

Примеры точечных и роликовых соединений приведены в табл. 11. Роликовую и точечную сварку применяют обычно для тонколистовых конструкций из малоуглеродистой, углеродистой, низколегированной и нержавеющей стали, а также для сплавов алюминия, магния, титана.

Точечную сварку наиболее удобно применять на открытых плоских или слегка изогнутых панелях, обечайках и трубчатых конструкциях диаметром не менее 400 мм. Располагать сварные точки на поверхности деталей из легких сплавов с радиусом кривизны менее 10 мм не рекомендуется. При проектировании сварных соединений на трубах следует учитывать возможности сварочной машины. Возможности сварки изделий на контактных шовных и точечных сварочных машинах ограничены техническими данными машины: полезным вылетом хобота, расстоянием от основания машины до нижней консоли машины, расстоянием между верхней и нижней консолями (хоботами) и т. д.

Нижняя консоль сварочных машин съемная. Поэтому технологические возможности сварочного оборудования можно расширить установкой специальной консоли или фигурных электродов (табл. 11).

Обычно стандартные универсальные машины имеют полезный вылет консолей до 1 м. На точечных машинах и на роликовых машинах с расположением осей роликов перпендикулярно станине машины можно сваривать плоские элементы шириной не более двойного вылета консоли и неограниченной длины.

Конструкция изделия должна допускать возможность выбрать наиболее рациональную последовательность сварки, сводящую к минимуму образование сварочных деформаций (обратноступенчатый метод сварки, симметричное наложение швов и т.д.). Для снижения сварочных деформаций свариваемые детали должны плотно прилегать одна к другой.

Соотношение толщин свариваемых деталей рекомендуется задавать не более 3:1.

Фигурные (изогнутые) электроды повышают технологические возможности точечной машины.

Количество сварных точек в узле должно быть по возможности минимальным.

Если наряду с точечной сваркой применяют клепку, то заклепки рекомендуется ставить: в начале и конце шва, а также в местах пересечения продольных и поперечных соединений; через каждые 400—500 мм. при длинных швах; в пакетах, где количество деталей три или более; в соединениях, где толщина одной из деталей превышает толщину другой более чем в 2 раза.

Установка заклепок в сварных узлах предотвращает возможность вырыва точек при правке деталей из легких сплавов и может служить также креплением для сборки узла под сварку.

Основные недостатки контактной точечной и роликовой сварки: сложность сварочного оборудования и его высокая стоимость; сварка сложных узлов и сварка при монтажных работах невозможны. Этот недостаток устраняют применением дуговой точечной сварки в защитных газах плавящимся или неплавящимся электродом.

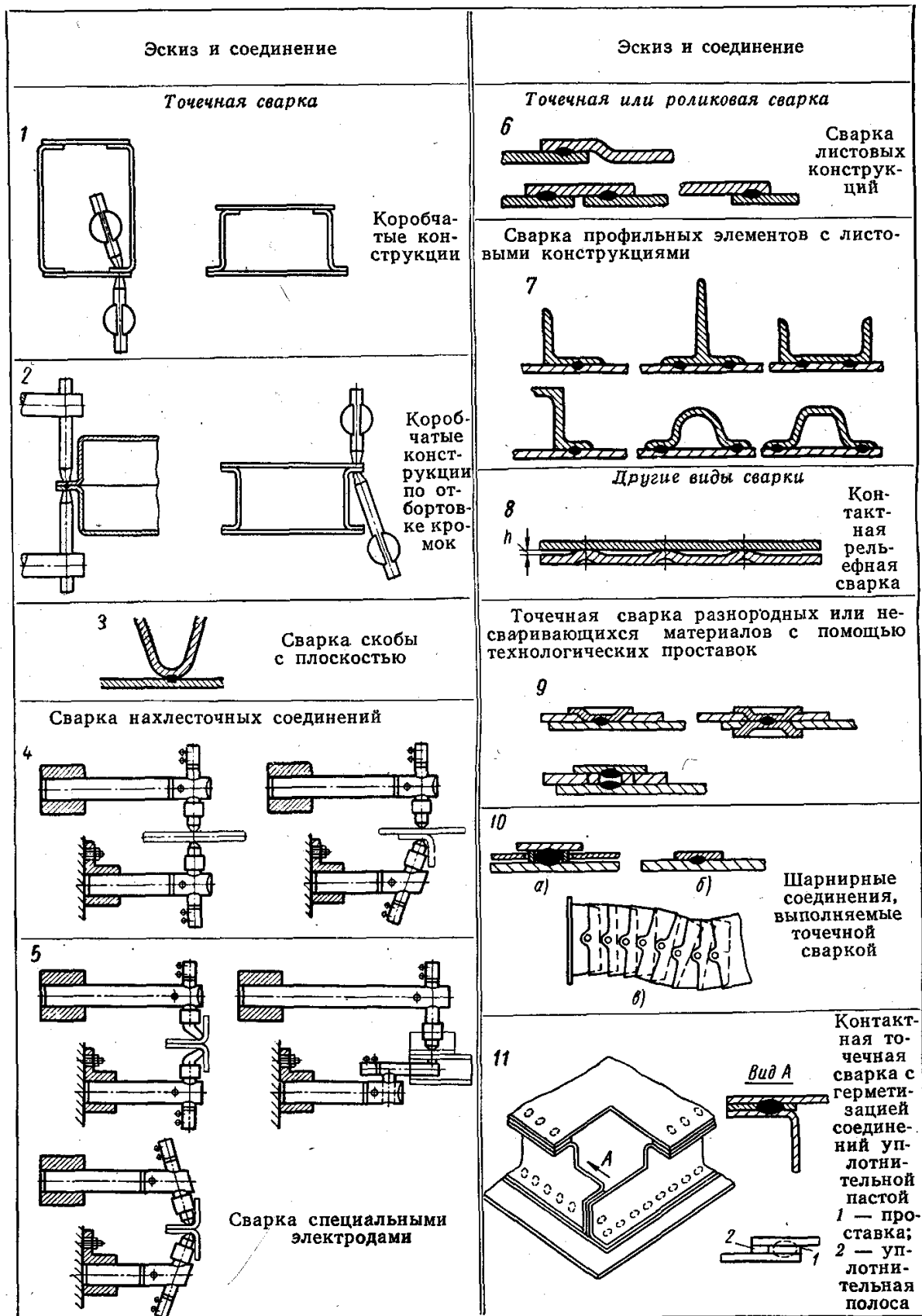
Одной из разновидностей точечной сварки является конденсаторная сварка. Конденсаторная сварка основана на использовании конденсаторного заряда, накапливаемого в специальных конденсаторных батареях.

