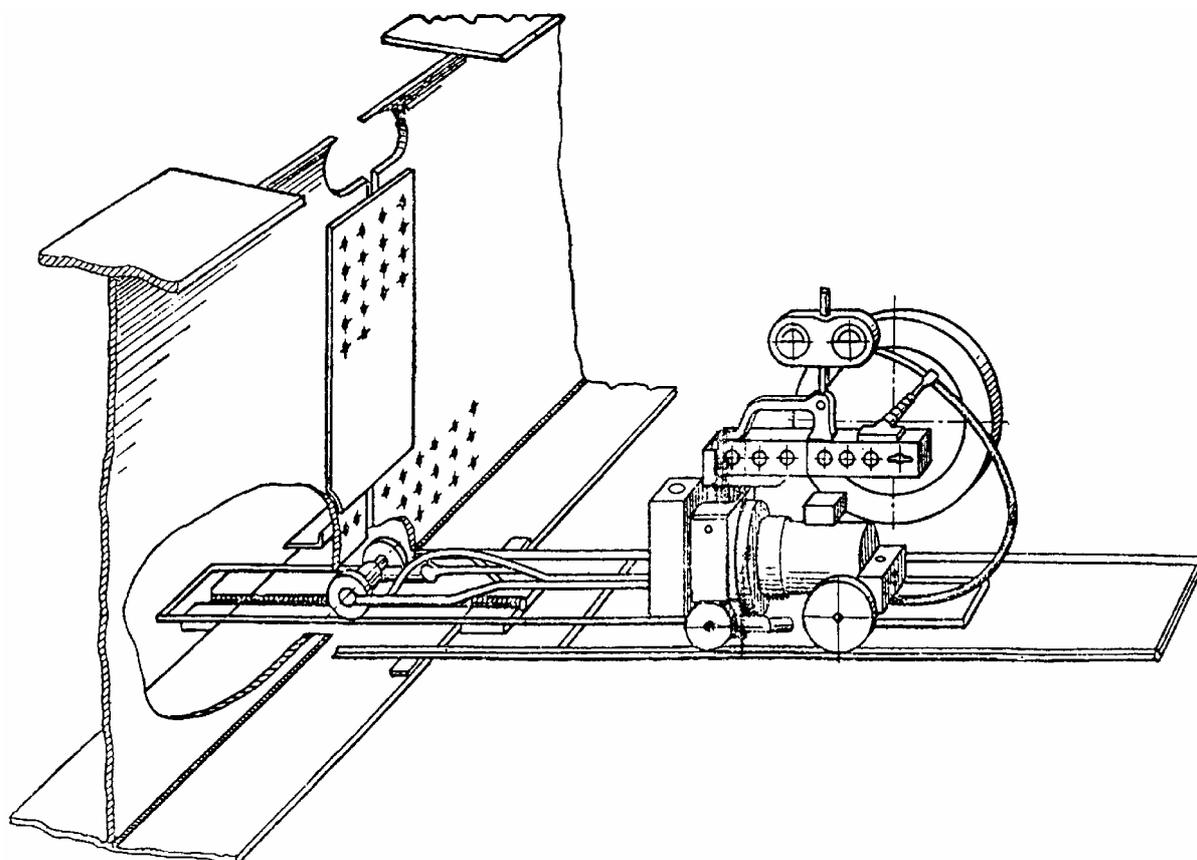


В.И. Матюхин, М.С. Корытов

**ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ
МОНТАЖНОЙ СВАРКИ МОСТОВЫХ
КОНСТРУКЦИЙ**



Федеральное агентство по образованию
Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия
(СибАДИ)

В.И. Матюхин, М.С. Кобытов

ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ МОНТАЖНОЙ
СВАРКИ МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Курс лекций

Омск
Издательство СибАДИ
2006

УДК 624.21.014.25
ББК 36.64
М 35

Рецензенты:

д-р техн. наук, проф. Е.Н. Еремин,
канд. техн. наук, доц. О.И. Шелудяков

Работа одобрена методическим и редакционно-издательским советами академии в качестве учебного пособия по дисциплине «Оборудование и технология монтажной сварки мостовых конструкций» для студентов специальности 270201 «Мосты и транспортные тоннели».

Оборудование и технология монтажной сварки мостовых конструкций:
Курс лекций для специальности «Мосты и транспортные тоннели» / В.И. Матюхин, М.С. Корытов. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2006. – 80 с.

Изложены современные и перспективные оборудование и технология монтажной сварки мостовых конструкций. Курс лекций полезен для студентов специальности «Мосты и транспортные тоннели» при изучении дисциплины «Оборудование и технология монтажной сварки мостовых конструкций».

Табл. 26. Ил. 52. Библиогр.: 11 назв.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Научно-технический прогресс ставит перед сварщиками задачу повышения качества сварочных работ за счет внедрения в производство передовых технологий, современных методов и средств неразрушающего контроля качества сварных соединений, методов и систем управления качеством на основе использования вычислительной техники. Необходимо снизить металлоемкость изделий, рационально использовать материальные ресурсы.

Одной из отраслей промышленности, где достаточно широко используются сварочные процессы, является мостостроение. Мостовые конструкции работают при неблагоприятных атмосферных условиях и низких температурах, подвергаются воздействию динамических нагрузок. Это предъявляет к сварным соединениям мостов требования высокого качества, надежности обеспечения безопасности их эксплуатации.

В настоящем разделе курса рассматриваются оборудование и технология монтажной сварки стальных конструкций мостов на основе материалов, изложенных в технической литературе по сварке, а также использованы «Руководство по выполнению монтажных сварных соединений металлических пролетных строений мостов (1982)», одобренные Главным техническим управлением, Главным управлением по строительству мостов и Научно-техническим советом Минтранстроя СССР и стандартом от предприятия СТП 005-97 «Технология монтажной сварки стальных конструкций мостов». Принято во внимание стандарт предприятия СТП 012-2000 «Заводское изготовление стальных конструкций мостов» и «Инструкция по технологии механизированной и ручной сварки при заводском изготовлении стальных конструкций мостов» (ВСН 169-80).

Программой предусмотрено ограниченное количество часов на изложение материала, поэтому в лекциях даны только основные принципиальные положения.

ВВЕДЕНИЕ

Под сваркой понимают способ получения неразъемных соединений твердых тел за счет межмолекулярных и межатомных сил сцепления.

5000–5500 лет назад изделия из золота и бронзы изготавливались сваркой по способу промежуточного литья. Когда человечество освоило железо, появилась и стала развиваться кузнечная сварка. Изделия из железа, изготовленные этим способом сварки, известны были еще 3500 лет назад. Прогресс в развитии сварки обязан открытию дугowego разряда русским академиком Петровым в 1802 г. В 1882 г. русский изобретатель Н.Н.Бенардос использовал дуговой разряд между угольным электродом и деталью для сварки и резки металлов. Он является основоположником сварки неплавящимся электродом. В 1888 г. русский инженер-металлург и электрик Н.Г.Славянов предложил способ дуговой сварки плавящимся электродом. Им впервые изготовлены сварочные генераторы. В настоящее время ведущими организациями в развитии сварочного производства являются ИЭС им. Е.О. Патона, МВТУ им. Э.М. Баумана, КПИ, ЛГТУ, ВНИЭСО и др. Широкое применение находят сварочные процессы в самолетостроении, ракетостроении, судостроении, автомобилестроении, в трубном производстве, сельхозмашиностроении, в химическом машиностроении, в строительстве и мостостроении.

Первые мосты с применением электродуговой сварки были изготовлены во Владивостоке, где под руководством В.П.Вологодина в 20-х гг. внедрялась сварка в промышленности. В 1928 и 1929 гг. были сварены пролеты мостов длиной 25 м. Первый железнодорожный мост с цельносварными фермами пролетом 12 м построен в 1932 г. на Калининской железной дороге. Сварка выполнялась меловыми электродами. В Польше и Германии железнодорожные мосты построены соответственно в 1928 и 1930 гг. В 1934 г. в СССР возведены 2 железнодорожных и один автодорожный мосты. К началу Великой Отечественной войны в СССР было построено 20 сварных мостов и 20 цельносварных пролетных строений для железнодорожных мостов. В течение 1941–1946 гг. было изготовлено 12 тыс. т сварных мостовых конструкций и более 8 тыс. т клепано-сварных.

Сварка выполнялась иногда из случайных материалов. Качество сварки не контролировалось. Поэтому во многих конструкциях были обнаружены трещины. Учитывая это, МПС в начале 1946 г. запретило изготовление пролетных строений железнодорожных мостов сваркой. Исследования ИЭС им. Е.О.Патона показали, что Ст 3 мост не пригодна для сварных мостов, так как она кипящая, склонна к старению и строчечному расположению сульфидных включений. Им рекомендованы стали М16С и низколегированная сталь СХЛ-2. В 1953 г. построен автодорожный мост через р. Днепр (мост им. Е.О. Патона). При изготовлении сварных узлов широко

использовалась автоматическая и полуавтоматическая сварка под слоем флюса. В 1958-1959 гг. НИИ мостов проведено испытание многократно-повторной нагрузкой двух пролетов, один из которых цельносварной из стали М16С, другой – клепаный (длина пролета 66 м). Обе модели выдержали одинаковое число циклов нагружений до разрушения (около 500 000). Клепаная конструкция разрушилась по нижнему поясу фермы в районе узлового крепления по первому ряду заклепок, а сварная – по стыковому соединению растянутого раскоса с верхней узловой фасонной. В 50-60-е гг. были разработаны мостовые стали 15ХСНД и 10Г2СД. В 1962-1964 г. по проекту Ленгипротрансмоста был построен опытный железнодорожный болтосварной мост пролетом 110 м через канал Фархадской ГЭС, а в 1970–1971 гг. Воронежский мостозавод приступил к серийному выпуску аналогичных пролетных строений. Следующим этапом в развитии сварного мостостроения явилось создание сталей с нитридным упрочнением 14Г2АФД (мосты через р. Шексну) и 15Г2АФДпс. В 1975 г. был построен железнодорожный болтосварной мост) через р. Лену с пролетами 110+132+110 м из стали 10 ХСНД, а в 1973 г. – через р. Смотрич в Каме-нец-Подольске из сталей 14Х2ГМР и 14Г2.

В последние годы для изготовления металлических строений применяют низколегированные стали С50/35, С52/40. Необходимо отметить современные направления в развитии сварного мостостроения:

1. Применение сталей повышенной и высокой прочности в комбинации со сталями с более низкими механическими характеристиками.
2. Расширение применения сварки для монтажных стыков главных балок.

Преимущество сварки плавлением

1. Коэффициент прочности сварного нахлесточного и стыкового соединений соответственно составляет 125 и 100 %, а клепаного нахлесточного соединения – 60...65 %. Коэффициент прочности представляет собой отношение предела прочности на растяжение соединения к пределу прочности металла. Повышенная прочность сварного соединения связана с отсутствием ослабления металла отверстиями, наблюдающееся в заклепочных соединениях.

2. Трудоемкость изготовления 1 т сварных конструкций в среднем на 8 % меньше аналогичных клепаных.

3. Экономия металла при изготовлении сварного пролета моста на 20...27 % меньше (на каждый пролет длиной 23 м экономится 8 т металла). Цельносварной автодорожный мост им. Е.О. Патона в г. Киеве в сравнении с клепаным вариантом сэкономил 3 300 т стали. Экономия достигается за счет отсутствия необходимости применения промежуточных элементов.

4. Стоимость сварных пролетов по сравнению с клепаными на 17 % меньше.

5. Существенным преимуществом сварки является снижение трудоемкости изготовления заготовок за счет их замены на сварно-литые, штамповсварные, ковано-литые.

6. Возможность сварки в монтажных и цеховых условиях.

7. Разнообразие типов соединений.

8. Возможность сварки конструкций различных габаритов.

9. Широкий диапазон свариваемых толщин: от нескольких микрометров (сварка лазером) до 1 м (электрошлаковая сварка).

10. Возможность изменения химического состава наплавленного металла.

11. Возможность сварки в любых пространственных положениях.

Недостатки сварки плавлением

1. Кристаллизация металла протекает при растягивающих напряжениях, что является одной из причин образования трещин.

2. Необходимость защиты металла шва от воздействия атмосферы.

3. Возможность образования в сварном шве хрупких и интерметаллических включений, ликвация примесей. Это влияет на прочность сварного шва, образование в нем трещин.

4. Возникновение напряжений и деформаций при сварке, что может привести к образованию трещин, к короблению конструкции.

5. Изменение структуры основного металла в результате нагрева при сварке. Это влияет на механические свойства сварного соединения и на возникновение трещин в околошовной зоне.

1. СВОЙСТВА СВАРОЧНОЙ ДУГИ

Сварочная дуга характеризуется высокой плотностью тока и низким напряжением дуги между электродами. Электропроводность ее обусловлена заряженными частицами – электронами и ионами, которые совместно с нейтральными и возбужденными атомами сварочной дуги образуют низкотемпературную плазму. Для возбуждения дуги при напряжениях включенного источника питания 55...65 В кратковременно замыкаются электроды. Благодаря наличию высокого контактного сопротивления в месте соприкосновения электродов происходит выделение значительного количества тепла и образование жидкой прослойки. При разведении электродов между ними возникает сварочная дуга. При сварке на постоянном токе электрод, присоединенный к положительному полюсу источника питания, называется анодом, а электрод, присоединенный к отрицательному, называется катодом. Сварочный ток в основном проходит через катодное и анодное пятно на электродах – активные участки электродов, отличающиеся наиболее

высоким нагревом. Сварочная дуга состоит из 3-х отдельных участков (рис. 1) катодной и анодной зон, а также столба дуги.

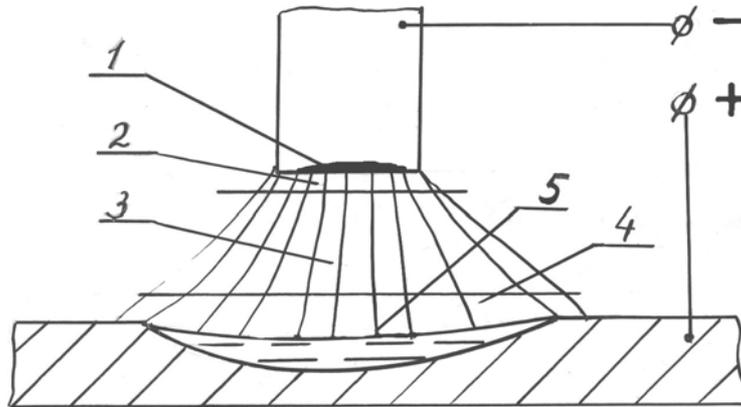


Рис. 1. Строение сварочной дуги:
1 – катодное пятно; 2 – катодная зона; 3 – столб дуги;
4 – анодная зона; 5 – анодное пятно

Возникновение катодной области обусловлено скоплением избытка положительных ионов у торца катода, которые образуют пространственный заряд и тем самым катодное падение потенциала I_K . У торца анода наблюдается образование отрицательного пространственного заряда, создающего анодное падение потенциала I_A . В самом столбе дуги электроны, ионы, возбужденные и нейтральные атомы распределены равномерно, и пространственные заряды отсутствуют, поэтому считают напряженность электрического поля E_C постоянной величиной. Таким образом, напряженность дуги I_D равно

$$I_D = I_K + I_A + E_C \cdot \ell g,$$

где ℓg – длина дуги (расстояние между торцами электродов приблизительно равно длине дуги). По литературным данным напряженность анодной и катодной зон и падение потенциала в них равны

$$\begin{aligned} \ell_A &= 10^{-5} - 10^{-6} \text{ м}, \quad I_A = 2 - 3 \text{ В}, \quad E_A = I_A / \ell_A = (2 - 3) \cdot 10^5 \text{ В/м}; \\ \ell_K &= 10^{-7} - 10^{-1} \text{ м}, \quad I_K = 6 - 8 \text{ В}, \quad E_K = (6 - 8) \cdot 10^7 \text{ В/м}. \end{aligned}$$

В столбе дуги напряженность электрического поля составляет 1 000...5 000 В/м.

Температура в столбе сварочной дуги колеблется от 5 000 до 12 000 К и зависит от состава газовой среды, материала и диаметра электрода, плотности тока. Приближенно ее считают по формуле

$$T_{CT} = 810 \cdot I_{\text{ЭФ}},$$

где T_{CT} – температура столба дуги, К; $I_{\text{ЭФ}}$ – эффективный потенциал ионизации, ЭВ.

Например, при горении сварочной дуги в парах железа температура в столбе дуги составляет 6 320 К ($J_{CB} = 200$ А, $I_{\text{ЭФ}} = 7,83$ ЭВ), а в парах калия – 3 460 К ($I_{\text{ЭФ}} = 4,33$ ЭВ). При горении сварочной дуги в смесях многих газов и паров наибольшее влияние на величину эффективного потенциала

ионизации оказывает самый низкий потенциал ионизации химического элемента. Температура металла в катодном и анодном пятнах при атмосферном давлении зависит от физических свойств металла электродов, величины сварочного тока и состава газов дугового промежутка (табл. 1).

Таблица 1

Температура в анодном и катодном пятнах электродов

Материал электрода	Газ	Сварочный ток, А	Температура, К	
			катода	анода
Алюминий	Азот	9	2 000	2 200
Железо	Воздух, азот	4...17	2 400	2 600
Уголь	–	3...12	3 500	4 100
Вольфрам	–	2...4	3 000	4 250

Распределение тепла дуги при сварке на постоянном токе в дуговом промежутке следующее: на аноде 43 %, катоде 36 % и в столбе дуги 21 %.

Для стабильного горения сварочной дуги необходимо непрерывное поступление в дуговой промежуток заряженных частиц, источниками которых являются:

1) термоэлектронная эмиссия – процесс выхода электронов с нагретой до высокой температуры поверхности металла электродов;

2) автоэлектронная эмиссия – эмиссия электронов, протекающая за счет электрического поля. Она возможна и при низких температурах электрического поля. Внешнее электрическое поле, сообщая электрону дополнительную энергию, вырывает его с поверхности металла электрода;

3) фотоэлектронная эмиссия. Электромагнитные излучения, действуя на поверхность металла, сообщают дополнительную энергию электронам для их выхода с поверхности металла;

4) эмиссия электронов за счет потока ионов заключается в том, что положительные ионы при ударе о поверхность металла нейтрализуются и выделяют энергию, расходуемую на нагрев металла и выбивание электронов;

5) ионизация соударением. Электроны, эмитируемые поверхностью катода в дуговом промежутке, сталкиваются с нейтральными частицами и сообщают им энергию, расходуемую на возбуждение или ионизацию нейтральных атомов.

На стабильность процесса сварки оказывает влияние и тип статической характеристики сварочной дуги, представляющей собой зависимость напряжения дуги от силы тока при неизменной длине дугового промежутка (рис. 2).

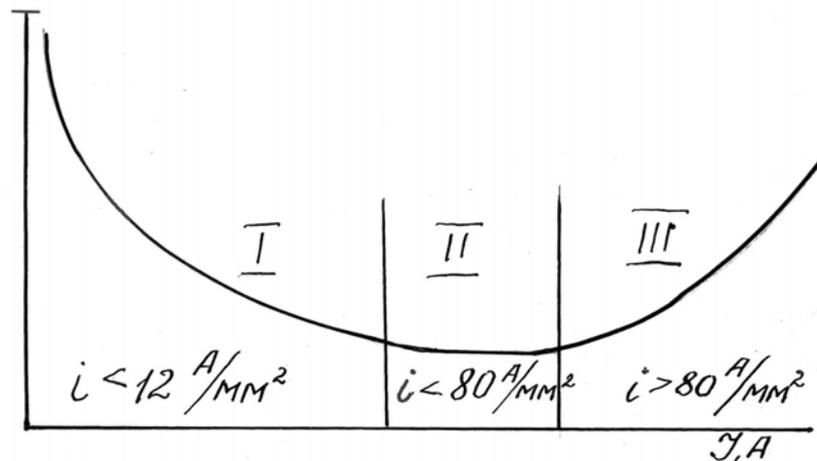


Рис. 2. Статическая характеристика сварочной дуги

В области I увеличение тока до 80 А приводит к резкому падению напряжения на дуге, так как в мало мощных дугах увеличение тока вызывает увеличение площади сечения столба дуги, а также ее электропроводности. Характеристика сварочной дуги падающая. Из-за малой устойчивости горения сварочной дуги на данных режимах она не нашла практического применения.

В области II (80...800 А) напряжение на дуге практически не изменяется, что объясняется пропорциональным увеличением сечения столба дуги и активных пятен на электродах при росте сварочного тока. Плотность тока и падение напряжения во всех участках дугового разряда сохраняются постоянными. Такая статическая характеристика дуги называется жесткой. Область ее применения – сварка под слоем флюса.

При сварке на токах свыше 800 А (область III) напряжение на дуге возрастает, что объясняется увеличением плотности тока без роста катодного пятна. В этом случае поверхность электрода оказывается недостаточной для размещения катодного пятна с нормальной плотностью тока. Статическая характеристика дуги при сварке на повышенных плотностях тока является возрастающей и применяется при сварке в среде защитных газов и под слоем флюса.

На стабильное горение сварочной дуги оказывают влияние длина дуги, влияние внешних магнитных полей, род тока, химический состав электрода и покрытия, полярность дуги и внешняя характеристика источника питания. Зависимость напряжения на зажимах источника питания от тока нагрузки называется внешней вольтамперной характеристикой источника питания. Характеристики источников питания сварочной дуги могут быть: крутопадающими, пологопадающими, жесткими, возрастающими. Источник питания сварочной дуги с соответствующей внешней вольтамперной характеристикой выбирают в зависимости от статической характери-

стики сварочной дуги для обеспечения саморегулирования сварочного процесса.

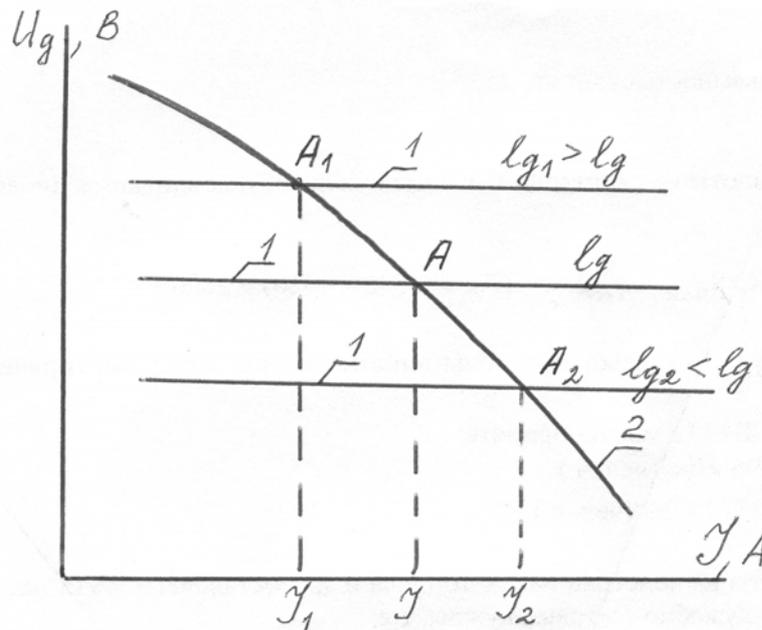


Рис. 3. Статическая характеристика сварочной дуги при ручной сварке (1) и внешняя вольтамперная характеристика источника питания (2)

При ручной электродуговой сварке качественными электродами ($J_{CB}=200\dots500$ А) плотность сварочного тока находится в пределах $12\dots80$ А/мм². Поэтому для обеспечения саморегулирования сварочного процесса источник питания должен иметь крутопадающую внешнюю характеристику (рис. 3).

При наложении внешней характеристики источника питания на статистическую характеристику сварочной дуги видно, что в точке *A* напряжение дуги равно напряжению источника питания. Сварочная дуга горит устойчиво. При случайных отклонениях сварочной дуги в сторону уменьшения (lg_2) или увеличения (lg_1) соответственно будет увеличиваться или уменьшаться сварочный ток. При этом скорость плавления электрода соответственно будет увеличиваться или уменьшаться. Это приведет в обоих случаях к восстановлению прежней длины дуги (lg) и возвращению напряжения дуги в точку *A*.

При автоматической сварке под слоем флюса плотность сварочного тока на электроде менее 80 А/мм² и поэтому статистическая характеристика сварочной дуги жесткая. Для обеспечения устойчивого горения дуги и саморегулирования сварочного процесса внешняя характеристика источника питания должна быть нападающей (см. рис. 3).

В этом случае так же, как и при ручной сварке (см. рис. 3), случайное отклонение длины дуги ведет к изменению величины сварочного тока, к

скорости плавления электрода, восстановлению первоначального напряжения дуги, соответствующего точке А.

При сварке в среде защитных газов на постоянном токе большой плотности (свыше 80 А/мм^2) статическая характеристика сварочной дуги возрастающая. Для обеспечения саморегулирования сварочного процесса внешняя характеристика источника питания должна быть жесткой или возрастающей, но с меньшей крутизной, чем статическая характеристика сварочной дуги (рис. 4).

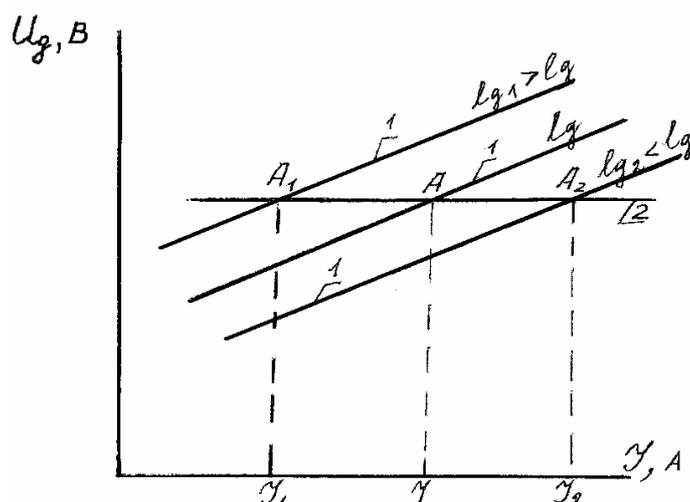


Рис. 4. Статическая характеристика сварочной дуги при сварке в среде CO_2 (1) и внешняя характеристика источника питания (2)

В качестве источников питания для сварки мостовых конструкций при ручной электродуговой сварке, автоматической и механизированной сварке под слоем флюса и в среде углекислого газа используют выпрямители и генераторы постоянного тока.

