

М421772

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

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

На правах рукописи

ВОШАНОВ АЛЕКСЕЙ КОНСТАНТИНОВИЧ

УДК 620.179.16

РАЗРАБОТКА ТЕНЕВОГО МЕТОДА УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ
СВАРНЫХ СТЫКОВ СТЕРЖНЕЙ АРМАТУРЫ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Специальность 05.02.11 - Методы контроля
материалов, деталей, узлов, изделий и
сварных соединений

Автореферат
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических
наук

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

На правах рукописи

ВОШАНОВ АЛЕКСЕЙ КОНСТАНТИНОВИЧ

УДК 620.179.16

РАЗРАБОТКА ТЕНЕВОГО МЕТОДА УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ
СВАРНЫХ СТЫКОВ СТЕРЖНЕЙ АРМАТУРЫ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Специальность 05.02.11 -- Методы контроля
материалов, деталей, узлов, изделий и
сварных соединений

Автореферат
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических
наук

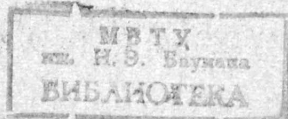
1984

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана



1421772

Вошанов А. К. Разработка тен



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
ВОЛЧЕНКО В.Н.

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

кандидат технических наук
ВОПИЛКИН А.Х.

Ведущее предприятие - ЦНИИСК им. Кучеренко

Защита диссертации состоится "___" _____ 1984 г.
на заседании специализированного совета К 053.15.01 в Московском высшем техническом училище им. Н.Э.Баумана по адресу: 107005, В-5, 2-я Бауманская ул., д. 5.

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

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

Телефон для справок 267-05-14

Автореферат разослан "___" _____ 1984 г.

УЧЕБНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО СОВЕТА
К.Т.Н., ДОЦЕНТ

 В.Т.ЯВРОД

Лист 915 Объем 1 л. Тираж 100 экз. Подписано к печати 23.05.84
Типография МВТУ. 107005, Москва, В-5, 2-я Бауманская, 5. Л-83158

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Увеличение объемов капитального строительства неразрывно связано с ростом производства конструкций сборного и монолитного железобетона. На изготовление железобетонных конструкций ежегодно расходуется более 12 млн. т стали. Одним из основных технологических процессов при монтаже железобетонных конструкций является сварка. Объем монтажных соединений, выполненных ванных способами сварки составляет десятки миллионов стыков в год. От качества сварных соединений во многом зависит эксплуатационная надежность сооружений. Несмотря на совершенствование технологии и повышение технологической дисциплины проведения процесса сварки, уровень брака в ряде случаев достигает 10-20 %.

Действенным резервом повышения качества сварки служат эффективные методы контроля. До последнего времени основным методом контроля качества стыков арматуры были выборочные разрушающие испытания на статическое растяжение. Однако, этот метод контроля малоэффективен из-за небольшого объема выборки, а в случае применения образцов-свидетелей и не характеризует качества сварных соединений в строительных конструкциях. Кроме того на проведение разрушающих испытаний расходуется много металла и метод достаточно дорог. Применение разработанных в 50-е годы радиографических методов контроля оказалось не эффективным из-за возможности пропуска наиболее опасных и наиболее часто встречающихся $\approx 50\%$ плоскостных дефектов типа трещин и несплавлений, высокой стоимости контроля и радиационной опасности, не позволяющей проведение монтажных работ на соседних площадках во время проведения контроля.

Наиболее удовлетворяющим условиям массового строительства методом контроля является - ультразвуковой /УЗ/. Однако, возможность применения этого метода для контроля стыков арматуры долгое время считалась сомнительной и проведение контроля невозможным из-за наличия периодического профиля. В связи с этим УЗ-контроль подобных изделий ранее не применялся. Поэтому разработка УЗ-дефектоскопии сварных стыков арматуры периодического профиля диаметром 20-40 мм является важной и актуальной задачей. Эти работы были проведены в МВТУ им. Н.Э.Баумана при участии НИИЖБ Госстроя СССР под руководством Алешина Н.П. Автор благодарит Алешина Н.П. за помощь при постановке и решении ряда теоретических задач.

