



МАШПРОМ

Университет технического прогресса
В МАШИНОСТРОЕНИИ

Ф. А. БРОНИН, А. П. ЧЕРНОВ

УДАЛЕНИЕ ЗАУСЕНЦЕВ И ДИСПЕРГИРОВАНИЕ
ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ
УЛЬТРАЗВУКА

Центральное правление
научно-технического общества
машиностроительной промышленности

Университет
технического прогресса в машиностроении

Ф. А. БРОНИН, А. П. ЧЕРНОВ

УДАЛЕНИЕ ЗАУСЕНЦЕВ
И ДИСПЕРГИРОВАНИЕ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ
ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ УЛЬТРАЗВУКА

Допущено научно-методическим советом
в качестве учебного пособия для слушателей
заочных курсов повышения квалификации ИТР
по применению ультразвука в машиностроении

Москва
"Машиностроение"
1978

Бронин Ф. А., Чернов А. П. Удаление заусенцев и диспергирование порошковых материалов при воздействии ультразвука. М., "Машиностроение", 1978. 56 с.

В брошюре изложены современные представления о механизме удаления заусенцев и диспергирования материалов при воздействии ультразвука, показана область их применения в технологических процессах.

Описаны конструкции ультразвуковых установок для снятия заусенцев и диспергирования порошковых материалов. Даны рекомендации по выбору технологических сред и изложены типовые ультразвуковые процессы снятия заусенцев и диспергирования порошков.

Табл. 10, ил. 20, список лит. 6 назв.

Председатель научно-методического совета
заочных курсов повышения квалификации ИТР
по применению ультразвука в машиностроении
д-р техн. наук проф. А. И. Марков

Научный редактор канд. физ-мат. наук
А. М. Мишкевич

ВВЕДЕНИЕ

Одним из достижений ультразвуковой техники является разработка технологии и создание оборудования для снятия заусенцев и сглаживания острых кромок на поверхностях деталей, а также для диспергирования порошковых материалов. Использование ультразвука для этих целей имеет важное значение при производстве разнообразных приборов.

Детали, применяемые в приборостроении и точном машиностроении, требуют особо тщательной отделки поверхностей, удаления заусенцев и скругления острых кромок. Эти операции плохо поддаются механизации и автоматизации, очень трудоемки. В настоящее время существует много способов, позволяющих удалять заусенцы с различных деталей, а также полировать их поверхности с целью уменьшения микронеровностей. К основным из них относятся: обработка абразивными кругами и металлическими щетками, сухая и мокрая галтовка в барабанах, химическая и гидроабразивная обработка, вибрационная и электрогидравлическая обработка и др.

В связи с широким развитием технологии получения изделий из порошковых материалов проблема получения тонких и коллоидных порошков приобрела важное значение. В процессах порошковой металлургии при введении в порошок основного спекаемого материала высокодисперсных тугоплавких окислов повышается качество получаемого продукта. В машиностроении важное значение имеют высокодисперсные твердые смазки. В приборостроении мелкодисперсные суспензии применяют для приготовления межвитковой изоляции витых магнитных сердечников. При повышении дисперсности суспензии можно наносить более тонкий слой межвитковой изоляции, что увеличивает коэффициент заполнения металлом и улучшает электромагнитные свойства сердечников.

Диспергирование порошковых материалов основывается на механических, термических и электрохимических методах

измельчения. Каждый из них имеет свою область применения. Однако наиболее приемлемым методом получения мелкодисперсных порошков следует считать ультразвуковой метод измельчения, основанный на кавитационном разрушении твердых тел. Он наиболее эффективен при измельчении материалов с исходными размерами частиц ≤ 20 мкм. В этом случае можно измельчить частицы порошка до размеров 1 мкм в течение сравнительно короткого времени (10–20 мин).

В настоящее время указанный метод можно использовать только в тех случаях, когда не требуется обработки больших объемов материала, так как единовременная загрузка ультразвукового оборудования не превышает 1 кг порошка.

Эффективность удаления заусенцев и диспергирования порошков в ультразвуковом поле определяется эрозионным действием ультразвуковой кавитации, создаваемой высокоамплитудными источниками колебаний в рабочей жидкости. При этом эрозионную активность ультразвуковой кавитации можно увеличить в 10 раз и более, если в рабочей жидкости создать избыточное давление сжатым газом либо за счет гидравлического напора от насосной установки.

В брошюре обобщен опыт использования ультразвука для удаления заусенцев и диспергирования порошковых материалов. В ней даны рекомендации по выбору оптимальных технологических режимов, описано разработанное и внедренное в производство ультразвуковое оборудование, действие которого основано на использовании эффекта усиления кавитационной эрозии за счет создания избыточного давления в рабочей жидкости.

1. МЕХАНИЗМ УДАЛЕНИЯ ЗАУСЕНЦЕВ И ДИСПЕРГИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ В УЛЬТРАЗВУКОВОМ ПОЛЕ

При распространении в жидкости мощных ультразвуковых колебаний наблюдается кавитационная эрозия (разрушение) твердых тел. Явление кавитации (разрыва сплошности жидкости) определяется соотношением прочности данной жидкости на разрыв и давления в ультразвуковой волне.

В обычной воде при нормальных условиях имеется значительное количество пузырьков, заполненных парами воды и растворенными газами. Например, в водопроводной воде после отстаивания ее в течение 10–20 мин в 1 см^3 содержится примерно 10^2 пузырьков радиусом 10^{-2} мкм, а также имеются

пузырьки больших радиусов. Причем с увеличением радиуса пузырьков их количество убывает. При радиусе ≈ 100 мкм в 1 см^3 их содержится 10^{-4} . При наличии таких неоднородностей значительно снижается прочность воды и она способна разрываться в тех местах, где есть пузырьки, при отрицательных (растягивающих) давлениях $1-10 \text{ кгс/см}^2$ (теоретическая прочность воды $10^3-10^4 \text{ кгс/см}^2$). Такие давления в жидкости легко создаются при возбуждении в ней ультразвуковых колебаний. Эти колебания распространяются в воде со скоростью $1,4 \cdot 10^5 \text{ см/с}$, причем в каждой точке ее объема давление изменяется по гармоническому закону с высокой частотой (например, 210^4 Гц). Поэтому жидкость испытывает растяжение (давление понижается по сравнению с равновесным) в отрицательный полупериод колебаний либо сжатие в положительный полупериод. В отрицательный полупериод под действием внутреннего давления пара и газа размеры пузырька увеличиваются, пока давления в окружающей жидкости и в пузырьке не сравняются. Затем в положительный полупериод колебаний, когда давление в воде возрастает, образовавшаяся полость стремительно (время $\approx 10^{-5} \text{ с}$) захлопывается. При этом в воде возникает ударная волна, давление в которой составляет 10000 кгс/см^2 . На расстоянии двух-трех радиусов пузырька давление в волне падает до равновесного давления в жидкости. Такое поведение множества пузырьков в воде под действием ультразвука является кавитацией.

В результате действия таких импульсов давления (ударов) на твердую поверхность происходит множество актов микроразрушения, приводящих к эрозии поверхности твердых тел.

Эрозия пропорциональна концентрации пузырьков в воде, причем последняя возрастает в 10^4 раз за время одного периода колебаний и затем длительно сохраняется постоянной.

Особенностью процесса эрозии (разрушения) заусенца является его избирательность: в первую очередь разрушается место соединения заусенца с деталью и острая кромка заусенца; на гладкой поверхности детали не обнаруживается следов кавитационной эрозии. Это происходит потому, что на границе заусенец-деталь лучше удерживаются кавитационные пузырьки; граница, как и острая кромка, является слабым местом, где в процессе изготовления деталей создаются области концентрации напряжений, возникают микротрещины и другие поверхностные дефекты, способствующие ускоренному кавитационному разрушению металла. Таким образом, острые кромки разрушаются, скругляются и заусенцы отламываются.

Кавитационную эрозию можно существенно увеличить, если в рабочей жидкости создать избыточное по сравнению с атмосферным статическое давление. Оптимальное ее значение для большинства ультразвуковых установок, применяющихся для снятия заусенцев, равно 3–6 кгс/см². Если при этих условиях в жидкость добавить абразивные частицы, то наряду с кавитационным поверхностным разрушением твердых тел в кавитационной области их поверхность будет интенсивно обрабатываться абразивными частицами, находящимися во взвешенном состоянии. При работе ультразвукового излучателя в жидкости возникают акустические потоки. Скорость движения жидкости в них и конфигурация потоков могут быть различными. Перемещающиеся под действием акустических течений абразивные частицы подобно микрорежущему инструменту срезают микронеровности поверхности обрабатываемого материала. Отдельные частицы абразива, попадая в зону действия импульсов давления, возникающих при захлопывании кавитационных полос, приобретая высокие скорости, могут производить дополнительные разрушения за счет прямого удара частицы о поверхность обрабатываемой детали.

При атмосферном давлении добавка абразивных частиц в кавитирующую жидкость не дает эффекта при удалении с деталей микронеровностей и заусенцев.

Механизм разрушения твердых тел в ультразвуковом поле исследовали с помощью скоростной киносъемки со скоростью 3000 кадров в секунду.

Экспериментальная установка для проведения киносъемки показана на рис. 1. В качестве источника 1 ультразвуковых колебаний применен магнитострикционный преобразователь типа ПМС-15А-18. Резонансная частота преобразователя 18 кГц. Излучателем служит инструмент 2 полуволновой длины, в узле смещения которого (примерно посредине) закреплена прозрачная герметичная камера 3 из органического стекла.

Исследования проводили в воде. Амплитуда колебаний излучателя составляла 10 мкм. Объектом исследований служили пластинки из органического стекла, на кромках которых имелись заусенцы переменного сечения высотой до 2 мм. Пластинку неподвижно закрепляли на расстоянии 5–7 мм от торца излучателя. Киносъемку проводили при нормальном и повышенном избыточном давлении 5 кгс/см² в камере 3, создаваемом сжатым газом через укрепленный на крышке 4 штуцер 5.

Покадровый анализ кинопленок позволил установить, что кавитационные пузырьки сосредотачиваются в месте соединения

заусенца с пластинкой. При атмосферном давлении пульсации пузырьков не приводят к разрушению заусенцев. С повышением избыточного давления до 5 кгс/см^2 заусенец на модели разрушается за 2–3 с.

Особенностью снятия заусенцев в звуковом поле является избирательность этого процесса, которая объясняется меньшей механической прочностью основания заусенца, что связано с концентрацией напряжений, микротрещинами и другими поверхностными дефектами. Кроме того, на стыке заусенец–деталь создаются наиболее благоприятные условия для сосредоточения кавитационных пузырьков, которые удерживаются на микронеровностях поверхности. У основания заусенца кавитационные пузырьки как бы зажаты между поверхностью детали и поверхностью заусенца. Благодаря этому именно здесь большая часть энергии, возникающей при захлопывании кавитационных пузырьков, передается твердой поверхности, что обуславливает отрыв заусенцев.

Во время ультразвуковой обработки детали движутся в жидкости, увлекаемые акустическими потоками.

Движение деталей в звуковом поле исследовано при нормальном и повышенном статическом давлении с использованием киносъемки со скоростью 24 кадра в секунду. Объектом исследования служили детали часового и приборного производства.

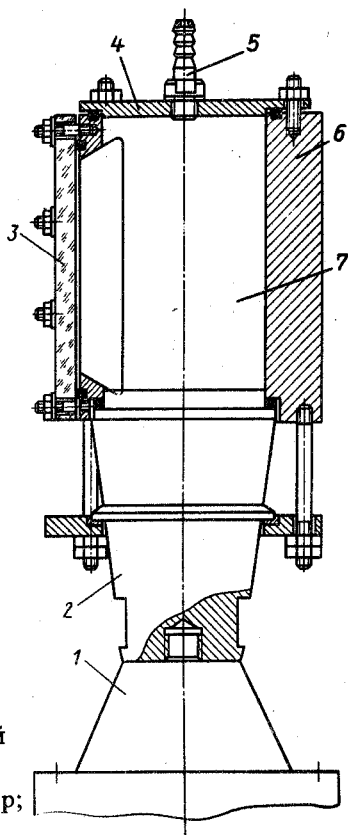


Рис. 1. Экспериментальная установка для проведения киносъемки под статическим давлением: 1 - трансформатор упругих колебаний преобразователя ПМС-15А-18; 2 - инструмент; 3 - камера из оргстекла; 4 - крышка; 5 - штуцер; 6 - корпус; 7 - рабочий объем

На рис. 2 и 3 показаны отдельные стадии движения деталей, сфотографированные высокоскоростной кинокамерой (время экспонирования одного кадра $2 \cdot 10^{-6}$ с). При нормальном давлении вследствие удара о торец излучателя детали перемещаются почти по вертикали, поднимаясь на небольшую высоту (рис. 2).

