

## **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**

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

### **Лекция**

**Образование холодных трещин. Механизм образования холодных трещин. Как предотвратить появление холодных трещин.**

**Горячие трещины в зоне термического влияния. Описать причины и методы борьбы с трещинами**

### **План лекции**

- 1 Виды холодных трещин при сварке
- 2 Причины образования
- 3 Когда образуются холодные трещины
- 4 Как избежать появления холодных трещин
- 5 Горячие трещины в зоне термического влияния.
- 6 Методы борьбы с трещинами

Образование холодных трещин при сварке может происходить на шве и прилегающем металле заготовок. Такое название было дано, потому что дефекты появляются после остывания деталей ниже температуры 250 –

200°C. Визуально холодные трещины выглядят как блестящие изломы без проявлений высокотемпературного окисления.

### Виды холодных трещин при сварке

По месту образования холодные дефекты подразделяются на наружные и внутренние подвиды. По направленности относительно стыка видам холодных трещин даны следующие названия:

- откол – продольные на участках рядом с соединением;
- отрыв – направленные вдоль шва;
- частокол – образующиеся поперек шва или в зоне термического воздействия перпендикулярно к соединению.

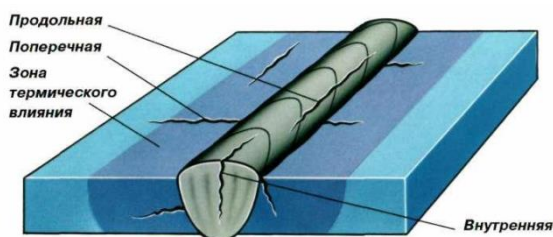


Рисунок 1 - Виды холодных трещин при сварке

### Разновидности холодных трещин при сварке

На сложных стыках холодные трещины могут образоваться:

- между швами при двухсторонней сварке;
- на границе между швом и металлом детали;
- на нижней стороне соединения под валиком.

### Причины образования

Самая высокая вероятность появления холодных трещин после сварки у высокоуглеродистых и легированных марок стали, сплавов титана и алюминия. Холодный дефект образуется, если:

1. Структура шва и заготовок чувствительна к действию водорода. Таким свойством обладают закаливающиеся марки стали даже когда холодные.
2. В сварной зоне содержится достаточное количество водорода, который проникает из шва.
3. Внутри соединения действует растягивающее напряжение.

Ученые установили, что основной причиной образования холодных трещин при сварке является негативное влияние водорода на структуру стали. Его источником может быть электродное покрытие, флюс, влага из

воздуха. Водород в расплавленный металл может попасть из загрязнений на заготовках и присадочном материале или как составная часть защитного газа. Если кромки заготовок не очистить перед сваркой от ржавчины, она при нагреве начнет активно насыщать шов газом.

#### Когда образуются холодные трещины

Во время процесса охлаждения в соединении возникают растягивающие напряжения, которые сопровождаются пластической деформацией. В результате создаются условия для появления холодных трещин. У сталей с низкой пластичностью в холодном состоянии вероятность образования дефектов повышается.

После попадания водорода внутрь хрупкость стали возрастает, что в совокупности с остаточными напряжениями приводит к образованию холодных трещин. За счет малых размеров его атомы свободно перемещаются по объему железа, как по холодному, так и нагретому. Поскольку при сварке атомарный водород скапливается внутри металла сварного шва, он стремится распространиться в места с меньшей концентрацией. Диффузия происходит в зону, прилегающую к стыку, металл деталей. Часть растворенного газа через наружные поверхности выходит в атмосферу.

Влияние водорода считается временным, если действие проявляется при испытании свойств соединения непосредственно после сварки или через короткий промежуток времени. Проведение процедуры может осложниться, особенно при проверке сварного соединения на пластичность. Во время испытания образцов начинается образование поверхностных холодных дефектов даже при незначительном изгибе. Это происходит из-за диффузии атомов водорода при проведении проверки внутрь формирующихся пор и шлаковых включений. Из скопившихся атомов при температуре меньше  $200^{\circ}\text{C}$  образуются молекулы, которые теряют подвижность. Процесс фазового перехода сопровождается появлением давления, которое создает блестящие поры.

Кромки заготовок необходимо очистить от ржавчины, иначе при нагреве шов активно начнет насыщаться газом

Постоянным влиянием называют длительное воздействие водорода, способствующее образованию холодных трещин. При переходе в молекулярное состояние давление газа постепенно нарастает за счет поступления новых атомов. Период до разрушения у стали может составлять несколько суток, у титана до десятков дней.

Давлению подвергаются не только пустоты внутри металла, но также места, где произошли структурные изменения при перегреве. Они возникают при образовании мартенсита у закаливаемых сталей при быстром охлаждении. Степень охрупчивания зависит от состава металла и технологии сварки. Повреждение зон границ структурных зерен происходит также в результате других процессов без участия водорода. Например, когда растворенные сульфиды и карбиды выпадают из твердой фазы.

