 кГц) приводит к резкому возрастанию шума ультразвуковых очистных установок, что нельзя признать допустимым. Большинство ультразвуковых очистных установок работают на частотах в диапазоне 18—22 кГц. Однако применяются установки, работающие на частотах 40—44 кГц.

Ультразвуковые установки для снятия заусенцев работают на частотах 17,5—19,3 и 8 кГц.

§ 10. Производственные загрязнения и очистные жидкости

Загрязнения. В процессе изготовления деталей и узлов на их поверхностях образуются различные загрязнения, зависящие от особенностей технологии их обработки, уровня культуры производства, условий хранения и т. д. Различают следующие виды загрязнений:

1. Неорганические, механически связанные с очищаемой поверхностью: пыль, опилки, стружка, песок, глина, зерна абразивов, солевые корки, накипь, флюсы, шлак, керамические обмазки и т. п.

2. Органические, механически связанные с очищаемой поверхностью: древесные и пластмассовые пыль, опилки, стружка, сажа, уголь, кокс, жировые и масляные пленки, смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ), шлифовальные, полировальные и доводочные пасты, лаки, смолы, клеи, краски, эмали и т. п.

3. Химически связанные с очищаемой поверхностью: ржавчина и окислы (продукты коррозии), соли и солеподобные соединения и т. п.

Все загрязнения образуются при выполнении различных операций по формообразованию деталей, транспортировании или хранении их. Так, после литья и сварки остаются окисные пленки, окалина, остатки флюса; после термообработки — окалина, нагар, сажа; после механической обработки резанием — опилки, стружка, масла и СОЖ, остатки абразивов и т. д. При транспортировании деталей и узлов образуются загрязнения в виде пыли и жировых пятен; после хранения детали часто очищают от консервирующих их смазок, пыли и других загрязнений.

Характерными для радиотехнической промышленности являются загрязнения в виде жировых и масляных следов, остатков паяльных флюсов, продуктов их распада, посторонние включения: пыль, стружка и т. д. Все эти загрязнения слабо связаны с поверхностью детали или узла и не стойки к кавитационным явлениям. Удаляются такие загрязнения смесью очищенного бензина марки Б-70 с этиловым спиртом в равном объемном соотношении.

Производственные загрязнения классифицируют по кавитационной стойкости, характеру химического взаимодействия с моющей жидкостью и прочности связи с поверхностью детали. Кавитационно стойкие загрязнения: масляные включения, различные пасты, окалина, окисные пленки, лаковые пленки, краски, нагар и др. К кавитационно нестойким относятся, например, продукты коррозии, шлам после травления и т. д. Отметим, что при ультразвуковой очистке кавитационная стойкость материала очищаемой детали (или узла) должна быть всегда выше кавитационной стойкости загрязнения.

Загрязнения могут взаимодействовать или не взаимодействовать с моющей жидкостью. В первом случае очистка происходит эффективно; во втором — происходит только при кавитационной нестойкости загрязнения и слабой связи его с очищаемой поверхностью. Взаимодействуют с моющей жидкостью такие загрязнения как: масла, пасты, продукты коррозии, краски; не взаимодействуют: нагары, шламы, неорганические частицы и т. д.

Прочную связь с очищаемой поверхностью имеют пасты, продукты коррозии, окалина, пленки; слабую — масла, пыль, шламы и т. д. Удаление таких загрязнений представляет собой сложную технологическую задачу.

Очистные жидкости. В качестве моющих составов при ультразвуковой очистке применяют различные водные растворы щелочей, кислот и поверхностно-активных веществ (ПАВ), органические растворители и эмульсионные составы. Водопроводную воду используют при ультразвуковой очистке относительно редко; чаще применяют дистиллированную воду.

При ультразвуковой очистке широко применяют водные растворы щелочей и ПАВ, которые обладают высокой эффективностью и не токсичны, пожаробезопасны и недефицитны. Однако щелочные растворы могут воздействовать разрушающе на материал очищаемых деталей, что ограничивает их применение при ультразвуковой очистке. Наиболее сильной щелочью является едкий натр. Его водный раствор используют при очистке деталей из черных металлов. Менее сильными очищающими свойствами обладают карбонаты и кальцинированная сода. Применяют при очистке тринатрийфосфат и пирофосфат натрия, а также жидкое стекло.

ПАВ применяют в качестве самостоятельного раствора и добавки к щелочным растворам. Наиболее распространенными из них являются ОП-7 и ОП-10. Эти жидкости хорошо применять при очистке деталей от доводочных паст и других загрязнений органического характера. За последнее время получили применение новые ПАВ: синтанолы МЦ-10 и ДТ-7, альфанола и синтамиды. Наряду с хорошими моющими способностями эти жидкости имеют высокую кавитационную способность и обладают слабым пенообразованием. К числу ПАВ относятся и моющие порошки, применяемые в быту

(«Новость», «Прогресс» и др.), а также различные мыла.

Органические растворители применяют для очистки в тех случаях, когда по техническим причинам нельзя применить щелочные растворы и ПАВ. Действие органических растворителей основано на растворении загрязнений. Органическим растворителем, применяемым при ультразвуковой очистке, является бензин различных марок. Он используется, в частности, при очистке деталей приборов и радиоаппаратуры. Часто применяют смеси бензинов, например, с этиловым спиртом. Бензин хорошо растворяет масла, парафин и жиры. Высокая взрыво- и пожароопасность ограничивает его применение.

Трихлорэтилен хорошо растворяет те же, что и бензин, вещества, но взрыво- и пожаробезопасен. Поэтому он нашел широкое применение при ультразвуковой очистке, как и органические растворители — фреоны. Последние также не опасны при работе, но стоят дороже.

Применяют при ультразвуковой очистке и спирты (как в чистом виде, так и в смеси с другими органическими растворителями).

При очистке часто применяют растворы серной, соляной, фосфорной, азотной и других кислот. Для снижения их коррозионного влияния на материал очищаемых деталей в эти растворы добавляют ингибиторы коррозии (органические вещества — замедлители коррозии).

Масляно-жировые загрязнения удаляют обычно щелочными растворами и органическими растворителями. Различные пасты растворяют в органических растворителях, а продукты коррозии, окислы и окисные пленки и в водных травильных растворах серной, соляной и других кислот.

Большое влияние на эффективность очистки оказывает температура моющего раствора. С повышением температуры растворов возрастает их растворяющая и химическая активность и жидкотекучесть загрязнений. Резко улучшается, например, растворение загрязнений в органических растворителях при нагреве их до 20° С. Для водных очищающих растворов оптимальная температура, при которой интенсивность кавитации максимальна, составляет 40—50° С, однако нередко эти растворы подогревают и до большей температуры (80—100° С).

Виды и процентный состав компонентов моющей

жидкости, ее рабочая температура определяются технологическим процессом в зависимости от характера загрязнений, материала очищаемого объекта и других факторов.

Для ультразвукового снятия заусенцев и облоя применяют абразивные суспензии — смесь мелкозернистых порошков (абразивов) в воде или глицерине, а также слабокислотные и щелочные растворы. Абразивная суспензия является рабочей смесью многократного использования.

В качестве абразивов применяют: электрокорунд с добавкой окиси хрома (1—2%), карбид кремния или карбид бора; реже используют алмазные порошки*. Зернистость (размер частиц порошка), используемых для этих операций абразивов, обычно не превышает 40 мкм. Хорошие режущие свойства имеет карбид бора; он хорошо смачивается водой. Поэтому карбид бора наиболее часто применяют для снятия заусенцев и облоя.

Заусенцы у стальных деталей снимают в водных растворах азотной кислоты с содержанием последней в воде 3—6%, а также серной и соляной кислот (от 25 до 50% каждой на 1 л воды).

§ 11. Технология ультразвуковой очистки

Технологический процесс ультразвуковой очистки включает операции, предшествующие очистке, собственно очистку и следующие за ней операции.

Операции, предшествующие очистке. К ним относят замочку деталей и их нагрев. Замочку деталей применяют для ослабления связи частиц загрязнений между собой и поверхностями очищаемого объекта, что в большинстве случаев облегчает и ускоряет очистку. Эту операцию выполняют в металлических бачках, тазах (с крышками) или непосредственно в самих ваннах (без включения ультразвуковых преобразователей). Для этой операции применяют органические растворители, водные растворы щелочей и ПАВ.

При замочке деталей в растворах щелочей, кислот, бензине и керосине необходимо соблюдать меры предо-

* Более подробная характеристика абразивных порошков для ультразвуковой обработки приведена в гл. IV.

сторожности, не допуская разбрызгивания растворов и попадания их на оборудование, одежду и тем более тело. Эту операцию лучше выполнять в отдельном помещении, оборудованном приточно-вытяжной вентиляцией и необходимым противопожарным инвентарем.

Зачастую детали замачивают при загрузке их навалом. Однако во избежание повреждения деталей и разбрызгивания растворов лучше использовать для этой операции кассеты, корзины и другие вспомогательные приспособления, в которых после замочки выполняется очистка этих же деталей в ваннах. Нежелательно использование для замочки высоких бачков, в которых уровень раствора превышает уровень ручек, опущенных в них вспомогательных приспособлений. Лучше применять для замочки неглубокие металлические (эмалированные) или полиэтиленовые тазы, которые более удобны, так как позволяют оператору не касаться руками растворов и не разбрызгивать их.

Для размягчения загрязнений и повышения их жидкотекучести детали перед очисткой нагревают, что облегчает последующую очистку. Эту операцию наиболее целесообразно проводить при очистке деталей большой массы. Погружение таких деталей в очистную ванну в холодном состоянии снижает температуру моющего раствора, что замедляет и усложняет процесс очистки. Нагревать детали можно парами растворителя, погружением в горячую жидкость и другими способами. При выполнении нагрева необходимо тщательно соблюдать все меры по технике безопасности и правила противопожарной безопасности.

Перед ультразвуковой очисткой оператору зачастую необходимо приготовить соответствующий раствор. При этом важно соблюдать процентное соотношение компонентов раствора и меры безопасности. Хранить приготовленные заранее растворы (особенно кислотнo-щелочные) необходимо в специально отведенных помещениях и только в пределах допустимого срока. Бачки с приготовленными растворами необходимо закрывать крышками.

Абразивные суспензии для ультразвукового удаления заусенцев и снятия облоя готовят так же, как и растворы. Согласно заданному технологией соотношению компонентов отмеривают дозу абразивного порошка и разбавляют его нужной жидкостью. Порошок можно дози-

ровать на технических или других весах; лучше для этого применять мерные совки.

При хорошо организованном производстве на рабочем месте оператора доставляют заранее приготовленные в лабораторных условиях банки с этикетками, на которых указан вид абразива, порция (масса его) и срок хранения. Такая организация работ избавляет оператора от необходимости развешивать абразивы и экономит его рабочее время.

Если дозирование абразивных порошков выполняется на рабочем месте оператора, то нужно помнить, что карбид бора теряет свои режущие свойства при хранении в открытом виде. Поэтому, отвесив нужную дозу порошка, надо сразу же использовать его в суспензии или сыпать порциями нужной массы в плотно закрываемые стеклянные или жестяные банки. Вскрывают последние при необходимости приготовления суспензии.

При приготовлении и использовании абразивных суспензий необходимо соблюдать общепринятые и специальные меры предосторожности, не допуская распыления сухого абразивного порошка в помещении, разбрызгивания суспензии, попадания ее на оборудование, кожу работающих и т. д.

Важное значение необходимо придавать подготовке деталей для очистки. Детали доставляют на рабочее место оператора в межоперационной таре. Ответственные по назначению и прецизионные детали и узлы доставляют не навалом, а в ориентированном положении или в определенном порядке, исключая их повреждение. При такой организации работы оператор тратит минимальное время на загрузку деталей и узлов во вспомогательные приспособления для очистки (контейнеры, корзины и т. д.).

Рационально в этом отношении организовать предстоящую ультразвуковой очистке операции, например замочку, таким образом, чтобы после их выполнения детали, передаваемые на очистку, укладывать непосредственно в те приспособления, в которых должна выполняться очистка, и в них доставлять на рабочее место оператора, работающего на ультразвуковой ванне. Такая организация работ до минимума сокращает вспомогательное время, затрачиваемое на подготовку деталей.

Несколько видов вспомогательных приспособлений для очистки деталей приведено на рис. 22. Корзина с од-

ной ручкой (рис. 22, а) применяется для ванн небольшой мощности (до 0,6 кВт), а с двумя (рис. 22, б) — для более мощных. Такие корзины устанавливаются, как правило, непосредственно на дно ванны, являющееся в большинстве случаев излучающей ультразвуковые колебания поверхностью. Контейнер удлиненной формы

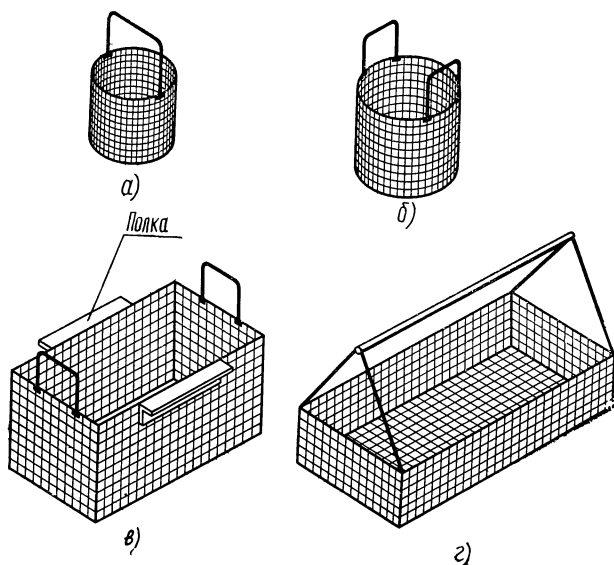


Рис. 22. Универсальные вспомогательные приспособления для ультразвуковой очистки:

а — корзина с одной ручкой, б — корзина с двумя ручками, в — контейнер с опорными полками, г — подвеска с креплением на крышке ванны

(рис. 22, в) также выполнен с двумя ручками, но имеет опорные полки для установки на опоры, расположенные на бортах ванн. Его можно располагать и на дне ванны. Такой контейнер применен, в частности, для очистки труб длиной свыше 1 м в ванне потребляемой мощностью 7,5 кВт с одним донным и двумя бортовыми преобразователями. Подвеска по рис. 22, г шарнирно крепится на крышке ванны штангой. Такие подвески применяются довольно широко в ваннах универсального типа. Все приведенные приспособления специально не предусматривают ориентирования деталей; однако при необходимости их можно ориентировать, применяя опоры,

решетки, оправки и другие дополнительные элементы. Ручки у корзин, контейнеров и подвесок должны иметь достаточный вылет с тем, чтобы при установке приспособления в ванну части ручек, за которые берется оператор, были выше уровня моющей жидкости, залитой в ванну. При соблюдении этого условия руки оператора не касаются моющей жидкости при загрузке и съеме этих приспособлений.

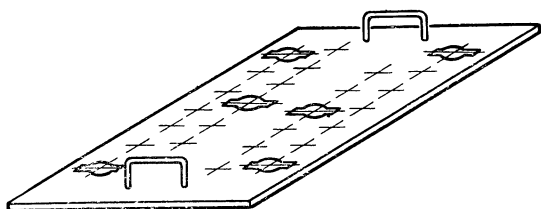


Рис. 23. Специальная кассета для очистки стамесок

Вспомогательные приспособления не должны экранировать детали при очистке, быть удобными и легкими, а также обеспечивать свободный и быстрый сток моющей жидкости в ванну вместе с отделившимися частицами загрязнений. Для этого их выполняют сетчатыми (из проволоки).

Для ориентированной загрузки деталей часто применяют специальные кассеты. На рис. 23 показана кассета для очистки стамесок. В ней имеются пазы, в которых размещаются 26 стамесок в ориентированном положении. Пазы ориентируют по лезвию каждую стамеску; при этом ребро лезвия стамесок располагается перпендикулярно излучающим поверхностям бортовых преобразователей ванны (см. ниже, с. 79). Во избежание экранирования стамески располагают в смещенном относительно друг друга положении. Кассета снабжена ручками и изготовлена из листового текстолита.

Кассетный метод загрузки деталей в ориентированном положении позволяет организовать пооперационную работу; во время очистки в ванне загруженной в кассету партии деталей можно загружать очередные кассеты. При наличии достаточного количества кассет такая работа экономит вспомогательное время и сокращает пе-

перывы в работе оборудования. По такому же принципу можно организовать работу и с другими приспособлениями аналогичного назначения.

Материал этих приспособлений нужно выбирать, исходя из особенностей технологии очистки, вида моющего раствора и его температуры, специфики очищаемых деталей, характера загрязнений и других факторов.

В установках конвейерного типа, автоматических агрегатах и другом специальном оборудовании для ультразвуковой очистки применяют специальные приспособления, обеспечивающие не только перемещение деталей с позиции на позицию, но и в нужных случаях автоматическую их подачу в зону очистки и удаление.

При ультразвуковом удалении заусенцев и облоя масса одновременно загружаемых в ванну деталей определяется параметрами оборудования. Поэтому здесь оператору необходимо заранее разделить (по массе и количеству) поступившую на обработку партию деталей. Для экономии времени оператора эту работу лучше выполнить заранее и подать детали на рабочее место оператора в расфасованном виде.

Очистка. Технологическим процессом устанавливают параметры ультразвуковой очистки. Они разделяются на акустические (частота и амплитуда колебаний) и технологические: вид и температура моющего раствора, способ размещения деталей в ванне (навалом или ориентированный) и машинное время, т. е. время, в течение которого при включенном преобразователе выполняется очистка.

При заданных технологическим процессом акустических и технологических параметрах ультразвуковой очистки машинное время в большей степени зависит от расстояния между очищаемыми поверхностями деталей и излучающей плоскостью преобразователя. В общем виде чем меньше это расстояние, тем меньше время очистки. Однако произвольного сокращения этого расстояния допускать нельзя, так как это может привести к эрозионному разрушению очищаемых объектов. Поэтому оператору, занятому ультразвуковой очисткой, необходимо следить за соблюдением установленной технологией величины этого расстояния, не допуская сокращения времени очистки за счет его уменьшения.

В массовом и серийном производстве, где в основном применяется специализированное оборудование для ультразвуковой

тразвуковой очистки и вспомогательные приспособления, предназначенные для определенной номенклатуры деталей, закрепленной за данным оборудованием, величина этого расстояния до-

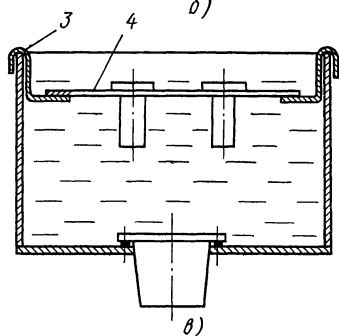
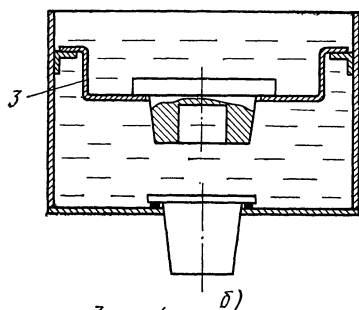
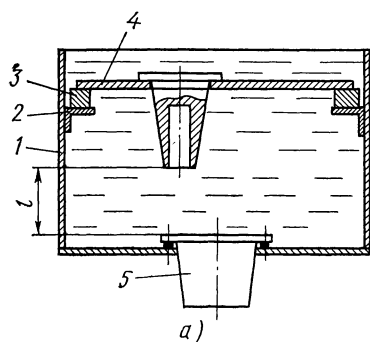


Рис. 24. Схемы установки дополнительных опор в ультразвуковых очистных ваннах:

1 — корпус ванны, 2 — полка, 3 — сменная опора, 4 — кассета, 5 — преобразователь

стигается конструкцией и размерами оборудования и вспомогательных приспособлений. В этих условиях оператору необходимо лишь правильно установить в ванну приспособление с деталями, как указано в технологическом процессе (на дно или полки ванн, подвесить на крышку и т. д.).

В единичном производстве задача оператора зачастую усложняется необходимостью изменять это расстояние в соответствии с требованиями технологического процесса и при частой смене номенклатуры очищаемых деталей. Для этого можно дополнительно к имеющимся у ванны полкам, опорам и другим элементам применить дополнительные сменные опоры (рис. 24). Для увеличения размера l такие опоры устанавливают на бортовые полки ванны (рис. 24, а); при необходимости сокращения его к полкам ванны крепят подвески изогнутой формы (рис. 24, б). Если конструкцией ванны не предусмотрены бортовые полки, то съемные опоры можно закрепить на

бортах ванны (рис. 24, в). При этом необходимо, чтобы крышка ванны свободно и плотно закрывалась, в противном случае необходимо отказаться от таких опор и применить другие приспособления. Можно, например, установить опоры прямо на дно ванны, прикрепить корзину или контейнер с деталями к ее крышке (с ее внутренней стороны) и т. д. У многих ванн для этой цели на крышке предусмотрены специальные элементы для крепления корзин и других вспомогательных приспособлений.

Сменные опоры и подвески удобны тем, что при частом изменении номенклатуры очищаемых деталей и соответственно изменении размера l их можно легко и быстро заменить другими или переделать согласно требованиям технологии. Изготавливают их из коррозионно- и химически стойких материалов, например, нержавеющей стали.

Установленные технологическим процессом акустические параметры процесса очистки обычно поддерживаются автоматически и не требуют вмешательства оператора. Однако в процессе работы необходимо следить за соответствием показаний приборов на генераторе заданным режимам и в случае их несоответствия вызывать бригадира, мастера или специалиста по настройке генераторов.

В процессе очистки оператору необходимо также следить за температурой моющего раствора и проверять периодически (не реже одного раза в час) ее соответствие температуре, установленной технологией. Для этого обычно ванны снабжаются плавающими или стационарными (встроенными в корпус) термометрами. Лучшие конструкции ультразвуковых ванн имеют вынесенные на пульт управления терморегуляторы и системы для автоматического поддержания заданной температуры моющего раствора.

Машинное время очистки во многих конструкциях ванн задается автоматически с помощью реле времени, которое по истечении заданного технологией цикла включает преобразователи и дает сигнал на разгрузку очищенных деталей. Однако в условиях небольшой серийности производства такие установки применять экономически нецелесообразно. В этих случаях очистку осуществляют в универсальных ультразвуковых ваннах. При этом время очистки необходимо соблюдать по се-

кундомеру. Здесь задача оператора — строго соблюдать заданное технологией машинное время. При сокращении этого времени не обеспечивается нужное качество очистки и возможен возврат деталей на повторную очистку или, что ещё хуже, брак их на узловый или окончательной сборке. Увеличение времени очистки (против установленного технологией) может привести к эрозионному разрушению очищаемых поверхностей деталей и их браку. Это явление наблюдается особенно часто при очистке прецизионных деталей с точными размерами и доведенными или шлифованными поверхностями деталей и узлов радиоэлектронной аппаратуры и др.

Различают несколько способов ультразвуковой очистки: погружением деталей в ванны с моющими растворами (без контакта деталей с преобразователями); контактным способом; введением дополнительного (погружного) преобразователя в зону очистки.

Первый способ наиболее прост по осуществлению. После достижения заданной технологическим процессом температуры раствора детали с помощью определенного вспомогательного приспособления погружают в ванну, закрывают крышку и включают преобразователи (или они выключаются автоматически, если это предусмотрено конструкцией ванны). По истечении заданного технологией времени очистки выключают преобразователи, открывают крышку и извлекают приспособление с деталями из раствора (вручную или при подъеме крышки). Крупногабаритные и тяжелые детали извлекают с помощью подъемных механизмов. Некоторое время приспособление с деталями удерживают над ванной с тем, чтобы дать возможность стечь в ванну остаткам раствора вместе с частицами загрязнений, затем укладывают детали на стеллаже, межоперационной таре или верстаке.

Во многих случаях технологическим процессом предусматривается ополаскивание и сушка деталей после ультразвуковой очистки в тех же вспомогательных приспособлениях. Тогда кассеты, контейнеры или корзины с очищенными деталями ополаскивают горячей или холодной проточной водой, а затем загружают в сушильные камеры; после сушки приспособления разгружают.

Контактный способ очистки предусматривает непосредственный контакт поверхности очищаемой детали с издающими плоскостями элементов колебательной си-

системы (преобразователя, концентратора или волновода). При этом очищаемую деталь или соответствующий элемент колебательной системы подводят вплотную друг к другу (рис. 25). Этот способ ускоряет очистку и улучшает ее качество. Его применяют главным образом при очистке сложных по форме деталей с глубокими и фасонными полостями, которые очистить качественно другими способами невозможно. Этот способ заключается в том, что очищаемую деталь прижимают к излучающей плоскости преобразователя ванны (или, наоборот, последнего к плоскости детали) специальными механизмами установки. Возможна и другая кинематика процесса, при которой очищаемую деталь погружают в ванну с раствором, а к трудноочищаемым поверхностям подводят самостоятельный ультразвуковой излучатель.

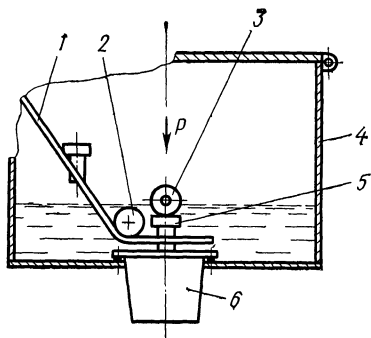


Рис. 25. Схема очистки деталей контактным способом — прижимом детали к излучателю:

1 — транспортер, 2 — ролик перемещения транспортера, 3 — прижимной ролик, 4 — корпус ванны, 5 — очищаемая деталь, 6 — преобразователь

Часто очистка контактным способом осуществляется на автоматических линиях или агрегатах, когда все переходы и режимы очистки выдерживаются автоматически, без участия оператора. Роль его в этом случае сводится обычно к загрузке и съему деталей и наблюдению за параметрами процесса, в том числе и за усилием прижима детали к преобразователю или последнего к детали.

Погружные (дополнительные) преобразователи при очистке применяют при наличии у деталей сложных по форме полостей, глубоких отверстий, узких щелей и т. д. Схема очистки деталей сложной формы с помощью дополнительного погружного преобразователя приведена на рис. 26. Здесь основной преобразователь встроен в дно, а погружной — в крышку ванны.

Смонтированный на крышке ванны погружной преобразователь опускается в раствор и извлекается из него одновременно с закрытием и открытием крышки. Это

облегчает работу оператора, так как избавляет его от ручных операций. Применение при этом специальных механизмов для перемещения этого преобразователя в вертикальном направлении позволяет изменять в заданных технологией пределах расстояние от его излучающей поверхности до очищаемой детали, вплоть до полного контакта.

Можно устанавливать погружные преобразователи на специальные ванны; однако это, как правило, выпол-

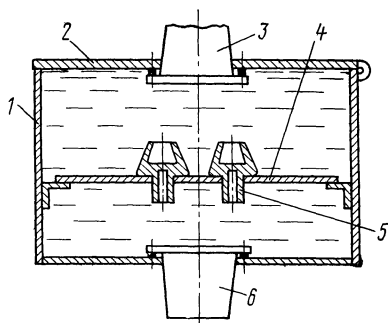


Рис. 26. Схема очистки деталей сложной формы с помощью погружного преобразователя:

1 — корпус ванны, 2 — крышка, 3 — погружной преобразователь, 4 — кассета, 5 — очищаемая деталь, 6 — основной преобразователь

няется вручную и поэтому менее желательно. Мощные погружные преобразователи подвешивают на специальных кронштейнах над ванной; опускают их в раствор и извлекают из него с помощью подъемных механизмов. При этом зачастую приходится работать с открытой (или неплотно закрытой) крышкой. Это не отвечает правилам безопасной работы. Поэтому заслуживают предпоч-

тения встроенные и конструктивно связанные с ванной погружные преобразователи.

При работе с погружными преобразователями необходимо соблюдать заданный технологией режим включения ультразвуковых колебаний основного и погружного преобразователей. Наиболее часто они включаются одновременно, однако применяется и раздельное их включение. При этом оператор должен соблюдать установленные интервалы включения и время их работы.

Вообще работа на очистных ваннах с погружными преобразователями требует от оператора определенного навыка, повышенной внимательности и тщательного соблюдения всех установленных технологией приемов работы. Например, при опускании погружного преобразователя в раствор, необходимо не повредить им загруженные в ванну детали и не допускать разбрызгивания раствора. При извлечении его из ванны нужно дать воз-

возможность стечь в ванну остаткам раствора, и, возможно, осевшим на его поверхностях частицам отделенных загрязнений. С этой целью иногда приходится слегка наклонить преобразователь над ванной. Оператор должен всегда следить за исправностью шлангов электро- и водоснабжения преобразователей. Особенно это необходимо при работе с погружными преобразователями, так как у них эти шланги, как правило, не закреплены стационарно. Поэтому возможны случаи их повреждения.

Иногда для эффективной очистки деталей сложной формы и значительных габаритов изменяют положение погружного преобразователя относительно детали в процессе очистки. При этом оператор должен следить за тем, чтобы не повредить детали или преобразователь, т. е. строго соблюдать скорость и величину перемещения преобразователя, установленные технологией.

При ультразвуковом удалении заусенцев и облоя технологическим процессом устанавливаются в основном те же параметры, что и при очистке. Дополнительно здесь задается давление сжатого воздуха в рабочей камере ванны. Оператор в течение всего машинного времени контролирует постоянство этого давления по манометру на пульте ванны и в случае необходимости регулирует его согласно указаниям паспорта и инструкции по эксплуатации.

Детали в ванны удаления заусенцев и облоя загружают навалом после заливки в рабочую камеру заданного количества абразивной суспензии. Затем закрывают крышку рабочей камеры и крышку кожуха. При включении колебаний преобразователя автоматически подается давление в рабочую камеру. По истечении заданного времени обработки автоматически (с помощью реле времени) выключается преобразователь и сбрасывается давление воздуха в рабочей камере. Затем камеру поворачивают и сливают абразивную суспензию в специальную тару (бак). Включают промывку рабочей камеры ванны; при этом в камеры удаляются остатки абразивной суспензии и обработанные детали. Последние попадают в предварительно установленную над баком сетчатую корзину. Абразивные зерна через корзину попадают в бак. Обработанные детали остаются в корзине, извлекаются из нее или вместе с ней передаются на последующие операции. Выключают промывку и ус-

танавливают рабочую камеру в рабочее положение. Цикл повторяется.

Чтобы вода, которой промывают рабочую камеру ванны, не попадала в бак, над ним устанавливают крышку-противень со сливом и сеткой для обработанных деталей. Вода из такого противня стекает в самостоятельные баки — отстойники или фильтры, не попадая в бак с абразивной суспензией и не влияя таким образом на ее состав. Абразивные зерна оседают на дне противня и после стока воды из него вновь вместе с суспензией из бака подаются в рабочую камеру. Если использованную суспензию не применяют повторно, то она из бака сливается в канализацию через отстойники или фильтры, которые можно использовать для очистки суспензии от отходов — измельченных заусенцев и остатков облоя.

Операции, следующие за очисткой. После ультразвуковой очистки применяют дополнительные технологические операции, включая контроль качества очистки.

Очищенные детали от следов моющего раствора и оставшихся частиц отделенных загрязнений промывают. Промывку осуществляют водопроводной холодной или горячей водой (пропущенной через фильтры), органическими растворителями и другими жидкостями. Эту операцию обычно выполняют в тех же вспомогательных приспособлениях, в которых производилась очистка. При этом необходимо не допускать повторного загрязнения деталей и их повреждения. В зависимости от требований к деталям эта операция может выполняться за несколько приемов.

После ультразвуковой очистки для придания поверхностному слою металла коррозионной устойчивости применяют пассивирование — нанесение на поверхности детали тонкой оксидной пленки. Эту операцию выполняют в специальных ваннах, обычно устанавливаемых рядом с ваннами ультразвуковой очистки, применяя те же вспомогательные приспособления (чаще кассеты).

После ультразвукового снятия заусенцев с металлических деталей применяют промывку, ополаскивание, осветление, пассивирование и сушку.

Сушку деталей выполняют в специальных сушильных шкафах, в которых размещают кассеты с деталями. При этом регламентируются, как правило, температура и время сушки.

Заключительной операцией при ультразвуковой очи-

стке является контроль качества очистки. Применяется несколько методов контроля. Самый простой и надежный из них — это выборочный или 100%-ный контроль под микроскопом. Эту работу можно выполнять непосредственно на рабочем месте с соблюдением мер по предотвращению повторного загрязнения контролируемых деталей. Для этого необходимо брать детали (особенно прецизионные), одев резиновые перчатки, протереть этиловым спиртом или чистым бензином, или тканевой салфеткой. Салфетку также смачивают этиловым

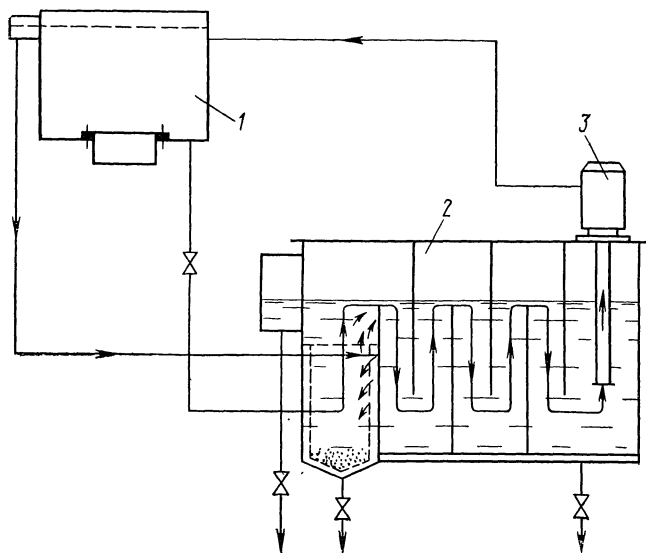


Рис. 27. Схема регенерации моющей жидкости спиртом или бензином. Поверхность микроскопа, на которую укладывают деталь при контроле, также необходимо протереть спиртом или бензином.

