

Abstract – Modern industrial production uses digital and computer technology in all aspects of its work. Almost all processes, from direct control and management of the technological process to business planning and document flow, are currently carried out using digital data and digital infrastructure. In this work, modules have been designed for the digitalization of the document flow system of the quality control department, non-destructive testing department, and central plant laboratory for operational control. The implementation of these modules for Atomash was carried out in the SAP ERP software system.

Keywords: automation, document flow, SAP ERP software, conformity assessment, digital transformation.

УДК 620.179.118.7

РАЗВИТИЕ МЕТОДА ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СИГНАЛОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

З.С. Волкова, М.Б. Иванов, В.И. Сури, А.А. Щербаков

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

В работе приводится описание методики и программы для частотно-временного представления сигналов электрического неразрушающего контроля. Методика предполагает использование преобразования Вигнера-Вилля и оконной функции Блэкмана. Также описываются проведенные для проверки методики эксперименты. Один из них направлен на изучение развития структурных повреждений в частотно-временном представлении для упрочненного сплава ПОС-76, испытанного в процессе ползучести. Приводятся изменение относительной текущей деформации образца в процентах и соответствующее изменение скорости ползучести от времени, а также временная зависимость амплитуды сигнала контроля на фоне спектрограммы частотно-временного представления. Полученные результаты соотносятся с тем фактом, что в поликристаллических материалах при средней степени деформации в условиях множественного скольжения основным контролирующим ползучесть механизмом является механизм генерации полос скольжения. Второй эксперимент описывает применение методики к результату обнаружения зародышевой микротрещины при растяжении стали ЭИ847.

Ключевые слова: электрический неразрушающий контроль, частотно-временное представление сигналов, частотные характеристики, преобразование Вигнера-Вилля, функция Блэкмана, структурные дефекты, процесс ползучести, деформационное упрочнение, генерация полос скольжения, микротрещины.

Задача применения методов частотно-временного представления к результатам электрического неразрушающего контроля является актуальной, поскольку это позволяет не только эффективно выявлять различные типы дефектов структуры, но и определять их частотные характеристики. Известно, что преобразование Вигнера-Вилля локализует частотно-временную структуры сигнала. Если энергия сигнала сконцентрирована во времени около точки t_0 и по частоте возле точки ν_0 , то и энергия преобразования Вигнера-Вилля этого сигнала будет сконцентрирована в окрестности точки (t_0, ν_0) с протяженностью, равной частотной и временной протяженности сигнала. Одним существенным недостатком преобразования Вигнера-Вилля является снижение разрешающей способности метода в результате возникающих интерференций, обусловленных квадратичными свойствами преобразования [1].

По определению, для дискретного сигнала f преобразование Вигнера-Вилля $WW[n, k]$ записывается в виде ряда:

$$WW[n, k] = \sum_{p=-N}^{N-1} f\left[n + \frac{p}{2}\right] f^*\left[n - \frac{p}{2}\right] \exp\left(\frac{-i2\pi kp}{N}\right).$$

На рисунке 1 показан пример идентификации развития структурных повреждений в частотно-временном представлении для упрочненного сплава ПОС-76, испытанного в процессе ползучести. Общая деформация образца перед проведением эксперимента составляла несколько процентов. Для поддержания процесса ползучести, после выхода на режим испытаний, постепенно стравливали нагрузку от первоначального значения 280 МПа до 220 МПа – к концу эксперимента.

Слева на рисунке показано изменение относительной текущей деформации образца в процентах и соответствующее изменение скорости ползучести от времени. На рисунке 1 справа, на фоне спектрограммы частотно-временного представления (ЧВП) приведена временная зависимость амплитуды сигнала контроля (красного цвета). Значения модуля спектральной функции приведены в условных единицах. Ширину окна выбирали равной 60-ти отсчетам. Для уменьшения влияния интерференционных помех использовали оконную функцию Блэкмана [1].

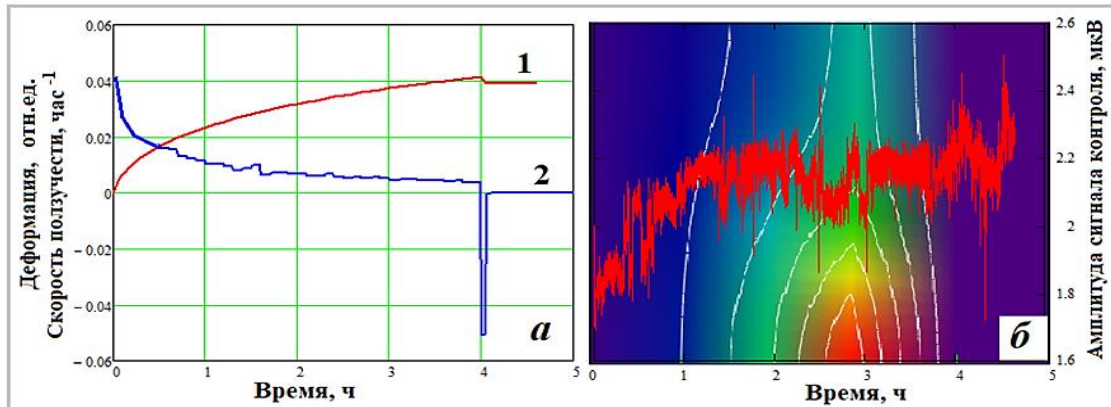


Рисунок 1 – Частотно-временное представление ползучести упрочненного сплава ПОС-76: а – кривые ползучести (1) и скорости ползучести (2); б – изменение сигнала контроля во времени (красный цвет) и построенная по этому сигналу спектрограмма

