

М 464779
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ С С С Р

Московское ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и
ордена Трудового Красного Знамени высшее техническое
училище имени Н.Э.Баумана

На правах рукописи

ВОЛКОВ Сергей Альтаирович

УДК 620.178.16

РАЗРАБОТКА БЕЗОБРАЗЦОВОГО МЕТОДА
УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ ДИФфуЗИОННЫХ
СОЕДИНЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ ДИФфуЗИОННО-
СВАРНЫХ РАБОЧИХ ЭЛЕМЕНТОВ ШТАМПОВ)

05.02.11 - Методы контроля
в машиностроении

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1987

Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище им. Н.Э.Баумана.

Научный руководитель — доктор технических наук,
профессор АЛЕШИН Н.П.

Официальные оппоненты: д.т.н., проф. Ю.М.Шкарлет
к.т.н., с.н.с. А.Х.Волякин

Ведущее предприятие — ЦНИИчермет

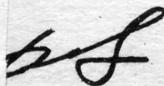
Защита диссертации состоится 23 июня 1987г.
на заседании специализированного совета К 053.15.01 в Москов-
ском высшем техническом училище им. Н.Э.Баумана по адресу:
107005, Москва, 2-я Бауманская ул., д.5.

Ваш отзыв на автореферат в одном экземпляре, заверен-
ный печатью, просим выслать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ
им. Н.Э.Баумана.

Телефон для справок 287-05-14

_____ 1987 года.



В.Т.Рябов

Подписано к печати
к 100 экз. 28.04.87
1141, Москва, 2-й пр. Перова поля, 8

Общая характеристика работы

Актуальность работы. Значительное распространение в крупносерийном и массовом производстве получила штамповка. Рост ее производительности, а также стабильность качества продукции в значительной степени определяются совершенствованием оснастки и, прежде всего, увеличением стойкости рабочих поверхностей матриц и пуансонов. Это достигается их армированием твердыми сплавами, обладающими большой износостойчивостью и невосприимчивостью к налипанию частиц металла. Стойкость штампов с твердосплавными рабочими частями в сравнении с обычными выше в 20...30 раз.

Наиболее технологичным способом производства таких штампов, т.е. получения неразъемного соединения металлокерамической вставки (например, из сплава типа ВК15, ВК20) со стальным основанием (например, СТ45, У8, 5ХНВ) является их диффузионная сварка в вакууме, которая проводится через тонкую компенсационную прокладку из никеля. Однако, внедрение в промышленность таких штампов затруднено, так как отсутствуют эффективные методы неразрушающего контроля, которые бы обеспечивали надежное выявление недопустимых дефектов в диффузионных соединениях после сварки. Практика показывает, что пропуск таких дефектов является основной причиной отказа штампов в процессе эксплуатации.

В настоящей работе в качестве объекта исследования рассматриваются диффузионные соединения заготовок рабочих элементов штампов между металлокерамическими вставками (толщиной 5...20мм) и стальными основаниями (толщиной 20...80мм) через компенсационную никелевую прокладку (толщиной 0,04...0,12мм).

Анализ публикаций других авторов и исследования, выполненные в работе, показывают, что наиболее эффективным методом неразрушающего контроля рассматриваемого класса соединений является ультразвуковой. Трудность реализации этого метода обусловлена необходимостью выделения сигнала от дефекта на фоне сигнала, отраженного от границы раздела двух акустически разных сред, что требует создания новой методики контроля.

Цель работы и основные задачи исследования. Цель работы состояла в замене разрушающих испытаний исследуемых диффузионных соединений на неразрушающий ультразвуковой контроль качества.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Обоснование применимости ультразвукового контроля.
2. Разработка метода ультразвукового контроля, позволяющего выделять сигнал от дефекта на фоне сигнала от границы раздела двух сред.



3. Теоретическое и экспериментальное обоснование параметров контроля.

4. Разработка нормативно-технической документации контроля.

5. Внедрение результатов работы.

Научная новизна полученных результатов заключается в следующем:

1. Установлении типа волны для контроля соединений, выполненных диффузионной сваркой, где плоскость соединения может быть рассмотрена в виде области, содержащей равномерно рассеянные идеальные локальные несплошности, т.е. в виде соединений решетчатого типа. Наибольшее отношение сигнал-помеха (в этом случае) достигается при возбуждении в контролируемом материале продольных волн.

2. Расчете на прямоугольном преобразователе акустического поля, рассеянного прямоугольным отражателем для случая, когда они находятся на разных расстояниях друг от друга (в ближней и дальней зонах), при соосном и несоосном их расположении.

3. Получении количественных зависимостей при отражении ультразвука от дефекта, находящегося на границе двух акустически разных сред, показывающих немонотонное изменение сигнала при падении волны со стороны более акустически мягкого материала.