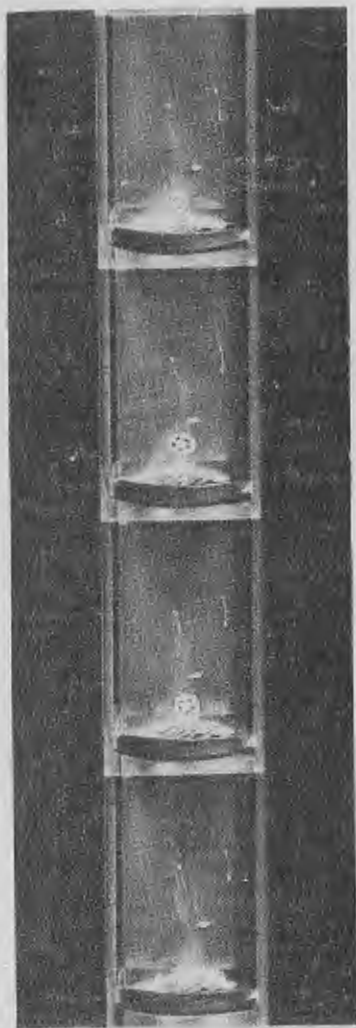


Рис. 2. Кинограмма движения деталей в звуковом поле при нормальных условиях

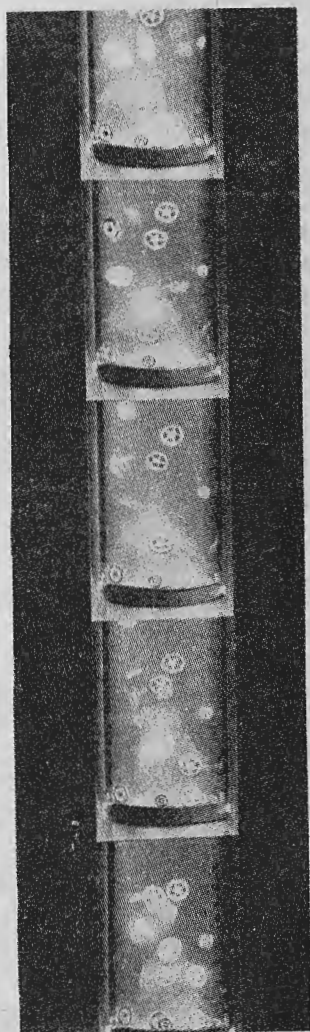


Рис. 3. Кинограмма движения деталей в звуковом поле при избыточном давлении 5 кгс/см^2

При повышении избыточного давления до 5 кгс/см^2 детали начинают передвигаться по сложным траекториям, в ряде случаев не касаясь поверхности излучателя. При этом скорость движения и высота подъема возрастают в несколько раз, что обусловлено мощными акустическими потоками.

Скорость акустических течений в жидкостях определяли при избыточном статическом давлении.

Скорости потоков находим по скоростям движения стальных шариков различного диаметра ($0,66; 0,98; 2,44 \text{ мм}$), помещенных в кавитирующую жидкость. В качестве рабочей жидкости использовали дистиллированную воду, глицерин и смесь воды с глицерином.

Траектории движения шариков в этих жидкостях при разных избыточных статических давлениях ($0,5; 10 \text{ кгс/см}^2$) зафиксированы с помощью скоростной киносъемки со скоростью 650 кадров в секунду.

Характерные траектории движения шариков в различных жидкостях при различных статических давлениях показаны на рис. 4-6, где по оси абсцисс отложено безразмерное расстояние от центра излучателя до стенки цилиндрической камеры R/R_0 (R_0 - радиус излучающей поверхности, R - расстояние от места нахождения шара до оси камеры), а по оси ординат - высота подъема шариков. Цифрами на кривых указаны номера шариков, наблюдавшихся в опыте.

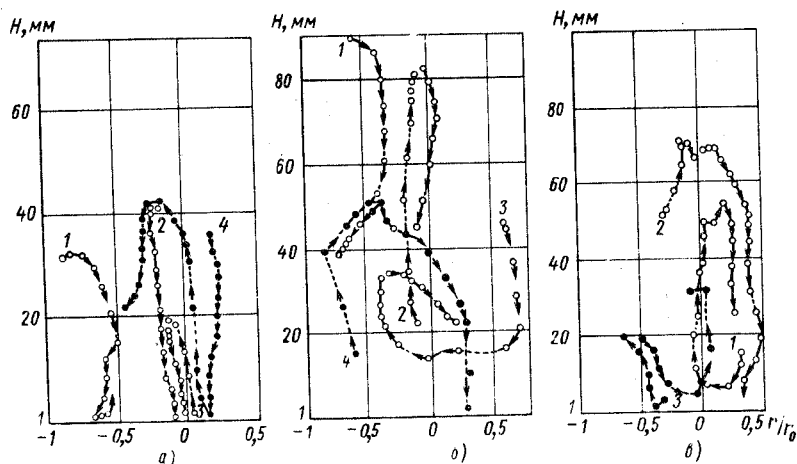


Рис. 4. Траектории движения шаров в воде при избыточном давлении 0 (а), 5 (б) и 10 кгс/см^2 (в)

Анализ графиков и кинокадров высокоскоростной (съемки) позволяет отметить ряд характерных особенностей движения шариков в воде. При нормальном давлении траектории шариков диаметром 2,48 мм (темные точки) близки к прямолинейным. Шары диаметром 0,66 мм (светлые точки) несколько отклоняются в сторону от прямолинейного движения особенно при движении вверх. Перемещение шаров происходит в основном вследствие удара их о торец излучателя.

Повышение избыточного давления до 5 кгс/см^2 , а затем до 10 кгс/см^2 (рис. 4–6) сопровождается резким изменением траектории движения шариков особенно при их движении вверх. В ряде случаев шарики движутся по петлеобразным траекториям и длительное время удерживаются во взвешенном состоянии, не касаясь торца излучателя.

Замкнутые траектории движения шариков и соответствующие линии тока акустических потоков занимают объем высотой приблизительно $\lambda/2$, где $\lambda = \frac{c}{f}$ длина ультразвуковой волны в данной жидкости ($\lambda = \frac{c}{f}$), c – скорость звука в жидкости; f – частота ультразвуковых колебаний.

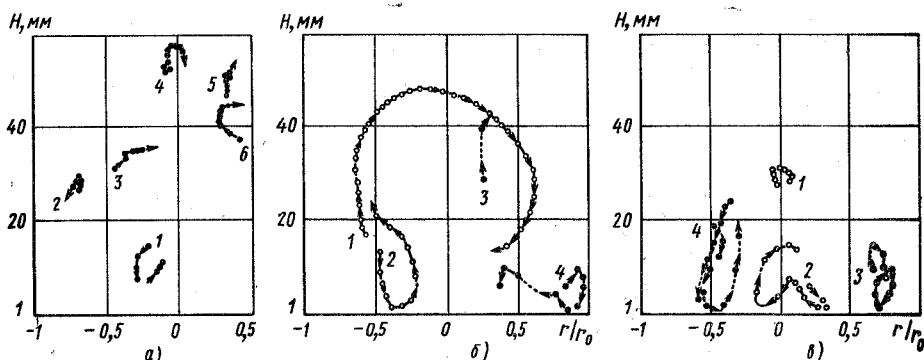


Рис. 5. Траектории движения шаров в глицерине при избыточном давлении 0 (а), 5 (б) и 10 кгс/см^2 (в)

Результаты измерений скоростей движения шариков диаметром 0,98 мм в различных кавитирующих жидкостях при разном статическом давлении приведены в табл. 1.

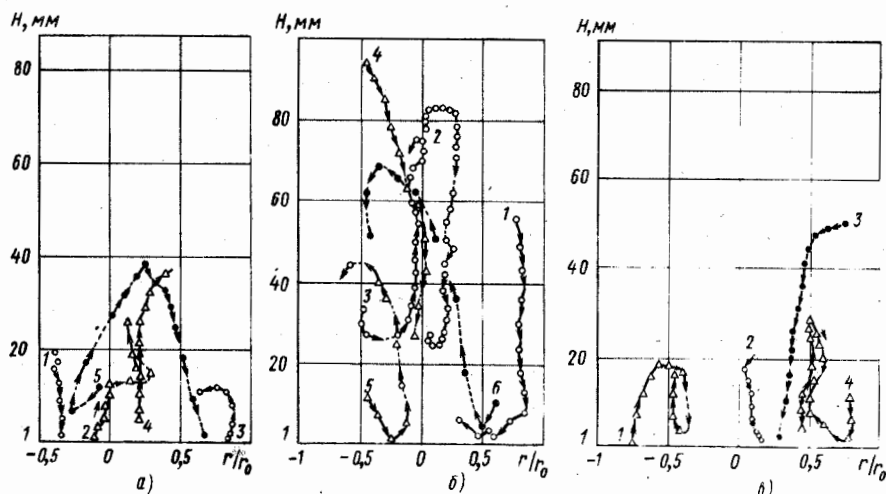


Рис. 6. Траектории движения шаров в водно-глицериновой смеси (1:1) при избыточном давлении 0 (а), 5 (б) и 10 (в) кгс/см²

1. Средние скорости шаров в кавитирующей жидкости

Среда	Значения скорости (см/с) при избыточном давлении, кгс/см ²					
	0		5		10	
	$\bar{V} \downarrow$	$\bar{V} \uparrow$	$\bar{V} \downarrow$	$\bar{V} \uparrow$	$\bar{V} \downarrow$	$\bar{V} \uparrow$
Вода	<u>35</u>	<u>23</u>	<u>66</u>	<u>75</u>	<u>38</u>	<u>82</u>
	35	40	68	77	80	41
Вода-глицерин (1:1)	<u>71</u>	<u>47</u>	<u>51</u>	<u>76</u>	<u>36</u>	<u>50</u>
	60	77	50	71	45	44
Глицерин	<u>14</u>	<u>9</u>	<u>17</u>	<u>25</u>	<u>31</u>	<u>17</u>
	12	17	35	30	31	36

Примечания: 1. Стрелками показано направление движения шариков относительно вертикали.

2. Приведенные скорости не являются скоростями акустических потоков, так как кроме потоков на шарики действует сила тяжести и сила гидродинамического сопротивления.

3. В числителе указана скорость шаров по центру, в знаменателе – по периферии.

Анализ кинокадров движения шариков (см. рис. 4-6) и расчета скоростей показывает, что при повышенном избыточном давлении наблюдаются повторяющиеся резкие изменения средней скорости перемещения шариков, тем более значительные, чем дальше шарик удален от поверхности излучателя. При нормальном давлении изменение скорости протекает более плавно, на отдельных участках скорость шариков становится постоянной, причем протяженность участков с постоянной скоростью больше при давлении, равном нулю, и в более вязкой среде. Наибольшие изменения скорости движения происходят на расстоянии $\lambda/2$ от границы раздела жидкость-газ. При повышенном избыточном давлении в жидкости видны кавитационные зоны. По высоте столба жидкости возникает несколько зон кавитации, так как в жидкости образуется стоячая волна. С ростом избыточного давления эти зоны становятся хорошо заметными.

Полученные результаты позволяют делать некоторые замечания по выбору технологических режимов ультразвуковой обработки применительно к рассматриваемому процессу. Чем выше скорость акустических потоков, тем выше поднимаются детали и, следовательно, меньше их плотность на единицу объема рабочей камеры вблизи торца излучателя. При этом детали гораздо меньше заслоняют друг друга (экранирующий эффект), а распределение кавитационных пузырьков по объему камеры становится более равномерным. Следовательно, детали подвергаются интенсивной ультразвуковой обработке по всему объему камеры. Если в рабочую камеру добавить абразивные частицы, то мощные акустические потоки, возникающие в кавитирующей жидкости при повышенном статическом давлении обеспечат взаимное перемещение не только деталей, но и абразивных частиц. Поэтому происходит гидроабразивное истирание заусенцев и в первую очередь их острых кромок.

Таким образом, разрушение острой кромки заусенца происходит вследствие срезания ее частичками абразива, а основание заусенца разрушается за счет кавитационной эрозии. При этом площадь сечения заусенца (всегда увеличенная у основания), выравнивается по всей его высоте. Очевидно, что роль гидроабразивного разрушения проявляется тем сильнее, чем значительнее разрушен заусенец у основания.

