

05.03.06
Е78

ИНТЕРНЕТ
ИЗДАНИЕ

На правах рукописи

Ерофеев Максим Владимирович

**РАЗРАБОТКА РАСЧЕТНЫХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ НЕСУЩЕЙ
СПОСОБНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТОЛСТОСТЕННЫХ
ОБОЛОЧЕК**

Специальность 05.03.06. – «Технология и машины
сварочного производства»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Челябинск, 1999

Работа выполнена в Южно-Уральском государственном университете.

Научный руководитель – член–корреспондент РАЕН, доктор технических наук, профессор М.В. Шахматов.

Научный консультант – член–корреспондент РАЕН, доктор технических наук, профессор В.В. Ерофеев.

Официальные оппоненты: доктор технических наук Ю.И. Пашков,
кандидат технических наук А.В. Пуйко

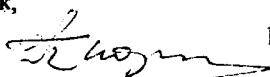
Ведущее предприятие – ОАО «Челябинский трубопрокатный завод».

Защита диссертации состоится « ____ » _____ 1999 г. на заседании специализированного совета Д 053.13.08 Южно–Уральского государственного университета по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76, ЮУрГУ, ученый совет.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ЮУрГУ.

Автореферат разослан _____ 1999 г.

И.о. ученого секретаря совета,
доктор технических наук,
профессор



П.А. Норин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Прогресс целого ряда отраслей народного хозяйства напрямую связан с новыми научными достижениями в области сварки и сопутствующих ей технологий. Одним из приоритетных направлений развития сварочного производства является решение проблемы повышения прочности, надежности и ресурса сварных конструкций. Особую актуальность данные вопросы приобрели применительно к различного рода сварным толстостенным оболочкам, работающим под действием внутреннего или внешнего давлений, которые находят все большее применение в различных отраслях промышленности (химической, нефтехимической, судостроительной). К ним относятся различные баллоны для жидкостей и газов, корпуса и трубопроводы химических аппаратов и т.п.

Обеспечение необходимого уровня надежности сварных толстостенных оболочковых конструкций затруднено из-за отсутствия методов конструктивно-технологического проектирования их сварных соединений, базирующихся на оценке прочности. Использование существующих подходов оценки несущей способности сварных оболочек давления в целом ряде случаев могут привести к существенным погрешностям, так как они, как правило, не учитывают механическую неоднородность сварных соединений, геометрическую форму и тип оболочек, местоположение, форму и размеры сварных соединений. В связи с этим актуальной является задача совершенствования методов расчета несущей способности сварных толстостенных оболочковых конструкций, которые позволили разработать общие принципы оптимального конструктивно-технологического проектирования их сварных соединений.

Диссертационная работа является составной частью исследований кафедры сварки Южно-Уральского государственного университета по научно-технической проблеме 0.72.01, а также соответствует задачам правительственного Постановления № 924 от 07. 11. 1989 г.

Цель диссертации состояла в разработке расчетных методов для оценки напряженно-деформированного состояния и несущей способности сварных толстостенных оболочковых конструкций с учетом влияния основных конструктивно-геометрических параметров их сварных соединений, геометрической формы и типа толстостенных оболочковых конструкций и создание на этой базе рекомендаций по рациональному проектированию их сварных соединений.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Разработать методики экспериментального исследования напряженно-деформированного состояния и оценки статической прочности механически неоднородных сварных соединений толстостенных оболочек, базирующихся на результатах испытаний вырезаемых из конструкции либо моделирующих их образцов, в процессе испытания которых обеспечиваются конструктивные и силовые особенности нагружения оболочек, работающих под давлением.

2. На основе единых теоретических позиций разработать методы оценки напряженного состояния и несущей способности толстостенных оболочковых конструкций, учитывающие геометрическую форму и тип оболочек, их относительные размеры, характер нагружения, конструктивно-геометрические параметры их сварных соединений.

3. Создать общие принципы рационального конструктивно-технологического проектирования механически неоднородных сварных соединений толстостенных оболочковых конструкций.