Практическая ценность. Разработаны методики исследования непрерывного и импульсного акустических полей в жидкости с помощью светового зондирования. Дано описание лазерных установок для таких исследований, методические рекомендации по настройке и работе с ними. Погрешность получаемой информации не более 0,55 дБ.

Разработана методика расчета амплитуды эхо-сигнала от дефекта, лежащего на границе раздела двух акустически разных сред и эхо-сигнала от дна, частично затеняемого таким дефектом. Расчет позволил создать методику ультразвукового контроля диффузионных соединений рассматриваемого класса, основанную на сравнении эхо-сигнала от границы раздела сред и эхо-сигнала от дна изделия.

Получены инженерные формулы, выражающие связь различия амплитуд сигналов от дна изделия и от дефекта, лежащего на границе раздела двух сред, с размерами этого дефекта.

Разработаны "Рекомендации по ультразвуковому контролю диффузионных соединений рабочих элементов штампов". Рекомендации внедрены на Московском заводе "Микромашина". Ожидаемый годовой экономический эффект составляет 12.000 рублей.

Методы исследования. Решение задач расчета акустического тракта проводилось методами геометрической и общей акустики и математического анализа. Определение акустических полей осуществлялось численным методом на ЭВМ.

Экспериментальное исследование акустических полей в жидкости проведено на специально разработанных установках светового зондирования.

Экспериментальные наблюдения рассеяния продольных и поперечных ультразвуковых волн проводились на металлических образцах с применением серийной и специально созданной техники.

При анализе распределения дефектов, оценки точности проводимых экспериментов, оценки достоверности контроля применялись методы математической статистики.

Апробация. Результаты работы докладывались на: XI Всесоюзной научной конференции "Диффузионное соединение металлических и неметаллических материалов", Москва, май, 1984г.; X Всесоюзной научно-технической конференции "Неразрушающие физические методы и средства контроля", Львов, октябрь, 1984г.; Межотраслевым семинаре "Прогрессивные методы контроля и диагностики технического состояния оборудования", Баку, октябрь, 1985г.; Всесоюзной научно-технической конференции "Экономия материальных, энергетических и трудовых ресурсов в сварочном производстве", Челябинск, сентябрь, 1986г.; XII Всесоюзной научно-технической конференции "Достижения и перспективы развития диффузионной сварки", Москва, февраль, 1987г.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 7 печатных работ.

Объем работы. Диссертационная работа изложена на 112 страницах машинописного текста, иллюстрируется 44 рисунками, содержит 3 таблицы, состоит из введения, пяти глав, выводов, списка литературы (102 наименования), приложения.

Содержание работы

В первой главе дан анализ дефектности соединений диффузионной сварки в вакууме. Он проведен на основе обзора литературы и экспериментальных результатов, полученных автором. Установлено, что наиболее характерными являются плоскостные дефекты типа непроваров, имеющие раскрытие $\Delta Y = 10^{-1} \dots 10^{-4}$ мм, которые ориентированы в плоскости соединения. Кроме того, следует отметить, что дефекты больших размеров, как правило, имеют протяженный характер и обусловлены незаварившимися рисками следов предварительной механической обработки поверхностей.

Опыт, накопленный при контроле качества исследуемых соединений, хорошо подтверждает известное допущение, когда плоскость диффузионного соединения рассматривается в виде области, содержащей равномерно рассеянные идеальные локальные несплошности, т.е. в виде соединений решетчатого типа.

Исходя из условия влияния на прочностные характери-

ки соединений диффузионной сварки рабочих элементов штампов, дефекты могут быть разделены на три группы:

I - дефекты длиной $\Delta l > 5$ мм; шириной $\Delta m > 0,1$ мм; раскрытием $\Delta r > 10^{-2}$ мм.

II - дефекты площадью $1 \text{ мм}^2 \geq S \geq 0,5 \text{ мм}^2$; раскрытием $\Delta r \geq 10^{-3}$ мм.

III - дефекты площадью $S < 0,5 \text{ мм}^2$ и раскрытием $\Delta r < 10^{-3}$ мм.

По результатам металлографического анализа определено, что дефекты I группы составляют 20%, на долю дефектов II группы приходится 28%, на долю дефектов III группы - 52%.

Заказчиком обусловлено, что разрабатываемый ультразвуковой метод контроля должен обеспечивать выявление прежде всего дефектов первых двух групп, как опасных с точки зрения снижения работоспособности изделия.

Существующие работы, посвященные ультразвуковому контролю диффузионной сварки, например, таких исследователей, как Н.Т.Азаров, О.Р.Заборовский, С.В.Мартыненко, в основном, рассматривают применение специальных фокусирующих преобразователей и частот выше 5 МГц, то есть ориентированы на использование специальной аппаратуры, но главное, в существующих работах рассмотрены особенности контроля лишь однородных диффузионных соединений.

