

УДК 534-16.08:620.19

О.І. Шевченко

Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики,
Київ, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СПЕКТРІВ АКУСТОЕМІСІЙНИХ СИГНАЛІВ ПРИ НАВАНТАЖЕННІ МАЛОЛЕГОВАНИХ СПЛАВІВ ХРОМУ

У статті проаналізовано визначення параметрів акустоемісійних сигналів у нормативних документах та науковій літературі та їх взаємозв'язок із фізичними величинами, що вимірюються під час напруженого руйнування малолегованих сплавів хрому. Розроблена методика акустоемісійних досліджень зразків сплаву. Досліджувалися наступні сплави: $BX\ 2K + Re\ 0,4\% + Zr\ 0,1\%$ – литий, пластичний, крупнозернистий; $BX\ 2K + Re\ 0,4\% + Zr\ 0,1\%$ – деформований, пластичний; $BX\ 2K + Re\ 0,4\%$ – литий, пластичний, дрібнозернистий; $BX\ 2K + N\ 0,06\%$ – литий; $Cr + La\ 0,3\%$ – деформований. Наведено акустоемісійні спектрограми, що свідчать про зміни структури матеріалу зразка під впливом навантаження. Наведені спектрограми дають можливість використати зазначену методику з метою аналізу пластичних характеристик малолегованих сплавів хрому та визначення легованих добавок.

Ключові слова: акустична емісія, вимірювання параметрів фізичних величин напружених матеріалів, метод вимірювання динаміки руйнування малолегованих сплавів хрому, спектри акустоемісійних сигналів.

Вступ

Завданнями дослідження є розроблення методики випробування сплавів хрому з домішками, що підвищують пластичність хрому. Використання цих сплавів є актуальним при розробці конструктивних матеріалів для ядерних реакторів. Для реалізації завдання було проведено дослідження акустичної емісії (АЕ) при навантаженні зразків на розривній машині 1231-У10 та проаналізовано існуючі визначення акустичної емісії (АЕ) щодо механізму руйнування зразків з параметрами АЕ [1, 2].

Прилади з акустичної емісії (АЕ) відградувані в одиницях рахунку імпульсів. Питання щодо того, яка величина вимірюється, однозначного вирішення не має. Ще складніше у цьому випадку визначити, яка фізична величина відповідає імпульсу, однозначного вирішення не має. Ще складніше у цьому випадку визначити, яка фізична величина вимірюється: хоча прилади з АЕ градувані у кількості імпульсів одиницю часу, кількість імпульсів не є фізичною величиною за існуючими визначеннями. Наведемо приклади визначень похідних величин в АЕ.

Виклад основного матеріалу

У табл. 1 наведено наступні позначення: n – кількість імпульсів АЕ; Δt – інтервал часу, с; A – амплітуда сигналу; B ; A_0 – встановлений рівень обмеження сигналу (дискримінація), В. У цій таблиці для одного й того ж самого фізичного процесу акустичної емісії – «випромінення матеріалом механічних пружних хвиль, що викликано перебуваючою внутрішньою структурою матеріалу». застосовується 9 визначень одиниці вимірювання. У ГОСТ 27655-88 [1] акустична емісія визначається: «випромінення об'єктом контролю (ви-

пробувань) акустичних хвиль». Терміни та визначення у п.п.3 наведено за ГОСТ 27655-88. У наукових роботах використовуються різні терміни щодо АЕ, що робить неможливим використати і порівняти результати різних дослідників. Це є прикладом порушення єдності вимірювань. У цьому виді вимірювань фізичні властивості фізичного об'єкту змінюються відповідно до ефекту Кайзера: АЕ не відтворюється при повторному навантаженні, поки не буде досягнуто максимального значення попереднього навантаження зразка. АЕ забезпечує виявлення дефектів (тріщин), які розвиваються під час механічного навантаження. За літературними даними гранична чутливість вимірювань становить $1 \cdot 10^{-6}$ мм², що відповідає виявленню тріщин довжиною 1 мкм на товщину 1 мкм. Енергія окремого імпульсу становить від 10^{-9} до 10^{-5} Дж. У процесі механічного руйнування під час утворення тріщин наявні два фізичних явища, три фізичні величини і дві одиниці вимірювання. Перший процес – це вивільнення механічної енергії; одна фізична величина – енергія. Одиниця цієї фізичної величини – Дж. Другий процес – перетворення енергії механічного руйнування у енергію акустичної хвилі і розповсюдження акустичної хвилі. Фізичні величини – звукова енергія та звуковий тиск. Одиниці цих фізичних величин – Дж та Па. Не вся енергія руйнування може перейти у енергію звукової хвилі, частина може перейти у теплову енергію. Що стосується приладів, як фіксують сигнали АЕ і вимірюють їх (вимірюють фізичні параметри вищезазначених процесів), то в першому процесі фізична енергія не вимірюється і одиниці вимірювання немає. У другому процесі можна виміряти або звукову енергію або звуковий тиск. Вимірювальний перетворювач фіксує зміни товщини п'єзокристалу під тиском звукової

