

Министерство высшего и среднего специального
образования РСФСР

ЧЕЛЯБИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Инж. ПОЛЯКОВ З. И.

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ ВОПРОСОВ
РАЗМЕРНОЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ
С ЦЕЛЮ ПОВЫШЕНИЯ ЕЕ ТОЧНОСТИ
И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

05.16.00.

Автореферат
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук

Челябинск, 1966 г.

Просим Вас и сотрудников Вашего института (учреждения), интересующихся темой диссертации, принять участие в заседании Ученого Совета по присуждению ученых степеней Челябинского политехнического института или прислать свой отзыв в двух экземплярах.

О дне и времени защиты за 10 дней будет опубликовано в газете "Челябинский рабочий".

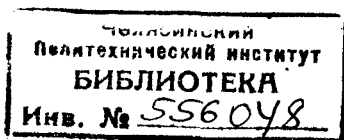
Защита назначена на конец мая 1966 г.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Адрес института: г. Челябинск, 44, проспект имени В. И. Ленина, 76.

Автореферат разослан " " апреля 1966 г.

Ученый секретарь Совета
доцент, к. т. н. В. Н. ГОНЧАР



В В Е Д Е Н И Е

За последнее время получил распространение новый метод обработки—размерная ультразвуковая обработка. Рождение этого метода связано с применением в науке и технике новых материалов, обладающих высокой твердостью и хрупкостью, таких как кремний, германий, кварц, рубин и т. д. Ультразвуковое резание представляет из себя разновидность абразивно-механической обработки. Частицы хрупкого обрабатываемого материала выкалываются вследствие удара торца инструмента по зернам абразива, лежащим на поверхности детали.

В настоящее время в Советском Союзе и за рубежом налажен выпуск различных типов ультразвуковых станков.

Теории и практическому использованию процесса посвящен ряд исследований. Однако некоторые вопросы ультразвуковой обработки, имеющие важное теоретическое и прикладное значение, оказались неизученными.

Данная работа посвящается совершенствованию метода размерной ультразвуковой обработки. Исследования производились с использованием ступенчатых инструментов—концентраторов. Диссертация содержит введение и пять глав.

ГЛАВА I

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

В данном разделе приведен обзор экспериментальных и теоретических исследований процесса. На основе анализа опубликованных работ выясняется связь производительности и точности метода с амплитудой колебаний, усилием подачи, зернистостью абразива и другими параметрами.

В результате подробных экспериментальных и теоретических исследований, выполненных в Акустическом институте АН СССР, было установлено, что производительность ультразвуковой обработки зависит от максимальной ударной силы, возникающей в процессе обработки.

Предложенные в ряде работ зависимости для определения силы удара не могут быть использованы, поскольку включают в себя величины, связь которых с амплитудой, усилием подачи и обрабатываемым материалом не установлена.

Единственной, известной нам, работой, которой можно было бы воспользоваться для определения ударной силы, является работа Нишимуры и Джимбо. Однако подсчеты по выражениям, предложенным Нишимурой и Джимбо, дают результаты, в десять и более раз отличающиеся от экспериментальных данных.

Отсутствие выражений для определения ударной силы препятствует разработке зависимостей для определения оптимальных режимов обработки, не позволяет найти величину нагрузки колебательной системы ультразвукового станка и определить изменение режима его работы. Последнее обстоятельство затрудняет расчет отдельных узлов станка и расчет ультразвукового инструмента.

В настоящей работе нами рассматривается связь сил, возникающих в процессе обработки, с амплитудой, усилием подачи и другими параметрами. Определяется влияние ударных импульсов на работу колебательной системы ультразвукового станка.

Наиболее перспективным представляется проведение ультразвуковой обработки для непроводящих материалов, так как в этой области неприменимы более высокопроизводительные электроэрозионные и электрохимические методы. Однако большинство непроводящих материалов обладает низкой прочностью и поэтому в конце обработки на выходе инструмента под действием ударов возникает скол. Сколы приводят к браку. Все существующие методы борьбы со сколами связаны с повышением трудоемкости. Для предотвращения сколов нами был разработан новый метод одновременной двухсторонней обработки и исследованы его различные характеристики.

