

УДК 621.791.72: 621.791.052: 620.17

С. Н. БАРТАШ

Украинская инженерно-педагогическая академия, г. Харьков, Украина

**СТРОЕНИЕ ИЗЛОМОВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПАРОПРОВОДОВ**

*Изучено строение изломов сварных соединений из теплоустойчивых перлитных сталей, которые длительно эксплуатируются в условиях ползучести и малоциклового усталости, позволило уточнить механизм их разрушения*

*Вивчення будови ізломів зварних з'єднань з теплостійких перлітних сталей, які довготривало експлуатуються в умовах повзучості та малоциклової втоми, дозволило уточнити механізм їх руйнування.*

**Введение**

Усиление маневренного режима эксплуатации энергоблоков ТЭС, наработка которых составляет свыше 200000 ч, характеризуется существенным увеличением интенсивности разрушаемости их сварных соединений. Сварные соединения паропроводного тракта в основном изготавливают из сталей 12X1MФ и 15X1M1Ф. Переход энергоблоков ТЭС на маневренный режим обусловлен меняющейся потребностью использования электроэнергии, а также износом энергетического оборудования.

Повреждаемость длительно эксплуатируемых сварных соединений происходит по двум механизмам: ползучести и малоциклового усталости. Уточнение особенностей механизмов повреждаемости целесообразно для снижения интенсивности самой повреждаемости сварных соединений, что существенно повысит их ресурс.

**Основная часть**

Изучение микростроения поверхности изломов сварных соединений, для диагностирования усталостного разрушения, проводилось с использованием методов электронной фрактографии. Выявлялась последовательная смена характерных фрактографических особенностей повреждаемости, что позволило внести коррективы в ее стадийность.

Механизм малоциклового усталости изучаемых сварных соединений реализуется в условиях действия рабочих напряжений и температур, поэтому изломам частично присущи особенности строения похожие на типично усталостные изломы [1, 2]. Например, изломы имеют заметные следы пластического деформирования, наибольшие – в зоне долома. При повторно-статических нагружениях в зоне развития трещины наблюдаются бороздки и линии – знаки, а также участки хрупкого проскальзывания, где развитие трещины локально ускоряется. Такие участки вначале имеют вид нечетких колец, переходящих в площадки, что характеризует стадийность развития трещины.

Изломы повторно-статического нагружения сварных соединений отражают тенденцию эволюции структуры при длительной эксплуатации в условиях изменения частоты нагружения и термоциклирования, что и определяет стадийность повреждаемости сварных соединений. Поэтому, установление по излому зависимости разрушаемости от изменения структуры сварных соединений, представляется актуальной задачей.

Изучение микростроения усталостных изломов сварных соединений увязывалось с конкретными участками их микроструктуры. Учитывались также и особенности структурных изменений, происходящие в металле сварных соединений при их длительной эксплуатации, приводящие к зарождению трещин, протекающие при зарождении трещин и сопутствующие их развитию.

Принималось к сведению, что образовавшиеся микропоры и микротрещины раскрываются в процессе развития магистральной трещины, что фиксируется поверхностью излома в виде соответствующего микрорельефа.

Изучение микростроения усталостных изломов позволило подтвердить положение [1], что ориентация бороздок совпадает с направлением плоскостей скольжения в пределах зерна  $\alpha$  – фазы и претерпевает изменения при переходе через границы зерен. Наблюдаемые в изломе рельефные сплошные бороздки являются микронадрывами на его поверхности. При слиянии, развивающихся вдоль соседних плоскостей микротрещин, бороздки располагаются в виде

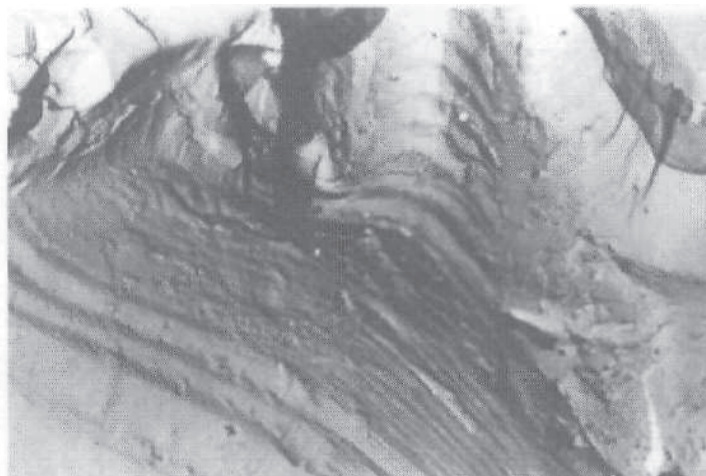


Рис. 1. Фестанчатое расположение бороздок в зоне развития усталостной трещины (участок сплавления ЗТВ). х9000