Требования, предъявляемые к источникам питания сварочной дуги.

1. Напряжение холостого хода должно быть достаточным для легкого возбуждения сварочной дуги, устойчивого ее горения, но не превышать норм безопасности труда, т.е. $80 \dots 90 \text{ В}$.

2. Мощность источника питания должна быть достаточна для выполнения сварочных работ.

3. Источник питания должен выдерживать продолжительные короткие замыкания сварочной цепи без перегрева и повреждения обмотки.

4. Обеспечивать быстрое восстановление напряжения дуги после коротких замыканий.

5. Иметь устройство плавного регулирования сварочного тока.

6. Обладать заданной внешней характеристикой.

7. Обеспечивать возможность настройки различных режимов сварки.

Полная тепловая мощность Q сварочной дуги равна

$$Q = 0,24 \cdot I_d \cdot J_d,$$

где I_D – напряжение сварочной дуги, В; J_D – сварочный ток, А; 0,24 – тепловой эквивалент.

Таблица 2

Характеристика источников сварочного нагрева

Вид сварки	Минимальная площадь пятна нагрева, м ²	Максимальная плотность энергии, Вт/м ²	Погонная энергия, Дж/м
Газовая	10^{-6}	$5 \cdot 10^8$	$52 \cdot 10^5$
Ручная дуговая	10^{-7}	10^{11}	$23 \cdot 10^5$
Автоматическая под слоем флюса	10^{-7}	10^{11}	$30 \cdot 10^5$
Ионно-лучевая	$10^{-7} \dots 10^{-8}$	–	–
Микроплазменная	10^{-10}	10^{12}	$8 \cdot 10^5$
Электронно-лучевая	10^{-11}	10^{13}	$1,5 \cdot 10^5$
Лазерная	10^{-12}	10^{14}	$0,4 \cdot 10^5$

Таблица 3

КПД источников сварочного нагрева

Способ сварки	Газовая сварка	Ручная сварка качественными электродами	Сварка под слоем флюса	Плазменная сварка	Электронно-лучевая сварка	Лазерная сварка
$\eta_{II}, \%$	55	75...85	75...90	80	85	5

Выделение тепла происходит в активных пятнах электродов и в столбе дуги. Количество тепла, введенное сварочной дугой в изделие в процессе сварки за единицу времени, называется эффективной тепловой мощностью сварочной дуги, определяемой по формуле

$$Q_{II} = 0,24 \cdot \eta_{II} \cdot I_D \cdot J_D,$$

где η_{II} – эффективный КПД процесса нагрева металла сварочной дугой.

В табл. 2 и 3 даны сравнительные характеристики источников сварочного нагрева и их коэффициенты полезного действия.

2. ТИПЫ СВАРНЫХ МОНТАЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Основными типами монтажных сварных соединений являются: стыковое, нахлесточное, тавровое и угловое (рис. 5).

Монтажные и сварные соединения выполняют во всех пространственных положениях: нижнем, горизонтальном, вертикальном и потолочном (рис. 6). ГОСТ 5264–80 – для ручной дуговой сварки, ГОСТ 8713–79 – для автоматической и механизированной сварки под слоем флюса, ГОСТ 14771–76 – для дуговой сварки в среде защитных газов регламентируют основные типы и конструктивные элементы швов стыковых, угловых, тавровых и нахлесточных сварных соединений, которые соответственно обозначаются С1, С2, С3 и т. д., У1, У2, У3 и т. д., Т1, Т2, Т3 и т. д., Н1, Н2.

Каждый тип соединения имеет свои преимущества и недостатки. Стыковые соединения экономичны, имеют минимальную концентрацию напряжения, удобны для контроля. Требуют более точную сборку деталей под сварку, сложную обработку кромок под сварку профильного металла. Угловые и тавровые соединения имеют повышенную концентрацию напряжения. Предпочтения отдаются стыковым соединениям, выполненным механизированными и автоматическими способами сварки.

Стыковые односторонние соединения в нижнем положении выполняются автоматической сваркой под слоем флюса с применением подкладок для формирования корня шва. Допускается для стыковых односторонних и двухсторонних соединений поясов балок механизированная или ручная электродуговая сварка.

Поперечные и продольные стыки нижних ребристых плит и стыки их примыкания к поясам главных балок сваривают односторонней автоматической сваркой на подкладках.

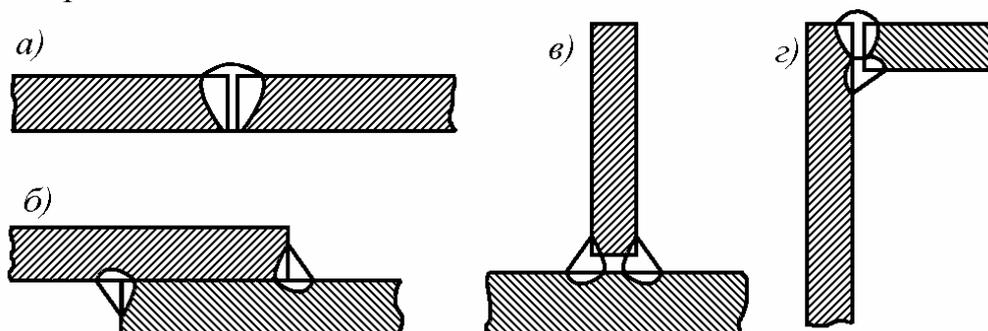


Рис. 5. Основные типы сварных и монтажных соединений:
а – стыковое; б – нахлесточное; в – тавровое; г – угловое

Стыковые соединения с двухсторонними швами допускаются в конструкциях, требующих сплошного проплавления в вертикальном или горизонтальном положении (сварка стыков ребер со вставками).

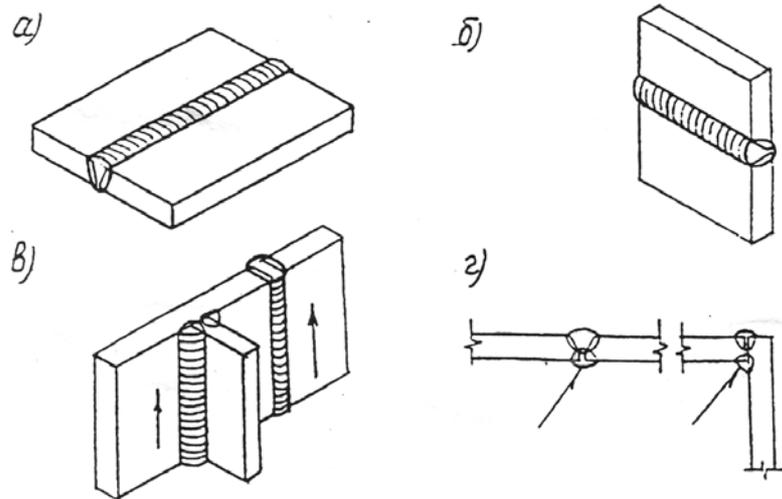


Рис. 6. Пространственное положение сварных швов при монтажной сварке: *а* – нижнее; *б* – горизонтальное; *в* – вертикальное; *z* – поточное

Монтажные стыки двутавров, *L*-образных и коробчатых балок могут быть цельносварные или фрикционно-сварные (рис. 7, 8). При сборке пролетных строений на берегу с последующим перемещением их на опоры используются цельносварные стыки. При навесной, полунавесной и уравновешенно-навесной сборке применяют комбинированные стыки.

При применении фрикционно-сварных монтажных стыков главных балок стыки верхнего пояса проектируют без вставки. Величина верхнего зазора в стыке верхнего пояса обеспечивается при заводском изготовлении.

В зоне стыкового соединения верхнего пояса в стенках стыкуемых блоков предусматривают скругленные вырезы высотой и шириной не менее 50 мм для пропуска формирующих прокладок (см. рис. 8).

В зоне стыка нижнего пояса предусматривается технологическое отверстие для пропуска удлинительной приставки сварочного автомата высотой не менее 140 мм от верхней плоскости пояса (см. рис. 8). Торец обрыва стенки должен находиться на расстоянии 55 мм от оси шва для обеспечения прохода удлинительной приставки.

Преимуществами нахлесточных соединений являются простота сборки, отсутствие скоса кромок. Недостатками их – повышенная концентрация напряжения, повышенный расход металла, сложность контроля качества сварки.

Угловые швы нахлесточных соединений сваривают наклонным электродом: в нижнем положении используется автоматическая, механизированная и ручная электродуговая сварка, в вертикальном и горизонтальном положениях применяются механизированная сварка в среде углекислого газа и ручная электродуговая сварка, а в потолочном положении имеет место ручная электродуговая сварка.

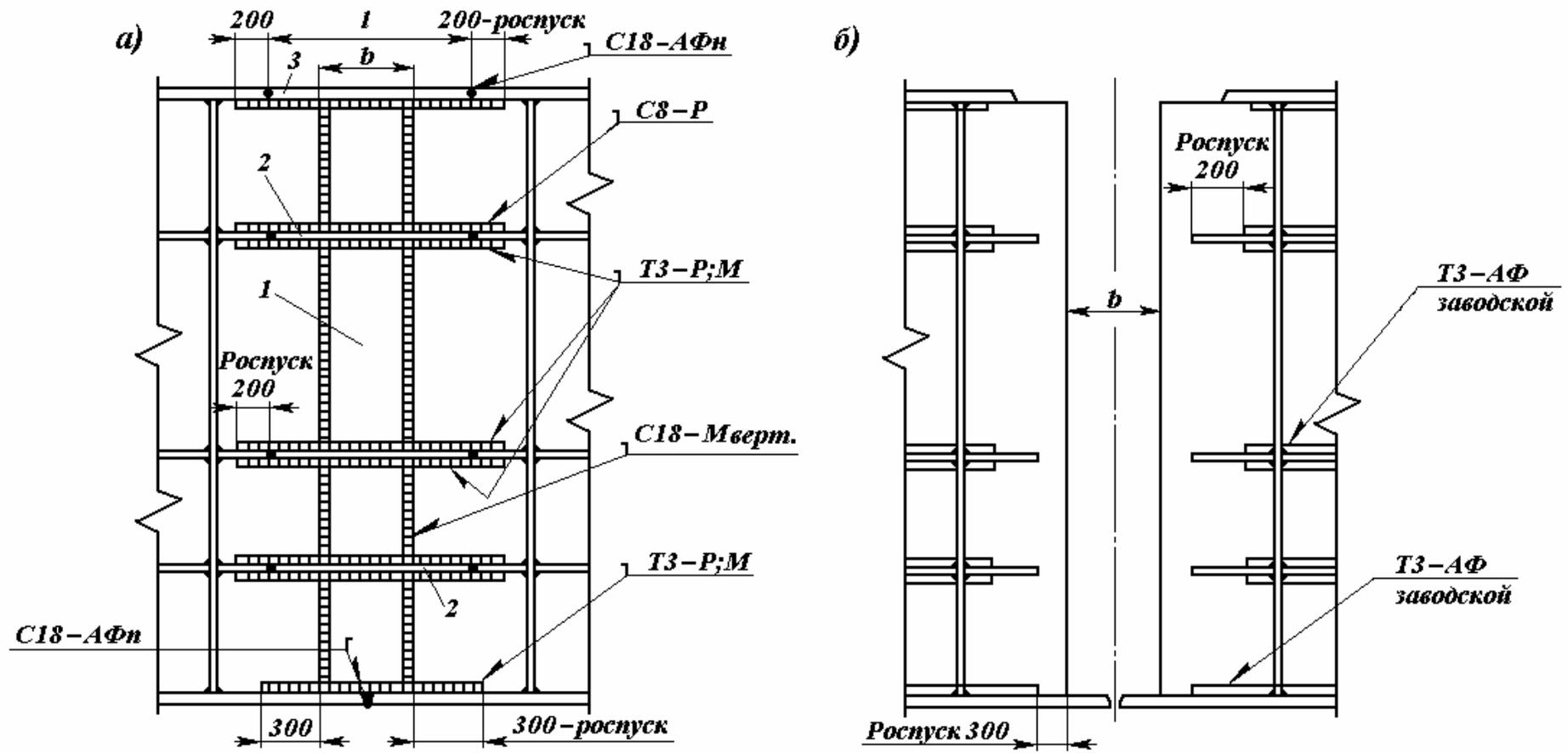


Рис. 7. Конструкция цельносварного стыка главных балок (а) и подготовка его к сварке (б): 1 – вставка стенки; 2 – вставка ребер; 3 – вставка верхнего пояса; l – длина вставки, принимается в зависимости от шины и толщины пояса; $b=400\text{--}600$ мм в зависимости от сварки сварочного трактора

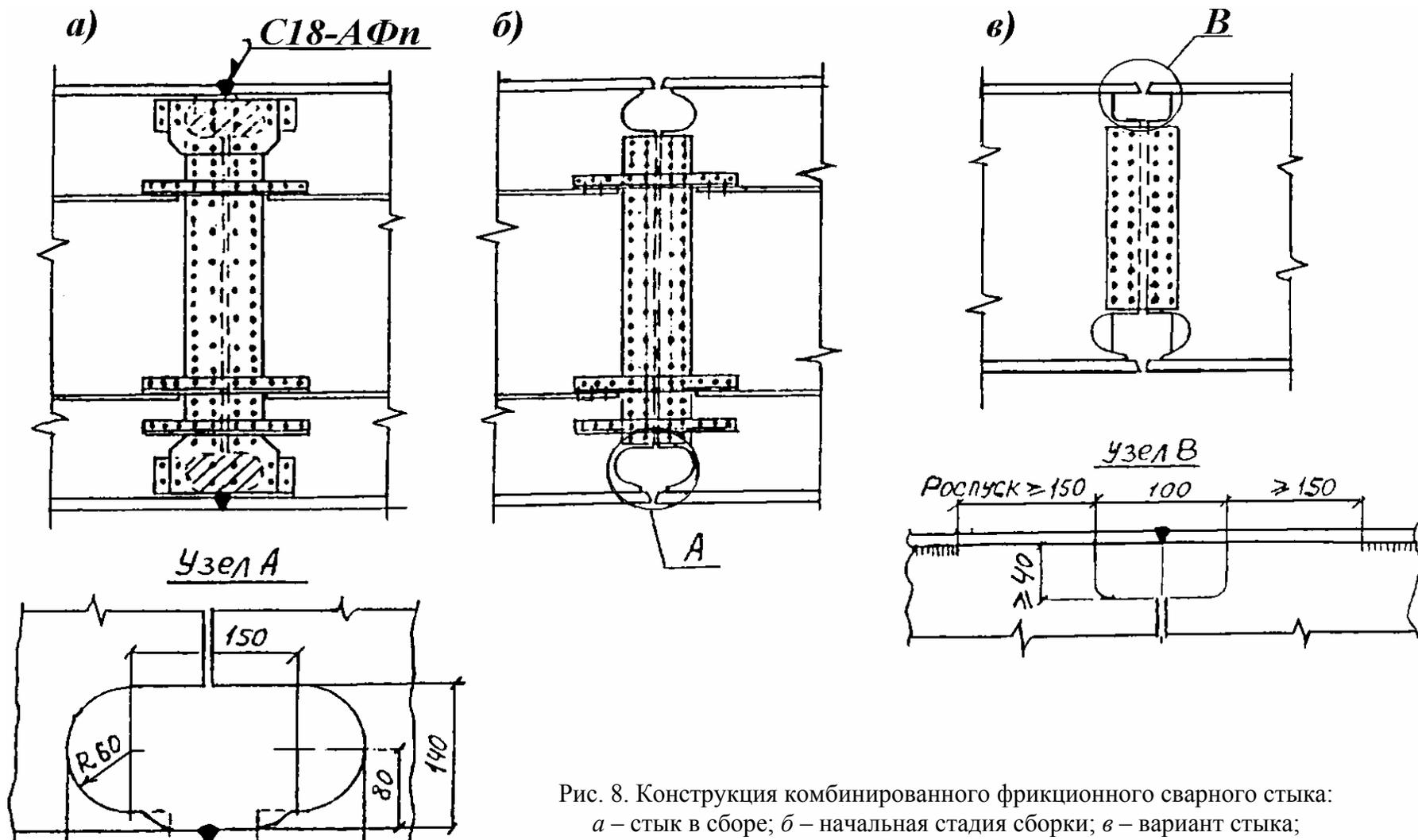


Рис. 8. Конструкция комбинированного фрикционного сварного стыка:
a – стык в сборе; *б* – начальная стадия сборки; *в* – вариант стыка;
 узел *A* – технологическое отверстие у нижнего пояса;
 узел *B* – технологическое отверстие у верхнего пояса

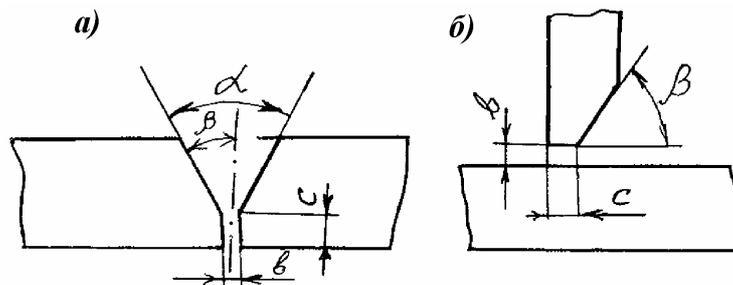


Рис. 9. Элементы геометрической формы разделки кромок под сварку стыкового (а) и углового (б) швов

Сварные швы нахлесточных соединений должны иметь плоское или слегка выпуклое очертание с соотношением катетов не менее 1:2,5 с последующей механической обработкой для снижения концентрации напряжений.

Сварные швы угловых соединений и угловые швы тавровых соединений выполняются ручной электродуговой сваркой во всех пространственных положениях. В нижнем положении может использоваться механизированная и автоматическая сварка под слоем флюса; в горизонтальном и вертикальном положениях применяется механизированная сварка порошковой проволокой в среде углекислого газа. Потолочные швы сваривают ручной электродуговой сваркой. Угловые и тавровые сварные соединения имеют повышенную концентрацию напряжения.

Для обеспечения провара и требуемого сварного шва осуществляют разделку кромок, элементами ее являются: угол разделки кромок α , угол скоса одной кромки β , зазор между стыкуемыми кромками b и притупление C (рис. 9).

3. ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ СПОСОБОВ СВАРКИ НА МОНТАЖЕ МОСТОВ

Согласно стандарту предприятия СТП 005–97 «Технология монтажной сварки стальных конструкций мостов» для выполнения монтажных соединений рекомендуются следующие способы сварки: автоматическая сварка под флюсом сплошной проволокой с металлохимической присадкой на подкладках, автоматическая и механизированная под флюсом сплошной проволокой, в том числе по ручной подварке корня шва, механизированная сварка самозащитной порошковой проволокой (вертикальные швы), механизированная сварка сплошной и порошковой проволокой в среде углекислого газа и ручная электродуговая сварка.

3.1. Особенности ручной электродуговой сварки качественными электродами

Преимущество сварки: простота выполнения, мобильность применяемого оборудования, возможность сварки в различных пространственных положениях и в местах, труднодоступных для механизированных способов сварки.

Недостатками ручной электродуговой сварки являются трудности сварки тонких материалов (< 2 мм), длительный срок обучения сварщика (1...1,5 года), малая производительность. Качество сварки зависит от квалификации сварщика.

Область применения ручной электродуговой сварки на монтаже мостов: короткие швы (длиной менее 1 м) стыковых, угловых, тавровых и нахлесточных соединений металла толщиной 10...50 мм во всех пространственных положениях, исправление дефектов после автоматической и механизированной сварки.

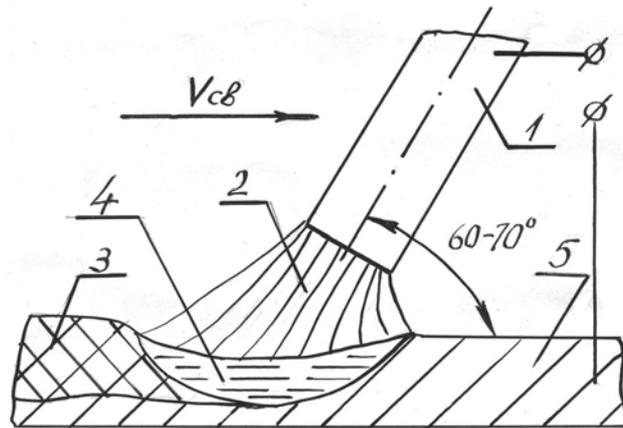


Рис. 10. Сварка качественным электродом: 1 – электрод; 2 – сварочная дуга; 3 – сварочный шов; 4 – сварочная ванна; 5 – основной металл

Сущность способа дана на рис. 10 и заключается в следующем: ток подводится к электроду 1 и свариваемому металлу 5, который еще называется основным металлом. Сварочная дуга 2 питается от источника постоянного или переменного тока. Под действием тепла дуги расплавляются электрод и основной металл. Доля последнего в формировании шва составляет 15...35 %. При кристаллизации сварочной ванны 4 образуется сварочный шов 3. Глубина, на которую расплавляется основной металл, называется глубиной проплавления, которая зависит от величины сварочного тока, диаметра электрода, положения шва в пространстве, колебания электрода, от разделки кромок и т.д.

Основными параметрами режима ручной дуговой сварки являются сварочный ток, диаметр электрода, длина дуги. Последняя в технологиче-

ских картах не оговаривается. Диаметр электрода зависит от толщины свариваемого металла, положения шва в пространстве. Для свариваемых толщин до 5 мм диаметр электрода равен свариваемой толщине. При сварке вертикальных, потолочных и горизонтальных швов диаметр электрода берется не более 5 мм с целью обеспечения качественного формирования шва. Выбирая величину сварочного тока, учитывают ее зависимость не только от диаметра электрода, но и от его рабочей длины, скорости его перемещения, состава покрытия и т.д. Для электродов 3...6 мм при выборе тока пользуются зависимостью

$$J_{CB} = K \cdot d,$$

где d – диаметр электрода, мм; K – коэффициент, учитывающий физические свойства свариваемого материала; $K = 40...60$ А/мм при сварке малоуглеродистых сталей; $K = 30...40$ А/мм при сварке легированных сталей.

Нормальная длина дуги при сварке определяется из соотношения

$$\ell_g = (0,5-1,1) \cdot d.$$

Для оценки производительности способа сварки вводится коэффициент наплавки α_H , который показывает количество металла в граммах, наплавляемого в единицу времени 1 ч при силе тока 1 А. Значения α_H для различных марок электродов приведены в табл. 4.

Таблица 4

Коэффициент наплавки для различных марок электродов

Марка электрода	ОММ-5	ЦМ-7	УОНИ 13/45	ОЗС-2	УП-1/45	АНО -1
α_H , г/а·ч	7,2	10,6	8,5	8,5	10	15

Зная α_H электрода, можно рассчитать количество наплавляемого металла G_H :

$$G_H = \alpha_H \cdot J_{CB} \cdot t_{CB},$$

где t_{CB} – время сварки.

Качественный электрод для ручной дуговой сварки представляет собой металлический стержень, на поверхность которого методами окунания или опрессовки нанесено покрытие. Стержень служит для создания дополнительного металла в шве, а покрытие электрода содержит следующие вещества:

а) шлакообразующие (марганцевая руда, рутил, плавиковый шпат), их назначение – шлаковая защита расплавленной сварочной ванны от действия атмосферы;

б) газообразующие вещества (крахмал, древесная мука, целлюлоза, мрамор, доломит и др.) являются источником выделения газов при плавлении покрытия и тем самым способствуют защите металла от атмосферы;

в) стабилизирующие вещества (поташ, селитра, карбонаты кальция и бария и др.) служат для легкого зажигания и устойчивого горения сварочной дуги. Эти вещества содержат вещества с низким потенциалом ионизации;

г) раскисляющие вещества ($FeMn$, $FeSi$, $FeTi$, $FeAl$ и др.) служат для удаления кислорода из расплавленной ванны;

д) легирующие вещества ($FeMn$, $FeSi$, $FeTi$, $FeAl$, Nb , Cr и др.) повышают служебные характеристики металла шва в зависимости от условий эксплуатации изделия;

е) связующие вещества (жидкое стекло – водный раствор силиката натрия или калия) придают прочность покрытию.

ГОСТ 9466–75, ГОСТ 9467–75 устанавливают тип, марку электродов и вид покрытия электродов (рудно-кислородное, рутиловое, фтористо-кальциевое и органическое). Тип электрода характеризует механические свойства группы электродов, а марка – его индивидуальные свойства. В табл. 5, 6 даны типы и марки электродов, применяемые при сварке мостовых сталей. Буква Э обозначает электрод, двузначная цифра – предел прочности наплавленного металла на растяжение ($кг/мм^2$); А – гарантирует получение повышенных пластических свойств металла шва.

Электроды с рудно-кислым покрытием пригодны для сварки как на постоянном, так и переменном токе. Их не рекомендуется применять при сварке сталей с повышенным содержанием серы и углерода, так как металл шва чувствителен к образованию кристаллизационных трещин. При сварке металла, имеющего окалину и ржавчину, можно получить плотные швы. Рудно-кислородное покрытие имеют электроды ОММ–5, ЦМ 7 и др.

