

**КИЕВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

На правах рукописи  
УДК 621.787 (063)

**ЭРНАНИ ФЕРНАНДЕШ МАНУЭЛ  
(АНГОЛА)**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА  
ВИБРОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ  
ЛИТЕЙНЫХ СПЛАВОВ АЛЮМИНИЯ**

Специальность 05.03.01 - процессы механической  
и физико-технической обработки  
станки и инструмент

**Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

Киев - 1994

ДВ 37.030

Диссертация является рукописью.

Работа выполнена в Восточнoукраинском государственном университете.

Научные руководители: доктор технических наук, профессор, академик Академии инженерных наук Украины СТРУТИНСКИЙ В.В.

кандидат технических наук, доцент ВЛАСОВ В.А.

Официальные оппоненты: Заслуженный деятель науки и техники, доктор технических наук, профессор, академик Академии инженерных наук Украины ГАВРИШ А.П.

кандидат технических наук, доцент БЕЛЯЕВ С.В.

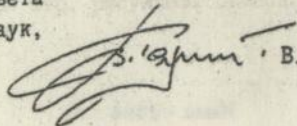
Ведущее предприятие : ПО "Донец" г. Луганск

Защита диссертации состоится "31" октября 1994 г. в 15<sup>00</sup> часов на заседании специализированного Совета К068.14.15 Киевского политехнического института по адресу: 252056, Киев-56, проспект Победы 37, корпус № 19, ауд.340.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Киевского политехнического института.

Автореферат разослан "30" сентября 1994 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета  
кандидат технических наук,  
доцент

 В.В. РОМАНЕНКО

ЛНБ України ім. В. Стефаника  
00777114 (R)

ЛНБ ім. В. Стефаника  
АН України

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Процессы вибротермической обработки деталей из литейных сплавов алюминия отличаются высокой производительностью. Они особенно эффективны для обработки деталей небольших размеров сложной конфигурации. Процесс виброобработки в химически активном рабочем растворе определяется многочисленными факторами. Влияние технологических факторов в их совокупности на процесс вибротермомеханической обработки изучено недостаточно. Поэтому теоретические и экспериментальные исследования технологического процесса виброобработки и создание на их основе научно-обоснованных рекомендаций и методик расчета техпроцесса являются актуальными в научном и практическом отношениях.

Цель диссертационной работы явилась интенсификация процесса виброобработки алюминиевых сплавов путем создания научно-обоснованной технологии термомеханической обработки в химически активных растворах, сочетающей все виды операций в едином замкнутом цикле.

Для достижения поставленной цели ставились и решались следующие задачи: 1) провести информационные исследования с выяснением сущности и технологических возможностей процесса виброобработки применительно к сплавам алюминия, обосновать объект, цель и задачи исследований; 2) разработать методику теоретических и экспериментальных исследований, укомплектовать оборудование для экспериментальных исследований; 3) определить закономерности движения деталей в процессе виброобработки и характеристики взаимодействия гранул наполнителя с обрабатываемыми деталями; 4) исследовать рабочий процесс виброобработки, его силовые и кинематические характеристики; 5) определить влияние химических свойств и температуры рабочего раствора на процесс виброобработки деталей из алюминиевых сплавов; 6) установить влияние технологических факторов на процесс виброобработки, разработать инженерную методику их расчета и рекомендации по выбору технологических режимов виброобработки.

Научная новизна. Исследовано движение деталей в рабочей среде. Оно проявляется в трех принципиально-различных формах: 1) быстрого колебательного движения деталей сопровождающегося ее соударениями с гранулами наполнителя; 2) медленного циркуляционного движения всего жидко-деформируемого объема рабочей среды; 3) медленного относительного перемещения деталей и гранул наполнителя.

Найдены вероятностные характеристики скоростей соударения деталей с гранулами наполнителя, которые являются мерой кинематического режима виброобработки. Установлены силовые характеристики процессов пластического деформирования и микрорезания поверхности детали. Определено влияние температуры и химических свойств среды на процесс виброобработки литейных сплавов алюминия. Установлены оптимальные технологические факторы виброобработки.