Увеличение числа циклов, особенно после наработки сварных соединений свыше 250000ч, способствует превращению микротрещин в магистральную трещину, что характеризуется разрушением перемычек между террасами, рис. 2

Бороздки, пересекающие соседние террасы, связаны с микронесплошностями металла. Сплошные рельефные бороздки рассматривались как микронадрывы на поверхности излома, образующиеся локально вдоль плоскостей скольжения, рис. 3. Образование бороздок представляется схемой, рис. 4 [1].

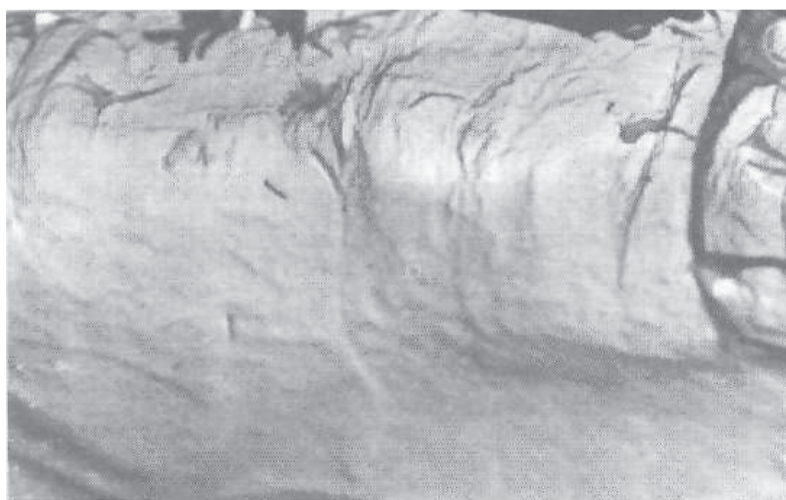


Рис. 2 . Рельефные изогнутые бороздки, расположенные в зоне ускоренного развития усталостной трещины (участок сплавления ЗТВ). х7650

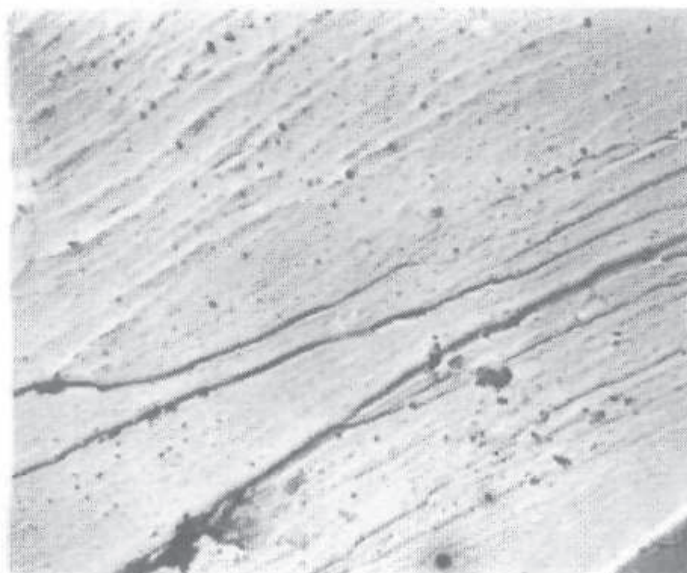


Рис. 3. Хаотично развитый рельеф в зоне ускоренного развития усталостной трещины. Наплавленный металл.  $\times 4000$

