

*Министерство образования Российской Федерации
Владимирский государственный университет
Кафедра строительных конструкций и архитектуры*

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ТЕХНОЛОГИЯ МЕТАЛЛОВ
И СВАРКИ»

М.В. ПОПОВА
С.Н. АВДЕЕВ

Составители:
Ю.А. КОВАЛЬ

Владимир 2002

Владимирский государственный университет

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ТЕХНОЛОГИЯ МЕТАЛЛОВ
И СВАРКИ»**

Владимир 2002

УДК 621.79

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент
Владимирского государственного университета
Е.А. Смирнов

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Владимирского государственного университета

Методические указания к лабораторным работам по дисциплине
«Технология металлов и сварки» / Владим. гос. ун-т; Сост.: Ю.А. Коваль,
М.В. Попова, С.Н. Авдеев. Владимир, 2002. 32 с.

Содержат общие сведения о видах и способах сварных соединений, новых сварочных материалах, оборудовании, положения о технологии выполнения сварочных работ, основные методы расчета сварных соединений, указания по контролю качества и устранению дефектов сварных швов.

Разработаны в соответствии с программой курса «Технология металлов и сварки». Предназначены для студентов дневной формы обучения специальности 290300 – промышленное и гражданское строительство.

Табл. 5. Ил. 16. Библиогр.: 7 назв.

УДК 621.79

*МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ТЕХНОЛОГИЯ МЕТАЛЛОВ И СВАРКИ»*

Составители:
КОВАЛЬ Юрий Андреевич
ПОПОВА Марина Владиславовна
АВДЕЕВ Сергей Николаевич

Ответственный за выпуск – зав. кафедрой профессор В.Ю. Щуко

Редактор Е.А. Амирсейидова
Корректор И.А. Арефьева

ЛР № 020275. Подписано в печать 12.06.02.

Формат 60x84 / 16. Бумага для множит. техники. Гарнитура Таймс.
Печать офсетная. Усл. печ. л.1,86. Уч.-изд. л. 1,95. Тираж 100 экз.

Заказ

Редакционно-издательский комплекс
Владимирского государственного университета.
600000, г. Владимир, ул. Горького, 87.

1. ВИДЫ И СПОСОБЫ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

1.1. Понятие о сварке и ее сущность

Сваркой называется процесс получения неразъемных соединений посредством установления межатомных связей между соединяемыми частями при их нагревании и пластическом деформировании.

Разъемные соединения – болтовое, винтовое и др., которые можно разбирать и снова собирать без повреждения собранных частей. *Неразъемные соединения* – заклепочное, клееное, паяное и сварное – нельзя разбирать без повреждения собранных частей.

Достоинства сварных соединений способствуют широкому применению их в конструкциях разного назначения. Использование сварки позволяет экономить материалы и время при производстве конструкций. При этом существуют большие возможности механизации и автоматизации производства, создаются предпосылки для повышения производительности, улучшаются условия труда работающих.

Для получения сварного соединения совершенно недостаточно простого соприкосновения поверхностей соединяемых деталей. Межатомные связи могут установиться только тогда, когда соединяемые атомы получают некоторую дополнительную энергию, необходимую для преодоления существующего между ними определенного энергетического барьера. При этом атомы достигают состояния равновесия в действии сил напряжения и отталкивания. Эту энергию называют *энергией активации*. При сварке ее вводят извне путем нагрева (*термическая активация*) или пластического деформирования (*механическая активация*).

Сближение свариваемых частей и приближение энергии активации – необходимые условия для образования неразъемных сварных соединений.

В зависимости от вида активации при выполнении соединений различают два вида сварки: *плавлением* и *давлением*. При сварке плавлением детали по соединяемым кромкам оплавливают под действием источника на-

грева. Оплавленные поверхности кромок покрываются расплавленным металлом, который, сливаясь в общий объем, образует жидкую сварочную ванну. При охлаждении сварочной ванны жидкий металл затвердевает и образует сварочный шов. Шов может быть образован за счет расплавления металла свариваемых кромок или за счет их и дополнительного введения в сварочную ванну расплавляемой присадки.

Сущность *сварки давлением* состоит в непрерывном или прерывистом совместном пластическом деформировании материала по кромкам свариваемых деталей. Благодаря пластической деформации и течению металла облегчается установление межатомных связей соединяемых частей.

1.2. Классификация видов сварки

В настоящее время различают более 150 видов сварочных процессов. Согласно ГОСТу устанавливают классификацию сварочных процессов по основным физическим, техническим и технологическим признакам.

По *физическим* признакам все виды сварки относят к одному из трех классов: термическому, термомеханическому и механическому.

К термическому классу относят все виды сварки, осуществляемые с использованием тепловой энергии, – газовую, дуговую, электрошлаковую, электронно-лучевую, лазерную и др.

К термомеханическому классу относят все виды сварки, осуществляемые с использованием тепловой энергии и давления, – контактную, диффузионную, газо- и дугопрессовую, кузнечную и др.

К механическому классу относят все виды сварки давлением, осуществляемые с использованием механической энергии, – холодную, трением, ультразвуковую, взрывом и др.

К *техническим* признакам классификации сварочных процессов относят способы защиты металла в зоне сварки, непрерывность процесса и степень его.

Технологические признаки классификации устанавливают для каждого вида сварки отдельно. Например, вид дуговой сварки может быть классифицирован по следующим признакам: виду электрода, характеру защиты, уровню автоматизации.

Дуговая сварка представляет собой сварку плавлением, где нагрев осуществляется электрической дугой (рис. 1.1).

Электрошлаковая сварка – это также сварка плавлением, но для нагрева металла используется теплота, которую дает электрический ток, проходящий через расплавленный электропроводный шлак (рис. 1.2).

Электронно-лучевая сварка использует энергию электронного луча, который бомбардирует зону сварки направленным электронным потоком.

В *газовой сварке* источником тепла является высокотемпературное пламя, образующееся при сжигании смеси ацетилена и кислорода (рис. 1.3).

1.3. Сварные соединения и швы

Сварное соединение – это неразъемное соединение нескольких деталей, выполненное сваркой.

Конструктивный тип сварного соединения определяется взаиморасположением свариваемых частей. При сварке плавлением различают следующие типы сварных соединений: стыковое, угловое, тавровое, нахлесточное и торцевое.

