

УДК 621.791.052 : [620.18+539.4] : 669.14.018.295.44

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПАРОПРОВОДОВ ИЗ ТЕПЛОУСТОЙЧИВЫХ ПЕРЛИТНЫХ СТАЛЕЙ

С.Н. Барташ, доц., к.т.н., Е.А. Есипов, студ.,
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Аннотация. Процесс повреждаемости сварных соединений из теплоустойчивых перлитных сталей обеспечивается действием механизмов ползучести и усталости, а также зависит от исходной структурной неоднородности сварных соединений.

Ключевые слова: повреждаемость, трещина, поры, усталость.

ВИЗНАЧЕННЯ ПОШКОДЖУВАНOSTІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ПАРОПРОВОДІВ З ТЕПЛОСТІЙКИХ ПЕРЛІТНИХ СТАЛЕЙ

С.Н. Барташ, доц., к.т.н., Е.А. Єсипов, студ.,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. На процес руйнування зварних з'єднань з теплостійких перлітних сталей впливає дія механізмів повзучості та втоми. Процес також залежить від вихідної структурної неоднорідності зварних з'єднань.

Ключові слова: пошкоджуваність, тріщина, пори, втома.

DEFINITION OF DAMAGEABILITY OF WELDED JOINTS OF STEAM PIPELINES MADE OF HEAT-RESISTANT PEARLITIC STEEL

S. Bartash, Assoc. Prof., Ph. D. (Eng.), Ye. Yesypov, St.,
Kharkov National Automobile and Highway University

Abstract. The process of destruction of welded joints made of heat-resistant pearlitic steel is affected by the mechanisms of creep and fatigue. The process also depends on the initial structural heterogeneity of welded joints.

Key words: damage, crack, itch, fatigue.

Введение

Изучение особенностей повреждаемости стареющих сварных соединений паропроводов ТЭС из теплоустойчивых Cr-Mo-V перлитных сталей позволяет уточнить их остаточный ресурс, что важно для экономики Украины. В условиях наработки энергоблоков свыше 200 тыс. ч увеличивается их маневренный режим работы, включающий меняющееся напряжение и температуру. Физические условия длительной эксплуатации обуславливают повреждаемость металла паропроводов, которая проявляется в ползучести и малоцикловой усталости. Повреждае-

мость сварных соединений паропроводов лимитирует их ресурс эксплуатации, составляющий 0,6–0,8 ресурса эксплуатации самих паропроводов. При эксплуатации модернизированного оборудования ТЭС отмечается тенденция увеличения маневренности, а также повышения рабочей мощности и температуры.

Анализ публикаций

Под повреждаемостью подразумевается процесс зарождения микропор и микротрещин, а также их развития в процессе эксплуатации сварных соединений из теплоустойчивых перлитных сталей. Микропоры образуются

при преимущественном обеспечении повреждаемости механизмом ползучести, а микротрещины – механизмом усталости. Под разрушаемостью подразумевается процесс распространения сформировавшихся на макроуровне трещин.

Изучению особенностей процесса разрушаемости металла паропроводов, обеспечиваемого совместным проявлением механизмов ползучести и усталости, посвящено ряд работ [1–6]. В известных исследованиях разрушаемость изучалась на стадии развития макротрещин, тогда как их повреждаемость, включающая зарождение микропор и микротрещин, практически не рассматривалась. Значительное количество работ посвящено изучению повреждаемости отдельно по механизмам – либо ползучести либо усталости [6–10].

Сварные соединения из теплоустойчивых перлитных сталей характеризуются определенной исходной структурной неоднородностью, устранение которой в полной мере не представляется возможным. Наличие неоднородности способствует в условиях ползучести увеличению интенсивности повреждаемости металла сварных соединений. Частичное уменьшение структурной неоднородности позволяет снизить уровень их повреждаемости и способствовать увеличению ресурса [9,10].

Работ, посвященных изучению повреждаемости сварных соединений на основе данных структурного фактора, применительно к их наработке свыше 200 тыс. ч мало. Изучение повреждаемости по критериям предельного состояния важно для определения остаточного ресурса сварных соединений.

Цель и постановка задачи

Цель работы – изучить зависимость процесса повреждаемости сварных соединений паропроводов, состоящих из теплоустойчивых перлитных сталей, от совместного действия механизмов ползучести и малоциклового усталости.

Результаты исследований и их обсуждение

При оценке повреждаемости использовали критерии, предусматривающие наличие трещин, имеющих критическую длину и харак-

теризующихся катастрофическим развитием, что вызывает разрушение сварных соединений [3–6]. Для предупреждения разрушений определяли критическую длину трещин, соответствующую максимальному малоциклового напряжению, а также интенсивность их роста в физических условиях эксплуатации сварных соединений.

