

Testing-British Standart Institution. 1972. 10. A.c. 1373991 CCCP, MKUG.01 №3/32. Уст-ройство для испытанія металлических образцов на усталость / Б.М.Зайдель, В.В.Панасюк, И.Н.Дмитрах. Опул. 23.02.88. Бюл. № 7.

УДК 620.179 (035)

## ТЕРМОАКТИВОВАНИ РЕЛАКСАЦІЙНІ ПРОЦЕСИ У ХРОМЕЛІ ПІСЛЯ ПЛАСТИЧНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ

© Прохоренко С.В.\*, Прохоренко В.Я., Талан С.В., 1999

\*ЛНУ ім. Івана Франка;

ДУ «Львівська політехніка», кафедра «Фізика металів і матеріалознавства»

**Проведені експерименти з акустичної емісії хромелю дали змогу встановити оптимальну межу пластичної деформації під час виготовлення термоелектродів.**

Для вимірювання середніх температур у промисловості найширшого використання набули термопари та термометри опору. При цьому точність вимірювання визначається ступенем відтворюваності інтегральної термоелектрорушійної сили (термо-ЕРС) термопари, або опору чутливого елемента термометра у певних реперних точках температурної шкали. Джерела похибок вимірювальних термоперетворювачів можуть бути різноманітними, але завжди їх можна поділити на два найширші класи:

- зумовлені умовами встановлення теплового контакту термоперетворювач ↔ середовище;
- ступенем відтворюваності внутрішньої структури матеріалу термоперетворювача у досліджуваному інтервалі температур.

Ми зупинимось на другому класі похибок, провівши їх наступну деталізацію з врахуванням аналітичного зв'язку між *питомим електричним опором* ( $\rho$ ) та *абсолютною термоелектрорушійною силою* ( $\alpha$ ) сплаву (формула Мотта та Джонса):

$$\alpha = -\pi^2 k_B^2 T / 3e (\partial \ln \rho / \partial E)_{E=E_f} = -\pi^2 k^2 T / 3e \cdot 1/\rho \cdot (d\rho/dE)_{E=E_f}, \quad (1)$$

де  $k_B$ ,  $e$  – стала Больцмана та заряд електрона. Похідна опору по енергії  $(d\rho/dE)$  береться на енергетичному рівні  $E=E_f$  ( $E_f$  – енергія Фермі).

Фізика металів дає відомий вираз для питомого опору металів:

$$\rho = m v / Ne^2 \lambda, \quad (2)$$

де  $N$  – концентрація електронів;  $m$ ,  $v$  – відповідно, їх маса та швидкість;  $\lambda$  – довжина вільного пробігу носіїв струму. У найпростішій моделі вільних електронів вважається, що  $N = \text{const}$ . Тому, ввівши поняття рухливості носіїв струму  $u = e\lambda/mv$ , отримаємо:

$$\rho = 1/Neu. \quad (3)$$

Звідки випливає, що опір є величиною зворотною до рухливості. Остання, в свою чергу, визначається ступенем взаємодії носіїв струму з кристалічною ґраткою.

Наростаючі з температурою коливання іонів у вузлах ґратки приблизно лінійно зменшують рухливість з температурою. Тому, у першому наближенні, питомий опір з температурою змінюється за законом:

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha T), \quad (4)$$

де  $\rho_0$  – початковий опір,  $\alpha$  – температурний коефіцієнт опору,  $T$  – температура.

Формула (4) отримана за спрощеною моделлю. У реальній структурі слід враховувати ефекти домішок, недосконалостей структури, а також складніші механізми взаємодії електронів провідності з фононним спектром. Вплив вказаних чинників враховано одним з авторів у результаті чого отримано вираз:

$$R = R_0(1 + AT + BT^2) + D \cdot \exp(-\Delta E_{d-s} / k_B T), \quad (5)$$

котрий точно відтворює температурну залежність опору чутливого елемента платинового термометра опору до високих температур ( $\leq 1200$  °C). У формулі (5) останній доданок специфічний – властивий лише перехідним металам:  $\Delta E_{d-s}$  – енергія активації  $d \leftrightarrow s$  переходів. Тобто у перехідних металах розсіювання електронів має складніший характер, аніж у металах простих. Нагадаємо, що хромель є сплавом перехідних металів: 90 %Ni+10 %Cr).