В нашем случае трудности контроля обусловлены расположением дефектов на границе раздела двух акустически разных сред. На сигнал от дефекта постоянно накладывается сигнал значительной амплитуды, отраженный от этой границы. Следовательно, задача исследований состояла в определении таких условий контроля, при которых полезный сигнал был бы максимальен.

Учитывая типоразмеры контролируемых соединений, желательность использования серийной аппаратуры и зная, что отношение полезный сигнал - помеха растет с увеличением частоты ультразвуковых колебаний, была выбрана частота 5 МГц. Опробовав различные схемы контроля, установили, что наиболее подходящей является совмещенная схема с использованием прямого преобразователя.

Таким образом, для разработки ультразвукового метода контроля диффузионных соединений рабочих элементов штампов необходимо выбрать тип ультразвуковых колебаний и рассчитать акустический тракт.

Во второй главе рассмотрен вопрос выбора типа ультразвуковой волны для неразрушающего контроля исследуемых соединений.

Ранее отмечалось, что типичными дефектами диффузионной сварки являются непровары с малым раскрытием, имеющие плоскостной характер. Естественно предположить, что при нор-

мальном падении ультразвука на такой дефект, поперечные волны, при распространении которых траектории колебаний частиц параллельны плоскости дефекта, будут преодолевать эту несплошность с большими трудностями, чем продольные, при распространении которых траектории колебаний частиц нормальны плоскости дефекта и, в силу чего, возможно "схлопывание" несплошности. То есть, напрашивается вывод о предпочтительном использовании в нашем случае поперечных волн. Для выбора типа колебаний была проведена серия экспериментов по прозвучиванию специальных образцов и их металлографический анализ. Полученные результаты подтвердили предположение, что при нормальном падении на плоский дефект, имеющий малое раскрытие, контроль поперечными волнами обеспечивает большую чувствительность, чем продольными.

Вместе с тем, при работе с поперечными ультразвуковыми волнами был выявлен такой недостаток, как высокий уровень акустических шумов в рабочей зоне экрана дефектоскопа, который серьезно препятствует реализации их более высокой чувствительности.

Изучение природы шумов проводилось также экспериментально. Установлено, что акустические шумы обусловлены трансформацией ультразвука на дефектах диффузионной сварки, носящих распределенный решетчатый характер. Кроме того, при работе с преобразователями на поперечные волны было обнаружено, что при повороте плоскости поляризации у края контролируемого изделия имеют место осцилляции амплитуды отраженного от диффузионного соединения сигнала. Это обусловлено тем, что волны, поляризованные в плоскости, перпендикулярной краю, трансформируются в волну релеевского типа более интенсивно, чем колебания с плоскостью поляризации, параллельной краю. Такие осцилляции достигали 16 дБ.

Установленные факты говорят о непреодолимости возникающих трудностей простыми методами. То есть, диктуется применение продольных волн. Заметим, что при их использовании выявить трансформированную волну в рабочей зоне экрана дефектоскопа не удается.

Третья глава посвящена исследованию поля излучателя в виде полосы. Необходимость расчета такого поля следует из необходимости расчета акустического тракта, который проводится в следующей последовательности: а) расчет поля излучения преобразователя; б) расчет поля отражения от дефекта, лежащего на границе раздела двух сред; в) расчет поля отражения от дна, экранируемого дефектом, лежащим на границе раздела двух сред. Отметим, что на каждом из трех этапов расчета сохраняется единый принципиальный подход.

В главе 1 показано, что наиболее крупными и опасными дефектами диффузионных соединений рабочих элементов штампов

являются протяженные. В идеализированном виде их можно представить в виде полосы. Поэтому в расчете акустического тракта моделью дефекта также служит полоса, а сам расчет, для упрощения вычисления, проводится для ограниченного излучателя и дефекта в двумерном пространстве.

Точный расчет акустического тракта является довольно сложной математической задачей. Поэтому обычно, для нужд дефектоскопии используют упрощенный метод жидкостной модели. Применимость такого метода обусловлена выводами об идентичности: поля в жидкости и поля продольных волн в твердом теле в околоосевой зоне; поля излучения преобразователя и поля рассеяния дефекта, а также предположением об устойчивом характере колебаний. Последнему допущению вполне отвечают обычные в дефектоскопии ультразвуковые импульсы длительностью в 4...5 периодов.

Расчет акустического тракта для жидкостной модели выполнялся ранее И.Н.Ермоловым, И.Крауткремером, У.Шленгерманом. Их результат не может быть использован в данной работе, так как он получен применительно к отражателю, лежащему в однородной среде в дальней зоне преобразователя.

