

УДК 620.172

СВОЙСТВА МЕТАЛЛА СВАРНОГО ШВА И ЗОНЫ ТЕРМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ОБОРУДОВАНИЯ И КОНСТРУКЦИЙ

В.К. КАРПИНЧИК
(ОАО «Нафтан», г. Новополоцк)

Рассмотрены свойства металла сварного шва и зоны термического влияния сварных соединений стали 15X5M. Дана оценка изменения структуры сварного соединения после различной продолжительности эксплуатации на установках каталитического риформинга.

Теплоустойчивая сталь марки 15X5M широко используется в установках каталитического риформинга нефтеперерабатывающих заводов в качестве труб печных змеевиков и трубопроводов, работающих при высокой температуре и давлении технологических сред [1,2].

Конструкционные элементы змеевиков печей и трубопроводов монтируют с помощью сварных соединений, свойства которых изменяются во время длительной эксплуатации. Однако сведений, позволяющих сравнивать свойства металла шва и околошовной зоны в исходном состоянии и после различных сроков эксплуатации, недостаточно.

Цель проведенной работы - оценить свойства металла сварного шва и зоны термического влияния (ЗТВ) труб из стали марки 15X5M с учетом различных способов сварки электродами марок ЦЛ-17 и АНЖР-2.

Трубы сваривали ручной электродуговой сваркой стыковым швом с подкладным кольцом. Использовались электроды марок ЦЛ-17 (тип Э-10X5MФ по ГОСТ 2246-70) и АНЖР-2 (тип Э-08X25H40M7Г2 по ГОСТ 10052-75). Режимы сварки соответствовали рекомендациям документации на электроды.

Режим высокого отпуска: температура 720 °С; выдержка 3 часа; охлаждение - с печью.

Исследовались:

- материал трубы в состоянии поставки;
- основной металл после однократного высокого отпуска со сварным швом из электрода АНЖР-2 и двукратного отпуска со сварным швом из электрода ЦЛ-17;
- сварное соединение со швом из электрода АНЖР-2 (шов без высокого отпуска);
- сварное соединение со швом из электрода ЦЛ-17 с высоким отпуском.

Измерения твердости по сечению сварного соединения проводили по ГОСТ 22761-77.

Для оценки качества металла проводились следующие виды механических испытаний:

- на растяжение по три образца, тип ХП по ГОСТ 1497-82;
- на ударную вязкость по три образца, тип УШ на каждый участок сварного соединения.

Механические испытания проводили для проб, изготовленных по стандартным режимам: сварка образцов электродом АНЖР-2 без отпуска. Для сравнения механические свойства определяли на образцах со сваркой электродом ЦЛ-17 без применения высокого отпуска.

В результате испытания на растяжение сварных соединений, полученных электродом ЦЛ-17, установлено, что разрушение образцов при растяжении происходит по основному металлу. При этом предел прочности металла сварного шва удовлетворяет требованиям технических условий (табл. 1). При испытании сварных соединений, выполненных электродом АНЖР-2, разрушение образцов при растяжении также происходит по основному металлу, то есть прочность металла шва выше прочности основного металла.

Таблица 1

Физико-механические свойства металла сварных соединений стали 15X5M,
выполненных электродами ЦЛ-17 и АНЖР-2

Электрод, источник	Предел прочности, σ_b , МПа	Предел текучести, σ_t , МПа	Относительное удлинение, δ , %	Примечание
Сварное соединение из ЦЛ-17 (без отпуска)	452	–	37	Разрушение по основному металлу
Сварное соединение из ЦЛ-17 (с высоким отпуском)	477	272	37	Разрушение по основному металлу
Сварное соединение из АНЖР-2	464	–	48	Разрушение по основному металлу
Требования ТУ 26-01-744-78	392	–	–	σ , и δ не регламентируются

Ударная вязкость металла шва достаточно высока (табл. 2), хотя и заметно уступает основному металлу (ОМ).

Характер разрушения образцов из основного металла вязкий, при этом значения ударной вязкости основного металла выше вязкости металла шва, подвергнутого отпуску.

Значения ударной вязкости металла шва заметно различаются в зависимости от применения высокого отпуска: после высокого отпуска ударная вязкость возрастает примерно в 4 раза (см. табл. 2).

Таблица 2

Ударная вязкость металла сварных соединений стали 15X5M,
выполненных электродами ЦЛ-17 и АНЖР-2

Электрод	Место надреза		Примечание
	Центр шва	ОМ	
ЦЛ-17 (без отпуска)	74,5	342	По ТУ 26-01-744-78 КСУ ≥ 50 Дж/см ² – для сварного соединения и КСУ118 Дж/см ² – для ОМ (ГОСТ 550-75)
ЦЛ-17 (с высоким отпуском)	290	379	По ТУ 26-01-744-78 КСУ ≥ 50 Дж/см ² – для сварного соединения и КСУ118 Дж/см ² – для ОМ (ГОСТ 550-75)
АНЖР-2	187	377	По ТУ 26-01-744-78 КСУ ≥ 50 Дж/см ² – для сварного соединения и КСУ118 Дж/см ² – для ОМ (ГОСТ 550-75)

Характер излома ударных образцов из металла шва также зависит от отпуска. До отпуска излом хрупкий с очень малой утяжкой, поверхность излома блестящая, после отпуска разрушение носит вязкий характер.

