

А. В. Клименко, С. А. Соловей, С. Ю. Коваленко

## **ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБНЫХ СТАЛЕЙ К КОРРОЗИОННОМУ РАЗРУШЕНИЮ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ**

Проведены испытания образцов стыковых сварных соединений, с продольным и пересекающимся (продольным и поперечным) сварными швами в исходном состоянии, и после дополнительных обработок, на их стойкость к коррозионному растрескиванию под напряжением.

### **Введение.**

Коррозионным разрушением под напряжением (КРН) называют распространение трещины в металлоконструкции при одновременном воздействии коррозионной среды и растягивающих напряжений, при этом образование и распространение трещин, как правило, происходит перпендикулярно направлению действия растягивающих напряжений [1].

В процессе изготовления сварных конструкций в них возникают остаточные сварочные напряжения и деформации [2]. Причинами возникновения остаточных сварочных напряжений и деформаций в металле являются неравномерный нагрев при сварке, усадка расплавленного металла и структурные превращения в процессе охлаждения. Наличие твердых связей между нагретыми и холодными участками металла приводит к образованию растягивающих и сжимающих внутренних остаточных сварочных напряжений. При сварке происходит продольная и поперечная усадки расплавленного металла, в результате чего образуются продольные (вдоль шва) и поперечные (поперек шва) остаточные напряжения.

Основной способ борьбы с остаточными сварочными растягивающими напряжениями и, соответственно, с КРН является термообработка (температурный отпуск) металлоконструкций после сварки. Принято различать высокотемпературный ( $T=600\div 700$  °С), среднетемпературный ( $T=350\div 450$  °С) и низкотемпературный отпуск ( $T=150\div 220$  °С). Наибольшей релаксации остаточных сварочных напряжений можно достичь высокотемпературным отпуском. Однако, его применение, например для крупногабаритных элементов сварных металлоконструкций является экономически не целесообразным. Наиболее перспективными и эффективными методами борьбы с остаточными напряжениями в сварных металлоконструкциях являются способы поверхностного пластического деформирования (ППД) металла. К основным способам ППД металла относятся: дробеструйная обработка, обкатка роликом/шариком, обработка взрывом, наклеп пневматическим молотом, высокочастотная механическая проковка (ультразвуковая ударная обработка) и др. [3-5].

### **Экспериментальная часть**

Целью данной работы было исследование эффективности применения различных обработок сварных соединений с целью повышения их стойкости к КРН. Исследования стыковых сварных соединений на склонность к КРН проводили на образцах из трубной стали 17Г1С размером 500×400×25 мм с продольным (рис. 1а) и пересекающимися (рис.1б) сварными швами согласно методики ускоренных коррозионных испытаний по ГОСТ 26294 [6]. В качестве коррозионной среды использовали азотнокислую среду следующего состава:  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  – 45%;  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  – 35%;  $\text{H}_2\text{O}$  – 20 %. Температура коррозионной среды

составляла  $120\pm 5$  °С. Максимальное время выдержки образцов в расплаве не превышало 720 часов. Периодичность осмотра составляла 2, 4, 6, 8 часов после начала исследования, а далее – через 24 часа.



Рис.1. Фотографии образцов стыковых сварных соединений  
а) – продольным сварным швом; б) – пересекающимися сварными швами

Для снятия остаточных сварочных напряжений в исследуемых образцах использовали: низкотемпературный (200 °С) и высокотемпературный (700 °С) отпуска, которые проводили в электропечи СНОЛ мощностью 50 кВт, с выдержкой образцов при заданной температуре в течении 10 мин и охлаждением вместе с печью; обработку высокочастотной механической проковкой (ВМП) [7-8]. Технология ВМП представляет собой ударную обработку поверхности металла высокопрочными бойками, механические колебания которых возбуждаются ультразвуковым генератором. Оборудование для выполнения упрочнения сварных швов технологией ВМП представлено на рис. 2. Преимуществом технологии ВМП в сравнении с другими способами ППД является: высокая производительность и экономичность, компактность и мобильность оборудования, обработка в произвольном пространственном положении, возможность применения на стадиях производства и эксплуатации металлоконструкции. Для повышения стойкости к КРН образцов стыковых сварных соединений высокочастотной механической проковкой упрочнялись узкая зона перехода сварного шва на основной металл (зона сплавления), сварной шов и зона термического влияния (до 15...20 мм от зоны сплавления). Схематически процесс обработки представлен на рис. 3.