Стыковое соединение – это соединение двух деталей торцевыми поверхностями, которые могут различаться по толщине (рис. 1.4, а). Оно наиболее распространено в сварных конструкциях, поскольку имеет ряд преимуществ перед другими видами соединений.

Стыковой шов определяется следующими размерами: шириной e , выпуклостью q , глубиной провара h , зазором b ; угловой – катетом k (k_1 и k_2 – для швов с различными размерами), вогнутостью, выпуклостью (рис. 1.4, б). Стыковые швы применяют для выполнения стыковых и торцевых соединений. Угловые швы применяют в тавровых, угловых и нахлесточных соединениях.

Угловое соединение представляет собой сварное соединение двух элементов, расположенных под углом друг к другу и сваренных в месте приложения их кромок (рис. 1.4, в).

Тавровое соединение – это соединение, в котором к боковой поверхности одного элемента примыкает под углом и приварен торцом другой элемент (рис. 1.4, г).

Нахлесточное соединение представляет собой сварное соединение, в котором соединяемые элементы расположены параллельно и частично перекрывают друг друга (рис. 1.4, д).

Рис. 1.1. Дуговая сварка: 1 – соединяемые детали; 2 – дуга; 3 – электрод; 4 – сварочная ванна

Рис. 1.2. Электрошлаковая сварка: 1 – электрод; 2 – электропроводный шлак; 3 – перегородки, формирующие шов; 4 – металл; 5 – образуемый шов; 6 – сварная ванна

Рис. 1.3. Газовая сварка: 1 – соединяемые детали; 2 – сварочная ванна; 3 – присадочный пруток; 4 – горелка; 5 – газовое пламя

Торцовое соединение – это соединение, в котором боковые поверхности элементов примыкают друг к другу (рис. 1.4, е).

Сварной шов представляет собой участок сварного соединения, образовавшегося в результате кристаллизации расплавленного металла сварочной ванны.

Рис. 1.4. Типы сварных соединений

Сварочная ванна – это часть металла сварного шва, находящаяся в момент сварки в расплавленном состоянии.

Согласно ГОСТу швы подразделяют по положению их выполнения: в лодочку Л, нижнее Н, полугоризонтальные Пг, горизонтальные Г, полувертикальные Пв, вертикальные В, полупотолочные Пп, потолочные П (рис. 1.5).

По форме наружной поверхности стыковые швы могут быть выпуклыми или, реже, плоскими; угловые швы могут выполняться вогнутыми или выпуклыми. Сварные соединения с выпуклыми швами лучше работают на статическую нагрузку, чем соединения с вогнутыми швами. Однако выпуклые швы неэкономичны (рис. 1.6).

По направлению действующих усилий швы подразделяют на *фланговые* (продольные, боковые), оси которых параллельны направлению усилия, *лобовые* (поперечные), *комбинированные* и *косые* (рис. 1.7).

Рис. 1.5. Основные положения сварки и их обозначение

Рис. 1.6. Формы сварных швов: а – стандартный; б – выпуклый; в – вогнутый

Рис. 1.7. Классификация сварных швов по направлению действующих усилий

По протяженности различают швы *сплошные* и *прерывистые* (цепные или шахматные, рис. 1.8).

Рис. 1.8. Классификация сварных швов по протяженности

По условиям работы швы подразделяют на *рабочие* и *связующие* (нерабочие, соединительные).

По технологии выполнения швы подразделяют по поперечному сечению на однопроходные, многопроходные и многослойные, по длине шва – на проход, взброс разными способами и др.

2. СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ

2.1. Сварочные материалы

Сварочными называют материалы, обеспечивающие возможность протекания сварочных процессов и получение качественных сварных соединений. К ним относят: покрытые электроды, присадочные металлы, флюсы, защитные газы и некоторые другие.

Для сварки необходимо применять преимущественно присадочные материалы, выпускаемые по специализированным стандартам или техническим условиям. Промышленность выпускает присадочные материалы для сварки сталей, чугуна, алюминия, меди, титана и их сплавов.

Присадочные материалы для сварки и наплавки сталей подразделяются на три группы: низкоуглеродистые, легированные с содержанием легирующих элементов 2,5 – 10,0 %, высоколегированные с содержанием легирующих элементов более 10 %. Химический состав некоторых проволок приведен в табл. 2.1.

Таблица 2.1

*Химический состав (%) некоторых марок
стальной сварочной проволоки ГОСТ 2246-70*

Проволока	Углерод	Кремний	Марганец	Хром	Никель
Низкоуглеродистая Св-08	0,10		0,35 – 0,60	0,15	0,30
Св-08А				0,12	
Св-08ГА			0,80 – 1,10		
Св-10Г2	0,12		1,50 – 1,90	0,20	0,30
Легированная Св-08ГС	0,10	0,60 – 0,08	1,40 – 1,70	0,20	0,25
Св-08Г2С	0,10	0,70 – 0,95	1,80 – 2,10		0,25
Св-18ХГС	0,15 – 0,22	0,90 – 1,20	0,80 – 1,20	0,80 – 1,10	0,30
Высоколегированная Св-12Х13	0,09 – 0,14	0,30 – 0,70	0,30 – 0,70	12,00–14,00	0,60
Св-06Х19Н9Т	0,08	0,40 – 1,00	1,00 – 2,00	18,00–20,00	8,00 – 10,00
Св-07Х19Н10Б	0,05 – 0,09	0,70	1,50 – 2,00	18,00–20,00	9,00 – 10,00

Условные обозначения марок сварочной проволоки состоят из индекса С (сварочная) и следующих за ним цифр и букв. Цифры после индекса обозначают содержание углерода в сотых долях процента. Последующие буквы указывают на содержание в проволоке легирующих эле-

ментов, обозначаемых: алюминий – Ю, азот – А, бор – Р, ванадий – Ф, вольфрам – В, кремний – С, марганец – Г, медь – Д, молибден – М, никель – Н, титан – Т, хром – Х и др. Цифры после букв указывают среднее содержание элемента в процентах (отсутствие цифры означает содержание данного элемента менее 1 %). Буква А в конце обозначений низкоуглеродистых и легированных проволок указывает на повышенную чистоту металла по содержанию серы и фосфора.

