

М430092

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

РЕМИЗОВ Андрей Леонидович

ЛДК 620.179.16

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И СРЕДСТВ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ
ДЕФЕКТОСКОПИИ ПАЯНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛО-
КОНСТРУКЦИЙ ТОЛЩИНОЙ 4-20 мм

(Специальность 05.01.11 – Методы контроля в
машиностроении)

Автореферат
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических
наук

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
Алешин Н.П.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Воробьев В.А.

кандидат технических наук
Вопилкин А.Х.

Ведущее предприятие - ВНИИСТ

Защита диссертации состоится " " _____ 1985 г.
на заседании специализированного совета К053.15.01 в Московском
высшем техническом училище им. Н.Э.Баумана по адресу: 107005,
Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5.

Ваш отзыв на автореферат в одном экземпляре, заверенный
печатью, просим выслать по указанному адресу.

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

Телефон

Ав

Уч
специа
и

В.Т.

Заказ

Типогр

М430092

к печ. 311.85

5 Л-966

Актуальность работы. В настоящее время при изготовлении ряда изделий машиностроительной и строительной индустрии успешно применяется индукционная пайка с использованием высокотемпературных ($T_{пл} \approx 1100^\circ\text{C}$) припоев на железной основе. Применение пайки вместо сварки обусловлено тем, что паяные соединения обладают большей ductility при переменных нагрузках, большей стойкостью против коррозионного воздействия, меньшей себестоимостью изготовления и др. В отдельных случаях, например, при изготовлении лопаток паровых и газовых турбин, теплообменников пайка является практически единственным методом соединения деталей.

В настоящей работе в качестве объекта исследования рассматриваются паяные нахлесточные соединения опор линий электропередачи (ЛЭП) с толщиной элементов 4...8 мм и стыковые соединения обсадных труб с V-образной разделкой кромок диаметр 156...324 мм с толщиной стенки 6...20 мм. Материалом конструкций являются малоуглеродистые и легированные стали.

Несмотря на заметные успехи, достигнутые при разработке технологии пайки, к сожалению, не всегда удается избежать появления различного рода дефектов. Например, при изготовлении ряда металлоконструкций (обсадные трубы) число недопустимых дефектов иногда достигает 20%. Предотвращение поступления в эксплуатацию конструкций, имеющих дефекты, является основной задачей неразрушающего контроля. Необходимо отметить, что решению вопросов, связанных с созданием эффективных методов и средств неразрушающего контроля паяных соединений посвящено ограниченное число работ. До проведения настоящей работы отсутствовали эффективные методы неразрушающего контроля рассматриваемых конструкций. Это, в определенной мере, сдерживает более широкое применение процесса пайки при изготовлении изделий подобного типа, т.к. известны случаи выхода из строя паяных конструкций по причине пропуска недопустимых дефектов при контроле традиционными радиографическими методами.

Исследования, выполненные в работе и многочисленные публикации других авторов показывают, что наиболее эффективным методом неразрушающего контроля подобных изделий является ультразвуковой (УЗ). Поэтому основное внимание в работе было уделено разработке методологических положений и созданию аппаратуры УЗ-контроля рассматриваемых металлоконструкций. На первый взгляд, дефектоскопия таких конструкций не вызывает особых сложностей. Однако наличие паяного шва, отличающегося по своим акустическим



свойствам от свойств основного материала и специфичная V - образная обработка стыкового соединения накладывают определенные трудности, что обуславливает особую методологию УЗ-контроля паяных соединений отличную от методологии контроля аналогичных сварных соединений.

Основные цели работы состояли в:

- а) повышении эксплуатационной надежности паяных металлоконструкций за счет исключения поступления в эксплуатацию изделий с недопустимыми дефектами;
- б) снижении себестоимости изготовления за счет отказа от дорогостоящих механических испытаний.

Для достижения поставленных целей было необходимо решить следующие задачи:

1. Анализ дефектности и обоснование норм допустимых дефектов паяных соединений.
2. Изучение возможных методов контроля и выбор рационального метода.
3. Теоретико-экспериментальное обоснование параметров ультразвукового контроля.
4. Разработка технологий и средств ультразвукового контроля.
5. Оценка достоверности и эффективности выполненных разработок.

