

М 491 290

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ ПО НАРОДНОМУ ОБРАЗОВАНИЮ
С С С Р

МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА, ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Э. БАУМАНА

На правах рукописи

ЧЕРНОГОРОВ Анатолий Лаврович

УДК 621.791:052

ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К КАЧЕСТВУ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ
С ПОЗИЦИИ ВЛИЯНИЯ ИХ ГЕОМЕТРИИ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ
НЕСУЩИХ СИСТЕМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

Специальность: 05.03.06 - 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 - 1990

Работа выполнена в Ростовском-на-Дону ордена Трудового
Красного Знамени институте сельскохозяйственного машиностроения

- Научный руководитель - доктор технических наук,
профессор ЛУКЬЯНОВ В.Ф.
- Официальные оппоненты - доктор технических наук,
профессор КУРКИН С.А.
кандидат технических наук
ПРОХОРЕНКО В.Д.

Ведущее предприятие - ПО РОСТСЕЛЬМАШ

Защита диссертации состоится "4" X - 1990 г. на
заседании специализированного совета Д.053.15.07 при Московском
ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового
Красного Знамени государственном техническом университете им. Н.Э.
Баумана по адресу: 107005, Москва, 2-я Бауманская ул., д.5.

Ваш отзыв на автореферат в одном экземпляре, заверенный пе-
чатью, просим выслать по указанному адресу

С диссертацией ознакомлен _____ им. Н.Э.
Баумана.

Автореферат

Ученый
специализир
Д.053.15
д.т.н.,

М 491 290

А-15506

Подписано к пе
Заказ № 7/3

сз.
умана

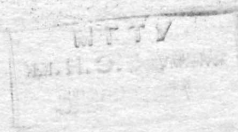
Актуальность темы. Опыт эксплуатации сельскохозяйственных машин позволяет заключить, что работоспособность сварных узлов лимитирует прочность при переменных нагрузках. Зарождение и развитие разрушений, как правило, проходит в зонах концентрации напряжений: по линии сжатия, в вершинах несплошностей, от дефектов сварки и т.п. 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 концентрации напряжений за счет улучшения геометрии профиля шва. Это обстоятельство требует учета реальной геометрии сварных швов, применение методики расчета, позволяющих учесть трещиноподобный характер зоны иницирующей разрушение.

Значительные успехи в области теоретических и экспериментальных исследований работоспособности сварных конструкций связаны с именами Г.А. Николаева, С.А. Куркина, В.А. Винокурова, В.И. Труфанова, В.Н. Волченко, М.М. Гохберга, Д.И. Навроцкого, Н.А. Клякова, В.И. Дворецкого, И.В. Кудрявцева, A. Neumann, W.H. Munse, F.M. Burdekin, S.J. Maddox, J. Harrison, T. Gurney и других ученых. Однако, в настоящее время вопросы, связанные с учетом стохастических закономерностей рассеяния геометрических параметров сварных швов в расчетах элементов металлоконструкций на усталость, изучены не достаточно.

С позиции обеспечения надежности сварных конструкций весьма актуальной является задача обоснования требований к качеству выполнения сварных соединений сельхозмашин с учетом их конструктивных особенностей, нагруженности в процессе эксплуатации, а также реального уровня технологии их изготовления. При этом конструктор, проектирующий сварные конструкции, должен учитывать реальные возможности конкретного производства.

Цель работы: Обосновать на стадии проектирования требования к качеству сварных соединений с лобовыми швами с позиции влияния геометрии их профиля на работоспособность несущих систем сельскохозяйственных машин.

Методы исследования. Определение статистического образа геометрии профиля реальных сварных соединений и вероятностная оценка на его основе величины локальной концентрации напряжений α_D осуществлялись методами теории вероятностей и математической статис-



тики. Расчет напряженно-деформированного состояния (НДС) сварных соединений проводился методом конечных элементов (МКЭ). Планирование расчетов НДС и их обработку осуществляли статистическими методами планирования экспериментов. Характеристики усталостной прочности сварных соединений определялись экспериментально. Эксперименты планировали и их обработку вели модифицированным методом пробитов и методом ступенчатого изменения нагрузки.

Научная новизна работы заключается в новом решении актуальной задачи по разработке методики расчета усталостной прочности сварных соединений с лобовыми швами на основе установления стохастических связей между уровнем реальной технологии производства сварных металлоконструкций и критерием локального перемещения D и состоит:

- в установлении факта инвариантности относительной величины коэффициента локальной концентрации напряжений α_D от базы усреднения локальных перемещений D в вершине концентратора;
- в определении статистического образа реального профиля сварных соединений, отражающего обобщенные характеристики рассеяния геометрических параметров в результате воздействия случайных факторов, возникающих в процессе производства;
- в установлении взаимосвязи между разбросом величины коэффициента α_D и схемой передачи усилия в сварном соединении, заключающейся в том, что с увеличением доли усилия, передаваемого через шов, разброс величины α_D , связанный с вариацией геометрических параметров сварного шва, возрастает.