Практическая ценность. Разработана инженерная методика расчета основных параметров процесса виброобработки. Предложен ряд зависимостей пригодных для практических расчетов процесса. Даны конкретные рекомендации по обеспечению эффективного технологического процесса обработки деталей из литейных сплавов алюминия и рекомендации по выбору технологического оборудования.

Защищаемые положения: 1) методы и методики теоретических и экспериментальных исследований процесса вибротермической обработки; 2) результаты определения кинематических и силовых параметров колебаний контейнера, циркуляционного движения рабочей среды, вибрационного и медленного относительного движения деталей в рабочей среде; 3) сведения о рабочем процессе виброобработки включающем микрорезание, пластическое деформирование поверхности и химическое растворение материала детали в рабочем растворе; 4) определение влияния технологических факторов на эффективность процесса виброобработки; 5) инженерная методика расчета параметров технологического процесса, рекомендации по выбору оборудования и организации техпроцесса.

Апробация работы. Результаты работы доложены и одобрены на научно-технических конференциях и семинарах. В частности на III научно-технической конференции Ассоциации специалистов промышленной гидравлики и пневматики (Киев, 1993, 1994 г.г.).

Публикации. Основные результаты диссертации опубликованы в 5-ти печатных работах.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, заключения и приложений. Работа изложена на 182 стр. машинописного текста, 25 стр. рисунков. Список литературы включает 101 наименование.

## СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Во введении дано обоснование актуальности работы и ее общая характеристика.

В первом разделе дан анализ состояния вопроса по теме. Рассмотрена сущность и технологические возможности процесса виброобработки, обоснована цель и задачи исследований.

Вибрационные методы обработки деталей давно и успешно используются в машиностроении. Результаты исследований процесса виброобработки изложены в трудах Афтаназина И.С., Бабицева А.П., Берещенко А.А., Блюмштейна В.Ю., Блехмана И.И., Банатова П.С., Бородина Н.А., Бурштейна И.Е., Власова В.А., Городнянского А.В., Гинченко И.Г., Дьяченко В.И., Каргашова И.Н., Каргышева Б.Н., Зенкина А.С., Колесника Н.В., Кулакова Д.И., Кудрявцева И.В., Повидайло В.А., Политова Н.В., Мишнякова Н.Т., Ковалева В.В., Розенфельда И.Л., Струтинского В.Б., Тергана В.С., Устинова В.П., Честнова А.Д., Шаинского М.Е. и других.

Вибрационная обработка содержит в своей основе процесс взаимодействия детали с гранулами наполнителя различного вида. Процесс может сопровождаться микрорезанием, полированием или пластическим деформированием поверхности детали. При этом имеет место химическое взаимодействие материала детали с рабочим раствором.

Вибрационная обработка осуществляется с использованием различного оборудования, содержащего в частности виброустановку с контейнером, в который загружается рабочая среда, состоящая из деталей, гранул наполнителя и химически активного рабочего раствора.

Анализ литературных источников показал, что сведения о виброобработке алюминия и его сплавов немногочисленны и носят, как правило, описательный характер. Сведений о влиянии химических свойств рабочего раствора и температуры на процесс виброобработки практически не имеется. Поэтому сделан вывод о том, что процесс виброобработки деталей из литейных сплавов алюминия изучен недостаточно.

В качестве объекта исследования был выбран технологический процесс вибротермической обработки деталей из литейного сплава алюминия АЛ-2. Направление исследований – создание научно-обоснованной технологии вибротермомеханической обработки в химически активном растворе, сочетающей все виды операций в едином замкнутом цикле.

Технологические возможности этого метода позволяют создать принципиально новую технологию и в конечном итоге значительно упростить

процесс и повысить его экономическую эффективность.

Во втором разделе изложена методика исследований. Использован комплексный теоретически-экспериментальный метод с применением численно-аналитического математического моделирования процесса. Общий план исследований включает расчет параметров движения деталей и соударения их с гранулами наполнителя, анализ рабочего процесса виброобработки, получение аналитических зависимостей, описывающих изменение профиля поверхности детали и создание инженерной методики расчета технологического процесса виброобработки.

