

КУРС ЛЕКЦИЙ-ПРЕЗЕНТАЦИЙ
по дисциплине
**«Проектирование
сварных конструкций»**

лекция №13

ПРЕПОДАВАТЕЛЬ:

к.т.н., ст. преп. кафедры «ОиТСП»

БЕНДИК Татьяна Ивановна

СОДЕРЖАНИЕ ЛЕКЦИИ

Тема 7. Коррозионная стойкость и прочность сварных соединений.

- Коррозионные среды и виды коррозионных повреждений сварных соединений.
- Общая и местная коррозия. Межкристаллитная коррозия. Коррозия под напряжением.
- Методы оценки работоспособности сварных соединений в коррозионных средах.
- Весовой и глубинный показатели.
- Пути повышения стойкости сварных соединений против коррозионного повреждения.

Многие сварные конструкции эксплуатируются в условиях воздействия активных рабочих сред и внешних сред (вода, влажный воздух, водные растворы, растворы солей и щелочей и др. химические среды).

В ряде случаев они оказывают существенное влияние на механические свойства сварных соединений. Случаи разрушения сварных соединений под влиянием коррозионной среды имеют место при эксплуатации магистральных трубопроводов, сосудов, резервуаров и т.д.

Отказы сосудов давления энергетических установок

Причины отказов	Число отказов, % полного числа отказов	
	Обычные сосуды	Атомные установки
Механическая или термическая усталость	26	29
Коррозионно-механическая усталость	31	41
Дефекты производства	19	18
Прочие	24	12

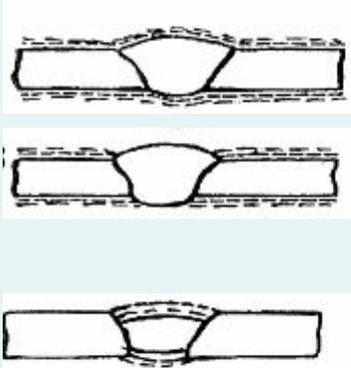
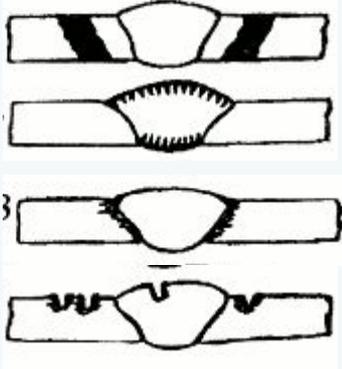
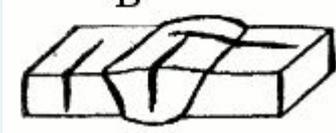
Склонность сварных конструкций к разрушению при одновременном воздействии механических нагрузок и активных сред зависит от следующих факторов:

1. Степени электрохимической активности металла различных зон сварного соединения, определяющей его термодинамическую неустойчивость.

2. Напряженного состояния металла, реализующего механическое разрушение.

3. Агрессивности коррозионной среды, зависящей от ее ионного состава, рН- свойств, газонасыщенности, температуры, давления и других параметров.

Степень агрессивного воздействия среды на конструкцию	Средняя скорость коррозии, мм/год		Возможность применения конструкций без защиты от коррозии или с защитой долговечными покрытиями (в скобках – минимальная долговечность покрытия, год.)		
	углеродистой стали	алюминия, алюминиевых и цинковых защитных покрытий	несущих конструкций из углеродистой стали	ограждающих тонколистовых конструкций	
				из алюминия	из оцинкованной или алюминированной стали при толщине покрытия не менее 20 мкм
Неагрессивная среда	До 0,01	До 0,001	Защита только на период транспортировки, хранения и монтажа*	Без защиты	Без защиты со стороны помещения, при окрашивании со стороны утеплителя (20)
Слабоагрессивная	Св. 0,01 до 0,05	Св.0,001 до 0,005	Цинковые или алюминиевые покрытия (20), лакокрасочные покрытия (10–20), металлизационные покрытия (20)	То же	Лакокрасочные покрытия по оцинкованной стали (25), алюминированная сталь – без защиты
Среднеагрессивная	Св. 0,05 до 0,5	Св. 0,005 до 0,05	То же, в комбинации с химически стойкими лакокрасочными покрытиями (15)**; лакокрасочные покрытия (10)	Электрохимическое анодирование (20)	Полимерные покрытия на панелях заводского изготовления (15)
Сильноагрессивная	Св. 0,5	Св. 0,05	Металлизация распылением цинка или алюминия в комбинации с химически стойкими лакокрасочными покрытиями (12)**; лакокрасочные покрытия (5–7)	То же, в комбинации с химически стойкими лакокрасочными покрытиями (15)	—