Мощный электрический разряд протекает в течение малого промежутка времени (0,01—0,001 сек). Этим способом удастся выполнить точечную сварку и приварку шпилек из трудно свариваемых металлов и разнородных металлов.

ПРИВАРКА ШПИЛЕК

В судостроительной промышленности и в энергомашиностроении широко применяют способ дуговой приварки шпилек к корпусным конструкциям. Сварку осуществляют специальным пистолетом. Шпильку перед сваркой устанавливают в держатель пистолета, затем торец шпильки прижимают к изделию. Процесс возбуждения дуги между торцом шпильки и изделием, продолжительность протекания сварочного тока осуществляются автоматически после включения пистолета. Для этого имеется

11. Примеры соединений, выполняемых контактной точечной и роликовой сваркой



специальная система программирования процесса сварки. Сваривают под флюсом или в среде защитного газа. Пистолетная сварка отличается высокой производительностью.

ПРИМЕРЫ СВАРНЫХ УЗЛОВ

Контактная сварка. Примеры соединения деталей контактной сваркой приведены в табл. 11. Соединения точечной сваркой несваривающихся материалов с помощью технологических проставок (шайб) показаны на эскизе 9. Применение точечной контактной сварки для получения шарнирного соединения патрубков приведено на эскизе 10 (*а* — схема точечного соединения; *б* — схема соединения после приварки внутренней шайбы; *в* — общий вид узла). На эскизе 11 показана схема точечного сварного соединения с герметизацией пастой. В этом случае детали сваривают через узкую полоску металла. После сварки деталей между деталями остается зазор, который заполняют герметизирующей пастой, последнюю уплотняют запрессованной металлической прокладкой.

Дуговая сварка. Торцовые соединения (эскиз 1, табл. 12) применяют для обеспечения герметичности соединений в том случае, когда сварные соединения не несут больших нагрузок.

На эскизах 5 в табл. 12 показаны узлы элементов конструкций балок и ферм, подвергаемых в процессе эксплуатации знакопеременным часто повторяющимся нагрузкам.

При дуговой сварке Т-образных соединений из тонколистового металла необходимо предусматривать оптимальное расстояние от кромки полки до стенки стойки (эскиз 9, табл. 12). Это расстояние при толщине листов более 3 мм должно быть на 3—5 мм больше катета углового шва во избежание оплавления кромок полки. При толщине листов менее 3 мм это расстояние должно быть не менее 20—25 мм. В тех случаях, когда необходимо соединить листы толщиной менее 3 мм с листом большей толщины, следует применять нахлесточное соединение.

Для увеличения жесткости сварных балок не рекомендуется применять усиливающие пояса из пакетов листов одинаковой толщины (эскиз 10, *а*, табл. 12). Целесообразно усиливающий пояс балки изготовить из толстых полос со скосом (эскиз 10, *б*, табл. 12). Для обеспечения плотного прилегания накладок к полкам балок целесообразно применять дополнительные пробочные и прорезные соединения (эскиз 11, *б*, табл. 12).

При изготовлении сварных балок с накладками целесообразно применять типы соединений, показанные на эскизе 12, *а* табл. 12, если толщина накладок превышает 6 мм. При меньшей толщине накладок следует применять тип соединения, показанный на эскизе 12, *б*.

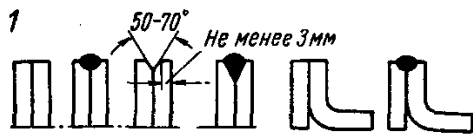
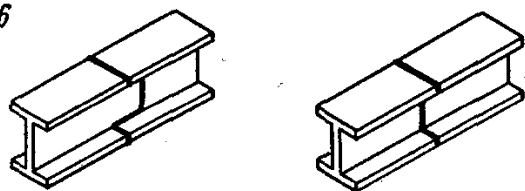
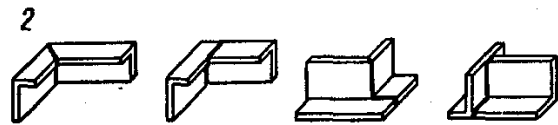
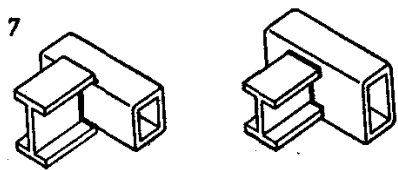
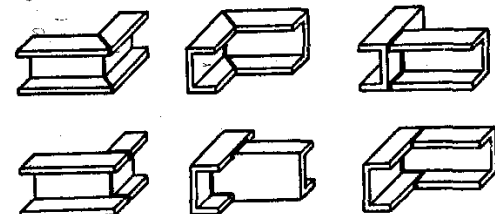
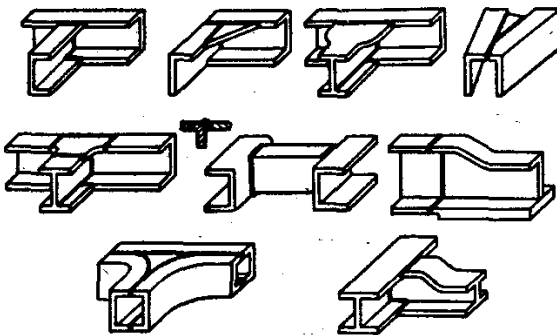
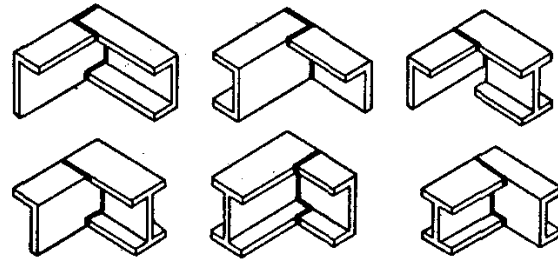
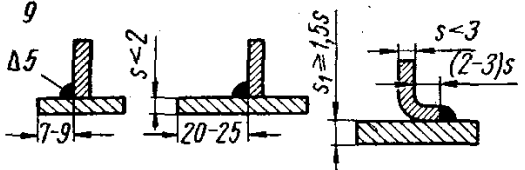
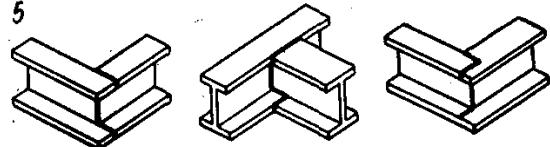
Втулки опорных подшипников, воспринимающих значительные нагрузки, целесообразно соединять по схемам, показанным на эскизе 13. При соединении труб втулок и бабышек с цилиндрическими или сферическими поверхностями торцы бабышек, труб и втулок должны быть обработаны по форме сопрягаемой поверхности (эскиз 14). На прямоугольных бабышках следует сделать фаски в направлении, совпадающем с осью цилиндра.

