



УДК 621.791.052:658.562:621.039

*Черная Т.И., Черный А.В.*

Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт". Украина, Киев

**ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ ПРОТИВ ПОВРЕЖДЕНИЙ В СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ  
РАЗНОРОДНЫХ СТАЛЕЙ**

Сообщение 1. Состав технологических мероприятий

*Анотація*

*Аналізуються і узагальнюються технологічні заходи щодо підвищення стійкості зварних з'єднань проти утворення тріщин в з'єднаннях з різнорідних сталей.*

*Abstract*

*Technological actions on increase of stability resistance of welded connections against education of cracks in connections with diverse steels are analyzed and generalized.*

Конструкции из разнородных сталей впервые были применены в оборудовании энергетической промышленности. Известно [1], что такие конструкции используются и в других отраслях промышленности (химической, нефтехимической и т. д.).

В современной атомной энергетике растет цена вопроса обеспечения надежности работы всех узлов и оборудования. Это связано, в том числе и с тем, что энергоблоки атомных электростанций (АЭС) имеют большое количество трубопроводов, которые подвергаются отрицательному влиянию рабочей среды (вода нагретая до температуры 270°C при давлении 6 МПа). В трубопроводах второго контура АЭС коррозией повреждаются сварные соединения труб из разнородных сталей — низколегированных и аустенитных. Еще одной распространенной неполадкой трубопроводов является повреждение сварных соединений по зоне сплавления, соединяющей участки труб из разнородных сталей. Эти повреждения возникают из-за электрохимической коррозии. Уменьшение или устранение развития коррозионных явлений в зоне сварных швов является достаточно актуальной задачей, решение которой позволяет повысить надежность оборудования АЭС [2,3].

Анализ особенностей микроструктуры сварных соединений из разнородных сталей в области возникновения повреждений показал [4], что повреждения носят локальный характер и развиваются на границе сплавления между низколегированной сталью и аустенитным швом (рис. 1).

Особенностью разнородных соединений является развитие химической, структурной и механической неоднородности. Поэтому при сварке этих соединений нужно учитывать разную свариваемость каждой стали.

Установлено [4], что основными факторами, которые способствуют возникновению повреждений разнородных соединений есть:

- химическая и структурная неоднородность металла в зоне сплавления сварных соединений, образование мартенситных и обезуглероженных прослоек;
- напряженное состояние;
- водородное охрупчивание металла;
- сульфидные включения.

*Повреждения связанные с химической и структурной неоднородностью металла*

Известно, что при сварке разнородной стали вблизи границы сплавления обнаруживаются кристаллизационные прослойки промежуточного состава между основным металлом и швом. При небольшой доле наплавленного металла расплавленная углеродистая сталь легируется за счет аустенитного металла. В зоне сплавления твердость резко возрастает по мере возрастания количества мартенсита из-за увеличения концентрации углерода, который мигрирует из углеродистой стали в аустенитный шов [6]. Поэтому в разнородных соединениях практически всегда образуются мартенситные прослойки (рис. 2). Как показали исследования и практика изготовления сварных конструкций, наличие в соединении мартенситной прослойки производит к образованию в нем трещин или преждевременному его разрушению при эксплуатации. Однако установлено [7], что наличие в сварном соединении прослойки сказывается на его работоспособность лишь в том случае, если она имеет относительную ширину больше критической. По данным исследований [7], мартенситная прослойка, образуемая в зоне сплавления аустенитного металла с перлитным, имеет критическую ширину порядка 15 мкм. Ширину этой прослойки можно регулировать, в том числе сужать.

Кроме того, в зоне сплавления могут образовываться диффузионные прослойки, обусловленные перераспределением углерода на границе сплавления низколегированной стали с аустенитным металлом шва. Причиной такого перерас-