Цель работы и основные задачи исследования. Целью работы

является:

а) повышение качества и надежности сварных соединений стыков арматуры за счет разработки и внедрения эффективного УЗ-разрушающего метода контроля качества;

б) экономия средств и материалов за счет отказа от выборочных разрушающих испытаний.

Для достижения поставленной цели было необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ существующих методов контроля и сформулировать требования, предъявляемые к неразрушающему УЗ-методу контроля.

2. Обосновать нормы допустимых размеров дефектов на основе изучения дефектов сварных соединений и их влияния на прочность.

3. Исследовать различные схемы УЗ-контроля, обосновать выбор оптимальной схемы и изучить особенности прохождения УЗ-колебаний от излучателя к приемнику через неровности периодического профиля стержня арматуры.

4. Разработать технологию и средства контроля и создать нормативно-техническую документацию на УЗ-контроль рассматриваемых изделий.

5. Внедрить результаты работы и определить достоверность и экономическую эффективность УЗ-контроля стыков стержней арматуры железобетонных конструкций.

Научная новизна полученных результатов заключается в следующем:

1. Обоснован теневой метод УЗ-дефектоскопии для контроля изделий, имеющих периодический профиль с высотой выступов, соизмеримых с длиной волны ультразвука.

2. На основе приближений лучевой акустики исследован акустический тракт теневого дефектоскопа для сред, ограниченных в двухмерном пространстве и имеющих на поверхности ввода УЗ-колебаний периодические неровности равные и большие длины волны ультразвука.

3. Созданы методики вероятностного обоснования норм допустимых дефектов и оценки достоверности контроля, основанные на установлении регрессионных зависимостей прочности сварных соединений, размеров дефектов, амплитуд сигналов.

Практическая ценность. Разработан метод УЗ-контроля сварных стыков стержней арматуры диаметром 20-40 мм, выполненных валиками

способами сварки в инвентарных формах. Оптимизированы параметры контроля. Результаты работы легли в основу разработанных нормативно-технических документов: ГОСТ 23858-79, "Руководство" и "Рекомендации" на УЗ-контроль указанных соединений.

Разработаны средства для проведения контроля и начат серийный выпуск УЗ-дефектоскопов УЗД-МВТУ, преобразователей для проведения контроля, механических устройств для установки преобразователей на стержнях.

Результаты работы внедрены в масштабах отрасли в строительных организациях Минстроя СССР, Минтяжстроя СССР, Минпромстроя СССР, Минэнерго СССР. Экономический эффект от внедрения результатов работы к настоящему времени составил 1610,3 тыс.рублей.

Методы исследований, использованные в настоящей работе, включали аппарат общей и лучевой акустики, математического анализа, теории вероятности и математической статистики. Экспериментальные исследования проведены на современной отечественной и зарубежной аппаратуре, а также на специально созданных установках и образцах.

Апробация. Основные результаты работы докладывались на 16 конференциях, семинарах и совещаниях, в том числе:

- всесоюзных конференциях 1976г. в г.Киеве, 1978г. в г.Ивано-Франковске, 1983г. в г.Макеевка;
- научно-технических конференциях 1973г. в г.Ленинграде, 1975г. в г.Москве, 1979г. в г.Волгограде;
- координационном совещании 1977г. в г.Москве;
- всесоюзном совещании 1982г. в г.Волгограде.

Публикации. Материалы диссертации отражены в 18 печатных работах и в двух научно-исследовательских отчетах.

Объем работы. Диссертационная работа изложена на 177 страницах машинописного текста; иллюстрируется 56 рисунками, содержит 24 таблицы, состоит из введения, пяти глав, выводов, списка литературы (115 наименований).

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении работы обоснована актуальность решаемой проблемы, указаны цель и задачи, решаемые в работе, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе приведен анализ конструктивных особенностей

отержней арматуры, способов их сварки и существующих методов контроля качества. Для конструкций, свариваемых в монтажных условиях, наиболее распространены арматурные стали класса А-Ш, марки 35 ГС с пределом прочности $\sigma_b = 600 \text{ МПа}$ и диаметрами стержней 20-40 мм, имеющих выступы высотой до 2,5 мм.