По словам ученых основной причиной образования холодных трещин при сварке является негативное влияние водорода на структуру стали.

Для предупреждения образования холодных трещин применяют:

- прокаливание флюсов и электродов перед сваркой;
- предварительный подогрев свариваемых заготовок до 250-450 °С;
- ведение процесса сварки в режиме с оптимальными параметрами;
- наложение швов в правильной последовательности;
- медленное охлаждение изделия после сварки;
- проведение непосредственно после сварки смягчающего отжига для снятия остаточных напряжений.

Общими причинами появления трещин, как горячих, так и холодных, в швах сварных соединений являются:

- слишком высокая жесткость соединений;
- слишком малый размер сварного шва для данной толщины соединения;
- несоблюдение или неправильный выбор технологии сварки;
- дефекты в сварном шве;
- неправильная подготовка соединения под сварку;
- неудовлетворительное качество или неправильный выбор типа электродов;

использование повышенных значений сварочного тока, которое может привести к появлению крупнозернистых охрупченных участков структуры;

высокое содержание углерода или легирующих элементов в основном металле, не учтенное при выборе технологии сварки.

Для предупреждения образования трещин в швах сварных соединений необходимо:

-разрабатывать металлоконструкции и технологию сварки, которые позволяют исключить применение соединений с высокой жесткостью;

-при сварке изделий достаточно большой толщины увеличивать размеры сварных швов;

-не допускать при сварке узких валиков, производить сварку полноразмерным швом короткими участками по 200-250 мм;

-выбирать последовательность выполнения сварных швов такой, чтобы

максимально долго оставлять незаваренными концевые участки соединения, с тем чтобы они обладали максимально возможной подвижностью;

-обеспечить сплошность и хорошее сплавление сварных швов;

-в некоторых случаях обеспечить предварительный подогрев свариваемых частей;

-сборку соединений производить с одинаковым и требуемым по технологии зазором, при необходимости для выравнивания зазора применять стягивающие сборочные приспособления;

-не допускать при сварке завышенных по сварочному току режимов сварки;

-по возможности сварной шов делать многопроходным, так как однопроходные швы могут быть более хрупкими, а в многопроходных швах происходит отжиг каждого предыдущего слоя;

-разделку заполнять сразу после завершения сварки корня шва, так как воздействию напряжения чаще всего подвергается область корневого шва.

Как избежать появления холодных трещин

Для уменьшения вероятности закаливания стали снижают скорость остывания соединения или перед сваркой предварительно нагревают детали. Этим достигается снижение величины растягивающих напряжений. На предприятиях вместо предварительного подогрева применяют механизмы для сжимания заготовок между собой при большой температуре. Сдавливанием устраняется причина образования дополнительных растягивающих напряжений даже при быстром охлаждении.

Для снижения концентрации водорода внутри сварного соединения пользуются следующими технологическими приемами:

1. Чтобы предотвратить попадание газа в расплавленный металл из покрытия, электроды несколько часов прокаливают в печи с температурой 300 – 350<sup>0</sup>С. Флюс перед сваркой обрабатывают аналогично.

2. Сварочной проволокой, протравленной соляной кислотой, лучше не пользоваться, так как это обильный источник водорода.

3. Для выведения газа из металла соединение после окончания сварки нагревают до 100 – 200<sup>0</sup>С. В зависимости от химического состава и толщины металла время выдержки составляет от 0,5 до нескольких часов. Для стали повышенной прочности продолжительность обработки 0,5 – 1 час при температуре 100 – 150<sup>0</sup>С. Детали толщиной больше 4 см выдерживают в нагретом состоянии 4 – 5 часов. Сварку заготовок толщиной более 20 см проводят с несколькими остановками для промежуточного прогрева шва.

4. Ручная дуговая сварка электродами с низким содержанием водорода обеспечивает снижение концентрации газа в сварном соединении до величины меньше 15 мл на 100 г металла.

Под действием нагрузки холодные трещины увеличиваются в размерах. Поэтому после обнаружения их сразу заваривают. При подготовке сначала просверливают отверстия на концах или прижигают, место дефекта подогревают. Холодные трещины длиной больше 30 см заваривают обратноступенчатым способом.

Горячие трещины в зоне термического влияния (рис.1-4) располагаются по границам частично оплавленных или следующих за ними зерен. Они могут располагаться по зоне термического влияния параллельно шву (продольные трещины) либо распространяться в основной металл или в металл сварного шва (поперечные трещины).

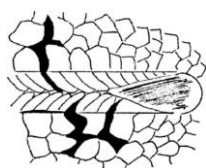
Горячие трещины в околошовной зоне выявляются двумя группами методов:

- неразрушающими – радиографическим, ультразвуковым, магнитным контролем;

- разрушающими – металлографическими и фрактографическими на шлифах и изломах.