хвилі, яка переходить із зразка у п'єзокристал. Аналізується амплітуда напруги, яка виникає на п'єзокристалі. Тобто фактично вимірюється навіть не звуковий тиск, а лінійне переміщення поверхонь пластини п'єзокристалу через них, вимірюється амплітуда потенціалу електричного сигналу. Наявність розвертки на екрані дисплея чи діаграми на самописці (або запам'ятовування програмними засобами) дає можли-

вість ввести час у процес спостереження. Аналіз одиниць вимірювань, що практично застосовуються (табл. 1), зроблений автором, показує наступне. Є лише одна одиниця (у пункті 9), яка адекватно оцінює параметри фізичного процесу виникнення тріщин, це Дж/с. Але і в цьому випадку вимірюється не механічна енергія руйнування матеріалу, а енергетичний параметр звукової хвилі, що не одне й теж.

Таблиця 1

Приклади визначень акустичної емісії

	Параметри АЕ [1, 2]	Символ, визначення одиниці вимірювання та пояснення	Одиниця вимірювання
1	Число імпульсів АЕ	$N_{\Sigma}, n/\Delta t$ (кількість імпульсів за інтервал часу)	1
2	Сумарний підрахунок АЕ	$N(A > A_0)/\Delta t$ (кількість імпульсів з амплітудою вище встановленого рівня за інтервал часу)	1
3	Активність АЕ	$\Sigma, n/\tau$ (кількість імпульсів за одиницю часу)	1/с
4	Швидкість підрахунку АЕ	$\dot{N} = N_{\Sigma}/\Delta t$	1/с
5	Інтенсивність АЕ	\dot{N} (кількість імпульсів за одиницю часу)	1/с
6	Рівень (сигналів) АЕ	$\sqrt{\sum_{i=1}^n (A_{\tau_i})}$ (середнє квадратичне значення сигналу за інтервал часу)	В/с
7	Амплітуда АЕ	$n/\Delta t$ (максимальне значення сигналу за інтервал часу)	В/с
8	Амплітуда розподілення	$U/\Delta t$ (розподіл амплітуд за інтервал часу)	В/с
9	Енергія (сигналу) АЕ	W (енергія, що виділяється у смузі частот за інтервал часу)	Дж/с
10	Спектральна щільність (сигналів) АЕ	Розподіл сигналів за частотою (аналітично не виражається, зображається графічно)	–

У п.п. 1-2 одиниця вимірювання 1. У п.п. 3-5 одиницею вимірювання фактично є частота (частіть), тому що розмірність одиниці вимірювання – 1/с. У п.п. 6-8 вимірюється амплітуда сигналу і одиницею вимірювання є В/с. Цей параметр можна лише з деякою ймовірністю пов'язати з енергією руйнування. Фактично одиницею В/с оцінюється параметр звукового тиску хвилі. Для знаходження кореляції між частотою імпульсів та енергією руйнування матеріалу необхідно проведення складних фізичних досліджень. Зразки розривалися на розривній машині 1231-У10. Використовувався датчик П113(0,2 – 0,5)-3 зі смугою частот 0,2...2,0 МГц і діаметром робочої частини 10 мм та підсилювач САА-06 з комплексу приладу АФ-15. В якості змазки між перетворювачем та зразком використовувалась індустріальна олія И-40. Описано результати випробувань наступних зразків хрому (табл. 2, 3) та спектрограми акустоемісійних сигналів рис. 1. На цьому рисунку по вісі абсцис – частота f у кГц, по осі ординат амплітуда акустоемісійних сигналів у залежності від частоти у відносних одиницях. На рис. 1 показано огинаючу спектрів сигналів, які на екрані спектроаналізатора є суцільними. У табл. 3 у п'ятій колонці зазначено діапазон спектру у кГц, у якому були відсутні розриви та викиди сигналу. Нарис. 1.1, 1.2) у діапазоні частот від 100 до 150 кГц спектр поступово заповнювався від штрих пунктирної лінії до суцільної лінії у кінці експерименту. Подібним чином на рис. 1.2, 1.3) заповнювався спектр у діапазоні від 150 до 215 кГц, але з більшою амплітудою імпульсів. Імпульси АЕ у цьому інтервалі частот випромінюються протягом всього експерименту, або у кінці експерименту.