Экспериментальные исследования были выполнены на лабораторной установке ЛМСИ-1003, которая оснащена дополнительным оборудованием, позволяющим измерять температуру и химический состав рабочей среды. Установка снабжена устройствами измерения параметров рабочей среды и насосной станцией для непрерывной подачи рабочего раствора. Рабочий объем контейнера 15 дм<sup>3</sup>, частота вибраций до 47 Гц.

Для экспериментальных исследований использовались контрольные образцы из сплава АЛ-2. В качестве наполнителя применялись абразивные и неабразивные твердые и мягкие гранулы различного вида. Химический состав рабочего раствора изменялся в широких пределах.

Обработка результатов измерений проводилась статическими методами. При этом общая относительная погрешность экспериментальных измерений не превышала 2...5%.

В третьем разделе определены закономерности вибрационного и циркуляционного движения рабочей среды. Рассмотрена динамическая колебательная система, включающая контейнер, заполненный рабочей средой, установленный на упругой подвеске (рис.1). Колебательная система представлена в виде одномассовой плоской модели с тремя степенями свободы. Составлены дифференциальные уравнения вынужденных колебаний контейнера. В обобщенном виде

$$d^2x/dt^2 - 2\gamma\omega_0 dx/dt + \omega_0^2 x = \omega^2 [a \cos \omega t + \beta \sin \omega t]$$

где  $x$  - обобщенная переменная (перемещения в направлениях осей координат  $X$  и  $Y$  или угол поперечно-угловых колебаний);  $\omega_0$   $\gamma$  - собственная частота и параметр затухания;  $\omega$  - частота возмущающей силы;  $t$  - время;  $a, \beta$  - коэффициенты, определяемые видом колебаний.

Получены решения дифференциальных уравнений для колебаний

соответствующих трех степеням свободы в координатах  $x$ ,  $y$ ,  $\varphi$

$$x = x_m \sin(\omega t + \psi_x); \quad y = y_m \sin(\omega t + \psi_y); \quad \varphi = \varphi_m \sin(\omega t + \psi_\varphi),$$

где амплитудные значения  $x_m$ ,  $y_m$ ,  $\varphi_m$  перемещений и начальные фазы  $\psi_x$ ,  $\psi_y$ ,  $\psi_\varphi$  колебаний определяются через массовые, жесткостные и диссипативные параметры динамической системы.

Аналитические зависимости перемещений от времени дали возможность определить траектории, скорости и ускорения всех точек рабочей среды. Траектория центра масс близка к эллиптической, а проекции ускорений  $A_x$ ,  $A_y$  точки рабочей среды с координатами  $x_0, y_0$  описываются зависимостями

$$A_x = \omega^2 [-x_m \sin(\omega t + \psi_x) + y_0 \varphi_m \sin(\omega t + \psi_\varphi) - x_0 \varphi_m^2 \cos^2(\omega t + \psi_\varphi);$$

$$A_y = \omega^2 [-y_m \sin(\omega t + \psi_y) - x_0 \varphi_m \sin(\omega t + \psi_\varphi) - y_0 \varphi_m^2 \cos^2(\omega t + \psi_\varphi).$$

Ускорения точек среды определяют поле инерционных сил на элементы рабочей среды (детали и гранулы наполнителя), которые возникают в процессе вибрационного движения контейнера. Под действием этих нагрузок детали и гранулы смещаются в рабочем растворе и соударяются между собой (рис.2). Скорость соударения зависит: от плотностей детали  $\rho_D$ , наполнителя  $\rho_N$  и рабочего раствора  $\rho_P$ ; от объемов детали  $W_D$  и гранулы  $W_N$ , а также от площадей их сечений  $S_{Dx}$ ,  $S_{Dy}$ ,  $S_{Nx}$ ,  $S_{Ny}$  и от коэффициентов гидродинамических сопротивлений детали и гранулы для движений в направлении осей координат  $C_{Dx}$ ,  $C_{Dy}$  и  $C_{Nx}$ ,  $C_{Ny}$ . Получено аналитическое выражение для расчета скорости соударения следующего вида

$$V = \sqrt{\left[ \frac{(\rho_N - \rho_D) W_D a_{Dx}}{C_{Nx} S_{Nx}} - \frac{(\rho_D - \rho_P) W_D a_{Dx}}{C_{Dx} S_{Dx}} \right]^2 + \left[ \frac{(\rho_N - \rho_P) W_N a_{Ny}}{C_{Ny} S_{Ny}} - \frac{(\rho_D - \rho_P) W_D a_{Dy}}{C_{Dy} S_{Dy}} \right]^2}$$

