

КУРС ЛЕКЦИЙ-ПРЕЗЕНТАЦИЙ
по дисциплине

**«Проектирование
сварных конструкций»**

лекция №14

ПРЕПОДАВАТЕЛЬ:

к.т.н., ст. преп. кафедры «ОиТСП»

БЕНДИК Татьяна Ивановна

СОДЕРЖАНИЕ ЛЕКЦИИ

Тема 8. Технологическая прочность сварных соединений и методы ее повышения.

- Технологическая прочность в процессе кристаллизации (горячие трещины), методы ее определения, способы повышения.
- Технологическая прочность в процессе фазовых и структурных превращений в твердом состоянии.
- Закономерности процесса образования холодных трещин.
- Методы оценки сопротивляемости сталей образованию холодных трещин, способы ее повышения.
- Методы предотвращения террасных изломов.

Технологической прочностью материала называют его способность воспринимать без разрушения напряжения и деформации, возникающие в процессе обработки.

Технологическую прочность часто определяют сопротивляемостью к образованию в сварных соединениях горячих (кристаллизационных) и холодных трещин.

Горячие трещины образуются в процессе первичной кристаллизации, поэтому их называют иногда **кристаллизационными** трещинами.

Механические испытания металлов при высоких температурах показывают, что пластичность металла в некотором интервале между температурами солидуса T_c и ликвидуса T_l очень мала. Этот интервал получил название **температурного интервала хрупкости (ТИХ)**. Наличие ТИХ, в котором минимальная пластичность металла может снижаться до 0,1—0,5 %, является одной из основных причин образования горячих трещин. За период пребывания металла в этом интервале могут накопиться такие деформации, которые превзойдут уровень пластичности в ТИХ.

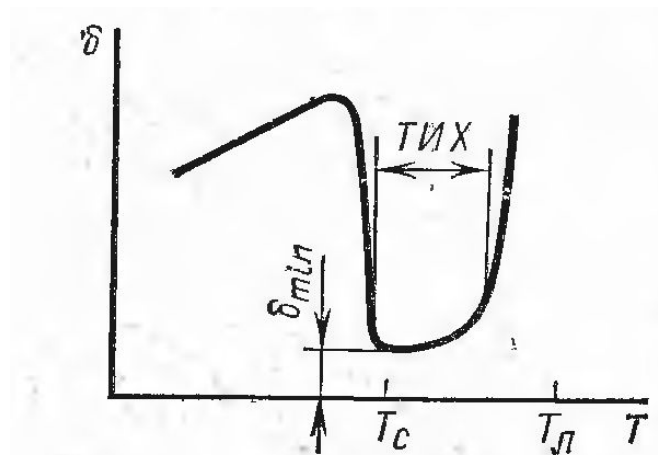


Рис. 10.2. Зависимость пластичности металла δ от температуры T

Возможность образования горячих трещин тем больше, чем меньше пластичность металла в ТИХ, чем шире ТИХ и чем больше темп собственных деформаций при сварке. Под **темпом деформации** понимают скорость изменения деформации по температуре: $\alpha = \partial \epsilon / \partial T$.

Внешние признаки горячих трещин, по которым их можно определить при внешнем осмотре сварного шва:

- Во-первых, горячие трещины всегда располагаются по границам зерен, значит, они не прямолинейные, а извилистые.
- Во-вторых, они могут образовываться, только если металл хотя бы частично расплавляется, значит, они могут располагаться только в металле шва или около шовной зоны.
- В-третьих, они образуются при высоких температурах, значит, поверхность металла внутри трещины окисляется на воздухе и в изломе трещины должны быть видны цвета побежалости.

Горячие трещины возникают как в швах, так и вблизи линии сплавления в околошовной зоне. Они могут располагаться как вдоль, так и поперек шва.

Образование трещин зависит главным образом от состава металла шва и основного металла, формы и размеров свариваемого узла конструкции, режимов и условий сварки.

Существуют разнообразные методы и приемы определения сопротивляемости сварных соединений образованию горячих трещин.

