

УДК 620.179.14/15

ИЗУЧЕНИЕ УСТАЛОСТНОЙ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ ОБРАЗЦОВ СТАЛИ 09Г2С МАГНИТОШУМОВЫМ И ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКИМ МЕТОДАМИ

В. Н. БУСЬКО, Д. А. ВИНТОВ

Институт прикладной физики НАН Беларуси
Минск, Беларусь

В процессе длительной эксплуатации в стальных материалах, изделиях, деталях машин и оборудования, подвергаемых динамическим, повторно- и знакопеременным нагрузкам, происходит усталостное разрушение. Циклическое деформирование под действием образующихся дефектов в микроструктуре приводит к изменению его физико-механических свойств (ФМС), в том числе усталостной прочности (УП) [1]. В связи с этим проблема оценки УП стальных материалов и изделий по-прежнему относится к наиболее важным и приоритетным задачам и целям неразрушающего контроля (НК). Особую актуальность изучение, оценка и диагностика УП приобретает для изделий, полученных с применением аддитивных технологий (АТ), в связи с отсутствием научных данных о их поведении в результате многоцикловых воздействий.

Цель работы – продолжить длительные экспериментальные исследования процессов накопления усталостной повреждаемости в образцах из низколегированной стали 09Г2С при многоцикловых испытаниях на изгиб с малой амплитудой напряжения.

Испытания на УП выполнялись на портативной установке, описание которой приведено в [2]. Методика испытаний и исследований УП, параметры образцов, измерения интенсивности магнитного шума (МШ) приведены там же.

На рис. 1 представлены экспериментальные зависимости уровня МШ от числа циклов нагружения N при продольном относительно оси образца направлении поля перемагничивания в переходной (галтельной) зоне лицевой стороны образца (в четырех точках).

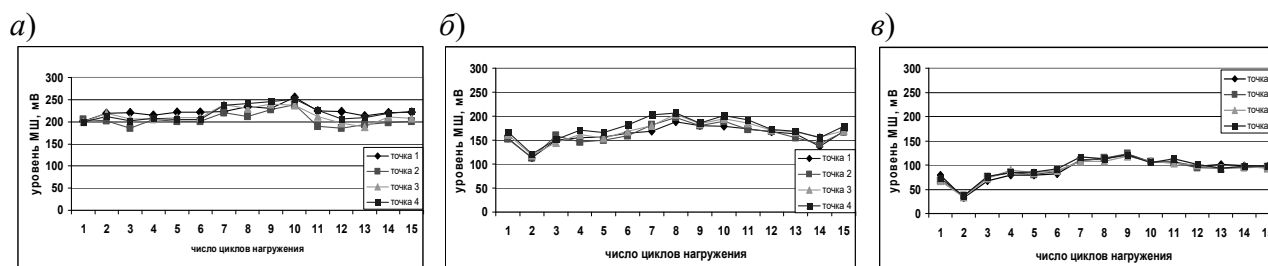


Рис. 1. Зависимость уровня МШ от количества циклов нагружения N для отожжённого (а), нормализованного (б) и литого (в) АТ-образцов в четырех точках «галтельной» (переходной) зоны при продольном относительно оси образца направлении перемагничивания ПБ: $N = 1 - 1,5 \cdot 10^6$ циклов; 2 – $1,7 \cdot 10^6$; 3 – $2,1 \cdot 10^6$; 4 – $2,5 \cdot 10^6$; 5 – $2,9 \cdot 10^6$; 6 – $3,3 \cdot 10^6$; 7 – $3,7 \cdot 10^6$; 8 – $4,1 \cdot 10^6$; 9 – $4,5 \cdot 10^6$; 10 – $4,9 \cdot 10^6$; 11 – $5,3 \cdot 10^6$; 12 – $5,7 \cdot 10^6$; 13 – $6,1 \cdot 10^6$; 14 – $6,5 \cdot 10^6$; 15 – $6,9 \cdot 10^6$

