

0049-126

Государственный комитет СССР по народному образованию

- . -

Московский ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и
ордена Трудового Красного Знамени государственный
технический университет имени Н.Э. Баумана

На правах рукописи

ВАСИЛЬЕВ Андрей Валентинович

УДК 621.791.052

РАЗРАБОТКА ТИПОВ ОБРАЗЦОВ И МЕТОДОВ
ИХ ИСПЫТАНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТАТИЧЕСКОЙ
ПРОЧНОСТИ И ПЛАСТИЧНОСТИ УГЛОВЫХ ШВОВ

05.03.06 – Технология и машины
сварочного производства

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

Москва – 1990

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

Научный руководитель - д.т.н., профессор **ВИНОКУРОВ В.А.**

Официальные оппоненты: д.т.н., профессор ИГНАТЬЕВА В.С.

к.т.н., с.н.с. ПРОХОРЕНКО В.Д.

Ведущее предприятие - ЦНИПРОЕКТСТАЛЬКОНСТРУКЦИЯ

Защита состоится "17" мая 1990 г. на заседании специализированного Совета К 053.15.03 в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана по адресу: 107005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

Ваш отзыв на автореферат в 1 экз., заверенный печатью,

в библиотеке

20.05 1990 г.

В.И. ГИРШ

л. Тираж 100 экз.
им. Н.Э. Баумана

М 481126

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Проблемы повышения качества сварных конструкций, снижения их металлоемкости, экономии сварочных материалов, являются ключевыми направлениями интенсификации сварочного производства.

75-85% наплавляемого электродного металла расходуется на угловые швы, из которых 30% являются расчетными. Как показывает практика, прочность статически нагруженных швов используется не полностью. В частности, резервом повышения нагруженности швов и экономии наплавленного металла может быть учет влияния на несущую способность соединения направления действующей на шов нагрузки. Кроме того, механические характеристики угловых швов определяются на весьма несовершенных образцах.

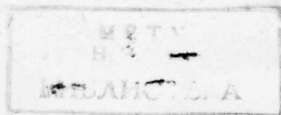
Существующие конструкции образцов для определения механических характеристик швов и схемы их испытаний в значительной мере влияют на регистрируемую прочность и пластичность. Несовершенство конструкций образцов вызывает недостаточно обоснованное назначение допускаемых напряжений (расчетных сопротивлений) при расчетах прочности угловых швов. Это приводит к завышению расчетных катетов швов, т.е. к увеличению расхода электродного материала, трудовых и энергетических ресурсов.

Цель работы состоит в создании типов образцов с угловыми швами и в установлении схем их нагружения, позволяющих получать экстремальные значения прочности швов, а также параметры их жесткости для использования в расчетах несущей способности сварных узлов металлоконструкций.

Методы исследования. Экспериментальные методы исследования включали статические испытания образцов с угловыми швами при их продольном и поперечном нагружении с непрерывной регистрацией усилия и перемещения до разрушения шва на машине EUS-100, а также испытания на кручение.

Расчетные методы включали методы математической статистики, методы численного решения систем дифференциальных уравнений, метод конечных элементов с использованием теории упругости и упруго-пластического течения. Расчеты проведены на ЕС ЭВМ и ПЭВМ с использованием языка программирования FORTRAN.

Научная новизна. В работе установлены закономерности влияния конструкции, размеров образцов, схем их нагружения и темпе-



ратуры испытания на прочность и пластичность швов:

1. Схемы сжатия и растяжения, ввиду возникновения различных нормальных напряжений в шве, дают различные значения прочности и пластичности, что приводит к необходимости испытывать поперечно нагруженные швы по обеим схемам. Существующие стандартные образцы предполагают испытание поперечно нагруженного шва только по схеме растяжения.

2. Наличие зазора между сваренными пластинами, равного 0,25 К_н, не ухудшает прочность и пластичность поперечно нагруженных швов в нахлесточных соединениях.

3. Прочность и пластичность продольно нагруженных швов не меняются при изменении схемы нагружения с растяжения на сжатие.

4. Наличие острых концентраторов на концах шва оказывает отрицательное влияние на пластичность продольно нагруженных швов, не меняя их прочность.

Практическая ценность

1. На основании расчетов и экспериментальных исследований предложены конструкции образцов и рациональные соотношения их размеров, позволяющие испытывать угловые швы нахлесточных и тавровых соединений, равнопрочные основному металлу, как при нормальных, так и при низких температурах.

