

## КОРРОЗИОННО-УСТАЛОСТНАЯ ПРОЧНОСТЬ ТАВРОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ СТАЛИ 12Х18Н10Т И МЕТОДЫ ЕЕ ПОВЫШЕНИЯ

Е. В. КОЛОМИЙЦЕВ, канд. техн. наук (ПАО ММК им. Ильича, г. Мариуполь)

Приведены результаты испытаний на усталость тавровых соединений нержавеющей стали 12Х18Н10Т на воздухе и в коррозионной среде, а также определено влияние поверхностного упрочнения на повышение прочностных свойств и долговечности сварных элементов крыльевых устройств судов на подводных крыльях.

*Ключевые слова:* дуговая сварка, ММА, ТИГ, нержавеющая сталь, сварные соединения, коррозионная среда, усталостная прочность, долговечность, поверхностное упрочнение, остаточные напряжения

Нержавеющая сталь аустенитного класса марки 12Х18Н10Т широко используется при изготовлении различных сварных конструкций, которые в процессе эксплуатации подвергаются воздействию переменных нагрузок. К ним относятся крыльевые устройства (КУ) судов на подводных крыльях (СПК), ролики нагревательных печей металлургических предприятий, сварные узлы изделий химического и энергетического машиностроения.

В данной работе представлены результаты усталостных испытаний тавровых соединений стали 12Х18Н10Т на воздухе и в морской воде как в исходном состоянии после сварки, так и после упрочняющей обработки с применением шарикостержневого упрочнителя (ШСУ).

Опыт эксплуатации судов типа «Комета» показал [1, 2], что трещины в КУ образуются на плоскостях крыльев, в местах соединения кронштейна с плоскостью крыла, в кронштейнах гребных валов [1, 2]. При эксплуатации в условиях Азовского моря трещины на судах «Комета», «Колхида» образуются в течение 1,5...2 месяцев после ремонта и через 2...3 недели в условиях Черного моря. Их приходится исправлять путем разделки и заварки дефектных мест, что сопровождается значительными затратами, связанными как с самим ремонтом, так и с выводом судна из эксплуатации в навигационный период.

Долговечность КУ может быть повышена за счет новых конструктивных решений или путем технологических операций, к которым относятся, в частности, упрочняющие обработки, которые создают в поверхностных слоях напряжения сжатия [3, 4].

Целью настоящей работы является оценка влияния упрочняющей обработки на долговечность и прочность КУ судов типа «Комета».

Для этого из листового проката стали 12Х18Н10Т толщиной 12 мм были изготовлены образцы с тавровыми соединениями, выполненными ручной сваркой электродами ЭА-400/10У, а также аргонодуговой сваркой с применением присадочной проволоки Св-04Х19Н11МЗ.

Химический состав стали 12Х18Н10Т, мас. %: 0,09 С; 1,52 Мн; 0,71 Si; 18,4 Cr; 10,2 Ni; 0,19 Cu; 0,76 Ti; 0,008 S; 0,018 P, а ее механические свойства следующие:  $\sigma_b = 588$  МПа;  $\sigma_T = 363$  МПа;  $\delta = 55$  %.

Испытания проводили на резонансных установках при консольном изгибе по симметричному циклу. Частота нагружения составляла 35...45 Гц. Ширина рабочей части образцов — 100 мм [5]. База испытаний на воздухе составляла  $10^7$ , в коррозионной среде (морская вода) —  $3 \cdot 10^7$  циклов. Предел выносливости, полученный на этой базе, экстраполировали по уравнению второго участка кривой коррозионной усталости на базу  $10^8$  циклов [6].

Всего было испытано шесть партий образцов, по десять штук в каждой. Упрочнению подвергали шов и околошовную зону шириной до 15 мм с обеих сторон шва. Из разрушенных образцов после усталостных испытаний изготавливали шлифы, на которых определяли месторасположение трещины, а также глубину упрочненного слоя. В поверхностных слоях, подвергшихся упрочнению, микротвердость наклепанного металла составила 3220...4240 МПа, тогда как ненаклепанного — 2460...3010 МПа, а глубина упрочненного слоя — 2 мм.

Результаты испытаний показали следующее. Предел выносливости при испытаниях на воздухе образцов, выполненных ручной сваркой (рис. 1), в результате упрочнения возрос с 90 до 140 МПа, т. е. в 1,5 раза, долговечность при напряжениях 140...180 МПа — в 14...20 раз.