Температурна залежність абсолютної термо-ЕРС сплавів з перехідними металами дуже чутлива до значення рівня Фермі, котрий, в свою чергу, визначається як хімічним складом, так і температурою.

Отже, абсолютна термо-ЕРС сильно залежна від енергетичного спектра електронів провідності. Це є найглибший рівень внутрішньої структури речовини і зумовлений він її хімічним та фазовим складом.

Наступний рівень структури речовини визначається ближнім та дальнім впорядкуванням атомів. І саме на цьому структурному рівні є можливим управління структурою пластичним та термічним обробленням сплаву.

Як продовження попередньої нашої роботи [1] – завданням даної ми поставили використання такого методу експериментального дослідження, котрий був би чутливим до другого рівня структури, але не залежав від енергетичного спектра електронів провідності. Саме таким методом, на наш погляд, є метод акустичної емісії. Сутність останнього полягає у реєстрації ультразвукової частини діапазону енергії, випроміненої досліджуванним матеріалом внаслідок явищ, що супроводжують процеси структурної релаксації.

У наданих рисунках зображено результати дослідження акустичної емісії мегагерцового діапазону у масштабах реального часу нагрівання та охолодження зразків хромелю (стандартного термопарного дроту,  $\varnothing 3,2$  мм, у стані постачання, – недеформованого –  $\epsilon=0\%$ ) та сильно деформованого, – який піддається пластичній деформації ( $\epsilon=90$  та  $80\%$ ).

На кожному з рисунків подано зареєстровану за допомогою апаратно-програмного комплексу "АКЕМ" [3] інформацію у такому вигляді:

- *інтенсивність сигналів акустичної емісії* –  $I_{AE}(\tau)$  та *температури* –  $T(\tau)$  зразка у полі дії нагрівної печі;

• абсолютна термо-ЕРС –  $\alpha_{\text{абс}}(T)$  відповідного зразка (за результатами попередньої роботи [2]).

Одержана багата інформація потребує глибокого наступного аналізу з позицій акустичного відтворення термоактивованих процесів структурної релаксації, а також умов коректної постановки експерименту. Проте деякі істотні висновки можна зробити вже тепер.

• У недеформованому зразку, а також у зразку зі ступенем деформації  $\epsilon=80\%$  спектр акустичної емісії при нагріванні незрівнянно багатший від такого, одержаного під час наступного охолодження. Згідно з існуючою теорією [4], це є свідченням повернення структури до стану термодинамічної рівноваги внаслідок термоактивованого зняття внутрішніх напружень, а також ліквідації просторових дефектів під час рекристалізації.

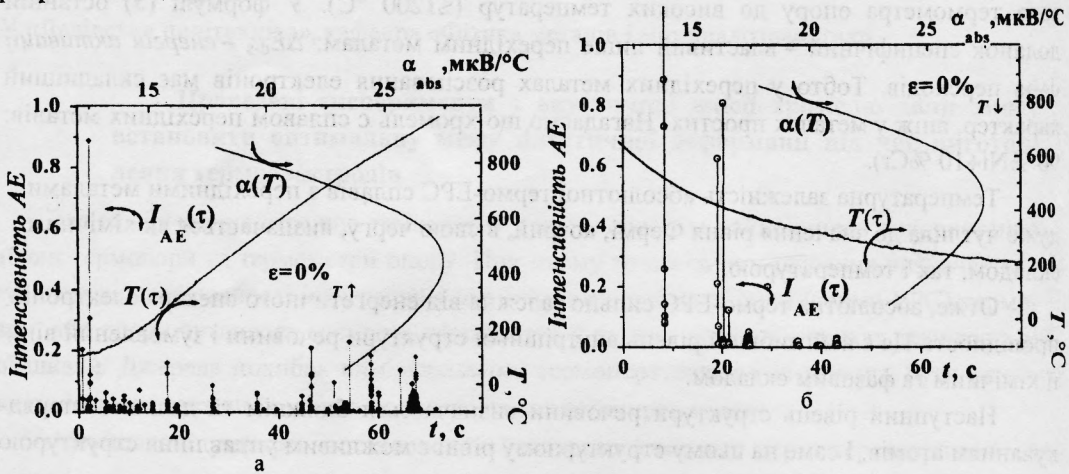


Рис.1.  $\epsilon=0\%$ , нагрівання зразка (а);  $\epsilon=0\%$ , охолодження зразка (б).