2. Предложен уточненный метод расчета несущей способности сварных соединений с угловыми швами, основанный на использовании получаемых диаграмм деформирования швов в соединениях при различных схемах нагружения, в случае упругого поведения сваренных элементов. Показана реализация метода на примере нахлесточного соединения с продольно нагруженными швами.

3. Разработан проект руководящего документа "Метод определения механических свойств сварных угловых швов при статическом нагружении", включающий технологию изготовления и испытания образцов предложенных конструкций. Его использование позволит уменьшить расчетные катеты угловых швов за счет уточнения величины допускаемых напряжений, при сохранении равнопрочности сварного соединения.

Апробация работы. Основные положения работы дважды докладывались на научном семинаре кафедры "Машины и автоматизация сварочных процессов" МГТУ им. Н.Э. Баумана. Разработанный проект РД используется для определения механических характеристик

угловых швов на ряде предприятий Минэнергогидротехмаша и Минстанкопрома.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов и результатов, приложения. Выполнена на 88 машинописных листах, содержит 55 рисунков, 14 таблиц и 71 наименование литературных источников.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава I. В инженерных методах расчета несущей способности сварных соединений используют прочность швов в виде допускаемых напряжений (или расчетных сопротивлений). В более сложных методах в расчет вводят также пластичность швов. Предпринимались попытки аналитически и численными методами прогнозировать механические характеристики угловых швов в зависимости от размеров, формы шва, глубины проплавления, величины зазора, схемы нагружения, режимов сварки, размеров свариваемых элементов, химического состава основного и присадочного материалов и т.д. Наиболее достоверна информация о механических характеристиках, полученная непосредственно при испытании угловых швов, сваренных на реальных режимах с реальными дефектами, конкретных конфигураций и размеров.

В настоящее время для этой цели используют ряд конструкций образцов и способов их испытания, часть из которых закреплена в стандартах некоторых промышленно развитых стран (США, Великобритания, Австралия и др.), а также в нормах МПС. В нашей стране стандартов на испытание угловых швов статическим нагружением для получения значений их прочности и пластичности не существует. Для получения необходимых характеристик швов используют либо образцы зарубежных стандартов, либо изготавливают собственные конструкции.

Образцы с фланговыми швами существенно отличаются от образцов с лобовыми швами. Они изготавливаются индивидуально, каждый тип образца — по своей технологии. Так, в образцах с фланговыми швами, испытываемые швы накладываются параллельно, для обеспечения их симметричного нагружения. Небольшое фиксированное расстояние между швами вызывает их взаимное термдеформационное влияние (ТДВ), которое возникает за счет поперечной усадки и повторного нагрева при сварке второго шва. В образцах с лобовыми швами такое ТДВ отсутствует. Отличие в размерах элементов образцов раз-

личных типов определяет отличие в ТДЦ сварки швов, что также влияет на их механические характеристики.

Указанные образцы представляют из себя сварные узлы, поэтому определяемые при испытании механические характеристики являются характеристиками этих узлов, а не отдельных швов. Получаемые на таких образцах значения прочности зависят от соотношений между: катетами швов, расстоянием между ними, толщиной сваренных пластин; от направления нагружения и т.д.

Отсутствие функциональной зависимости между размерами образцов и величиной испытуемого катета шва является существенным недостатком имеющихся образцов. Так, при изменении катета в образцах предусмотрено изменение лишь толщины свариваемых пластин, а расстояние между швами, их длина остаются постоянными, что не позволяет производить корректного сравнения механических характеристик швов различных катетов.

Указанные различия в конструкциях образцов с лобовыми и фланговыми швами по-разному влияют на прочность и пластичность швов. Это создает трудности в сопоставлении получаемых на этих образцах результатов и затрудняет расчет комбинированных сварных соединений с угловыми швами.

Способность углового шва к деформированию до момента начала разрушения определяют, в основном, на образцах, швы в которых испытывают "на загиб" и "на отлом". Такое нагружение не соответствует реальной работе швов.

Общим недостатком всех сконструированных до настоящего времени образцов является то, что практически ни один из них не может быть изготовлен из сварных соединений реальных конструкций. При изготовлении и испытании образцов-свидетелей, многочисленные факторы, влияющие на определяемую прочность и пластичность швов отличаются от реальных, действующих в сварных соединениях. Это не дает возможности определять влияние конструкций образцов на механические характеристики швов.

В работе были поставлены следующие задачи:

1. Анализ и установление требований к конструкциям образцов и методике их испытаний на статическую прочность.
2. Исследование статической прочности угловых швов в зависимости от схем нагружения, видов сварных соединений, конструкций образцов и их размеров.

