М484783

НЕ ...

ГОСКОМИТЕТ ПО НАРОДНОМУ ОБРАЗОВАНИЮ
С С С Р

М о с к о в с к о е
ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени высшее техническое училище имени Н.Э.Баумана

На правах рукописи
УДК 621.791.052

САЛИКОВ Владимир Анатольевич

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ И ПРОЧНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С ПРОДОЛЬНЫМИ УГЛОВЫМИ ШВАМИ ДЛЯ РАСЧЕТА НА УСТАЛОСТЬ

05.03.06 – Технология и машины сварочного производства

Автореферат
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук

Москва 1989

Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище имени Н.Э.Баумана.

Научный руководитель – доктор технических наук,
профессор ВИНОКУРОВ В.А.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор ВЕРШИНСКИЙ А.В.
кандидат технических наук,
доцент ЧЕРНАВСКИЙ Д.М.

Ведущее предприятие – ЦНИИПСК имени Мельникова,
г.Москва

Защита диссертации состоится "9" марта 1989 г. в часов на заседании специализированного совета К053.15.03 в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище им. Н.Э.Баумана по адресу: 107005, Москва, 2-я Бауманская, 5.

Ваши отзывы на автореферат в I экз., заверенный печатью, просим выслать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ им.

февр. 1989 года.

В.И.ГИРШ

Л 1484783

и I,0 п.л.
ринт МВТУ им.Н.Э.Баумана

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Одна из главных задач, стоящих перед народным хозяйством – это повышение надежности и долговечности проектируемых машин и конструкций, снижение их металлоемкости и трудоемкости изготовления. Основной причиной, приводящей к преждевременному выходу сварных конструкций из строя и неэкономному расходу металла, является несовпадение расчетной и конструкционной прочности. Наиболее остро эта проблема стоит для сварных конструкций с угловыми швами, работающими при переменном нагружении. Существующие отечественные и зарубежные методы расчета сварных соединений с угловыми швами на выносливость слабо учитывают влияние главного фактора – концентрации напряжений. Концентрация напряжений в сварных соединениях, зависящая от размеров соединяемых элементов и швов, учитывается только в разработанном в МВТУ им.Н.Э.Баумана методе расчета сварных соединений с поперечными угловыми швами на выносливость. В то же время значительная часть сварных конструкций имеет соединения с продольными угловыми швами. Разработанный в МВТУ им.Н.Э.Баумана метод расчета не может быть непосредственно распространен на соединения с продольными угловыми швами, так как нет программных средств для вычисления локальной концентрации напряжений в таких соединениях и не известен предел выносливости соединений с продольными швами, выраженный в локальных напряжениях.

Настоящая работа является частью программы исследований, выполняемых в соответствии с Программой ГКНТ по проблеме 0.72.0I (Приложение № 7 к постановлению ГКНТ и АН СССР от I0.II. I985г. № 573/I37).

Цель работы состоит в разработке рекомендаций по расчету на выносливость сварных соединений с продольными угловыми швами с учетом концентрации напряжений.

Методы исследования. Расчетные методы включали в себя метод конечных элементов, методы математической статистики.

Экспериментальный метод состоял в определении прочности сварных соединений с продольными угловыми швами при переменных нагрузках на машине EUS-I00.

Научная новизна. I. С использованием разработанного метода определения концентрации напряжений в сварных соединениях с продольными угловыми швами установлено, что коэффициент локальной концентрации напряжений в них в 2,5–4 раза выше, чем в соедине-

НТБ МГТУ им.Н.Э.Баумана
1484783
Саликов В.А.Определение на

МВТУ им. Н.Э. Баумана БИБЛИОТЕКА

ниях с поперечными швами. Максимальные значения напряжений наблюдаются в ближайшей точке перехода основного металла к шву.

2. Локальные пределы выносливости в сварных соединениях с продольными швами обратно пропорциональны коэффициентам локальной концентрации напряжений в них ; они в I,7-2 раза выше, чем в соединениях с поперечными угловыми швами.

Практическая ценность.

I. Разработан комплекс программ, позволяющий определять объемное распределение напряжений в сварных соединениях с продольными угловыми швами, в том числе и у вершины предельно острого концентратора напряжений.

2. Получены значения пределов выносливости (по критерию зарождения трещины ℓ =I-3 мм), для 5 серий образцов с продольными угловыми швами.

3. Разработаны рекомендации по расчету сварных соединений с продольными угловыми швами на выносливость с учетом концентрации напряжений, вызванной размерами соединяемых элементов и швов.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы использованы для разработки рекомендаций по расчету сварных соединений с продольными угловыми швами с учетом концентрации напряжений на выносливость. Разработанный метод расчета соединений с продольными швами используется для расчета сварных конструкций на ПО "ЖДАНОВТЯЖМАШ".