Прогрессивным способом сварки стержней арматуры в монтажных условиях следует признать вапную сварку в съёмных инвентарных формах. Поэтому настоящая работа посвящена разработке метода контроля сварных соединений, выполненных этим способом сварки.

Основным способом контроля указанных соединений до последнего времени являлись выборочные механические испытания на статическое растяжение. В соответствии с ГОСТ 10922-75 испытаниям подлежат от 2 до 6 образцов из партии сваренных стыков и по качеству этих соединений судят о качестве партии в целом. Образцы для механических испытаний должны вырезаться из деловых конструкций. Однако, в сооружениях из сборного железобетона вырезка таких образцов невозможна из-за конструктивных особенностей. В этом случае испытывают специально сваренные для испытаний образцы-свидетели. Такие образцы, естественно, не могут характеризовать качество сварки в конструкциях, а определяют только квалификацию сварщика. Для испытаний требуется стационарное дорогое и дефицитное оборудование, которым владеют не многие строительные организации. Этот метод контроля не оперативен и достаточно дорог. Таким образом, из-за малого объема выборки и использования образцов-свидетелей, выборочные механические испытания не полностью гарантируют качественность сварных соединений, и, следовательно, разработка неразрушающих методов контроля становится актуальной задачей.

Первым методом неразрушающего контроля, применимым для проверки качества стыков арматуры, стала гаммадефектоскопия. Метод разработан в 50-х годах Ленинградским филиалом института Оргэнергострой и нашел весьма ограниченное применение при сооружении крупных гидротехнических сооружений и ряда других объектов. Несмотря на большее развитие гаммадефектоскопии сварных стыков стержней арматуры получила в ГДР. Основным недостатком этого метода контроля является возможность пропуска наиболее опасных плоскостных дефектов типа трещин и несплавлений. Высокая стоимость и малая производительность гаммадефектоскопии и дефицит рентгеновской пленки не позволяют в условиях массового строительства при-

менять этот метод в требуемом объеме. Кроме того высокий уровень ионизирующего излучения вблизи места проведения контроля, приводит к необходимости остановки других работ в момент просвечивания.

Во второй главе рассмотрены вопросы обоснования норм допустимости дефектов. При разработке любого метода контроля встает вопрос о том, какие именно дефекты по размеру должны быть выявлены. Для стержней арматуры отсутствовали обоснованные нормы допустимых дефектов. Поэтому в работе проведен расчет норм дефектов. Расчет выполнялся исходя из вероятности влияния размера дефекта на прочность сварного соединения на основании модели, разработанной в МВТУ им. Н.Э. Баумана. Решение этой задачи включает изучение видов, частоты появления и распределения по размерам дефектов, встречающихся в реальных конструкциях.

Исследование дефектов проведено по результатам вскрытия и гаммадефектоскопии деловых сварных стыков. Анализ радиограмм показал, что при чувствительности гамма контроля 5%, дефекты обнаружены в 52% стыков. Наиболее распространенным дефектом является непровар корня шва - 48%, затем идут шлаковые включения - 35%, поры - 14% и трещины - 3%. Шлаковые включения и поры чаще встречаются в виде отдельных несплошностей - 64%, цепочки и скопления этих дефектов распределены примерно одинаково - 18% для обоих случаев.

Учитывая, что стыки арматуры в большинстве случаев работают при статической нагрузке, величину дефектов можно оценивать по их относительной площади g , представляющей отношение в процентах суммарной площади дефектов в плоскости поперечного сечения к номинальной площади поперечного сечения стержня. Реальное распределение дефектов хорошо аппроксимируется экспоненциальной функцией плотности распределения вероятности:

$$f_p(x) = \lambda e^{-\lambda x}, \quad (I)$$

где $\lambda = 0,053$ - параметр распределения;

$x = g$ - относительный размер дефекта.

Вопросам влияния дефектов на прочность соединений посвящено значительное число работ Макарова И.И., Румянцева С.В., Дулькина В.Я. и др. В общем случае, кроме размера дефекта, необходимо учитывать его вид, расположение в сечении, форму, количество, условия эксплуатации изделия, свойства основного и наплавленного металла и т.д. Однако, по мнению большинства авторов, при статической нагрузке влияние пор, шлаковых включений и непроваров прояв-

ляется в, пропорциональном ослаблении дефектом сечения, снижении прочности соединения.