3. Установление рациональных конструкций образцов и их размеров для определения статической прочности и пластичности угловых швов.

4. Разработка проекта руководящего документа на испытания сварных угловых швов нахлесточных и тавровых соединений.

В главе 2 на основе проведенных исследований сформулированы требования к конструкциям образцов и методике их испытания: воспроизводимость на образцах условий работы шва в реальном сварном соединении; минимальное влияние конструкций образцов на результаты испытаний; минимальный набор конструкций образцов, обеспечивающий получение истинных значений прочности и пластичности шва или ОШЗ, при продольном и поперечном его нагружении; универсальность, т.е. возможность изготовления образцов для различных схем нагружения из однотипных элементов со швами, вырезанными из одного сварного соединения; компактность, простота изготовления и испытания; возможность изготавливать образцы из реальных сварных конструкций; возможность регистрации диаграммы деформирования шва.

С целью проверки влияния конструкций образцов на механические характеристики швов были изготовлены образцы для испытания угловых швов нахлесточных соединений при продольном и поперечном нагружении. Образцы изготавливали в соответствии со стандартом США. Материал - ВСтЗ, толщина пластин $S_n = S_o = 11$ мм, сварка в CO_2 , проволокой СвОБГЭС $\phi 1,2$ мм, катет шва $K_w = 6,5-7$ мм, коэффициент проплавления $\beta = 0,8$.

Из обоих типов образцов вырезали элементы со швами, длина которых составляла 35 мм (согласно стандарту США) и испытывали при поперечном приложении нагрузки. В результате выяснилось, что прочность швов, вырезанных из образца, предназначенного для продольного их нагружения, на 12-18% меньше, а пластичность в 2 раза больше, чем прочность и пластичность швов, вырезанных из образца с лобовым швом. Причем, в образце с фланговыми швами, шов, который сваривали первым, обладал большей прочностью (на 10%) и пластичностью (в 2 раза), чем шов, который сваривали вторым. Механические характеристики первого и второго швов в образце с лобовыми швами, совпадали.

Отличие в механических характеристиках швов связано, вероятно, с меньшей скоростью их охлаждения в образцах с фланговыми

швами, которые имеют худшие условия теплоотвода. Кроме того, в этих образцах наложение второго шва происходит в условиях жесткого закрепления свариваемых пластин первым швом. Это приводит к раннему исчерпанию пластичности (за счет поперечной усадки) и к снижению прочности швов.

Сварка образцов на более мягких режимах (ручная дуговая сварка) привела к уменьшению различий: разница в прочности уменьшилась до 5%, в пластичности до 33%. Т.е. разные ТЦД сварки, через существующие конструкции образцов, оказывают существенное влияние на результаты испытаний.

Обычно при изготовлении стандартных образцов на концах швов образуются острые концентраторы с углом 90° между торцевой поверхностью шва и сваренными пластинами. Испытав при различных схемах нагружения фланговые швы на образцах, изготовленных в соответствии со стандартом США, и на образцах, швы которых не подвергались взаимному ТДВ (соответствовали образцам с лобовыми швами), определили, что при нагружении по схеме растяжения, разрушающее напряжение и пластичность швов соответственно на 12-17% и в 1,75-2 раза меньше, чем при нагружении по схеме сжатия. Прочность и пластичность швов, не испытывавших взаимного ТДВ в процессе сварки и взаимного влияния при нагружении оказались больше, чем в образцах стандарта США. Коэффициент перехода (отношение временного сопротивления углового шва условному срезу τ при продольном нагружении к временному сопротивлению металла шва σ_s), в зависимости от конструкции образца и схемы его нагружения изменялся от 0,62 до 0,8, что подтверждает результаты других исследователей. Одна из причин этого — концентрация напряжений на концах шва, вызывающая его разрушение по винтовой поверхности.

Основными рабочими напряжениями флангового шва являются касательные напряжения. По мере продвижения от середины к концам шва, напряжения в шве меняются с касательных на нормальные. Расстояние, на котором происходит это изменение, составляет приблизительно $0,5 K_{ш}$. Уменьшить влияние концов шва на его несущую способность можно или за счет увеличения длины испытуемого шва, или за счет уменьшения концентрации напряжений на его концах. В первом случае при увеличении длины испытуемых швов будет сильнее проявляться концентрация напряжений по длине, кроме того,

это повлечет нежелательное увеличение размеров и массы образцов. Во втором случае необходимо так оформлять концы швов, чтобы их влияние на удельную прочность шва было минимальным. Это возможно при обеспечении одинакового НДС во всех четырех катетах шва.

