

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

МОСКОВСКИЙ
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНСТИТУТ СТАЛИ И СПЛАВОВ

На правах рукописи

Инж. Ф. А. БРОНИН

ИССЛЕДОВАНИЕ КАВИТАЦИОННОГО РАЗРУШЕНИЯ
И ДИСПЕРГИРОВАНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ
В УЛЬТРАЗВУКОВОМ ПОЛЕ ВЫСОКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
профессор, кандидат физико-математических наук
Б. А. АГРАНАТ

Москва — 1967

В В Е Д Е Н И Е

Звуковые и ультразвуковые колебания находят все более широкое применение во многих отраслях промышленности. С высоким технико-экономическим эффектом внедрены процессы ультразвуковой очистки от жировых и механических загрязнений, лаковых и полимерных пленок, окалины и продуктов коррозии. Успешно применяется ультразвук для сварки тонких листов алюминия, в процессах дегазации и эмульгирования, обогащения и предотвращения накипеобразования.

Весьма перспективным является использование ультразвуковых колебаний большой интенсивности в порошковой металлургии для получения материалов высокой дисперсности.

Одним из основных факторов, определяющих воздействие ультразвука на процессы, протекающие в жидкостях, является кавитация. В диссертации исследовались процессы кавитационного разрушения и диспергирования твердых тел в ультразвуковом поле. Для выяснения факторов, способствующих интенсификации процессов диспергирования, рассмотрена динамика кавитационной полости. Проведен анализ расширения и захлопывания кавитационной полости в звуковом поле, а также рассмотрено влияние на этот процесс физико-химических свойств жидкости (давления насыщенного пара, вязкости, коэффициента поверхностного натяжения) и внешних условий (статического давления, температуры).

Диссертационная работа ставила своей целью на основе экспериментальных работ и теоретических исследований динамики кавитационной полости, установить основные закономерности процессов кавитационного разрушения и диспергирования в звуковом поле, определить наиболее важные факторы, способствующие интенсификации кавитационного воздействия, разработать аппаратуру для получения материалов высокой дисперсности и дать рекомендации

по технологическому использованию полученных результатов.

Диссертация состоит из введения, 5-ти глав и выводов.

Г Л А В А I

Литературный обзор по кавитационному разрушению и диспергированию твердых тел

Литературный обзор содержит три раздела. В первом разделе приводится обзор работ по механизму кавитационного разрушения и диспергирования твердых тел. Рассмотрены опубликованные до настоящего времени теории кавитационного разрушения: механические, электрические, тепловые, термоэлектрические, электрохимические и др. Отмечается, что ни одна из предложенных теорий, взятая в отрыве от других, не может объяснить всего комплекса физических и физико-химических явлений, наблюдаемых при кавитационном воздействии. Наиболее близка к реальному процессу и удовлетворительно согласуется с экспериментом теория кавитационного разрушения твердых тел ударными волнами, возникающими в жидкости при захлопывании кавитационных полостей в звуковом поле.

Во втором разделе литературного обзора рассматриваются работы, в которых исследовано влияние на процесс кавитационного разрушения и диспергирования, параметров звукового поля, физико-химических свойств рабочей жидкости и внешних условий. Отмечается актуальность теоретической разработки вопросов, связанных с использованием избыточного статического давления для управления процессом ультразвуковой кавитации. Анализируются экспериментальные исследования в этой области, указывающие на возможность повышения интенсивности кавитационного разрушения на 2-3 порядка при оптимальном соотношении между амплитудой звукового давления и внешним статическим давлением в рабочем объеме жидкости.

В третьем разделе литературного обзора рассмотрены работы по ультразвуковому диспергированию различных материалов. Большинство опубликованных работ не выходит за пределы лабораторных исследований, и не дают рекомендаций по технологическому применению методов ультразвукового диспергирования. Недостаточно в литературе приводится данных по ультразвуковому диспергированию тугоплавких и жаропрочных металлов и окислов. Опубликованные исследования не доведены до широкого промышленного использования.