В начале развития исследований технологической прочности пригодность металлов и принятой технологии для производства сварных конструкций определяли путем **пробы** — сварки специально подобранного образца или серии образцов. В разных странах разработано много разнообразных сварочных технологических проб. Они отличаются между собой формой образца и условиями сварки. В каждой из проб принят определенной формы образец, который должен обеспечивать по возможности больший темп собственных деформаций в период кристаллизации металла.

ГОСТ 26389-84 «Соединения сварные. Методы испытаний на сопротивляемость образованию горячих трещин при сварке плавлением»

Настоящий стандарт устанавливает методы испытаний на сопротивляемость образованию горячих трещин металла шва и зоны сплавления сварных соединений конструктивных сплавов толщиной 1,5 мм и более при всех способах сварки плавлением и имитации сварочного термического цикла.

Сущность методов состоит в высокотемпературной деформации металла в процессе сварки до образования трещин под действием внешних сил, создаваемых испытательной машиной (машинные методы), или под действием внутренних сил от усадки шва и формы-изменения свариваемых элементов (технологические методы).

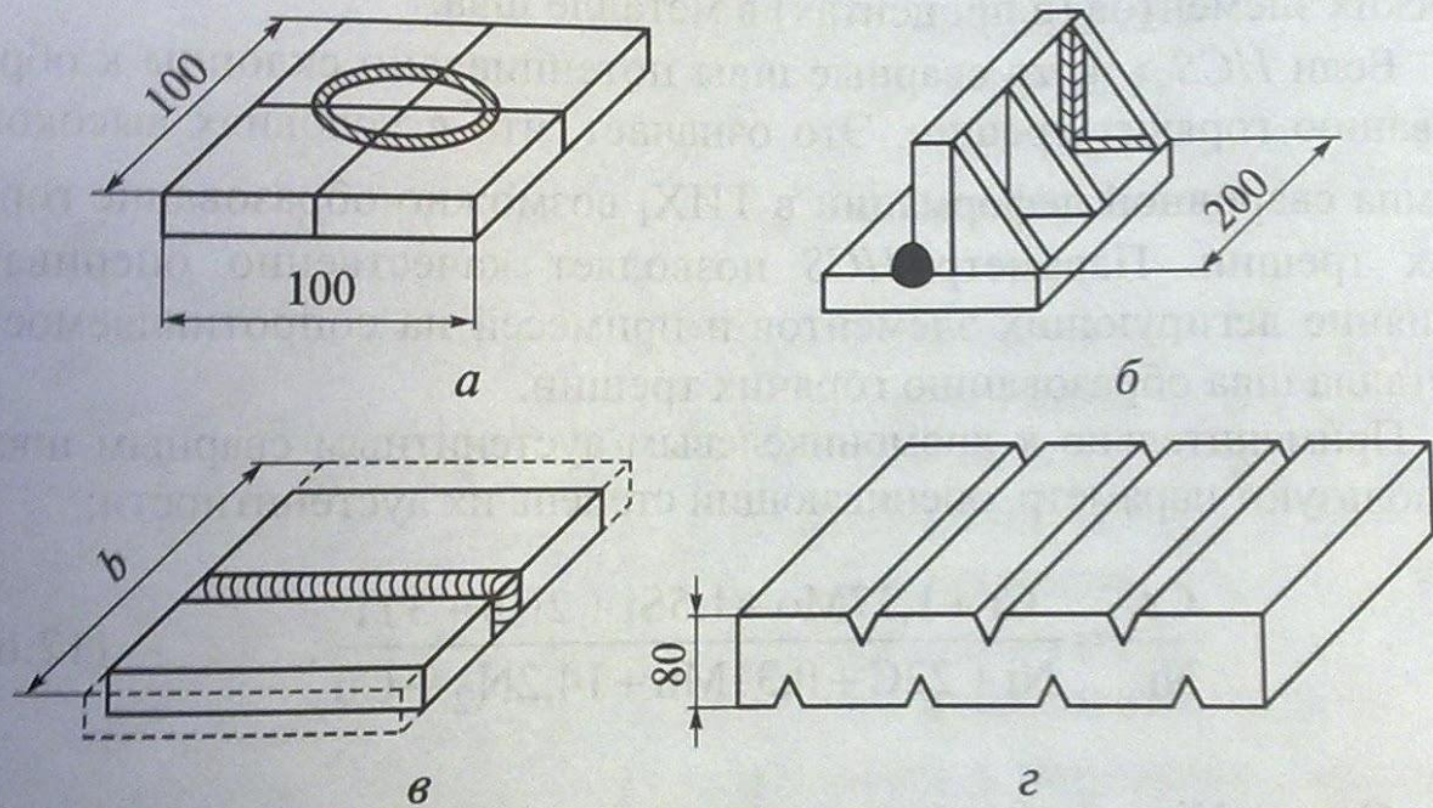


Рис. 12.54. Конструкции образцов сварочных технологических проб на образование горячих трещин:

