

# КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ, ІНФОРМАЦІЙНІ І ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ

УДК 681.51.

**В.І. Білобородченко**

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра зварювального виробництва, діагностики  
і відновлення металоконструкцій

## ТЕРМОМЕХАНІЧНІ ВИПРОБОВУВАННЯ РОБОЧИХ КОНТАКТІВ (СПАЇВ) ТЕРМОПЕРЕТВОРЮВАЧІВ РАЗОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ

© Білобородченко В.І., 2007

**Запропонований метод і устаткування для руйнівних випробувань термопар на скручування у встановлених температурних умовах, чутливий до недосконалості матеріалу термоелектродів та їх зони зварювання.**

**The offered method and equipment for the destructive tests of termopar on twisting in the set temperature terms more sensible to imperfectness of termoelectrodiv and their welded connection.**

**Постановка проблеми.** Робочий контакт (спай) гілок-термоелектродів потрібно розглядати як систему, що має різну надійність під час виготовлення та експлуатації [1]. Інтенсивність його відмов  $\lambda(t)$  порівняно з вторинними пристроями значно вища і становить  $0,55 \cdot 10^{-2}$  1/год, а для гілок  $-1 \cdot 10^{-8}$  1/год. [2]. Для термопар характерні два механізми відмови: раптова (руйнування) та поступова (втрата метрологічних параметрів), які можуть проявитися на будь-якому етапі життєвого циклу виробу. Оскільки числові значення середньої інтенсивності раптових відмов  $\bar{\lambda}(t)$  відсутні, то розрахунок імовірності безвідмовної роботи термоперетворювача  $R(t)$  ґрунтується на масиві узагальнених числових значень інтенсивності відмов окремих складових робочої частини термоперетворювальних пристроїв незалежно від температури вимірюваного середовища, типу конструкції перетворювача, дійсного характеру силового навантаження під час виготовлення та експлуатації [2]. Не береться до уваги спосіб формування вимірювального вузла, де найбільше проявляються помилки конструктивного виконання робочої частини перетворювача та прийоми виготовлення спаю.

Отже, оцінка надійності термоперетворювачів має швидше якісний характер, що вимагає додаткового її резервування на стадіях проектування та виготовлення виробу [1]. Вважається, що конструкція та спосіб утворення робочого контакту (спаю), з рештою рівних умов щодо метрологічних характеристик, повинні максимально врівноважувати термомеханічні напруження та деформації в часі вимірювання температури високоенергетичних середовищ.

Відповідно технологічні прийоми стадії виробництва повинні максимально компенсувати недоліки проектування термовимірювального вузла, зміни властивостей матеріалів тощо. Такі вимоги задовольняються лише під час випробувань, що максимально враховують реальні механічні та теплові навантаження виробу на всіх стадіях його життєвого циклу, мають строгу кількісну оцінку та можуть бути коректно зіставлені з нормалізованими способами руйнівних тестувань термоперетворювачів [3]: осьове прикладання зусилля до руйнування, статичний підвіс (регламентоване вагове

зусилля), багаторазове проведення гілок-термоелектродів з робочим спаєм через захисну арматуру перетворювача, тепловий удар по спаю та фіксацією ступеня осциляції терс.

Проте їх особливістю є неадекватність реальним температурно-силовим факторам, що сприймає перетворювач, а отримана інформація лише констатує рівень відтворюваності технологічних прийомів формування спаю для всієї партії виробів.

**Метою роботи** є розроблення обладнання та методики проведення руйнівних механічних випробовувань виробу, термомеханічні параметри якої строго узгоджені з реальними експлуатаційними.

**Вирішення проблеми.** За основу прийняті положення теореми Бетті [4], відповідно до якої енергетична властивість лінійно-деформівного тіла під дією двох взаємозалежних систем сил I, K, оцінюється за принципом взаємності їх робіт ( $W_{i,k} = W_{k,i}$ ). Корекція цього положення за Брайбертом [5], прикладена до механічних систем, вимагає розглядати температурно-силовий фактор під час роботи виробу як імпульс системи  $Q_i$ , а температурно-силовий фактор в часі випробовувань як імпульс дії системи  $Q_k$ . Відповідно реакція виробу на такі імпульси є ознакою загальної втрати надійності, з умови, що сума відмов, які не збігаються, від дії таких імпульсів мінімальна.