Практическая ценность. Разработана методика для расчета сварных соединений сельхозмашин на усталость с учетом вероятностных закономерностей рассеяния геометрических параметров сварных швов, позволяющая конструктору на стадии проектирования учесть технологические особенности сварки сельхозмашин, реализовав комплексный подход, основанный на взвешенном сочетании требований к качеству его выполнения, конструктивного оформления и размеров свариваемых толщин.

Разработана первая редакция отраслевого стандарта "Требования к качеству сварных соединений сельхозмашин", позволяющая в зависимости от характера и уровня нагруженности сварного соединения, конструктивного оформления и реальной геометрии профиля дифференцированно подойти к обоснованию требований качества его выполнения и на основании статистического анализа значений коэффициента α_D разделить требования к качеству на 4 категории.

На защиту выносятся:

1. Методика расчета сварных соединений при переменных нагрузках с учетом реальной геометрии сварных швов в вероятностном аспекте.

2. Регрессионные модели, отражающие связи между геометрическими параметрами сварных соединений и коэффициентом локальной концентрации напряжений α_D .

3. Статистический образ реального профиля сварных соединений металлоконструкций сельхозмашин, отражающий стохастические закономерности рассеяния геометрических параметров сварных угловых швов.

4. Статистические характеристики локального предела выносливости σ_{D0} для сварных соединений из применяемых в конструкциях сельхозмашин сталей.

5. Классификация сварных соединений металлоконструкций сельхозмашин на категории, позволяющая определять требования к качеству их выполнения с учетом уровня и характера нагруженности, конструктивного оформления и реального уровня технологии.

Апробация работы. Диссертация заслушана и рекомендована к защите на научном семинаре кафедры "Машины и автоматизация сварочных процессов" МГТУ им. Н.Э. Баумана в 1989 г., кафедры "Машины и автоматизация сварочного производства" РИСХМа в 1990 г. Основные результаты работы доложены на Всесоюзных научно-технических конференциях в г.Донецке (1987 г.), в г.Перьми (1989 г.), на III научно-координационном совещании специалистов стран членов СЭВ по теме 25.4.8 КП НТП СЭВ в г.Брно ЧССР (апрель 1989 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 3 работы.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка литературы и приложения. Работа изложена на 142 страницах машинописного текста, содержит 67 рисунков, 24 таблицы. Список использованной литературы содержит 99 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Состояние вопроса и задачи исследований. Проведенный анализ случаев разрушений несущих сварных конструкций сельхозмашин свидетельствует, что основной причиной преждевременного выхода их из строя являются усталостные разрушения. Усталостные трещины обычно проходят вдоль линии сплавления от основного к наплавленному металлу и зарождаются от многочисленных несплошностей: под-

резов, наплывов, шлаковых включений и т.п. При этом, имеется достаточно примеров успешной эксплуатации конструкций, содержащих дефекты. Разрушения не относящиеся к разряду усталостных редки и обычно связаны с грубыми нарушениями правил эксплуатации.

Тензометрирование несущих систем сельхозмашин, проведенное в ВИСХОМе, РИСХОМе и других организациях отрасли, показало, что в процессе эксплуатации различные сварные соединения нагружены существенно не одинаково. Это обстоятельство требует разработки дифференцированного подхода к обоснованию требований к качеству выполнения сварных соединений.

Традиционные методы расчета сварных соединений на усталость, разработанные в 50-80 годы учеными Г.А. Николаевым, В.И. Труфяковым, М.М. Гохбергом, В.И. Дворецким, Н.А. Клыковым, A. Neumann, W. H. Munse, обычно основаны на использовании эффективного коэффициента концентрации напряжений. В последнее время для расчета используются методы, основанные на принципах механики разрушения. Наибольший интерес для оценки сопротивления усталости сварных соединений при наличии острых концентраторов представляет, предложенный в МТУ им. Н.Э. Баумана В.А. Винокуровым, критерий локального перемещения на базе единичной длины. Расчетная формула для определения допускаемого напряжения имеет вид:

$$[\sigma_r] = \gamma_r \frac{[\sigma_{D0}]}{\lambda_D} \quad (1)$$

где γ_r - коэффициент, учитывающий асимметрию циклов r ; $[\sigma_{D0}]$ - допускаемый локальный предел выносливости; $\lambda_D = \sigma_D / \sigma_n$ - коэффициент локальной концентрации напряжений; σ_n - номинальное напряжение; $\sigma_D = DE$ - максимальное локальное напряжение в вершине концентратора; D - локальное перемещение в вершине концентратора на базе единичной длины; E - модуль упругости первого рода.

