

М 410588

НА ДОМ
НЕ ВДАЕТСЯ

Министерство высшего и среднего специального образования СССР
Московское ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена
Трудового Красного Знамени высшее техническое
училище имени Н.Э.Баумана

На правах рукописи
УДК 621.791: 052

ВАЛЯЕВ Игорь Геннадьевич

ВЛИЯНИЕ ПОДРЕЗОВ И НЕПРОВАРОВ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ
СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НЕСУЩИХ СИСТЕМ ТРАКТОРОВ И
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

Специальность 05.04.05 – Технология и машины сварочного
производства

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 1983

Работа выполнена на кафедре "Оборудование и технология сварочного производства" Ростовского-на-Дону ордена Трудового Красного Знамени института сельскохозяйственного машиностроения.

Научный руководитель - кандидат технических наук,
доцент В.Ф.ЛУКЬЯНОВ

Официальные оппоненты - доктор технических наук,
профессор В.М.САГАЛЕВИЧ
кандидат технических наук, с.н.с.
В.Д.ПРОХОРЕНКО

Ведущее предприятие - ВИСХОМ

Защита диссертации состоится "____" _____ 1983 г. на заседании специализированного совета Д.053.15.07 при Московском высшем техническом училище им. Н.Э.Баумана по адресу: 107005, Москва, Б-5, 2-я Бауманская ул., дом 5.

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

Ваш отзыв
печатью, просим

Авторефера

Ученый сен
специализирован
д.т.н., пр

А-100043

Подг. к печ. 19

Типография МВТУ

М410588

из.

5

Актуальность проблемы. В решениях XXVI съезда КПСС, постановлениях партии и правительства, пленумов ЦК КПСС (май, ноябрь 1982 г.) вопрос создания высокопроизводительной, надежной техники для сельского хозяйства рассматривается как одна из важнейших народнохозяйственных задач.

Сварные конструкции являются основными элементами несущих систем тракторов и сельскохозяйственных машин. От качества их изготовления зависит работоспособность всей машины в целом. Опыт, накопленный в ВИСХОМ, НАТИ, ГСКБ по машинам для уборки зерновых культур и других организациях свидетельствует о разрушениях в несущих системах, инициируемых дефектами сварки. С точки зрения снижения работоспособности сварных соединений при действии переменных нагрузок наибольшую опасность представляют подрезы и непровары. Возможность появления дефектов в сварных соединениях при производстве тракторов и сельхозмашин сдерживает дальнейшее повышение нагруженности несущих систем и приводит к недоиспользованию потенциальных возможностей применяемых конструктивных материалов. Массовый характер производства тракторов и сельхозмашин и требования низкой их себестоимости не позволяют идти по пути усложнения технологии изготовления и контроля качества с целью снижения количества технологических отклонений. Эта специфика производства требует разработки норм допустимости технологических отклонений, которые учитывали бы реальный уровень технологии, нагруженность сварных соединений и позволяли повысить долговечность несущих систем без существенного увеличения себестоимости продукции.

Цель работы состоит в разработке на основе изучения закономерностей зарождения и развития разрушения требований допустимости дефектов типа подрез и непровар в сварных соединениях тракторов и сельхозмашин с учетом их нагруженности.

Задачи работы:

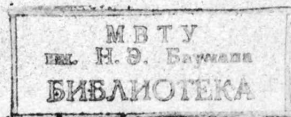
1. На основе анализа технологии производства тракторов и сельхозмашин оценить статистические закономерности рассеяния основных геометрических параметров сварных соединений, влияющих на сопротивление усталостному разрушению.
2. Оценить сопротивляемость зарождению и развитию разрушения при переменных нагрузках сварных соединений сталей, идущих

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1410588

Валеев И.Г. Влияние подрез



МН/0588

на производство несущих систем тракторов и сельхозмашин.

3. С позиций механики разрушения установить пределы допустимости подрезов и непроваров в сварных соединениях тракторов и сельхозмашин с учетом их нагруженности.

Методы исследования. Реализация поставленной цели и задач была осуществлена с использованием экспериментального исследования кинетики усталостного разрушения, инициируемого дефектами сварки (подрезами, непроварами) с острым, но конечным радиусом закругления. Исследование микронеоднородности деформирования производили с использованием микротвердомера ПМТ-3, микроскопов УИМ-2I, МИМ-8. С использованием вероятностно-статистических методов были определены закономерности изменения геометрических параметров технологических отклонений сварных соединений.

