

пластини до її магнітної проникності і електричної провідності // Вісн. Нац. Ун-ту “Львівська політехніка”. 2008 . № 615 . – С. 176–181. 3. Яцун М.А., Яцун А.М. Чутливість інформативних величин до фізичних параметрів об’єкта при контролі імпульсним вихрострумовим методом // Збірник тез доповідей П’ятої Міжнар. наук.-техн. конф. і виставки “Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазо-промислового обладнання”. – Івано-Франківськ, 2–5 грудня 2008 р. – С. 133–135. 4. Яцун М.А., Яцун А.М., Шуплат О.І. Наближена числова реалізація зворотного перетворення Лапласа загасаючих коливань у разі неруйнівного контролю імпульсним вихрострумовим методом // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. 2010. № 671 . – С. 140–146.

УДК 536.532

**В.В. Фединець**

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра автоматизації теплових і хімічних процесів

## **ДОСЛІДЖЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЧУТЛИВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕРМОПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ГАЗОВИХ ПОТОКІВ**

© Фединець В.В., 2013

**Досліджено метрологічні характеристики чутливих елементів термоперетворювачів для вимірювання температури газових потоків в умовах впливу технологічних і експлуатаційних чинників.**

**Ключові слова:** термоперетворювачі, чутливі елементи, метрологічні характеристики, технологічні та експлуатаційні чинники.

**In the article research of metrology descriptions of pickoffs of receivers of temperature is conducted for measuring of temperature of gas streams in the conditions of influence of technological and operating factors.**

### **Вступ**

Термоперетворювачі (ТП) для вимірювання температури газових потоків експлуатуються в умовах одночасного впливу температур, хімічної агресивності і швидкості досліджуваного газового потоку, вібрацій, механічних ударів, резонансних частот тощо. Вплив експлуатаційних факторів призводить до накопичення в конструктивних матеріалах і чутливих елементах ТП мікронапружень, які викликають зміни як метрологічних так і механічних (міцнісних) характеристик.

На стабільність метрологічних характеристик впливають і технологічні фактори, що виникають під час виготовлення чутливих елементів і ТП. Процес виготовлення пов’язаний з виконанням операцій намотування, старіння, зварювання, визначення статичних характеристик та іншими операціями, в яких здійснюється нагрівання чутливих елементів, їх деформування як в холодному, так і в гарячому стані.

Така сукупність технологічних операцій в процесі виготовлення і умови експлуатації ТП не дають можливості здійснити попередню оцінку зміни метрологічних характеристик, тобто встановити термін експлуатації, з досягненням якого необхідна метрологічна перевірка і встановлення нових значень метрологічних характеристик.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз літературних джерел [1,2] показує, що дослідження метрологічних характеристик залежно від впливу технологічних і експлуатаційних факторів переважно проводились під час вимірювання криогенних температур за допомогою платинових чутливих елементів (ЧЕ). Дослідженню термометричних матеріалів присвячена велика кількість публікацій [3–5], в яких достатньо повно вивчено їх термоелектричні властивості, вплив досліджуваних середовищ, радіації, високого тиску, деформацій, термоциклічних впливів тощо на зміну термо-ЕРС та її стабільність. Тому в цій роботі проведено дослідження метрологічних характеристик чутливих елементів ТП під час вимірювання температури газових потоків.

### Мета роботи

На основі експериментальних досліджень встановити зміни метрологічних характеристик платинових чутливих елементів ТП типу ТОП-5680, які призначені для вимірювання температури гальмування повітря в аеродинамічних трубах у діапазоні температур від мінус 50 до 650 °С.