Тип коррозии	Вид коррозии	Характер повреждения
<p align="center">ОБЩАЯ (равномерная или сосредоточенная)</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Равномерная коррозия всего сварного соединения -Равномерная коррозия основного металла -Коррозия, сосредоточенная в шве или ЗТВ 	
<p align="center">МЕСТНАЯ (неравномерная)</p>	<ul style="list-style-type: none"> -МКК в ЗТВ -МКК в шве -Ножевая (в виде прорезов в зоне сплавления или ЗТВ) -Питтинговая (точечная) 	
<p align="center">КОРРОЗИЯ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Коррозионное растрескивание - Коррозионно-усталостные разрушения 	

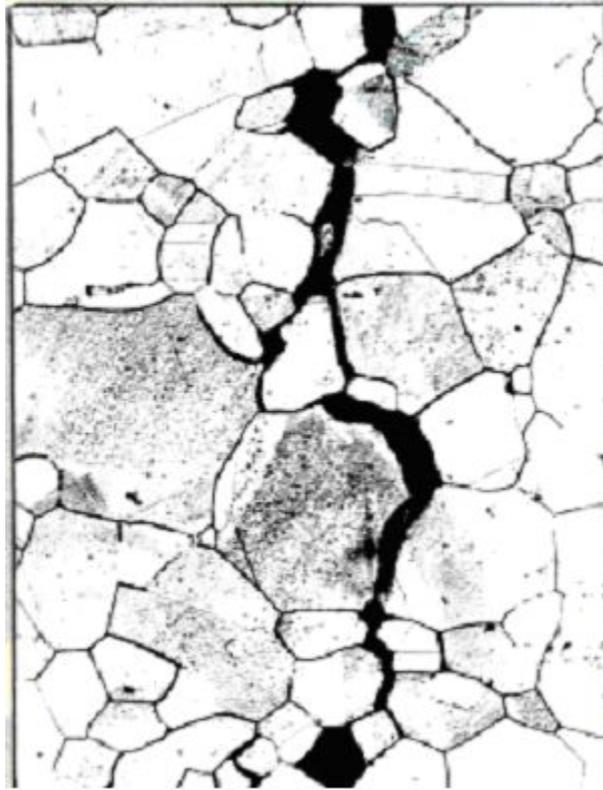
Местная коррозия опаснее равномерной, так как даже при незначительной общей убыли металла она приводит к образованию глубоких язв в толщине металла.

Наиболее опасной является **МКК**, при которой разрушение (разъедание) происходит по границам зерен металла. При контактировании агрессивной среды со сталью, склонной к межкристаллитной коррозии, пограничные зоны зерен металла вступают в химическое взаимодействие с этой средой и быстро растворяются в ней. Приложение даже незначительной нагрузки к такому металлу приводит к его разрушению.

МКК наиболее часто появляется в нержавеющей высоколегированных хромоникелевых сталях аустенитного класса и в высокохромистых или хромоникелевых сталях и швах ферритного, полуферритного и мартенситного классов.

Аустенитные или аустенитноферритные стали приобретают склонность к межкристаллитной коррозии после относительно длительного нагрева в интервале температур 500-800°C или при медленном охлаждении с температур выше 900°C. В таких условиях нагрева и охлаждения может оказаться при сварке как металл шва, так и участки основного металла, расположенные от шва по обе стороны на некотором расстоянии. В опасном интервале температур металл находится длительное время при многопроходной сварке.