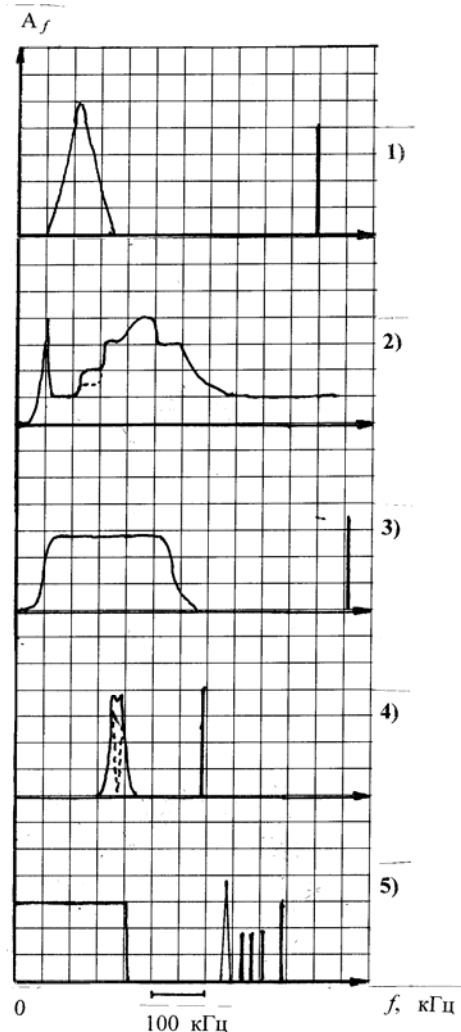


Рис. 1. Спектри акустоемісійних сигналів

Оскільки такі самі частоти при записі мають більшу амплітуду, то їх можна помітити у кінці експерименту на екрані. Слід зважити на можливість появи на частоті 130 кГц шумів розривної машини. Склад ВХ-2К наступний. Вміст хімічних елементів %: Fe – 0; La – 0,3...0,4; Ta – 0,3...0,5; V – 0,3...0,5; Re – 0; Zr – 0; C – 0,001...0,01; O – 0,001...0,03; N – 0,002...0,1; H – 0,001 [3]. Випробування відбувалося при температурі 25 °С. Ознакою пластичного навантаження, виходячи зі спектрів, можна назвати такі: наявність огинаючої однакової висоти та без розривів (у формі прямокутника). Необхідно зазначити, що осциляції (імпульси) одиничних актів АЕ можуть із різною частотою бути протягом усього часу випробування. Той факт, що імпульси потрапляють у прямокутний спектр свідчить не про послідовність їх появи у часі, а про те що процес має однакову фізичну при-

роду та близькі за частотою та енергією джерела акустичних хвиль. На зразках пластичного хрому (№ 2, 3, 5) на спектрограмі відмічаються ділянки суцільного спектру практично однакової амплітуди. Якщо процес досліджується на АФ-15, то можна записати амплітуди осциляцій в залежності від часу випробувань. Але розшифрування акустичних сигналів, які залежать від великої кількості факторів, досить складне. Якщо досліджувати координати тріщин, то цей метод себе виправдовує. Але якщо досліджувати структуру металу, то для цього необхідна велика кількість досліджень на практично ідентичних зразках з метою виявлення закономірностей. Це є досить складною, дорогою та непродуктивною процедурою. Якщо використовувати метод запису та аналізу за спектроаналізатора СК4-59, можна записати процес не у часі, а у шкалі частот.