При двухсторонней обработке с использованием изношенных инструментов наблюдались случаи уменьшения скорости обработки и даже полного прекращения процесса. Такое же снижение производительности наблюдалось при применении ультразвука на чистовых операциях, когда в детали уже имелось предварительно прошитое отверстие. Было установлено, что это снижение производительности в обоих случаях вызвано ухудшением поступления абразива в зону резания.

В связи с этим, в настоящей работе исследуются факторы, под воздействием которых происходит циркуляция суспензии, и разрабатываются некоторые способы улучшения этой циркуляции.

ГЛАВА II

ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛ, ДЕЙСТВУЮЩИХ В ПРОЦЕССЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ

Рассматриваются силы, возникающие при периодических ударах инструмента о деталь. Вследствие малой продолжительности ударного импульса инструмент должен рассматриваться как система с распределенными параметрами. Применение методов, используемых в теории колебаний для систем с распределенными параметрами, затрудняется тем, что нагрузка на инструмент неизвестна. Кроме того, она описывается кусочно-заданной функцией. В течение части периода, когда инструмент не касается обрабатываемой детали, нагрузка равна нулю, а в течение второй части периода на торец инструмента действует сила. Наличие в зоне резания абразивных зерен вызывает значительные местные деформации в зоне непосредственного контакта инструмента и детали. Поэтому зависимость смещения торца инструмента от контактной силы нелинейная. Таким образом, задача определения сил, действующих в процессе ультразвуковой обработки, нелинейная.

В результате проведенного анализа процесса эта задача была сведена к однократному упругому удару однородного стержня со свободным концом по абразивным зернам, лежащим на обрабатываемой детали. К моменту начала удара в инструменте существует синусоидальная волна деформаций, влияющая на характер процесса. Большая длина инструмента и малая длительность соударения поз-

воляют пренебречь влиянием отраженных в инструменте волн и влиянием возбуждающей силы, создаваемой преобразователем, на рассматриваемый удар.

Обрабатываемые детали имеют различные размеры и форму. Можно выделить два предельных случая. К первому случаю относится обработка достаточно толстых деталей, что позволяет также пренебречь отраженными волнами. Сюда же относится случай, когда отраженной волной можно пренебречь из-за большого рассеивания энергии падающей волны.

Второй предельный случай соответствует обработке очень тонких изделий, когда за время удара волна напряжений успеет многократно отразиться от торцов детали. Для этого случая можно пренебречь волновыми процессами в обрабатываемой детали.

Определение ударной силы при обработке деталей с большой толщиной сводится к решению системы волновых уравнений.

$$\ddot{u}_1(x, t) = c_1^2 u_1''(x, t); \quad \ddot{u}_2(x, t) = c_2^2 u_2''(x, t),$$

где $u(x, t)$ - смещение сечения стержня с координатой x в момент времени t ,
 c - скорость продольных волн в материале стержня, индекс 1 относится к колебательной системе, а индекс 2 - к обрабатываемой детали.

Штрихи обозначают дифференцирование по x , а точки по времени t .

За начало отсчета времени принимаем момент начала соударения. Начальные условия определяются неподвижностью точек обрабатываемой детали и отсутствием в ней деформаций, а также смещением ударяющего торца инструмента u_0 на момент начала удара

$$u_0 = A \cdot \cos \theta,$$

где A - амплитуда колебаний.

Таким образом, начальные условия зависят от величины θ , которая в дальнейшем называется углом отсечки.

Краевые условия определяются равенством сил в месте контакта стержней и отсутствием смещения конца стержня 2, противоположного обрабатываемому. Разность смещений сечений стержней 1 и 2, находящихся в непосредственной близости от места контакта, обуславливается местными деформациями. Массой абразивных зерен и волновыми процессами в них пренебрегаем.