Существующие методы расчета сварных соединений не позволяют учесть в полной мере влияние формы и размеров сварных швов. Это затрудняет или делает невозможным решение вопросов, связанных с оценкой критических размеров технологических несплошностей, с определением требований к качеству выполнения сварных соединений. Поэтому в настоящей работе сформулирован комплекс задач, направленных на совершенствование методики расчета, предложенной В.А. Винокуровым, с целью обоснования требований к качеству выполнения швов

металлоконструкций сельхозмашин. Таким образом, задачи, поставленные и решаемые в настоящей работе, следующие:

1. Определить статистический образ профиля реальных сварных швов в конструкциях сельхозмашин.
2. Определить математические модели описывающие влияние геометрических параметров сварных соединений и технологических несплошностей на величину коэффициента локальной концентрации напряжений α_D .
3. Определить статистические характеристики распределения локального предела выносливости σ_{D0} сварных соединений с лобовыми швами в металлоконструкциях сельхозмашин.
4. Разработать методику расчета сварных соединений на усталость с учетом реальной геометрии сварных швов в вероятностном аспекте.
5. Определить требования к качеству выполнения сварных соединений с лобовыми швами металлоконструкций сельхозмашин с учетом их нагруженности, конструктивного оформления и реального уровня технологии.

2. Статистический образ реальных сварных швов в конструкциях сельскохозяйственных машин. Результаты обследования внешним осмотром сварных швов (всего 1300 погонных метров) в металлоконструкциях сельхозмашин, проведенные автором совместно с сотрудниками РИСХМа на различных предприятиях отрасли за период с 1982 по 1988г. показали, что реальный уровень технологии не в состоянии обеспечить формирование швов абсолютно правильной формы. Уровень засоренности сварных швов разного рода несплошностями высок (до 43% от общей протяженности швов) и не одинаков на различных предприятиях отрасли. Наиболее распространенными несплошностями являются подрезы (до 70% в общем объеме швов с несплошностями) поры (до 45...50%) и наплывы. Массовый характер этих отклонений позволяет для сварных соединений сельхозмашин, выпускавшихся в настоящее время традиционными способами, ввести понятие специфической геометрии их профиля, содержание которого должен раскрывать реальный статистический образ.

С целью создания такого статистического образа проводили массовые измерения размеров геометрических параметров сварных швов и характерных несплошностей: подрезов и наплывов. Измерения проводили с использованием шлифов реальных сварных соединений, выполняемых в среде CO_2 . Всего изготовлено более 340 шлифов из 37 раз-

личных соединений. На рис. I представлен статистический образ реального профиля сварных швов нахлесточных и тавровых соединений в металлоконструкциях сельхозмашин с 95%-ными доверительными границами интервала варьирования размеров геометрических параметров. Из рисунка видно, что для нахлесточных сварных соединений характерны неравнокатетные швы. По размерам катеты типа K_1 в 1,5...2,5 раза превосходят катеты типа K_2 . Высота швов нахлесточных соединений обычно ограничена толщиной привариваемой детали C_2 . Швы тавровых соединений, как правило, равнокатетные. В подавляющем большинстве случаев (70...75%) сварные соединения, в том числе и не имеющие трещиноподобных несплошностей, являются весьма острыми концентраторами напряжений, с радиусами в вершине менее 0,5 мм.

Из рис. I видно, что размеры геометрических параметров сварных швов и характерных несплошностей варьируют в широких пределах. Разброс размеров катетов швов (от 2 до 12 мм) существенно превышает допускаемые отклонения по ГОСТ 14771-76. При этом установлено, что реальные размеры катетов не зависят от задаваемых конструкторско-технологических условий их выполнения, а определяются, по-видимому, случайными факторами возникающими в процессе производства. Все это указывает на незнание или игнорирование производителями требований нормативно-технической документации.

Показатели распределения размеров, определяющих форму швов сварных узлов сельскохозяйственных машин, были найдены путем объединения в общие оценки средних значений геометрических параметров отдельных швов, а также выборочных дисперсий, характеризующих разброс этих средних значений с соответствующими дисперсиями, определяющими степень их колебания в пределах каждого шва. Установлено, что полученные эмпирические распределения геометрических параметров сварных швов подчинены нормальному закону: для катетов тавровых соединений со средним значением $\bar{K}_{1,2} = 5,02$ и дисперсией $S_{K_{1,2}}^2 = 2,69$, нахлесточных - $\bar{K}_1 = 7,23$, $S_{K_1}^2 = 7,58$, $\bar{K}_2 \approx 2$, $S_{K_2}^2 = 0,849$; для глубины проплавления $\bar{e} = 2,19$, $S_e^2 = 2,22$; для основания шва тавровых соединений $\bar{L} = 7,21$, $S_L^2 = 4,9$, нахлесточных $\bar{L} = 9,42$, $S_L^2 = 9,8$; для выпуклости (вогнутости) $\bar{g} = 0,287$, $S_g^2 = 1,14$; для углов подхода $\bar{\varphi} = 65,8$, $S_{\varphi}^2 = 647$. Радиусы перехода подчинены логарифмически нормальному закону: $\bar{\ln R} = -1,34$, $S_{\ln R}^2 = 2,09$.