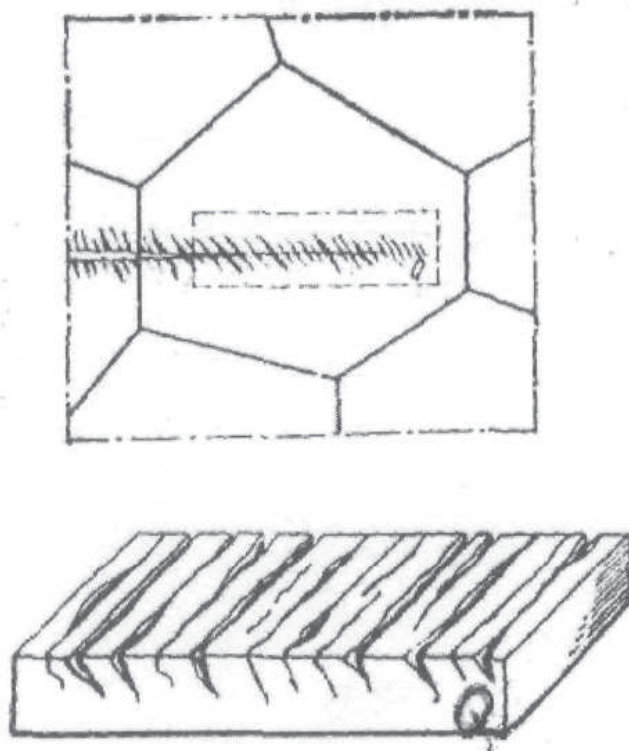


Рис. 4. Схема образования усталостных бороздок: Q – сечение, расположенное перпендикулярно развитию трещины

В условиях малоциклового усталости эволюция дислокационного строения приводит к образованию, наряду с ячеистой, элементов полосовой структуры. Такая структура, с различной степенью развитости, отличается как на поверхностном участке металла, так и по его глубине. Известно, что полосовая структура корелирует с линиями скольжения, рассматриваемые как микронадрывы, развивающиеся при дальнейшем циклировании в микротрещины, рис.3. Сами бороздки непосредственно связаны с дислокационными стенками полосовой структуры, представляющие вытянутые, ориентированные вдоль плоскостей скольжения участки с критической плотностью дислокаций, что рассматривается, как предразрушение.

Допускали, как в работе [1], что увеличение шага бороздок, при повышении скорости роста трещины, относится только к рельефным бороздкам (микронадрывы, образующиеся при остановке трещины в ее дискретном движении).

При медленном росте усталостной трещины, образующиеся на поверхности излома бороздки, связаны непосредственно с локальным предразрушением полосовой структуры. Процессу образования бороздок предшествует обеднение  $\alpha$ -фазы легирующими элементами Сг, Мо, и Мп. Такой процесс является двухстадийным: 1) образование микроповреждений металла перед вершиной трещины; 2) развитие трещины путем ее взаимодействия с микротрещинами и микропорами.

Тонкие слаборельефные бороздки в малоцикловых изломах чередуются с бороздками, имеющими увеличенную рельефность см. рис. 3. В зоне медленного развития трещины присутствуют только бороздки со слабым рельефом, имеющие частично прерывистое строение, рис. 5.

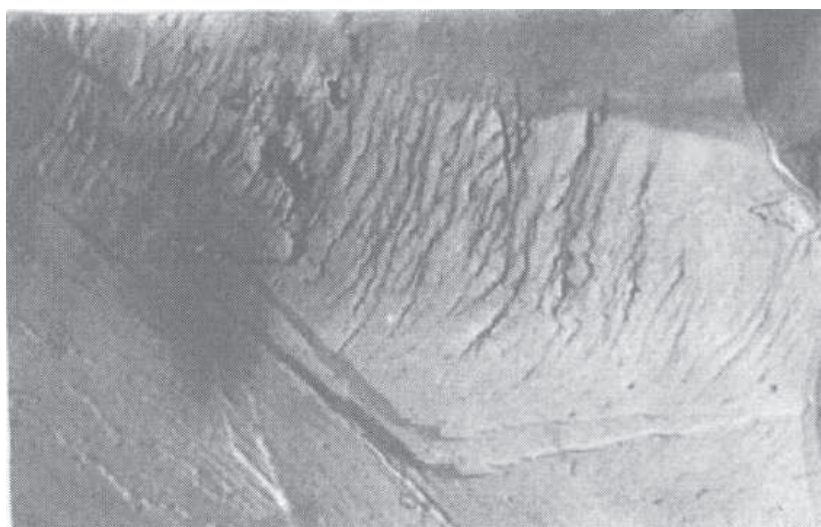
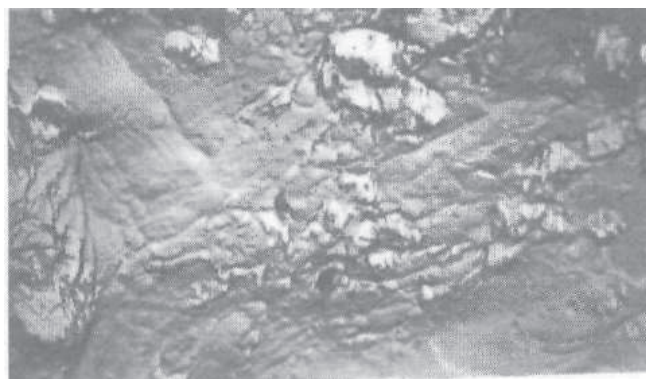