З огляду на геометрію термоелектродних гілок та формування робочого спаю методами мікроконтактного точкового зварювання найдоцільнішою формою силового випробовувального імпульсу є схема кручення при сталій високій температурі. Тут існують умови розкриття власних дефектів термоелектродів за рахунок чистого зсуву по всій довжині з коефіцієнтом м'якості  $\gamma=0,8$ , плоского напруженого стану при збереженні початкової форми зразка [6]. Нагрівання ініціює повніше розкриття дефектів, а також спричиняє дифузійні процеси, характерні під час роботи виробу.

З огляду на вищевикладене умова рівності робіт випробовувального та робочого імпульсів становить

$$Q_{\text{вип.}}(t_{\text{вип.}}, T^0_{\text{вип.}}, M_{\text{вип.}}) \cong Q_{\text{експл.}}(t_{\text{експл.}}, T^0_{\text{експл.}}, F_{\text{експл.}}), \quad (1)$$

де  $t_{\text{вип.}}$  – час випробовувань до відмови виробу;  $t_{\text{експл.}}$  – час роботи виробу (для разових перетворювачів та робочих діапазонів температур 1800–2500 °C становить до 5 с);  $M_{\text{вип.}}$  – момент кручення;  $F_{\text{експл.}}$  – ненормований силовий узагальнений фактор (моменти вигину, розтяг тощо), присутній під час виготовлення термовимірювального вузла та в часі його експлуатації.

Звідки при заданому моменті кручення випробовувальна температура становить

$$T^0_{\text{вип.}} = \frac{n \cdot T^0_{\text{експл.}} \cdot d_e^4 \cdot G(T^0)}{32M_{\text{вип.}}}, \quad (2)$$

де  $n = 3 \dots 5$  – часовий запас надійності виробу;  $M_{\text{вип.}} = 0,15 \text{ Н}\cdot\text{м}$ ;  $G(T^0) = 135 \cdot 10^{11} \text{ Па}$  – модуль зсуву для чистого вольфраму;  $d_e = 200 \text{ мкм}$  – діаметр термоелектродної гілки.

Верхньою межею випробовувальної температури є відсутність рекристалізаційних процесів у термогілках [1]. Для вказаного робочого діапазону вимірюваних температур та з урахуванням часового запасу надійності ( $t_{\text{експл.}} = 15 \dots 25 \text{ с}$ ) температура нагрівання становить 700 °C.

Стандартним критерієм оцінки випробувань на кручення є кут закручування [6]. Через малі перерізи дротів доцільна його заміна оцінкою загального часу кручення до руйнування  $t_p(\text{с})$  при визначеній температурі  $T^0_{\text{вип.}}$ . Звідки узагальнена експлуатаційна характеристика виробу  $X_{\text{експл.}} = t_{\text{експл.}} \cdot T^0_{\text{експл.}}$  адекватна випробовувальній  $X_{\text{вип.}} = t_p \cdot T^0_{\text{вип.}}$ . Силовий фактор  $F_{\text{експл.}}$  є незначущим [2] порівняно з випробовувальним навантаженням.

Досліди проводилися на створеному стенді для мікромеханічних випробовувань на кручення (рис. 1), який відповідає вимогам [7]. Стенд складається з основи 9, на якій змонтована корпусна платформа 6 з вбудованим двигуном ( $\omega=2 \text{ 1/хв}$ ), формувач зразків 7, струмопідвід ковзаючий 5, опорні телескопічні колони 3. На траверсі 8 знаходиться спецгайка для початкового задавання попереднього натягу термоелектродів, що нормується пружиною, яка знаходиться в обоймі 2. Величина натягу визначається індикаторною голівкою 1. Сформовані кінці зварених у робочий

спай термоелектродів закріплюються мікроходовими гвинтами 11, що знаходяться на плаваючих (2 ступені вільності) затискачах 10.

