

## ОСОБЕННОСТИ ДЕГРАДАЦИИ МЕТАЛЛА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПАРОПРОВОДОВ ТЭС

В. В. ДМИТРИК, С. Н. БАРТАШ

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт».  
61002, г. Харьков, ул. Фрунзе, 21. E-mail: svarka126@ukr.net

Приведены особенности деградации структуры и повреждаемости металла сварных соединений паропроводов ТЭС длительно (более 250000 ч) эксплуатируемых в условиях ползучести и малоциклового усталости. Показано, что сварные соединения из сталей 15X1M1Ф и 12X1MФ повреждаются преимущественно по участкам сплавления, перегрева и неполной перекристаллизации металла в околосварной зоне, а также в местах соединения разнотолщинных трубных элементов. Библиогр. 13, табл. 1.

*Ключевые слова:* сварные соединения паропроводов, деградация, структура, трещины ползучести, трещины усталости, карбиды

Выявление особенностей деградации структуры металла сварных соединений паропроводов, длительно эксплуатируемых (>250000 ч) в условиях ползучести и малоциклового усталости, представляется актуальным, как эффект начальной стадии их повреждаемости. Повреждаемость паропроводов преимущественно происходит одновременно по механизму образования микропор ползучести и по механизму образования микротрещин усталости [1–4]. Сварные соединения паропроводов, характеризующиеся существенно увеличенной структурной, химической и механической неоднородности [1–4]. Сварные соединения паропроводов, характеризующиеся существенно увеличенной

### Виды повреждаемости сварных соединений паропроводов при их длительной эксплуатации (более 250 тыс. ч)

Зона повреждаемости. Вид трещин. Направление развития трещин	Металлографические особенности повреждаемости	Причины, вызвавшие повреждаемость
Трещины ползучести		
Участки сплавления, перегрева и неполной перекристаллизации металла ЗТВ, металл шва (МШ) и реже основной металл (ОМ). Трещины развиваются с наружной поверхности сварных соединений перпендикулярно оси элемента паропровода. Поперечные трещины образуются в сварных тройниках с утоненной стенкой штуцера.	По границам контакта 3-х или 2-х укрупненных зерен $\alpha$ -фазы, в местах контакта зерен с коагулирующими карбидами $M_{23}C_6$ . По границам зерен $\alpha$ -фазы, где находятся новые продукты распада аустенита в виде зернистого перлита (участок неполной перекристаллизации ЗТВ).	1. Конструкционные, вызванные высокой локальной концентрацией напряжений, в зонах контакта разнотолщинных элементов паропроводов. Наличие подрезов. 2. Технологические, вызванные наличием исходной браковочной структуры или структуры близкой к браковочной, что обусловлено увеличенным сварочным нагревом и термической обработкой, выполненной с нарушением требований нормативной документации (НД); не соответствием химического состава металла шва требованиям нормативной документации. 3. Эксплуатационные, вызванные условиями эксплуатации: отличием фактического состояния паропроводов от проектного; увеличением количества пусков-останов энергоблоков; повышенной скоростью разогрева в процессе пуска; условиями маневренного режима работы энергоблоков
Коррозионно-усталостные трещины		
Зоны контакта разнотолщинных трубных элементов, участки сплавления, перегрева и неполной перекристаллизации металла ЗТВ, МШ и ОМ (реже). Трещины развиваются с внутренней поверхности сварных соединений. Форма трещин: нитевидная, с разветвлениями, в виде затупленной трещины, заполненной продуктами коррозии; острые трещины с боковыми разветвлениями.	Образование трещин происходит по границам и по телу зерен с преобладанием одного или другого вида, что зависит от условий эксплуатации.	Зарождение и рост трещин вызывает совместное влияние на металл циклических термонапряжений и коррозионной среды, а также активируется деградацией структуры.

родностью, соответственно повреждаются значительно интенсивнее (кроме гибов), чем основной металл. Ресурс эксплуатации сварных соединений паропроводов составляет примерно 0,6...0,8 ресурса основного металла [2, 5–9, 11–12].

Повреждаемость сварных соединений паропроводов (таблица) обеспечивается технологическими, конструкционными и эксплуатационными факторами. При наработке сварных соединений свыше 250 тыс. ч особенности повреждаемости, выявляемые металлографическими методами, заметно отличаются от аналогичных особенностей повреждаемости сварных соединений, длительность эксплуатации которых составляет 60...200 тыс. ч [2, 10]. Структура металла участков ЗТВ сварных соединений паропроводов, а также металла шва и основного металла с различной интенсивностью превращается в феррито-карбидные смеси, которые отличаются: величиной зерен  $\alpha$ -фазы; уровнем полигонизации зерен; скоростью карбидных реакций  $M_3C \rightarrow M_7C_3 \rightarrow M_{23}C_6$ ; скоростью коагуляции карбидов I группы; уровнем сегрегации хрома и молибдена в приграничных зонах зерен  $\alpha$ -фазы; наличием мест, где границы зерен  $\alpha$ -фазы отходят от коагулирующих карбидов; локальной ликвидацией границ зерен  $\alpha$ -фазы, что можно рассматривать как начальную стадию первичной рекристаллизации [7, 9–10].