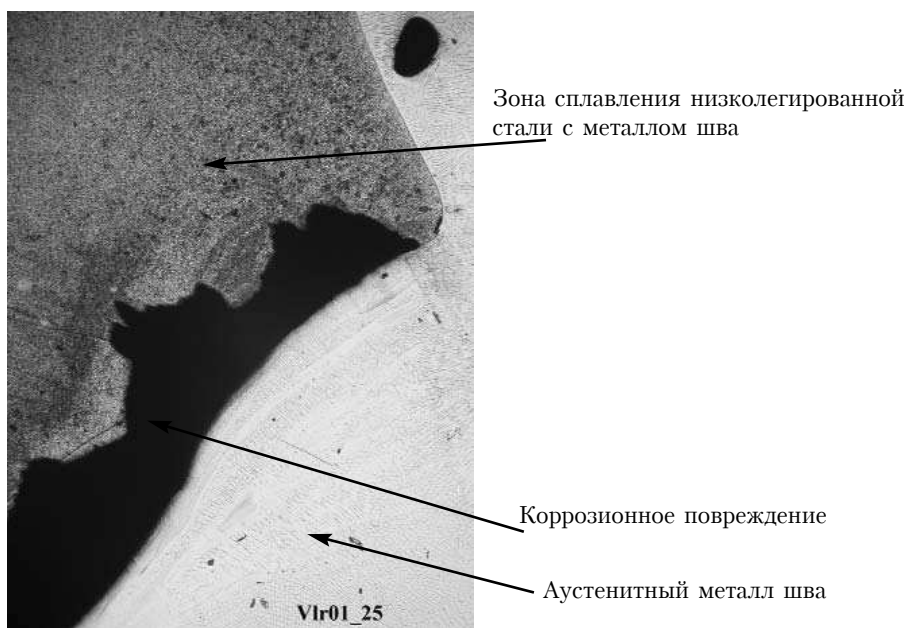


Рис. 1. Микроструктура коррозионного повреждения металла ЗТВ разнородного сварного соединения — по данным ИЕС им Е.О.Патона [5]

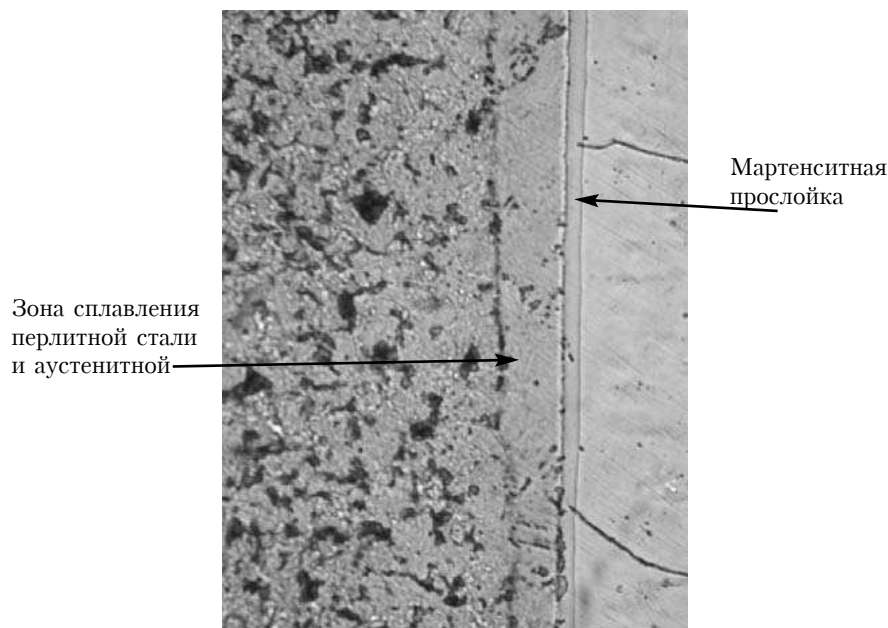


Рис. 2. Микроструктура зоны сплавления перлитной и аустенитной стали — по данным ИЕС им Е.О.Патона [5]

пределения углерода является наличие карбидообразующих элементов в аустените. Обычно эти прослойки находятся вблизи границы сплавления со стороны аустенитного сварного шва. Минимальную ширину диффузионные прослойки имеют при легировании сварного шва марганцем. И наоборот, при введении в шов таких энергетических карбидообразователей, как ванадий, титан или ниобий диффузионные прослойки могут появляться при небольших выдержках и температурах ( $T=350^{\circ}\text{C}$ , время выдержки 50 ч) [8].