Электроды с фтористо-кальциевым покрытием (УОНИ 13/45, УОНИ 13/55, ЦЛ–18 и др.) применяют при сварке на постоянном токе обратной полярности во всех пространственных положениях. Наплавленный металл соответствует спокойной стали, содержащей S и P 0,035 %. Металл шва стоек против образования кристаллизационных трещин и имеет высокие показатели ударной вязкости при положительных и отрицательных температурах. Данными электродами свариваются конструкции, работающие в тяжелых эксплуатационных условиях и имеющие повышенное содержание серы и углерода. Наплавленный металл чувствителен к окалине, ржавчине, влаге на свариваемых кромках (содержит поры).

Электроды с рутиловым покрытием (ЦМ9, ОЗС–3, ОЗС–4 и др.) благодаря наличию органических веществ в покрытии содержат повышенное количество водорода в шве. Наплавленный металл чувствителен к образованию кристаллизационных трещин и менее склонен к образованию пор при сварке по окисленным поверхностям и металлу с повышенным содержанием кислорода, азота. Покрытие обеспечивает стабильное горение дуги, хорошее формирование шва, минимальное разбрызгивание электродно-

го металла, небольшое выделение вредных газов. Сварка этими электродами возможна во всех пространственных положениях как на постоянном, так и переменном токе.

Электроды ОМА–2 и др.) за счет повышенного количества в покрытии горючих органических веществ (целлюлоза, крахмал) обеспечивают при сварке качественную газовую защиту расплавленного металла. Шлакообразующие вещества (рутил, титановый концентрат, марганцевая руда, силикаты) обеспечивают шлаковую защиту сварочной ванны. Сварка этими электродами пригодна во всех пространственных положениях, на постоянном и переменном токе. По механическим свойствам наплавленного металла электроды относятся к типам Э42 – Э50.

Особенности сварки

Сварочные материалы выбирают с учетом класса прочности и марки применяемой стали, типа сварного соединения, типа сварных швов (см. табл. 5, 6).

Таблица 5

Тип и марки электродов

Тип электрода	Марка электрода
Э42А	УОНИ 13/45, ОЗС–2, СМ–11
Э46А	АНО–8, УОНИ 13/55 К
Э50А	УОНИ 13/55, ДСК–50, АНО–7, АНО–9, АНО–10, АНО–11

Таблица 6

Тип электродов в зависимости от марки свариваемой стали

Класс прочности стали	Марка стали	Соединение	
		стыковое	тавровое, угловое, нахлесточное
С 38/23	Вст3сп5	Э42А	Э42А
С 46/36	15ХСНД	Э46А	Э42А
С 52/40	10ХСНД 15ХСНД-40 14Г2АФД 15Г2АФДпс	Э50А	Э42А

Примечание. Режим прокалки электродов 350 °С, 1 ч.

Длина сварочного шва первого прохода электродом Ø 4 мм 150...200 мм (длина электрода 450 мм), а для электрода Ø 5 мм 250 мм. Длина сварных швов последующих проходов при сварке электродами Ø 4 и 5 мм соответственно составляет 100...150 мм и 150...200 мм.

**Зависимость диаметра электрода и сварочного тока
от положения шва в пространстве**

Положение шва в пространстве	Диаметр электрода, мм	Сварочный ток, А
Нижнее	4	120...160
	5	170...200
	3	80...110
Горизонтальное и вертикальное	4	120...140
	3	70...100
Потолочное	3	70...100
	4	120...140

Разделку кромок сварных соединений назначать по ГОСТ 5264–69: для стыковых соединений – при толщине листов свыше 6 мм, а для ручной сварки угловых и тавровых соединений при толщине листов свыше 4 мм.

Обработка кромок деталей под сварку выполняется строганием, фрезерованием или машинной кислородной резкой. Неровности от резания не должны превышать 0,5 мм.

При наличии в сварном соединении пересекаемого шва его усиление в месте пересечения удаляют до получения заданной разделки кромок.

При обрыве сварочной дуги ее зажигают на металле сварочного шва на расстоянии 30...50 мм от кратера сварочной ванны. Запрещается зажигать сварочную дугу на основном металле.

Для обеспечения стабильного горения и эффекта саморегулирования дуги источник питания должен иметь более крутую падающую внешнюю характеристику (рис. 3). В качестве источников питания используются выпрямители: ВСС–300, ВДУ–504, ВД 301, ВД 302, ВСУ 500, ВКСМ–1000 и преобразователи ПС 300, ПС 500, ПСМ 1000.

Ручная электродуговая сварка качественными электродами обеспечивает равнопрочность металла сварочного шва и основного металла.

3.2. Особенности автоматической и механизированной сварки под слоем флюса

Особенностью данного способа сварки является горение сварочной дуги под слоем флюса. Иногда ее называют сваркой погруженной дугой. Схема процесса сварки дана на рис. 10.

Для возбуждения сварочной дуги 2 плавящийся электрод 1 накоротко замыкают на изделие и насыпают требуемую толщину флюса в месте контакта электрода со свариваемой поверхностью. Включают сварочный

ток и возбуждают сварочную дугу, под действием которой плавится флюс 4, электрод 1, свариваемый металл 8, образуя сварочную ванну 3. Сварочная дуга горит под эластичной оболочкой расплавленного флюса, который не только препятствует разбрызгиванию жидкого металла, но и защищает расплавленный металл сварочной ванны от кислорода и азота воздуха. Затвердевший металл сварочной ванны и флюс образуют соответственно сварной шов и шлаковую корку, легко удаляемую после остывания шва.

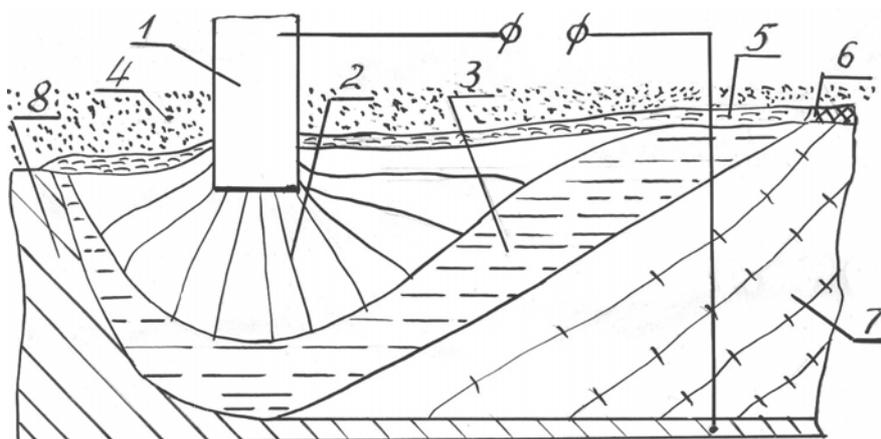


Рис. 10. Схема способа сварки под слоем флюса: 1 – плавящийся электрод; 2 – сварочная дуга; 3 – сварочная ванна; 4 – флюс; 5 – расплавленный флюс; 6 – шлаковая корка; 7 – сварной шов; 8 – основной металл

Преимущества способа сварки:

а) высокое качество металла сварного шва достигается за счет использования флюса и большого объема ванны, способствующим длительному пребыванию металла в расплавленном состоянии. При этом более полно протекают химические реакции, улучшающие механические свойства наплавленного металла;

б) большая производительность процесса сварки, достигаемая за счет применения плотностей тока до $150 \dots 200 \text{ А/мм}^2$ (при ручной электродуговой сварке качественными электродами плотность тока порядка $10 \dots 20 \text{ А/мм}^2$.) Коэффициент наплавки составляет $14 \dots 27 \text{ г/А ч}$;

в) снижение трудоемкости изготовления конструкции за счет устранения операций по разделке кромок;

г) сокращение расходов электродного металла и электроэнергии благодаря снижению потерь на угар, разбрызгивания, огарки и лучшего использования тепла дуги, горящей в газовом пузыре, ограниченном сверху расплавленной оболочкой флюса;

д) улучшение условий труда за счет отсутствия открытой сварочной дуги.

Автоматическая сварка под слоем флюса применяется:

а) при двухсторонней однопроходной сварке стыковых соединений толщиной 10...16 мм без разделки кромок на флюсовой подушке;

б) при многопроходной сварке стыковых соединений с X-образной разделкой кромок на флюсовой подушке листов толщиной 20...50 мм;

в) при сварке угловых тавровых и нахлесточных соединений листов толщиной 10...50 мм в нижнем положении.

Механизированная сварка под слоем флюса используется при сварке стыковых соединений листов толщиной 10...50 мм в нижнем положении.

Особенности сварки под слоем флюса

Сварка под слоем флюса выполняется только в нижнем положении на постоянном токе. Источником тепла служит сварочная дуга.

Металл сварного шва обычно состоит из 1/3 расплавленного электродного металла и 2/3 основного металла. Отношение веса расплавленного флюса к весу расплавленного электрода составляет примерно 1:1.

Назначение флюса при сварке аналогично обмазке электродов для ручной электродуговой сварки: обеспечить стабильное горение сварочной дуги, газовую и шлаковую защиту жидкого металла сварочной ванны, легирование и раскисление металла сварного шва.

Для обеспечения полного провара соединения осуществляется разделка кромок при автоматической сварке стыковых соединений листов толщиной свыше 16 мм. При автоматической и механизированной сварке угловых и тавровых соединений разделка кромок имеет место в листах толщиной свыше 8 мм.

Отступления от параметров режима сварки и разделки кромок приводят к отклонениям и дефектам в сварных соединениях:

1. Повышение J_{CB} увеличивает глубину проплавления основного металла, приводит к получению узких швов и облегчает образование кристаллизационных трещин, затрудняет удаление газов и облегчает возникновение в шве пор и шлаковых включений.

2. Повышение I_D увеличивает ширину сварочной ванны, что ведет к образованию подрезов основного металла на границах со швом, уменьшает глубину провара.

3. Снижение I_D уменьшает ширину сварного шва, ухудшает форму провара, увеличивает склонность швов к образованию кристаллизационных трещин.

4. Увеличение V_{CB} уменьшает ширину сварного шва, ухудшает форму провара, затрудняет удаление из сварочной ванны газов и шлаковых включений, способствует образованию пористости и шлаковых включений в сварном шве.

5. Уменьшение V_{CB} приводит к наплыву расплавленного металла на кромки разделки, способствует уменьшению глубины проплавления.

6. Увеличение притупления, кромок, уменьшения угла разделки кромок и зазора в стыке способствует образованию непроваров.

7. Уменьшение притупления, увеличения угла разделки кромок и зазора в стыке увеличивает глубину провара, ухудшает условия кристаллизации металла сварного шва и способствует образованию горячих трещин.

При многопроходной сварке каждый последующий слой накладывается после очистки от шлака предыдущего слоя и остывания шва до $150...300\text{ }^{\circ}\text{C}$. При обрыве дуги кратер и прилегающий к нему участок длиной 50 мм очищается от шлака. Дуга зажигается на заваренном шве на расстоянии 30...50 мм от кратера.

Направление оси электрода при автоматической сварке должно быть:

а) по продольной оси симметрии зазора стыкового соединения без разделки кромок;

б) при многопроходной сварке стыковых соединений с разделкой кромок после наложения первых 2-х слоев с каждой стороны производить смещение электродной проволоки на одну и другую сторону с периодическим наложением слоев по центру;

в) по продольной оси зазора таврового соединения при сварке «в лодочку»;

г) со смещением на 1...2 мм от вершины угла при сварке таврового соединения в нижнем положении (рис.11).

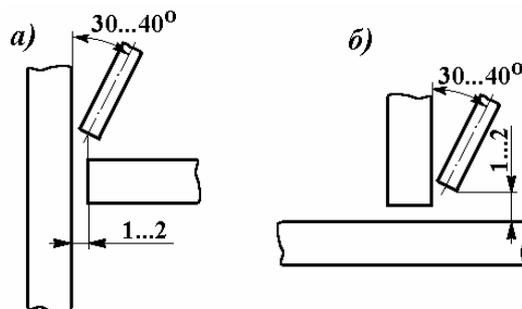


Рис. 11. Тавровое соединение:

а – с вертикальным зазором;

б – с горизонтальным зазором

В качестве источников питания используются выпрямители ВКС 1000, ВС 1000, ВДМ 1601, ВС 500, ВС 600, ВДУ 504 и сварочные преобразователи ПСО 500, ПСГ 500, ПСМ 1000, ПСО 1000.

Для автоматической сварки применяются автоматы типа ТС 17, ТС 35, АДФ–1002, для механизированной сварки – полуавтоматы ПШ15, ПШ 54, А 1035, А 1197.

Для формирования обратной стороны шва используют флюсовые, меднофлюсовые и медные подкладки (рис. 12, 13).

Сварочные материалы для автоматической и механизированных способах сварки под слоем флюса даны в табл. 8 и 9, а режимы сварки – в табл. 10.

Таблица 8

Материалы для автоматической сварки под слоем флюса

Класс стали	Марка стали	Сварочная проволока	Марка флюса
С 38/23	ВСт3сп 16Д	Св08ГА	АН 348 А, ОСЦ45
С 46/33	15ХСНД	Св10Г2 Св10НМА Св08ГА	АН 47, АНК 30 АН 22 АН 348 А, ОСЦ 45
С 52/40	10ХСНД 15ХСНД	Св10Г2 Св10НМА Св10Г2	АН 47 АН 22 АН 348 А
	14Г2АФД	Св10НМА	АНК 30 АН 22

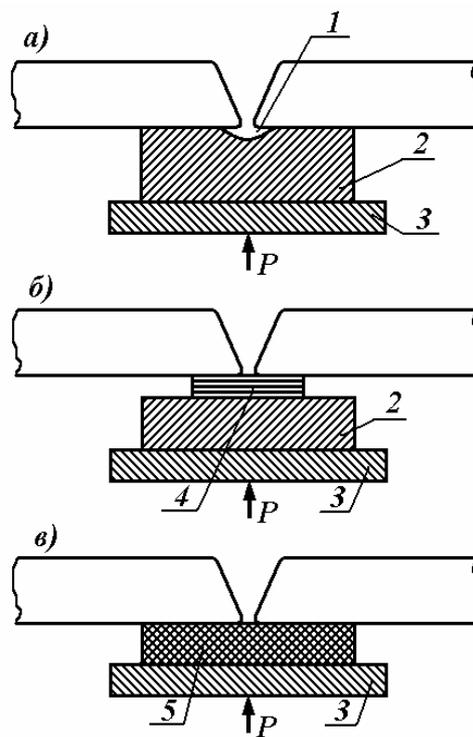


Рис. 12. Схемы установки подкладок в стыковых соединениях: 1 – флюс; 2 – медная подкладка; 3 – стальная подкладка; 4 – стеклоткань; 5 – керамическая подкладка

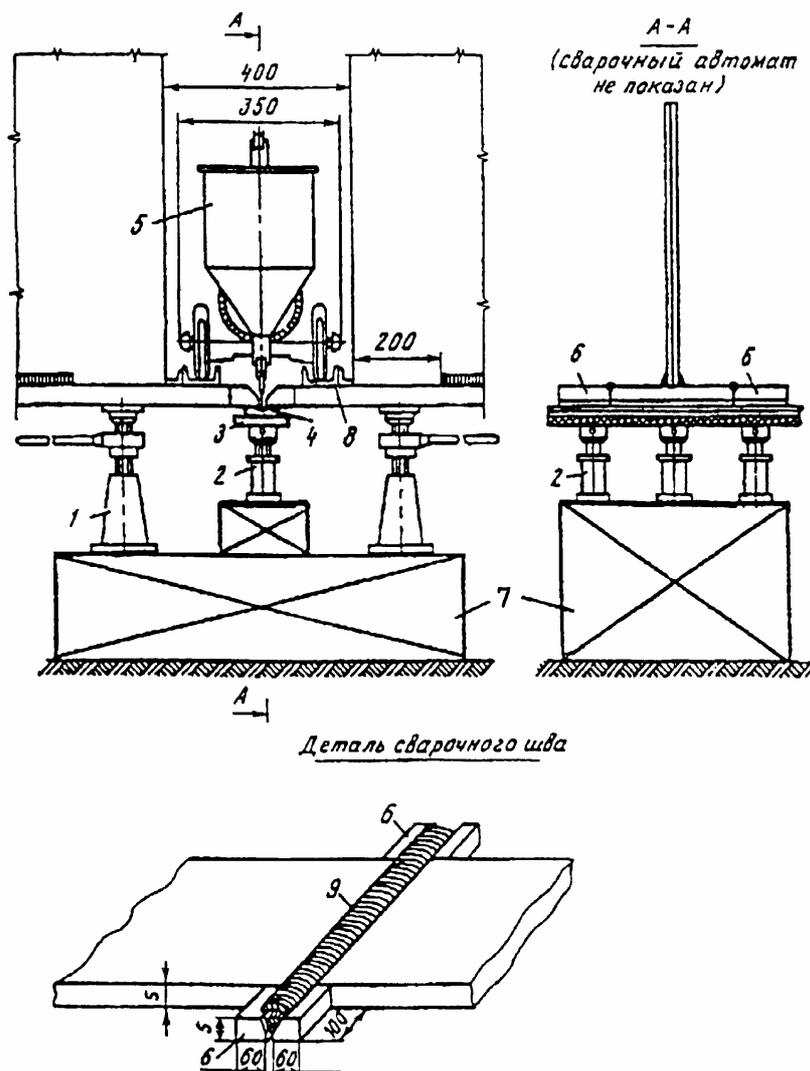


Рис. 13. Технология сборки блоков под автоматическую сварку нижнего пояса: 1 – монтажный домкрат; 2 – прижимной домкрат; 3 – металлическая обойма; 4 – направляющая подкладка; 5 – сварочный автомат; 6 – выводные планки; 7 – монтажная клетка; 8 – направляющий швеллер; 9 – сварной шов

Если в сварном соединении используются стали различных марок, то следует применять способ сварки, сварочные материалы и режимы сварки, предусмотренные для стали более низкого класса.

Сварку стыковых соединений выполнять в нижнем положении, а угловых и тавровых соединений – в нижнем положении «в лодочку».

Механизированная сварка под слоем флюса осуществляется электродной проволокой $\varnothing 2$ мм, а автоматическая – $\varnothing 2 \dots 5$ мм.

Режимы сварки назначаются по утвержденным заводским нормам с учетом требований СТП в зависимости от класса прочности и марки стали, толщины металла, параметра разделки кромок и способа сварки.

Материалы для механизированной сварки под слоем флюса

Класс стали	Марка стали	Сварочная проволока	Марка флюса
С 38/23	ВСт3сп5 ВСт3пс5 16Д	Св08ГА	АН 348 АМ
С 46/33	15ХСНД	Св10Г2	АН 47, АНК30
		Св10НМА	АН 22
		Св08ГА	АН 348 А ОСЦ45
С52/40	10ХСНД 15ХСНД–40	Св08ГА Св10НМА	АН 47 АН 22
	15Г2АФДпс	Св10НМА	АНК 30 АН 22

Таблица 10

Режимы автоматической сварки под слоем флюса тавровых соединений

Форма разделки кромок	Катет шва, мм	Диаметр электрода, мм	Режим сварки			
			Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки м/ч	Скорость подачи электрода, м/ч
Без разделки кромок	6	2	250...300	27...29	25	162
	7	2	320...370	30...34	25	191
	8	2	400...450	30...34	25	260

Контролируются параметры режима сварки: J_{CB} , I_d , V_{CB} . Дополнительные параметры: $V_{эл}$, \emptyset электрода, вылет электродной проволоки. Режимы автоматической сварки под флюсом тавровых соединений даны в табл. 10.

Статическая характеристика сварочной дуги при сварке под слоем флюса жесткая и возрастающая в зависимости от диаметра электрода.

3.3. Особенности автоматической сварки под слоем флюса с металлохимической присадкой

В качестве металлохимической присадки (МХП) используют стальную крупку из сварочной проволоки соответствующей марки $\emptyset 1...2$ мм по ГОСТ 2246–70, смешанную с NaF (по ГОСТ 4463–76). Высота цилиндра стальной крупки не превышает его диаметр. NaF вводится в МХП в коли-

честве 0,5 % от веса крупки. Срок хранения МХП не более 1 месяца после изготовления.

Одностороннюю автоматическую сварку под флюсом с МХП выполняют на медной подкладке, обмотанной стеклотканью с подсыпкой измельченного флюса слоем толщиной 1 мм. Медная подкладка укладывается в стальную обойму и поджимается к стыкуемым элементам пневмоприжимами или клиньями. Ширина канавки 24 мм.

Рекомендуемые сварочные материалы даны в табл. 11.

Таблица 11

Марки сварочных проволок и флюсов

Способ сварки	Тип сварного соединения	Вид сварочных материалов	Рекомендуемая марка материала для сталей с σ_T , МПа	
			330	390
Автоматическая сварка под слоем флюса с МХП	Стыковое	Сварочная проволока	Св10Г2 Св10НМА Св10ГН	Св10НМА Св10ГНДТА
		Сварочная проволока для МХП	Св08Г2С Св10НМА Св10Г2 $d_{эл}=1,2...2$ мм	Св10НМА Св08Г2С $d_{эл}=1,2...2$ мм
		Флюс	АН47, АН43 Смесь: АН47 (50 %)+АН348А (50 %)	АН47, АН43, АНК561, АН47 (70 %)+АН348А (38 %)

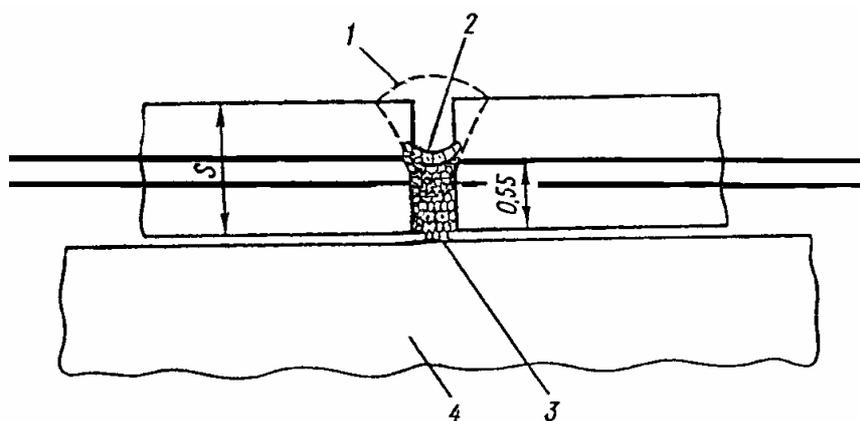


Рис. 14. Схема постановки прихваток при сварке с применением МХП: 1 – первый шов; 2 – ручная прихватка; 3 – металлокхимическая присадка; 4 – сборочный стеллаж

Схема сборки стыкового соединения под одностороннюю автоматическую сварку под слоем флюса с МХП дана на рис. 14.

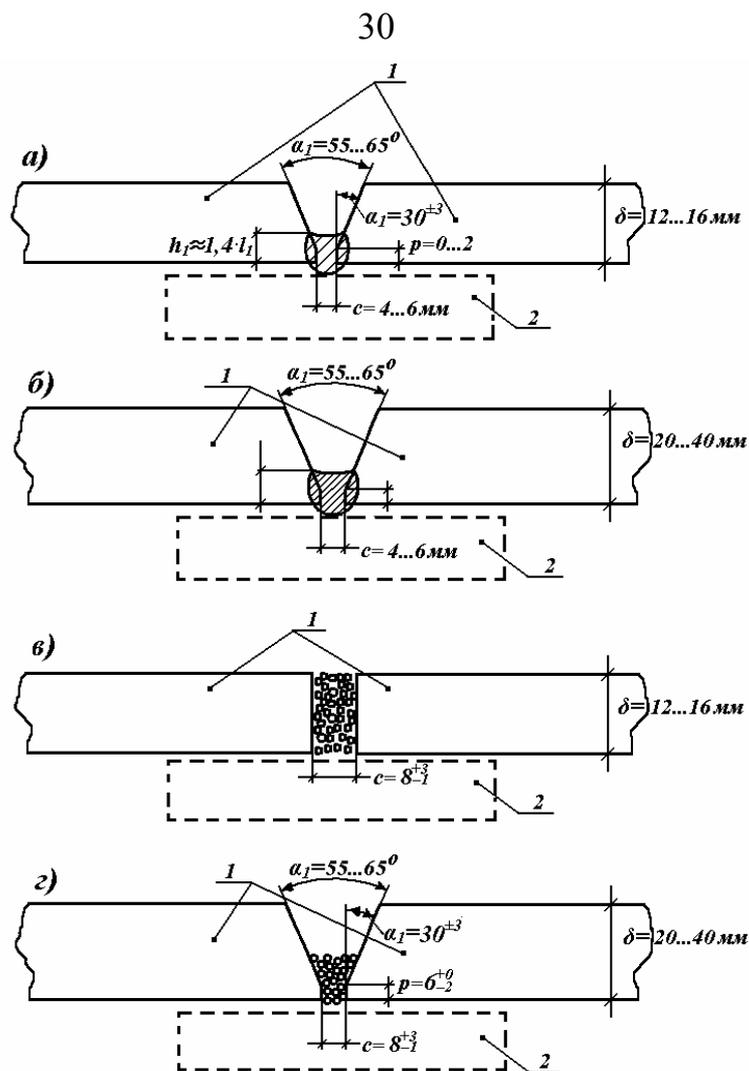


Рис. 15. Схемы сборки стыковых соединений под одностороннюю автоматическую сварку: а и б – по ручной подварке шва; в и г – с применением МХП; 1 – свариваемые элементы конструкции; 2 – формирующая подкладка

Таблица 12

**Режимы автоматической сварки под слоем флюса с МХП
электродной проволокой 4 мм**

Форма разделки кромок	Толщина листа, мм	Наименование слоя шва	Режим сварки		
			J_{CB} , А	I_D , В	V_{CB} , м/ч
Без разделки кромок	12...16	1-й с МХП	740...850	36...38	17...19
		2-й без МХП	500...600	37...42	17...19
V-образная разделка кромок	25...40	1-й с МХП,	750...820	36...38	17...19
		2-й без МХП,	720...780	36...38	
		промежуточный без МХП,	550...600	36...38	
		облицовочный без МХП	550...600	37...41	

Разделка кромок не предусматривается в стыковых соединениях металла толщиной до 16 мм. При сварке больших толщин выполняется разделка кромок (рис. 15).