Г Л А В А I I

Динамика кавитационной полости. Определение оптимальных условий процессов диспергирования твердых тел в звуковом поле

Два раздела второй главы диссертации посвящены исследованию процессов расширения и захлопывания одиночных кавитационных полостей в звуковом поле.

В первом разделе рассматриваются физические явления, связанные с расширением и захлопыванием кавитационной полости. Анализируются процессы испарения и конденсации пара в полости. В отличие от установившегося в литературе мнения о том, что в процессе расширения кавитационной полости давление пара всегда равно давлению насыщения, показана справедливость этого выражения только в случаях, когда время расширения кавитационной полости и максимальный радиус достигнутый в стадии расширения связаны соотношением:

$$\tau \geq \frac{R_{\text{макс}}}{3\alpha} \sqrt{\frac{2\pi M}{BT}}$$

где:

- τ - время расширения кавитационной полости;
- $R_{\text{макс}}$ - максимальный радиус, достигаемый полостью в стадии расширения;
- α - коэффициент аккомодации;
- M - молекулярный вес пара;
- B - универсальная газовая постоянная;
- T - абсолютная температура.

Максимальная величина давления, возникающего в жидкости при захлопывании кавитационной полости, в любой момент времени определяется соотношением:

$$P_m(t) = \frac{3\rho}{4\sqrt[3]{2}} \dot{R}^{-2/3} (R\ddot{R} + 2\dot{R}^2)^{4/3}$$

где:

- $P_m(t)$ - максимальное давление, возникающее в жидкости;
- R - радиус полости;
- \dot{R}, \ddot{R} - скорость и ускорение стенки полости.

Теоретическим анализом показано, что давление, возникающее в жидкости определяется, во-первых, динамическим давлением радиального потока жидкости, направленного к

центру полости и во-вторых, давлением парогазовой смеси в полости. Выражение для максимальной величины давления парогазовой смеси в полости при минимальном ее объеме имеет вид:

$$P_{\text{П (макс)}} = \frac{3}{2} \dot{R}_{\text{макс}}^2 \rho \gamma^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

где:

$P_{\text{П (макс)}}$ - максимальное давление пара и газа в полости при максимальном объеме в процессе захлопывания;

$\dot{R}_{\text{макс}}$ - максимальная скорость захлопывания;

ρ - плотность жидкости;

γ - показатель политропы.

В работе показано, что максимальная величина давления, возникающего в жидкости при достижении полостью минимального радиуса в $6\gamma^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$ раз превышает максимальную величину динамического давления для момента времени, когда скорость стенки полости имеет максимальное значение.

Отмечается, что в исследовании Релея по захлопыванию пустой кавитационной полости приводится выражение для максимальной величины динамического давления. Однако, как показывают расчеты, эта величина в случае захлопывания парогазовой полости, много меньше, чем давление, создаваемое в жидкости за счет пара и газа в полости.

Для максимального давления, возникающего в жидкости в момент времени, когда полость достигла минимального размера при захлопывании, получено выражение:

$$P_{\text{м}}(r) = (\gamma - 1)^{\frac{3\gamma-1}{3(\gamma-1)}} (P_{\text{зв}}^* + P_{\text{ст}})^{\frac{3\gamma-1}{3(\gamma-1)}} \times \\ \times \left[(P_{\text{ст}} - P_{\text{в}} + \frac{2\sigma}{R_0}) \frac{R_0^3}{R_{\text{макс}}^3} + P_{\text{в}} \right]^{\frac{2}{3(\gamma-1)}} \frac{R_{\text{макс}}}{r}$$

где:

$P_{\text{зв}}^*$ - эффективная величина звукового давления;

$P_{\text{ст}}$ - статическое давление;

R_0 - начальный радиус полости перед стадией расширения;

$P_{\text{в}}$ - давление насыщенного пара жидкости;

σ - коэффициент поверхностного натяжения жидкости;

r - расстояние от центра полости.