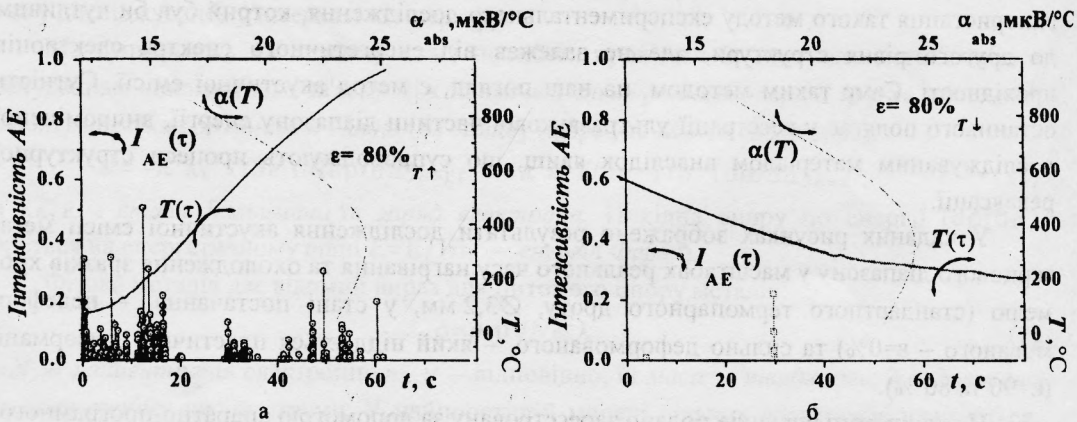


Рис.2.  $\epsilon=80\%$ , нагрівання зразка (а);  $\epsilon=80\%$ , охолодження зразка (б)

• Разом з тим, при охолодженні вказаних зразків виникають, хоч і не численні, але дуже інтенсивні сигнали. Їх наявність свідчить про певну некоректність постановки

експерименту: на зразках при виході з печі спостерігається різкий перепад температур (за нашими оцінками  $\approx 50$  °C/мм), що, згідно з [5], може викликати появу нових, але злокалізованих внутрішніх напружень ( $p \approx 3$  кбар) у зоні максимального стрибка температури.

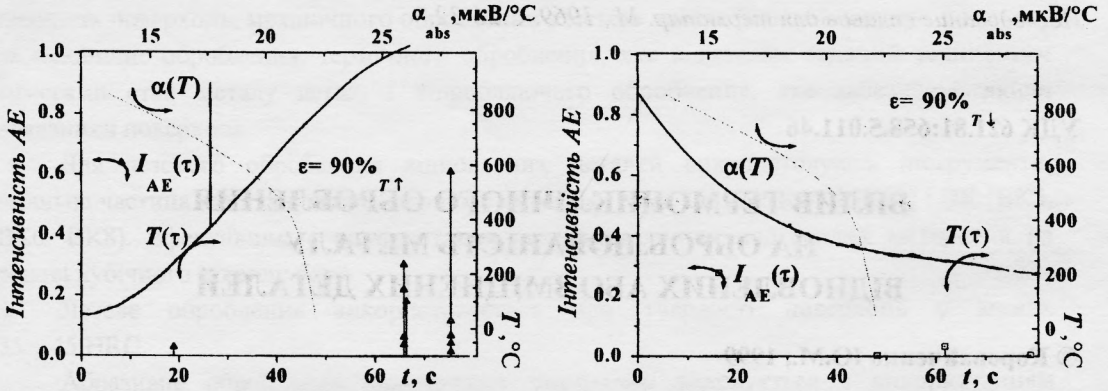


Рис.3.  $\epsilon=90\%$ , нагрівання зразка (а);  $\epsilon=90\%$ , охолодження зразка (б).

Картина акустичної емісії максимально здеформованого зразка ( $\epsilon=90\%$ ) принципово відрізняється. При нагріванні термоактивовані події в незначній кількості спостерігаються лише при максимальній ( $>1000$  °C) температурі відпалу. Під час охолодження нижче ніж 800 °C зразок взагалі „мовчить“.

