

М 497619

ГОСКОМИТЕТ СССР ПО НАРОДНОМУ ОБРАЗОВАНИЮ
Московский ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени государственный
технический университет имени Н.Э.Баумана

На правах рукописи

КОНОВАЛОВ Николай Николаевич

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ РАСЧЕТОВ
НОРМ ДОПУСТИМЫХ ДЕФЕКТОВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИИ
МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИХ
НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ (на примере
лесозаготовительных машин)

Специальность 05.02.11 - Методы контроля
и диагностики в
машиностроении

Автореферат
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук

Работа выполнена в Центральном ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательском и проектно-конструкторском институте механизации и энергетики лесной промышленности (ЦНИИМЭ) ВПОлес-прома.

Научный руководитель - доктор технических наук,
профессор ВОЛЧЕНКО В.Н.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор ЩЕРБЫНСКИЙ В.Г.
кандидат технических наук
УРМАН Н.С.

Ведущее предприятие - ЦНИП ВНИИСтройдормаш

Защита диссертации состоится "20" марта 1991 г. на заседании специализированного совета К0 53.15.01 в Московском государственном техническом университете им. Н.Э.Баумана по адресу:
10700

чати

умень

ре, заверенный пе -

отеке МГТУ им.Н.Э.Ба-

91 г.

спец

РЯБОВ В.Т.

Бака:

Подпи

100 экз.

ТУ им.Н.Э.Баумана

М 497619

Актуальность проблемы. Практика показывает, что надежность металлоконструкций лесозаготовительных машин в значительной мере ограничивается низким качеством их сварки. Доля отказов по дефектным сварным соединениям достигает 45% общего количества отказов металлоконструкций. Требования к качеству сварных соединений, которые приводятся в технических условиях на изготовление машин, не обеспечивают нормативной основы для выполнения контрольных операций. Нормы допустимых дефектов в отношении непроваров, подрезов, пор и шлаковых включений или приведены не в полном объеме (оговорены не все дефекты), или полностью отсутствуют. Имеющиеся же нормы назначаются волевым решением без учета конструктивно-технологических особенностей машин и влияния дефектов на несущую способность металлоконструкций при эксплуатации. Отсутствие обоснованных требований к качеству сварных соединений затрудняет внедрение в лесном машиностроении высокоэффективных методов их неразрушающего контроля. Поэтому разработка методов обоснования норм допустимых дефектов сварных соединений металлоконструкций лесозаготовительных машин является в настоящее время актуальной проблемой.

Цель работы и основные задачи исследования. Цель работы - повышение достоверности неразрушающего контроля и надежности сварных металлоконструкций лесозаготовительных машин.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Определить типовые соединения металлоконструкций.
2. Выбрать методы неразрушающего контроля соединений.
3. Провести статистический анализ дефектности швов и исследовать влияние дефектов на усталостную прочность соединений.
4. Теоретически и экспериментально обосновать методы оценки норм допустимых дефектов сварных соединений и достоверности их неразрушающего контроля.
5. Разработать и ввести в нормативно-техническую документацию нормы допустимых дефектов сварных соединений и методики их неразрушающего контроля.
6. Создать службу неразрушающего контроля на предприятиях отрасли.

Научная новизна заключается в следующем:

1. В результате теоретических и экспериментальных исследований установлены зависимости различных показателей достоверности мето-



дов ультразвуковой (УЗ) дефектоскопии от величин браковочных уровней амплитуд УЗ-сигналов для различных нормативно-допустимых размеров дефектов и типов соединений, позволяющие выбрать браковочные уровни, обеспечивающие минимальные значения как вероятности недобраковки, так и суммарной вероятности недобраковки и перебраковки.

2. На базе выбранных теоретических моделей и экспериментальных исследований предложено для оценки норм допустимых дефектов использовать значения расчетной ожидаемой доли брака при изготовлении сварного соединения и расчетной вероятности потери им работоспособности при эксплуатации.

3. На основе экспериментальных исследований установлены закономерности статистических распределений глубин подрезов и напоров для сварных соединений разных типов, толщин и положений, свариваемых элементов в процессе сварки (на различных заводах-изготовителях).

4. Предложен метод оценки опасности сварочных дефектов, основанный на использовании информации о реальных дефектах в неразрушающихся сварных соединениях, по которым имеются данные об их нагруженности.