Минимальное различие в прочности и пластичности продольно нагруженного шва, при изменении схемы нагружения, являлось критерием выбора оптимального оформления его концов. Выкружка, представляющая фрезерование торца шва, ОШЗ и основного металла по форме шва на расстоянии $z = (0,1K_{ш} + 1) \pm 0,5$ мм от его границы (рис. 1) обеспечивала выполнение этого условия.

Прямолинейные продольно нагруженные швы всегда обладают концентрацией напряжений по длине. Для анализа вариантов оформления концов швов испытывали образцы с кольцевыми швами, пластичность которых была принята как эталонная. Было установлено, что прочность угловых швов не зависит от оформления их концов (разброс — 3%). Пластичность, наиболее близкая к эталонной, была получена на образцах, концы швов которых оформляли выкружками.

Было установлено, что при оформлении концов прямолинейных швов выкружками, изменение схемы нагружения с продольного растяжения на продольное сжатие не оказывает влияния на регистрируемую прочность и пластичность швов. Для выполнения условий, предъявляемых к образцам, была принята в качестве схемы нагружения флангового шва схема сжатия. Снижение концентрации напряжений на концах шва объясняется тем, что уменьшение длины шва относительно длины образца за счет фрезерования выкружки увеличивает относительную жесткость пластин и позволяет перераспределить часть силового потока с нагруженного катета на ненагруженный.

Испытания лобовых угловых швов нахлесточных соединений по 4-м схемам нагружения (2 — схемы сжатия, 2 — растяжения) позволили определить наиболее опасные схемы. Минимальная прочность шва получена при поперечном сжатии (на 30% меньше, чем при растяжении), минимальная пластичность — при растяжении (в 2 раза меньше, чем при сжатии).

В ряде случаев из-за некачественной сборки между свариваемыми элементами появляется зазор. Была поставлена задача определения влияния зазора на регистрируемые значения прочности и пластичности швов и на процесс разрушения шва. Изготовив и испытав

образцы с зазорами I мм (20-25% катета шва) между сваренными пластинами, получили повышение минимальной прочности и пластичности швов по сравнению с результатами, полученными на образцах, сваренных без зазора.

При испытании лобовых швов ($\sigma_{\text{ш}} = \sigma_{\text{сбр}}$) наблюдался заметный изгиб накладок, вызывавший в корне шва значительные нормальные напряжения сжатия — при растяжении образца, напряжения растяжения — при сжатии образца. Это в первом случае увеличивало прочность шва, во втором — уменьшало.

Увеличив жесткость сваренных элементов, исключив возможность сближения или отхода накладки относительно основной пластины, определили, что в этом случае прочность шва, при изменении схемы нагружения с растяжения на сжатие, не меняется. При этом, полученное значение прочности занимает промежуточное положение между значениями прочности швов, полученных при тех же схемах нагружения и возможности свободного перемещения сваренных пластин друг относительно друга во время деформации шва.

В связи с этим был сделан вывод о недопущении любого внешнего воздействия (кроме действующей нагрузки) на испытываемые образцы для получения экстремальной прочности и пластичности швов. При этом необходимо увеличивать относительную жесткость элементов образцов для исключения их деформации.

На основании проведенных исследований рекомендовано: угловые швы нахлесточных соединений испытывать по трем схемам нагружения (продольное сжатие, поперечное сжатие и растяжение) угловые швы тавровых соединений — по двум схемам (продольное сжатие и поперечное растяжение). Образцы, реализующие эти схемы, показаны на рис. I.

В главе 3 приведены результаты анализа напряженно-деформированного состояния предлагаемых конструкций образцов (рис. I).

Поскольку одним из наиболее распространенных предельных состояний при эксплуатации конструкций в условиях статического нагружения является наступление текучести, условия эксплуатации сварных конструкций также не допускают значительного пластического деформирования соединяемых элементов. Для получения механических свойств шва и ОШЗ, элементы образцов должны работать как часть испытательной машины, т.е. упруго. В этом случае НДС углового шва при испытании будет подобно НДС, возникающему в шве при эксплуатации соединений, а диаграммы деформирования образца фак-

тически (за вычетом упругой составляющей) будут являться диаграммы деформирования шва.

Исключить пластическое деформирование образцов можно выбором соотношений их размеров в зависимости от величины катета и толщины соединяемых элементов. Критерием правильного выбора соотношений, одновременно для образцов с поперечно и продольно нагруженными швами, являлось выполнение следующих условий: неомытие опорных поверхностей образцов (местное смятие допускается); отсутствие пластического изгиба соединяемых элементов; не разрушение образцов по вспомогательным швам.