В завершении раздела определены закономерности медленного циркуляционного движения рабочей среды. Рабочая среда перемещается как жидко-деформируемое тело. Это перемещение может трактоваться как медленное вращение всего объема рабочей среды. Получены зависимости для расчета эквивалентной скорости вращения и осредненной скорости движения деталей на поверхности рабочей среды. Определено относительное перемещение деталей и гранул наполнителя. Это перемещение определяется архимедовыми силами и силами сопротивления. Найдены траектории движения деталей и гранул. Определены условия,

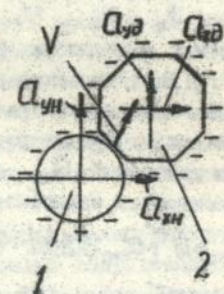
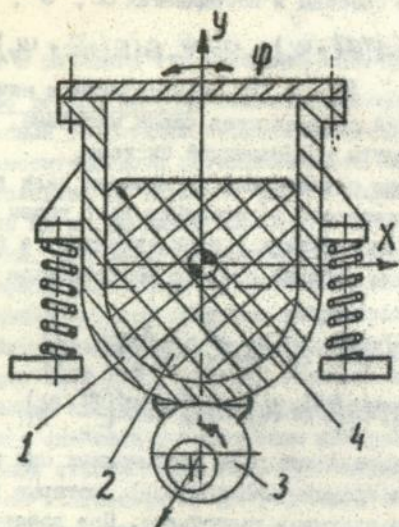


Рис.1. Схема установки для виброобработки деталей: 1-контейнер; 2-рабочая среда; 3-вибратор; 4-центр масс контейнера

Рис.2. Схема соударений гранулы наполнителя /1/ с деталью /2/ в рабочей среде

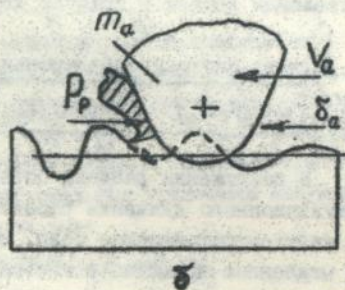
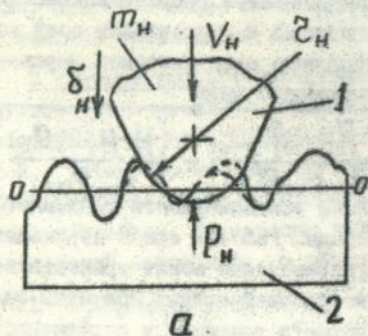


Рис.3. Схема пластического деформирования поверхности детали /а/ и микрорезания /б/, имеющие место в процессе виброобработки: 1- абразивное зерно в грануле наполнителя; 2- деталь

при которых перемешивание деталей и гранул обеспечивает равномерную обработку всей поверхности детали.

В четвертом разделе определены закономерности рабочего процесса виброобработки. Изменение качества поверхности детали происходит в результате микрорезания или пластического деформирования поверхностного слоя (рис.3), а также его химического растворения.

Составлены и решены дифференциальные уравнения, описывающие взаимодействие детали и гранулы в процессе соударения. В результате получены зависимости глубины лунки  $\delta_n$  и длины риски  $\delta_a$  от параметров задачи:

$$\delta_n = (m_n V_n^2 / 2) R_a (K_n Z_n HB)^{-1};$$

$$\delta_a = (m_a V_a^2 / 2) Z_n (K_a \sigma_b R_a)^{-1} - K_a T_p^2 \sigma_b R_a (2 m_a Z_n)^{-1};$$

где  $m_a, m_n$  - масса гранул, осуществляющих пластическое деформирование и микрорезание;  $V_n, V_a$  - нормальная и тангенциальная составляющие скорости соударения детали и гранулы;  $R_a, HB, \sigma_b$  - параметр шероховатости, твердость и предел прочности детали;

$Z_n$  - зернистость абразива наполнителя;  $K_n, K_a$  - постоянные;  $T_p$  - постоянная, учитывающая инерционность процесса микрорезания.