Анализ этого выражения показал, что величина возникающих в жидкости давлений растет с увеличением звукового давления, уменьшается при увеличении давления насыщенного пара и газа в полости и проходит через максимум при изменении избыточного статического давления.

Для решения нелинейных дифференциальных уравнений движения полости были применены аналоговые вычислительные устройства типа МН-7 и электронно-вычислительная машина Минск-22, на которой уравнения решались методом численного интегрирования.

Дифференциальное уравнение, описывающее процесс расширения кавитационной полости для программирования на вычислительных машинах, использовалось в виде:

$$(R\ddot{R} + 1,5\dot{R}^2)\rho + 4\mu\frac{\dot{R}}{R} - [(P_{ст} - P_v + \frac{2\sigma}{R_0})\frac{R_0^3}{R^3} + P_v] \times \\ \times \frac{R^{3\gamma}}{R^{3\gamma}} + \frac{2\sigma}{R} - P_{зв} \sin\omega t + P_{ст} = 0$$

Для стадии захлопывания и вторичного расширения уравнение применялось в виде:

$$(R\ddot{R} + 1,5\dot{R}^2)\rho + 4\mu\frac{\dot{R}}{R} - [(P_{ст} - P_v + \frac{2\sigma}{R_0})\frac{R_0^3}{R^3} + P_v] \times \\ \times \frac{R^{3\gamma}}{R^{3\gamma}} + \frac{2\sigma}{R} - P_{зв} \sin\omega t + P_{ст} = 0$$

где :

- μ - динамический коэффициент вязкости;
- $P_{зв}$ - амплитудное значение звукового давления;
- ω - круговая частота изменения звукового поля.

Начальные условия для процесса расширения использовались в виде:

$$t = 0 \quad R = R_0 \quad \dot{R} = 0$$

Величина начального радиуса при расчетах была принята равной $R_0 = (3,2 \div 10) \times 10^{-4}$ см. Показано, что при таком выборе величины R_0 процесс расширения кавитационной полости практически не зависит от величины начального радиуса.

Для процесса захлопывания кавитационной полости начальные условия имели следующие значения:

$$t = t_{\text{расш}} \quad R = R_{\text{макс}} \quad \dot{R} = 0$$

где :

$t_{\text{расш}}$ - время расширения кавитационной полости.

Амплитуда звукового давления была принята 10 атм . Частота изменения звукового поля 20 кГц ; константы μ и σ приняты для воды при 20°С . В процессе счета варьировались величины $P_{\text{зв}}$ и $P_{\text{ст}}$, а также при расчете некоторых вариантов изменялись величины μ и σ .

Анализ решений, полученных на вычислительных машинах, показал, что процесс развития кавитационной полости в звуковом поле проходит через несколько стадий, причем теоретически удалось зафиксировать стадию вторичного расширения кавитационного пузырька в звуковом поле и определить параметры, характеризующие этот процесс (скорость, ускорение, максимальный радиус, достигнутый при вторичном расширении и т.д.).

Для кавитационной полости, захлопывающейся при нормальном атмосферном давлении, определено давление и температура парогазовой полости при минимальном радиусе полости в конце стадии захлопывания. Максимальная величина давления пара и газа в полости составили 3000 атм , а температура 6000°К .

В работе показана роль избыточного статического давления в процессах ультразвуковой кавитации. Увеличение избыточного статического давления существенным образом влияет на динамику кавитационной полости. Уменьшается максимальный радиус, достигаемый в стадии расширения, время расширения и время захлопывания. Однако отличительной чертой этого процесса является обнаруженный эффект сдвига процесса захлопывания полости во времени относительно кривой изменения звукового давления. При этом средняя величина звукового давления, действующего на кавитационную полость в стадии захлопывания, уменьшается, а сумма внешних сил, приложенных к полости (статическое и звуковое давление) проходит через максимальное значение. Благодаря этому, наибольшее давление в жидкости, возникающее при захлопывании кавитационной полости, достигается при определенном соотношении между звуковым и статическим давлением.