В нашем случае дефекты в исследуемых соединениях находятся на границе раздела двух сред, которая вносит существенный вклад в амплитуду отраженного сигнала. Кроме того, геометрические размеры контролируемых изделий предполагают работу не только в дальней зоне, но и в переходной, и в ближней зонах ультразвукового преобразователя. В связи с вышесказанным, встает необходимость проведения дополнительных расчетов акустического тракта.

Это осуществлено с использованием жидкостной модели. Было показано, что потенциал колебательной скорости $\varphi(A)$ в точке наблюдения A выражается формулой:

$$\varphi(A) = \frac{-ik}{2} \int_{-a}^a \varphi_0 H_1^{(2)}(kz) \cos \theta dx_1 \quad (1)$$

где a - полуширина излучателя; φ_0 - поле на излучателе; $H_1^{(2)}$ - функция Ханкеля второго рода и первого порядка; $z = \sqrt{z^2 + (x_2 - x_1)^2}$ - текущее расстояние между точкой наблюдения с координатами (z, x_2) и элементарным источником на излучателе с координатами $(0, x_1)$.

Расчет формулы (1) проводится численно методом Симпсона на ЭВМ ЕС-1022 после разделения на действительную и мнимую часть. Поле на излучателе задавалось как $\varphi_0 = 1$.

Отметим, что (1) пригодно и для определения поля рассеяния дефекта, так как с теоретической точки зрения излучатель и рассеивающий дефект при одинаковой полуширине будут создавать одинаковые поля.

Правильность расчета поля по формуле (1) является важной для всех вычислений. Поэтому был поставлен специальный эксперимент по измерению полей излучателя в виде полосы и проведено сравнение с результатами расчета. Отметим, что эксперименты проводились как для излучателя непрерывного поля, так и для импульсного. Сопоставление результатов позволило установить диапазон практической применимости используемого метода расчета.

Обычно, при измерении ультразвуковых полей используют экспериментальные установки, обязательным элементом которых являются миниатюрные приемники ультразвука, например, пьезокерамические или электромагнитно-акустические. Они обладают общим недостатком, заключающимся в принципиальной невозможности достижения высокой точности измерения. Это обусловлено заметным рассеянием акустического поля на приемнике, а также наличием индивидуальных амплитудно-частотных характеристик приемников и их собственных диаграмм направленности.

Отмеченных недостатков лишен метод светового зондирования, который основан на том факте, что при попадании монохроматического светового пучка на ультразвуковую волну происходит дифракция света, то есть пучок симметрично своей оси расщепляется на лучи дифрагированного света, так называемые дифракционные максимумы. Причем, для небольших амплитуд звукового поля (характерных для ультразвуковой дефектоскопии) амплитуда света в первом дифракционном максимуме прямо пропорциональна амплитуде звука, вызвавшего эту дифракцию.

Эксперименты по световому зондированию проводились на специально разработанных установках состоящих из: а) лазера (ЛГ-52-1- для исследования непрерывного поля; ЛГИ-21 - синхронизированного с дефектоскопом через генератор Г5-54 для исследования импульсного поля); б) оптической кюветы, заполненной водой и содержащей исследуемый преобразователь; в) фотодиода (ФД-1); г) цифрового вольтметра (В7-23); д) цифropoleчатющего устройства (Щ 68000 К).

Преобразователь создает в воде кюветы исследуемое ультразвуковое поле. Луч лазера, проходя через него, дифрагирует, причем первый дифракционный максимум попадает на фотодиод. Электрическое напряжение, создаваемое фотодиодом, измеряется цифровым вольтметром и записывается цифropoleчающим устройством. Полученные данные по определенной заранее зависимости переводятся в значения амплитуды ультразвукового поля.

Созданные установки и методики их работы обеспечивают ошибку получаемых данных, не превышающую 7,5% (для $\pm 3\sigma$) от математического ожидания при однократном измерении, что

соответствует 0,55 дБ. В наших исследованиях для каждой точки ультразвукового поля проводилось пятикратное измерение. Ошибка составляла 2,8% или 0,25 дБ.

Излучатель в виде полосы, реально, представляет собой прямоугольный преобразователь со сторонами a и b , причем, $a \ll b$. Звуковое поле, исключая краевые участки концов преобразователя, обусловлено распределением амплитуд по цилиндрическим поверхностям, образующие которых параллельны большей стороне преобразователя.

Наиболее интересно распределение амплитуд звукового поля в плоскости, перпендикулярной оси этих цилиндрических поверхностей. Поэтому зондирующий световой луч направляют по образующей одной из этих поверхностей. Амплитуду света в первом дифракционном максимуме (при соотношении сторон $a \ll b$) считают пропорциональной амплитуде звука этого цилиндрического распределения.