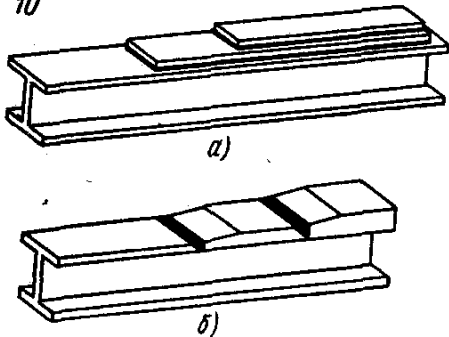
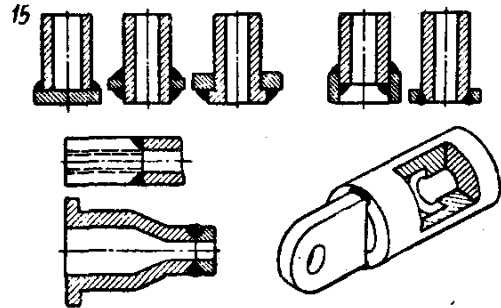

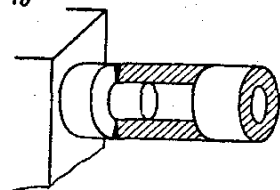
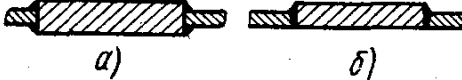
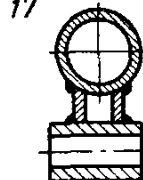
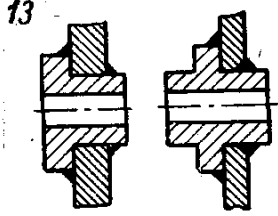
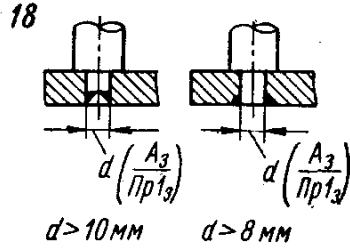
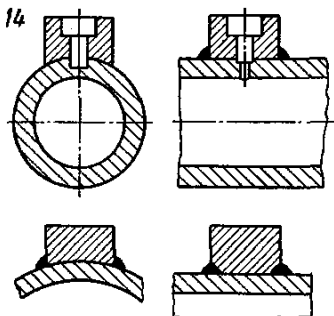
При соединении труб под углом сопрягаемые торцы их следует обрабатывать в соответствии с сопрягаемой поверхностью, не допуская утонения стенок элементов.

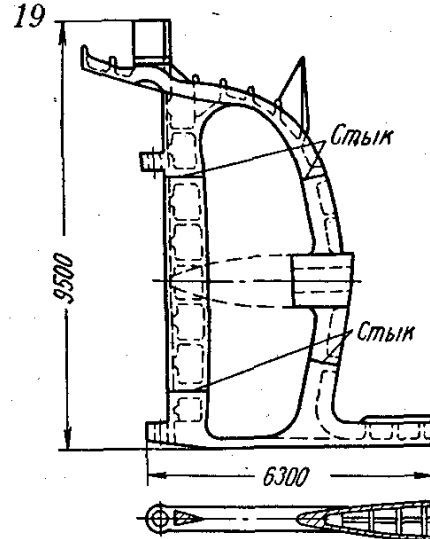
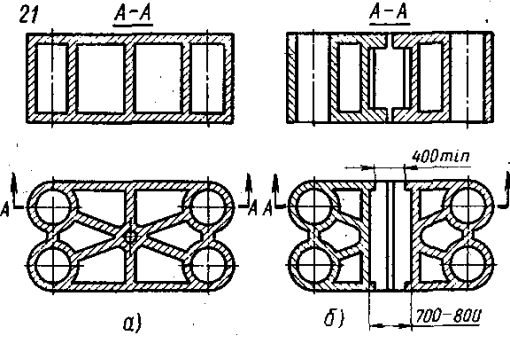
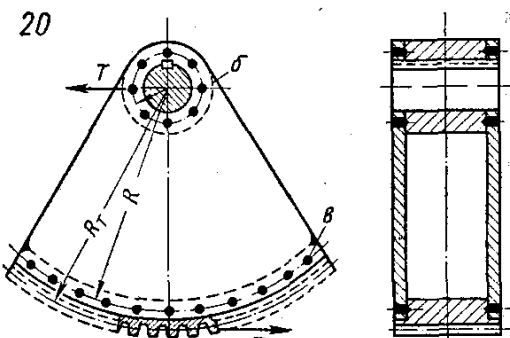
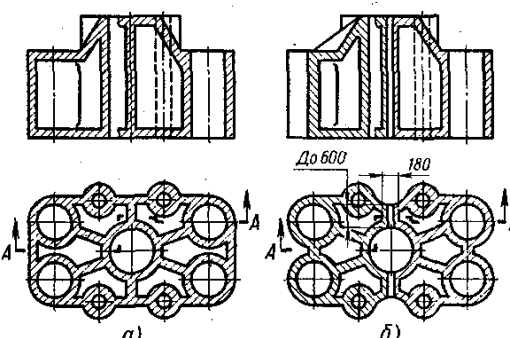
Сварку окончательно обработанных деталей (эскиз 18) можно применять только в исключительных случаях при толщине деталей более 20 мм, когда последующая механическая обработка невозможна.