Процессы микрорезания и деформирования поверхности определяют скорости соударения деталей и гранул. Величины скоростей соударения во всем объеме рабочей среды подчиняются вероятностным закономерностям. Их оценка выполнена численными расчетами на ЭВМ. Установлено, что вероятность распределения  $\Phi$  скоростей соударения  $V$  может быть описана кривой нормального распределения Гаусса.

$$\Phi = \frac{1}{\sigma_v \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \frac{(V - V_{mo})^2}{\sigma_v^2}}$$

где среднеквадратичное отклонение и математическое ожидание составляют  $\sigma_v = \sigma / 16,7$ ;  $V_{mo} = \sigma / 11,5$  для исследуемого типоразмера контейнера.

Химическое растворение материала детали зависит от свойств рабочего раствора и температуры. На рис.4 представлены зависимости съема металла от кислотности рабочей среды и температуры. Наибольший съем металла имеет место при  $\text{pH} = 8 \dots 12$ . При этом зависимость может быть аппроксимирована аналитическим выражением

$$H = H_n \beta \frac{\text{pH} - \text{pH}_0}{\text{pH}_0}$$

где  $H_n, \beta, \text{pH}_0$  - эмпирические постоянные.

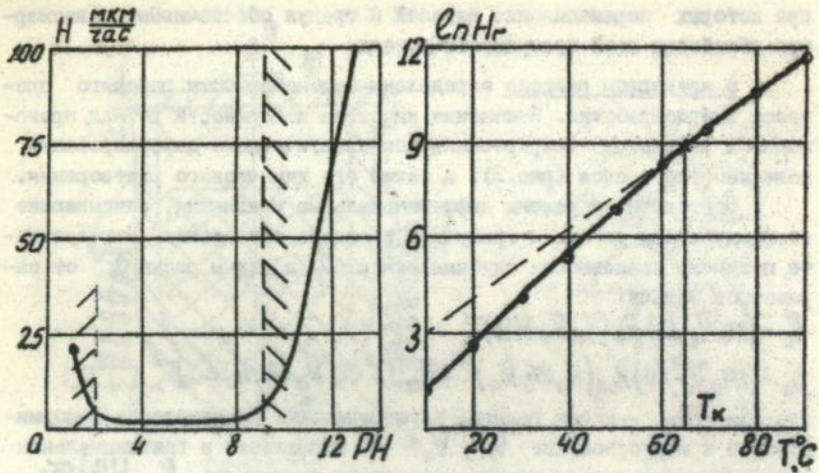


Рис. 4. Зависимость съема металла с поверхности детали от кислотности рабочего раствора /а/ и от температуры /б/

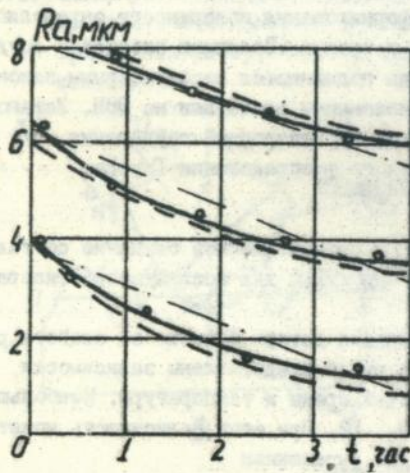


Рис. 5. Изменение параметра шероховатости поверхности детали в процессе виброобработки.