Основные положения работы докладывались на научном семинаре кафедры "Машины и автоматизация сварочных процессов" МВТУ им. Н.Э.Баумана.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, общих выводов, списка литературы и приложения. Изложена на I97 страницах машинописного текста, содержит 60 рисунков, 20 таблиц и I29 наименований литературы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава I. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспериментальному определению выносливости сварных соединений с продольными угловыми швами посвящено довольно много исследований. Испытания проводились в нашей стране Труфяковым В.И., Дучинским Б.Н., Кудрявцевым Н.В., Гохбергом М.М., Клыковым Н.А., Ямановым В.М., Бать А.А. и другими, за рубежом Герни Т., Мюнзе В., Меддоксом С., Харрисоном Д., Берге С., Пухнером О., Вилсоном В. и другими.

Наибольшее число исследований относится к соединениям с присоединяемыми ребрами. В то же время даже для таких соединений нет однозначного ответа на вопрос, изменение каких линейных размеров соединяемых элементов приводит к наиболее существенному изменению концентрации напряжений. Наименее исследованы соединения с присоединенными продольными угловыми швами промежуточными элементами (проставками). Для таких соединений не известен даже уровень концентрации напряжений. В то же время из существующих литературных данных следует, что абсолютные размеры соединений с продольными угловыми швами и в особенности соотношение размеров соединяемых элементов оказывает существенное влияние на выносливость соединений. Пределы выносливости соединений с продольными швами одного типа, различающихся размерами соединяемых элементов и швов, могут отличаться в несколько раз.

Существующие методы расчета сварных соединений с угловыми швами на выносливость, как отечественные, так и зарубежные, не учитывают влияния концентрации напряжений в соединениях с продольными швами на пределы выносливости в зависящей от размеров соединяемых элементов и швов.

В отраслевой лаборатории "Прочность сварных конструкций" МВТУ им.Н.Э.Баумана, Дубровским В.А. под руководством Винокурова В.А. разработан метод расчета сварных соединений с поперечными угловыми швами на выносливость, учитывающий концентрацию напряжений, зависящую от схемы передачи силового потока в соединении и его конкретных размеров. Метод расчета использует положения механики разрушения для описания напряженно-деформированного состояния в предельно острых концентраторах напряжений таких, как галтель и корень шва. Расчетная формула для определения допускаемого номинального напряжения при произвольной характеристике цикла R имеет вид

$$[\sigma_R] = \gamma_R \cdot \frac{[\sigma_{\alpha_0}]}{\alpha_\sigma} \qquad (I)$$

где γ_R - коэффициент, учитывающий асимметрию цикла R ; $[\sigma_{\alpha_0}]$ - локальный предел выносливости при асимметрии цикла $R=0$ для соединений с поперечными швами ; α_σ - значение локальной концентрации напряжений в соединении.

Однако непосредственное распространение данного метода на соединения с продольными швами невозможно ввиду того, что не известны значения локальной концентрации напряжений α_σ и локального предела выносливости $[\sigma_{\alpha_0}]$ для таких соединений. Для вы-

числения α_σ в соединениях с продольными угловыми швами необходимо решить задачу методом конечных элементов об объемном распределении напряжений и деформаций в соединении, с учетом их сингулярности у вершины предельно острого концентратора в месте окончания шва. Для корректного описания напряженно-деформированного состояния у вершины концентратора наиболее целесообразно использовать специальные конечные элементы, обеспечивающие стремление напряжений к бесконечности в вершине концентратора. До настоящего времени программ и решений по определению α_σ в соединениях с продольными угловыми швами не было.

Для определения НДС и прочности сварных соединений с продольными угловыми швами с целью разработки метода расчета сварных соединений на усталость были поставлены следующие задачи.

I. Разработать комплекс программ для численного определения НДС сварных соединений с продольными швами.

2. Исследовать зависимость НДС конца продольного сварного шва от геометрических параметров и схемы передачи силового потока.

3. Провести экспериментальные исследования на выносливость сварных соединений из сталей Ст3оп и 09Г2 для различных катетов швов.

4. Определить значения допускаемых локальных напряжений для сварных соединений с продольными швами при переменных нагрузках.

5. Разработать метод расчета на прочность сварных соединений с продольными швами, работающими при переменных нагрузках.

Глава 2. РАЗРАБОТКА РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НДС И ЛОКАЛЬНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ В СОЕДИНЕНИЯХ С ПРОДОЛЬНЫМИ УГЛОВЫМИ ШВАМИ

Для определения полной концентрации напряжений применен двухстадийный подход, что обусловлено большими объемами требуемой оперативной памяти машины (либо времени счета). Первая стадия решения задачи - это определение объемного распределения напряжений и деформаций в целом соединении. В результате решения находится распределение напряжений, вызванное передачей силового потока в сварных соединениях с продольными угловыми швами. Затем выделяется фрагмент соединения с максимальной концентрацией нормальных напряжений в нем. Таким местом в указанных соединениях является окончание продольного шва. Вторая стадия решения задачи - это определение в выделенном фрагменте, нагру-