Можно определить качество очистки протиркой детали тканевой салфеткой, смоченной бензином или спиртом, и осмотром этой салфетки под микроскопом.

Практикуется проверять качество очистки методом разрыва водной пленки. Этот метод основан на способности воды смачивать чистые металлические поверхности и не смачивать загрязненные маслом или органическими веществами поверхности. Очищенную деталь опускают в дистиллированную воду, вынув ее из воды, дают

ей стечь и наблюдают за сплошностью пленки высыхающей воды. Если эта пленка распределяется на поверхностях детали ровным слоем и покрывает всю ее площадь, то поверхности не имеют жировых загрязнений. Наличие разрывов этой пленки свидетельствует о плохой очистке.

По мере загрязнения очистных растворов их очищают (регенерируют). Для этого используют фильтрационные аппараты и баки-отстойники (рис. 27). При выпуске из ванны 1 загрязненной жидкости она попадает в первую ячейку бака 2. Здесь легкие частицы загрязнений всплывают, а тяжелые оседают на дно ячейки, откуда периодически удаляются. Очищенная от основных загрязнений жидкость проходит постепенно через все ячейки бака, где фильтруется и очищается от остатков загрязнений. Из последнего отсека она прокачивается насосом 3 в ванну. Если необходима тонкая очистка, то в последней ячейке или после насоса растворы пропускают через дополнительные фильтры тонкой очистки; для улавливания металлических частиц (стружки, остатков заусенцев и т. д.) в ячейках бака устанавливают постоянные магниты.

§ 12. Ультразвуковые очистные установки

Типы и конструкции. Ультразвуковая очистка выполняется на ультразвуковых установках, включающих, как правило, одну или несколько ванн и ультразвуковой генератор. По технологическому назначению различают установки универсального и специального назначения. Первые применяют для очистки широкой номенклатуры деталей в основном единичного и серийного производства. В массовом производстве используют установки специального назначения, а нередко и автоматизированные агрегаты и поточные линии.

Мощность универсальных ванн колеблется от 0,1 до 10 кВт, а емкость — от 0,5 до 150 л. Небольшие по мощности ванны имеют встроенные в дно пьезокерамические преобразователи, а мощные — несколько магнитострикционных. В табл. 5 приведены технические характеристики таких ванн, серийно выпускаемых нашей промышленностью.

Однотипны ультразвуковые настольные ванны УЗУ-0,1; УЗУ-0,25 и УЗУ-0,4. Эти ванны чаще приме-

5. Технические характеристики ультразвуковых очистных ванн универсального назначения

Характеристики	УЗУ-0,1	УЗУ-0,25	УЗВ-0,4	УЗВ-15М	УЗВ-16М	УЗВ-17М	УЗВ-18М
Потребляемая мощность, кВт	0,1	0,25	0,4	2,5	5,0	7,5	10,0
Рабочая частота, кГц	18	18	17,5—19,8	22±7%	22±7%	22±7%	22±7%
Емкость, л	1	5	1,5	42	82	128	163
Количество преобразователей, шт.	1	4	1	1	2	3	4
Габариты, мм:							
длина	325	560	400	665	970	1360	1660
ширина	230	290	330	830	875	875	875
высота	240	300	450	955	965	965	965
Масса, кг	8	13	24	115	180	230	270

няют в лабораторных условиях и единичном производстве; для их питания используют полупроводниковые генераторы с выходной мощностью 100, 250 и 400 Вт. Ванны имеют корпус прямоугольной формы и съемную крышку. В дно ванн встроены пьезокерамические преобразователи (тип ПП1-0,1) в количестве от одного до трех в зависимости от мощности ванны. Для загрузки деталей навалом имеются сетчатые корзины. Ванны имеют встроенные в общий корпус отсеки для ополаскивания деталей после очистки.

На рис. 28 показана ультразвуковая настольная очистная ванна типа УЗВ-0,4, работающая с генератором УЗГЗ-0,4. Она имеет металлический звукоизолированный корпус цилиндрической формы и крышку, связанную с корпусом шарниром и эксцентриковым зажимом с ручкой. К дну рабочей части ванны, являющейся резонансной мембраной, припаян пакет магнитострикционного преобразователя. Корпус его имеет две трубы

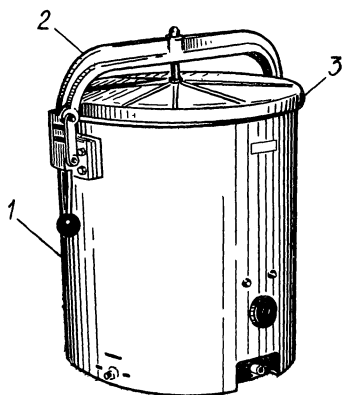


Рис. 28. Ванна для ультразвуковой очистки типа УЗВ-0,4:

1 — корпус, 2 — зажим крышки, 3 — крышка

для подачи и стока проточной воды, охлаждающей преобразователь. Штуцера этих труб выведены к нижней части корпуса для удобства присоединения к ним шлангов. На корпусе расположен тумблер включения и выключения ультразвуковых колебаний на генераторе при установке его в отдалении от ванны. Здесь же имеется ручка открытия слива моющей жидкости и соответствующий штуцер. Ванна комплектуется корзиной для загрузки очищаемых деталей. Корзина устанавливается непосредственно на дно рабочей части ванны, которая предварительно заполняется моющим раствором.

Из числа универсальных очистных ванн большей мощности широкое распространение получили ванны типа УЗВ (см. табл. 5). Ванны этого типа имеют аналогичную конструкцию. На рис. 29 приведена ванна типа УЗВ-18М. Сварной каркас 1 выполнен в звукозащитном исполнении. Он закрыт крышкой 5 с противовесами 4. Подъем и опускание крышки производятся вручную ручками 6. В дно 9 рабочей части ванны встроены магнетострикционные преобразователи 8 типа ПМС-6-22 (от одного до четырех в зависимости от мощности ванны). Для отсоса паров моющей жидкости установлены бортовые сборники с выходным патрубком 11, который присоединяется к вентиляционной системе цеха. В дно рабочей части вмонтирован кран для слива моющей жидкости; рукоятка 19 крана выведена на лицевую сторону. Слив по трубам 14 и 16 можно производить в бак-отстойник, канализацию или в бак 7, встроенный в ванну. Чтобы исключить возможность переполнения рабочей части жидкостью, имеется дренажная труба.

На боковой стороне ванны расположена труба 15 подачи горячей и труба 17 — холодной воды, а также труба 18 для ввода проводов электроснабжения. Для подогрева или охлаждения моющей жидкости имеется змеевик 10, по которому циркулирует холодная или горячая вода. Напор ее регулируется вентилями: 2 — для холодной и 3 — для горячей воды. Вентиль 20 регулирует напор холодной воды, подаваемой в корпуса преобразователей для их охлаждения. Система охлаждения преобразователей и питающего ванну генератора снабжена блокировкой; при уменьшении напора ниже допустимого или прекращении подачи воды гидрореле выключает питание преобразователей.

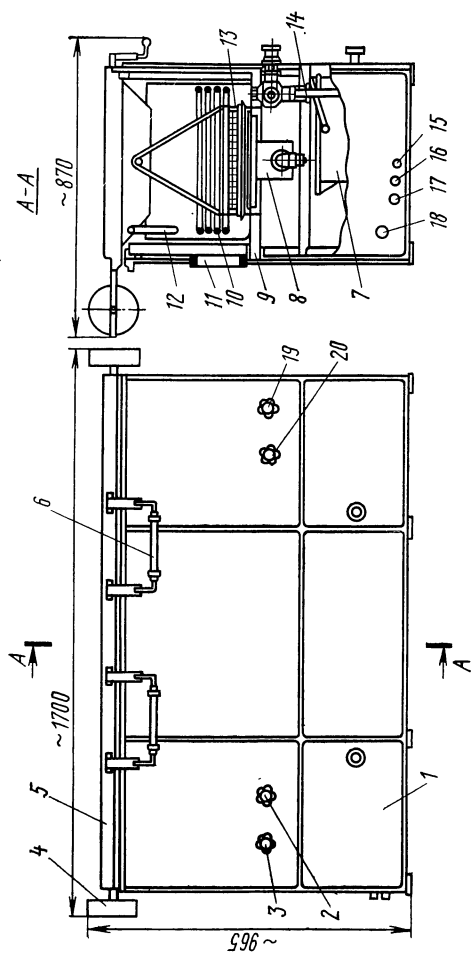


Рис. 29. Ванна для ультразвуковой очистки типа УЗВ-18М

Ванна укомплектована корзиной 13 сетчатого типа, которая подвешивается на крышке ванны. В корзину очищаемые детали могут загружаться навалом или в ориентированном положении на дополнительных подвесках или других вспомогательных приспособлениях. Для контроля температуры моющей жидкости имеется встроенный термометр 12.

Ванны такого типа успешно применены и для пропитки точных изделий, в частности катушек, статоров и роторов малогабаритных электродвигателей.

Многопозиционные очистные установки имеют в большинстве случаев несколько ванн, в которых кроме самой очистки выполняется ряд вспомогательных технологических операций, предшествующих ультразвуковой очистке или выполняемых после нее. В таких установках загрузка и выгрузка деталей выполняются обычно вручную.

Специальные очистные автоматизированные агрегаты предназначены в основном для деталей определенной номенклатуры серийного или массового производства. Они включают механизмы для автоматического транспортирования очищаемых деталей с позиции на позицию, загрузки и выгрузки их. Распространены автоматизированные очистные установки карусельного типа. Они выполняют несколько операций: замочка, ультразвуковая очистка, промывка, пассивирование, сушка и др.

Из специального оборудования представляет интерес ультразвуковая двухпозиционная ванна (рис. 30) для обезжиривания и очистки стамесок. В корпусе 1 расположены два отсека, выполненные из нержавеющей стали. В задние и передние стенки отсеков вмонтированы четыре магнитострикционных преобразователя 4 типа ПМС-6-22. Крышка 2 закрывает одновременно оба отсека. Ее открытие и закрытие производится пневмоцилиндром 9; кран 5 управления работой пневмоцилиндра положен на правой стенке корпуса. Для снижения уровня шумов, возникающих при работе преобразователей, внутренние стенки корпуса и крышки армированы поролоном.

Для подогрева рабочих жидкостей (тринатрийфосфат с эмульгатором и вода) в отсеках установлены нагреватели, колодки 10 питания которых расположены на боковых стенках отсеков. Рабочая температура очистных жидкостей 50—60° С; поддерживается она автоматиче-

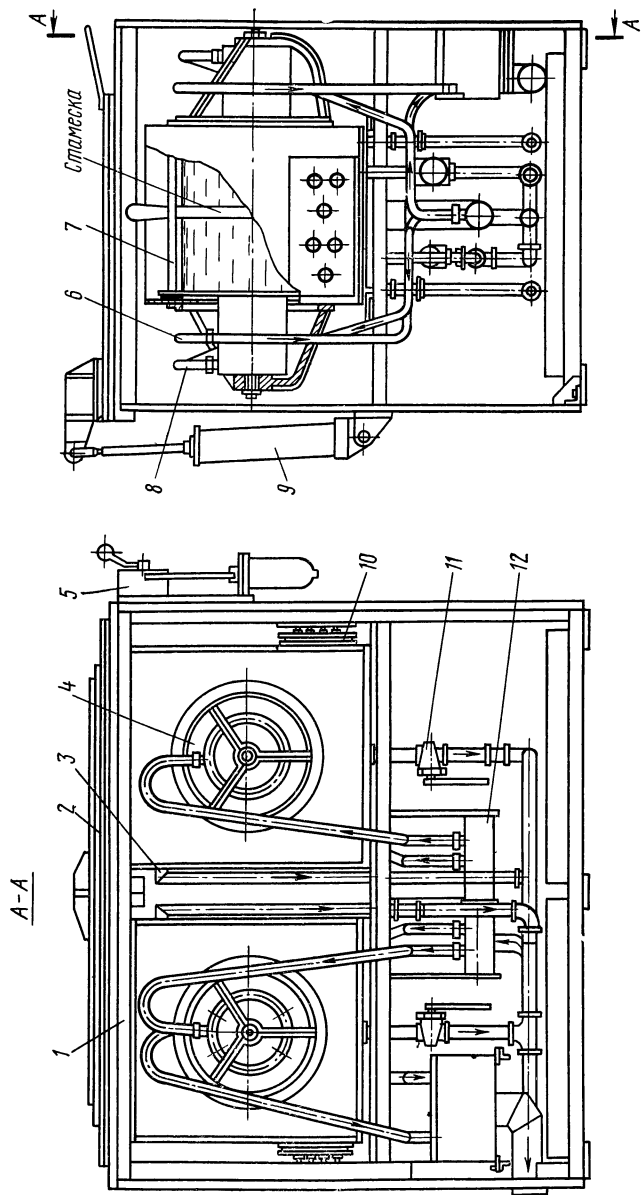


Рис. 30. Двухпозиционная ванна для ультразвуковой очистки станесок

ски термометрами, смонтированными на пульте управления (на рисунке не виден). Для выравнивания концентрации рабочих жидкостей в отсеки подается сжатый воздух, который производит их барботирование (перемешивание).

В каждом отсеке предусмотрены полки для кассет 7 со стамесками 8; последние устанавливаются вручную. Рабочие жидкости в отсеки ванны заливаются по специальным трубопроводам. На случай переполнения отсеков имеются дренажные трубы 3. Для регулирования напора и спуска рабочих жидкостей каждый отсек снабжен сточным краном 11. Магнитострикционные преобразователи охлаждаются проточной водой, которая поступает по шлангам 8 через коллектор 12; сток воды из преобразователей по шлангам 6 происходит через бак-отстойник.

Питание магнитострикционных преобразователей производится от ультразвукового генератора мощностью 10 кВт (тип УЗГ2-10). Он установлен в отдельном помещении и управляется дистанционно. По истечении заданного технологическим процессом времени (30 с) реле выключает возбуждение на обмотках преобразователей, и кавитационный режим в отсеках ванны прекращается. Благодаря такой системе управления исключается возможность нарушения оператором заданного цикла и обеспечивается стабильность процесса. Это же реле предотвращает возможность включения преобразователей при открытой крышке; они автоматически включаются, когда крышка закрыта, и выключаются при ее подъеме. Такая блокировка улучшает условия работы и автоматизирует процесс.

На пульте дистанционного управления смонтированы два термометра для контроля и поддержания заданной температуры жидкостей в отсеках. Контакты термометров замыкают цепь питания силовых реле, и напряжение подается на нагреватели. При достижении заданной температуры моющих жидкостей контакты термометров размыкаются и нагреватели обесточиваются. При понижении этой температуры ниже установленной нагреватели автоматически включаются. Включение подогрева контролируется по свечению двух лампочек на пульте. На этом же пульте смонтированы кнопки включения и выключения электропитания нагревателей и генератора, включения и выключения высокого напряжения генера-

тора, сигнальные лампочки включения высокого напряжения.

Для предотвращения возможности включения высокого напряжения при отсутствии подачи воды для охлаждения преобразователей в систему водоснабжения встроены четыре (по числу преобразователей) гидрокнопки с микропереключателями. Последние включены в цепь питания преобразователей. В случае прекращения подачи воды срабатывает микропереключатель и размыкает цепь питания преобразователя.

Работа производится пооперационно. После очистки партии стамесок в правом отсеке (в водном растворе тринатрийфосфата) кассета (см. рис. 23) с деталями переставляется в левый отсек для промывки, а кассета со стамесками из левого отсека передается на дальнейшие операции (пассивирование, а затем сушка). При этом в правый отсек устанавливается кассета с новым комплектом стамесок.

Машинное время очистки и обезжиривания одновременно 26 стамесок в этой ванне составило 30 с. Заменены ручные операции; улучшилось качество и стабильность очистки. Экономический эффект от внедрения ванны составил 10 тыс. руб. Эта ванна может успешно применяться при очистке широкой номенклатуры деталей; для этого необходимо оснастить ее соответствующими кассетами или другими вспомогательными приспособлениями.

Для очистки прочно связанных с поверхностями деталей загрязнений, снятия заусенцев и облоя применяются ультразвуковые ванны с повышенным статическим давлением типов УЗВД-6 и УЗВД-8. Технические характеристики этих ванн приведены в табл. 6.

На рис. 31 показан общий вид и конструкция рабочей камеры ванны УЗВД-6. Рабочая камера (рис. 31, б) состоит из корпуса 12, в котором фланцем 14 закреплен концентратор 13 конической формы. К выходному его торцу (большему, чем входной торец диаметра) плотно прижимается пяткой 8 и винтом 9 сменный стакан 11. Последний охлаждается проточной водой, которая подается по штуцеру 5, а стекает по штуцеру 6. Концентратор соединен с колебательной системой 15 преобразователя ПМС-15А-18; в корпус 16 его также подается проточная вода для охлаждения пакетов. Подача в полость стакана сжатого воздуха производится по штуцеру 10.

6. Технические характеристики очистных ванн с избыточным давлением

Характеристика	УЗВД-6	УЗВД-8
Потребляемая мощность, кВт	5	6
Тип преобразователя	ПСМ-15А-18	ЦМС-8
Объем рабочей части, л	1,2	8
Максимальное избыточное давление в рабочей камере, кгс/см ²	6	5
Расход сжатого воздуха, м ³ /ч	0,3	0,3
Масса одной загрузки, г	200	2000
Габариты (длина, ширина, высота), мм	430×660×1290	1050×1040×925
Масса, кг	125	280

По штуцеру 7 и через душевое устройство в полость стакана подается вода для промывки его от остатков абразивной суспензии, частиц отходов (заусенцев, облоя и загрязнений) и удаления обработанных деталей.

Рабочий узел смонтирован в звукоизолированном кожухе 2 (рис. 31, а). Вместе с этим кожухом и крышкой 1 он имеет возможность рукояткой 3 откидываться на 120°. Для размещения откинутого кожуха на корпусе ванны имеется проем (расположен слева на рисунке). Все управление пневмоэлектроаппаратурой ванны выполняется с пульта 4.

Высота стакана принимается резонансной (кратной $\lambda/2$). Благодаря этому ультразвуковые колебания от выходного торца концентратора сообщаются стакану; в полости последнего создается кавитационный режим. Сжатый воздух создает в этой полости избыточное давление.

Более современной является ванна УЗВД-8. У нее предусмотрено механическое, а не ручное, как у ванны УЗВД-6, откидывание рабочей камеры и ворошение загруженных в камеру деталей; она имеет встроенный бак для слива суспензии и выгрузки обработанных деталей. Промывка последних и рабочей камеры осуществляется специальным ручным устройством — спрейером. Рабочей камерой является полость цилиндрического преобразователя ЦМС-8, работающего на частоте 8 кГц; мощность его 6 кВт.

Ванны УЗВД-6 и УЗВД-8 успешно применяются для удаления заусенцев с мелких металлических штампован-

ных и точеных деталей (лепестки, контакты, винты, оси, шайбы, заклепки и т. д.), а также для снятия облоя с армированных пластмассой деталей небольших габаритов и массы (колодки, штекеры, зажимы и т. д.).

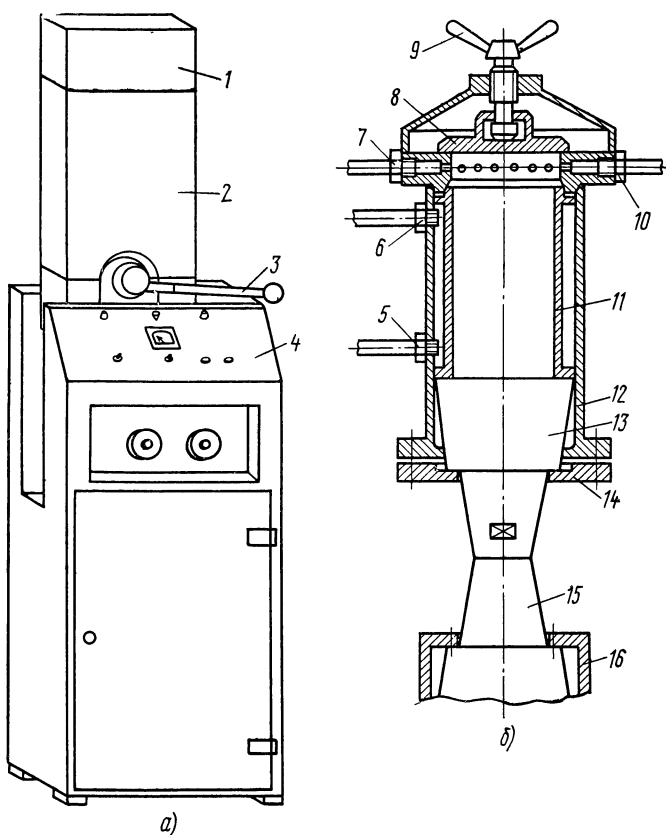


Рис. 31. Ультразвуковая ванна для очистки и снятия заусенцев типа УЗВД-6:

а — общий вид, *б* — конструкция рабочей камеры

Особенности эксплуатации. Перед эксплуатацией ванн оператор должен внимательно ознакомиться с инструкциями по их эксплуатации (разделы подготовка оборудования и порядок работы) и проверить правильность выполнения всех требований по установке, монтажу и подключению оборудования. Особое внимание не-

обходимо обратить на наличие и исправность заземления.

Настольные очистные ванны устанавливают на верстак или специальную подставку; при этом надо убедиться в надежности их установки. Генераторы таких ванн желательно установить на небольшом расстоянии от них и по возможности выше ванны. Это предотвращает попадание на генераторы брызг рабочей жидкости. Органы управления ванной должны быть обращены к оператору.

Перед эксплуатацией ванн целесообразно произвести ее пробный запуск. При этом в первую очередь необходимо убедиться, что расход воды для охлаждения преобразователей соответствует установленному паспортными данными. Для этого открывают кран подачи воды в преобразователи, а шланг ее стока направляют в сосуд соответствующей емкости. Замечают время наполнения этого сосуда; регулировку осуществляют краном до соответствия напора паспортным данным ванны. Одновременно следует проверить температуру воды на стоке по термометру. Она не должна быть выше 40° С. Это обеспечивает надежную и длительную работу преобразователей ванны и исключит потери времени на ремонты. Температуру воды проверяют при включенных преобразователях после работы их в течение не менее 5—10 мин.

Заливать растворы в ультразвуковые ванны необходимо, соблюдая меры предосторожности и не допуская разбрызгивания растворов, особенно попадания их на генераторы и другое оборудование. Хорошо применять для этой цели (как и для слива, когда он не предусмотрен конструкцией ванны) воронки и резиновые (дюритовые) шланги, которые после этого необходимо тщательно промывать горячей водой и высушивать на свежем воздухе для повторного использования. При заливке растворов необходимо следить за уровнем его, не допуская переполнения ванны. Уровень раствора в ванне (его количество) устанавливается паспортными данными оборудования и технологическим процессом.

После заполнения ванны моющей жидкостью производят пробный запуск. При этом убеждаются в исправности системы охлаждения преобразователей (а если надо, то и генератора) и включают накал генератора. После прогрева последнего включают питание преобразователей и следят за кавитационным режимом в ванне.

Регулируя мощность и частоту генератора, добиваются наибольшей кавитации жидкости.

Установить режим максимальной кавитации в ультразвуковой ванне можно с помощью куска конденсаторной фольги толщиной 0,05—0,1 мм. Включив колебания при пробном запуске ванны и настроив генератор по характерному «шипению» моющей жидкости (на слух и визуально), пинцетом или другим приспособлением опускают фольгу в жидкость. Если при приближении фольги к излучающей поверхности преобразователя на расстоянии 10—15 мм произойдет кавитационное разрушение большей ее части в течение не более 30 с, то преобразователь работает достаточно интенсивно (при мощности его около 1,5 кВт).

При эксплуатации ванн с избыточным давлением (УЗВД-6 и УЗВД-8) необходимо контролировать давление сжатого воздуха по показаниям приборов, соблюдать уровень заполнения рабочей камеры суспензией и массу загружаемых деталей. Важно также плотно закрывать крышки рабочей камеры и кожуха.

Во время пробного запуска ванны УЗВД-8 необходимо освоить правильную установку рабочей камеры в исходное и рабочее положения, проверить срабатывание электроблокировки, плавность поворота рабочей камеры и выполнить другие требования, указанные в паспорте ванны.

После окончания работы, а также во время длительных перерывов необходимо в первую очередь выключить электроснабжение преобразователей и генератора. Подачу воды для охлаждения преобразователей отключают не ранее чем через 5—10 мин после отключения их электроснабжения. Затем сливают рабочую жидкость и воду из корпусов преобразователей. Последнее практикуют при длительных перерывах в работе, применяя для этого по необходимости продувку системы охлаждения сжатым воздухом. Для предотвращения коррозии преобразователей целесообразно при продувке системы их охлаждения подать с воздухом в полость корпуса небольшую дозу машинного масла.

Рабочую полость ванны необходимо периодически (1—2 раза в месяц, а также при длительных перерывах в работе) промывать горячей проточной водой и протирать техническими салфетками или ветошью без ворса. Периодически чистят всю ванну от пыли, грязи и остат-

ков моющей жидкости. При длительном хранении ванн рабочую полость необходимо смазать машинным маслом. Ванны с наличием различных механизмов необходимо регулярно смазывать согласно указаниям паспортов и инструкций по эксплуатации.

Контрольные вопросы

1. На чем основаны кавитационные явления в жидкостях?
2. Объясните сущность ультразвуковой очистки.
3. Какие процессы кроме очистки основаны на кавитационных явлениях?
4. Назовите основные виды производственных загрязнений.
5. Какие очистные жидкости применяют при ультразвуковой очистке?
6. Назовите акустические и технологические параметры ультразвуковой очистки.
7. Какие операции предшествуют очистке и какие следуют за ней?
8. Какие технологические параметры необходимо соблюдать оператору при очистке?
9. Какие вспомогательные приспособления использует оператор для очистки в ваннах?
10. Назовите основные типы ванн, применяемых при очистке; их технологическое и конструктивное различие.
11. Перечислите органы управления наиболее распространенных очистных ванн.
12. Объясните принцип работы ультразвуковых ванн для снятия заусенцев и облоя.
13. Каковы основные особенности эксплуатации очистных ванн?
14. Что должен сделать оператор при кратковременных и длительных перерывах в работе на ультразвуковых очистных ваннах?

Глава IV

УЛЬТРАЗВУКОВОЕ РЕЗАНИЕ ТВЕРДЫХ ХРУПКИХ МАТЕРИАЛОВ

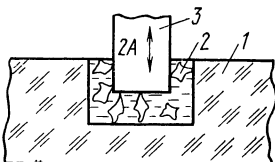
§ 13. Сущность и характеристики процесса

Сущность процесса. Ультразвуковое резание (или размерная обработка) твердых хрупких материалов заключается в направленном разрушении обрабатываемого материала под действием ударов абразивных зерен, находящихся между поверхностями материала и инструмента, колеблющегося с ультразвуковой частотой в продольном (осевом) направлении. Относительно высокая интенсивность процесса обеспечивается высокой частотой следования (повторения) ударов инструмента

(ультразвуковой диапазон частот) и большим количеством абразивных зерен, одновременно участвующих в резании (от 30 до 100 тыс. на 1 см^2). Вибрирующий с такой частотой инструмент заставляет проникать в обрабатываемый материал абразивные зерна, производя его разрушение. Если при этом прижимать с определенным усилием инструмент к обрабатываемой поверхности заготовки (или, наоборот, заготовку к инструменту), то на последней постепенно образуется углубление, копирую-

Рис. 32. Схема процесса ультразвукового резания свободным абразивом:

1 — заготовка, 2 — абразивная суспензия, 3 — инструмент



щее форму рабочей части инструмента. Таким образом ультразвуковое резание является, по существу, разновидностью механической обработки материалов.

На рис. 32 схематично показан процесс съема материала при ультразвуковом резании. В момент удара ультразвукового инструмента по абразивным зернам наиболее крупные из них внедряются в обрабатываемый материал и производят выкалывание его микрочастиц.

Процесс ультразвукового резания происходит, как правило, в воде, несущей абразивные зерна (суспензия). Вибрирующий с ультразвуковой частотой инструмент заставляет кавитировать жидкость в зоне резания. За счет кавитации и давления, с которым суспензия подается в рабочую зону, происходит удаление продуктов резания. Кавитационные явления способствуют также перемешиванию абразивных зерен в зоне резания и замене изношенных (имельченных) и не участвующих в работе зерен новыми.

Известен процесс ультразвукового резания вращающимися алмазными пустотелыми сверлами, когда в зону обработки подается только жидкость (вода) без абразива. В этом случае резание осуществляется так называемым закрепленным абразивом, который представляет собой одно целое с инструментом. На рис. 32 показана схема резания свободным, не закрепленным на инструменте абразивом.

Из приведенной схемы ясно, что наиболее интенсивный сьем материала происходит в плоскости, перпендикулярной направлению удара инструмента. Однако обработка одновременно происходит и на боковых поверхностях заготовки, параллельных направлению вибрации инструмента. Здесь происходит своеобразное истирание поверхностей обрабатываемого материала зернами абразива; поэтому и обработка этих поверхностей протекает гораздо менее интенсивно, нежели в первом случае.

Ультразвуковым резанием обрабатываются все твердые хрупкие материалы, имеющие твердость до 10 единиц по десятибалльной шкале Мооса. К таким материалам относятся стекло, кварц, ферриты, ситаллы, кремний, германий, керамика, фарфор, различные поделочные камни и другие материалы. Менее хрупкие материалы, например твердый сплав, обрабатываются гораздо хуже, а пластичные и вязкие (например, стали) ультразвуковым резанием практически не обрабатываются. Ниже приведены данные по относительной обрабатываемости некоторых твердых хрупких материалов ультразвуковым резанием:

Стекло	1	Кварц	0,5
Яшма	0,9	Керамика	0,4
Ферриты	0,8	Агат	0,3
Ситаллы	0,7	Минералокерамика	
Кремний	0,4—0,7	ЦМ-332 и др.	0,2
Германий	0,3—0,6	Твердый сплав (ВК8) .	0,02—0,05

Технологические характеристики. Основными технологическими характеристиками при ультразвуковой размерной обработке твердых хрупких материалов являются производительность, точность и качество обработки.

Производительность. При размерной ультразвуковой обработке производительность зависит в основном от амплитуды колебаний инструмента, давления его на обрабатываемую деталь, свойств материалов детали и инструмента, характера абразива и его концентрации в суспензии, условий обмена абразива в зоне резания и других факторов.

Производительность ультразвуковой обработки может быть оценена скоростью проникновения инструмента в деталь или скоростью рабочей подачи (в мм/мин).

Наиболее существенно при прочих равных условиях сказывается на производительности ультразвуковой обра-

ботки величина амплитуды колебаний рабочего инструмента. С увеличением амплитуды производительность ультразвуковой обработки растет. Резко падает скорость обработки при амплитудах 20 мкм.

Оптимальная производительность при сравнительно малых амплитудах (20—50 мкм) достигается использованием мелкозернистых абразивов, а при больших (60—80 мкм) — крупнозернистых.

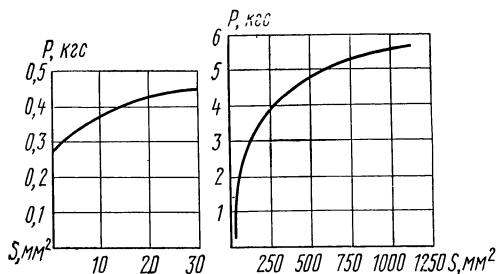


Рис. 33. Зависимость величины оптимального давления от площади обработки при ультразвуковом резании

Специально проведенные эксперименты показали, что при амплитуде колебаний инструмента 30 мкм скорость обработки керамики составила 2,2—2,5 мм/мин; увеличение амплитуды до 80—100 мкм позволило увеличить скорость до 7—8 мм/мин (абразив — карбид бора). При обработке на тех же режимах твердого сплава скорость обработки повысилась от 0,15 мм/мин до 0,4 мм/мин.

Величина давления инструмента на заготовку (или последней на инструмент) при ультразвуковой обработке в значительной степени сказывается на производительности процесса. Для определенной площади обработки, амплитуды и зернистости абразива существует оптимальное давление, при котором производительность максимальна. При повышении давления до оптимальной величины производительность растет. Дальнейшее увеличение давления не дает повышения производительности процесса, что объясняется ухудшением условий обмена абразива в рабочей зоне.

На рис. 33 приведены величины оптимального статического давления при ультразвуковой обработке в зависимости от площади детали. Эти значения на практике

могут корректироваться в зависимости от условий обработки и в первую очередь от глубины обработки и зернистости абразива.

При обработке непрочных хрупких материалов (например, стекло и ферриты) оптимальные давления находятся в пределах от 0,002 до 0,03 кг/мм². Изменение величины давления в этих пределах при довольно большой площади обработки (около 125 мм²) незначительно изменяет скорость обработки.

Зернистость абразива в значительной степени влияет на производительность процесса. Уменьшение величины зернистости всегда вызывает снижение производительности. При постоянных амплитуде и давлении инструмента на деталь максимальная производительность достигается при оптимальной зернистости абразива. Обработка карбидом бора № 3, например, стекла происходит в 4 раза медленнее, чем карбидом бора № 12*.

При ультразвуковом резании твердых сплавов зависимость производительности от величины зерна абразива выражена менее заметно. Так, например, обработка карбидом бора № 3 твердого сплава ВК15 осуществляется примерно в 2 раза медленнее, чем абразивом № 16.

Оптимальная величина зерна абразива, при которой производительность максимальна, зависит от амплитуды колебаний инструмента. При меньшей амплитуде максимальная производительность достигается применением мелких абразивов.