Во всех случаях длину шва ($\ell_{ш}$) принимали равной 5 катетам ($K_{ш}$). Постоянство этого соотношения обеспечивает подобие НДС при испытании швов различных размеров. Увеличение длины шва нецелесообразно. Размеры образцов определяли при действии максимального растягивающего усилия $P_{пр}$, которое может воспринять наиболее тонкий из свариваемых элементов (накладка или основная пластина) без возникновения в нем пластических деформаций:

$$P_{пр} \leq S_{min} \cdot \ell \cdot \sigma_T,$$

где S_{min} — минимальная из S_0 и S_n толщина; ℓ — длина элемента передающего нагрузку, равная длине шва; σ_T — предел текучести основного металла.

Для подбора соотношений размеров образцов провели серию испытаний угловых швов нахлесточных соединений по рекомендуемым схемам нагружения. Варьировали длиной образца ($\ell_{обр}$), шириной пластин (B и b), катетом ($K_{ш}$), размерами соединительных швов (K^*), соотношением прочности основного и присадочного металлов. Результаты экспериментов позволили определить соотношения размеров образцов: $\ell_{ш} = 5K_{ш}$, $\ell = 10K_{ш}$, $b = 9K_{ш}$, $B = 13,5K_{ш}$, $K^* = 0,5K_{ш}$, $b^* = 7K_{ш}$, $\ell_f = 2,5K_{ш}$. Они удовлетворяют требованиям, предъявляемым к образцам, испытываемым по всем трем схемам нагружения (поперечное сжатие и растяжение, продольное сжатие). Данные соотношения также удовлетворяют ГОСТ 6996-66, который устанавливает для стыковых сварных соединений требуемые соотношения между толщиной (S) и шириной (b) свариваемых пластин образцов.

Были проведены расчеты НДС образцов в процессе нагружения для случаев полностью упругого деформирования элементов образцов и швов, а также для случаев нагружения образцов предельной нагрузкой ($P_{пр}$). Расчеты проводили методом конечных элементов

с помощью программного комплекса В.В. Аладинского. Соотношения размеров образцов соответствовали максимально возможному катету шва для принятой в расчета толщины пластины. Результаты решения показали, что ни при одной схеме нагружения (поперечное сжатие, поперечное растяжение, продольное сжатие) вне зоны шва и ОШЗ (примерно $0,3-0,5 K_{ш}$) не наблюдались пластические деформации элементов образца, превышающие $0,2\%$. Можно говорить об упругом поведении соединяемых элементов образцов во время испытаний и выполнении вышеуказанных условий.

При определении соотношений размеров образцов тавровых соединений как с односторонними, так и с двухсторонними швами при их продольном и поперечном нагружении, получили соотношения, аналогичные нахлесточным соединениям.

При испытании для разрушения швов может потребоваться усилие, превышающее $P_{нр}$, по которому определяются соотношения размеров образцов. В этом случае элементы образцов могут пластически деформироваться, что говорит о равнопрочности испытуемого шва сваренным элементам на их длине, равной длине шва.

В главе 4 проводили оценку работоспособности предлагаемых образцов. По выведенным соотношениям изготавливали образцы для испытания швов нахлесточных и тавровых сварных соединений при поперечном и продольном нагружении. Материал образцов - ВСт3. Толщина свариваемых элементов II-II мм. Сварка "в лодочку" механизированным способом в среде CO_2 проволокой Св08Г2С, $\phi=1,2$ мм на режиме: $U = 23$ В, $I = 140$ А.

Исследовали поведение образцов, изготовленных из элементов нахлесточных соединений с умеренными катетами швов, равными 7 мм ($0,6 \cdot S$), коэффициент проплавления $\beta = 0,8$ при $T' = 20^\circ C$ и $T' = -40^\circ C$. Лобовые швы испытывали по двум предложенным схемам нагружения - поперечное сжатие и растяжение. Прочность швов при их сжатии составила 510 МПа, что на 38% меньше, чем при растяжении, а пластичность швов больше на 45% и составила 13,5%. Фланговые швы, наряду с испытанием по предложенной схеме сжатия образца, испытывали также по схеме растяжения, для сравнения значений механических характеристик швов. Установили, что прочность и пластичность швов от схемы нагружения образца практически не зависят (незначительное повышение прочности при сжатии не превосходило (5%) и равны 461 МПа и 35% соответственно. Коэффициент перехода при этом равнялся: при испытании образца сжатием - 0,75, растя-