Раскрытие и радиус в вершине наплывов, как правило, равны нулю. Глубина наплывов обычно не превышает 4...5 мм. Фактически несплошности этого типа представляют собой поверхностные трещины, расположенные в зоне перехода и ориентированные параллельно

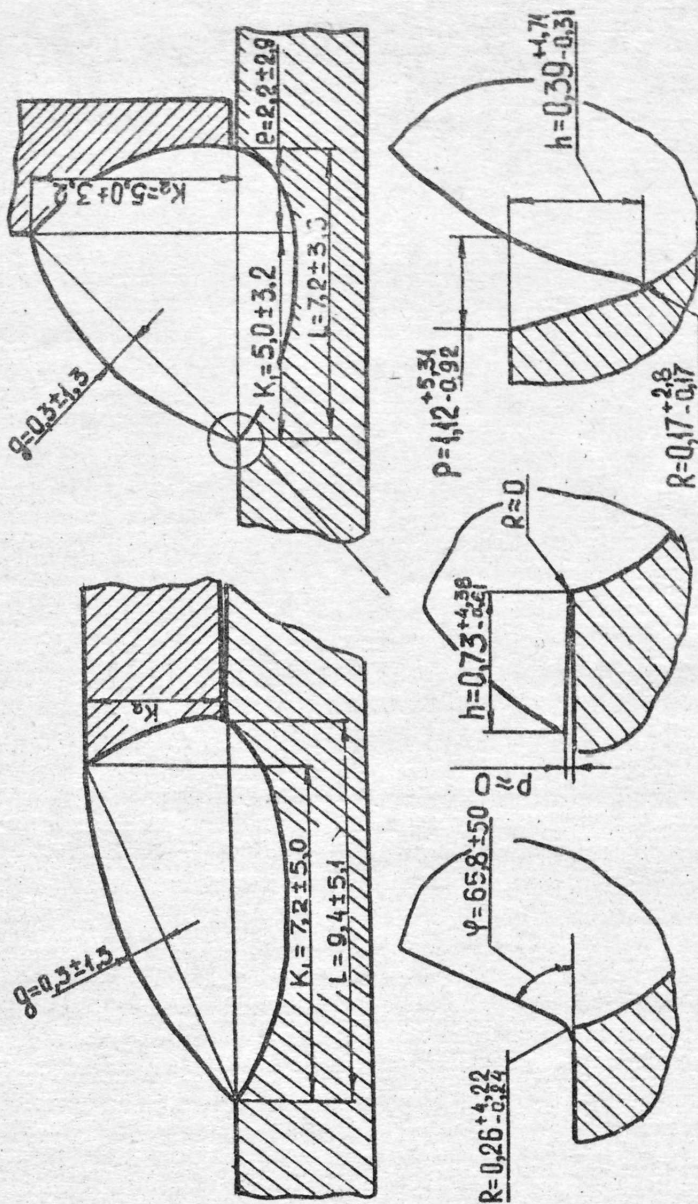


Рис. 1. Статистический образ реальных сварных соединений сельхозмашин и характерных несплошностей зоны перехода

поверхности основного металла. Подрезы имеют значительный разброс не только размеров глубины: но и радиусов в вершине и раскрытий. Наиболее характерны для сварных соединений сельхозмашин узкие подрезы ($\rho < 1,0 \dots 1,5$ мм) с малыми радиусами в вершине ($R < 0,4 \dots 0,5$ мм). Доля узких подрезов в общем их количестве достигает 80%. Значительно реже (не более 5...10%) встречаются широкие и относительно неглубокие подрезы ($\rho \geq 2,5 \dots 3$ мм, $h/\rho \leq 0,7 \dots 0,8$) с большими радиусами в вершине ($R \geq 1 \dots 1,5$ мм). Распределения геометрических параметров несплошностей типа подрезов и наплывов соответствуют логарифмически нормальному закону: для подрезов $\bar{\ln \rho} = 0,117$, $S_{\ln \rho}^2 = 0,792$, $\bar{\ln h} = -0,951$, $S_{\ln h}^2 = 0,748$, $\bar{\ln R} = -1,780$, $S_{\ln R}^2 = 2,14$; для наплывов $\bar{\ln h} = -0,314$, $S_{\ln h}^2 = 0,988$.