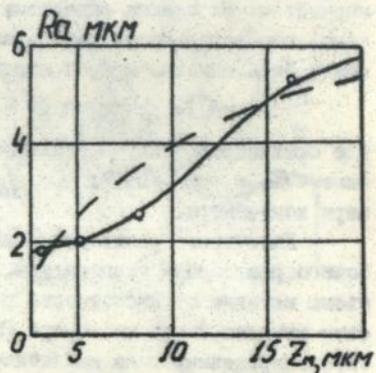


Рис. 6. Влияние зернистости абразива наполнителя на шероховатость обработанной поверхности

Термический режим виброобработки характеризуется наличием критической температуры  $T_K = 60 \dots 65^\circ\text{C}$ , выше которого на обработанной поверхности возникают очаги коррозии.

В пятом разделе определено влияние технологических факторов на процесс виброобработки. Изменение параметра шероховатости поверхности детали  $\Delta R_a$  происходит вследствие химического растворения и механического воздействия и может быть описано зависимостью

$$\Delta R_a = \frac{n_n \omega t R_a [m_n V_n^2 \left[ \frac{K_a \theta}{Z_n HB} + \frac{(1-\theta) K_A Z_n}{\sigma_B R_a^2} \right] - \frac{(1-\theta) K_B \sigma_B}{m_n Z_n}]},$$

где  $n_n, m_n, V_n$  - число, средняя масса и скорость удара гранул, контактирующих с обрабатываемой деталью;  $R_a, HB, \sigma_B$  - параметр шероховатости, твердость и предел прочности материала детали;  $Z_n$  - зернистость абразива наполнителя;  $K_n, K_A, K_B, \theta$  - постоянные.

Данная зависимость позволяет определить изменение параметра шероховатости во времени (рис.5). Для практических расчетов параметра шероховатости может быть рекомендована формула

$$R_a = R_{a0} / (1 + K_n \omega t),$$

которая соответствует экспериментальным данным (рис.5) с точностью до 5%.

Влияние амплитуды колебаний  $y_m$  на параметр шероховатости может быть описано зависимостью

$$R_a = R_{a0} / (K_1 + K_2 y_m),$$

где  $K_1, K_2$  - постоянные.

Для расчета влияния зернистости абразива  $Z_n$  наполнителя на параметр шероховатости рекомендовано выражение

$$R_a = R_{a0} / (1 + K_z / K_n), \text{ где } K_z = \text{const}$$

Расчет по этому выражению соответствует экспериментальным данным с точностью до 7% при зернистости абразива более 12 мкм (рис.6).

Зависимость изменения параметра шероховатости от твердости материала детали в первом приближении может быть определена формулой

$$R_a - R_{a0} = K_n / HB, \text{ где } K_n = \text{const}$$

Полученные в разделе простые функциональные зависимости позволяют выполнить практические расчеты параметров процесса виброобработки.

Раздел заканчивается рекомендациями по выбору оборудования и технологических режимов. Рекомендуются технические условия для операций очистки, шлифования, полирования и упрочнения. В частности, даны конкретные рекомендации по выбору наполнителя и состава рабочего раствора.

### ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Колебания деталей и гранул наполнителя в полости контейнера могут быть описаны аналитическими зависимостями в виде совокупности тригонометрических функций от фазового угла возмущающей силы. В объеме рабочей среды действует нестационарное поле ускорений, зависящее от массовых, жесткостных и диссипативных свойств контейнера и рабочей среды. Максимальные ускорения имеют место в окрестности дна контейнера, минимальные - у свободной поверхности среды. Отношение максимальных ускорений к минимальным составляет 3...4. Ускорения у стенок контейнера достигают 0,8...0,9 максимальных.

2. В течение периода колебаний на рабочую среду действует кратковременная моментная нагрузка, приводящая к медленному циркуляционному движению всей рабочей среды. Это движение может трактоваться как медленное вращение жидко-деформируемого объема рабочей среды с постоянной угловой скоростью. Эта скорость, в частности пропорциональна частоте колебаний в степени  $3/2$  и является степенной функцией от размеров контейнера (показатель степени 6).

3. В процессе виброобработки происходит перемешивание деталей и гранул наполнителя вследствие действия архимедовых сил. Интенсивность перемешивания определяется разностью плотностей гранул и деталей, а также их размерами. Для обеспечения эффективного перемешивания и, соответственно, равномерной обработки поверхности, размеры деталей должны быть ограничены согласно рекомендуемым зависимостям.