Большее значение для теоретических расчетов кавитационных процессов в звуковом поле имеет определение времени и максимального радиуса, достигаемого кавитационным пу-

зырьком в стадии расширения. В работе получена формула для определения величины $R_{\text{макс}}$

$$R_{\text{макс}} = \frac{0,4}{f} \left(1 - \frac{P_{\text{ст}}}{P_{\text{зв}}}\right) \sqrt{\frac{P_{\text{зв}}}{\rho}}$$

где :

f - частота звукового поля.

Эта формула отличается от зависимостей, приводимых в литературе, имеет более высокую точность. Величина погрешности по сравнению с данными электронно-вычислительной машины не превышает 3,5%.

Получено соотношение для определения времени расширения кавитационной полости:

$$t_{\text{расш}} = \frac{0,4}{f} \left(1,9 - \frac{P_{\text{ст}}}{P_{\text{зв}}}\right)$$

Выражения для $R_{\text{макс}}$ и $t_{\text{расш}}$ позволяют с достаточной степенью точности параметры уравнений динамики кавитационного пузырька ($R_{\text{мин}}$, $R_{\text{макс}}$, $P_{\text{т}}$ и др.), не прибегая к трудоемким расчетам на вычислительных машинах.

На основании проведенного анализа установлено, что изменение коэффициента поверхностного натяжения жидкости мало сказывается на динамике кавитационной полости. Влияние вязкости жидкости сказывается лишь при значениях μ , превышающих вязкость воды в 100 и более раз. Основными факторами, влияющими на процесс кавитационного воздействия, являются статическое и звуковое давление.

Г Л А В А III

Результаты экспериментальных исследований по диспергированию твердых тел в ультразвуковом поле

В III главе приведены экспериментальные результаты по диспергированию порошковых материалов в ультразвуковом поле. В качестве объекта исследования взяты материалы, применяющиеся в настоящее время в порошковой металлургии; окись алюминия, окись магния, окись свинца, двуокись циркония, хром и нержавеющая сталь. Выбор материалов в основном обуславливался задачами практического использования полученных порошков в промышленных условиях. Экспериментально исследована зависимость ультразвукового диспергирования от величины избыточного статического давления в рабочей камере диспергатора, от темпера-

туры рабочей жидкости, а также проведено диспергирование материалов при разном времени обработки с различными первоначальными размерами частиц и при различном соотношении твердой и жидкой фазы.

Влияние избыточного статического давления на процесс ультразвукового диспергирования было проверено на примере хрома, окиси свинца и окиси алюминия. Полученные данные показали, что для хрома выход наиболее мелкой фракции $-4,2 \text{ мк}$ увеличивается с ростом статического давления, достигая наибольшего значения при $4 \div 4,5 \text{ атм}$ ($84,4\%$ против $46,4\%$ при 0 атм), но при дальнейшем повышении статического давления выход этой фракции уменьшается. Выход более крупных фракций $4,2 - 8,4 \text{ мк}$ и $8,4 - 12,6 \text{ мк}$ при давлении $4 \div 4,5 \text{ атм}$ соответственно уменьшается до значений $9,4\%$ и $4,3\%$ против $23,1\%$ и $18,3\%$ для 0 атм . При проведении эксперимента амплитуда излучателя равнялась 6 мк , время обработки составило 2 часа , соотношение твердой и жидкой фазы составило $0,4 \text{ г/мл}$. Аналогичные зависимости по влиянию избыточного статического давления были получены и для других испытанных материалов.

Влияние температуры на процесс диспергирования в ультразвуковом поле проверялось на примере хрома и окиси свинца. Отмечается, что повышение температуры увеличивает зону кавитации в рабочем объеме жидкости и массу пара в кавитационной полости. Первый фактор способствует увеличению кавитационного воздействия, в то время как второй уменьшает его.