В работе экспериментально установлена связь прочности с относительным размером дефекта для соединений ванной сварки стержней, которая аппроксимирована линейной функцией: $y = 658 - 0,815 x$ с коэффициентом корреляции $\gamma_{xy} = -0,905$, где y - предел прочности сварного соединения, а x - относительный размер дефекта.

В основу расчета норм допустимых дефектов, согласно модели, предложенной В.Н.Волченко, заложены вероятности появления дефекта размером x и вероятность потери работоспособности соединения, вызванной появлением этого дефекта. Разброс значений прочности соединения $y = \sigma_y$, при фиксированном размере дефекта, подчиняется нормальному закону с параметрами m_y - математическое ожидание и σ_y - среднее квадратичное отклонение. Определим распределение вероятности $F(y)$ снижения прочности соединения ниже нормативного значения ($y_n = \sigma_{yn}$) в зависимости от относительной площади ($x = g$):

$$F(y) = \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{y_n - \frac{(y - m_y)^2}{2\sigma_y^2}} e^{-\frac{(y - m_y)^2}{2\sigma_y^2}} dy, \quad (2)$$

где $m_y = 658 - 0,815 x$.

Функция плотности вероятности появления в партии соединений с прочностью ниже нормативной $f_n(x)$, определим как произведение функции плотности вероятности появления дефекта размером x - $f_p(x)$ и вероятности влияния дефекта на прочность $F(y)$:

$$f_n(x) = f_p(x) \cdot F(y). \quad (3)$$

Нормы допустимых дефектов установлены с учетом вероятностей ошибок I и II рода, которые по аналогии с оценкой достоверности контроля назовем вероятностями перебраковки $\mathcal{A}_d$ и недобраковки $\mathcal{A}_p$. Под перебраковкой понимаем вероятность того, что соединения с дефектом, большим нормативного ($g > g_n$) окажется работоспособным ($\sigma_y \geq \sigma_{yn}$), а под недобраковкой - вероятность того, что соединение с дефектом меньше нормативного ($g < g_n$) будет неработоспособным ($\sigma_y < \sigma_{yn}$): x_n

$$\mathcal{A}_p = \int_0^{x_n} f_n(x) dx; \quad (4) \quad \mathcal{A}_d = \int_{x_n}^{\infty} f_p(x) dx - \int_{x_n}^{\infty} f_n(x) dx. \quad (5)$$

В зависимости от выбора нормативного размера дефекта ($x_n = g_n$) изменяется величина и соотношения $\mathcal{A}_d$ и $\mathcal{A}_p$. Для соответствующих конструкций целесообразно приблизить недобраковку к нулю, но это неизбежно приведет к росту перебраковки. Для стержней арматуры нормативный размер дефекта выбран из условия минимума суммарной ошибки ($\mathcal{A}_d + \mathcal{A}_p$) и равен 20% от сечения стержня. Это значение

соответствует точке пересечения нормативного значения прочности $\sigma_{\text{н}}$ с линией регрессии "прочность - дефект". Ошибки оценки при этом примерно равны и составляют: $\sigma_{\sigma_j} = \sigma_{\sigma_p} = 0,035$. Таким образом установлена методика определения недопустимого размера дефекта и определен этот размер для рассматриваемого случая.

Третья глава посвящена обоснованию выбора схемы УЗ-контроля, изучению особенности УЗ-контроля по теневой схеме, исследованию прохождения УЗ-колебаний через периодический профиль стержня, анализу акустического тракта теневого дефектоскопа для случая контроля стержней арматуры.

Основная сложность при контроле стержней арматуры - наличие периодического профиля с высотой выступов до 2,5 мм. Профиль затрудняет ввод УЗ-колебаний в изделие и является причиной ложных сигналов, на фоне которых трудно выделить полезный сигнал от дефекта при работе по эхо-методу УЗ-дефектоскопии. Были исследованы различные схемы УЗ-контроля и разные варианты ввода УЗ-колебаний в стержень. Применение эхо-метода по совмещенной схеме с использованием как обычных преобразователей, так и миниатюрных, устанавливаемых между выступами профиля, оказалось невозможным из-за высокого уровня помех от элементов профиля. Ввод УЗ-колебаний непосредственно через поверхность шва, при использовании нормального или прямого раздельно-совмещенного преобразователя, не обеспечивает выявление непроваров и несплавлений. Применение наклонного раздельно-совмещенного преобразователя типа "дуэт", устанавливаемого на арматурный стержень, не эффективно из-за малого соотношения "полезный сигнал - шум".

