

Сварные соединения

Конструкции соединений. Сварные соединения в настоящее время представляют собой основной тип неразъемных соединений. Они образуются путем местного нагрева деталей в зоне их соединения. В современном машиностроении применяют различные способы сварки, из которых наибольшее распространение получила электрическая.

Основные виды электросварки - дуговая и контактная. Различают три разновидности дуговой сварки:

1. *Автоматическая сварка под слоем флюса.* Этот метод сварки высокопроизводителен и экономичен, дает хорошее качество шва. Применяется в крупносерийном и массовом производстве для конструкций с длинными швами.

2. *Полуавтоматическая сварка под слоем флюса.* Применяется для конструкций с короткими прерывистыми швами.

3. *Ручная сварка.* Применяется в тех случаях, когда другие способы дуговой сварки нерациональны. Этот метод сварки малопроизводителен. Качество шва зависит от квалификации сварщика.

Для дуговой сварки применяют электроды с различной обмазкой. Для сварки конструкционных сталей рекомендуются электроды: Э34, Э42, Э42А, Э46, Э46А, Э50, Э50А, Э55 и др. Число после буквы Э обозначает минимальный гарантируемый предел прочности металла шва в $кг/мм^2$. Буква А обозначает гарантируемое получение повышенных пластических свойств металла шва.

Контактная сварка применяется в серийном и массовом производстве при соединении внахлестку тонкого листового металла (точечная, роликовая сварки) или при соединении встык круглого и полосового металла (стыковая сварка).

В дальнейшем рассматриваются соединения, выполненные электродуговой сваркой.

В зависимости от взаимного расположения соединяемых элементов применяют следующие конструктивные разновидности сварных соединений:

1. *Стыковые соединения.* Эти соединения просты и наиболее совершенны. На рис. 1 показаны различные варианты стыковых швов, выполняемых ручной электродуговой сваркой при различной толщине соединяемых элементов.

При автоматической сварке происходит более глубокое проплавление металла, поэтому толщину свариваемых деталей без обработки кромок увеличивают примерно в два раза по сравнению с ручной, а при обработке кромок угол их скоса уменьшают.

Выпуклость стыкового шва увеличивает концентрацию напряжений, поэтому в ответственных соединениях ее удаляют механическим способом.

Соединения встык наиболее надежные из всех сварных соединений, их рекомендуют в конструкциях, подверженных вибрационным нагрузкам.

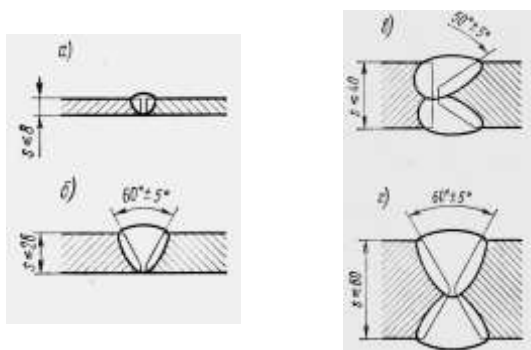


Рисунок 1 - Стыковые швы: а – односторонний без скоса кромок; б - односторонний со скосом кромок; в – двусторонний с двумя симметричными скосами одной кромки; г - двусторонний с двумя симметричными скосами двух кромок

2. *Соединения внахлестку.* Эти соединения выполняют угловыми швами, которые могут иметь различную форму сечения: а) нормальные (рис. 2, а); их профиль представляет собой равнобедренный треугольник; б) вогнутые (рис. 2, б); их применяют в особо ответственных

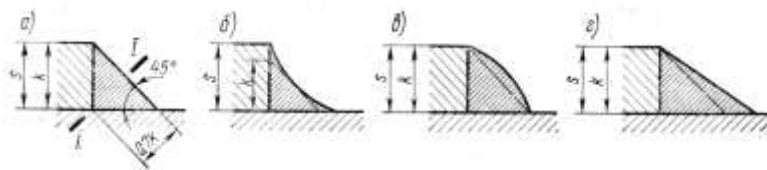


Рисунок 2 - Угловые швы

конструкциях при переменных нагрузках, так как вогнутость обеспечивает плавный переход шва в основной металл детали, благодаря чему снижается концентрация напряжений. Вогнутый шов повышает стоимость соединения, так как требует глубокого провара и последующей механической обработки для получения вогнутости; в) выпуклые (рис. 2, в); они нерациональны, так как вызывают повышенную концентрацию напряжений; г) специальные (рис. 2, г); их профиль представляет собой неравнобедренный прямоугольный треугольник. Применяются при переменных нагрузках, так как значительно снижают концентрацию напряжений.

За катет шва k принимают меньшую сторону вписанного в сечение шва равнобедренного треугольника (см. рис. 2, а). В большинстве случаев величину k принимают равной толщине s свариваемых деталей, но не менее 3 мм.