женном по контуру силами, найденными при решении задачи на первой стадии. На этом этапе определяется местная концентрация напряжений, зависящая от формы и размеров окончания шва. При этом учитывается наличие в соединении предельно острого концентратора и сингулярность напряжений у его вершины. При решении подобных задач по ряду соображений наиболее целесообразно применение метода конечных элементов. В качестве характеристики НДС сварных соединений с продольными швами используется деформационный критерий в виде средней деформации на небольшой базе непосредственно перед вершиной концентратора. В качестве локальной базы, на которой деформации и напряжения принимаются постоянными взята база 0,5 мм. Данная база выбрана из следующих соображений. Во-первых, необходимо как можно ближе приблизиться к вершине концентратора для отражения того, что напряжение у вершины стремится к бесконечности. Во-вторых, так как имеем дело с кристаллическим материалом, необходимо выйти за пределы зоны, где материал анизотропен.

Локальная концентрация напряжений определяется как отношение вычисленного среднего локального напряжения $\sigma_{\text{лок}}$ к номинальному значению напряжений σ и обозначается $\alpha_{\text{лок}}$. Значение $\alpha_{\text{лок}}$ зависит от линейных размеров детали, но не зависит от радиуса у вершины концентратора, который принят равным нулю. В отличие от существующих методов расчета на прочность при переменных нагрузках в разработанном методе учитывается концентрация напряжений, зависящая от размеров. Номинальный предел выносливости $\sigma_{N,R}$ обратно пропорционален $\alpha_{\text{лок}}$

$$\sigma_{N,R} = \frac{\sigma_{\text{лок}\,N,R}}{\alpha_{\text{лок}}} \qquad (2)$$

где индексы N и R указывают на зависимость номинального и локального пределов выносливости $\sigma_{\text{лок}\,N,R}$ от числа циклов N и характеристики цикла нагружения R. Значение $\alpha_{\text{лок}}$ в соединениях с продольными угловыми швами определяется по перемещениям точек сферы радиуса 0,5 мм, окружающих концентратор. Для этого применяется специальное разбиение на конечные элементы. Причем к вершине концентратора подходят специальные элементы, позволяющие описывать распределение деформаций у вершины следующего вида

$$\varepsilon_{ij} = C_0 r^{-1/2} + C_1 r^{-1} + C_2 \qquad (3)$$

где r - расстояние до вершины.

Ввиду того, что исходная информация для решения подобных

задач может составлять сотни и даже миллионы цифр был разработан комплекс программ по автоматизированной подготовке данных. Автоматизированная подготовка данных осуществляется как для задач первого этапа, так и для задач второго этапа.

Для повышения эффективности решения задач МКЭ применен метод упорядочения ширины полосы матрицы жесткости, называемый обратным упорядочением Катхилла-Макки. Для проверки правильности работы программ разбиения осуществлялось графическое представление результатов подготовки данных. Правильность работы механической задачи МКЭ осуществлялась сравнением решений, полученных для простейших случаев, с результатами, полученными аналитически по теории упругости, а также сравнением объемных задач приведенных к плоской деформации с решениями для плоской задачи. Во всех случаях получено полное совпадение результатов.

Глава 3. РАСЧЕТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМНОГО НДС СОЕДИНЕНИЙ С ПРОДОЛЬНЫМИ УГЛОВЫМИ ШВАМИ И ЛОКАЛЬНАЯ КОНЦЕНТРАЦИЯ НАПРЯЖЕНИЙ

Расчет проводили для соединений с продольными угловыми швами, которые по внешнему виду и передаче силового потока могут быть разделены на шесть групп (рис 1) . Типы соединений, входящих в эти группы, а также и сами рассматриваемые группы были выбраны в соответствии с имеющимися литературными данными по выносливости соединений. Расчеты проведены также для соединений, испытанных автором в отраслевой лаборатории "Прочность сварных конструкций" МИНТЯЖМАШа в МВТУ им.Н.Э.Баумана. Размеры рассчитанных соединений приведены в таблице I. Для этих соединений получены распределения объемных напряжений и деформаций. Для описания соединений использовалось до 316 конечных двадцатиузловых квадратичных элементов с общим числом узлов более 2000. Во всех рассчитанных случаях наблюдалось совпадение места, где возникали максимальные нормальные напряжения, с местом начала разрушения во время испытаний. Таким местом является начало или окончание продольного шва.

Анализ распределений касательных напряжений, полученных для всех видов сварных соединений с продольными швами, показал, что следует различать напряженное состояние на каждом из двух катетов одного и того же шва. Так, для катета, через который входит силовой поток, максимальные напряжения τ_{xz} наблюдаются

у конца шва, а в случае катета, через который выходит силовой поток, максимум τ_{yz} смещен от края шва на величину 0,5...0,7 катета.