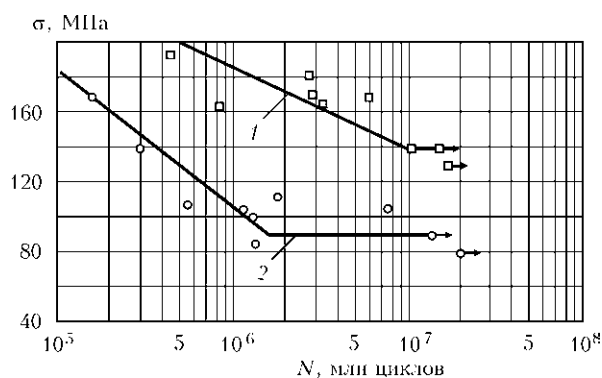


Рис. 1. Кривые усталости тавровых соединений, выполненных ручной сваркой: 1 — исходное состояние после сварки; 2 — после упрочнения с применением ШСУ

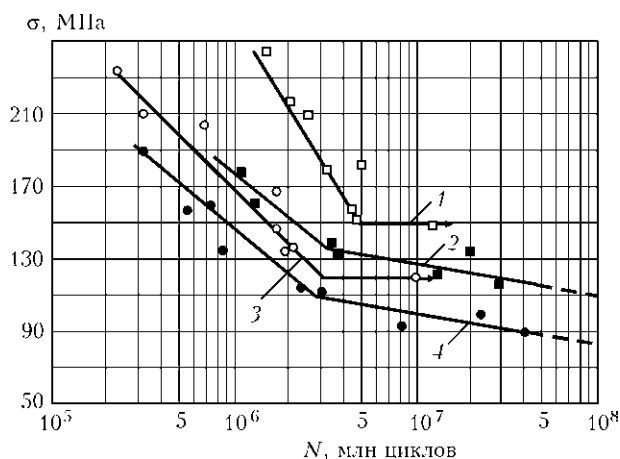


Рис. 2. Кривые усталости тавровых соединений, выполненных аргодуговой сваркой: 1 — после упрочнения с применением ШСУ (воздух); 2 — после упрочнения (СМВ); 3 — исходное состояние после сварки (воздух); 4 — исходное состояние (СМВ)

Предел выносливости образцов, выполненных аргодуговой сваркой, при испытаниях на воздухе увеличился со 120 до 150 МПа, т. е. в 1,25 раза, а долговечность при напряжениях 150...230 МПа — в 4...8 раз (рис. 2, кривые 1, 3). В коррозионной среде на базе  $10^7$  циклов предел выносливости увеличился с 100 до 127 МПа, т. е. в 1,3 раза (рис. 2, кривые 2, 4), долговечность при напряжениях 120...140 МПа — в 4...13 раз; на базе  $3 \cdot 10^7$  циклов — с 93 до 120 МПа (в 1,3 раза), долговечность — в 3...13 раз; на базе  $10^8$  циклов (экстраполяция) — с 83 до 110 МПа (в 1,35 раза), долговечность при напряжениях 110...120 МПа — в 14...30 раз.

Как видно из рис. 3, на образце, прошедшем упрочнение, трещина возникла и развивалась не в месте перехода шва к основному металлу (как обычно), а с противоположной стороны. Возможно, такой факт зафиксирован впервые.

Приведенные выше данные отличаются от полученных нами ранее [7], т. е. эффект от наведения сжимающих напряжений в поверхностных слоях пластическим деформированием проявляется сильнее на стали 12Х18Н10Т, чем на

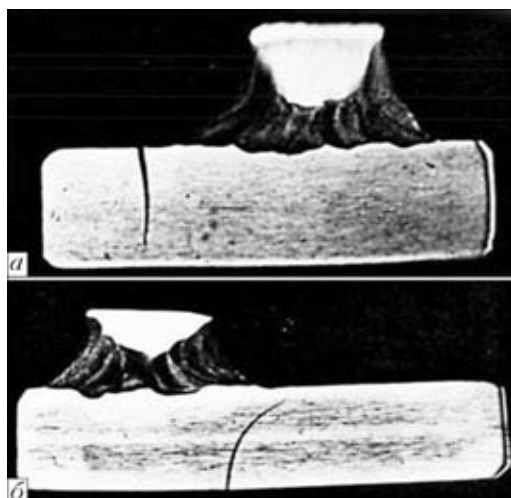


Рис. 3. Расположение усталостных трещин в сварных образцах без упрочнения (а) и после упрочнения с применением ШСУ (б)

стали 15Г2ФБ и на тавровых соединениях в большей мере, чем на стыковых.