Максимальный сдвиг функции, стоящей под знаком суммы, за границей ширины окна определяли целым значением длительности эксперимента в часах ($N_{\max} = 4$). При суммировании оставляли только члены, имеющие положительные значения индексов. Максимальное значение частоты на рисунке 1 б равно 20 условным единицам. Предполагаемый процесс, локализованный в данном ЧВП, связан с активацией деформационного упрочнения после стадии неустойчивой ползучести, со временем начала процесса – около одного часа. В соответствии с результатами работы М.А. Штремеля [2], в поликристаллических материалах при средней степени деформации в условиях множественного скольжения основным контролирующим ползучесть механизм является механизм генерации полос скольжения. Начало этого процесса характеризуется появлением ИВН в широком интервале частот, и максимум процесса приходится на временной интервал 2,5-3,5 часа с максимальными значениями спектральной функции в низкочастотном диапазоне (рис. 1 б). Видно некоторое уменьшение амплитуды сигнала контроля в этом временном интервале, которое в соответствии с КДА может быть связано с уменьшением количества пятен образующихся микроконтактов.

Расчетную методику и программу для построения частотно-временных спектрограмм применили к результату обнаружения зародышевой микротрещины при растяжении стали ЭИ847 ([3], рис. 2). В качестве функции, стоящей под знаком суммы, использовали двойное БПФ сигнала контроля, полученного на уровне фиксации

SLS=4,086. В отличие от предыдущего случая, для микротрещины спектральная функция имеет достаточно широкий (конечный) диапазон частот. Расчетные погрешности временного интервала локализации процесса связаны с малой экспериментальной выборкой (27 отсчетов) и узкой шириной окна (4 отсчета).

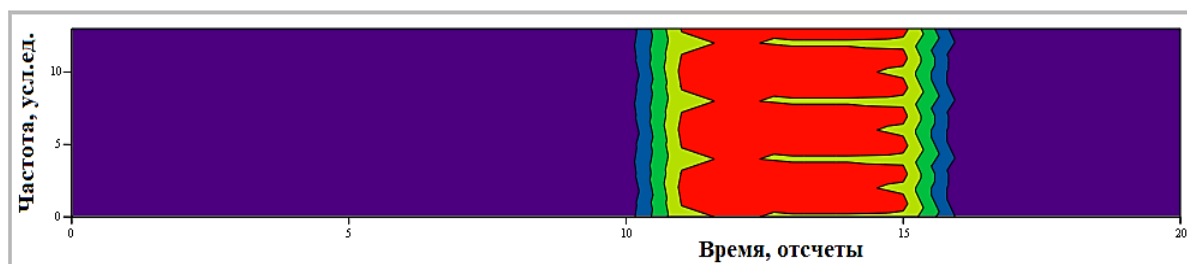


Рисунок 2 – Частотно-временное представление зародыша трещины в стали ЭИ847 на уровне фиксации SLS=4,086

Работа поддержана грантом Российского фонда фундаментальных исследований по договору №19-08-00266/19 от 10.01.2019.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Time frequency signal analysis and processing. / Edited by B. Boashash. – Elsevier, 2003 – 1056 p.
2. Штремель, М.А. Прочность сплавов. Часть II. / М.А. Штремель – Москва : МИСИС, 1997 – 527 с.
3. Сурин, В.И. Применение метода сканирующей контактной потенциометрии для регистрации образования зародышевой трещины в сталях / В.И. Сурин, В.И. Польский, А.В. Осинцев, П.С. Джумаев // Дефектоскопия. – 2019. – №1 – С. 53-60.

Development of the Method of Time-Frequency Representation of Electrical Control Signals

Z.S. Volkova, M.B. Ivaniy, V.I. Surin, A.A. Shcherbakov¹

National Research Nuclear University "MEPhI", Moscow, Russia

¹*e-mail: AAShcherbakov@mephi.ru*

Abstract – The paper describes a methodology and program for the time-frequency representation of electrical non-destructive testing signals. The technique involves the use of the Wigner-Ville transform and the Blackman window function. The experiments carried out to verify the methodology are also described. One of them is aimed at studying the development of structural defect in the time-frequency representation for the hardened POS-76 alloy tested in the creep process. The change in the relative current deformation of the sample in percent and the corresponding change in the creep rate with time, as well as the time dependence of the amplitude of the control signal against the background of the spectrogram of the time-frequency representation are given. The results obtained are consistent with the fact that in polycrystalline materials with an average degree of deformation under multiple slip conditions, the main mechanism controlling creep is the mechanism of generation of slip bands. The second experiment describes the application of the technique to the result of detecting an embryonic microcrack during tension in EI847 steel.

Keywords: electrical non-destructive testing, time-frequency representation of signals, frequency characteristics, Wigner-Ville transform, Blackman function, structural defects, creep process, strain hardening, generation of slip bands, microcracks.