Было установлено, что:

а) в сварных соединениях типа I изменение катета с I0 мм до 7 мм не приводит к существенному изменению концентрации напряжений ;

б) наибольшее влияние на уровень концентрации напряжений в сварных соединениях типа III и IУ оказывает длина ребра ;

в) для рассмотренных соединений типа У изменение шва в пределах от I0 мм до 5 мм приводит к большему изменению уровня концентрации напряжений, чем изменение длины шва с 220 мм до I20 мм.

В таблице I приведены полученные значения локальной концентрации напряжений α_σ в соединениях с продольными угловыми швами, которые определялись по формулам:

$$\sigma_n = \Delta \cdot E / \ell \qquad (4)$$

$$\alpha_\sigma = \sigma_n / \sigma \qquad (5)$$

где ℓ - длина базы, на которой измеряется локальное перемещение ; E - модуль упругости ; σ - номинальное напряжение.

При сравнении значений локальной концентрации напряжений в соединениях с поперечными швами, вычисленных Аладинским В.В. (α_σ =I,86...I2,5), с полученными значениями α_σ для соединений с продольными швами (α_σ =5,2...32), установлено, что вторые обладают локальной концентрацией напряжений в 2...4 раза более высокой, чем соединения с поперечными швами.

Глава 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С ПРОДОЛЬНЫМИ УГЛОВЫМИ ШВАМИ ПРИ ПЕРЕМЕННЫХ НАГРУЗКАХ

Экспериментальная часть работы выполнена в отраслевой лаборатории "Прочность сварных конструкций" МИНТЯЖМАШа в МВТУ им. Н.Э.Баумана на испытательной машине EUS -I00. Эксперименты проводили в течение I986-I988 годов. Было испытано пять серий образцов с продольными угловыми швами из сталей СтЗсп и 09Г2 (табл.2).

Все образцы были изготовлены в условиях производства на Калужском машиностроительном заводе. Образцы сваривали полуавтоматом А-537, проволокой Св-08Г2С, диаметром d =I,6 мм в среде CO_2. Испытания проводили на трех уровнях нагружения с частотой 460... 550 цикл/мин и характеристике цикла R =0,3 при растяжении. База

Таблица I

Соединения Группа	Тип	K мм	B_1 мм	L_1 мм	δ_1 мм	B_2 мм	L_2 мм	δ_2 мм	H_2 мм	L_3 мм	θ град.	α_n
I	I	I0	60	300	I2.	I80	I40	I2	-	-	90	I4,5
	2	7	60	300	I2	I80	I40	I2	-	-	90	I5,0
	3	I0	60	300	I2	I80	I40	I2	-	-	I35	I4,0
	4	7	60	300	I2	80	I40	I2	-	-	90	I2,5
II	I	I0	60	I80	I2	80	20	I2	-	I20	90	5,2
III	I	6	40	I80	I2	50	85	8	-	-	90	6,9
	2	8	75	400	I2,6	38	75	I2,6	-	-	90	7,4
IУ	I	I0	80	470	20	80	I20	20	-	-	90	II,3
	2	8	37	267	I2	I00	75	I2	-	-	90	6,7
	3	6	30	290	I2	30	80	I0	-	-	90	6,8
	4	8	5I	305	I4	38	76	I4	-	-	90	8,0
У	I	I0	80	330	I8	50	I20	I0	60	75	90	I2,3
	2	7	80	330	I8	50	I20	I0	60	75	90	I4,0
	3	5	80	330.	I8	50	I20	I0	60	75	90	I5,9
	4	I0	80	340	I8	50	I30	I0	60	75	90	II,9
	5	I0	80	430	I8	50	220	I0	60	75	90	I0,8
УI	I	I0	80	350	20	38	I30	I2	-	I00	90	I5,0
	2	I0	80	470	20	80	I20	I0	-	20	90	32,0

испытаний принималась равной 2.10^6 циклов.

В каждой серии испытывали 8...I0 образцов. Образцы термообработке не подвергались. Испытания образцов каждой серии проводили по критерию достижения трещины длины ℓ =I...3 мм, которую фиксировали с помощью специальных датчиков. Датчики наклеивали на образцы у мест предполагаемого зарождения трещины. Для образцов подобного типа таких мест восемь. Во всех случаях трещины зарождались из этих мест. В ряде случаев трещины зарождались одновременно в нескольких местах (до 4-х трещин от различных концов швов).

Номинальные пределы выносливости определяли с применением статистической обработки на ЭВМ. Значения номинальных пределов выносливости приведены в таблице 2 при вероятности неразрушимости P =0,5 и базе N =2.10^6 циклов.

По данным испытаниям образцов из стали СтЗсп (серии I и 2) с катетом 7 мм и I0 мм установлено, что уменьшение катета в данных пределах не приводит к уменьшению предела выносливости.

