

05.03.06  
Л 405

ЧЕЛЯБИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
ИМЕНИ ЛЕНИНСКОГО КОМСОМОЛА

На правах рукописи

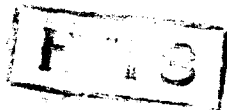
Лежнева Елизавета Вячеславовна.

УДК 621. 791:589.431.3

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ВЫБОРА РЕЖИМОВ СВАРКИ  
ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СВАРНЫХ УГЛЕВЫХ ШВОВ  
ОПТИМАЛЬНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ

05.03.06 – Технология и машины сварочного производства

Автореферат  
диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук



Челябинск 1990

Работа выполнена в Челябинском политехническом институте имени Ленинского комсомола.

Научный руководитель - заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор технических наук, профессор БАКИН О.А.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор ШРОБ Р.В.,  
кандидат технических наук, доцент АЧИНОВИЧ Н.Н.

Ведущее предприятие - Челябинский завод металлоконструкций имени С. Орджоникидзе

Защита диссертации состоится " 27 " июня 1990 г. на заседании специализированного совета К 053.13.02 Челябинского политехнического института им. Ленинского комсомола по адресу: 454044, Челябинск, пр. им. В.И.Ленина, 76.

Ваши отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные печатью, просим высылать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЧПИ им. Ленинского комсомола.

Автореферат разослан " \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 1990 г.

УЧЕБНЫЙ СЕКРЕТАРЬ СОВЕТА  
доцент, канд. техн. наук



В.В. Зестков

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Одним из наиболее важных резервов снижения трудоёмкости и повышения эффективности сварочного производства является сокращение расхода наплавленного металла на единицу массы металлоконструкций. Поскольку преобладающее количество наплавленного металла приходится на угловые швы соединений из углеродистых и низколегированных сталей, основное внимание в последнее время уделяется комплексу научно-исследовательских работ и мероприятий, направленных на снижение количества наплавленного металла в угловых швах этих сварных соединений.

Оптимальное /с точки зрения минимального количества наплавленного металла/ проектирование сварных соединений с угловыми швами предполагает тесную увязку вопросов их прочности и технологии изготовления, поскольку многие геометрические параметры угловых швов, определяемые технологией сварки, существенно влияют на несущую способность сварных соединений. Сказанное, свидетельствует об актуальности проблемы комплексного подхода к оптимизации сварных швов /ещё на стадии проектирования/ как с позиции конструктора, так и с позиции технолога-сварщика. Только такой подход может позволить проектировать и изготавливать сварные конструкции с высокими технико-экономическими и эксплуатационными характеристиками.

Этому вопросу и посвящена настоящая диссертационная работа, которая входит составной частью в порученное кафедре сварки Челябинского политехнического института имени Ленинского комсомола задание по программе решения научно-технической проблемы 0.72.01. "Разработать высокоэффективные технологические процессы сварки, наплавки, пайки, технологическое оборудование, сварные материалы, средства контроля и управления" на 1981 - 1985 годы /задание 02.05/, утверждённой постановлением Государственного комитета СССР по науке и технике и Госплана СССР от 12 декабря 1980 года № 472/248 /приложение 15/. Диссертация также содержит материалы, полученные при выполнении действующей программы работ по проблеме 0.72.01. "Создать и внедрить ресурсосберегающие технологии производства сварных конструкций с целью повышения качества, надёжности и долговечности машин, механизмов и сооружений на 1986-

Челябинский политехнический институт  
НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА

1990 году, утвержденной постановлением Государственного комитета СССР по науке и технике и Академии наук СССР от 10 ноября 1985 года № 573/137 /приложение № 7 /.

Цель работы состояла в разработке методики выбора параметров режима сварки для получения сварных угловых швов, способных выдерживать заданную нагрузку при минимальном количестве наплавленного металла.

Методы исследования. Распределение теплового потока между деталями при наложении угловых швов изучали путём аналитического решения систем уравнений теплопроводности Н.Н. Рыкалина с последующей проверкой на натуральных образцах путём сравнения площадей проплавленного металла в сечениях деталей. Распределение температурных полей анализировали при помощи численного эксперимента /с применением ЕС ЭВМ /, основанного на решении дифференциальных уравнений теплопроводности в конечных разностях. Геометрию сварных швов исследовали путём замера основных геометрических параметров на швах, выполненных из натуральных образцов. При проведении опытов использовали методы математического планирования. Полученные расчётные и экспериментальные зависимости сопоставляли с исследованиями других авторов.

Научная новизна. Для тавровых и нахлесточных соединений из малоуглеродистой и низколегированной сталей установлены основные теоретические закономерности влияния различных параметров режима сварки на распределение теплового потока между деталями. Полученные зависимости позволили разработать методику решения прямой и обратной технологической задачи по нахождению основных геометрических размеров угловых швов, выполненных механизированной сваркой с глубоким проплавлением.