Научная новизна полученных результатов заключается в следующем:

1. Разработана модель расчета и получено аналитическое выражение для фронтальной разрешающей способности прямого раздельно-совмещенного преобразователя. Установлено, что значение фронтальной разрешающей способности увеличивается пропорционально длине волны, глубине залегания дефекта и расстоянию между пьезоэлементами и уменьшается пропорционально квадрату радиуса дефекта.

2. Показано, что при наличии паяного слоя толщиной менее длины волны между двумя акустически одинаковыми полубезграничными средами, у которых удельное акустическое сопротивление больше, чем у припоя, амплитуда сигнала, отраженного от границы раздела сред, максимальна при отношении длины волны λ к толщине припоя d равным двум.

3. В литейном приближении получено уравнение акустического

тракта для наклонного совмещенного преобразователя при отражении УЗ волны от клина и найдены условия необходимого числа сражений при контроле.

Практическая ценность. Разработана технология УЗ-контроля нахлесточных соединений толщиной 4...8 мм и стыковых соединений труб диаметром 150...324 мм с толщиной стенки 3...20 мм. Результаты работы были использованы при разработке ГОСТа 26126-84 "Контроль неразрушающий. Соединения паяные. Ультразвуковые методы контроля качества".

На основании выполненных исследований сформулированы требования и, при участии автора, разработан (А.С. 819710) дефектоскоп со стрелочной индикацией. В настоящее время изготовлена промышленная партия (30 штук) дефектоскопов ОВД.

Методы исследования. использованные в настоящей работе, включали аппарат акустики, математического анализа, теории вероятностей и математической статистики. Решение задач выполнено с применением ЭВМ. Экспериментальные исследования проводили на современной отечественной и зарубежной аппаратуре, а также на специально созданных установках и образцах.

Апробация. Основные результаты работы докладывались на 7 конференциях, семинарах и совещаниях, в том числе:

всесоюзных конференциях 1976 г. в г.Киеве, 1983 г. в г.Мекеевке;

- научно-технической конференции 1975 г. в г.Москве;
- научно-технических семинарах 1975 г. г.Москва, 1976 г. г.Москва.

Публикации. Материалы диссертации отражены в 8 печатных работах и одном авторском свидетельстве.

Объем работы. Диссертационная работа изложена на 141 странице машинописного текста, иллюстрируется 50 рисунками, содержит 6 таблиц, состоит из введения, пяти глав, выводов, списка литературы (102 наименования), приложения.

Содержание работы

В первой главе рассмотрены конструктивные особенности стальных металлоконструкций, технология их изготовления, анализ и обоснование норм допустимых дефектов.

Для выбора метода контроля и обоснования его параметров были изучены типы и размеры встречающихся дефектов. С этой целью

был проведен статистический анализ результатов радиографического контроля и механических испытаний более 1200 натуральных образцов паяных соединений. В результате установлено, что основными внутренними дефектами являются непропаи - 82% и 89% для нахлесточных и стыковых соединений соответственно.

При этом в нахлесточных соединениях наиболее часто встречаются непропаи площадью $S = 10...30 \text{ мм}^2$, имеющие раскрытие от 0,05 до 0,5 мм. При этом линейные размеры дефектов в плоскости соединения соизмеримы между собой в любых направлениях и равномерно располагаются по всей поверхности соединения.

В стыковых соединениях непропаи располагаются как по кромкам, так и в основании V-образной разделки. Необходимо отметить, что протяженность и раскрытие дефектов в основании разделки чаще всего составляют соответственно - 20...80 мм и 1,5 мм.

Изучение технологии пайки указывает на большое количество факторов, приводящих к образованию непропаев в соединениях, главными из которых являются недостаточная нагреваемость изделий, недостаточная смачиваемость припоем паемых элементов, высокая шероховатость, неудовлетворительная зачистка поверхностей и чрезмерное усилие сжатия соединяемых деталей.

Значительно реже в рассматриваемых соединениях образуются поры и шлаковые включения. Например, в нахлесточных соединениях на долю пор приходится всего 13%, а шлаковых включений 5%. В стыковых соединениях эти значения соответственно равны 8% и 3%. Фрактографическим анализом рассмотренных соединений не обнаружено наличия трещин.