Корреляционная связь между геометрическими параметрами сварных швов отсутствует (выборочные оценки коэффициентов корреляции близки или равны нулю). Выборочные значения коэффициентов корреляции между геометрическими параметрами подрезов не велики ($\rho_s \leq 0,65$). Это не позволяет проводить косвенную оценку трудноизмеряемых геометрических параметров через легко доступные, например, определять радиус в вершине подреза через его раскрытие.

Таким образом, угловые сварные швы в конструкциях сельхозмашин являются весьма острыми концентраторами и могут оказывать большое влияние на работоспособность. Усталостные расчеты и вводимые ограничения на допускаемые напряжения обязательно должны учитывать в вероятностном аспекте реальную специфическую геометрию сварных соединений и должны быть основаны на принципах механики разрушения.

3. Локальное напряженно-деформированное состояние сварных соединений. Разрушение сварных соединений с лобовыми швами обычно проходит по линии сплавления, поэтому характеристики концентрации напряжений именно этой зоны полагали как основные, ответственные за разрушение сварного соединения. С целью определения факторов, изменение которых способно повлиять на концентрацию напряжений в указанной зоне, методом конечных элементов проводили расчеты НДС сварных соединений, отличающихся схемой нагружения, геометрией профиля сварного шва и толщинами свариваемых деталей. Типовые схемы нагружения сварных соединений сельхозмашин представлены на рис. 2.

Установлено, что характер распределения локальных перемещений D вокруг типичных концентраторов зоны перехода в сварных соединениях с лобовыми швами различной формы, принципиально не изменяется.

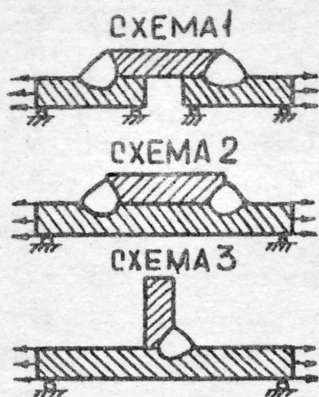


Рис. 2. Типовые схемы нагружения сварных соединений

Это позволяет сопоставлять и оценивать несущую способность сварных соединений, основываясь только на максимальных значениях локальных перемещений $D_{\max}$.

Анализ закономерностей распределения локальных перемещений D в зоне перехода от шва к основному металлу, определяемых при различной дискретизации базы усреднения y , позволил установить, что относительные значения коэффициента λ_D инвариантны по отношению к размеру базы усреднения y в интервале $0,2 \leq y \leq 0,8$ мм. Откуда следует, что если база y при аналитических расчетах величины λ_D и при экспериментальном определении локального предела выносливости σ_{D0} имеет

одинаковые размеры и выбрана в указанном интервале, то вводимые ограничения на максимальные номинальные нагрузки в элементах сварных конструкций, также от размера выбранной базы y не зависят. Это подтверждает возможность практического использования, предложенного В.А. Винокуровым, критерия локального перемещения D на базе $y = 0,5$ мм.

Расчеты показывают, что наибольший уровень концентрации напряжений имеет место в сварных соединениях, швы которых полностью передают прикладываемую нагрузку; с уменьшением доли усилия передаваемого через шов концентрация напряжений в соединении снижается. К числу геометрических параметров определяющих НДС сварных соединений относятся: толщина детали S , угол подхода от наплавленного металла к основному φ , а также катет шва K и глубина проплавления q , как составные части основания шва L . При наличии в сварных соединениях подрезов на НДС оказывает влияние их глубина h и раскрытие p .

По результатам расчетов НДС, проводимых по оптимальным факторным планам, получены следующие регрессионные модели, отражающие зависимость коэффициента локальной концентрации напряжений λ_1 от геометрических параметров сварного соединения: для сварных соединений, не имеющих трещиноподобных несплошностей в зоне перехода при их нагружении по схеме I -

$$\begin{aligned} \Delta_D = & 0,344 + 5,0 \cdot 10^{-3} L + 1,96 \cdot 10^{-3} \varphi + 0,945 C_1 - \\ & - 5,84 \cdot 10^{-2} L C_1 + 6,22 \cdot 10^{-4} \varphi C_1, \end{aligned} \quad (2)$$

по схеме 2 -

$$\Delta_D = 1,537 - 2,83 \cdot 10^{-2} L + 4,44 \cdot 10^{-3} \varphi + 0,106 C_1, \quad (3)$$

по схеме 3 -

$$\Delta_D = 1,362 + 5,07 \cdot 10^{-2} L; \quad (4)$$

для сварных соединений с подрезами, работающих по схеме I -

$$\begin{aligned} \Delta_D = & 0,223 + 0,821h - 0,417p - 1,46 \cdot 10^{-2} l_1 + 1,037 C_1 + \\ & + 0,167hp - 8,41 \cdot 10^{-2} h C_1 + 3,81 \cdot 10^{-2} p L - 7,7 \cdot 10^{-2} p C_1 - 4,05 \cdot 10^{-2} L C_1 \end{aligned} \quad (5)$$