Практическая ценность. Разработаны и внедрены расчетные нормы допустимых дефектов, учитывающие конструктивно-технологические особенности типовых сварных соединений лесозаготовительных машин и влияние сварочных дефектов на усталостную прочность металлоконструкций. Выбраны значения браковочных уровней амплитуд ультразвуковых сигналов, обеспечивающие высокую достоверность контроля соединений с учетом их возможной перебраковки и недобраковки. Разработаны отраслевые и заводские нормативно-технические документы по контролю качества сварных соединений.

Служба неразрушающего контроля создана в ВПО «Леспроект» и на шести заводах лесного машиностроения.

Методы исследования. Данные по дефектности сварных соединений получены по результатам визуального контроля, ультразвуковой дефектоскопии и металлографии. Анализ распределений дефектов по размерам, а также исследования выявляемости дефектов и достоверности методов контроля выполнены с применением аппарата математической статистики и ЭВМ. При анализе нагруженности сварных соединений использован тензометрический метод определения напряжений. Исследования усталостной прочности соединений проводили на сварных образцах.

Апробация. Результаты работы использованы при разработке РД 13-II-9-85. Соединения сварные лесозаготовительных машин. Методы контроля качества.
РД 13-II-10-85. Ультразвуковой контроль сварных соединений металлоконструкций лесозаготовительных машин.
РД 22-197-87. Правила контроля сварных соединений металлоконструкций лесозаготовительных машин.

Основные положения работы докладывались на конференции молодых ученых и специалистов ЦНИИМЭ в 1987 г. Диссертация заслушена и рекомендована к защите на научных семинарах кафедры МТ-7 МГТУ им. Н.Э.Баумана и лаборатории исследовательских испытаний ВПОлеспроем (1990 г.).

Публикация. По материалам диссертации опубликовано три печатных работы.

Объем работы. Диссертационная работа изложена на 166 страницах машинописного текста, содержит 55 рисунков, 17 таблиц и 114 литературных источников, состоит из введения, пяти разделов и выводов по работе.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первом разделе проведен анализ конструктивно-технологических и эксплуатационных особенностей сварных металлоконструкций лесозаготовительных машин и выбран объект исследования.

Установлено, что сварные соединения лесозаготовительных машин имеют сходные основные конструктивно-технологические факторы качества. Как правило, применяются низколегированные стали и полуавтоматическая сварка в среде углекислого газа. Ограничен номенклатура типов соединений и диапазон толщин свариваемых элементов.

Анализ результатов эксплуатации и ускоренных стендовых испытаний показал, что надежность металлоконструкций в основном определяется усталостными разрушениями, вызываемыми нерегулярным (случайным) нагружением. Отказы по сварным соединениям составляют не менее 75 ... 80% общего количества отказов металлоконструкций, а долговечность металлоконструкций, как правило, ограничивается несущей способностью соединений.

Объектом исследования выбраны наиболее характерные сварные соединения, снижающие работоспособность металлоконструкций.

Для применения аппарата математической статистики выделены однородные совокупности сварных соединений — базовые партии элементов (БПЭ). Обосновано использование в качестве группировочных признаков типа соединения, толщины свариваемых элементов и размера катета углового шва.

Исследовалось 30 БПЭ, в том числе 7 по стыковым швам и 23 по угловым.

Второй раздел посвящен выбору методов неразрушающего контроля и определению малозначительных сварочных дефектов.

До последнего времени в лесном машиностроении не нашли применения высокоэффективные методы неразрушающего и статистического контроля сварных соединений, разработка которых связана с именами И.Н. Трмолова, А.К. Гурвича, Н.П. Алешина, В.Г. Шарбинского, Н.В. Химченко, С.В. Румянцева, В.Н. Волченко, А.Н. Майорова, М.Х. Хусанова, А.С. Боровикова, Л.С. Денисова и др.

Выбор методов неразрушающего контроля проводился на основе анализа наиболее апробированных методов с учетом конструктивных особенностей и характера дефектности типовых соединений. Предложено использовать комплекс методов, включающий внешний осмотр, измерения и ультразвуковую (УЗ) дефектоскопию.

УЗ-контроль сварных соединений лесозаготовительных машин осложняется толщинами (6...16 мм) и наличием конструктивных непроваров.

Возможности и особенности УЗ-контроля типовых соединений оценивались на швах, часть которых после дефектоскопии вскрывалась поперечным фрезерованием или изломом в направлении шва. При этом ультразвуком с выборочным вскрытием проконтролировано 783 пог.м и со сплошным вскрытием — 55 пог.м швов.

Получены данные по топографии внутренних дефектов и их выявляемости при УЗ-контроле. Для наиболее распространенных дефектов (непроваров) определены корреляционные зависимости "глубина непровара — амплитуда УЗ-сигнала".

