

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ 12Х1МФ

И.В. ВЛАСОВ¹, Р.Б. МУХОРЬЯНОВ^{1,2}

¹ Томский политехнический университет

² Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

E-mail: muhoryanov@gmail.com

INCREASED FATIGUE LIFE OF STEEL 12CRMOV BY ULTRASONIC TREATMENT

I.V. VLASOV, R.B. MUKHORYANOV

¹ Tomsk Polytechnic University

² Institute of Strength Physics and Materials Science

E-mail: muhoryanov@gmail.com

Annotation. Increased fatigue life of steel 12CrMoV by ultrasonic treatment. We researched the structure using an optical microscope. We tested at static tension and fatigue life of steel 12CrMoV.

Введение

Одним из наиболее эффективных способов повышения срока службы деталей является поверхностное пластическое деформирование. Ультразвуковая обработка повышает твердость поверхности стальных изделий, снижает шероховатость поверхности и создает остаточные сжимающие напряжения, обеспечивает повышение износостойкости стали, ее циклической прочности, а также повышает рабочий ресурс различных изделий машиностроения.

В качестве объекта исследований использована теплостойкая сталь 12Х1МФ. Она применяется для изготовления изделий энергетического оборудования, эксплуатируемых при температурах 540-580 °С. Основной причиной выхода её из строя является разрушение вследствие термомеханической усталости. Таким образом, разработка методов повышения усталостной долговечности стали 12Х1МФ является актуальной задачей.

Целью работы являлось исследование влияния ультразвуковой обработки на структуру и механические свойства стали 12Х1МФ [1, 2].

Материал и методика исследований

В качестве материала исследований была выбрана теплостойкая сталь 12Х1МФ изделия из этой стали предназначены для эксплуатации при высоких температурах (570...585°С) [5]. Из фрагмента трубы паропровода электроискровым методом вырезали плоские образцы размером 70×10×1 мм. Для проведения статического растяжения и усталостных испытаний в качестве концентратора напряжений в образцах изготавливали (высверливали) отверстие диаметром 2 мм на расстоянии 50 мм от одного из краев.

Микроструктуру исследовали путем химического травления с использованием 2 % раствора азотной кислоты. Изображения поверхности образцов получали с помощью оптического микроскопа EPIQUANT.

Испытания на статическое растяжение проводили на электромеханической испытательной машине Instron 5582, а на циклическое растяжение с помощью сервогидравлической испытательной машины Biss UTM 150. В процессе усталостных испытаний для получения оценки деформации оптическим методом и caracteriza-

ции деформационного рельефа на поверхности проводили ее фотосъемку с помощью фотоаппарата Canon EOS 550D.

Микротвёрдость измеряли с помощью прибора ПМТ-3 с нагрузкой 100 г на плоской поверхности и по поперечному сечению образцов до и после ионно-лучевой обработки. Значения микротвёрдости получены на основе статистической обработки не менее 20 уколов.

Испытания на усталостную долговечность проводили при циклическом растяжении в режиме многоциклового усталости (МнЦУ) с параметрами: Асимметрия цикла $R=0,1$, $F_{max}=320$ МПа, $F_{min}=32$ МПа, частота 20 Гц.

Результаты экспериментов

Исследования структуры

Структура образца без в состоянии поставки (Рисунок 1. а), поверхность образца после ультразвуковой обработки (Рисунок 1. б), поперечный шлиф образцов после ультразвуковой обработки (Рисунок 1. в,г)