Научная новизна работы заключается в новом решении актуальной научной задачи, состоящей в разработке подхода к оценке влияния на работоспособность поверхностных дефектов (подрезов, непроваров) с конечным радиусом в вершине в сварных соединениях тракторов и сельхозмашин, испытывающих многоцикловое нагружение ($N > 10^6$ циклов), учитывающего нагруженность сварного соединения, статистические закономерности рассеяния основных геометрических параметров дефектов, структурную и деформационную неоднородность и характеристики сопротивления усталостному разрушению. Этот подход, основанный на сочетании методов механики разрушения и теории концентрации напряжений, заключается в том, что с учетом структурно-деформационной неоднородности производят усреднение напряжений в вершине дефекта и заменяют дефект с малым, но конечным радиусом, трещиной эквивалентной длины.

Практическая ценность. Разработана классификация и установлены допустимые размеры подрезов и непроваров в сварных соединениях тракторов и сельхозмашин с учетом их нагруженности, позволяющие обеспечить необходимый ресурс работы, снизить металлоемкость и объем контрольных операций в сварных конструкциях несущих систем. Внедрение результатов работы позволяет получить экономический эффект 39 тыс. рублей в год.

На зачетку выносятся:

I. Вероятностный подход к оценке влияния на работоспособ-

ность поверхностных дефектов (подрезов, непроваров) с конечным радиусом в вершине в сварных соединениях несущих систем тракторов и сельхозмашин.

2. Результаты исследования сопротивления сварных соединений несущих систем зарождению и развитию разрушения при многоцикловом нагружении.

3. Классификация сварных соединений тракторов и сельхозмашин на категории, позволяющая дифференцировать требования к качеству в зависимости от нагруженности сварных соединений в процессе эксплуатации.

Апробация работы. Диссертация заслушана и рекомендована к защите на научном семинаре кафедры АМ-7 МВТУ им. Н.Э.Баумана в 1982 г., кафедры "Оборудование и технология сварочного производства" Ростовского-на-Дону института сельхозмашиностроения в 1983 г. Основные результаты работы доложены на всесоюзной научно-технической конференции в Ростове-на-Дону (1982 г.), на региональной научно-технической конференции в г. Могилеве (1982 г.), на всесоюзной научно-технической конференции в г. Таганроге (1983 г.). IV Всесоюзный симпозиум в г. Краснодаре (1983).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 8 работ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка литературы и приложения. Работа изложена на 168 страницах машинописного текста, содержит 57 рисунков, 31 таблицу. Список литературных источников включает 140 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе проводится анализ случаев преждевременных разрушений несущей системы промышленного трактора Т-330, основанный на собственных наблюдениях автора в Магаданской области и Кривом Роге, а также случаев разрушения некоторых типов сельхозмашин, описанных в литературе, которые свидетельствуют, что основным видом отказов являются усталостные разрушения, инициированные преимущественно поверхностными дефектами сварки (трещины, подрезы, непровары). Тензометрирование несущих систем, проведенное в ВИСХОМе, НАТИ и других организациях, показало, что они в процессе эксплуатации подвергаются нестационарному нагружению. При этом различные сварные соединения несущих сис-

тем нагружены неодинаково.

Анализ нормативной документации, регламентирующей требования к качеству сварных соединений в различных отраслях отечественной промышленности свидетельствует, что в большинстве отраслей принята классификация сварных соединений. В то время, как в отрасли Минсельхозмаша основу классификации составляют не сварные соединения, а сварные конструкции в целом. При таком подходе одинаковые требования предъявляются ко всем сварным соединениям, входящим в определенный класс конструкций, независимо от уровня и характера действующих напряжений. Высказано предложение о необходимости дифференцировать требования к допустимости дефектов в сварных соединениях в зависимости от уровня их нагруженности в процессе эксплуатации. Дифференцированный подход должен основываться на изучении закономерностей зарождения и развития разрушения от сварочных дефектов и анализе эксплуатационных особенностей конкретных соединений.