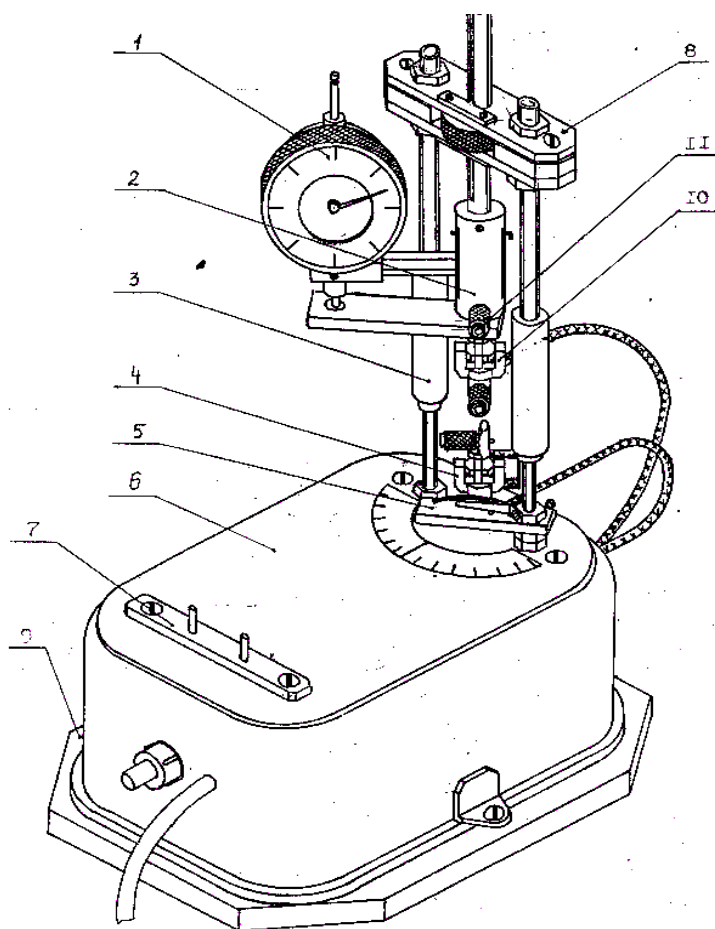


Рис. 1. Стенд для мікромеханічних випробовувань на кручення

Мікротестувальний стенд відповідає умовам дослідження дротів: враховано масштабний фактор, довжина зразків  $L > 100d$ , відсутнє проковзування виробу у затискачах, попередній натяг дротів не більше 2 % номінальної межі міцності, плавне самоцентрування та навантаження без зусиль вигину завдяки шарнірно-пружинному підвісу.

Зразки нагріваються від стабілізованого джерела, початковий контроль температури проводиться еталонною термодією, з одночасним вимірюванням спаду напруги на зразку ( $(1 \pm 0,05) V$ ). При серійних випробовуваннях задана температура підтримується вимірюванням початкового гальванічного опору зразка та корекцією стабілізованого джерела. Термоелектричний ефект становить 1,6 % загальної кількості тепла, генерованого у виробі. Термостатування забезпечується чохлами, що закриває стенд. Динаміка зміни електроопору під час навантаження виробу моментом кручення фіксується міліометром.

Для точкових зварних з'єднань репрезентативною оцінкою міцності є зусилля руйнування  $P_p$  (даН) при розтягу [2]. Тому доцільним є початкове зіставлення результатів випробовувань на кручення (оцінка –  $X_m$ ) та розтяг при однаковому температурному факторі для окремих термоелектродів (вольфрам-ренієві сплави ВР5, ВР20), на базі яких далі формується термоперетворювач із зварним робочим спаєм.