Исходя из приведенных результатов исследований, можно заключить, что основными факторами, обеспечивающими удаление заусенцев, является их кавитационная эрозия при одновременном перемещении деталей акустическими потоками. Действие этих факторов усиливается при действии дополнительного

статического давления и введении в жидкость частиц абразива. Следует подчеркнуть, что порог кавитации (акустическое давление, соответствующее возникновению кавитации) и ее эффективность зависят от свойств жидкости, в частности от ее вязкости. Эффективность кавитации ниже в вязких жидкостях (глицерин и его смеси с водой).

Следовательно, можно рекомендовать два метода снятия заусенцев в ультразвуковом поле.

Первый метод основан на эффекте гидроабразивного истирания острых кромок в рабочей жидкости с абразивными частицами при создании в этой жидкости ультразвуковой кавитации.

В основу второго метода положен эффект кавитационного разрушения оснований заусенцев. Поэтому обработку проводят в жидкости без абразивных частиц. Однако в этом случае для усиления разрушения оснований заусенцев обработку целесообразно производить в химически активных средах.

Действие химически активных сред основано на избирательности процесса травления. Наиболее интенсивное растворение металла проходит там, где имеются остаточные механические напряжения поверхности и прежде всего в месте соединения заусенца с деталью. При этом основание заусенца подтравливается и прочность его соединения с деталью уменьшается. Кроме того, при травлении поверхности детали выделяется водород. Пузырьки водорода являются зародышами кавитации, захлопывающимися непосредственно на поверхности. Это увеличивает кавитационную эрозию заусенцев. Наводороживание поверхностного слоя металла может также приводить к его охрупчиванию. В результате облегчается механический отрыв заусенца в условиях ультразвуковой кавитации.

Следует отметить, что удаление заусенцев с деталей в химически активных растворах можно производить и в обычных ультразвуковых ваннах без избыточного давления.

Рассмотрим ультразвуковое диспергирование порошков.

Механизм диспергирования порошковых материалов в ультразвуковом поле обусловлен целым рядом явлений, главными из которых являются кавитация и потоки, возникающие в рабочей жидкости.

При захлопывании кавитационных полостей в жидкости от места захлопывания распространяется ударная волна сжатия, максимальная амплитуда давления в которой может достигать нескольких тысяч килограмм-сил на квадратный сантиметр. Так как вслед за ударной волной всегда следует волна с отрицательным давлением, то на частицы, находящиеся в жидкости, будут действовать растягивающие напряжения, которые и при-

водят к их разрушению. Интенсивность кавитационного воздействия ослабевает с увеличением расстояния от излучателя вследствие рассеивания и поглощения ультразвуковой энергии. Давление в этой волне спадает до нуля на расстоянии, равном двум-трем диаметрам захлопнувшейся полости. Поэтому большую роль в процессе диспергирования играют потоки, которые способствуют интенсивному перемещению частиц порошка в объеме жидкости. Следует подчеркнуть, что наиболее эффективно диспергирование хрупких материалов с исходным размером частиц < 20 мкм.

Для повышения эффективности ультразвукового диспергирования порошковых материалов следует усиливать действие кавитации и скорость потоков. Это может быть достигнуто за счет увеличения избыточного статического давления в рабочей жидкости. Однако значение избыточного давления надо устанавливать в зависимости от амплитуды колебаний торца излучателя ξ . Для расчета оптимального избыточного статического давления можно использовать соотношение

$$P_{ст} = 0,4 P_{акуст}, \quad (1)$$

где $P_{акуст} = \rho c \omega \xi$, здесь ρc — акустическое сопротивление жидкости (ρ — ее плотность; c — скорость звука в жидкости); $\omega = 2\pi f$ (f — частота ультразвуковых колебаний); ξ — амплитуда колебаний торца излучателя. Если давление больше или меньше вышеуказанного, то эффективность кавитации снижается.

2. ВЫБОР ИСТОЧНИКОВ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ ДЛЯ УСТАНОВОК, РАБОТАЮЩИХ ПРИ ПОВЫШЕННОМ СТАТИЧЕСКОМ ДАВЛЕНИИ

Источники ультразвуковых колебаний, предназначенные для установок, работающих при повышенном статическом давлении, должны отвечать следующим требованиям:

- 1) иметь достаточно равномерное по площади излучателя звуковое поле;
- 2) обеспечивать большие амплитуды колебаний излучающей поверхности ($\xi > 10$ мкм), т.е. высокий уровень звукового

давления ($\Delta 7-10 \text{ кгс/см}^2$) и удельной акустической мощности во всем рабочем объеме;

3) иметь излучающую поверхность, позволяющую обрабатывать большие объемы;

4) материал излучающего элемента должен обладать высокой стойкостью к кавитационной эрозии либо должна быть обеспечена простота замены элемента.

Для возбуждения колебаний в жидкости в промышленности широко распространены магнитострикционные преобразователи типа ПМС-6М. На их основе выпускаются ультразвуковые ванны для различных технологических целей. Преобразователь типа ПМС-6М, хотя и имеет большую излучающую поверхность, не может быть использован в качестве источника ультразвуковых колебаний для установок, работающих при повышенном статическом давлении. Главным недостатком является сравнительно малая амплитуда колебаний его квадратной диафрагмы размером $300 \times 300 \text{ мм}$ ($\xi \leq 5 \text{ мкм}$). Распределение амплитуды по диафрагме неравномерное: наибольшая амплитуда в центре, в месте припайки магнитострикционного пакета (двигателя) к диафрагме, а к периферии ее значение уменьшается до $\xi \leq 1 \text{ мкм}$. При работе под избыточным давлением это приводит к снижению коэффициента использования преобразователя, так как технологический эффект можно получить только в центральной части диафрагмы, а на остальной поверхности кавитация не возникает [здесь нарушено условие (1)].

Магнитострикционный преобразователь типа ПМС-15А-18 наиболее пригоден для использования в ультразвуковых установках, работающих при повышенном статическом давлении. Преобразователь имеет номинальную мощность 4 кВт и резонансную частоту 18 кГц. Он состоит из двух основных частей: активного элемента — двигателя и припаянного к нему пассивного элемента — трансформатора упругих колебаний. Двигатель выполнен в виде пакета и собран из штампованных пластин, изготовленных из пермендюра. Трансформатор упругих колебаний, передающий колебания от двигателя к инструменту, имеет вид усеченного конуса и изготовлен из стали 45. Двигатель передает колебания трансформатору упругих колебаний, к которому с помощью шпильки может быть прикреплен съемный инструмент.

Преобразователь ПМС-15А-18 имеет акустическую обратную связь (АОС), которая обеспечивает автоматическую подстройку частоты электрических колебаний при изменении резонансной частоты системы преобразователь-инструмент за счет

изменения акустической нагрузки, т.е. рабочей среды, соприкасающейся с излучающей поверхностью.

Преимуществом такого преобразователя является значительная амплитуда колебаний (≥ 15 мкм), равномерно распределенная по торцу трансформатора упругих колебаний. Это обеспечивает формирование областей развитой кавитации по высоте рабочего объема жидкости.

Недостатком преобразователя является то, что он обеспечивает озвучивание относительно небольшого рабочего объема, который ограничен диаметром торца инструмента (≤ 120 мкм).

Техническая характеристика преобразователя ПМС-15А-18

Номинальная мощность, кВт	4
Расчетная резонансная частота, кГц.....	18
Номинальное напряжение, В	440
Диаметр выходного торца, мм	60
Амплитуда колебаний, мкм, не менее	15

Промышленные кольцевые ультразвуковые преобразователи также отвечают предъявленным требованиям.

Известно, что интенсивность ультразвука в жидкости может быть значительно увеличена за счет его фокусирования. Для этого поверхности преобразователя придают форму сферы или цилиндра. В таких системах интенсивность ультразвуковых колебаний нарастает по мере движения от излучающей поверхности к фокальной области, т.е. появляется возможность создать повышенную интенсивность звука внутри цилиндра или сферы. Важно также, что кавитация у поверхности фокусирующего излучателя отсутствует, т.е. на ее образование не тратится звуковой энергии и не происходит разрушение поверхности излучателя.

Промышленные кольцевые (цилиндрические) магнитострикционные преобразователи применяют для интенсификации химических процессов и очистки труб.

Промышленность выпускает цилиндрические кольцевые преобразователи типа ЦМС-18 и ЦМС-8 (табл. 2). Они выполнены в виде кольцевых никелевых пластин, набранных в пакет; внутрь пакета запрессован стакан из коррозионно-стойкой стали.

С целью выбора источника ультразвуковых колебаний для установок, работающих при повышенном статическом давлении,

исследованы энергетические характеристики магнитострикционных преобразователей, предназначенных для интенсификации технологических процессов в жидкостях (удаление заусенцев и диспергирование трудноизмельчаемых материалов).

Объектами исследований являлись магнитострикционные стержневые преобразователи типа ПМС-15А-18 и кольцевые преобразователи типа ЦМС-18 и ЦМС-8.

2. Техническая характеристика преобразователей типа ЦМС

Параметр	ЦМС-18	ЦМС-8
Номинальная мощность, кВт	2,5	4,0
Расчетная резонансная частота, кГц	18	8
Номинальное напряжение, В	350	400
Диаметр стакана, мм	70	150
Амплитуда колебаний цилиндрической стенки стакана, мкм	6-7	18
Рабочий объем, см ³	1000	5500

Преобразователи сравнивали по акустической мощности и интенсивности ультразвука в рабочем объеме при различных статических давлениях в нем. Акустическую мощность измеряли путем калориметрирования. В табл. 3 приведены данные для преобразователей типа ПМС-15А-18 и ЦМС.

Анализ данных табл. 3 показывает, что интенсивность ультразвука в рабочем объеме увеличивается при изменении статического давления и достигает максимальных значений при 4-5 кгс/см² для преобразователей ЦМС-18 и ПМС-15А-18, для преобразователя ЦМС-8 при давлении 3-4 кгс/см².

Наибольшая интенсивность ультразвука обеспечивается преобразователем типа ПМС-15А-18. Однако в фокусирующих преобразователях типа ЦМС в зоне, расположенной по оси цилиндрического излучателя, интенсивность звука намного выше средней, указанной в табл. 3.

Полученные данные позволяют сделать дополнительные выводы о роли избыточного статического давления в жидкостных процессах ультразвуковой технологии. Так, регулируя избыточное статическое давление, можно увеличить акустическую мощ-

ность, отдаваемую преобразователем в нагрузку без повышения потребляемой электрической мощности.

Для установок, работающих под избыточным давлением, целесообразно использовать колебательные системы с концентраторами (преобразователи типа ПМС-15А-18) и кольцевые цилиндрические преобразователи типа ЦМС-8. Преобразователи

3. Акустическая мощность в рабочем объеме и интенсивность ультразвука для преобразователей типа ПМС-15А-18 и ЦМС при изменении статического давления

Тип преобразователя	Давление, кгс/см ²	Акустическая мощность		Интенсивность, Вт/см ²
		отдаваемая в нагрузку, Вт	удельная, Вт/см ³	
ПМС-15А-18	1	600	0,7	6,5
	2	750	0,87	8,2
	3	800	0,93	8,7
	4	1250	1,45	13,6
	5	1150	1,34	11,5
	6	950	1,1	10,5
	7	850	0,99	9,3
ЦМС-18	1	970	2,43	3,8
	2	1094	2,73	4,3
	3	1200	3,03	4,7
	4	1580	3,96	6,2
	5	1492	3,74	5,9
	6	1300	3,25	5,1
	7	1050	2,62	4,1
ЦМС-8	1	1900	0,475	1,75
	2	2200	0,55	2,04
	3	2560	0,64	2,37
	4	2320	0,58	2,15
	5	2140	0,535	1,97
	6	1800	0,45	1,67
	7	1400	0,35	1,31

типа ПМС-18 не нашли широкого применения, так как они не имеют преимуществ перед установками с преобразователями ПМС-15А-18. Рабочий объем этих преобразователей примерно одинаков, но амплитуда колебаний излучающей поверхности преобразователя ПМС-15А-18 больше. Соответственно он обеспечивает большую интенсивность звука в рабочем объеме.

3. УСТАНОВКИ ДЛЯ СНЯТИЯ ЗАУСЕНЦЕВ

По типу конструкций установки для снятия заусенцев бывают с вертикальным и горизонтальным расположением рабочей ванны. В установках с вертикальным расположением ванны ультразвуковой излучатель расположен в ее донной части. Под действием гидродинамических потоков, возникающих при ультразвуковой кавитации, детали непрерывно перемещаются в процессе обработки, что способствует ускорению процесса снятия заусенцев. Так как восходящие гидродинамические потоки не могут переносить детали с большой массой, то в установках с вертикальным расположением камеры не обрабатывают детали массой > 5 г. Обычно эти установки снабжаются высокоамплитудными колебательными системами со стержневыми магнитострикционными преобразователями типа ПМС-15А-18. Для получения большой плотности акустической энергии, необходимой для создания мощных гидродинамических потоков и развитой кавитации, рабочий объем ванн обычно составляет 1-2 л. Одновременно загружают не более 200 г деталей.