Считая зерна абразива состоящими из плоских граней, соединенных закругленными участками с радиусом R , получаем выражение для определения ударной силы

$$0,8255 \sqrt{\frac{2^2 \sigma^2}{m^2 R}} = A [\cos(\omega t - \theta) - \cos \theta] - \frac{1+\nu}{W_0} \int_0^t \sigma \cdot dt, \quad (1)$$

где σ - напряжение в инструменте на некотором расстоянии от места соударения (считаем напряжение равномерно распределенным по сечению);

ω - круговая частота;

m - количество участвующих в соударении зерен абразива, приходящееся на единицу площади поперечного сечения инструмента;

η - упругая постоянная соударяющихся тел, зависящая от модуля Юнга и от коэффициента Пуассона;

W_0 - удельное акустическое сопротивление материала инструмента;

ν - отношение акустических сопротивлений инструмента и детали.

Для второго предельного случая, при обработке тонких деталей, выражение для определения σ имеет вид равенства (1), в котором принято $\nu = 0$.

Точное решение равенства (1) не представляется возможным. Приближенное решение в общем

виде может быть получено, если линеаризовать зависимость сближения, обусловленного местными деформациями, от контактной силы и принять $y = \delta \cdot \frac{\sigma}{m}$, где δ - постоянный коэффициент. Величину δ следует выбирать таким образом, чтобы при максимальном значении σ действительная энергия местных деформаций, соответствующая нелинейной зависимости, равнялась энергии, соответствующей линеаризованной зависимости.

После линеаризации получаем выражения для определения напряжений в инструменте

$$\sigma(t) = \frac{A \cdot m}{\delta \sqrt{1+\rho^2}} [\cos(\omega t - \theta + \varphi) - e^{-\rho \omega t} \cdot \cos(\theta - \varphi)], \quad (2)$$

где обозначено

$$\rho = \operatorname{tg} \varphi = \frac{m(1+\nu)}{\delta \cdot \omega \cdot w_{01}}.$$

Величина δ определяется из соотношения

$$\delta = 0,66 m^{\frac{1}{3}} \cdot R^{-\frac{1}{3}} \cdot \eta^{\frac{2}{3}} \cdot \sigma_{\max}^{-\frac{1}{3}}.$$

Продолжительность соударения T может быть найдена из выражения $\cos(\omega T - \theta + \varphi) = e^{-\rho \omega T} \cdot \cos(\theta - \varphi)$, а для определения усилия подачи Q , необходимого для получения угла отсечки θ , служит равенство

$$Q = \frac{A \cdot m}{2\pi \cdot \delta \sqrt{1+\rho^2}} \left[\sin(\omega T - \theta + \varphi) + \sin(\theta - \varphi) - \frac{\cos(\theta - \varphi)}{\rho} (1 - e^{-\rho \omega T}) \right]. \quad (3)$$

Величина максимальных напряжений получается из выражения

$$\sigma_{\max} = \frac{m \cdot R^{\frac{1}{3}}}{0,53 \eta} \left\{ \frac{A}{\sqrt{1+\rho^2}} [\cos(\omega t_1 - \theta + \varphi) - e^{-\rho \omega t_1} \cdot \cos(\theta - \varphi)] \right\}^{\frac{3}{2}}, \quad (4)$$

где t_1 определяется из равенства

$$\sin(\omega t_1 - \theta + \varphi) = \rho e^{-\rho \omega t_1} \cdot \cos(\theta - \varphi).$$

Ударный импульс, подсчитанный при помощи выражения (2), имеет ассиметричную форму. Максимум напряжений сдвинут в сторону меньших

значений времени. Ассиметричность импульса растет с увеличением величины ρ . Напряжения при ударе возрастают плавно от нуля. Величина максимальных напряжений невелика. Ударные импульсы такого вида были экспериментально получены в Акустическом институте АН СССР.

Использование выражений (2), (3), (4) для практических расчетов неудобно, так как связано с решением трансцендентных уравнений. Кроме того, все расчеты необходимо выполнять методом последовательных приближений, поскольку величина ρ зависит от σ_{max} .

Наибольший интерес при ультразвуковой обработке представляют значения максимальных напряжений и продолжительности соударения. Для определения этих величин могут быть использованы приближенные расчетные зависимости:

$$T \approx \frac{T}{2} \left[\frac{0,53 \cdot \eta \cdot Q}{A^{1,5} \cdot m \cdot R^{0,5}} \right]^{0,278}; \quad (5)$$

$$\sigma_{max} \approx 2,9 \cdot m^{0,3} \cdot R^{0,15} \cdot \eta^{-0,5} \cdot A^{0,15} \cdot Q^{0,7}, \quad (6)$$

где T - период колебаний.