На основе комплексного подхода /конструкторский и технологический/ к проблеме проектирования технологического процесса разработана методика оптимизации /с точки зрения минимального количества наплавленного металла при заданном уровне прочности/ сварных угловых швов, выполненных из малоуглеродистых и низколегированных сталей.

Практическая ценность и внедрение. Предложенная методика расчёта позволяет на стадии проектирования конструкции рассчитывать геометрические размеры оптимальных с точки зрения минимального расхода наплавленного металла сварных угловых швов тав-

ровых и нахлесточных соединений и предложить наиболее экономичные режимы сварки обеспечивающие их получение. Данные методики расчёта внедрены на предприятиях объединения "Звезда" и на Кустанайском машиностроительном заводе. Снижение расхода сварочных материалов, трудоёмкости и энергозатрат с одновременным повышением прочности изделий дало возможность получить годовой экономический эффект в размере 35 тысяч рублей.

Апробация работы. Диссертация заслушивалась на научных семинарах кафедры сварки и ежегодных конференциях Челябинского политехнического института им. Ленинского комсомола. Основные результаты работы представлялись на зональной конференции сварщиков Урала в Свердловске, 1986 г. и Всесоюзной конференции сварщиков в Челябинске, 1987 г.

По теме диссертации опубликовано 7 печатных работ.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, общих выводов, списка литературы и приложения. Работа изложена на 136 страницах машинописного текста, включает 51 рисунок и 26 таблиц. Библиография содержит 180 наименований.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе на основе литературных данных анализируется состояние исследуемого вопроса, как в прочностном, так и в технологическом аспектах.

Определение параметров режима сварки, исходя из заданных размеров и формы угловых швов, является ключевым звеном подготовки производства сварных конструкций. Формализация этой процедуры особенно трудна вследствие большого числа и многообразия факторов, влияющих на параметры сварного соединения и материальные затраты на его получение.

К настоящему времени в этой области накоплена обширная информация. Ряд рекомендаций, представленных в работах А.И. Акулова, В.М. Барышева, Г.А. Бельчука, Б.М. Березовского, А.А. Казимирова, В.И. Махненко, Г.А. Николаева, С.А. Островской, Б.Е. Патона, Н.Н. Прохорова, Н.Н. Рыкалина и других авторов, несомненно является полезным для технолога-сварщика.

В решении задачи можно выделить три направления: эмпирическое - разработка методик определения режима сварки и размеров шва с помощью номограмм и эмпирических уравнений; теоретическое, в котором используются решения основного дифференциального уравнения теплопроводности; разработка систем уравнений, полученных методом критической интерполяции. В последнем случае создается компактное математическое описание и не требуется такого количества экспериментов как в первом, а результаты более точны, чем во втором. При различных способах сварки эти методы находят различное применение.

В зависимости от цели и задач исследований, авторы оценивают сварной шов по одному или нескольким перечисленным ниже геометрическим параметрам: катет /  $K$  /, ширина углового шва /  $B$  /, толщина шва /  $H$  /, высота опасного сечения /  $C$  или  $C_c$  /, коэффициенты формы шва  $\Psi_{np} = B/H$ , отношение  $H/K$  и др. /см. рис. I/.

Формы и размеры зоны проплавления углового шва зависят от толщины соединяемых элементов, марки их материала, способа и режима сварки.

Подавляющее большинство рассмотренных нами теоретических методик основано на нахождении эффективной тепловой мощности дуги, зависящей от эффективного к.п.д. сварочной дуги. В этом кроется их существенный недостаток, так как точно определить коэффициент полезного действия чрезвычайно сложно. Кроме того, предложенные формулы не учитывают экранирующего действия прослойки жидкого металла под дугой, а также механического воздействия газового столба дуги на поверхность сварочной ванны, которое в значительной степени определяет ширину расплавленного поверхностного слоя металла, являющегося базой формирования внешней части шва.

Экспериментальные методики лишены этого недостатка, однако они недостаточно раскрывают внутренний механизм явления, включают в себя большое число графиков, номограмм и таблиц, что усложняет их использование при создании САПР.

Кроме того, исследование литературных данных о тепловых процессах при сварке, которые необходимы для правильного выбора математической модели процесса, позволило сделать вывод, что недостаточно изученным является процесс распределения тепла между деталями при сварке угловых швов. Приводимые в отдельных норматив-

