

УДК 536.532:621.3.036

ВИХРОСТРУМОВИЙ КОНТРОЛЬ ЗАСОБІВ ТЕМПЕРАТУРНОЇ ДІАГНОСТИКИ НАФТОГАЗОПРОМИСЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ

В.М. Дружук¹⁾, Т.З. Бубела²⁾, П.Г. Столярчук²⁾

1) – Управління магістральних газопроводів «Львівтрансгаз», вул. Рубчака, 3, м. Львів, 79026

2) – Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, тел.: (0322) 258-23-94

Представлено результати дослідження термоелектричної неоднорідності термоелектродних матеріалів. Предметом експериментального пошуку був аналіз можливостей застосування вихорострумового методу для контролю фізичної термоелектричної неоднорідності матеріалів, які використовують в засобах температурної діагностики нафтогазопромислового обладнання. Ключові слова: термоелектрична неоднорідність, вихровий струм, якість термоелектродного дроту.

В работе представлены результаты исследований термоэлектрической неоднородности термоэлектродных материалов. Предметом экспериментального поиска был анализ возможностей применения вихретокового метода для контроля физической термоэлектрической неоднородности материалов, которые используют в приборах температурной диагностики нафтогазопромышленного оборудования.

Ключевые слова: термоэлектрическая неоднородность, вихревой ток, качество термоэлектродной проволоки.

The results of investigating of the thermoelectrical homogeneity of thermoelectrode materials are represented in the work. The subject of experimental search has been the analysis of possibilities of applying vortical-current method for the control of the physical thermoelectrical homogeneity of materials that are used in the means of temperature diagnosis of oil-gas industry equipment.

Key-words: thermoelectrical homogeneity, vortical current, thermocouple wire quality.

Функціонування обладнання для видобутку, переробки та транспортування нафти і газу вимагає надійних засобів температурної діагностики, тому розвиток методів їх контролю є надзвичайно актуальною задачею. В нафтогазовій промисловості зазвичай застосовують термоелектричні термометри, для виготовлення яких використовують термоелектронний дріт на основі хромелевого, алюмелевого чи копелевого стопів. Одним з показників якості такого дроту є його термоелектрична неоднорідність, яку потрібно виявляти. Пропонується робити це за допомогою вихрострумового методу, що й продемонстровано в роботі на прикладі дослідження неоднорідності фізичного походження, яка виявляється у нестабільності фазового складу, порушенні впорядкованості, зміні структури зерен по об'єму термоелектродного дроту [1]. Такі неоднорідності можуть бути викликані явищами наклепу, певними видами термообробки, впливом радіації.

Серед процесів, що викликають структурні зміни у термоелектродах, важливе місце займає пластична деформація. В залежності від типу та ступеня деформації у металах і стопах формується певна деформаційна структура, яка значною мірою визначає термоелектричну стабільність термоелектродного матеріалу.

Дослідження структурного стану деформованих термоелектродних стопів типу хромель проводилось у режимі попередньої деформації. Активний одноосний розтяг термоелектродів забезпечував створення різного ступеня пластичної деформації. Діючі напруження у процесі попереднього навантаження під час активного розтягу вибирались згідно такого співвідношення [2]:

$$\sigma_{\text{м.деф.}} = K \cdot \sigma_{\text{м.міц.}}^{T^{\circ}\text{C}}, \quad (1)$$

де $\sigma_{\text{м.деф.}}$ - межа деформації; $\sigma_{\text{м.міц.}}^{T^{\circ}\text{C}}$ – межа міцності при температурі $T^{\circ}\text{C}$; K – безрозмірний

коефіцієнт, значення якого знаходяться в межах від 0 до 1.

Умови деформації для хромелевих зразків діаметром 1,2 мм вказані у табл.1.

Таблиця 1 - Дані про умови деформації зразків

Відносне видовження, %	Прикладене зусилля, Н	Швидкість деформації, мм/хв
4	430	10
8	520	10
12	600	10
16	650	10
20	700	10

Пластична деформація, тобто структурна неоднорідність, є причиною зміни термоелектричних та електричних властивостей хромелевих термоелектродів. Пропонується оцінювати термоелектричну неоднорідність термоелектродів, контролюючи зміну їх питомого електричного опору. Визначимо деякі закономірності у залежності електричних та термоелектричних параметрів від зміни структурного стану термоелектродів. З цієї метою побудовано температурну залежність зміни термоелектрорушійної сили (т.е.р.с.) деформованих термоелектродів у порівнянні з недеформованими тієї ж партії. Досліджувані деформовані зразки зварювали в пучок з дротом в стані постачання і відносно нього вимірювали т.е.р.с. Температуру у печі встановлювали за показами еталонної термопари, яка була також зварена з досліджуваними зразками, у стоградусних точках в інтервалі від 100°C до 800°C (рис. 1), (де вісь x – вихідна градувальна характеристика).