Для получения максимальной производительности следует применять абразив крупной зернистости и большую амплитуду колебаний инструмента. В то же время при равной амплитуде производительность будет больше при большей зернистости абразива.

С увеличением глубины обработки производительность, как правило, снижается. Это объясняется ухудшением условий обмена в рабочей зоне абразивной суспензии и эвакуации продуктов резания (отходов). Исключением являются случаи, когда осуществляется периодический подъем инструмента в процессе обработки. Этим облегчаются условия обмена абразива в зоне резания и, как результат, ускорение процесса обработки.

Хорошие результаты по производительности дает применение полых (пустотелых) инструментов. При

* Характеристики абразивных материалов см. ниже, с. 95—98.

этом резко сокращается площадь обработки, улучшаются условия обмена абразива и, как следствие, повышается производительность процесса при значительной глубине обработки.

Отверстия диаметром 3 мм в изоляторах из радиокерамики обрабатывались на глубину 7 мм сплошным инструментом производительностью: первые 2 мм — за

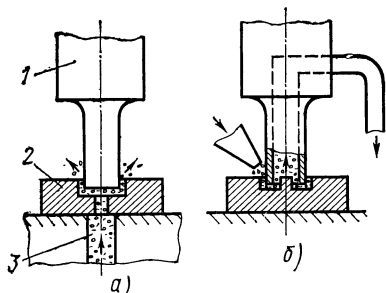


Рис. 34. Схема ультразвукового резания с нагнетанием (а) и отсосом (б) абразивной суспензии: 1 — концентратор-инструмент, 2 — заготовка, 3 — абразивная суспензия

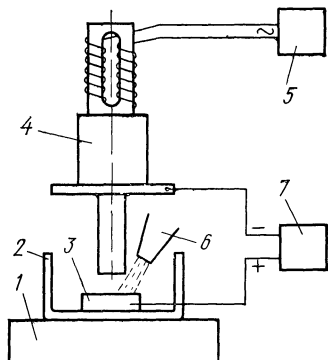


Рис. 35. Схема совмещенной обработки токопроводящих труднообрабатываемых материалов: 1 — стол станка, 2 — ванна из электроизоляционного материала, 3 — заготовка, 4 — концентратор-инструмент, 5 — ультразвуковой генератор, 6 — подвод абразивного электролита, 7 — источник технологического тока

1,5—2 мин, от 2 до 4 мм — за 5—6 мин; остальные 3 мм удалось обработать за 10 мин. Применяв полый инструмент, эти детали стали обрабатывать всего за 5—6 мин (с периодическим подъемом инструмента).

При обработке твердых сплавов для увеличения производительности рекомендуется применять (где это возможно технологически) полый инструмент. Через отверстие в последнем целесообразно осуществить отсос абразивной суспензии из зоны обработки (рис. 34, б) или еще эффективнее применить нагнетание ее (под давлением) в рабочую зону (рис. 34, а). Эти способы подачи абразивной суспензии позволяют применять большие давления инструмента на деталь, что в свою очередь повышает скорость обработки почти вне зависимости от ее

глубины. Так, при работе с отсосом суспензии полым цилиндрическим инструментом с площадью обработки 1200 мм^2 была достигнута производительность (по стеклу) около $7000 \text{ мм}^3/\text{мин}$ при глубине обработки 15 мм . При этом давление инструмента на деталь составило $1 \text{ кгс}/\text{см}^2$. При нагнетании суспензии с давлением около 3 ат , давление инструмента достигало $3 \text{ кгс}/\text{см}^2$; производительность в этом случае составила $10\,000 \text{ мм}^3/\text{мин}$ (материал тот же).

Весьма эффективным средством увеличения производительности ультразвуковой обработки являются способы подачи абразивной суспензии через предварительно выполненное в детали отверстие или через полость пустотелого инструмента. Первое практикуется зачастую при ультразвуковой чистовой обработке сквозных отверстий. В этих случаях в заготовке предварительно вскрывают отверстие другими технологическими способами, а затем ультразвуковой обработкой доводят его с более высокой точностью и качеством. Каждый из этих способов в сочетании с кратковременным (периодическим) подъемом инструмента позволяет достигать достаточно высокой производительности при значительной площади и глубине обработки.

В связи с расширением применения твердых сплавов и других труднообрабатываемых токопроводящих материалов немаловажное значение приобретает внедрение ультразвуковой обработки, позволяющей заменить ручную обработку (чаще — доводку) рабочих полостей твердосплавной оснастки и резко снизить тем самым трудоемкость операций. В то же время производительность общепринятой ультразвуковой обработки твердых сплавов низка, что сдерживает ее широкое применение. Прогрессивным направлением при обработке таких материалов является способ, совмещающий ультразвуковую размерную обработку с электрохимическим (анодным) растворением.

Сущность совмещенного способа (рис. 35) заключается в том, что кроме ультразвуковых колебаний в зону обработки подводят постоянный ток напряжением $6\text{—}12 \text{ В}$. Ультразвуковой инструмент соединяют с отрицательным полюсом источника тока, а деталь — с положительным. Абразив смешивают с электролитом — $10\text{—}20\%$ -ным раствором поваренной соли или азотнокислого натрия. Абразивонесущий электролит в рабочую зону

подают под определенным давлением (зачастую прокачкой через полый инструмент). Под действием постоянного тока происходит анодное растворение обрабатываемого материала, в результате чего — электрохимическое растворение кобальтовой связки твердого сплава; благодаря этому значительно облегчается ультразвуковое разрушение зерен карбида вольфрама и титана. Это позволяет резко повысить скорость обработки.

Производительность комбинированного метода обработки твердого сплава марки ВК20 при плотности технологического тока 15 А/см^2 достигла около $1000 \text{ мм}^3/\text{мин}$. Абразивонесущий электролит (15%-ный раствор азотнокислого натрия + 1—2%-ный раствор нитрита натрия — ингибитора коррозии) подается в рабочую зону под давлением прокачкой через полый инструмент. В среднем производительность этого процесса в 4—5 раз выше, чем обычного ультразвукового резания (без анодного тока).

Недостатком этого метода является довольно низкая точность обработки, что ограничивает применение его преимущественно черновыми операциями, где необходимо с высокой производительностью выполнять предварительное формообразование, с припуском под дальнейшую ультразвуковую доводку.

Точность размеров и формы. При ультразвуковой размерной обработке точность исполнения размеров детали является подчас основным требованием, определяющим успешное применение этого процесса.

На точность исполнения размеров при ультразвуковой обработке оказывают влияние размеры зерен абразива, стабильность зазора между обрабатываемой поверхностью и инструментом, глубина обработки, величины поперечных колебаний инструмента и износ его рабочей части. Кроме этих факторов существенное влияние на точность размеров и формы деталей оказывает точность рабочего хода стола или акустической головки станка, точность взаимной установки (ориентации) заготовки и инструмента, способ крепления последнего и др. Однако основное влияние на точность размеров оказывает стабильность рабочего зазора между поверхностями детали и инструмента. Но вследствие износа рабочей части инструмента, а также поперечных составляющих колебаний этот зазор практически не может быть стабильным.

Неточность геометрической формы поверхностей обрабатываемых деталей характеризуется завалами кромок на входе инструмента, конусностью и сколами на выходе инструмента. Завалы на входе инструмента являются следствием воздействия абразива; избежать их можно отчасти подачей суспензии через полость инструмента (где это технологически возможно).

Конусность обрабатываемых поверхностей является в основном результатом износа рабочей части инструмента (его вертикальных поверхностей), а также более длительного воздействия абразивной суспензии на поверхности заготовки у входа инструмента, чем на поверхности у его выхода. Конусность возрастает с увеличением глубины обработки; в этом случае соответственно возрастает время обработки, т. е. время воздействия абразива на заготовку, а следовательно, и износ инструмента. Практически величина конуса может составлять примерно 20 мин на 1 мм толщины при зернистости абразива № 5. Применяя порошки мелкой зернистости, можно снизить конусность стенок отверстия до 5—10 мин на 1 мм толщины. Конусность поверхностей можно частично вывести повторной обработкой более мелким абразивом или калибровкой обрабатываемого контура неизношенной частью инструмента; при этом последний необходимо вводить в заготовку на значительную глубину. Это вызывает необходимость применять утолщенные подкладки.

Сколы на выходе инструмента из заготовки объяснимы хрупкостью обрабатываемых ультразвуковым резанием материалов. Для устранения этих сколов обрабатываемые заготовки приклеивают к стеклянным подкладкам. Тогда при выходе из заготовки инструмент врежется в однородный с обрабатываемым материал и не скалывает края заготовки. Для сокращения величины сколов рекомендуется снижать амплитуду колебаний инструмента при выходе из заготовки.

Эллипсность при ультразвуковой обработке является результатом боковых составляющих колебаний инструмента. Однако при точной выверке и подгонке инструмента, когда боковые колебания минимальны, эллипсность отверстий не превышает 0,01 мм, но может достигать (в отдельных случаях) до 0,03—0,05 мм.

Обработанные ультразвуковым резанием поверхности, особенно отверстия, отличаются характерной раз-

бивкой размеров. Величина разбивки зависит от времени обработки и зернистости абразива; она является также следствием боковых составляющих колебаний инструмента.

Практика показывает, что при ультразвуковой размерной обработке основной группы твердых хрупких материалов достижима точность размеров обрабатываемого контура до 0,02 мм при глубине обработки до 3 мм.

Качество поверхности. Шероховатость обработанных ультразвуковым резанием поверхностей зависит в основном от величины абразивных зерен, свойств обрабатываемого материала и величины амплитуды колебаний инструмента. С увеличением амплитуды колебаний инструмента шероховатость обрабатываемой поверхности увеличивается, что можно объяснить более глубоким проникновением в обрабатываемый материал зерен абразива при меньшем их количестве, участвующем одновременно в работе.

Наибольшее влияние на шероховатость поверхности при ультразвуковой обработке оказывает величина зерен абразива. Класс шероховатости поверхности выше при использовании мелких абразивов и небольших амплитуд; высота микронеровностей обработанных поверхностей возрастает с применением более крупного абразива и больших амплитуд колебаний инструмента.

Поверхностные изъяны при ультразвуковой обработке носят кавитационный характер и повышают шероховатость обработанной поверхности, образуя своеобразные канавки и щели на поверхности детали глубиной до 0,1 мм.

Применяя мелкие шлиф- и микропорошки при небольших амплитудах, можно достичь шероховатости обработанных поверхностей $Ra\ 2,5$ и $Ra\ 1,25$ по ГОСТ 2789—73. Однако для этого иногда приходится применять ультразвуковую чистовую обработку после предварительной черновой.

§ 14. Абразивная суспензия

Как указывалось выше, ультразвуковое резание происходит в результате выкрашивания мельчайших частиц материала абразивными зернами. Абразивы, применяемые при ультразвуковой размерной обработке, обладают высокой твердостью и прочностью и незначи-

7. Абразивы, применяемые при ультразвуковой размерной обработке

Абразивы	Относительная режущая способность	Твердость по Моосу	Микро- твердость, кгс/мм ²	Плотность, г/см ³
Алмаз	1	10	10 000	3,48—3,50
Эльбор	1,1	11	11 000	2,20—2,25
Карбид бора	0,5—0,6	9	4 300	2,5
Карбид кремния	0,25—0,45	9	3 000	3,12
Электрокорунд	0,14—0,16	8	2 060	3,2—3,4

тельной хрупкостью. В табл. 7 приведены основные абразивные материалы, применяемые при ультразвуковой размерной обработке твердых хрупких материалов.

Абразивные материалы выдерживают большие удельные нагрузки и температуры. Под действием ультразвукового инструмента зерна абразива частично разрушаются, но полностью не теряют своих режущих свойств. Однако производительность обработки при этом заметно снижается. Поэтому в процессе ультразвуковой обработки важно обеспечить бесперебойную подачу в рабочую зону новых (перемешанных) порций абразива, т. е. его постоянную сменяемость.

Зерна абразива имеют неправильную геометрическую форму с острыми гранями и неодинаковыми размерами в разных направлениях. Более крупные из них первыми попадают в зону ударов ультразвукового инструмента, дробятся и притупляются, одновременно разрушая обрабатываемый материал. Более мелкие по размерам зерна в это время в работе не участвуют. По мере притупления и износа крупных зерен инструмент начинает воздействовать на все большее число зерен; при этом в работу вступают и меньшие зерна, попавшие в зону действия инструмента.

При размерной ультразвуковой обработке применяются взвеси абразива в жидкости, чаще в воде. Вода обладает невысокой вязкостью, хорошей смачиваемостью и хорошими охлаждающими свойствами. Водная суспензия способствует лучшему перемешиванию абразива и удалению его из рабочей зоны. Концентрация абразива в воде обычно составляет 30—40% (по массе).

В целях предохранения деталей станков от коррозии рекомендуется добавлять в водную суспензию небольшие

порции ингибитора (2%-ный нитрит натрия), особенно при обильной подаче суспензии помпами, когда возрастает возможность попадания ее в механизмы станков.

Режущая способность* абразивов различна (см. табл. 7). Размеры зерен абразивов приведены в табл. 8.

8. Размеры зерен шлиф- и микропорошков

Шлифпорошки			Микропорошки		
Номер зернистости по ГОСТ 3647—71	Размер зерна, меш	Пределы размеров зерна, мкм	Номер зернистости по ГОСТ 3647—71	Размер зерна, меш	Пределы размеров зерна, мкм
12	100	160—125	M63	—	63—50
10	120	125—100	M50	—	50—40
8	150	100—80	M40	—	40—28
6	180	80—63	M28	—	28—20
5	230	63—50	M20	600	20—14
4	280	50—40	M14	—	14—10
3	320	40—28	M10	—	10—7
			M7	800	7—5
			M5	1000	5—3

Наиболее распространенными абразивами при ультразвуковой размерной обработке являются карбид кремния и карбид бора. Лучшим по своим режущим свойствам является карбид бора. Однако он дороже, чем карбид кремния, и содержит значительное количество графита. Поэтому его целесообразно применять при ультразвуковой обработке твердых сплавов, радиокерамики, минералокерамики, технического фарфора и других особо твердых и прочных материалов. При обработке более хрупких материалов (стекло, кварц, кремний, германий и др.) целесообразнее применять карбид кремния. Он дешевле и менее дефицитен, меньше загрязняет рабочее место, руки и одежду оператора. Правда, при прочих равных условиях производительность при применении карбида бора выше, чем при использовании карбида кремния на 20—30%. Однако указанные преимущества карбида кремния оправдывают некоторые потери на производительности. Алмазный порошок применяют только при обработке алмазов.

* Под режущей способностью понимается интенсивность съема материала в единицу времени.

На черновых операциях используют, как правило, абразивы более крупной зернистости, а на чистовых — микропорошки.

В последнее время при размерной ультразвуковой обработке стали применять инструменты, рабочая часть которых шаржирована абразивом. В этом случае на инструмент методом порошковой металлургии или гальваническим способом наносится слой алмазного порошка. Работу ведут при вращении инструмента вокруг своей оси; в зону резания подают воду, которая охлаждает инструмент и вымывает отходы.

Использование ультразвукового инструмента с закрепленным абразивом взамен сыпучего, вводимого в зону резания в виде водной суспензии, весьма перспективно, так как при этом не загрязняется рабочее место и оборудование; создаются лучшие условия труда оператора. Однако такому инструменту во время работы необходимо придавать вращение, поэтому таким методом можно обрабатывать только цилиндрические поверхности.

Абразивную суспензию готовят в металлической или пластмассовой таре. Высыпать абразивные порошки в тару нужно осторожно, не допуская распыления их в помещении. Не рекомендуется сыпать абразивы прямо в бак помпы станка; при этом также неизбежно их распыление. Лучше вначале залить в тару или бак нужное количество воды, а после этого засыпать туда абразивный порошок. Перед заливкой суспензии в бак помпы станка ее необходимо тщательно перемешать с тем, чтобы в таре не остался осадок абразивного порошка. Небольшие дозы суспензии, подаваемые в рабочую зону кисточкой или резиновой грушей, готовят в пластмассовых сосудах.

Приготавливать абразивную суспензию необходимо, соблюдая заданную технологией пропорцию соотношения воды и абразивного порошка.

§ 15. Особенности операций, приспособления и инструменты

При ультразвуковой размерной обработке твердых хрупких материалов оператору необходимо выполнить кроме основной операции — резания ряд предшествующих и следующих за ней операций. К ним относится,

в частности, приклеивание заготовок к подкладкам, отклеивание их после обработки и т. д.

Операции, предшествующие обработке. Приклеивание заготовок к подкладкам выполняется при ультразвуковом резании во многих случаях. Это необходимо при обработке на всю толщину заготовки, чтобы предотвратить сколы на выходе инструмента. Однако и при обработке глухих элементов деталей (отверстий, полостей, пазов и т. д.) применяют приклеивание заготовок к подкладкам. Это обеспечивает удобное и надежное крепление заготовок на станке, а нередко и облегчает ориентацию их по отношению к инструментам.

Для подкладов чаще применяют оконное или витринное (утолщенное) стекло, из которого нарезают квадратные или прямоугольные пластины. Размеры их в плане устанавливаются технологическим процессом в зависимости от размеров заготовок, количества их на одной подкладке и других условий. В качестве подкладок можно применять и другие твердые хрупкие материалы; однако стекло наиболее дешево и менее дефицитно.

Приклеивают подкладки чаще шеллаком — природной смолой, содержащей 85% смолистого вещества и 15% шеллачного воска. Применяют для этой цели и мастики, например смесь канифоли с парафином в соотношении 1 : 1. Шеллак и мастики хорошо растворяются в спирте. Размягчаются они при температуре 60—80° С, а расплавляются при 100—120° С. Приготавливают шеллак и мастики в лабораториях по специальным инструкциям; реже оператору необходимо выполнить эту работу самостоятельно.

Расположение заготовок на подкладках может быть различным в зависимости от способов базирования заготовок относительно инструмента. Если расположение заготовок не оговорено технологией, то их располагают на подкладках произвольно, ориентировочно в средней части подкладки, оставляя края последней свободными для возможности крепления ее на станке.

Ориентированное приклеивание заготовок к подкладкам выполняют по двум схемам (рис. 36). В первом случае (рис. 36, а) базовые плоскости заготовок выступают на небольшую величину a (0,5—1,0 мм) за края подкладки и по ним заготовка базируется при обработке относительно инструмента в специальных приспособле-

ниях. Во втором случае расположение заготовки увязано относительно двух базовых плоскостей подкладки по координатам X и Y (рис. 36, б). Первая схема обеспечивает большую точность базирования, так как базой при ориентации являются непосредственно плоскости заготовки; при этом размеры подкладок не ограничиваются допусками. Применение второй схемы ужесточает требования к подкладкам: базовые плоскости ее должны быть взаимно перпендикулярны, для их отличия от двух дру-

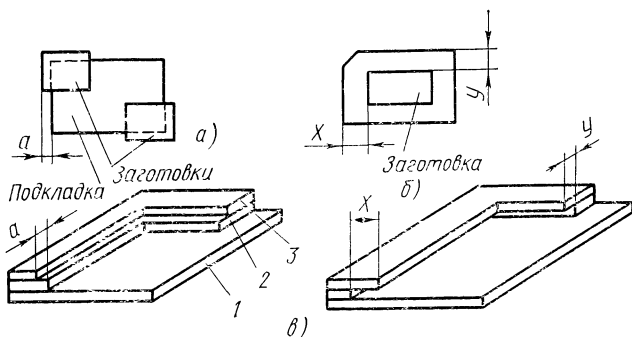


Рис. 36. Схемы ориентированного приклеивания заготовок на подкладки:

а — при базировании по заготовкам, *б* — при базировании по подкладкам, *в* — приспособления для ориентированного приклеивания заготовок по этим схемам

гих плоскостей такие подкладки имеют скос на углу, расположенном между базовыми плоскостями (иногда этот угол помечают краской, не выполняя скоса).

Для обеспечения ориентированного расположения заготовок на подкладках при приклеивании их по этим схемам применяют специальные приспособления, одна из конструкций которого приведена на рис. 36, в. Оно состоит из основания 1, угольника 2 и накладке 3. Эти детали жестко скрепляются между собой. Изготавливают их из фторопласта, который не деформируется при работе с горячими заготовками и подкладками и не склеивается с ними.

Перед приклеиванием заготовки и подкладки тщательно обезжириваются бензином Б-70. При этом пользуются техническими салфетками или марлей; работу выполняют в резиновых перчатках, протертых бензином.

После высыхания заготовки и подкладки укладывают на электроплитку (по несколько штук, но в один ряд). При этом склеиваемые и обезжиренные плоскости их должны быть обращены кверху. Рядом с ними кладут кусочек сухого шеллака (или мастики), включают электроплитку и следят за состоянием шеллака. Когда он расплавится, убавляют мощность нагрева электроплитки. Придерживая заготовки и подкладки чистым пинцетом, наносят на их склеиваемые плоскости тонкий ровный слой шеллака. При этом необходимо следить за тем, чтобы шеллак не застывал, прибавляя в случае необходимости мощность нагрева электроплитки.

Устанавливают в приспособление для приклеивания подкладку, а на нее заготовку. При этом плотно поджимают их пинцетом к соответствующим плоскостям деталей приспособления. Одновременно слегка нажимают на заготовку, с тем чтобы выдавить излишки шеллака из-под склеиваемых плоскостей. Затем на плоскость заготовки кладут подкладку из фторопласта, а на нее небольшой груз массой 0,3—0,5 кг. В таком положении выдерживают подкладку и заготовку до полного высыхания шеллака (обычно 3—5 мин).

При необходимости приклеивания на одну подкладку двух заготовок (по схеме рис. 36, а) их поочередно ориентируют в приспособлении, не давая застыть шеллаку, а затем кладут груз одновременно на обе заготовки.

При приклеивании одной или нескольких заготовок на подкладку без ориентирования работа упрощается, так как в этом случае не применяют специальных приспособлений.

После склеивания проверяют качество соединения заготовок с подкладками. Визуально это проверяют по отсутствию воздушных включений между склеенными плоскостями. Осмотр ведется со стороны стеклянной подкладки. Если заготовки непрочны приклеены к подкладке или имеется большое число воздушных включений, операцию выполняют заново, предварительно отклеив их на электроплитке и заново обезжирив.

После приклеивания заготовок по схеме, приведенной на рис. 36, а, необходимо очистить их базовые стороны от наплывов шеллака. Эту операцию выполняют скальпелем, не допуская повреждения заготовок.

В отдельных случаях на полированные плоскости заготовок наносят перед обработкой тонкий слой глифта-

левого лака. При этом используют кисточки с мягким ворсом или тампоны из батистовых салфеток и марли. Сушат лак на воздухе при комнатной температуре. Лак защищает полированные поверхности заготовок от повреждения абразивной суспензией. Особенно часто это происходит при обильной подаче суспензии в зону обработки (от помп станков).

При выполнении работ по приклеиванию заготовок и покрытию их лаком необходимо кроме общих правил по технике безопасности и противопожарной профилактике соблюдать дополнительные требования. Работы необходимо выполнять при включенной индивидуальной приточно-вытяжной вентиляции. Рядом с включенной электроплиткой не должны находиться легко воспламеняющиеся и горючие материалы и жидкости. Обезжиривание бензином необходимо производить при выключенной электроплитке и в отдалении от нее. Салфетки, тряпки и другие вспомогательные материалы после использования укладываются в отдельно расположенные металлические ящики (с крышками). Флаконы с бензином надо плотно закрывать и убирать в безопасные в противопожарном отношении места. Резиновые перчатки, протертые бензином, тщательно сушат на воздухе перед работой с горячими заготовками и подкладками.

К операциям, предшествующим ультразвуковой размерной обработке, относится и применяемая иногда разметка заготовок. Линии разметки обрабатываемого контура наносят на поверхность заготовки мягким остро заточенным карандашом по шаблону-трафарету, изготовленному из жести или плотной бумаги. Шаблон обычно повторяет базовые и обрабатываемые контуры детали. Разметку применяют при обработке элементов, точность расположения которых невысока (около 0,5 мм).

Отметим, что на полированных поверхностях некоторых твердых хрупких материалов (например, стекло) линии разметки различать очень трудно, из-за чего приходится отказываться от разметки и применять другую технологию обработки.

Разрезание заготовок. Эту операцию выполняют для отделения от куска исходного материала пластин-заготовок, как правило, небольшой толщины (до 5—6 мм). Подкладку 1 (рис. 37, а) с приклеенной к ней заготовкой 2 закрепляют на столе станка прихватами или струбцинами. При этом заготовку ориентируют относительно

лезвия инструмента 3, с тем чтобы плоскость реза была параллельна базовой плоскости заготовки. Выверку осуществляют установочным шаблоном, угольником или плоскопараллельными плитками. При этом следует помнить, что чем меньше перекося плоскостей отрезаемых заготовок, тем меньше задается припуск на последующую их шлифовку, а соответственно меньше расход материала заготовок.

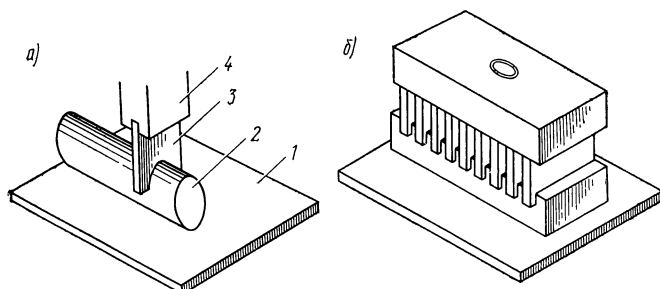


Рис. 37. Ультразвуковое разрезание заготовок:
а — одностым и б — многостым инструментами

При отрезке штучных заготовок после каждого очередного реза суппортом станка заготовку перемещают на один шаг. При разрезке многостыми инструментами всю заготовку можно разрезать за один прием, что значительно повышает производительность труда.

При отрезке пластин толщиной меньше 0,5 мм одностым инструментом заготовки могут ломаться из-за боковых составляющих колебаний лезвийного инструмента. В этом случае лучшие результаты дает применение групповых инструментов. Здесь может произойти поломка лишь крайних пластин, так как боковые колебания ощутимы в этом случае именно на крайних лезвиях группового инструмента.

Аналогичны операции раскроя пластин-заготовок на квадратные элементы многостыми инструментами. На рис. 38 приведен пример раскроя керамической пластины на квадратные элементы размерами 2×2 мм; ширина реза 0,45 мм. За первую операцию одновременно выполнили 10 резов, а затем поворотным столом станка, не раскрепляя заготовки, повернули ее на 90° и выполнили еще 10 резов. Отделение полученных элементов от подкладки происходит при отклеивании.

Однолезвийные и многолезвийные (групповые) инструменты для разрезания заготовок выполняют часто сменными, присоединяемыми к концентратору посредством резьбового соединения (шпилькой). Лезвие или комплект лезвий присоединяют к оправке 4 (см. рис. 37) пайкой в специальных приспособлениях. Особую сложность представляет пайка многоместных инструментов, имеющих жесткие допуски и небольшую толщину лезвий.

Толщина лезвий таких инструментов должна быть по возможности минимальной, так как это предопределяет расход сырья. Однако тонкие лезвия склонны к быстрому износу. Практически толщину лезвий таких инструментов принимают равной 0,2—0,8 мм, применяя для них калиброванную по толщине ленту из стали 65Г. Оправки изготавливают из стали 45, У8 и сталей других марок.

Вырезание по наружному контуру. Эту операцию выполняют для придания детали или заготовке нужной формы и размеров в плане. Толщина заготовок, как правило, не превышает 8—10 мм. Рабочая подача идет в вертикальном направлении. Форма контура (в плане) различна, но ограничивается возможностями изготовления внутренней (рабочей) полости инструмента. Абразивная суспензия подается, как правило, помпой. При изготовлении деталей и заготовок круглой формы целесообразно придать инструменту или заготовке осевое вращение, что резко увеличивает производительность. Во избежание сколов на выходе инструмента заготовку, как правило, приклеивают к подкладке.

За одну операцию вырезают простые по форме круглые, овальные, квадратные и прямоугольные детали и заготовки, а также имеющие более сложную форму и относительно жесткие допуски (рис. 39). В целях экономии сырья при вырезании из одной заготовки нескольких деталей нужно располагать вырезки с минимальными перемычками между собой (около одной-двух толщин заготовки). Для этого круглые вырезки размещают в шахматном порядке.

Инструменты для вырезания деталей по наружному контуру могут выполняться зацело с концентратором или в виде сменных элементов колебательной системы. Зацело изготавливают, как правило, простые по форме рабочего профиля инструменты. Более сложные — профиль-

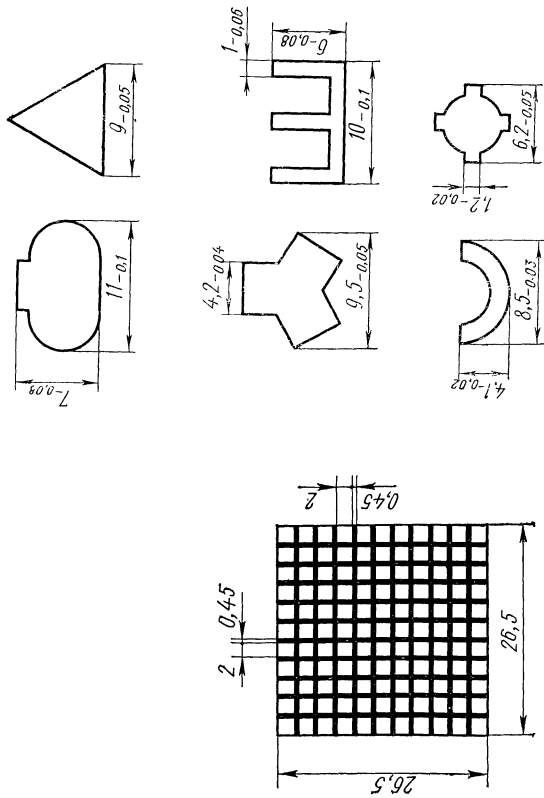


Рис 38 Схема раскроя плоской заготовки на квадратные элементы

Рис 39 Плоские детали и заготовки полученных ультразвуковым резанием

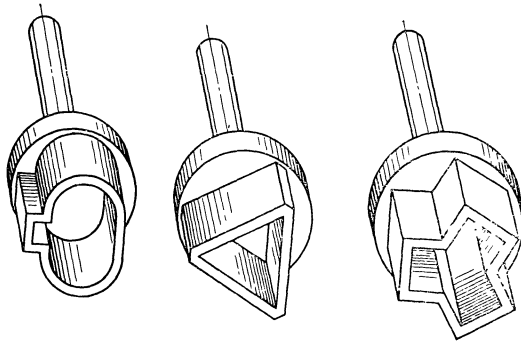


Рис 40 Полые сменные ультразвуковые инструменты для вырезания деталей

ные (рис. 40) — сменными. Последние состоят из рабочей (профильной) части, припаянной к оправке. Оправка имеет резьбовой хвостовик для присоединения к концентратору колебательной системы станка.

Форма рабочей (внутренней) части полых инструментов для вырезания деталей повторяет форму вырезаемого контура. Размеры рабочего профиля инструментов определяют расчетным путем, исходя из размеров детали, размеров зерен абразива, применяемого при вырезании, и износа самого инструмента.

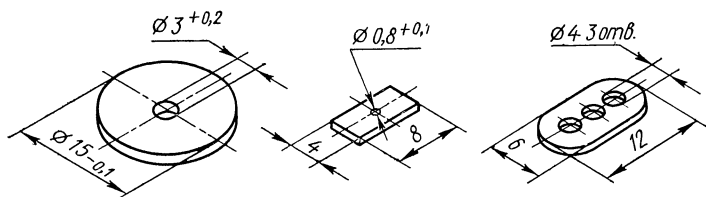


Рис. 41. Детали с отверстиями, полученные за одну операцию

Наружный контур полых инструментов для вырезания деталей не определяет формы и размеров вырезов, но должен быть эквидистантным рабочему (внутреннему) контуру. При этом условии боковые составляющие колебаний инструмента будут минимальными, а износ его — равномерным. Толщина стенок профильной части таких инструментов обычно составляет около 1,0—1,5 мм, а полная высота — 6—10 мм.

При вырезании деталей по наружному контуру можно одновременно производить формообразование отверстий и других элементов. На рис. 41 показаны примеры таких деталей, изготовленных за одну операцию. У инструментов для получения таких деталей к оправке кроме профильной части паяют одновременно и штыри для обработки отверстий. Пайка производится в специальных приспособлениях.

Круглые детали диаметром до 6—8 мм рационально вырезать многоместными (групповыми) концентраторами-инструментами, имеющими на рабочем торце соответствующее число отверстий нужного диаметра. Освоено получение из одной керамической заготовки диаметром 26 мм одновременно семи деталей диаметром 6 и толщиной 2 мм.

В массовом производстве вырезают за одну операцию более 1000 пьезоэлементов диаметром 1,2 и толщиной 2 мм, а также одновременно 500 кремниевых элементов диаметром до 5 мм и толщиной 1 мм. Инструмент-концентратор имеет на торце соответствующее количество рабочих отверстий.

Для таких операций применяют также инструменты, режущая часть которых представляет собой набор тонкостенных трубок. Трубки запаяны в одной оправке, которая резьбой крепится к концентратору. Такой инструмент применен для вырезания одновременно 500 элементов полупроводниковых диодов и триодов из пластин-заготовок толщиной 1 мм. Компактное расположение трубок позволяет значительно экономить полупроводниковые материалы.