a — с круговым швом; *б* — тавровый образец; *в* — с переменной шириной пластин; *г* — со швом в канавку

Сварку образцов типа 9а начинают над прихваткой и ведут до замыкания кругового шва и заварки кратера.

5.2.1. После сварки образцы типа 9 подвергают контролю качества формирования шва и наличия трещин по пп. 5.1.7, 5.1.8. Шов и зону сплавления осматривают при 8—10-кратном увеличении. Образцы, в которых не обнаружены трещины, подвергают контролю ультразвуком, просвечиванием и металлографическому контролю на четырех темплетях, равномерно расположенных по окружности, причем один вырезают из участка замыкания слоев.

5.2.2. При отсутствии горячих трещин в образцах типа 9 каждый следующий образец серии сваривают с увеличением скорости сварки на 20% и мощности сварочного источника тепла по п. 5.2 до выявления критической скорости сварки (C), приводящей к трещинам.

5.2.3. При сварке комплекта образцов типа 10 их поочередно закрепляют на токоведущей опоре сварочного стола с помощью болта, проходящего через центральное отверстие образца. Испытуемая часть образца не должна находиться в контакте с опорой. В первую очередь испытывают образец максимальной ширины, а в последнюю — минимальной ширины.

Возбуждение сварочного процесса проводят на технологической планке, приваренной к образцу одной прихваткой.

Сварку образцов типа 10 проводят от края к центру в режимах, указанных в табл. 4, причем мощность сварочного источника тепла выбирают из условия полного проплавления образца или перемычки образца, либо стыка составного образца. Сварку заканчивают в конце разделки или у монтажного шва.

Сварка второго участка образца проводится после охлаждения шва на первом участке до 20°C.

5.2.4. Для оценки качества формирования шва образцы типа 10 после сварки осматривают по п. 5.1.7, а для обнаружения трещин по пп. 5.1.8—5.1.11. При отсутствии трещин в наиболее широком образце в тех же режимах сварки испытывают другие образцы до определения критической ширины $D_{кр}$, т. е. максимальной, вызывающей образование трещин.

При равенстве $D_{кр}$ допускается сравнительная оценка сопротивляемости трещинам коэффициентом площади трещины K_f (см. табл. 1).

Допускается при испытании тонколистового металла применение целых образцов типа 9а, 10а сварку которых выполняют путем проплавления образца и формирования шва по п. 5.2.

5.2.5. Образцы типа 11 (черт. 11) сваривают за два прохода в режимах, приведенных в табл. 4 без использования технологических планок, способами, приведенными в табл. 3. После сварки перерезают косынки и контролируют наличие трещин путем разрушения изгибом с растяжением в корне шва по пп. 5.1.8—5.1.10.

При отсутствии трещин в первом образце типа 11 увеличивают скорость сварки и мощность сварочного источника тепла при условии сохранения катета шва до выявления критической скорости сварки (C), приводящей к образованию трещин.

При равенстве критической скорости сварки C допускается сравнительная оценка сопротивляемости трещинам коэффициентом площади трещины K_f (табл. 1).

5.2.6. Сварку образцов типа 12 (черт. 12) выполняют способами, приведенными в табл. 3, путем наплавки валиков в корень каждой разделки. Первый шов выполняют в режимах, приведенных в табл. 4. Сварку начинают и оканчивают на расстоянии 0,03 м от края образца. Испытания проводят отдельно для каждого слоя шва.

После остывания шва до комнатной температуры его поверхность осматривают при 8—10-кратном увеличении. При отсутствии трещин, выходящих на поверхность шва, следующий шов выполняют при увеличении скорости сварки на 20% и мощности дуги для сохранения постоянной высоты шва. Скорость сварки меняют в пределах качественного формирования шва до появления трещин.