Таблица 2

№№ пп серии	Тип соединения (в соответствии с табл.I)	Марка стали	Размер катета шва K, мм	Число испытанных образцов в серии	Номинальный предел выносливости $\sigma_{e,э}$, МПа
I	I - 2	Ст3	7	8	63
2	I - I	Ст3	I0	I0	62
3	I - 2	09Г2	7	9	66
4	I - I	09Г2	I0	9	65
5	I - 4	09Г2	7	9	79

Так, для соединений с катетом 7 мм (тип I - 2) $\sigma_{e,э}$ =63 МПа, а для соединений с катетом I0 мм (тип I - I) $\sigma_{e,э}$ =62 МПа.

Для соединений из стали 09Г2 (серии 3 и 4) уменьшение катета с 7 мм до I0 мм также не приводит к снижению предела выносливости $\sigma_{e,э}$ (66 МПа и 65 МПа соответственно).

Применение низколегированной стали 09Г2 вместо стали Ст3сп повышает номинальный предел выносливости соединений на 5%. Соединения серии 5 отличались шириной проставки b_2 (рис1). Уменьшение ширины проставки с 360 мм до I60 мм вызывает повышение предела выносливости приблизительно на I6...20% (66 МПа и 79 МПа соответственно).

Изменение катета с I0 до 7 мм для серий I, 2 и 3, 4 практически не повлияло ни на изменение α_D (I4,5 и I5,0 соответственно) , ни на значение предела выносливости. При уменьшении ширины проставки с 330 мм до I60 мм (серии 3 и 5) значение $\sigma_{e,э}$ повышается с 66 МПа до 79 МПа, а α_D снижается с I5 до I2,5, что находится в обратно пропорциональной зависимости. Этот результат подтверждает основную гипотезу, использованную при разработке метода расчета по локальным напряжениям, о независимости локальных пределов выносливости от формы сварных соединений.

Глава 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ ЛОКАЛЬНЫХ РАЗРУШАЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ПЕРЕМЕННЫХ НАГРУЗКАХ И ОБОСНОВАНИЕ УРОВНЯ ДОПУСКАЕМЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ДЛЯ СОЕДИНЕНИЙ С ПРОДОЛЬНЫМИ ШВАМИ

Вычисление значений локальных разрушающих напряжений при переменных нагрузках производится по формуле

$$\sigma_{R_л} = \alpha_D \cdot \sigma_{max\,л} \qquad (6)$$

где α_D – локальная концентрация напряжений, соответствующая данному соединению ; $\sigma_{max\,л}$ – значение номинального разрушаю-

щего напряжения, полученного в результате испытания соединения при заданной асимметрии цикла .

По формуле (6) рассчитывали все 242 значения разрушающих напряжений, полученны х в результате экспериментальных исследований соединений с продольными угловыми швами. Все результаты разделены на две группы по критерию завершения разрушения (по полному разрушению и по трещине длиной I...5 мм).

Обработка полученных значений σ_{a_R} проводилась по двухфакторному регрессионному анализу. В качестве зависимой величины. устанавливалось значение σ_{a_R} , а независимыми - асимметрия цикла R и число циклов до завершения испытания N . Получены регрессионные уравнения для вероятности неразрушимости P = =0,5. Было проведено сравнение полученных значений $[\sigma_{a_R}]_{0,5}$ и средних квадратических отклонений S для двух групп. Установлено, что данные, полученные по критерию ℓ =I...5 мм и полному разрушению, могут обрабатываться совместно. В результате совместной обработки результатов получено, что на базе 2.10^6 циклов соединениям с продольными швами соответствует локальный предел выносливости $[\sigma_{a_R}]_{0,5}$=740 МПа для вероятности разрушимости P=0,5.

По результатам совместной статистической обработки локальных разрушающих напряжений сварных соединений в функции α_R установлено, что средние значения логарифма отношения локальных разрушающих напряжений располагаются примерно по горизонтальной линии, что указывает на слабую зависимость значений локального предела выносливости от α_R . Поэтому номинальный предел выносливости $[\sigma_R]_P$ для практических расчетов можно определять по следующей формуле

$$[\sigma_R]_P = [\sigma_{a_R}]_P / \alpha_R \qquad (7)$$

где $[\sigma_{a_R}]_P$ - локальный предел выносливости, установленный по заданной вероятности неразрушимости P при асимметрии цикла R.

Сравнение локального предела выносливости для продольных швов с известным значением для поперечных швов показало, что для соединений с продольными швами $[\sigma_{a_R}]_{0,5}$ в I,8 раза выше, чем для соединений с поперечными швами (740 МПа и 400 МПа соответственно). Данное различие можно объяснить, если воспользоваться статистической теорией подобия усталостных разрушений, разработанной Когаевым В.П..

Установлено, что в соединениях с поперечными угловыми швами объем высоконапряженного металла, в котором σ больше некото-

рого значения U, при котором возможно возникновение трещины, больше, чем у соединений с продольными швами, в десятки и даже сотни раз. Для ориентировочной оценки влияния объема на прочность получено уравнение, связывающее выносливость соединений с продольными и поперечными швами

$$\sigma_{D\,max\,попер.} = \frac{\sigma_{D\,max\,прод.} - U}{\sqrt[m-1]{\ell_u}} + U \qquad (8)$$

где ℓ_u – длина концентратора в соединении с поперечными швами; $m = 5{,}2$; $U = 70$ – коэффициенты. Для получения большего числа экспериментальных данных.