В противоположность аустенитным сталям ферритные стали, приобретают склонность к межкристаллитной коррозии после быстрого охлаждения от температур выше 900°C, Независимо от режима и техники сварки достаточно быстрому охлаждению с высоких температур подвергаются металл шва и участки основного металла, непосредственно прилегающие к шву.

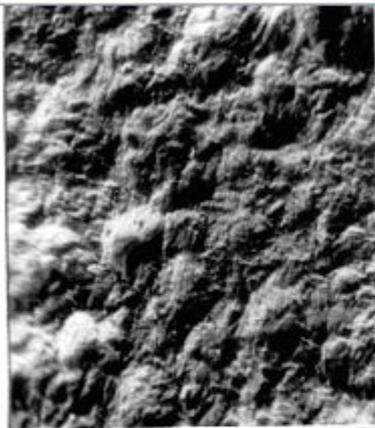


Коррозионное растрескивание

МКК



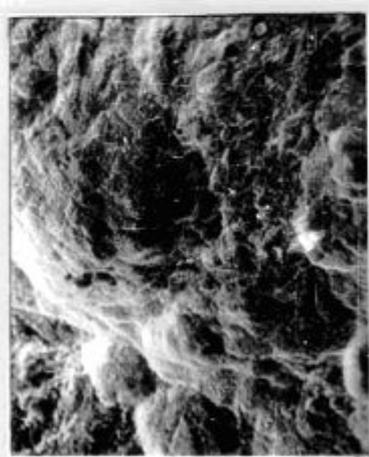
Участки зон в сварных соединениях и термического влияния в стабилизированных сталях не теряют стойкости к МКК. Однако коррозионное разрушение может происходить по основному металлу вблизи поверхности его сплавления с металлом шва. По обе стороны сварного шва могут подвергаться разрушению зоны шириной менее 0,1 мм. Эту разновидность МКК называют *ножевой коррозией*. Ножевая коррозия образуется вследствие растворения карбидов Ti и Nb в узкой зоне аустенита при сварке и выделения дисперсных частиц этих карбидов и карбидов Cr по границам зерен аустенита во время охлаждения сварного соединения.



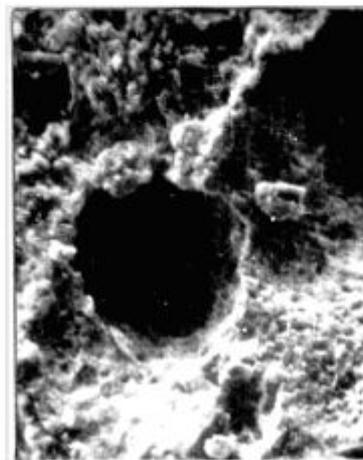
а)



б)



в)



г)



а) – общая коррозия стали, x300; б) – г) – питтинговая коррозия корпуса сосуда, линии сплавления и сварного шва. x1200