Вычисления с использованием выражений (5) и (6) дают результаты, близко совпадающие с экспериментальными данными. Так, подсчет для одного из случаев обработки дает величину максимальных напряжений $7,4 \text{ кГ/см}^2$. Экспериментальное значение σ_{max} для этого случая, полученное в Акустическом институте АН СССР, составляет $6,8 \text{ кГ/см}^2$, т. е. ошибка не превышает 10%.

Как следует из равенства (6) величина максимальной ударной силы возрастает с увеличением амплитуды, усилия подачи, размеров и количества зерен абразива, принимающих участие в соударении. В то же время величина силы, приходящейся на одно зерно, возрастает с уменьшением количест-

ва зерен. Особенно резкое увеличение ударной силы в 10 и более раз происходит при отсутствии абразива в зоне резания.

ГЛАВА III

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УЛЬТРАЗВУКОВОГО СТАНКА

Полученные выше зависимости для определения ударного импульса позволяют найти величину нагрузки колебательной системы при обработке. При распространении по однородному стержню ударных импульсов напряжения высшие гармоники быстро затухают. В реальной колебательной системе затухание высших гармоник значительно больше, чем в однородном стержне. Это вызывается высокой добротностью колебательной системы (система работает как фильтр). Жесткое крепление системы к головке станка в узле смещения первой гармоники служит дополнительным средством подавления высших гармоник. Поэтому в колебательной системе существуют почти синусоидальные волны и нелинейные искажения весьма малы.

Следовательно, колебания в системе, вызываемые воздействием периодических ударных импульсов, мало отличаются от колебаний, которые возникнут от приложения к концу инструмента силы

$$F(t) = \frac{a_0}{2} + a_1 \cdot \cos(\omega t - \theta) + b_1 \cdot \sin(\omega t - \theta). \quad (7)$$

Коэффициенты a_0 , a_1 , b_1 определяются из зависимостей

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_0^T G(t) \cdot dt$$

$$a_1 = \frac{2}{T} \int_0^T G(t) \cdot \cos(\omega t - \theta) \cdot dt$$

$$b_1 = \frac{2}{T} \int_0^T G(t) \cdot \sin(\omega t - \theta) \cdot dt.$$

В равенстве (7) первое слагаемое представляет собой постоянную составляющую, которая при установившемся режиме работы должна уравниваться усилием подачи. Второе и третье слагаемые - гармонические составляющие. Эти слагаемые могут быть использованы для определения активной и реактивной составляющей нагрузки при ультразвуковой обработке.

Получаем:

$$R_H = \frac{b_1 \cdot F_1}{\omega A}; \quad X_H = \frac{a_1 \cdot F_1}{\omega A},$$

где F_1 - площадь поперечного сечения торца инструмента.

Поскольку второе слагаемое в равенстве (7) отстает от скорости на $\frac{\pi}{2}$, реактивная нагрузка представляет собой упругость, т. е.

$$Z_H = R_H - i X_H.$$

Для определения реактивной составляющей нагрузки можно использовать приближенную зависимость

$$X_H \approx 1,41 \frac{m^{0,2} \cdot R^{0,1} \cdot Q^{0,8} \cdot F_1}{\omega \cdot A^{0,7} \cdot \eta^{0,2}}.$$

Комплексный характер нагрузки, возникающей в процессе размерной ультразвуковой обработки, вызывает изменение собственной частоты механической колебательной системы станка и уменьшение амплитуды колебаний. Определим величины этих изменений.

В ультразвуковых станках наибольшее распространение получили двух- и трехполуволновые колебательные системы. Двухполуволновая система состоит из электромеханического преобразователя (чаще всего магнитострикционного) и инструмента, который одновременно является усилителем амплитуды. В трехполуволновой системе между преобразователем и инструментом находится дополнительный концентратор.