Рис. 5. Прерывистые бороздки в зоне медленного развития трещины. Наплавленный металл.  $\times 9000$

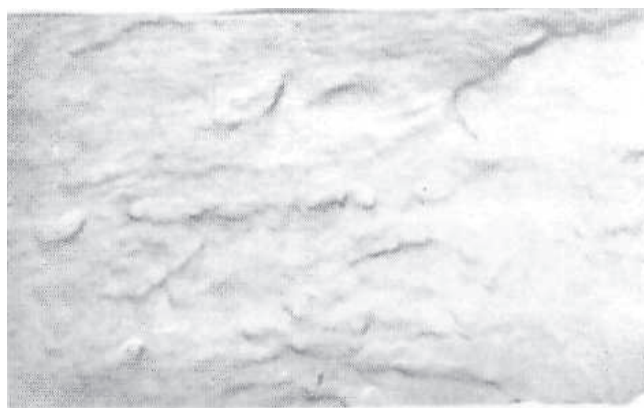
Рельефность поверхности излома заметно отличается, что подтверждает различную степень деформации зерен  $\alpha$ -фазы и соответствует локальному сосредоточению бороздок, рис. 5. Расстояние между слаборельефными бороздками находится в пределах  $0,03 - 0,2$  мкм и не претерпевает заметного увеличения при удалении от вершины трещины. Однако, шаг бороздок по длине трещины растет примерно от  $0,2$  мкм до  $5$  мкм.

Приведенные данные позволили установить прерывистый характер роста рассмотренных усталостных трещин. В зоне, расположенной перед фронтом трещины образуются линии скольжения, характеризующие истощение пластичности металла, что и вызывает скачкообразное развитие трещины. Микропоры и микротрещины, расположенные внутри этой зоны, трещина проходит без остановки, оставляет на поверхности излома тонкие рельефные бороздки. Установили, что увеличение шага рельефных бороздок зависит не только от увеличения напряжений при распространении трещины, но и от положения плоскости линии скольжения, т.е. от состояния структуры сварных соединений. С полосовой структурой связаны не только бороздки, но и расслоения по плоскостям скольжения, рис.5.

В зоне медленного развития трещины наблюдаются локальные расслоения с малорельефными образованиями, рис.6, имеющими структуру, называемую сетчатой [3], а также гладкие поля расслоения.



а)



б)

Рис. 6. Микроструктура зон медленного развития усталостной трещины. Наплавленный металл. х4000: а) сетчатая структура; б) гладкие поля расслоений, образовавшиеся по плоскостям скольжения

Зона ускоренного развития трещины характеризуется увеличенным числом рельефных бороздок. Здесь имеются участки с хаотичным рельефом, рис. 7, имеющие заметные следы пластической деформации.

В этой зоне могут находиться и локальные участки с ямочным рельефом, появление которых можно объяснить наличием сорбита. Встречаются также поля с малорельефным полосчатым строением, рис.6, что характерно для нижнего бейнита.