Влиянию дефектов на прочность сварных соединений посвящены работы советских ученых Г.А.Николаева, С.А.Куркина, В.А.Винокурова, В.И.Труфякова, И.В.Кудрявцева, И.И.Макарова, зарубежных исследователей Ф.Бурдекина, Дж.Харрисона и др. Вероятностный подход к требованиям качества сварных соединений изложен в работах В.н.Волченко. Благодаря работам В.С.Ивановой, Г.П.Черепанова, Н.А.Махутова, Г.П.Карзова и др. для количественного описания процесса разрушения широко применяются методы механики разрушения, позволяющие совместно рассматривать величину дефекта и уровень рабочих напряжений. Общие принципы и методы расчета несущей способности элементов конструкций при переменных напряжениях рассмотрены в работах С.В.Серенсена, В.П.Когаева. Однако, несмотря на значительные успехи, достигнутые в области оценки прочности сварных конструкций, содержащих дефекты, ряд вопросов изучен недостаточно. К ним относится изучение зарождения усталостной трещины в вершине острого надреза с конечной величиной радиуса закругления и вопросы, связанные с разработкой комплексного подхода к оценке допустимости подрезов и непроваров в сварных соединениях при многоцикловом нагружении.

Во второй главе проведен анализ технологии производства сварных узлов несущих систем тракторов и сельхозмашин, рассмотрены результаты статистического анализа частоты появления и ге-

ометрических параметров сварочных дефектов, характерных для отрасли тракторного и сельскохозяйственного машиностроения. Отмечено, что вследствие объективных и субъективных причин реальный технологический процесс может существенно отличаться от нормативного. Характерным является завышение режимов сварки, недостаточная точность сборки и качества подготовки кромок под сварку.

Анализ, проведенный автором на нескольких заводах отрасли, свидетельствует, что доля сварных соединений с различными технологическими отклонениями может достигать 48 %. Среди выявленных дефектов наиболее часто встречаются подрезы (44 %). Анализ металлографических исследований сварных соединений I-го класса позволил заключить, что к распространенным дефектам относится непровар. Обоснованное суждение о влиянии дефектов на долговечность сварных конструкций должно базироваться на статистических закономерностях рассеяния основных геометрических параметров дефектов, влияющих на сопротивление усталостному разрушению. Характерной особенностью рассматриваемых конструкций несущих систем является наличие угловых швов (85 %). Измерение параметров зоны перехода от шва к основному металлу проводили на натуральных сварных конструкциях, а подрезов — с использованием образцов нахлесточного соединения, сваренных в заводских условиях на существующих производственных режимах.

Проведенные сравнительные исследования показали, что измерение геометрических параметров подрезов и непроваров целесообразно проводить на шлифах сварного соединения, а радиус перехода R и угол подхода Q в зоне перехода от шва к основному металлу — с использованием слепков из восковых композиций. Статистическая обработка результатов измерений показала, что с вероятностью $P = 99\%$ среднее значение для радиуса перехода находится в пределах $0,315 < R < 0,448$ мм, для углов подхода — $53,6 < Q < 60,2$ град. Радиус закругления в вершине подреза и непровара достаточно мал и может достигать сотых долей миллиметра. Экспериментально установлено, что с вероятностью $P = 97\%$ радиус в вершине подреза менее 0,2 мм, а глубина подреза — менее 2,0 мм. Ширина подрезов колеблется в пределах 0,4 ... 2,7 мм, а угол раскрытия кромок подрезов — 25 ... 110°. С использованием методов теории вероятности и математической статистики показано, что наиболее вероятным законом распределения для радиуса, глуби-

ны, ширины подрезов и радиуса перехода является закон Вейбулла-Гнеденко, а для угла раскрытия кромок подреза и угла подхода — логарифмически нормальный закон распределения.

Несмотря на значительное количество дефектов в сварных соединениях несущих систем, источником разрушения является лишь их незначительная часть, что подтверждается небольшими процентом разрушений тракторов и сельхозмашин. Вероятно, основная причина такого несоответствия состоит в том, что в системе регламентации технологических отклонений отсутствует связь с нагруженностью сварных соединений.

В третьей главе проведено исследование закономерностей зарождения и развития разрушения в сварных соединениях с подрезами и непроварами.

В качестве материала использовались низколегированные стали 10ХСНД и 15Г2АФДис. Подрезы и непровары имитировали искусственными и естественными дефектами различной глубины и радиуса в вершине. Известно, что при оценке влияния надразов с весьма острым радиусом закругления, классическая теория концентрации напряжений, предполагающая деление тела на бесконечно малые однородные элементы, непригодна. Основная причина этого состоит в том, что конструкционные материалы в силу их структурной и механической неоднородности деформируются крайне неравномерно. Теоретически учесть влияние деформационной неоднородности достаточно сложно. Существующий в литературе подход предполагает деление тела на частицы конечного размера 2ϱ , называемые структурными элементами. Для экспериментальной проверки возможности использования такого подхода оценивали степень неоднородности микродеформирования в различных зонах сварного соединения по методике А.В.Гурьева. При анализе зависимости коэффициента вариации от базы усреднения микродеформаций было отмечено, что с увеличением базы величина коэффициента вариации уменьшается, но, начиная с некоторого критического значения базы $L_{кр}$, дальнейшее ее увеличение не приводит к заметному изменению коэффициента вариации. Сопоставление критических значений баз усреднения для различных зон сварного соединения с величиной диаметра зерна свидетельствует, что $L_{кр} = (9...11) d$ зерна. На основании анализа закономерностей изменения микронеоднородности деформирования в работе сделано предположение, что в качестве 2ϱ целесообразно прини-