Таким образом, анализ качества соединений показал, что брак конструкций вызван в основном (98%) наличием значительных непропаев. Поэтому, чтобы научно обосновано подойти к обоснованию параметров УЗ-контроля и, как следствие, к оценке качества соединений необходимо знать недопустимые размеры непропаев.

Напряженно-деформированное состояние паяных конструкций значительно отличается от сварных, что убедительно показано в работах Киселева А.И., который изучал работоспособность нахлесточных паяных соединений при их статическом и переменном нагружении. Однако до проведения настоящей работы отсутствовали количественные критерии по нормам допустимых дефектов для нахлесточных и тем более стыковых соединений, работоспособность которых

ранее не изучалась. Нами были выполнены испытания на статическую прочность и прочность при переменных нагрузках нахлесточных и стыковых соединений. В качестве критерия оценки допустимости таких соединений был принят критерий, предложенный Румянцевым С.В. — относительная площадь дефекта, представляющая собой отношение площади дефекта к площади сечения. По результатам разрушающих испытаний паяных соединений была построена зависимость напряжений разрушения от величины относительной площади дефектов. Полученная зависимость показала, что при статическом нагружении прочность монотонно и незначительно уменьшается с увеличением площади дефекта. Так, например, дефект относительной площадью 50% снижает прочность на 15%. В то же время дефекты, имеющие выход к галтели, по сравнению с внутренними, существенно снижают несущую способность паяного соединения. Как показали результаты экспериментов, дефект относительной площадью 50% снижает прочность паяного соединения на 32%.

Кроме того, были проведены эксперименты по исследованию влияния дефектов на работоспособность паяных соединений при переменных нагрузках. Результаты исследований показали, что дефекты относительной площадью до 40% не влияют на прочность соединения. Разрушения в бездефектных соединениях и в соединениях с небольшими непропаями происходили по паяному металлу, т. е. дефект соединения не вызвал достаточно сильной концентрации напряжений, что могло бы переместить разрушение в зону шва. Лишь при относительной площади непропая более 40% разрушения наступали по участку шва, при этом срок службы соединения резко падал с ростом числа дефектов.

Таким образом, на основе статических испытаний и испытаний при переменных нагрузках натурных образцов с учетом коэффициента запаса прочности установлено, что допускаемый размер внутренних дефектов составляет 50% от площади нахлесточных и стыковых соединений при статическом нагружении и 40% при переменном нагружении. Для дефектов, выходящих наружу, эти значения соответственно равны 40% и 30%.

Во второй главе проанализированы возможности радиографического, магнитографического и УЗ-контроля. При радиографическом контроле эксперименты проводились на аппарате РУИ 150/300-10 с использованием особо мелкозернистой пленки РТ-5. Было установлено, что этим методом можно достаточно надежно обнаруживать поры

и шлаковые включения, образующиеся в нахлесточных паяных соединениях, но низка вероятность (30%) выявления наиболее часто встречающихся дефектов – непропаев. Низкая выявляемость этих дефектов объясняется их малой величиной раскрытия (0,05–0,5 мм, а иногда 0,001 мм) в направлении распространения рентгеновских лучей, что лежит за пределами разрешающей способности метода.

Несколько лучшие результаты были получены при радиографическом контроле паяных стыков труб. В процессе эксперимента просвечивали специально вырезанные образцы шириной 50 мм и целые стыки труб. При этом образцы просвечивались под углом 90° и 60° к образующей трубы, а стыки труб – под углом 80° и 60° . Проведенные исследования показали, что в вырезанных образцах уверенно обнаруживаются дефекты в основании и непропаи по кромкам V – образной разделки, имеющие раскрытие более 0,2 мм. При радиографии стыков труб через две стенки выявляемость дефектов значительно ниже вследствие изменения интенсивности прошедшего излучения по диаметру трубы, наложения изображений верхней и нижней части трубы и снижения чувствительности контроля при наклонном падении пучка рентгеновских лучей.