Многочисленными экспериментами установлено, что оптимальной схемой контроля является теневая с использованием двух наклонных преобразователей, расположенных на противоположных поверхностях стержня. Для компенсации неровностей профиля предложено использовать густую акустическую смазку.

Исследованию теневого метода контроля посвящено большое число работ Д.С.Шрайбера, И.Н.Ермолова, Л.М.Яблоняка, Б.А.Круглова и др. Из известных разновидностей теневого контроля для рассматриваемого случая наиболее подходит амплитудный теневой метод контроля. При этом признаком наличия дефекта служит уменьшение амплитуды сквозного сигнала. Чувствительность контроля зависит от многих факторов (длины волны, расстояния между преобразователями, размера пьезоэлемента, расположения дефекта в изделии), но

при контроле стержней арматуры основным фактором, ограничивающим реальную чувствительность, является флуктуация сигнала на приемнике, вызванная наличием периодического профиля.

Исследование прохождения УЗ-колебаний через периодический профиль показало, что высота профиля существенно (в 5-8 раз) больше критической высоты неровностей, при которой сигнал проходит в противофазе. Согласно критерию гладкости Релея, наличие профиля приводит к диффузному рассеянию УЗ-волн. Эти представления позволили предложить модель прохождения УЗ-волн через периодический профиль, согласно которой УЗ-колебания вводятся в стержень только на участках впадин профиля и рассеиваются на выступках. На основании этой модели получена формула для определения коэффициента потерь K_n при прохождении УЗ-волны через профиль:

$$K_n = \frac{t - (2r + \delta)}{t}, \quad (6)$$

где t, r, δ - период, радиус закругления и ширина выступов профиля соответственно.

Потери энергии при прохождении УЗ-волны от излучателя до приемника через стержень периодического профиля, рассчитанные по формуле (6), составляют 24 дБ. Экспериментально полученные значения потерь лежат в пределах 18-23 дБ.

Условие стабильного ввода УЗ-колебаний в стержень определяется выражением:

$$a \geq t \cos \beta, \quad (7)$$

где a - радиус пьезоэлемента;

β - угол падения УЗ-волны.

Предложена эквивалентная схема расчета акустического тракта. Основными отличиями предложенной схемы от известных ранее являются: наличие периодического профиля, криволинейная поверхность ввода с радиусом кривизны соизмеримым с сечением УЗ-пучка, соизмеримость размеров дефектов 2δ с диаметром пьезоэлемента $2a$ и диаметром стержня d_n . Эти отличия приводят к искажению поля УЗ-волны. Для учета этих явлений введен коэффициент искажений K_n . Получена эмпирическая формула подсчета K_n , справедливая для соотношений $d_n/2a = 1,5-3,5$:

$$K_n = C + K \frac{d_n}{2a}, \quad (8)$$

где $C = 2,6$; $K = -0,59$ - экспериментально полученные параметры.

С учетом приведенных коэффициентов предложена формула акустического тракта для модели дефекта типа фокового сверления диамет-

ром 28 :

$$\frac{P_T}{P_C} = 1 - \frac{\sqrt{2} \cdot S_a \cdot \sqrt{b'}}{2 \sqrt{(2')^3} K_n K_u}, \quad (9)$$

где S_a - площадь пьезоэлемента;

2 - длина УЗ-волны в металле;

$2'$ - приведенное расстояние между излучателем и приемником.

Экспериментальная проверка выражения (9) показала хорошую сходимости с результатами расчета для диапазона отношений

$d_n/28 \geq 5$. Наибольшее расхождение результатов при $d_n/28 = 5$ не превышает 12%.

Для области больших дефектов ($d_n/28 < 5$) предложена эмпирическая формула расчета тракта:

$$\frac{P_T}{P_C} = e^{-K \frac{a \cdot b}{2}}, \quad (10)$$

где K - опытный коэффициент, зависящий от диаметра стержня.