Очень часто при сварке конструкций из листов малой толщины, при соединении ребер жесткости, при изготовлении тавровых или двутавровых балок целесообразно применять сварку прерывистыми швами. Такая схема сварки может быть применена в том случае, если к сварным соединениям не предъявляют требований герметичности и высокой прочности. Длина прерывистого шва должна составлять 10—20 толщин металла, но не менее 20 мм. Расстояние между прерывистыми швами должно быть не

12. Примеры сварных соединений деталей из стали, выполненных дуговой и электрошлаковой сваркой

Эскиз и соединение	Эскиз и соединение
<p>Торцовые соединения (дуговая или газовая сварка)</p> <p>1</p> 	<p>Стыковые соединения двутавровых балок</p> <p>6</p> 
<p>Узлы из углового профиля</p> <p>2</p> 	<p>Узлы из двутаврового профиля с балками коробчатого сечения</p> <p>7</p> 
<p>Узлы из стального профиля типа швеллер</p> <p>3</p> 	<p>Узлы мостовых конструкций</p> <p>8</p> 
<p>Узлы из углового, двутаврового и швеллерного профиля</p> <p>4</p> 	<p>Т-образные соединения из тонколистовой стали</p> <p>9</p> 
<p>Узлы из двутаврового профиля</p> <p>5</p> 	

Эскиз и соединение	Эскиз и соединение
<p>Двутавровые балки с усиливающими сварными накладками</p> <p>10</p>  <p>a) б)</p>	<p>Сварка фланцев и фитингов с трубами</p> <p>15</p> 
<p>Приварка усиливающих накладок к полкам двутавровых балок: а — неправильно, б — правильно</p> <p>11</p>  <p>a) б)</p>	<p>Соединение трубы с кронштейном</p> <p>16</p> 
<p>Схема сварки врезных усиливающих накладок</p> <p>12</p>  <p>a) б)</p>	<p>Сварка пересекающихся труб</p> <p>17</p> 
<p>Сварка втулок опорных подшипников со станиной</p> <p>13</p> 	<p>Сварка окончательно обработанных деталей</p> <p>18</p>  <p>$d \left(\frac{A_3}{\pi p_{13}} \right)$ $d \left(\frac{A_3}{\pi p_{13}} \right)$</p> <p>$d > 10 \text{ мм}$ $d > 8 \text{ мм}$</p>
<p>Сварка плоских элементов деталей машин с трубами</p> <p>14</p> 	

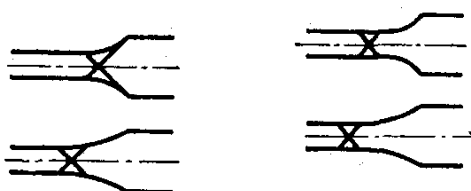
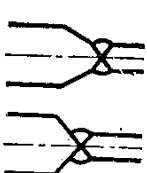
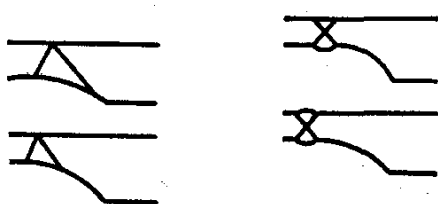
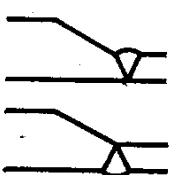















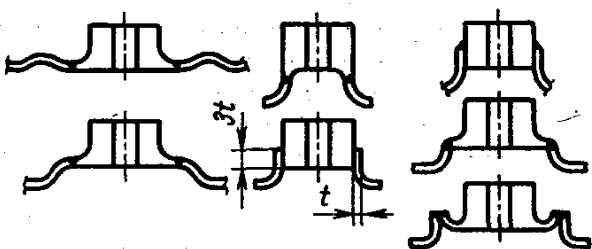
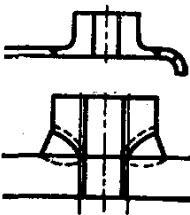
Эскиз и соединение	Эскиз и соединение
<p>Сварно-литой стальной ахтерштевень ко- рабля</p> 	<p>Схемы литых и сварно-литых траверз прессов (электрошлаковая сварка): а — литые; б — сварно-литые</p> 
<p>Штампо-сварной зубчатый сектор</p> 	

менее 0,5 длины прерывистого шва. Прерывистые швы могут быть односторонние и двусторонние.

В тяжелом машиностроении и судостроении широко применяют сварно-литые, сварно-кованные и сварно-штампованные конструкции. Это снижает расходы на изготовление поковок, литья и штамповок. В табл. 12 на эскизах 19—21 показаны сварно-литой ахтерштевень корабля, сварно-штампованный зубчатый сектор и сварно-литые траверзы крупных прессов, при изготовлении которых применяли электрошлаковую сварку.

