

## Уважаемые студенты!

Ниже представлена лекция. Вам необходимо:

1. Внимательно прочесть лекционный материал
2. Законспектировать лекцию, выделяя основные понятия и определения, конспект должен составлять не менее 3-4 страниц тетради.
3. Ответить на вопросы письменно в конце законспектированной лекции.

Законспектированную лекцию и ответы на вопросы подготовить к проверке преподавателю по окончании карантина. Результат выполненного задания прислать на адрес электронной почты преподавателя: [helen-ivanova-1959@mail.ru](mailto:helen-ivanova-1959@mail.ru) -

4. В случае возникновения вопросов в течении времени вашей пары можно обратиться к преподавателю [helen-ivanova-1959@mail.ru](mailto:helen-ivanova-1959@mail.ru) или по телефону. **0721689390**

## Лекция

### Свариваемость металла и методы её оценки

#### План лекции

1 Свариваемость металла

2 Технологическая свариваемость

При определении свариваемости исходят из физической сущности сварки и отношения к ней металлов.

Критерием хорошей свариваемости является способность сохранения сварным соединением специальных физических, механических свойств – равнопрочности, жаростойкости, коррозионной стойкости, антифрикционности, прочности, вязкости и т. д. Свариваемость различных металлов и сплавов неодинакова.

Свариваемость характеризуется способностью изменять свойства шва и сварного соединения по сопоставлению со свойствами основного металла, способностью к взаимной кристаллизации.

Степень свариваемости металла считается более высокой, если для сварки можно применить много ее способов и различные режимы при каждом способе, как, например, для низкоуглеродистой стали.

Сварка – это сочетание нескольких одновременно протекающих процессов: взаимная кристаллизация металлов, тепловое воздействие на металл в зоне термического влияния и кристаллизация шва.

Взаимная кристаллизация, в принципе, всегда возможна, если металлы однородны.

Для качественной сварки металлы должны обладать свойствами принципиальной (физической) свариваемости и технологической свариваемости. Единого показателя свариваемости металлов нет.

**Принципиальная, или физическая свариваемость** – это способность металлов в условиях сварки образовывать соединение на основе взаимной кристаллизации. Принципиальной свариваемостью обладают все **однородные** металлы. Не свариваются металлы, не обладающие взаимной растворимостью, пары металлов образуют не межатомные связи, а хрупкие химические соединения.

Например, свинец и медь образуют несмешивающиеся пары. Необходимо также условие сходимости металлов, например, по атомному весу, температуре плавления и др.

По этим причинам не свариваются алюминий и висмут. Медный сплав и титан, а также сталь и титан не обладают взаимной растворимостью, но задача их соединения решается с применением металловставок, например: медь + тантал + титан; титан + ванадий + сталь. Металл вставки образует смешивающиеся пары с обоими свариваемыми металлами. Но принципиального соединения еще мало, так как нужно еще и качество по прочности. При соединении сваркой несмешивающихся металлов, например, железа со свинцом, меди со свинцом и других, зоны сплавления нет, атомного сцепления не будет, произойдет «слипание» металлов.

**Технологическая свариваемость** — совокупность свойств основного металла, определяющих чувствительность его к термическому циклу сварки и способность при данной технологии сварки образовывать сварное соединение надлежащего качества по прочности и вязкости без применения специальных технологических приемов (подогрева, отжига и т. д.).

Технологическая свариваемость, в свою очередь, подразделяется на тепловую (отношение металла к тепловому воздействию) и металлургическую технологическую свариваемость, которая учитывает отношение металла к плавлению, металлургической обработке и кристаллизации.

Учитывается как критерий свариваемости окисляемость металла, стойкость к горячим и холодным трещинам. Особого внимания заслуживает участок *перегрева* в ЗТВ — как самая ослабленная область в сварном соединении.

Она нагревается до температуры 1100...1400 °С, поэтому структура металла в этой зоне крупнозернистая, с пониженными механическими свойствами (пластичностью и ударной вязкостью). Эти свойства тем ниже, чем крупнее зерно и шире зона перегрева (как у газовой сварки).