4. Выполнить экспериментальную проверку основных результатов теоретических исследований.

Научная новизна диссертационной работы состоит в выявлении закономерностей напряженно-деформированного состояния механически неоднородных сварных соединений толстостенных оболочковых конструкций, работающих под действием внутреннего и внешнего давлений, заключающихся в определении взаимосвязи процесса потери устойчивости их пластического деформирования с конструктивно-геометрическими параметрами соединений, геометрической формой и типом оболочки, схемой ее нагружения. Разработаны основы оптимального проектирования сварных соединений толстостенных оболочек давления с точки зрения повышения их несущей способности.

Практическая ценность и внедрение результатов работы. Использование основных результатов работы позволяет на стадии конструктивно-технологического проектирования стыковых сварных соединений толстостенных оболочковых конструкций выбрать рациональную форму и размеры разделки кромок под сварку, способ сварки и присадочные материалы в зависимости от геометрической формы и материала оболочки и условий ее эксплуатации.

В приложении к диссертации приведены документы, подтверждающие использование полученных результатов работы на ряде предприятий промышлен-

ности. Это конструкторско-технологические организации среднего машиностроения (п/я Г-4725) и судостроения (п/я А-3700, в/ч 20346).

Материалы диссертации использованы при разработке ряда нормативно-технических документов, разработанных совместно с УРАЛПИТИ, ЦСЛ «Трубнонадзор» (г. Челябинск).

Апробация работы. Диссертация доложена на научном семинаре кафедры сварки Южно-Уральского государственного университета и рекомендована к защите. Материалы работы были доложены на Всесоюзных научно-технических конференциях (г. Пермь, 1988 г., г. Волгоград, 1989 г., г. Липецк, 1990 г.) и на региональной конференции (г. Ижевск, 1989 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 14 печатных работ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, списка используемых литературных источников, приложения. Она содержит 137 страниц машинописного текста, 43 рисунка, 6 таблиц и 10 страниц приложения. Список литературы включает 193 наименования.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Состояние вопроса

Интенсивное развитие химической, судостроительной, энергетической и других отраслей промышленности привело к увеличению производства толстостенных оболочковых конструкций, предназначенных для работы под действием внутреннего и (или) внешнего давлений. В большинстве своем эти конструкции выполняются сварными, и, как показывает опыт их эксплуатации, именно сварные соединения определяют несущую способность оболочки в целом. В связи с этим в последнее время приоритет получили исследования, направленные на совершенствование методов расчета на прочность сварных соединений оболочковых конструкций с учетом реальных свойств различных зон соединений. В частности, целое научное направление было связано с исследованием влияния на работоспособность сварных соединений их механической неоднородности при различных способах нагружения. Создание и развитие данного направления стало возможным благодаря работам А.Л. Немчинского, Л.М. Качанова, О.А. Бакши, Р.З. Шрона, Н.А. Клыкова, М.В. Шахматова, Р.С. Зайнуллина, В.В. Ерофеева и других авторов.

На основании данных исследований в рамках теории контактного упрочнения разработаны теоретические подходы оценки влияния механической неоднородности сварных соединений на несущую способность тонкостенных оболочковых конструкций, работающих под давлением. Граница, характеризующая семейство таких оболочек, в определенной мере условна и обычно связывается со значением параметра толстостенности оболочки $\Psi = \frac{t}{R} = \frac{1}{15} \dots \frac{1}{20}$. В рамках теории тонких оболочек представляется, что поперечные напряжения, действующие в направлении толщины стенки оболочки малы по сравнению с напряжениями, действующими по другим осям. Их соотношение обычно не превосходит величины Ψ . В теории тонких оболочек всеми членами, имеющими порядок Ψ по сравнению с единицей пренебрегают. В отличие от тонкостенных для толстостенных оболочек давления характерны неравномерность распределения напряжений по толщине стенки и трехосное поле напряжений при их нагружении внутренним и внешним давлениями. При этом современное оборудование сделало возможным изготовление сварных оболочковых конструкций, у которых параметр толстостенности достигает значений $\Psi = 0,5$, и использование при оценке несущей способности таких конструкций положений теории тонких оболочек приводит к тому, что погрешность расчетов может значительно превысить максимально допустимое значение (5...10 %).