*Повреждения связанные с напряженным состоянием металла*

Остаточные напряжения в разнородных соединениях зависят от теплофизических характеристик свариваемых материалов, коэффициента линейного расширения. Из-за большой разницы коэффициента линейного расширения в сталях перлитного и аустенитного классов (25–35%) существенно изменяются остаточные напряжения, после проведения термической обработки. Термическая обработка приводит к увеличению остаточных напряжений. Поэтому для этих соединений нецелесообразно проводить термическую обработку [9].

*Повреждения возникшие в процессе водородного охрупчивания металла*

Большое влияние на работоспособность разнородных соединений дает водород, который может вызывать "статическую" усталость металла. Водород, ослабляя силы связи кристаллической решетки, способствует образованию микроразрушений. В процессе сварки водород попадает в

металл шва из атмосферы дуги при ее взаимодействии с расплавленным металлом [10].

*Сульфидные включения*

Специфическими повреждениями разнородных соединений есть холодные трещины в зоне сплавления — отколы. Одним из важных факторов которые вызывают появления этих дефектов являются включения сульфидного происхождения (рис. 3). На участках с повышенной концентрацией серы наблюдается совокупность сульфидных и карбосульфидных включений [11]. Трещины возле сульфидного включения возникают вследствие разрушения включения с переходом в микротрещины и с него в металл. Путем отделения включения от металлической матрицы с последующем возрастанием пустоты.

Микроразрушения возникающие по границам зерен в случае агрессивной среды могут перерасти в коррозионное растрескивание металла под напряжением и привести к разрушению разнородного соединения. Скорость коррозионного растрескивания возрастает при увеличении количества мартенситных прослоек, загрязнении металла шва примесями [12, 13].

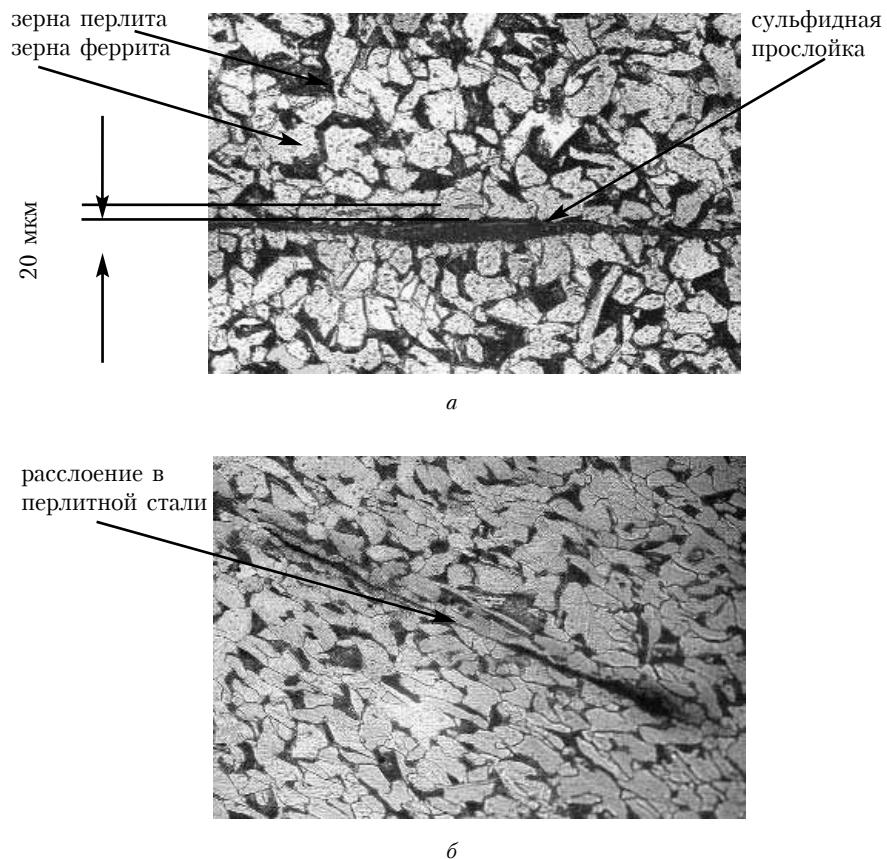
Повышение ресурса разнородных соединений можно достичь за счет разработки технологических мероприятий, которые обеспечивают минимальное проплавление основного металла (углеродистая сталь). Обеспечивают уменьшение химической и структурной неоднородности, образование хрупких и обезуглероженных прослоек. Это принципиальное решение обусловлено тем, что обычно в переходных слоях разнородного соединения между основным металлом и швом образуются хрупкие структуры. Для обеспечения минимального проплавления основного металла сварку нужно проводить на режимах с минимальной силой тока при небольших скоростях сварки. Для уменьшения ширины мартенситной прослойки в зоне сплавления выбираются сварочные материалы с повышенным содержанием никеля [14, 15].