Як оцінка впливу розтягу прийнятий добуток часу навантаження до руйнування  $t_p$  (с) та зусилля  $P_p$ , при якому відбулася відмова робочого контакту або термоелектроду –  $X_p$ . Температура випробовувань – 700 °С. Досліди проведені на мікромеханічному стенді [7]. Порівняльні результати наведені в табл. 1.

**Результати руйнівних випробовувань термовимірювальних вузлів  
(термоелектроди ВР5/ВР20, діаметр 200 мкм)**

Характери стика випробовування	Номер партії зразків									Вид навантаження
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Термоелектрод ВР5										
X <sub>м</sub>	200	180	185	135	255	195	105	305	415	Кручення
P <sub>p</sub>	2,8	2,7	2,8	2,6	2,8	2,8	2,6	2,7	-	Розтяг
t <sub>p</sub>	80	83	80	82	82	77	76	76	-	
Термоелектрод ВР20										
X <sub>м</sub>	460	485	440	485	460	440	460	500	500	Кручення
P <sub>p</sub>	3,9	3,6	3,8	3,75	3,75	3,6	3,7	3,7	-	Розтяг
t <sub>p</sub>	105	105	100	100	105	100	98	102	-	

Статистичне оброблення результатів випробовувань ґрунтується на припущеннях методики [8] про універсальність аналітичної моделі

$$f(x) = \frac{\alpha}{2\Gamma(\frac{1}{\alpha})} \exp[-(|x|^\alpha)], \quad (3)$$

де  $\Gamma(1/\alpha)$  – гама-функція зворотної величини постійної  $\alpha$ , характерної для і-розподілу х-масиву даних.

Для підвищення інформаційної надійності цих випробовувань також використані непараметричні методи [9] та адаптивні оцінки Хогга-Прескотта для сімейства зрізаних середніх  $x_c(\alpha)(0 \leq \alpha \leq 0,5)$  з доповняльними до них статистиками оцінки середнього масиву цих випробовувань.

Критеріальною статистикою відхилення даних  $T_1$  від нормального закону розподілення та вибору  $\alpha$ -зрізання є вибіркоий ексцес  $\varepsilon^*$

$$\varepsilon^* = \frac{[n \sum (x_i - x_c)^4]}{[\sum (x_i - x_c)^2]^2} \leq T_1, \quad (4)$$

де  $\varepsilon^* \geq 5,5$ ,  $T_1 = x_{med}$ ;  $4 \leq \varepsilon^* \leq 5,5$ ,  $T_1 = x_{1/4}$ ;  $2 \leq \varepsilon^* \leq 4$ ,  $T_1 = x_c$ ;  $\varepsilon^* \leq 2$ ,  $T_1 = x_{0,25}$

Статистичні оцінки результатів випробовувань наведені в табл. 2 та рис. 2; кодування відгуків є різницею між виміряною величиною  $x_i$  та наочним середнім  $A$ .

Таблиця 2

**Статистичні оцінки результатів випробовувань термоелектродів  
із зварним робочим спаям (контактом)**

Вид навантаження	Статистичний параметр									Оцінка випробовування
	A	X <sub>c</sub>	X <sub>med</sub>	X <sub>R</sub>	X <sub>1/4</sub>	X <sub>0,25</sub>	$\varepsilon^*$	X <sub>c</sub> <sup>*</sup> ( $\alpha$ )	S <sub>e</sub>	
кручення	225	-4,44	-3,5	35	-30	-28,8	-	-	85,6	338
розтяг	224	-3,71	-4,0	-3,5	-5,5	-5,43	1,62	-2	8	235,4

X<sub>c</sub> – середнє арифметичне; X<sub>med</sub> – середнє за медіаною; X<sub>R</sub> – середнє за розмахом; X<sub>1/4</sub> – середнє за кватилиями; X<sub>0,25</sub> – 50 % зрізане середнє арифметичне; S<sub>e</sub> – СКП експерименту

Адекватність методів випробовування перевірена  $r_\alpha$ -критерієм знаків [9]; вибірки приведені до А-безрозмірного вигляду діленням  $x_i$ -го відгуку на оцінку центра розподілу X<sub>c</sub><sup>\*</sup>( $\alpha$ ). Результати ( $r_\alpha \leq U_+ \leq n - r_\alpha = 2 < 3 < 6$ ) свідчать, що вибірки є паралельними, випробовування на кручення

статистично значуще, ефективно та адекватне нормалізованим випробуванням на розрив при кращій чутливості до коливань вхідних характеристик матеріалу термоелектродів.