Введено необходимое для анализа дефектности понятие единицы продукции. Исходя из возможностей УЗ-контроля, особенностей направления дефектных швов и исследования нагруженности соединений, длина единичного участка (элемента) выбрана равной 40 мм.

Очевидно, что не целесообразно проводить углубленный анализ по дефектам, которые редко встречаются или не оказывают существенного влияния на усталостную прочность соединений.

Контроль соединений внешним осмотром (проконтролировано 37486 элементов), УЗ-дефектоскопией (8816 элементов) и вскрытием (2010

элементов) позволил получить значения долей дефектности q (отношение числа дефектных элементов na к общему числу проконтролированных элементов n) по сварочным дефектам в металлоконструкциях производства основных заводов лесного машиностроения.

Установлено, что технологические непровары в угловых швах, поры и шлаковые включения встречаются достаточно редко ($q = 0,1 \dots 5,5\%$). Причем достигнутые значения долей дефектности не превышают $0,3\%$. Кроме того, известно, что шлаковые включения (в том числе и имеющиеся максимально возможные в сварных соединениях металлоконструкций лесозаготовительных машин размерами) и поры не оказывают влияния на усталостную прочность.

Следовательно, углубленный анализ по данным дефектам не целесообразен.

В третьем разделе приведены исследования непроваров в стыковых швах и подрезов.

Для обоснования технологических требований к нормам допустимых дефектов оценено влияние на частоту появления дефектов и их распределение по размерам таких конструктивно-технологических факторов, как завод-изготовитель, тип соединения, толщина и (для угловых швов) положение свариваемых элементов в процессе сварки - в угол и в лодочку.

Установлено, что данные факторы (кроме "положение свариваемых элементов") оказывают существенное влияние на вероятность появления дефектов. Доля дефектности q может меняться от 1,5 до 30 раз.

Выявлено, что распределения глубин подрезов не противоречат при уровне значимости $\alpha = 0,05$ экспоненциальному распределению. Распределение глубин непроваров в односторонних соединениях, сваренных без разделки кромок, может быть описано нормальным, в односторонних соединениях, сваренных с разделкой кромок, - логарифмически нормальным и в двухсторонних соединениях, сваренных без разделки кромок, - Вейбулловскими законами (при $\alpha = 0,05$).

Оценено влияние конструктивно-технологических факторов на параметры распределений.

Исследованиям усталостной прочности различных типов соединений и влиянию на нее сварочных дефектов посвящены работы советс-

ких (Г.А. Николаев, С.А. Куркин, В.А. Винокуров, И.И. Макаров, В.И. Труфяков, В.Ф. Лукьянов, Л.Ю. Радченко и др.) и зарубежных ученых (Харрисон, Смит, Монзе, Саксена, Ончида, Бено, Рольф и др.).

Как показал анализ, в литературе отсутствуют данные по усталостной прочности односторонних тавровых соединений, сваренных без разделки кромок (соединения типа Т1 по ГОСТ 14771-76), в условиях действия предельных остаточных напряжений. Характеристики их усталостной прочности были получены в результате усталостных испытаний образцов, проведенных в соответствии с РД 50-551-85.

Для оценки опасности дефектов была использована методика, разработанная под руководством В.А. Винокурова и использующая аппарат линейной механики разрушения.

Зависимость предела выносливости σ_{RD} от глубины дефекта h определялась по формуле:

$$\sigma_{RD} = \frac{\Delta K_{th}(1-R)^{\delta}}{\sqrt{h} \cdot C},$$

где ΔK_{th} — размах порогового коэффициента интенсивности напряжений при отнулевом цикле нагружения;

R — характеристика цикла (с учетом остаточных напряжений);

δ — численный коэффициент, полученный из экспериментальных данных;

C — численный коэффициент, значение которого зависит от формы и расположения дефекта по отношению к силовому потоку.

Разброс значений предела выносливости определялся на основе разброса значений коэффициента интенсивности, т.е. $S(\sigma_{RD}) = P[S(K_{th})]$.

Зависимости $\sigma_{RD} = P(h)$ определены для всех базовых партий элементов с учетом предельных остаточных напряжений.

Четвертый раздел посвящен разработке норм допустимых дефектов.

При обосновании норм допустимых дефектов целесообразно ориентироваться на достигнутый уровень качества и использовать предложенные В.И. Волченко вероятностные модели, позволяющие выбирать нормативные размеры h_n дефектов на основе пороговых размеров h_n , вероятность влияния которых на прочность 0,5.