Использование магнитографического контроля стыковых соединений также не позволяет достигнуть удовлетворительных результатов. В процессе реализации этого метода встречается ряд трудностей, главными из которых являются наличие помех от верхней и нижней кромок, а также слоя припоя, выходящего наружу, неудачная ориентация дефектов по отношению к вектору магнитного поля и др. Кроме того, магнитная проницаемость припоя отлична от проницаемости основного металла, что также создает дополнительные помехи.

Выполненные эксперименты позволили сделать вывод о том, что применение радиографического и магнитографического методов для контроля рассматриваемых конструкций нецелесообразно. Поэтому все дальнейшие исследования были направлены на определение возможностей ультразвукового контроля. Применительно к нахлесточным соединениям рассматривались теневой метод и эхо-метод с применением прямого раздельно-совмещенного (PC) преобразователя. Теневой метод в силу известных причин (низкая чувствительность, сложность ориентации преобразователей, двухсторонний доступ и меньшая стабильность контакта) оказался неэффективным. Достоинствами этого метода являются отсутствие помех от слоя припоя и

возможность обнаружения в лабораторных условиях дефектов меньшего размера, чем при эхо-методе.

За основу был взят контроль эхо-методом с использованием прямого РС-преобразователя. Сложность контроля при реализации этого метода состояла в оценке влияния толщины слоя припоя на величину амплитуды отраженного сигнала.

При выборе схемы УЗ-контроля стыковых соединений были рассмотрены зеркально-теневой метод контроля с включенными настраиваемыми друг другу наклонными призматическими преобразователями на поперечные волны и эхо-метод совмещенными преобразователями, излучающими продольные волны падающие нормально на кромку разделки (дефект) и поперечные волны распространяющиеся под определенным углом к кромке разделки. В процессе исследований было установлено следующее. Зеркально-теневой метод не обеспечивает необходимой точности определения величины дефекта ввиду низкой стабильности акустического контакта, большой шероховатости противоположной стенки трубы и искажения ультразвукового поля, обусловленного смещением кромок соединения. Не достигнуто положительных результатов и при применении совмещенного наклонного преобразователя, обеспечивающего нормальное падение продольной волны на границу раздела сред. Главная трудность контроля состояла в большом уровне реверберационных помех, а также ложных сигналов, обусловленных наличием достаточно мощной трансформированной поперечной волны. Для сравнения отметим, что интенсивность паразитной поперечной волны всего на 6 дБ ниже продольной. Кроме того, применение подобного преобразователя сопряжено с необходимостью использования многократно-отраженного луча, что еще больше усложняет картину распространения ультразвукового пучка в стенке трубы.

Наиболее эффективной схемой контроля паяного стыкового соединения с V-образной разделкой является эхо-метод наклонным совмещенным стандартным преобразователем на поперечные волны однократно или двукратно отраженными лучами. Число отражений обосновано рассмотрением распространения и отражения упругого поля от клина, что показано в следующей главе. При применении данных преобразователей в значительной мере исключаются перечисленные выше недостатки и обеспечивается выявление наиболее опасных дефектов с наименьшими трудозатратами и высокой эффективностью.

Третья глава посвящена расчету фронтальной разрешающей способности прямого РС-преобразователя и анализу отражения ультразвука от клина при применении наклонного совмещенного преобразователя. Выше отмечалось, что контроль наклепных паяных соединений целесообразно проводить прямым РС-преобразователем, а оценку качества выполнять по амплитуде сигнала, условной протяженности дефекта или количеству дефектов на длине спая. Изучению первых двух характеристик посвящено значительное количество работ (Ермолов И.П., Алексин Н.П., Лапин Ю.В. и др.). В работах ЦИИТАШ подробно исследована фронтальная разрешающая способность совмещенных прямого и наклонного преобразователей.

Решение задачи расчета фронтальной разрешающей способности для РС-преобразователя в силу известных причин сопряжено со значительными трудностями. Базируясь на ранее проведенных работах по исследованию акустического тракта прямого РС-преобразователя, нами было получено решение в следующем виде:

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{R(b_1) \Phi(\theta_{A_1, B_1}) \Phi(\theta_{A_2, B_2}) + R(b_2) \Phi(\theta_{A_1, B_2}) \Phi(\theta_{A_2, B_1}) \Phi(\theta_{B_2, B_1})}{R(b_1) \Phi(\theta_{A_1, B_1}) \Phi(\theta_{A_1, B_2}) \Phi(\theta_{A_2, B_1}) + R(b_2) \Phi(\theta_{A_1, B_2}) \Phi(\theta_{A_2, B_1}) \Phi(\theta_{B_2, B_1})}$$

где:

- b - радиус отражателя;
- R - коэффициент отражения;
- Φ - направленность поля;
- θ - угол наблюдения.