Прихватку в стыковых соединениях с МХП следует ставить со стороны первого шва. До их постановки зазор в стыке заполняют металлохимической присадкой на половину толщины свариваемого металла (см. рис. 15). МХП засыпают по всей длине соединения, кроме мест постановки прихваток на всю высоту зазора (для толщин свариваемого металла 20...25 мм) или с превышением над поверхностью свариваемого металла на 4 ± 1 мм (для толщин 32 мм). Сварка осуществляется в нижнем положении без перерыва по всей длине стыка. При обрыве сварочной дуги кратер защищают шлифовальным кругом и возобновляют сварку на шве не ближе 20 мм от места обрыва сварочной дуги. Угловые швы тавровых соединений автоматической сваркой под слоем флюса с применением МХП выполняют в положении «в лодочку» для сварных швов с катетами выше 8 мм.

Двухстороннюю автоматическую сварку под флюсом с МХП осуществляют в заводских условиях.

Режимы автоматической сварки под слоем флюса с МХП даны в табл. 12.

3.4. Особенности вертикальной сварки с принудительным формированием шва самозащитной проволокой

Вертикальная сварка с принудительным формированием шва самозащитной проволокой применяется для односторонней сварки вертикальных стыков (балки, ребра жесткости нижних ребристых плит). Сварку выполняют открытой дугой без дополнительной защиты. Порошковая проволока – трубчатая проволока, заполненная порошкообразным наполнителем. Оболочку изготавливают из низкоуглеродной стали при толщине ленты 0,2...0,5 мм. Наполнителем служит смесь порошков из газо- и шлакообразующих компонентов, легирующих, раскисляющих, стабилизирующих. Проволока основного типа использует шлакообразующие и газообразующие компоненты шахты с основными и амфотерными свойствами (мармор, магнезит и др.). Эти проволоки чувствительны к влаге, ржавчине, образуют пористость при сварке длинной дугой, однако высокопроизводительны, обеспечивают высокие механические свойства. Хранят проволоку при $t \geq 15$ °С. Перед сваркой их прокаливают при $t = 200...230$ °С, 1...2 ч.

Рекомендуемые самозащитные проволоки даны в табл. 13.

Порошковые проволоки

Способ сварки	Типы сварных соединений	Марка проволоки	Рекомендуемый материал для сварки сталей с σ_T , МПа	
			330	390
Механизированная с принудительным формированием шва	Стыковые вертикальные швы	Порошковая самозащитная	ППАН – 19Н ППАН – 19С ППАН – 32 $d_{эл} = 2,4 \dots 3$	ППАН – 19Н ППАН – 19С ППАН – 32 $d_{эл} = 2,4 \dots 3$

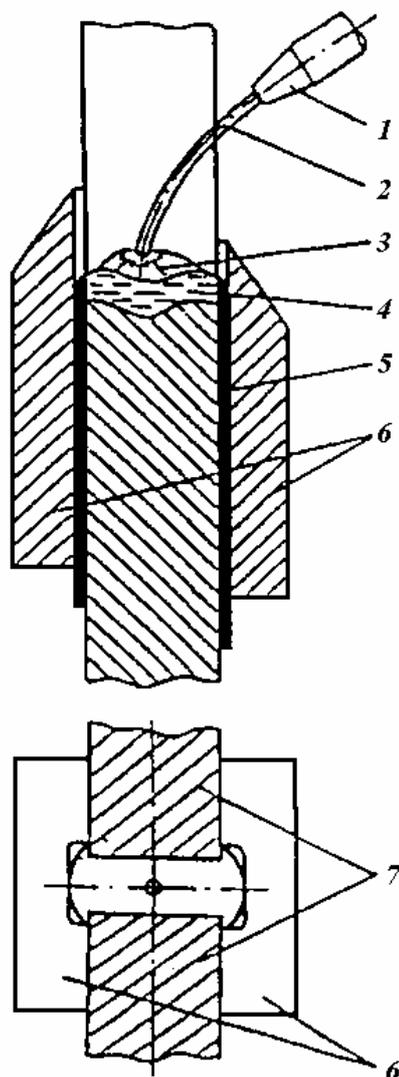


Рис. 16. Схема автоматической сварки вертикальных швов самозащитной порошковой проволокой с принудительным формированием металла шва: 1 – мундштук; 2 – проволока; 3 – шлак; 4 – металлическая ванна; 5 – шлаковая корка; 6 – формирующие ползуны; 7 – свариваемые элементы

Схема процесса вертикальной сварки с принудительным формированием шва дана на рис. 16. При сварке стыков с V-образной разделкой кромок формирование обратной и лицевой сторон шва осуществляется охлаждаемыми медными формирующими ползунами (рис. 17). Форма подготовки кромок дана на рис. 17. Начальный участок вертикального стыка сваривают ручной сваркой. После удаления шлака и установки формирующих

устройств включается автомат для вертикальной сварки самозащитной проволокой. При X-образной разделке кромок стык сваривается в два прохода, причем при первом проходе обратная сторона шва формируется медной трубкой, охлаждаемой водой.

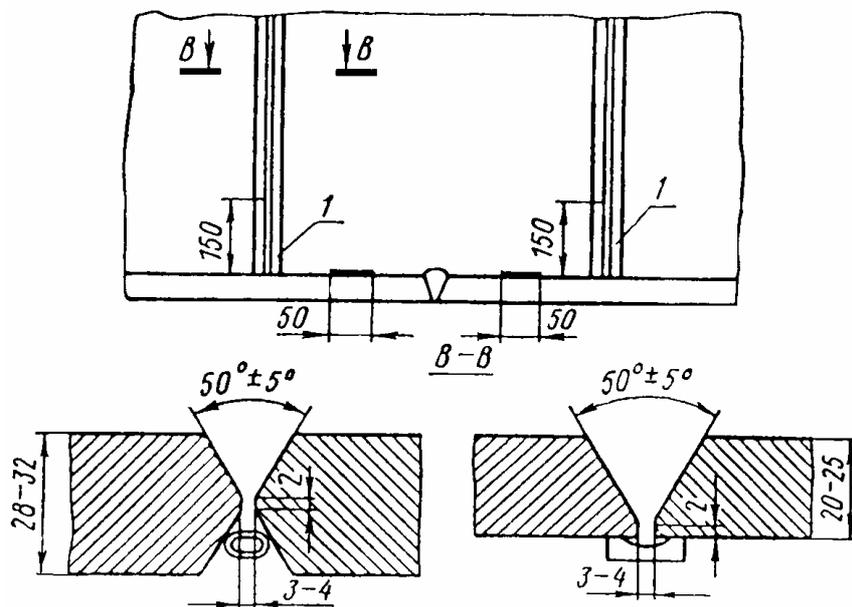


Рис. 17. Форма подготовки кромок и формирующие подкладки под вертикальные швы, выполняемые аппаратом А-820 М: 1 – участок ручной сварки

Сварка выполняется на постоянном токе обратной полярности с применением источников питания с жесткой внешней характеристикой: ВДУ-505, ВДУ-506, ВДУ-60, ВДУ-504 и др. Сварочная дуга имеет возрастающую статистическую характеристику. Режимы сварки даны в табл. 14.

Таблица 14

**Режимы автоматической вертикальной сварки
с принудительным формированием шва**

Параметры режима сварки	Оптимальные значения	Допустимые значения параметров режима
J_{CB} , А	420...450	400...500
I_d , В	29...30	28...32
Вылет электрода, мм	38...40	28...45
$d_{эл}$, мм	3	3
Марка сварочной проволоки	ППАН-19Н ППАН-19С	ППАН-32

При сварке вертикального стыка процесс не должен прерываться. В случае преждевременного прекращения процесса сварки выплавляют кра-

тер сварного шва. Для этого выключают подачу проволоки, перемещение автомата, выключают источник питания, снимают формирующие ползуны и поднимают аппарат вверх по стыку на 400...500 мм. Шлак и натеки металла удаляют, поверхность шва защищают, затем устанавливают аппарат на стык таким образом, чтобы ползуны располагались ниже торца заваренного участка шва на 5...6 мм (рис. 18).

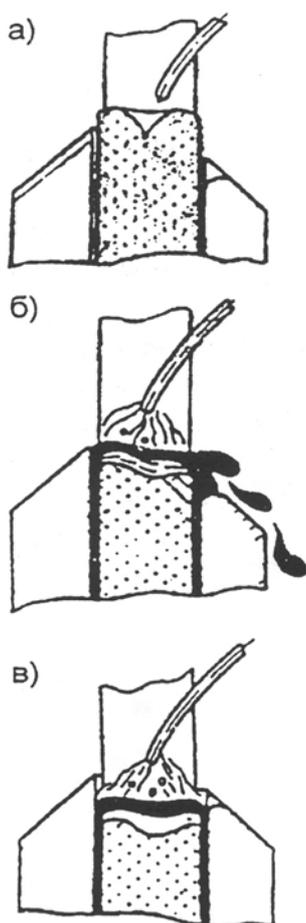


Рис. 18. Схема возобновления сварочного процесса после вынужденной остановки: *а* – положение ползуна перед началом продолжения сварки; *б* – выплавка кратера конца шва при неподвижных ползунах; *в* – окончание выплавки кратера, включение перемещения аппарата со сварочной скоростью

Выступающую часть шва выплавляют до уровня верхней кромки переднего ползуна, затем включают перемещение аппарата. Во избежание появления пор при возобновлении сварочного процесса в зону дуги рекомендуют подавать CO_2 в течение 30...40 с до установления стабильного процесса сварки.

3.5. Особенности сварки в среде углекислого газа

Сварка в среде углекислого газа заключается в том, что сварочная дуга между плавящимся электродом и изделием горит в среде защитного газа (CO_2 , $CO_2 +$ до 30 % O_2 , $CO + 80$ % Ar), подаваемого через сопло для защиты расплавленного основного и электродного металлов (рис. 19).

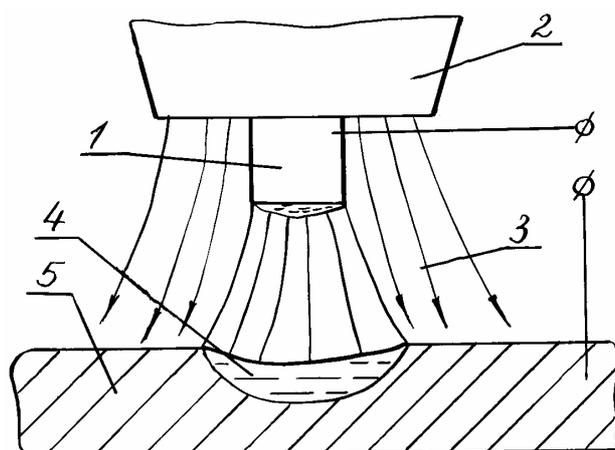


Рис. 19. Схема процесса сварки в среде CO_2 : 1 – плавящийся электрод; 2 – сопло; 3 – защитный газ; 4 – сварочная ванна; 5 – основной металл

Преимущества данного способа сварки:

- а) высокая производительность процесса и хорошее качество сварных швов ($\alpha_H = 12 \dots 18$ г/А·ч);
- б) возможность сварки во всех пространственных положениях;
- в) возможность сварки малых толщин и соединений на весу без подкладок;
- г) низкая стоимость защитного газа по сравнению с аргоном, азотом, гелием;
- д) малая токсичность защитной среды и отсутствие необходимости применять флюсы и электроды;
- е) стоимость 1 кг наплавленного металла и расход электроэнергии на 1 кг направленного металла при сварке в CO_2 ниже, чем при ручной сварке качественными электродами.

На эффективность газовой защиты сварочной ванны влияют тип сварного соединения, геометрические параметры сопла, форма истечения защитного газа из сопла, режим сварки, расстояние от сопла до изделия. Обычно расстояние от сопла до изделия находится в пределах 7...25 мм.

Источником тепла при сварке в CO_2 является сварочная дуга.

Целесообразно данный способ сварки применять при изготовлении изделий из углеродистых и низколегированных сталей. При монтажной сварке мостов получают неразъемные соединения: стыковые без скоса кромок листов толщиной менее 8 мм, стыковые с V-образной разделкой кромок листов толщиной 10...16 мм, стыковые K-образной и X-образной разделками кромок листов толщиной 10...16 мм, угловые, тавровые и нахлесточные из листов менее 50 мм, свариваемых в нижнем, вертикальном и горизонтальном положениях в «угол» и в «лодочку».

Сварочная дуга обладает окислительными свойствами. Поэтому при сварке наблюдается выгорание углерода и легирующих элементов, что приводит к снижению прочностных свойств металла шва. Для обеспечения равнопрочности металлов шва и основного используют при сварке сварочные проволоки с повышенным содержанием углерода, кремния, марганца (Св08Г2С, Св08ГС, Св 08Г2Н2Т, Св12ГС, 18ХМА и др.).

Сварочные материалы для механизированной сварки в CO_2 (или 80 % $Ar + 20\% CO_2$) даны в табл. 15.

Таблица 15

Сварочные материалы для сварки в CO_2

Марка стали	Стыковое соединение		Тавровые, угловые, нахлесточные соединения	
	Проволока		Проволока	
Класс прочности	сплошная	порошковая	сплошная	порошковая
15ХСНД, 15ХСНДА 09Г2СД 09Г2С 345	Св08Г2Н2Т Св08Г2С	ПП-АН8 ПП-АН9 ПП-АН32	Св08Г2С	ПП-АН8 ПП-АН9 ПП-АН32
10ХСНД 10ХСНДА 390	Св08Г2Н2Т Св08Г2С	ПП-АН9 ПП-АН32	Св08Г2С	ПП-АН9 ПП-АН32
Вст3сп, ВСт3пс 16Д, С 38/23	Св08Г2С	ППАН-4 ППАН-32	Св08Г2С	ППАН9 ППАН32
15Г2АФДпс, 14Г2АФД С52/40	Св08Г2С	ПП-АН9	Св08Г2	ППАН9

Сварка в CO_2 выполняется как сварочными проволоками сплошного сечения, так и порошковыми проволоками (ПП-АН8, ПП-АН3, ПП-АН32 и др.). Диаметры проволок сплошного сечения и порошковых соответственно находятся в пределах 0,8...2 и 1,6...3 мм. Химический состав наплавленного металла порошковой проволокой определяется составом и соотношением материала трубки и порошка, заполняющего внутреннюю поверхность.

Сжиженный углекислый газ для сварки должен соответствовать ГОСТ 8050-76, согласно которому его чистота должна быть 99,5 % CO_2 .

Сварка ведется на высоких плотностях постоянного тока обратной полярности. При этом увеличивается коэффициент наплавки, но повышается разбрызгивание электродного металла. Сварка на постоянном токе обратной полярности способствует лучшему формированию сварного шва.

Для снижения разбрызгивания электродного металла применяют источники питания постоянного тока с жесткой внешней характеристикой (ВС–300, ВС–1000, ВДГ–301, ВДГ–502, ВДУ–504, ПС–500 и др.), высокие плотности сварочного тока, а также газовые смеси (CO_2 +до 30 % O_2 или CO_2 + до 80 % Ar). Для защиты свариваемого металла от брызг расплавленного электродного металла, которые трудно удаляются после их затвердевания, применяются защитные смеси: смесь алюминиевой барды с декстрином, водный раствор сульфидно-спиртовой барды, силиконовые смазки и др.

Сварка в CO_2 возможна автоматами и полуавтоматами во всех пространственных положениях шва при наличии больших зазоров. Расход защитного газа находится в пределах 0,8...1,5 м³/ч.

Сварка в CO_2 обеспечивает получение сварных соединений, равнопрочных основному металлу.

Сварку вертикальных, горизонтальных и потолочных швов выполняют проволокой \varnothing 1,2; 1,4 мм в импульсном режиме. Генераторы импульсов ГИ–ИДС–1, ГИ–ИДС–2. Порошковая проволока \varnothing 2...2,2 мм.

Параметры механизированной сварки в CO_2 даны в табл. 16.

Таблица 16

Режимы механизированной сварки в среде CO_2

Диаметр проволоки, мм	J_{CB} , А	I_d , В	V_{CB} , м/ч	Расход защитного газа, л/мин	Вылет электрода, мм
1	100...180	16...22	5...20	6...15	6...12
1,2	110...230	17...23	6...25	7...18	6...12
1,4	100...260	17...24	6...30	8...20	8...13

Пост для сварки в CO_2 должен быть оснащен баллоном с CO_2 , подогревателем, осушителем, ротаметром.

При механизированной сварке в CO_2 в нижнем положении электродная проволока перемещается поступательным движением вдоль шва, возвратно-поступательным движением по спирали и т.д. При сварке в нижнем положении угол наклона электродной проволоки по отношению к поверхности изделия 65...75° (сварка углом назад). При сварке тавровых соединений в «угол» наклон электродной проволоки по отношению к вертикальной стенке 30...40°. Проволоку направляют в вершину угла или со смещением на 1...2 мм по горизонтали.

Чистота CO_2 – 99,5 %. Применять техническую углекислоту запрещается. Из-за наличия в пищевой углекислоте воздуха и влаги отбор CO_2 начинают после отстаивания баллона не менее 10 мин и выпуска первых

порций газа в атмосферу в течение 20...30 с. Баллоны располагаются вертикально.

Применяют осушители низкого давления. Объем рампового осушителя больше $0,1 \text{ м}^3$, а осушителя сварочного поста не менее $0,002 \text{ м}^3$.

Осушители заполняются силикагелем марок КСМ и КСК по ГОСТ 3956–76. Перед заполнителем осушителя или после увлажнения (не менее 1 раза в 10 дней) силикагель прокаливается в течение 2 ч при $250 \text{ }^\circ\text{C}$.

4. КИСЛОРОДНАЯ (ГАЗОВАЯ) РЕЗКА СТАЛИ

Основана на свойстве металлов, нагретых до высокой температуры, интенсивно сгорать в кислороде, позволяет делать сквозные разрезы или создавать углубления в виде канавок на поверхности металла.

Кислородной резкой обрабатывают металлы, имеющие следующие свойства:

а) мощность источника теплоты должна обеспечить нагрев металла до температуры начала реакции сгорания металла в кислородной струе и достаточной для поддержания непрерывного процесса резки;

б) высокая жидкотекучесть окислов и шлаков, что способствует удалению их из полости реза динамическим действием режущей струи кислорода;

в) температура сгорания металла и образующихся при резке окислов и шлаков должна быть ниже температуры плавления металла; в этом случае металл горит в твёрдом состоянии;

г) невысокая теплопроводность металла обуславливает быстрый местный нагрев до высоких температур;

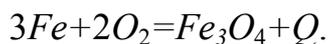
д) температура плавления металла должна быть выше температуры плавления оксидов, иначе последние изолируют металл от контакта с кислородом и затрудняют процесс резки.

Всем перечисленным условиям удовлетворяет углеродистая сталь с содержанием углерода $C < 0,25 \%$.

Второму и третьему условию не удовлетворяет чугун из-за низкой температуры плавления и повышения температуры воспламенения. Возрастает вязкость шлака. Пятому условию не соответствуют *Al*, *Mg* и их сплавы, а также стали с большим содержанием *Cr* и *Ni*. При нагревании этих сплавов тугоплавкая пленка оксида препятствует поступлению кислорода к неокисленному металлу.

Схема разделительной резки дана на рис. 20. Металл 1 нагревается до температуры воспламенения ($1000...1200 \text{ }^\circ\text{C}$) ацетилено-кислородным пламенем 2, затем направляется струя режущего кислорода 3 и нагретый

металл горит с выделением большого количества теплоты, т. е. идет реакция



Теплота Q от горения железа вместе с подогревающим пламенем разогревает нижележащие слои металла на всю его толщину. Среднеуглеродистые стали (0,3...0,5 % C) режут с подогревом металла до 300 °С.

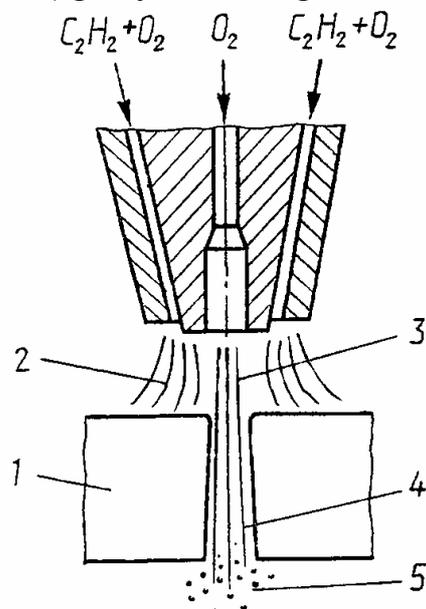


Рис. 20. Схема разделительной газокислородной резки:
1 – разрезанный металл; 2 – подогревающее ацетилено-кислородное пламя; 3 – струя режущего кислорода; 4 – зона реза; 5 – удаляемые оксиды металла

Для осуществления процесса газовой резки необходим кислородный резак, баллоны с горючим газом и кислородом, редукторы, соединительные шланги.

Таблица 17

Температура пламени горючих газов

Горючий газ	Температура пламени в смеси с кислородом, °С
Ацетилен	3150
Природный газ	2100
Пропан-бутан	2600
Керосин	2400

В качестве горючих газов используют ацетилен, природный газ, пропан-бутан, керосин и бензин. Температура их пламени при горении в кислороде дана в табл. 17.

В баллонах ацетилен растворен в ацетоне и распределен в пористом наполнителе под давлением 19 кг/см^2 (40 л). 1 л ацетона растворяет 23 л C_2H_2 . Кислород в баллоне находится под давлением 150 кг/см^2 (6 м^3).

Глубина зоны термического влияния при резке зависит от содержания углерода и толщины металла. При резке низкоуглеродистой стали толщиной 5 мм ЗТВ составляет $0,1 \dots 0,3 \text{ мм}$, а толщиной 100 мм – от 1,5 до 2 мм.

Приближенная оценка пригодности стали для кислородной резки определяется по величине углеродного эквивалента $C_{ЭКВ}$:

$$C_{ЭКВ} = \% C + 0,155(\% Cr + \% Mo) + 0,14(\% Mn + \% V) + 0,11 \% Si + 0,045 (\% Ni + \% Cu)$$

Если $C_{ЭКВ} < 0,54$, то резка осуществляется без технологических ограничений. Зимой применяют предварительный или сопутствующий подогрев до $150 \text{ }^\circ\text{C}$.

Если $C_{ЭКВ} = 0,54 \dots 0,7$, то для осуществления газокислородной резки применяют предварительный или сопутствующий подогрев до $150 \dots 250 \text{ }^\circ\text{C}$, охлаждение на воздухе.

5. ПЛАЗМЕННО-ДУГОВАЯ РЕЗКА

Применяется для резки углеродистых сталей, легированных, меди, алюминия.

Сущность плазменно-дуговой резки заключается в расплавлении металла в месте реза и его выдувания потоком плазмы.

Для образования плазмы служит плазмотрон (рис. 21).

Плазменная дуга прямого действия (см. рис. 21, а) возбуждается между электродом и изделием. Плазменная дуга косвенного действия (см. рис. 21, б) возбуждается между электродом и соплом плазмотрона и выдувается газом через последнее.

В качестве плазмообразующего газа используется сжатый воздух, кислород, азотно-кислородная смесь, азот, аргоноводородная смесь.

В качестве электродов применяют вольфрамовые стержни (плазмообразующий газ – аргон, аргоноводородная смесь), медные электроды со вставкой (воздух) из циркония, гафния.

В плазмотроне плазмообразующий газ сжимает дугу и повышает температуру до $8\,000 \dots 20\,000 \text{ }^\circ\text{C}$.

Благодаря высокой температуре и большой кинетической энергии плазменной дуги резать можно практически все металлы.

Использование для резки двухатомных газов (H_2 , N_2) энергетически более выгодно. Двухатомный газ при диссоциации поглощает в плазмотроне теплоту, которая переносится и выделяется на поверхности реза, где происходит объединение атомов в молекулы.

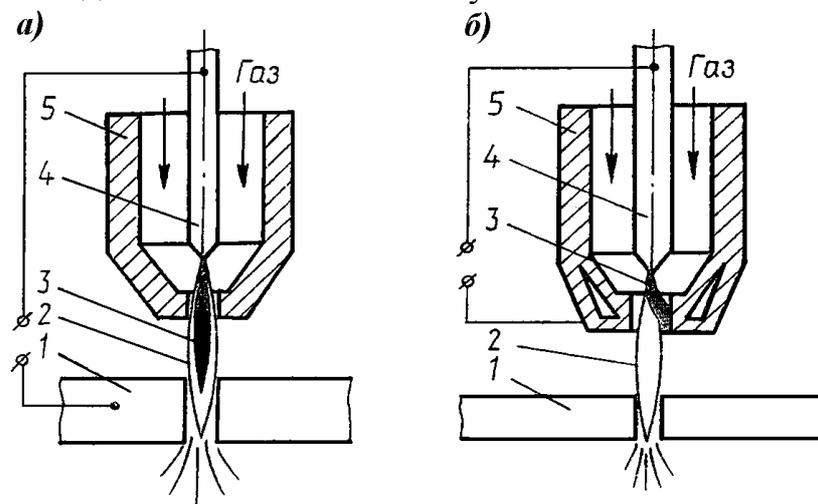


Рис. 21. Схема плазменно-дуговой резки: 1 – разрезаемый металл; 2 – плазма; 3 – сварочная дуга; 4 – неплавящийся электрод; 5 – сопло

При резке низкоуглеродистых сталей толщиной до 40...50 мм плазмообразующим газом служит сжатый воздух; при резке нержавеющей сталей – N_2 или N_2+H_2 , при резке алюминия и его сплавов – N_2 или N_2+H_2 ; при резке медных сплавов – N_2H_2 или воздух.

При воздушно-плазменной резке содержание азота в поверхностных слоях реза в 10...12 раз больше, чем в основном металле. Это вызывает опасность старения кромок конструкций.