Проволоку различают также по назначению: для сварки (наплавки) и для изготовления электродов (условное обозначение – Э).

Стальную сварочную проволоку по ГОСТу выпускают следующих диаметров (мм): 0,3; 0,5; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0 и 12,0.

Электроды для дуговой сварки сталей применяются плавящиеся металлические в виде стержней длиной до 450 мм из сварочной проволоки с нанесенным на них слоем покрытия, обеспечивающим устойчивое горение дуги, защиту от вредного воздействия воздуха и металлургическую обработку сварочной ванны.

В покрытия входят следующие компоненты:

газообразующие – неорганические и органические вещества;

ионизирующие, или стабилизирующие, – различные соединения, в состав которых входят калий, натрий, кальций и др;

шлакообразующие – составляющие основу покрытия, обычно руды (марганец, титановые), минералы;

легирующие элементы и элементы-раскислители – кремний, марганец, титан и др., используемые в виде сплавов. Эти элементы образуют с железом так называемые ферросплавы;

связующие компоненты – водные растворы силикатов натрия и калия, называемые жидким стеклом.

Электроды, выпускаемые отечественной промышленностью, условно можно разделить на следующие группы: электроды общего назначения (универсальные) для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей; электроды специального назначения для сварки сталей повышенной и высокой прочности и электроды для сварки легированных теплоустойчивых сталей (табл. 2.2).

Характеристики покрытых электродов

Марка электрода	Тип электрода	Механические характеристики			Технологические характеристики	
		$\delta_{в}$, МПа	$\delta_{т}$, МПа	$\alpha_{н}$, кДж/м ²	$\alpha_{к}$, г/(А·с)	Род тока
ОММ-5	Э42-Р	490	363	980	$2,0 \cdot 10^{-3}$	Переменный и постоянный
АНО-6	Э42-Т	440	323	1370	$2,4 \cdot 10^{-3}$	То же
ОЗС-2	Э42АОФ	450	372	1760	$2,4 \cdot 10^{-3}$	Постоянный
АТО-3	Э46-Т	490	372	1470	$2,4 \cdot 10^{-3}$	Переменный и постоянный
АНО-4	Э46-Т	490	362	1470	$2,0 \cdot 10^{-3}$	То же
ОЗС-4	Э46-Т	490	382	1175	$2,4 \cdot 10^{-3}$	«
МР-3	Э46-Т	490	372	1470	$2,2 \cdot 10^{-3}$	Постоянный
УОНИ-13/5	Э42А-Ф	450	353	2160	$2,4 \cdot 10^{-3}$	То же
УОНИ-13/55	Э50-Ф	510	412	1960	$2,6 \cdot 10^{-3}$	«
АНО-1	Э42-Т	460	343	1370	$4,2 \cdot 10^{-3}$	Переменный и постоянный
АНО-5	Э42-Т	450	372	1270	$4,2 \cdot 10^{-3}$	То же
ОЗС-3	Э42-Т	470	392	1180	$3,0 \cdot 10^{-3}$	« «

Электроды общего назначения – это наиболее многочисленная группа элементов, которая применяется в различных областях промышленности и строительства для получения наплавленного металла с пределом прочности от 34 до 55 кг/мм² (1 кг/мм² = 10 МПа) и включает в себя электроды типов Э34, Э42, Э42А, Э46, Э46А, Э50, Э50А, Э55 и др. Этими электродами можно сваривать все углеродистые конструкционные стали обыкновенного качества – кипящие, полуспокойные и спокойные, различных видов выплавки (конвертерная, мартеновская, бессемеровская), а также большую группу низколегированных сталей – 0,9Г2С, 10Г2С, 14Г2, 15ГС, 10Г2СД, 10ХСНД, 15ХСНД и др.

Электроды специального назначения применяют в тех случаях, когда к металлу швов предъявляются повышенные требования по механическим

свойствам и стойкости против образования трещин. Они обеспечивают наплавленный металл исключительно высокого качества, чистый, плотный, достаточной прочности в сочетании с высокой пластичностью и особенно ударной вязкостью, высокую экономическую эффективность, высокую стабильность дуги и легкость ее возбуждения, незначительные потери на разбрызгивание металла, хороший внешний вид швов.

Для сварки сталей повышенной и высокой прочности применяются электроды с покрытиями органического типа (на базе целлюлозы), которые отличаются повышенной влагопоглощаемостью. Эти электроды предназначены специально для сварки трубопроводов, работающих при температурах до $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Однако особенностью их является то, что даже при большом содержании влаги в покрытии электродов их технологические свойства практически не изменяются и наплавленный металл вполне отвечает требованиям, предъявляемым ГОСТом. Эти электроды не требуют просушки перед сваркой даже при повышенном влагосодержании покрытия.

2.2. Сварочные трансформаторы, генераторы и выпрямители

Все сварочные источники в промышленности классифицируются по ряду признаков: переменного тока - сварочные трансформаторы, генераторы повышенной частоты; постоянного тока – генераторы, выпрямители.

Сварочные трансформаторы подключаются к сети переменного тока. Их назначение – питание сварочной дуги и регулирование сварочного тока. Основные области применения – ручная сварка, автоматическая сварка под флюсом. Упрощенная электрическая схема трансформатора такова: на сердечнике из трансформаторной стали размещены первичная и вторичная обмотки. Ток из сети идет сначала через первичную обмотку, намагничивает сердечник, создавая в нем переменный магнитный поток, который, в свою очередь, индуцирует ток во вторичной обмотке.

Сварочный трансформатор ТД-500 предназначен для ручной и механизированной дуговой сварки, резки, наплавки металлов. Он представляет собой передвижной источник питания дуги, выполненный в однокорпусном исполнении с естественной вентиляцией. По способу регулирования сварочного тока он относится к трансформаторам с увеличенным магнитным рассеянием и раздвижными обмотками.

Первичная обмотка его неподвижна, а вторичная передвигается по сердечнику. Перемещением вторичной обмотки регулируется сварочный ток. В нижней части сердечника находится первичная обмотка, состоящая из двух катушек, расположенных на двух стержнях магнитопровода. Катушка первичной обмотки закреплена неподвижно.

Вторичная обмотка, также состоящая из двух катушек, расположена на значительном расстоянии от первичной. Катушки как первичной, так и вторичной обмоток соединены параллельно. Вторичная обмотка, жестко соединенная с плитой, перемещается по сердечнику с помощью винта, с которым она связана, и рукоятки, находящейся на крышке кожуха трансформатора.