Основные геометрические характеристики  
сварного шва

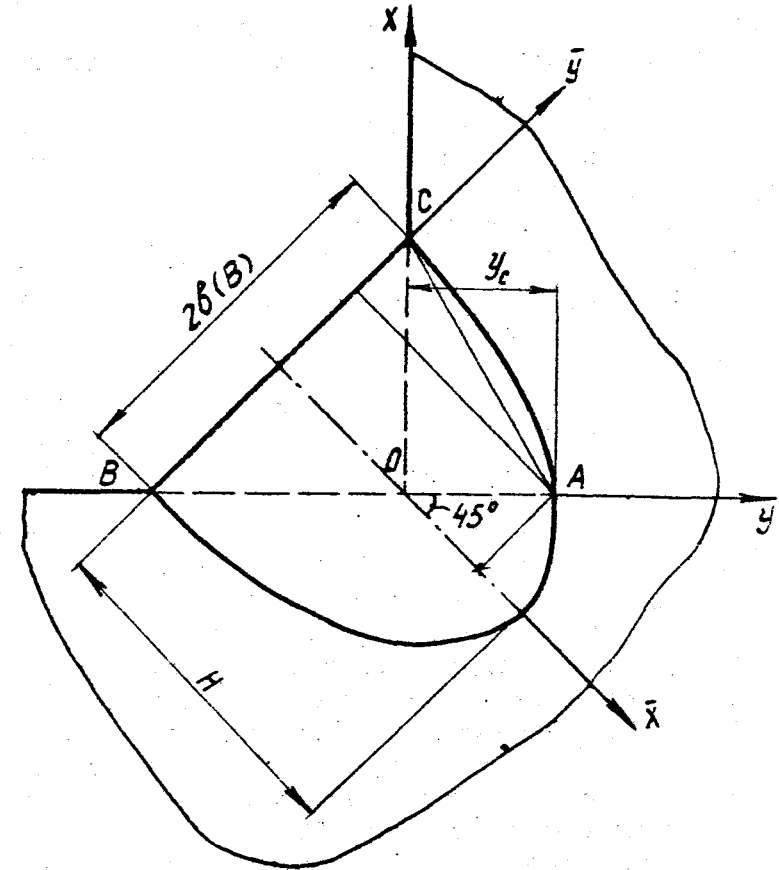


Рис. I

ных документах и справочных изданиях рекомендации по выбору важнейших элементов режима сварки по ранее заданным размерам шва, как правило, требуют экспериментальной проверки и корректировки.

Как указывалось выше, проектирование оптимальных сварных соединений предполагает тесную увязку вопросов технологии изготовления и прочности. Поэтому далее в главе были проанализированы и сравнены различные варианты расчёта сварных равнопрочных соединений и соединений с "твёрдыми" угловыми швами, приведённые в работах О.А.Бакии, Н.Л.Зайцева, В.И.Махненко, Г.А.Николаева, М.В.Шахматова и др.

Анализ литературных данных показал, что в настоящее время существует и потребность и условия для создания автоматизированных систем управления геометрическими параметрами сварных угловых швов с учётом последних достижений в области прочностных исследований.

В свете сказанного, для достижения цели необходимо было решить ряд задач: выполнить анализ распределения теплового потока между деталями в соединениях с угловыми швами при различных режимах и способах сварки; разработать методику аналитического исследования температурных полей в соединениях с угловыми швами при различных условиях сварки; провести анализ предельного состояния объёмного температурного поля, полученного при решении задач на ЭВМ; выбрать расчётную модель нахождения величины разрушающей нагрузки в механически однородных и механически неоднородных сварных соединениях с угловыми швами; выполнить экспериментальную проверку полученных в работе расчётных зависимостей с применением метода многофакторного планирования эксперимента.

Вторая глава посвящена анализу распределения теплового потока в тавровых и нахлёсточных соединениях при сварке.

В работах Н.Н.Рыкалина и его учеников аналитически выведены формулы, позволяющие рассчитать основные параметры стыковых швов в зависимости от условий и режима сварки. Для тавровых и нахлёсточных соединений получение подобных уравнений сопряжено с большими трудностями, обусловленными сложной формой изделия. С процессом проплавления основного металла тесно связана оценка количества тепла, вводимого дугой в элементы соединения. При выполнении стыковых швов на пластинах одинаковой толщины соединя-

емые элементы получают тепло поровну, тогда как в соединениях с угловыми швами доли тепла, вводимые в элементы соединения, могут существенно различаться. Значение доли тепла, введенного в каждую из свариваемых деталей, даёт возможность использовать уже готовые решения Н.Н.Рыкалина уравнений теплопроводности для отыскания глубины проплавления и катета углового шва. Поэтому, исходя из задач, поставленных в работе, был необходим анализ распределения теплового потока в тавровых и нахлёсточных соединениях.

Для первого этапа исследований тепловой источник сварки считали точечным. Процесс распределения тепла в тавровых соединениях условно разбили на два одновременно идущих процесса: распространение тепла в плоском слое толщиной  $S_p$  /см. рис. 2/, по поверхности которого перемещается точечный источник "В" /горизонтальная схема/ и распространение тепла в плоском слое, ограниченном в пространстве плоскостями "а", "в" и "с" /вертикальная схема/, по поверхности которого в месте сопряжения плоскостей "а" и "с" перемещается точечный источник постоянной мощности "А".

Условиями целостности процесса являлись: идентичность перемещения источников; одинаковая картина температурных полей на линии сопряжения полки и стенки; суммарная мощность источников "А" и "В" /см. рис. 2/ равнялась общему количеству теплоты вводимому в изделие в единицу времени.

