

УДК 621.791.763
О МЕХАНИЗМЕ ПРОТЕКАНИЯ ДИФФУЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ
В СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ ИЗ РАЗНОРОДНЫХ СТАЛЕЙ

Е. А. ФЕТИСОВА, А. Г. ЛУПАЧЕВ

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

При рассмотрении вопроса сварки разнородных сварных соединений интерес вызывают диффузионные процессы, которые приводят к образованию химической и структурной неоднородности в зоне сплавления. Их наличие обуславливается, в первую очередь, диффузией углерода, карбидообразующих и легирующих элементов, таких как хром, по содержанию которых отличаются основной и наплавленный металлы. Наиболее подвижным элементом является углерод, массоперенос которого через линию сплавления может привести к образованию обезуглероженной прослойки со стороны основного металла и науглероженной прослойки за зоной сплавления со стороны сварного шва. Науглероженная прослойка может быть мартенситной, мартенситно-аустенитной, аустенитно-карбидной в зависимости от состава примыкающей части основного металла сварного соединения. Такое изменение структурного состояния зоны сплавления приводит к резкому скачкообразному изменению свойств на участке очень малой протяженности. При этом обезуглероженная прослойка является разупрочненной, а науглероженная зона характеризуется повышенной хрупкостью.

Перераспределение углерода в зоне сплавления обусловлено рядом причин. Одной из таких причин является различие его термодинамической активности в основном металле и металле шва сварного соединения, которая определяется температурой и содержанием легирующих элементов в свариваемых сталях. Направление перемещения определяется разницей концентраций легирующих элементов в сварных соединениях, независимо от того сколько углерода содержится в них. Причем диффузия углерода может происходить в сталях с наименьшим его содержанием.

В случае наличия в стали легирующих элементов, обладающих большим сродством с углеродом, чем железо, например, марганец, хром, молибден, вольфрам, ванадий и др., его термодинамическая активность существенно снижается по причине образования карбидов. Причем наиболее сильное влияние на её снижение оказывает хром.

В исследуемом фрагменте технологического трубопровода, изготовленного из теплоустойчивой перлитной стали 15X5M, сварные соединения выполнены аустенитными электродами, было установлено, что на линии сплавления со стороны аустенитного металла шва (науглероженной зоне) образовалась сплошная прослойка карбидов хрома,

которая способствует охрупчиванию зоны сплавления и приводит к разрушению сварного соединения.

Образование карбидов хрома связано с взаимной диффузией атомов углерода из перлитной стали основного металла и атомов хрома из аустенитного шва. Так как углерод обладает большим сродством с хромом, чем с железом, он стремится «закрепиться» у атомов хрома, и активность углерода к перемещению понижается. Тем самым образуются стойкие карбиды $Cr_{23}C_6$.

Исследуемое сварное соединение было выполнено по, так называемой, аустенитной технологии. Применение такой технологии при сварке теплоустойчивых сталей позволяет снизить скорость диффузии углерода через линию сплавления сварных соединений за счет содержания в электродах никеля, который повышает активность углерода в аустенитном шве и, тем самым, препятствует дальнейшей его диффузии. Это снижает вероятность образования неоднородностей на линии сплавления сварного соединения и, следовательно, снижает вероятность его разрушения. Однако, несмотря на применение аустенитной технологии сварки, в результате длительного срока эксплуатации и циклических температурных нагрузок, по линии сплавления образовалась трещина, которая вызвала выход из строя технологического трубопровода.

С целью придания работоспособного состояния технологического трубопровода, авторами предлагается технология, основанная на возможности остановки трещины за счет использования сварочных материалов с высокой энергией зарождения и развития трещины. После применения данного технологического решения сварное соединение проработало еще три года, однако, трещина снова начала развиваться по линии сплавления.

Анализируя поведение сварного соединения при дальнейшей эксплуатации трубопровода, а также повторное образование и развитие трещины по линии сплавления, можно сделать вывод о том, что повышать содержания никеля в аустенитных электродах, вплоть до перехода к аустенитным сплавам на никелевой основе, не всегда рационально. Особенно это касается сталей легированных карбидообразующими элементами (Cr, V, Ti, Nb и др.), сильно снижающими активность углерода.

Повысить работоспособность сварных соединений из разнородных сталей можно за счет перестаривания основного металла.

Применение перед сваркой процесса перестаривания позволит избежать диффузии углерода из основного металла в сварной шов за счет образования в нем стойких карбидов хрома, и, тем самым, предотвратит образование охрупчивания зоны сплавления сварного шва, что снизит вероятность разрушения сварного соединения.