Из рисунка следует, что уровни МШ во всём диапазоне N между образцами отличаются между собой. С ростом N , в среднем, наблюдается незначительное

изменение уровня МШ с положительным трендом без резкого изменения ФМС образцов. Ход зависимостей $U_{эф} = f(N)$ для отожденного АТ-образца несколько отличен от отождѐнного с нормализацией АТ-образца и литого, магнитные свойства и микроструктуры которых близки между собой [3]. Наблюдается чѐткое отличие дисперсий (разброса значений зависимостей уровня МШ от N) между литым и обоими АТ-образцами: для литого разброс меньше, чем для АТ-образцов.

Таким образом, по данным магнитошумового метода исследования УП образцов на данном этапе циклирования можно сделать вывод о нахождении образцов на инкубационной стадии процесса накопления усталостной повреждаемости.

Для подтверждения сделанных выводов на рис. 2 представлены изображения поверхностей в галтельной переходной зоне (край и центр галтели) двух АТ-образцов, полученных с помощью электронно-оптического метода (ЭОМ).

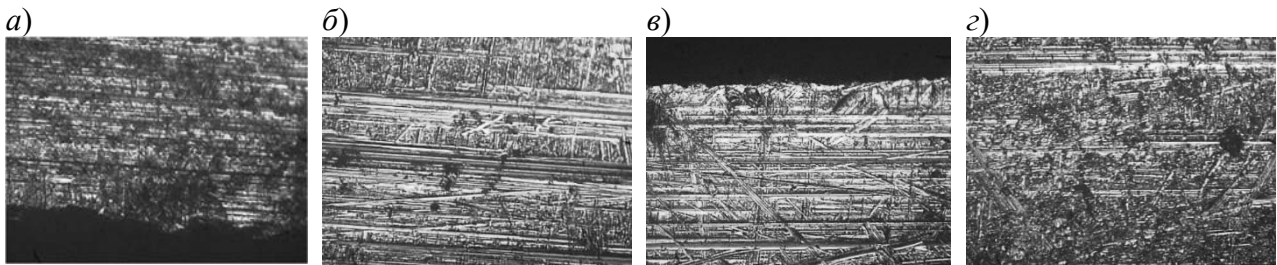


Рис. 2. Изображения края и центра в переходной зоне отождѐнного (а, в) и после операции «отжиг + нормализация» (б, з) АТ-образцов, полученные ЭОМ при увеличении $300\times$ (для литого образца получена аналогичная картина)

Из рисунка следует, что изображения поверхностей АТ-образцов после $N = 6,9 \cdot 10^6$ циклов нагружения по-прежнему свидетельствуют об отсутствии линий скольжения в центре образца, как было установлено ранее при $N = 2,44 \cdot 10^5$ циклов нагружения [3], что косвенно подтверждает результаты магнитошумового метода исследования УП. Это свидетельствует о продолжительности процесса накопления количества дефектов (дислокаций) и образовании усталостных микротрещин, что связано, в основном, с малой амплитудой создаваемых напряжений и недостаточным значением N . Сделан вывод о необходимости увеличения амплитуды напряжений с целью экономии времени и снижения трудозатрат.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Терентьев, В. Ф.** Усталость металлических материалов / В. Ф. Терентьев. – М.: Наука, 2003. – 354 с.
2. **Бусько, В. Н.** Методика механических испытаний и исследование возможности контроля усталостной прочности магнитошумовым методом стальных образцов, изготовленных аддитивной технологией / В. Н. Бусько, А. П. Ничипурук, А. Н. Сташков // Контроль. Диагностика. – 2024. – Т. 27, № 4 (310). – С. 54–63.
3. Магнитные свойства циклически деформированной стали 09Г2С, изготовленной с помощью селективного лазерного сплавления / А. Н. Сташков, А. П. Ничипурук, Е. А. Щапова [и др.] // Дефектоскопия. – 2023. – № 1. – С. 44–52.