2. Разработка теоретических основ для конструктивно-технологического проектирования механически неоднородных сварных соединений толстостенных оболочковых конструкций

В отличие от тонкостенных оболочковых конструкций, включающих в себя достаточно широкий ассортимент геометрических форм (цилиндрическая, коническая, тороидальная и др.), толстостенные конструкции в силу ряда ограничений на технологические операции их изготовления, связанных с большой толщиной t металла оболочек, как правило, сводятся к двум наиболее простым типам: цилиндрическим и сферическим, которые могут иметь в своем составе как продольные, так и поперечные разупрочненные участки (рис.1). При этом вследствие специфики работы толстостенных конструкций в условиях высоких

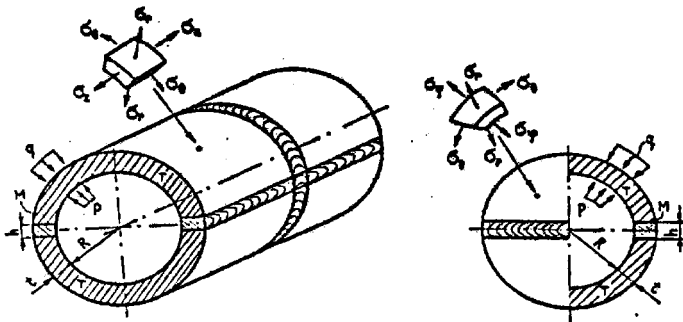


Рис. 1. Основные типы сварных толстостенных оболочковых конструкций, работающих под действием внутреннего p и внешнего q давлений

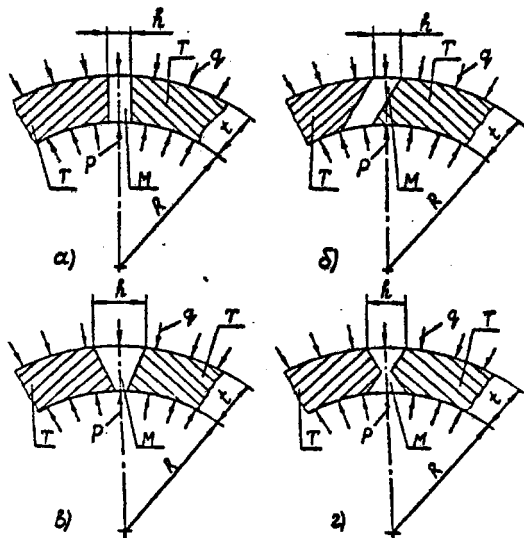


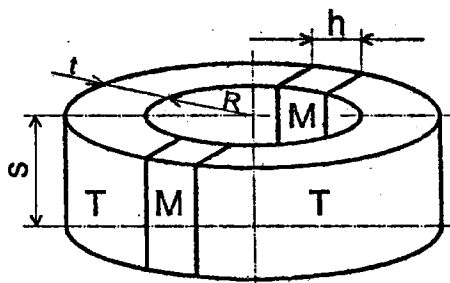
Рис. 2. Наиболее распространенные формы мягких прослоек в сварных соединениях оболочковых конструкций: а – прямолинейная; б – наклонная; в – V-образная; г – X-образная

давлений влияние побочных факторов (продольных осевых сил, нагрузок изгибных и т.п.) на напряженное состояние данных конструкций пренебрежимо мало по сравнению с тонкостенными оболочками давления. В связи с этим для рассматриваемых цилиндрических и сферических оболочек характерно нагружение в условиях плоской ($\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{1}{2}$) и осесимметричной ($\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = 1$) деформации.