В зависимости от расположения относительно нагрузки угловые швы бывают: а) *лобовые*, расположенные перпендикулярно к линии действия нагрузки Q (рис. 3, а); б) *фланговые*,

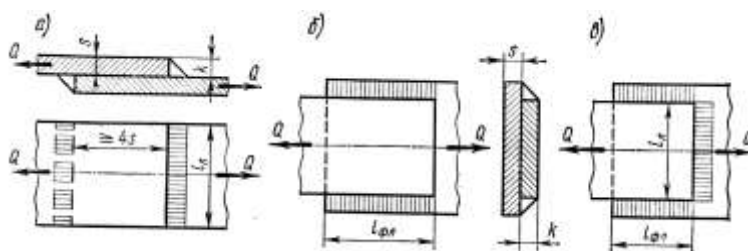


Рисунок 3 - Угловые швы соединений внахлестку

расположенные параллельно линии действия нагрузки Q (рис. 3, б); в) *комбинированные*, состоящие из сочетания лобовых и фланговых швов (рис. 3, в).

При соединении внахлестку возникает изгибающий момент $M_{из} = Q \cdot ds$ (см. рис. 3, а) от внецентренного действия растягивающих или сжимающих сил, что является существенным недостатком этих соединений.

3. *Тавровые соединения.* Свариваемые элементы располагаются во взаимно перпендикулярных плоскостях. Соединение может выполняться угловыми (рис. 4, а) или стыковыми (рис. 4, б) швами.

4. *Угловые соединения* (рис. 4, в, г). Применяются для изготовления тары из листовой стали,

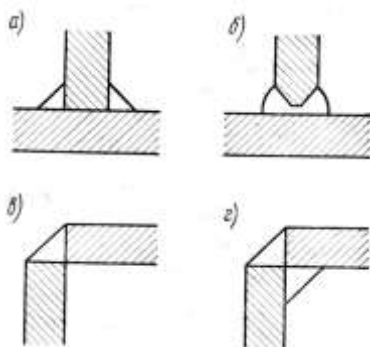


Рисунок 4 - Тавровые и угловые соединения

ограждений и др. Выполняются угловыми швами. Эти соединения передают малые нагрузки и поэтому не рассчитываются на прочность.

В общем случае сварные соединения выполняют с учетом следующих правил:

1. Из-за дефектов сварки на концах шва принимают минимальную длину шва не менее 130 мм.
2. В соединениях внахлестку (см. рис. 3, а) длину перекрытия принимают $\geq 4 \cdot s$, где s - минимальная толщина свариваемых деталей.
3. Длина лобовых швов l_l не ограничивается. Длина фланговых швов ограничивается, т.к. с увеличением их длины возрастает неравномерность распределения напряжений по длине шва (см. рис. 3, б) $l_{фл} \leq 60 \cdot k$.

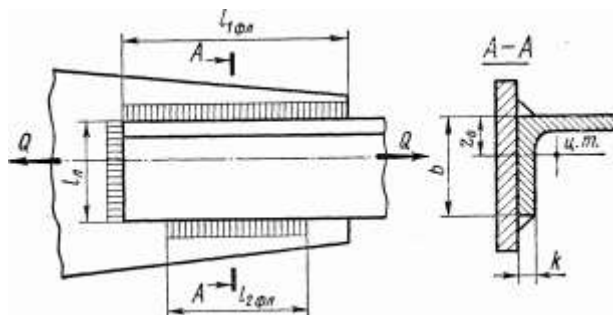


Рисунок 5 - Пример сварной конструкции

4. Сварные швы располагают так, чтобы они в соединении были нагружены равномерно. При проектировании соединения уголков с косынками (рис. 5) длины фланговых швов принимают обратно пропорциональными расстояниям до центра тяжести уголка: $\frac{l_{1фл}}{b - z_0} = \frac{l_{2фл}}{z_0}$ Суммарная длина фланговых

швов $l_{фл} = l_{1фл} + l_{2фл}$. Следовательно, длина флангового шва у пера уголка $l_{2фл} = l_{фл} \cdot \frac{z_0}{b}$.

5. В конструкциях, подверженных действию вибрационных знакопеременных нагрузок, соединения внахлестку не рекомендуются, т.к. они создают значительную концентрацию напряжений. По этой же причине не разрешается применять всевозможные «усиливающие» накладки и другие элементы.

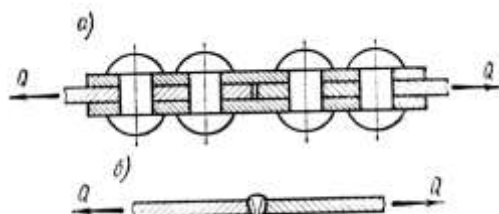


Рисунок 6 - Конструктивное оформление клепаного и сварного соединений

Достоинства сварных соединений:

1. Невысокая стоимость соединения благодаря малой трудоемкости процесса сварки и простоты конструкции сварного шва.
2. Сравнительно небольшая масса конструкции (на 20 - 25% меньше массы клепаной), так как: а) поскольку отсутствуют отверстия под заклепки, требуется меньшая площадь сечений свариваемых деталей; б) соединение деталей может выполняться встык без накладок (рис 6, б); в) отсутствуют выступающие массивные головки заклепок (рис. 6, а и б, б).
3. Герметичность и плотность соединения.
4. Возможность автоматизации процесса сварки.
5. Возможность сварки толстых профилей.