Сварочный ток регулируют изменением расстояния между первичной и вторичной обмотками. При вращении рукоятки против часовой стрелки вторичная обмотка удаляется от первичной, индуктивное сопротивление и магнитный поток рассеяния растут и сварочный ток уменьшается. Ток вторичной обмотки поступает на выход.

Пределы регулирования сварочного тока 165 – 650 А.

Сварочные генераторы – это, в принципе, те же генераторы постоянного тока, которые благодаря своим специальным характеристикам могут обеспечить устойчивость горения сварочной дуги. Это достигается тем, что магнитный поток генератора изменяется в зависимости от величины сварочного тока. В сварочных генераторах напряжение питания электрической дуги осуществляется непосредственно с зажимом угольных щеток на коллекторе. Сварочные агрегаты приводятся в движение двигателями внутреннего сгорания, а в сварочных преобразователях генератор приводится в движение электродвигателем.

Сварочные выпрямители представляют собой устройства, предназначенные для преобразования переменного тока в постоянный (выпрямленный). Выпрямитель состоит из следующих основных узлов: силового трансформатора для понижения напряжения сети до необходимого напряжения холостого хода источника; блока полупроводниковых элементов для выпрямления переменного тока; стабилизирующего дросселя для уменьшения пульсаций выпрямленного тока. Выпрямительный блок представляет собой набор полупроводниковых элементов, включенных по определенной схеме. Особенность полупроводниковых элементов заключается в том, что они проводят ток только в одном направлении, в результате чего ток получается постоянный (выпрямленный).

3. РАСЧЕТ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Прочность сварных соединений зависит от:

- 1) прочности основного металла соединяемых элементов;
- 2) прочности наплавленного металла шва;
- 3) глубины провара и прочности металла границы сплавления;
- 4) формы и вида соединения и связанного с этим распределения напряжений в соединении;
- 5) характера силового воздействия на соединение;
- 6) квалификации сварщика при ручной сварке.

Прочность наплавленного металла шва определяется составом электродной проволоки, составом обмазки или флюса при механизированной сварке и технологией сварки. Рекомендации по применению сварочных материалов при дуговой сварке конструкций из сталей разных классов помещены в табл. 3.1.

Применение этих материалов при правильном технологическом процессе обеспечивает получение прочностных характеристик металла соединения не ниже характеристик основного металла, что видно из табл. 3.2.

Однако при ручной сварке качество сварного шва сильно зависит от условий сварки и квалификации сварщика, поэтому стыковой шов, работающий на растяжение, принимается равнопрочным основному металлу только в том случае, если он будет надежно проверен одним из физических методов контроля (просвечивание рентгеновскими или гамма-лучами, проверка ультразвуком) и признан годным к эксплуатации.

На стыковые швы, работающие на сжатие или срез, влияние возможных внутренних источников концентрации напряжений (газовые и шлаковые включения, поры и т.п.) оказывается меньшим и поэтому применение физических методов контроля для них не является обязательным, что позволяет принимать для таких швов расчетные сопротивления такими же, как и для основного металла.

Угловые швы (лобовые и фланговые) испытывают обычно комбинацию нагрузок осевой силы, изгиба и среза, имеют значительную концентрацию напряжений и пониженные пределы прочности. Учитывая это и данные многочисленных экспериментальных исследований, расчетные сопротивления угловых швов принимают меньшими по сравнению со стыковыми, воспринимающими осевые усилия.

Таблица 3.2

*Нормативные и расчетные сопротивления металла
швов сварных соединений с угловыми швами*

Сварочные материалы		R_{wun} , МПа (кгс/см ²)	R_{wf} , МПа (кгс/см ²)
Тип электрода (по ГОСТ 9467-75)	Марка проволоки		
Э42, Э42А Э46, Э46А Э50, Э50А	Св-08, Св-08А, Св-08ГА, Св-10ГА, Св-082С, Св-08Г2СЦ, ПП-АН8, ПП-АНЗ	410 (4200) 450 (4000) 490 (5000)	180 (1850) 200 (2050) 215 (2200)
Э60	Св-08Г2С ¹ , Св-08Г2СЦ, Св-10НМА, Св-10Г2	590 (6000)	240 (2450)
Э70	Св-10ХГ2СМА, Св-08ХН2ГМЮ	685 (7000)	280 (2850)
Э85	-	835 (8500)	340 (3450)

Примечание. 1. Только для швов с катетом $k_f < 8$ мм в конструкциях из стали с пределом текучести 440 МПа (4500 кгс/см²) и более.

3.1. Расчет стыковых сварных швов

При сварке встык сварной шов заменяет основной металл элемента в месте соединения. Поэтому сварные швы встык рассчитывают по тем же формулам, что и основное сечение, только вычисленные напряжения сравнивают не с расчетным сопротивлением основного металла R_y , а с расчетными сопротивлениями сварных швов R_{wy} (см. табл. 3.2). Чтобы сечение в месте соединения не было ослаблено, шов должен быть полным и качественным без подрезов и непроваров, с полной заваркой концов.

Расчет сварных стыковых соединений на центральное растяжение или сжатие следует производить по формуле (рис. 3.1, а)

$$N / t l_w < R_{wy} \gamma_c,$$

где N - расчетное усилие;

t - наименьшая толщина соединяемых элементов;

l_w - расчетная длина шва, равная его полной длине, уменьшенной на $2t$, или полной длине в случае вывода концов за пределы стыка;

R_{wy} - расчетное сопротивление сварного стыкового соединения сжатию или растяжению (см. табл. 3.2).

Чтобы сделать стыковой шов при меньших расчетных сопротивлениях сварного шва равнопрочным основному металлу, его можно выполнить косым (рис. 3.1, б). В этом случае напряжения в направлении:

перпендикулярном к шву

$$N \sin \alpha / l_w t < R_{wy} \gamma_c,$$

вдоль шва среза

$$N \cos \alpha / t l_{ws} < R_{wy} \gamma_c,$$

где γ_c – коэффициент условий работы из табл. 6 [1];

α - угол между швом и горизонталью.