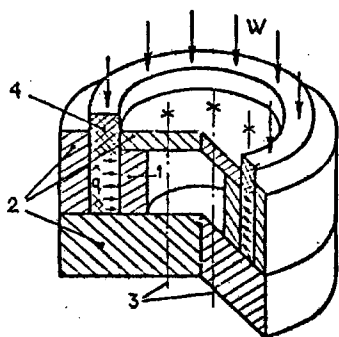
Основными параметрами, определяющими несущую способность механически неоднородных сварных соединений толстостенных оболочек давления, являются степень их механической неоднородности K_B , форма мягкой прослойки (рис.2), ее относительная толщина $K = \frac{h}{r}$, угол наклона ее границ φ и параметр толстостенности оболочки $\Psi = \frac{l}{R}$.

Для установления закономерностей влияния перечисленных параметров на напряженное состояние и несущую способность сварных толстостенных оболочковых конструкций, предельное состояние которых характеризуется величиной максимального перепада давлений на стенке оболочки $(p - q)_{\max}$, отвечающей моменту потери пластической устойчивости конструкции, использовали метод линий скольжения в классической постановке (при рассмотрении цилиндрических оболочек) и в модернизированном варианте для решения осесимметричных задач (при анализе сферических оболочек давления). С учетом выбранного теоретического метода была разработана методика экспериментального исследования напряженно-деформированного состояния рассматриваемых соединений на моделирующих образцах с мягкими прослойками с использованием метода муаровых полос. Рассматриваемые оболочки давления находятся в условиях плоской деформации и их поперечные сечения в процессе деформирования остаются плоскими и перпендикулярными оси, что позволило использовать в качестве моделирующих образцов толстостенные кольца с впаянными в него мягкими прослойками из припоя или свинца (рис.3,а). Кроме того, испытание данных образцов производилось в специально спроектированных приспособлениях-контейнерах, позволяющих наиболее полно реализовывать в них условия плоской деформации в направлении образующей кольца (рис.3,б,в).

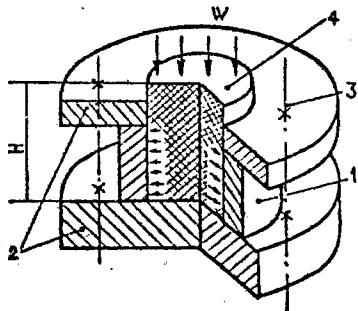
Показано, что для данных оболочковых конструкций характерно смещение плоскости разветвления пластического течения мягкой прослойки от плоскости симметрии в направлении внешней поверхности оболочки. В этой плоскости раз-



a)



б)



в)

Рис. 3. Моделирующий кольцевой образец (а) и принципиальные схемы испытаний в условиях внешнего q (б) и внутреннего p (в) давлений:

- 1 – моделирующий образец; 2 – стенки контейнера;
- 3 – соединительные элементы; 4 – упругая втулка

ветвления наблюдается пик максимальных нормальных напряжений, а распределение касательных напряжений по высоте прослоек близко к линейному. Последнее позволяет представить сетки линий скольжения в виде логарифмических спиралей и отрезков циклоид и трохойд. Сопоставление распределения напряжений, полученных исходя из построенных сеток линий скольжения и их математического описания, с экспериментальными, полученными на основе метода муаровых полос, свидетельствует о приемлемости данного аппроксимирующего представления сеток линий скольжения для оценки напряжений в прослойках, расположенных в толстостенных оболочковых конструкциях.

Исходя из основных соотношений, вытекающих из метода линий скольжения, особенностей напряженно-деформированного состояния, установленных методом муаровых полос, и граничных условий было получено следующее выражение для оценки несущей способности толстостенных оболочковых конструкций, имеющих в своем составе мягкие прослойки:

$$(p - q)_{\max} = \chi \cdot \alpha_{\Psi} \beta_{\Psi} \sigma_B^M \operatorname{Ln}(1 + \Psi) \left(\frac{1}{K_B} + \frac{K_B - 1}{K_B} K_{\text{кв}} \right), \quad (1)$$

где $\chi = \operatorname{sign}(p - q)$ — параметр, определяющий знак (+ при $(p - q) > 0$; — при $(p - q) < 0$); α_{Ψ} — коэффициент, определяющийся геометрической формой оболочки, параметром толстостенности оболочки Ψ и расположением расчетного сварного соединения в оболочковой конструкции; β_{Ψ} — параметр, учитывающий формоизменение оболочки в процессе потери ее пластической устойчивости.