по схеме 2 -

$$\Delta_D = 1,274 + 1,271h - 0,223p + 0,185 C_1 + 7,41 \cdot 10^{-2} hp - 9,85 \cdot 10^{-2} h C_1 \quad (6)$$

по схеме 3 -

$$\Delta_D = 0,719 + 1,526h + 0,103 C_1 - 9,07 \cdot 10^{-2} h C_1, \quad (7)$$

Для сварных соединений с наплывами могут быть использованы модели (2)-(4), если принять угол подхода $\varphi = 180^\circ$.

Полученные регрессионные модели позволяют на основе статистического образа сварных швов определить характеристику концентрации напряжений Δ_D в вероятностном аспекте. Параметры распределения, как линейной функции случайных аргументов, могут быть определены по формулам вида:

$$\text{среднее значение} - \bar{\Delta}_D = c + \sum a_i X_i + \sum b_{ij} \varphi_{ij} \quad (8)$$

$$\text{дисперсия} - S_{\Delta_D}^2 = \sum a_i^2 S_{X_i}^2 + \sum b_{ij}^2 S_{\varphi_{ij}}^2 \quad (9)$$

где a_i , b_{ij} , c - коэффициенты и свободный член; $\bar{X}_i$, $S_{X_i}^2$ - средние значения и дисперсии геометрических параметров сварных швов; $\bar{\varphi}_{ij}$, $S_{\varphi_{ij}}^2$ - средние значения и дисперсии случайной величины

$$\varphi_{ij} = X_i X_j.$$

В расчетах на усталость следует вводить квантильные значения

коэффициента λ_D при условии, что реальная величина не превышает расчетную с вероятностью P . Для практических расчетов сварных соединений, выполняемых полуавтоматической сваркой в среде углекислого газа по обычной серийной технологии, допускающей присутствие в соединениях подрезы и наплывы, квантильные значения λ_{DP} уровня $P = 0,99$ могут быть определены по формулам: для схемы нагружения 1 - $\lambda_{DP} = 2,99 + 0,91 C_1$; для схемы 2 - $\lambda_{DP} = 4,68 + 0,37 C_1$; для схемы 3 - $\lambda_{DP} = 4,84 + 0,26 C_1$, где C_1 - толщина основной несущей детали.

"Засоренность" различного рода несплошностями сварных соединений металлоконструкций сельхозмашин на различных предприятиях отрасли не одинакова. Поэтому расчетные значения величины следует определять дифференцированно с учетом индивидуальных особенностей конкретного производства:

$$\lambda_{DP} = (1 - P_{\text{подр}}) \lambda_{DP}^{\text{напл}} + \lambda_{DP} \quad (10)$$

где $P_{\text{подр}}$ - суммарная доля участков с подрезами от общей протяженности сварных швов; $\lambda_{DP}^{\text{напл}}$, $\lambda_{DP}^{\text{подр}}$ - квантильные значения коэффициента локальной концентрации напряжений в сварных соединениях, соответственно, с наплывами и подрезами.

4. Прогнозирование сопротивления усталости сварных соединений сельхозмашин. В настоящей работе по результатам усталостных испытаний были определены допускаемые значения локального предела выносливости $[\sigma_{D0}]$ для наиболее широко используемой в сельхозмашиностроении стали Ст3 ГОСТ 380-71 ($\sigma_T = 210 \dots 250$ МПа, $\sigma_B = 360 \dots 450$ МПа), а также для перспективной, рекомендуемой НПО ЕЛСКОМ к внедрению, стали Ч-44 ТУ 14-105-503-89 ($\sigma_{02} = 440$ МПа, $\sigma_B = 570$ МПа). Испытания образцов, представляющих собой нахлесточное сварное соединение с лобовым швом, проводили на консольный изгиб при асимметрии циклов $r = 0$, с частотой 17 Гц. Было испытано 60 образцов из стали Ст3 и 19 образцов из стали Ч-44. Для сварных соединений из стали Ст3 при базовом числе $N = 5 \cdot 10^6$ циклов получено: среднее значение локального предела выносливости $\bar{\sigma}_{D0} = 166$ МПа, среднее квадратическое отклонение $S_{\bar{\sigma}_{D0}} = 25$ МПа, допускаемое значение, соответствующее вероятности неразрушения $P = 0,99$, $[\sigma_{D0}] = 131$ МПа. Для сварных соединений из стали Ч-44 получено: $\bar{\sigma}_{D0} = 241$, $S_{\bar{\sigma}_{D0}} = 15$, $[\sigma_{D0}] = 207$ МПа. Результаты проведенных усталостных испытаний позволяют рекомендовать для производства сварных конструкций несущих

ших систем сельхозмашин стать 4-44.