Рис. 2. Оборудование для ВМП стыковых сварных соединений  
а – общий вид оборудования для ВМП сварных соединений; б – сменные головки с цилиндрическими бойками

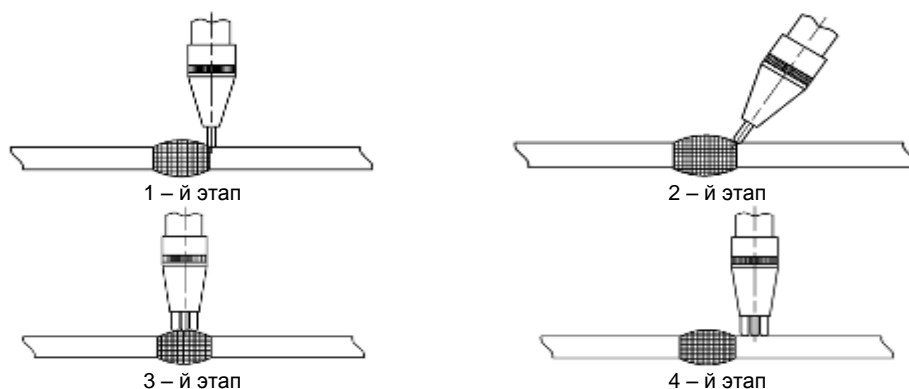


Рис. 3. Схематический процесс обработки стыковых сварных соединений

На образцах сварных соединений в исходном состоянии с пересекающимися сварными швами и с продольным сварным швом трещины образовались после 24 и 48 часов испытаний, соответственно. Трещины КРН в образцах располагались перпендикулярно продольному шву (рис.4 а, б и рис.5 а, б), что свидетельствует о высоком уровне продольных (вдоль сварного шва) остаточных сварочных напряжений.

На образцах сварных соединений после низкотемпературного отпуска (200 °С) трещины КРН образовались через 72 часа коррозионных испытаний. При этом, на образце с продольным сварным швом трещина проходила вдоль сварного шва (по центру), а на образце с пересекающимися сварными швами – перпендикулярно продольному шву (на поперечном шве трещин не обнаружено). Характер распространения трещин на образцах после низкотемпературного отпуска свидетельствует о наличии достаточно высоких уровней продольных остаточных напряжений в образце с пересекающимися сварными швами и поперечных остаточных напряжений в образце с продольным швом (рис.4 в и рис.5 в).

Образцы сварных соединений с продольным и пересекающимися сварными швами после высокотемпературного отпуска (700 °С) и после упрочнения технологией ВМП, выдержали коррозионные испытания в течении 720 часов. Наличие трещин в исследуемых образцах стыковых соединений обнаружено не было. Результаты ускоренных коррозионных испытаний на стойкость против КРН образцов стыковых сварных соединений с продольным и пересекающимися сварными швами представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Результаты ускоренных коррозионных испытаний сварных соединений трубных сталей**

Вид сварного соединения	Время до разрушения (время испытаний), час			
	Исходный	Низкотемпературный отпуск	Высокотемпературный отпуск	ВМП
Прямой шов	48	72	Трещины отсутствовали (720)	Трещины отсутствовали (720)
Пересекающиеся швы	24	72	Трещины отсутствовали (720)	Трещины отсутствовали (720)

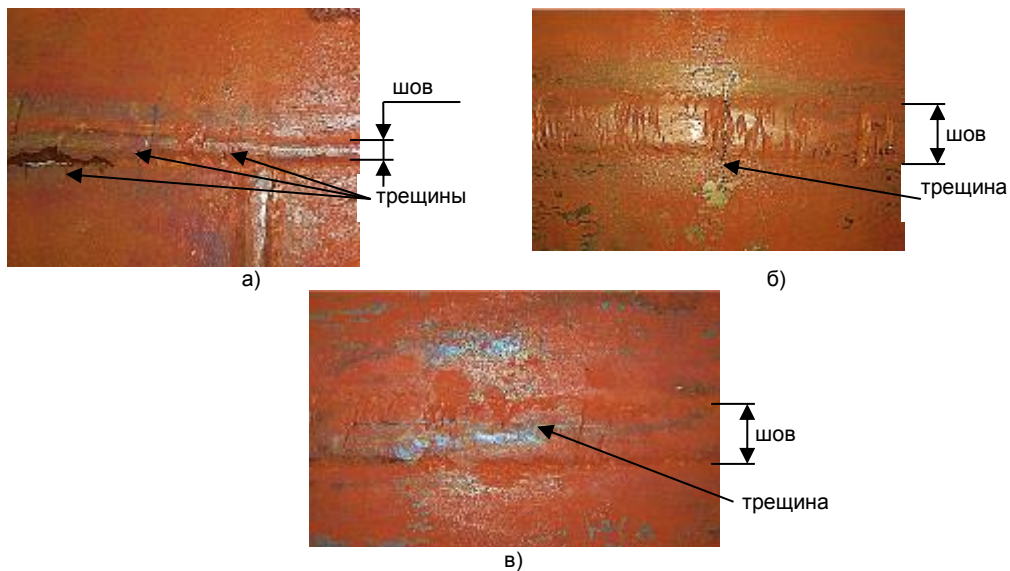


Рис. 4. Трещины на образцах сварных соединений с продольным и пересекающимися сварными швами после испытаний на КРН.  
 а – трещины на образце в исходном состоянии с пересекающимися сварными швами; б – трещина на образце в исходном состоянии с продольным швом; в – трещина на образце с продольным сварным швом после низкотемпературного отпуска