мать величину равную $10d$ зерна. Это позволяет считать возможным при оценке концентрации напряжений в вершине острых подрезов усреднять деформации на участке длиной $2\rho = 10d$ зерна. Такое усреднение позволяет совместно использовать методы теории концентрации напряжений и механики разрушения, заменяя надрезы трещиной эквивалентной длины $\ell_{\text{экв}}$.

Эквивалентную длину трещины определяли путем сопоставления полей напряжений в вершине трещины

$$G_{y,x}^{\text{тр}} = \frac{K_{\text{тр}}}{\sqrt{2\pi}z} \left[\cos \frac{Q}{2} \left(1 \pm \sin \frac{Q}{2} \sin \frac{3}{2} Q \right) \right] \quad (1)$$

где z, Q — полярные координаты точки, в которой определяется напряжение,

и в вершине надреза конечного радиуса R

$$G_{y,x}^{\text{надр}} = \frac{K_{\text{надр}}}{\sqrt{2\pi}z} \left[\cos \frac{Q}{2} \left(1 \pm \sin \frac{Q}{2} \sin \frac{3}{2} Q \right) \pm \frac{R}{2z} \cos \frac{3}{2} Q \right] \quad (2)$$

Допустим, что характер микронеоднородности деформирования таков, что тело можно рассматривать как однородное на участке длиной не менее 2ρ . Тогда непрерывное распределение напряжений вдоль оси абсцисс следует заменить дискретным, представляющим усредненное напряжение на участке длиной 2ρ .

$$G_{2\rho} = \frac{1}{2\rho} \int_x^{x+2\rho} G_y dx \quad (3)$$

При $Q = 0, z = x$ выражения (1) и (2) в соответствии с (3) имеют вид

$$G_{2\rho}^{\text{тр}} = \frac{1}{2\rho} \int_0^{2\rho} \frac{K_{\text{тр}}}{\sqrt{2\pi}x} dx \quad (4)$$

для надреза

$$G_{2\rho}^{\text{надр}} = \frac{1}{2\rho} \int_{R/2}^{R/2+2\rho} \frac{K_{\text{надр}}}{\sqrt{2\pi}x} \left(1 + \frac{R}{2x} \right) dx \quad (5)$$

Проинтегрировав и приравняв выражения (4) и (5) получаем зависимость (6), позволяющую рассматривать влияние надреза конечного радиуса как трещины, эквивалентной длины $\ell_{\text{экв}}$ (7)

$$K_{\text{тр}} = K_{\text{надр}} \left(1 + \frac{R}{4\rho} \right)^{-0.5} \quad (6); \quad \ell_{\text{экв}} = \ell_{\text{надр}} \left(1 + \frac{R}{4\rho} \right)^{-1} \quad (7)$$

В качестве критерия при определении допустимости трещиноподобных отклонений целесообразно воспользоваться пороговым значением коэффициента интенсивности напряжений K_{th} . Обычно вели-

чину K_{th} определяют для трещин. Применительно к надрезам с конечным радиусом в вершине было предложено воспользоваться условным значением K_{th} , т.е. таким значением коэффициента интенсивности напряжений, при котором трещина в вершине надреза за 10^6 циклов подрастает менее 0,1 мм.

Экспериментальное исследование влияния радиуса надреза на величину K_{th} проводили на прямоугольных образцах толщиной 16 мм при отнулевом цикле напряжения по схеме изгиба консольного образца. Полученные данные свидетельствуют, что при радиусе надреза $R \leq 0,2$ мм величина K_{th} не зависит от R , т.е. надрезы эквивалентны трещинам. Для надрезов радиусом $0,2 < R < 0,8$ мм определение коэффициента интенсивности напряжений необходимо производить в соответствии с выражением (6). В данном интервале значений R экспериментальные данные хорошо согласуются с расчетной зависимостью (6), полученной теоретически в предположении $2\rho = 10 d$ зерна.