Установки с горизонтальным расположением рабочей ванны снабжаются специальными средствами для перемещения деталей в жидкости. Поэтому в таких установках можно обрабатывать детали массой > 5 г. Передача ультразвуковых колебаний в рабочую ванну осуществляется через ее стенки. Оптимальным вариантом в конструкции подобных установок является рабочая ванна в виде внутреннего стакана в кольцевом цилиндрическом магнитострикционном преобразователе, имеющая торцовые крышки. В этом случае ультразвуковые колебания излучает вся поверхность стакана, причем по оси симметрии ванны происходит их фокусирование. В этих установках можно обрабатывать детали массой ≤ 25 г с единовременной загрузкой 1,5-2,0 кг.

Среди установок с вертикальным расположением рабочей ванны наибольшее распространение получила установка УЗВД-6. Конструкция рабочей ванны показана на рис. 7.

Корпус ванны 1 (рис. 7) выполнен из коррозионно-стойкой стали в виде цилиндра, в который помещен водоохлаждаемый

сменный стакан 6. Рабочий объем ванны образован торцом инструмента 7, внутренней стенкой стакана 6 и крышкой 4 ванны. Крышка ванны съемная, подача сжатого воздуха для создания избыточного давления в ванне осуществляется через штуцер 2. Ванна также оборудована штуцерами 5 для входа и выхода воды, охлаждающей корпус стакана. Для промывки камеры предусмотрено душевое устройство 3. Инструмент 7 соединен посредством шпильки с преобразователем 8.

Ванна со звукоизоляционным кожухом закреплена на пульте управления. Она имеет возможность поворачиваться на угол 120° с помощью поворотного устройства.

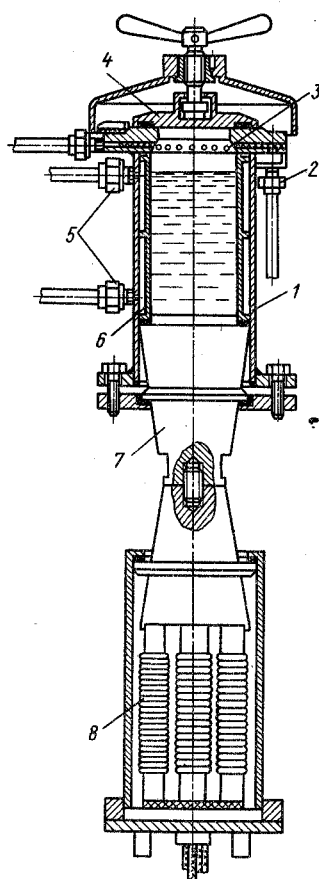


Рис.7. Конструкция рабочей ванны установки УЗВД-6

Работа на установке производится следующим образом. Открывают крышку 4, в рабочий объем засыпают детали и заливают рабочую жидкость. Крышку 4 закрывают, через штуцер 2 в ванну подают сжатый газ, обеспечивающий избыточное давление и включают ультразвуковые колебания. После окончания цикла обработки избыточное давление в ванне автоматически сбрасывается. Крышку ванны открывают и ручным поворотным устройством камеру переводят в горизонтальное положение. Включают душевое устройство 3 и потоком воды вымывают детали из ванны в специальную емкость.

Среди установок с горизонтальной рабочей ванной наибольшее распространение получили установки серии УЗВД-8.

Установка состоит из следующих основных узлов: корпуса с крышкой, изготовленных в звукоизоляционном исполнении; рабочей ванны; электропривода и механизмов подъема и опрокидывания рабочей ванны; пневмомеханизмов подъема и опускания крышки; пневмосистемы, необходимой для управления работой пневмомеханизмов установки, а также для создания внутри рабочей ванны избыточного давления сжатым газом; гидросистемы охлаждения преобразователя; спреера для про-

1676

мывки деталей и рабочей ванны; привода возвратно-вращательного движения рабочей ванны; пульта управления; технологической ванны, служащей для выгрузки деталей и слива раствора.

Рабочая ванна (рис. 8) образована стаканом 5 кольцевого преобразователя 4, торцы которого закрыты крышками 6, 8. В задней крышке 8 вмонтирована эластичная диафрагма 2, посредством которой создается избыточное давление в рабочей ванне. Подача сжатого воздуха к диафрагме осуществляется через шланг 1. Передняя крышка 6 снимается с помощью ручки 7 при загрузке и выгрузке деталей. Внутри емкости предусмотрен ворошитель, который обеспечивает равномерное перемешивание деталей при обработке. Ворошитель выполнен в виде лопастей 3, равномерно установленных на внутренней поверхности преобразователя 4.

Работа на установке УЗВД-8 производится следующим образом. Посредством электропривода и механизма подъема ванна переводится в вертикальное положение. Крышку 6 снимают, в ванну загружают детали и заливают рабочую жидкость до полного заполнения внутреннего объема ванны. Крышку 6 закрывают и механизмом подъема камеру переводят в горизонта-

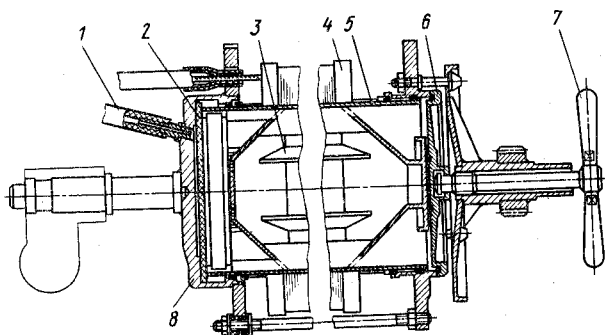


Рис. 8. Конструкция рабочей ванны установки УЗВД-8

льное положение. Через штуцер 1 подают в ванну сжатый воздух, включают ультразвуковые колебания и привод возвратно-вращательного движения. Привод обеспечивает вращение ванны вокруг оси симметрии в пределах $180-220^\circ$ в обе стороны. В результате этого вращения и с помощью ворошителя 3 детали

в процессе обработки непрерывно перемещаются. После окончания цикла обработки сбрасывают избыточное давление, ванну переводят в вертикальное положение и снимают крышку 6. Затем ванну наклоняют до ее опрокидывания в технологическую ванну, находящуюся рядом с установкой. При этом с помощью спреера вымывают детали из рабочей ванны. Затем ванну переводят в вертикальное положение и повторяют рабочий цикл.

Ванна имеет внутренние размеры: диаметр 150 мм, длину 350 мм. Объем заливаемого в нее рабочего раствора 4,5 л.

Одной из последних ультразвуковых установок для снятия заусенцев, в которых большинство операций автоматизировано, является установка типа УЗВД-8М. На рис. 10 приведена кинематическая схема установки, а на рис. 9 изображен узел рабочей ванны.

Рабочая ванна 1 (рис. 9) кольцевого магнитострикционного преобразователя ЦМС-8 с помощью шпилек и гаек связана с зубчатым колесом 2. Оно кинематически связано с валом 9, (рис. 10), который соединен с электродвигателем постоянного тока 10 клиноременной передачей. Несущий корпус 18 жестко соединен с валом 19 и кинематически связан с валом 9 червячной передачей 7 конического реверсивного механизма и электромагнитных муфт 8. Разгрузочная емкость 15 соединена с корпусом 18 с помощью штанги 14 и муфты с мелким зубом. Установка имеет общий кожух 2 с люком, закрываемым крышкой 16. В верхней части кожуха расположен пульт управления 1, а сзади панель пневмоаппаратуры 4, пневмоцилиндр 3, который соединен с механизмом подъема крышки 16. Сзади установлен блок магнитных усилителей 5 для регулирования скорости вращения электродвигателя 10. Рабочая ванна 12 имеет съемную крышку 17.

На рабочей ванне закреплено щеточное устройство 13 с помощью которого на обмотку преобразователя подается высокочастотное напряжение, а внутрь рабочей ванны - сжатый воздух. Автоматический режим работы установки обеспечивает блоком микропереключателей 6. Внутри корпуса находится разбрызгиватель 11.

Установка работает следующим образом.

В исходном положении рабочая ванна 12 находится в вертикальном положении, крышка 17 снята, крышка люка 16 открыта, а разгрузочная емкость 15 установлена в верхнем положении. Вручную загрузив порцию обрабатываемых деталей в рабочую камеру 12 и закрыв крышку 17, нажимают на кнопку "Пуск", расположенную на панели пульта управления 1. При

этом крышка 16 с помощью пневмоцилиндра 3 закрывается и рычаг механизма подъема (на рис. 9 не показан), нажав на ролик конечного выключателя в блоке 6, включает электродвигатель 10. От электродвигателя 10 с помощью клиноременной передачи движение передается через левую электромагнитную муфту 8 на конический реверсивный механизм и далее через червячную передачу 7 и вал 19 на несущий корпус 18. При этом корпус 18, зубчатое колесо 20 и рабочая ванна 12 получают вращение вокруг горизонтальной оси. Одновременно от реверсивного механизма через правую электромагнитную муфту и зубчатую передачу движение передается колесу 20, которое начинает вращаться вокруг вертикальной оси внутри корпуса 18. Вокруг вертикальной оси начинает вращаться и ванна 12, связанная с зубчатым колесом 20. Системой конечных выключателей ограничивается движение ванны вокруг горизонтальной оси в пределах заданного угла.

После окончания цикла обработки деталей рабочая ванна 12 возвращается в исходное положение, т.е. занимает вертикальное положение (крышкой 17 вверх), при этом крышка 16 открыта, разгрузочная емкость 15 находится в верхнем положении, но крышка 17 закрыта. Вручную открывают крышку 17 и нажимают на кнопку "Разгрузка" на панели пульта управления 1. При этом крышка 16 закрывается с помощью пневмоцилиндра 3 и рычаг механизма подъема, нажав на ролик блока конечных выключателей 6, включает электродвигатель 10 и схему управления электромагнитными муфтами 8 для операции "разгрузка". В результате этого рабочая камера 12,

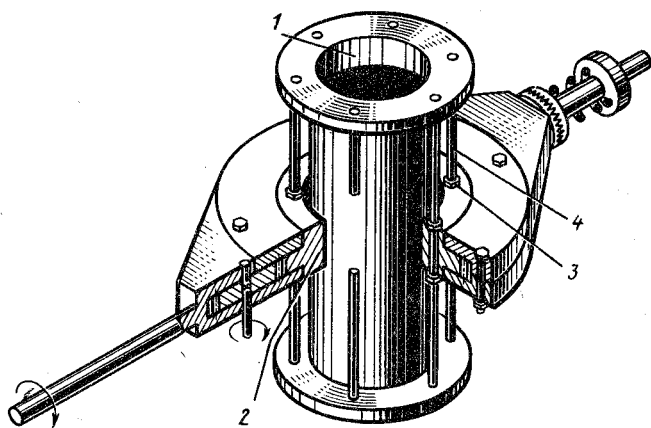


Рис. 9. Узел рабочей ванны установки УЗВД-8М

вращаясь вокруг своей продольной оси (движение от электродвигателя 10 через клиноременную передачу вал 9, систему шестерен передается колесу 20 и, следовательно, укрепленной на ней рабочей ванне 12), одновременно поворачивается открытой горловиной вниз (движение от вращающегося вала 9 через левую включенную электромагнитную муфту 8, коническую пару, червячную передачу 7 передается валу 19 и, следовательно, корпусу 18).