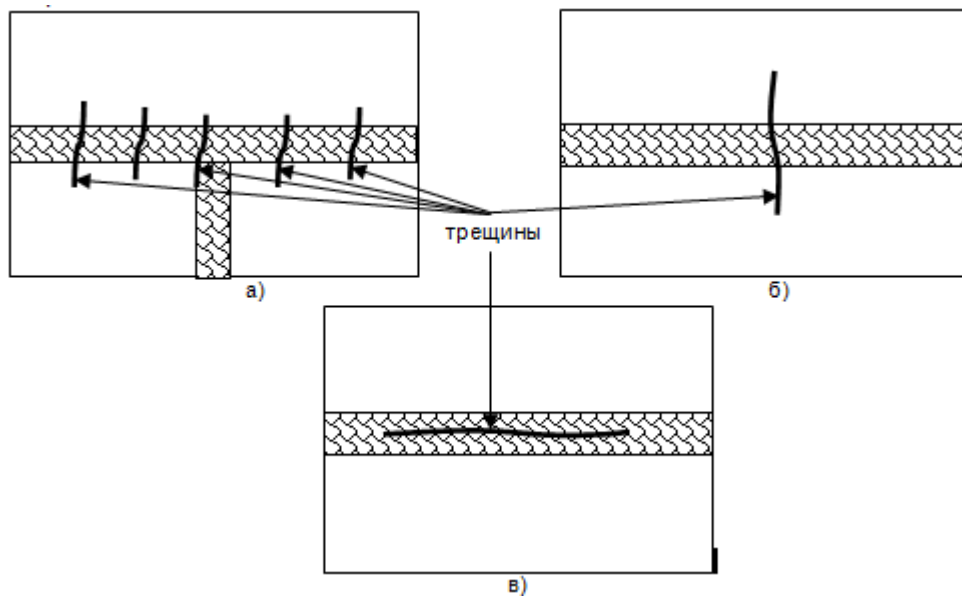


Рис. 5. Схема расположения трещин на образцах сварных соединений с продольным и пересекающимися сварными швами после испытаний на КРН.  
 а – схема расположения трещин на образце в исходном состоянии с пересекающимися сварными швами; б – схема расположения трещины на образце в исходном состоянии с продольным швом; в – схема расположения трещины на образце с продольным сварным швом после низкотемпературного отпуска

Таким образом, экспериментальными исследованиями установлено, что стыковые сварные соединения, изготовленные из листового проката стали

17Г1С толщиной 25 мм склонны к коррозионному растрескиванию под напряжением. Показано, что применение низкотемпературного отпуска (200 °С) для повышения стойкости сварных соединений к КРН является малоэффективным. Установлено, что сварные соединения после применения таких дополнительных послесварочных обработок, как высокотемпературный отпуск (700 °С) или высокочастотная механическая проковка, не склонны к коррозионному растрескиванию под напряжением. Отсутствие склонности стыковых сварных соединений к КРН обусловлено, по-видимому, существенным перераспределением остаточных сварочных напряжений в образцах.

С точки зрения практической реализации в условиях строительного монтажа площадок наиболее предпочтительным является технология ВМП, которая позволяет обрабатывать сварные швы как отдельных элементов так и для конструкции в целом.

#### **Выводы.**

Проведены исследования эффективности применения дополнительных послесварочных обработок (низкотемпературного отпуска при 200 °С, высокотемпературного отпуска при 700 °С и высокочастотной механической проковки) стыковых сварных соединений стали 17Г1С толщиной 25 мм с целью повышения их стойкости к КРН. Показано, что применение высокотемпературного отпуска и технологии ВМП позволяет исключить появление трещин КРН.

#### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Кеше Г. Коррозия металлов. Физико-химические принципы и актуальные проблемы. : пер. с нем. - М. : Металлургия, 1984. - 400 с.
2. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / под ред. Б. Е. Патона. - М. : Машиностроение, 1974. - 768 с.
3. Методы повышения долговечности деталей машин / В. Н. Ткачев, Б. М. Фиштейн, В. Д. Власенко, В. А. Уланов. - М. : Машиностроение, 1971. - 272 с.
4. Балтер М. А. Упрочнение деталей машин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1978.- 184 с.
1. 5.Петушков В. Г. Применение взрыва в сварочной технике. - К. : Наукова думка, 2005. - 756 с.
5. ГОСТ 26294-84. Сварные соединения. Методы испытаний на коррозионное растрескивание. - М. : Изд-во стандартов, 1985.
6. Соловей С. А Повышение циклической долговечности сварных соединений с накопленными усталостными повреждениями высокочастотной проковкой / Соловей С. А., Кныш В. В., Кузьменко А. З. // Автомат. сварка. – 2010. - № 10. - С. 41-44.
7. Сопrotивление коррозионной усталости сварных соединений, упрочненных высокочастотной механической проковкой / Соловей С. А., Кныш В. В., Кузьменко А. З., И. И. Вальтерис // Автомат. сварка. – 2008. - № 4. – С. 5-8.