Приняв соответствующие теории теплопроводности допущения, мы воспользовались решениями Н.Н.Рыкалина, описывающими предельное состояние процесса распространения тепла при нагреве полубесконечного тела подвижным источником тепла. Ограниченность тел была учтена при помощи метода отраженных источников.

Полученные зависимости показали, что изменение толщины свариваемых деталей оказывает существенное влияние на перераспределение теплового потока только в том случае, когда толщина стенки /  $S_s$  / меньше /или равна/ некоторого фиксированного значения /  $S$  /, зависящего от мощности источника /  $Q$  / и скорости сварки /  $V_{св}$  /.

Для малоуглеродистых и низколегированных сталей:

$$S' \approx 0,0099 \sqrt{\frac{Q}{V_{св}}} .$$

Схема расположения осей координат в полке и стенке при анализе распределения теплового потока

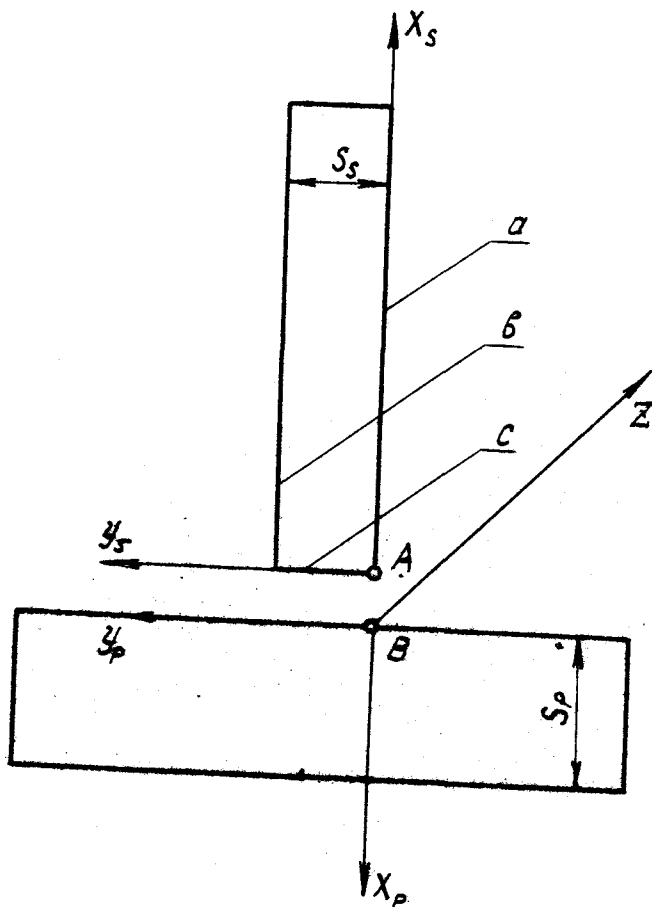


Рис. 2

Доля теплового потока  $\beta$ , распределённого в стенку, в этом случае можно найти из уравнения /2/

$$\frac{(10(S_s - x_0) \cos \alpha + 40(\beta - y_0) \sin \alpha)^2}{a^2} -$$

$$\frac{(40(\beta - y_0) \cos \alpha - 10(S_s - x_0) \sin \alpha)^2}{a^2 \tan^2 \alpha} = 1, \quad /2/$$

где  $\alpha$ ,  $x_0$ ,  $y_0$ ,  $a$  - коэффициенты, зависящие от скорости сварки, силы тока и мощности источника.

Экспериментальная проверка полученных результатов была проведена путём сравнения площадей проплавленного металла соединяемых деталей. Для этой цели из стальных листов /сталь Ст 3/ были сварены образцы тавровых соединений. Сварку выполняли при помощи сварочного трактора АДС - 1000, под слоем флюса АН - 348 А, сварочной проволокой СВ - 08 А, диаметром 2 и 5 мм в положении "симметричная лодочка". Из сваренных образцов вырезали поперечные темплеты угловых швов, которые после шлифовки обрабатывали раствором универсального реактива.

Для замера площадей проплавления угловых швов, протравленные темплеты фотографировали, а затем в увеличенном масштабе проектировали на миллиметровую бумагу.

Как показали результаты сравнения расчётных и опытных данных, изменение неучтённых в модели технологических параметров приводит к существенному перераспределению теплового потока между деталями. Учёт в косвенной форме этих факторов стал возможен при введении в тело распределённых источников различного вида. Их форма и размеры были определены в зависимости от основных параметров режима сварки. Совпадение расчётных значений  $\beta$  /коэффициента, учитывающего долю теплового потока, распределённого в стенку/ с реальными его значениями достигалось в тавровых соединениях за счёт введения линейных источников, расположенных в объёме основного металла или вынесенных за его пределы /в область наплавленного металла/. Протяжённость распределённого источника /зависящая от силы тока, диаметра электродной проволоки и напряжения на дуге/ определяли через коэффициент  $\psi_{np}$  /см. выше/:

$$C = \frac{\Psi_{np} - 15,4}{V_{cs} \cdot 10^2} (1 + (0,25 \Psi_{np} - 3,7)^2) + \frac{8}{V_{cs} \cdot 10^2}, \quad / 3 /$$

где  $C$  - протяжённость распределённого источника;  $\Psi_{np}$  - коэффициент глубины провара, зависящий от силы тока, диаметра электрода и напряжения на дуге;  $V_{cs}$  - скорость сварки.