Для трехполуволновой колебательной системы

ультразвукового станка приближенная зависимость между амплитудными значениями колебательной скорости рабочего торца инструмента U_{me} и вынуждающей силы P_m , создаваемой преобразователем, при возбуждении на частоте ω_1 , имеет вид:

$$P_m \approx U_{me} [(k_3 \beta \ell + k_8 \beta' \ell_1 + \frac{R_N}{W_1} \cdot k_7) + i(k_3 \chi + 2k_8 \chi - \frac{\chi_N}{W_1} k_7)],$$

где

$$k_3 = \frac{1}{N} (W_3 + W_4) + N_K (W_1 + W_2)$$

$$k_7 = W_1 \cdot N \cdot N_K$$

$$k_8 = \frac{W_5}{N \cdot N_K}$$

$$\chi = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{\omega_1 - \omega_0}{\omega_0}$$

$N = \frac{W_2}{W_1}$ - коэффициент усиления инструмента;

$N_K = \frac{W_4}{W_3}$ - коэффициент усиления концентратора;

W_1, W_2 - акустические сопротивления ступеней инструмента;

W_3, W_4 - акустические сопротивления ступеней концентратора;

W_5 - акустическое сопротивление преобразователя (считаем сечение преобразователя постоянным по длине);

β - коэффициент потерь в концентраторе и инструменте;

β' - коэффициент потерь в преобразователе;

ℓ - длина ступени инструмента;

ℓ_1 - длина преобразователя;

ω_0 - резонансная частота холостого хода.

Полученная зависимость позволяет найти относительное изменение амплитуды колебаний при работе на частоте ω_0 .

$$\Delta_1 = \frac{\chi_N \cdot N \cdot N_K}{\sqrt{(k_3 \beta \ell + k_8 \beta' \ell_1)^2 + (\chi_N \cdot N \cdot N_K)^2}}.$$

При подстройке частоты генератора в резонанс относительное уменьшение амплитуды равно

$$\Delta_2 = \frac{R_N \cdot N \cdot N_K}{k_3 \beta \ell + k_8 \beta' \ell_1 + R_N \cdot N \cdot N_K}.$$

Величина изменения собственной частоты системы в процессе обработки определяется из выражения

$$\Delta f = 0,142 \frac{N \cdot N_k \cdot m^{0,2} \cdot R^{0,1} \cdot Q^{0,8}}{W_0 \left[\frac{W_3}{W_2} B + N_k (1 + N) \right] \cdot R^{0,7} \cdot \eta^{0,2}}$$

где B - есть величина постоянная для данного станка

$$B = 1 + N_k + 2 \frac{W_5}{W_0}$$

(Для станка мод. 4772 $B = 5,16$).

Для двухполуволновой колебательной системы были получены аналогичные выражения.

Полученные зависимости позволяют определить оптимальный коэффициент усиления ультразвукового ступенчатого инструмента-концентратора.

Для трехполуволновой системы

$$N_{opt} = \sqrt{\frac{(W_3 + W_4) \beta l + \frac{W_5}{N_k} \beta' l_1}{N_k (W_1 \beta l + R_H)}}$$

Для двухполуволновой системы

$$N_{opt} = \sqrt{\frac{W_5 \cdot \beta' l_1}{W_1 \cdot \beta l + R_H}}$$

Величина уменьшения амплитуды при ультразвуковой обработке повышается с ростом коэффициента усиления инструмента и падает с увеличением коэффициента потерь в материале волноводов. Поскольку при использовании инструментов с большим коэффициентом усиления максимальная амплитуда часто определяется усталостной прочностью инструмента, следует более строго контролировать качество термообработки таких инструментов. В противном случае может произойти снижение производительности. Кроме того, для изготовления инструментов с большим коэффициентом усиления не рекомендуется использовать материал с очень низкими потерями. Соотношение между коэффициентом потерь и коэффициентом усиления должно обеспечить получение максимально допустимой амплитуды при заданной мощности генератора.

Для уменьшения падения амплитуды необходимо подстраивать частоту генератора. Величина расстройки системы растет с повышением усилия подачи и коэффициента усиления инструмента и падает с увеличением амплитуды. От резонансной частоты холостого хода абсолютная величина расстройки не зависит.

Полученные зависимости могут использоваться при проектировании колебательных систем и систем автоподстройки частоты и при проектировании ультразвуковых инструментов.