Согласно литературным данным, в диапазоне вероятностей $0{,}01 \leq P \leq 0{,}99$ для описания функций распределения пределов выносливости через σ_{max} наиболее целесообразно пользоваться нормальным законом распределения величины $lg(\sigma_{max})$. Определены допускаемые локальные напряжения при $R = 0$ для различных N с различной вероятностью неразрушимости P по положению линий, которые проходят параллельно линии средних значений и соответствуют различным вероятностям P.

Допускаемые локальные напряжения в области растяжения при других асимметриях цикла могут быть вычислены по формулам, полученным по результатам проведенной статистической обработки. В области сжатия значение допускаемого локального напряжения получено из приведенного в литературе соотношения

$$\sigma_{осж}/\sigma_{-1} = 2 \qquad (9)$$

где $\sigma_{осж}$ – номинальный предел выносливости при пульсирующем сжатии; σ_{-1} – номинальный предел выносливости при симметричном чикле нагружения. По полученным значениям допускаемых напряжений при $N = 2 \cdot 10^6$ циклов и $P = 0{,}5$ построена диаграмма локальных предельных напряжений, в координатах $\sigma_{max\,D_R}(\sigma_{min\,D_R})$ и $\sigma_{m\,D_R}$, где $\sigma_{max\,D_R}(\sigma_{min\,D_R})$ и $\sigma_{m\,D_R}$ – соответственно максимальное (минимальное) и среднее локальное напряжение.

Значения локальных пределов выносливости $[\sigma_{D_R}]$ при различных R признано целесообразным выразить через значения локального предела выносливости $[\sigma_{D_0}]_P$ при $R = 0$ и коэффициент γ_R. Формула, связывающая $[\sigma_{D_R}]_P$ с $[\sigma_{D_0}]_P$, имеет следующий вид

$$[\sigma_{D_R}]_P = \gamma_R \cdot [\sigma_{D_0}]_P \qquad (10)$$

Значения γ_R приведены в виде уравнений в зависимости от R, которые получены в результате статистической обработки и по литературным данным.

Глава 6. МЕТОД РАСЧЕТА НА ВЫНОСЛИВОСТЬ СОЕДИНЕНИЙ С ПРОДОЛЬНЫМИ УГЛОВЫМИ ШВАМИ

Расчет сварных соединений по данному методу производится по номинальным допускаемым напряжениям в основном металле. Необходимо, чтобы выполнялось следующее условие

$$\sigma_{max\,R} \le [\sigma_R]_P \qquad (11)$$

где $\sigma_{max\,R}$ – наибольшее номинальное напряжение в основном металле при произвольной характеристике цикла нагружения K, МПа; $[\sigma_R]_P$ – допускаемое номинальное напряжение в основном металле при произвольной характеристике цикла нагружения R для принятой в расчете на выносливость вероятности неразрушимости P, МПа.

Формула для определения допускаемого номинального напряжения в соотношении (11) получена из соотношения (7), (10) и имеет вид

$$[\sigma_R]_P = \gamma_R \cdot \frac{[\sigma_{R_0}]_P}{\alpha_\sigma} \le [\sigma'] \qquad (12)$$

где γ_R, $[\sigma_{R_0}]_P$, α_σ – см. формулы (7) и (10); $[\sigma']$ – допускаемое напряжение в сварном соединении при расчете на статическую прочность.

Значения $[\sigma_{R_0}]_P$ (при P = 0,5; 0,95; 0,96; 0,97; 0,98; 0,99) и γ_R в формуле (12) приведены соответственно в табл.4 и табл.3. Данный метод предназначен для расчетов сварных соединений при $10^5 \le N \le 5.10^6$ циклов.

В случае необходимости расчета сварных соединений с продольными угловыми швами, отличных от приведенных на рис 1 и табл.1, необходимо вычисление α_σ с помощью разработанного комплекса программ.

В работе приведены примеры расчета сварных соединений с продольными угловыми швами с помощью разработанного метода.

Проведено сравнение различных методов с разработанными. Сравнивались методы СНиП-23-81, РД-50-551-85 и метод МВТУ с помощью относительного показателя, в качестве которого приняли коэффициент запаса по выносливости n_c.

$$n_c = \sigma_R / [\sigma_R],$$

где σ_R – опытный предел выносливости при вероятности неразрушения P = 0,5 и N = 2.10^6 циклов, МПа; $[\sigma_R]$ – допускаемые напряжения или расчетное сопротивление при N = 2.10^6 циклов, принятые в различных методах расчета, МПа.

Анализ полученных результатов показал, что коэффициенты запаса n_c в ряде случаев оказываются ниже единицы, и, следователь-

но, разрушение должно наступить раньше назначенной базы (число циклов до разрушения может быть в 10 раз ниже базового).