Враховуючи той факт, що „мовчання“ спостерігається у максимально спотвореній деформацією структурі, – на базі акустичних експериментів підтверджуємо висловлений у попередній роботі [2] висновок, – що настільки деформувати хромель недопустимо. Деформація  $\epsilon \geq 90\%$  супроводжується деградацією структури, – у тому сенсі, що настільки деформований хромель не піддається рекристалізації внаслідок повного блокування границь зерен. У цьому випадку зміни термо-ЕРС є незворотними.

Отже, наші експериментальні результати принципово доповнюють відомі літературні [6] і дають змогу внести суттєві технологічні рекомендації.

1. Дутчак Я.И., Прохоренко В.Я., Скородинский Н.А. Оценка влияния неконтролируемых примесей на электрическое сопротивление платины в термометрах сопротивления // Теплофизика высоких температур. 1972. Т.10. № 1. С.198-202. 2. Прохоренко В.Я., Талан С.В., Прохоренко С.В. Влияние пластической деформации на физические свойства термоэлектрических материалов // Вісн. ДУ „Львівська політехніка“. 1999. № 359. С.88-91. 3. Прохоренко В., Прохоренко С., Демчина Б. та ін. Навчально-діагностичний комплекс для аналізу напруженого стану конструкцій // Українська наук.-метод. конф. „Комп'ютерне проектування в навчальному процесі“. Львів, 1998. С.14-15. 4. Gu H.P., Duley W.W. Resonant acoustic emission during laser welding of metals // Journal of Physics D -Applied Physics. 1996. 29. 3. P.550-555. 5. Стадник Б.И., Столярчук П.Г., Федик И.И. О возможном влиянии градиента температуры на Тедс однородных термо-



електродов // *Международ. сб. всес. конф. «Методы и средства измерения температуры»*. 1973. С.52-55. 6. Дутчак Я.И., Лах Р.В., Слабковский И.С. и др. Влияние пластической деформации на термо-е.д.с. сплавов хромель, копель и алюминель // *Физико-химическая механика материалов*. 1972. 2. С.106-107. 7. Пучков Б.И., Рогельберг И.Л. // *Исследование сплавов для термонар*. М., 1969. С.26-32.

УДК 621.81:658.5.011.46

## **ВПЛИВ ТЕРМОЦИКЛІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ НА ОБРОБЛЮВАНІСТЬ МЕТАЛУ ВІДНОВЛЕНИХ АБО ЗМЦНЕНИХ ДЕТАЛЕЙ**

© Коровайченко Ю.М., 1999

Кіровоградський державний технічний університет

**Показано, що зменшення величини зерна зон термічного впливу відновленої деталі в результаті виконання термоциклічного оброблення зменшує зусилля руйнування при різанні, внаслідок чого можна використовувати більш інтенсивні режими оброблення і підвищити продуктивність процесу.**

Оскільки існуючі методи високотемпературного відновлення або зміцнення деталей машин не забезпечують необхідних кінцевих якісних показників поверхонь, їх механічне оброблення є обов'язковим етапом у загальному технологічному процесі відновлення.

Механічне оброблення відновлених деталей має ряд специфічних особливостей, пов'язаних з виготовленням деталей в основному виробництві. До них, у першу чергу, належить стан металу відновленої поверхні (особливості структури, розмір зерна, твердість, рівномірність механічних властивостей по площі і перерізу відновленої поверхні), зношеність технологічних баз тощо.

Особливості стану металу відновленої поверхні, їх геометрична форма обмежують можливості використання різноманітних методів механічного оброблення. Найчастіше це точіння (фрезерування, стругання для площинних поверхонь), шліфування та відробляючі методи (тонке шліфування, суперфініш, хонінгування, полірування). Вид оброблення та кількість, його етапів (переходів) значною мірою залежить від твердості відновленої поверхні. Можливі два варіанти побудови технологічного процесу відновлення: відновлення – термічне оброблення – механічне оброблення – термічне оброблення – відробляюче оброблення; відновлення – механічне оброблення – відробляюче оброблення. Треба відзначити, що використання другого варіанта можливе лише у випадку, коли відновлення забезпечує задані властивості відновленої поверхні, а відновлена деталь не має вад, спричинених високотемпературним термодформатійним впливом основного процесу таких, як жолоблення холодних та гарячих тріщин тощо. Крім того,