Зная величину коэффициента  $\Psi_{np}$  и скорости сварки по формуле / 3 / и уравнениям, полученным в работе на основе уравнений теплопроводности с учётом отражённых источников, определяли долю теплового потока в чтенку при сварке равнокатетных швов.

При сварке неравнокатетных швов со смещением электрода на стенку, источник сварки для стенки принимали точечным, смещённым на ту же величину, что и электрод  $AD$  /см. рис. 3/. Для полки источник был линейным, смещённым на величину  $BG$ , максимальное значение которой определяли из формулы / 5 /.

$$BG = AD \operatorname{ctg} \theta, \quad / 4 /$$

где  $\theta$  - угол наклона электрода.

Таким образом, на основании теоретических исследований и соответствующей корректировки модели с учётом данных физического эксперимента мы получили возможность с достаточной для практики точностью рассчитать количество теплоты, распределённое в стенку при сварке тавровых соединений в "симметричную лодочку" и приближённо оценить распределение теплового потока в тавре для оптимальных /или близких к оптимальным/ швов.

Аналогичные результаты получены для оценки распределения теплового потока в нахлесточных соединениях с угловыми швами.

Третья глава посвящена численным методам изучения влияния различных параметров режима сварки на форму и размеры угловых швов. В качестве математической модели процесса была выбрана объёмная модель распределения тепла в теле, описываемая дифференциальным уравнением теплопроводности выраженным в конечных разностях. В нулевой момент времени температура во всех точках тела была принята равной температуре окружающей среды; процесс распределения тепла считали квазистационарным, теплофизические

Схемы расположения в теле тавра распределённых источников при сварке неравнокатетных швов

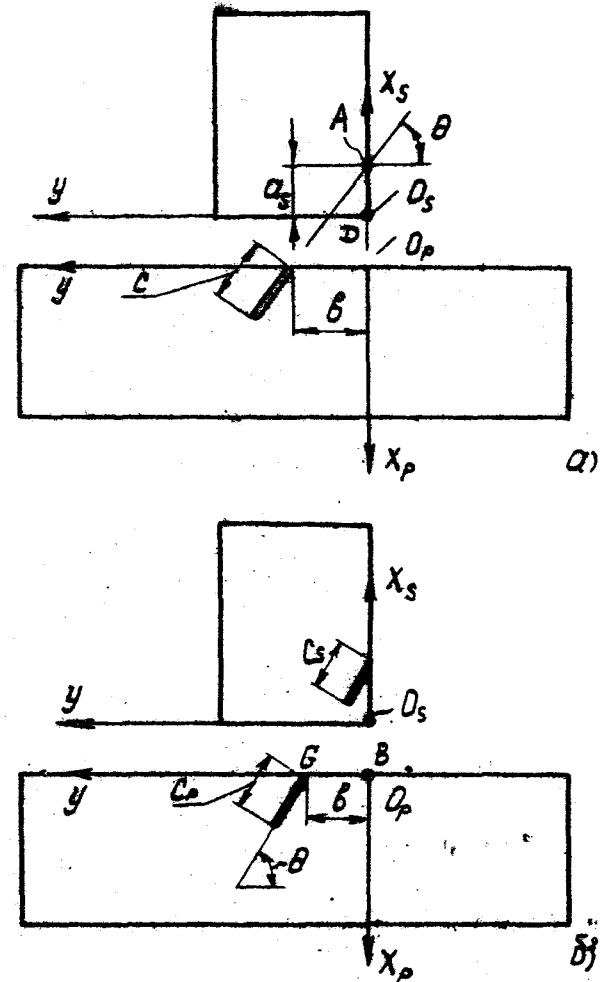


Рис. 3

коэффициенты изменялись в зависимости от температуры тела; температура в объёме одного кубического элемента была постоянна. Алгоритм решения построен на использовании итерационного варианта конечных разностей.

Разработано несколько вариантов программы с заданием распределённых источников различного вида: при увеличении давления дуги источники располагали вдоль линии продолжающей электрод; при значительном количестве наплавленного металла источник /или его большая часть/ располагался вне основного металла. Большая серия численных экспериментов, проведённая по разработанной методике и сравнение полученных результатов с данными физических опытов показала, что введение распределённых источников позволяет получить высокую сходимость расчётной границы проплавления с реальной.

Инженерный вариант методики расчёта предусматривает использование точечного источника тепла, что несколько снижает точность расчёта. Однако корректирующие коэффициенты, полученные из сопоставления расчётных и опытных данных, позволяют с достаточной для практики точностью определить глубину проплавления стенки в тавровых соединениях в широком диапазоне режимов сварки.