Детали, имеющие более сложную форму, а также прорезы, пазы и тому подобные элементы, расположенные по наружному контуру, изготавливают за несколько операций последовательной обработкой по элементам контура. Формообразование деталей по элементам контура позволяет упростить ультразвуковые инструменты, что подчас является решающим фактором при ультразвуковой технологии. Однако необходимо помнить, что при пооперационной обработке по элементам контура точность размеров и геометрической формы деталей ниже, чем при обработке по всему контуру одним инструментом за одну операцию. Это является следствием дополнительных погрешностей, возникающих в результате нескольких установок заготовки по отношению к инструменту и переналадок последнего. Поэтому пооперационную технологию можно применять для изготовления деталей, точность размеров которых не должна быть выше 4-го класса точности, применяя при этом специальную оснастку для правильной ориентации заготовки по отношению к инструменту на каждой операции.

Для формообразования по наружному контуру корпуса из стекла (рис. 42, а), имеющего сложную форму и жесткие допуски, применяют ультразвуковую пооперационную технологию. Из заготовки квадратной формы толщиной 5 мм (высота детали) за три последовательно выполняемые операции вырезают пять корпусов. Для обеспечения правильного ориентирования заготовки на каждой операции применено простое приспособление (рис. 42, б). Оно состоит из основания, запрессованного

в него фиксатора и стального шаблона. Последний имеет пять (по числу вырезаемых из одной заготовки деталей) отверстий, по которым фиксируют шаблон с приклеенными к нему заготовкой и стеклянной подкладкой на каждой операции. Основание заранее выверяется на соосность концентратору по фиксатору и закрепляется на

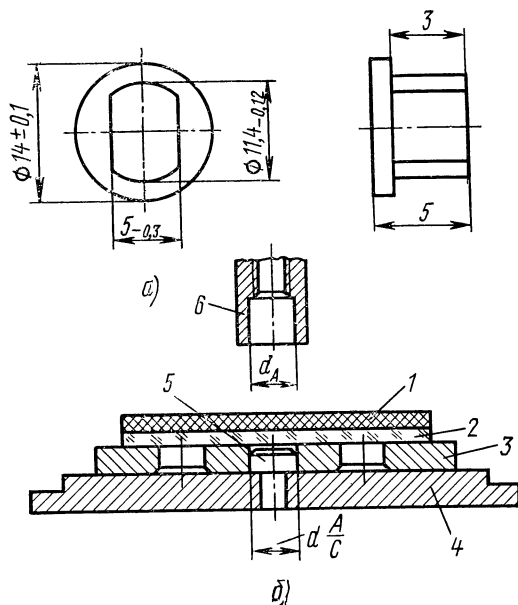


Рис. 42. Корпус (а) из стекла и приспособление (б) для ориентирования заготовок при его изготовлении:

1 — заготовка, 2 — подкладка, 3 — шаблон, 4 — основание, 5 — фиксатор, 6 — концентратор станка

столе станка. Заново ориентируют основание только в случае замены или перестановки концентратора. При наличии нескольких шаблонов обработку подобных деталей можно осуществлять партиями.

За первую операцию во всех приклеенных к шаблонам заготовках выполняют кольцевую канавку внутренним диаметром 11,4 мм, наружным 16 мм и глубиной 3 мм, оформляя выступ детали. Инструмент полый цилиндрической формы. Обработав партию заготовок при поочередной фиксации шаблонов с заготовками на основании, заменяем инструмент другим (с пазом) и производим

окончательное формообразование выступа (по размеру $5_{-0,3}$ мм). За последнюю операцию полым кольцевым инструментом производят формообразование фланца детали по размеру $14 \pm 0,1$ мм. При этом инструментом врезаются в подкладку, калибруя тем самым поверхность детали неизношенной частью инструмента. Желательно при вырезании очередной детали увеличивать глубину врезания на 0,5—1,0 мм, с тем чтобы работала неизношенная часть инструмента.

Готовые детали отсоединяют при отклеивании. При этом подкладки заменяют новыми, а шаблоны очищают от остатков мастики и используют многократно.

Инструменты для такой обработки сменные, выполненные зацело и соединяемые с концентратором резбовым хвостовиком, имеющим посадочный поясok для фиксации инструментов в концентраторе. У последнего на выходном торце выполнена посадочная расточка диаметром d (рис. 42, б) и резьба. Выступающая часть фиксатора приспособления и отверстия в шаблонах выполнены одним диаметром с соответствующей посадкой в зависимости от требований к точности формы детали.

Рассмотренный способ ориентирования заготовок при многооперационной обработке прост, не требует применения сложной оснастки и высокой квалификации оператора.

Обработка отверстий и пазов. Эти операции наиболее распространены при ультразвуковой обработке. Выполняются они аналогично предыдущим операциям. Различают обработку сквозных и глухих отверстий и пазов. В первом случае заготовки, как правило, приклеивают к подкладкам; во втором — это не обязательно.

Ультразвуковым резанием обрабатывают отверстия различной формы с размерами (в поперечнике) от 0,2 до 60—80 мм и глубиной до 20—30 мм; применяя специальные установки, можно увеличить глубину обработки до 250 мм и более.

При обработке отверстий небольшого диаметра (до 5 мм) применяют цельные инструменты; при этом весь материал заготовки, находящийся в зоне инструмента, перерабатывается в отходы. Сквозные отверстия большего диаметра выгодно обрабатывать полыми инструментами. Здесь меньше площадь обработки, а поэтому и выше производительность. При обработке глухих отверстий, пазов и т. п. элементов рабочий торец инструментов дол-

жен повторять форму дна отверстия или полости детали. Заметим, что глухие отверстия, полости и пазы нельзя обрабатывать полыми ультразвуковыми инструментами, так как в этом случае в заготовке остается не удаленная часть материала.

При ультразвуковой обработке сквозных отверстий сравнительно большого диаметра (свыше 20 мм) на значительную глубину (более 10 мм), когда затруднен доступ свежих порций абразивной суспензии в рабочую зону и эвакуация отходов,

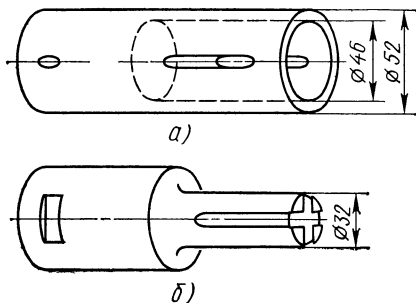


Рис. 43. Инструменты для обработки отверстий большого диаметра:
а — с окнами, б — с каналами

рационально применять полые инструменты с окнами на образующей (рис. 43, а). Суспензия через эти окна попадает в полость инструмента и интенсифицирует процесс резания, дополняя поступающую по наружному контуру

инструмента суспензию. При этом улучшается обмен абразивных зерен в зоне резания и повышается производительность.

Концентратор ступенчатой формы (рис. 43, б) имеет каналы на рабочем торце и образующей нижней ступени. Эти каналы облегчают доступ в рабочую зону абразивной суспензии и эвакуацию продуктов резания, что ускоряет обработку. Такой концентратор применяется при работе с вращением заготовки или инструмента. Он позволяет достигнуть максимальной производительности (4000 мм³/мин) при глубине обработки 18—20 мм (абразив карбид бора № 10). Такие концентраторы можно применять при обработке глухих отверстий большого диаметра.

Внутренний (нерабочий) контур полых инструментов для обработки отверстий по указанным выше причинам должен быть эквидистантным рабочему контуру.

При ультразвуковом формообразовании отверстий и пазов следует различать обработку одноместными и многоместными инструментами. Важное значение в обоих случаях придается способам правильного ориентирования заготовок относительно инструментов.

При обработке отверстий по разметке важно совместить линии разметки на заготовке с контуром рабочей части инструмента. Для этого рабочий торец последнего подводят к плоскости заготовки с минимальным зазором (около 0,2 мм) и ориентируют заготовку. Затем закрепляют подкладку с заготовкой на столе станка. При этом следят, чтобы не нарушалось положение заготовки относительно инструмента.

Более точного ориентирования заготовки можно добиться, ориентируя заготовку шаблонами (рис. 44). Шаблоны базируются по наружному контуру заготовок (рис. 44, а) или по выполненному в них ранее какому-либо элементу (рис. 44, б).

По отверстию заготовку ориентируют относительно закрепленного в колебательной системе станка инструмента, опуская последний в это отверстие. Затем крепят заготовку (или подкладку с приклеенной к ней заготовкой), выводят инструмент из шаблона, снимают последний и производят обработку. Если в заготовке необходимо выполнить несколько отверстий, то после обработки первого из них вновь устанавливают на заготовку шаблон и заново ориентируют заготовку по очередному отверстию шаблона. При этом необходимо зафиксировать шаблон от проворота по уже выполненному (первому) отверстию фиксатором. В качестве фиксаторов можно применять калиброванную по диаметру проволоку-серебрянку или использованные сверла (их хвостовую часть).

Шаблоны изготавливают из текстолита и легких сплавов (например, дюрали); удобно пользоваться шаблонами из оргстекла и фторопласта, особенно при больших их габаритах. Однако при относительно высокой точности координат обрабатываемых отверстий (0,05 мм) применяют стальные термообработанные шаблоны. При использовании стальных шаблонов необходимо соблюдать аккуратность, не допуская поломки или повреждения заготовок шаблоном.

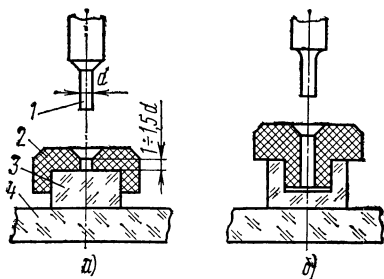


Рис. 44. Обработка отверстий односторонними инструментами по шаблонам:

1 — инструмент, 2 — шаблон, 3 — заготовка, 4 — подкладка

Можно обрабатывать небольшие отверстия диаметром до 2—3 мм без крепления подкладки к столу. В этом случае по шаблону намечают отверстие на небольшую глубину (0,5—1,0 мм), затем снимают шаблон и обрабатывают отверстие на нужную глубину. При этом заготовку ориентируют по намеченному ранее отверстию. Большие по размерам и глубокие отверстия не практикуется обрабатывать без крепления заготовок к столу станка, так как при этом возможно нарушение правильной ориентации заготовок относительно инструмента и, как следствие, искажение формы и разбивка обрабатываемого отверстия. Ухудшается в этом случае и качество обработки: появляются риски, сколы и другие дефекты.

Не снимая шаблона с заготовки, обрабатывать отверстие не рекомендуется, так как через точно выполненное по инструменту отверстие шаблона затрудняется подача в зону обработки свежих порций абразивной суспензии, что резко снижает производительность и может привести к поломке или повреждению заготовки из-за трудности эвакуации из рабочей зоны отходов и отработанных зерен абразива.

Одноместные инструменты для обработки отверстий и пазов с размерами в поперечнике до 15—20 мм выполняют чаще сменными. Присоединяют их к концентраторам резбовыми хвостовиками.

Несколько сложнее многоместные (групповые) инструменты, предназначенные для одновременной обработки нескольких отверстий или других элементов в одной или нескольких заготовках. В то же время применение групповых инструментов позволяет снизить трудоемкость изготовления деталей и обеспечивает высокую точность взаимного расположения обрабатываемых элементов. Поэтому при серийном и массовом производстве необходимо стремиться к применению многоместных ультразвуковых инструментов.

Часто групповые инструменты являются сменными элементами колебательных систем и изготавливаются сборными (рис. 45). Они состоят из оправки и набора инструментов нужной формы и размеров. Последние запаивают в оправку мягкими припоями с помощью специальных приспособлений. Небольшие по диаметру отверстия (1,5—2 мм) обрабатывают, применяя цельные штыри-инструменты (рис. 45, а); для больших отверстий выгодно использовать пустотелые трубки (рис. 45, б). Для обработ-

ки пазов (как и для раскроя заготовок) применяют инструменты с набором лезвий (рис. 45, в).

Для изготовления штырей групповых инструментов выгодно применять калиброванную по диаметру проволоку-серебрянку, а также хвостовики использованных сверл; в качестве материала пустотелых инструментов применяют калиброванные трубки из никеля и других материалов. Лезвийные инструменты целесообразно изготавливать из калиброванной по толщине ленты стали

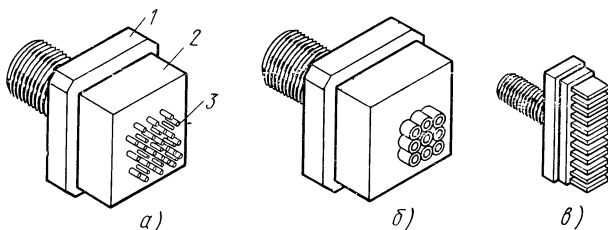


Рис. 45. Групповые инструменты для обработки отверстий и пазов:

1 — оправка, 2 — припой, 3 — инструмент

марки 65Г. Эти материалы хорошо противостоят износу и упрощают технологию изготовления инструментов. Особо необходимо рассмотреть способы рабочей подачи и взаимной ориентации заготовок и инструментов при обработке отверстий и вырезке по наружному контуру прецизионных малогабаритных деталей, так как от этого во многом зависит качество и точность обработки и успех внедрения этой технологии. Как правило, при этом инструмент жестко закрепляют в колебательной системе станка и не перемещают во время обработки. Рабочую подачу в этом случае осуществляют перемещением заготовок на инструмент с помощью специальных приспособлений — пружинных столов. Последние жестко крепятся на рабочем столе станка. Одна из конструкций такого стола показана на рис. 46. На основании 1, которое закрепляется на столе ультразвукового станка, смонтирован корпус 2. В последнем на опорах качения перемещается в вертикальном направлении гильза со столом 3. В полости гильзы расположена тарированная на усилие 50—200 гс пружина сжатия. Усилие последней регулируется винтом. Величина перемещения подвижных частей (гильзы и стола) контролируется индикатором. Точность хода

обеспечивается регулированием зазоров в опорах качения; при этом непараллельность верхней (рабочей) плоскости стола к плоскости основания не должна превышать 0,02 мм.

На рабочую плоскость стола в ориентированном или произвольном положении устанавливают подкладки 4 с заготовками. Подкладки крепятся струбцинами с эластичными пятками. Если подкладки с заготовкой необходимо крепить в ориентированном положении, то на пружинном столе устанавливают специальные приспособления.

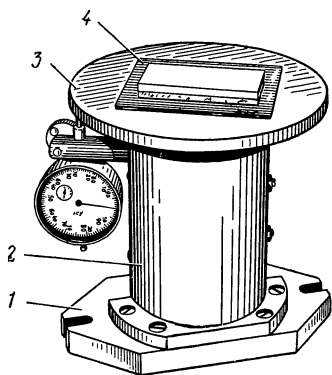


Рис. 46. Специальный пружинный стол для рабочей подачи заготовок

На таких столах осуществляют, в частности, ультразвуковую размерную обработку элементов керамических дисков наружным диаметром $2,3_{-0,03}$ мм по элементам контура из групповой заготовки (рис. 47). В центре каждый диск имеет лунку диаметром $0,6_{-0,1}$ мм и глубиной $0,15_{-0,1}$ мм, а по периферии четыре радиусные выемки (диаметр $1,2_{-0,1}$ мм).

Формообразование лунок, выемок и вырезание по контуру производится за три перехода, т. е. пооперационно с применением групповых инструментов. Вначале выполняют девять лунок; за второй переход производят формообразование выемок, а за третий — оформляют диск по наружному контуру, выполняя девять кольцевых прорезей. Во избежание сколов на выходе инструмента прорези выполняют не на всю толщину заготовки, а оставшуюся перемычку сошлифовывают на последующих операциях. Для обеспечения точного совмещения этих элементов их координаты на заготовке имеют жесткий допуск ($\pm 0,01$ мм).

Выдерживают эти допуски, применяя точно изготовленные инструменты и комплект оснастки для правильного ориентирования заготовок относительно инструментов. При этом наиболее просто достигнуть правильной взаимной ориентации по схеме, приведенной на рис. 48. Здесь

на подвижные части пружинного стола размещают приспособление для ориентирования и крепления заготовок, а в концентратор станка закрепляют многоместный инструмент. В два контрольных отверстия угольника приспособления устанавливают фиксаторы. Диаметры последних должны быть различными, с тем чтобы не до-

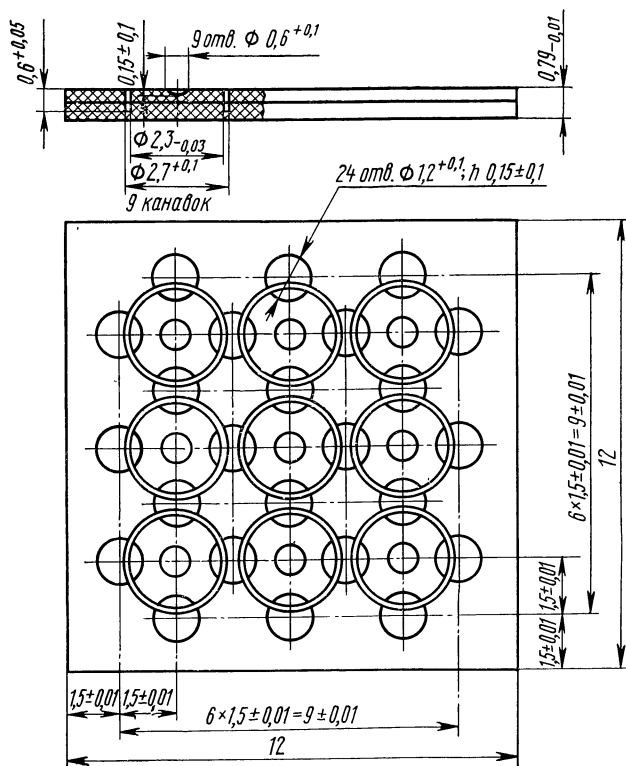


Рис. 47. Групповая керамическая заготовка для девяти дисков и их элементы

пустить неправильной ориентации инструмента по отношению к угольнику приспособления, а следовательно, и к заготовке. Опуская акустическую головку станка с закрепленным в концентраторе инструментом, подводят последний к приспособлению таким образом, чтобы фиксаторы вошли в отверстия во фланце инструмента. Дальнейшим опусканием головки станка подвижные части

пружинного стола с приспособлением поджимают на 2—3 мм, с тем чтобы обеспечить поджим заготовки на инструмент в процессе обработки и необходимую глубину обработки (с учетом износа инструмента). Затем жестко

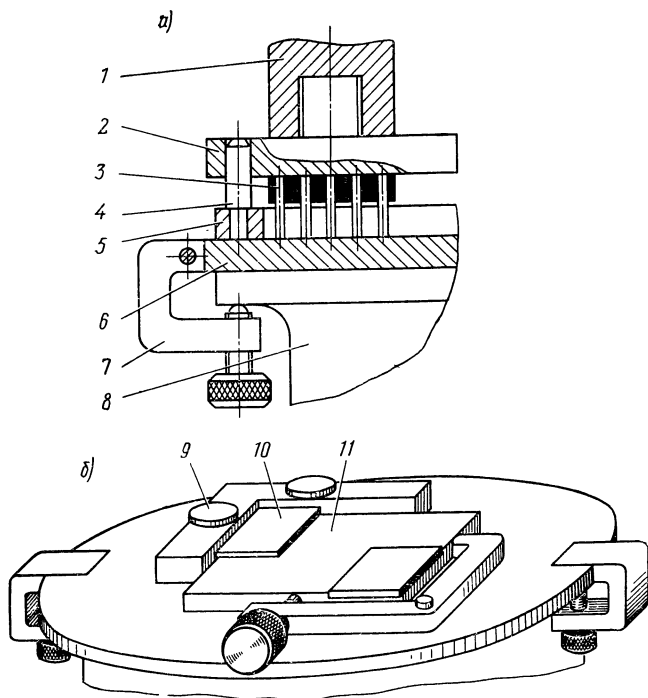


Рис. 48. Схема ориентирования приспособления для крепления заготовок по инструменту (а) и заготовки в приспособлении (б):

1 — концентратор станка, 2 — оправка инструмента, 3 — штырь, 4 — фиксатор, 5 — базовый угольник приспособления, 6 — основание приспособления, 7 — трубка, 8 — подвижные части пружинного стола, 9 — заглушка, 10 — заготовка, 11 — стеклянная подкладка

крепят головку станка, а приспособление прикрепляют к пружинному столу трубками. Опускают подвижные части пружинного стола в крайнее нижнее положение; при этом срабатывает защелка стола. Вынимают из отверстия угольника фиксаторы и на их место устанавливают заглушки с тем, чтобы в эти отверстия не попала абразивная суспензия при работе. После такой наладки приспособление и инструмент не переустанавливают и

обрабатывают партии заготовок до затупления штырей. В случае переналадки или переустановки инструмента ориентирование осуществляют заново.

Такой способ ориентирования прост по исполнению, не требует высокой квалификации оператора и обеспечивает требуемую точность. Однако для его реализации необходимо при изготовлении инструмента, оправка которого выполняется с фланцем, строго увязать расположе-

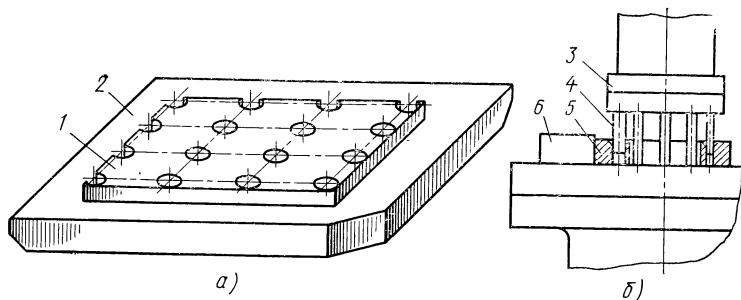


Рис. 49. Керамическая заготовка с выемками, приклеенная на стальную подкладку (а) и схема ориентирования приспособления с помощью шаблона (б):

1 — заготовка после обработки, 2 — подкладка, 3 — оправка инструмента, 4 — фиксатор, 5 — шаблон, 6 — угольник

ние их рабочих элементов (штырей, трубок или лезвий) относительно базовых отверстий во фланце. Для этого применяют специальные приспособления, в которых штыри или трубки припаивают к оправке. При этом штыри или трубки точно ориентируют относительно отверстий в оправке под фиксаторы.

Недостатком указанного способа ориентирования является необходимость приклеивания заготовок на краю стеклянной подкладки, что не позволяет выполнить прорезы или радиусные выемки на базовых кромках заготовки, так как соответствующие выемки на базовых плоскостях угольника приспособления под круглые штыри или лезвия инструментов препятствуют точному базированию заготовок из-за попадания в них абразивной суспензии.

Для обработки таких элементов (рис. 49, а) групповыми инструментами применен другой способ ориентации (рис. 49. б). Здесь инструмент кроме рабочих элементов имеет два фиксатора, которые припаиваются к оправке вместе с этими элементами в специальном приспособле-

нии. При опускании инструмента эти фиксаторы вводят в два контрольных отверстия шаблона, установленного в приспособление для крепления заготовок. По двум базовым плоскостям шаблона фиксируют угольник приспособления и после этого крепят его к пружинному столу, а акустическую головку в станке. Опускают пружинный стол и снимают шаблон. Заметим, что в этом случае длина рабочих элементов инструмента должна быть больше вылета фиксаторов на величину, обеспечивающую заданную глубину обработки с учетом износа инструмента.

Заготовки при этом способе ориентирования наклеивают на специально изготовленные стальные термообработанные подкладки. Изготовление этих подкладок увязывают с изготовлением шаблона, с тем чтобы добиться идентичности их по базовым плоскостям. У подкладок срезают один угол, чтобы отличать базовые стороны. Наклеивание заготовок выполняют в специальном приспособлении, что обеспечивает правильную увязку их положения на подкладке по отношению к базовым плоскостям последней, а соответственно и по отношению к инструменту при фиксировании подкладки с заготовкой по угольнику приспособления. Естественно, что координаты расположения отверстий под фиксаторы в шаблоне (от его базовых плоскостей), рабочих элементов по отношению к фиксаторам инструмента и соответствующие размеры в приспособлении для приклеивания, фиксирующие положение заготовки и подкладки, должны быть строго увязаны между собой. Допуски на эти координаты должны обеспечивать требуемую точность расположения на заготовке обрабатываемых элементов.

Недостатком этого способа ориентирования является возможность возникновения больших, чем в предыдущем случае, погрешностей. Так, если при ориентировании базового угольника крепежного приспособления непосредственно по инструменту (см. рис. 48) на точность расположения обрабатываемых элементов по отношению к базовым плоскостям заготовки при прочих равных условиях оказывают влияние только точность базирования приспособления по инструменту и точность установки заготовки в этом приспособлении, то во втором случае (см. рис. 49) дополнительное влияние на точность координат обрабатываемых элементов оказывают точность изготовления шаблона и подкладок и их базирования в приспособлении. Поэтому ориентирование по второй схеме мож-

но применять, предварительно определив возможные погрешности координат заготовки и увязав размеры шаблона, подкладок и приспособления для приклеивания заготовок к подкладкам с требованиями чертежа детали или заготовки.

Другим недостатком второго способа ориентирования является необходимость изготовления специальных точно выполненных подкладок и сложность взаимной увязки координат всего комплекса оснастки. Кроме того, учитывая требования по точности подкладки, ее приходится делать из стали и подвергать термообработке. Это не позволяет врезаться инструментом в подкладку при обработке на всю толщину заготовки и не исключает возможность возникновения сколов при выходе инструмента из материала.

Применяют третий способ ориентирования приспособления для закрепления заготовок (рис. 50) непосредственно по кондуктору приспособления для пайки инструмента. Кондуктор имеет две выступающие базовые плоскости, увязанные по координатам с расположением отверстий под штыри инструмента. После пайки инструмента в этом приспособлении и остывания припоя инструмент вместе с приспособлением соединяют с концентратором станка и подводят угольник крепежного приспособления к базовым плоскостям кондуктора, одновременно опуская головку станка. Поджимают подвижные части пружинного стола и крепят головку станка и крепежное приспособление. Опускают подвижные части пружинного стола в нижнее положение и, включив ультразвуковые колебания, снимают приспособление с инструмента, не нарушая его положения.

При этом способе заготовку также приклеивают к стальной подкладке, а соответствующие размеры кондуктора, подкладки и приспособления для приклеивания заготовок строго увязывают с требованиями чертежа. Этот

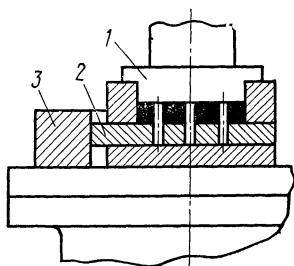


Рис. 50. Схема ориентирования с помощью приспособления для пайки:

1 — инструмент, 2 — кондуктор приспособления для пайки инструмента, 3 — базовый угольник крепежного приспособления

способ проще предыдущего, но также требует изготовления точных стальных подкладок.

Эти способы ориентирования успешно применяют в производстве радиодеталей. Они обеспечивают формирование прецизионных миниатюрных деталей при пооперационной ультразвуковой обработке местными инструментами. Аналогично обрабатывают отверстия в ситалловых, ферритовых и керамических платах интегральных схем и других изделиях. Известна обработка одновременно более 250 отверстий диаметром 0,2 мм с допусками по координатам $\pm 0,01$ мм групповыми инструментами.

Нанесение изображений. Эта операция выполняется для нанесения на заготовку плоских или рельефных (вогнуто-выпуклых) изображений; последнее практикуется, например, при изготовлении товаров народного потребления (украшений и сувениров) из стекла, поделочных камней и других твердых хрупких материалов. Освоено получение изображений на площади диаметром 100—120 мм при глубине рельефа до 4—6 мм. Плоские изображения наносят и для получения различных схем, надписей, символов, букв, цифр на деталях промышленного назначения. Процесс нанесения плоских изображений в виде отдельных букв, символов и цифр называют клеймением; инструментом для этой цели служат клейма.

Рабочий торец такого инструмента имеет плоскую форму.

Рабочий торец инструмента для получения рельефных изображений выполняется с соответствующим рельефным рисунком.

Оба вида инструментов могут иметь рисунок в прямом или зеркальном изображении. Зеркальное изображение рисунка применяется при нанесении изображений на непрозрачные материалы, т. е. когда они смотрятся с плоскости обработки. Инструменты с прямым рисунком применяют при обработке прозрачных материалов — стекла, когда оттиск необходимо рассматривать с противоположной плоскости заготовки.

На рис. 51 приведен пример рельефного изображения и ультразвукового инструмента для его выполнения. Инструмент представляет собой латунную пластину — диск толщиной 8 мм, припаянную к ступенчатому концентратору. Рисунок на инструменте выполнен в зеркальном изображении. Инструменты для изображений диаметром

до 12—15 мм выполняют в виде сменных оправок, соединяемых с концентраторами резбовыми хвостовиками или шпилькой.

Инструменты для получения рельефных изображений изготавливают в различных условиях ручным гравированием, на специальных станках с копировальной системой, штамповкой (холодной или горячей) и другими способа-

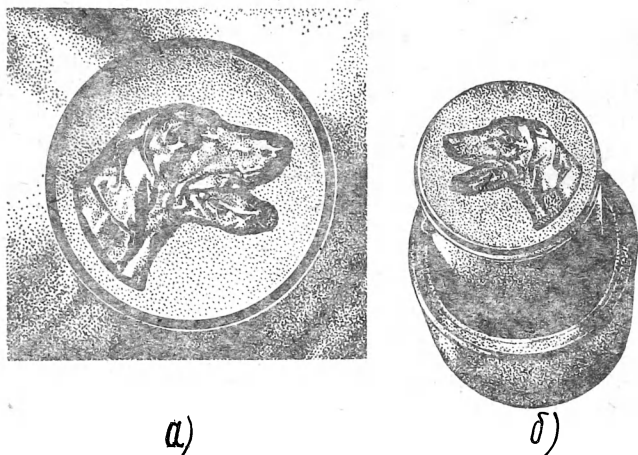


Рис. 51. Пример рельефного изображения (а) на ящике и ультразвуковой инструмент (б) для его изготовления

ми. Инструменты для ультразвуковой обработки плоских изображений проще в изготовлении; получают их травлением, гравированием и другими способами.

Технологический процесс нанесения изображений на твердые хрупкие материалы сводится к копированию выполненного на рабочем торце инструмента рисунка на заготовку при вертикальной рабочей подаче. Иными словами, обработка осуществляется профилированным ультразвуковым инструментом.

Рельефные изображения наносят за две операции: черновую и чистовую. Установив заготовку на столе ультразвукового станка, выверяют ее относительно инструмента и крепят прихватами. Вначале производят черновую обработку рельефа до полного формообразования на нужную глубину, применяя крупнозернистые абразивы

(карбид бора № 12—6). Этим обеспечивается высокая производительность. Затем, с снимая заготовки, очищают ее водой от абразива, проверяют качество изображения и, если оно отвечает нужным требованиям, производят чистовую обработку. При этом заменяют инструмент на чистовой и заново ориентируют заготовку. Для этого опускают инструмент на заготовку и, совмещая ее рельеф с рисунком на торце инструмента, фиксируют положение заготовки. Чистовую обработку выполняют абразивами мелкой зернистости (№ 5—3). Суспензию в зону обработки подают при этом периодически, небольшими порциями резиновой грушей вместимостью 0,2—0,5 л. После обработки на заданную глубину поднимают инструмент и, не открепляя заготовки, проверяют качество полученного изображения. Необходимо следить при этом, чтобы на изображении не осталось следов черновой обработки, т. е. чтобы вся поверхность обработки была одной фактуры. При необходимости многократно дорабатывают рельеф и периодически проверяют его качество.

Глубина чистовой обработки рельефных изображений зависит от зернистости абразива, примененного при первой операции. Так, если черновая обработка велась абразивом № 12 с размерами зерен 160—125 мкм, то глубина чистовой обработки не должна быть меньше 0,3 мм, т. е. примерно вдвое превышать максимальный размер зерен абразива, примененного на первой операции. При этом условии на поверхностях изображения не останутся следов от абразивных зерен — характерных «выколов».

Изображения небольшого размера обрабатывают за одну операцию, применяя при этом мелкозернистые абразивы. Это несколько увеличивает время обработки, но не требует замены инструментов и переустановки заготовок.

Одним инструментом с рельефным рисунком можно получить до 5—10 четких изображений (материал инструмента — сталь, заготовки — яшма). В качестве инструментов для черновой обработки можно успешно применять частично изношенные чистовые инструменты. Благодаря этому сокращается расход инструментов. Стальными инструментами с плоским рисунком, когда применяют его переточку, можно получить до 100 и более оттисков.

Гравирование. Ультразвуковое гравирование применяют для нанесения на плоскость заготовки различных ри-

сунков, надписей, букв и цифр. В отличие от клеймения гравирование выполняют непрофилированным инструментом (проволокой), рабочий торец которого может иметь трапецеидальную или другую форму. При гравировании заготовку или инструмент перемещают относительно друг друга в горизонтальной плоскости, повторяя наносимый контур. Таким образом, нужный контур оформляется не сразу по всему периметру, как при клеймении, а последовательно по отдельным элементам. При этом на заготовке образуются канавки глубиной 0,2—0,5 мм соответствующего контура.

Операция выполняется вручную или на копировально-фрезерных станках. В первом случае применяют ручные устройства — «карандаши»; работа отличается небольшой производительностью (20—25 знаков в минуту) и требует большого навыка и высокой квалификации.

Более производительное и качественное ультразвуковое гравирование выполняют на станках с копировально-пантографной системой. На столе копира станка располагается набор нужного шрифта или трафарет; на столе изделия — пружинный стол (см. выше, рис. 46) с укрепленной на нем заготовкой. Согласно указаниям паспорта станка устанавливают нужный масштаб копирования. Абразивную суспензию подают в рабочую зону кисточкой или резиновой грушей. Глубину гравирования обеспечивают перемещением стола изделия; стабильность ее в процессе гравирования поддерживается пружинным столом, который компенсирует износ инструмента. Оператор обводит копиром гравлируемый контур трафарета, при этом на заготовке копируется изображение в меньшем, чем на трафарете, масштабе.