Рис. 3.1. К расчету стыковых швов: а, б – на продольную силу; в – на изгиб

Практически такие швы выполняют с заложением $1 : 2$ ($\operatorname{tg} \alpha = 2$); в этом случае шов становится равнопрочным со стыкуемыми элементами и его не надо рассчитывать.

При действии изгибающего момента (рис. 3.1, в) напряжения в шве:

$$M / W_w = 6 M / t l_w^2 < R_{wy} \gamma_c,$$

где $W_w = W$ – момент сопротивления шва, равный моменту сопротивления соединяемых элементов.

$$W = t l_w^2 / 6.$$

При работе соединения встык на срез касательные напряжения в сварном шве:

$$\tau_w = Q S_w / J_w t < R_{wf} \gamma_c,$$

где Q – поперечная сила; S_w , J_w – момент инерции и статический момент сопротивления шва с учетом уменьшения площади их поперечного сечения; t – наименьшая из толщин соединяемых элементов.

В сварных швах встык, работающих одновременно на изгиб и срез, должны быть проверены приведенные напряжения по формуле

$$\sigma_w^{\text{пр}} = \sigma_w^2 + 3 \tau_w^2 = 1,15 R_{wf},$$

где σ_w – нормальное напряжение в шве от изгиба; $\tau_w = Q / l_w t$ – среднее касательное напряжение от поперечной силы Q , определенное из условия равномерного распределения по стыковому шву.

3.2. Расчет угловых сварных швов

Сварные соединения с угловыми швами (угловые, нахлесточные и тавровые соединения) рассчитывают по двум сечениям: по металлу шва и по металлу границы сплавления. В первом случае расчетное сопротивление R_{wf} устанавливают в зависимости от свойств применяемых сварочных материалов, во втором R_{wf} определяют по прочностным характеристикам основного металла. Выбор расчетных сопротивлений преследует цель получения равнопрочности сечений, однако в действительности одно из расчетных сечений будет неизбежно обладать меньшей прочностью. Именно это сечение и следует рассматривать при расчете угловых соединений на срез.

Угловые швы располагают в углах, образованных гранями соединяемых элементов. Высота шва k_f – это размер наименьших из его катетов (рис. 3.2).

Угловые швы могут быть фланговые и лобовые.

Фланговые угловые швы под воздействиями продольного усилия работают на срез (рис. 3.2, б). Поверхность среза располагается примерно по биссектрисе углового шва, имея расчетную высоту сварного шва (βk_f). Коэффициент β зависит от формы шва, глубины провара, способа сварки и принимается по табл. 34 [1]:

$\beta = 1$ – для однопроходной автоматической сварки;

$\beta = 0,9$ – для трехпроходной автоматической сварки;

$\beta = 0,85$ – для однопроходной полуавтоматической сварки;

$\beta = 0,8$ – для двух- и трехпроходной полуавтоматической сварки;

$\beta = 0,7$ – для многопроходной (более трех) автоматической, полуавтоматической и ручной сварки.

Рис. 3.2. Расчетные сечения угловых швов: 1 – сечение по металлу шва; 2 – то же по металлу границы сплавления; а – расчетная высота шва; б – фланговые швы; в – лобовые швы; г – угловые швы

Лобовые угловые швы воспринимают продольное усилие и рассчитываются условно на срез. В действительности эти швы находятся в сложном напряженном состоянии, работая на изгиб, растяжение (сжатие) и срез в связи с искривлением силового потока в месте соединения (рис. 3.2, в).

Сварные соединения с угловыми швами при действии продольной и поперечной сил следует рассчитывать на срез (условный) по двум сечениям:

по металлу шва (сечение 1)

$$N / (\beta_f k_f l_w) < R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c;$$

по металлу границы сплавления (сечение 2)

$$N / (\beta_z k_f l_w) < R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c,$$

где l_w – расчетная длина шва, принимаемая меньше его полной длины на 10 мм; γ_{wf} и γ_{wz} – коэффициенты условий работы шва, равные во всех случаях, кроме конструкций, возводимых в климатических районах I₁, I₂, II₂ и II₃, для которых $\gamma_{wf} = 0,85$ для металла шва с нормативным сопротивлением $R_{wmin} = 410$ МПа и $\gamma_{wz} = 0,85$ для всех сталей.

При действии изгибающего момента на прямоугольный элемент, приваренный угловыми швами к конструкции, проверку нормальных напряжений в швах производят по формулам:

по металлу шва

$$\sigma_w = M / W_f < R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c;$$

по металлу границы сплавления

$$\sigma_w = M / W_z < R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c,$$

где W_f – момент сопротивления расчетного сечения по металлу шва; W_z – то же по металлу границы сплавления.

Практически при расчете угловых швов на осевую силу удобнее пользоваться формулой, выражающей необходимую длину шва.

Длину шва при заданной толщине (βk_f) определяют:

$$l = N / (\beta k_f) R_{wf}.$$

При действии сдвигающей силы на элемент, прикрепленный угловыми швами (см. рис. 3.2, б), напряжения на поверхности среза считаются распределенными равномерно и формула проверки напряжений имеет вид:

$$\tau = Q / F_w = Q / \beta k_w l_w < R_{wf};$$

где l_w – суммарная расчетная длина сварных швов в соединении.

3.3. Расчет комбинированных сварных соединений

В комбинированном соединении различные виды швов (стыковые, угловые) работают совместно (рис. 3.3).

На рис. 3.3, а показано соединение внахлестку угловыми фланговыми или лобовыми швами. Условно считается, что напряжения в швах такого соединения распределяются равномерно по поверхности среза всех швов.

На рис. 3.3,б приведено комбинированное соединение полосы встык, усиленное накладками. При расчете такого типа стыков принимается, что напряжения по оси стыка в стыковом шве и накладках одинаковы:

$$\sigma = N / F_{\text{п}} + \Sigma F_{\text{н}} < R_{\text{р}}^{\text{св}},$$

где F – площадь соединяемой полосы; $\Sigma F_{\text{н}}$ – суммарная площадь накладок.

*Рис. 3.3. К расчету комбинированных соединений:
а – фланговые и лобовые швы; б – угловые и стыковые швы*

Усилие в накладке определяется по формуле

$$N_{\text{н}} = \sigma F_{\text{н}}.$$

На это усилие проверяют угловые фланговые швы, прикрепляющие накладку в полосе.

