УДК 621.79

СВАРКА СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ, ЭКСПЛУАТИРУЮЩИХ
ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

А. Г. ЛУПАЧЁВ, А. О. КОРОТЕЕВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Аустенитные стали, легированные титаном, ниобием либо танталом, с целью предотвращения межкристаллитной коррозии, по своей природе склонны к локальным разрушениям при длительной высокотемпературной эксплуатации в условиях термомеханического нагружения в сочетании с коррозионной активностью транспортируемой среды.

Разрушение сварного соединения происходит в зонах термического влияния основного металла, находящихся в течение длительного времени в диапазоне температур $600\text{ }^{\circ}\text{C} \dots 650\text{ }^{\circ}\text{C}$, в процессе охлаждения после выполнения сварки.

В рассматриваемых сталях основная доля от общего количества углерода находится в связанном в стойкие карбиды состоянии, распределенные в γ -твердом растворе. Как правило, это карбиды Ti и Nb. Их нагрев до высоких температур ($1250\text{ }^{\circ}\text{C} \dots 1300\text{ }^{\circ}\text{C}$) приводит к растворению с последующим высвобождением углерода и внедрением в кристаллическую решетку аустенита. Атомы Ti и Nb при этом переходят в вакантные места узлов кристаллической решетки.

Повышение температуры приводит к возрастанию скорости диффузионных процессов. При этом подвижность атомов углерода значительно выше элементов стабилизаторов (Ti и Nb), что позволяет им стремительно покинуть тело зерна и выйти на периферию, оставаясь при этом в твердом растворе.

Если перегретую аустенитную сталь охладить с большой скоростью, то полученный γ -твердый раствор будет характеризоваться распределением карбидообразующих стабилизирующих компонентов внутри тела зерна аустенита с явно выраженным насыщением границ зерен углеродом. Последующий отпуск в случае послесварочной термообработки, либо отпуск предыдущих слоев воздействием термического цикла при многослойной сварке, приводит к тому, что атомы углерода, выпавшие из твердого раствора и рассредоточенные по границам зерен, заберут практически все атомы титана и ниобия, находящиеся в пограничных зонах зерна аустенита, образуя карбиды TiC и NbC. При этом новые атомы углерода, перемещающиеся из внутренних областей к периферии в результате диффузионных процессов уже не встретят необходимого количества атомов Ti или Nb. Вместо образования карбидов этих

элементов начнут образовываться карбиды Cr и Fe. Основной причиной этого является более высокая скорость диффузии углерода по сравнению с хромом, а хрома, по сравнению с Ti или Nb.

Указанные процессы, происходящие по границам зерен, приводят к их разупрочнению. Выпадение же карбидов в теле зерна, наблюдаемое на более поздних этапах старения, способствует упрочнению тела зерна. Неблагоприятное соотношение степени упрочнения зерна и разупрочнения его границ приводит к разрушению.

С целью уменьшения склонности к разрушениям рекомендуются следующие мероприятия:

- снижение количества углерода в материале аустенитной стали (ниже 0,02 %), что позволяет исключить возможность образования карбидов;

- снижение или полное отсутствие энергичных карбидообразующих элементов (Ti или Nb), либо повышение их количества в материале сверх концентраций, определяемой условиями образования и стабильного существования карбида.

На практике определены факты низкой склонности к разрушениям аустенитных сталей, легированных вместо Ti и Nb молибденом (М) или вольфрамом (W).

В аустенитных Cr–Ni сталях молибден и вольфрам являются менее активными карбидообразующими элементами по сравнению с хромом. Это означает, что сварочный термомодеформационный цикл в хромоникельмолибденовой аустенитной стали не вызывает существенного изменения состава карбидов, а следовательно, и заметного разупрочнения границ зерен на участке перегрева.

Эффективным способом решения проблемы обеспечения надежности сварных соединений при эксплуатации также является использование материалов, не склонных к разрушениям (сварочные присадочные проволоки Св-04Х17Н10М2, Св-02Х17Н10М2-ВИ).

В случае невозможности проведения термообработки в виде аустенизации сварных соединений рекомендуется:

- предварительная наплавка кромок электродами, в состав которых не входят стабилизирующие элементы;

- термообработка деталей с наплавленными кромками;

- применение сварочных материалов типа Э-04Х19Н11Г2М, без последующей термической обработки.