Горячие трещины в околошовной зоне образуются при высоких температурах, когда границы зерен металла, прилегающие к зоне сплавления, находятся в твёрдо-жидком состоянии.

а)



б)

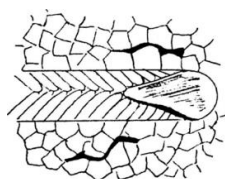


Рисунок 1–Схематическое изображение горячих трещин в зоне термического влияния: *а* – поперечные; *б* – продольные

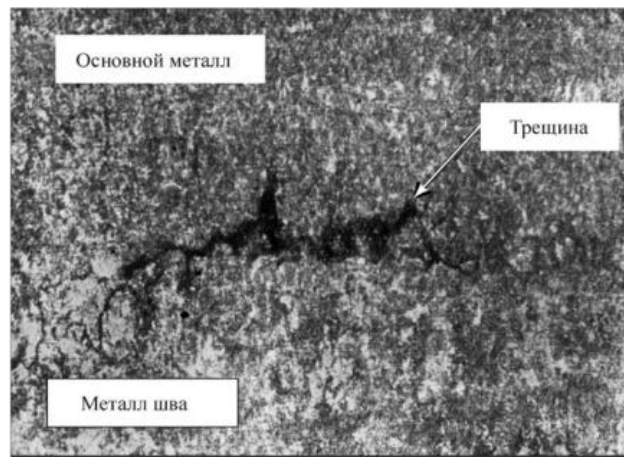


Рисунок 2 - Околошовная горячая (кристаллизационная) трещина в зоне термического влияния, x200

Горячие трещины в околошовной зоне могут образовываться и наблюдаться при малой глубине проплавления основного металла при всех видах сварки плавлением в случае применения режимов сварки с высокими значениями погонной энергии.

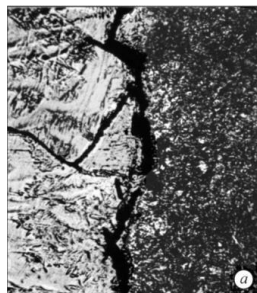
Для предотвращения образования горячих трещин в околошовной зоне рекомендуется:

- вести сварку с полным проплавлением кромок;
- применять основной металл, содержащий минимальное количество вредных примесей (кислород, водород, азот, сера и др.);
- применять основной металл, содержащий минимальное количество легкоплавких примесей (для сталей – серы, фосфора, для медных сплавов – висмута, свинца и т.д.);
- применять предварительную термообработку основного металла и свариваемых кромок для обеспечения пластичной мелкозернистой структуры;
- применять наклеп свариваемых кромок;
- применять перед сваркой предварительный подогрев кромок;
- снижать температуру солидуса металла шва относительно температуры солидуса основного металла в участках перегрева путем соответствующего выбора сварочных материалов (провода, флюс, электроды и т.д.);
- осуществлять предварительный контроль наличия в основном металле строчечных и других видов сегрегаций неметаллических и прочих включений;
- снижать уровень напряжений в металле зоны термического влияния за счет выбора рациональной конструкции соединений.

Способы исправления горячих трещин в околошовной зоне сварных соединений аналогичны описанным выше.

Горячие трещины в околошовной зоне могут стать причиной (очагом) преждевременного разрушения конструкций и деталей в процессе изготовления или эксплуатации и резко снижают их конструктивную прочность.

### Шов ЗТВ



### ЗТВ Шов

ЗТВ

Шов

ЗТВ

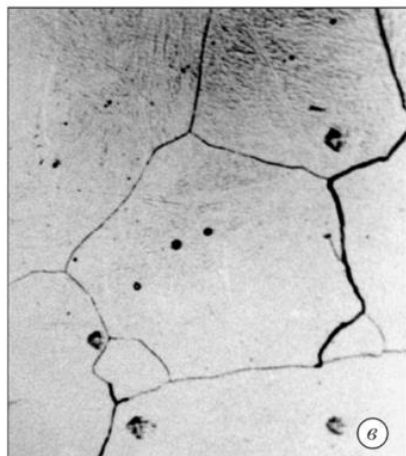


Рисунок 3 – Микроструктура горячих (кристаллизационных) трещин в зоне термического влияния: а, б – по зоне сплавления, x200; в – сетка трещин в зоне термического влияния, x500; г – перпендикулярно зоне термического влияния, x200



## **Контрольные вопросы**

- 1 Когда образуются холодные трещины
- 2 Опишите механизм образования холодных трещин
- 3 От чего зависит степень охрупчивания
- 4 Перечислите причины появления трещин
- 5 Под действием чего увеличиваются холодные трещины
- 6 Что рекомендуется для предотвращения образования горячих трещин в околошовной зоне
- 7 Где могут располагаться горячие трещины