При этом для оценки норм используют понятия их запасов по размеру γ_x и по вероятности $\gamma_{вер}$:

$$\rho_x = h_n / h_n;$$

$$\rho_{\text{вер}} = \psi_n \cdot \varphi_n / \psi_n \cdot \varphi_n = 0,5 \cdot \varphi_n / \psi_n \cdot \varphi_n.$$

где φ_n и φ_n — соответственно вероятность появления из общего числа дефектных элементов элементов, имеющих дефекты размерами, превышающими h_n и h_n ;

ψ_n и ψ_n — соответственно вероятность потери работоспособности ниже нормативного уровня из-за наличия дефектов размером h_n и h_n .

Предложено использовать показатели, которые напрямую связаны с интересами потребителя (вероятность потери работоспособности) и производителя (доля брака при изготовлении).

Вероятность потери работоспособности Π из-за наличия дефектов определяется по формуле

$$\Pi = \varphi_n \psi_n q.$$

Ожидаемая доля брака B рассчитывается

$$B = \varphi_n q.$$

Выбраны нормативные значения Π и B :

$$\Pi_n = 10^{-5} \dots 10^{-2}, \quad B_n = 3 \times 10^{-3} \dots 10^{-2}.$$

Для повышения экономичности сварочного производства требования к качеству соединений дифференцированы в зависимости от показателя $\sigma_{\text{эвб}}$ (амплитуды симметричного цикла, дающего на базе 2×10^6 циклов такую же повреждаемость, что и реальный спектр нагружения за ресурс металлоконструкции).

Введены категории: первая $\sigma_{\text{эвб}} > 60$ МПа, вторая $60 \text{ МПа} \geq \sigma_{\text{эвб}} > 40$ МПа, третья $40 \text{ МПа} \geq \sigma_{\text{эвб}} > 20$ МПа, четвертая $\sigma_{\text{эвб}} \leq 20$ МПа.

Данные нормативные уровни нагруженности реализуют удобные для выбора нормативных размеров h_n дефектов пороговые размеры h_n .

Разработанная методика позволяет выбрать нормативный размер дефекта на основе порогового размера h_n с учетом рекомендуемых запасов норм ρ_x и при необходимости скорректировать значение h_n по результатам оценки вероятности потери элементом работоспособ-

ности Π в эксплуатации и ожидаемой доли брака B при его изготовлении (рис.1). При этом пороговый размер h_n дефекта определяется видом дефекта, толщиной свариваемых элементов и типом и категорией соединения.

При нормировании допустимости пор и шлаковых включений используется технологическая вероятностная модель, позволяющая оценить ожидаемую долю брака B при изготовлении соединения. Выбор допустимых дефектов произведен с учетом возможностей УЗ-контроля и требований к товарному виду продукции (рис.2). Принятые нормы обеспечивают приемлемую долю брака.

Для металлоконструкций, по которым имеются результаты их тензометрирования и эксплуатации (или ускоренных стендовых испытаний), разработан метод ^{оценки} опасности сварочных дефектов, использующий эти данные. Предложенная эксплуатационная модель (рис.3) не рассматривает зависимость "усталостная прочность - размер дефекта", а базируется на использовании информации о размерах (h_i) дефектов в соединениях, испытывавших нагруженность ($\sigma_{эвн}$) и неразрушившихся. Пересечение нормативного уровня нагруженности $\sigma_{эвн}$ с правой границей поля, полученного нанесении на плоскость точек с координатами ($\sigma_{эвн}; h_i$), определяет критическое значение $h_{кр}$ дефекта. При $h < h_{кр}$ можно предположить, что сварное соединение не разрушится при $\sigma_{эвн} \leq \sigma_{эвн}$. Для получения консервативной оценки h_n от крайних правых точек поля откладывают зону, определяемую разбросом $\pm 2 S(\sigma_{эвн})$.

Как показали эксперименты, при использовании данного метода нормативный размер h_n дефекта может быть существенно увеличен без ущерба для надежности металлоконструкции.

Пятый раздел посвящен оценке достоверности УЗ-контроля и внедрению нормативов качества и методик контроля сварных соединений.

Использовалась точечная оценка достоверности контроля по альтернативному признаку.