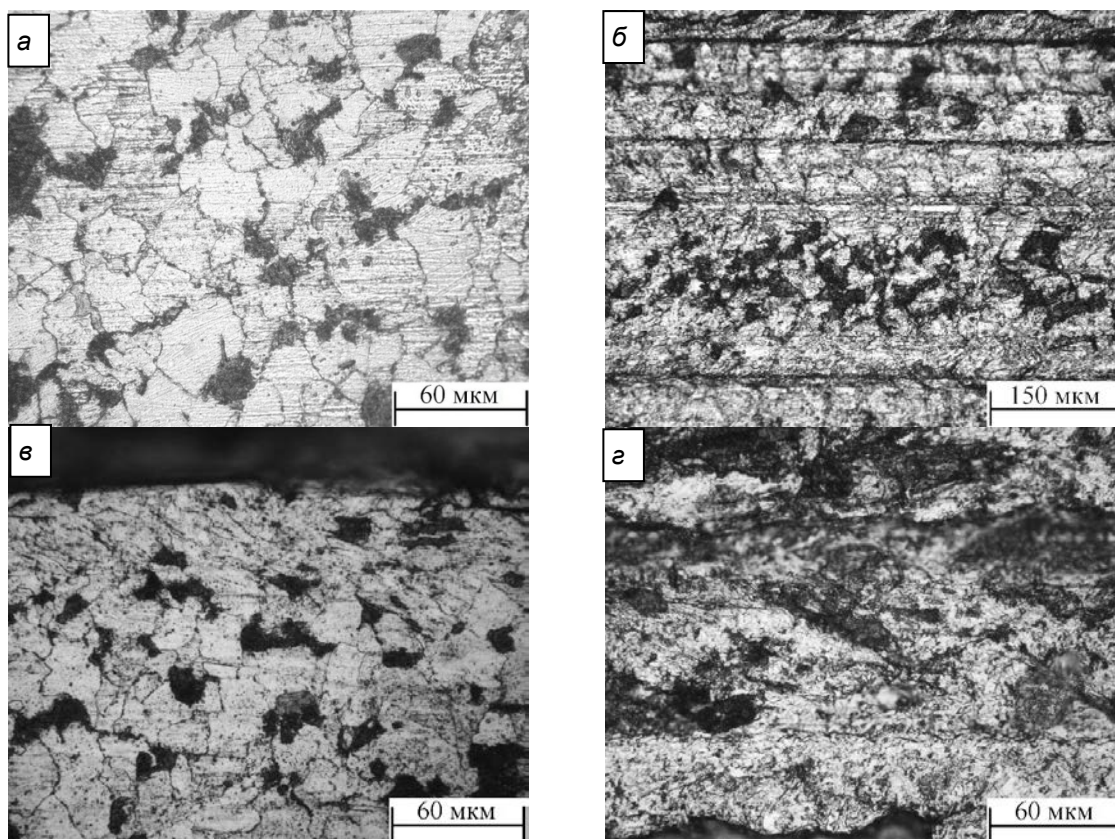


Рисунок 1 - Фотографии структуры образцов (вид сверху) в исходном состоянии (а,в) и после ультразвуковой обработки(б,г), полученные с поверхности

Микротвёрдость

Микротвёрдость с поверхности образцов без обработки составляет $1,7\pm 0,2$ ГПа. Микротвёрдость с поверхности образцов после ультразвуковой обработки составляет $2,7\pm 0,14$ ГПа. Измерение микротвёрдости по глубине образцов после обработки показало ее увеличение на глубине 40...50 мкм от поверхности до значения $2,2\pm 0,16$ ГПа, последующее уменьшение (50...100 мкм) до значений по-

рядка $2 \pm 0,30$ ГПа и постоянство на уровне, который превышает микротвёрдость образцов в состоянии поставки. Результаты измерений (табл. № 1).

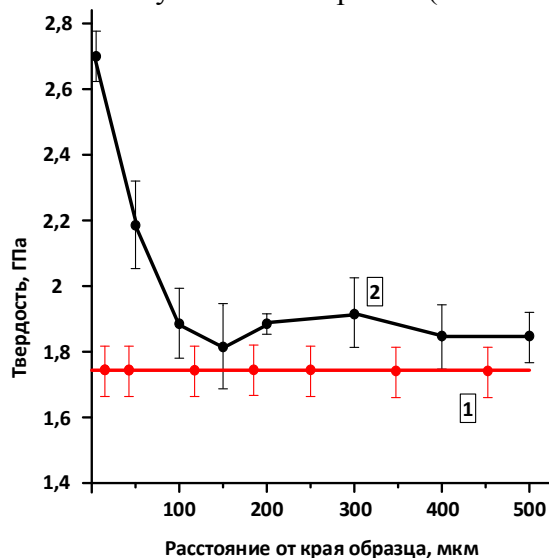


Рисунок 2 - Изменение микротвёрдости по глубине, как функции расстояния от края образца стали 12Х1МФ без (кривая 1) и после ультразвуковой обработки (кривая 2)

Таблица 1 – Значение микротвёрдости

| Тип образца | Твёрдость, ГПа | Изменения твёрдости относительно исходного образца, % |
|---|-----------------|---|
| Исходный | $1,7 \pm 0,2$ | - |
| После обработки (с поверхности) | $2,7 \pm 0,14$ | $\uparrow 58,8$ |
| После обработки (поперечный шлиф, середина образца) | $1,84 \pm 0,17$ | - |