Теоретическим анализом показано, что в кавитационных пузырьках, развивающихся под избыточным статическим давлением, нарастание массы пара в полости при увеличении температуры происходит в меньшей степени, чем при атмосферном давлении, вследствие чего максимум кавитационного воздействия при повышенных давлениях сдвигается в сторону более высоких температур. Согласно проведенным расчетам, максимум кавитационного воздействия при 4 атм статического давления можно ожидать при температуре $85 \div 95^\circ\text{C}$. Последнее подтверждается экспериментальными данными, опубликованными в литературе.

В работе показано, что исследование влияния температуры на эффективность диспергирования представляет более сложную задачу, так при этом необходимо учитывать скорость гидропотоков, возникающих в жидкости, при наличии кавитации. Благодаря гидропотокам частицы диспергируемого материала перемещаются по всему объему озвученной области. Эффективность диспергирования определяется не только размерами кавитационной зоны, но и скоростью, с ко-

торой происходит обмен частиц между зоной кавитации и остальным объемом жидкости.

Произведено исследование влияния других технологических факторов на процесс диспергирования. Установлено, что с уменьшением первоначального размера частиц, при неизменном времени обработки, конечный продукт имеет более высокую дисперсность. Вместе с тем, изменение соотношения твердой и жидкой фазы в пределах от 0,2 до 2,3 г/л не влияет существенно на дисперсность обработанного материала. Отмечено, что с увеличением времени обработки увеличивается однородность по фракционному составу конечного продукта. На примере окиси алюминия показано, что при ультразвуковом диспергировании можно получать частицы с размером 0,02 мк до 44% от общего количества частиц.

Анализ степени дисперсности частиц проводился 3 методами: ситовым анализом, методом определения удельной поверхности порошка (прибор ПСХ-2 и прибор Дерягина) и микроскопическим методом (оптический и электронный микроскоп).

Для проведения исследований по диспергированию твердых тел была разработана аппаратура, предусматривающая эффект интенсификации процесса за счет повышенного статического давления.

Лабораторные исследования проводились на диспергаторе поршневого типа. В качестве источника ультразвуковых колебаний использовался магнитострикционный преобразователь ПМС-15А, мощностью 2,5 кВт, работающий на частоте 18-22 кГц. На волноводе преобразователя укреплялась камера из нержавеющей стали, имеющая двойные стенки, между которыми циркулировала вода для охлаждения обрабатываемой суспензии. Над поверхностью рабочей жидкости создавалось избыточное статическое давление путем подачи из баллона сжатого газа (азота).

В процессе проведения каждого опыта поддерживался одинаковый режим генератора и преобразователя. Постоянство амплитуды колебаний обеспечивалось применением схемы с обратной акустической связью. Периодический контроль амплитуды осуществлялся бесконтактным виброметром УБВ-2.

Для диспергирования материалов в полупромышленных условиях использовался ультразвуковой диспергатор с фокусирующим полем, работающий под повышенным статическим давлением. Проведенные технологические эксперименты по измельчению материалов в диспергаторах, использующих эффект повышенного избыточного давления показали целесооб-

разность разработанных конструкций для промышленного применения.

Как показали металлографические исследования спеченных образцов, при введении в порошок хрома окиси магния или окиси алюминия, подвергнутой ультразвуковой обработке, достигается равномерное распределение в матрице тугоплавких включений минимальных размеров, что способствует повышению прочностных и эксплуатационных характеристик полученного материала. Так при использовании в качестве дисперсионной добавки 5% окиси магния, с исходным средним размером частиц 0,17 мк, предел прочности изделий из хрома при высоких температурах (1000⁰С) не превышает 10-12 кГ/мм². После ультразвукового диспергирования этой же партии окиси магния до среднего размера 0,02 мк (время обработки 10 мин.) прочностные свойства изделий возросли до 13,7-14,8 кГ/мм².

При длительной работе ультразвуковых диспергаторов были обнаружены (химическим анализом) инородные примеси хрома, никеля и железа в количестве (0,05÷1,0%). Появление примесей может быть объяснено разрушением деталей внутренней камеры диспергатора, изготовленного из нержавеющей стали 1Х18Н9Т, под воздействием ультразвука высокой интенсивности.