Наиболее широко применяется показатель достоверности D_x :

$$D_x = 1 - (\alpha + \beta).$$

Этот показатель учитывает как вероятность перебраковки (α), так и вероятность недобраковки (β) и, следовательно, защи-

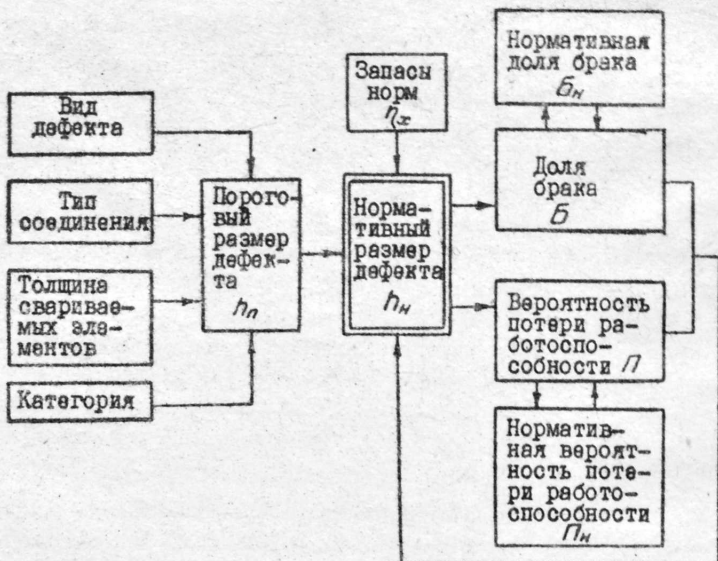


Рис. 1. Схема обоснования допустимости подрезов и непроваров

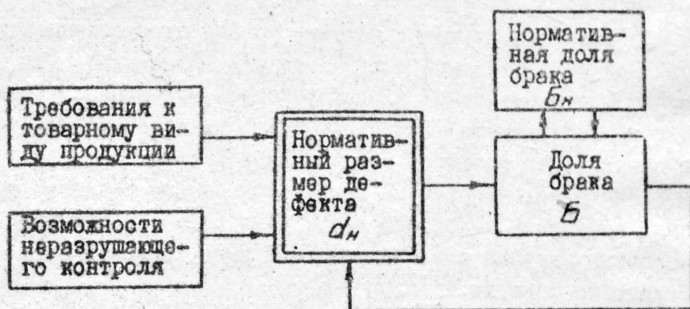


Рис. 2. Схема обоснования допустимости пор и шлаковых включений

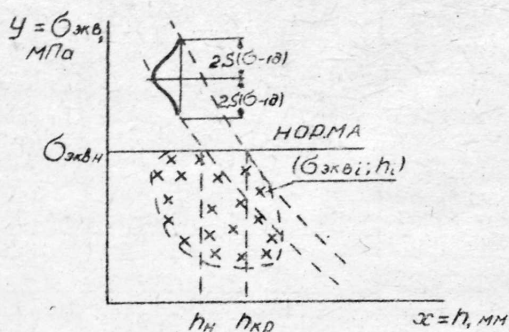


Рис.3. Обобщенная эксплуатационная модель обоснования норм допустимых дефектов на основе результатов тензометрирования и эксплуатации

щает интересы как поставщика, так и потребителя. Он рекомендует-
ся при оценке продукции среднего уровня ответственности.

При использовании показателя Δ_{Σ} принимают, что ошибки, связанные с перебраковкой и недобраковкой, равноценны (критерий идеального наблюдателя). На практике же недобраковка в стоимостном выражении, как правило, опаснее перебраковки.

Учитывая, что каждой ошибке при оценке качества продукции можно поставить некоторую плату (или риск), и принимая для безошибочных решений эту плату равной нулю, средний риск можно вычислить по формуле

$$R = F_{\alpha} \alpha + F_{\beta} \beta,$$

где K_2 и K_3 - соответственно плата за перебраковку и недобраковку.

При проведении контроля следует отдать предпочтение такому браковочному уровню, при котором средний риск будет минимален. Это соответствует критерию минимума среднего риска, который является более общим по отношению к критерию идеального наблюдателя. Если надобраковка опаснее перебраковки в V раз в стоимостном выражении, то оптимум будет соответствовать минимальному значению $\alpha + V\beta$.

(критерий Байеса).

Для использования критериев минимума среднего риска и Байеса необходимо установить стоимость ошибок, что достаточно сложно (а иногда для недобраковки и невозможно). Поэтому в некоторых случаях выдвигают задачу, чтобы β не превосходила некоторого значения β_0 . Это критерий Неймана-Пирсона. Однако для оценки качества продукции среднего уровня ответственности подход недостаточно корректен, так как не учитывает перебраковку.