Таблиця 2

Склад та опис випробуваних зразків зі сплаву хрому

№	Склад зразка	Опис зразка	Номер плавки
1	VX 2K + N 0,06%	Литой	
2	VX 2K + Re 0,4%	Литой, пластичний, дрібнозернистий	121544
3	Cr + La 0,3%	Деформований	
4	VX 2K + Re 0,4% + Zr 0,1%	Литой, пластичний, крупнозернистий	121542
5	VX 2K + Re 0,4% + Zr 0,1%	Деформований, пластичний	

Таблиця 3

Склад та опис випробуваних зразків зі сплаву хрому

№	Склад зразка	Результати досліджень	Діапазон спектра у кГц
1	VX 2K + N 0,06 %	Розрив 2-х зразків відбувся на частоті 550 кГц . На одному зразку була тріщина	50-115 (Δ = 65)
2	VX 2K + Re 0,4 %	Моменту розриву зразка не зафіксовано	94-600 (Δ = 506)
3	Cr + La 0,3 %	Розрив зразка відбувся на частоті 605 кГц	105-430 (Δ = 325)
4	VX 2K + Re 0,4 % + Zr 0,1 %	Вихідний зразок був із тріщиною. Розрив зразка відбувся на частоті 340 кГц	156-215 (Δ = 59)
5	VX 2K + Re 0,4 % + Zr 0,1 %	Розрив зразка відбувся на частоті 400 кГц	0-219 (Δ = 219)

Частоти, які наявні у випроміненні АЕ, у кінці випробування будуть записуватися на екрані осцилографу біля тих частот, які були на початку випробування. Як відомо, АЕ відбувається за рахунок деформування кристалітів у полікристалі. При деформуванні мікрооб'єктів однакової структури можливе відбуватися випромінення імпульсів однакової частоти, але різної енергії. Для аналізу спектрограм було застосовано спектроаналізатор СК4-59 (ЕЭ1.406.055 ТУ). Установки СК4-59 наведені у табл. 4.

Рівень власних шумів 0,71 мкВ ($\sigma_f=1$ кГц), динамічний діапазон 70 дБ, гранична основна похибка $\pm (4-6)\%$, полоса частот 0,01–110 МГц, полоса пропускання на рівні 3 дБ – $10^2-3 \cdot 10^5$ Гц, смуга огляду 0–110 МГц з кроком 1, 5, 200 кГц.

Ще одним параметром, який може свідчити про швидкість повзучості, є швидкість підрахунку імпульсів (1/с) [4]. Аналогом швидкості підрахунку у

цьому методі є максимальна частота на який закінчується прямокутна ділянка. У зразку № 2 це 600 кГц, у зразку №3 – 430 кГц. Таким чином, більші частоти можуть свідчити про більшу повзучість зразка за рахунок накопичення більшої енергії напруження зразка. З великою ймовірністю можна вважати, що у цьому методі чітко визначається інтервал частот імпульсів з однаковою частотою та однаковою енергією. Тобто можна оцінювати наявність структурних складових (зерен, кристалітів) та їх кількість. Наявність ділянок суцільного спектру може свідчити про протікання процесу пластичної деформації [5].

ВИСНОВКИ

1. Розроблена методика досліджень спектрів акустостемісійних сигналів, що проходять крізь досліджуваний зразок. Виконано аналіз та класифікацію фізичних величин, що вимірюються при дослідженнях АЕ.

Таблиця 4
Режим вимірювання на СК4-59

Режим вимірювання	
ОСЛАБЛЕНИЕ, dB	“30”
НА ДЕЛЕНИЕ	“0,1 kHz”
ОБЗОР	“НА ДЕЛЕНИЕ” 0,05
ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬ 1/0,1	“1”
ПОЛОСА, кГц	“3”
ВРЕМЯ СЧЕТА, ms	“200”
ЛОГ/ ЛИНЕЙН	“ЛОГ”
УРОВЕНЬ dB mW	”-10”
РАЗВЕРТКА СКОРОСТЬ	“20 ms/дел”
ЗАПУСК	СЕТЬ
ВИДЕОФИЛЬТР	“10 kHz”
Тумблер ФАПЧ	Верхнее
ПАМЯТЬ	ДЛИТ (режим с длительной памятью)
НОМИНАЛЬНЫЙ УРОВЕНЬ (ступенчато)	«2,5 μ V”
ВИД ЗАПУСК	“ВНУТР”
Тумблер МЕТКА	“вправо”
ИЗМЕРЕНИЕ	“МЕТКА”
Вход	0,1 -111 MHz

2. У методиці акустоемісійні сигнали надходять на перетворювач-приймач та аналізуються на екрані спектроаналізатора СК4-59.