Цилиндрические оболочки

с продольными швами

$$\alpha_{\Psi} = 1$$

$$\beta_{0,5} = \beta_{0,5} \Phi_{\alpha}(\psi, \epsilon_p^M)$$

$$\beta_{0,5} = \frac{2}{(\sqrt{3})^{1+\epsilon_p^M}}$$

$$\Phi_{\alpha} = e^{\left(\frac{2\chi \ln \chi}{\chi^2 - 1} \right) \epsilon_p^M} \frac{\operatorname{Ln} \chi}{\operatorname{Ln}(1 + \Psi)}$$

$$\chi = \left(1 + \frac{\Psi}{2 + \Psi} e^{-\epsilon_p^M} \right) \left(1 - \frac{\Psi}{2 + \Psi} e^{-\epsilon_p^M} \right)^{-1}$$

с поперечными швами

$$\alpha_{\Psi} = 2 - \frac{3 \Psi^2}{2(1 + \Psi + \Psi^2)} \quad (2)$$

$$\beta_{0,5} = \frac{2}{(\sqrt{3})^{1+\epsilon_p^M} (\epsilon_p^M)^{\epsilon_p^M}} \quad (3)$$

Сферические оболочки

$$\alpha_\psi = 2; \quad \beta_\psi = \beta_{1,0} \Phi_c(\psi, \varepsilon_p^M); \quad \beta_{1,0} = \left(\frac{2}{3}\right)^{\varepsilon_p^M}; \quad (4)$$

$$\Phi_c = \left((3\varepsilon_p^M L n \chi) \left(\frac{\chi^2}{\chi^3 - 1} - \frac{1}{\chi + 1} \right) \right)^{\varepsilon_p^M} \frac{L n \chi}{L n(1 + \Psi)}; \quad \chi = 1 + \Psi e^{-2\varepsilon_p^M}$$

Здесь $\beta_{0,5}$ и $\beta_{1,0}$ – соответственно значения параметра β_n , характерные для тонкостенных цилиндрических ($n=0,5$) и сферических ($n=1$) оболочек; Φ_ψ, Φ_c – поправки на толстостенность соответственно для цилиндрических и сферических оболочек; χ – безразмерный параметр, характеризующий конечное отношение диаметров наружных и внутренних поверхностей рассматриваемых оболочек давления; ε_p^M – истинное равномерное удлинение металла мягкой прослойки; $K_{\psi\psi}$ – коэффициент контактного упрочнения мягких прослоек, работающих в составе толстостенных оболочковых конструкций:

продольных в цилиндрических оболочках

$$K_{\psi\psi} = 1 + \frac{\left(1 - \frac{N}{N_x}\right)^2}{4N}; \quad (5)$$

кольцевых в цилиндрических оболочках

$$K_{\psi\psi} = 1 + \frac{\left(1 - \frac{N}{N_x}\right)^2}{4N}; \quad (6)$$

X- и V-образных в цилиндрических оболочках

$$K_{\psi\psi} = 1 + \frac{\left(1 - \frac{N}{N_x}\right)^2}{4(N + (g\varphi))}; \quad (7)$$

наклонных в цилиндрических оболочках

$$K_{\psi\psi} = 1 + \frac{\left(1 - \frac{N}{N_x}\right)^2}{4N \cos^2 \varphi}; \quad (8)$$

кольцевых прямых в сферических оболочках

$$K_{\text{кф}} = 1 + \frac{\left(1 - \frac{N}{N_{\text{к1}}}\right)^2}{3\sqrt{2N}}; \quad (9)$$