жением - 0,72, различие составило - 0,03, что на 14% меньше различия, полученного для образцов стандарта США и на 9% - для образцов с острыми концентраторами на концах шва, при тех же схемах нагружения. Материалы и технология сварки во всех трех сериях испытаний были одинаковы. Прочность, полученная при поперечном растяжении была в 1,5 раза больше, а пластичность в 4 раза меньше, чем прочность и пластичность флангового шва. Испытания при пониженных температурах показали снижение пластичности как поперечно, так и продольно нагруженных швов на 45-50% при неизменном уровне прочности. Разрушение продольно нагружаемых швов происходило по плоскости с минимальной прочностью, а не по винтообразной поверхности, как в стандартных образцах. Пластические деформации элементов образцов, разрушение вспомогательных швов отсутствовали, т.е. выполнялись условия, предъявляемые к конструкциям образцов.

Испытав угловые швы предельных размеров ($S_0 = S_n = K_n = 11$ мм) установили, что шов обладает минимальной прочностью при действии поперечной сжимающей силы, а не при продольном его нагружении. Это подтверждает вывод о том, что для определения минимальной прочности швов необходимо испытывать угловой шов, как минимум, по двум схемам нагружения - поперечным и продольным сжатием. Швы в этих образцах сваривали за три прохода на тех же режимах, что и однопроходные. Минимальное разрушающее напряжение шва $\sigma = 415$ МПа, предел прочности металла шва $\sigma_b = 491$ МПа. Коэффициент перехода в этом случае составил 0,85, что значительно больше, чем при однопроходной сварке.

Подобрав марку присадочной проволоки, достигли эффект разрушения углового шва по ОШЗ независимо от схемы нагружения.

Испытания угловых швов тавровых соединений показали, что при продольном нагружении шва в случаях, когда площадь минимального сечения швов в 1,5 раза превышала площадь сваренных пластин на длине, равной длине шва, наблюдалась незначительная пластическая деформация образца. При равенстве площадей условия, предъявляемые к образцам, выполнялись. При поперечном нагружении швов крестовых и тавровых соединений (испытание на отрыв) в случае превышения в 1,5 раза площади шва над площадью сваренных пластин на длине, равной длине шва, деформации образцов и разрушения вспомогательных швов отсутствовали.

Сконструировано приспособление, позволяющее испытывать уг-

ловые швы нахлесточных соединений на продольное и поперечное сжатие. Диапазон толщин испытываемых соединений от 5+5 мм до 20+20 мм. В качестве образца, т.е. нагружаемого элемента, для испытания используется один из двух элементов, составляющих рекомендуемые конструкции образцов. асимметричность образца компенсируется жесткостью приспособления, воспринимающего возникающие моменты. Результаты испытаний швов на приспособлении совпали с результатами, полученными на предлагаемых образцах.

В качестве примера использования диаграмм деформирования шва, полученных на рекомендуемых образцах, предложена модель определения несущей способности нахлесточного соединения с угловыми швами, основанная на расчетной модели, разработанной С.А. Даниловым. Модель позволяет получать количественную оценку несущей способности сварных соединений с угловыми швами с учетом реального пластического деформирования шва и ОШЗ в сварном соединении. Проведенный расчет показал незначительное снижение удельной прочности шва при увеличении его длины (при $100K_u$ на 18%, при $160K_u$ на 50%), в отличие от расчета по упругой модели (снижение соответственно в 12 и 40 раз).

Изготовление образцов на Экспериментально-опытном заводе МГТУ им. Н.Э. Баумана показало, что предлагаемые конструкции образцов для определения прочности швов нахлесточных соединений при поперечном и продольном их нагружении имеют на 20% меньшую себестоимость изготовления и на 80% меньшую материалоемкость, чем образцы стандарта США, выполняющие аналогичные функции.

При расчете сварных соединений, в качестве допускаемого напряжения (расчетного сопротивления), используется прочность шва при его продольном нагружении. Она определяется статистической обработкой совокупности значений экспериментально полученной прочности швов с заданной вероятностью неразрушимости. На рис. 2 показаны гистограммы и кривые нормального распределения прочности швов ($K_u = 6,5-7$ мм), полученных на различных типах образцов, при различных схемах их нагружения. На рис. 2а представлены данные, полученные при сжатии и растяжении образцов стандарта США, предназначенных для испытания фланговых швов, образцов с острыми концентраторами на концах шва, образцов предложенных конструкций и образцов без концентраторов на концах шва ($\ell_u = \ell_{\sigma p}$), испытанных по схеме сжатия (стандарт Румынии). На рис.