Плазменная резка характеризуется высоким качеством реза и экономичностью. Скорость ее резки в 6...8 раз больше, чем ацетилено-кислородной (83...1 мм/с).

Плазменно-дуговая резка разделяет металл толщиной до 200...300 мм.

Преимущества:

- 1) универсальность: резка различных металлов;
- 2) высокая производительность;
- 3) минимальное тепловое воздействие на металл кромки и тепловые деформации;
- 4) исключается применение жидких и газообразных горючих.

Недостатки:

- 1) Максимальная толщина разрезаемых металлов меньше, чем при кислородной резке;
- 2) сложное и дорогостоящее оборудование;
- 3) более сложное обслуживание.

Диаметр катода: 2...5 мм, диаметр формирующего сопла 1,5...6 мм ($J = 150...800$ А).

Диаметр катодной вставки 2...3 мм. Продолжительность работы катода при непрерывном режиме 4...6 ч.

6. СВАРИВАЕМОСТЬ МОСТОВЫХ СТАЛЕЙ

Под свариваемостью понимают получение равнопрочного сварного соединения с основным металлом при отсутствии дефектов в сварном шве. Для этого механические свойства шва, околошовной зоны должны быть не ниже предела соответствующих свойств основного металла. Швы не должны иметь трещин, пор, подрезов, непроваров, шлаковых включений и т.д. Геометрические размеры и форма швов должны соответствовать требуемым техническим условиям.

Механические свойства металла шва и сварного соединения определяются его структурой, которая зависит от химсостава, режима сварки и последующей термообработки. В табл. 18 приведен химический состав шва, полученного различными дуговыми способами сварки. Основной металл – сталь Ст3 мост.

Данные таблицы показывают снижение содержания углерода в металле шва, повышение содержания в нем легирующих элементов. Режим сварки и способ сварки влияют на тепловложение в свариваемый металл и тем самым на скорость охлаждения закристаллизовавшегося металла шва и основного металла, прилегающего ко шву. Влияние скорости охлаждения металла на его структуру и влияние способов термической обработки на формирование структуры стали рассмотрены в разделе «Металловедение мостовых сталей».

Таблица 18

Химический состав металла шва

Металл	Химсостав, %		
	<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>
Основной Ст3 мост	0,14...0,22	0,05...0,30	0,40...0,45
Металл шва, полученный при сварке:	0,08...0,013	0,20...0,25	0,30...0,90
качественными электродами			
под слоем флюса	0,12...0,18	0,15...0,40	0,65...0,75
в CO ₂	0,10...0,16	0,20...0,47	0,57...0,79
ЭПС	0,10...0,16	0,07...0,16	0,45...0,60

Для оценки свариваемости сталей различных марок определяют углеродистый эквивалент:

$$C_{ЭКВ} = C + \frac{Mn}{20} + \frac{Ni + Cu}{15} + \frac{Cr + Mo + V}{10},$$

где содержание легирующих элементов приведено в процентах.

I группа – хорошо сваривающиеся стали ($C_{ЭКВ} \leq 0,25$ %). Эти стали при обычных способах сварки не дают трещин. Сварка выполняется без подогрева и последующей термической обработки. К этой группе относятся Ст3 мост, М16С, стали 08...25, 15Г, 20Г, 15ХА, 20ХГСА, 10ХСНД и др.

II группа – удовлетворительно сваривающиеся стали, у которых $C_{ЭКВ} = 0,25 \dots 0,35$ %. Такие стали свариваются только в нормальных производственных условиях, когда температура окружающей среды больше 0 °С и отсутствует ветер. В противном случае в шве, околошовной зоне образуются трещины. При выполнении сварки в условиях, отличных от указанных, требуется предварительный подогрев и последующая термообработка. К сталям II группы относятся: Ст5, 30, 35, 12ХН2, 15ХСНД, 20ХН, 30ХМ, 25ХГСА и др.

III группа – ограниченно сваривающиеся стали ($C_{ЭКВ} = 0,35 \dots 0,45$):

Ст6, 40...50, 35Г, 40Г, 40ХН, 30ХГС, 4ХС, 18Х2Н4МА и др. Стали этой группы при сварке склонны к образованию трещин, а поэтому требуют предварительную термообработку, подогрев и тепловую обработку после сварки.

IV группа – плохо сваривающиеся стали ($C_{ЭКВ} > 0,45$ %). Стали этой группы склонны к образованию трещин. Для предотвращения их образования обязателен подогрев перед сваркой, подогрев в процессе сварки и последующая термообработка после сварки. Температура подогрева в зависимости от углеродистого эквивалента следующая:

$C_{ЭКВ}$	0,58	0,60	0,74	0,85
$T_{Подогр}, ^\circ\text{C}$	100	125	175	200

7. СТРОЕНИЕ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ

Работоспособность сварных мостовых конструкций зависит и от структуры сварных соединений. В процессе сварки происходит расплавление металла и нагрев участков металла, прилегающих ко шву, в интервале температур «солидус – температура окружающей среды».

Кристаллизация металла шва у границы с нерасплавившимся основным металлом протекает быстро. К центру сварочной ванны длительность пребывания металла в расплавленном состоянии увеличивается. Первичная кристаллизация шва начинается от частично оплавленных зерен основного

металла в виде растущих дендритов в направлении, обратном теплоотводу, т.е. в глубь сварочной ванны (рис. 22).

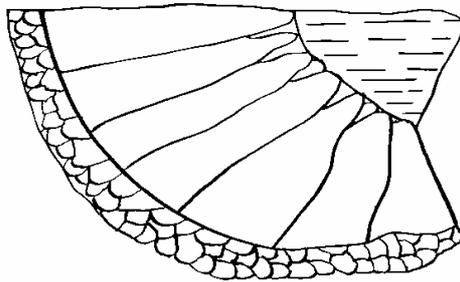


Рис. 22. Образование сварного шва

Образовавшиеся столбчатые кристаллы имеют аустенитную структуру. При переохлаждении относительно температуры A_3 начинается перекристаллизация аустенита в феррит. Вследствие ускоренного охлаждения на воздухе переохлажденный ниже температуры A_1 аустенит распадается в мостовой стали на мелкодисперсную смесь феррита и цементита (сорбит, троостит, бейнит или их смеси).

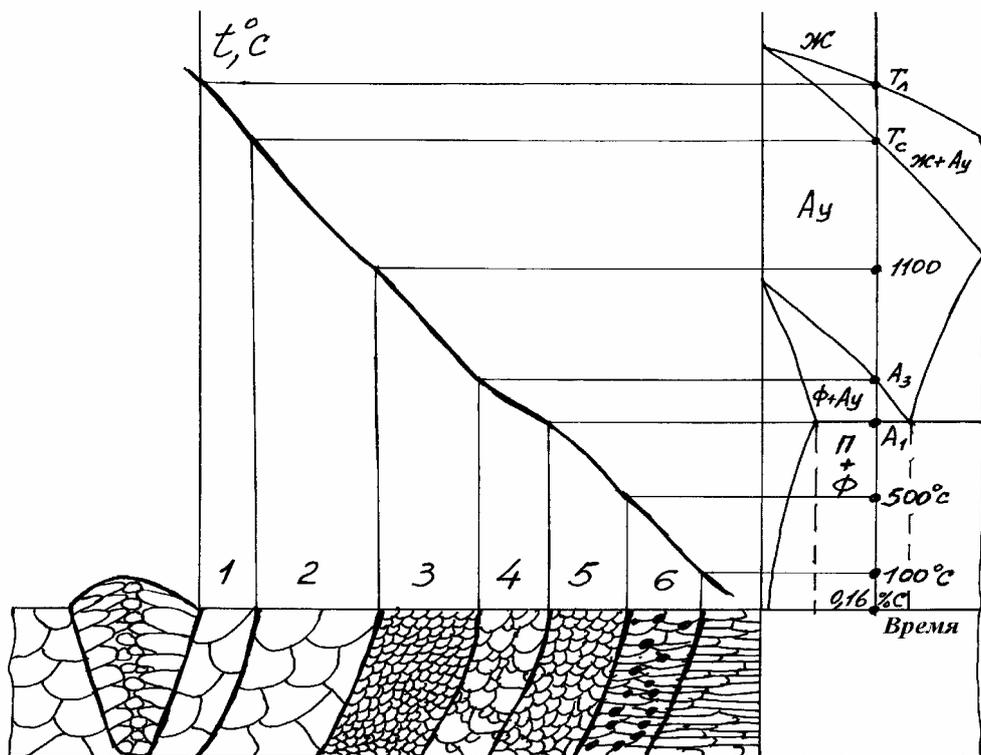


Рис. 23. Строение зоны термического влияния сварного соединения: 1 – участок неполного расплавления; 2 – участок перегрева; 3 – нормализации; 4 – участок неполной перекристаллизации; 5 – участок рекристаллизации; 6 – участок старения

Зона основного металла, прилегающего ко шву, в котором под воздействием термического цикла сварки произошли фазовые и структурные изменения, называется зоной термического влияния.

Рассмотрим основные ее участки (рис. 23).

Участок неполного расплавления (температурный интервал «солидус – ликвидус») характеризуется частичным оплавлением зерен основного металла. В зависимости от режима сварки его ширина находится в пределах 0,1...0,5 мм и характеризуется крупным зерном после охлаждения.

Участок перегрева имеет температурный интервал $T_C - 1100$ °С. Сталь при этой температуре находится в состоянии аустенита, имеющего крупное зерно. Ширина участка составляет 3...4 мм. Указанные участки, имеющие крупнозернистую структуру, характеризуются пониженной ударной вязкостью металла.

Участок нормализации (1100 °С – A_3) после охлаждения имеет мелкозернистую структуру с высокими механическими свойствами. Ширина его находится в пределах 0,2...5 мм.

Участок неполной перекристаллизации ($A_3 - A_1$) при нагревании состоит из феррита и аустенита. Поэтому если до нагрева мостовая сталь имела крупнозернистую структуру феррита и перлита, то после охлаждения наряду с мелкими зернами перлита будут наблюдаться крупные зерна феррита. Ширина этого участка колеблется от 0,1 до 5 мм.

Участок рекристаллизации ($A_1 - 550$ °С) по структуре незначительно отличается от основного металла. Если до сварки сталь подвергалась пластической деформации (сортовой и листовой прокат), то при нагревании в нем происходит процесс рекристаллизации. При этом прочностные свойства данного участка снижаются вследствие снятия наклепа. Ширина участка составляет 0,1...1,5 мм.

Участок старения ($500...100$ °С) в процессе сварки не претерпевает видимых структурных изменений. Однако вследствие ускоренного охлаждения стали в этом интервале образующийся феррит при комнатной температуре содержит повышенное содержание азота, углерода, кислорода, что с течением времени приводит к выделению по границам зерен феррита дисперсных оксидов, нитридов, карбидов, снижающих ударную вязкость стали. Это может быть одной из причин разрушения мостовых конструкций.

Наличие легирующих элементов в мостовых сталях тормозит распад аустенита и снижает критическую скорость закалки стали. Поэтому на участках зоны термического влияния, где металл нагревается выше A_1 , при повышенных скоростях охлаждения возможно образование закалочных структур. Необходимо также учитывать при оценке работоспособности мостовых конструкций, что при сварке термически упрочненных сталей на участках рекристаллизации и старения может произойти отпуск стали с образованием структуры сорбита отпуска и вследствие этого снижение ее прочностных свойств.

Рассмотренные особенности строения сварного шва и его зоны термического влияния необходимо учитывать при разработке технологического процесса сварки мостовых конструкций и их работоспособности.

8. РАБОТА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА УСТАЛОСТЬ

Разрушение сварных конструкций под действием переменных нагрузок называется усталостью. Усталостные разрушения чаще всего наблюдаются по линии сплавления шва с основным металлом и берут начало в местах повышенных концентраций напряжений, на участках с высокими остаточными напряжениями. При усталостном разрушении излом детали состоит из двух зон. Первая зона имеет гладкую, притертую поверхность и называется зоной усталости. Образование ее происходит постепенно и начинается с появления микротрещины, развивающейся в макротрещину. Образовавшиеся новые поверхности металла при возникновении трещины в процессе действия повторных нагрузок трутся друг об друга. Этим и вызвано наличие гладкой поверхности в первой зоне. После того, как трещина усталости займет значительную часть сечения наблюдается разрушение и образование второй зоны, называемой зоной долома. У хрупких металлов она имеет грубокристаллическое, а у вязких – волокнистое строение. Критерием сопротивляемости стали знакопеременным нагрузкам является предел усталости, зависящий в основном от характеристики цикла $r = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$, от частоты нагружения и амплитуды колебаний.

Наиболее опасны для конструкций низкие частоты нагружения и симметричный цикл нагружения. Поры и шлаковые включения резко понижают предел выносливости стали при их расположении цепочкой, скоплениями. В табл. 19 приведено влияние вида нагружения на прочность мостовых сталей.

Таблица 19

Прочность мостовых сталей

Сталь	Статическая прочность на растяжение, МПа	Усталостная прочность	
		σ_0 , МПа	σ_{-1} , МПа
14Г2	470	–	97
09Г2С	510	–	78
10ХСНД	525	160	80
15ХСНД	490	98	70
М16С	380	128	70

Наибольшей усталостной прочностью обладают сварные стыковые соединения, не имеющие усиления шва. С повышением резкого перехода от основного металла к металлу шва усталостная прочность сварного соединения

падает. Для оценки работоспособности сварных соединений при знакопеременных нагрузках вводится понятие коэффициента концентрации напряжений $K_{\text{ЭФ}}$, представляющего собой отношение предела усталости гладкого образца σ_{-1} к пределу усталости образца сварного соединения σ_{-1K} :

$$K_{\text{ЭФ}} = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{-1K}}.$$

Концентрации сварных соединений представлены в табл. 20.

Таблица 20

**Зависимость коэффициента концентрации напряжений
от типа сварного соединения из стали Ст3**

Тип сварного соединения	Способ сварки	$K_{\text{ЭФ}}$
Стыковое	Ручная электродуговая	1,2...1,5
	Механизированная под слоем флюса	1,4...1,75
Стыковое на остающейся подкладке	Ручная электродуговая	1,4...1,6
	Механизированная под слоем флюса	1,3...1,4
Тавровое	Ручная электродуговая	1,2...1,6
Крестовое	Ручная с неполным проваром	1,8...2
	Механизированная под слоем флюса	2,2...2,8 (неполный провар) 1,6 (полный провар)
Прикрепление фасонки в стык	Ручная электродуговая	1,4
Прикрепление ребер жесткости	То же	1,55
Нахлесточное с обваркой по контуру	То же	1,69
Нахлесточное с фланговыми швами	То же	2,33

Концентрация напряжений в реальных стыковых соединениях, выполненных ручной и автоматической сваркой, не отличается между собой. Наименьшую концентрацию напряжений создают стыковые сварные соединения. Наибольшей концентрацией напряжений обладают сварные нахлесточные соединения с фланговыми швами, крестовые соединения. Наиболее благоприятное очертание имеет пологий шов, создающий низкую концентрацию напряжений в месте перехода на основной металл.

В табл. 21 приведено сопротивление усталости стыковых соединений из стали 09Г2С при различных способах сварки.

Усталостная прочность стыковых соединений

Способ сварки	Состояние поверхности	Обработка поверхности швов	Предел выносливости, МПа
Основной металл	С окалиной	С усилением	335
Ручная сварка качественными электродами УОНИ 13/45	Без окалины	Усиление снято	170
	С окалиной	Усиление снято	255
Автоматическая сварка под слоем флюса	Без окалины	С усилением	205
Полуавтоматическая сварка в CO_2	Без окалины	С усилением	190
	С окалиной	Усиление снято	245

Способы повышения усталостной прочности сварных соединений

Для повышения усталостной прочности сварных соединений используют следующие технологические приемы:

а) механически обрабатывать швы фрезой, резцом, абразивным кругом для обеспечения плавного перехода от металла шва к основному металлу. Предел выносливости при этом возрастает на 40...60 %;

б) использовать соотношения катетов 1:3,8 в нахлесточных соединениях для создания пологих швов, а также для придания шву вогнутого профиля. Предел выносливости соединения повышается на 11...20 %;

в) целесообразнее стремиться шире применять стыковые соединения. Необходимо помнить, что прочность соединения падает при наличии пересечений швов и накладок, используемых для усиления стыкового шва;

г) избегать применения прерывистых швов, приварки вспомогательных элементов, так как в местах окончания сварки концентрируются повышенные остаточные растягивающие напряжения;

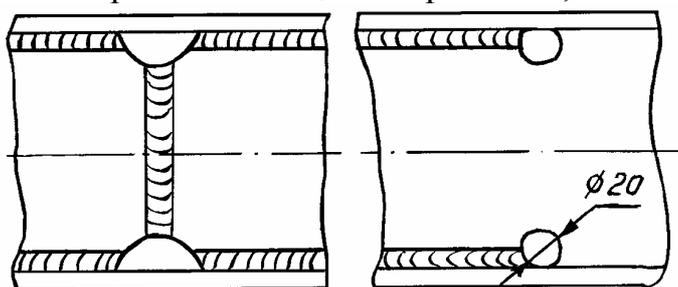


Рис. 24. Деконцентраторы в сварных соединениях

д) создавать искусственные деконцентраторы в виде выкружек и отверстий в местах образования высоких концентраций напряжений (рис. 24);

е) электродуговой обработкой стыковых соединений повышать усталостную прочность на 70...150 % за счет заглаживания швов путем оплавления их границ вольфрамовым электродом в среде инертных газов;

- ж) искусственно наводить сжимающие остаточные напряжения за счет статической перегрузки конструкций, точечного и местного нагрева в местах повышенных концентраций напряжений, точечного и линейного обжата элементов конструкций, поверхностного наклепа (дробеструйный наклеп, обкатка роликами, чеканка, импульсивная обработка), ультразвуковой обработки;
- з) применять высокий отпуск для снятия внутренних напряжений;
- и) совершенствовать конструктивные формы сварных соединений.

9. НАПРЯЖЕНИЯ В СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

Напряжения и деформации, возникающие в стальных конструкциях в процессе изготовления их сваркой, относятся к категории собственных. Они существуют в сварных конструкциях и при отсутствии действия на них внешних сил. Сварочные напряжения вызывают:

- а) искажение точности детали после механической обработки;
- б) потерю устойчивости конструкции;
- в) понижение сопротивляемости конструкции хрупким разрушениям, усталостной прочности и хладостойкости;
- г) интенсификацию процессов коррозии;
- д) холодные и горячие трещины в сварных соединениях;
- е) затруднение сборки стальной конструкции.

Знание причин возникновения сварочных напряжений позволяет разработать технологические приемы по их снижению или полностью устранению. К основным факторам, вызывающим сварочные напряжения, относятся: литейная усадка расплавленного металла шва, неравномерность нагрева основного металла и структурные превращения, вызывающие изменения объема металла.

Возникновение сварочных напряжений при кристаллизации металла шва (литейная усадка) связано с различной плотностью стали в жидком и твердом состояниях (для стали $\gamma_{ж} = 7,0 \text{ г/см}^3$, $\gamma_{ТВ} = 7,8 \text{ г/см}^3$). Исходя из равенства веса металла в жидком и твердом состояниях, после кристаллизации объем металла уменьшается ($V_{ТВ} = V_{ж} \cdot \gamma_{ж} / \gamma_{ТВ}$). Но ввиду того, что кристаллизующийся металл жестко связан с основным металлом, его усадка вызывает появление внутренних напряжений в металле. Величина объемной усадки пропорциональна объему расплавленного металла и составляет для низкоуглеродистой стали 2 %, серого чугуна 0,65...1,2 %, меди – 2 %, алюминия – 1,8 %.

Рассмотрим, как возникают внутренние напряжения от неравномерного нагрева на примере сварки стыкового соединения (рис. 25).

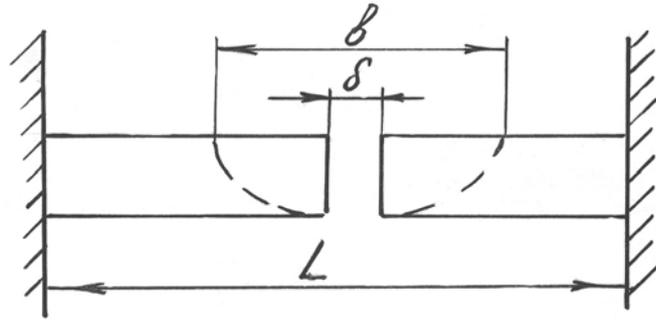


Рис. 25. Нагрев стыкового соединения

При наложении шва область металла, прилегающего к стыку, нагревается на ширину b , что вызывает тепловое расширение свариваемых пластин и соответственно уменьшение зазора δ . При охлаждении закристаллизовавшегося шва и зоны нагрева металл стремится сократиться, но этому препятствуют холодные слои металла и жесткая заделка пластин в узлах. Это приводит к возникновению растягивающих напряжений в сварном соединении. Величина упругих напряжений по закону Гука будет

$$\sigma = \frac{\Delta b}{L} \cdot E.$$

Таким образом, величину напряжений, возникающих от неравномерного нагрева, можно уменьшить за счет уменьшения зоны разогрева (сварка концентрированными источниками нагрева на повышенных скоростях, минимальных зазорах в стыке, рациональной разделке кромок и т. д.) и увеличении размера L .

Таблица 22

Продольная и поперечная усадка сварных соединений

Тип соединения	Толщина свариваемых листов, мм	Способ сварки	Продольная усадка, мм/м	Поперечная усадка, мм/м
Стыковое, без разделки кромок	1...4	Ручная	0,35	0,7
		автоматическая	0,20	0,7
Стыковое, с разделкой кромок	5...8	Ручная	0,35	1,20
Тавровое, с односторонним швом	3...5	Ручная	0,20	0,50
		автоматическая	0,10	0,25
Нахлесточное	3...5	Ручная	0,35	1,50
		автоматическая	0,20	0,70

Возникающие внутренние напряжения от литейной усадки и неравномерного нагрева вызывают продольное и поперечное укорочение свар-

ного соединения, величина которых зависит от толщины свариваемых листов, вида подготовки кромок, типа соединения, способа сварки (табл. 22).

Дополнительные внутренние напряжения могут появляться в сварном соединении, если структурные превращения в стали при охлаждении будут связаны с изменением объема образующихся новых фаз. Это чаще всего наблюдается при сварке мостовых высокопрочных низколегированных сталей (при нарушении технологии сварки в околошовной зоне и в металле шва образуется мартенсит закалки, имеющий больший удельный объем, чем аустенит).

10. ДЕФОРМАЦИИ ПРИ СВАРКЕ МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Источником сварочных напряжений являются неравномерный нагрев металла, литейная усадка, структурные изменения.

Механизм образования сварочных деформаций можно представить в следующем виде. В зонах сварочного нагрева, где температура стали выше $600\text{ }^{\circ}\text{C}$, предел текучести стали стремится к нулю. Именно в этих зонах сварочные напряжения будут превышать предел текучести стали и, как результат, образовывать остаточные деформации.

При нагреве стали сварочной дугой температурному удлинению препятствует жесткая заделка свариваемых элементов. Возникают напряжения сжатия, пропорциональные нагреву (OA) (рис. 26).

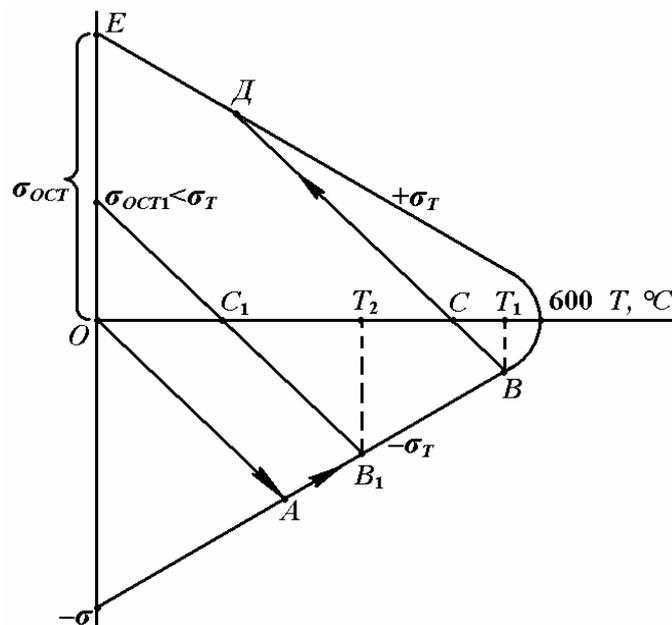


Рис. 26. Зависимость остаточных напряжений от температуры нагрева стали

Увеличение напряжения прекращается при достижении предела текучести (точка A).

Дальнейший нагрев приводит к образованию пластических деформаций укорочения, так как $\sigma_{СЖ} > \sigma_T$, а напряжения изменяются по кривой изменения предела текучести (участок AB).

При охлаждении с T_1 сжимающие напряжения уменьшаются (BC) до 0 (точка C). При дальнейшем остывании свариваемый элемент укорачивается, но этому препятствует заделка; возникают растягивающие напряжения (CD), которые достигают σ_T в точке D . В этом случае остывание протекает с образованием пластических деформаций удлинения (DE).

Если освободить сварной элемент от заделки, он укоротится. Значит пластические деформации укорочения на этапе нагрева превышают пластическую деформацию удлинения на этапе остывания. Это связано с тем, что при нагреве σ_T снижается и для образования пластических деформаций укорочения требуются меньшие напряжения, чем при остывании, где σ_T возрастает.