В работах не учитывалась структурная неоднородность, а также структурные изменения, происходящие при эксплуатации сварных соединений, роль которых при их повреждаемости является определяющей. Для прогнозирования повреждаемости следует уточнить критерии критического развития трещин, а также критерии деформации в вершине трещины и степень деформации на пути ее развития. Такие критерии могут быть полезными для разработки закономерностей процесса повреждаемости и определения роли механизмов ползучести и усталости. При зарождении и развитии микроповреждаемости оценивалась роль стационарных и циклических напряжений и температур. Ползучесть и усталость являются взаимодополняющими факторами, обеспечивающими повреждаемость. Для описания поведения металла сварных соединений принимали принцип линейного суммирования ресурса сварных соединений [12]

$$\frac{N}{N_p} + \frac{\tau}{\tau_p} = 1, \quad (1)$$

где N_p – число циклов до разрушения при непрерывном циклировании; N – число циклов в исследуемых условиях нагружения; τ_p – время до разрушения при ползучести под действием стационарной нагрузки; τ – время нахождения при стационарной нагрузке в исследуемых условиях нагружения.

Общее суммирование повреждаемости считали линейным

$$P_n + P_y = 1, \quad (2)$$

где P_n – повреждаемость, обусловленная ползучестью металла; P_y – повреждаемость, обусловленная усталостью металла.

Заметим, что P_n и P_y существенно зависят от физических условий эксплуатации и могут в определенных пределах меняться.

Повреждаемость порами изучали на массиве 10 сварных соединений паропроводов свежего пара из стали 15Х1М1Ф, проработавших свыше 200 тыс. ч, и 9 – проработавших свыше 250 тыс. ч. Наиболее интенсивно в сварных соединениях после их наработки свыше 200 тыс. ч зарождение и развитие пор происходит на участке неполной перекристаллизации зоны термического влияния (ЗТВ), металл которого подвергается сварочному нагреву в области температур A_{C1} - A_{C3} . Менее интенсивно на других участках ЗТВ, а также в структуре металла шва и основного металла (рис. 1).

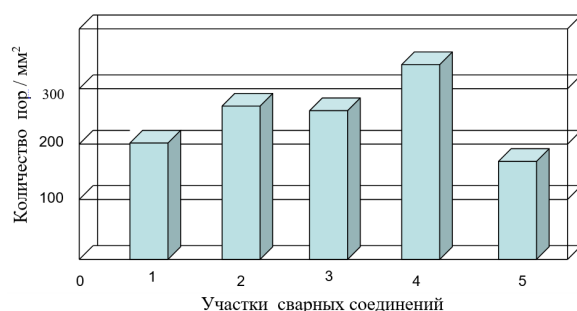


Рис. 1. Распределение плотности пор размером 0,5–1,5 мкм в сварных соединениях: 1 – область металла шва; 2 – участок сплавления; 3 – участок перегрева; 4 – участок неполной перекристаллизации; 5 – основной металл. Ресурс 250–270 тыс. ч

Наличие удлиненных зерен в структуре металла шва (рис. 2) способствует повышению плотности пор, образующихся на границах, что ускоряет их развитие и перерождение в трещины.

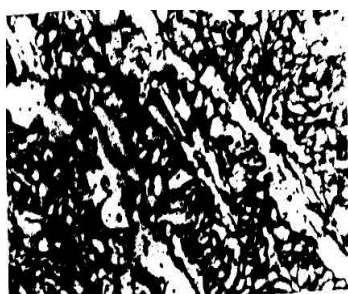


Рис. 2. Структура металла шва сварных соединений из стали 15Х1М1Ф, изготовленных по штатной технологии

Микропоры преимущественно зарождаются (до их перерождения в трещины) по границам зерен перпендикулярно растягивающим

напряжениям в наиболее деформированных участках сварных соединений.

Формально микропоры можно считать микротрещинами. Отличительной особенностью микропор от микротрещин является их округлая форма, близкая к шаровидной или эллипсоидной (рис. 3).

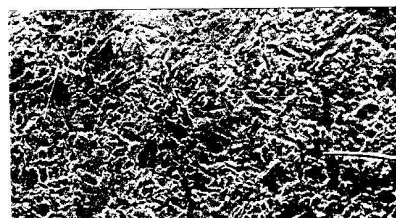


Рис. 3. Повреждаемость порами металла шва применительно к ресурсу эксплуатации 190 тыс. ч. Образцы предлагаемой технологии [9], $\times 2500$

Образование усталостных трещин обеспечивается действием циклических напряжений, а также температур.