Расчеты по формуле (10) с точностью 7 + 10% соответствуют экспериментальным данным.

На основании приведенных в главе исследований установлены области оптимальных частот $f = 1,8 + 2,5$ МГц и оптимальных диаметров пьезоэлементов $2a = 12 + 18$ мм, используя которые обеспечивается стабильный ввод УЗ-колебаний в стержень и достаточно высокий уровень чувствительности.

В четвертой главе рассмотрены вопросы технологии контроля, включающие выбор основных параметров, особенности выявления краевых и центральных дефектов, реальную чувствительность контроля и способы ее эталонирования, определения браковочных уровней амплитуд сигналов и разработка средств контроля.

Расстояние между преобразователями должно быть таким, чтобы при перемещении их вдоль стержня обеспечивалось прозвучивание всего сечения шва. Для выполнения этого условия необходимо использовать преобразователи с углами призмы, близкими ко второму критическому. Это ведет к уменьшению коэффициента прозрачности грани призмы - стержень. Учитывая также большие потери при прохождении профиля, чувствительность электроакустического тракта оказывается недостаточной для проведения контроля. Поэтому оказалась оптимальной такая установка преобразователей, когда боковыми являются боковые лучи диаграммы направленности, соответствующие уровню 0,7 - 0,8 от максимума при углах призмы из оргстекла, равных 50° и 53° соответственно для диапазонов диаметров стержней 32-40 мм и 20 + 28 мм. Исходя из сказанного, расстояние между преобразова-

телями составляет:

$$L = \ell + 2n + \Delta, \quad (II)$$

где ℓ - длина шва, n - стрела преобразователя, $\Delta = 30$ мм - зазор, компенсирующий нестабильность ширины шва.

С целью определения условий выявления центральных и краевых дефектов были изготовлены образцы с искусственными дефектами в виде цилиндрического сверления в центре шва и сегментной прорези в нижней части шва, а также использованы образцы (57 шт.) с естественными дефектами. В результате исследований установлено, что для равновероятного выявления центральных и краевых дефектов необходимо во время контроля смещать систему преобразователей от оси симметрии шва на величину $x/L = \pm 0,4$, где L - расстояние между преобразователями, x - расстояние от преобразователя до шва.

При контроле стержней арматуры минимальный размер выявляемого дефекта определяется средним квадратичным разброса амплитуд сигналов на периодическом профиле и крутизной зависимости "амплитуда-дефект". Величина выявляемого дефекта носит вероятностный характер и для стержня диаметром 40 мм равна эквивалентному плоскостному отражателю диаметром 7,3 мм.

Для настройки чувствительности контроля использованы испытательные образцы, представляющие бездефектное сварное соединение, идентичное контролируемому. Браковочные значения амплитуд сигналов определены как точки пересечения значений допустимого размера дефекта с линией регрессии "амплитуда-дефект". В работе приведены дифференцированные значения браковочных уровней амплитуд для центральных и краевых дефектов.

Одной из важных практических задач при проведении контроля по теневой схеме является установка преобразователей в строго определенном положении друг относительно друга и обеспечение стабильного акустического контакта. С этой целью в работе разработано специальное механическое устройство, обеспечивающее установку требуемого расстояния между преобразователями, их центровку на стержне и постоянное усилие прижатия.

Значительные трудности возникли при выборе типа дефектоскопа. Наиболее применимый для монтажных условий дефектоскоп ДУК-66 ПМ не обеспечивает требуемую чувствительность при работе по раздельной схеме. Приборы типа ДУК-66 и УД-II ПУ малоприемлемы для работы на монтаже вследствие большого веса и отсутствия

автономных источников питания. Поэтому в МВТУ им. Н.Э. Баумана совместно с НИИХБ Госстроя СССР при участии автора был разработан и освоен серийный выпуск специализированного дефектоскопа УЗД-МВТУ, который в 2 раза легче ДУК-66 ПМ и в 6 - 8 раз чувствительней.

Акустический контакт обеспечивается применением густоконсистентных смазок на основе синтетических клеев.