Так как недобраковка опаснее перебраковки, можно сделать вывод, что показатель D_x достаточно хорошо защищает интересы поставщика и в неполной мере — потребителя. Учитывая это, предлагается совместно с показателем D_x использовать показатель D_p , который учитывает только недобраковку: $D_p = 1 - \beta$.

Теоретически исследованы и экспериментально установлены зависимости показателей достоверности D_x и D_p от величин браковочных уровней $A_{\text{бр}}$ амплитуд ультразвуковых сигналов для различных нормативно-допустимых размеров дефектов и типов соединений. В результате определены величины $A_{\text{бр}}$, обеспечивающие практически максимальные значения как показателя D_x , так и показателя D_p .

При выборе браковочных уровней для УЗ-контроля стыковых швов исследовали соединения, сваренные с соблюдением штатной технологии. Выбор осуществляли по зависимостям "браковочный уровень $A_{\text{бр}}$ — достоверность D_x (D_p)" (рис. 4.), которые были получены на основе корреляционных связей "амплитуда УЗ-сигнала A — размер дефекта h " и принятых нормативных размеров h_n дефектов.

Обосновано применение для выявления мелких дефектов в двухсторонних стыковых соединениях зеркально-теневое метода УЗ-контроля.

Так как в угловых швах внутренние дефекты встречаются значительно реже, выбор браковочных уровней для их контроля осуществлялся в два этапа. На первом этапе по результатам УЗ-контроля и сплошного вскрытия соединений, которые были сварены с применением технологии, обеспечивающей повышенное содержание дефектов, определялась минимальная $A_{\text{мин}}$ из амплитуд, соответствующих выявленным дефектам. На втором этапе ультразвуком контролировались соединения, сваренные по штатной технологии, и производилось вскрытие элементов, в которых были зарегистрированы эхо-сигналы с амплитудами $A \geq A_{\text{мин}}$. Выбор браковочных уровней производили по

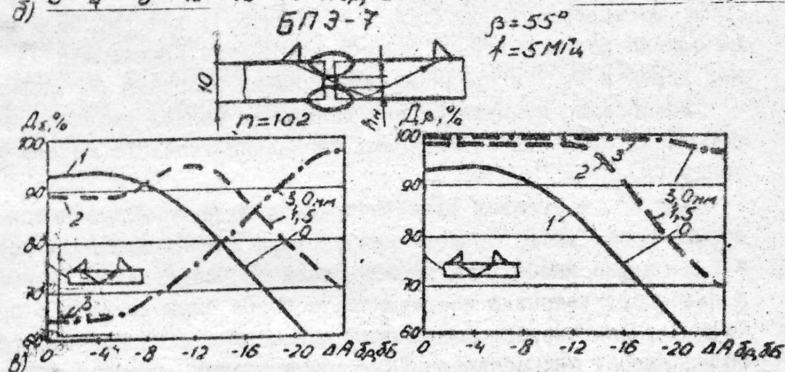
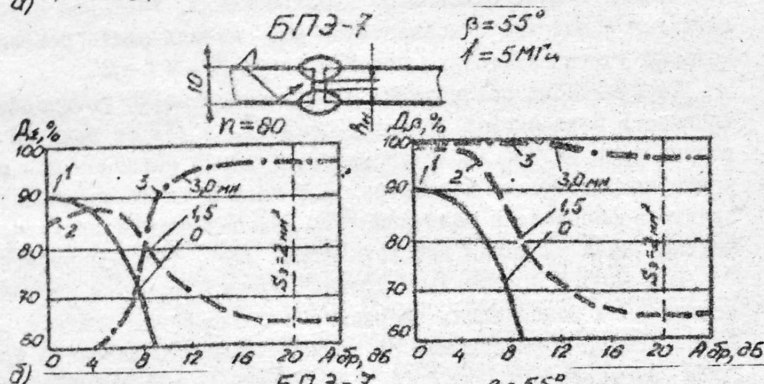
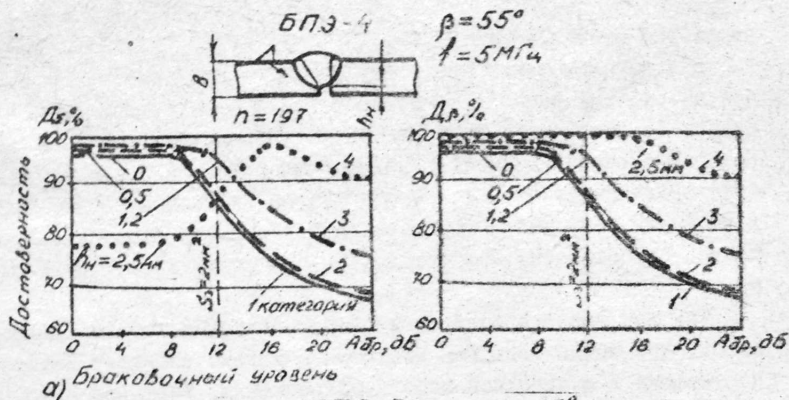