Одновременно вниз по дуге окружности перемещается и разгрузочная емкость 15, соединенная с валом корпуса 18 с помощью муфты. Внизу, дойдя до упора, разгрузочная емкость 15 останавливается, занимая положение под рабочей камерой,

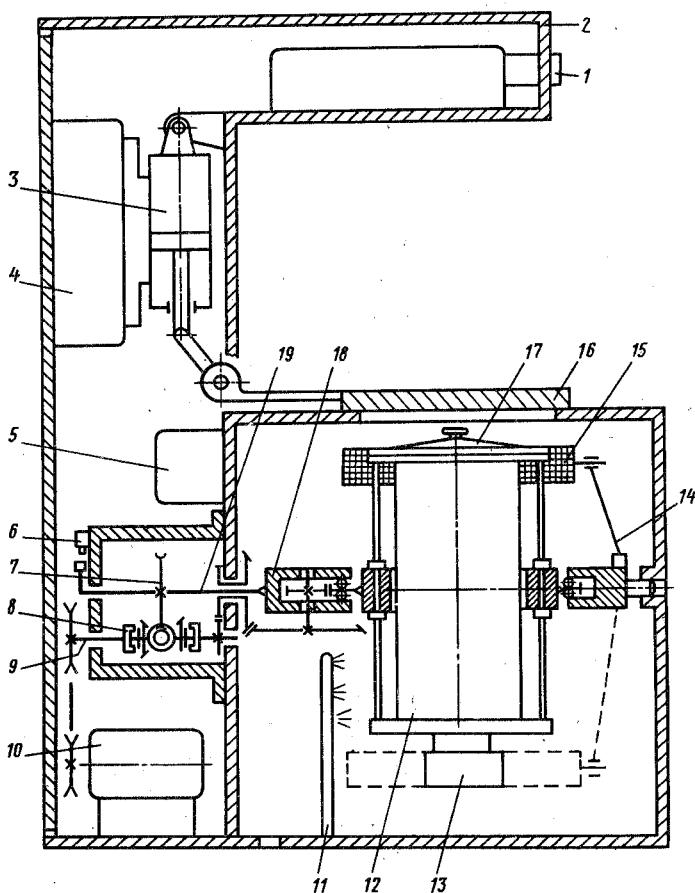


Рис. 10. Схема установки УЗВД-8М

которая, продолжая разворачиваться, вызывает в муфте перегрузочный крутящий момент. При этом ее зубья прощелкивают и рабочая ванна 12, развернувшись на угол 135° , прекращает поворот, так как в этом положении схема управления обесточивает левую электромагнитную муфту 8 и движение от червячной передачи 7 к валу 19 прекращается. Однако вращение рабочей камеры вокруг своей продольной оси продолжается. Это вращение ванны способствует быстрой выгрузке деталей из рабочей камеры в разгрузочную емкость. Одновременно на детали подается вода из разбрызгивателя 11. Отработанный раствор уходит через дно ванны в сливную магистраль (на рис. 10 не показана). По истечении времени, необходимого для разгрузки, автоматически включается правая электромагнитная муфта 8 и рабочая камера вместе с разгрузочной емкостью возвращается в исходное состояние. Крышка 16 открывается и через люк промытые водой детали вручную вынимают из установки. Новую порцию деталей, подлежащих обработке, загружают в рабочую камеру и цикл повторяется.

Габаритные размеры $1160 \times 1020 \times 1780$ мм, установка УЗВД-8М потребляет мощность 6 кВт, регулируемая частота вращения рабочей ванны в горизонтальной плоскости 20-50 об/мин с одновременным покачиванием в вертикальной плоскости до $\pm 40^\circ$.

4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ УДАЛЕНИЯ ЗАУСЕНЦЕВ

Ультразвуковым методом можно удалять заусенцы с деталей приборостроительного производства, изготовленных из меди и ее сплавов (латуни Л-59, Л-62, бронзы КМЦ и др.), углеродистых конструкционных и автоматных сталей, алюминия (Д1Т, Д16, АМц и др.), пермаллоя, коррозионно-стойкой стали.

Обработке подвергаются крепежные детали до и после резобообразования, наконечники, контактные пружины, пластины, планки, шайбы, рычаги, корпуса и другие детали, изготовленные различными методами механической обработки (точением, фрезерованием, штамповкой и др.) (рис. 11).

Размер заусенцев у деталей, подвергаемых обработке, не должен превышать 80-100 мкм. При сохранении размеров в пределах допуска и соответствии обработанных деталей техническим условиям после ультразвуковой обработки допускается обрабатывать детали с заусенцами размером ≥ 100 мкм.

На ультразвуковых установках рекомендуется обрабатывать детали массой < 25 г и линейными размерами < 70 мм.

Поверхность деталей, подвергаемых ультразвуковой обработке, не должна иметь забоин и рисок с размерами, выходящими за пределы допустимых параметров шероховатости деталей, а также трещин и расслоений материала, так как эти дефекты могут стать причиной разрушения деталей при обработке.

Детали, имеющие шероховатость поверхности выше 9-го класса, обрабатывать в ультразвуковых установках не рекомендуется.

При удалении заусенцев с деталей в качестве рабочих жидкостей применяют абразивные суспензии, слабокислотные и щелочные растворы.

Абразивные суспензии – жидкости многократного использования (до 10 – 15 раз). В зависимости от применяемого абразива и обрабатываемого материала время обработки в них составляет 10–30 мин. В абразивных суспензиях обрабатывают преимущественно штампованные детали.

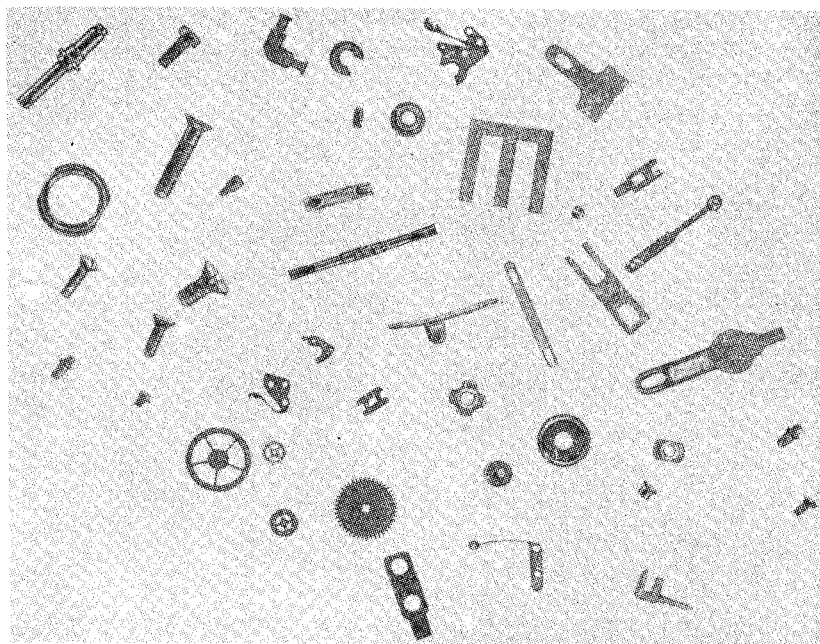


Рис. 11. Детали, подвергаемые снятию заусенцев при воздействии ультразвука

1676

Слабокислотные и щелочные растворы используют для однократной обработки. Время обработки в них составляет 2-1,5 мин.

В качестве абразивных материалов применяют микропорошки зернистостью от МЗ до М20. Абразивы меньшей зернистости не эффективны из-за малой шлифующей способности, а более крупные оседают и не образуют суспензии при ультразвуковой обработке.

В качестве жидкой фазы в абразивных суспензиях применяют смесь воды и глицерина.

Наиболее приемлемым по своим режущим свойствам является карбид бора. Он хорошо смачивается водой и благодаря относительно небольшой плотности удовлетворительно удерживается в суспензии во взвешенном состоянии. В табл. 4 приведены физические свойства некоторых абразивных материалов, применяемых при ультразвуковой обработке.

4. Абразивные материалы для ультразвукового удаления заусенцев

Абразив	Твердость по Риджу-эю	Плотность, г/см ³	Смачиваемость водой	ГОСТ
Электрокорунд	12	3,93-4,0	Удовлетворительная	3647-71
Карбид кремния	13	3,15-3,2	Средняя	
Карбид бора	14	2,52	Хорошая	5744-74

Для приготовления абразивной суспензии отмеренные количества составляющих загружаются в емкость и хорошо перемешиваются.

Наиболее широкое распространение получил абразивный состав, приведенный в табл. 5.

5. Состав абразивной суспензии для удаления заусенцев

Компоненты	Содержание, % по объему	ГОСТ
Карбид бора	30-50	5744-74
Глицерин дистилли- рованный	20-35	6824-76
Вода питьевая	Остальное	2874-73

Известны абразивные составы для удаления заусенцев, в которых вместо глицерина используют раствор полимера.

Во время обработки деталей зерна абразива дробятся. При этом производительность процесса снятия заусенцев не снижается, а, наоборот, повышается и качество поверхности обрабатываемых деталей улучшается. Частицы снятого материала, попадающие в суспензию, не оказывают существенного влияния на процесс снятия заусенцев в ультразвуковом поле.

Расход абразивного материала при обработке деталей происходит в результате его оседания на поверхность деталей и составляет примерно 1-3 г на 100 г обрабатываемых деталей.

При введении в абразивную суспензию химически активных добавок повышается съем металла. Так, увеличение съема (%) низкоуглеродистой стали после введения в исходную суспензию различных добавок составляет соответственно:

2%-ный раствор кальцинированной соды	25
0,2%-ный раствор стеариновой кислоты и 10% этилового спирта	33
2% медного купороса	93
5%-ный раствор серной кислоты и 1% столярного клея	142

После удаления заусенцев в абразивной суспензии необходимо провести обычную ультразвуковую очистку деталей в воде в течение 1-2 мин. Тогда частицы абразива с деталей полностью смываются.

Во время удаления заусенцев в химически активных растворах детали темнеют. Чтобы восстановить прежнюю светлую поверхность, детали осветляют в растворе, состав которого приведен в табл. 6.

Осветляющий раствор разбавляется водой в соотношении 1:20. Время обработки деталей в осветляющем растворе в ультразвуковой установке составляет 1-2 мин. Затем детали из черных металлов следует обработать в пассивирующем составе. Допускается совмещение операций ультразвуковой очистки и осветления деталей в составе согласно табл. 6. Кроме абразивных суспензий используют слабокислотные и щелочные растворы, состав которых приведен в табл. 7.

6. Состав осветляющего раствора

Компоненты	Содержание, мл	ГОСТ
Ангидрид хромовый технический	290-300 г	2548-77
Кислота серная техническая (плотность 1,84)	100	2184-67*
Кислота азотная техническая (плотность 1,4)	50	701-68
Кислота ортофосфорная техническая (плотность 1,69)	55-60	10678-76
Калий двуххромовокислый технический	4-5 г	2652-71
Вода питьевая	1000	2874-73

Для обработки деталей из углеродистых сталей в качестве рабочего раствора следует использовать раствор № 1 (табл. 7).

Под действием ультразвуковой кавитации процесс травления в этом составе интенсифицируется, причем незначительное увеличение концентрации азотной кислоты (в пределах одного процента) приводит к значительному увеличению скорости травления.

7. Составы химических растворов для ультразвукового удаления заусенцев

Компонент	ГОСТ	Номера растворов						
		1	2	3	4	5	6	7
Ангидрид хромовый технический, г	2548-77	-	-	300	-	-	-	-
Вода питьевая, мл	2874-73	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Кислота азотная техническая (плотность 1,4), мл	701-68	30-60	-	-	20,0	-	-	-
Кислота ортофосфорная термическая (плотность 1,69), мл	10678-76	-	-	100	-	-	-	-
Кислота лимонная, г	3652-69	-	-	-	-	-	40-100	-
Кислота серная техническая (плотность 1,84), мл	2184-67*	-	20-50	50	200	-	-	-
Кислота соляная техническая (плотность 1,19), мл	1382-69	-	25-30	-	-	-	-	-
Нагр едкий технический, г	2263-71*	-	-	-	-	100	-	-
Натрий хлористый, г	4233-77	-	-	-	20	-	-	-
Кислота шавелевая, г	22180-76	-	-	-	-	-	-	50-60
Пергидроль медицинский (31%), г	177-71	-	-	-	-	-	15-60	60-70
Олово сернокислосое закисное, г	2665-73	-	0,5-1,0	-	-	-	-	-

Партия деталей, загружаемых в установку, должна иметь определенную массу (см. Приложение 1). Каждую партию деталей необходимо обрабатывать в свежем растворе. Время обработки различных деталей подбирается опытным путем и составляет в среднем 6–12 мин. Оно зависит от первоначальных размеров и формы заусенца, а также конфигурации деталей. После обработки в кислотном растворе детали пассивируются.

При времени обработки ≤ 6 мин детали в некоторых случаях темнеют. Для получения светлой блестящей поверхности деталей в раствор № 1 добавляют кислотный ингибитор (30–40 мл на 1 л), состав которого приведен в табл. 8.

8. Состав кислотного ингибитора

Компонент	ГОСТ	Содержание, мл
Формалин	1625-75	770
Ацетон	2768-69*	140
Едкое кали	9285-69	13 г
Вода питьевая	2874-73	30

Для обработки стальных деталей с небольшими допусками на обработку, например винтов М2, М3, М4, рекомендуется применять раствор № 2 (табл. 7).