В пятой главе исследованы вопросы достоверности и экономической эффективности разработанного метода контроля. При анализе достоверности контроля исходили из предпосылки, что соединения работают на статическую нагрузку, и дефекты, независимо от их вида, снижают прочность пропорционально ослаблению поперечного сечения.

Достоверность контроля исследована в работах В.Н. Волченко, А.К. Гурвича, А.З. Райхмана, М.В. Розиной и др. В настоящей работе за основу взята модель оценки достоверности, предложенная В.Н. Волченко. Модель предполагает наличие информации о распределении реальных дефектов по их размерам и статистической зависимости "амплитуда-дефект", "амплитуда-прочность". Методический подход при исследовании достоверности контроля близок к примененному ранее анализу при определении недопустимой величины дефекта и поэтому подробно здесь не рассмотрен. Достоверность зависит от разброса показаний метода контроля, величины недопустимой величины дефекта, величины запаса норм и реального распределения размеров дефектов. В работе приведены методики и примеры расчета достоверности контроля при оценке его результатов по альтернативному и количественному признаку. Согласно расчетам, достоверность правильной оценки недопустимого размера дефекта достигает 95%. Ошибка контроля (перебраковка и недобраковка) примерно равны между собой.

Получена достаточно тесная связь (коэффициент корреляции 0,725) между результатами УЗ-контроля и прочностью сварного соединения. Достоверность правильной оценки прочности УЗ-контролем достигает 90%.

Экономическая эффективность от внедрения УЗ-контроля определена по отношению к выборочным механическим испытаниям. Экономический эффект в расчете на 100 сварных стыков составляет 12,4 руб. По расчетам Лаборатории экономики железобетона НИИХБ Госстроя СССР годовой эффект от внедрения одного УЗ-дефектоскопа в строительно-монтажной организации составляет 31 тыс. руб. Общий

экономический эффект от внедрения результатов работы в строительных организациях страны составил к настоящему времени 1610,3 тыс. рублей.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Установлено, что существующие методы контроля качества стыков арматуры, выполненных данными способами сварки в инвентарных формах, не удовлетворяют предъявляемым к ним требованиям. Выборочные механические испытания недостаточно достоверны из-за малого объема выборки и применения образцов-свидетелей, а гамма-дефектоскопия не гарантирует выявления плоскостных дефектов и обладает низкими технико-экономическими показателями.

2. Разработана и применена на практике расчетно-экспериментальная модель обоснования норм допустимых дефектов, которая базируется на вероятностных представлениях с возможности появления дефекта и его влияния на прочность соединения. Для рассматриваемого случая доказана целесообразность назначения нормативного размера дефекта из условия минимума суммарной ошибки оценки прочности соединения, что соответствует относительной площади дефекта в 20% от сечения стержня. Полученные значения вошли в нормативно-техническую документацию на контроль.

3. На основе анализа и экспериментальной проверки возможных схем УЗ-контроля стыков стержней арматуры периодического профиля и исследования способов ввода УЗ-колебаний в стержень установлено, что оптимальной схемой является теневая с использованием двух наклонных преобразователей, а величину дефекта целесообразно оценивать по амплитуде сигнала.

4. Исследование особенностей прохождения УЗ-колебаний через периодический профиль стержня показало, что исходя из представления критической высоты неровностей и критерия гладкости Релея, периодический профиль можно рассматривать как дифракционную решетку. Причем УЗ-пучек вводится в изделие на участках впадин профиля и диффузно рассеивается на выступах. На базе этого представления предложены формулы расчета коэффициента потерь при прохождении УЗ-волны через профиль и определяющие условия стабильного ввода УЗ-колебаний в стержень.

5. В результате анализа особенностей контроля стержней арматуры, включающих кривизну поверхности ввода, пространственную ограниченность сечения стержня и ее соизмеримость с величиной pieзоэлемента и дефекта, предложен коэффициент, учитывающий иска-

жение УЗ-поля. Установлено, что коэффициент искажения обратно пропорционален отношению диаметра стержня d_n к диаметру пьезоэлемента $2a$ и для соотношений $d_n/2a = 1,5 - 3,5$ изменяется от 1,7 до 0,55.