Твердость измерялась на металле сварного шва, зоны термического влияния и основном металле. Установлено, что твердость металла сварных соединений без отпуска, выполненных электродами ЦЛ-17 и АНЖР-2, выше, чем после отпуска.

После отпуска твердость как металла шва, так и зоны термического влияния заметно снижается, разница между этими участками практически не наблюдается. Твердость металла шва составляет 152 НВ, а зоны термического влияния - 155 НВ (табл. 3). Твердость же основного металла равна НВ 158.

Таблица 3

Твердость сварных соединений стали 15X5M, выполненных электродами ЦЛ-17 и АНЖР-2,
до и после термообработки

Материал и вид термообработки	Твердость, НВ			Предел прочности, σ_b , МПа
	Шов	ЗТВ	ОМ	
Сталь 15X5M, электрод ЦЛ-17, шов без отпуска	319	250	158	452
Сталь 15X5M, электрод ЦЛ-17, шов с отпуском	169	172	125	–
То же, с отпуском в промышленной печи	152	155	158	477
Сталь 15X5M, электрод АНЖР-2, шов без отпуска	247	314	160	464

Таким образом, основной металл и металл шва труб из стали 15X5M после сварки электродом ЦЛ-17 и АНЖР-2 удовлетворяют требованиям технических условий. Высокий отпуск после сварки электродом ЦЛ-17 заметно улучшает ударную вязкость и пластичность металла сварного соединения.

Структура стали 15X5M в исходном состоянии неравномерная: наблюдаются скопления участков легированного феррита, значительную площадь занимают участки, где карбиды имеют пластинчатую форму.

На шлифе хорошо просматривается двухфазное строение зерен: масса мелких глобулярных карбидов сложного стехиометрического состава в матрице легированного феррита, т.е. сталь 15X5M в горячекатаном состоянии имеет структурную неоднородность, а карбиды имеют как пластинчатую, так и глобулярную форму.

После однократного отпуска структура основного металла в сварном соединении заметно выравнивается: отсутствуют перлитобразные зерна, растворяются карбиды пластинчатой формы, структура стали становится более однородной и представляет собой мелкие глобулярные карбиды (1-2 мкм) в матрице легированного феррита.

После двукратного отпуска однородность структуры сохраняется, однако размер карбидов несколько возрастает, причем укрупнение их более заметно. Карбиды группируются по границам зерен.

Проведение высокого отпуска металла горячекатаных труб из стали 15X5M, приводит к выравниванию структуры, она становится однородной и представляет собой феррито-карбидную смесь, причем карбиды приобретают глобулярную форму и равномерно распределяются в матрице феррита.

Металл сварного шва, наплавленного электродом АНЖР-2 (без отпуска), представляет собой сплав с типичным для литого состояния дендритным строением.

В зоне термического влияния карбиды полностью приобрели пластинчатую форму. Такую структуру можно отнести к трооститной. В основном металле, прилегающем к ЗТВ, карбиды сохранили глобулярную форму. Структура металла шва (электрод ЦЛ-17 с отпуском) представляет собой однородную смесь округлых мелких карбидов и феррита, однако имеет место некоторая неоднородность. Металл зоны термического влияния после отпуска также претерпевает изменения: зона перегрева становится мелкозернистой (балл зерна 9, размер 15 мкм); карбиды имеют глобулярную форму.

Проведенный анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

- в исходном состоянии (состоянии поставки) металл труб печных змеевиков из стали 15X5M имеет структурную неоднородность, микроструктура металла представляет матрицу из легированного феррита с распределенными в ней карбидами пластинчатой и глобулярной формы;

- высокий отпуск приводит к выравниванию структуры, при этом карбиды приобретают глобулярную форму; размеры карбидной фазы составляют 1 - 2 мкм;

- установлено, что металл шва и металл ЗТВ при сварке стали 15X5M обладает повышенной твердостью. Последующий отпуск позволяет снизить твердость шва и ЗТВ до уровня, требуемого техническими условиями;

- при сварке труб из стали 15X5M электродами ЦЛ-17 и АНЖР-2 заметно возрастает твердость металла шва и металла ЗТВ (до 250...300 НВ). В металле ЗТВ протекают закалочные процессы с образованием трооститной структуры. В околшовной зоне наблюдается укрупнение величины зерна (до 40 - 600 мкм);

- высокий отпуск после сварки стали 15X5M позволяет исправить структуру металла шва и металла ЗТВ, выравнивает твердость по всем участкам сварного соединения. Структура становится мелкозернистой (зерно 15 мкм) и представляет смесь мелких глобулярных карбидов в матрице легированного феррита. Твердость сварного соединения (150... 170 НВ) близка к твердости основного металла (150... 160 НВ).

ЛИТЕРАТУРА

1. Ентус Н.Р., Шарихин В.В. Трубчатые печи в нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности - М.: Химия, 1987. - 304 с.
2. Легированные стали для нефтехимического оборудования / В.Г. Дьяков и др. - М.: Машиностроение, 1971.- 183 с.
3. Шоршоров М.Х., Белов В.В. Фазовые превращения и изменения свойств стали при сварке. - М.: Наука, 1972. - 220 с.