Анализ результатов проведенного исследования позволил сформулировать следующий подход к оценке влияния дефектов на сопротивление сварных соединений усталостному разрушению. Дефекты (типа подрез и непровар) с радиусом в вершине $R \leq 20 d$ зерна рассматриваются как трещины с длиной равной реальной длине дефекта. Для дефектов с радиусом $20 d$ зерна $< R < 0,8$ мм в расчет вводится длина трещины, определяемая по уравнению (7).

Испытания сварных соединений с реальными подрезами показали, что они имеют более высокую долговечность по сравнению с образцами, содержащими искусственные надрезы с $R < 0,2$ мм. Вероятно, это объясняется тем, что угол раскрытия кромок в вершине подреза ω отличается от 0 и может изменяться в пределах $\omega = 25 \pm 110^\circ$. Было предложено учитывать влияние ω с помощью поправки, вводимой в формулу для подсчета K , аналогично тому, как сделано в работах Г. Нейбера. Тогда зависимость при определении для подрезов примет следующий вид

$$K = Y G \sqrt{h} \frac{F - \omega}{F} \quad (8)$$

где Y — тараровичный коэффициент;
 h — глубина подреза.

Сопоставление результатов испытания образцов с надрезами и данных по образцам с подрезами, пересчитанных в соответствии с

формулой (8), показало их удовлетворительную сходимость.

На основании проведенных исследований и полученных данных $\left[\frac{dP}{dN} - f(\Delta K) \right]$, величины K_{th} и др.] была проведена расчетно-экспериментальная оценка количества циклов, необходимых для зарождения и развития трещины от реального дефекта в сварном соединении полномасштабной конструкции моста ведущих колес зерноуборочных комбайнов при программном нагружении. Испытания производили при 2-х формах блоков программного нагружения (нормальный закон и β - распределение амплитуд напряжений) на оборудовании и по методике, разработанной в ГСКБ г. Таганрога. При сварке в заводских условиях короба моста с литым фланцем в корне одностороннего стыкового шва образуется непровар, являющийся источником усталостного разрушения. Рассматривая процесс разрушения, состоящим из зарождения и развития трещины, расчетным путем оценивали долговечность до разрушения моста ведущих колес с непроваром в корне стыкового шва. Величину непровара определяли по излому сварного шва. Длительность стадии зарождения определяли с использованием амплитудного значения K_{th}^a по выражению (9).

$$N_{зп} = \frac{\alpha_p (K_{th}^a)^m \cdot N_0}{(\sqrt{f_h})^m \sum V_{is} \cdot G_i^m} \quad (9)$$

где α_p - коэффициент, характеризующий сумму относительных усталостных повреждений;

G_i - амплитуда напряжений;

V_{is} - число повторений амплитуды в блоке нагружения;

m - характеристика угла наклона кривой усталости;

$N_0 = 10^6$ циклов.

Расчет "живучести" сварного соединения производили путем поциклового счета с использованием экспериментально полученной зависимости $\frac{dP}{dN} - f(\Delta K)$ для металла шва.

Сопоставление результатов расчета с экспериментальными данными показало, что расчетные значения долговечности до разрушения сварного соединения с непроваром на 20-25 % ниже экспериментальных. Следовательно, рассмотренную методику расчета с некоторой долей консерватизма возможно использовать при прогнозировании длительности процесса разрушения, инициируемого дефектами сварки (подразами, непроварами), в несущих системах тракторов и сельхозмашин.

Четвертая глава посвящена вопросам вероятностного обоснования требований к качеству сварных соединений несущих систем тракторов и сельхозмашин с позиций механики разрушения.

В работах В.Н.Волченко показано, что при разработке рациональных, объективных норм допустимости дефектов сварки необходимо в комплексе решать две задачи:

1) оценить возможное влияние дефекта на работоспособность сварного соединения;

2) определить вероятность появления дефектов при установленной технологии производства сварных конструкций.

Применительно к регламентации дефектов в несущих системах тракторов и сельхозмашин этот подход целесообразно дополнить введением параметра, характеризующего нагруженность сварного соединения, т.к. в пределах одного сварного узла различные сварные соединения нагружены неодинаково. В качестве параметра, характеризующего нагруженность, целесообразно принять максимальное значение эквивалентных напряжений $\sigma_{экв.}^{max}$ при отнулевом цикле нагружения, дающем на базе $N_0 = 10^6$ циклов такую же повреждаемость, что и реальный спектр нагрузок за срок эксплуатации.