Оценочным показателем свариваемости металлов служит сопротивляемость к образованию горячих и холодных трещин. Существует много методов оценки свариваемости, применяемых в машиностроении и описанных в литературе, но они распространяются на однородные и, главным образом, стальные материалы. Все они имеют одну основную цель — оценить свариваемость металлов по стойкости против образования горячих и холодных трещин и склонности образовывать закалочные структуры в зоне термического влияния (ЗТВ). На состояние ЗТВ влияет содержимое химических элементов в стали, особенно углерода.

Для определения свариваемости металлов используются, в основном, два метода: **моделирование условий работы** сварного соединения, близких к реальным, с изготовлением образцов соединения, и **пробы** — испытание при

сварке либо после сварки, с оценкой свариваемости, технологические пробы и т.д.

**Косвенные, количественные методы оценки свариваемости по химическому составу металла.** До сих пор не существует достаточно надежной и достоверной единой системы определения свариваемости металлов.

В практической деятельности удобно пользоваться марочниками сталей и сплавов, в которых в разделе технологических свойств на каждую марку сталей приводятся и сведения о свариваемости, способах и условиях сварки.

На практике используются четыре вида испытания металла на свариваемость.

1 Определение стойкости металла шва против образования горячих (кристаллизационных) трещин.

2 Определение стойкости металла околошовной зоны против образования холодных трещин.

3 Испытание стойкости основного металла и металла околошовной зоны и шва, а также всего сварного соединения в целом, против перехода в хрупкое состояние (охрупчивание).

4 Проверка соответствия сварного соединения специальными заданными свойствами служебного характера.

Общее число методов испытаний по этим четырем направлениям достигает более 150. Идея (принцип) метода технологических проб состоит в том, что кристаллизация проходит в состоянии пластин, закрепленных разными конструктивными приемами. При этом склонность к трещинам определяется наглядно. Для исключения ошибки выводы делаются по трем образцам.

Заслуживает внимание еще метод МВТУ им. Баумана, когда сварка стыка выполняется одновременно с медленным растягиванием пластин. Этим выявляется критическая скорость растяжения, при которой появляются

горячие трещины, и устанавливается стойкость металла образца в миллиметрах в секунду (*мм/с*) к образованию горячих трещин.

А в остальных методах напряжение растяжения создается за счет усадки металла. Все другие методы, в основном, моделируют условия работы сварного соединения.

Косвенные методы оценки свариваемости металлов (количественные) заключаются в оценке количества углерода и легирующих элементов в стали, и полученное количество сопоставляется с так называемым эквивалентным содержанием углерода –  $C_{\text{ЭКВ}}$ , по которому оценивают свариваемость. Формул для определения  $C_{\text{ЭКВ}}$  до десятка, и достоверность их, в принципе, тоже относительная, так как формулы эти эмпирические, т.е. без вывода. Вот некоторые из них:

$$1) C_{\text{ЭКВ}} = C + \text{Mn}/6 + \text{Cr}/6 + \text{Si}/5 + \text{Cu}/7 + \text{P}/2 + \text{Ni}/12 + \text{Mo}/4 + \text{V}/5.$$

Это более уточненная формула для *всех сталей*, т.е. общепринятая формула;

$$2) \text{ для малоуглеродистых сталей: } C_{\text{ЭКВ}} = C + \text{Mn}/6 + 0,024S,$$

где  $S$  – толщина свариваемой кромки (наибольшей);

3) для легированных сталей:

$$C_{\text{ЭКВ}} = C + \text{Mn}/20 + \text{Ni}/15 + (\text{Cr} + \text{Mo} + \text{V})/10 + 0,0248S,$$

где  $S$  — толщина металла;

4) для различных сталей:

$$C_{\text{ЭКВ}} = C + \text{Mn}/6 + \text{Cr}/3 + \text{Ni}/15 + \text{V}/5;$$

5)  $C_{\text{ЭКВ}} = C + \text{Mn}/6 + (\text{Cr} + \text{Mo} + \text{V})/5 + (\text{Ni} + \text{Cu})/15$  — для всех марок сталей.