Напряжения после остывания либо достигают σ_T (точки E), либо не превышают σ_T , если охлаждение началось при меньшей температуре (T_2).
Мероприятия, снижающие сварочные напряжения и деформации:

а) при проектировании сварной конструкции необходимо стремиться к использованию обоснованных сечений швов и наименьшей их протяженности и предусматривать припуски на усадку отдельных элементов конструкций;

б) расположение сварных швов должно быть симметричным относительно главных осей как отдельных элементов, так и всей конструкции в целом;

в) не следует допускать пересечения в одной точке более трех швов;

г) собранная конструкция перед сваркой должна быть проверена в отношении правильности ее размеров и величины зазоров в стыке;

д) для уменьшения остаточной деформации перед сваркой конструкции или элемента в сварном соединении создавать искусственную деформацию, обратную по знаку ожидаемой от сварки;

е) по возможности сварку узлов осуществлять в приспособлениях;

ж) применять местный или общий подогрев конструкции для придания сварному соединению деформации обратного знака по отношению к усадке;

з) уменьшить зону разогрева путем применения теплоотводящих подкладок, либо повышения скорости сварки, либо использования охлаждающих смесей;

и) порядок наложения швов в конструкции должен быть таков, чтобы последующий шов мог вызывать обратные деформации по отношению

к деформациям предыдущего сварного шва (применять обратноступенчатый способ наложения шва, сварку от середины шва в оба конца);

к) для создания в сварном соединении напряжений сжатия применять проковку, чеканку, обкатку роликами шва и околошовной зоны;

л) использовать отпуск для снятия внутренних напряжений (650...680 °С).

11. ПРАВКА ДЕФОРМИРОВАННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Виды остаточных деформаций:

а) волнистость листов;

б) саблевидность листов;

в) коробоватость листов;

г) хлопуны или выпучивание листов и стенок балок;

д) перелом в стыке;

е) грибовидность полок;

ж) ромбовидность коробчатого элемента;

з) винтообразность коробчатого элемента;

и) продольный и поперечный выгибы оси элемента и ортотропной плиты.

Правку осуществляют термическим или термомеханическим способом.

Термомеханическую правку выполняют местным нагревом деформированного участка с одновременным механическим воздействием.

Запрещается правка элементов путем наплавки дуговой сваркой, графитовыми электродами, плазменными горелками. Правка осуществляется ацетилено-кислородным пламенем.

Температура местного нагрева металла ≈ 700 °С. Допускается температура нагрева до 900 °С. Термически упрочненные стали во избежание разупрочнения нагревают до $t \leq 700$ °С.

При термической и термомеханической правке допускается применять проколачивание нагретого металла кувалдой через гладилку, при этом температура нагретого металла должна быть выше 700 °С.

Температуру нагреваемой поверхности контролировать по цвету ее нагрева.

Не допускается правка углеродистых и низколегированных сталей при $t_{\text{возд}} \leq -15$ °С, а термически упрочненных сталей – ниже 0 °С.

Запрещается охлаждать нагретый металл водой. Допускается повторный нагрев одних и тех же участков после полного остывания металла не более 3 раз.

Правка волнистости осуществляется путем нагрева полосами по гребню волны. Минимальный нагрев полосы равен трем толщинам листа (рис. 27).

Правка саблевидности выполняется за счет нагрева клиньев со стороны выпуклой кромки. Высота клина равна $2/3$ ширины листа h (рис. 28).

Правка может осуществляться и нагревом полосы шириной h_1 . При этом $(h_1/h) \leq 0,2$.

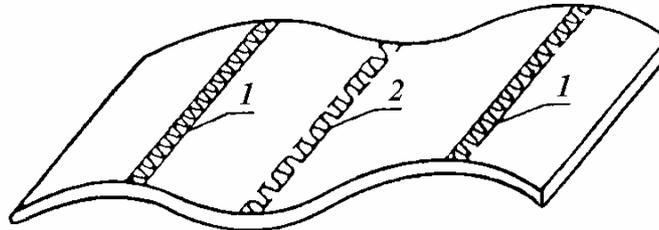


Рис. 27. Правка волнистости путем нагрева полосами по гребню волны: 1 – полосы, нагреваемые на верхней поверхности листа; 2 – полосы, нагреваемые на нижней поверхности листа

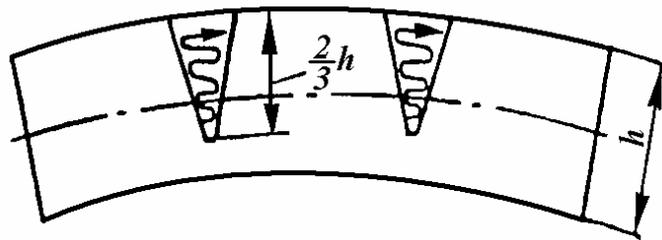


Рис. 28. Правка саблевидности нагревом клиньев

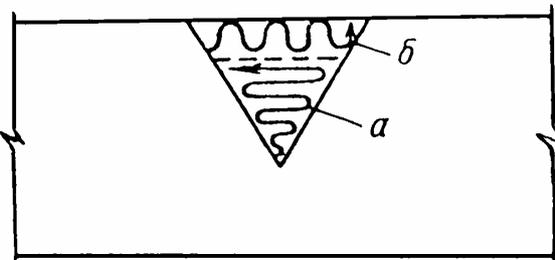


Рис. 29. Ступенчатый нагрев клина

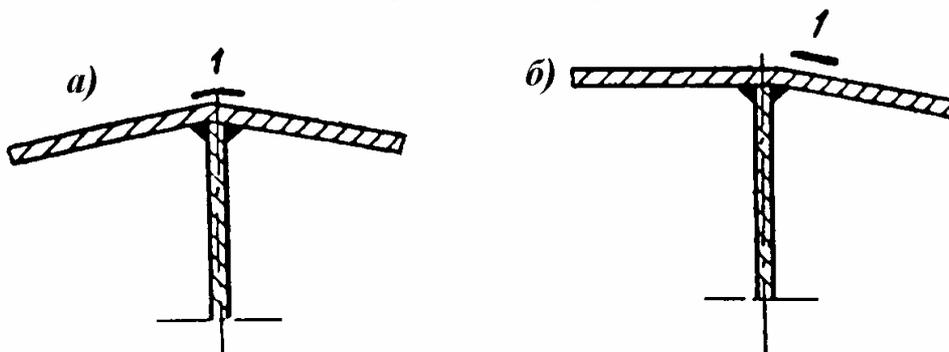


Рис. 30. Правка грибовидности нагревом полосы

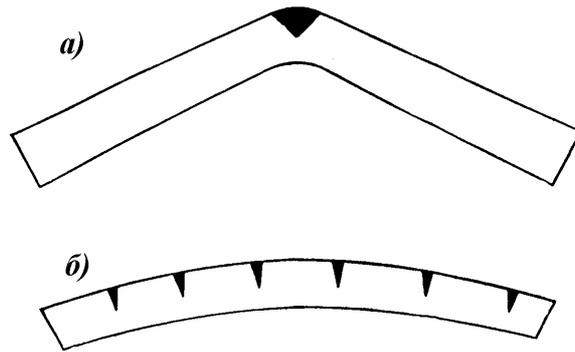


Рис. 31. Термическая правка выгиба различной кривизны

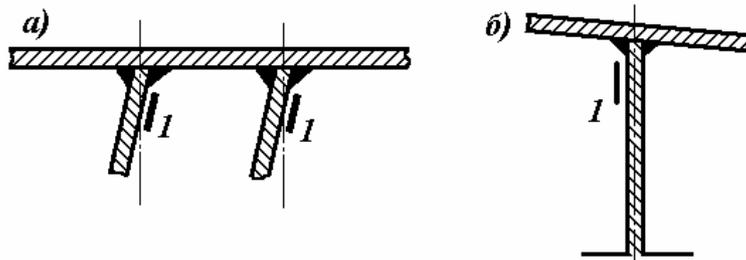


Рис. 32. Правка перекоса ребер (а) и полок (б) нагревом полос соответственно на ребре и стенке

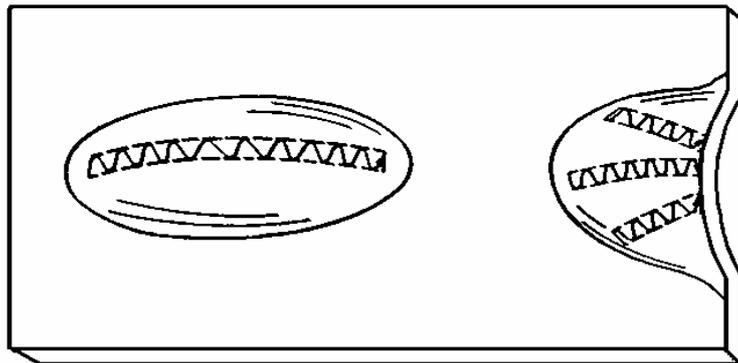


Рис. 33. Правка выпученной листовой стали нагревом

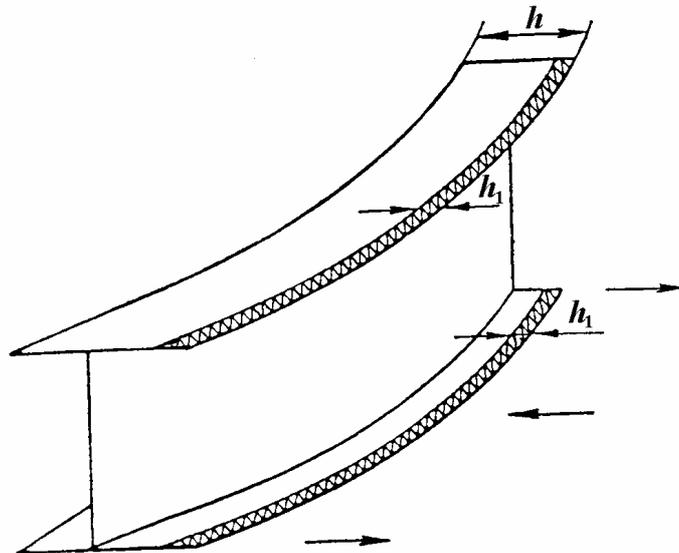


Рис. 34. Правка выгиба нагревом полосы

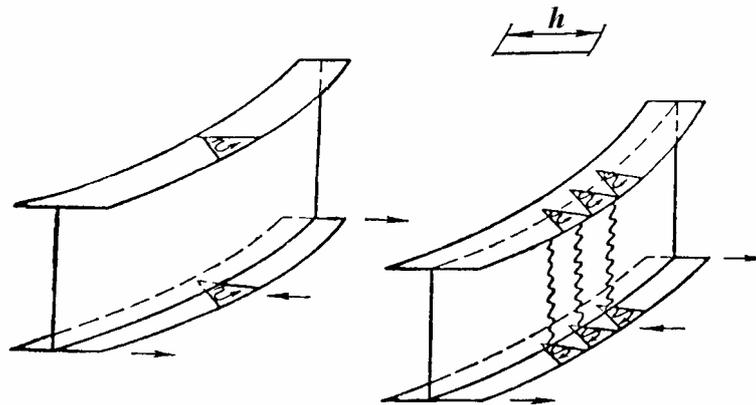


Рис. 35. Правка выгиба нагревом клиньев

При значительных деформациях применяют ступенчатый метод нагрева клина (рис. 29). Нагревают участок *a* от вершины к основанию. Охлаждают нагретый участок до исчезновения свечения металла, а затем нагревают участок *б*. Во избежание деформаций при любой толщине металла нагрев ведут одновременно двумя горелками с обеих сторон клина.

Правка выпучин осуществляется путем нагрева полос (рис. 33).

Правку продольного выгиба выполняют термическим методом путем нагрева полос на выпуклой кромке элемента или клиньев (рис. 34, 35). Стрелками указано направление деформации после правки.

Правка поперечного выгиба, грибовидности, перекоса ребер и полок дана на рис. 30, 31, 32, 35.

Результаты правки грибовидности и перекоса поясов проверяют после нагрева полосы.

12. ВЛИЯНИЕ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР НА СВОЙСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Анализ аварийных разрушений мостовых конструкций показывает (табл. 23), что они наблюдались в основном при пониженных температурах и связано это со следующими особенностями изменения свойств металлов при отрицательных температурах:

а) понижение пластичности, особенно у конструкционных углеродистых и низколегированных сталей;

б) рост чувствительности к концентрации напряжений, уменьшение ударной вязкости.

Критерием хладостойкости стали, как известно, является критическая температура перехода металла в хрупкое состояние (порог хладоломкости T_{50}). Чем она выше, тем меньшей хладостойкостью обладает сталь.

Рассмотрим основные факторы, снижающие хладостойкость сварных соединений:

а) химический состав металла шва. Его состав определяется химсоставом основного и присадочного металлов, глубиной проплавления основного металла, температурой изделия и окружающей среды и т.д. Наиболее простой способ оценки свойств металла шва – определение порога хладоломкости;

б) термический цикл сварки. Он влияет на размеры зоны термического влияния сварного соединения и определяется скоростью охлаждения металла, которая зависит от погонной энергии дуги. Он влияет на рост зерна, закалку, отпуск и старение стали. Влияние термического цикла регулируется подогревом или последующей термической обработкой после сварки;

в) пластические деформации металла и деформационное старение. Эти факторы наиболее опасны, так как вызывают охрупчивание стали при понижении температуры, особенно при наличии в сварном соединении концентраторов напряжений: непроваров, мест остановки процесса сварки, подрезов шва;

г) форма сварных соединений. Она может стать причиной разрушения конструкции, если сталь находится в результате действия низких температур в хрупком или полухрупком состоянии.

Таблица 23

Классификация хрупких разрушений при низких температурах

Конструкция	Доля хрупких разрушений, %				
	Недостаточная хладостойкость	Холодные трещины	Усталостные трещины	Дефекты сварки	Конструктивные недостатки
Корпуса судов	32	7	14	10	12
Строительные конструкции	32	9	8	14	21
Бульдозеры	30,5	7	18	14	20

Из курса «Сопротивление материалов» известно, что условием хрупкого разрушения стали является следующее соотношение:

$$\frac{\tau_{\max}}{\sigma_1} < \frac{\tau_S}{R_\sigma},$$

где τ_{\max} – максимальные касательные напряжения; σ_1 – нормальные напряжения; τ_S – сопротивление сдвигу; R_σ – сопротивление разрушению отрыва.

Понижение температуры способствует росту τ_S , а следовательно, повышается отношение τ_S / R_σ . Наклеп стали вызывает рост τ_S и сниже-

ние R_{σ} . Чем больше скорость нагружения стали, тем выше τ_s (R_{σ} практически не изменяется), вследствие чего растет вероятность хрупкого разрушения материала. Концентраторы напряжений в сварном соединении – подрезы шва, резкий переход металла шва к основному металлу, раковины, непровары и др. – влияют на характер напряженного состояния, т.е. на соотношение между наибольшими нормальными напряжениями σ_1 и наибольшими касательными напряжениями τ_{\max} .

Необходимым условием хрупкого разрушения конструкции является наличие местного или общего снижения деформационной способности металла, временное повышение напряжений, местное или общее понижение прочности металла.

Представление о разрушении как о следствии пластической деформации позволило применить дислокационные теории для объяснения причины хрупких разрушений конструкций. Согласно теории Стро (Англия) при низких температурах мала диффузионная подвижность атомов. Поэтому при пластической деформации головная дислокация остановится у стопора (граница зерна, шлаковое или неметаллическое включение). Последующие движущиеся за ней дислокации будут тормозиться и увеличивать напряженное состояние. В конечном итоге действующее напряжение может превзойти прочность кристалла и привести к образованию трещины.

Коттрелл (Англия) за стопор берет пересекающиеся дислокации. В результате их взаимодействия образуется новая дислокация – «сидящая дислокация». Они, сливаясь, образуют трещину.

Гриффитис (США) считает, что разрушение твердого металла есть следствие поглощения им некоторого количества упругой энергии и превращение последней в поверхностную энергию его частей, получившихся при образовании трещины.

Хрупкое разрушение происходит быстро (скорость распространения трещины достигает примерно 2 км/с). При вязком разрушении, сопровождающемся заметной пластической деформацией, скорость распространения трещины примерно 6 м/с.

В.В. Шеверницкий и Г.В. Жемчужников дают следующую схему хрупкого разрушения сварных конструкций. Во время эксплуатации конструкций при низкой температуре на участках с резкими концентраторами напряжений создается местное повышенное напряженное состояние. При наличии значительных остаточных напряжений на этом участке достаточно небольшого импульса, чтобы возникла и начала распространяться хрупкая трещина. Таким импульсом может быть резкое снижение температуры. Известно, что при изменении температуры на 1 °С в стали возникают напряжения, равные 0,25 кгс/мм².

Мелкозернистая кипящая сталь хорошо гасит трещины при комнатных температурах, но хуже сопротивляется распространению трещин при

низких температурах. Однако даже лучшие спокойные малоуглеродистые стали (М16С) не обеспечивают гашение трещин при низких температурах эксплуатации конструкций (до $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$). В этом случае следует применять хладостойкие низколегированные стали (15ХСНД, 10ХСНД, 14Х2ГМР и др.).

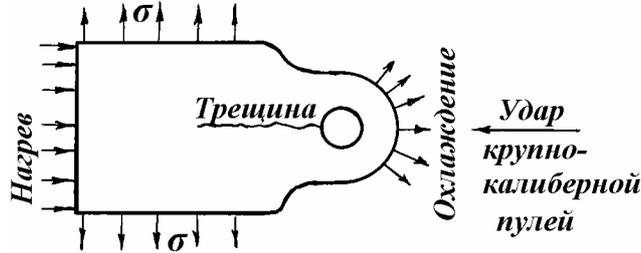


Рис. 36. Схема пробы Робертсона

Для оценки склонности металла к хрупкому разрушению используется проба Робертсона (рис. 36). Начало трещины вызывается ударом крупнокалиберной пули по концу образца с надрезом. Образец перед ударом нагревался с одной стороны горелкой, а с другой – охлаждался жидким азотом и подвергался растяжению.



Рис. 37. Зависимость действующего напряжения от температуры остановки трещины

Температура участка образца, где трещина остановилась, является критической. Испытания образцов при различных напряжениях σ дают возможность построить зависимость между действующими напряжениями в образце и температурой остановки трещины. В.В. Шеверницкий и Г.В. Жемчужников в ИЭС им. Е.О. Патона для стали М16С построили такую зависимость (рис. 37). При температуре эксплуатации (например, $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$) распространение хрупкой трещины в стали М16С может произойти при напряжении 20 МПа. Ориентировочно критическую температуру можно определить путем серийных испытаний при различных температурах образцов Менаже на ударный изгиб. Таким образом, Н.Н. Давиденков реко-

мендует принимать за критическую температуру ту, при которой ударная вязкость составляет 40 % от максимальных значений.

13. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПРОЛЕТНОГО СТРОЕНИЯ, СОЕДИНЯЕМЫЕ НА МОНТАЖЕ СВАРКОЙ

На монтаже мостовых конструкций соединяют следующие основные элементы: а) двутавровые балки, б) ребристые и ортотропные плиты, в) диафрагмы и связи.

Монтажная сварка выполняется как на площадках укрупнения (на берегу), так и в пролете.

Монтажные стыки двутавровых балок могут быть цельносварными или болтосварными. Первые предпочтительнее выполнять при сборке балок на берегу, на сплошных подмостках, при расположении стыков над опорами.

Болтосварные стыки целесообразнее применять при навесном или полунавесном способе монтажа.

Наибольшее распространение получил цельносварной стык конструкции ИЭС им. Е.О. Патона (см. рис. 7). Все стыки сваривают автоматами. Габариты вставки стенки определяются габаритами сварочного автомата для сварки в нижнем положении, а величина вставки верхнего пояса зависит от габаритов сварочного автомата для вертикальной сварки.

Для облегчения сборки стенки со вставкой и снижения величины остаточных сварочных напряжений предусматривают роспуски, т.е. незаваренные участки угловых швов соединений стенки с поясами. Длина роспуска принимается по расчету, но не менее 300 мм, которые вручную или механизированным способом сваривают при окончательном оформлении стыка. При небольших толщинах стенки во избежание ее выкручивания до заварки швов вставку стенки прихватывают к вставке верхнего пояса.

В болтосварном стыке двутавровых балок (см. рис. 8) сначала соединяют стенки соседних блоков, а затем сваривают стыковые соединения поясов 2 и 3, после чего накладками и прокладками перекрывают технологические окна.

Поперечные стыки ребристых плит выполняют цельносварными. Первоначально сваривают стыковое соединение горизонтальных листов блоков плит; для пропуска сварочного автомата продольные ребра обрывают, не доходя до стыка листа (рис. 38, а). Затем ребра стыкуют при помощи вставки, ввариваемой вручную, и заваривают роспуски (рис. 38, б).

Продольный стык нижней ребристой плиты выполняют при помощи стыкового (рис. 38, в) и нахлесточного соединений (рис. 38, д). Сварку стыкового соединения выполняют автоматом, а нахлесточного – автоматом

или полуавтоматом при сварке в нижнем положении и вручную – при сварке в поточном положении (рис. 38, *з, е*).

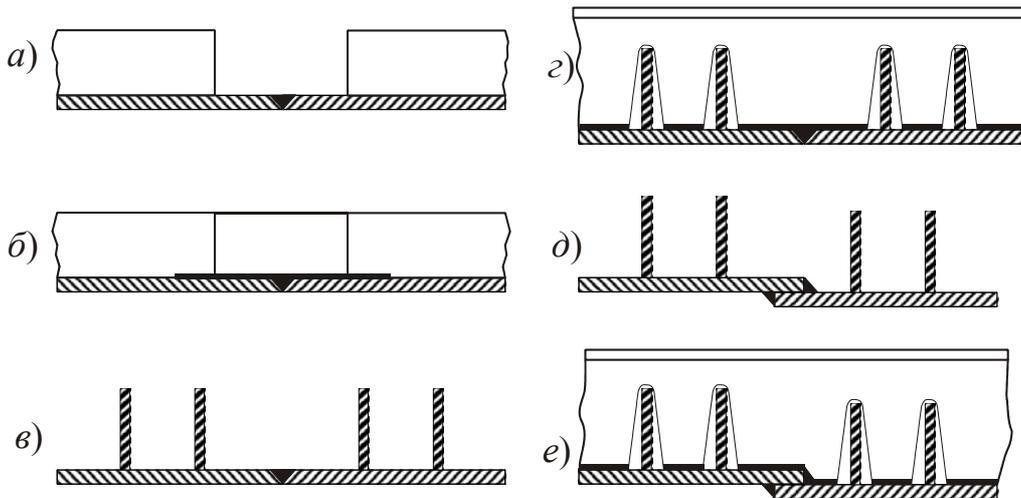


Рис. 38. Сварные стыки ребристых плит

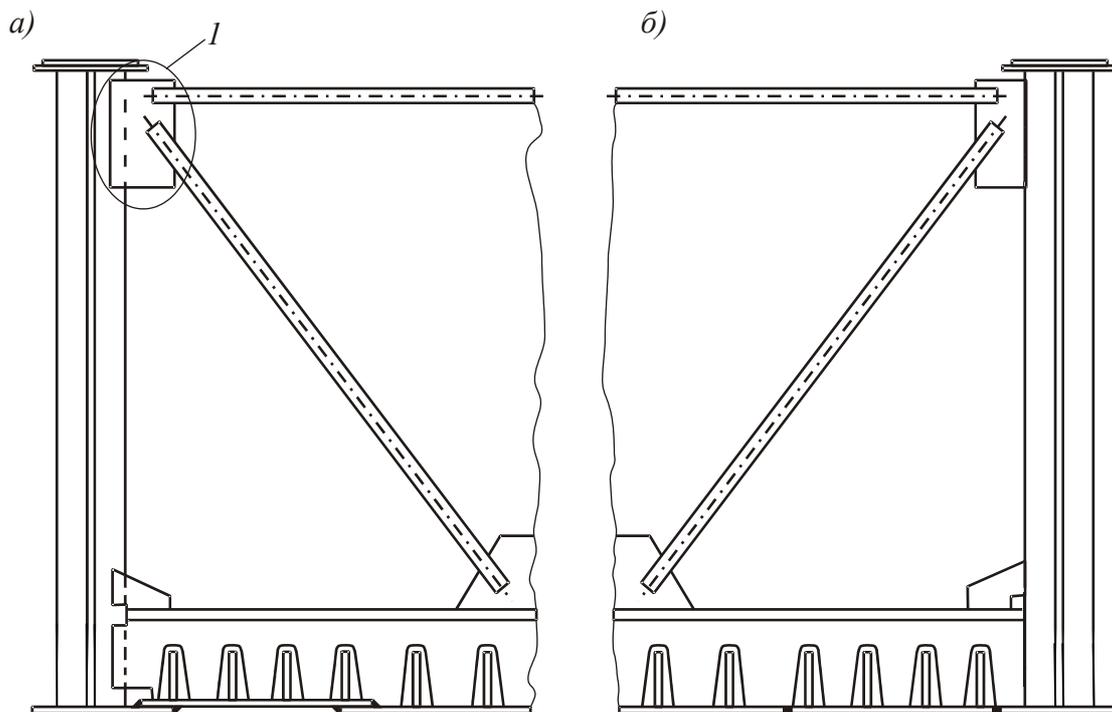


Рис. 39. Сварные соединения ребристых плит с главными балками

Соединения ребристых плит с главными балками выполняют цельносварными. Соединения горизонтального листа плиты с поясом главной балки осуществляют нахлесточным (рис. 39, *а*) или стыковым (рис. 39, *б*). При этом швы стыкового и нахлесточного углового соединений (в нижнем положении) выполняют автоматической или полуавтоматической сваркой, угловые швы в поточном положении стенок и угловых фасонек поперечных ребер плиты с вертикальными ребрами балки выполняют нахлесточ-

ными (см. рис. 39, *а*) или стыковыми (см. рис. 39, *б*). Вертикальные швы сваривают полуавтоматом в среде CO_2 или вручную.

Поперечные стыки ортотропных плит выполняют болтосварными (рис. 40, *а*) или цельносварными (рис. 40, *б, в, з*).

Продольные стыки ортотропных плит могут быть болтосварными или цельносварными. В болтосварных стыках возможны варианты:

а) горизонтальные листы блоков плиты сваривают стыковым швом, а стенки и пояса поперечных ребер соединяют накладками и высокопрочными болтами (рис. 40, *д*);

б) горизонтальные листы и пояса поперечных ребер сваривают стыковыми швами, а стенки соединяют при помощи накладок и высокопрочных болтов (рис. 40, *е*).