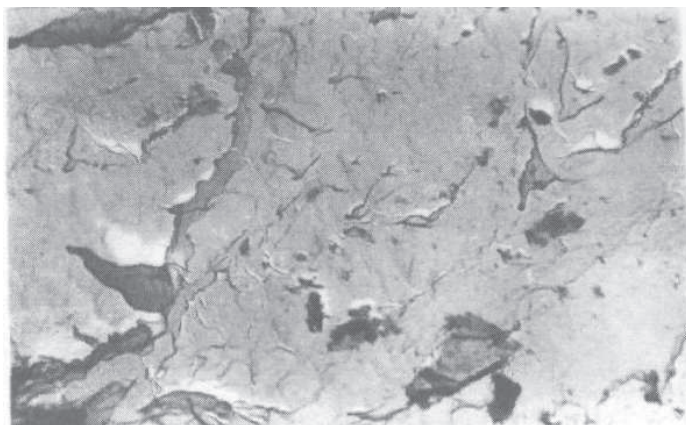


Рис. 7. Хаотично развитый рельеф в зоне ускоренного развития усталостной трещины в наплавленном металле. х7500

**Выводы**

На основе рассмотренных особенностей поверхностей изломов можно утверждать, что образование бороздок связано со структурными превращениями, происходящими в металле сварных соединений при их длительной эксплуатации в условиях ползучести и малоциклового усталости. А именно, с полигонизацией зерен  $\alpha$  – фазы, интенсивность которой необходимо уменьшить.

Поры в большинстве, располагались возле коагулирующих карбидных выделений  $M_{23}C_6$ . При увеличивающейся интенсивности повреждаемости металла участка сплавления ЗТВ, после 270000 ч эксплуатации, возрастающая роль принадлежит мягким ферритным прослойкам. Прослойки состоят из цепочек укрупненных (3-4 баллы, ГОСТ 5639-82) или локально сгруппированных более мелких ферритных зерен на участке сплавления зоны термического влияния, что придает существенное различие свойств металлу данного участка, рис. 8.

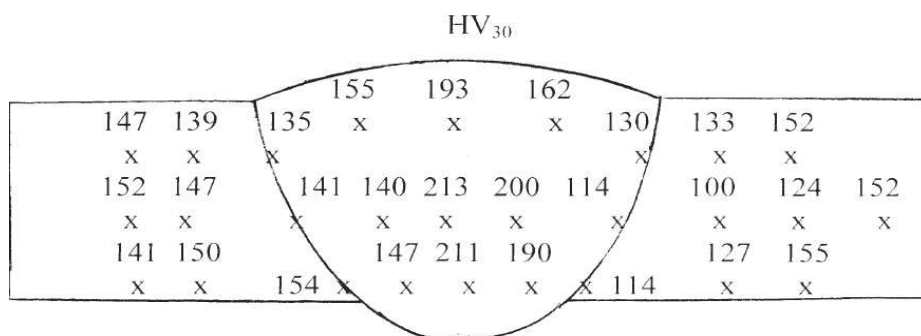


Рис. 8. Схема распределения твердости в сварном соединении

Изучение морфологии поверхности разрушения позволило выявить прерывистый характер роста усталостных трещин, что можно объяснить наличием перед фронтом развития трещин линий скольжения и истощением пластичности металла длительно эксплуатируемых сварных соединений.

**Список литературы**

1. Фрактография – средство диагностирования разрушения деталей /М. А. Балтер, А. П. Любченко, С. И. Аксенова и др. – М.: Машиностроение, –1987. – 159 с.
2. Гордеева Т. А., Жегина И. П. Анализ изломов при оценке надежности материалов. – М.: машиностроение, 1078. – 199 с.
3. Дмитрик В. В., Барташ С. Н., Шелепов И. Г. К особенностям повреждаемости сварных соединений паропроводов в условиях ползучести //Энергосбережение · Энергетика · Энергоаудит. – 2007. – № 3. – С. 78–84.

**STRUCTURE OF FRACTURES OF THE WELDED CONNECTIONS OF STEAM LINE**

S. N. BARTASH

Ukrainian engineer-pedagogical academy, Kharkov, Ukraine

*The structure of fractures of the welded connections from thermostable pearlitic steels, which are protractedly exploited in the conditions of creep and little cycles fatigue, is studed to specify the mechanism of their destruction*

Поступила в редакцию 11.02 2010 г.