Применяют трафареты из латуни и картона, имеющие канавки соответствующего контура. Латунные трафареты и шрифты используются наиболее часто в серийном производстве, картонные — в единичном. Опытные операторы при единичном производстве пользуются бесканавочными трафаретами-шаблонами. В этом случае гравлируемый контур наносят тушью на ватман, а копир совмещают в процессе работы с линиями рисунка.

В качестве инструмента при ультразвуковом гравировании применяют калиброванную проволоку-серебрянку или швейные иглы диаметром 0,5—0,8 мм.

Известно гравирование с помощью ультразвука хрустала на специальных станках-автоматах. Здесь задача

оператора сводится к поддержанию заданных технологией режимов обработки и слежению за исправной работой агрегатов.

Операции, следующие за обработкой. После ультразвуковой размерной обработки заготовки промывают проточной холодной и горячей водой, удаляя остатки абразива, а затем отклеивают их от подкладок на электрической плитке, разогревая подкладку и заготовку до размягчения мастики. Остатки мастики удаляют с заготовок кипячением их в растворах стиральных порошков типа «Новость». Если подкладки используются многократно, то их также промывают и кипятят. После кипячения заготовки промывают в дистиллированной воде и протирают чистыми салфетками, смоченными бензином или спиртом. В массовом производстве прецизионных деталей применяют специальные установки, в которых с помощью душевых устройств моют обработанные детали и сушат их теплым воздухом.

Размеры обработанных элементов деталей проверяют универсальными и специальными мерительными инструментами; размеры высокой точности проверяют на микроскопах.

§ 16. Ультразвуковые станки

Для размерной ультразвуковой обработки твердых хрупких материалов применяются ультразвуковые станки мощностью от 100 Вт до 4 кВт, что позволяет обрабатывать детали различных размеров и выполнять самые разнообразные технологические операции.

Конструктивно ультразвуковые станки довольно просты (рис. 52). Они состоят из станины, акустической головки с колебательной системой, рабочего стола с механизмами координатных, а нередко и круговых перемещений, системы подачи и сбора абразивной суспензии, механизма рабочей подачи инструмента на заготовку или стола с заготовкой на инструмент и других вспомогательных узлов и механизмов. Большинство станков являются универсальными, но известно и большое количество различных специализированных станков. Ниже рассмотрены некоторые конструкции наиболее распространенных ультразвуковых станков.

Станки универсального типа. Наиболее распространенные на практике универсальные ультразвуковые стан-

ки и их основные технические характеристики приведены в табл. 9. В настоящее время некоторые модели этих станков заменены новой гаммой. Так, станок модели 4771 заменен моделью 4А771П, а модель 4772А — моделью 4Д772. Технические характеристики новых моделей несколько улучшены по сравнению с базовыми станками, что позволяет более эффективно применять ультразвуковую обработку; освоено серийное их производство.

Простейшим ультразвуковым станком малой мощности является настольный станок 4770У (рис. 53). Этот станок предназначен для обработки неточных отверстий в деталях из твердых хрупких материалов. В верхней части станка расположена акустическая головка 2 с колебательной системой 1. Последняя состоит из перемendюрового двухстержневого преобразователя и полуволнового концентратора, имеющего на выходном торце резьбовое отверстие. Охлаждение преобразователя водяное; вода заливается в полость головки.

После 2—3 ч работы нагревшаяся вода заменяется холодной. Головка имеет вертикальное перемещение по колонне 6; стопорение ее в нужном положении производится винтовым зажимом с рукояткой 4. Для перемещения головки на резьбовую часть колонны накручена гайка 5 с крупным шагом резьбы; вращением этой гайки перемещают головку. Колебательная система крепится винтами в акустической головке за фланец.

Станок оснащается сменным инструментом для обработки одновременно двух отверстий. Оправка инструмента, в которую запаены два штыря, резьбовым хвостовиком закрепляется в концентраторе. При необходимости

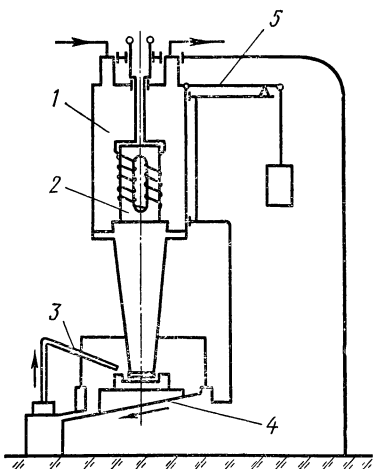


Рис. 52. Принципиальная схема ультразвукового станка для обработки твердых хрупких материалов:

1 — акустическая головка, 2 — колебательная система, 3 — система подачи и сбора абразивной суспензии, 4 — стол, 5 — система рабочей подачи инструмента на заготовку

9. Технические характеристики универсальных ультразвуковых станков

Характеристики	Модели станков			
	4770У	4770	4771	4772А
Потребляемая мощность, кВт	0,05—0,1	0,4	0,4	1,6
Максимальная производительность (по стеклу), мм ³ /мин .	50	300	1300	4000
Максимальная площадь обработки, мм ²	20	80	180	1200
Максимальная глубина обработки, мм .	5	15	60	40
Резонансная частота, кГц	22±7,5%	18±7,5%	18±7,5%	22±7,5%
Размеры стола (в плане), мм	50×50	125×165	∅ 250	∅ 300
Частота вращения стола, об/мин	Нет	Нет	10	2 и 4
Габариты в плане (без генератора), мм	305×310	500×380	1200×700	1210×910
Масса, кг	15	155	430	1400

обработки штучных отверстий в оправку запаивается один стержень нужного диаметра.

В нижней части станка на основании 9 смонтирован стол 8 с пружинно-рычажным механизмом рабочей подачи обрабатываемой заготовки на инструмент. Подвижная часть 7 стола перемещается в вертикальном направлении по шариковым направляющим. Опускание ее в исходное положение осуществляется эксцентриком, рукоятка которого выведена на левую боковую сторону стола. Рукояткой 3 регулируется усилие рабочей подачи. Для этого в полости основания станка смонтировано рычажное устройство. Вращая рукоятку по часовой стрелке, рычагом сжимают пружину, благодаря чему усилие рабочей подачи увеличивается. Снижения усилия подачи добиваются, вращая эту рукоятку против часовой стрелки. Отсчет величины рабочей подачи, т. е. глубины обработки, осуществляют по индикатору, встроенному в стол. Обрабатываемую заготовку на подвижной части стола крепят приспособлением с пружинным прижимом или специальными струбцинами. Питание преобразователя этого станка производится от специального ультразву-

кового генератора с независимым возбуждением, постав-
ляемого в комплекте со станком.

Более мощным является универсальный станок 4770
(рис. 54). На станке можно вырезать детали, обрабаты-

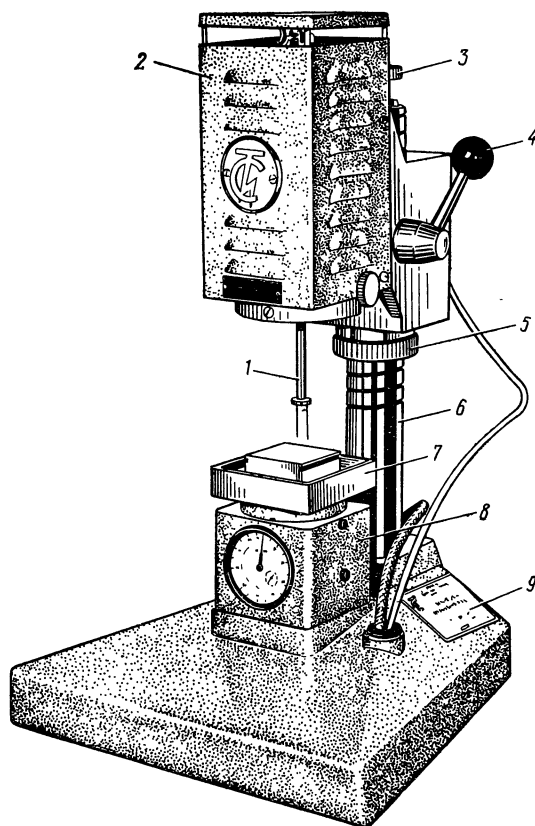


Рис. 53. Настольный станок 4770У

вать отверстия, пазы и щели различной формы, раскра-
ивать заготовки и наносить клейма. В верхней части ста-
нины 9 расположена акустическая головка 8, связанная
с ползушкой направляющими. Вертикальное установоч-
ное перемещение головки осуществляется от рукоятки 7
через реечную передачу; головка закрепляется в нужном
положении рукояткой 5. Рабочая подача головки — ме-

ханическая от электродвигателя через редуктор. Двигатель работает в моментном режиме, т. е. его крутящий момент зависит от величины питающего его напряжения. Последнее задается потенциометром, рукоятка 1 управления которым имеет несколько положений. Таким образом, регулируется усилие подачи инструмента на заготовку, а следовательно, и скорость обработки.

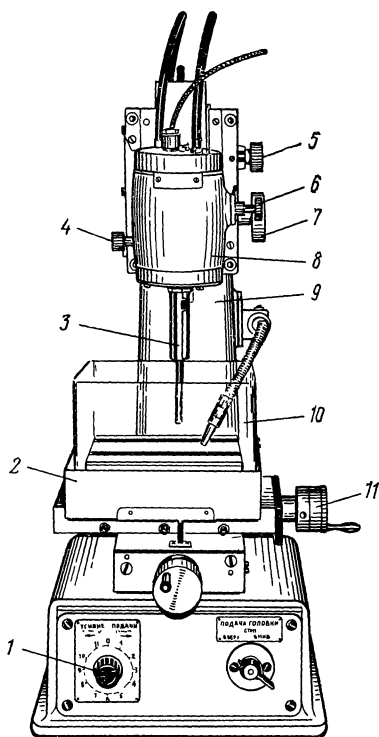


Рис. 54. Ультразвуковой универсальный станок 4770

работе с лезвийными инструментами, когда необходимо осуществить правильную ориентацию лезвий по отношению к базовым плоскостям заготовки, установленной на столе станка.

В станке применена колебательная система, состоящая из двухстержневого магнитострикционного преобразователя с припаянным к нему переходным фланцем, последний имеет резьбовое и посадочное отверстия для

Направляющие ползушки выполнены на опорах качения, благодаря чему достигается плавное перемещение головки. Величина перемещения ее контролируется по индикатору. Для облегчения работы электродвигателя масса головки уравновешена грузом, расположенным в полости станины.

Гильза головки, в которой закреплена колебательная система, имеет возможность вращаться вокруг своей оси с помощью червячной пары от рукоятки 4. Гильза в нужном положении закрепляется зажимом 6. Вращение колебательной системы применяется, например, в случае необходимости точной выверки концентратора 3, или при

присоединения сменных концентраторов. Колебательная система к гильзе головки станка прикреплена с помощью резонансной мембраны, привернутой к торцу гильзы. В центре мембраны имеется посадочное отверстие для фланца колебательной системы, который крепится гайкой. Преобразователь охлаждают проточной водой; в полость гильзы подают воду, которая сливается оттуда в канализацию.

В нижней части станка расположен стол 2 с Т-образными пазами, имеющий координатные перемещения (с точностью 0,02 мм) от рукояток 11. Суспензия в рабочую зону подается центробежным насосом-помпой через сопло 10 с гибким шлангом, позволяющим направить абразивную суспензию в нужное место. Помпу устанавливают на полу или в верстаке, на котором стоит станок, а генератор — рядом со станком в удобном для оператора месте. Для предотвращения разбрызгивания суспензии рабочую зону станка закрывают при работе съемным прозрачным кожухом. Станок укомплектован ультразвуковым генератором и типовыми съемными концентраторами.

Более широкими технологическими возможностями обладает аналогичный по мощности ультразвуковой станок 4771 (рис. 55). Станок предназначен для обработки всех твердых хрупких материалов: вырезания, обработки отверстий, раскроя и клеймения. На станине расположен стол с механизмами точных координатных и круговых перемещений. На столе закрепляются обрабатываемые заготовки. В верхней части станины расположена каретка, на которой смонтирована акустическая головка. Полая гильза с закрепленной в ней колебательной системой может вращаться вокруг оси. Каретка с гильзой и другими подвижными деталями уравновешена противовесом через рычажную систему. Рабочее (вертикальное) перемещение колебательной системе сообщается от электродвигателя с регулируемым крутящим моментом через редуктор и трос. Этим же двигателем регулируется усилие давления инструмента на обрабатываемую заготовку.

Колебательная система двухполуволновая; она состоит из двухстержневого магнитострикционного преобразователя с припаянным к нему фланцем, к которому шпилькой крепится сменный концентратор. Крепление к гильзе колебательной системы выполнено так же, как в станке 4770 (резонансной мембраной).

В станке имеется механизм заточки инструмента и микроскоп с увеличением $\times 100$. Частота вращения шпинделя механизма заточки 9000 об/мин, колебательной системы 400 об/мин, а стола 13 об/мин.

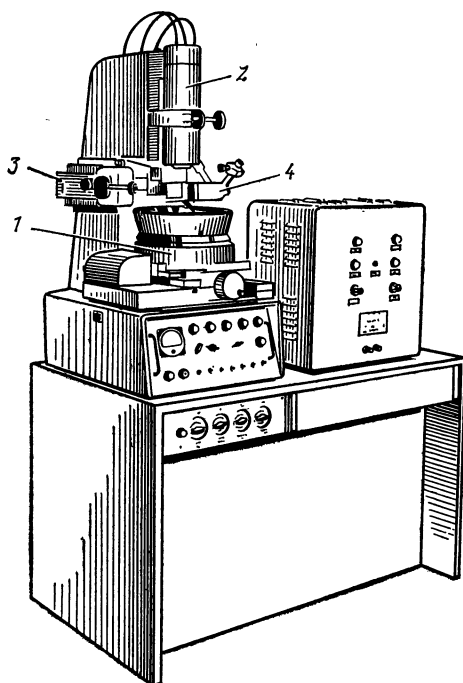


Рис. 55. Ультразвуковой станок 4771:

1 — стол, 2 — акустическая головка, 3 — механизм заточки инструмента, 4 — микроскоп

Станок изготавливается в комплекте с тумбой-столом, в которой смонтирован бак помпы для подачи и сбора абразивной суспензии и автономная система охлаждения магнитострикционного преобразователя. В комплект входит ультразвуковой генератор и устройство для отсоса суспензии.

Несмотря на относительную сложность конструкции, этот станок незаменим при изготовлении, например, фильер, волок и других деталей, когда необходимо при-
менять вращение заготовки и инструмента для получе-

ния строгой концентричности обрабатываемого профиля. Наличие механизма заточки и микроскопа позволяет, не снимая инструмента, восстанавливать его рабочий торец или профиль, что очень важно при обработке точных деталей. Станок обеспечивает обработку отверстий с точностью геометрической формы до 0,010 мм и точностью координат до $\pm 0,01$ мм.

Из более мощных ультразвуковых станков универсального типа лучшим по своим техническим и эксплуатационным данным является станок 4772А. Он предназначен для обработки всех твердых хрупких материалов. На нем можно обрабатывать отверстия, полости и щели, раскраивать заготовки, вырезать детали по наружному контуру, наносить изображения и надписи. Станок используется также для чистовой обработки (доводки) полостей и отверстий в твердосплавных вставках-матрицах штампов и пресс-форм.

Этот станок отличается оригинальной компоновкой основных узлов, что облегчает обслуживание станка и позволяет повысить производительность труда. В конструкции станка реализованы последние отечественные достижения в области ультразвуковой обработки, благодаря чему он по производительности выше зарубежных станков аналогичной мощности более чем в 2 раза. В частности, он имеет систему подачи абразивной суспензии под давлением через полость инструмента. Это позволяет повысить производительность в 5—10 раз при сравнительно большой глубине обработки (до 40 мм).

В станке имеется система автоматики, позволяющая вести обработку по заранее заданному циклу. Это важно при обработке сквозных отверстий в хрупких материалах, когда необходимо резко снизить давление инструмента на заготовку в конце обработки во избежание сколов. Этот цикл достигается в станке автоматически по программе: быстрый подвод инструмента к плоскости заготовки; обработка на нужную глубину с оптимальной скоростью и силой прижима инструмента; сокращение скорости и усилия прижима при выходе инструмента из заготовки и прекращение подачи на нужной глубине. Эта же система позволяет учитывать износ инструмента, что имеет важное значение при обработке, например, твердых сплавов, где этот износ особенно велик. На станке можно обрабатывать глухие отверстия и полости с высокой точностью по глубине (до 0,02 мм).

Общий вид станка с указанием основных его узлов показан на рис. 56. На станине 2 расположен координатно-поворотный стол 3. Поперечное ручное перемещение его осуществляется маховиком 11, а продольное — маховиком 22, круговое вращение (на 360°) — маховиком 5. Для механического вращения планшайбы стола имеется специальный электродвигатель с редуктором (частота

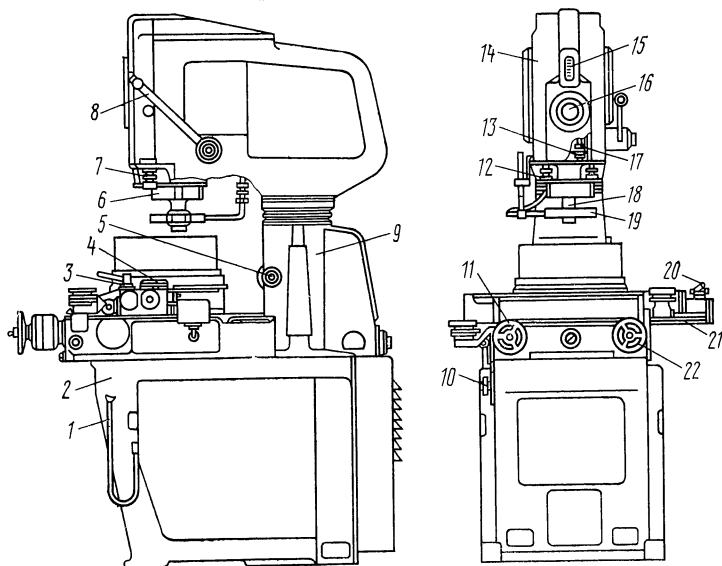


Рис. 56. Ультразвуковой станок 4772А

вращения 6 об/мин). Отсчет координатных перемещений производится по лимбам на маховиках (с точностью до 0,02 мм), а также по линейкам 21 с микроскопами (точность отсчета 0,01 мм). Точность отсчета угла поворота планшайбы — 20 мин. Привод вращения планшайбы переключается с ручного на механическое рукояткой 20.

Шпиндельная головка 14 жестко связана с колонной 9, последняя смонтирована в станине на опорах качения и может перемещаться в вертикальном направлении от электродвигателя. Стопорение колонны в нужном положении осуществляется рукояткой 4.

В головке на опорах качения размещен шпиндель 6, в полости которого закреплена колебательная система 18. Вертикальное ручное перемещение шпинделя осуще-

ствляют рукояткой 8, а механическое опускание (рабочая подача) — посредством регулирования положения противовеса, смонтированного на рычаге в полости головки. Специальный масляный демпфер обеспечивает плавность рабочего хода шпинделя; демпфер регулируется маховичком 12. Величину перемещения шпинделя регулируют маховичком 7, глубину обработки — маховичком 13; ограничивается глубина обработки контактом 17. Отсчет вертикального перемещения шпинделя производится по линейке 15; глубину обработки контролируют по индикатору 16.

Для промывки водой обрабатываемых заготовок и стола от остатков абразивной суспензии станок оборудован душевым устройством 1.

В полости станины расположен бак с помпой для подачи и сбора абразивной суспензии, а также диафрагменный насос для подачи ее под давлением. Это давление можно регулировать рукояткой 10 в пределах от 0,5 до 5 кгс/см². Оптимальное давление составляет 2 — 3,5 кгс/см². В системе подачи абразивной суспензии имеются два датчика, сигнализирующие о количестве жидкости в баке помпы. При работе с подачей суспензии поливом (через кольцо 19) концентрация абразива составляет 30—35%; при этом уровень жидкости в баке должен составлять 6 л. При работе с подачей суспензии под давлением (через полость инструмента) концентрацию абразива в воде снижают до 15—20%; в этом случае уровень жидкости в баке будет равен 10,5 л. Уровень жидкости контролируют по загоранию сигнальных лампочек на пульте электрошкафа, входящего в комплект станка. Для контроля величины давления суспензии на передней части станины смонтирован манометр.

Кроме указанных двух лампочек на пульте электрошкафа расположены прибор контроля рабочего давления, тумблер изменения этого давления, сигнальная лампочка включения электропитания станка, тумблеры включения и выключения освещения, вращения планшайбы стола и подсветки микроскопов, две кнопки перемещения колонны с шпиндельной головкой (вверх и вниз), две кнопки включения и выключения помпы, а также тумблер выключения эталонного напряжения и потенциометр его регулирования. Включение электропитания производится выключателем, расположенным на боковой стороне шкафа.

Колебательная система станка состоит из магнитострикционного двухстержневого преобразователя сечением 50×50 мм и полуволнового ступенчатого концентратора. Последний припаян твердым припоем к преобразователю и имеет фланец для крепления системы к шпинделю станка. Охлаждение преобразователя осуществляется проточной водой. На выходном торце концентратора имеется резьбовое отверстие для присоединения сменных концентраторов-инструментов.

Рабочая зона станка закрывается съемным металлическим кожухом, на который укладывают прозрачную крышку с отверстием под инструменты. Кожух и крышка предотвращают разбрызгивание суспензии.

Унифицированной моделью этого станка является станок 4Б772, в котором реализован совмещенный метод обработки электропроводящих материалов, например твердых сплавов. Все основные узлы этого станка аналогичны соответствующим узлам станка 4772А. Он комплектуется генератором УЗГ5-1,6/22 и источником постоянного тока. Пульт управления работой всех механизмов является неотъемлемой частью станка. На пульте расположены органы управления, размещенные на панели электрошкафа станка 4772А, и дополнительно управления и контроля режимов технологического тока. В станке предусмотрена защита от короткого замыкания, что может произойти при совмещенной обработке из-за уменьшения (ниже допустимого) зазора между поверхностями обрабатываемой заготовки и инструмента.

Техническая характеристика * станка 4Б772

Площадь обработки, мм ² :	
максимальная	1200
оптимальная	800
Производительность (по стеклу), мм ³ /мин:	
максимальная при подаче суспензии поливом	1200
то же, при подаче суспензии под давлением	4000
Максимальная производительность по твердому сплаву при совмещенном способе обработки, мм ³ /мин . .	
	300
Резонансная частота, кГц	$22 \pm 7,5\%$
Частота вращения планшайбы стола, об/мин	3,7

Специализированные станки. Для выполнения различных технологических операций наряду с универсальными станками на практике довольно широкое применение по-

* Остальные характеристики соответствуют данным станка 4772А (см. табл. 9).

лучают специализированные ультразвуковые станки. Эти станки отличаются в ряде случаев оригинальной конструкцией узлов и механизмов, что позволяет повысить точность и качество обработки, а также освоить сложные технологические процессы ультразвуковой обработки в условиях серийного и массового производства.

Как правило, это станки небольшой мощности (до 1,5 кВт), предназначенные для выполнения определенной операции; реже они предназначены для нескольких операций. Такие станки оснащаются специальной технологической оснасткой, а нередко и генераторами, предназначенными для питания только данного станка. Эти генераторы зачастую встраиваются непосредственно в станок.

На практике получили распространение ультразвуковые специализированные станки для изготовления полупроводниковых элементов (4770А; МЭ-34; МЭ-68; МЭ-76 и др.), обработки рабочего профиля алмазных и твердосплавных фильер (МЭ-22; МЭ-32; УЗА-5), обработки твердых сплавов (2УСП), изготовления в лабораторных условиях прецизионных малогабаритных деталей (ЛЭ-400М), нанесения на поделочные камни рельефных художественных изображений (УЗСК-40 и УЗСК-80) и др.

Для вырезания дисковых заготовок полупроводниковых приборов применен специализированный двухпозиционный (с двумя акустическими головками) станок-полуавтомат МЭ-34. Диски на этом станке вырезают групповыми инструментами, состоящими из набора никелевых трубок, припаянных к концентраторам. При диаметре вырезаемых дисков 2 мм и заготовки диаметром 45 мм двумя инструментами одновременно получают до 400 заготовок. Время вырезки — 1,5 мин при толщине заготовки 0,6 мм. Станок обеспечивает вдвое большую производительность, чем на универсальных станках. На нем можно обрабатывать другие твердые хрупкие материалы. Полуавтоматический цикл обеспечивает подвод стола с заготовкой к инструменту с небольшим усилием, предотвращающим появление сколов на заготовке; увеличение усилия подачи для получения оптимальной производительности и, наконец, снижение усилия на выходе инструмента.

Имеется механизм, позволяющий регулировать усилие рабочей подачи от 0,5 до 6 кгс с чувствительностью

0,2 кгс. Резонансная частота преобразователей 22 кГц; мощность каждой головки 1,5 кВт; станок оборудуется двумя генераторами. Станки такого типа успешно применяются в массовом производстве.

В кабельной, инструментальной и других отраслях промышленности применяются ультразвуковые специализированные станки для обработки рабочих отверстий в твердосплавных и алмазных волоках, фильерах и других деталях, изготавливаемых большими партиями. Одним из станков такого назначения является станок-полуавтомат МЭ-22 (рис. 57). На станке за одну установку обрабатывают входную распушку волоки, смазочный и рабочий конус, а также калибрующую часть отверстия. Инструмент — стальная вращающаяся игла, колеблющаяся в осевом направлении. Игла накидной гайкой закрепляется в концентраторе, который резьбовым хвостовиком с посадочной проточкой скреплен с фланцем двухстержневого преобразователя. Колебательная система крепится в головке резонансной мембраной и стаканом, смонтированным на опорах качения. Для передачи напряжения от генератора на преобразователь имеется коллектор, закрепленный на стакане. Охлаждение преобразователя воздушное; воздух отсасывается вентилятором, установленным в полости нижней части основания.

Техническая характеристика станка МЭ-22

Диаметры обрабатываемых отверстий, мм	0,3—1,2
Максимальная глубина обработки, мм	4
Акустическая мощность, кВт	0,1
Резонансная частота колебательной системы, кГц	22,5
Частота вращения инструмента, об/мин	800 и 1500
Усилие подачи, гс	10—200
Чувствительность регулировки усилия подачи, гс	10
Габариты станка (длина×ширина), мм	500×450

Обрабатываемую заготовку закрепляют в ванночке стола, куда заливают дозу водной суспензии алмазной пудры. Поддержание абразива во взвешенном состоянии осуществляется диафрагменным пульсатором, который изменяет объем воздуха в каналах ванночки. Рабочая подача заготовки на инструмент создается электромагнитной системой, обеспечивающей постоянство усилия подачи на всей величине рабочего хода.

Рабочий профиль инструмента затачивают непосредственно на станке с помощью специального механизма заточки. Благодаря этому почти полностью исключается

биение инструмента и обеспечивается высокая точность обработки. Качество и геометрию заточки инструмента контролируют микроскопом, расположенным непосредственно на станке.

Получил распространение прецизионный ультразвуковой станок ЛЭ-400М. На его базе создана установка ЛЭ-420 (рис. 58), состоящая из самого станка, стола и встроенного в него ультразвукового специального генератора. В верхней части станка расположена акустическая головка, имеющая вертикальное установочное перемещение (ход 60 мм) от маховика через реечное зацепление. Головка жестко фиксируется в нужном положении ручкой, расположенной на правой стороне станины. В головке с помощью четвертьволнового стакана закреплен магнитострикционный преобразователь, заканчивающийся фланцем с резьбовым отверстием для крепления сменных концентраторов с инструментами. Охлаждается преобразователь проточной водой; фланги водоснабжения расположены в столе, а штуцера присоединения к цеховой магистрали выведены на его заднюю стенку. Головка может разворачиваться вокруг оси, что позволяет правильно ориентировать, например, лезвийные инструменты относительно заготовки.

В нижней части станины станка расположен рабочий стол, имеющий вертикальное перемещение для рабочей подачи. На этом столе размещен координатно-поворотный стол, на котором струбцинами закрепляют обрабатываемые заготовки. Рабочая зона закрывается съемным прозрачным кожухом, предотвращающим разбрызгивание абразивной суспензии, которую подают в рабочую зону кисточкой или резиновой грушей.

Рабочую подачу можно осуществлять вручную маховиком или механически от электродвигателя. Скорость механической подачи стола регулируется изменением частоты вращения вала электродвигателя, для этого на пульте управления станком расположен потенциометр. Здесь же имеются два тумблера: включения и выключения электропривода рабочей подачи и изменения направления перемещения стола (вверх и вниз). Величина этого перемещения контролируется индикатором.

Встроенный генератор выполнен по лампово-транзисторной схеме. Ручки регулирования частоты («Плавно») и мощности, тумблеры выключения питания, анодного напряжения и ступенчатого переключения диапазона ча-

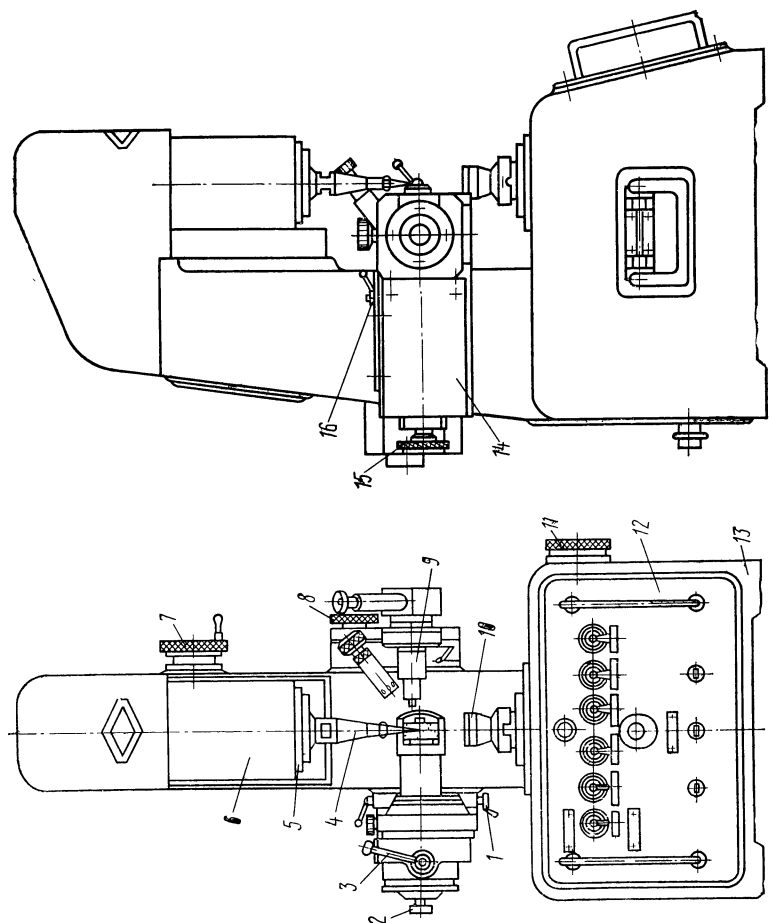


Рис. 57. Ультразвуковой станок МЭ-22:

1 — рукоятка фиксации механизма, заточки, 2 — рукоятка осевого перемещения шпинделя механизма заточки, 3 — рукоятка вертикального перемещения шпинделя механизма заточки, 4 — концентратор, 5 — фланец концентратора, 6 — головка, 7 — маховик подъема головки, 8 — маховик горизонтального перемещения микроскопа, 9 — микроскоп, 10 — стол, 11 — маховик подъема стола, 12 — пульт, 13 — станина, 14 — механизм заточки, 15 — маховик микроподдачи механизма заточки, 16 — рукоятка горизонтальной подачи механизма заточки

стот, а также сигнальные лампочки и контрольные приборы расположены на передней панели. В генераторе предусмотрены необходимые блокировки.

Два выдвижных ящика предназначены для хранения комплектов сменных инструментов и оснастки.

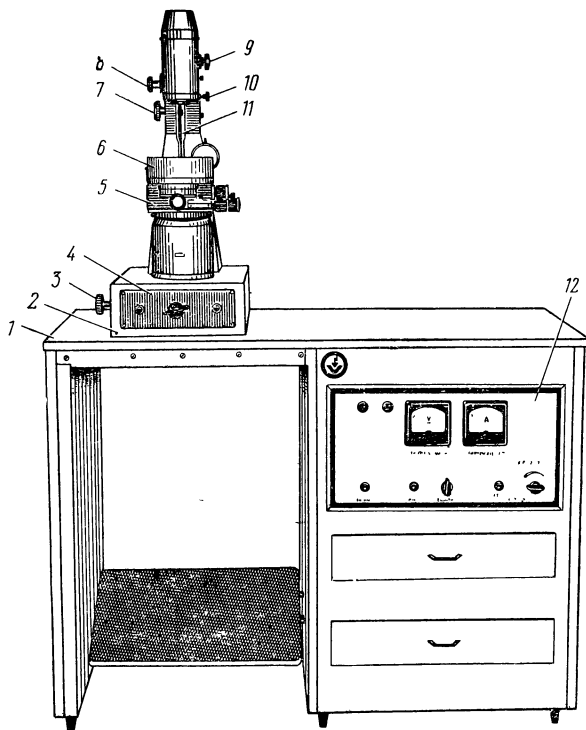


Рис. 58. Ультразвуковая установка ЛЭ-420:

1 — стол, 2 — станина станка, 3 — маховик ручной рабочей подачи стола, 4 — пульт управления станком, 5 — координатно-поворотный стол, 6 — съемный кожух, 7 — маховик перемещения акустической головки, 8 — маховик вращения головки, 9 — ручка стопорения головки от вращения, 10 — ручка стопорения головки от перемещения, 11 — сменный концентратор, 12 — ультразвуковой генератор

Техническая характеристика установки ЛЭ-420

Максимальная площадь обработки, мм ²	25
Наибольшая производительность (по стеклу), мм ³ /мин	150
Резонансная частота, кГц	18+7,5%, 22+7,5%
Достижимая точность обработки, мм	0,02

Особенности эксплуатации. Приступая к работе на ультразвуковых станках, оператор должен выполнить общие положения по эксплуатации, указанные в паспортах и инструкциях, а также знать особенности эксплуатации этого оборудования.