Кроме этого катеты сварных швов должны приниматься не менее указанных в табл. 38 [2].

4. ДЕФЕКТЫ И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

В процессе образования сварных соединений в металле шва и зоне термического влияния могут возникать различные отклонения от установленных норм и технических требований, приводящие к ухудшению работоспособности сварных конструкций, снижению их эксплуатационной надежности, ухудшению внешнего вида изделия. Такие отклонения называются *дефектами*. Дефекты сварных соединений различают по причинам возникновения и месту их расположения (внешние, внутренние). Основные внешние и внутренние дефекты сварных соединений, причины их образования и методы устранения приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Основные дефекты сварных швов и соединений

Название дефекта	Возможные причины появления	Метод исправления дефекта
При сварке плавлением		
Подрез	Завышенная скорость сварки или сила тока, неправильный наклон электрода при ручной сварке	Зачистить от шлака сварное соединение, наложить шов в местах подреза
Непровар	Заниженная сила тока, завышенная скорость сварки, слишком узкая разделка кромок	Зачистить место дефекта и заварить непровар
Трещины	Завышенная скорость сварки, неправильный выбор свариваемых материалов, большая жесткость закрепления, влага в сварочных материалах	Засверлить у концов трещины. Затем удалить (вырубить) дефектный участок, сварить новый шов
Поры	Заниженная сила тока, завышенная скорость сварки, плохая очистка от ржавчины, влаги, масла, грязи	Удалить дефектный участок, сварить новый шов
Неметаллические включения	То же	То же
При сварке давлением		
Непровар (или малый диаметр)	Малая сила тока, плохо зачищены электроды, ослаблены (окислены) контакты, мал t время сварки	Разрушить соединение, зачистить и сварить снова
Выплеск жидкого металла	Велик i сила тока, велик t время сварки, неплотное прижатие при сварке	Зачистить от брызг
Чрезмерная вмятина под электродами, перегрев	Плохо зачищены электроды, велик P давление и время сварки	Разрушить соединение, зачистить и сварить снова

В зависимости от места и времени контроль при сварке осуществляются в три стадии: входной, операционный и приемочный. Контроль осуществляется регистрационным или измерительным методом.

Входной контроль основного металла и вспомогательных сварочных материалов, технической документации и др. предусматривает проверку:

- состояния и настройки оборудования, аппаратуры и сборочно-сварочных приспособлений;
- качества подготовки свариваемых кромок, очередности и правильности сборки под сварку;
- правильности выполнения прихваток и удаления шлака.

Операционный контроль осуществляется в процессе сварки и непосредственно после ее завершения и включает:

- систематическую проверку стабильности режимов сварки;
- контроль очередности наложения швов и полноту удаления шлака;
- проверку температуры попутного подогрева или термообработки.

Приемочный контроль осуществляется по завершению этапа. Контроль после сварки проводится вслед за очисткой места сварки от шлака, брызг, грязи и включает наряду с внешним осмотром и обмером различные методы контроля качества сварных соединений и конструкций.

Выбор вида, метода, объема контроля качества сварных швов, соединений и сварной конструкции, а также технических требований к дефектам сварного шва зависит в основном от назначения сварной конструкции, особенности конструктивной формы сварного изделия и класса металлической конструкции и климатического района ее эксплуатации.

Методы контроля, применяемые при сварке: визуальный осмотр и обмер; технологические пробы; инструментальные методы (с разрушением и без него).

К методам контроля с разрушением относятся:

- механические испытания образцов на разрыв (рис. 4.1, а), на угол загиба (рис. 4.1, б) и на ударную вязкость (рис. 4.1, в);
- целенаправленная засверловка для проведения химического анализа металла из различных участков сварного соединения (рис. 4.2) для определения содержания примесей как вредных (серы, фосфора, азота), так и полезных (марганца, кремния и др.).

Эти испытания проводят на сварных образцах, вырезаемых из изделия или из специально сваренных контрольных соединений – технологических проб, выполненных в соответствии с требованиями и технологией на сварку изделия.

Рис. 4.1.

Цель испытаний – оценка прочности и надежности сварных соединений и конструкций; оценка качества основного и присадочного металла; оценка правильности выбранной технологии; оценка квалификации сварщиков.

Свойства сварного соединения сопоставляют со свойствами основного металла. Результаты считаются неудовлетворительными, если они не соответствуют заданному уровню.

Механические испытания проводятся по ГОСТу, предусматривающему следующие виды испытаний сварных соединений и металла шва: испытание сварного соединения в целом и металла разных его участков (наплавленного металла, зоны термического влияния основного металла) на стойкость против старения; измерение твердости.

Контрольные образцы для механических испытаний выполняют определенных размеров и формы.

Испытаниями на статическое растяжение определяют прочность сварных соединений, испытаниями на статической изгиб – пластичность соединения по величине угла изгиба до образования первой трещины в растянутой зоне. Испытания на статический изгиб проводят на образцах с продольными и поперечными швами со снятым усилением шва заподлицо с основным металлом.

Рис. 4.2.

Испытаниями на ударный изгиб, а также разрыв определяют ударную вязкость сварного соединения. По результатам определения твердости судят о структурных изменениях и степени подкалки металла при охлаждении после сварки.

К неразрушающим методам контроля качества сварных соединений относят внешний осмотр, контроль на непроницаемость (или герметичность) конструкций, контроль для обнаружения дефектов, выходящих на поверхность, контроль скрытых и внутренних дефектов.

Внешний осмотр и обмер сварных швов – наиболее простые и широко распространенные способы контроля качества. Они являются первыми контрольными операциями по приемке готового сварного узла или изделия. Этим видам контроля подвергают все сварные швы независимо от того, как они будут испытаны в дальнейшем.

Внешним осмотром сварных швов выявляют наружные дефекты: непровары, наплавы, подрезы, наружные трещины и поры, смещение свариваемых кромок деталей и т.п. Визуальный осмотр проводят как невооруженным глазом, так и с применением лупы с увеличением до 10 раз.

Обмеры сварных швов позволяют судить о качестве сварного соединения: недостаточное сечение шва уменьшает его прочность, слишком большое – увеличивает внутренние напряжения и деформации. Размеры сечения готового шва проверяют по его параметрам в зависимости от типа

соединения. У стыкового шва проверяют ширину, высоту, размер выпуклости со стороны корня шва, в угловом – измеряют катет. Замеренные параметры должны соответствовать ГОСТам. Размеры сварных швов контролируют обычно измерительными инструментами или специальными шаблонами.