### Виклад основного матеріалу

На рис. 1 схематично зображено конструкцію ТП типу ТОП-5680. Чутливим елементом слугує платиновий термоопір з номінальною статичною характеристикою 10П ( $R_0 = 10 \text{ Ом}$ ), який поміщається в захисний корпус із сталі марки 12Х18Н10Т розміром 6х0,5 мм. Камера гальмування виконана у вигляді двох отворів діаметром 3 мм, розміщених за чутливим елементом і вибрана із розрахунку гальмування газового потоку. Допустиме значення основної похибки не перевищує  $\pm 1 \text{ К}$  в діапазоні від мінус 50 до 100 °С,  $\pm 2 \text{ К}$  в діапазоні вище 100 до 350 °С і  $\pm 3 \text{ К}$  в діапазоні вище 350 до 650 °С. Показник теплової інерції не більше 10 с і коефіцієнт відновлення при числах  $M$  в камері гальмування від 0,2 до 0,6 становить 0,96–0,97. Кріплення ТП до корпусу вимірювального зонда забезпечується зварюванням. Швидкість повітряних потоків може змінюватися від 20 до 520 м/с і тиском від 30 до 600 кПа.

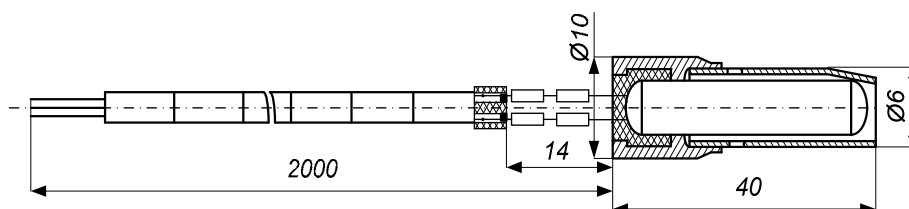


Рис. 1. Загальний вигляд термоперетворювача типу ТОП-5680

### Вплив технологічних факторів

Основні етапи виготовлення ТП з аналізом відповідних фізичних процесів і зміною метрологічного параметра наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Основні етапи виготовлення ТП типу ТОП-5680

Технологічний етап виготовлення	Фізичні процеси, що виникають на даному етапі	Зміна метрологічного параметра
Розмотування дроту із котушки	Пластична деформація (згин, кручення, нахльоп)	Збільшення електричного опору
Намотування платинового дроту діаметром 0,07 мм у вигляді спіралі	Пластична деформація (розтягування, кручення, згин, нахльоп)	Збільшення електричного опору
Приварювання кінців спіралі до вивідних провідників	Полігонізація і первинна рекристалізація в момент нагрівання під час приварювання	Збільшення електричного опору
Старіння спіралі	Рекристалізація	Зменшення електричного опору

Із табл. 1 видно, що метрологічні характеристики ТП визначаються властивостями чутливого елемента, тобто властивостями матеріалів, із яких вони виготовлені. Важливе значення мають технологічність, однорідність і відтворюваність метрологічних характеристик в умовах промислового виробництва ТП і технологія виготовлення ЧЕ.

Фізичні процеси, що супроводжують етапи виготовлення і впливають на термометричні властивості, поділяються на дві групи: пластична деформація і рекристалізація.

Розглянемо вплив технологічних факторів на зміну електричного опору платинових чутливих елементів ТП типу ТОП-5680. Під час розмотування дроту із котушки і виготовлення чутливого елемента він піддавався дії пластичної деформації, що призводило до виникнення спотворень кристалічної решітки, тобто виникнення в ньому таких дефектів, як дислокації і вакансії [6–8]. Із збільшенням пластичної деформації зростає густина дислокацій, що призводить до зміни мікроструктури дроту і зміни його питомого електричного опору, що стає основною причиною нестабільності метрологічних характеристик в подальшій експлуатації ТП.

Оцінка структурних змін, що відбуваються в дроті, проводилася на трьох чутливих елементах ТП за змінами електричного опору в точках топлення льоду ( $0^{\circ}\text{C}$ ) і кипіння води ( $100^{\circ}\text{C}$  з врахуванням поправки на барометричний тиск). Вимірювання електричного опору проводилося після виготовлення чутливих елементів і після старіння при різних температурах.