Для создания рабочей камеры диспергатора, не разрушающейся в ультразвуковом поле, были проведены исследования по изысканию материалов, имеющих более высокую кавитационную стойкость, чем нержавеющая сталь.

Г Л А В А IV

Разработка сплавов, обладающих повышенной кавитационной стойкостью и их использование для изготовления ультразвуковых диспергаторов

Исследование кавитационной стойкости металлов и сплавов проводилось на ультразвуковой установке УЗВД. В процессе испытания измерялись весовые потери в зависимости от времени кавитационного воздействия, исследовалась кинетика упрочнения и разупрочнения сплавов, а также проводился микроструктурный анализ.

Исследования на кавитационную стойкость были подвергнуты как стандартные алюминиевые бронзы, так и бронзы, содержащие 9÷10% Al легированные титаном. Впервые изучена кавитационная стойкость алюминиевых бронз эвтектоидного состава в горячекатаном перед закалкой состоянии. В работе исследовано влияние леги-

рующих элементов титана, кобальта, никеля, марганца и железа на кавитационную стойкость алюминиевых бронз. В результате проведенных исследований установлено, что наиболее кавитационно стойкими сплавами являются закаленные бронзы БрА12 легированные как 3% Ni и 3% Fe, так и 0,7÷1% Ti. Указанные бронзы превосходят по кавитационной стойкости нержавеющую сталь 1Х18Н9Т в 10-15 раз. Микроструктурный анализ показал, что за счет легирования БрА12 никелем и железом при закалке можно зафиксировать β -раствор, а добавка 0,7÷1% Ti к БрА12 уменьшает величину зерна и размер мартенситных игл. Установлено положительное действие добавок титана на кавитационную стойкость стандартных алюминиевых бронз. Так, например, добавка 1%Ti в бронзу БрА10 повышает ее кавитационную стойкость в 2 раза. Замена в сплаве БрАЖМЦ9-4-2 четырех процентов железа титаном в количестве 0,5% увеличивает кавитационную стойкость сплава в 1,5 раза. Микроструктурным анализом выявлено, что в последнем случае замена железа титаном измельчает зерна α -твердого раствора и позволяет исключить железистую составляющую, нарушающую однородность структуры сплава.

Проведенные исследования позволяют рекомендовать для изготовления диспергаторов, а также аппаратов и устройств, работающих в режиме интенсивной кавитации, закаленные алюминиевые бронзы эвтектоидного состава, легированные железом и никелем или титаном.

Г Л А В А V

Диспергирование и разрушение поверхностных пленок в ультразвуковом поле

В главе V диссертации рассматриваются вопросы диспергирования и удаления синтетических и органических лаковых пленок с поверхности твердых тел. В качестве объекта изучения были выбраны лаковые пленки загрязнений на деталях эмальстанков. Цель исследования состояла в разработке метода и технологического оборудования для эффективной очистки деталей.

Предварительные исследования выполнялись в лабораторных условиях. Для этой цели была изготовлена специальная ванна с преобразователем ПМС-6 с питанием от генератора УЗГ-10М. Оценка степени очистки поверхностей деталей производилась оптическим (на фотоколориметре) и электрическим (измерение диэлектрической проницаемости раствора) мето-

дами, а также по изменению веса деталей в процессе их очистки от лака.

В качестве рабочей жидкости был выбран для ультразвуковой очистки от лака “Винифлекс” растворитель хлорбензол, как имеющий наименьшее давление насыщенных паров и наименьшую растворимость газов среди большинства общепотребительных органических растворителей.

Так как хлорбензол имеет низкую температуру вспышки (28°C), что требует изготовления аппаратуры во взрывобезопасном исполнении, для применения в производственных условиях был подобран раствор, состоящий из 80% хлорбензола и 20% четыреххлористого углерода, обладающий значительно более высокой температурой вспышки (более 60°C).