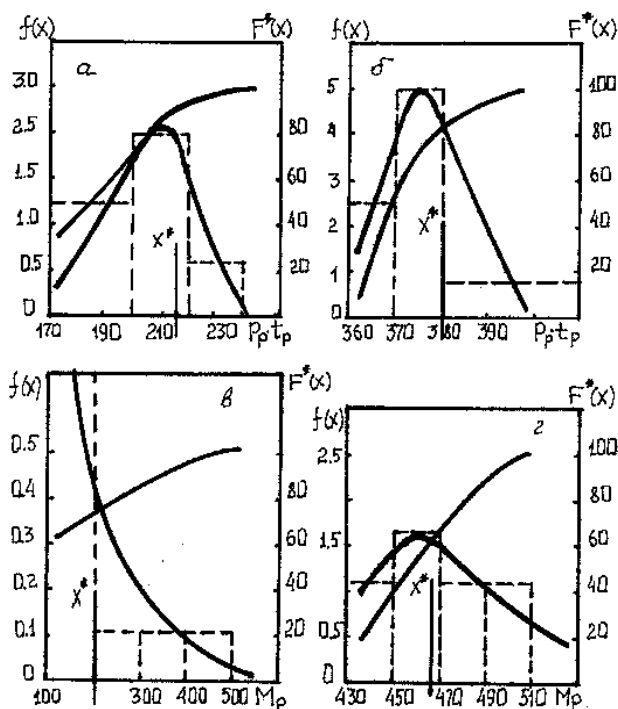


Рис. 2. Оцінки щільності ймовірності  $f(x)$  та емпірична функція розподілу  $F^*(x)$  результатів руйнівних випробувань термоелектродів BP5 (а, б) та BP20 (б, г) на розтяг (а, б) і кручення (в, г)

$$[f(x) = \frac{n_i \cdot 100}{n \Delta h}, F^*(x) = \frac{\sum_{i=0}^r n_i}{n} \cdot 100]; n_i - \text{сума частот } r\text{-інтервалу нормованої довжини } \Delta h \text{ вибірки } n,$$

$x^*$  – медіана варіаційного ряду оцінок середнього спостережень вибірки

Аналіз результатів (рис. 2, табл. 2) демонструє, що випробування на розрив має достатньо рівномірний розподіл частотностей для термоелектроду BP5 порівняно з термоелектродом BP20, проте у першого наявний збільшений розкид механічних властивостей і менша міцність. При випробуваннях на кручення спостерігається зсув максимальної частотності у бік меншого часу руйнування (BP5) та зростання до варіації механічних властивостей (BP20) через ефективне розкриття захованих дефектів основного металу термодротів. Наведене пояснюється тим, що чутливість випробувань на розтяг до дефектності виготовлення термодроту достатня лише у разі розкриття дефектів більше 15 % перерізу термоелектроду. В іншому випадку дефекти типу розшарувань та локальних несучільностей працюють як площини ковзання, узгоджені з вектором прикладання зусилля розтягу.

**Висновки.** 1. Створене обладнання та запропонована методика випробувань термоелектродів та їх зварного робочого спаю на кручення при даній температурі з фіксацією часу навантаження до руйнування, які достатньо повно враховують умови експлуатації виробу.

2. Результати випробувань статистично надійно узгоджуються з випробуванням на розтяг (розрив) із урахуванням часу навантаження, у таких самих температурних умовах, та запобігають впливу ненормованих силових факторів на результати випробувань.