Расчет полей излучения ультразвукового преобразователя, проведенный по формуле (1), сопоставлялся с экспериментальными результатами, полученными световым зондированием непрерывных и импульсных полей ультразвуковых излучателей на разработанных установках.

Анализ полученных данных в расчете и экспериментах для непрерывного излучения показывает, что на расстояниях $Z \gg 0,3 Z_{\text{БЛ}}$ наблюдается качественное совпадение теории и эксперимента. Имеется в виду количество локальных максимумов и минимумов, общий вид распределения при нормировании по максимальной амплитуде в каждом сечении. Расхождения, наблюдаемые на расстояниях $Z < 0,3 Z_{\text{БЛ}}$, обусловлены, видимо, погрешностью эксперимента.

Отметим, что известные аналитические выражения, использовавшиеся ранее И.Н.Ермоловым и И.Крауткремером для описания поля излучения (диаграмм направленности) в отличие от примененного численного метода удовлетворительно совпадают с экспериментальными данными лишь в дальней зоне $Z > 3Z_{\text{БЛ}}$.

Экспериментально установлено, что поле непрерывного акустического излучателя практически идентично полю импульсного ($\gamma \leq 0,082$) для расстояний равных или больше 0,8 ближней зоны. Качественное совпадение этих полей наблюдается при $Z \geq 0,3 Z_{\text{БЛ}}$.

Установлено, что полученные теоретические распределения амплитуд звукового поля практически идентичны экспериментальным на расстояниях более $1 Z_{\text{БЛ}}$. Кроме того, максимальное значение амплитуды ультразвукового поля излучателя в виде полосы в отличие от традиционного дискового, соответствует расстоянию $Z = 1,2 Z_{\text{БЛ}}$.

В результате сравнения полученных расчетных и экспериментальных данных можно утверждать, что использующийся ме-

тод численного интегрирования в жидкостном приближении вполне правомерен.

Четвертая глава посвящена исследованию рассеяния ультразвука на полосе, лежащей на границе раздела двух сред.

Для проведения соответствующих расчетов необходимо было вычислять коэффициент отражения - V при прохождении плоской акустической волны через тонкий упругий слой, лежащий на границе раздела двух разных упругих сред. Так как толщина слоя может быть различна ($d = 0,12 \dots 0,04 \text{ мм}$), исследовалось изменение коэффициента отражения в зависимости от изменения толщины слоя. Это проводилось теоретически с использованием формулы из работы Л.М.Бреховских:

$$V = \frac{(Z_1 + Z_2)(Z_1 - Z_3)(\cos k_2 d - i \sin k_2 d) + (Z_1 - Z_2)(Z_2 + Z_3)(\cos k_2 d + i \sin k_2 d)}{(Z_1 + Z_2)(Z_2 + Z_3)(\cos k_2 d - i \sin k_2 d) + (Z_1 - Z_2)(Z_2 - Z_3)(\cos k_2 d + i \sin k_2 d)} \quad (2)$$

Из формулы видно, что V - периодическая функция аргумента $k_2 d$. Поэтому численные значения V будут повторяться с периодом $k_2 d = \pi$. Значит, рассчитав V для $k_2 d = 0 \dots \pi$, определим все возможные значения V для любой толщины слоя (d) и любой используемой частоты ультразвуковых колебаний ($k_2 = 2\pi f / C_2$).

Результаты расчета позволили установить, что функция V изменяется в диапазоне $V = 0,27 \dots 0,34$.

Полученный результат означает, что, если в расчетах акустического тракта использовать среднее значение коэффициента отражения $V_{\text{сред}}$ вне зависимости от реальной толщины слоя и используемой частоты ультразвука, то ошибка, вносимая этим допущением, не превысит 12%. В пересчете на децибеллы это составит менее 1 дБ, что вполне допустимо.

Таким образом, в дальнейших расчетах акустического тракта использовано среднее значение коэффициента отражения, равное $V_{\text{сред}} = 0,31$.

Расчет поля отражения от протяженного дефекта, лежащего на границе раздела двух акустически разных сред, проведен в жидкостном приближении аналогично расчетам в главе 3.

Поле отражения протяженного дефекта, лежащего на границе раздела сред ($\varphi_{\text{гр}}^s$), создается двумя источниками. Это, собственно, поле дефекта ($I_{\text{деф}}$) и поле отражения границы ($I_{\text{гр}}$):

$$\varphi_{\text{гр}}^s|_{\text{иск}} = I_{\text{деф}} + I_{\text{гр}} \quad (3)$$

Для нахождения полей дефекта и границы используют формулу (1). Сначала по этому выражению определяют поля на поверхности дефекта и границы, создаваемые излучателем. За-

тем, подставляя в (1) вместо значения поля на излучателе — Φ_0 полученные значения полей на дефекте и границе, находят поле дефекта, лежащего на границе.