Рис. 4. Влияние браковочного уровня $A_{\text{бр}}$ на показатели достоверности D_s и D_r УЗ-контроля эхо-методом односторонних (а) и двухсторонних (б) соединений и зеркально-теневым методом двухсторонних (в) соединений

зависимостям "браковочный уровень $A_{бр}$ - достоверность D_x (D_p)", которые были получены на основе гистограмм распределений амплитуд эхо- сигналов для бездефектных и дефектных элементов (рис.5).

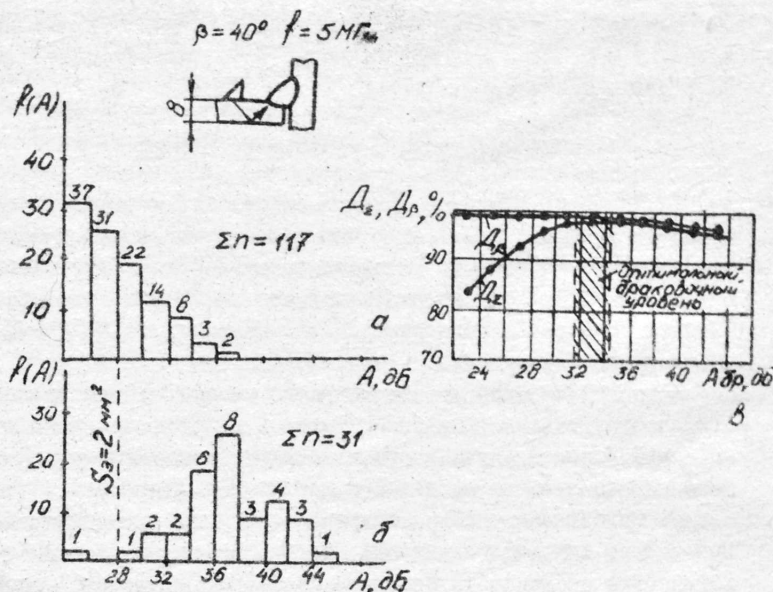


Рис.5. Гистограммы распределения амплитуд эхо-сигналов для качественных (а) и дефектных (б) швов и влияние браковочного уровня $A_{бр}$ на показатели достоверности D_x и D_p УЗ-контроля односторонних тавровых соединений (в)

Принятые браковочные уровни позволяют проводить УЗ-контроль с высокой достоверностью как стыковых, так и угловых швов. Значения показателей достоверности D_x и D_p лежат в диапазоне 86...99%.

Для внедрения методов УЗ-контроля на предприятиях отрасли в ЦНИИМЭ были организованы курсы подготовки дефектоскопистов. Служба неразрушающего контроля создана в ВПОлеспрое и на шести заво-

дах лесного машиностроения.

Внедрение новых нормативов качества, УЗ-дефектоскопии и элементов управления качеством сварки позволило существенно повысить качество сварных соединений.

По некоторым заводам доля дефектности q и доля брака B снизились от 2 до 50 раз.

Как показали ускоренные испытания, в результате повышения качества сварных швов, долговечность металлоконструкций возросла в три и более раз.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Контроль качества сварных соединений и анализ результатов их испытаний показали, что качество швов не обеспечивает требуемую долговечность металлоконструкций лесозаготовительных машин. Ущерб от недостаточной долговечности соединений составляет по отрасли миллионы рублей. Например, в 1987 году ущерб превысил 15 млн. рублей.

Установлено, что низкое качество сварки во многом определяется отсутствием физических методов контроля и обоснованных норм дефектности, учитывающих конструктивно-технологические особенности сварных соединений металлоконструкций.

2. Определены типовые сварные соединения металлоконструкций. При выборе типовых соединений учитывались конструктивно-технологические особенности основных лесозаготовительных машин и результаты их испытаний и эксплуатации. Проанализировано более 60 разрушений сварных соединений.

3. Установлено, что для неразрушающего контроля сварных соединений металлоконструкций необходимо использовать комплекс методов, включающий внешний осмотр, измерения и ультразвуковую дефектоскопию. Выбор методов проводился на основе анализа наиболее апробированных методов неразрушающего контроля с учетом конструктивных особенностей и характера дефектности типовых сварных соединений металлоконструкций.