Питтинговая коррозия на глухих листах (сталь 08X17H13M2T) варочного котла

Классификация показателей коррозионной стойкости сварных соединений

Тип коррозионного разрушения	Основные методы и способы оценки коррозии	Показатели	Коэффициенты $K_{см}$ относительной стойкости основного металла (М) и сварного соединения (С)
I. Сплошная общая коррозия (с.к.)	Весовой — определение изменения массы Профилографический — определение глубины коррозии Механический — определение изменения механических свойств: при растяжении, при изгибе Электрохимический — определение электрохимического потенциала	$q, \text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ $h, \text{мм}/\text{год}$ $\sigma, \text{МПа};$ $\delta, \%$ $P, \text{Н}$ $\alpha, \text{градус}$ $\varphi, \text{мВ}$	q_m / q_c h_m / h_c σ_c / σ_m δ_c / δ_m P_c / P_m α_c / α_m φ_m / φ_c
II. Местная коррозия (м.к.)	Механический: при растяжении, при изгибе Определение глубины поражения	$\sigma, \text{МПа}$ $\delta, \%$ $P, \text{Н}$ $\alpha, \text{градус}$ $h, \text{мм}/\text{год}$	σ_c / σ_m δ_c / δ_m P_c / P_m α_c / α_m h_m / h_c
III. Коррозионное растрескивание	Время растрескивания Величина критической нагрузки Величина коэффициента интенсивности напряжений	$t, \text{год}$ $\sigma_{кр}, \text{МПа}$ $K_{Isc}, \text{МПа} \sqrt{\text{м}}$	t_m / t_c $\sigma_{кр}(c) / \sigma_{кр}(m)$ $K_{Isc}(c) / K_{Isc}(m)$
IV. Коррозионная усталость	Условный предел коррозионно-циклической прочности Число циклов до разрушения	$\sigma_N, \text{МПа}$ N_p	$\sigma_N(c) / \sigma_N(m)$ $N_p(c) / N_p(m)$

Испытания сварных соединений на коррозию

Коррозионную стойкость определяют следующими общими методами:

1. Профилографическим, основанным на измерении глубины разъедания металла шва во всех его зонах с помощью прибора-профилометра. Глубина коррозии за единицу времени не должна превышать допустимой величины для данной марки стали. Видоизменением данного метода является снятие профилограмм путем получения отпечатков со сварного соединения при помощи различных легко формирующихся материалов (пластмасс, парафина и др.), которые затем разрезаются по плоскостям, перпендикулярным к оси шва. Изготовленные таким образом профили оттисков проектируются в увеличенном виде на экран для изучения характера коррозии и измерения ее глубины.

2. Весовыми методами определяют:

1) потерю в весе сварного образца и такого же по размерам образца из основного металла после выдержки в активной среде, а также учитываются результаты внешнего осмотра. Качество шва удовлетворительно, если наплавленный металл и зона термического влияния разрушаются не сильнее основного металла;

2) потерю в весе за единицу времени с единицы площади поверхности образцов, вырезанных целиком из основного и из наплавленного металла.

Испытания на межкристаллитную коррозию (ГОСТ 6032–84). При испытаниях на МКК хромистые стали подвергают провоцирующему нагреву при температуре 1 100 °С в течение 30 ч, а хромоникелевые аустенитные — при температуре около 700 °С в течение до 60 ч. После нагрева образцы выдерживают в течение длительного времени в кипящем водном растворе серной или азотной кислоты. Выбор длительности выдержки и вида коррозионной среды зависит от конкретной марки стали и ее назначения.

Для контроля склонности к МКК образцы подвергают:

- 1. Испытанием на загиб** стандартного образца по ГОСТ после выдержки в активной среде. Угол загиба тем меньший, чем сильнее шов подвержен коррозии. Например, нормальный угол загиба образца для стали IX18H9T равен 90° после 1 ч травления при температуре 70—78 °С в растворе, состоящем из 3% плавиковой кислоты, 10% азотной кислоты и 87% воды (или растворе из 10% азотной кислоты, 3% фтористого натрия и 87% воды).
- 2. Методом анодной поляризации**, предусматривающим электролитическое травление небольшого участка поверхности сварного соединения, включающего зону термического влияния, а также частично основной и наплавленный металл, и последующее макроисследование. Браковочными признаками при осмотре макрошлифа является наличие темных точек, трещин или сетки на более светлом фоне. Гладкая блестящая белая поверхность указывает на высокую коррозионную стойкость металла.
- 3. Методом измерения и сравнения электросопротивлений сварного образца** в исходном состоянии и после испытаний, заключающихся в 2-часовой выдержке при температуре 650° и последующем 10—15-часовом пребывании в кипящем реагенте (растворе из медного купороса, серной и азотной кислот). Уменьшение коррозионной стойкости связано с заметным увеличением сопротивления. Коррозионные испытания применяются при контроле качества швов химической и котельной аппаратуры.