При проведении эксперимента были использованы методы математического планирования. Сварку выполняли под слоем флюса АН-348 А сварочным трактором АДС - 1000-4 и в среде CO<sub>2</sub> сварочной проволокой Св-08 ГА на образцах из стали /Ст. 3 /.

В качестве независимых факторов выбирали сварочный ток, скорость сварки, толщину свариваемых деталей и диаметр электродной проволоки. В качестве искомой функции рассматривали основные геометрические параметры и форму шва. В результате соответствующей обработки данных и проверки модели на адекватность однородность дисперсий и значимость коэффициентов получены уравнения регрессии, позволяющие оценить влияние каждого отдельного фактора и их совместное влияние на форму и размеры угловых швов.

Из сравнения опытных и численных результатов удалось заметить, что при варьировании мощности источника /при  $V_{св} = const$  / удаётся добиться практически полного совпадения проплавления стенки /отрезок СА. См. рис. 1 / у реальных и моделируемых швов. Такая мощность была названа приведённой /  $Q_{пр}$  /. Получены зависимости для определения  $Q_{пр}$  при различных условиях и режимах сварки:

$$Q_{пр} = \frac{I_{св} Q^* U_d \eta_u}{V_{св}}, \quad / 5 /$$

где  $U_d$  - напряжение дуги;  $\eta_u$  - эффективный к.п.д. дуги;  $V_{св}$  - скорость сварки;  $Q^*$  - коэффициент приведения, найденный при сравнении результатов физического и машинного экспериментов. Коэффициент в неявной форме отражает влияние технологических параметров, не учтённых при разработке математической модели процесса.

$$Q^* = 0,4 - 6,5 \cdot 10^{-4} I_{св} - 0,52 V_{св} + 57 \cdot 10^{-2} d_{э} + 2,1 \cdot 10^{-3} I_{св} V_{св} - 7,5 \cdot 10^{-5} I_{св} d_{э} - 1,46 \cdot 10^{-2} d_{э} V_{св} + 1,53 \cdot 10^{-4} I_{св} d_{э} V_{св}, \quad / 6 /$$

где  $I_{св}$  - сила тока,  $V_{св}$  - скорость сварки,  $d_{э}$  - диаметр электрода.

При использовании коэффициентов найденных по формулам /1/ - /6/ на основе уравнений Н.Н. Рыкалина в работе получена зависимость, позволяющая определить глубину проплавления стенки по линии сопряжения полки и стенки /т.А см. рис. 1 /.

$$T_{пр} = \frac{Q_{пр} \beta \exp(-V_{св} y / 2 a)}{2 \pi \lambda y}, \quad / 7 /$$

где  $y$  - глубина проплавления стенки по линии сопряжения полки и стенки /см. рис. 1 /;  $Q_{пр} \beta$  - коэффициенты, найденные по формулам /3/ - /4/;  $a$  - температуропроводность;  $\lambda$  - коэффициент теплопроводности.

Проведённый нами эксперимент подтвердил правильность формул для нахождения количества наплавленного металла, полученных в работах А.И. Акулова, Г.А. Бельчука и В.П. Демянцевича; эти формулы были использованы нами для нахождения т. D и т. G /см. рис. 1 /. Моделирование шва эллипсом по трём известным точкам /т.т. D, A, G (см. рис. 1) / позволило с достаточной для практики точностью определить основные геометрические параметры сварного углового шва таврового соединения. Получены аналогичные зависимости для нахлесточных соединений.

Найденные закономерности позволили создать методики решения



прямой /нахождение основных геометрических размеров угловых швов по заданному режиму сварки/ и обратной /нахождение параметров режима сварки исходя из основных геометрических размеров и формы шва/ технологических задач.

В четвёртой главе на основе обобщений результатов прочностных исследований и зависимостей полученных в работе, разработана методика определения размеров оптимальных угловых швов по величине расчётной нагрузки и основных параметров режима сварки, обеспечивающих их получение. Решение состоит из двух этапов: нахождение основных геометрических параметров сварного углового шва, способного выдержать заданные нагрузки /прочностная часть/ и определение основных параметров режима сварки по найденным размерам сварного шва. Исходными данными для первого этапа являются тип соединения, его характеристика /равнопрочное или с "твёрдыми" швами/, величина расчётной нагрузки, длина сварного шва и его расположение на изделии, величина коэффициента  $K_{\text{н}}$  /см. рис. I/. Выходные данные первого этапа расчёта  $B, H, \sqrt{2 F_n} = K_{\text{нр}}$ , где  $K_{\text{нр}}$  - приведённый катет,  $F_n$  - площадь наплавленного металла,  $AB, \gamma$  / являются исходными для технологического этапа вычислений.