4. По результатам дефектоскопии и контроля вскрытием (ультразвуком проконтролировано ≈ 360 пог.м и вскрытием ≈ 60 пог.м швов) выявлены особенности ультразвуковой дефектоскопии сварных соединений металлоконструкций и проведена оценка выявляемости в них непроваров, трещин, шлаковых включений и пор.

5. На основе экспериментальных исследований установлены закономерности статистических распределений глубин подрезов и непроваров для сварных соединений разных типов, толщин и положений свариваемых элементов в процессе сварки (на различных заводах-изготовителях).

6. На базе выбранных теоретических моделей и экспериментальных исследований предложено для оценки норм допустимых дефектов использовать значения расчетной ожидаемой доли брака B при изготовлении сварного соединения и расчетной вероятности потери им работоспособности P при эксплуатации.

7. Разработана методика обоснования норм допустимых дефектов сварных соединений, работающих в условиях многоциклового нагружения, основанная на использовании аппарата линейной механики разрушения и позволяющая учесть основные конструктивно-технологические особенности соединений. Принятые нормы обеспечивают высокую надежность соединений ($P \leq 0,002$) и долю брака B , при изготовлении не превышающую 0,007.

8. Разработан метод оценки опасности дефектов, основанный на использовании информации о реальных дефектах в неразрушившихся сварных соединениях, по которым имеются данные об их нагруженности. При применении данного метода нормы допустимых дефектов без ущерба для надежности конструкций могут быть существенно смягчены. Например, для ответственного шва стрелы ЛП-33 допустимый размер непровара может быть увеличен более чем в 2 раза (с 0,5 до 1,2 мм).

9. На основе теоретических и экспериментальных исследований предложено для оценки достоверности ультразвукового контроля сварных соединений металлоконструкций лесозаготовительных машин использовать в комплексе показатель D_k , учитывающий перебраковку и недобраковку с позиций идеального наблюдателя, и показатель D_d , учитывающий только недобраковку.

10. Установлены зависимости показателей достоверности D_k и D_d от величин браковочных уровней амплитуд ультразвуковых сигналов для различных нормативно-допустимых размеров дефектов и типов соединений, позволяющие выбрать браковочные уровни, обеспечивающие минимальные значения как суммарной вероятности недобраковки и перебраковки, так и вероятности недобраковки. При этом максимальные значения показателей D_k и D_d составят 86...90%.

Установлено, что для выявления мелких дефектов в двухсторонних стыковых соединениях более предпочтителен зеркально-танталовый

метод ультразвукового контроля.

11. Разработана методика выбора браковочных уровней амплитуд ультразвуковых сигналов при дефекто-копии сварных соединений металлоконструкций лесозаготовительных машин, позволяющая учесть основные конструктивно-технологические особенности соединений и обеспечить высокую достоверность их ультразвукового контроля.

12. Разработана методика ультразвукового контроля тавровых соединений, имеющих конструктивные непровары (соединения типов Т1 и Т3 по ГОСТ 14771-76). Обеспечивается достоверность контроля $A_{\Sigma} \approx 98\%$ ($A_{\beta} \approx 99\%$).

13. Внедрение предложенных норм дефектности, дефектоскопии и элементов управления качеством сварки позволило существенно снизить уровень брака (например, по стыковым соединениям примерно в 50 раз) и повысить долговечность металлоконструкций в три и более раз.

14. На основе проведенных исследований разработано три отраслевых руководящих документа и шесть заводских производственных инструкций. Ультразвуковой контроль внедрен в ВПОлеспром и на шести заводах лесного машиностроения.

15. Результаты работы внедрены на Соломбальском машиностроительном заводе с экономическим эффектом 25,3 тыс.рублей.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНО В РАБОТАХ:

1. Невмержицкий В.Н., Коновалов Н.Н. Неразрушающие методы контроля сварных соединений металлоконструкций лесозаготовительных машин: Экспресс-информ. ВНИПИЭИлеспром. -М., 1986. - 28 с.

2. Волченко В.Н., Радченко Л.Ю., Коновалов Н.Н. Вероятностные модели оценки норм допустимости сварочных дефектов при разных нагрузках //Труды МВТУ. -1988. -№511. -С. 105-119.

3. Коновалов Н.Н. Особенности ультразвукового контроля сварных соединений металлоконструкций лесозаготовительных машин //Испытания и надежность лесозаготовительной техники: Сб. трудов ЦНИИМЭ. -Химки, 1988. -С. 74-78.

Конов