Размеры деталей после обработки в указанном растворе не изменяются, так как в процессе обработки олово осаждается на поверхности деталей и предохраняет ее от растворения в серной кислоте. На острых кромках и заусенцах осаждение олова затруднено, образующие пленки тонки, легко скалываются при соударениях и от воздействия кавитации, что не препятствует удалению заусенцев (кромки).

Для обработки деталей из меди и ее сплавов рекомендуется применять раствор № 3 (табл. 7). При обработке деталей указанный раствор разбавляют водой в соотношениях от 1:4 до 1:8.

Раствор составлен таким образом, чтобы скорость растворения меди и цинка, входящих в состав латуни, была примерно одинаковой. Медь и ее сплавы растворяются в хромовой кисло-

те, которая образуется в результате взаимодействия хромового ангидрида с водой, а цинк, входящий в состав латуни, растворяется в серной кислоте. Ортофосфорную кислоту добавляют для образования блестящей поверхности деталей. Если при обработке на деталях появляется красный налет, то необходимо уменьшить количество серной кислоты в исходном растворе.

Недостатком широко применяемого для ультразвуковой обработки раствора № 3 (табл. 7) является наличие в нем токсичного компонента — хромового ангидрида. Его концентрация в отработанном растворе во много раз превышает предельно допустимое по санитарным нормам значение. Нейтрализация отработанной композиции с хромовыми соединениями представляет большие технологические трудности и связана с установкой специальных очистных ванн. Поэтому для снятия заусенцев с деталей из меди и ее сплавов может быть рекомендован состав № 4 (табл. 7) как более предпочтительный. В этот состав не входят хромовые соединения.

Для обработки деталей из алюминия и его сплавов рекомендуется раствор № 5 (табл. 7). Детали из дюралюминия после обработки в щелочном растворе темнеют, поэтому их необходимо осветлять в 50%-ном водном растворе азотной кислоты. Время осветления 5 с. В случаях, когда детали имеют жесткие допуски на размеры, в щелочной раствор необходимо добавить 0,5–1 г сернокислого никеля.

Для снятия заусенцев с деталей, изготовленных из электротехнической стали Э42 и Э44, рекомендуется раствор № 6 (табл. 7). Время обработки в ультразвуковых установках без избыточного давления пластин или собранных пакетов в этом растворе составляет 1–5 мин. Рекомендуемая "плотность" загрузки 5–10 дм² на 1 л раствора.

Для снятия заусенцев с роторных и статорных пластин, изготовленных из пермаллоя с содержанием никеля 48–80%, рекомендуется раствор № 7 (табл. 7). Пергидроль вводят в раствор непосредственно перед загрузкой деталей. Время обработки 3–6 мин при температуре раствора 35–60°C.

5. УСТАНОВКИ ДЛЯ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ В УЛЬТРАЗВУКОВОМ ПОЛЕ

Существуют ультразвуковые установки, используемые для измельчения порошковых материалов. В большинстве случаев основу их конструкции составляют магнитострикционные преобразователи, обеспечивающие возбуждение ультразвуковых ко-

лебаний в жидкой среде, заполняющей объем диспергатора. Однако эти устройства не оборудованы аппаратурой для создания избыточного статического давления и эффективность кавитации в рабочем объеме незначительна, несмотря на применение в указанных устройствах кольцевых излучателей с фокусировкой ультразвуковых колебаний.

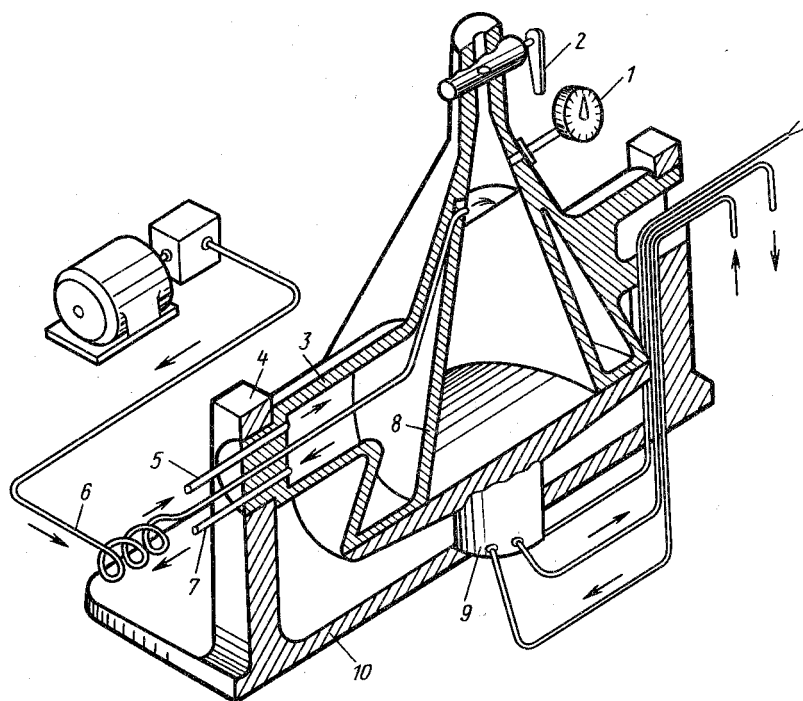


Рис. 12. Установка для ультразвукового приготовления суспензий

Установки для ультразвукового диспергирования, работающие под повышенным статическим давлением, получили распространение только в последние годы. Обычно их изготавливают с вертикальными рабочими ваннами, в которых преобразователь либо располагают в донной части, либо на стенках ванны. В последнем случае для предотвращения оседания частиц на дно ванны применяют специальные мешалки.

Схема одной из установок с излучателем в донной части приведена на рис. 12.

Установка имеет станину 10, на которой установлена ванна 8 конической формы. Ванна имеет две цапфы 3 в виде полуосей, которые опираются на стойки 4, что позволяет опрокидывать ванну при ее разгрузке. Ванна снабжена манометром 1, краном 2, трубопроводом 6 для подачи и удаления сжатого воздуха. В донной части ванны смонтирован ультразвуковой излучатель 9. Установка имеет систему охлаждения водой, подаваемой через трубопроводы 5 и 7.

Работает установка следующим образом. Составные компоненты обрабатываемого материала засыпают в ванну через ее горловину, закрывают кран 2, создают в ванне избыточное давление и производят ультразвуковую обработку.

Ультразвуковые колебания, распространяясь вверх от излучателя 9, проходят через слой загруженного в ванну 8 диспергируемого материала и, дойдя до наклонных стенок емкости, отражаются от них и снова возвращаются в зону обработки. Благодаря конической форме корпуса обеспечивается концентрация ультразвуковых колебаний в зоне обработки вблизи поверхности излучателя и большая скорость перемещения суспензии порошка, т.е. интенсивное ее перемешивание.

Таким образом, акустические потоки обеспечивают непрерывный подвод в зону обработки свежих порций суспензии порошка. В зоне обработки (главным образом у поверхности излучателя) ударные волны, возникающие при захлопывании кавитационных пузырьков, разрушают частицы порошка.

После окончания обработки готовая суспензия сливается в специальную тару через кран 2 путем наклона ванны на угол 150°.

К недостаткам установки при использовании ее для диспергирования суспензий следует отнести неудобства загрузки ванны порошковыми компонентами через узкую горловину, а также небольшой рабочий объем ванны.

Для диспергирования порошковых материалов широко используют также установку УЗВД-6, описание которой приведено в разделе 3. Диспергирование происходит под избыточным давлением 4 кгс/см² в течение 60 мин. Недостатком установки является небольшой рабочий объем ванны (1, 2 л) и, следовательно, невысокая производительность. Для ультразвукового диспергирования более эффективны установки, в которых излучатели расположены на боковых стенках ванны. Это позволяет значительно увеличить рабочий объем. Наиболее эффективны установки, в которых рабочая ванна образована кольцевым излучателем.

Одной из последних таких разработок является установка типа УПХА-8М, устройство которой показано на рис. 13. Установка предназначена для приготовления мелкодисперсной суспензии межвитковой изоляции ленточных сердечников при повышенном статическом давлении. Она содержит рабочую ванну 21, которая образована внутренним стаканом кольцевого магнитострикционного излучателя 20 типа ЦМС-8. Крышка 2 ванны установлена внутри обоймы 1, которая присоединена винтами 3 к крышке 5 кожуха 4. Крышки 2 и 5 связаны между собой посредством шарнирно закрепленного на крышке 2 пальца 7. На крышке 5 закреплена ручка 8. Обойма 1 с упомянутыми крышками 2 и 5 образует герметичную полость 13, которая соединена гибким шлангом 14 с источником воздуха через электроклапан 15. Рабочая ванна 21 соединена с источником воздуха через электроклапан 18. Палец 7 посредством рычага 10 и собачки 11 взаимодействует с электровыключателем 12, связанным электрической цепью с обмотками

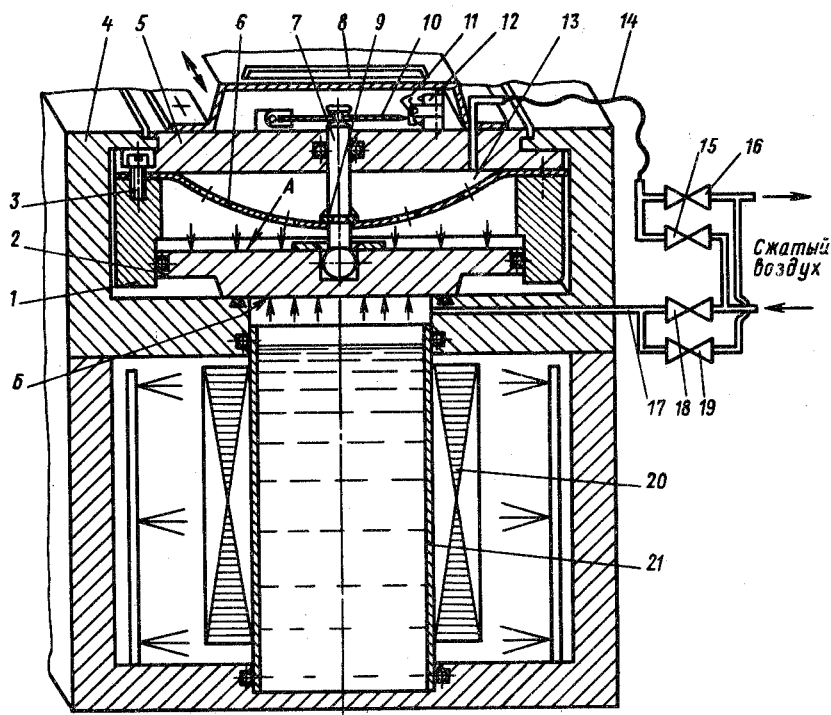


Рис. 13. Устройство установки УПХА-8М

электроклапанов 15, 18. Палец 7 через шайбу 9 связан с пластинчатой пружиной 6, которая закреплена на крышке 5.

Сжатый газ в рабочую ванну подается по трубопроводу 17. Электроклапаны 16 и 19 служат для сброса сжатого газа из блока крышек и рабочей ванны соответственно.

Установка работает следующим образом. После загрузки обрабатываемой суспензии в рабочую ванну посредством ручки 8 крышки с обоймой устанавливаются на рабочую ванну. При этом положение крышки 2 в обойме 1 фиксируется пружиной 6. Пальцем 7, рычагом 10 и собачкой 11 крышка 2 воздействует на верхний контакт выключателя 12, связанного электрической цепью с электроклапаном. После полной установки крышек замыкается блок - контакт (на схеме не показан), включенный в упомянутую электрическую цепь, и через клапан 15 в герметичную полость 13 подается сжатый воздух под давлением 2-3 кгс/см². Под действием сжатого воздуха крышка 2 опускается вниз и герметизирует отверстие рабочей ванны 21. При этом палец 7 через коромысло 10 и собачку 11 воздействует на нижний контакт выключателя 12, связанного электрической цепью с электроклапаном 18, на обмотку которого подается напряжение, и сжатый воздух поступает в рабочую ванну 21. Площадь А крышки 2 больше площади Б, и поэтому крышка 2 плотно герметизирует объем рабочей ванны 21.

Включается ультразвуковой генератор. Одновременно включается вращение крыльчатки, установленной на нижней крышке ванны 21 (на рис. 13 не показана). Этим обеспечивается интенсивное перемешивание суспензии при обработке.