В соответствии с нормативной документацией, действующей на заводах Минсельхозмаша, ко всем сварным соединениям, входящим в определенный класс конструкций, предъявляются одинаковые требования независимо от уровня их нагруженности. Анализ нагруженности сварных соединений в конструкциях I класса свидетельствует, что уровень $\sigma_{экв.}^{max}$ изменяется более, чем в 3 раза, что свидетельствует о десятикратной разнице в критических размерах трещиноподобных дефектов. В связи с этим предлагается ввести в пределах каждого класса конструкций деление сварных соединений на категории в зависимости от уровня нагруженности. По предлагаемой в работе классификации к первой категории нагруженности отнесены сварные соединения, для которых $120 \text{ МПа} < \sigma_{экв.}^{max} < \sigma_0$ (где σ_0 — предел усталости основного металла при отнулевом цикле нагружения), ко второй — $60 < \sigma_{экв.}^{max} \leq 120 \text{ МПа}$, к третьей $\sigma_{экв.}^{max} \leq 60 \text{ МПа}$. В соответствии с предложенной классификацией были определены допустимые размеры подрезов и непроваров в сварных соединениях, относящихся к различным категориям нагруженности.

Схема, иллюстрирующая общий подход к обоснованию требований к качеству сварных соединений, представлен на примере оценки допустимости подрезов (рис. 1). Требования к качеству сварных соединений определяют три взаимно влияющих друг на друга характеристики: функции распределения вероятности появления дефектов при стабильной технологии (рис. 1а), функция влияния дефектов на работоспособность с учетом условий эксплуатации (рис. 1б) и нормативный уровень работоспособности. На рис. 1в представлена плотность распределения вероятности для сварных соединений различной категории нагруженности применительно к несущей системе промышленного трактора Т-330. Можно видеть, что основную массу составляют соединения II и III категории нагруженности. Роль эксплуатационных факторов отражает зависимость показателя работоспособности от параметра дефектности сварного соединения (см. рис. 1б). Эта зависимость рассматривается в стохастическом аспекте, т.е. с учетом случайных отклонений, обусловленных колебаниями свойств сварного соединения и технологических факторов. Зависимость, представленная на рис. 1б, строилась в соответствии с выражением (10)

$$G_{\text{э.кв.}}^{\text{max}} = \frac{\bar{K}_{\text{th}}}{\gamma \sqrt{h} \cdot \frac{\sqrt{1-\omega}}{\pi}} \quad (10)$$

где $\bar{K}_{\text{th}} = 9,03 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{-0,5}$ — среднее значение порогового коэффициента интенсивности напряжений для исследованных зон сварных соединений сталей 10ХСНД и 15Г2АФДпс.

Пунктирными линиями обозначен диапазон изменения зависимости (10), соответствующий двум среднеквадратичным отклонениям величины $\bar{K}_{\text{th}}$. Очевидно, допустимые значения глубины подрезов зависят от нормативного уровня работоспособности и дисперсии влияния дефектов на прочность. В работах В.А.Винокурова показано, что при многоциклового усталости ($N \geq 10^6 \dots 10^7$ циклов) стадию развития разрушения от трещиноподобного дефекта можно не учитывать. Поэтому в качестве основной характеристики, определяющей влияние размера дефекта на работоспособность, следует рассматривать пороговое значение коэффициента интенсивности напряжений. Условие зарождения разрушения и допустимая глубина подрезов определяется по выражению (11)

$$G_{\text{э.кв.}}^{\text{max}} \cdot \gamma \sqrt{h} \cdot \frac{\sqrt{1-\omega}}{\pi} \geq K_{\text{th}} \quad (11)$$

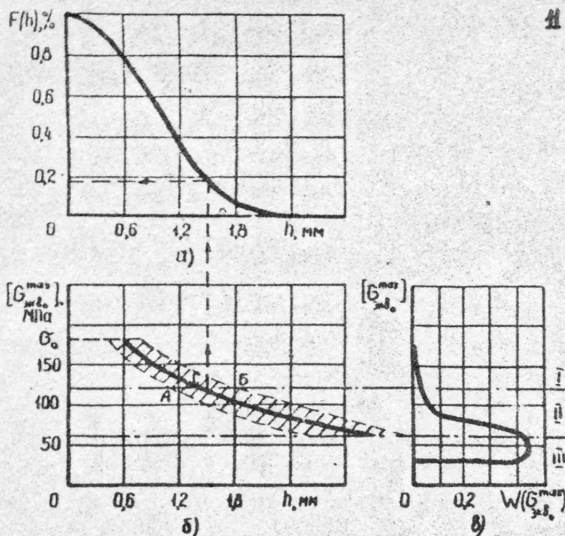


Рис. 1. Схема вероятностного подхода к оценке качества сварных соединений тракторов и сельхозмашин.