Существующие методы испытаний на коррозионное растрескивание сварных соединений можно объединить в три группы: 1 — испытания для оценки сопротивления зарождению разрушения; 2 — испытания на коррозионную трещиностойкость; 3 — испытания макетов и узлов в условиях, приближенных к реальным.

В настоящее время накоплен большой опыт использования испытаний первой группы. Его обобщение позволило разработать ГОСТ 26294-84.

Стандарт устанавливает четыре метода испытаний [290]: при постоянной нагрузке; при постоянной деформации; с остаточными сварочными напряжениями; при сложном напряженном состоянии.

В качестве критерия оценки сопротивляемости сварных соединений коррозионному растрескиванию выбраны: наличие или отсутствие коррозионного растрескивания за установленный срок испытания; время до появления коррозионных трещин, больших некоторого, заранее установленного размера; уровень безопасных напряжений, не вызывающих растрескивания.

По глубинному показателю существующие металлы разбивают на 6 групп по 10-бальной шкале

Группа	Балл	Глубина коррозионного слоя, мм/год
I – совершенно стойкие	1	0,001
II- весьма стойкие	2 3	0,001-0,005 0,005-0,01
III- стойкие	4 5	0,01-0,05 0,05-0,1
IV- пониженностойкие	6 7	0,1-0,5 0,5-1
V- малостойкие	8 9	1-5 5-10
VI-нестойкие	10	более 10

На работоспособность сварных соединений в коррозионных средах влияет:

- марка присадочного металла (его химический состав);
- технология сварки, тип разделки кромок, позволяющий регулировать хим. состав;
- наличие концентраторов напряжений;
- наличие остаточных напряжений (устранять можно ТО)

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ

1) Рациональное проектирование с целью повышения долговечности заключается в том, чтобы изначально в проекте конструкции не было заложено причин, способствующих возникновению коррозии и ее развитию, а именно:

- элементы конструкции должны быть спроектированы так, чтобы их формы не создавали потенциально опасных для коррозии участков;
- конструкции должны быть легко обтекаемыми водой (для погруженных в воду постоянно) и хорошо продуваемыми воздухом (для находящихся в атмосфере);
- Поверхности должны быть доступными для нанесения защитных покрытий;
- Поверхности подвергающиеся воздействию агрессивной среды, не должны иметь резких искривлений или острых ребер, на которых трудно сформировать качественные защитные покрытия;

- острые кромки, образующиеся в процессе обработки металла, должны быть закруглены, вокруг отверстий и вдоль обрубленных краев заусенцы удаляются



В зависимости от рабочей среды для изготовления сварных изделий и сооружений используют соответствующие стали или другие металлы (алюминий, титан, их сплавы и др.). Основной задачей при этом является обеспечение равенства коррозионной стойкости различных участков соединения (шва, околошовной зоны и основного металла вдали от шва).

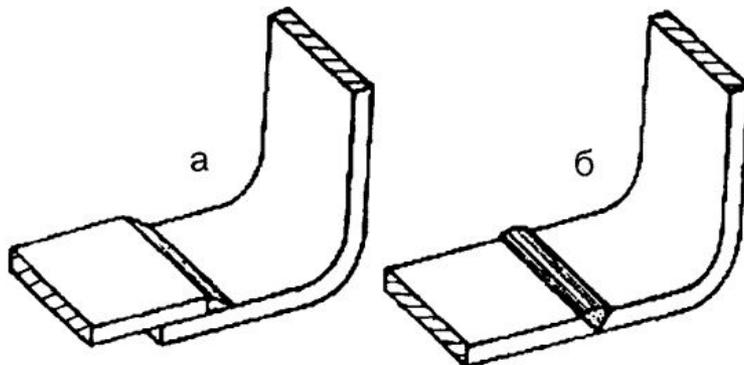
Нередки случаи, когда в результате неправильно выбранной технологии сварки металл шва оказывается менее коррозионностойким, чем свариваемая сталь (например, коррозия сварных швов может быть вызвана более низким содержанием в них хрома и никеля по сравнению с основным металлом)

Отметим, что сталь стойка против коррозии в кислотах, щелочах и растворах солей при содержании в ней более 12% хрома. Стойкость стали в окислительных средах (например, в азотной кислоте) тем выше, чем выше содержание в ней хрома. Если в стали содержится 12% и менее хрома (и при содержании менее 5% кремния), она становится некоррозионностойкой в сильных агрессивных средах.