По истечении времени, необходимого для приготовления суспензии (30-60 мин), реле времени отключает ультразвуковой генератор и суспензия под давлением воздуха в рабочей ванне сливается из нее в отдельную емкость. После автоматического отключения электродвигателя крыльчатки прекращается подача воды для охлаждения преобразователя, клапаны 15 и 18 закрываются, клапаны 16 и 19 открываются. Крышка 2 под действием пружины 6 поднимается в исходное положение, а блок крышек ручкой 8 откатывается в сторону.

По сравнению с известными установками установка УПХА-8М обеспечивает более надежную герметизацию рабочей ванны без применения дополнительных механизмов, что упрощает конструкцию установки, уменьшает ее массу и габаритные размеры.

6. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ ПРОЦЕССА УЛЬТРАЗВУКОВОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Технологические режимы измельчения порошковых материалов разработаны для ультразвуковых установок типа УПХА-8М и УЗВД-6 при измельчении порошка окиси магния в среде четыреххлористого углерода и других порошковых материалов. Эти суспензии широко применяют в приборостроении при приготовлении межвитковой изоляции витых сердечников трансформаторов и дросселей.

Технологические режимы измельчения в ультразвуковых установках в основном определяются тремя факторами: 1) избыточным статическим давлением; 2) временем ультразвуковой обработки; 3) соотношением твердой и жидкой фаз.

Оптимальное по эффективности измельчения порошковых материалов избыточное давление в установке УПХА-8М 2 кгс/см^2 .

В табл. 9 приведены результаты измельчения суспензии окиси магния в четыреххлористом углероде при различных избыточных давлениях и времени обработки 1 ч. Состав суспензии: окись магния 500 г, олеиновая кислота 25 мл, четыреххлористый углерод 5 л, объемное соотношение твердой и жидкой фаз 1:16.

Размеры частиц до и после измельчения определяли на электронном микроскопе ЭМ-7 при увеличении в 10 000 раз.

Из анализа данных табл. 9 видно, что при избыточном давлении 2 кгс/см^2 число частиц с размерами $< 0,5 \text{ мкм}$ составляет после обработки 60%, в то время как после обработки при давлении 1 кгс/см^2 соответствующее число частиц составляет 15%, а при измельчении без давления 10%. При увеличении избыточного давления ($> 2 \text{ кгс/см}^2$) эффективность измельчения уменьшается.

Оптимальная продолжительность ультразвукового диспергирования 30–60 мин. На рис. 14 представлена зависимость размеров частиц суспензии (см. табл. 9) от времени обработки при избыточном давлении 2 кгс/см^2 . Быстрое уменьшение частиц суспензии происходит в течении 30–60 мин: за то же время средний размер частиц уменьшается в 5 раз. При дальнейшем диспергировании средний размер уменьшается в 2 раза. Этот характер процесса диспергирования подтверждается и анализом на сухой остаток (рис. 15).

Анализ на сухой остаток проводится отбором жидкой пробы с взвешенными в последней частицами материала с последую-

9. Зависимость между избыточным давлением и гранулометрическим составом частиц суспензии при ультразвуковом измельчении

Интервалы дисперсности, мкм	Исходный состав, %	Фракционный состав, %, после ультразвуковой обработки при избыточных давлениях, кг/см ²		
		0	1	2
< 0,2	-	5	5	10
0,2-0,5	-	5	10	50
0,5-1,0	22	10	40	30
1,0-1,5	18	70	40	10
1,5-2,0	18	10	5	-
2-4	15	-	-	-
4-10	15	-	-	-
10-20	8	-	-	-
>20	4	-	-	-
Средний размер частиц, мкм	4,2	1,5	0,9	0,7

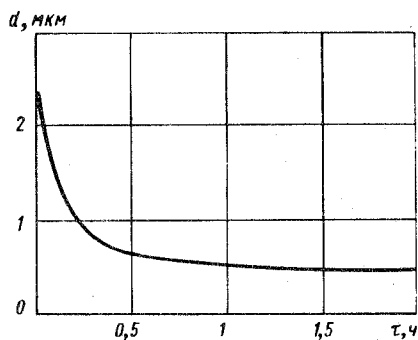


Рис. 14. Зависимость среднего размера частиц порошка талька от времени диспергирования в установке УПХА-8М

шим выпариванием жидкой фазы. Сухой остаток определяется как относительное содержание массы частиц порошка в общей массе отобранной пробы. Как следует из приведенного графика, в первые 30 мин ультразвуковой обработки наблюдается быстрый рост количества мелких частиц твердой фракции, устойчиво сохраняющихся во взвешенном состоянии. При дальнейшем измельчении рост концентрации мелких частиц замедляется. Измельчение достигает такой степени, что после часовой обработки практически весь порошок окиси магния находится в устойчивом взвешенном состоянии. Содержание сухого остатка составляет немногим более 6 %. Поэтому оптимальное время ультразвуковой обработки суспензии данного состава 60 мин.

Для увеличения количества получаемой суспензии можно повысить содержание твердой фракции, а после диспергирования разбавить суспензию до требуемой концентрации. Это подтверждают результаты измельчения суспензии окиси магния в четыреххлористом углероде при соотношении твердой и жидкой фаз 1:8 и 1:16 (рис. 16). После 60 мин ультразвукового диспергирования достигается практически одинаковая степень измельчения. Поэтому для увеличения производительности можно обрабатывать концентрированную суспензию с последующим ее разбавлением.

В табл. 10 приведены данные по гранулометрическому составу суспензий, полученных при измельчении в шаровой мельнице и установке УПХА-8М. Эти данные показывают преимущества ультразвукового диспергирования перед измельчением в шаровой мельнице.

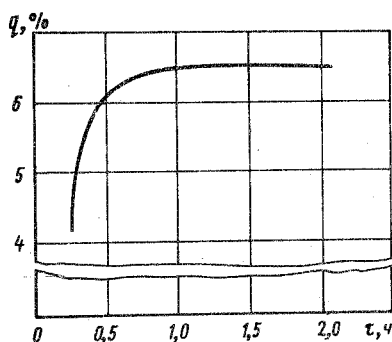


Рис. 15. Зависимость процента сухого остатка q в полученной суспензии от времени ультразвуковой обработки в установке УПХА-8М

Как видно из табл. 10, содержание крупных фракций в суспензии, полученной на ультразвуковой установке, значительно меньше, чем в суспензии, полученной на шаровой мельнице. По гранулометрическому составу суспензия, полученная при ультразвуковой обработке, более однородна. Так, число частиц < 1 мкм при измельчении в ультразвуковой установке в течение 1 ч составляет 52%, а при измельчении в шаровой мельнице в течение 20 ч – 16%.

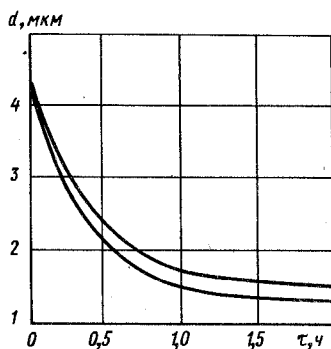


Рис. 16. Зависимость среднего размера частиц порошка окиси магния от времени диспергирования в установке УПХА-8М при соотношении 1:8 (1) и 1:16 (2)

Форма частиц во всех фракциях, полученных при ультразвуковом помоле, округлая, что обеспечивает хорошую плотность упаковки частиц при катодифорезном нанесении изоляции.

Таким образом, применение ультразвука позволяет получить суспензии порошковых материалов с размерами частиц < 1 мкм за сравнительно короткое время (< 1 ч).

Наиболее эффективно применение ультразвуковых установок в тех случаях, когда расходуются небольшие количества суспензии в смену (производительность установки УПХА-8М составляет 5 л/ч при соотношении твердой и жидкой фаз 1:8) при использовании исходного порошка со средними размерами частиц < 20 мкм.

10. Гранулометрический состав суспензий, полученных на ультразвуковой установке и шаровой мельнице

Применяемое оборудование	Соотношение твердой и жидкой фаз	Время измельчения, ч	Средний размер частиц, мкм	Интервалы дисперсности, мкм	Фракционный состав, %
Ультразвуковая установка	1:16	1	0,7	$\leq 0,2$ 0,2-0,5 0,5-1,0 1-1,5	10 50 30 10
	1:8	1	1,7	0,5-1 1,0-2,0 2,0-4,0 4,0-6,0 6,0-8,0 $\geq 8,0$	52 26 17 4 1 -
Шаровая мельница	1:32	20	9	≤ 1 1-2 2-4 4-10 10-20 20-30 ≥ 30	16 28 20 20 12 4 -

7. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ НА УЛЬТРАЗВУКОВЫХ УСТАНОВКАХ

При удалении заусенцев и диспергировании порошковых материалов на ультразвуковых установках необходимо учитывать опасность воздействия токсичных веществ и ультразвуковых колебаний, электро- и пожароопасность, возможность химикотермических травм.

Источниками токсичности являются газы или пары компонентов применяемых жидких сред: кислот, щелочей, органических растворителей. Отравления могут произойти при составлении рабочих растворов в помещениях с недействующей местной вентиляцией и при эксплуатации установок с недействующей местной вентиляцией.

Опасность воздействия ультразвуковых колебаний появляется при проведении технологических процессов удаления заусенцев и диспергирования. Источником ультразвукового воздействия является колебательная система установок.

Электротравмы могут возникнуть при ненадежном заземлении оборудования и повреждении изоляции токоведущих элементов установок.

Пожароопасность может возникнуть при приготовлении рабочих растворов. Отдельные компоненты растворов (хромовый ангидрид, азотная и серная кислота) могут вызвать воспламенение при соприкосновении их с некоторыми веществами органического происхождения (древесиной и др.).

Химико-термические травмы могут произойти при попадании рабочих жидкостей или их отдельных компонентов на незащищенные участки кожи.

При разработке технологического процесса и введении в эксплуатацию ультразвукового оборудования должна быть составлена инструкция по технике безопасности в соответствии с "Санитарными правилами организации технологических процессов и гигиенических требований к производственному оборудованию" (1042-73, Минздрав, 1973 г.), "Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей" и "Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей", утвержденных Госэнергонадзором СССР 12 апреля 1963 г., а также "Типовыми правилами пожарной безопасности для промышленных предприятий", утвержденных Главным управлением пожарной охраны МВД СССР 21 августа 1975 г.

Для обеспечения безопасности работающих производственные помещения, в которых размещаются ультразвуковые установки и готовятся рабочие растворы, необходимо оборудовать общеобменной приточно-вытяжной вентиляцией. Установки и ультразвуковой генератор должны быть надежно заземлены. На участке, где размещаются установки, рекомендуется иметь противогазовый фильтрующий респиратор РПГ-67 (ГОСТ 12.4.004-74) для использования в аварийной ситуации. При проведении технологического процесса с использованием ультразвука следует пользоваться заглушками из ультратонкой ваты

или противошумными наушниками. При приготовлении рабочих растворов следует пользоваться фартуками, очками и резиновыми перчатками.

При эксплуатации оборудования необходимо периодически проверять уровень шума на рабочем месте. При работе ультразвуковых установок уровень шума не должен превышать 110 дБ в соответствии с ГОСТ 1.21.001-75.

Установки типа УЗВД-6 и УЗВД-8М, предназначенные для работы с кислотными и щелочными растворами, следует размещать в помещениях, имеющих сток в очистные канализационные сооружения предприятия. При размещении установок в помещениях, не имеющих таких стоков, отработанные растворы необходимо собирать в отдельные емкости. Допускается нейтрализация отработанных растворов (не содержащий соединений хрома) средствами цеха, если имеется разрешение подразделения санитарного надзора предприятия.

Приложение I

Типовые технологические процессы снятия заусенцев ультразвуковым методом

Типовые технологические процессы (см. таблицу) состоят из следующих основных операций: 1) подготовительной; 2) ультразвуковой обработки; 3) промывки; 4) пассивирования или осветления; 5) сушки; 6) контроля.