Во всех формулах ставится количество указанного элемента в процентном содержании, затем выполняется вычисление.

При  $C_{\text{ЭКВ}} < 0,45$  – свариваемость хорошая для *легированных* сталей.

При  $C_{\text{ЭКВ}} < 0,49$  – свариваемость хорошая для *низкоуглеродистых* сталей.

При  $C_{\text{ЭКВ}} > 0,45$  до 0,5 – свариваемость удовлетворительная и требуется

подогрев.

При  $C_{\text{экв}} > 0,5$  до  $0,6$  – свариваемость ограниченная, требуются подогрев и отжиг, или нормализация.

При  $C_{\text{экв}} > 0,6$  до  $0,8$  – свариваемость плохая.

В общем случае, по свариваемости все стали *условно* подразделяют на четыре группы.

1 Хорошо сваривающиеся – до  $0,3$  % углерода.

2 Удовлетворительно сваривающиеся – до  $0,38$  % углерода.

3 Ограниченно сваривающиеся – до  $0,48$  % углерода.

4 Плохо сваривающиеся – свыше  $0,48$  % углерода.

Как видно, основным критерием этого разделения является количество *углерода* (не эквивалента углерода). Углерод влияет на склонность к закалочным структурам в околошовной зоне и на образование холодных трещин при наличии таких структур.

Для получения качественного сварного соединения из сталей с плохой свариваемостью необходимо применять различные специальные технологические приемы, например различные виды термообработки (подогрев, отжиг, нормализация, отпуск), как перед сваркой, так и в процессе сварки и после нее.

**При оценке на свариваемость сталей учитывают, что:**

1 *Углерод* увеличивает твердость и уменьшает пластичность, приводит к закаливанию ЗТВ и к появлению трещин, вызывает большое количество газовых пор в процессе окисления при сварке.

2 *Марганец* – при содержании до  $1\%$  не ухудшает свариваемость и не затрудняет сварку. Как хороший раскислитель, он способствует уменьшению содержания кислорода в стали.

При содержании марганца более  $2,5\%$  свариваемость ухудшается, так как повышается твердость стали, появляются закалочные структуры, и могут быть трещины.

3 *Кремний* – до  $1\%$  вводится как раскислитель и не влияет на

свариваемость. Но при содержании кремния более 2,5% свариваемость ухудшается, так как образуются тугоплавкие оксиды, ведущие к появлению шлаковых включений, повышаются прочность и твердость, а вместе с этим и хрупкость.

4 *Хром* – до 0,6% не отражается на свариваемости. При содержании более 1 % хрома свариваемость ухудшается иособо при повышении содержания углерода.

5 *Никель* – в обычных углеродистых сталях никеля до 0,3%, а в высоколегированных – до 28%. Никель, вместе с прочностью, повышает и пластичность металла и не ухудшает, а даже улучшает свариваемость

6 *Молибден* – в сталях от 0,5 до 3% в сильной степени увеличивает прочность и ударную вязкость стали, но ухудшает свариваемость повышением склонности к образованию трещин в шве и переходной зоне.

7 *Медь* – в сталях до 1% улучшает свариваемость, повышает прочность, пластические свойства, ударную вязкость и коррозионную стойкость

Сталь считается сваривающейся хорошо, если трещины отсутствуют; удовлетворительно, если трещины образуются при охлаждении водой, но отсутствуют при охлаждении воздухом; ограниченно, если сталь для предупреждения образования трещин требует предварительного подогрева до 100— 150°C и охлаждения на воздухе. Плохо сваривающиеся стали требуют предварительного подогрева до 300°C и выше.

Углеродистые стали по свариваемости можно условно подразделить на следующие группы: хорошо сваривающиеся стали — Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4 (ГОСТ 380—88); 08, 10, 15, 20, 25 (ГОСТ 1050—88); удовлетворительно сваривающиеся стали — Ст5 (ГОСТ 380—88); 30, 35 (ГОСТ 1050— 88); ограниченно сваривающиеся стали — Ст6, Ст7 (ГОСТ 380—88); 40, 45, 50 (ГОСТ 1050—88); плохо сваривающиеся стали — 60Г, 65Г, 70Г, 70, 75, 80, 85.