Рис.1 свідчить про те, що деформація спричиняє зменшення т.е.р.с. хромелевого дроту. При цьому максимальне відхилення спостерігається при відносному видовженні 20%, а мінімальне – при відносному видовженні 4%. Розмах відхилення т.е.р.с. є досить значним, що свідчить про високий ступінь залежності хромелю від пластичної деформації.

Вимірювання електричного опору R_1 досліджуваних зразків здійснювалось мостом постійного струму [3]. Як контрольний, використовувався метод вимірювання опору R_2 автоматичним мостом змінного струму. Відповідно, питомий електричний опір ρ_1 та ρ_2 обраховувався згідно такого виразу (табл. 2):

$$\rho = R \cdot S / l, \quad (2)$$

де R – електричний опір зразка, S – площа поперечного перерізу, l – довжина зразка.

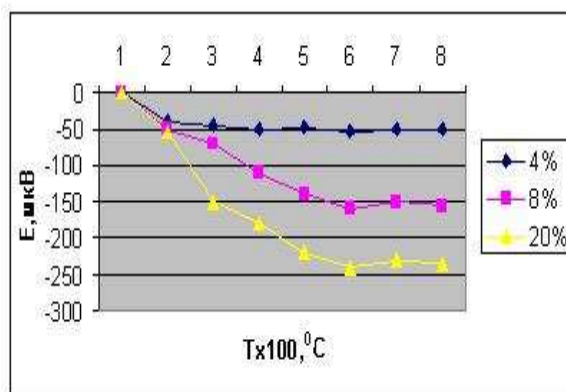


Рисунок 1 - Т.е.р.с. деформованих хромелевих зразків відносно зразків в стані постачання

На основі даних табл. 2 робимо висновок про те, що деформація призводить, як і у випадку з т.е.р.с., до зменшення питомого опору хромелевого дроту і ця залежність є прямо пропорційною.

Таблиця 2 - Значення питомого опору деформованих зразків

Відносне видовження, %	$\rho_1, \text{Ом} \cdot \text{м} \cdot 10^{-6}$ (пост.струм)	$\rho_2, \text{Ом} \cdot \text{м} \cdot 10^{-6}$ (змін.струм)
4	0,683	0,686
8	0,681	0,683
12	0,677	0,678
16	0,671	0,674
20	0,669	0,672

Пропонуємо контролювати питомий електричний опір методом вихрових струмів [4,5], оскільки це дасть можливість відслідковувати неоднорідність термоелектродного дроту безпосередньо в процесі його виготовлення (наприклад, під час протягування через філь'ери). Цей вид неруйнівного контролю має чимало переваг, а саме:

Оскільки ми працюємо з циліндричними об'єктами та з метою забезпечення локальності контролю, та вибираємо зовнішній параметричний перетворювач прохідного типу, обмотка якого виконана з невеликим відношенням довжини d_1 до діаметру d , тобто $d_1 \ll d \Rightarrow \min$ (рис. 2), тобто вихрострумівий перетворювач (ВСП) з короткою котушкою.

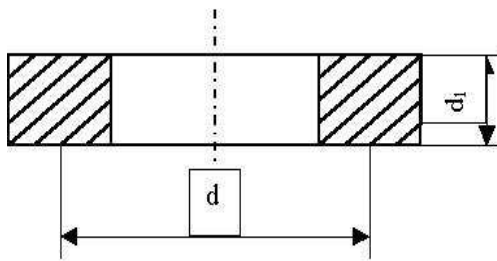


Рисунок 2 - Схема проходного сенсора з короткою котушкою

ВСП з досліджуваним деформованим дротом було включено у одне з плечей моста. При цьому решту плечей мостової схеми містили аналогічні сенсори з поміщеними у них недеформованими зразками. Дефектоскоп Ferster фіксував сигнал, пропорційний розбалансу моста. Сканування проводилось по всій довжині зразка (рис. 3, рис. 4).