Таким же способом определяется и поле отражения от дна, экранируемого дефектом, лежащим на границе раздела двух сред.

В соответствии с предложенными схемами расчета был создан пакет программ на языке ФОРТРАН для расчета эхо-сигнала от границы с дефектом и дна, частично затеняемого дефектом, двухслойного изделия. Интегралы рассчитывались численно методом Симпсона.

Разработанный пакет программ составлен таким образом, что позволяет рассчитывать амплитуды эхо-сигналов от различных дефектов при использовании преобразователей различных волновых размеров. При этом дефект может находиться как в ближней зоне, так и в дальней зонах преобразователя, быть соосным или не соосным с ним, лежать в однородной среде или на границе раздела двух сред. Кроме того, рассчитывается амплитуда эхо-сигнала от дна, частично экранируемого таким дефектом.

В дефектоскопии при контроле протяжных дефектов бывают необходимы АРД-диаграммы для случая, когда излучатель и дефект представлены в виде полосы. В существующей литературе таких данных не обнаружено. Созданный метод расчета позволяет легко получить их, что и было сделано. Следует отметить, что эти диаграммы справедливы как в дальней, так и в ближней зонах преобразователя при соосном расположении с дефектом. В то же время, известно, что в ближней зоне преобразователя при смещении от соосного положения имеются осцилляции амплитуды отраженного сигнала. Они также были определены с помощью разработанного метода расчета. Установлено, что при смещении пьезопреобразователя в диапазоне $(0,2...0,6) \lambda$ амплитуда эхо-сигнала может увеличиться до 6 дБ. Это обусловлено осцилляциями ультразвукового поля в ближней зоне преобразователя, что теоретически и экспериментально было показано в главе 3.

Расчет позволил скорректировать АРД-диаграммы так, чтобы возможные осцилляции учитывались ими. Это особенно важно при проведении контроля, так как обычно ориентируются не на соосное расположение преобразователя и дефекта, а на максимальную амплитуду отраженного сигнала.

Разработанный метод расчета использовался для выбора параметров ультразвуковых преобразователей, предназначенных для контроля инструментальной оснастки, выполненной диффузионной сваркой металлокерамических вставок и стальных оснований. Для этого проводились вычисления соответствующих эхо-сигналов.

Установлено, что при контроле со стороны металлокерамической вставки амплитуды сигналов, отраженных от границы с дефектом и дна при изменении размера дефекта, лежащего на границе раздела сред, изменяется монотонно. При контроле со стороны стального основания имеется немонотонный характер (рис.1) изменения амплитуды сигнала от границы раздела двух сред. Это обусловлено, тем, что сигнал складывается из амплитуды сигнала, отраженного от, собственно, границы раздела сред (акустически жесткая граница) и из амплитуды сигнала, отраженного от поверхности дефекта, лежащего на этой границе раздела сред (акустически мягкая граница). Причем, отражение этих сигналов происходит с разными фазами, что при суммировании определяет причину немонотонности. Поэтому увеличение размера дефекта при малых его размерах приводит к уменьшению эхо-сигнала от границы раздела сред.

В инженерных расчетах использование ЭВМ не всегда удобно. Поэтому, для описания изменения разницы амплитуд сигналов от дна изделия и от дефекта, лежащего на границе раздела двух сред, в зависимости от размера этого дефекта получены также несложные аналитические выражения (рис.1).

Итак, полученные расчетные зависимости позволяют подобрать параметры ультразвукового контроля и его технологию таким образом, чтобы обеспечить наиболее эффективное выявление дефектов, лежащих на границе раздела двух сред.

В пятой главе рассмотрены вопросы технологии ультразвукового контроля качества диффузионных соединений рабочих элементов штампов и внедрения результатов работы. Технология контроля создана на основе исследований, приведенных выше, в рамках договора о социалистическом содружестве между МВТУ им.Н.Э.Баумана и МАТИ им.К.Э.Циолковского, для использования на Московском заводе "Микромашина".

Разработанная технология контроля реализуется на серийно выпускаемых дефектоскопах со стандартными прямыми совмещенными преобразователями, работающими на частоте 5мГц.

Ультразвуковой контроль диффузионных соединений проводится со стороны стального основания рабочего элемента. Характеристикой качества соединения является соотношение амплитуд эхо-сигналов от дна изделия - A_d и от диффузионного соединения - $A_{гр}$. Для качественного соединения всех типов размеров рассмотренных изделий онс соответствует $A_d - A_{гр} = 0...8$ дБ.