На основе экспериментальных исследований была разработана промышленная ультразвуковая установка для разрушения пленок и очистки эмалированных станков от лака “Винифлекс”. Полная очистка деталей на этой установке производится за $20\div 30$ мин. против 6-7 часов, затрачиваемых на этот же процесс ранее без ультразвука. Установка внедрена на заводе “МОСКАБЕЛЬ”.

В Ы В О Д Ы

1. Для определения основных параметров, влияющих на процессы диспергирования и кавитационного разрушения, использованы дифференциальные уравнения динамики кавитационной полости в звуковом поле. Учтена вязкость жидкости и изменение давления насыщенного пара. Разработана структура уравнений для программирования на вычислительных машинах.

2. В результате анализа решений, полученных на вычислительных машинах, выяснен механизм воздействия избыточного статического давления на интенсивность ультразвуковой кавитации. Определены параметры звукового поля, физико-химических свойств жидкости и внешние условия (статическое давление, температура), оказывающих наиболее существенное влияние на процессы диспергирования и кавитационного разрушения.

3. Разработаны технологические режимы получения материалов высокой дисперсности. Определено оптимальное соотношение между величинами звукового и статического давления, при котором наблюдается наибольший эффект диспергирования и кавитационного разрушения.

4. На основании проведенных исследований разработана конструкция ультразвукового диспергатора с фокусирующим полем.

5. Исследован процесс диспергирования тугоплавких и жаропрочных материалов в звуковом поле. Установлено, что использование избыточного статического давления для интенсификации ультразвуковой кавитации значительно увеличивает эффект диспергирования. На примере окиси алюминия, окиси магния, окиси свинца и двуокиси циркония (с исходным средним размером частиц менее одного микрона) показано, что при ультразвуковом диспергировании под избыточным статическим давлением, за 10-15 мин. обработки достигается степень измельчения материала в 20-30 раз.

Полученные экспериментальные данные согласуются с результатами расчетов на вычислительных машинах.

6. На основе результатов технологических испытаний показано, что использование высокодисперсных тугоплавких окислов, обработанных в ультразвуковом поле, повышает механические свойства изделий при высоких температурах.

7. В целях повышения стойкости ультразвуковых излучателей диспергирующих устройств разработаны новые кавитационностойкие сплавы на основе алюминиевых бронз эвтектидного состава. Полученные сплавы значительно превышают кавитационную стойкость применяемых в настоящее время металлов и сплавов.

8. Разработана и внедрена в заводских условиях ультразвуковая установка для диспергирования и удаления лаковых пленок с поверхности металлов. Годовой экономический эффект от внедрения одной установки составил 6120 руб.



Основное содержание диссертации изложено в следующих работах:

1. Агранат Б.А., Бронин Ф.А. Получение материалов сверхтонкой дисперсности в ультразвуковом поле. Сб. "Промышленное применение ультразвука" ВНИИЭМ, М, 1966, стр. 3-6.

2. Бронин Ф. А., Камбалов В. С. Ультразвуковая очистка деталей эмалировочных станков. Сб. "Промышленное применение ультразвука" ВНИИЭМ, М, 1966, стр. 10-12.

Отдельные разделы диссертации изложены в докладах:

1. IV ежегодное Всесоюзное научно-техническое совещание “Развитие теории и практики внедрения прогрессивной ультразвуковой технологии в машиностроении”. Москва, 13-15 октября 1965г.
2. Вторая научно-техническая сессия МИСиС. Москва, 1965г.
3. Научно-технический семинар. “Прогрессивные методы ультразвуковой очистки в химическом и нефтяном машиностроении”. Москва, ВДНХ, 9-10 сентября 1966г.
4. Всесоюзная научно-техническая конференция. “Новые методы обработки металлов ультразвуком”. Рига, 18 - 20 октября 1966г.

По этим докладам имеются печатные аннотации и тезисы.



Московский институт стали и сплавов. Ленинский проспект, 6

Л68584 13/1-67г. Объем 1 п.л. Заказ 1463, тираж 150

Типография МИСиС, Москва, Шаболовка, 9