26 приведены результаты обработки испытаний образцов предложенной конструкции. Несовершенство существующих конструкций образцов объясняет значительный разброс результатов испытаний (см. рис. 2а), что вызывает необходимость принимать в качестве расчетных сопротивлений заниженные значения прочности швов.

Предлагаемые образцы позволяют получать меньший разброс пределов прочности швов (см. рис. 2б), т.е. повысить расчетные сопротивления при той же вероятности неразрушимости за счет уменьшения влияния конструкции образцов на результаты испытаний. В рассмотренном случае это повышение составило 8% при $\rho = 0,95$, что при том же коэффициенте запаса позволяет снизить объем наплавленного металла на 15%.

Учитывая, что экономия электродного металла на 1% в масштабах страны дает экономию 1,5 млн. руб., использование получаемых на рекомендуемых образцах механических характеристик угловых швов позволяет значительно уменьшить затраты материальных, энергетических и трудовых ресурсов.

Был создан проект руководящего документа, который является первым в нашей стране нормативным документом по испытаниям угловых швов нахлесточных и тавровых соединений при статическом нагружении. Использование РД позволит получать количественные значения прочности и пластичности угловых швов в зависимости от вектора нагрузки в виде диаграммы деформирования шва.

Новизна способа определения механических характеристик швов, используемого в РД, подтверждена положительным решением по заявке 4316264/25-27 СССР, МКИ⁴ ВЗЗК 28/00, 6 ОI N I/28 Способ сравнительных механических испытаний сварных лобовых и флажковых односторонних нахлесточных соединений /В.В. Аладинский, А.В. Васильев, В.А. Винокуров, А.С. Куркин (СССР). Заявлено 15.10.87.

Основные результаты и выводы

1. Для достоверного определения несущей способности сложных сварных соединений с угловыми швами при статическом нагружении необходимо располагать значениями прочности и пластичности швов при различных схемах нагружения. Механические характеристики угловых швов, регистрируемые при испытании существующих образцов, в значительной мере зависят от конструкции образца, что является серьезным недостатком и приводит к неадекватной оценке работоспособности соединений.

2. Для оценки механических свойств угловых швов нахлесточные соединения необходимо испытывать при поперечном сжатии (минимальная прочность на отрыв) и растяжении (минимальная пластичность), а также при продольном сжатии для определения прочности и пластичности швов на срез. Тавровые и крестовые соединения необходимо испытывать на растяжение поперек швов и сжатие вдоль швов. Элементы должны свариваться без зазора.

3. Конструктивное оформление начальных и конечных участков фланговых швов оказывает значительное влияние на регистрируемые механические свойства. Наличие специальных фрезеруемых выкружек приводит к выравниванию НДС по длине флангового шва и уменьшает влияние концевых участков на результаты испытаний.

4. На основании проведенных испытаний и расчетов НДС разработанных образцов определены соотношения их размеров: $\ell_w = 5K_w$, $\ell = 9K_w$, $B = 13,5K_w$, $K^* = 0,5K_w$, $\ell_g = 2,5K_w$. Испытания образцов, изготовленных по этим соотношениям, при температурах от 233 до 293°K, с катетами 0,4–1,4 толщины пластин, при соотношениях прочности шва и основного металла от 0,7 до 1,5 не сопровождались пластическим изгибом соединяемых элементов, смятием опорных поверхностей, разрушением или повреждением вспомогательных швов.

В результате испытаний регистрируется прочность и пластичность именно швов и ОНЗ, а не сварного соединения, что дает возможность использования этих результатов для количественной оценки несущей способности сварных узлов и соединений.

5. Испытание угловых швов нахлесточных соединений катетом 4,5–11 мм показали уменьшение прочности на 37% и увеличение пластичности на 60% при переходе от поперечного сжатия к поперечному растяжению. Прочность, полученная при поперечном растяжении в 1,5 раза больше, а пластичность в 4 раза меньше, чем прочность и пластичность флангового шва.

При понижении температуры испытаний с 293 до 233°K пластичность швов уменьшается на 40% без заметного изменения прочности.

Увеличение катета лобового шва приводит к уменьшению его прочности и пластичности, а также к уменьшению различий в механических свойствах для сжатия и растяжения.

Прочность швов в двухсторонних тавровых и крестовых соединениях не зависит от вектора нагрузки и не превышает прочность фланговых швов.

Увеличение катета флангового шва приводит к некоторому (10-20%) снижению разрушающих напряжений и значительному (до 2 раз) увеличению пластичности шва.