После окончания сварки образец подвергают контролю для обнаружения трещин, не выходящих на поверхность, и определяют критическую скорость сварки C по п. 5.2.1.

Холодные трещины образуются в процессе вторичной кристаллизации при температуре от 200 °С и вплоть до комнатной температуры. При такой температуре в металле уже произошли основные фазовые превращения, металл приобрел присущие ему механические свойства. Если в это время в нем появятся внутренние напряжения, которые, возрастая, превысят предел его прочности, то металл разрушится - образуются трещины. Появление в металле таких критических напряжений объясняется двумя причинами: увеличением объема металла при фазовых превращениях и выделением водорода из твердого металла. Теперь в результате увеличения объема возникают и накапливаются внутренние напряжения, образуются трещины. Вторая причина возникновения внутренних напряжений связана с различной растворимостью водорода в твердом и жидком металле. В процессе сварки ванна жидкого металла интенсивно растворяет водород. При затвердевании металла в твердой фазе образуется избыток водорода, его атомы выделяются из раствора и, скапливаясь в микропустотах и несплошностях сварного шва, образуют молекулы. Количество водорода в этих несплошностях растет, давление в них увеличивается, в окружающем металле возникают и накапливаются напряжения, образуются трещины. Оба эти процесса протекают медленно, холодные трещины могут образовываться спустя несколько часов или даже дней после сварки.

Холодные трещины можно отличить от горячих по внешнему виду. Они образуются при низких температурах, когда межкристаллитные прослойки приобрели достаточную прочность. Поэтому трещины проходят как по границам, так и по телу зерна. Они ровные, не извилистые. Их излом белый, блестящий, окисление его поверхности не происходит. Располагаются холодные трещины как в металле шва, так и в зоне термического влияния, на участках, где происходили фазовые превращения с образованием твердой и хрупкой структуры.

ГОСТ 26388-84 «Соединения сварные. Методы испытаний на сопротивляемость образованию холодных трещин при сварке плавлением»

Для определения стойкости сварного соединения к образованию холодных трещин также применяют два вида испытаний. Это способы количественной оценки склонности к трещинам путем нагрева и охлаждения образцов с различными скоростями при одновременном их деформировании в специальных машинах (машинные методы) и технологические пробы, которые позволяют производить оперативные испытания. Наиболее распространена технологическая крестовая проба.

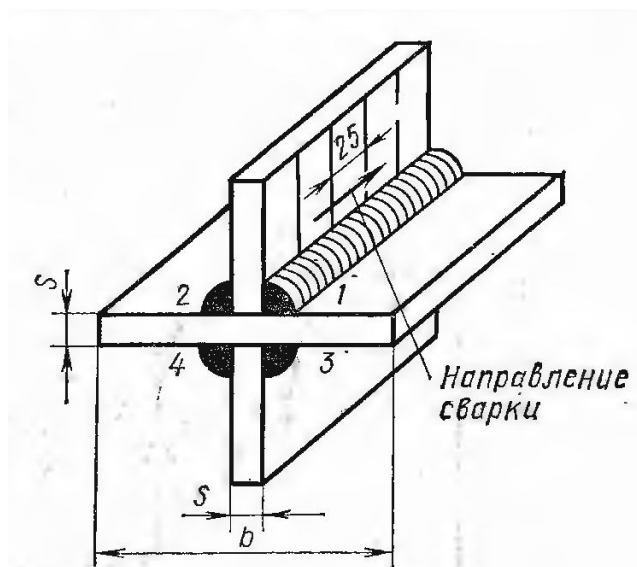


Рис. 10.6. Образец крестовой пробы

Крестовая проба предусматривает сварку балки длиной 200—300 мм из металла толщиной 10–30 мм катетом швов от 8 до 20 мм при различных начальных температурах образца от —40 до +250 °С в последовательности выполнения швов, показанной на рисунке их номерами. Через 4 суток из образца вырезают три поперечные темплета по 25 мм шириной и после травления выявляют имеющиеся трещины. Оценка сварных соединений проводится по протяженности трещин, их количеству, месту расположения в тех или иных швах и начальной температуре изделия, при которой трещины появляются.