В сварных строительных конструкциях используются главным образом стали первой группы. Стали Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5 применяют при

изготовлении строительных конструкций, арматуры, горячекатаных и сварных труб с прямым и спиральным швами. Из стали Ст3 изготавливают бункера, резервуары, газгольдеры, подкрановые балки, конструкции доменного комплекса, балки перекрытий. Стали 10, 15, 20 и 25 используют для производства горячекатаных труб. Эти стали хорошо поддаются сварке и образуют сварной шов без хрупких структур и пористости.

Как правило, чем выше прочность свариваемого материала и больше степень его легирования, тем чувствительнее материал к термическому циклу сварки и сложнее технология его сварки.

Чувствительность металла к тепловому воздействию сварки оценивают по свойствам различных зон соединений и, сварных соединений в целом при статических, динамических и вибрационных испытаниях (растяжение, изгиб, определение твердости, определение перехода металла в хрупкое состояние и др.), а также по результатам металлографических исследований в зависимости от применяемых видов и режимов сварки.

Сопротивляемость металла образованию трещин при сварке: при сварке могут возникать горячие и холодные трещины в металле шва и в околошовной зоне.

Горячие трещины — хрупкие межкристаллические разрушения металла шва и околошовной зоны, возникающие в твердожидком состоянии в процессе кристаллизации, а также при высоких температурах в твердом состоянии.

При кристаллизации жидкий металл шва сначала переходит в жидкотвердое, а затем в твердожидкое и, наконец, в твердое состояние. В твердожидком состоянии образуется скелет из кристаллитов затвердевшего металла (твердой фазы), в промежутках которого находится жидкий металл, который в таком состоянии обладает очень низкими пластичностью и прочностью.

Усадка шва и линейное сокращение нагретого металла в сварном соединении при охлаждении могут привести к образованию горячих трещин. Горячие трещины могут образовываться как вдоль, так и поперек шва.

Для оценки свариваемости металлов по сопротивляемости горячим трещинам применяют два основных вида испытаний — сварку технологических проб и машинные способы испытаний.

В технологических пробах сваривают узел или образец заданной жесткости. Пригодность материала, электродов, режимов сварки оценивают по появлению трещины и ее длине.

При машинных методах испытаний растягивают или изгибают образец во время сварки. Стойкость материалов оценивают по критической величине или скорости деформирования, при которых возникает трещина. Для предотвращения горячих трещин необходимо правильно выбирать присадочный материал и технологию сварки.

Холодные трещины — локальные межкристаллические разрушения, образующиеся в сварных соединениях преимущественно при нормальной температуре, а также при температурах ниже 200° С. Причины возникновения холодных трещин при сварке следующие:

- охрупчивание металла вследствие закалочных процессов при быстром его охлаждении;
- остаточные напряжения, возникающие в сварных соединениях;
- повышенное содержание водорода в сварных швах, который усиливает неблагоприятное действие первых двух главных причин.

Для оценки свариваемости металлов по сопротивляемости холодным трещинам применяют, как и при оценке сопротивляемости горячим трещинам, два вида испытаний — технологические пробы и методы количественной оценки с приложением к образцам внешней постоянной механической нагрузки.

Преимуществом технологических проб является возможность моделировать технологию сварки и, следовательно, судить о

сопротивляемости образованию трещин в условиях, близких к реальным. Проба представляет собой жесткое сварное соединение. Стойкость материала оценивают качественно по наличию или отсутствию трещин.

Технология сварки (вид сварки, сварочные материалы, техника сварки) выбирается в зависимости от основного показателя свариваемости (или сочетаний нескольких показателей) для каждого конкретного материала.

### **Контрольные вопросы**

1 Что необходимо для уменьшения пористости

2 Чем отличается физическая и технологическая свариваемость