Представленные в данной работе результаты позволяют рекомендовать судовладельцам СПК использовать упрочняющую обработку с применением ШСУ для увеличения долговечности и прочности КУ судов типа «Комета», что снизит затраты на ремонт и повысит надежность данного класса судов.

### Выводы

1. Усталостная прочность тавровых соединений стали 12Х18Н10Т, выполненных ручной и аргодуговой сваркой, на базе  $10^7$  циклов составила 90 и 120 МПа соответственно.
2. Коррозионно-усталостная прочность тавровых соединений стали 12Х18Н10Т, выполненных аргодуговой сваркой, на базе  $10^7$  циклов составила 100, на базе  $10^8$  — 83 МПа.
3. Пластическое деформирование с применением ШСУ повысило усталостную прочность тавровых соединений стали 12Х18Н10Т до 140 и 150 МПа для ручной и аргодуговой сварки соответственно: долговечность — в 4...8 раз для соединений, выполненных аргодуговой сваркой, и в 14...20 раз для соединений, выполненных ручной сваркой; коррозионно-усталостную прочность до 127 МПа на базе  $10^7$  циклов и до 110 МПа на базе  $10^8$  циклов, т. е. в 1,3 раза; долговечность при напряжениях 110...120 МПа была увеличена в 14...30 раз.
4. Упрочняющая обработка КУ СПК с применением ШСУ может быть рекомендована к внедрению на судоремонтных предприятиях.

1. Зиганченко П. П., Кузовенков Б. П., Тарасов И. К. Суда на подводных крыльях (конструирование и прочность). — Л.: Судостроение, 1981. — 205 с.
2. Кузовенков Б. П. Некоторые сведения по повреждаемости крыльевых устройств // Тр. НТО судпрома. — 1968. — Вып. 101.

3. Степанов В. Г., Клестов М. И. Поверхностное упрочнение корпусных конструкций. — Л.: Судостроение, 1977. — 198 с.
4. Олейник Н. В., Кычин В. П., Луговской А. Л. Поверхностное динамическое упрочнение деталей машин. — Киев: Техніка, 1984. — 151 с.
5. Коломийцев Е. В., Серенко А. Н. Экспериментальная оценка сопротивления усталости стыковых соединений низколегированных сталей в коррозионной среде // Автомат. сварка. — 1985. — № 4. — С. 49–52.
6. Коломийцев Е. В., Карпов И. В. К выбору базы испытаний корпусных сталей на коррозионную усталость // Судостроение. — 1986. — № 10. — С. 39–40.
7. Коломийцев Е. В., Серенко А. Н. Влияние ультразвуковой и лазерной обработок на сопротивление усталости стыковых сварных соединений в воздушной и коррозионной средах // Автомат. сварка. — 1990. — № 11. — С. 13–15.

Results of fatigue testing of tee-joints on stainless steel 12Kh18N10T in air and in corrosive medium are presented, and influence of surface strengthening on improvement of strength properties and fatigue life of welded elements of hydrofoil ship wing assemblies is determined.

Поступила в редакцию 04.09.2012

РАЗРАБОТАНО В ИЭС

## ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ МЕХАНИЧЕСКАЯ ПРОКОВКА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Упрочняющая высокочастотная механическая проковка (ВМП) сварных соединений является развитием технологий поверхностного пластического деформирования металлов и применяется для повышения служебных характеристик сварных соединений конструкций различного назначения прежде всего для повышения их сопротивления усталости. Поверхностное пластическое деформирование металла при ВМП осуществляется в результате механического импульсного действия ударных элементов ручного инструмента, возбуждаемых ультразвуковым генератором.



Для упрочнения сварных соединений в целях повышения сопротивления усталости при ВМП пластическому деформированию подвергается только зона сплавления шва с основным металлом шириной 4... 7 мм.

По сравнению с другими способами поверхностного пластического деформирования сварных соединений ВМП имеет следующие преимущества: высокую производительность и экономичность; компактность и мобильность оборудования; незначительную площадь обработки (зона перехода от металла шва к основному металлу); обработку в произвольном пространственном положении; возможность прогнозирования эффективности обработки; возможность использования на стадиях производства и эксплуатации конструкций.