Таким образом, при проведении контроля необходимо следить за соотношением амплитуд эхо-сигналов A_d и $A_{гр}$, которые видны на экране дефектоскопа одновременно и расположены рядом. При оценке качества контролируемого соединения автоматически учитывается качество акустического контакта, что важно с точки зрения повышения надежности получаемых результатов.

Если в процессе сканирования по поверхности изделия соотношение сигналов станет $A_{\text{д}} < A_{\text{гр}}$, изделие бракуется и в эксплуатацию не допускается. Установлено, что такие изделия ремонту не подлежат.

В соответствии с разработанной методикой, настройка развертки и чувствительности дефектоскопа осуществляется непосредственно на контролируемом изделии без использования каких-либо специальных испытательных образцов.

Итогом разработки технологии явилось создание "Рекомендаций по ультразвуковому контролю диффузионных соединений рабочих элементов штампов".

Для расчета достоверности разработанного метода контроля применялась методика, предложенная В.Н.Волченко. Достоверность оказалась достаточно высока и составила 97%.

Экономическая эффективность от внедрения разработанного метода ультразвукового контроля диффузионных соединений рабочих элементов штампов обусловлена снижением ущерба, причиняемого изготовлением и эксплуатацией дефектных штампов. По расчету, проведенному на московском заводе "Микромашина", ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения предлагаемого метода контроля составил 12000 рублей.

Основные выводы и результаты

1. Установлено, что наиболее эффективным методом неразрушающего контроля диффузионных соединений рабочих элементов штампов является ультразвуковой контроль качества по совмещенной схеме прямыми ультразвуковыми пьезопреобразователями на частоте 5 МГц.

2. При ультразвуковом контроле соединений, выполненных диффузионной сваркой, когда падающая волна перпендикулярна диффузионному слою, целесообразно использовать продольные волны, обеспечивающие высокое соотношение полезный сигнал-помеха. Использование поперечных волн сопровождается значительным уровнем акустических шумов в рабочей зоне развертки экрана дефектоскопа, обусловленных трансформацией ультразвука на диффузионном соединении. Кроме того, при повороте плоскости поляризации поперечных ультразвуковых колебаний у края контролируемого изделия, имеют место осцилляции амплитуды отраженного от диффузионного соединения сигнала, обусловленные тем, что волны, поляризованные в плоскости, перпендикулярной этому краю, трансформируются в волну релеевского типа более интенсивно, чем колебания с плоскостью поляризации, параллельной краю.

3. Методом численного интегрирования в приближении жидкостной модели решена задача вычисления поля непрерывного акустического излучателя в виде полосы в дальней и ближней зонах. Установлено, что полученные решения практически иден-

тичны экспериментально измеренным полям непрерывных и импульсных излучателей для расстояний, равных или больших одной ближней зоны. Установлено, что максимальное значение амплитуды ультразвукового поля на оси излучателя в виде полосы соответствует $Z = 1,2 Z_{\text{БЛ}}$.

4. Экспериментально установлено, что реальные непрерывные излучатели в виде полосы создают на расстояниях более $0,3 Z_{\text{БЛ}}$ акустические поля, качественно совпадающие с теоретически рассчитанными, а имеющиеся различия при $Z < 0,3 Z_{\text{БЛ}}$, заключающиеся в несовпадении осцилляций, могут быть обусловлены погрешностью эксперимента.

5. Экспериментально установлено, что поле непрерывного акустического излучателя практически идентично импульсному ($\gamma \leq 0,082$) для расстояний, равных или больших $0,6$ ближней зоны. Качественное совпадение этих полей наблюдается при $Z > 0,3 Z_{\text{БЛ}}$.

6. Разработана модель расчета и реализующей ее пакет прикладных программ для ЭВМ, позволяющие для двумерного случая в приближении жидкостной модели определять эхо-сигналы от различных дефектов в ближней и дальней зонах акустического преобразователя различных волновых размеров. При этом, дефект может находиться в однородной среде или лежать на границе раздела двух акустически разных сред, быть соосным или не соосным с преобразователем. Показано, что при смещении дефекта от положения соосного с преобразователем в диапазоне $(0,2 \dots 0,6) \lambda$ амплитуда эхо-сигнала может увеличиваться до 6дБ, что объясняется осцилляциями ультразвукового поля в ближней зоне.

7. Установлено, что при контроле диффузионного соединения штампового инструмента со стороны стального основания амплитуда сигнала, отраженного от дефекта, при увеличении его размеров меняется не монотонно. Это обусловлено наличием в отраженном сигнале двух разнофазных составляющих, одна из которых - отражение от дефекта (акустически мягкая граница), другая - отражение от границы раздела двух сред (акустически жесткая граница).