4. В полости контейнера имеет место высокочастотное колебательное движение деталей и гранул, сопровождающееся их соударением. Скорости соударения являются случайными величинами. Вероятность распределения скоростей может быть описана кривой нормального распределения Гаусса, в которой математическое ожидание и среднеквадратичное откло-

нение линейно зависят от частоты возмущающей силы.

5. В процессе виброобработки имеет место микрорезание и пластическое деформирование поверхности детали. Глубина лунок или длина микрорисок <sup>являются</sup> мерой интенсивности процесса. Глубина лунок и длина рисок пропорциональны кинематической энергии гранул наполнителя в момент соударения их с поверхностью детали и определяются, в частности, твердостью и пределом прочности материала детали.

6. Эффективность виброобработки определяется физико-химическими условиями процесса. Оптимальными являются температура обработки 60...65°C при обработке в щелочном растворе с  $pH = 8...12$ .

7. Изменение среднеарифметического отклонения профиля поверхности детали может быть описано мелко-линейными зависимостями, которые предложены для инженерной методики расчета технологического процесса виброобработки. Расчетные зависимости соответствуют экспериментальным данным с точностью 5...7%.

8. В качестве оборудования для вибрационной обработки деталей из литейных сплавов алюминия рекомендуется контейнер - образной формы, заполненный рабочей средой на 75...80% с объемным соотношением деталей и наполнителя от 1 до 4-х с химически активным рабочим раствором в объеме 10...30% рабочей среды. Рекомендуется непрерывная подача раствора в количестве 2,5...3,5 л/мин.

#### ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНО В РАБОТАХ

1. Берещенко А.А., Мануэл Э.Ф., Власов А.В., Игнатенко О.Г. Виброхимическая обработка деталей из литейного сплава АД-2 в щелочном растворе при различных температурах. - Информатика и технология, 1993, № 2, с. 14-18.

2. Струтинский В.В., Мануэл Э.Ф. Определение гидродинамических параметров среды при виброобработке деталей. Тез. докл. III конференции Ассоциации специалистов промышленной гидравлики и пневматики. Киев, 1993, с. 25-26.

3. Струтинский В.В., Сурнин Ю.М., Мануэл Э.Ф. Влияние и расчет технологических факторов в процессе виброобработки деталей из литейных сплавов алюминия: Информалистик, Луганский ВЦНТИ; № Луганск, 1994. - 3 с.

4. Струтинский В.Б., Мануэл Э.Ф. Исследования движения компонентов жидкотекущей среды в контейнере вибрационной установки, предназначенной для отделочной обработки деталей. Тез. докл. IУ конференции Ассоциации специалистов промышленной гидравлики и пневматики. Киев, 1994, с. 18-19.

*Е.М. Мануэл*

Подписано к печати 23.09.1994г. формат 60x84/16  
Бумага офсетная Усл.-печ.лист, 1,0 Уч.-изд. лист 1,0.  
Тираж 100. Заказ 452.

Полиграф. уч-к Института электродинамики АН Украины,  
252057, Киев-57, проспект Победы, 56.

ЛНБ ім. В. Стефаніка  
АН України \*

1. Введение. Цель и задачи исследования. Актуальность темы. Обзор литературы. Методология исследования. Описание объектов и методов исследования. Результаты исследования. Заключение. Список литературы.

2. Анализ исходных данных. Описание объектов исследования. Методология исследования. Описание объектов и методов исследования. Результаты исследования. Заключение. Список литературы.

3. Анализ исходных данных. Описание объектов исследования. Методология исследования. Описание объектов и методов исследования. Результаты исследования. Заключение. Список литературы.

4. Анализ исходных данных. Описание объектов исследования. Методология исследования. Описание объектов и методов исследования. Результаты исследования. Заключение. Список литературы.

5. Анализ исходных данных. Описание объектов исследования. Методология исследования. Описание объектов и методов исследования. Результаты исследования. Заключение. Список литературы.

AB 31.038