Экспериментальная проверка полученных зависимостей производилась на станке мод. 4772. В зоне резания устанавливался стальной шарик, имитировавший зерно. Станок мог работать как в режиме автоподстройки частоты, так и с ручной подстройкой. Для измерения амплитуды использовался электромагнитный датчик, концы магнитопровода которого были параллельны лыске на концентраторе. Лыска находилась вблизи пучности смещения и была расположена под углом 5° к оси концентратора. Измерялось уменьшение амплитуды колебаний и повышение собственной частоты колебательной системы в процессе обработки. Наблюдалось удовлетворительное совпадение экспериментальных данных с расчетными кривыми.

ГЛАВА IV

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДВУХСТОРОННЕЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ

При двухсторонней обработке резание совершается одновременно с двух сторон соосными инструментами до их соприкосновения. Исследования производились на установке с горизонтальным расположением инструмента. Установлено, что возможность обработки без скола при двухсторонней обработке обеспечивается достаточной

глубиной отверстия, прошитого инструментом, который имел более низкую производительность. При одних и тех же режимах обработки эта глубина отверстия, гарантирующая отсутствие сколов, зависит от толщины заготовки и возрастает с увеличением последней. Несмотря на это, с увеличением толщины заготовки проведение двухсторонней обработки облегчается, так как можно допустить большую разность скоростей инструментов, обрабатывающих одно отверстие.

Увеличение амплитуды и усилия подачи увеличивает опасность возникновения скола.

За счет повышения амплитуды и снижения усилия подачи можно значительно уменьшить опасность возникновения сколов при сохранении прежней скорости обработки. Таким образом, с точки зрения предотвращения сколов выгодно работать с максимальной амплитудой и со сниженным усилием подачи.

Увеличение несоосности инструментов и толщины стенки инструмента благоприятствует возникновению сколов. Однако, влияние этих факторов на возникновение сколов незначительно. В частности можно считать, что максимально допустимая несоосность инструментов ограничивается не условием предотвращения сколов, а точностными требованиями.

Ухудшение поступления абразива в зону резания также вызывает сколы.

Производительность двухсторонней обработки сравнивалась с производительностью обработки с одной стороны. Связь глубины прошитого отверстия h со временем t с достаточной точностью описывается степенной зависимостью $h = B \cdot t^K$, где коэффициент B и показатель степени K зависят от режимов обработки и от сорта применяемого абразива.

Для определения выигрыша во времени за счет применения двухсторонней обработки может быть использовано следующее выражение

$$\frac{t_0}{t_2} = (1+m)^{\frac{1}{K}},$$

где t_0 - время обработки с одной стороны;

t_2 - время при двухсторонней обработке;

m - отношение скорости инструментов, обрабатывающих одно отверстие; $m \leq 1$

Выигрыш времени за счет применения двухсторонней обработки не зависит от толщины заготовки.

При ультразвуковой обработке на режимах, близких к оптимальным, величина K изменяется в пределах от 0,6 до 0,8, а в случае применения принудительной подачи суспензии $K=1$. Если принять максимально допустимое отношение скоростей инструмента $\frac{1}{m} = 2$, то выигрыш времени будет в пределах 1,65 - 2 раза. Когда $m=1$ эта величина возрастает до 2,4 - 3,2 раза. При работе с принудительной подачей суспензии сокращение основного времени от применения двухсторонней обработки составляет 1,5 - 2 раза.

При двухсторонней обработке изменяется форма детали в плоскости, проходящей через ось. Прощитое отверстие получается корсетным, а вырезанный диск - бочкообразным. Исследование формы деталей при двухсторонней обработке производилось на вырезанных дисках. В месте соприкосновения инструментов на образующей имеется выступ, который может быть удален за счет дальнейшего углубления одного из инструментов. В этом случае двухсторонняя обработка позволяет примерно в 1,5 раза уменьшить погрешность геометрической формы деталей.

ГЛАВА V

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ЦИРКУЛЯЦИЮ АБРАЗИВНОЙ СУСПЕНЗИИ, И НЕКОТОРЫХ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЗА СЧЕТ УЛУЧШЕНИЯ ЦИРКУЛЯЦИИ

Поступление абразивной суспензии в рабочий зазор может происходить под действием силы тяжести, за счет скоростного напора суспензии и под действием разрежения в зоне резания, образующегося при колебательном движении торца инструмента.