6. Получено уравнение акустического тракта теневого дефектоскопа для случая контроля стержней арматуры периодического профиля. Уравнение применимо при соотношениях диаметра стержня к размеру дефекта больших 5. Для соотношений меньших 5 /область больших дефектов/ предложено эмпирическое уравнение, связывающее основные параметры контроля.

7. Разработана технология УЗ-контроля стыков стержней арматуры диаметром 20-40 мм, выполненных ванной сваркой в инвентарных формах. Обоснован выбор основных параметров контроля, система настройки чувствительности, способ распознавания центральных и краевых дефектов, браковочные уровни амплитуд сигналов. Созданы и начали серийно выпускаться дефектоскопы УЗД-МВТУ, пьезопреобразователи и механические устройства для их установки на стержне.

8. Разработаны расчетно-экспериментальные модели определения достоверности при оценках результатов контроля по альтернативному и количественному признаку. Использование количественной модели позволило установить связь между достоверностью контроля и уровнем дефектности сварного соединения, нормативной величиной дефекта и браковочным уровнем амплитуды сигнала. Достоверность правильной оценки УЗ-методом контроля размера дефекта составила 95%, а прочности соединения - 90%.

9. На основе проведенных исследований разработаны нормативно-технические документы на контроль и проведено в масштабе отрасли внедрение УЗ-контроля взамен дорогостоящих и металлоемких разрушающих испытаний. Экономический эффект от внедрения УЗ-контроля взамен разрушающих испытаний достигается за счет меньшей себестоимости контроля, экономии металла и сварочных материалов. Годовой экономический эффект от внедрения одного дефектоскопа достигает 31 тыс. рублей. Общий фактический экономический эффект от внедрения метода контроля составил к настоящему времени 1610,3 тыс. рублей.

Основное содержание диссертации достаточно полно отражено в следующих опубликованных работах:

1. Воинов А.К. Особенности ультразвукового контроля сварных стыков арматуры железобетона. - Ультразвуковая дефектоскопия

сварных конструкций: Тез. докл. научно-техн. конф.-Л.: ЛДНТП, 1973, с. 146-149.

2. Волченко В.Н., Воианов А.К. Исследования и вероятностная оценка результатов ультразвукового контроля сварных стержней арматуры периодического профиля.- Тр. / МВТУ, 1974, № 182, с. 94 - 102.

3. Воианов А.К. Контроль качества сварных стыков арматурных стержней.- Комплексная дефектоскопия сварных и паяных соединений: Материалы конференции.-М.: МДИП, 1975, с. 93-98.

4. Ультразвуковой контроль качества стыковых соединений. /А.К.Воианов, Н.П.Алешин, В.Н.Волченко и др.- Бетон и железобетон, 1976, № 1, с. 30-32.

5. Сварка порошковой проволокой и ультразвуковой контроль стыков арматуры железобетонных конструкций. /А.М.Фридман, Г.Г.Гурова, Н.П.Алешин, А.К.Воианов и др.- Промышленное строительство, 1978, № 2, с. 12-14.

6. Особенности ультразвукового контроля сварных стыков арматурных стержней по теневой и зеркально-теневой схемам. /Н.П.Алешин, А.К.Воианов, Е.М.Комов и др.- Совершенствование арматуры железобетонных конструкций. Сб. докл. научно-техн. конф. -Волгоград, 1979, с. 104-109.

7. ГОСТ 23858-79. Соединения сварные стыковые и тавровые арматуры железобетонных конструкций. Ультразвуковые методы контроля качества. Правила приемки. /А.М.Фридман, Н.П.Алешин, Г.Г.Гурова, А.К.Воианов и др.- М.: Изд-во стандартов, 1979, 20 с.

8. Волченко В.Н., Воианов А.К. Оценка достоверности ультразвукового контроля сварных стыков арматурных стержней.- Сварочное производство, 1980, № 3, с. 32-34.

9. Алешин Н.П., Воианов А.К. Ультразвуковая дефектоскопия сварных соединений железобетонных конструкций.- Труды / МВТУ, 1981, № 361, с. 76-85.

10. Ультразвуковой дефектоскоп УЗД-МВТУ-ИТ. /Н.П.Алешин, А.К.Воианов, В.И.Пашенко и др.- Каталог МВТУ. Машины, приборы, стеклы. М., 1982, № 8, с. 21-22.