При сварке сплавов алюминия и магния наиболее технологично стыковое соединение. Ввиду особых свойств сплавов алюминия и магния сваривать листы встык следует на удаляемой подкладке, изготовленной из меди или нержавеющей стали. При сварке встык листов из сплавов алюминия толщиной до 6 мм. применяют однопроходную аргонодуговую сварку вольфрамовым электродом на удаляемой подкладке, имеющей канавку для формирования обратного валика. Для толщины 7—10 мм применяют однопроходную аргонодуговую сварку неплавящимся электродом высокоамперной дугой или аргонодуговую сварку трехфазной дугой. Во всех перечисленных случаях разделка кромок не обязательна.

13. Примеры сварных соединений деталей из сплавов алюминия

Рекомендуемая схема	Нерекомендуемая схема
Стыковые и Т-образные соединения	
	
Сварка фланцев и фитингов с корпусными деталями	
	
Сварка симметричных систем	
<div>Подготовка</div>    	<div>Сварка</div>    
<div>Подготовка.</div>   	<div>Сварка</div>    
Сварка несимметричных систем	
	

При обычной аргонодуговой сварке листов из сплавов алюминия вольфрамовым электродом листов толщиной свыше 6 мм необходима односторонняя V-образная разделка кромок (угол разделки 70°).

Для обеспечения заданного качества сварного соединения необходимо не только правильно выбрать вид и способ сварки, но и правильно подготовить кромки свариваемых элементов, а также выбрать наиболее рациональную схему соединения элементов. Примеры рационального и нерационального выбора схем сборки под сварку элементов из сплавов алюминия приведены в табл. 13.

ПРОЧНОСТЬ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

При расчете на прочность сварных конструкций необходимо учитывать известное несовершенство структуры металла шва и зоны термического влияния основного металла. Чем сложнее сварка металла, тем ниже качество металла шва и околошовной зоны. Например, сварка высокоуглеродистых сталей требует применения предварительного, сопутствующего и последующего подогрева, а также последующей термообработки на заданную прочность. Однако на практике не всегда возможна полная термообработка сварной конструкции (закалка, отпуск, нормализация). Поэтому прочность сварного соединения должна определяться действительной возможной прочностью сварного шва или околошовной зоны. Снижение прочности сварного соединения в околошовной зоне по сравнению с исходным металлом связано не только с отпуском стали, но и со структурными изменениями, происходящими в результате воздействия термического цикла сварки (рост зерна, старение, выделение избыточных фаз, сегрегация легирующих элементов и примесей, образование микротрещин, возникновение пористости и т. д.).

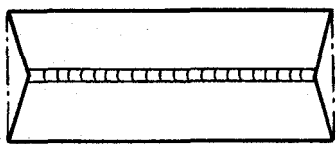


Рис. 1

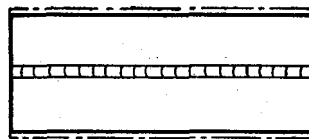


Рис. 2

Прочность и пластичность сварного соединения зависят от совершенства технологического процесса, типа конструкции, условий эксплуатации, рабочей среды, от характера нагрузки и т. п. Например, при статическом нагружении сварных конструкций из малоуглеродистой спокойной стали прочность сварного соединения при комнатной температуре практически не отличается от прочности основного металла. Эти же конструкции при эксплуатации при низких температурах, в условиях вибрации или в агрессивных средах могут разрушиться при нагрузках, значительно меньших.

Сварные соединения из сплавов алюминия или магния обладают прочностью на 10—20% ниже прочности исходного сплава.

При расчетах сварных конструкций пользуются так называемым коэффициентом прочности сварного соединения. Значение коэффициента прочности определяют экспериментально или на основании статических данных.

Деформации при сварке. Возможные виды остаточных деформаций:

продольные и поперечные деформации, при которых элементы уменьшаются по длине и ширине (рис. 1 и 2);

угловые деформации (рис. 3);

искривления, возникающие вследствие несимметричного расположения швов в поперечном сечении элементов;

потери устойчивости за счет возникновения сжимающих напряжений в процессе нагрева и охлаждения изделия при сварке.

При рациональном проектировании сварной конструкции и правильном выборе технологии величину сварочных деформаций можно свести к минимуму.

Сварочные деформации можно снизить за счет следующих мероприятий:

- правильного выбора параметров режима сварки;
- целесообразной последовательности наложения швов (наибольшее влияние на деформации оказывают обычно швы, выполненные в первую очередь);
- жесткого закрепления конструкции в процессе сварки;
- приложения к конструкции в процессе сварки внешних сил, препятствующих развитию деформаций;
- применения предварительного изгиба изделия перед сваркой;
- последующей правки сварной конструкции с применением механических средств и подогрева, а также наложением технологических валиков;

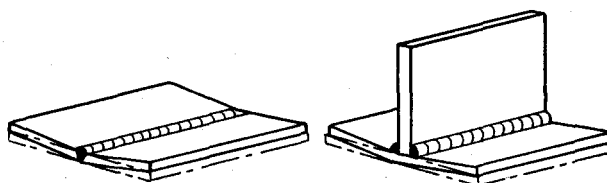


Рис. 3

охлаждения свариваемых элементов жидкостью или применением теплоотводящих шин, накладок, плит, изготовленных из теплопроводного металла;

- проковкой сварных швов;
- последующей термообработкой;
- сведением к минимуму общей протяженности сварных соединений;
- уменьшением в конструкции количества наплавленного металла (уменьшением поперечного сечения сварного шва);
- симметричного строения сечения сварного шва (наплавленного металла);
- обеспечения возможности наложения сварных швов в любой последовательности и сварки изделия в приспособлениях (применения обратноступенчатой схемы наложения швов, симметричного расположения швов, сварки с двух сторон, сварки в первую очередь соединений, обладающих повышенной жесткостью, и т. п.).