Отыскание оптимального с технологической точки зрения, режима сварки является сложной задачей переборного типа, так как данная форма и размеры шва могут быть обеспечены различными сочетаниями  $U_s, d_s, I_{\text{св}}$  и  $V_{\text{св}}$  и т.д. Поэтому с целью сокращения времени многовариантного расчёта и облегчения анализов полученных результатов разработана программа для ЭМ ДВК-4.

В работе предусмотрен и более простой вариант созданной методики, адаптированный для элементарных инженерных расчётов. Основой вычисления в данном случае являются номограммы, построенные на основе упрощения описанных выше зависимостей. В качестве примера, две из них приведены на рис. 4 и 5. Аналогичные номограммы могут быть построены для различных диапазонов режима сварки, видов соединений /тавровое и нахлесточные/ и марок стали. Применение предложенной в работе методики позволяет ещё на стадии проектирования оптимизировать сварной шов с технологической и прочностной точки зрения по объёму наплавленного металла.

В работе приведены примеры расчёта угловых швов тавровых и

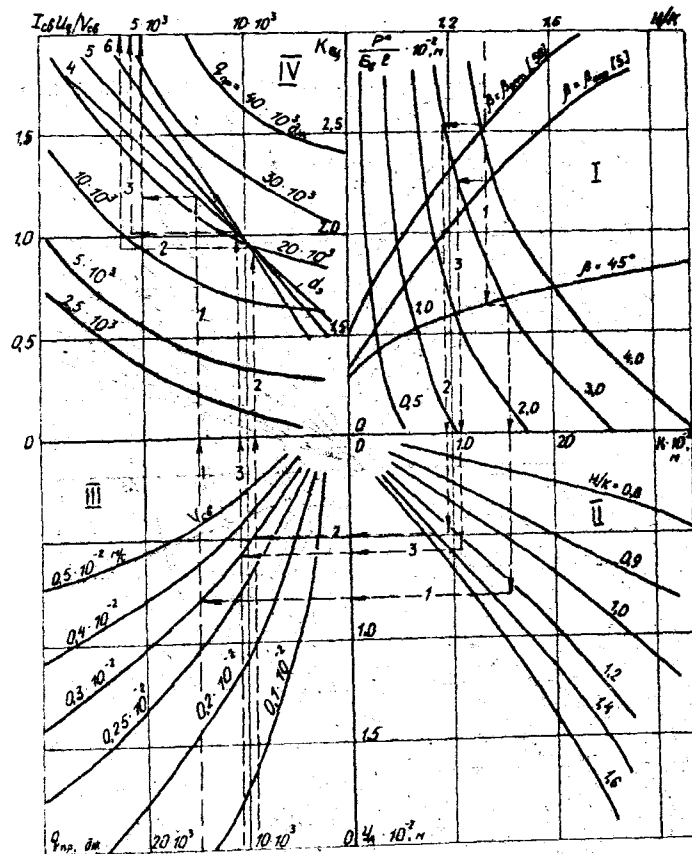


Рис. 4

наклёсточных соединений, выполненных из малоуглеродистых и легированных сталей для равнопрочных соединений и соединений с "твёрдыми" швами и проведено сопоставление расчётных значений, подсчитанных по методикам других авторов /А.Е.Асниса, К.Г.Мосенкиса, В.Т.Луценко, Э.Л.Демьянцевича, Г.А.Николаева и др. /. Результаты этого сопоставления подтвердили перспективность использования созданной в настоящей работе методики в практике инженерных расчётов.

### ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Предложена методика аналитического исследования распределения теплового потока при сварке в соединениях с угловыми швами, основанная на совместном решении уравнений теплопроводности для стенки и полки.

Методика даёт возможность количественно оценить долю теплового, приходящуюся на каждую из свариваемых деталей, применительно к различным условиям и режимам сварки.

2. Распределение теплового потока зависит от толщины свариваемых деталей только если эти толщины меньше или равны катету шва. В противном случае можно считать, что 1/3 часть тепла вводимого в изделие распределена в стенку и 2/3 - в полку.

3. Выявленные закономерности изменения доли теплового потока, приходящегося на стенку, позволили предложить формулы для оценки коэффициента  $\beta$  /доля тепла в стенку/ в зависимости от скорости сварки, мощности источника, толщины свариваемых деталей и наклона электрода.

4. Расчётно - экспериментальные исследования картин изменения температурных полей в угловых соединениях при сварке позволили получить:

- формулу для нахождения приведённой мощности источника, позволяющую использовать уравнение Н.Н.Рыжалина для расчёта геометрических параметров угловых швов;

- формулу для определения коэффициента приведения  $q^*$  для различных режимов сварки;

- формулу, связывающую коэффициент приведения  $q^*$  с геометрическими параметрами шва;