Изменение структуры металла длительно эксплуатируемых паропроводов обусловлено физико-химическими процессами, интенсивность которых в металле сварных соединений паропроводов является большей, чем в их основном металле [9–10, 13, 14]. Наличие разности градиентов химических потенциалов хрома и молибдена по сечению кристаллов  $\alpha$ -фазы вызывает их диффузионное перемещение в приграничные зоны кристаллов, что приводит к сеграционному явлению. Создаются условия для прохождения карбидных реакций  $M_3C \rightarrow M_7C_3 \rightarrow M_{23}C_6$ . Высвобождение углерода из  $M_3C$  и  $M_7C_3$  приводит к образованию новых карбидов II группы  $Mo_2C$  и  $VC$ . В карбидах количество молибдена приближается к 50 %.

Выявили, что карбиды  $VC$  практически не коагулируют при наработке сварных соединений (стали 15X1M1Ф и 12X1M1Ф) до 300000 ч. Имеет смысл уточнить способность к коагуляции карбида  $Mo_2C$ . Уменьшение хрома и молибдена в узлах кристалла  $\alpha$ -фазы снижает эффект торможения дислокаций, что приводит к полигонизации зерен  $\alpha$ -фазы (образование субзеренной структуры).

При локальном скоплении дислокаций возле границ зерен  $\alpha$ -фазы они могут частично проникать через границу и расходиться в другом зерне в виде вакансий, атомов замещения, а также перерезать удлиненные карбиды  $M_{23}C_6$ . Энергия границ зерен возрастает до уровня, способствующего образованию дислокаций в соседних зернах.

Наличие структурной, химической и механической неоднородностей приводит к большей степени деградации металла сварных соединений, чем основного металла. Для повышения надежности эксплуатации сварных соединений паропроводов и для увеличения их ресурса наработки целесообразно затормозить физико-химические процессы, которые происходят в их металле при длительной эксплуатации в условиях ползучести и малоциклового усталости, что представляется возможным путем применения сталей нового поколения.

1. Антикайн П. А. Металлы и расчет на прочность котлов и трубопроводов. – М.: Энергосервис, 2001. – 440 с.
2. Хромченко Ф. А. Ресурс сварных соединений паропроводов. – М.: Машиностроение, 1992. – 352 с.
3. Дмитрик В. В. Сварные соединения паропроводов. – Харьков.: Майдан, 2013. – 163 с.
4. Оценка остаточного ресурса сварных соединений трубопроводов ТЭС / В. В. Дмитрик, А. К. Царюк, А. А. Бугаец, Е. Д. Гринченко // Автомат. сварка. – 2006. – № 2. – С. 7–11.
5. Дмитрик В. В. К ползучести сварных соединений из низколегированных  $Cr-Mo-V$  теплоустойчивых перлитных сталей // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2004. – №6. – С. 88–92.
6. РД 135-34. 1-003-01 (РТМ-1с). Сварка, термообработка и контроль трубных систем котлов и трубопроводов при монтаже и ремонте энергетического оборудования. – М.: НПО ОБТ, 2001. – 72 с.
7. Анохов А. Е., Алексеева И. А. Накопление повреждений в сварных соединениях паропроводов из стали 12X1M1Ф в процессе ползучести // Свароч. пр-во. – 1982. – № 9. – С. 34–35.
8. Хромченко Ф. А. Надежность сварных соединений труб, котлов и паропроводов. – М.: Энергоиздат, 2001. – 214 с.
9. Тонкая структура зоны термического влияния при сварке стали 15X1M1Ф / Т. Г. Березина, Э. Р. Бородина, Л. А. Ашихмина, А. З. Лепехин // Автомат. сварка. – 1974. – № 12. – С. 19–22.
10. Особенности структурных изменений в сварных соединениях стали 15X1M1Ф при ползучести / Ф. А. Хромченко, Р. И. Калугин, В. А. Лаппа, И. В. Федина // Свароч. пр-во. – 1999. – № 10. – С. 12–15.
11. МУЗ-70-161–87. Методические указания по металлографическому анализу при оценке качества и исследования причин повреждений сварных соединений паропроводов из стали 12X1M1Ф и 15X1M1Ф тепловых электростанций. – М.: ВТИ им. Ф. Э. Дзержинского, 1987. – 190 с.
12. Типовая инструкция по контролю и продлению службы металла основных элементов котлов, турбин и трубопроводов тепловых электростанций. РД 34.17.421–92. – М.: Служба передового опыта ОРГРЭС, 1992. – 94 с.
13. Дмитрик В. В., Шелепов И. Г. К оценке остаточного ресурса сварных соединений паропроводов ТЭС по структурному фактору // Энергетика и Электрофикация. – 2005. – № 9. – С. 41–43.

Поступила в редакцию 20.05.2014