Пересечение нормативного уровня работоспособности с границами области разброса (точки A, B) определяет диапазон возможной вариации нормативного значения глубины подрезов h_n . При $h_n > h_b$ разрушение неизбежно, при $h_n < h_a$ разрушение маловероятно, если технология изготовления сварных конструкций и условия эксплуатации поддерживаются в заданных пределах.

Рассматривая совместно рис. 1а и рис. 1б можно видеть, что для сварных соединений третьей категории нагруженности прямая, соответствующая $\sigma_{\text{экв},0}^{\text{max}} = 60 \text{ МПа}$ пересекается с зависимостью $\sigma_{\text{экв},0}^{\text{max}} = f(h)$ при глубине подрезов $h > 2,5 \text{ мм}$, вероятность появления которых весьма мала. Следовательно, технология производства несущих систем тракторов и сельхозмашин обеспечивает требования, предъявляемые к сварным соединениям третьей категории нагруженности. Вероятность появления разрушения от подрезов в сварных соединениях второй категории нагруженности составляет 18 %. Очевидно к ним необходимо предъявлять повышенные требования с тем, чтобы не допустить появления в конструкциях подрезов глу-

биной $h > 1$ мм. Для того, чтобы обеспечить требуемую работоспособность, сварные соединения I категории нагруженности должны быть равнопрочны основному металлу. Существующая в сельхозмашиностроении технология этого не обеспечивает, поэтому для сварных соединений I категории, доля которых незначительна (см. рис. 1в) на стадии проектирования и разработки технологии их изготовления должны предусматриваться дополнительные технологические черепятия (например, оплавление зоны перехода от шва к основному металлу).

Проведенные в работе исследования по определению долговечности сварных соединений, улучшенных различными методами обработки зоны перехода от шва к основному металлу, свидетельствуют о целесообразности применения метода оплавления границ швов плазменной горелкой, используя в качестве плазмообразующего углекислый газ.

Предлагаемая классификация сварных соединений в зависимости от уровня нагруженности позволяет увеличить допустимые размеры технологических отклонений в основной массе сварных швов и снизить трудоемкость и стоимость контрольных операций.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Для конструкций, испытывающих многоцикловое нагружение ($N > 10^6$ циклов) оценка влияния технологических отклонений должна учитывать:

- а) нагруженность конструкции в месте расположения дефекта, определяемую путем ее тензометрирования при полевых испытаниях;
- б) характеристики сопротивления развитию разрушения;
- в) статистические закономерности появления технологических отклонений, характерных для рассматриваемых типов конструкций на предприятиях отрасли.

2. Статистический анализ, выполненный на заводах Минсельхозмаша, свидетельствует, что в сварных конструкциях наиболее часто встречаются подрезы вдоль линии сплавления, глубина которых изменяется в пределах $h = 0,2 \div 2,5$ мм, радиус в вершине $R = 0,02 \div 0,3$ мм. При полуавтоматической сварке в среде углекислого газа радиус сопряжения шва и основного металла изменяется от 0,1 до 1,8 мм.

3. Широкий диапазон изменения остроты концентраторов напряжений (технологических отклонений) обуславливает необходи-

мость при анализе поля напряжений в вершине дефекта использовать сочетание методов теории концентрации напряжений и механики разрушения. При этом следует производить усреднение напряжений в вершине концентратора, учитывающее деформационно-структурную неоднородность металла. На основании проведенных исследований для сварных соединений низколегированных сталей 10ХСНД и 15Г2АФДпс база усреднения может принята равной 10 диаметрам зерна.

4. При расчетном определении долговечности сварных соединений с подрезами и непроварами возможно использовать методы механики разрушения, приняв в качестве характеристики поля напряжений эквивалентное значение коэффициента интенсивности напряжений

$$K = YG\sqrt{P_{\text{экв}}} \quad ; \quad P_{\text{экв}} = P_{\text{надр}} \left(1 + 0,05 \frac{R}{d}\right)^{-1} ,$$

где d — диаметр зерна.

Экспериментально установлено, что концентратор напряжений с

$R \leq 20d$ зерна (на сталях 10ХСНД, 15Г2АФДпс $R \leq 0,2$ мм) можно рассматривать как трещиноподобный дефект. При больших R в расчет необходимо вводить эквивалентную длину трещины $P_{\text{экв}}$.