В цельносварном стыке (рис. 40, *ж*) горизонтальные листы блоков плиты, стенки и пояса поперечных ребер сваривают стыковыми швами.

Во всех случаях стыки горизонтальных листов блоков плиты сваривают автоматом, а остальные соединения выполняют механизированной сваркой порошковой проволокой в среде CO_2 или вручную.

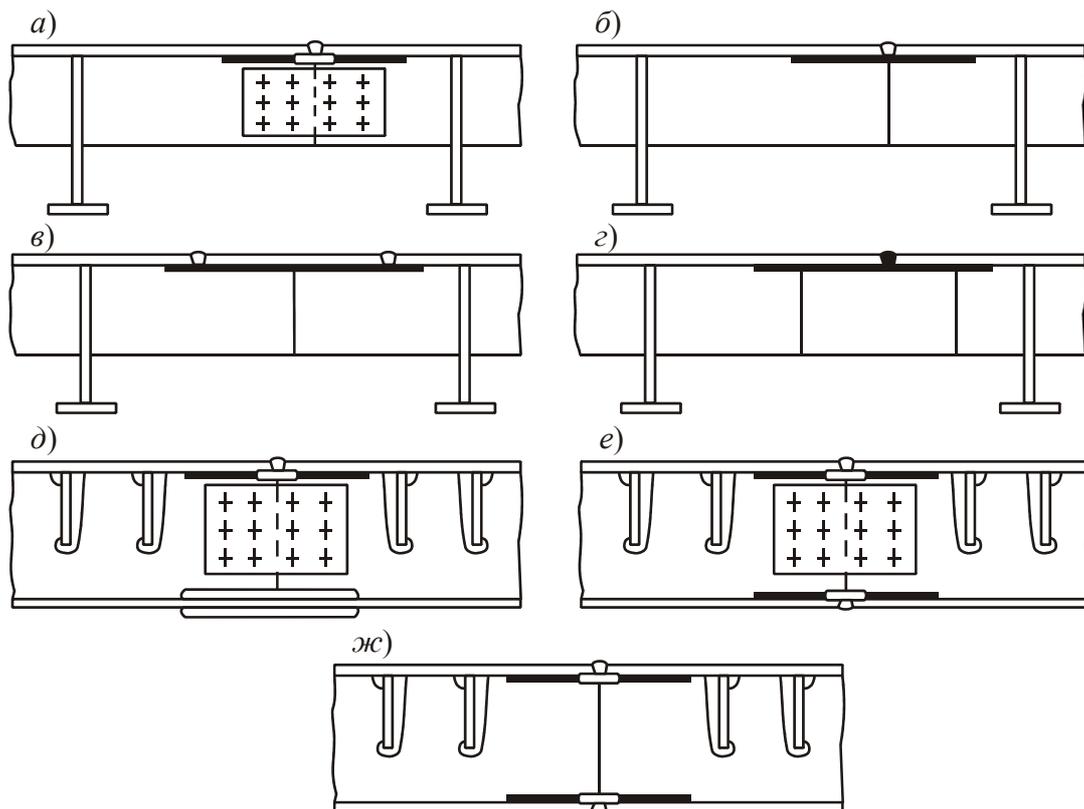


Рис. 40. Поперечные стыки ортотропных плит

Как в поперечных, так и в продольных стыках предусматривают роспуски тавровых соединений ребер и листа. Роспуски заваривают вручную при окончательном оформлении стыка.

Соединение ортотропных плит с главными балками пролетных строений выполняют болтосварными (рис. 41).

Угловые швы нахлесточных соединений горизонтального листа плиты и верхнего пояса балки (рис. 41, *a*) выполняют в нижнем положении автоматической или механизированной сваркой, в потолочном положении – сваривают ручной дуговой электросваркой, а швы стыковых соединений (рис. 41, *б*) указанных элементов сваривают автоматом.

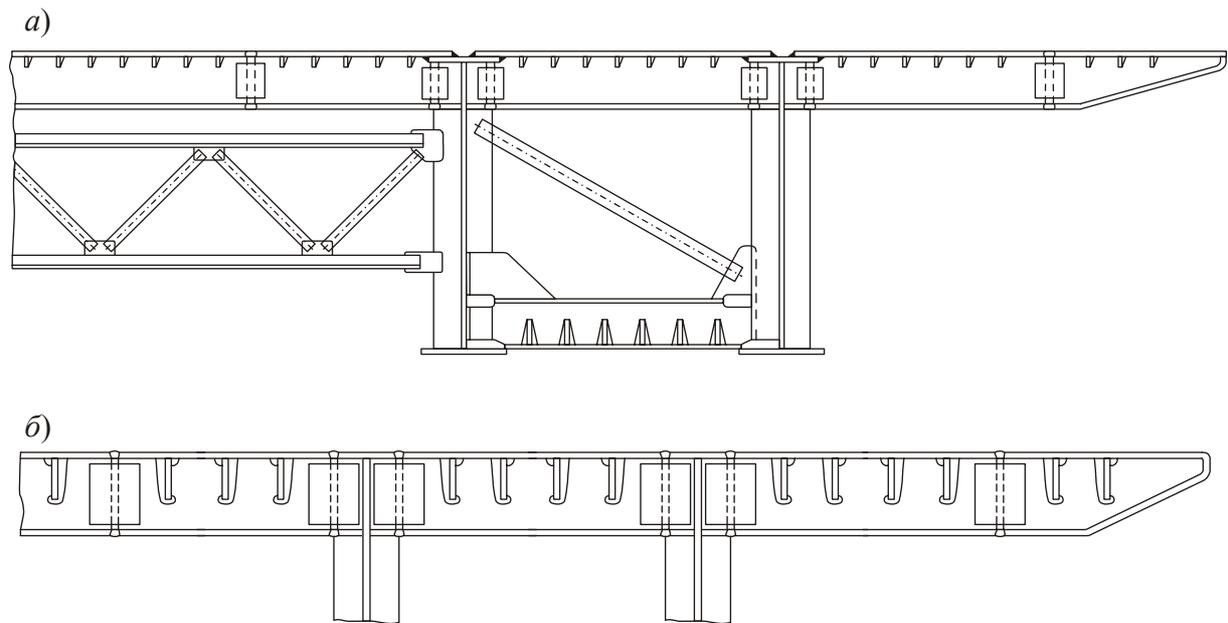


Рис. 41. Сварные соединения ортотропных плит с главными балками

Все стенки поперечных ребер плиты соединяют при помощи накладок и высокопрочных болтов с вертикальными ребрами балок; пояса поперечных ребер плиты сваривают полуавтоматом или вручную стыковыми швами с продольными ребрами балок или соединяют накладками и высокопрочными болтами.

Элементы диафрагмы соединяют на монтаже с главными балками, ортотропными и ребристыми плитами и между собой.

Монтажные блоки диафрагм могут включать в себя элементы главных балок. Такие блоки называются диафрагмами-вставками.

Монтажные соединения блоков диафрагм-вставок могут быть цельносварными или болтосварными. Цельносварные соединения имеют сварные стыки с главными балками и поперечные стыки с ребристыми и ортотропными плитами.

Монтажные соединения блоков простых диафрагм, не являющихся вставками, выполняются болтосварными. Соединения нижнего пояса диафрагмы с поясами главных балок осуществляются нахлесточными швами; угловые швы в нижнем положении свариваются полуавтоматом или вруч-

ную, а в потолочном – вручную. Стыковые соединения нижнего пояса диафрагмы с ребристой плитой свариваются автоматом. Вертикальные стенки диафрагм соединяют с поперечными ребрами главных балок накладками с высокопрочными болтами; возможно сварное соединение встык.

14. ПОДГОТОВКА СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПОД СВАРКУ. ТРЕБОВАНИЯ К СБОРКЕ И СВАРКЕ

Сварочные электроды перед сваркой прокаливаются при температурах, указанных в паспорте марки электродов. Хранят после прокалики в печи с $t = 60...80$ °С, откуда поступают на рабочее место сварки и находятся на рабочем месте полсмены (4 ч). Неиспользованные электроды в течение 4 ч вновь прокаливаются.

Флюс для автоматической и механизированной сварки перед употреблением необходимо прокалить при 350...400 °С в течение 3 ч с тщательным перемешиванием. После прокалики флюс хранят на подогреваемых поддонах при $t = 70...90$ °С. На рабочих местах флюс хранят в закрытой таре.

Поверхность сварочной проволоки очищают от ржавчины, жира, технологической смазки и других загрязнений. Перед очисткой проволоку прокаливают при 150...200 °С в течение 1,5...2 ч.

Порошковую проволоку для сварки в среде CO_2 и автоматической вертикальной сварки прокаливают при $t = 200...230$ °С в течение 2 ч. Хранят в отапливаемых помещениях при $t \geq 15$ °С не более 24 ч.

Электроды, бухты проволоки, флюсы хранят в сухих отапливаемых помещениях.

Собранные под сварку элементы соединяются прихватками. При надежном соединении механическим способом разрешается прихватки не ставить.

Не допускается подгонка собираемых соединений с чрезмерным натяжением элементов или нанесении ударов, способствующих появлению вмятин, наклепа, местной остаточной деформации. Правку деформированных деталей перед сборкой и после сварки производить местным нагревом.

При выполнении работ в условиях повышенной влажности основной металл в зоне монтажных сварных соединений перед сваркой высушить газовым пламенем, а в необходимых случаях применять предварительный или сопутствующий подогрев.

Монтажные вставки главных балок, диафрагм, ребер и др., имеющие припуск по длине и ширине, подгоняют по месту газовой резкой с последующей механической зачисткой кромок.

Кромки деталей, подлежащие сварке, и участки металла шириной 20...30 мм, прилегающие к этим кромкам, очищаются от грязи, ржавчины, брызг металла абразивным кругом до металлического блеска, продуваются сжатым воздухом.

Прихватку выполняют электродом \varnothing 4 мм на постоянном токе обратной полярности. При сборке угловых соединений катет шва прихватки не более 50 % катета шва, расстояние между прихватками не более 500 мм, а длина прихватки 50...80 мм.

При сборке стыковых соединений толщина шва прихватки 3...4 мм, ширина 6...8 мм, длина 50...80 мм. Расстояние между прихватками 500 (для толщин 10...16 мм) ...300 мм (для толщин 20...40 мм). Постановка прихваток производится полуавтоматической сваркой в CO_2 , под флюсом, вручную.

Электроды для прихватки даны в табл. 24, 25.

Таблица 24

Электроды для прихватки

Класс прочности стали	Марка стали	Тип электрода	
		для стыковых соединений	для тавровых, угловых и нахлесточных соединений
С38/23	ВСт 3сп 5	Э42А	Э42А
С 46/33	15ХСНД	Э46А	Э42А
С 52/40	10 ХСНД 15ХСНД-40 14 Г2АФД 15Г2АФД	Э50А	Э42А

При наличии прихваток с дефектами их удаляют воздушно-дуговой строжкой с последующей механической зачисткой поверхности реза абразивным инструментом.

Допуск на зазор зависит от способа сварки, толщины металла, расположения шва в пространстве, наличия формирующих корень шва устройств.

Для ручной сварки допуск на зазор составляет ± 1 мм.

Превышение кромок (депланация) стыкуемых листов равной толщины допускается не более 0,1 толщины стыкуемых листов, но не более 2 мм. Депланация кромок соединений под вертикальную автоматическую сварку принимается ≤ 1 мм.

Уступ кромок в плоскости стыкового соединения не более 2...4 мм. В тавровом соединении горизонтальный зазор выдерживается в пределах 0...2 мм, вертикальный зазор – 0...1 мм.

При сборке элементов под сварку на стендах, клетках предусматривают предварительные переломы в стыках для компенсации сварочных деформаций.

Сборку стыковых соединений под автоматическую сварку осуществляют с выводными планками, привариваемыми к торцам соединения. Их устанавливают в одной плоскости со свариваемыми деталями (рис. 42). Они имеют ту же толщину и форму кромок и изготавливают из того же металла, что и свариваемые элементы конструкции. В местах, где невозможно поставить выводные планки (концы поперечных ребристых плит), после автоматической сварки, последующей зачистки конца шва абразивным кругом начальный и концевые участки ($l = 100 \dots 200$ мм) доваривают ручной электродуговой сваркой.

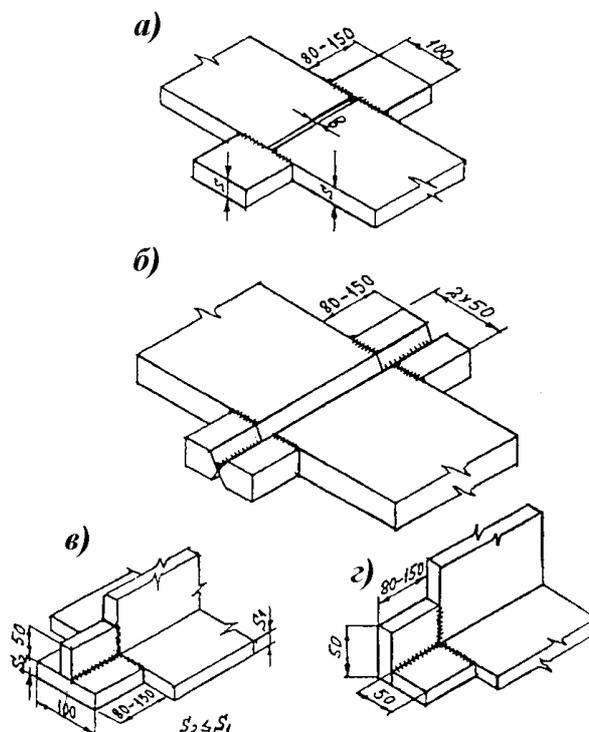


Рис. 42. Выводные планки: *а* – сплошные; *б*, *в*, *г* – сборные для стыковых, тавровых и угловых соединений

Сборка стыковых и угловых соединений под ручную сварку осуществляется без применения выводных планок.

Если в течение 24 ч собранные соединения не были сварены, их повторно сушат и очищают.

Показатели прочности, пластичности, вязкости и твердости сварных швов и ОШЗ следующие: пределы текучести и прочности не ниже браковочного минимума основного металла, твердость по Виккерсу в стыковых соединениях не выше 350 единиц, в нахлесточных, тавровых и угловых соединениях – не выше 400 единиц; ударная вязкость металла шва и по ли-

нии сплавления не ниже 3 кгс м/см²; относительное удлинение – не ниже 16 % ($\sigma_T=390$ МПа), угол загиба сварного соединения должен быть выше 120°.

Минимальное значение ударной вязкости КСУ на образцах Менаже при расчетной отрицательной температуре для стыкового соединения должен быть выше 29 дж/см².

Скорость охлаждения металла шва и зоны термического влияния (ЗТВ) для сталей $\sigma_T \leq 350$ МПа – 8...15 °С/с, а для стали $\sigma_T = 400$ МПа – 15...25 °С/с. При многопроходной сварке сталей скорость охлаждения увеличивается на 25 %, но должна быть не более 40 °С/с.

При односторонней 2-сторонней сварке стыковых соединений без скоса кромок листов толщиной 8...16 мм скорость охлаждения металла шва и ЗТВ уменьшается до 4,5 °С/с при условии, что шов с другой стороны проваривается после полного охлаждения металла от нагрева от сварки первой стороны до 100...120 °С.

Разделку кромок назначать по ГОСТ 5264–69.

Таблица 25

Тип и марки электродов

Тип электрода по ГОСТ 9467-75	Марка электрода
Э42А	Уони 13/45, ОЗС-2, СМ-П
Э46А	АНО-8, УОНИ 13/55 К
Э50А	УОНИ 13/55, ДСК-50, АНО-7, АНО-9, АНО-10, АНО-11

Режимы сварки могут корректироваться в пределах ± 5 % по величине тока, ± 10 % по скорости сварки, ± 2 В – по напряжению на дуге.

Монтажные швы выполняют по всей длине без перерыва. При случайной остановке кратер и прилегающий к нему участок шва на длине 50...100 мм зачищают абразивным инструментом. Сварка возобновляется на зачищенном участке.

При ручной электродуговой и механизированной сварке зажигать дугу на основном металле вне границ шва и выводить кратер на основной металл не разрешается. Все случайные ожоги основного металла сваркой зачистить абразивным инструментом на глубину не менее 0,5 мм.

При многослойной сварке швов после каждого прохода удалять шлак и тщательно осматривать наплавленный слой для оценки качества полученного шва.

Удалять выводные планки газовой резкой после осмотра швов, контроля их качества на УЗД, а при необходимости – гамма-просвечиванием.

Места установок планок после их удаления зачистить абразивным инструментом.

Сварку монтажных соединений производить при температуре окружающего воздуха не ниже ($-30\text{ }^{\circ}\text{C}$).

При сборке стыковых соединений для автоматической сварки с МХП зазор в стыке равен 5, 6, 7 мм соответственно для толщин 20, 25, 32 мм. Отклонение от величины зазора ± 1 мм.

Допускается дополнительная подварка полуавтоматом (а при длине участка до 100 мм – вручную) местных увеличенных зазоров, не превосходящих 3 мм на длине не более 500 мм с соответственным увеличением катета углового шва.

При сборке стыкового соединения под автоматическую сварку с МХП применяют сборные и цельные выводные планки. Приварку их к деталям осуществляют по одной верхней горизонтальной плоскости и 2-м вертикальным кромкам.

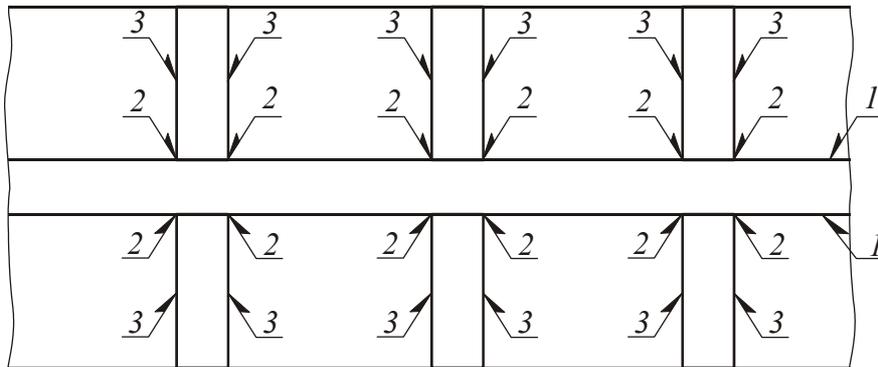


Рис. 43. Порядок сварки перекрещивающихся ребер жесткости

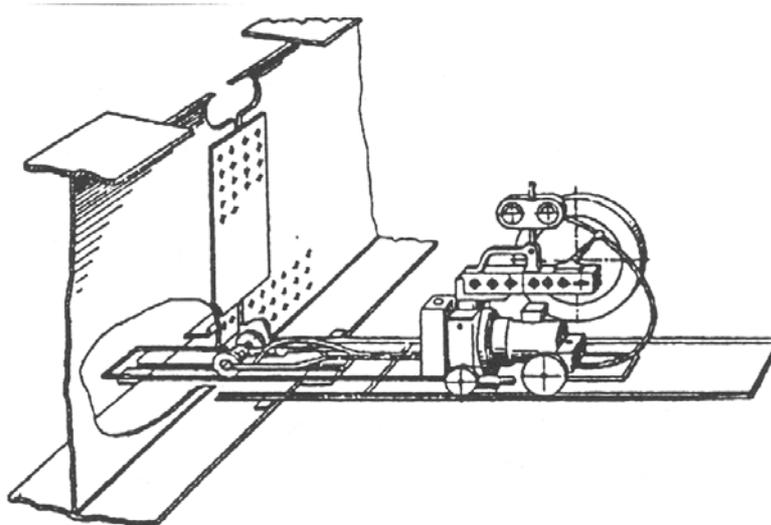


Рис. 44. Сварочный автомат ТС-17М с удлинителем

Сборку и приварку перекрещивающихся между собой ребер жесткости производят в последовательности, указанной на рис. 43:

а) установка и приварка к листу ребер, не прерывающихся в местах пересечения (1);

б) установка перекрестных ребер жесткости;

в) приварка ребер жесткости друг к другу в местах пересечения (2);

г) приварка к листу перекрестных ребер жесткости (3).

Электрические прихватки в сварных соединениях должны полностью проплавляться сваркой основными швами.

Автоматическую сварку монтажного стыка нижнего пояса главных балок выполняют через технологическое окно стенки автоматом ТС–17М с удлинителем (на котором вынесен сварочный мундштук). Монтажную сварку стыков верхнего пояса осуществляют автоматами ТС 35, АДФ 1002 (рис. 44).

15. ПОДОГРЕВ КРОМОК ПОД СВАРКУ

В листовых конструкциях из сталей классов до С 52/40 включительно применяют предварительный подогрев кромок под сварку:

а) при температуре воздуха $< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$;

б) при положительной температуре воздуха для сталей класса С 52/40 толщиной свыше 16 мм;

в) при вышеупомянутых условиях перед наложением последующих слоев в многослойных швах, когда температура предыдущего слоя снизилась до $100\text{ }^{\circ}\text{C}$;

г) если подогрев не исключает появление трещин, то применяют сопутствующий подогрев, а при температуре воздуха ниже $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ делают послесварочный подогрев с выдержкой зоны сварного соединения при температуре $120\text{...}160\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 1 ч.

Температура предварительного, сопутствующего и послесварочного подогрева находится в пределах $120\text{...}160\text{ }^{\circ}\text{C}$. Температура послесварочного подогрева не должна превышать $200\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Монтажную сварку мостовых конструкций из низколегированных сталей допускается производить при температуре окружающего воздуха не ниже ($-20\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Предварительный подогрев металла в зонах сварки выполняют для просушки кромок, формирующих подкладок при сварке под слоем флюса, и вертикальной сварки, для сталей всех марок и толщин независимо от температуры воздуха и погодных условий. Температура предварительного подогрева $100\text{...}110\text{ }^{\circ}\text{C}$, ширина зоны нагрева до 100 мм в обе стороны от оси шва.

Предварительный подогрев производят перед постановкой прихваток, приваркой выводных планок, проходом первого (корневого шва), при возобновлении сварки после перерыва, перед наложением очередного шва при многопроходной сварке, если температура металла шва предыдущего слоя опустилась ниже 100 °С.

Предварительный подогрев кромок в стыках длиной до 1 м производят сразу по всей длине. Для стыков большей длины рекомендуется подогрев одновременно со сваркой с опережением на 1 м.

Предварительный подогрев при стыковой сварке с МХП выполняется до засыпки МХП в разделку. При использовании медно-стеклотканых подкладок необходимо принять меры по сохранению стекловолокна от оплавления.

Во избежание образования конденсационной влаги на кромках в процессе сварки стыковых, тавровых и других типов соединений рекомендуется предварительный подогрев кромок до $t = 60 \dots 80$ °С для всех толщин проката и марок стали.

Для сталей с пределом текучести $\sigma_T \geq 400$ МПа при толщине проката выше 20 мм необходим подогрев кромок до 100...120 °С непосредственно перед сваркой. Это требование распространяется на прокат толщиной свыше 20 мм из сталей 15ХСНДА и 10ХСНДА.

Рекомендуется применять пропано-бутано-кислородные горелки ГЗУ–2–62–II, пропано-воздушные ГВ–1, ГВПН–1 или ацетилено-кислородные ГАО–2–72 и ГС–3.

Подогревающая горелка располагается перед сварочной дугой на заданном расстоянии и перемещается со скоростью сварки. Свариваемые детали должны быть нагреты до требуемой температуры равномерно по толщине на ширине не менее 50 мм от оси накладываемого шва.

Таблица 26

Влияние температуры на цвет термокарандаша

Марка термокарандаша	Критическая температура, °С	Цвет	
		до воздействия T_{KP}	после воздействия T_{KP}
110	130	желтый	оранжевый
240	240	бирюзовый	белый

Если скорость перемещения подогревающей горелки не совпадает со скоростью сварки или подогрев осуществляется до начала сварки, то ширина зоны подогрева до заданной температуры равна 100 мм от оси накладываемого шва.

Для осуществления предварительного, сопутствующего и послесварочного подогрева рекомендуется применять электронагреватели (гибкие

пальцевые нагреватели сопротивления). После сварки с подогревом рекомендуется накрывать сварное соединение теплоизоляцией.

Контроль температуры подогрева осуществляется термокарандашами и приборами с переносной контактной термопарой типа ТПР-14 (0...500 °С), ТПТ (50...300 °С), ЭТП-3М (0...300 °С). Зависимость цвета термокарандаша от температуры приведена в табл. 26.

16. МОНТАЖНАЯ СВАРКА СТЫКА ГЛАВНЫХ БАЛОК

Последовательность сварки сварных соединений цельносварного стыка главных балок дана на рис. 45. Она учитывает создание уравнивающих деформаций и уменьшение жесткости закрепления соединяемых элементов.