6. Предложен подход к разработке уточненных инженерных методов расчета сварных соединений с угловыми швами на статическую прочность, основанный на предположении об упругом поведении соединяемых элементов и использующий получаемые на образцах реальные диаграммы деформирования швов, учитывающие геометрию шва, его структурное состояние, сформированное при заданной технологии изготовления, возможную дефектность, вектор нагрузки и т.д.

7. Использование разработанных образцов позволяет уменьшать погрешности в определении механических характеристик угловых швов при различном направлении их нагружения. Это дает основание обоснованно назначать допускаемые напряжения при расчетах сварных соединений. Разработанные образцы имеют меньшую себестоимость изготовления (на 20%) и материалоемкость (на 80%), чем образцы стандарта США, при расчете на катет 6 мм.

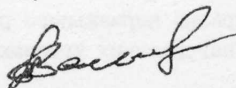
8. Разработан проект руководящего документа "Конструкции сварные из углеродистых и низколегированных сталей. Метод определения механических свойств сварных угловых швов при статическом нагружении", вторая редакция которого передана в ряд организаций Минэнергомаш и Минстанкопром.

Основное содержание диссертации отражено в работах:

1. Васильев А.В., Винокуров В.А., Куркин А.С. Прочность и пластичность фланговых швов в условиях равномерного по длине шва приложения нагрузки // Изв. ВУЗов. Машиностроение. - 1989. - № 1. - С. 113-118.

2. Васильев А.В., Винокуров В.А., Куркин А.С. Исследование различных схем нагружения угловых швов // Изв. ВУЗов. Машиностроение. - 1989. - № 6. - С. 80-83.

3. Васильев А.В., Аладинский В.В. Расчетно-экспериментальная модель определения несущей способности сварных нахлесточных соединений с угловыми швами // Деп.рук. ВИНТИ. - 1989. - № 401-мп 88. - 10 с.



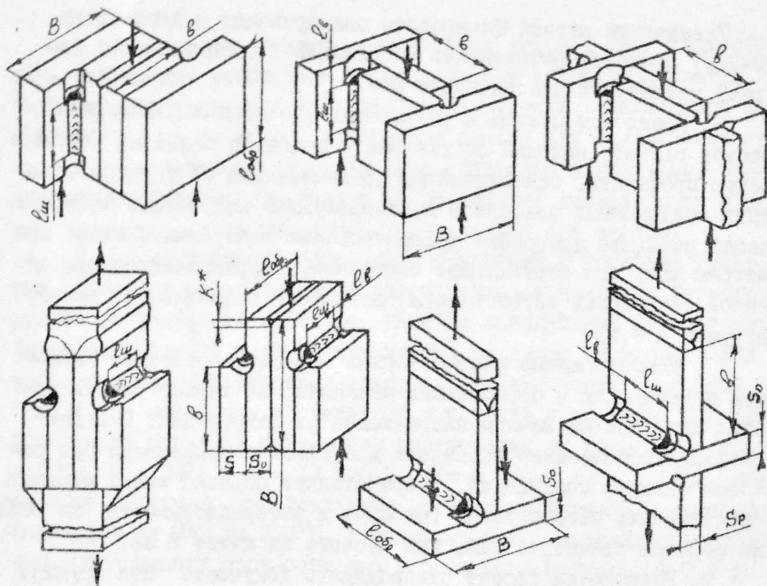


Рис. 1 Рекомендуемые конструкции образцов

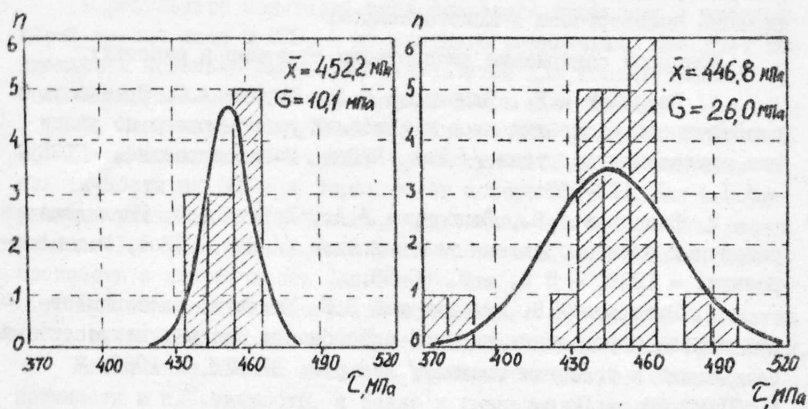


Рис. 2 Гистограммы и кривые нормального распределения прочности продольно нагруженных угловых швов