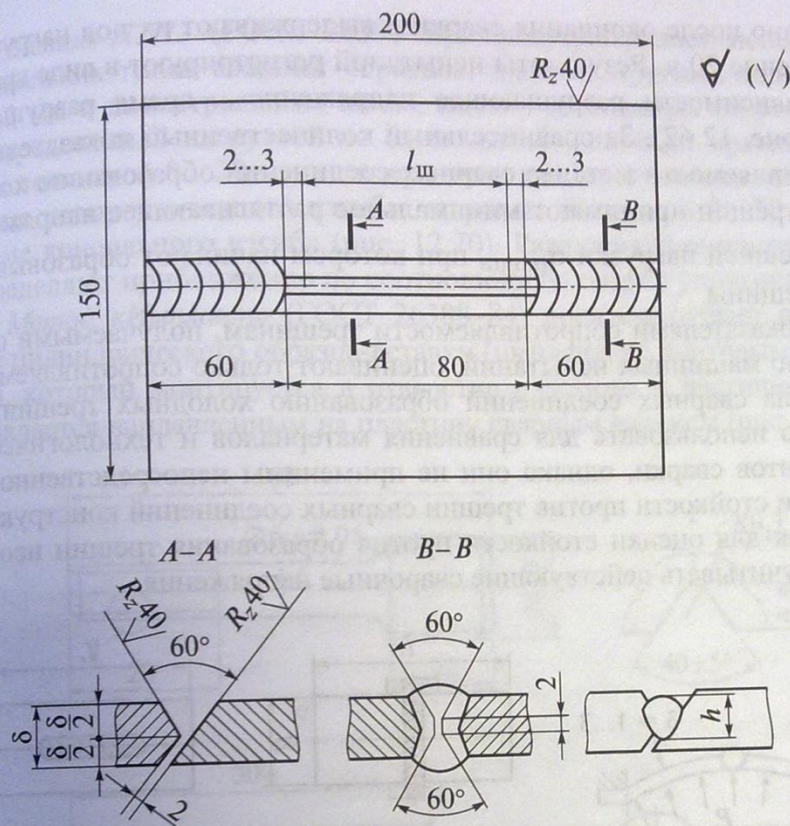


Рис. 12.69. Сварочная технологическая проба «Тэккен» (при толщине $\delta = 12; 16; 20$ мм и высоте сварочного валика $h = 6$ мм; при $\delta = 30; 40$ мм и $h = 8$ мм)

Сварочная технологическая проба «Тэккен» (ГОСТ 26388-84) представляет собой плоский прямоугольный образец толщиной 12...40 мм с продольной прорезью в центре, оформленной в виде У-образной разделки (рис. 12.69). Образец сваривают в свободном состоянии и выдерживают после сварки в течение 20 ч. Для применения пробы, как правило, используют только ручную дуговую сварку электродами с покрытием и дуговую сварку в защитных газах. Трещины образуются в корневой части сварного соединения в результате действия высоких усадочных напряжений. Обязательное условие работы пробы – наличие непровара в корне шва, который служит концентратором напряжений. Наличие трещин

При определенных условиях в стыковых сварных соединениях возникают террасные изломы. Опасность возникновения подобных трещин определяется 2 факторами: чувствительностью к излому листового материала и сварочными напряжениями, действующими поперечно стыковому соединению.

Террасные изломы возникают в том случае, если в листовом материале содержатся неметаллические включения и они находятся в области действия напряжений, возникающих при сварке. Поэтому необходимо контролировать чувствительность листового материала к излому путем определения количества и распределения включений. Для определения склонности к излому применяют статическое кратковременное поперечное растяжение.