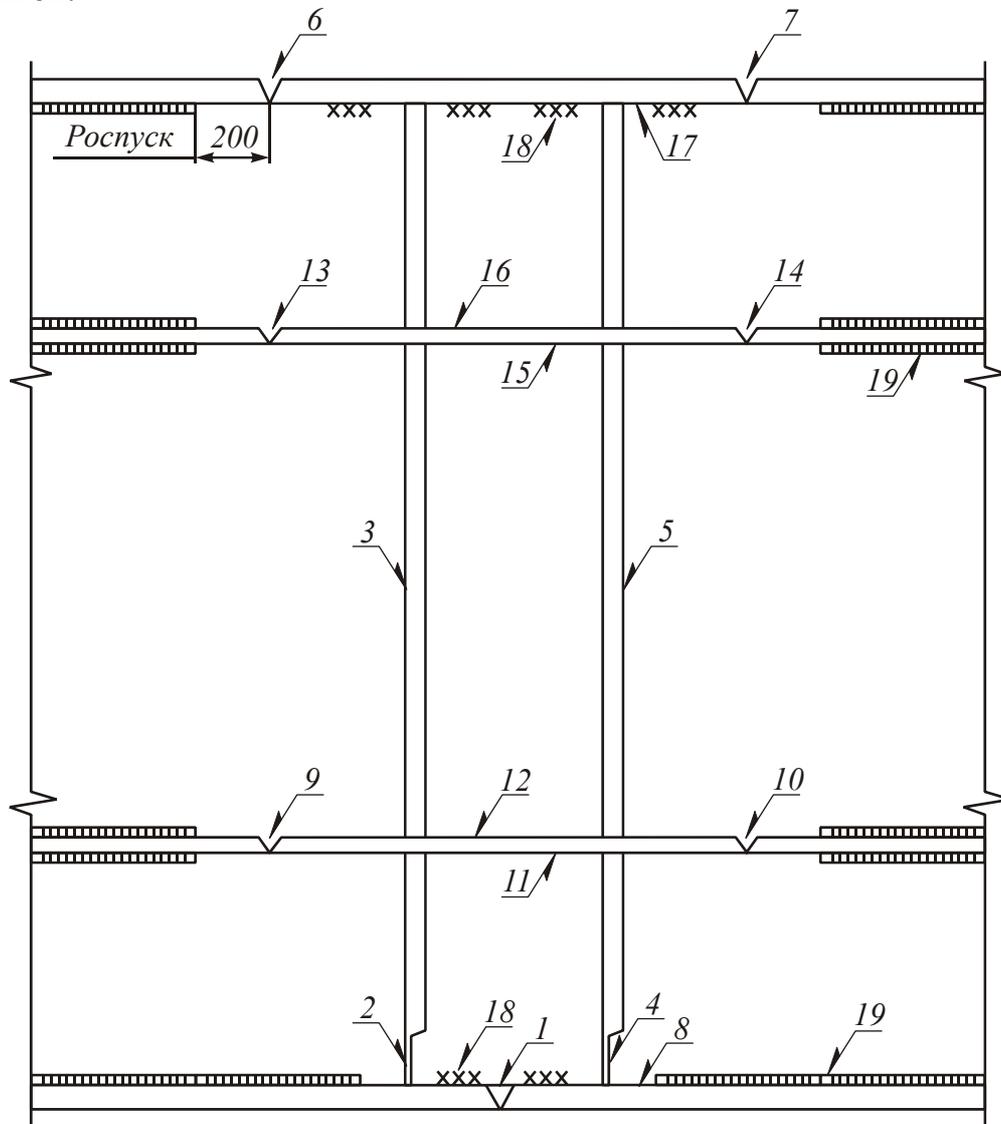


Рис. 45. Последовательность наложения сварных швов в цельносварном стыке главных балок: 1...17 – порядок наложения сварных швов; 18 – монтажные прихватки; 19 – заводские сварные швы

Вначале сваривают стык нижнего пояса главной балки (сварной шов 1). Затем подгоняют и сваривают вставку вертикальной стенки (сварные швы 2...5). После этого подгоняют и сваривают вставку верхней полки главной балки (сварные швы 6, 7). Затем сваривают угловые швы 8. Подгоняют вставку горизонтальных ребер жесткости и приваривают ее стыковыми швами 9, 10, 13, 14 к ребрам жесткости и сварными швами 11, 12, 15, 16 к вертикальной стенке главных балок. Далее сваривают поясной угловой шов 17. При сборке вертикальной вставки с вертикальной стенкой, верхнем и нижнем поясами ее прихватывают швом 18.

При сборке и сварке стыка нижнего пояса (сварной шов 1) технологические операции выполняют в следующем порядке:

- а) подготавливают разделку кромок в стыке;
- б) устанавливают и приваривают выводные планки (рис. 46);

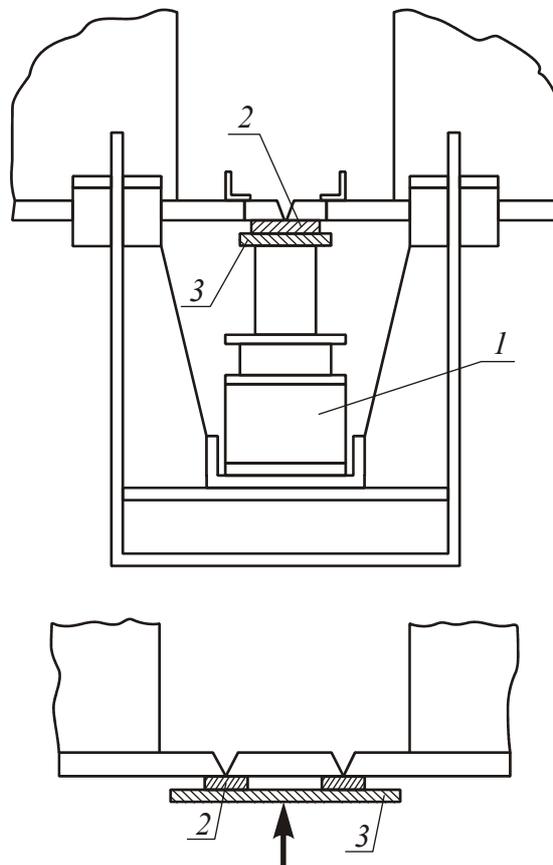


Рис. 46. Подготовка стыкового соединения под сварку: 1 – домкрат; 2 – медная подкладка; 3 – стальная подкладка

- в) устанавливают под корень шва подкладки (см. рис. 46) и поджимают их к нижней поверхности стыкуемых листов верхнего пояса клиньями или домкратом;
- г) выводные планки соединяют друг с другом прихватками;

- д) устанавливают направляющие рельсы сварочного автомата параллельно оси сварного шва и сварочный автомат;
- е) при необходимости осуществляют подогрев стыкуемых кромок листов;
- ж) заваривают стык;
- з) удаляют подкладки и выполняют ультразвуковой контроль сварных швов;
- и) удаляют выводные планки;
- к) механически обрабатывают места установки выводных планок.
- Аналогично осуществляется автоматическая сварка стыков верхнего пояса.

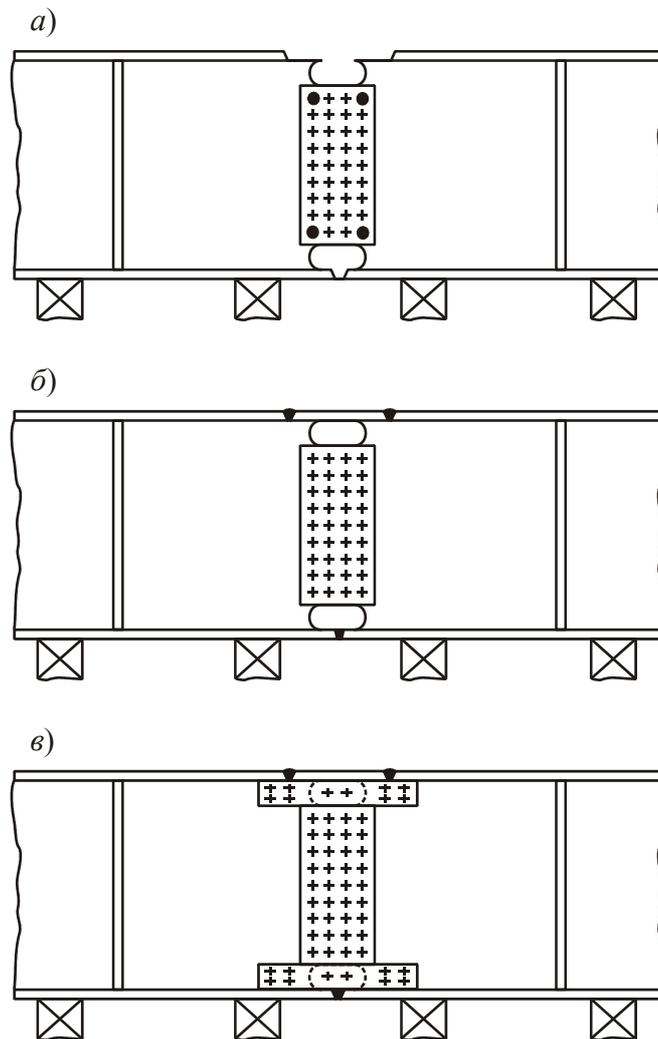


Рис. 47. Сборка-сварка болтосварного соединения главной балки на площадках укрупнения: *а* – установка калиброванных пробок; *б* – установка высокопрочных болтов и автоматическая сварка поясных стыков; *в* – установка и закрепление прокладок и накладок

Выполнение монтажных болтосварных соединений главных балок.

При выполнении монтажных работ на площадках укрупнения рекомендуется:

а) фиксировать монтируемые блоки *T*-образными прокладками в стыке нижних поясов и четырьмя калиброванными пробками, устанавливаемыми в отверстие в углах центральной накладке стыка стенки главной балки (рис. 47);

б) выполнить геодезическую проверку положения блока;

в) поставить высокопрочные болты в отверстия, свободные от пробок для выравнивания в одной плоскости листов стенки. Затянуть болты;

г) подготовить, собрать и сварить автоматической сваркой стыки поясов главных балок (см. рис. 46);

д) проконтролировать качество сварных швов, устранить дефекты и произвести механическую обработку сварных швов;

е) установить прокладки в технологические окна стенки и накладки, перекрывающие окна;

ж) затянуть все высокопрочные болты на нормативное усилие.

Порядок производства сборочно-сварочных работ на площадках укрупнения дан на рис. 47.

17. МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Механическую обработку сварных монтажных соединений назначают для повышения их выносливости и хладостойкости.

Она производится после контроля качества и исправления дефектных участков швов.

Механическая обработка сварных соединений в местах изменения сечения элементов обеспечивает получение плавных переходов от металла шва к основному металлу, от конца приваренной детали к основному элементу конструкции. Обработка выполняется без излишнего ослабления сечения на минимальную глубину, необходимую для снятия поверхностного слоя металла в зоне обработки до получения блестящей поверхности (на глубину 0,5 мм).

Углубление в основной металл не должно превышать 1 мм на металле толщиной до 20 мм и 3 % толщины на более толстом металле.

В случае превышения допускаемой величины ослабления производят подварку с последующей зачисткой. Все ожоги сваркой на поверхности металла зачищают абразивным инструментом на глубину 0,5 мм.

Местные наплывы швов сглаживаются механической обработкой до образования плавных переходов от наплыва к основному металлу.

При обработке абразивным инструментом не допускаются ожоги металла из-за сильного давления на инструмент.

Для удаления технологических припусков используют газокислородную резку с учетом припуска на механическую обработку на глубину 1...2 мм с удалением выступов и наплывов.

Зачистку кромок листов после удаления выводных планок газокислородной резкой выполняют по всей длине участка, где накладывались швы, прикрепляющие выводные планки. При этом углы кромок листов плавно скругляют радиусом 2 мм. Схема обработки стыкового соединения листов одинаковой толщины дана на рис. 48.

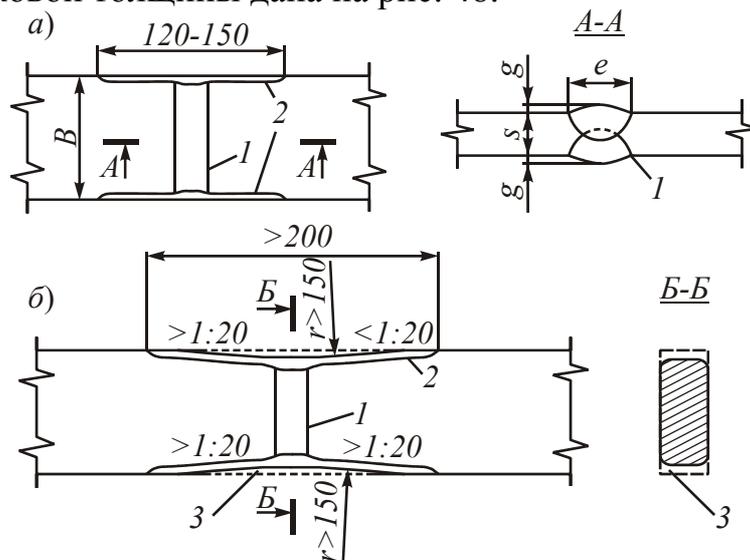


Рис. 48. Схема обработки стыкового соединения листов одинаковой толщины: *a* – без углубления в основной металл; *б* – с углублением на $0,02B$, но более чем на 8 мм с каждой стороны; *1* – граница шва; *2* – граница зон механической обработки; *3* – металл, удаляемый мехобработкой

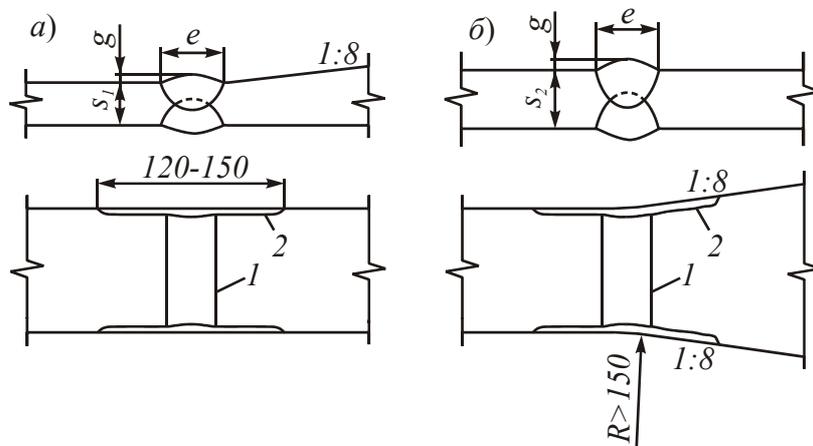


Рис. 49. Схема обработки стыковых соединений листов разной толщины (*a*) и разной ширины (*б*): *1* – граница шва по зоне сплавления; *2* – границы зон мехобработки

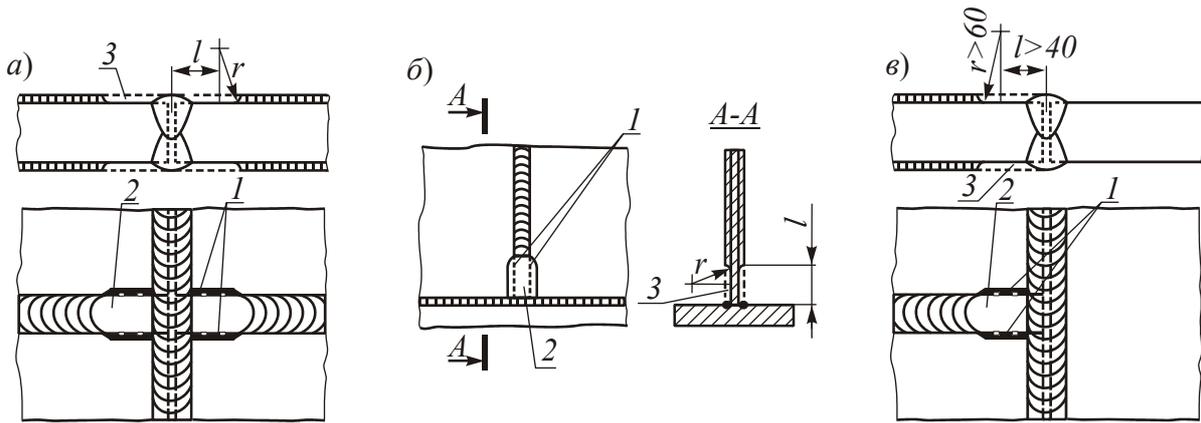


Рис. 50. Схема обработки усиления стыкового шва в зоне пересечения (а) или примыкания к угловому (б) или к другому стыковому шву (в): 1 – граница шва; 2 – зона мехобработки; 3 – металл, удаляемый при мехобработке

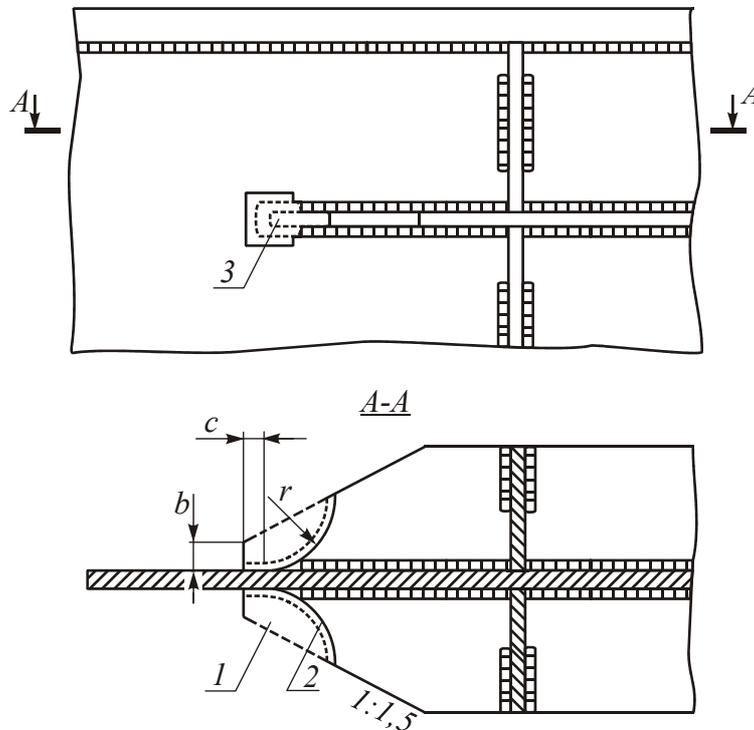


Рис. 51. Схема обработки конца горизонтального ребра жесткости, обрываемого вблизи монтажного болтового или болтосварного стыка: 1 – технологический припуск; 2 – контур, по которому припуск удаляется газовой резкой; 3 – зона мехобработки; b – ширина припуска у конца ребра ($b > 20$ мм); c – расстояние от края припуска до начала плавного перехода ($c = 15$ мм); r – радиус перехода ($r \geq 60$ мм)

Для удаления поверхностных дефектов с торцов шва допускается плавно с уклоном не более 1:20 и сопрягаемым радиусом не менее 150 мм

углубляться в основной металл без подварки на величину $0,02$ ширины свариваемого листа, но не более чем на 8 мм с каждой стороны (b) и не более 12 мм с одной стороны. После обработки торцов шва углы кромок листов плавно скруглить радиусом 2 мм ($B-B$).

В случае пересечения стыкового шва стенкой, ребром жесткости или фасонкой усиление шва в местах пересечения снять заподлицо с основным металлом. Углы кромок скруглить.

При механической обработке стыковых сварных соединений листов различной толщины выполняются требования, данные на рис. 49. Радиус перехода к более широкому листу должен быть не менее 150 мм. Допускается зачистка усиления швов заподлицо с основным металлом.

При наложении пересекающего шва во избежание образования подрезов в месте пересечения необходимо снять усиление ранее сваренного шва заподлицо с основным металлом на расстоянии не менее 40 мм от кромки листа или оси пересекаемого шва, обеспечивая плавный переход к незащищенному участку шва радиусом ≥ 60 мм (рис. 50).

Механическую обработку концов горизонтальных ребер жесткости, обрываемых вблизи монтажных соединений, выполняют согласно рис. 51. Механическую обработку концов стенок двутавровых балок с комбинированными болтосварными стыками выполняют в соответствии с рис. 52.

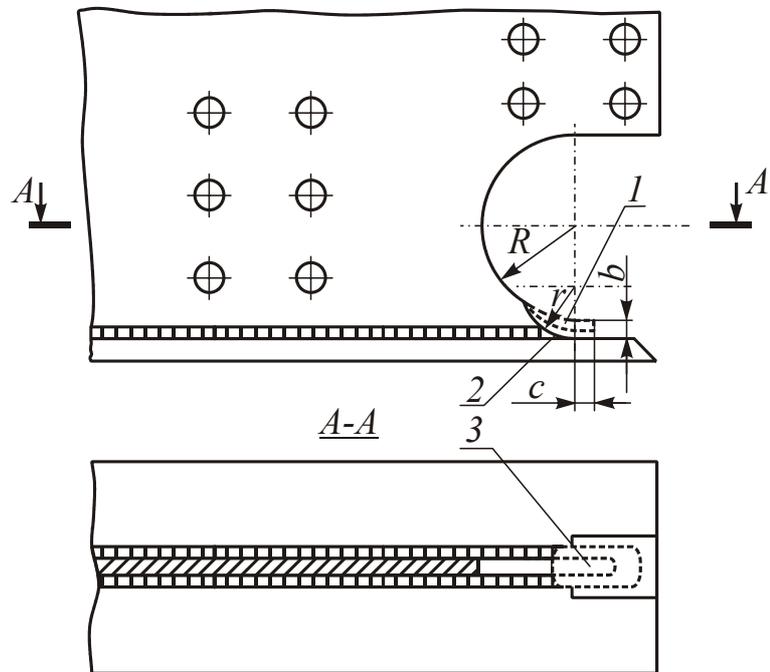


Рис. 52. Схема обработки конечного участка стенки при обрыве ее не у торца элемента: I – технологический припуск; 2 – контур, по которому припуск удаляется газовой резкой; 3 – зона мехобработки; c – расстояние от края припуска до начала плавного перехода ($c \geq 30$ мм); r – радиус перехода ($r \geq 60$ мм); b – ширина припуска у конца стенки ($b \geq 20$ мм); R – радиус выкружки технологического окна ($R \geq 75$ мм)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Монтажные соединения стальных мостов наиболее ответственные и трудные в исполнении части мостовых конструкций, определяющие в первую очередь их работоспособность. Поэтому ставится задача как можно больше автоматизировать и механизировать процесс получения неразъемных соединений.

Рассмотренные в данном пособии автоматические и механизированные способы сварки позволят студентам оценить их преимущества и недостатки, работоспособность полученных этими способами сварки сварных соединений при знакопеременных нагрузках. Учебное пособие дает ответ, почему возникают сварочные напряжения и деформации, как их уменьшить, как снизить вредное влияние на работоспособность мостов металла в зоне термического влияния, концентрацию напряжений сварных соединений, как предотвратить образование закалочных трещин.

Студенты познакомятся со сварочным оборудованием, сварочными материалами, с основами технологии сборочно-сварочных работ на монтаже мостовых конструкций.

Библиографический список

1. Материаловедение и технология металлов / Г.П.Фетисов и др.; Под ред. Г.П.Фетисова. – М.: Высшая школа, 2000. – 638 с.
2. Сварка и резка в промышленном строительстве: В 2 т. / Под ред. Б.Д.Малышева. – 3-е изд. – М.: Стройиздат, 1989. – 990 с.
3. Стандарт предприятия СТП 012-2000. Заводское изготовление стальных конструкций мостов / Корпорация «Трансстрой». – М., 2001. – 169 с.
4. Инструкция по технологии механизированной и ручной сварки при заводском изготовлении стальных конструкций мостов. ВСН 169-80 / Минтрансстрой. – М., 1981. – 87 с.
5. Стандарт предприятия СТП 005-97. Технология монтажной сварки стальных конструкций мостов / Корпорация «Трансстрой». – М., 1997. – 117 с.
6. Руководство по выполнению монтажных сварных соединений металлических пролетных строений мостов / ВПТИТРАНССТРОЙ. – М., 1982. – 130 с.
7. Мамлин Г.А. Производство конструкций стальных мостов. – М.: Транспорт, 1994. – 398 с.
8. Гривняк И. Свариваемость сталей. – М.: Машиностроение, 1984. – 216 с.
9. Труфяков В.И. Усталость сварных соединений. – Киев: Наукова думка, 1973. – 215 с.
10. Чеканов А.А. Сварка при низких температурах. – М.: Машгиз, 1962. – 192 с.
11. Сварка в машиностроении: Справочник: В 4 т. – М.: Машиностроение. – 1978. – 22 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>Предисловие</i>	3
<i>Введение</i>	4
1. Свойства сварочной дуги	6
2. Типы сварных монтажных соединений мостовых конструкций.....	13
3. Характеристика основных способов сварки на монтаже мостов.....	17
3.1. Особенности ручной электродуговой сварки качественными электродами.....	18
3.2. Особенности автоматической и механизированной сварки под слоем флюса.....	22
3.3. Особенности автоматической сварки под слоем флюса с металлохимической присадкой.....	28
3.4. Особенности вертикальной сварки с принудительным формированием шва самозащитной проволокой	31
3.5. Особенности сварки в среде углекислого газа.....	34
4. Кислородная (газовая) резка стали.....	38
5. Плазменно-дуговая резка	40
6. Свариваемость мостовых сталей.....	42
7. Строение сварного соединения.....	43
8. Работа сварных соединений на усталость	46
9. Напряжения в сварных конструкциях.....	49
10. Деформации при сварке мостовых конструкций	51
11. Правка деформированных элементов мостовых конструкций.....	53
12. Влияние низких температур на свойства сварных соединений.....	56
13. Основные элементы пролетного строения, соединяемые на монтаже сваркой.....	60
14. Подготовка сварочных материалов под сварку. Требования к сборке и сварке.....	64
15. Подогрев кромок под сварку	69
16. Монтажная сварка стыка главных балок	71
17. Механическая обработка сварных соединений.....	74
<i>Заключение</i>	78
<i>Библиографический список</i>	78

Учебное издание

Валентин Иванович Матюхин, Михаил Сергеевич Корытов

ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ
МОНТАЖНОЙ СВАРКИ МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Курс лекций

Редактор Н. И. Косенкова

Компьютерный набор и верстку выполнили
Д.В.Смоляк, Л.Р.Рахимжанова

Подписано к печати 31.01.2006
Формат 60 x 90 1/16. Бумага писчая
Гарнитура Таймс
Оперативный способ печати
Усл. п. л. 5,0 , уч.-изд. л. 5,0
Тираж 55 экз. Заказ
Цена договорная

Издательство СибАДИ
644099, Омск, ул. П. Некрасова, 10

Отпечатано в ПЦ издательства СибАДИ
644099, Омск, ул. П.Некрасова, 10