Статическое растяжение, испытания на усталость

Проведены испытания по статическому растяжению образцов с отверстием, имеющих такую же форму, как образцы для циклического растяжения (Рисунок 3). Показано, что образец без обработки имеет предел прочности $\sigma_B = 426$ МПа, относительное удлинение $\epsilon = 15\%$; образец, подвергнутый ультразвуковой обработке, имеет предел прочности $\sigma_B = 483$ МПа, относительное удлинение $\epsilon = 14\%$. Таким образом, в результате ультразвуковой обработки образцов стали 12Х1МФ предел прочности повысился на 13 %, относительное удлинение снизилось на 7 %.

Таблица 2 - Результаты испытаний образцов с двойной рабочей областью на растяжения

| Тип образца | Относительное удлинение, % | Предел прочности, МПа |
|----------------------|----------------------------|-------------------------|
| В состоянии поставки | 14,9 | 426 |
| После обработки | 14,1 ($\downarrow 7\%$) | 483 ($\uparrow 14\%$) |

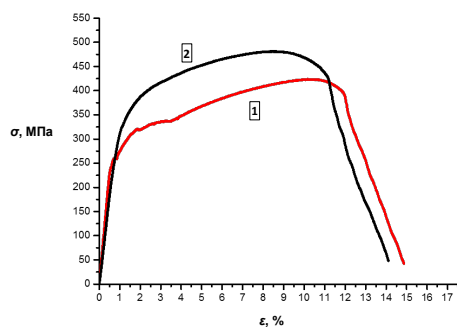


Рисунок 3 - Диаграммы нагружения образцов (кривая 1) при растяжении образцов в состоянии поставки и (кривая 2) образцы после ультразвуковой обработки

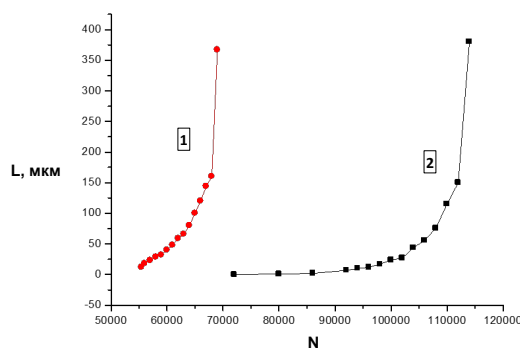


Рисунок 4 - График роста трещины от количества циклов; 1) образец без обработки; 2) после УЗО

В ходе усталостных испытаний (Рисунок 4) были определены средние значения количества циклов до разрушения. Для образцов «без обработки» среднее значение количества циклов до разрушения N_r составляет порядка $70\ 000 \pm 15\ 000$ циклов, для образцов после ультразвуковой обработки $110\ 000 \pm 20\ 000$.

Таблица 3 - Результаты усталостных испытаний

| Тип образца | Количество циклов, $\times 10^3$ | Количество циклов до зарождения трещины, $\times 10^3$ | Скорость роста усталостной трещины, мкм/цикл |
|--------------------------------|----------------------------------|--|--|
| Без обработки | 70 ± 15 | $55 \pm 3,5$ | 0,027 |
| После ультразвуковой обработки | 110 ± 20 ($\uparrow 40\%$) | $74 \pm 4,4$ ($\uparrow 30\%$) | 0,012 (в 2 раза) |

Заключение

Ультразвуковая обработка привела к заметному повышению микротвердости в поверхностном слое на глубине 50-100 мкм при сохранении ее величины в сердцевине. Произшедшее поверхностное упрочнение привело к повышению напряжения течения, предела прочности и незначительному снижению величины удлинения до разрушения. Реализованная структурная модификация обеспечила сдерживание зарождения и развития усталостной трещины, что позволило повысить значение усталостной долговечности на 40% по сравнению с образцами в исходном состоянии

Список литературы

1. С.В. Панин, И.В. Власов, В.П. Сергеев, А.Р. Сунгатулин, М.П. Калашников, М.А. Полтаранин, Б.Б. Овечкин Повышение усталостной долговечности стали 12Х1МФ наноструктурированием поверхности ионным пучком Zr^+ . Структура, свойства и характер разрушения // Физ. мезомех. - 2012. - Т. 15. - № 6. - С. 93-106.