Следует отметить, что ни один из перечисленных приемов не позволяет полностью предотвратить или устранить сварочные деформации. Только сочетание ряда приемов позволяет свести к минимуму величину деформации.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧНЫХ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Технологичность сварных конструкций и их высокие техникоэкономические характеристики достигаются выбором рациональной схемы конструкции. Под этим подразумевают не только взаимное расположение узлов, но и конструктивное оформление ее элементов, распределение металла в элементах, членение конструкции на агрегаты, блоки, секции, узлы.

Использование последних достижений техники и обоснование схемы конструкции соответствующими расчетами или данными опыта, использование новых более прочных и надежных материалов, новых технологических процессов позволяют найти более прогрессивные конструктивные решения.

Комплексное проектирование конструкций с учетом рациональной технологии ее изготовления повышает экономичность сварной конструкции. Такое проектирование позволяет найти оптимальные решения по технологии и организации производства. Например, в результате одновременного пересмотра конструктивных решений и технологических процессов была разработана схема блочного и крупноблочного строительства сварных корпусов кораблей, вместо поддетальной стапельной сборки и сварки. В результате этого большой объем сборочно-сварочных и монтажных работ был перенесен

со ступеней в цеха.

Весьма перспективно применение этого метода при создании конструкций из алюминиевых сплавов, отличающихся высокой склонностью к деформированию в процессе сварки.

Рациональный выбор основного металла. Экономичность сварной конструкции часто оценивают разовыми затратами на ее изготовление. Однако для многих видов конструкций гораздо большее влияние на их экономичность оказывают эксплуатационные расходы в течение всего срока службы.

Выбор основного металла для сварной конструкции должен учитывать реальные условия работы данной конструкции. Например, сварные конструкции, предназначенные для работы при низких температурах, должны быть изготовлены из материала, критическая температура которого ниже предполагаемой температуры эксплуатации изделия. Сварка не должна повысить эту температуру. В этом случае не следует использовать кипящие стали. Если же эта конструкция предназначена для работы в тропических или морских условиях металл сварного шва так же, как и основной металл, должен обладать повышенной стойкостью против коррозии.

Одним из важных факторов, обуславливающих экономичность и технологичность конструкции, является применение штампованных и сварно-штампованных заготовок, экономичных профилей, специального проката, холодноформированных тонколистовых конструкций. Замена литых и кованых конструкций сварными позволяет снизить расход сталей на 15—30% и повысить экономичность конструкции.

Важным резервом является создание типовых и стандартизованных сварных деталей и узлов. Массовое механизированное и автоматизированное производство стандартных сварных узлов позволит не только снизить их стоимость, но и сократить затраты на проектные работы.

При проектировании толстостенных конструкций следует учитывать возможность ее сварки электрошлаковым способом как наиболее экономичным для стальных конструкций большой толщины.

Следует помнить, что контактная сварка является наиболее производительной, однако ее применение ограничивается геометрическими размерами конструкции и толщиной металла. Вслед за контактной сваркой по производительности следует дуговая сварка. Особенностью дуговой сварки является широкая возможность ее автоматизации.

При проектировании сварной конструкции необходимо учитывать следующие факторы:

1. Количество сварных соединений должно быть по возможности наименьшим, так как прочность сварных соединений, как правило, ниже прочности основного металла.

2. Для обеспечения равнопрочности сварных соединений основному металлу и для удаления сварочных напряжений очень часто требуется последующая термообработка. Поэтому габариты сварных узлов должны соответствовать возможности их обработки в термических печах.

3. В тех случаях, когда последующая термообработка не дает эффекта, невозможна или экономически невыгодна, равнопрочность сварных соединений может быть достигнута за счет утолщения кромок элементов конструкции на небольшой ширине.

4. Для предотвращения образования чрезмерных сварочных деформаций в конструкции следует стремиться к симметричному расположению сварных соединений. При выборе режима сварки необходимо предотвратить по возможности несимметричность сечения шва. При сварке тонколистовых конструкций нужно обеспечить жесткое закрепление свариваемых элементов вблизи стыка. В некоторых случаях (например, при изготовлении сварных балок) целесообразно применять предварительный изгиб деталей перед сваркой с таким расчетом, чтобы после сварки изделие приняло заданную форму.

Величина сварочных деформаций тем больше, чем больше сечение шва. Поэтому при проектировании сварной конструкции необходимо предусматривать минимально возможные сечения швов.

5. В процессе сварки вследствие усадочных явлений в шве происходит укорочение конструкции и ее искривление.

6. Избегать перекрещивания сварных швов. В местах перекрещивания чаще всего возникают трещины.

7. Не располагать сварные швы вблизи параллельных угловых швов элементов жесткости. Наличие сварочных напряжений и высокой жесткости соединения может привести к образованию трещин в сварном соединении.

8. В цилиндрических емкостях продольные стыки обечаек не должны располагаться на одной прямой.

9. Там, где к сварным швам не предъявляют высоких прочностных требований и плотности соединений рекомендуется применять прерывистые симметричные швы или электрозаклепочные соединения.

10. В сварной конструкции не должно быть резких (ступенчатых) переходов толщины металла, несимметричного расположения элементов по толщине; не должно быть резких переходов форм конструкции (малых радиусов закругления вырезов). В противном случае возможно разрушение конструкций вследствие наличия концентраций напряжений. Это особенно важно для конструкций, работающих в условиях знакопеременных нагрузок и вибрации. Для такого типа конструкций необходимо предусмотреть плавные переходы от металла шва к основному металлу.

ПОРОКИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ, ИХ ВЫЯВЛЕНИЕ, ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ И УСТРАНЕНИЕ

Основными дефектами сварных соединений при сварке являются: пористость, трещины (горячие и холодные), неметаллические включения, непровары по глубине (в корне шва), несплавления с кромками основного металла, подрезы, прожоги, недостаточное усиление сварного шва, недостаточный катет сварного углового шва.