кольцевых наклонных (смещенных от экваториального сечения) в сферических оболочках

$$K_{\text{кф}} = 1 + \frac{\left(1 - \frac{N}{N_{\text{к1}}}\right)^2}{3\sqrt{2N} \cos^2 \varphi_1}; \quad (10)$$

X- и V-образных в сферических оболочках

$$K_{\text{кф}} = 1 + \frac{\left(1 - \frac{N}{N_{\text{к1}}}\right)^2 \cos 2\varphi_1}{3\sqrt{2(N + tg \varphi_1)}}. \quad (11)$$

Значения N_K и N_p , обозначающие границы диапазонов действия эффекта контактного упрочнения мягких прослоек ($N \geq N_K, K_{\text{кф}} = 1$; $N < N_K, K_{\text{кф}} > 1$) и равнопрочности рассматриваемых соединений основному металлу (Т) оболочки ($N \leq N_p, (p-q)_{\text{мм}} = \chi \cdot \alpha_\psi \beta_p \sigma_T^n \ln(1 + \Psi)$), определяются соотношениями:

цилиндрические оболочки:

продольная мягкая прослойка

$$N_K = \frac{2(1 + \Psi) \sin(\ln(1 + \Psi))}{\Psi \sqrt{1 + 2(1 + \Psi) \cos(\ln(1 + \Psi)) + (1 + \Psi)^2}}; \quad (12)$$

$$N_p = \frac{N_K}{2(2K_B + N_K^2)};$$

поперечная мягкая прослойка

$$N_K^n = \frac{2}{\Psi} (\exp(\arcsin \frac{N_K}{2} \Psi) - 1);$$

$$N_p = \frac{1}{\frac{K_p^2}{K_p^2 - 1} - 1}; \quad (13)$$

X- и V-образные мягкие прослойки

$$N_K^{XV} = N_K(1 - tg\varphi); \quad (14)$$

$$N_p = \frac{N_K \cos 2\varphi}{2(2K_B(1 - tg\varphi)^2 + N_K^2 \cos 2\varphi)} - tg\varphi.$$

наклонная мягкая прослойка

$$N_K^H = N_K(1 + tg\varphi); \quad (15)$$

$$N_p = \frac{N_K(1 + tg\varphi)}{2(2K_B(1 - tg\varphi)\cos^2\varphi + N_K^2)} - tg\varphi;$$

сферические оболочки:

прямолинейная кольцевая прослойка

$$N_{K1} = \frac{1 + \Psi}{\Psi} \frac{2 \sin(\sqrt{2}Ln(1 + \Psi))}{\sqrt{1 + 2(1 + \Psi)\cos(\sqrt{2}Ln(1 + \Psi)) + (1 + \Psi)^2}}; \quad (16)$$

$$N_p = \frac{N_{K1}}{6K_B + N_{K1}^2};$$

наклонная кольцевая прослойка

(повернутая от экваториального сечения на угол φ_1)

$$N_{K1}^{\varphi_1} = \frac{1 + \Psi}{\Psi} \frac{2 \sin(\sqrt{2}Ln(1 + \Psi))(1 + tg\varphi_1)}{\sqrt{1 + 2(1 + \Psi)\cos(\sqrt{2}Ln(1 + \Psi)) + (1 + \Psi)^2}};$$

$$N_p = \frac{N_K(1 + tg\varphi_1)}{6K_B(1 + tg\varphi_1)\cos^2\varphi_1 + N_K^2}. \quad (17)$$

X- и V-образная прослойка

$$\begin{aligned} N_{K1}^{x,y} &= N_{K1}(1 - tg\varphi), \\ N_p &= \frac{N_K \cos 2\varphi_1}{6K_p(1 - tg\varphi_1)^2 + N_K^2 \cos 2\varphi_1} - \sqrt{2}tg\varphi_1. \end{aligned} \quad (18)$$