При расчете по методу МВТУ n_c во всех случаях больше единицы (табл.5). При расчете по методу МВТУ меньше также и значение среднего квадратического отклонения. Так для СНиП-23-81 при $0,52 \leq n_c \leq 1,8$ $S=0,36$; для РД-50-551-85 при $0,4 \leq n_c \leq 2,5$ $S=0,69$, а для метода МВТУ при $1,18 \leq n_c \leq 2,2$ $S=0,29$.

Таблица 3

Вид нагружения	Характеристика цикла нагружения	Формула для вычисления коэффициента γ_R
Растяжение	$-1 \leq R \leq 1$	$\gamma_R = \frac{1}{1-0,835R}$
Сжатие	$-1 \leq R \leq 1$	$\gamma_R = 2/(1-R)$; $[\sigma_R]_p \leq [\sigma]$

Применение разработанного метода расчета соединений с продольными угловыми швами и комплекса программ для расчета таких соединений позволит получить экономический эффект при изготовлении и эксплуатации сварных конструкций разработанных на ПО "ХЛАНОВТЯЖМАШ" в размере 40000 рублей за счет повышения срока службы разрабатываемых изделий.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Существующие методы расчета сварных соединений с продольными угловыми швами учитывают концентрацию напряжений недостаточно полно. Учет концентрации напряжений производится только в зависимости от типа соединения, но не от его размеров.
2. Разработан комплекс программ, позволяющий рассчитывать методом конечных элементов объемное напряженно-деформированное состояние в сварных соединениях с продольными угловыми швами. Применение этих программ дает возможность вычислять локальные перемещения вблизи окончания продольного углового шва и определять коэффициенты локальной концентрации напряжений α_p.
3. Впервые определено объемное поле деформаций и напряжений у окончания продольного углового шва для различных типов сварных соединений. Вычислены коэффициенты локальной концентрации напряжений α_p 18 соединений. Значения α_p оказались в пределах от 5,2 до 32.
4. Сравнение значений локальной концентрации напряжений у продольных и поперечных швов показало, что они больше у продольных швов в 2...4 раза.
5. Испытания сварных соединений с продольными швами обнаружили,

что для соединений с вваренной проставкой, выполненных из Ст3 и стали 09Г2, уменьшение катета шва с 10 мм до 7 мм не приводит к изменению предела выносливости на базе $N=2.10^6$ циклов. Сопоставление результатов испытаний для соединений, выполненных из Ст3 и стали 09Г2, указывает на несколько более высокий предел выносливости для стали 09Г2 (около 7%).

6. Обработка экспериментальных данных испытаний соединений с продольными швами (собственных и опубликованных в литературе, всего 242 точки), с помощью вычисленных коэффициентов локальной концентрации α_σ, позволила определить локальный предел выносливости, на базе $N=2.10^6$ циклов, для соединений с продольными угловыми швами, который составил $\sigma_{R,A=0}=740$ МПа при $P=0,5$ и $\sigma_{R,A=0}=464$ при $P=0,95$.
7. Установлено, что локальные пределы выносливости в сварных соединениях с продольными швами в 1,7...2,0 раза выше, чем у соединений с поперечными швами.
8. Использование статистической теории подобия усталостного разрушения позволило объяснить указанное в пункте 7 различие локальных пределов выносливости для соединений с поперечными и продольными швами. Различие уровня пределов выносливости в соединениях с продольными и поперечными угловыми швами связано с различием объемов высоконапряженного металла у вершины концентраторов. Установлена зависимость, позволяющая определять пределы выносливости от объема высоконапряженного металла у концентратора напряжений.
9. Разработанный метод расчета на выносливость позволил в отличие от существующих методов учесть концентрацию напряжений в зависимости от размеров сварных соединений с продольными угловыми швами и характера передачи нагрузки.
10. Сравнение метода расчета МВТУ им.Н.Э.Баумана с другими методами показывает, что фактические коэффициенты запаса по пределам выносливости в методе МВТУ находятся в диапазоне от 1,18 до 2,2, в то время как в существующих методах они колеблются от 0,4 до 2,5. Это позволяет не допускать возможности преждевременного выхода из строя сварных конструкций.
11. Применение разработанного метода расчета соединений с продольными угловыми швами и комплекса программ для расчета таких соединений позволит получить экономический эффект при изготовлении и эксплуатации стержневых конструкций разрабатывае-

мых на ПО " ХЛАНОВТЯЖМАШ " в размере 40000 рублей.

Основное содержание диссертации отражено в работах:

I. Пути совершенствования сварных конструкций / Г.А.Николаев, В.А.Винокуров, В.В.Аладинский, В.А.Саликов // Тр.МВТУ. - 1988. - № 511. - Вып. 3. - С. 4 - 20.

2. Определение концентрации напряжений в сварных соединениях с продольными угловыми швами численными методами / В.А.Саликов, В.А.Винокуров, А.С.Куркин, В.В. Аладинский // Известия вузов. Машиностроение. - 1988. - № 11. - С. 127 - 131.