Решение уравнения было выполнено на ЭЕМ численным методом для 2-х случаев:

- 1) точка пересечения акустических осей РС-преобразователя находится на вертикальной оси одного из дефектов;
- 2) точка пересечения акустических осей находится посередине двух одинаковых дефектов.

В качестве модели дефекта принят диск, который в наибольшей степени имитирует непропай. Численные решения уравнения были получены для различных расстояний между дефектами и глубины их залегания при соотношении амплитуд сигналов равно 2 (6дБ). Экспериментальная проверка решения уравнения фронтальной разрешающей способности была проведена на образцах с плоскодонными отражателями диаметром 1...8 мм с шагом в 1 мм, расположенными на глубине 6, 8, 12 мм, что соответствует наиболее реальным условиям контроля. Анализ полученных результатов показывает, что расхождение теоретических и экспериментальных значений состав-

ляет 1-2 дБ. В частности, получено, что разрешающая способность РС-преобразователя при частоте 2,5 МГц и диаметрах пьезоэлементов 4 мм составляет 1 мм для дефектов размером 4 мм, залегающих на глубине 6 мм, и 2 мм при глубине залегания 12 мм.

Для практических расчетов было получено приближенное решение уравнения (1)

$$\rho_{\Delta} \approx \frac{\lambda^{3/2} \tau L^{1/2}}{\pi a^2 \cos \varphi} \quad (2)$$

Эксперименты показывают, что расчет разрешающей способности по (2) дает ошибку, не превышающую 20%. Учитывая, что акустическое сопротивление припоя отличается от основного материала, необходимо было оценить предельную чувствительность разработанного метода контроля. Расчет был выполнен по известным формулам дианова Д.В. и проверен экспериментально на специальных образцах. Установлено, что амплитуда отраженного от припоя Л-87 сигнала эквивалентна амплитуде отраженного сигнала от плоскодонного отражателя диаметром 2,5 мм при частоте 2,5 МГц. Ранее выполненными исследованиями (Алешин Н.П.) было установлено, что РС-преобразователи обладают крутовозрастающей амплитудной характеристикой если эквивалентный размер дефектов не превышает 3 мм, при глубине их залегания до 15 мм. Учитывая данное обстоятельство и зная, что в паяных нахлесточных соединениях минимальный размер недопустимого дефекта эквивалентен диаметру плоскодонного отверстия 4 мм, было рекомендовано производить оценку размеров дефектов по их условной протяженности и количеству на участке контроля.

С целью обоснования параметров контроля, а также учитывая специфику разделки стыкового соединения и ориентации дефектов в шве, необходимо было изучить особенности отражения ультразвука от клиновой (V-образной) разделки. В лучевом приближении был выполнен расчет акустического тракта для наклонного совмещенного преобразователя от бесконечной плоскости на клине. На основе решения этого уравнения были получены значения угла ввода и расстояния от отражателя до точки выхода луча, при которых обеспечиваются наилучшие условия озвучивания возможных дефектов.

Затем была проведена экспериментальная проверка результатов расчета на натурных образцах толщиной 6, 12 и 20 мм, подготовленных для пайки. В процессе эксперимента угол ввода ультразвукового пучка варьировался от 39° до 65°, а угол клина при вершине

варьировался от 30° до 90° через каждые 5° .

В результате эксперимента было установлено, что для клина с углами от 30° до 60° независимо от угла ввода осцилляции отраженного сигнала от клина полностью исчезают, когда эффективная ширина пучка будет соизмерима с толщиной стенки изделия. Для данного диапазона толщин эти условия выполняются при двукратном отражении ультразвукового пучка. Для клина, имеющего угол при вершине от 70° до 90° , осцилляции полностью исчезают, когда эффективная ширина пучка составляет 0,6 толщины изделия. Размах осцилляций на частоте 5 МГц может достигать 10 дБ, тогда как на частоте 2,5 МГц он не превышает 4 дБ. На основании этого было обосновано необходимое число отражений ультразвукового луча для контроля стыковых паяных соединений.