Проверка полученных результатов проводилась испытаниями внутренним давлением толстостенных цилиндрических и сферических моделей оболочек с продольными и поперечными сварными и паяными швами. Параметр толстостенности испытанных моделей составлял $\Psi = 0,21 \dots 0,35$. В широких пределах варьировались значения степени механической неоднородности сварных и паяных соединений $K_p = 1,4 \dots 5,6$ за счет применения присадочных материалов с пониженными по сравнению с основным металлом прочностными характеристиками. За счет установки различного зазора в стыке свариваемых деталей изменяли ширину мягкой прослойки в пределах $n = 0,24 \dots 1,25$ – для моделей цилиндрических оболочек, $n = 0,18 \dots 0,53$ – для моделей сферических оболочек.

Испытания до разрушения моделей оболочек производили на специальном стенде с использованием насоса УИГР-2000. Результаты экспериментальных исследований находятся в удовлетворительном соответствии с теоретическим подходами оценки несущей способности механически неоднородных сварных соединений толстостенных оболочковых конструкций.

Результаты теоретического анализа послужили основой для разработки рекомендаций по выбору оптимальной технологии изготовления сварных соединений толстостенных оболочковых конструкций (т.е. рациональных форм разделки кромок под сварку, режимов сварки, выбора присадочных материалов). Также предложены конструкции и схемы испытаний на растяжение образцов с V-образной и наклонной мягкой прослойкой, имитирующие конструктивные и силовые особенности нагружения оболочковых конструкций, позволяющие отказаться от проведения натурных испытаний конструкций и существенно повышающие степень достоверности экспериментальных данных, получаемых при испытании вырезаемых из конструкции образцов.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Несущая способность оболочковых конструкций, работающих под действием внутреннего и внешнего давлений, зависит от геометрической формы и степени толстостенности конструкции и при наличии в оболочке сварных соединений лимитируется прочностью этих соединений, которая, в свою очередь, определяется степенью механической неоднородности различных зон соединений, формой и местоположением сварного шва (прослойки) в оболочке, геометрическими параметрами оболочки и прослойки.

Предложенные в настоящей работе расчетные методы позволяют оценить несущую способность сварных цилиндрических и сферических оболочек с учетом вышеперечисленных факторов и вскрыть имеющиеся резервы прочности конструкций, что открывает широкие перспективы для оптимизации конструктивно-технологического проектирования их сварных соединений.

2. Исходя из особенностей пластического деформирования твердых тел в зависимости от вида их напряженно-деформированного состояния и геометрической формы образующих их поверхностей предложены подходы использования метода линий скольжения для оценки напряженно-деформированного состояния толстостенных цилиндрических (плоская задача) и сферических (осесимметричная задача) оболочковых конструкций, ослабленных механически неоднородными сварными соединениями. Для рассматриваемых случаев были разработаны общие графоаналитические принципы построения полей линий скольжения.

3. Основываясь на закономерностях механического поведения неоднородных сварных соединений, работающих в составе толстостенных оболочек давления, предложены типы моделирующих образцов и образцов, вырезаемых из конструкции поперек сварного стыка, для оценки напряженно-деформированного состояния и механических свойств соединений и способы их испытаний, имитирующие в процессе их нагружения кольцевую жесткость оболочковых конструкций, что позволило повысить достоверность экспериментальной оценки полученных данных и снизить объем натурных испытаний рассматриваемых конструкций.

4. На основании полученных аналитических и экспериментальных данных получена оценка влияния конструктивно-геометрических параметров сварных соединений на несущую способность оболочковых конструкций. Разработаны общие подходы конструктивно-технологического проектирования механически неод-

народных сварных соединений оболочковых конструкций. Показано, что путем выбора рационального сочетания параметров сварных соединений (K_b , κ , φ) с учетом геометрии, типа и параметра толстостенности оболочки (Ψ) может быть обеспечена равнопрочность соединений, имеющих разупрочненные (мягкие) прослойки, основному металлу конструкции.