Операция	Оборудование	Состав рабочего и пассивирующего растворов				Режим обработки		Объем раствора, мл
		Наименование компонентов	Содержание		Время обработки, мин	Масса загрузки, г		
			г	мл				

Углеродистые конструкционные и автоматные стали

<u>Подготовительная</u> Подготовить к работе установку и генератор. Подготовить рабочий и пассивирующий растворы. Взвесить партию деталей.	Мерные колбы, весы лабораторные настольные, ареометры	-	-	-	-	-	-	-
<u>Ультразвуковая обработка</u> Загрузить детали и рабочий раствор. Обработать, выгрузить детали	Ультразвуковой генератор типа УЗГ-2-10, установка типа УЗВД-6 или УЗВД-8	Кислота азотная техническая Вода питьевая	-	30-60 1000	5-15	150-200 (УЗВД-6) 1000-1200 (УЗВД-8)	500-700 ~4500	
<u>Промывка</u> Промыть детали	Раковина, сетчатое приспособление	Вода питьевая	-	-	2-3	-	-	

Пассивирование

Загрузить детали в емкость с пассивирующим раствором

Емкость, сетчатое приспособление

Триэтанолламин или моноэтанолламин

8-10

-

-

-

-

Натрий азотистокислый технический

8-10

-

2-5

-

500-1000

Сушка

Разложить детали и просушить

Шкаф сушильный или сжатый воздух, сетчатое приспособление, противень

-

-

0,5

-

-

Контроль

Проверить линейные размеры и поверхность обработанных деталей

Лупа трех- и четырехкратная, микрометр с пределами измерений 0-25 мм

-

-

-

-

-

-

Операция	Оборудование	Состав рабочего и пассивирующего растворов				Режимы обработки				Объем раствора, мл
		Наименование компонентов	Содержание		Время обработки	Масса загрузки, г				
			г	мл			мин	с		
Алюминий и его сплавы										
<u>Подготовительная</u>	Мерные колбы, весы лабораторные настольные, ареометры	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Подготовить к работе установку и генератор. Подготовить рабочий и осветляющий растворы. Взвесить партию деталей										
<u>Ультразвуковая обработка</u>	Ультразвуковой генератор типа УЗГ-2-10, установки типа УЗВД-6 или УЗВД-8	Натр едкий технический или гидрат окиси кальция технический	100	-	-	3-5	-	100-150 (УЗВД-6)	500-700	
Загрузить детали и рабочий раствор. Обработать и выгрузить детали		Вода питьевая	-	1000	-	-	-	1000-1200 (УЗВД-8)	~4500	

<u>Промывка</u> Промывать детали	Раковина, сетчатое приспособление	-	2-3	-	-	-	250-500
	Емкость сетчатое приспособление	-	500	5-10	-	-	-
<u>Осветление</u> Загрузить детали в емкость с осветляющим раствором, вынуть и промыть водой	Кислота азотная техническая	-	500	-	-	-	-
	Вода питьевая	-	-	-	-	-	-
<u>Сушка</u> Разложить детали и просушить	Шкаф сушильный или сжатый воздух, сетчатое приспособление, противень	-	-	20-30	-	-	-
	Лула трех- и четырехкратная, микрометр с пределом измерения 0-25 мм	-	-	-	-	-	-
<u>Контроль</u> Проверить линейные размеры и поверхность обработанных деталей		-	-	-	-	-	-

Операция	Оборудование	Состав рабочего и пассивирующего растворов			Режимы обработки				
		Наименование компонентов	Содержание		Время обработки		Масса загрузки, г	Объем раствора, мл	
			г	мл	мин	с			
Медь и ее сплавы (латуни и бронзы)									
Подготовительная	Мерные колбы, весы лабораторные настольные, гирьные, ареометры	-	-	-	-	-	-	-	
Ультразвуковая обработка	Ультразвуковой генератор типа УЗГ-2-10, установки типа УЗВД-6 или УЗВД-8	300	-	-	-	-	-	-	
		-	-	50	-	-	-	-	
		-	-	100	2-15	-	150-200	500-700	

<u>Промывка</u> Промывать детали	Раковина, сечетное приспособление	Вода питьевая	-	1000	-	-	(УЗВД-6) 1000-1200 (УЗВД-8)	~4500
		Вода питьевая	-	-	2-3	-	-	-
<u>Осветление</u> Загрузить детали в емкость с осветляющим раствором, вынуть и промыть водой	Емкость, сечетное приспособление	Кислота ортофосфорная термическая	-	163	-	-	-	-
		Кислота азотная техническая	-	86	-	30-40	250-500	-
<u>Сушка</u> Разложить детали и просушить	Шкаф сушильный или сжатый воздух, сечетное приспособление, противень	Кислота уксусная синтетическая	-	85	-	-	-	-
		Тиомочевина	0,5	-	-	-	-	-
<u>Контроль</u> Проверить линейные размеры и поверхность обработанных деталей	Луна трех- и четырехкратная, микрометр с пределами измерения 0-25 мм	-	-	-	-	20-30	-	-
		-	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы

Наименование и содержание операции	Оборудование	Состав обрабатываемой среды			Режим обработки в установке УЗВД-6		
		Наименование компонентов	Количество компонентов		Время обработки, мин	Масса загрузки, г	Объем раствора, мл
			г	мл			
Детали с заусенцами $\angle 50$ мкм, допуск для которых или другие технические требования не позволяют применять кислотные или щелочные растворы							
<u>Подготовительная</u>							
Подготовить к работе установку и генератор	Мерные колбы, весы лабораторные и настольные, ареометры	-	-	-	-	-	-
Приготовить абразивную суспензию.							
Взвесить партию деталей							
<u>Ультразвуковая обработка</u>							
Загрузить детали и абразивную суспензию, обработать, выгрузить детали	Ультразвуковой генератор типа УЗГ-2-10, установка УЗВД-6, сегчатое приспособление	Карбид бора или карбид кремния Глицерин дистиллированный Вода питьевая	300-400 - -	- 300-340 400	- 5-20 -	- 150-200 -	- 500 -
<u>Промывка</u>							
Загрузить детали в рабочую емкость	Ультразвуковой генератор типа УЗГ-2-10, установка УЗВД-6	Вода питьевая	-	1000	3-5	-	-
Залить воду							

<u>Осветление или пассирование</u> Загрузить детали в емкость с осветляющим или пассивирующим раствором	Емкость, сетчатое приспособление	Ангидрид хромовый	290-300	-	-	-	-
		Кислота серная техническая	-	100	-	-	-
		Кислота азотная техническая	-	50	2-3	-	250
		Кислота ортофосфорная термическая	-	55-60	-	-	-
		Хромпик калиевый	4-5	1000	-	-	-
<u>Сушка</u> Разложить детали и просушить	Шкаф сушильный или сжатый воздух, противень	Вода питьевая	-	-	-	-	-
			-	-	0,5	-	-
<u>Контроль</u> Проверить линейные размеры и поверхность обработанных деталей	Лупа трех- и четырехкратная, микрометр с пределами измерения 0-25 мм	-	-	-	-	-	-

Оборудование

Для снятия заусенцев наиболее широко применяют ультразвуковые установки типа УЗВД (УЗВД-6, УЗВД-8 и УЗВД-8М), а для диспергирования порошковых материалов установки типа УПХА-8М. Источниками питания этих установок служат ультразвуковые генераторы типа УЗГ, к которым относят генераторы УЗГ-10-22, УЗГ-2-10, УЗГ-1-4 и УЗГ-2-4.

Для работы на установке УЗВД-6 генератор оснащается элементами обратной акустической связи. Для работы на установке УЗВД-8 и УЗВД-8М и УПХА-8М все упомянутые генераторы необходимо переделать на рабочую частоту 8 кГц. Ниже приведены оптимальные режимы работы установок УЗВД-6 при совместной работе с ламповыми генераторами (УЗГ-10-22 и УЗГ-2-10).

Оптимальные режимы работы установки УЗВД-6 и генератора

Ток:

подмагничивания, А 18-22
анода, А 1,5-1,7
сетки, мА 250-350

Напряжение:

анода, кВ 6-7
выходные, В 440-500

Избыточное давление в рабочей емкости, кгс/см² 3,5-4

Оптимальные режимы работы установки УЗВД-8, УЗВД-8М, УПХА-8М и генератора

Ток:

подмагничивания, А 18-22
анода, А 1,3-1,5
сетки, мА 150-250

Напряжение:

выходное, В 440-500
анода, кВ 6-7

Избыточное давление в рабочей емкости, кгс/см² 1,5-3,0

При работе оборудования с тиристорными генераторами (УЗГ-1-4 или УЗГ-2-4) ток подмагничивания необходимо устанавливать для установок УЗВД-6 в пределах 12-16 А, а выходное для установок УЗВД-8, УЗВД-8М и УПХА в пределах 20-25 А.

Вопросы для самопроверки

1. Каким способом можно увеличить интенсивность ультразвуковой кавитации без увеличения подводимой электрической мощности к излучателю?

2. Как рассчитать оптимальное избыточное статическое давление при ультразвуковой обработке?

3. Какие требования предъявляют к ультразвуковым преобразователям, применяемым в установках с повышенным статическим давлением в рабочей жидкости?

4. Как влияет изменение избыточного давления при ультразвуковой обработке на скорость акустических течений и акустическую мощность, передаваемую в жидкость?

5. Какие методы применяют для удаления заусенцев в ультразвуковом поле?

6. Каков состав рабочих растворов, применяемых для снятия заусенцев?

7. Какое основное различие в конструкциях установок УЗВД-8 и УЗВД-8М?

8. Когда целесообразно применять ультразвуковые установки с колебательными системами с концентраторами и в каких случаях необходимо применять установки с кольцевыми излучателями?

9. Как избыточное давление, время ультразвуковой обработки и соотношение твердой и жидкой фаз влияют на размер частиц после обработки?

10. Какие преимущества ультразвуковых установок для измельчения порошков по сравнению с шаровыми мельницами?

Рекомендации по изучению и практическому использованию материала брошюры на производстве

1. Ознакомьтесь на Вашем предприятии с номенклатурой деталей, подвергаемых после механической обработки (штамповки, фрезерования, резьбонарезания и т.д.) удалению заусенцев ручным методом.

2. Определите, в каких случаях можно рекомендовать применение ультразвукового оборудования для удаления заусенцев.

3. Распределите имеющиеся на Вашем предприятии детали, подвергаемые удалению заусенцев, по виду материала, массе и габаритным размерам. Определите вид ультразвукового оборудования (УЗВД-6, УЗВД-8 или УЗВД-8М) и рабочие среды

(химический состав или тип абразивной суспензии), наиболее приемлемые для удаления заусенцев на этих деталях.

4. Выясните возможность применения на Вашем предприятии ультразвукового метода измельчения порошковых материалов, например для приготовления суспензии для нанесения межвитковой изоляции.

5. Составьте перспективный план освоения и внедрения ультразвуковой технологии на Вашем предприятии.

С технологией и оборудованием для ультразвуковой обработки можно ознакомиться на 1-м Московском часовом заводе, где внедрены процессы ультразвуковой очистки и удаления заусенцев в ультразвуковом поле.

Список литературы

1. Башкиров В. И., Чернов А. П. Удаление заусенцев в ультразвуковом поле. М., ВНИИЭМ, 1969. 24 с.

2. Гершгал Д. А., Фридман В. М. Ультразвуковая технологическая аппаратура. М., "Энергия", 1976. 318 с.

3. **Ультразвук в гидрометаллургии.** М., "Металлургия", 1969, 303 с. Авт.: Б. А. Агранат, О. Д. Кириллов, И. А. Преображенский и др.

4. **Ультразвуковая технология.** Под ред. Б. А. Аграната. М., "Металлургия", 1974. 504 с.

5. **Физические основы ультразвуковой технологии.** Под ред. Л. Д. Розенберга. М., "Наука", 1970. 686 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1. Механизм удаления заусенцев и диспергирования материалов в ультразвуковом поле.....	4
2. Выбор источников ультразвуковых колебаний для установок, работающих под повышенным статическим давлением	14
3. Установки для снятия заусенцев	19
4. Технологические режимы удаления заусенцев.....	25
5. Установки для диспергирования порошковых материалов в ультразвуковом поле	33
6. Технологические режимы процесса ультразвукового измельчения порошковых материалов.....	38

7. Техника безопасности при работе на ультразвуковых установках	42
Приложение 1. Типовые технологические процессы снятия заусенцев ультразвуковым методом	43
Приложение П. Оборудование	52
Вопросы для самопроверки	53
Рекомендации по изучению и практическому использованию материала брошюры на производстве	-
Список литературы	54

Фридрих Александрович БРОНИН,
Анатолий Петрович ЧЕРНОВ

УДАЛЕНИЕ ЗАУСЕНЦЕВ И ДИСПЕРГИРОВАНИЕ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ УЛЬТРАЗВУКА

Редактор З. З. Акчурина
Технический редактор И. В. Пушина
Корректор Л. В. Наделяева

Подписано к печати 6.3.78 г. Т - 03252
Формат 60х90 1/16 Бумага офсетная № 2
Усл. печ. л. 3,5 Уч.-изд. л. 3,1
Тираж 2500 экз. Заказ 1676 Бесплатно

Издательство "Машиностроение", Москва Б-78
1-й Басманный пер., д.3

Типография № 9 Союзполиграфпрома при
Государственном комитете Совета Министров СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
Москва, Волочаевская ул., д. 40

Бесплатно



*** МАШИНОСТРОЕНИЕ ***