Перечисленные дефекты сварных швов оказывают влияние на работоспособность сварной конструкции. Нередко возникновение дефекта в сварных соединениях связано с нерациональным проектированием сварной конструкции.

Пористость. Появление пористости в швах при сварке стали связано с взаимодействием жидкого металла в зоне сварки с газовой фазой или с окислением его, а также с выделением газов из соседних со швом участков основного металла (например, при сварке кипящей стали). Если в период кристаллизации сварочной ванны имеются условия для интенсивного газовыделения в затвердевающем металле шва, то в нем могут возникать поры.

Нередко загрязненность поверхности свариваемого металла приводит к образованию пор в металле шва.

Крупная пористость в шве может быть обнаружена внешним осмотром, когда поры в виде свищей выходят на поверхность шва, а также с помощью рентгеноконтроля.

При сварке сплавов алюминия поры в швах возникают особенно часто. Наибольшей склонностью к образованию пор обладают сплавы системы алюминий — магний. Причиной возникновения пор здесь является водород, связанный в виде химических соединений (влаги, масла, гидроокиси алюминия).

В процессе сварки при высокой скорости кристаллизации сварочной ванны водород не успевает покинуть жидкий металл и остается в шве, образуя поры. Источником водорода является загрязнение поверхности металла и сварочной проволоки влагой, жирами и т. п.

Для предотвращения образования пор в шве необходима тщательная очистка от загрязнений химическим и механическим способом поверхности основного металла и сварочной проволоки.

Горячие трещины. При сварке кристаллизующийся металл находится под воздействием растягивающих напряжений, возникающих в сварном соединении вследствие несвободной усадки шва. Поэтому металл шва в процессе кристаллизации подвергается пластической

деформации.

При кристаллизации сплавы проходят твердожидкое состояние. Нижнюю часть температурного интервала кристаллизации, ограниченную сверху температурой, при которой возникает жесткий скелет из твердой фазы, а снизу — температурой соли-дуса, принято называть эффективным интервалом кристаллизации.

Вследствие особого характера механических свойств твердожидкого металла сварочной ванны хрупкое межкристаллитное разрушение (образование горячих трещин) становится наиболее вероятным именно в этом интервале температур. По мере увеличения соотношения между объемами твердой и жидкой фаз пластичность металла претерпевает резкие изменения. При объеме жидкой фазы, достаточном для свободного ее перемещения в промежутках между растущими кристаллами, пластичность двухфазного металла высока, так как полностью определяется свойствами жидкости.

С увеличением объема твердой фазы циркуляция жидкости постепенно затрудняется и после образования жесткого каркаса кристаллитов (или заклинивания их в процессе кристаллизации) полностью прекращается.

Деформация металла в этом состоянии приводит к хрупкому разрушению по межкристаллическим прослойкам, в которых еще не закончен процесс кристаллизации. Пластичность металла резко падает и сопротивление разрушению становится ничтожным.

В процессе дальнейшего охлаждения происходит повышение вязкости и поверхностного натяжения прослоек, а их объемная прочность возрастает. При этом деформирование металла развивается за счет сдвиговых деформаций в объемах кристаллов, вследствие чего пластичность возрастает, а характер разрушения становится внутрикристаллитным.

Образование горячих трещин возможно также и в околошовной зоне вследствие интенсивного роста зерен, выделения по их границам легкоплавких составляющих и примесей и частичного их оплавления.

Главным средством предотвращения образования горячих трещин является рациональный выбор сочетания электродного и основного металлов, рациональный выбор режима и технологии сварки.

Склонность металла к образованию горячих трещин определяют по специальным методикам, например по методике МВТУ.

Холодные трещины. Образование холодных трещин (трещин, возникающих в процессе охлаждения сварного соединения до комнатной температуры) в металле шва и околошовной зоны обусловлено резким изменением механических свойств и характера напряженного состояния в процессе фазовых и структурных превращений.

Например, в сталях перлитного класса эти изменения связаны с мартенситным превращением, в титане и его сплавах — с гидридным превращением. Превращения этого типа сопровождаются резким изменением удельного объема. Поэтому при сварке металлов и сплавов, претерпевающих фазовые и структурные превращения, развитие внешних напряжений обусловлено не только неравномерным нагревом и охлаждением отдельных участков сварного соединения, но и изменением удельного объема в процессе фазовых превращений.

В отличие от напряжений первого рода, уравнивающих в макрообъемах металла, напряжения второго рода уравниваются в объемах отдельных зерен или кристаллов. К их возникновению приводят изменения удельного объема металла и коэффициента объемного расширения при фазовом превращении, а также анизотропность коэффициента объемного расширения соседних зерен с разной ориентировкой структуры, вызывающая напряжения между зернами.

Температурный интервал возникновения холодных трещин ограничен сверху температурой начала мартенситного или гидридного превращения ($400\text{—}300^\circ\text{C}$) и распространяется вниз в область отрицательных температур.

Склонность сталей перлитного класса к образованию холодных трещин при сварке определяется их составом и оценивается интервалом скоростей охлаждения, огра-

ничающих область частичной закалки, и величиной этих скоростей. Изменяя скорость охлаждения путем соответствующего выбора режима и технологии сварки, можно регулировать количество мартенсита в металле шва и околошовной зоны.

Неметаллические включения, непровар, несплавление, подрезы, прожоги. Неметаллические включения в сварном шве связывают с проникновением в сварочную ванну окислов, нитридов или других химических соединений из флюса, покрытия электрода или с поверхности загрязненного основного металла. При дуговой сварке вольфрамовым электродом возможно загрязнение металла шва частицами вольфрама. Нередко неметаллические включения в виде окислов образуются в шве за счет окисления металла сварочной ванны в процессе сварки.