5. Установленные закономерности напряженно-деформированного состояния и несущей способности сварных соединений рассматриваемых оболочек подтверждаются результатами экспериментальных исследований на моделях методом муаровых полос и данными испытаний внутренним давлением сварных толстостенных сосудов.

6. Результаты работы внедрены на ряде промышленных предприятий, о чем свидетельствуют акты внедрения, приложенные к настоящей работе.

Основные положения диссертации в опубликованы работах:

1. Ерофеев В.В., Ерофеев М.В., Шахматов М.В. Напряженно-деформированное состояние сварных соединений с мягкими прослойками в толстостенных цилиндрических оболочках // Автоматическая сварка. – 1991. – № 2. – С. 70-72.

2. Ерофеев В.В., Ерофеев М.В., Шахматов М.В. Методика исследования напряженно-деформированного состояния сварных толстостенных оболочек на моделирующих кольцевых образцах // Заводская лаборатория. – 1991. – № 5. – С. 41-42.

3. Ерофеев В.В., Ерофеев М.В., Шахматов М.В. Оценка несущей способности сосудов с мягкими швами // Автоматическая сварка. – 1992. – № 6. – С. 8-12.

4. Ерофеев В.В., Шахматов М.В., Ерофеев М.В., Михайлов В.И., Хатунцев А.Н. О достоверности оценки прочности стыковых соединений оболочковых конструкций из титановых сплавов ПТ-3В // Сварочное производство. – 1991. – № 7. – С. 32-34.

5. Ерофеев М.В., Ерофеев В.В., Шахматов М.В. Оценка несущей способности цилиндрических толстостенных оболочек давления с кольцевой мягкой прослойкой // Известия вузов. Машиностроение. – 1993. – № 1. – С. 40-46.

6. Ерофеев М.В., Ерофеев В.В., Шахматов М.В. Несущая способность толстостенных оболочек, ослабленных мягкими прослойками. Повышение эффектив-

ности сварочных работ. Сборник тезисов докладов конференции. – Липецк: ЛПИ, 1990. – С. 11-14.

7. Ерофеев М.В., Ерофеев В.В., Воробьев И.А., Михайлов В.И. К вопросу о несущей способности толстостенных оболочек с мягкой прослойкой. Автоматизация в сварочном производстве. Сборник тезисов докладов конференции. – Ижевск, ИМИ, 1989. Ч. 2. – С. 62-63.

8. Ерофеев М.В., Ерофеев В.В., Шахматов М.В. К оценке несущей способности толстостенных сварных резервуаров. Повышение эффективности и качества сборочно-сварочных работ в химическом и нефтяном машиностроении. Сборник тезисов докладов конференции. – Волгоград, ВНИИПТхимнефтеаппаратуры, 1989. – С. 76-77.

9. А.с. № 1370505, Кл. G 01, N 3/08. Образец для испытания на растяжение сварных и паяных соединений. / М.В. Шахматов, В.В. Ерофеев, М.В. Ерофеев. – Оpubл. 30.01.88., бюл. № 4.

10. А.с. 1402832, Кл. G 01, N 3/08. Образец для оценки механических характеристик стыковых соединений в конструкциях при растяжении. / М.В. Шахматов, В.В. Ерофеев, Ю.А. Тюнышев, М.В. Ерофеев. – Оpubл. 15.06.88, бюл. № 22.



Ерофеев Максим Владимирович
РАЗРАБОТКА РАСЧЕТНЫХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ НЕСУЩЕЙ
СПОСОБНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТОЛСТОСТЕННЫХ
ОБОЛОЧЕК

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

Издательство Южно–Уральского государственного
университета

ЛР № 020364 от 10. 04. 97. Подписано в печать 09. 04. 99. Формат
60•84 1/16. Печать офсетная. Усл. печ. л. 0,93. Уч.– изд. л. 1.
Тираж 80 экз. Заказ 93/146.

УОП Издательства. 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И.Ленина, 76.