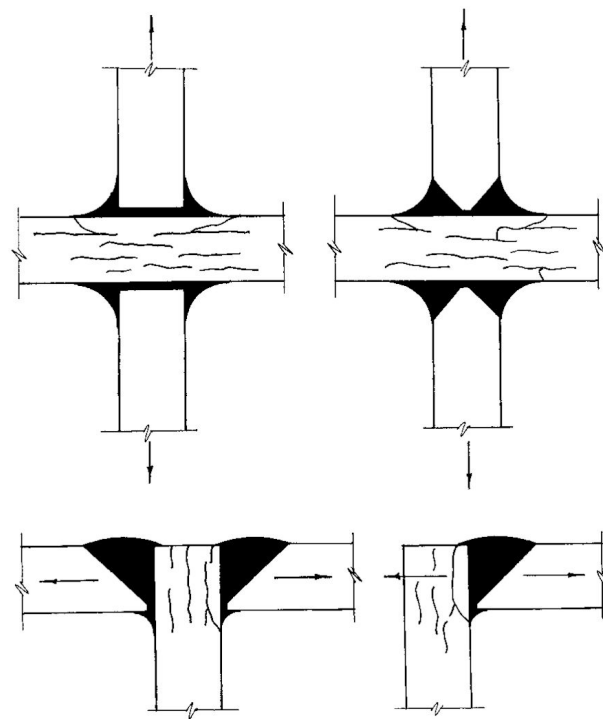


Рис.3.4. Сварные соединения, склонные к расслоению металла

Повысить технологическую прочность при сварке можно металлургическим путем, изменением формы конструкции или соединения и некоторыми технологическими приемами. Повышение технологической прочности связано с устранением или ослаблением действия причин появления горячих и холодных трещин.

Уменьшение температурного интервала хрупкости достигается главным образом металлургическим путем. Объемы и состав жидких прослоек, а также температура их затвердевания зависят в первую очередь от загрязненности вредными примесями материалов, применяемых для сварки. Повышение чистоты сварочных материалов, металлургическая обработка сварочной ванны, направленная на связывание, удаление или распределение примесей по объему,— все это позволяет значительно повысить технологическую прочность металла. Практически для этой цели нужно максимально раскислить металл, очистить его от **серы и фосфора, легировать марганцем и ввести модификаторы.**

Чтобы улучшить схему кристаллизации, иногда целесообразно применить искусственные теплоотводы, измельчающие первичную структуру. Еще более значительное измельчение структуры дает введение в металл шва различных модификаторов (Ti; Al и др.).

Уменьшить пластические деформации в металле шва можно, снижая жесткость конструкции и уменьшая зону разогрева основного металла. В последнем случае рекомендуется применять более мощные концентрированные источники тепла, высокую скорость и соответствующие напряжение дуги и ток сварки.

Снижение скорости пластических деформаций всегда наблюдается при уменьшении скорости охлаждения. Для замедления последней режимы сварки выбирают с большей погонной энергией и применяют подогрев изделия.

Чтобы уменьшить возможность появления холодных трещин при сварке закаливающихся сталей, стремятся предупредить образование хрупкой закаленной зоны вблизи шва. Для этого выбирают режимы сварки с большой погонной энергией, при которых скорость охлаждения шва и околошовной зоны уменьшается. В тех же целях применяют подогрев изделия, сварку двумя дугами, замедленное охлаждение изделия после сварки и др. Все меры, уменьшающие содержание водорода в металле шва при сварке закаливающихся сталей, способствуют предупреждению возникновения холодных трещин.

Чтобы обеспечить высокую технологическую прочность конструкций при сварке, нужен прежде всего хорошо организованный [контроль качества](#) используемых материалов и строгое соблюдение [технологии](#).

Для борьбы с холодными трещинами существенное значение имеет послесварочная обработка сварных соединений, в частности термическая. Предварительная термическая обработка — отжиг для укрупнения карбидов, изотермическая закалка с высоким отпуском и термомеханическая обработка — также повышает сопротивляемость сталей образованию холодных трещин. В отношении химического состава металла шва сохраняются те же рекомендации, что и для основного металла. Если швы могут быть выполнены из менее склонных к трещинам, чем основной металл, материалов, этим следует пользоваться. Сварку некоторых высокопрочных сталей проводят аустенитными электродами, которые уменьшают перегрев околошовной зоны и снижают в ней концентрацию диффузионного водорода. Прокалка электродов и флюсов, осушение защитных газов, предупреждение попадания влаги в зону сварки способствуют уменьшению количества водорода в шве и повышают сопротивляемость холодным трещинам

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

КАКИЕ БУДУТ ВОПРОСЫ?