Внешний осмотр и обмер сварных швов не дают возможность окончательно судить о качестве сварки. Они устанавливают только внешние дефекты шва и позволяют определить их сомнительные участки, которые могут быть проверены более точными способами.

Контроль непроницаемости сварных швов и соединений. Сварные швы и соединения ряда изделий и сооружений должны отвечать требованиям непроницаемости (герметичности) для различных жидкостей и газов. Учитывая это, во многих сварных конструкциях (емкости, трубопроводы) сварные швы подвергают контролю на непроницаемость. Этот вид контроля производится после окончания монтажа или изготовления конструкций. Дефекты, выявленные внешним осмотром, устраняются до начала испытаний. Непроницаемость сварных швов контролируют следующими методами: капиллярным (керосином), химическим (аммиаком), пузырьковым (воздушным или гидравлическим давлением), вакуумированием или газо-электрическими течеискателями.

Контроль керосином основан на физическом явлении капиллярности, которое заключается в способности керосина подниматься по капиллярным ходам – сквозным порам и трещинам. В процессе испытания сварные швы покрываются водным раствором мела с той стороны, которая более доступна для осмотра и выявления дефектов. После высушивания окрашенной поверхности с обратной стороны шов обильно смачивают керосином. Неплотность швов выявляют по наличию на меловом покрытии следов проникшего керосина. Появление отдельных пятен указывает на поры и свищи, полос – сквозные трещины и непровары в шве. Благодаря высокой проникающей способности керосина обнаруживаются дефекты с поперечным размером 0,1 мм и менее.

Контроль аммиаком основан на изменении окраски некоторых индикаторов (раствора фенолфталеина, азотнокислой ртути) под действием щелочей. В качестве контролирующего реагента применяется газ аммиака.

При испытании на одну сторону шва укладывают бумажную ленту, смоченную 5-процентным раствором индикатора, а с другой стороны шов обрабатывают смесью аммиака с воздухом. Аммиак, проникая через неплотности сварного шва, окрашивает индикатор в местах залегания дефектов.

Контроль воздушным давлением (сжатым воздухом или другими газами) подвергают сосуды и трубопроводы, работающие под давлением, а также резервуары, цистерны. Это испытание проводят с целью проверки общей герметичности сварного изделия. Малогабаритные изделия полностью погружают в ванну с водой, после чего в них подают сжатый воздух под давлением, на 10 – 20 % превышающим рабочее. Крупногабаритные конструкции после подачи внутреннего давления по сварным швам покрывают пенным индикатором (обычно раствор мыла). О наличии неплотностей в швах судят по появлению пузырьков воздуха.

Контроль гидравлическим давлением применяют при проверке прочности и плотности различных сосудов, котлов, паро-, водо-, газопроводов и других сварных конструкций, работающих под избыточным давлением. Перед испытанием сварочное изделие полностью герметизируют водонепроницаемыми заглушками. Сварные швы с наружной поверхности тщательно просушивают обдувом воздуха. Затем изделия заполняют водой под избыточным давлением, в 1,5 – 2 раза превышающим рабочее, и выдерживают в течение заданного времени. Дефектные места определяют по проявлению течи, капель или увлажнению поверхности швов.

Для обнаружения скрытых внутренних дефектов применяют следующие методы контроля.

Метод магнитной дефектоскопии, основанный на неодинаковой магнитной проницаемости α -железа и других фаз. В отличие от равномерного распределения магнитных потоков на участках сварного соединения без дефектов в случае дефектов в шве (например, поры, заполненные воздухом, или неметаллические включения) магнитный силовой поток будет огибать дефект, создавая магнитные потоки рассеяния (рис. 4.3).

Радиационный метод контроля является надежным и широко распространенным методом, основанным на способности рентгеновского или гамма-излучения проникать через металл. Выявление дефектов при радиационных методах основано на разном поглощении рентгеновского или

гамма-излучения участками металла с дефектами и без них. Дефектные места шва (поры, трещины и др.) пропускают эти лучи с меньшим поглощением, чем основной металл, благодаря чему такие участки выглядят как более яркие пятна на рентгеновской пленке, фотобумаге, индикаторной пластине или на другом запоминающем изображении слое, в частности на экране-термолюминофоре на основе сульфата кадмия и редкоземельных элементов. В качестве примера оборудования для контроля просвечиванием можно привести рентгеновскую установку РУП-150-5-1 (рис. 4.4) и установку для γ -контроля – Гаммарид, работающую на радиоактивных ампулах.

*Рис. 4.3. Схема прохождения магнитного потока в сварном соединении:
а – при отсутствии дефекта; б – при наличии дефекта*

*Рис. 4.4. Схема рентгеновского просвечивания сварного соединения:
1 – рентгеновская трубка; 2 – фотопленка, или запоминающий
изображение слой; 3 – экраны; 4 – кассета*

Метод ультразвуковой дефектоскопии (эхо-импульсный, теневой, эхо-теновой), основанный на свойстве акустических колебаний распространяться в металле прямолинейно и отражаться от границы раздела сред, имеющих разные акустические свойства пьезопластика из кварца, титана, или сегнетовой соли (рис. 4.5), направляет импульс ультразвуковых колебаний на сварное соединение.

*Рис. 4.5. Схема ультразвукового контроля сварного стыкового соединения:
1, 2 – щупы с пьезодатчиком; 3 – акустическая среда; 4 – дефект шва*

Отразившись от «дна» соединения (или от границы дефекта), импульс попадает на приемный щуп (двухщуповый метод) или обратно на обходной щуп (однощуповый метод) и далее в приемник. Появление в приемнике нового импульса свидетельствует о дефекте. Недостатком ультразвукового контроля является сложность расшифровки сигнала и невозможность обнаружения малых дефектов (менее $0,2 \text{ мм}^2$).

5. УСТРАНЕНИЕ ДЕФЕКТОВ СВАРНОГО ШВА

Все дефекты сварного шва подлежат обязательному устранению. Если есть возможность, сварное изделие бракуется.