Для практических расчетов на усталость более удобно использовать не локальные, а номинальные допускаемые напряжения: $[\sigma_0] = \sigma_{\text{до}} / \alpha_D$. На рис. 3 представлены графики, позволяющие оценить допускаемые номинальные напряжения $[\sigma_0]$ в элементах сварных конструкций сельхозмашин, выполняемых полуавтоматической сваркой в среде углекислого газа по обычной серийной технологии, в зависимости от схемы нагружения и толщины детали C_1 , практически не прибегая к вычислениям.

Сравнивая допускаемые уровни нагруженности $[\sigma_0]$, приведенные на рис. 3, со значениями $[\sigma_0]$ элементов сварных конструкций, расчет которых проводили без учета геометрии сварных швов, можно сделать вывод о том, что неучет реальной геометрии может послужить принятию ошибочного решения относительно прочности сварных соединений. Так, например, в сварных соединениях с подрезами, работающими по схеме I, допускаемые значения номинального предела выносливости оказываются в 1,5...2,4 раза ниже по сравнению с величиной, определенной для сварных соединений со стилизованной формой сварного шва по методу МТУ им. Н.Э. Баумана.

Результаты настоящей работы позволяют дифференцированно подходить к установлению норм допустимости разного рода несплошностей и искажений профиля сварного шва. Предлагается требование к качеству выполнения сварного соединения определять, исходя из его категории, устанавливаемой конструктором в зависимости от уровня и характера нагруженности соединения, его конструктивного оформления и свариваемых толщин. На основе анализа множества значений коэффициента локальной концентрации напряжений α_D , полученных в результате расчетов типовых сварных соединений с различной формой и размерами профиля шва, для сварных соединений сельхозмашин предложено ввести 4 категории качества.

Предложенный подход позволяет снизить металлоемкость и повысить несущую способность сварной конструкции, сосредоточив усилия по повышению качества выполнения только для небольшого числа высоконагруженных сварных соединений. С другой стороны, метод позволяет, понизив уровень действующих напряжений в несущих элементах конструкции путем увеличения рабочих сечений, длины сварного шва и т.п., ослабить требования к качеству выполнения сварных соединений, разрешив присутствие в них некоторых типов несплошностей. Такой комплексный подход, по-видимому, наиболее целесообразен при проектировании и изготовлении сварных конструкций сельхозмашин.

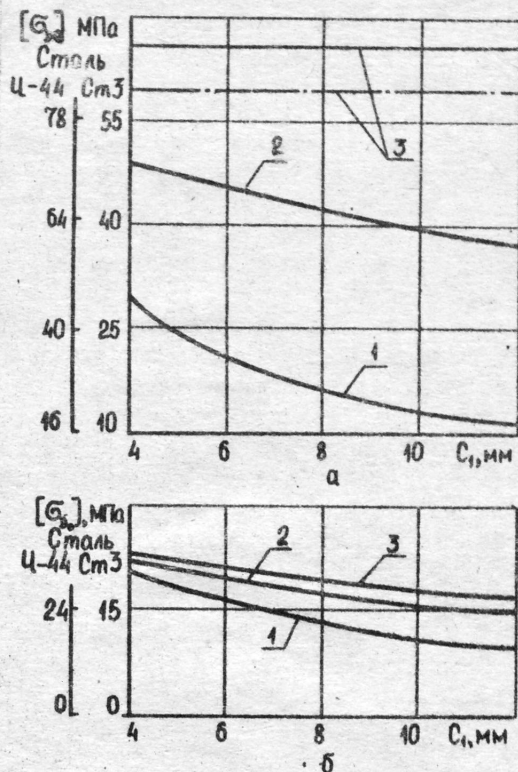


Рис. 3. Допускаемый предел выносливости для сварных соединений:
 а - без подрезов, б - с подрезами.
 I - схема нагружения I, 2 - схема 2, 3 - схема 3; Соединения: — тавровое, — нахлесточное, — без различия типа.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Разрушения сварных конструкций сельхозмашин в период эксплуатации инициируются в зоне перехода от лобового шва к основному металлу и носят усталостный характер.

2. Существующая на предприятиях отрасли сельскохозяйственного машиностроения технология производства сварных конструкций и система контроля качества не гарантируют стабильность геометрических параметров сварных угловых швов. Уровень засоренности сварных швов разного рода несплошностями высок (до 43% от общей протяженности швов) и не одинаков на различных предприятиях отрасли. Преобладающим видом технологических отклонений являются подрезы (до 70% от общей протяженности швов с несплошностями) и наплывы.