Перед началом работы необходимо проверить наличие в системе станка абразивной суспензии и соответствие ее заданным технологией параметрам: виду, зернистости и концентрации.

Перед креплением сменных инструментов в колебательной системе станка необходимо тщательно очистить бензином сопрягаемые торцы от налетов коррозии и грязи; недопустимы на этих торцах задиры, царапины и другие дефекты. Резьбовое соединение инструментов необходимо смазать машинным маслом. При этом условия достигаются наилучшие условия для трансформации амплитуды и сокращаются потери. Инструменты, особенно в станках небольшой мощности, необходимо крепить двумя ключами: одним удерживают колебательную систему станка, а вторым — заворачивают инструмент или концентратор, которые нужно закрепить достаточно прочно, с тем чтобы добиться хорошего сопряжения торцов. Об этом свидетельствует вытекание масла из резьбового соединения, а также отсутствие распыления масла при выключении ультразвука. Нельзя соединять сменные концентраторы и инструменты ключами несоответствующего размера, случайными воротками и разводными ключами; не допускается крепить их ударами.

Концентраторы — инструменты больших размеров (массой более 2 кг) закрепляют в колебательную систему станка, соблюдая меры предосторожности, чтобы не допустить их падения на плоскость стола или заготовку; при этом одной рукой поддерживают концентратор, а второй заворачивают его в колебательную систему станка. Аналогично снимают тяжелые концентраторы. Особую осторожность необходимо проявлять при установке и съеме тяжелых концентраторов группового типа (со штырями или трубками), так как их падение кроме повреждения самого инструмента, стола или заготовки может привести к травме рук оператора. Поэтому рабочую часть таких инструментов необходимо закрывать при установке и хранении съемными металлическими кожухами (рис. 59).

После установки инструментов на станках, имеющих

помпы для подачи суспензии, необходимо отрегулировать положение спрейерного кольца, через которое она подается в зону обработки. Кольцо устанавливают так, чтобы струи суспензии фокусировались в месте входа инструмента в заготовку. Работу системы подачи суспензии проверяют в течение 2—3 мин.

Стеклянные подкладки с приклеенными заготовками необходимо крепить на столе станка прихватами, не прилагая больших усилий, так как в противном случае может произойти поломка подкладок и порча заготовок. Для предотвращения этого под прихваты в местах крепления подкладывают листовую резину. Удобнее работать с прихватами, к которым приклеены резиновые накладки (рис. 60, а). С этой же целью избегают применять гаечные ключи при использовании прихватов; шестигранные гайки в этом случае заменяют гайками-барашками или гайками с накаткой.

Удобно пользоваться для крепления заготовок струбцинами, снабженными винтами с накатанной головкой и шарнирной пяткой из эбонита или другого эластичного материала (рис. 60, б). Применяют также струбцины с выдвижной штангой (рис. 60, в). Они удобны в том случае, когда корпус струбцины мешает подводу инструмента в рабочую зону, т. е. при значительном его диаметре.

При креплении подкладок с заготовками на столе станка необходимо исключить перекося прихватов, так как это может также привести к порче подкладок и заготовок. Для этого применяют опорные стойки (рис. 60, г) с достаточным числом полок или прихваты с опорным винтом (рис. 60, д).

При креплении подкладок необходимо следить, чтобы на плоскости стола станка в месте расположения подкладки не было остатков абразива, в противном случае произойдет поломка подкладки. Остатки абразива смывают водой, а плоскость стола протирают чистыми техническими салфетками. Облегчить уборку остатков абразива можно, положив под подкладку чистую плот-

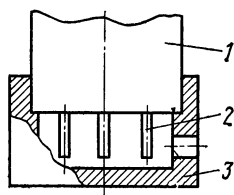


Рис. 59. Групповой инструмент с предохранительным кожухом:

1 — концентратор, 2 — штыри, 3 — кожух

ную бумагу; после обработки заготовки бумагу с остатками абразива заменяют чистой, а абразив смывают в бачок помпы станка или в тару для повторного использования.

При обработке цилиндрических поверхностей с вращением заготовки или инструмента, а также с одновре-

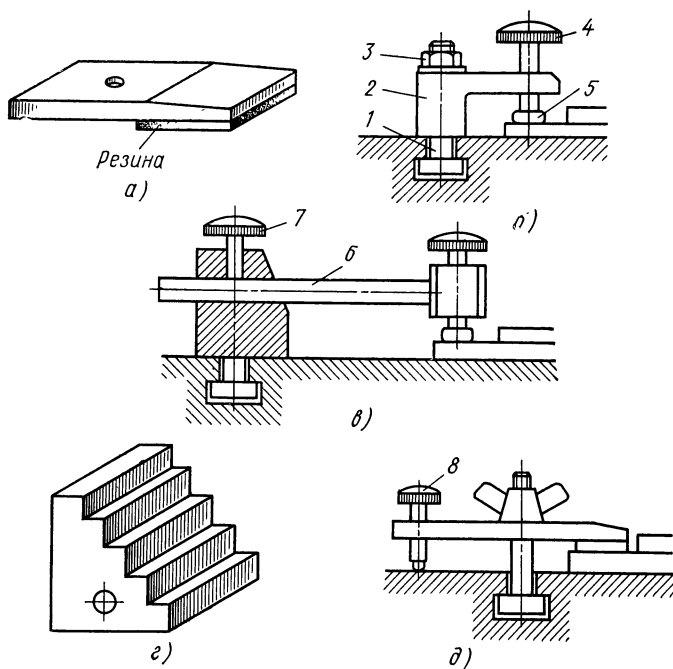


Рис. 60. Оснастка для крепления на станках стеклянных подкладок:

1 — болт крепления струбцины, 2 — корпус струбцины, 3 — гайка, 4 — винт с накаткой, 5 — эластичная пятка, 6 — выдвижная штанга, 7 — винт крепления штанги, 8 — опорный винт

менным их вращением в разных направлениях, необходимо совместить ось установленного в колебательную систему станка инструмента с осью вращения стола. Для этого можно применить стойку с индикатором (рис. 61), устанавливаемую в центральное отверстие стола по посадке «С». Мерительный стержень индикатора подводят к образующей инструмента, поворачивая одновременно стойку вокруг оси. Координатными перемещениями сто-

ла добиваются совмещения осей отверстия стола и инструмента.

Эту операцию можно выполнить, применяя специальные оправки (рис. 62). При вырезании по наружному контуру, когда размеры детали определяются внутренним контуром инструмента, выверку производят, как показано на рис. 62, а, т. е. с базой от отверстия инструмента. Одноместные инструменты для обработки отверстий выверяют по схеме, приведенной на рис. 62, б. В обоих случаях совмещения осей добиваются за счет перемещения стола по линейным координатам. Выни-

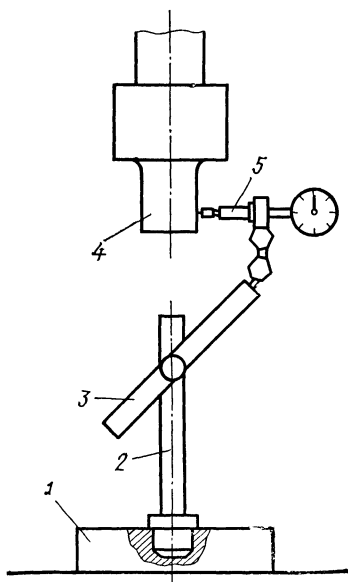


Рис. 61. Стойка для выверки на соосность стола и инструмента при работе с вращением заготовки.

1 — стол станка, 2 — стойка, 3 — шарнирное колено, 4 — инструмент, 5 — индикатор

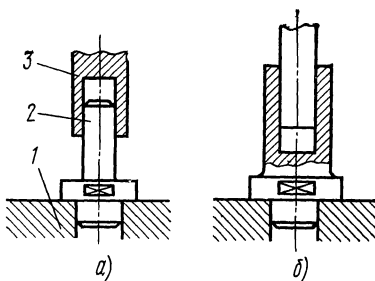


Рис. 62. Выверка на соосность стола и инструмента с помощью оправок:

1 — стол станка, 2 — оправка, 3 — инструмент

мают оправку из отверстия стола с помощью съемников за лыски на фланцах оправок. В случае, если оправка останется на инструменте, ее легко снять при включении ультразвука. Нельзя снимать такие оправки ударами и покачиванием; это может деформировать инструмент или повредить отверстие стола станка.

Аналогичными оправками ориентируют заготовки по инструментам, если расположение обрабатываемого отверстия детали необходимо выполнить, например, с базой от ее внутреннего контура.

Большого навыка требует обработка нескольких отверстий в одной заготовке односторонними инструментами. В этом случае заготовки относительно инструмента ориентируют перемещением стола станка с закрепленной на нем заготовкой; координаты отсчитывают по лимбам и линейкам станка.

В процессе работы оператор должен соблюдать установленные технологией параметры обработки: рабочее давление или скорость рабочей подачи, величину напряжения питания и тока подмагничивания, а также глубину обработки. Последнее контролируется по индикатору станка. При резании хрупких материалов, когда не допускаются сколы на выходе инструмента из заготовки, технологическим процессом предусматривают сокращение величины рабочего давления в конце обработки. Иногда это же практикуют и при врезании инструмента в заготовку. В этих случаях оператор должен внимательно следить за глубиной обработки и вовремя изменять рабочее давление. Величина последнего на выходе инструмента обычно не превышает в этих случаях $0,5 \text{ кгс/см}^2$ (например, для кремния).

При обработке на глубину более 10—15 мм рекомендуется периодически выводить инструмент из полости заготовки, это улучшает эвакуацию отходов и отработанного абразива; следовательно, в рабочую зону интенсивнее поступают новые партии суспензии, что значительно ускоряет обработку. Однако при подаче абразивной суспензии под давлением выводить инструмент из полости заготовки не рекомендуется, так как в этом случае происходит ее разбрызгивание.

В случае износа рабочей части ультразвуковых инструментов, о чем свидетельствует снижение скорости обработки, появление сколов и других дефектов, их необходимо восстанавливать. Для этого инструменты снимают со станка и шлифуют рабочие торцы. При этом теряется время на установку и съём инструментов. Поэтому в серийном и массовом производстве восстанавливают режущую способность инструментов (особенно группового типа), не снимая их со станка. Для этого можно применить напильник или абразивный круг, установив их под инструмент на столе станка. Включают ультразвуковые колебания и подводят торец инструмента к плоскости круга или напильника; подают в зону заточки абразивную суспензию и рабочей подачей затачивают инстру-

мент. Для этого же применяют плоскопараллельные пластины из вязкой стали или латуни.

При необходимости замены абразивной суспензии в баках помп их тщательно очищают и промывают от остатков ранее использованной суспензии. При этом необходимо следить, чтобы на крыльчатке помпы не осталось абразива. Мыть баки и детали помпы необходимо горячей водой, после чего надо обтереть их насухо чистыми салфетками. Одновременно промывают водой всю систему подачи и сбора абразивной суспензии до полной ее очистки.

Съемные кожухи ультразвуковых станков, закрывающие рабочую зону, необходимо периодически мыть проточной водой для удаления осевших на них остатков абразивной суспензии. Эту же операцию выполняют при работе с суспензиями различной зернистости или вида абразива, а также в конце смены. Остатки абразива с поверхности стола станка счищают деревянной или текстолитовой пластинкой, а затем промывают эту поверхность водой, протирают чистыми салфетками и смазывают легким слоем машинного масла. Аналогично поступают с используемыми при работе приспособлениями, крепежной оснасткой и инструментами.

Контрольные вопросы

1. Объясните сущность ультразвукового резания твердых хрупких материалов.
2. Какие параметры процесса оказывают влияние на производительность, точность и качество ультразвуковой обработки?
3. Объясните сущность совмещенного метода обработки твердых сплавов.
4. Что такое абразивная суспензия? Какие виды абразивных материалов применяются при ультразвуковом резании? Что означает номер зернистости?
5. Как подготовить заготовку к ультразвуковой обработке? Как оценить качество приклейки заготовки к подкладке?
6. Перечислите операции, выполняемые ультразвуковым резанием.
7. Назовите основные разновидности ультразвуковых инструментов. Из каких материалов их изготавливают?
8. Какие операции выполняются оператором после обработки на ультразвуковых станках?
9. Назовите основные типы ультразвуковых станков. Расскажите об устройстве наиболее распространенного станка и органах управления им.
10. Как правильно закрепить заготовку на столе станка? Какие существуют правила ухода за ультразвуковым станком?

Глава V

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ СВАРКА, ПАЙКА И ЛУЖЕНИЕ

§ 17. Сущность и характеристики процессов

Ультразвуковая сварка. В общем понимании сварка — это технологический процесс, обеспечивающий получение неразъемного соединения деталей в результа-

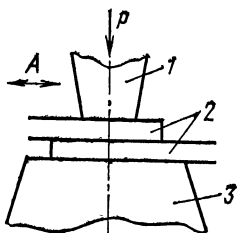


Рис. 63. Схема процесса ультразвуковой сварки:

1 — сварочный инструмент, 2 — свариваемые детали, 3 — опора

те воздействия на них тепла и давления. Некоторые способы сварки не требуют применения давления (например, сварка плавлением).

Ультразвуковая сварка основана на тех же явлениях, т. е. является способом интенсификации сварки материалов пластическим деформированием. Интенсификация достигается за счет того, что в результате воздействия ультразвуковых колебаний на соединяемые материалы в зоне сварки повышается температура, растрескиваются твердые и выгорают жировые пленки, улучшается пластическое деформирование и т. д.

Схематично процесс ультразвуковой сварки показан на рис. 63. Здесь сварочный инструмент, являющийся элементом колебательной системы, получает колебания амплитуды A , направленные параллельно плоскости сварки, и прижимается под рабочим усилием p к свариваемым деталям. Рабочее усилие приводит в соприкосновение свариваемые поверхности; микронеровности на них деформируются и растекаются. При этом за счет ультразвуковых колебаний инструмента эти микронеровности получают дополнительную деформацию; интенсифицируется их «растекание» и сближение. Образуются общие кристаллы, прочно соединяющие свариваемые детали за счет взаимного проникновения материалов. Одновременно из-за воздействия ультразвука в месте сварки происходит своеобразное перемещение частиц свариваемого материала и трение их, что приводит к по-

вышению температуры в зоне сварки и лучшему схватыванию материалов. Ультразвук разрушает окисные пленки в зоне сварки, в результате чего возникают дополнительные участки, свободные от них, т. е. дополнительные участки схватывания.

Важнейшими преимуществами ультразвуковой сварки являются локальный характер нагрева свариваемых деталей, без распространения зоны высокой температуры (близкой к температуре плавления свариваемых материалов) на большой площади и высокая прочность соединения, практически равная или даже превышающая прочность самого свариваемого материала. Другим преимуществом ультразвуковой сварки является возможность соединять разнотолщинные материалы, что другими методами осуществить нельзя.

Свариваемость металлов ультразвуком определяется их физико-механическими свойствами при нагреве до температуры сварки и другими факторами. Лучше свариваются пластичные металлы и сплавы: алюминий, медь, латунь и др. Ультразвуком хорошо свариваются тугоплавкие и активные металлы: молибден, ниобий, тантал, а также некоторые нержавеющие стали. Этот метод успешно применен и для сварки разнородных материалов, например меди с алюминием, никеля с титаном и др.

Свариваются ультразвуком и неметаллические материалы: полимерные пленки и термопластичные пластмассы. Соединение таких материалов происходит при достижении в рабочей зоне температуры их размягчения, т. е. в вязкотекучем состоянии и при сравнительно небольшом статическом давлении. Материалы, не способные переходить в такое состояние под воздействием температуры и давления, с помощью ультразвука не свариваются.

Важным преимуществом ультразвуковой сварки пластмасс также является локальный характер нагрева свариваемых деталей, что при нормально протекающем процессе исключает их перегрев и деформацию. При этом качество и прочность соединения отвечают техническим требованиям, предъявляемым к сварным соединениям.

Необходимо отметить, что при ультразвуковой сварке не требуется второй (нижний) электрод, так как процесс осуществляется односторонним способом — сва-

рочным ультразвуковым инструментом. Нижний электрод заменяется при ультразвуковой сварке технологической опорой. Это существенно упрощает конструкцию станков для ультразвуковой сварки.

Различают три вида ультразвуковой сварки: точечную, шовную и шовно-шаговую. Точечной и шовной сваркой соединяют металлы и пластмассы; шовно-шаговая применяется, как правило, для сварки пластмасс и синтетических тканей. В отличие от непрерывной шовной сварки, шовно-шаговая выполняется частями с перемещением свариваемых материалов на шаг сварки. При этом каждая очередная часть шва перекрывает предыдущую.

Ультразвуковая сварка (точечная, шовная и шовно-шаговая) может выполняться ручным или механизированным методом. При ручной сварке инструмент перемещают в процессе работы относительно свариваемого изделия по всей длине соединения. При механизированной ультразвуковой сварке, наоборот, перемещают свариваемые материалы относительно инструмента.

Кинематические схемы ультразвуковой сварки металлических материалов и пластмасс с элементами колебательных систем и их амплитудной характеристикой приведены на рис. 64. Распространена сварка по схеме с расположением колебательной системы в вертикальной плоскости, т. е. когда амплитуда A колебаний инструмента и рабочее усилие p направлены перпендикулярно свариваемым плоскостям (рис. 64,а). Здесь кроме основного концентратора, соединенного с преобразователем, имеется дополнительный сменный концентратор, являющийся одновременно сварочным инструментом. Он может быть выполнен ступенчатой или экспоненциальной формы. Такая схема применяется в станках для точечной сварки металлических материалов и пластмасс.

В схеме по рис. 64,б сварка осуществляется за счет продольно-поперечных колебаний сварочного инструмента резонансной длины. Станки, выполненные по этой схеме, применяют, как правило, для точечной сварки металлических материалов. Часто применяются аналогичные колебательные системы, имеющие сварочный инструмент-наконечник (не резонансной длины), выполненный зацело с концентратором-инструментом. Здесь, как и в других схемах, колебательная система расположена в горизонтальной плоскости. Рабочее усилие при этом

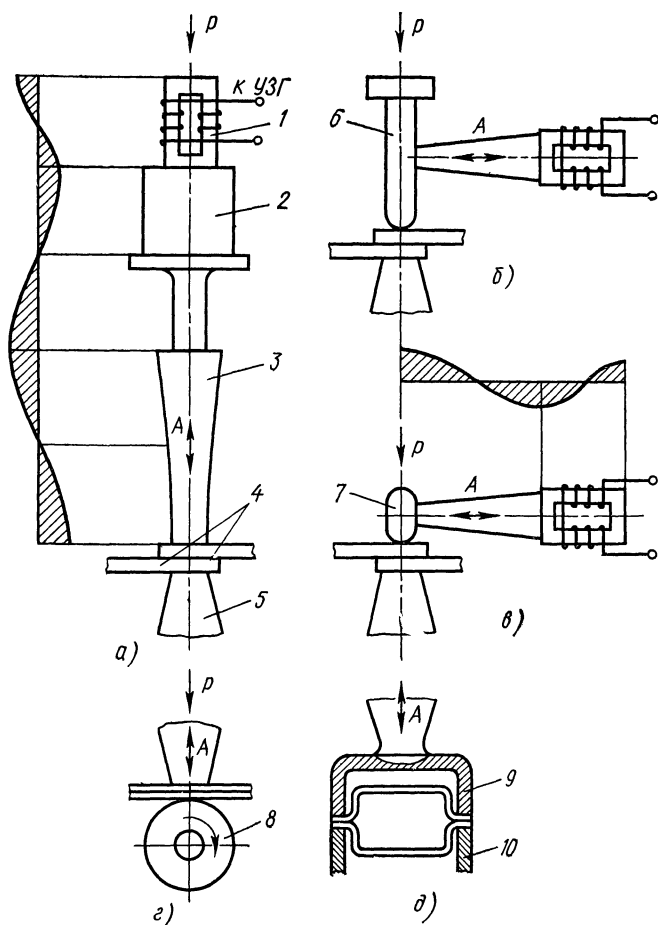


Рис. 64. Кинематические схемы ультразвуковой сварки:
 1 — преобразователь, 2 — основной концентратор, 3 — сменный концентратор, 4 — свариваемые детали, 5 — опора, 6 — сварочный инструмент, 7 — резонансный ролик, 8 — вращающийся опорный ролик, 9 — полый инструмент, 10 — полая опора

часто создается за счет шарнирного крепления акустической головки с колебательной системой, т. е. ее поворотом в вертикальной плоскости.

Шовная ультразвуковая сварка (рис. 64, в) выполняется резонансным роликом, который зачастую является сменным элементом колебательной системы. Амплитуда колебаний ролика-инструмента направлена параллельно свариваемым плоскостям, т. е. в горизонтальной плоскости. Шовную сварку ленточных и рулонных материалов (фольга, пленки) осуществляют, применяя дополнительный опорный ролик (рис. 64, г) при вертикальном расположении колебательной системы и амплитуде колебаний инструмента, направленной перпендикулярно свариваемым плоскостям.

При сварке некоторых изделий из пластмасс применяют полые инструменты и опоры (рис. 64, д). Здесь соединение происходит сразу по всему контуру деталей; достигается сплошность шва и герметичность сборки.

Получили практическое применение и другие кинематические схемы ультразвуковой сварки, однако принципиального отличия от рассмотренных они не имеют, а лишь дополняются теми или иными элементами. Во всех схемах ультразвуковой сварки опоры могут выполняться резонансными; это во многих случаях улучшает условия сварки и повышает надежность соединения.

Точечная, шовная и шовно-шаговая сварка выполняются при непрерывном или прерывистом перемещении соединяемых деталей относительно сварочного инструмента или последнего относительно деталей. Сварка полыми контурными инструментами (рис. 64, д) производится без перемещения деталей и инструмента (исключая, конечно, рабочую подачу), т. е. одновременно по всему контуру соединения.

Основными параметрами ультразвуковой сварки являются амплитуда и частота колебаний рабочего торца инструмента, величина рабочего давления, время сварки, в течение которого ультразвуковые колебания воздействуют на свариваемые детали и скорость сварки, что является критерием при шовной сварке, т. е. при длительном воздействии ультразвука на соединяемые детали. Эти параметры оказывают основное влияние на производительность и качество процесса.

Для большинства свариваемых ультразвуком материалов увеличение амплитуды колебаний рабочей части

инструмента приводит к повышению прочности соединения. Однако при амплитудах свыше 10—12 мкм у некоторых металлических материалов может происходить разрушение сварного соединения. При сварке металлов малых толщин (до 0,1 мм) обычно используют амплитуды порядка 5 мкм. Ультразвуковая сварка некоторых пластмасс качественно выполняется при больших амплитудах (до 30 мкм и более).

Величина рабочего усилия в зоне сварки различна для различных материалов и их толщины. Это усилие находится в тесной зависимости от величины амплитуды колебаний; с ростом последней возрастает и величина рабочего усилия. Оптимальное рабочее усилие, при котором прочность соединения отвечает предъявляемым требованиям, определяют обычно опытным путем на образцах. Последние подвергают испытаниям по установленной методике. При точечной сварке, например, многих металлических материалов (алюминий, медь, никель и др.) толщиной до $0,2 \div 0,5$ мм максимальное рабочее усилие доходит до 60 кгс; при сварке материалов большей толщины это усилие может составлять 150—450 кгс.

Время сварки во многом зависит от свойств свариваемых материалов амплитуды колебаний инструмента и величины рабочего усилия. В общем виде для многих металлических материалов оно может составлять от 0,5 до 4—6 с при точечной сварке. Скорость шовной ультразвуковой сварки полимерных пленок доходит до 0,08—1,0 м/с. Сварка полыми ультразвуковыми инструментами сразу по всему контуру соединения занимает большее время (до 30 с и более).

Частота ультразвуковых колебаний при сварке колеблется в довольно широких пределах, что объясняется, очевидно, спецификой соединения некоторых материалов особенно малых толщин (0,05—0,1 мм). Наиболее распространены частоты 18 и 22 кГц $\pm 7,5\%$; однако известны станки, работающие на частоте колебательной системы 60—75 кГц. Повышенные частоты применяют, в частности, при сварке микротолщин. Так, при ультразвуковой сварке алюминиевых выводов диаметром 0,1 мм с золотыми пленками, напыленными на ситалловые подложки, применение частот 40 и 60 кГц позволяет компенсировать необходимое при этом пониженное значение амплитуды колебаний сварочного инструмента и обеспечить высокую прочность соединения.

Ультразвуковая пайка и лужение. Сущность происходящих при этих процессах явлений заключается в том, что в результате ультразвуковых колебаний возникают периодические растяжения и сжатия частиц расплавленного припоя и в нем происходят кавитационные процессы. Ударные импульсы, являющиеся результатом кавитации припоя, воздействуют на паяемые или облуживаемые поверхности и интенсивно разрушают окисную пленку. Частицы этой пленки, обладающие меньшей плотностью, чем припой, всплывают на поверхность последнего.

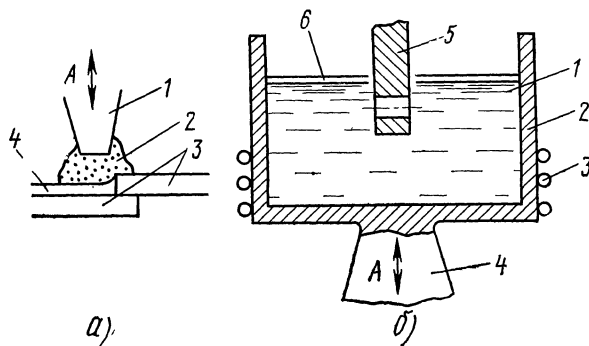


Рис. 65. Схемы ультразвуковой пайки (а) и лужения (б)

При ультразвуковом лужении отпадает необходимость применения флюсов.

При пайке колебания инструмента 1 (рис. 65,а) возбуждают кавитационные явления в расплавленном припое 2. В результате этих явлений в зоне соединения происходит разрушение окисной пленки 4 и отделение загрязнений; соединяемые поверхности деталей 3 очищаются от них и интенсифицируется их пайка. В связи с тем, что разрушение окисной пленки происходит локально, в узкой зоне, инструменты перемещают при пайке по всей длине соединения.

При лужении (рис. 65,б) ультразвуковые колебания сообщают ванне 2 с припоем 1, куда погружают облуживаемую деталь 5. Ванна соединяется с концентратором 4 колебательной системы или выполняется зацело с ним. Плавление припоя в ванне осуществляется нагревателем 3. В результате тех же, что и при пайке, явлений (кавитации) окисные пленки 6 разрушаются и всплы-

вают на поверхность припоя. Освобождается чистый металл облуживаемой детали; обеспечивается быстрое и качественное лужение.

Применяют ультразвуковое лужение, когда механические колебания сообщают не припою, а непосредственно самой детали. Однако широкого распространения такой способ не получил из-за сложности реализации и необходимости изготовления специальных колебательных систем. Большие поверхности подвергают ультразвуковому лужению с ручными устройствами — «пистолетами», перемещая их в процессе работы по всей площади лужения.

На эффективность ультразвуковой пайки и лужения при определенной амплитуде колебаний и частоте в большей мере оказывают влияние величина зазора между рабочим торцом инструмента и поверхностью пайки или лужения и время воздействия ультразвука на припой. Величина этого зазора обычно 0,2—2,5 мм. Время воздействия ультразвука чаще всего подбирается практическим путем; критерием при этом служит качество пайки или лужения. Известно, что для обеспечения оптимальной толщины лужения, равной 0,1—0,2 мм, при указанной величине зазора скорость перемещения ультразвукового инструмента составляет примерно 12—15 см/мин. Лужение окунанием в расплавленный припой выполняют за несколько секунд. Оптимальной скоростью перемещения ультразвукового инструмента при пайке считают 0,8—1,6 см/с.

§ 18. Особенности операций, приспособления и инструменты

Сварка. Ультразвуковой сваркой выполняют различные виды соединений (рис. 66). Сваркой внахлест можно соединять две (рис. 66,а) или несколько (рис. 66,б) деталей, а также профили (рис. 66,в), фасонные (рис. 66,г) и пустотелые (рис. 66,д) детали. При монтаже радиоэлектронной аппаратуры ультразвуковую сварку применяют, например, для соединения цилиндрических деталей с плоскими (рис. 66,е) и торцового соединения проволочными выводами (рис. 66,ж), когда проволочная заготовка подается в зону сварки через отверстие в инструменте или опоре и оплавляется в месте сварки. Сварку различных цилиндрических проводников

можно выполнять при параллельном (рис. 66, з) или крестообразном взаимном расположении. Пустотелые выводы и контакты соединяют с платами (рис. 66, и) профильными инструментами и опорами. Применяют ультразвуковую сварку и для соединений монтажных лепестков с колпачками (рис. 66, к, л).

Перед ультразвуковой сваркой соединяемые поверхности деталей очищают от загрязнений и жировых пленок.

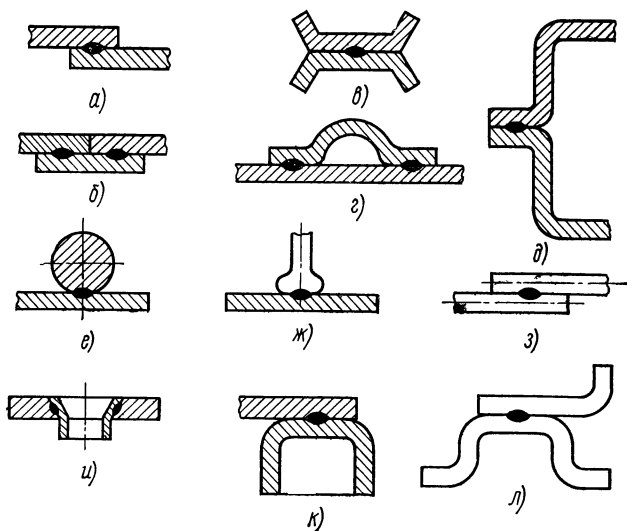


Рис. 66. Соединения, выполненные ультразвуковой сваркой

Эту операцию целесообразно выполнять в ультразвуковых ваннах. В случае невозможности применить ультразвуковую очистку эти поверхности протирают салфетками, смоченными бензином, ацетоном или слабыми щелочными растворами. Ровные и чистые поверхности свариваются лучше.

К особенностям операций ультразвуковой сварки относится содержание рабочего цикла. Рабочий цикл состоит из сжатия свариваемых заготовок под определенным (рабочим) усилием, собственно сварки при включенных ультразвуковых колебаниях, выдержки под рабочим или измененном усилии и освобождения сваренного материала. Время и последовательность исполнения каждого из

указанных элементов рабочего цикла строго увязываются между собой и зависят от вида и свойств свариваемых материалов и акустических параметров процесса (амплитуды колебаний инструмента, частоты и мощности). Правильный выбор рабочего цикла сварки во многом предопределяет качество соединения.

Обычно при ультразвуковой сварке принимается такой цикл. Рабочее усилие прикладывается к свариваемым деталям до включения ультразвука и остается постоянным в течение всей сварки. После некоторой выдержки деталей под нагрузкой включается ультразвук и выполняется сварка. Затем выключают колебания и выдерживают детали в течение определенного времени под нагрузкой; происходит так называемая «проковка», т. е. окончательное формирование неразъемного соединения. Затем нагрузка снимается.

Практикуется, например, при сварке пластмасс изменение указанной последовательности. Вначале включают ультразвук, а затем прикладывают усилие. При этом в результате постепенного касания колеблющегося инструмента свариваемых деталей с поверхностями их интенсивно удаляются загрязнения, прежде чем наступает сварка. Снимается нагрузка после выключения ультразвука. Такой цикл обеспечивает надежное соединение материалов со значительной степенью загрязнения свариваемых поверхностей, однако при этом необходимо с большой точностью регулировать величину и время рабочего усилия.

Также вредно влияет на качество ультразвуковой сварки цикл, при котором колебания инструмента выключаются после нагрузки. При сварке пластмасс по такому циклу можно наблюдать вспучивание в зоне сварного соединения и другие дефекты.

При ультразвуковой сварке металлических материалов, когда направление колебаний инструмента совпадает с плоскостью сварки, колебания могут передаваться свариваемым деталям. Это вредно сказывается на качестве сварки (появляются трещины и другие дефекты). Для предотвращения сдвига деталей при ультразвуковой сварке свариваемые детали необходимо перед сваркой прочно скрепить между собой. Место крепления должно располагаться как можно ближе к зоне сварки. Для этой цели применяют прихваты и струбины с эластичными (резиновыми) зажимными элементами. Удобны быстро-

действующие зажимные устройства (например, пневматические), расположенные вблизи инструмента сварочного станка и являющиеся его элементами. Такие зажимы применены, в частности, при точечной ультразвуковой сварке листовых материалов. После перемещения свариваемых деталей на шаг сварки (расстояние между двумя соседними точками сварки) срабатывает зажим и прочно прижимает детали к опоре. Затем автоматически включаются колебания сварочного инструмента и рабочее усилие — происходит сварка. После заданной выдержки снимаются нагрузка и ультразвуковые колебания, а затем зажим освобождает свариваемые детали для очередного их перемещения.

Такие зажимы предотвращают одновременно проворот деталей во время сварки, что наблюдается при сварке с ультразвуком. Для этих же целей применяют различные сварочные приспособления — кондукторы, которые фиксируют детали относительно друг друга и по отношению к инструменту и также обеспечивают их крепление при сварке. Для ультразвуковой сварки миниатюрных деталей применяют «плавающие» и поворотные столы и другие специальные приспособления.