В конструкциях из стали допускается устранение дефектов плазменно-дуговой или воздушно-дуговой строжкой с последующей обработкой поверхности абразивами. Можно устранять наружные дефекты шлифовкой.

При удалении дефектных мест целесообразно соблюдать определенные условия. Длина удаляемого участка должна быть равна длине дефектного места плюс 10 – 20 мм с каждой стороны, а ширина разделки выборки – такой, чтобы ширина шва после заварки не превышала его двойной ширины до заварки. Форма и размеры подготовленных под сварку выборок должны обеспечивать возможность надежного провара в любом месте. Поверхность каждой выборки должна иметь плавные очертания без резких выступов, острых углублений и заусенцев. При заварке дефектного участка

должно быть обеспечено перекрытие прилегающих участков основного металла.

После заварки участок необходимо зачистить до полного удаления раковин и рыхлости в кратере, выполнить на нем плавные переходы к основному металлу.

Удаление заглубленных наружных и внутренних дефектов (дефектных участков) в соединениях из алюминия, титана и их сплавов следует производить только механическим способом – вышлифовкой абразивным инструментом или резанием, а также вырубкой с последующей зашлифовкой.

Подрезы принято устранять наплавкой ниточного шва по всей длине дефекта. Однако это ведет к повышению расхода сварных материалов. В таких случаях целесообразно применять оплавление подреза аргонодуговыми горелками, что позволяет сгладить дефекты без дополнительной наплавки.

Наплавки неравномерности формы шва исправляют механической обработкой дефекта по всей длине.

Прожоги в швах наблюдаются редко, их зачищают и заваривают.

Исправленные швы сварных соединений должны быть повторно проконтролированы в соответствии с требованиями, предъявляемыми к качеству изделия. Если при этом вновь будут обнаружены дефекты, то проводят их повторное исправление с соблюдением необходимых требований. Число исправлений одного и того же дефектного участка, как правило, не должно превышать трех раз.

фланговый
(продольный)

лобовой
(поперечный)

комбинированный

косой

а) сплошной

б) прерывистый

в) цепной

г) шахматный

Рекомендательный библиографический список

1. СНиП II-23-81*. Стальные конструкции. Нормы проектирования. – М.: Стройиздат, 1990. – 94 с.
2. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования. – М.: Стройиздат, 1985. – 95 с.
3. *Беленя Е.И.* Металлические конструкции. – М.: Стройиздат, 1985. – С. 255 – 391.
4. *Лихтарникова Я.М.* Расчет стальных конструкций: Справ. пособие. – Киев Будивельник, 1984. – 363 с.
5. *Виноградов В.С.* Оборудование и технология дуговой автоматической и механизированной сварки. – М.: Высш. шк., 1999. – 319 с.
6. *Рыбаков В.М.* Сварка строительных металлических конструкций. – М.: Стройиздат, 1993. – 277 с.
7. *Жизняков С.Н.* Сварка и резка в строительстве. – М.: Стройиздат, 1995. – 344 с.

Оглавление

1.	ВИДЫ И СПОСОБЫ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ	3
1.1.	Понятие о сварке и ее сущность	3
1.2.	Классификация видов сварки	4
1.3.	Сварные соединения и швы	5
2.	СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ	9
2.1.	Сварочные материалы	9
2.2.	Сварочные трансформаторы, генераторы и выпрямители	13
3.	РАСЧЕТ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ	15
3.1.	Расчет стыковых сварных швов	17
3.2.	Расчет угловых сварных швов	19
3.3.	Расчет комбинированных сварных соединений.....	21
4.	ДЕФЕКТЫ И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕ- НИЙ	22
5.	УСТРАНЕНИЕ ДЕФЕКТОВ СВАРНОГО ШВА.....	30

Таблица 3.1

Материалы для сварки, соответствующие стали

Группы конструкций в климатических районах	Стали	Материалы для сварки			
		Под флюсом		В углекислом газе (по ГОСТ 8050-85) или в его смеси с аргоном (по ГОСТ 10157-79)	Покрытыми электродами, типов по ГОСТ 9467-75
		Марки флюсов по ГОСТ 9087-81	Марки проволоки по ГОСТ 2246-70		
2-, 3-я и 4-я – во всех районах, кроме I ₁ , I ₂ , II ₂ и II ₃	C235, C245, C255, C275, C285, BСт3кп, BСт3сп	АН-348-А, АН-60	Св08А, Св08ГА	Св-08Г2С	Э42, Э46
	C345, C345Т, C375, C375Т, C390, C390Т, C390К, C440, 16Г2АФ, 09Г2С	АН-47, АН-43, АН-17-М, АН-348-А ¹	Св-10НМА, Св-10Г2 ² , Св-08ГА ² , Св-10ГА ²		Э50
	C345К	АН-348-А	Св-08Х1ДЮ	Св-08ХГ2СДЮ	Э50А ³
1-я – во всех районах; 2-, 3-я и 4-я – в районах I ₁ , I ₂ , II ₂ и II ₃	C235, C245, C255, C275, C285, BСт3кп, BСт3пс, BСт3сп	АН-348-А	Св-08А, Св-08ГА	Св08Г2С	Э42А, Э46А
	C345, C345Т, C375, C375Т, C09Г2С	АН-47, АН-43, АН-348-А ¹	Св-10НМА, Св-10Г2, Св-08ГА ² , Св-10ГА ²		Э50А
	C390, C390Т, C390К, C440, 16Г2АФ	АН-47, АН-17-М, АН-348-А ¹	Св-10НМА, Св-10Г2, Св-08ГА ² , Св-10ГА ²		Э50А
	C345К	АН-348-А	Св-08Х1ДЮ	Св-08ХГ2СДЮ	Э50А ³
	C590, C590К, C590КШ, C09Г2С	АН-17-М	Св08ХН2ГМЮ, Св-10НМА	Св-10ХГ2СМА, Св08ХМФА, Св-08Г2С	Э60, Э70

- Примечания.**
1. Применение флюса Ан-348-А требует проведения дополнительного контроля механических свойств металла шва при сварке соединений элементов всех толщин для конструкций в климатических районах I₁, I₂, II₂ и II₃ и толщин свыше 32 мм – в остальных климатических районах.
 2. Не применять в сочетании с флюсом АН-43.
 3. Применять только электроды марок ОЗ-18 и КД-11.