3. Найбільш пластичними є зразки ВХ 2К + Re 0,4 % та Cr + La 0,3 %, у яких особливостями спектра акустоемісійних сигналів є фактори: наявність

прямокутної ділянки спектру та більші частоти у прямокутнику, найбільший діапазон частот цих ділянок відповідно 506 та 325 кГц, а також наявність вертикальної лінії (імпульса) у діапазоні частот більше 500 кГц. Верхня лінія прямокутника, що паралельна вісі абсцис, може свідчити про однаковість енергії акустоемісійних імпульсів, а це у свою чергу – про однаковість прикладеного навантаження та наявність ділянки з пластичною деформацією.

Список літератури

1. ГОСТ 27655-88 «Акустическая эмиссия. Термины, определения и обозначения».
2. Грешиников В.А. Акустическая эмиссия / В.А. Грешиников, Ю.Б. Дробот. – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 272 с.
3. Пилипенко Н.И. Малоактивируемые сплавы на основе хрома / Н.И. Пилипенко // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Вакуум, чистые материалы, сверхпроводники (16). – 2007. – № 4. – С. 198-203.
4. Прогнозирование длительной прочности жаропрочной стали 10X11H23T3MP (ЭПЗ3) методом акустической эмиссии / Н.А. Семашко, Д.Н. Фролов, Р.А. Физулаков, В.Н. Войтов // Контроль. Диагностика. – 2011. – № 7. – С. 3-4.
5. Физическое металловедение. Дефекты кристаллического строения механических свойств металлов и сплавов. – М.: Мир, 1968. – Вып. 3. – 484 с.

Надійшла до редколегії 30.08.2011

Рецензент: д-р фіз.-мат. наук О. В. Прокопов, Національний науковий центр «Інститут метрології», Харків, Україна.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ И ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОВ АКУСТОЭМИССИОННЫХ СИГНАЛОВ ПРИ НАГРУЖЕНИИ МАЛОЛЕГИРОВАННЫХ СПЛАВОВ ХРОМА

А.И. Шевченко

В статье проанализировано определение параметров акустоэмиссионных сигналов в нормативных документах и научной литературе и их взаимосвязь с физическими величинами, которые измеряются во время нагруженного разрушения малолегированных сплавов хрома. Разработана методика акустоэмиссионных исследований образцов сплава. Исследовались такие сплавы: ВХ 2К + Re 0,4 % + Zr 0,1 % – литой, пластический, крупнозернистый; ВХ 2К + Re 0,4 % + Zr 0,1 % – деформированный, пластический; ВХ 2К + Re 0,4 % – литой, пластический, мелкозернистый; ВХ 2К + N 0,06 % – литой; Cr + La 0,3 % – деформированный. Приведены акустоэмиссионные спектрограммы, которые свидетельствуют про изменения структуры материала образца под влиянием нагружения. Приведенные спектрограммы дают возможность использовать указанную методику с целью анализа пластических характеристик малолегированных сплавов хрома и определения легирующих добавок.

Ключевые слова: акустическая эмиссия, измерение параметров физических величин напряженных материалов, метод измерения динамики разрушения малолегированных сплавов хрома, спектры акустоэмиссионных сигналов.

DETERMINATION OF PARAMETERS ACOUSTIC EMISSION AND RESEARCH OF ACOUSTIC-EMISSION SIGNALS SPECTRUMS AT A LADENING OF LITTLEALLOYED ALLOYS OF CHROME

A. I. Shevchenko

In the article determination of parameters of acoustic-emission signals is analysed in normative documents and scientific literature and their intercommunication with physical sizes which are measured during the loaded destruction of the littlealloyed alloys of chrome. The method of acoustic-emission researches of standards of alloy is developed. Such alloys were probed: VKH 2K + Re 0,4 % + Zr 0,1 % – cast, plastic, coarse-grained; VKH 2K + Re 0,4 % + Zr 0,1 % – strained, plastic; VKH 2K + Re 0,4 % – cast, plastic, fine-grained; VKH 2K + N 0,06 % – cast; Cr + La 0,3 % – deformed. Acoustic-emission spectrograms are resulted, which testify about the changes of structure of material of standard under influence of lading. The resulted spectrograms enable to use an opisannyu method with the purpose of analysis of plastic descriptions of the littlealloyed alloys of chrome and determination of alloying additions.

Keywords: acoustic emission, measuring of parameters of physical sizes of the loaded materials, method of measuring of dynamics of destruction of the littlealloyed alloys of chrome.