### Заключение

Выполненный анализ особенностей строения и развития повреждений показал, что для повышения стойкости сварных соединений против

образования трещин в разнородных соединениях могут быть использованы следующие технологические мероприятия:

- снижение величины погонной энергии сварки и применения более концентрированного нагрева;
- снижение и более благоприятное распределение остаточных напряжений за счет предварительной наплавки облицовочного слоя металла на свариваемую кромку;
- снижение содержания углерода в ЗТВ за счет выбора химического состава облицовочного слоя;
- применение локального технологического наклепа металла в ЗТВ при помощи механической обработки (проковки).



*a* —  $\times 500$   
*б* —  $\times 400$

Рис. 3. Сульфидная прослойка и расслоение в перлитной стали [1]

#### Литература

1. В.Н. Зимзин. Сварные соединения разнородных сталей. — М — Л: Машиностроение, 1966. — 232 с.
2. Механіка руйнування і міцність матеріалів: Довід. посібник / Під загальною редакцією В.В. Панасюка Т.8: міцність матеріалів і довговічність елементів конструкцій атомних електростанцій / О.І. Балицький, О.В. Махненко, О.О. Галицький та ін. — К.:ВД Академперіодика, 2005. — 544 с.
3. Мелехов Р.К. Похмурський В.І. Конструкційні матеріали енергетичного обладнання. Властивості, деградація. — К.: Наук. Думка, 2003. — 384 с.
4. Ю.Н. Готальский. Сварка перлитных сталей аустенитными материалами. — К.: Наук. Думка, 1992. — 224 с.
5. Касаткин О.Г., Царюк А.К., Скульский В.Ю. Причины локальных повреждений сварных соединений трубопроводов АЭС // Проблемы ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин — 2006. — С. 192–195.
6. Л.С. Лившиц. Металловедение для сварщиков. Москва "Машиностроение". — 1979. — 253 с.
7. Готальский Ю.Н., Снисарь В.В., Новикова Д.П. Способы сужения мартенситной прослойки в зоне сплавления перлитной стали с аустенитным швом // Сварочное производство, 1981. — №6. — С. 6–7.
8. В.Ф. Грабин. Металловедение сварки плавлением. — К: "Наукова думка", 1982. — 415 с.
9. Ю.Н. Готальский. Сварка разнородных сталей. — К: "Техніка", 1981. — 184 с.
10. Красовский А.Я., Орыняк И.В. Оценка остаточного ресурса сварных швов трубопроводов первого контура АЭС, поврежденных межкристаллитной коррозией // Автоматическая сварка, 2000. — №9–10. — С. 57–64.
11. Лившиц Л.С., Хакимов А.Н. Металловедение сварки и термическая обработка сварных соединений: II изд. доп. и перераб. — М.: Машиностроение, 1989. — 335 с.
12. Кравцов Т. Г., Иконенко В. М., Соменик Н. Х. Структура металла в зоне сплавления при наплавке аустенитной стали на перлитную // Автоматическая сварка. — 1988. №2. С. 10–13.
13. Макара А.М., Дибец А.Т., Гордонный В.Г. Химическая неоднородность зоны сплавления среднелегированных сталей с аустенитным металлом шва // Автоматическая сварка. 1976. №4. — С. 1–4.
14. Г.Л. Петров. Неоднородность металла сварных соединений. — Л.: Судпромгиз, 1963. — 220 с.
15. Кирилчев Н.В., Готальский Ю.Н. Особенности структурной неоднородности в зоне сплавления многослойного аустенитного шва с перлитной сталью // Автоматическая сварка, 1980. — №9. — С. 28–32.