Апроксимовані залежності зміни електричного опору в точці топлення льоду від температури і часу відпалу наведені на рис. 2. Встановлено, що при температурах відпалу (старіння)  $250^{\circ}\text{C}$  і вище протягом 75 год практично не спостерігаються зміни електричного опору при  $0^{\circ}\text{C}$  ( $R_0$ ). Тому можна вважати, що температура  $250^{\circ}\text{C}$  і час витримки 75 год є оптимальними для старіння досліджуваних чутливих елементів. Важливою характеристикою чутливого елемента ТП опору є відтворюваність показів. У точці топлення льоду невідтворюваність показів до і після старіння не перевищувала в температурному еквіваленті  $\pm 0.05\text{ K}$ .

Результати досліджень, наведені на рис. 3, показують, що підвищення відношення опорів  $W_{100}=R_{100}/R_0$  при температурах 100 і  $0^{\circ}\text{C}$  з підвищенням температури старіння є незначним і не перевищує допустимих відхилень. Тобто більшість дефектів, що мали місце в чутливому елементі під дією пластичної деформації, практично усуваються старінням з вказаними параметрами.

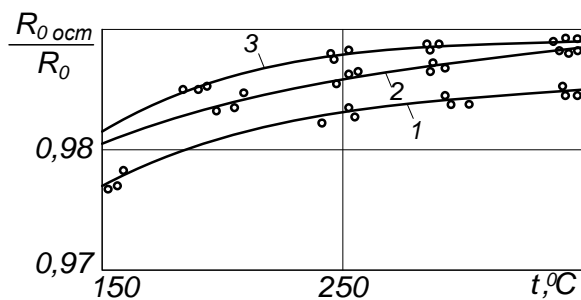


Рис. 2. Апроксимовані залежності зміни електричного опору  $R_0$  від температури і часу відпалу: 1 – відпал 25 год; 2 – 50 год; 3 – 75 год

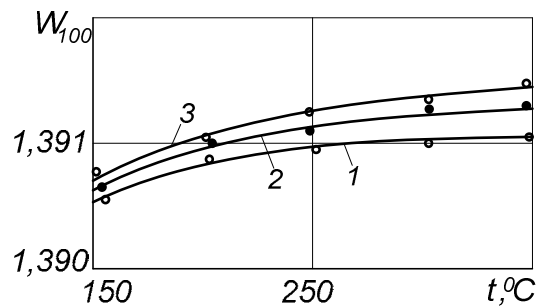


Рис. 3. Апроксимовані залежності зміни відношення  $W_{100}$  від температури і часу відпалу: 1 – відпал 25 год; 2 – 50 год; 3 – 75 год

### Вплив експлуатаційних факторів

Поряд з технологічними факторами, що мають вплив на стабільність метрологічних характеристик, істотно впливають на їх зміну в часі і умови експлуатації і однією з основних характеристик ЧЕ є стабільність цих характеристик під час експлуатації в різних середовищах і при різних зовнішніх впливах – механічних, електричних, хімічних тощо.

Зміна метрологічних характеристик під час експлуатації обумовлена фізичними процесами, що відбуваються в матеріалах чутливих елементів.

Досвід експлуатації ТП в різних умовах показує, що значення і інтенсивність зміни метрологічних характеристик залежить від часу і температури експлуатації, вібрацій, механічних ударів, забруднень і впливів навколишнього середовища.

Відтворити такі умови в лабораторній практиці для різних умов експлуатації доволі складно, а іноді і неможливо. Тому для дослідження стабільності метрологічних характеристик були проведені статистичні дослідження зі встановлення їх зміни в реальних умовах експлуатації. Для ТП типу ТОП-5680 визначалися зміни електричного опору при  $0^{\circ}\text{C}$  ( $\Delta R_0$ ) і відношення опорів при  $0$  і  $100^{\circ}\text{C}$  ( $\Delta W_{100}$ ).