При сварке крупногабаритных листовых деталей для предотвращения их провисания и облегчения работы оператора рядом со сварочным станком располагают столы — рольганги или другие вспомогательные устройства, если таковые не предусмотрены конструкцией самого станка. Такие устройства применяют, в частности, при шовной, а нередко и точечной сварке.

Большое значение для получения качественного соединения деталей имеет форма рабочей части сварочного инструмента. На рис. 67 показаны наиболее распространенные формы таких инструментов. Инструменты с усеченной сферой (рис. 67, *а*) и конусообразной площадкой (рис. 67, *б*) используют при точечной сварке металлических деталей. Стрежни с конической частью (рис. 67, *в*) и пазом (рис. 67, *г*), направленным вдоль оси привариваемого элемента, применяют при сварке проводников круглого сечения. При вогнутой поверхности рабочего торца (рис. 67, *д*) обеспечивается качественная сварка неплоских элементов соединений, недостаточно устойчивых к сдвигам под воздействием ультразвука. Если на рабочем торце инструмента выполнить поперечную канавку (рис. 67, *е*), то обеспечивается лучшее, чем в дру-

гих случаях, сцепление инструмента с привариваемыми деталями; однако в этом случае уменьшается площадь сварки, так как в зоне канавки соединения не происходит. Относительно толстые плоские детали сваривают инструментами, на рабочих торцах которых выполнены продольно-поперечные (рис. 67, ж) или крестообразные (рис. 67, з) канавки. Хорошее качество ультразвуковой

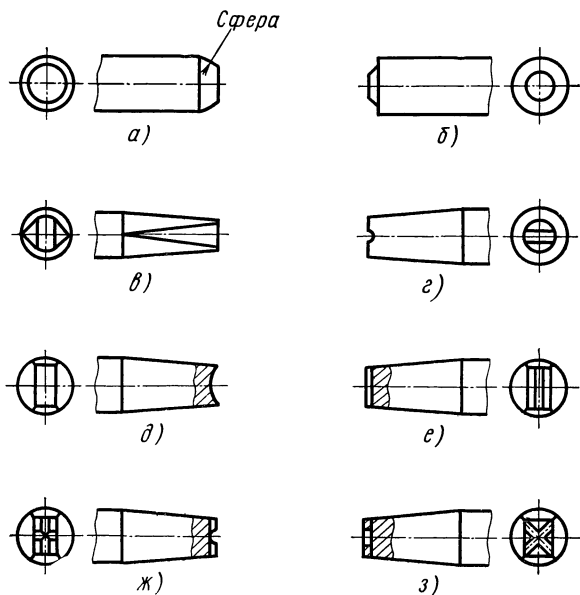


Рис. 67. Форма рабочей части ультразвуковых сварочных инструментов

сварки достигается при использовании инструментов, на рабочем торце которых выполнена насечка. При этом происходит лучшая, чем в других случаях, сцепляемость свариваемых деталей.

В качестве инструментов для ультразвуковой сварки пластмасс применяют резонансные ролики, сварочные стержни — наконечники цилиндрической формы и клинообразной заточки, а также специальные концентраторы-инструменты (рис. 68).

Ножевой концентратор-волновод (рис. 68, а) имеет экспоненциальную или ступенчатую форму сечения. Он

применен для ультразвуковой сварки пластмассовых изделий с длиной шва до 40 мм без перестановки заготовок или инструмента, а также для шовно-шаговой сварки.

Тарельчатый концентратор-инструмент (рис. 68, б) имеет рабочий поясок и сложную форму сечения. Его применяют для ультразвуковой сварки полиэтиленовых

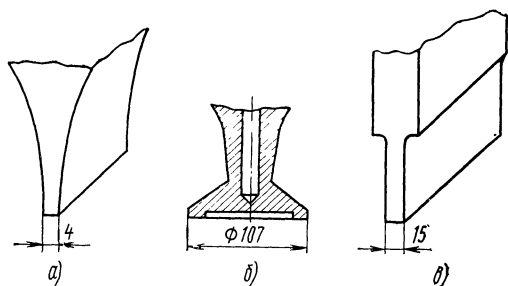


Рис. 68. Ультразвуковые инструменты для сварки пластмасс

банок с пищевыми продуктами. Сварка производится сразу по всему контуру соединяемых деталей. Диаметр рабочей части такого инструмента может достигать до 120 мм при условии соответствующего расчета их профиля.

Ступенчатые ножевые концентраторы-инструменты (рис. 68, в) применяют для ультразвуковой сварки швов длиной до 350 мм за один переход.

При ультразвуковой сварке полых сложногопрофильных деталей из пластмасс применяют опоры, повторяющие форму и размеры укладываемой в нее части контура детали. В качестве таких опор на практике часто применяют частично изношенные матрицы пресс-форм, в которых производилась отливка этих деталей. В частности, такие опоры применяют при ультразвуковой сварке деталей детских игрушек из ударопрочного полистирола.

В качестве ультразвуковых инструментов при этом более целесообразно применять не фасонные концентраторы, рабочий торец которых повторяет форму и размеры свариваемого контура, а так называемые точечные. Последние выполняются с круглой или ножевидной формой сечения рабочей части (см., например, рис. 68, а). Точечные инструменты проще и дешевле в изготовлении, чем фасонные.

Для повышения стойкости сварочных инструментов их изготавливают из износостойких сталей и сплавов. Для сварки металлических материалов применяют инструменты, изготовленные из жаропрочных и твердых сплавов, титана и других материалов. Для ультразвуковой сварки пластмасс применяют инструменты из стали 45, стали 30ХГСА и др. Инструменты из твердых сплавов выдерживают до износа 30 тыс. и более сварок (точечная сварка алюминия).

Нормальное течение процесса ультразвуковой сварки зависит от многих факторов, главными из которых являются: соблюдение установленного режима работы колебательной системы станка при условии полного согласования всех ее элементов, недопущение перегрева сварочного инструмента, соблюдение установленных технологией рабочего давления инструмента и времени сварки, изменение напряжения питающей генератор и станок сети и др. Задачей оператора, работающего на ультразвуковом сварочном станке, является соблюдение установленных режимов сварки; в случае замеченных отклонений оператор должен прекратить работу и сообщить мастеру об этом.

При шовной сварке полимерных пленок оператор также должен следить за непрерывностью процесса, не допуская увода пленки от рабочего инструмента, провисания или слишком большого натяжения ее, приводящих к ее обрыву и браку.

Ультразвуковая сварка получила практическое применение в различных отраслях промышленности, в частности при приварке проволочных и листовых выводов, сварке корпусов алюминиевых конденсаторов, соединении пружин реле из бронзы с серебряными контактами, сварке детских игрушек из пластмассы, сварке рулонных материалов из фольги и полимеров, упаковке лекарственных препаратов и пищевых продуктов и т. д.

Пайка и лужение. Различают два вида пайки и лужения: погружением в расплавленный припой и ручную ручными ультразвуковыми устройствами; в последнем случае ультразвуковой инструмент перемещают по всему периметру пайки или лужения.

Выполнение этих операций особой специфики не имеет. Оператор при этом должен соблюдать установленные технологией температуру разогрева припоя и деталей, время выдержки деталей в расплавленном припое или

скорость перемещения ультразвукового инструмента и другие параметры.

Пайку и лужение погружением выполняют в специальных приспособлениях-кассетах, предварительно закрепив в них паяемые или облуживаемые детали. Обычно в кассеты закрепляют несколько деталей и паяют их поочередным или одновременным погружением. В мелкосерийном производстве при паянии или лужении детали значительных габаритов погружают пинцетами, клещами или другими вспомогательными приспособлениями.

При погружении деталей в расплавленный припой необходимо выдерживать заданный уровень лужения или пайки, если он не обеспечивается конструкцией приспособления или оборудования.

После выдержки детали в расплавленном припое в течение определенного времени ее извлекают из припоя и аккуратно встряхивают над рабочей полостью ванны с тем, чтобы удалить излишки припоя, т. е. не допустить образования наплывов и неравномерного слоя лужения. Для этого лучше использовать механизированные рамки — кассеты, в которых встряхивание деталей обеспечивается механически. В массовом производстве для ультразвукового лужения и пайки применяют специальное оборудование, где все вспомогательные операции механизированы.

При пайке и лужении в ультразвуковых ваннах важно, чтобы руки оператора не находились непосредственно над рабочей полостью ванны с расплавленным припоем, т. е. в зоне горячих испарений.

Пайку и лужение ручным методом выполняют ручными ультразвуковыми устройствами, имеющими вид пистолетов. Для этого разогревают детали на электроплитке или на специальных столах — нагревателях. Ручная пайка и лужение требуют соответствующего опыта, особенно важно соблюдать постоянный зазор между соединяемыми поверхностями (при пайке, рис. 69). Для этого соединяемые детали перед пайкой необходимо в приспособлении прочно скрепить между собой.

При ультразвуковом ручном лужении постоянство зазора между плоскостью лужения и торцом инструмента можно обеспечить, закрепив устройство на какой-либо стойке или в тисках, а облуживаемую деталь плавно перемещать по плоскости электроплитки или другого нагревательного устройства. Если по условиям техноло-

гии необходимо наклонное расположение ультразвукового паяльника (рис. 69, б) или инструмента для лужения, то нужный угол его наклона можно обеспечить теми же приспособлениями (тисками или стойками).

При ультразвуковой пайке применяют инструменты, рабочая часть которых может быть выполнена цилиндром с плоским (рис. 70, а) или клинообразным (рис. 70,

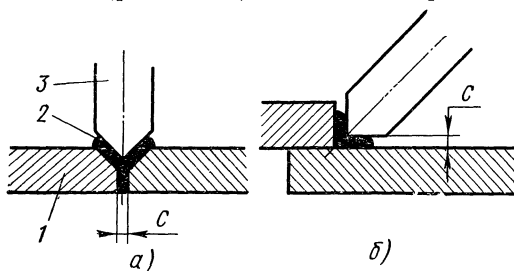
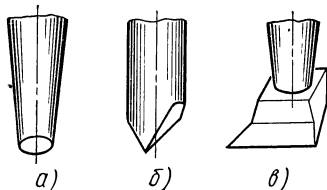


Рис. 69. Схемы ультразвуковой стыковой (а) и нахлесточной (б) пайки:

1 — соединяемые детали, 2 — припой, 3 — инструмент (с — зазор)

Рис. 70. Форма рабочей части ультразвуковых инструментов для пайки и лужения



б) окончанием; последним можно выполнять также ультразвуковое лужение небольших поверхностей. Большие по площади поверхности более производительно лудить ручным методом инструментами, рабочая часть которых выполнена в виде лопатки (рис. 70, в). Соединяются такие насадки с концентраторами паяльников резьбовой шпилькой.

Инструменты для ультразвуковой пайки и лужения изготовляют из красной меди. Как правило, они являются сменными элементами колебательной системы.

Ультразвуковая пайка и лужение относятся к технологическим процессам, выполняемым при повышенных температурах припоя, изделий и инструментов и выделении тепла. Поэтому оператор должен строго соблюдать все меры предосторожности, не допуская попадания го-

рячего припою на незащищенные части тела, одежду и расположенное рядом оборудование. Нельзя также прикасаться во время работы к рабочему инструменту, припою и нагретым изделиям. Нагретые изделия необходимо перемещать пинцетами, захватами и другими вспомогательными приспособлениями.

Качество пайки и лужения контролируют визуально непосредственно на рабочем месте. При этом необходимо обращать внимание на форму сварного или паяного шва и поверхность лужения. Такие дефекты, как трещины, прожоги, наплывы, не допускаются. Лужение должно быть выполнено равномерно по всей поверхности и иметь определенную толщину. При таком контроле практикуется сравнение с эталоном, который заранее контролируется по всем необходимым параметрам в установленном технологией порядке. Визуальному осмотру и сравнительному контролю обычно подвергают 100% изделий. Выборочно качество ультразвуковой сварки, пайки и лужения проверяют в лабораторных условиях, применяя для этого различные методы (например, дефектоскопию). Качество сварки пленочных и других прозрачных материалов можно дополнительно проверить на просвет, применяя для этого сильный источник света.

§ 19. Оборудование

Общая характеристика. В настоящее время созданы и эксплуатируются различные типы ультразвукового оборудования для сварки, пайки и лужения. По назначению оно делится на универсальное и специализированное. Универсальное оборудование позволяет выполнять соединения определенной номенклатуры, как правило, массового производства (например, сварка полимерных пленок). Это оборудование может быть малой (0,01—0,25 кВт), средней (0,4—4,0 кВт) и большой (свыше 4,0 кВт) мощности.

Важным отличием сварочного оборудования является способ передачи рабочего усилия. Наибольшее распространение получили сварочные машины и станки, в которых это усилие сообщается свариваемым деталям перемещением колебательной системы. Вторая группа такого оборудования имеет жестко закрепленную колебательную систему, а рабочее усилие передается свариваемым деталям перемещением опоры.

В табл. 10 приведены краткие технические характеристики некоторых ультразвуковых сварочных машин универсального назначения. Машины типа МТУ предназначены для точечной ультразвуковой сварки, а типа МШУ — для шовной. Кроме этих станков на практике применяются клещи для ультразвуковой точечной сварки металлов толщиной до 0,5 мм. Известны три типа клещей: КТУ-0,1; КТУ-0,4 и КТУ-1,5, мощность которых соответственно 0,1; 0,4 и 1,5 кВт. Известны и ручные сварочные устройства — пистолеты.

Из специализированного оборудования получили практическое применение установки для монтажа проволочных элементов электронных приборов ультразвуковой сваркой (МС-41П2-1; МС-41П3-2; ЭМ-423; УЗП-0,3; УЗМКН-1 и др.). Мощность таких установок колеблется от 0,1 до 0,8 кВт, а частота от 44 до 75 кГц (в допущенных стандартами пределах). Диаметр присоединяемого проволочного элемента от 20 до 160 мкм. Такие установки успешно применяются в радиоэлектронной промышленности для микросварки элементов полупроводниковых приборов и интегральных схем. Они имеют высокую степень механизации таких операций, как подача заготовок, ориентация их относительно сварочного инструмента и между собой и др. В качестве преобразователей в

10. Технические характеристики некоторых машин для ультразвуковой сварки

Характеристика	МТУ-0,4	МТУ-1,5	МТУ-4,0	МШУ-0,6-1У4
Мощность колебательной системы, кВт	0,4	1,5	4,0	0,2—0,7
Рабочая частота, кГц	$22 \pm 7,5\%$	$22 \pm 7,5\%$	$18 \pm 7,5\%$	$22 \pm 7,5\%$
Рабочее усилие, кгс	6—60	15—150	50—560	10—80
Максимальная толщина свариваемого материала, мм	0,2	0,5	1,2	0,1
Габаритные размеры (машины), мм	$1300 \times 660 \times 1200$	$650 \times 390 \times 1400$	$1650 \times 1000 \times 540$	$2200 \times 1200 \times 1800$
Масса (машины), кг	130	82	195	1300

установках для микросварки применяются пьезокерамические и магнитострикционные преобразователи с естественным воздушным или водяным охлаждением. Сварочные устройства такого типа обычно монтируются на специальных столах, входящих в комплекс установки, и имеют встроенный ультразвуковой генератор.

Станки для ультразвуковой сварки изделий и полуфабрикатов из пластмасс выполняют точечную, многоточечную, шовную, контурную и шовно-шаговую сварку. Принципиально их конструкции не отличаются от машин для сварки металлических материалов; в ряде случаев они дополняются различными механизмами и узлами или, наоборот, исключают некоторые из них.

Ультразвуковые сварочные машины и станки в общем виде состоят из следующих основных узлов: источника питания — ультразвукового генератора, сварочной головки с колебательной системой, механизмов и системы передачи рабочего усилия в зону сварки, устройств дозирования времени включения ультразвуковых колебаний. Генераторы сварочных машин могут быть встроенными в станок или смонтированными отдельно. Сварочные головки машин кроме колебательной системы нередко включают технологические опоры и механизмы регулирования положения головки. Системы передачи рабочего усилия в сварочных машинах, как правило, работают от пневматической системы; реже, в машинах малой мощности, этот узел работает с помощью тарированных по весу гирь и системы рычагов. Устройство включения и выключения импульсов ультразвуковых колебаний представляет собой реле времени и соответствующий электрический или механический блок.

В ряде случаев конструкции сварочных станков и машин (особенно специального назначения) дополняются различными механизмами: для автоматической подачи или перемещения свариваемых полуфабрикатов, нанесения защитных и декоративных покрытий, контроля и т. д.

Типовые конструкции. Распространенным оборудованием для ультразвуковой точечной сварки являются сварочные машины типа МТУ (см. табл. 10). По сравнению с другими эти машины имеют большую производительность, высокую стабильность качества сварного соединения и другие эксплуатационные преимущества. Машины этого типа выполнены по одной кинематической схеме;

их узлы унифицированы. Они состоят из сварочного устройства и источника питания — генератора.

Сварочная машина МТУ-0,4 имеет две модификации: для сварки пластмасс и металлических материалов (алюминий, никель, медь, некоторые стали и др.). Сварочное устройство машины МТУ-0,4 для соединения пластмасс приведено на рис. 71, а. Сварная станина соединена со шкафом 7, в котором размещены все элементы электрической и пневматической схем управления работой машины. Шкаф имеет дверцу для доступа к аппаратуре управления; на лицевой его части расположен пакетный выключатель, с помощью которого подается напряжение на аппаратуру электросхемы и генератор.

В консоли 2, жестко связанной со станиной, размещена сварочная головка 1. В последней смонтированы колебательная система 3 и пневмоцилиндр вертикального ее перемещения для передачи рабочего усилия инструмента на свариваемые детали. Колебательная система этой модификации машины (для сварки пластмасс) состоит из магнитострикционного преобразователя и припаянно к нему полуволнового концентратора конической формы с фланцем, расположенным в узле колебательной системы. Этим фланцем система крепится в бачке, куда подается проточная вода для ее охлаждения. На выходном торце концентратора имеется резьба для крепления второго (сменного) концентратора, являющегося одновременно сварочным инструментом. Он может выполняться конической, ступенчатой или другой формы. Его рабочий торец также может иметь различную форму и размеры в зависимости от формы и размеров свариваемых деталей.

На столе 6 машины расположены направляющие, в которых посредством второго пневматического цилиндра, смонтированного в консоли, перемещается в горизонтальной плоскости каретка 5, несущая сменную опору 4. Под воздействием сжатого воздуха каретка с опорой может занимать два положения: рабочее, когда ось опоры совмещена с осью колебательной системы, и загрузочное, при котором опора выдвигается на оператора. Последнее позволяет устанавливать детали для сварки и снимать их после сварки вне зоны рабочего инструмента, т. е. облегчает условия эксплуатации машины. На опоре (или вместо ее) могут монтироваться различ-

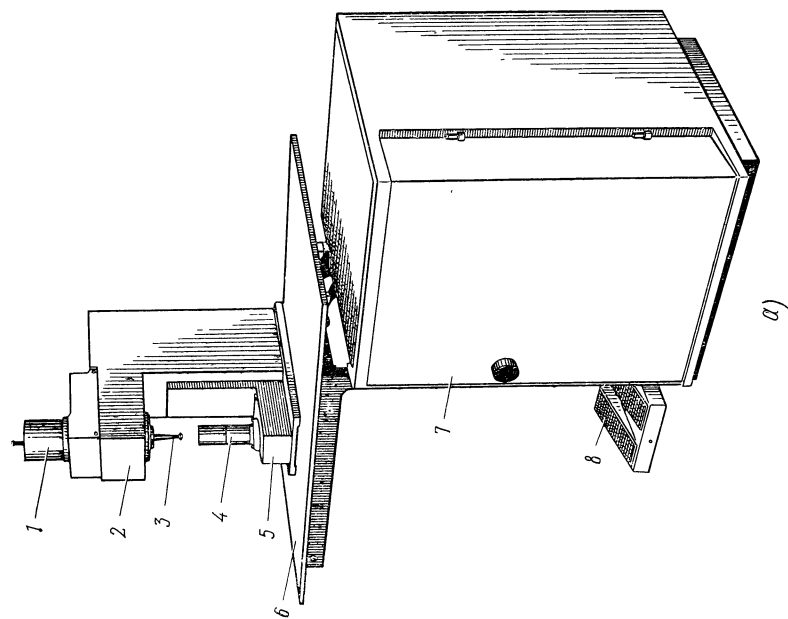


Рис. 71. Сварочное устройство ультразвуковой машины МТУ-0,4:

а — модификация для сварки пластмасс, б — модификация для сварки металлов

ные технологические наладки и приспособления, вплоть до специальных поворотных столов и манипуляторов.

В нижней части станины на кронштейне смонтированы две педали 8. Одна из них управляет вертикальным перемещением инструмента, т. е. обеспечивает сжатие свариваемых деталей под определенной нагрузкой, которая регулируется редукционным клапаном. По истечении времени по циклу «Сжатие» (это время регулируется посредством реле времени) срабатывают элементы электросхемы и автоматически включаются ультразвуковые колебания сварочного инструмента; выполняется цикл «Сварка». Время этого цикла также регламентируется схемой и может регулироваться в нужных пределах.

После выполнения цикла «Сварка» вновь срабатывают элементы электросхемы и выключаются ультразвуковые колебания. Начинается цикл «Проковка», в течение которого свариваемые детали находятся под нагрузкой, т. е. происходит окончательное формирование сварного соединения. Время этого цикла также регулируется с помощью элементов электросхемы. Затем наступает кратковременная пауза, после которой срабатывает пневмоклапан и пневмоцилиндр рабочего усилия. Инструмент перемещается в верхнее положение, освобождая сваренные детали.

Нажатием на вторую педаль машины выдвигается каретка с опорой и сваренными деталями в зону загрузки. Оператор снимает сваренные детали, загружает очередные заготовки и освобождает педаль. Каретка с опорой отходит в рабочее положение. Новым нажатием на первую педаль осуществляют очередную сварку по указанному циклу: сжатие — сварка — проковка — пауза; при освобождении педали цикл прекращается.

В машине предусмотрена электрическая блокировка, предотвращающая возможность срабатывания привода рабочего усилия при выдвинутой каретке, а также перемещение последней при включенном приводе рабочего усилия.

Модификация этой машины для сварки металлических материалов предусматривает иное, чем при сварке пластмасс, размещение колебательной системы и привода рабочего усилия в сварочном устройстве (рис. 71, б). Здесь колебательная система 7 смонтирована на каретке 6, которая штоком 8 соединена с пневмоцилиндром.

ром. Таким образом обеспечивается перемещение в горизонтальной плоскости не опоры, как при сварке пластмасс, а непосредственно самой колебательной системы, которая состоит из аналогичного первой модификации преобразователя и припаянного к нему полуволнового концентратора 9 ножевого типа. К последнему присоединен стержень (сварочный наконечник) 4, преобразующий продольные механические колебания в изгибные. В верхней (рабочей) части стержень имеет наплавку из твердого сплава, которая обеспечивает высокую стойкость при сварке металлов (до 20 тыс. точек). Нижняя часть этого стержня заканчивается буртиком 5, скрепляющим стержень с кареткой.

В верхней части консоли 1 при этой модификации сварочного устройства вместо колебательной системы монтируется пневмопривод 2, шток 3 которого создает рабочее усилие, т. е. осуществляет сжатие свариваемых деталей.

Машины типа МТУ надежны в эксплуатации и удобны в работе.

В настоящее время сварочные машины указанных в табл. 10 типов заменяются новыми. Так, машина МТУ-0,4 заменяется на МТУ-0,4-4У5, а МТУ-1,5 — на МТУ1,5-3У4. Новые модели указанных машин улучшены конструктивно; однако принципиального отличия от прототипов они не имеют.

Удобны при выполнении монтажных сварочных работ ультразвуковые клещи типа КТУ. Известны три типа клещей: КТУ-0,1; КТУ-0,4 и КТУ-1,5. Их краткие технические данные приведены ниже.

	КТУ-0,1	КТУ-0,4	КТУ-1,5
Мощность преобразователя, кВт	0,1	0,4	1,5
Рабочая частота, кГц	$44 \pm 2,3$	$22 \pm 2,3$	$22 \pm 1,65$
Максимальная толщина свариваемых листов, мм	$0,07 + 0,07$	$0,1 + 0,1$	$0,5 + 0,5$

Предназначены они для точечной сварки тонколистового металлического проката; их максимальная производительность — до 60 точек в 1 мин. Конструктивно эти клещи состоят из шкафа с аппаратурой управления, с которым жестко связана стойка, имеющая балку — консоль, несущую узел вертикального перемещения сварочной головки.

Устройство сварочной головки клещей типа КТУ-1,5 показано на рис. 72. Конструкция колебательной системы 9 аналогична системе, примененной в машине МТУ-0,4. Однако концентратор 10 выполнен у клещей другой формы — асимметрично экспоненциальным, заканчивающимся резонансным сварочным наконечником. Аналогичный наконечник имеет прижим 1, который может перемещаться в горизонтальном направлении, т. е. осуществлять прижатие свариваемого материала к наконечнику концентратора. Для этого прижим смонтирован на подвижной тележке 2. Движение тележке сообщается шарнирным рычагом 3 от поршня 6 пневмоцилиндра 7. Пневмоцилиндр жестко укреплен на корпусе 4 преобразователя. В полость этого корпуса по штуцерам 5 подается проточная вода для охлаждения преобразователя.

Приливом 8 головка подвешивается на пружине к узлу ее вертикального перемещения. Включение сварочного цикла производится нажатием кнопки, смонтированной на рукоятке, с помощью которой осуществляется перемещение сварочной головки.

Для точечной сварки пластмасс предназначена ультразвуковая сварочная машина типа МТУ-1,5. На ней можно сваривать полистирол и капролон толщиной до 1,5 мм, а также полиэтилен толщиной до 0,8 мм и другие виды пластмасс. Состоит эта машина из сварочного устройства и ультразвукового генератора УЗГ5-1,6/22.

Сварочное устройство включает акустическую головку с магнитострикционным преобразователем, ступенча-

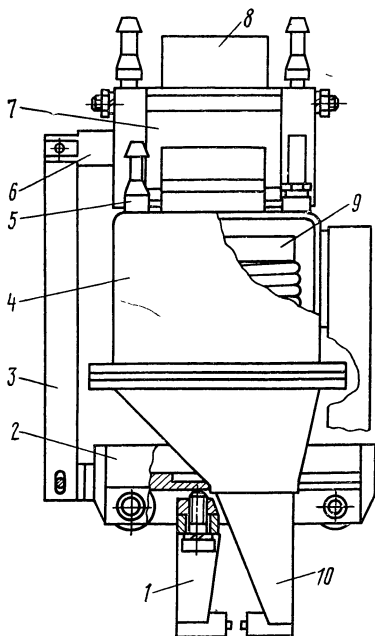


Рис. 72. Конструкция сварочной головки клещей КТУ-1,5

тым концентратором и сменным концентратором экспоненциальной формы, пневмопривод рабочего давления и блоки управления электрической и пневматической аппаратурой. Эта аппаратура обеспечивает автоматическую работу всех механизмов по циклу: сжатие свариваемых заготовок (перемещением акустической головки) между опорой и сменным концентратором-инструментом; включение ультразвуковых колебаний — сварка; проковка при повышенном рабочем усилии; пауза, во время которой акустическая головка возвращается в исходное положение. Включение указанного цикла производится нажатием кнопки, расположенной на лицевой стойке устройства. Если не освобождать эту кнопку, цикл сварки автоматически повторится. Универсальные машины для шовной ультразвуковой сварки металлов могут быть представлены машинами типа МШУ. Их краткие технические характеристики приведены ниже.

	МШУ-0,63	МШУ-1,5	МШУ-4,0
Мощность преобразователя, кВт	0,63	1,5	4,0
Рабочая частота, кГц		$22 \pm 1,65$	
Максимальная толщина свариваемой фольги (медь), мм	$0,035 + 0,035$	$0,3 + 0,3$	$0,5 + 0,5$

Конструктивно эти машины унифицированы. Сварочное устройство машины МШУ-0,63 (новая модель МШУ-0,63-1У4) состоит из станины, на которой жестко закреплена направляющая балка; по последней перемещается в продольном направлении каретка, несущая акустическую головку. Для крепления свариваемой фольги на станине расположен магнитный стол. На станине смонтированы также узлы пневматического и электрического обслуживания, аппаратура управления и система водяного охлаждения колебательной системы. Каретка имеет привод, обеспечивающий ее продольное перемещение по направляющей балке и вращение вокруг своей оси колебательной системы.

Оригинально выполнена колебательная система машины (рис. 73). Она состоит из магнитострикционного преобразователя 4 с припаянным к нему концентратором 2 и сменным резонансным роликом 1, являющимся сварочным инструментом. На концентратор насажен токосъемник 3, контактные кольца которого получают питание через щетки, установленные в корпусе 6, который закрепляется в каретке. Контактные кольца соединены проводниками с обмоткой преобразователя, а щет-

ки — с ультразвуковым генератором через блок питания машины. В корпусе 6 на опорах качения смонтирован вращающийся при работе полый шпиндель 5, передающий вращение колебательной системе. Охлаждающая преобразователь вода подается в полость шпинделя через муфту охлаждения, смонтированную в корпусе.

Универсальным устройством для ручной ультразвуковой сварки алюминиевых деталей является пистолет

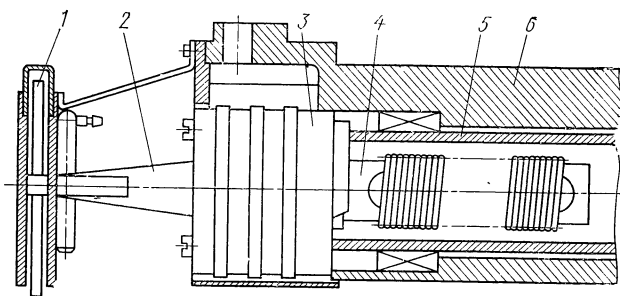


Рис. 73. Акустическая головка сварочной машины МШУ-0,63

УЗСП-0,2-С (рис. 74). Им можно сваривать листовые материалы толщиной до 0,2 мм между собой, а также соединять их с заготовками из однородного металла большей толщины. Для его питания применен генератор типа УЗГ-3-0,4

Технические данные сварочного пистолета УЗСП-0,2-С

Мощность потребляемая, Вт	180—270
Напряжение питания, В	110—120
Резонансная частота, кГц	40—45
Ток подмагничивания, А	2—4
Габаритные размеры, мм	245×140×50
Масса, кг	1,2

Пистолет рассчитан на прерывистый режим работы; длительность включения ультразвука не должна быть более 5 с при периодичности включения не менее 3 с.

Он состоит из двух основных частей: корпуса 1 и ручки 4, выполненных из пластмассы. В корпусе смонтирован акустический трансформатор, выполненный пластиной 2 из нержавеющей стали. На рабочем торце пластины имеется наплавка из твердого сплава. К пластине припаяны два магнитострикционных пакета 3 с обмоткой;

выводы последней соединяются с генератором через микропереключатель 5.

Ручка соединена с корпусом таким образом, что при нажатии на свариваемый материал она перемещается

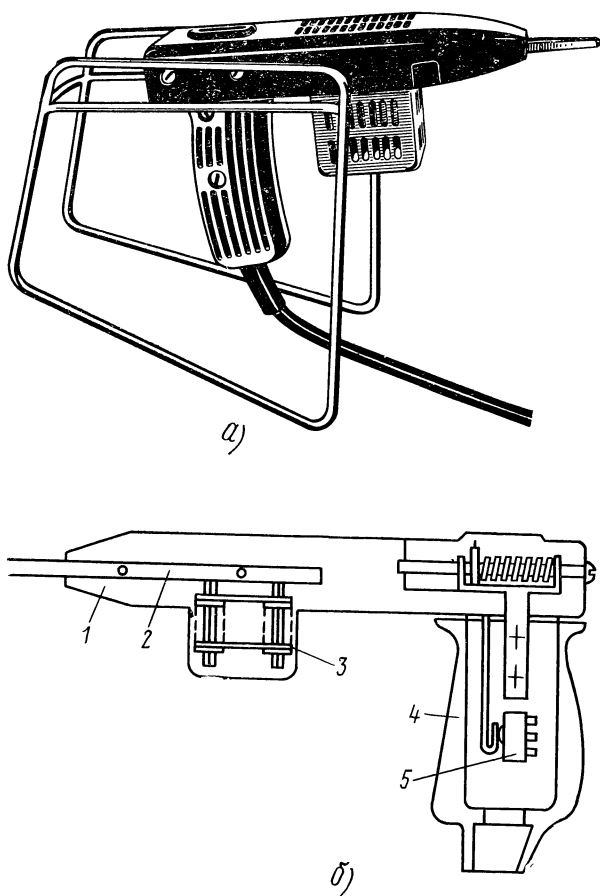


Рис. 74. Ультразвуковой сварочный пистолет:
а — общий вид (с подставкой), б — конструктивная схема

в сторону преобразователей и замыкает контакты микропереключателя, смонтированного в ручке. При этом на обмотки пакетов подается ток возбуждения и ток подмагничивания; производится сварка. Когда оператор прекратит нажатие на свариваемый материал, корпус

под действием смонтированной в нем пружины отойдет в исходное положение и микропереключатель разомкнет цепь питания пакетов.