Недостатки сварных соединений:

1. Прочность сварного соединения зависит от квалификации сварщика. Применение автоматической сварки устраняет этот недостаток.
2. Коробление деталей из-за неравномерности нагрева в процессе сварки.
3. Недостаточная надежность при значительных вибрационных и ударных нагрузках. По мере совершенствования процесса сварки этот недостаток проявляется в меньшей степени.

В современном машиностроении, в строительных конструкциях и в других отраслях промышленности сварные соединения вытеснили заклепочные, за исключением особых случаев, оговоренных выше. В настоящее время сварку широко применяют как способ получения заготовок деталей из проката в мелкосерийном и единичном производстве, а также в ремонтном деле. Сварными выполняют станины, рамы, корпуса редукторов, шкивы, зубчатые колеса, коленчатые валы и другие детали.

В массовом производстве применяют штампосварные детали, полученные дуговой автоматической или контактной сваркой.

Оценка функционирования. Основным критерием работоспособности сварных швов является прочность. Расчет на прочность основан на допущении, что напряжения в шве распределяются равномерно как по длине, так и по сечению.

Соединения встык. Расчет стыковых швов (рис. 7) производят на растяжение или сжатие по сечению соединяемых деталей без учета утолщения шва. Условие прочности шва на растяжение

$$\sigma'_p = \frac{Q}{s \cdot l_{ш}} \leq [\sigma'_p], \quad (1)$$

где Q – осевая растягивающая нагрузка; s – толщина шва (принимается равной толщине детали); $l_{ш}$ – длина шва; σ'_p и $[\sigma'_p]$ – расчетное и допускаемое напряжения на растяжение для шва (см. табл. 1).

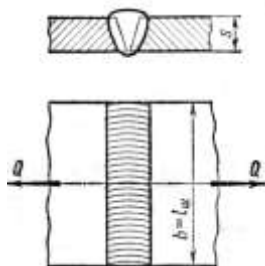


Рисунок 7 - Соединение встык

Соединения внахлестку угловыми швами. Расчет угловых швов производят на срез по опасному сечению $I-I$ (см. рис. 2, а), совпадающему с биссектрисой прямого угла. Расчетная высота опасного сечения шва равна $k \cdot \sin 45^\circ \approx 0.7 \cdot k$.

Условие прочности шва на срез

$$\tau'_{ср} = \frac{Q}{0.7 \cdot k \cdot l_{ш}} \leq [\tau'_{ср}] \quad (2)$$

где $\tau'_{ср}$ и $[\tau'_{ср}]$ – расчетное и допускаемое напряжения среза для шва (табл. 1); $l_{ш}$ – длина шва.

В соединении лобовыми швами $l_{ш} = 2 \cdot l_n$ (см. рис. 3, а), фланговыми швами $l_{ш} = 2 \cdot l_{фл}$ (см. рис. 3, б). В комбинированном сварном соединении (см. рис. 3, в) $l_{ш}$ равна сумме длин всех лобовых и фланговых швов.

Допускаемые напряжения для сварных соединений выбирают по табл. 1.

При переменных нагрузках допускаемое напряжение снижают умножением на коэффициент γ :

а) для стыковых швов при нагрузке, переменной по величине, $\gamma = 1$;

Таблица 1

Допускаемые напряжения для сварных соединений деталей из мало- и среднеуглеродистых сталей при статической нагрузке

Вид деформации и напряжения	Автоматическая и полуавтоматическая сварка под флюсом	Ручная дуговая электродами	
		Э50А, Э42А	Э50, Э42
Растяжение $[\sigma'_p]$	$[\sigma_p]$	$[\sigma_p]$	$0,9 \cdot [\sigma_p]$
Сжатие $[\sigma'_{сж}]$	$[\sigma_p]$	$[\sigma_p]$	$[\sigma_p]$
Срез $[\tau'_{ср}]$	$0,65 \cdot [\sigma_p]$	$0,65 \cdot [\sigma_p]$	$0,6 \cdot [\sigma_p]$

при знакопеременной нагрузке $\gamma = \frac{1}{1 - \frac{1}{3} \cdot \frac{Q_{\min}}{Q_{\max}}}$ б) для угловых швов при переменных по величине и

направлению нагрузкам $\gamma = \frac{1}{\frac{4}{3} - \frac{1}{3} \cdot \frac{Q_{\min}}{Q_{\max}}}$, где Q_{\min} и Q_{\max} – максимальное и минимальное усилия со своими

знаками.

Температурные деформации при сварке создают остаточные напряжения в зоне шва. Эти напряжения будут незначительны, если свариваемые металлы обладают хорошей пластичностью. К таким металлам относятся мало- и среднеуглеродистые стали. Сварка легированных сталей несколько затруднена из-за склонности к закалке околошовной зоны.