8. Разработаны установки и методики работы с ними, позволяющие проводить световое зондирование непрерывных и импульсных ультразвуковых полей с целью измерения их амплитуд. Погрешность получаемых данных не превышает 3%.

9. Разработаны "Рекомендации по ультразвуковому контролю диффузионных соединений рабочих элементов штампов". Рекомендации внедрены на московском заводе "Микромашина" с ожидаемым годовым экономическим эффектом 12000 рублей. Достоверность ультразвукового контроля составляет 97%.

Основное содержание диссертации достаточно полно отражено в следующих опубликованных работах:

1. Антонов В.П., Волков С.А., Мартыненко С.В. Некоторые особенности неразрушающего контроля качества диффузионной сварки // Диффузионное соединение металлических и неметаллических материалов: Тез.докл. Всесоюзной научно-техн. конф. часть 11, - М., 1984. - с.77-78.

2. Выбор типа ультразвуковой волны при контроле соединений, полученных диффузионной сваркой /Н.П.Алешин, С.А.Волков, С.В.Мартыненко, Л.Ю.Могильнер// Неразрушающие физические методы и средства контроля: Тез.докладов X Всесоюзной конференции по неразрушающему контролю качества, г.Львов, 2-5 октября 1984 г. - М., 1984. - С.51-52.

3. Алешин Н.П., Волков С.А., Мартыненко С.В. Расчет поля рассеяния на плоских дефектах //Дефектоскопия. - 1984. - № 11. - С. 78-81.

4. Волков С.А. Исследование акустических полей оптическим зондированием //Известия ВУЗов. Машиностроение. - 1985. - № 10. - С.118-123.

5. Волков С.А., Мартыненко С.В., Могильнер Л.Ю. Расчет эхо-сигналов от границы с дефектом и дна двухслойного изделия //Известия ВУЗов. Машиностроение. - 1986. - № 3. - С.119-124.

6. Алешин Н.П., Волков С.А., Мартыненко С.В. Ультразвуковой контроль соединений, полученных диффузионной сваркой //Экономия материальных, энергетических и трудовых ресурсов в сварочном производстве: Тез.докл. Всесоюзной научно-техн. конф. - Челябинск, 1986. - С.371-372.

7. Волков С.А., Мартыненко С.В., Антонов В.П. Промышленный ультразвуковой контроль диффузионных соединений в рабочих элементах штампов //Достижения и перспективы развития диффузионной сварки: Тез.докл. Всесоюзной научно-техн. конф., - М., 1987. - С.89-91.

Волков С.

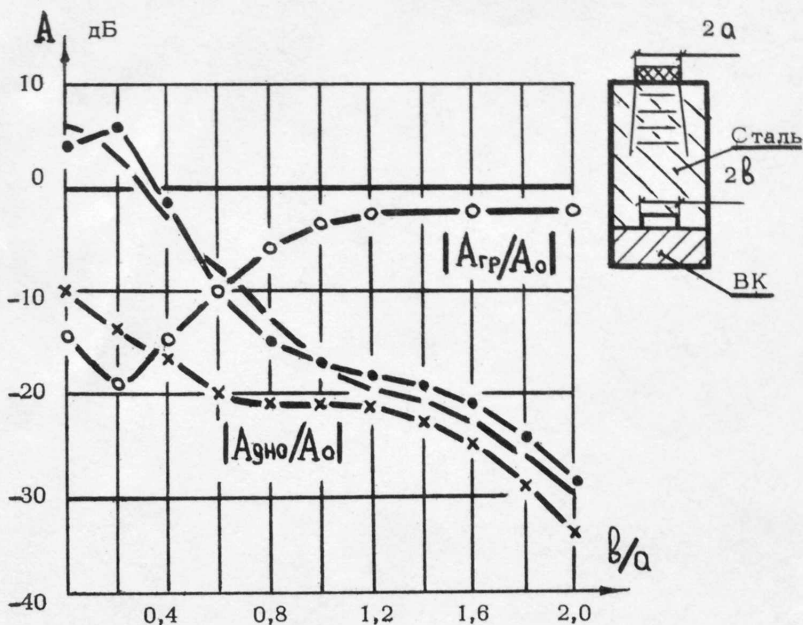


Рис.1. Расчетные амплитуды эхо-сигналов при контроле изделия со стороны стального основания:

- — ○ — отражение от дефекта, лежащего на границе раздела двух сред;
- × — × — отражение от дна, экранируемого дефектом, лежащим на границе раздела двух сред;
- — ● — разница амплитуд сигналов, отраженных от дна и дефекта;
- — — значения аналитического выражения:

$$A_{дно-гр} = 7 - 34(b/a) + 18(b/a)^2 + 6,3(b/a)^3$$