Зондування відбувалось на різних частотах. Це дозволяє розглянути розподіл питомого електричного опору по перерізу дроту (рис. 5), оскільки з ростом частоти зменшується глибина проникнення у об'єкт контролю. Для наближеної оцінки глибини проникнення електромагнітного поля вихорострумове перетворювача в об'єкт контролю можна користуватись також формулою для визначення глибини проникнення δ плоскої електромагнітної хвилі у електропровідний напівпростір [6]:

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\mu_0 \mu_r \sigma \omega}}, \quad (3)$$

де μ_0 – магнітна постійна, μ_r – відносна магнітна проникність матеріалу, σ – питома електрична провідність, ω – частота зондуючого поля.

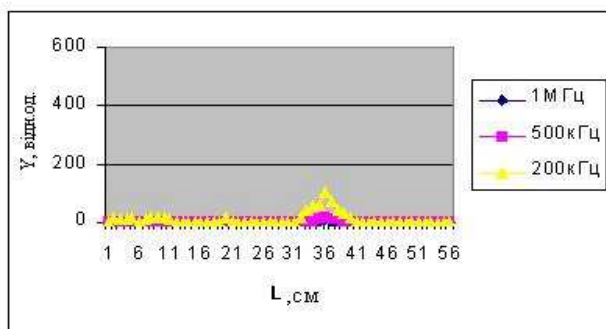


Рисунок 3 - Залежність вихідного сигналу Y вихорострумове перетворювача від деформації (4%) по довжині зразка при різних значеннях частоти зондуючого поля

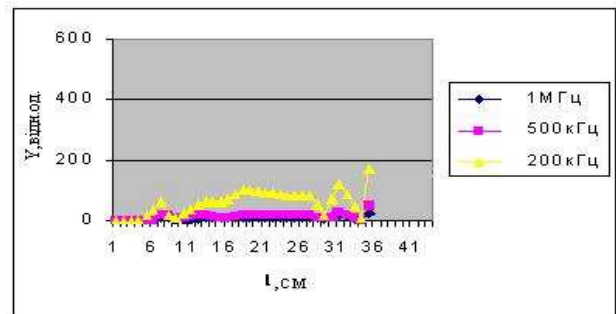


Рисунок 4 - Залежність вихідного сигналу Y вихорострумове перетворювача від деформації (8%) по довжині зразка при різних значеннях частоти зондуючого поля

Приймаючи до уваги, що узагальнений параметр вихорострумове контролю β визначають так:

$$\beta = r1 \cdot \sqrt{\omega \mu_0 \mu_r \sigma}, \quad (4)$$

формулу (3) можна переписати у такому вигляді:

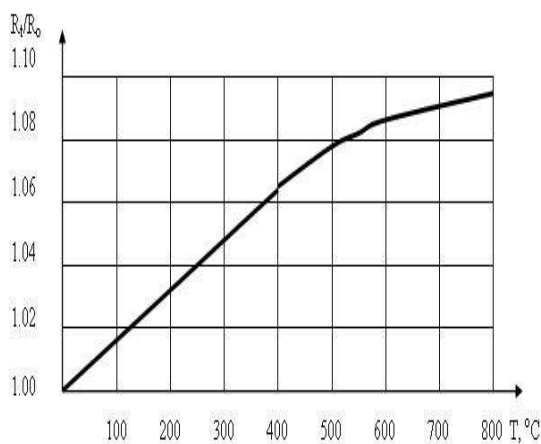
$$\delta = \frac{r1 \cdot \sqrt{2}}{\beta}, \quad (5)$$

де $r1$ – радіус збуджуючої обмотки ВСП.

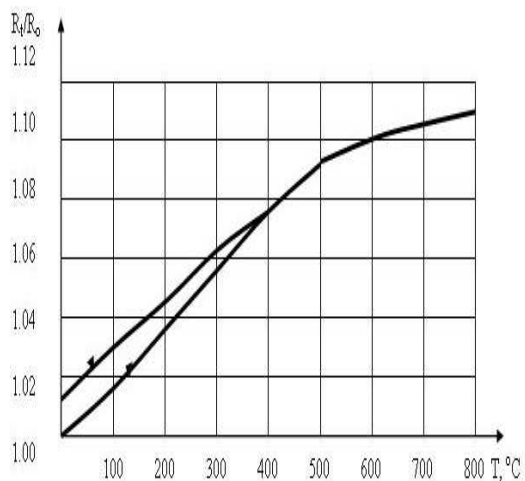
Визначення глибини проникнення електромагнітного поля у досліджувані зразки дозволяє оптимально вибрати робочу частоту. Отже, електромагнітне поле, проникаючи у електропровідний виріб, затухає, причому, тим значніше, чим більша частота [5].