Непровар корня шва возникает при недостаточной глубине проплавления основного металла при сварке. Возникновение этого дефекта связано с неправильным выбором режима сварки.

Несплавление по кромкам может возникнуть при неправильно выбранном режиме сварки или при сильном загрязнении кромок тугоплавкими веществами (окислы, нитриды).

Подрезы в шве имеют место в том случае, когда величина сварочного тока чрезмерно велика.

Прожоги появляются в случае внезапной остановки сварки, неплотного прилегания подкладки с обратной стороны стыка или при чрезмерно большом зазоре между свариваемыми кромками металла.

Для выявления пористости и трещин в сварных швах применяют рентгеноконтроль, ультразвуковой дефектоскоп или контроль магнитным металлическим порошком (для ферромагнитных металлов). Трещины часто могут быть обнаружены визуально.

Места, пораженные трещинами, вырубают, затем заваривают тем же способом, которым было сварено изделие.

Разрешение на заварку трещины обусловлено техническими условиями на изготовление сварной конструкции.

Непровар и несплавления могут быть определены визуально, а в некоторых случаях с помощью рентгеноконтроль, исправление этих дефектов такое же, как и для трещин.

ИСПЫТАНИЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА

В отличие от других технологических характеристик металлов (обрабатываемость, ковкость, штампуемость и т. д.) свариваемость является относительной и сложной характеристикой, которую нельзя определять с помощью какого-либо одного испытания. Относительность понятия свариваемости объясняется тем, что ее оценка не является постоянной для всех условий сварки и для всех типов конструкций. Эта оценка может изменяться не только по отношению к различным типам изделий (отличающихся по конструкции и по условиям эксплуатации), но и для одного и того же типа изделий при изменении технологии изготовления.

Указанная многозначность оценки свариваемости обусловила необходимость применения для сварных соединений различных способов испытаний (ГОСТ 6996—66):

на статическое растяжение; на статический изгиб; на кратковременное растяжение; на ударный разрыв на стойкость против механического старения; на твердость; на усталость при переменных нагрузках (ГОСТ 2860—65).

В ряде случаев применяют специальные испытания сварных соединений в соответствии с техническими требованиями, предъявляемыми к конструкции: испытания на межкристаллитную коррозию, испытания на коррозионную стойкость в заданных средах и при заданных температурах, испытания на склонность к хрупкому раз

рушению при пониженных температурах, испытания на ползучесть, жаропрочность, теплоустойчивость и т. п.

Для ответственных конструкций лабораторные испытания сварных соединений на малых образцах нередко требуют подтверждения путем испытания натуральных образцов, моделей опытных конструкций. Эти испытания проводят при режимах, соответствующих наиболее суровым условиям эксплуатации. При испытании сварных соединений и конструкций следует выбирать наиболее экономичные и надежные методы и средства контроля. Неправильно выбранный метод контроля может оказаться недостаточно надежным или чрезмерно трудоемким и экономически нецелесообразным. В обоих случаях технологичность конструкции может быть снижена, так как в первом случае не будет гарантирована эксплуатационная надежность изделия, а во втором — необоснованное увеличение его стоимости.

Контроль качества сварной конструкции не должен ограничиваться только проверкой качества сварных соединений, необходимо проведение общего контроля качества сварного изделия, контроля основного и сварочного материалов.

На практике применяют следующие основные методы контроля сварных конструкций.

Внешний осмотр с целью выявления трещин, подрезов, прожогов, несоответствия размеров и формы шва, незаплавленных кратеров шва, поверхностной пористости. При точечной и роликовой сварке визуально могут быть обнаружены выплески металла, прожоги, вмятины от электродов, следы меди на поверхности шва, трещины, несоответствие диаметра точки требованиям чертежа. При внешнем осмотре пользуются лупой, шаблонами, щупами, эталонами сварных швов. .

Испытания на герметичность применяют для контроля сварных емкостей, сосудов, труб, корпусов, кораблей и др. К этому виду испытаний относят пневмо- и гидроиспытания, контроль с помощью гелиевого течеискателя, керосиновую пробу, барокамеру.

Испытания проводят вслед за исправлением дефектов, обнаруженных внешним осмотром. Гидро- и пневмоиспытания проводят на специальных стендах. Величину давления при испытании берут из технических условий на изготовление изделия.

При пневмоиспытании сварные швы с внешней стороны смачивают мыльным водным раствором и по пузырькам, образующимся на поверхности шва, определяют дефектные места. При испытании труб, небольших баков, емкостей к ним присоединяют шланг воздушной магистрали заданного давления, затем их погружают в ванну с водой. В местах дефектов выделяются пузырьки воздуха.

Испытания на вакуумную плотность проводят с помощью гелиевого течеискателя типа ПТИ-4А или ПТИ-6.

В некоторых случаях плотность сварных соединений оценивают керосиновой пробой. Сварные швы с одной стороны обильно смачивают керосином, вторую сторону шва окрашивают меловым раствором. В местах дефектов керосин проникает через неплотность шва и изменяет цвет мелового покрытия. Продолжительность испытаний керосином зависит от толщины металла и составляет от 15 мин до нескольких десятков часов.

Рентгеноконтроль и контроль с помощью радиоактивных изотопов с использованием стационарных и портативных установок применяют для выявления всех дефектов сварных швов. Методику контроля и шкалу оценки дефектов регламентируют ТУ на изготовление изделия.

Контроль с помощью радиоактивных изотопов преследует те же цели, что и рентгеноконтроль, однако в ряде случаев применение изотопов экономически целесообразно ввиду портативности оборудования, что позволяет проводить контрольные операции в недоступных для рентгеноконтроль местах. Продолжительность рентгеноконтроль (просвечивания) и контроля с помощью изотопов зависит от рода материала и его толщины, а также от мощности контрольной аппаратуры. Продолжительность рентгеноконтроль составляет от нескольких минут до нескольких часов.