

# ВЛИЯНИЕ МЕХАНИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННУЮ НАДЕЖНОСТЬ ТРУБ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ТЕРМОУСТАЛОСТИ

В. С. ИВАНОВА, В. Н. ГЕМИНОВ,  
З. Г. ФРИДМАН и Я. ГИНСТЛЕР\*

Имет А. Н. СССР

\*Технический Университет Будапешт

Поступило 20. I. 1981 г.

Представлено проф. др. Я. ПРОХАСКА

Большая часть ответственных деталей теплоэнергетического оборудования работает в условиях воздействия высоких температур, агрессивных сред, комплекса постоянных и переменных механических и тепловых нагрузок. Нестационарность рабочих режимов труб котельных агрегатов связана в первую очередь с периодом пуска и остановки, но также проявляется и в периоды базовой эксплуатации ТЭЦ.

Именно нестационарность — многократные резкие изменения температур и напряжений во многих случаях приводят к преждевременному (ранее рассчитанного по стационарным условиям) выходу из строя деталей теплоэнергетического оборудования: долговечность в этих случаях определяется совместным действием механической и термической усталости [1—4]. Трещины во многих узлах обнаруживаются после  $10^2—10^5$  циклов [1—5].

Требования экономики и надежности теплоэнергетических агрегатов приводят к необходимости изыскания новых путей повышения эксплуатационной надежности применяемых сталей. Ранее в лабораторных условиях были разработаны эффективные пути субструктурного упрочнения металла посредством термомеханического воздействия, т. е. комбинации деформации и термической обработки [6—14], позволяющие получить значительно более высокие характеристики прочности и жаропрочности, чем традиционные методы термической обработки, и тем самым снизить металлоемкость и повысить долговечность отдельных деталей и целых конструкций.

В частности эффективным методом повышения работоспособности паропроводных труб является метод механико-термической обработки (МТО), заключающийся в деформации труб предготового размера со степенью относительной деформации 8—12% и последующим полигонизационным отжигом в дорекристаллизационном интервале температур  $600^\circ$ .

Сущность МТО сводится к созданию в материале полигональной структуры устойчивой при длительных сроках службы и способствующей

щей равномерное распределение выделений в процессе работы материала под нагрузкой.

В настоящей работе изложены некоторые результаты лабораторного и промышленного исследования влияния МТО на сопротивление термической усталости стали 12Х1МФ широко применяемой в теплоэнергетике для изготовления пароперегревательных труб. Общепринятая технология котельных труб из стали 12Х1МФ заключается в нормализации (950—1300°) с последующим высоким отпуском (720—750 °С). Исходя из результатов ранее проведенных в лаборатории прочности ИМЕТ АН СССР исследований [14], были выбраны следующие режимы МТО: холодная пластическая деформация труб предготового размера на 10% при 565 °С и последующий полигонизационный отжиг 565 °С, 10 часов.

В результате указанной обработки значительно измельчаются зерна и образуется четкая полигональная структура металла. В процессе длительной эксплуатации труб полигональный характер структуры сохраняется, выделения карбидов значительно мельче и равномернее, чем после обычной термической обработки.