Для сравнения был поставлен аналогичный эксперимент при отражении ультразвука от прямого угла торца образца. Установлено, что осцилляции сигнала наблюдаются даже тогда, когда ширина пучка будет в 2 раза больше толщины контролируемого образца.

Экспериментальным путем было показано, что оптимальной частотой контроля является 2,5 МГц.

В четвертой главе рассмотрены вопросы разработки технологии и аппаратуры контроля нахлесточных и стыковых паяных соединений.

Установлено, что УЗ-контроль нахлесточных соединений толщиной до 12 мм целесообразно производить РС-преобразователем на частоте 5 МГц, а толщиной выше 12 мм на частоте 2,5 МГц. Кроме того была обоснована величина браковочной чувствительности. С этой целью было проконтролировано более 1200 образцов соединений на различных уровнях чувствительности относительно опорного сигнала, которые затем подвергали механическим испытаниям на растяжение и фрактографическому анализу. Опорным сигналом служил сигнал от донной поверхности. В результате было установлено, что величина браковочной чувствительности, на которой производят оценку условной протяженности и определение количества дефектов, составляет 9 дБ относительно опорного сигнала. Если протяженность одиночного дефекта или суммарная протяженность нескольких дефектов равна или больше 50% от максимального размера нахлестки (длины или ширины), то такое соединение бракуют.

Аналогичные исследования были выполнены для стыковых пая-

ных соединений. В частности, было установлено, что для всего диапазона рассматриваемых толщин целесообразно использовать только один преобразователь с углом призмы 50° на частоту 2,5 МГц. В процессе контроля преобразователь перемещают вдоль шва без поперечного сканирования. Настройку опорной чувствительности целесообразно производить по боковому отверстию в стандартном образце № 2 (ГОСТ 14782-76). При этом значение браковочной чувствительности устанавливают в зависимости от толщины изделия и схемы прозвучивания.

Учитывая ограниченный диапазон толщин, благоприятную и известную ориентацию дефектов в соединении, а также условие проведения контроля, в МВТУ им. Н.Э.Баумана при участии автора совместно с Одесским филиалом Оргэнергострой был разработан и освоен мелкосерийный выпуск дефектоскопа со стрелочной индикацией. Его отличительными особенностями являются малый вес (2,5 кг вместе с батарейным блоком), простота управления, достаточно высокая чувствительность (примерно такая же как и дефектоскопа ДУК-66ПМ) и малая потребляемая мощность (1,5 Вт). Прибор работает на частотах 2,5 и 5 МГц и обеспечивает постоянство чувствительности при температуре до -15°C .

В пятой главе рассмотрены вопросы оценки достоверности и экономической эффективности разработанной технологии и аппаратуры УЗ-контроля.

Количественная оценка сравнительной достоверности по альтернативному признаку была выполнена по методике Волченко В.Н. Согласно этой методике для оценки достоверности метода при ультразвуковом контроле необходимо сравнивать количество и размеры дефектов, выявленных предлагаемыми и базовыми методами. Для этого образцы паяных соединений после ультразвукового и рентгеновского контроля были подвергнуты механическому вскрытию. Достоверность УЗ-метода составила 95%. Достоверность рентгеновского контроля составила 85%. Данные сравнительных испытаний получены на образцах. При контроле реальных стыковых паяных соединений труб достоверность будет гораздо ниже ($\sim 30\%$), т.к. контроль будет производиться через две стенки.

Экономическая эффективность от внедрения УЗ-контроля определена по отношению к выборочным механическим испытаниям. Расчет проведен из условия замены механических разрушающих испытаний неразрушающими на одном предприятии, при программе выпуска 8000

изделий в год. Объем разрушающего контроля составил 3%, а ультразвукового - 10%. Экономическая эффективность контроля составляет 22100 руб/год при увеличении контроля более чем в 3 раза.