5. Разработанная В.Н.Волченко вероятностно-статистическая модель обоснования нормы допустимости дефектов может быть использована при оценке сварных конструкций тракторов и сельхозмашин, работающих в области многоциклового усталости. Применительно к оценке допустимости подрезов и непроваров ее целесообразно дополнить следующим:

а) уровень нормативной работоспособности задается с учетом нагруженности конкретного сварного соединения в процессе эксплуатации;

б) функция работоспособности определяется аналитически с использованием методов механики разрушения на основе экспериментально определенного разброса порогового значения коэффициента интенсивности напряжений $K_{\text{эл}}$.

6. В связи с тем, что различные сварные соединения в пределах сварных конструкций несущих систем тракторов и сельхозмашин нагружены неодинаково, необходимо дифференцировать требования к качеству сварных соединений путем введения 3-х категорий нагруженности. Введение категорий нагруженности позволяет снизить

долю брака сварных соединений без увеличения вероятности появления разрушения. Одновременно предлагаемая классификация предусматривает повышение требований к качеству сварных соединений I категории нагруженности.

7. Поскольку заводская технология не обеспечивает заданного ресурса работы в сварных соединениях I-ой категории нагруженности промышленных тракторов рекомендовано ввести дополнительную обработку путем оплавления мест перехода от шва к основному металлу плазменной дугой в среде углекислого газа.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Валяев И.Г. О регламентации дефектов в сварных соединениях сельскохозяйственных машин. - В сб.: Повышение качества и эффективности производства деталей сельскохозяйственных машин. - Ростов-на-Дону, 1981, с. 65-68 (РИСХМ).

2. ГОСТ 105. Соединения сварные. Машины для животноводства и кормопроизводства. Общие технологические требования. (Первая редакция). Ростов-на-Дону, 1981. - 92 с. (НИИТМ).

3. Валяев И.Г., Лукьянов В.Ф., Харченко В.Я. Об измерении радиуса перехода сварного шва к основному металлу. - Ростов-на-Дону, 1982, - 10 с., - Рукопись представлена Ростовским-на-Дону институтом с.-х. машиностроения. Деп. в ЦНИИТЭИ тракторосельхозмаши, 1982 г., № 242.

4. Лукьянов В.Ф., Харченко В.Я., Файн М.Л., Валяев И.Г. Пути повышения сопротивления усталости сварных соединений при массовом производстве в сельхозмашиностроении. - Ростов-на-Дону, 1982, 10 с. Рукопись представлена Ростовским-на-Дону институтом с.-х. машиностроения. Деп. в ЦНИИТЭИ тракторосельхозмаши, 1982, № 268.

5. Лукьянов В.Ф., Валяев И.Г., Харченко В.Я. Оценка допустимости подрезов в сварных соединениях сельхозмашин. - Ростов-на-Дону, 1982, 14 с. Рукопись представлена Ростовским-на-Дону институтом с.-х. машиностроения. Деп. в ЦНИИТЭИ тракторосельхозмаши, 1982, № 269.

6. Лукьянов В.Ф., Валяев И.Г. Использование методов механики разрушения при оценке допустимости подрезов сварных соединений сельскохозяйственных машин. - Тезисы всесоюзной научно-технич. конф.: Конструирование и производство сельскохозяй-

ственных машин. - Ростов-на-Дону, 1982, с. 162-163.

7. Лукьянов В.Ф., Валяев И.Г., Харченко В.Я. Оценка качества сварных соединений тракторов и сельскохозяйственных машин с учетом проектного ресурса. - Тезисы научно-техн. конф.: Повышение надежности и долговечности деталей машин, механизмов и сварных конструкций. - Могилев, 1982, с. 45-46.

8. Лукьянов В.Ф., Валяев И.Г., Харченко В.Я. Вероятностное обоснование требований к качеству сварных соединений тракторов и сельскохозяйственных машин с позиций механики разрушения. - Тезисы всесоюзной научно-техн. конф.: Дальнейшее совершенствование сварочного производства на предприятиях агропромышленного комплекса СССР и обслуживающих его отраслей. - Таганрог, 1983, с. 72-75.

9. Харченко В.Я., Валяев И.Г. Регламентация дефектов сварки в сельскохозяйственном машиностроении. - Тезисы IV Всесоюзного симпозиума: Малоцикловая усталость - механика разрушения, живучесть и материалоемкость конструкций. - Краснодар, 1983, с. 43.

Вент