Исследование влияния разрежения производилось на установке с горизонтальным инструментом. Сравнивалась скорость обработки сплошного образца и образца с отверстием. Отверстие соединяло зону резания с атмосферой и препятствовало образованию разрежения. Одновременно производилось фотографирование зоны резания с целью определения количества зерен абразива в рабочем зазоре.

На начальном участке, до глубины 1,5 мм скорости обработки сплошного образца и образца с отверстием мало отличаются друг от друга. В зоне резания находятся абразивные зерна. На глубине свыше 1,5 мм ход кривых для сплошного образца и для образца с отверстием отличается друг от друга. Для сплошного образца наблюдается незначительное снижение скорости обработки, а в зоне резания присутствует абразив. Для образца с отверстием скорость резко падает. Причина снижения скорости заключается в уменьшении абразивных частиц под обрабатываемым торцом инструмента.

При открытом отверстии на глубине 3,5 мм обработка невозможна, так как абразив в зоне

резания отсутствует. Глубина отверстия, на которой появляется разница скорости для образцов с отверстием и без него, зависит от величины скоростного напора суспензии.

Если закрыть отверстие в образце какой-либо крышкой и изолировать зону резания от атмосферы, то скорость обработки повышается в несколько раз.

При обработке вертикальным инструментом полного прекращения процесса не наблюдалось, однако и здесь за счет закрывания отверстия можно в 2 раза повысить производительность. Во время обработки деталей из твердого сплава с закрытым отверстием наблюдались случаи образования в полости детали абразивной пробки, препятствующей дальнейшей обработке. Для удаления этой пробки необходимо иметь возможность периодически открывать крышку, изолирующую полость отверстия.

Таким образом, перепад давлений между свободной поверхностью и рабочим зазором — основная причина поступления абразива под обрабатываемый торец.

Полученные результаты позволяют повысить производительность чистовых операций при обработке матриц и фильер (чистовая обработка — одно из основных применений ультразвуковых прошивочных станков).

При двухсторонней обработке изношенными инструментами для окончания операции необходимо один из инструментов отвести несколько раньше, чем второй. В этом случае зона резания соединяется с атмосферой и нарушается циркуляция абразива.

Вследствие этого может произойти снижение скорости обработки и скол детали. Для устранения этого явления необходимо после соприкосновения инструментов на одной из головок снизить

усилие подачи до нуля. Тогда зона резания останется изолированной от атмосферы и вторая головка сможет закончить операцию.

Было установлено, что на некоторой глубине в зоне резания возникает разрежение, величина которого зависит от амплитуды колебаний.

При ультразвуковой обработке часто применяется полый инструмент, позволяющий повысить производительность и добиться экономии дорогостоящих обрабатываемых материалов. Наличие большой полости в инструменте, соединенной с зоной резания, может оказывать влияние на поступление абразива.

При обработке полым инструментом следует различать два случая. В первом случае, при обработке предварительно прошитых отверстий (чистовая обработка), внутренняя полость инструмента должна быть изолирована от атмосферы. В противном случае производительность резко снижается. Уменьшение объема внутренней полости не оказывает влияния на скорость обработки. Это объясняется тем, что в полости инструмента образуется разрежение, содействующее поступлению абразива.

Во втором случае, при обработке сплошных деталей, в полости инструмента образуется избыточное давление, препятствующее поступлению абразива. За счет соединения полости с атмосферой можно улучшить циркуляцию суспензии и повысить скорость обработки.

Исследовались различные типы полых инструментов, у которых полость сообщалась с атмосферой. Наилучшие результаты дает применение разработанного нами инструмента, на рабочей поверхности которого имеются сквозные пазы - щели, расположенные под углом $30-40^\circ$ к оси. Применение такого инструмента позволяет повысить производительность обработки на 50-65%.

В ы в о д ы

1. Предложенные в работе теоретические зависимости позволяют определить силы, возникающие при ударе в процессе обработки, и подсчитать изменение амплитуды и резонансной частоты колебательной системы станка. Приведенные выражения также позволяют определить оптимальные размеры ультразвуковых концентраторов + инструментов.