Микротрещины усталости образуются как по границам зерен, так и по их телу, на участках наибольшей концентрации напряжений: в зоне перехода от одной толщины паропровода к другой; в зоне угловых швов штуцерных и тройниковых сварных соединений; от исходных концентраторов напряжений, непроваров, шлаковых включений, кристаллизационных трещин и др. Процесс развития усталостных трещин обеспечивается механизмами термомеханической, коррозионной циклической усталости. Повреждаемость происходит в внутреннем поверхностном участке сварных соединений паропроводов в виде сетчатого растрескивания, а также радиальных и продольных ветвящихся трещин (рис. 4).

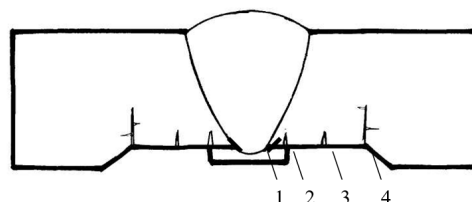


Рис. 4. Усталостные трещины, образующиеся в сварных соединениях паропроводов: 1 – на участке сплавления; 2 – на участке перегрева; 3 – на участке перекристаллизации; 4 – на сопряжении разнотолщинных элементов

Совместное проявление повреждаемости сварных соединений характеризуется преобладанием механизма ползучести или усталости, что зависит от конкретных физических условий эксплуатации. При увеличенном количестве циклов (пусков-остановов), превышении напряжений и температур их нормативных значений преобладает усталостный механизм повреждаемости. При стационарных нагрузках (близких к предусмотренным нормативной документацией) в процессе повреждаемости преобладает механизм ползучести.

Повреждаемость сварных соединений при совместном действии механизмов ползучести и усталости существенно зависит от их структурного фактора. Например, повреждаемость порами металла участка неполной перекристаллизации после 25 тыс. ч эксплуатации при наличии новых продуктов распада аустенита в виде перлита примерно на 40 % больше, чем в виде бейнита. При наличии на участке сплавления мягких ферритных прослоек интенсивность зарождения и развития здесь микротрещин будет более интенсивной, чем в структуре, где такие прослойки отсутствуют. Заметим, что сварные соединения с увеличенной структурной неоднородностью подвергаются большему действию коррозионного фактора, стимулирующего повреждаемость по механизму усталости.

Выводы

Установлено, что сварные соединения паропроводов из теплоустойчивой перлитной стали 15X1M1Ф с пониженной исходной структурной неоднородностью характеризуются низкой повреждаемостью микропорами и микротрещинами при их наработке свыше 200 тыс. ч.

Литература

1. Балашов Ю.В. К оценке долговечности деталей энергооборудования в переменных режимах эксплуатации / Ю.В. Балашов, Г.М. Новицкая // Проблемы прочности. – 1982. – №7. – С. 17–22.
2. Туляков Г.А. Долговечность металла при ползучести и низкотемпературной мало-

- цикловой усталости / Г.А. Туляков // Теплоэнергетика. – 1980. – №9. – С. 5–8.
3. Гудков А.А. Трещиностойкость стали / А.А. Гудков. – М.: Металлургия, 1989. – 374 с.
4. Ковпак В.И. Прогнозирование энергопрочности металлических материалов / В.И. Ковпак. – К.: Наукова думка, 1981. – 228 с.
5. Кудрявцев И.В. Усталость сварных соединений / И.В. Кудрявцев, Н.Е. Наумченков. – М.: Машиностроение, 1976. – 256 с.
6. Куманин В.И. Долговечность металла в условиях ползучести / В.И. Куманин, Л.А. Ковалёва, С.В. Алексеев. – М.: Металлургия, 1988. – 222 с.
7. Хромченко Ф.А. Ресурс сварных соединений паропроводов / Ф.А. Хромченко. – М.: Машиностроение, 2002. – 352 с.
8. К. Миллер. Ползучесть и разрушение / К. Миллер. – М.: Металлургия. 1986. – 118 с.
9. Дмитрик В.В. Моделирование структуры сварных соединений теплоустойчивых перлитных сталей / В.В. Дмитрик // Автоматическая сварка. – 2000. – №4. – С. 27–30.
10. Дмитрик В.В. К концепции зарождения пор в сварных соединениях при низкотемпературной ползучести / В.В. Дмитрик, А.И. Конык // Автоматическая сварка. – 2005. – №7. – С. 28–31.
11. Циклическая прочность, закономерности неупругого деформирования и зарождения микротрещин в стали 15X1M1Ф / В.Т. Трощенко, В.В. Покровский, П.В. Токарев, П.В. Ясный // Проблемы прочности. – 1993. – №7. – С. 17–23.
12. Смотрицкая Е.Г. Разрушение теплоустойчивых сталей в условиях совместного действия ползучести и малоцикловой усталости / Е.Г. Смотрицкая, В.И. Куманин // Теплоэнергетика. – 1986. – №5. – С. 63–65.

Рецензент: В.П. Тарабанова, доцент, к.т.н., ХНАДУ.