Основные выводы и результаты

1. Выполнен статистический анализ видов встречающихся дефектов. Показано, что как в нахлесточных, так и в стыковых соединениях самым распространенным дефектом является непропай (82-89%), значительно реже встречается поры (13-8%) и шлаковые включения (5 %).

2. На основе статических и динамических испытаний натурных образцов с учетом коэффициента запаса прочности установлено, что допустимый размер внутренних дефектов составляет 50% от площади нахлесточных и стыковых соединений при статическом нагружении и 40% при динамическом нагружении. Для дефектов, выходящих наружу, эти значения соответственно равны 40% и 30%.

3. Обосновано, что наиболее эффективным методом контроля паяных соединений является ультразвуковой при применении прямого раздельно - совмещенного преобразователя для нахлесточных соединений и наклонного совмещенного преобразователя для стыковых соединений.

4. Численными методами рассчитана фронтальная разрешающая способность прямого раздельно-совмещенного преобразователя, которая возрастает с увеличением глубины залегания дефекта, длины волны и расстояния между пьезоэлементами и уменьшается при увеличении квадрата радиуса пьезоэлементов. Разница теоретических и экспериментальных данных не превышает 1 дБ.

5. Изучено влияние паяного слоя на величину предельной чувствительности метода и установлено, что паяный слой толщиной меньше длины волны по своим акустическим характеристикам эквивалентен плоскодонному отражателю диаметром 2 мм.

6. Изучено отражение от клина и установлено, что при отражении от клина, у которого угол при вершине изменяется от 30° до 90°, амплитуды практически полностью исчезают когда ширина пучка будет составлять соответственно $(1 \pm 0,6) S$.

7. Разработана технология УЗ контроля нахлесточных и стыковых соединений толщиной 4-20 мм, выполненных индукционной пайкой. Обоснован выбор основных параметров контроля, система не требует чувствительности, браковочные уровни амплитуд сигналов. Создан и начат серийный выпуск дефектоскопа ОВД.

8. Достоверность разработанного метода ультразвукового контроля паяны соединений составляет 95%. Ожидаемый экономический эффект составляет 22,1 тыс.рублей в год по одному заводу.

Основное содержание диссертации достаточно полно отражено в следующих опубликованных работах:

1. Волченко В.Н., Ремизов А.Л. Ультразвуковой контроль качества пайки со статистической обработкой сигналов. - Труды / МВТУ, 1969, № 132, с.227-232.

2. Алшин Н.П., Ремизов А.Л. Выбор методов контроля качества паяных соединений. - Комплексная дефектоскопия сварных и паяных соединений: Материалы конференции. - М.: МДНТП, 1975, с.99-104.

3. Специализированная аппаратура для ультразвукового контроля сварных и паяных соединений строительных конструкций / Н.П.Алешин, В.Н.Волченко, А.Л.Ремизов, А.К.Воданов - Внедрение комплексной механизации, автоматизации в производство сварных строительных конструкций: Тезисы докладов IV Всесоюзной конференции. - М.: Стройиздат, 1976, с.37-38.

4. Ультразвуковой контроль угловых кольцевых швов / Н.П.Алешин, В.Н.Волченко, А.К.Воданов, А.Л.Ремизов - Автоматическая сварка, 1976, № 12, с.68-69.

5. А.с. 819710 (СССР). Автоматический сигнализатор дефектов / В.А.Контарович, Н.П.Алешин, А.Л.Ремизов и др. - Опубл. Б.И., 1981, № 13.

6. Исследование возможности контроля диффузионно-паяного соединения сложной конфигурации / А.Л.Ремизов, В.А.Медведев, З.П.Савченко и др. - Пути снижения материалоемкости и трудоемкости сварочных работ в строительстве. - М.: Стройиздат, 1983, с.98-99.

7. Ультразвуковой стрелочный дефектоскоп УЗ"-МВТУ-3с / Н.П.Алешин, А.Л.Ремизов, В.А.Контарович и др. - Каталог МВТУ. Машины, приборы, стенды. - М., 1982, № 8, с.20-21.

8. ГОСТ 26126-84. Контроль неразрушающий. Соединения паяные. Ультразвуковые методы контроля качества. - М.: Издательство стандартов, 1984, 4 с.

А.Л.Ремизов