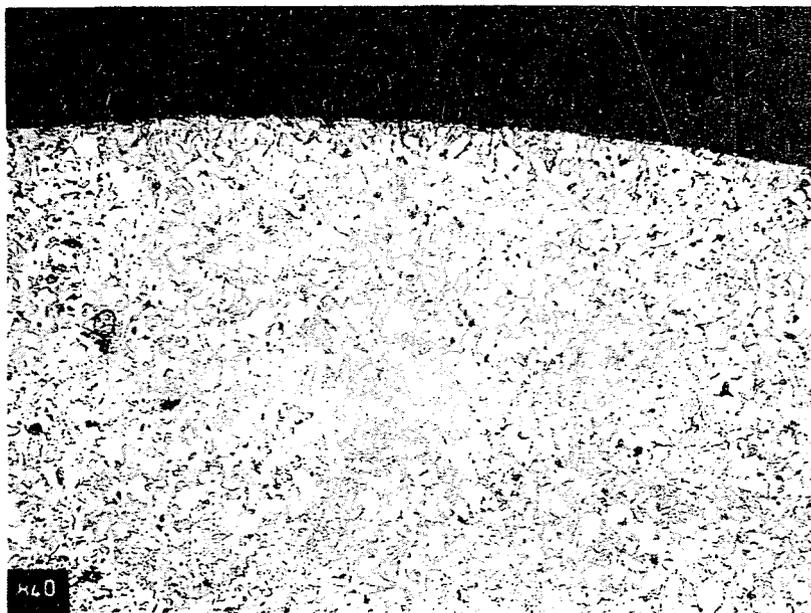
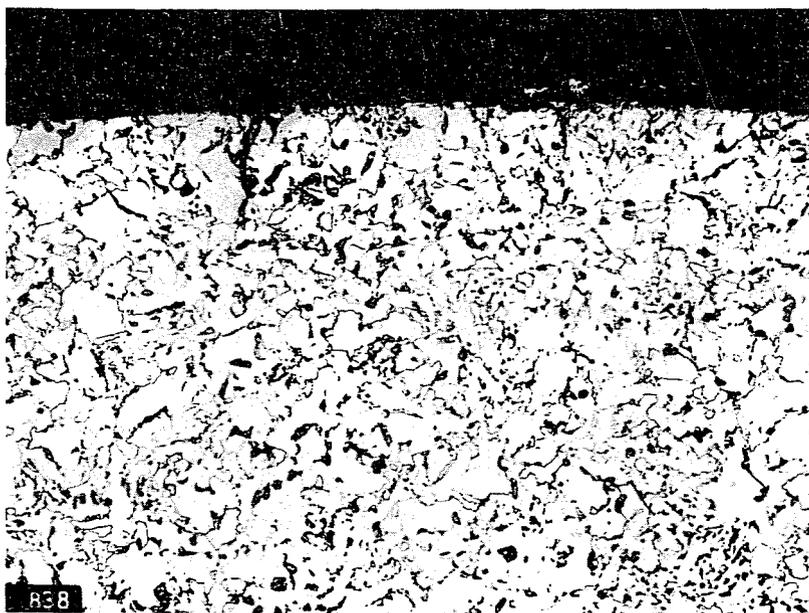
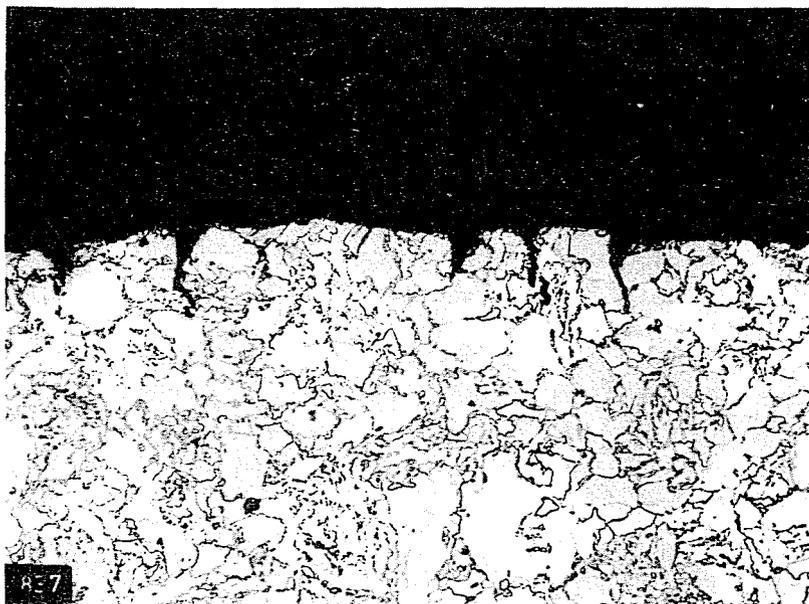


Рис. 1. Влияние МТО на развитие трещин в стали 12Х1МФ при термоциклировании, (увеличение: 200×)



а — исходная структура, б — без МТО, 500 термоциклов, в — после МТО, 700 термоциклов

Сопротивление термоусталости исследовалось двумя методами: до появления трещин определенных размеров (1,0 мм), изменяя температуру от 20 до 600 °С и до разрушения при котором определяли разрушающее число циклов  $N_p$ . Эксперименты проводились при нагреве проходящим током в первом случае — на сплошных гладких, цилиндрических образцах с охлаждением водой, а во втором случае на корсетных образцах с охлаждением сжатым воздухом по заданному циклу.

Проведенные эксперименты показали, что сталь 12Х1МФ в исходном состоянии выдержала до прорастания трещины на 1 мм 500—580 термоциклов, а после МТО — 700—740, т. е. примерно на 40 % больше циклов (рис. 1) [15—16].

Проведенные электронномикроскопические исследования тонкой структуры стали 12Х1МФ в разных сечениях после длительной службы в эксплуатационных условиях, которые показали положительный эффект МТО.