3. Наиболее полное представление о геометрии сечения сварных угловых швов металлоконструкций сельхозмашин дает статистический образ их профиля, отражающий стохастические закономерности рассеяния основных геометрических параметров. Полученный в работе статистический образ сварных соединений сельхозмашин характеризует уровень технологии сварки в отрасли и является основой для вероятностных расчетов усталостной прочности.

4. В подавляющем большинстве случаев (70...75%) сварные соединения, в том числе и не имеющие трещиноподобных несплошностей, являются весьма острыми концентраторами напряжений с радиусами в вершине менее 0,5 мм, что подтверждает целесообразность использования в расчетах на усталость предложенный В.А. Емнюковым критерий локальной концентрации напряжений σ_D .

5. Относительные значения коэффициента σ_D инвариантны по отношению к размеру базы усреднения y локальных перемещений D в интервале $0,2 \leq y \leq 0,8$ мм. Откуда следует, что величина базы, принимаемая в аналитических расчетах σ_D и при определении локального предела выносливости σ_{D0} должна быть одинаковой. Для практических расчетов целесообразно использовать предложенную в МТУ им. Н.Э. Баумана величину базы усреднения локальных перемещений $y = 0,5$ мм.

6. Наибольший уровень концентрации напряжений имеет место в сварных соединениях, швы которых полностью передают прикладываемую нагрузку. К числу геометрических параметров, определяющих концентрацию напряжений в сварных соединениях, относятся: толщина детали δ , угол подхода от наплавленного металла к основному ψ , а так-

же основание шва L , представляющее собой сумму размера катета K и глубины проплавления e . При наличии в соединении подрезов на НДС существенное влияние оказывает их глубина h и раскрытие p .

7. Для практических расчетов сварных соединений выполняемых полуавтоматической сваркой в среде углекислого газа по серийной технологии величина коэффициента λ_D может быть определена по формулам: для схемы нагружения I - $\lambda_{DP} = 2,99 + 0,91 C_1$; для схемы 2 - $\lambda_{DP} = 4,68 + 0,37 C_1$; для схемы 3 - $\lambda_{DP} = 4,84 + 0,26 C_1$, где C_1 толщина основной несущей детали. Неучет реальной геометрии сварных швов в вероятностном аспекте, например, при использовании стилизованной формы швов, может приводить к ошибкам до 200...250%.

8. Локальный предел выносливости сварных соединений на базе $N = 5 \cdot 10^6$ циклов с вероятностью $P = 0,99$ лежит в пределах: для стали Ст3 ГОСТ 380-71 $135,5 < \sigma_{D0} < 217$ МПа (среднее значение $\sigma_{D0} = 166$, среднее квадратическое отклонение $S_{\sigma_{D0}} = 25$), для стали 4-44 ТУ-105-503-89 $203 < \sigma_{D0} < 279$ МПа ($\sigma_{D0} = 241$, $S_{\sigma_{D0}} = 14,9$), что позволяет рекомендовать для сварных конструкций несущих систем сельхозмашин сталь 4-44.

9. Разработанный метод расчета усталостной прочности сельхозмашин позволяет на вероятностной основе учесть уровень качества сварных соединений конкретного производства и дифференцированно подходить к назначению допускаемых напряжений в зависимости от конструктивных особенностей сварного соединения, свариваемых толщин, степени механизации сварки и жесткости контроля качества.

10. Требования к качеству выполнения сварных соединений необходимо назначать дифференцированно, исходя из его категории, определяемой в зависимости от уровня и характера нагруженности соединения, его конструктивного оформления и свариваемых толщин. Разработан и разослан на отзыв заинтересованным организациям проект отраслевого нормативного документа "Требования к качеству сварных соединений сельскохозяйственных машин", в котором для сварных соединений сельхозмашин предложено ввести 4 категории качества.

Основное содержание диссертации отражено в работах:

1. Дукьянов В.Ф., Харченко В.Я., Черногоров А.Л. Расчет усталостной прочности металлоконструкций сельхозмашин на основе статистического образа сварных соединений // 100-летие изобретения сварки по методу Н.Г. Славянова и современные проблемы развития сварочного производства: Сб. науч. тр. Всесоюз. науч.-техн. конф., Пермь, 1988. - Ч.2. - С.89-94.

2. Харченко В.Я., Черногоров А.Л. Статистический анализ геометрии сварных швов сельскохозяйственных машин с позиции требований к качеству // Опыт и пути дальнейшего развития комплексного управления качеством в сварочном производстве: Материалы Всесоюз.науч.-техн.конф., г.Донецк, 23-25 сент.1987 г. - Донецк, 1988. - С. 63-72.

3. Лукьянов В.Ф., Харченко В.Я., Черногоров А.Л. Статистический анализ размеров угловых швов в сварных узлах сельскохозяйственных машин // Автоматическая сварка, - 1989. - № 9. - С. 15-17.

ДР