Полученные результаты могут использоваться как при проектировании новых станков, так и при расчете инструмента.

2. При прекращении поступления абразивных зерен в зону резания величина ударной силы возрастает более чем в 10 раз, что может служить причиной возникновения сколов на детали.

3. Метод двухсторонней ультразвуковой обработки позволяет производить обработку без сколов. Метод обеспечивает повышение производительности в 1,5 - 3,2 раза, при одновременном уменьшении погрешностей геометрической формы деталей. Метод двухсторонней обработки может быть использован в оптической, радиотехнической и приборостроительной промышленности для обработки линз, кварцевых резонаторов для обработки деталей полупроводниковых приборов и т. д.

4. С точки зрения предотвращения сколов как при односторонней, так и при двухсторонней обработке выгодно работать с максимальной амплитудой и небольшим усилием подачи.

5. За счет изолирования зоны резания от атмосферы можно повысить производительность при чистовой обработке матриц и фильер в 2-3 раза. Этот способ может быть применен на всех существующих ультразвуковых станках и не требует больших капитальных затрат.

6. Применение полого инструмента, имеющего на рабочей части сквозные пазы-щели, расположенные под углом $30-40^\circ$ к оси инструмента, позволяет повысить скорость обработки на 50-65%.

Основные материалы диссертации опубликованы в следующих печатных работах:

1. З. И. Поляков, Исследование сил, возникающих при ультразвуковом резании. Ультразвуковая техника, 1963, № 3.

2. З. И. Поляков. О силах при ультразвуковом резании. Акустический журнал, 1965, XI, № 2.

3. Г. М. Борун, Г. В. Коршункова, З. И. Поляков. Двухсторонняя ультразвуковая обработка отверстий в стекле. ЦИТЭИН, 1961, № М-61-396/5.

4. Г. М. Борун, З. И. Поляков. Влияние разрежения в зоне резания на ультразвуковую обработку. Вестник машиностроения, 1963, № 8.

5. Г. М. Борун, З. И. Поляков. Величина разрежения в зоне резания ультразвукового инструмента. Акустический журнал, 1963, IX, № 2.

6. Г. М. Борун, З. И. Поляков. Ультразвуковая обработка деталей с предварительно прошитым отверстием. Ультразвуковая техника, 1963, № 3.

7. Исследование ультразвуковой обработки шкал радиоприемника "Родина" 52 М и проектирование ультразвукового станка для обработки шкал. Отчет по теме 60-23х, Челябинск, 1960 (НИПТИАММАШ).

8. Совершенствование технологии обработки ультразвуком шкал радиоприемника из силикатного стекла. Отчет по теме 61-39Х, Челябинск, 1961. (НИПТИАММАШ).

9. Исследование и совершенствование ультразвуковой обработки твердых и хрупких материалов на станке мод. 4772. Отчет по теме 61-84-13, Челябинск, 1961 (НИПТИАММАШ).

10. Специальные устройства для повышения производительности ультразвуковых станков. Отчет по теме 62-112-13, Челябинск, 1962 г. (НИПТИАММАШ).

По материалам диссертации выданы следующие авторские свидетельства:

1. Г. М. Борун, З. И. Поляков, Г. В. Коршунова. Способ ультразвуковой обработки отверстий, а. с. № 142136 кл. 49^В, 12, от 28/ХІ-60.

2. Г. М. Борун, З. И. Поляков, Г. В. Коршунова. Инструмент для ультразвуковой обработки, а. с. № 139181 кл. 49^В, 12, от 28/ХІ-60.

3. З. И. Поляков, Г. М. Борун, Б. Х. Мечетнер. Устройство для ультразвуковой обработки, а. с. № 173592 кл. в 23^р, 49^т, 403, от 20/ІV-64.

Отдельные разделы диссертации докладывались на V научно-производственной конференции по электрическим и ультразвуковым методам обработки в г. Ленинграде в 1963 г., на III областной конференции НТО Машпрома в г. Челябинске в 1965 г. и на итоговой научной конференции Челябинского политехнического института в 1965 г.