

УДК 620.179.14/15/147
ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОЦИКЛОВОЙ УСТАЛОСТИ СПЛАВА ВНС-2
МЕТОДОМ МАГНИТНЫХ ШУМОВ

В. Н. БУСЬКО, В. Л. ВЕНГРИНОВИЧ, Д. А. ВИНТОВ
Государственное научное учреждение
«ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН Беларуси»
Минск, Беларусь

Исследование усталостных процессов с целью оценки состояния материалов относится к важнейшим задачам неразрушающего контроля, т.к. прочность изделий и жесткость конструкций, в основном, определяются усталостью. Среди методов неразрушающего контроля (НК) усталости в ферромагнетиках можно выделить магнитный метод эффекта Баркгаузена (МЭБ), обладающий рядом особенностей, связанных с доменным уровнем получаемой от объекта информации [1]. Информативные параметры МЭБ обладают высокой чувствительностью к изменению структурно-напряженного состояния (СНС) материала, которое сопровождает и обуславливает процесс накопления усталостной повреждаемости (УП). Основная задача исследований процесса УП с помощью МЭБ – изучение и выявление закономерностей изменений магнитного шума (МШ) в результате накопления УП в процессе циклических нагружений образца. Цель исследований – создание метода НК усталости и прогнозирования разрушения на основе определения количества циклов нагружения материала, являющегося его критерием прочности. В качестве объекта исследований использовался высокопрочный сплав ВНС-2 (08X15H5D2T), относящийся к мартенситно-стареющему классу ферромагнитных материалов, обладающий повышенной прочностью и выносливостью благодаря содержанию в нем титана и алюминия.

Многоцикловые испытания образца размером 70x30x2 мм производились в упругой и неупругой области при амплитудах напряжений $\sigma = \pm 600$ МПа (упругая область) и ± 1700 МПа (область пластических деформаций) с помощью установки [2]. Максимальное число циклов нагружений образца составляло: $N = 1,409 \times 10^7$. Средняя частота (ν) циклирования составляла 11,7 Гц и была постоянной на всем протяжении многоцикловых испытаний. Изменения СНС образца (с обеих сторон) регистрировались с помощью прибора Интроскан, измеряющего интенсивность (U) МШ при амплитуде магнитного поля перемагничивания в ПБ, равной $H = 80$ А/м, частоте перемагничивания ПБ $f = 120$ Гц и полосе частот анализа МШ $F = 20 \div 200$ кГц. Измерение U производилось ступенчато: после каждого циклирования путем установки ПБ в зону наиболее вероятного образования усталостных трещин; при ортогональных-относительно центральной оси образца положениях ПБ. Анализ результатов основывался на изучении зависимостей (и их трендов) U от N , определении амплитуды сигнала, начала, окончания и длительностей стадий упрочнения, разупрочнения, а также критического значения N .

На рис. 1. для примера представлена зависимость среднего значения U от N для одной из сторон образца при перпендикулярном относительно оси

образца положении ПБ. Видно, что зависимость U от N состоит из нескольких стадий упрочнения и разупрочнения металла. В среднем с ростом N наблюдается постепенный рост МШ, а после $N > 1,15 \times 10^7$ циклов его значение резко возрастает, вплоть до разрушения образца. Приведенные в таблице данные изменения твердости образца, измеренные ультразвуковым прибором МЕТ-1УТ в исходном состоянии ($N=0$), после $N = 1,4 \times 10^7$ (при $\sigma = \pm 600$ МПа $< \sigma_m$ и с выдержкой при $\sigma = \pm 1700$ МПа $< \sigma_s$) и после разрушения ($N = 1,409 \times 10^7$), а также для сравнения U , подтверждают факт изменения структуры металла образца при его многоцикловом нагружении. В результате чередования стадий упрочнения и разупрочнения металла происходит его “размягчение”, приводящее к резкому увеличению магнитной проницаемости μ и снижению твердости. Такой ход зависимостей U и твердости от N обусловлен ростом плотности дефектов, образованием системы микротрещин и зарождением магистральных макротрещин, предшествующих разрушению.

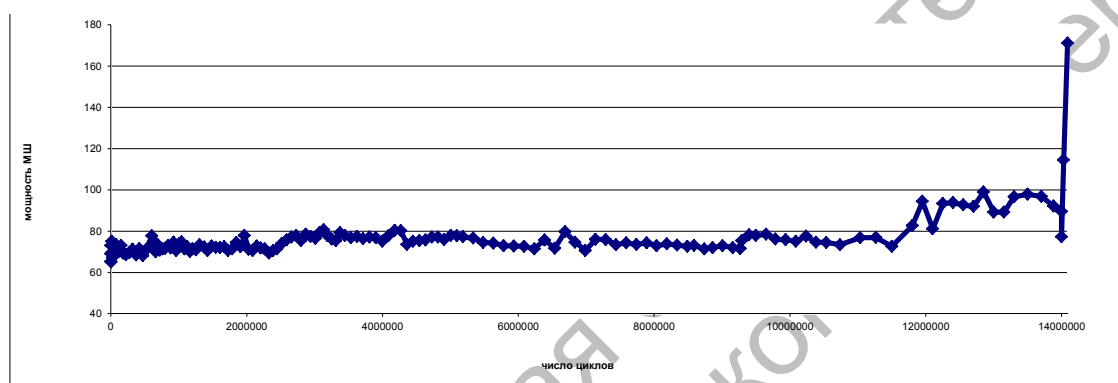


Рис. 1. Зависимость МШ от N для сплава ВНС-2 при циклировании

Табл. 1. Изменение твердости и U от N , где: 1 – $N = 0$; 2 – $N = 1,4 \times 10^7$ ($\sigma = 600$ МПа), 3 – $N = 1,4 \times 10^7$ (-1700); 4 – $N = (+1700)$; 5 – $N = 1,409 \times 10^7$ (после разрушения)

N	0	$1,4 \times 10^7$	$1,4 \times 10^7$	$1,4 \times 10^7$	После разрушения
НВ	497	541	534	512	516
$U, мВ$	65	94	115	171	89

Таким образом, изучая изменение МШ от N , можно оценивать интенсивность процесса накопления усталостной повреждаемости металла сплава ВНС-2 при циклическом нагружении, а также определять момент наступления критической стадии, соответствующей предразрушению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рудяк, В. М. Эффект Баркгаузена / В. М. Рудяк // Успехи физических наук. – 1970. – Т. 101. – № 3. – С. 429–462.
2. Бусько, В. Н. Установка для исследования усталостной деградации стали / В. Н. Бусько, В. Л. Венгринович, Д. А. Винтов // Приборостроение-2011: материалы междунауч.-техн. конф. – Минск : БНТУ, 16-18 ноября 2011. – С. 41–42.