Обробкою експериментальних даних встановлено, що під час експлуатації для ТП збільшується значення параметра  $\Delta R_0$  і після 500 год (технічний ресурс ТП) зміна становить до  $\pm 0,09\%$  (рис. 4). Одночасно за час експлуатації проходить незначне зменшення  $\Delta W_{100}$ .

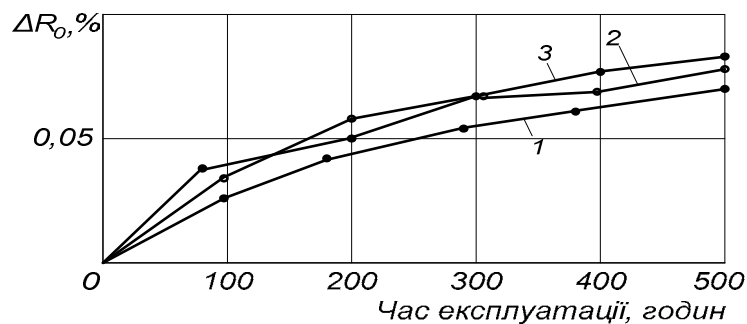


Рис. 4. Апроксимовані залежності зміни  $\Delta R_0$  за час експлуатації:  
1, 2, 3 – досліджувані зразки ТП

Вказані зміни можна пояснити тим, що під дією механічних впливів під час експлуатації в платиновому чутливому елементі збільшується концентрація дефектів кристалічної решітки, що і призводить до зростання електричного опору. У температурному еквіваленті вказані зміни  $\Delta R_0$  і  $\Delta W_{100}$  не перевищували  $\pm 0,5\text{ K}$  при температурі експлуатації до  $650^{\circ}\text{C}$ .

### Висновки

Досліджено стабільність метрологічних характеристик платинових чутливих елементів ТП типу ТОП-5680, призначених для вимірювання температури гальмування повітря в аеродинамічних трубах у діапазоні температур від мінус 50 до  $650^{\circ}\text{C}$  в умовах впливу технологічних і експлуатаційних факторів. Експериментально встановлено значення температури і час старіння чутливих елементів, які усувають дефекти, що мали місце в них під час їх виготовлення.

1. Гук О.П., Лах О.І., Процевят М.М., Ковальова В.П. Малогабаритні мідні термоперетворювачі опору / О.П. Гук, О.І. Лах, М.М. Процевят, В.П. Ковальова // 8-ма Міжнар. конф. "Температура -93": тези доп. – Львів, 1993. – С. 82. 2. Гук О.П., Лах О.І., Процевят М.М. Платинові термоперетворювачі опору підвищеної точності для криогенних температур / О.П. Гук, О.І. Лах, М.М. Процевят // 8-ма Міжнар. конф. "Температура -93": тези доп. – Львів, 1993. – С. 86. 3. Куритный И.П. Материалы высокотемпературной термометрии / Куритный И.П., Бурханов Г.С., Стаднык Б.И. – М.: Металлургия, 1986. – 208 с. 4. Хаяк Г.С. Промышленные изделия из благородных металлов и сплавов / Хаяк Г.С., Куранов А.А., Чебыкин М.А. – М.: Металлургия, 1985. – 264 с. 5. Kinzie P.A. Thermocouple Temperature Measurement / P.A. Kinzie. – N.Y.-L.: Wiley-Intersciens Publ., 1973. – 278 p. 6. Каца Р. Физическое металловедение. Дефекты кристаллического строения механических свойств металлов и сплавов / Каца Р. : пер. с англ. под ред. В.М. Розенберга. – М.: Мир, 1968. – 468 с. 7. Фридель Ж. Дислокации / Фридель Ж. : пер. с англ. под ред. А.А. Ройгбурга. – М.: Мир, 1967. – 644 с. 8. Дамаск А., Динс Д. Точечные дефекты в металлах / Дамаск А., Динс Д. : пер. с англ. Д.Е. Темкина и Э.И. Эстрина под ред. Б.Я. Любова. – М.: Мир, 1966. – 291 с.