3. Запропонована методика випробувань підвищує надійність оцінки відмов термоперетворювачів у 1,5 раза.

4. Чутливість випробувань до власної дефектності матеріалу термоелектродів підвищується у 1,2 раза.

1. Куритнык И.П., Белобородченко В.И. Современные технологии для изготовления термомпар / ТС-6 // Приборы и устройства для контроля и регулирования технологических

процессов. – М.: Информприбор, 1990. – № 3. – 40 с. 2. Сасонов Г.В., Киц А.И., Кюздени О.А. Датчики для измерения температур в промышленности. – К.: Наук. думка, 1972. – 223 с. 3. Куритник И.П., Фединец В.А., Добровинский И.Е. Средства измерения температуры в металлургии / ТС-6 // Приборы и устройства для контроля и регулирования технологических процессов. – М.: Информприбор. – 1988. – № 1. – 49 с. 4. Сопротивление материалов / Г.С. Писаренко, В.А. Агарев, А.Л. Квитка. – К. Вища шк., 1986. – 776 с. 5. Миловзоров В.П. Элементы информационных систем. – М.: Высш. шк., 1989. – 440 с. 6. Золотдревский В.С. Механические испытания и свойства металлов. – М.: Металлургия, 1974. – 303 с. 7. Білотородченко В.І. Механічні випробовування та обладнання для контролю якості мікрозварних точкових контактних зварних з'єднань // Вісн. Нац. ун-ту "Львівська політехніка". – 2004. – № 509. – С. 11–17. 8. Новицкий П.В., Зограф И.Л. Оценка погрешностей результатов измерений. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 248 с. 9. Грановский В.А., Сирая Т.Н. Методы обработки экспериментальных данных при измерениях. – Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 288 с.

УДК 629.113.004.2

Р.Я. Качмар

Національний університет "Львівська політехніка",  
кафедра експлуатації та ремонту автомобільної техніки

## ЗАСІБ ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ СИСТЕМ ЖИВЛЕННЯ І ЗАПАЛЮВАННЯ ДВИГУНІВ АВТОМОБІЛІВ ЗА ТОКСИЧНІСТЮ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ

© Качмар Р.Я., 2007

**Розроблено діагностичний засіб для періодичного контролю токсичності відпрацьованих газів бензинових двигунів автомобілів на лінії, з поточним контролем відповідних параметрів системи живлення-запалювання, які впливають на зміну токсичності.**

**A diagnostic mean is developed for the periodic control of toxicness of exhausts gases of petrols engines of cars on a line, with the current control of the proper parameters systems of feed and cognition systems, which influence on changing of toxicness.**

**Вступ.** Зростання складності об'єктів контролю в автомобільній техніці, збільшення джерел інформації, врахування динамічних властивостей об'єктів та систем, накладає високі вимоги до точності і об'єктивності проведення діагностування. Одним із важливих завдань діагностування динамічних систем, до яких належать ДВЗ як з використанням карбюризації, так із застосуванням систем керування сумішоутворенням, є створення відповідної апаратури, дискретне чи неперервне зчитування результатів діагностування, виконання регулювальних (замінних) робіт. У цьому разі йдеться про створення комп'ютеризованого засобу для періодичного чи неперервного вимірювання токсичності відпрацьованих газів за об'ємним вмістом монооксиду вуглецю (СО).

**Постановка проблеми.** Одним із основних експлуатаційних показників щодо екологічності відпрацьованих газів (ВГ) ДВЗ є граничне значення їх токсичності, яке обмежується чинним в Україні відповідним стандартом. Моменту перевищення допустимого вмісту токсичних речовин у ВГ, зокрема, вмісту СО, передують нагромадження пошкоджень, розрегулювань тощо, що характеризує певний пробіг АТЗ. Зростання токсичності ВГ до значень, обмежених чинним законодавством чи рекомендованих заводом-виготівником, відбувається поступово за відповідною закономірністю. Характер перебігу змін токсичності ВГ залежить від ступеня впливу на неї різних чинників. Із