З метою дослідження залежності електричного опору від температури було здійснено терморезистометричні дослідження хромелевого дроту, деформованого з різними ступенями деформації. Були побудовані залежності електроопору від температури при нагріванні та охолодженні. Середня швидкість нагрівання становила $20^\circ\text{C}/\text{хв.}$, а охолодження – $15^\circ\text{C}/\text{хв.}$ У зв'язку з тим, що визначення питомого опору зразків пов'язане з проблемою визначення геометричних розмірів (їх зміною при нагріванні), розглядалися залежності температурного коефіцієнту опору R_t/R_0 від температури. Рис. 5, а; демонструє температурної залежність температурного коефіцієнту опору для недеформованого дроту. На температурній ділянці $0 - 450^\circ\text{C}$ маємо лінійну залежність. При нагріванні до 540°C спостерігається перегин кривої. В даному випадку криві нагріву та охолодження

співпадають. При деформації (рис. 5, б) форма кривої при охолодженні повторює таку ж для недеформованого дроту, але при кімнатній температурі не співпадає з вихідною точкою, а зміщується вище. Це свідчить про те, що після нагрівання та охолодження опір дроту збільшився. Стопи типу хромель та алюмель відносять до неоднорідних твердих розчинів. При деформації таких стопів їх однорідність зростає, наслідком чого є зменшення електричного опору. При нагріванні до 800°C (відпалі деформованого стопу) неоднорідність стопів поступово зникає, і при 800°C стоп набуває структури неупорядкованого однорідного твердого розчину. Отже, під час відпалу відбувається відновлення електричних властивостей деформованого матеріалу. З ростом деформації коефіцієнт опору зростає (рис.6).



а)



б)

а - без деформації; б - з деформацію

Рисунок 5 - Температурні залежності R_t/R_0 для хромелевого дроту діаметром 1,2мм

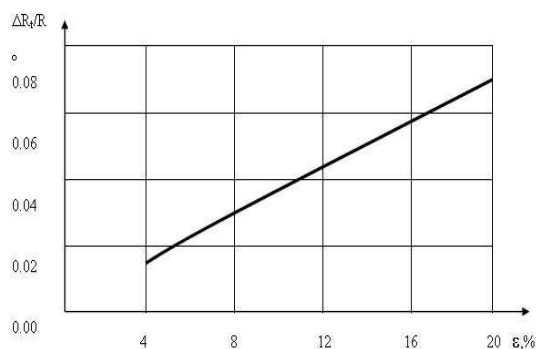


Рисунок 6 - Залежність $\Delta R_t/R_0$ від різних ступенів деформації ϵ

ВИСНОВКИ

Дані, які отримані у роботі, дають можливість зробити висновок про те, що контролюючи зміну питомого електричного опору термоелектродного дроту в процесі його виготовлення, можна оцінити ступінь структурної неоднорідності матеріалу і масштаби її впливу на зміну термоелектричних властивостей. Застосування вихорострумовевого методу для визначення ρ відкриває широкі можливості щодо автоматизації процесу контролю неоднорідності термоелектродного дроту засобів температурної діагностики.

1. Столярчук П.Г., Пахолок Т.З. Термоелектрична неоднорідність і моделювання процесу її контролю/Петро Столярчук// Вимірювальна техніка та метрологія. – 1996. - №52. - С.47-49. 2. Губкин С.И. Пластическая деформация металлов/ С.И.Губкин. – М.: Металлургиздат., 1960. -111 с. 3. Кабели, провода и шнуры. Метод определения электрического сопротивления токопроводящих жил и проводников: ГОСТ 7229-76. -М.: Издательство стандартов, 1982.- 8с. 4. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий: справочник/ [ред. - В.В.Клюев] - Кн.1.-М.: Машиностроение, 1986.- 487с. 5. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий: справочник/ [ред. - В.В.Клюев] - Кн.2.-М.: Машиностроение, 1986.- 351с. 6. Бондаренко В.И., Себко В.П., Тюпа В.И. Бесконтактное измерение электропроводности цилиндрических изделий//Бондаренко В.И// – Измерительная техника. – 1981. - №1. - С.35-37.

Поступила в редакцію 14.11.2011 р.

Рекомендував до друку докт. техн. наук, проф. Походило Є. В.