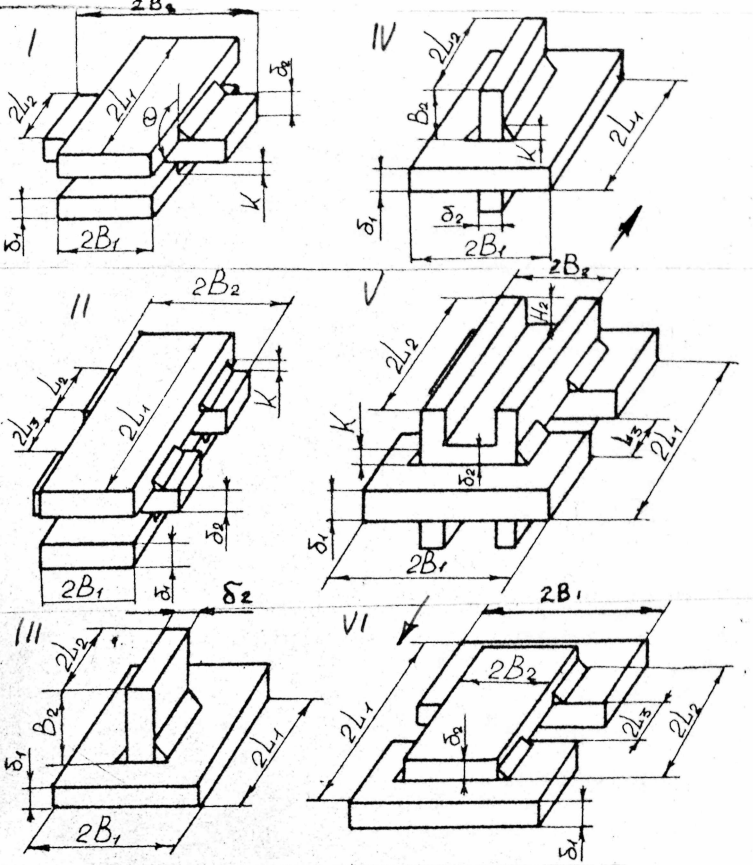


Рис.I. Основные типы рассматриваемых соединений

Таблица 4

Вероятность неразрушения, P	Уравнение для определения допускаемого локального напряжения для числа циклов N и асимметрии цикла R =0
0,5	$\lg [\sigma_{R_0}]_{0,5} = 4,7303 - 0,2954I \lg N$
0,95	$\lg [\sigma_{R_0}]_{0,95} = 4,5280 - 0,2954I \lg N$
0,96	$\lg [\sigma_{R_0}]_{0,96} = 4,5150 - 0,2954I \lg N$
0,97	$\lg [\sigma_{R_0}]_{0,97} = 4,4990 - 0,2954I \lg N$
0,98	$\lg [\sigma_{R_0}]_{0,98} = 4,4777 - 0,2954I \lg N$
0,99	$\lg [\sigma_{R_0}]_{0,99} = 4,4443 - 0,2954I \lg N$

Таблица 5

№№ пп	σ_R, МПа при $N=2.10^6$ циклов	Метод расчета: СНиП-23-81 Фактич. коэф. запаса n_c	СНиП-23-81 Фактичес. долговеч. N_c	РД-50-551-85 Фактич. коэф. запаса n_c	РД-50-551-85 Фактич. долгов. N_c	МВТУ Фактичес. коэфф. запаса n_c
I.	62	0,7	$5,6.10^5$	0,56	5.10^5	I,4
2.	60	0,64	4.10^5	0,55	5.10^5	I,4
3.	66	0,7I	$5,8.10^5$	0,6	$6,0.10^5$	I,5
4.	65	0,7I	$5,8.10^5$	0,6	$6,0.10^5$	I,5
5.	77	0,83	$I.10^6$	0,7	$8,8.10^5$	I,47
6.	60	I,I		0,86	$I,4.10^6$	I,8
7.	90	I,29		0,56	5.10^5	I,64
8.	62	0,79	$8,2.10^5$	2,5		2,2
9.	62	0,79	$8,2.10^5$	2,5		2,0
I0.	64	0,7	$5,6.10^5$	0,9	$I,65.10^6$	I,49
II.	28	0,52	$I,9.10^5$	0,4	$2,I.10^5$	I,8
I2.	95	I,0		I,0		I,5I
I3.	69	I,3		0,62	$6,5.10^5$	I,84
I4.	46	0,66	$4,3.10^5$	I,84		I,22
I5.	II0	I,6		I,6		I,82
I6.	90	I,25		I,3		I,6
I7.	I20	I,8		I,7		2,I
I8.	I22	I,3		I,I		I,3
I9.	88	I,2		I,26		I,22
20.	43	0,6	$3,2.10^5$	I,7		I,I8

МВТУ им. Н. Э. Баумана
БИБЛИОТЕКА