Специализированное ультразвуковое сварочное оборудование, применяемое в производстве радиоэлектронной аппаратуры, отличается более сложной конструкцией, чем рассмотренное выше — универсальное. Как правило, специализированные сварочные установки имеют ряд дополнительных узлов:

микроскоп для визуального осмотра зоны сварки с целью наблюдения за правильностью ориентирования заготовок и состоянием сварочного инструмента;

механизм подачи проволоки в зону сварки и обрезки ее после приварки свободного торца. В таких механизмах для подачи проволоки применяют вращающиеся ролики, электромагниты и кулачки. Для обрезки устанавливают специальные ножницы, а нередко обрывают проволоку при вращении подающих роликов в обратную подаче сторону;

микроманипуляторы обеспечивают правильную ориентацию свариваемых элементов между собой и по отношению к сварочному инструменту. На такие манипуляторы можно устанавливать различную технологическую оснастку, в которой закрепляют свариваемые элементы. Известны микроманипуляторы рычажного и пантографного типов;

механизмы рабочего давления в оборудовании для ультразвуковой микросварки отличаются высокой чувствительностью и точностью регулировки, надежностью и удобством в работе. Поэтому в указанном оборудовании, как правило, применяют не пневматические, а рычажно-грузовые механизмы рабочего усилия, которое при ультразвуковой микросварке передается с помощью сварочного инструмента;

устройства для подогрева свариваемых деталей или сварочного инструмента; при этом гарантируется высокое качество сварного соединения. Эти устройства включают блоки регулирования температуры подогрева.

Типовым специальным оборудованием для микросварки с ультразвуком является стационарная установка МС-41П2-1, конструкция сварочной головки которой приведена на рис. 75. В направляющих жестко укрепленной на станине стойки 1 поворотом оси с кулачком 3 перемещается в вертикальном направлении корпус 2

головки. Корпус в нужном положении крепится стопором. Корпус колебательной системы 9, состоящей из магнитоострикционного преобразователя и концентратора конической формы, шарнирно укреплен на оси 8.

При нажатии на педаль установки тяга 4 перемещается вниз и поворачивает двуплечий рычаг 12 вокруг оси. Второе плечо рычага воздействует на ролик 11

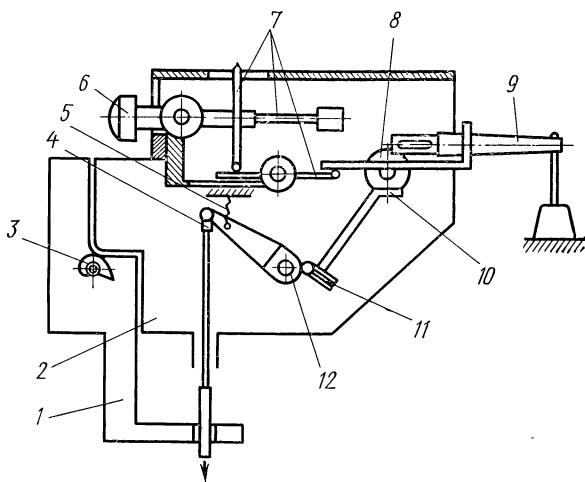


Рис. 75. Конструктивная схема сварочной головки установки МС-41П2-1

кронштейна 10. При освобождении кронштейна от упора (во время поворота рычага) свариваемые детали прижимаются инструментом к опоре за счет передачи усилия от механизма 7. Величина рабочего усилия регулируется рукояткой 6. Подвижные детали механизма рабочего усилия возвращаются в исходное положение (при освобожденной педали) пружиной 5.

Установки этого типа (МС-41П) работают на частоте 66 кГц, обеспечивают длительность импульса сварки от 0,05 до 1,5 с и температуру подогрева стола с заготовками в пределах 50—250° С. Их потребляемая мощность порядка 0,8 кВт; производительность до 1200 сварок в 1 ч.

Известны и настольные ультразвуковые установки для микросварки (типа УЗП). Они обеспечивают приварку алюминиевых выводов диаметром 20—50 мкм

к кристаллам и выводам корпусов. Они оснащены встроенным генератором, микроскопом, специальным столом с манипулятором и могут устанавливаться в пылезащищенном боксе (монтажный стол). Сварка может осуществляться как с подогревом рабочей зоны, так и без него. Производительность этих установок 600—800 сварок в 1 ч.

Для ультразвуковой пайки и лужения применяют паяльники и ванны универсального назначения, а также специальное оборудование, вплоть до многооперационных агрегатов. Устройство типа УП (модели УП-21; УП-42; УП-31 и УП-49) имеют мощность от 20 до 500 Вт и работают на частоте 18—22 кГц. Все они имеют встроенные нагреватели. Применяют также и устройства типа УЗУП, УЗУЛ и УВЛ.

Распространенным оборудованием для ультразвукового лужения и пайки является ванна УЗВЛ-0,4, работающая от ультразвукового генератора УЗГЗ-0,4. Общий вид этой ванны показан на рис. 76. Она имеет стальной стержень, на верхнем торце которого выполнена расточка — рабочая полость; нижний торец этого стержня заканчивается резьбовой частью для соединения его с концентратором. Концентратор припаян к магнитострикционному преобразователю, размещенному в бачке, куда подается проточная вода для охлаждения пакета.

Продольные упругие колебания от преобразователя передаются через концентратор стержню, а соответственно и припою, залитому в его расточку. Поддержание необходимой температуры припоя достигается обогревом верхнего торца стержня. Для этого на нем смонтирован нагреватель, заключенный в каркас с тепловой защитой.

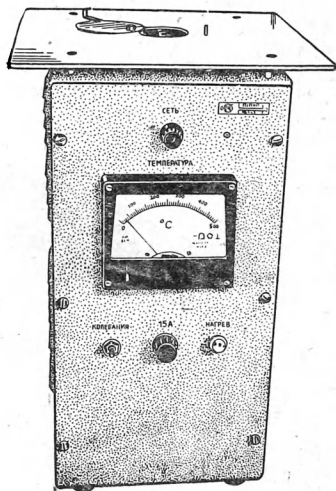


Рис. 76. Ванна для лужения и пайки с применением ультразвука

Указанные элементы ванны размещены в корпусе прямоугольной формы. На лицевой части корпуса расположен прибор для регистрации температуры припоя, лампочка, сигнализирующая о подаче питания на нагреватель, переключатель дистанционного включения и выключения генератора и переключатель питания нагревателя.

Ванна работает на резонансной частоте 20,5—23 кГц; потребляемая мощность ее не более 440 Вт.

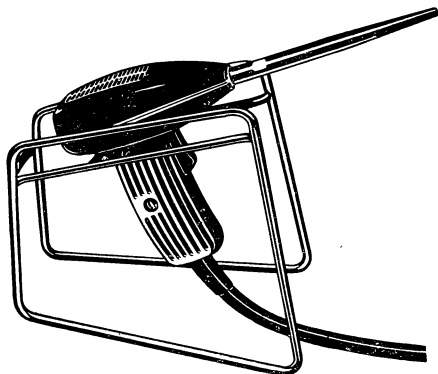


Рис. 77. Ультразвуковой паяльник типа
УЗСП2-0,025

Для ручного ультразвукового лужения и пайки мягкими припоями без применения флюса используют паяльник УЗП2-0,025 (рис. 77). В пластмассовом корпусе смонтирован магнитострикционный преобразователь с припаянным к нему трансформатором колебаний. К трансформатору резьбой присоединяется сменный наконечник конусной формы, в котором смонтирован нагревательный элемент — спираль из нихромовой проволоки. Наконечник изготовлен из меди, обладающей хорошей теплопроводностью. В корпусе размещен выключатель питания магнитострикционного преобразователя, на который воздействует курок. Паяльник кабелем связан с генератором; дополнительный кабель связывает генератор с понижающим трансформатором питания нагревателя паяльника. Охлаждение преобразователя воздушное естественное, через прорези в корпусе. Паяльник в нерабочем состоянии устанавливается на под-

ставку. Он имеет рабочую частоту 39,6—45 кГц; напряжение питания преобразователя 20—35 В, а нагревателя 36—44 В; потребляемая мощность 20—40 Вт; масса его 0,6 кг. В случае износа наконечника или нагревателя их заменяют новыми. Паяльник удобен и надежен в работе.

Особенности эксплуатации. Приступая к эксплуатации ультразвукового оборудования для сварки, пайки и лужения, необходимо учитывать, что работа здесь выполняется в условиях повышенных температур. Поэтому, изучая эксплуатационную документацию, оператору необходимо особое внимание обращать на те разделы, где содержатся соответствующие указания.

При эксплуатации сварочных машин и ручных устройств для пайки и лужения необходимо следить за износом рабочих инструментов, своевременно восстанавливая их или заменяя новыми. Наиболее часто происходит налипание свариваемого материала на рабочую часть сварочного инструмента. Это отрицательно сказывается на качестве сварного соединения. Налипшие частицы свариваемого материала удаляют с рабочей части инструментов зачисткой ее мелкозернистой наждачной бумагой. Рабочую часть инструментов для ручной пайки и лужения восстанавливают общепринятым способом — зачисткой напильниками и наждачной бумагой с последующим обезжириванием.

При восстановлении рабочей части инструментов важно не искажать ее формы и размеров, так как в противном случае нарушатся режимы процессов. Эту операцию выполняют, не снимая инструмента, если последний жестко скреплен с колебательной системой (рис. 78, а). Большого предпочтения с этой точки зрения заслуживают быстросменные сварочные инструменты, которые в случае износа можно легко заменить новыми, а снятые отправить в ремонт (рис. 78, б, в, г).

Об износе сварочных инструментов можно судить по изменению акустических или электрических характеристик колебательной системы, ухудшению качества сварного соединения; появляются характерные блестящие зоны в местах сварки. При сварке пластмасс об этом свидетельствуют подплавление материала, появление гофрировки, пузырей и других дефектов.

При установке сменных инструментов необходимо обеспечить прочное их крепление в колебательной си-

стеме. Посадочную часть их хорошо смазать машинным маслом; это улучшает акустический контакт в месте соединения и сокращает потери.

При пайке и лужении в ваннах в результате воздействия на припой ультразвуковых колебаний происходит его окисление, сопровождающееся энергичным шлакообразованием. Слои порошкообразного шлака из окислов припоя оседают на стенках и особенно дне рабочей

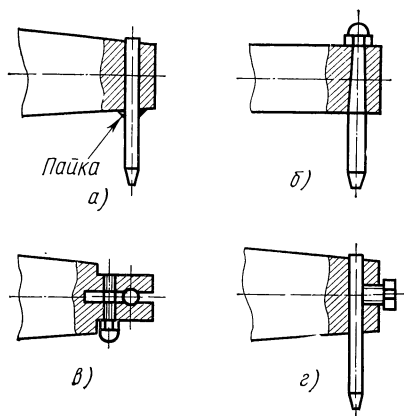


Рис. 78. Варианты крепления ультразвуковых сварочных инструментов:

а — пайкой, *б* — конусное, *в* — зажимами, *г* — стопором

полости ванны, что снижает эффективность ультразвукового лужения и пайки. Поэтому периодически по мере образования таких налетов необходимо сливать припой из рабочей полости ванн и после полного охлаждения чистить ее. Для этого пользуются металлическими скребками и мелкозернистой наждачной бумагой, не допуская царапин и надиров на стенках и дне рабочей полости ванны.

После чистки эту полость облуживают тонким слоем припоя. Температура плавления припоя, которым облуживают полость ванны, должна быть выше температуры плавления припоя, загружаемого в ванну. При соблюдении этого условия припой, которым облужены стенки рабочей полости ванны, будет дольше защищать рабочую полость от разрушения под действием кавитационных явлений и отчасти предотвращать шлакообразование. Так, например, при использовании для лужения деталей из алюминия припоя марки П170 с температурой плавления 170° С рабочую полость облуживают припоем марки П200А, имеющим температуру плавления 200° С. При этом работоспособность ванны типа УЗВЛ-0,4 сохраняется в течение месяца непрерывной эксплуатации, после чего рабочую полость ванны чистят и повторно лудят.

Контрольные вопросы

1. Объясните сущность ультразвуковой сварки, пайки и лужения.
2. Какие вы знаете схемы ультразвуковой сварки?
3. Перечислите способы ультразвуковой пайки и лужения.
4. Назовите элементы цикла ультразвуковой сварки.
5. Какие колебательные системы применяются в оборудовании для ультразвуковой сварки, пайки и лужения?
6. Из каких основных узлов и механизмов состоит ультразвуковая сварочная машина?
7. Назовите разновидности ультразвуковых инструментов для сварки, пайки и лужения.
8. Какое оборудование применяется для ручной сварки, пайки и лужения с ультразвуком?
9. Перечислите способы крепления сменных сварочных инструментов.
10. Как восстанавливают рабочую часть инструментов при сварке, пайке и лужении?

Глава VI

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ И ПРОТИВОПОЖАРНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ

§ 20. Общие положения по охране труда и технике безопасности

В нашей стране придается большое значение охране труда и технике безопасности. Основные положения советского трудового права направлены на обеспечение наиболее благоприятных, здоровых и безопасных условий труда всех работающих. Охрана труда у нас установлена и регламентируется Конституцией, Кодексом законов о труде (КЗоТ), стандартами и инструкциями. Основные положения КЗоТ предусматривают:

1. Надзор, по которому предприятие не может функционировать или переводиться в другие помещения без разрешения органов охраны труда, санитарно-промышленного и технического надзора.
2. Обязанности руководителей предприятий принимать меры к устранению вредных условий труда, предупреждению возможности несчастных случаев и содержанию рабочих мест, участков и цехов в нормальном санитарно-гигиеническом состоянии.
3. Сокращение продолжительности ночных смен, ограничение применения сверхурочных работ, а

также работ в общевыходные и праздничные дни.

4. Ограничения в применении женского и подросткового труда на тяжелых и вредных работах; льготы при определении времени очередного отпуска и его продолжительности, а также сокращенный рабочий день для подростков.
5. Предоставление всем рабочим бесплатной спецодежды, а работающим во вредных условиях — молока (согласно действующим на данном производстве нормативам).

На основе этих положений в отрасли и на предприятиях по согласованию с профсоюзными организациями устанавливаются специальные правила, нормы и инструкции по технике безопасности и производственной санитарии. Такие инструкции обязательны для производств, где эксплуатируются ультразвуковые установки любой мощности и назначения. Эти инструкции утверждаются руководством предприятия; они являются основой при проведении инструктажа всех работающих на предприятии.

Все рабочие, поступающие на предприятия, проходят вводный инструктаж по технике безопасности, производственной санитарии и пожарной безопасности, а затем текущий инструктаж и обучение безопасным приемам работы непосредственно на своем рабочем месте. Вводный инструктаж проводится службой техники безопасности предприятия, а текущий не реже одного раза в квартал — мастером. При переходе на работу с одного оборудования на другое оператор должен получить дополнительный (внеплановый) инструктаж на рабочем месте.

Борьба с травматизмом на производстве невозможна без учета и анализа всех несчастных случаев. Для этого необходимо немедленно сообщить о случившемся бригадир, мастеру или руководителю цеха, где произошел несчастный случай, и принять срочные меры по оказанию первой помощи пострадавшему. На каждый случай травматизма составляется соответствующий акт по установленной форме. Служба техники безопасности регистрирует факт травматизма для анализа его причин и подготовки рекомендаций руководству предприятия по устранению причин его возникновения. Акт должен быть составлен не позднее 24 ч после происшествия.

Задача службы техники безопасности состоит в том, чтобы не допускать травм и профессиональных заболеваний, своевременно принимать меры по их предупреждению и устранению.

§ 21. Техника безопасности при эксплуатации ультразвуковых установок

Общие положения. Ультразвуковые установки, включающие в себя станок и источник питания (генератор), относятся к электротехнологическим установкам, работа на которых выполняется в условиях использования электрического тока, механических движений деталей механизмов, моющих жидкостей, абразивной суспензии, химических веществ, горячих припоев. Кроме этого, работа на ультразвуковых установках связана с распространяемыми в воздушной среде слышимыми и неслышимыми шумами. Все указанные факторы, как специфичные для ультразвуковой обработки, так и общие для любого станочного оборудования, могут оказывать вредное воздействие на организм человека и требуют поэтому принятия общепринятых и специальных мер безопасности.

Практика показывает, что строгое соблюдение правил техники безопасности позволяет полностью исключить случаи травматизма и профессионального заболевания персонала, работающего на ультразвуковых установках. Для этого обязательно знание правил и приемов безопасной эксплуатации ультразвукового оборудования, регулярное инструктирование всего персонала, связанного с работой на этом оборудовании, и проведение других профилактических мероприятий.

Непременным условием допуска к работе на ультразвуковых установках является усвоение оператором руководства по эксплуатации установки. Как правило, в этих руководствах подробно освещаются все правила техники безопасности, специфичные для данного оборудования; соблюдение этих правил гарантирует безопасную работу и предотвращает возможность травматизма.

Ультразвуковые генераторы относятся к оборудованию с высоким электрическим напряжением. Поэтому персонал, занятый их наладкой и ремонтом, должен периодически проходить инструктаж и сдавать экзамены

по правилам техники безопасности при эксплуатации электротехнологических установок напряжением до 1000 В.

Основные правила безопасной работы. Безопасность работы на ультразвуковых установках обеспечивается, как правило, конструкцией оборудования и, безусловно, правильной его эксплуатацией.

Необходимо выполнять следующие основные правила безопасной работы:

1. Не приступать к работе без внимательного изучения устройства, принципа работы оборудования и правил по технике безопасности, изложенных в руководстве и паспорте данного оборудования.

2. Получить соответствующий инструктаж на рабочем месте по эксплуатации данной установки. Подготовить необходимые приспособления и инструменты.

3. Проверить исправность заземления станка и генератора. Проверить исправность всех проводов и правильность положения рубильников на силовых щитах и шкафах.

4. Проверить наличие, исправность и надежность крепления всех щитков, ограждений и кожухов. Не приступать к работе в случае их отсутствия или неисправности.

5. Проверить исправность сигнализации или блокировки, если таковая предусмотрена конструкцией данной установки.

6. Проверить исправность системы подачи и сбора абразивной суспензии. Нельзя работать, если брызги ее могут попасть на руки, одежду или лицо.

7. Ни в коем случае не открывать щитки, дверцы и кожухи оборудования в случае обнаружения неисправностей. Работы по ремонту электротехнологических установок могут выполняться только лицами, имеющими специальное разрешение (допуск) и только после отключения оборудования от электрической сети.

8. Не работать при отсутствии на рабочем месте исправного резинового диэлектрического коврика. Следить за правильностью его положения.

9. Нельзя ощупывать руками колеблющийся ультразвуковой инструмент и концентратор, а также подвергать руки воздействию кавитирующей суспензии, моющей жидкости, расправленного припоя или другой рабочей среды.

10. Нельзя работать на ультразвуковых установках, если в помещении находится один оператор.

11. Не допускать к работающим ультразвуковым установкам посторонних лиц.

12. Не отвлекаться посторонними делами. Следить за исправностью спецодежды и индивидуальных защитных средств (перчатки, наушники и т. д.).

Защита от воздействия шума. Ультразвуковые технологические установки работают, как правило, на низких частотах (18—22 кГц). При частоте 20 кГц эти установки создают слышимый шум. Специальные исследования по воздействию ультразвуковых колебаний на человека показали, что при частоте 20 кГц и звуковом давлении до 100 дБ ультразвук не представляет опасности для организма. Худшие условия наблюдаются на частотах ниже 20 кГц, когда даже при небольшом уровне звукового давления слуховое утомление ощущается через несколько минут непрерывной работы.

Предельно допустимым уровнем звукового давления в 1/3-октавной полосе на среднегеометрической частоте 20 кГц считают 95 дБ.

Для снижения уровня шумов ультразвуковое оборудование выпускается со звукоизолирующими кожухами; при этом должно обеспечиваться плотное прилегание крышек, дверей и других открывающихся элементов. Все отверстия, щели и пазы закрываются звукопоглощающими прокладками. Однако и в этих условиях возможно возникновение специфичного для ультразвукового оборудования шума. Поэтому необходимо применять индивидуальные средства защиты от воздействия шума.

Медицинскими исследованиями доказано, что значительно снизить воздействие ультразвуковых колебаний на оператора можно, применяя плотно облегающую тело спецодежду. Так, например, при работе на ультразвуковом станке мощностью 1,6 кВт интенсивность звукового давления в области живота оператора при плотно облегающей в поясе одежде составляет снаружи одежды 110, а под одеждой 80 дБ. Поэтому размер спецодежды (халаты, куртки, комбинезоны) должен соответствовать размеру одежды оператора. Рукава спецодежды необходимо завязывать или одевать нарукавники, облегающие кисти руки. В этой связи заслуживают предпочтение халаты, имеющие завязки на спине и пояса.

Эффективным средством индивидуальной защиты от шума при работе на ультразвуковых установках служат заглушки-пробки из ультратонкой стекловаты, вставляемые в уши оператора; это ослабляет шум на 20—25 дБ. Навеска стекловаты массой 0,2—0,3 г свертывается в конусообразную заглушку длиной 30 мм и диаметром у основания около 15 мм. Свертывание и вставление заглушек необходимо производить только чистыми руками; хранить их надо в чистой бумаге. Если кожа наружного слухового прохода повреждена, то применение таких заглушек противопоказано.

Другим эффективным средством индивидуальной защиты от шума при работе на ультразвуковых установках с повышенным уровнем звукового давления являются противошумные наушники типа ВЦНИИОТ-2. Такие наушники снижают уровень воспринимаемого шума не менее чем на 40 дБ.

Для снижения вредного влияния ультразвука на руки оператора при контакте оператора с озвучиваемыми заготовками, кассетами и другими приспособлениями применяют резиновые перчатки; еще лучше применять две пары перчаток (нательные — хлопчатобумажные и наружные — резиновые) или резиновые перчатки с хлопчатобумажной подкладкой. При работе с жидкостями нельзя допускать намокания хлопчатобумажных перчаток, так как это снижает изоляцию от вибраций. Тип резиновых перчаток подбирается с учетом условий работы.

Защита от воздействия абразива. Абразивонесущая суспензия, с помощью которой выполняется ультразвуковая обработка твердых хрупких материалов, и другие операции, представляет определенную опасность для операторов. Эта суспензия загрязняет руки и одежду оператора и может явиться причиной травматизма (особенно при попадании в глаза). Поэтому при работе на ультразвуковых станках с принудительной подачей абразивной суспензии в рабочую зону необходимо применять защитные прозрачные кожаные и очки, а также устройства для отсоса абразивной пыли в случае высокой ее концентрации в помещении. Нельзя допускать к работе на ультразвуковых станках лиц, имеющих повреждения кожного покрова рук, попадание на руки абразивной суспензии может привести в этом случае к тяжелым последствиям.

Одним из мероприятий, повышающих безопасность работы с абразивными суспензиями на ультразвуковых станках, является принудительный отсос суспензии через полый инструмент или через предварительно выполненное в заготовке отверстие. Применение принудительного отсоса абразивной суспензии из зоны обработки предотвращает разбрызгивание ее, благодаря чему создаются лучшие по безопасности условия труда. Для защиты рук оператора от воздействия абразивной суспензии применяют резиновые перчатки.

Для приготовления абразивной суспензии не рекомендуется использовать бьющуюся посуду-тару (стеклянную и фарфоровую), так как при неаккуратном обращении может произойти ее поломка и ранение оператора.

§ 22. Производственная санитария

Для соблюдения благоприятных санитарно-гигиенических условий на производстве необходимо соблюдать правила производственной санитарии и гигиены труда.

К самостоятельной работе на ультразвуковых установках не допускаются лица моложе 18 лет.

Работающие на ультразвуковых установках должны обеспечиваться спецодеждой, спецобувью и индивидуальными защитными средствами (противошумные наушники, защитные очки, респираторы и т. д.) согласно установленным нормам. При необходимости соприкосновения в процессе работы с обрабатываемыми заготовками, озвученной жидкостью или другой рабочей средой необходимо применять специальные перчатки.

При засыпке абразивных материалов (особенно мелкозернистых) в помпы ультразвуковых станков для размерной обработки твердых хрупких материалов или тару, где готовится суспензия, необходимо пользоваться респираторами.

На каждом участке ультразвуковой обработки необходимо иметь аптечку, укомплектованную необходимыми медикаментами и перевязочными средствами.

Работающим необходимо соблюдать правила гигиены труда и личной гигиены: проветривать помещение, производить влажную уборку полов, мыть руки горячей водой с мылом перед принятием пищи, следить за ис-

правностью спецодежды и т. д. Прием пищи на рабочих местах операторов ультразвуковых установок недопустим.

К числу профилактических мероприятий по предупреждению вредного влияния ультразвука на операторов относятся:

предварительные медицинские осмотры для выявления противопоказаний к приему на работу по специальности — оператор ультразвуковых установок;

периодические медицинские осмотры (не реже 1 раза в год), способствующие своевременному выявлению предболезненного состояния;

правильный режим питания и отдыха (прием пищи, богатой белками и витаминами, занятия спортом, нормальный отдых);

перерывы в работе с выходом на свежий воздух (или в помещения, где нет функционирующих ультразвуковых установок) через каждые 2 ч на период до 10 мин (по согласованию с профсоюзной организацией и с санкции администрации).

§ 23. Противопожарные мероприятия

Горение — это химическая реакция соединения кислорода воздуха с горючим веществом, сопровождающаяся выделением тепла и света.

Взрыв химически не отличается от горения, но протекает в очень короткие промежутки времени и сопровождается звуковым эффектом.

Источниками горения и взрыва могут быть открытое пламя, кратковременное искрение электропроводных элементов станка (машины, прибора, установки), механическое воздействие и др.

Основные причины возникновения пожаров на производстве:

1. Неисправность отопительных систем и нарушение режимов их работы.

2. Неисправность или перегрузка электрических установок и сетей, а также производственного оборудования.

3. Неисправность вентиляционных систем.

4. Неправильное хранение горючих и легко воспламеняющихся материалов и жидкостей.

5. Образование статического электричества.

6. Небрежное обращение с открытым огнем, нарушение правил внутреннего распорядка предприятия (например, курение и хранение спецодежды в неположенных местах и т. д.).

Производственные помещения, где функционируют ультразвуковые установки, относятся к числу помещений с повышенной пожарной опасностью, в частности, из-за применения в качестве рабочей среды легко воспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ) и других причин. В связи с этим:

к работе на ультразвуковых установках допускаются только лица (рабочие и ИТР), прошедшие соответствующий инструктаж по противопожарным правилам и профилактике;

при выполнении любых работ в помещении должно находиться не менее двух человек;

в помещениях с ультразвуковыми установками категорически запрещается курение;

в помещениях, где применяются ЛВЖ, категорически запрещаются работы с открытым огнем;

при тушении очагов загорания ЛВЖ применять только углекислотные снежные огнетушители. В помещении с ультразвуковым оборудованием должно быть не менее двух огнетушителей типа ОУ-5 или ОУ-8;

все рабочие и ИТР, связанные с работами на ультразвуковых установках, должны уметь пользоваться огнетушителями;

температура рабочей жидкости не должна превышать 50°C при работе с керосином и $60\text{--}70^{\circ}\text{C}$ — при работе с маслом;

категорически запрещается хранение на участках ультразвуковой обработки промасленной спецодежды, запасов ЛВЖ и протирочных материалов, превышающих сменную потребность;

ультра звуковые генераторы необходимо устанавливать в удалении от металлорежущих станков, достаточном для исключения возможности попадания в них стружки и брызг СОЖ, могущих вызвать короткое замыкание, или ограждать их защитными устройствами;

запрещается присутствие в помещениях посторонних лиц, не занятых непосредственной эксплуатацией и ремонтом ультразвукового оборудования, а также другими производственными заданиями;

запрещается применение электропредохранителей, не соответствующих установленному номиналу;

при уходе на обед и после окончания смены обязательно закрывать все форточки, фрамуги и окна, а также выключать силовую и световую электроэнергию.

Обязательное выполнение всех правил внутреннего распорядка, установленных для предприятия, является главным условием обеспечения противопожарных требований.

§ 24. Первая помощь при несчастных случаях

При работе на ультразвуковых установках возможны случаи поражения оператора электрическим током. Оказать первую помощь пострадавшему обязаны работающие рядом с ним сотрудники, бригадир и мастер.

Все работающие на ультразвуковом оборудовании должны быть обучены правилам оказания первой помощи при поражении электрическим током. В первую очередь необходимо освободить пострадавшего от воздействия электрического тока, если он не может сделать это самостоятельно. Для этого необходимо отключить электроснабжение, если это быстро сделать невозможно, то необходимо отделить пострадавшего от токоведущих частей, оттащив его за сухие части одежды. Для самозащиты необходимо пользоваться при этом резиновыми диэлектрическими перчатками или встать на сухой резиновый коврик; в крайнем случае необходимо обмотать руки сухой тряпкой.

До прибытия врача пораженному электрическим током необходимо оказать первую помощь. Не потерявшему сознание человеку необходимо обеспечить покой в течение 2—3 ч (желательно под медицинским наблюдением), а затем доставить его в медицинское учреждение.

Если пострадавший после освобождения его от воздействия электрического тока находится в бессознательном состоянии, но дыхание сохранено, то его необходимо уложить, расстегнуть одежду и создать приток свежего воздуха (открыть окно или воспользоваться кислородным аппаратом). Далее пострадавшему дают нюхать нашатырный спирт, растирают ему грудь, согревают тело. Если это не помогает, то делают искусственное дыхание и массаж груди в области сердца.

Если пострадавший находится в тяжелом состоянии (очень слабое дыхание и сердцебиение), то искусственное дыхание необходимо делать без промедления до тех пор, пока дыхание не станет нормальным.

Одновременно с оказанием первой помощи необходимо вызвать медицинскую помощь, доложив о случившемся санитарному посту, цеховому или заводскому медпункту и администрации.

Небольшие порезы смазывают иодом и перевязывают чистым бинтом. На место легкого ушиба необходимо положить холодный компресс. При тяжелых ушибах пострадавшего отправляют к врачу.

При легких ожогах обожженное место обрабатывают слабым раствором марганцевокислого калия; при тяжелых — обращаются за врачебной помощью.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные задачи техники безопасности.
2. Какие виды инструктажа по технике безопасности необходимо получить оператору ультразвуковых установок?
3. Назовите меры личной предосторожности при работе на ультразвуковых установках.
4. Каковы задачи производственной санитарии?
5. Какие меры противопожарной безопасности необходимо соблюдать при работе на ультразвуковых установках?
6. Как оказать первую помощь при несчастных случаях на производстве?

ЛИТЕРАТУРА

1. Акулин Д. Ф. и др. Основы техники безопасности и противопожарной техники в машиностроении.— М.: Машиностроение, 1966.
2. Бреславец А. В., Хуторенко В. Д. Ультразвуковая очистка радиоаппаратуры.— М.: Советское радио, 1974.
3. Вероман В. Ю., Аренков А. Б. Ультразвуковая обработка материалов.— Л.: Машиностроение, 1971.
4. Волосатов В. А. Ультразвуковая обработка.— Лениздат, 1973.
5. Келлер О. К. и др. Ультразвуковая очистка.— Л.: Машиностроение, 1977.
6. Марков А. И. Ультразвуковое резание труднообрабатываемых материалов.— М.: Машиностроение, 1968.
7. Мечетнер Б. Х. Концентраторы-инструменты для ультразвуковой обработки и способы их крепления.— М.: НИИМАШ, 1965.
8. Попилов Л. Я. Физико-химические основы ультразвуковой очистки.— Л., ЛДНТП, 1966.
9. Пруслин З. М., Смирнова М. А. Радиоэлектроника.— М.: Высшая школа, 1975.
10. Холопов Ю. В. Ультразвуковая сварка.— Л.: Машиностроение, 1972.

СОДЕРЖАНИЕ

	<i>Стр.</i>
Введение	3
Глава I. Сведения о машиностроительном производстве	6
§ 1. Основы производственного процесса	6
§ 2. Структура предприятия и цеха	7
§ 3. Технологический процесс	8
§ 4. Особенности участков ультразвуковой обработки	11
§ 5. Рабочее место оператора	15
Глава II. Сведения об ультразвуке	17
§ 6. Физическая сущность	17
§ 7. Колебательные системы	22
§ 8. Ультразвуковые генераторы	42
Глава III. Ультразвуковая очистка	53
§ 9. Сущность процессов	53
§ 10. Производственные загрязнения и очистные жидкости	56
§ 11. Технология ультразвуковой очистки	60
§ 12. Ультразвуковые очистные установки	74
Глава IV. Ультразвуковое резание твердых хрупких материалов	86
§ 13. Сущность и характеристики процесса	86
§ 14. Абразивная суспензия	95
§ 15. Особенности операций, приспособления и инструменты	98
§ 16. Ультразвуковые станки	124
Глава V. Ультразвуковая сварка, пайка и лужение	146
§ 17. Сущность и характеристики процессов	146
§ 18. Особенности операций, приспособления и инструменты	153
§ 19. Оборудование	162
Глава VI. Техника безопасности и противопожарные мероприятия	179
§ 20. Общие положения по охране труда и технике безопасности	179
§ 21. Техника безопасности при эксплуатации ультразвуковых установок	181
§ 22. Производственная санитария	185
§ 23. Противопожарные мероприятия	186
§ 24. Первая помощь при несчастных случаях	188
Литература	190

Виктор Алексеевич Волосатов

РАБОТА НА УЛЬТРАЗВУКОВЫХ УСТАНОВКАХ

Редактор Е. Б. Коноплева
Художник В. В. Гарбузов
Художественный редактор В. И. Пономаренко
Технический редактор Н. А. Битюкова
Корректор Г. А. Чечеткина

ИБ № 1795

Изд. № М-100. Сдано в набор 18.12.78. Подп. в печать 19.07.79.
Т-10568. Формат 84×108¹/₃₂. Бум. тип. № 3. Гарнитура литературная.
Печать высокая. Объем 10,08 усл. печ. л. 10,04 уч.-изд. л. Тираж 10 000 экз.
Заказ № 1602. Цена 25 коп.
Издательство «Высшая школа»,
Москва, К-51, Неглинная ул., д. 29/14

Московская типография № 8 Союзполиграфпрома при Государственном
комитете СССР по делам издательств, полиграфии
и книжной торговли, Хохловский пер., 7

25 коп.