- формулу, позволяющую рассчитать величину заглубления

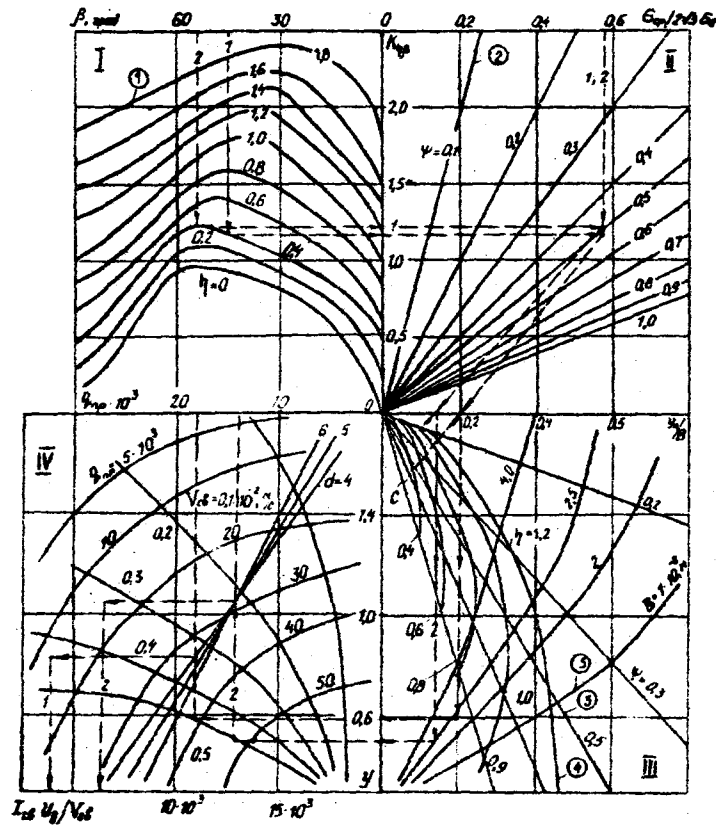


Рис. 5

источника при сварке.

5. Найденные закономерности позволяют создать методику решения прямой /определение геометрических размеров и формы шва по заданному режиму сварки/ и обратной /определение основных параметров режима сварки по заданной геометрии шва/ технологических задач.

6. Результаты работы дают возможность определить основные геометрические параметры оптимальных /с точки зрения наименьшего расхода наплавленного металла при заданном уровне прочности/ угловых швов тавровых и нахлесточных соединений, выполненных механизированными способами сварки, а также режимов сварки обеспечивающих получение этих параметров /для механически однородных соединений и соединений с "твёрдыми" швами/.

7. Переход к выполнению оптимальных швов по предложенной инженерной методике расчёта /см. п.6/, позволяет получить экономию наплавленного металла на 18 - 20% по сравнению с существующими методиками.

8. Разработанные методы численной оценки параметров режима сварки позволяют предложить многовариантное решение задачи, удобное для анализа экономических факторов процесса.

9. Экспериментальная проверка, выполненная на реальных сварных соединениях из малоуглеродистой и низколегированных сталей, показала удовлетворительное совпадение опытных и расчётных данных.

10. Результаты работы внедрены на двух предприятиях с экономическим эффектом 35 тысяч рублей. Соответствующие акты внедрения приведены в диссертации.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Бакши О.А., Селунская Н.В. Методика расчёта геометрических размеров угловых швов // Экономия материальных, энергетических и трудовых ресурсов в сварочном производстве: Тез. докл. Всесоюзной конф. - Челябинск: Уральский дом научно - технической пропаганды, 1986.- С. 64-65.

2. Зайцев Н.И., Селунская Н.В. Расчёт режимов сварки в

среде  $CO_2$  для угловых швов тавровых соединений // Экономия материальных, энергетических и трудовых ресурсов в сварочном производстве: Тез. докл. Всесоюзной конф. Челябинск: Уральский дом научно-технической пропаганды, 1986.- С. 128-129.

3. Лажнева Н.В. Методика расчёта режимов сварки в среде  $CO_2$  для угловых швов тавровых соединений // Прогрессивная технология, механизация и автоматизация сварочного производства: Тез. докл. 16 зональной конф. сварщиков Урала. - Свердловск. 1986. - С. 42-43.

4. Лажнева Н.В. Некоторые особенности расчёта геометрических размеров угловых швов // Прогрессивная технология, механизация и автоматизация сварочного производства: Тез. докл. 16 зональной конф. сварщиков Урала.- Свердловск, 1986.- С. 41-42.

5. Лажнева Н.В. Зависимость размеров угловых швов от параметров режима сварки под слоем флюса // Вопросы сварочного производства: Сб. науч. тр. - Челябинск: Челябинск. политехн. институт, 1987.- С. 155-160.

6. Лажнева Н.В. Использование численных и аналитических методов при создании алгоритма расчёта геометрических параметров угловых швов тавровых соединений. - Троицк, 1990. - 9с. - Рукопись деп. в ВИНИТИ. 19.04.1990, 1992-90.

7. Селунская Н.В. Некоторые особенности расчёта режимов сварки под слоем флюса // Вопросы сварочного производства: Сб. науч. тр. - Челябинск: Челябинск. политехн. институт, 1985.- С. 109-112.