В стали без МТО после 16000 час. происходит процесс укрупнения и неупорядоченного выделения карбидов. У стали, подвергнутой МТО, даже после более длительного срока эксплуатации не обнаружены укрупненные карбиды, т. к. их выделение происходит на дислокационных стенках тормозящих их укрупнение. Повышение долговечности после МТО в условиях термоциклирования можно связать с торможением укрепления частиц вторых фаз (карбиды, нитриды), которое снижает концентрации микролокальных напряжений при термоциклировании (которые возникают из-за различия термических коэффициентов расширения матрицы и включения). Следовательно, МТО уменьшает возможность как зарождения, так и распространения роста трещины. Эксплуатационные испытания, проведенные на промышленных котлах, подтвердили, что упрочненные МТО трубы могут использоваться с меньшей толщиной стенки по сравнению с неупрочненными при одинаковом ресурсе работы. Таким образом МТО снижает металлоемкость энергоустановок и значительно улучшает условия теплопередачи. Возможность повышения эксплуатационной долговечности металла за счет МТО связана также и со значительным повышением его окалиностойкости, которое объясняется большей равномерностью создаваемой структуры.

## Резюме

Проведенный комплекс исследований показывает безусловные эксплуатационные преимущества металла, подвергнутого МТО; при этом экономия, создаваемая снижением металлоемкости конструкции и увеличением их срока службы, превышает повышение стоимости материала, связанное с некоторым усложнением технологии обработки.

## Литература

1. Туляков, Г. А.: Термическая усталость в теплоэнергетике. М., Машиностроение, 1978
2. Гуляев, В. Н.: Металл в теплоэнергетических установках. М., 1969
3. Конопленко, В. П.—Туляков, Г. А. и др.: Исследование термоусталости некоторых конструкционных жаропрочных сталей на образцах малых размеров. Проблемы прочности, 1974, № 3, с. 76—79
4. Мэнсон, С.: Температурные напряжения и малоцикловая усталость. Перевод с англ. Машиностроение. М., 1974
5. Свойства сталей и сплавов, применяемых в котлотурбостроении, часть 1, вып. 16. Ленинград, 1966
6. Одинг, И. А.—Иванова, В. С.: Способ термомеханической обработки металлов и сплавов. Авторское свидетельство № 143825. Бюл. изобретений, 1962, № 1.
7. Одинг, И. А.: Теория дислокаций и ее применение. Изд-во АН СССР, 1959
8. Одинг, И. А.—Зубарев, П. В.—Фридман, З. Г.: Полигонизация в металлах МИТОМ, 1961, № 1
9. Иванова, В. С.—Гордиенко, Л. К.: Новые пути повышения прочности металлов., М., Наука, 1964
10. Гордиенко, Л. К.: Субструктурное упрочнение металлов и сплавов. М., Наука, 1973
11. Одинг, И. А.—Фридман, З. Г.—Зубарев, П. В.: Механикотермическая обработка металлов как метод повышения жаропрочности металлов. Сб. Металлы в современных энергоустановках. БТИ ОРГРЭС, 1969
12. Гуляев, Г. И.—Фридман, З. Г.—Можаренко, И. П.: Жаропрочные свойства труб из стали 12Х1МФ, упрочненных МТО, МИТОМ, 1976, 1—4
13. Иванова, В. С.—Злепко, В. Ф.—Фридман, З. Г. и др.: Исследование надежности пароперегревательных труб из стали 12Х1МФ, упрочненных методом механико-термической обработки. М., Теплоэнергетика, № 4, с. 68—71, 1978
14. Иванова, В. С.—Гордиенко, Л. К.—Фридман, З. Г.: МТО как метод повышения жаропрочности металлов и сплавов. ФХММ. № 1, 1966
15. Гинстлер, Я.: Исследование связи между термической усталости и фрактографическими параметрами котельных сталей, Кандидатская диссертация, Москва—Будапешт, 1980
16. GINSZTLER, J.: Assessment of thermal fatigue resistance of some boiler steels. Fourth International Conference on Pressure Vessel Technology, London, 19—23. May, 1980. Vol. I. p. 335—338

др. В. С. ИВАНОВА  
В. Н. ГЕМИНОВ  
З. Г. ФРИДМАН

Имет А. Н. СССР, 117334 Москва  
Ленинский пр. 49.

dr. János GINSZTLER, H-1521 Budapest Department of  
Electrical Materials Technology