- при создании конструктивных форм необходимо учитывать, что на элементах конструкций не должны скапливаться гигроскопичная пыль, конденсат, вода, т.е. следует избегать застойных зон, пазух, карманов, щелей и т.д

-В элементах конструкций для предотвращения накапливания воды, загрязнений и продуктов коррозии должны применяться дренажные отверстия, желоба и разрывы для стока и максимально возможные зазоры

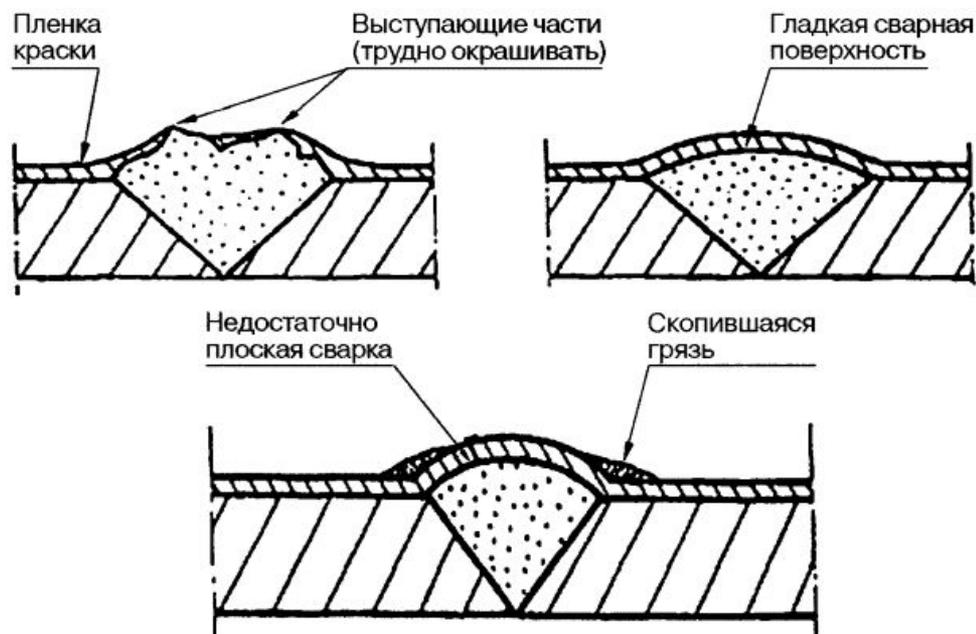
-прерывистая и точечная сварка, а также сварка внахлест не должны применяться за исключением тех мест, где риск коррозии незначителен ;



-следует избегать использования составных сечений из уголков (т.н. спаренные уголки) и швеллеров, в которых образуются щели, недоступные для возобновления защитных покрытий и где возможно возникновение нарастающего давления, вызванного образованием продуктов коррозии, которые могут разрушать фрагмент конструкции

-элементы, где есть риск развития коррозии и которые после монтажа будут недоступны для осмотра и ремонта, должны быть запроектированы с использованием материалов, устойчивых к коррозии, или при изготовлении должна быть нанесена защитная система покрытий, сохраняющая свою эффективность на все время службы конструкции. **Иногда в таких случаях могут применяться и допуски на коррозию;**

- выбирая толщину проката (особенно листового), следует учитывать относительно повышенную скорость коррозии стали толщиной менее 12 мм
- конструкции сварных швов должны способствовать получению качественной сварки: полный провар, отсутствие пористости, отсутствие зазоров и гладкая поверхность



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

КАКИЕ БУДУТ ВОПРОСЫ?