

| | | |
|-------------------------------------|--|-----------------------|
| HUTNICTWO METALI NIEŻELAZNYCH | N O R M A B R A N Ź O W A | BN-84 |
| | Stopy oporowe na oporniki Pomiar współczynników zmian oporu elektrycznego pod wpływem temperatury | 0890-02/03 |
| | | Grupa katalogowa 0359 |

1. WSTĘP

1.1. Przedmiot normy. Przedmiotem normy są metody pomiaru i wyznaczania charakterystyk temperaturowych i współczynników zmiany oporu elektrycznego pod wpływem temperatury, stosowane do badań stopów oporowych.

1.2. Zakres stosowania normy. Norma dotyczy badań drutów i taśm ze stopów oporowych przeznaczonych do wytwarzania oporników pomiarowych i oporników stanowiących elementy różnego rodzaju aparatów elektrycznych.

2. PODSTAWOWE ZALEŻNOŚCI I OKREŚLENIA

2.1. Zależności oporu elektrycznego od temperatury stopów oporowych stosowanych na oporniki określa wzór

$$R_t = R_0 [1 + \alpha (t - t_0) + \beta (t - t_0)^2] \quad (1)$$

w którym:

R_t — opór elektryczny badanej próbki o temperaturze t , Ω ,

R_0 — opór elektryczny badanej próbki o temperaturze początkowej t_0 , Ω ,

α — współczynnik zmiany oporu elektrycznego pod wpływem temperatury $\frac{1}{^\circ\text{C}}$,

β — współczynnik zmiany oporu elektrycznego pod wpływem temperatury $\frac{1}{^\circ\text{C}^2}$,

t_0 — temperatura początkowa, $^\circ\text{C}$,

t — temperatura pomiaru, $^\circ\text{C}$.

W szczególnych przypadkach, gdy zmiana oporu elektrycznego pod wpływem temperatury ma przebieg liniowy, współczynnik β zdąża do zera, a zależność (1) przybiera postać uproszczoną

$$R_t = R_0 [1 + \alpha (t - t_0)] \quad (2)$$

2.2. Zależność elektrycznego oporu właściwego (ρ) od temperatury przedstawia wzór

$$\rho_t = \rho_0 [1 + \alpha(t - t_0) + \beta(t - t_0)^2] \quad (3)$$

w którym:

ρ_t — opór elektryczny właściwy próbki o temperaturze t , $\mu\Omega\text{m}$,

ρ_0 — opór elektryczny właściwy próbki o temperaturze początkowej t_0 , $\mu\Omega\text{m}$,

Inne określenia jak we wzorze (1).

Formę uproszczoną uwarunkowaną liniowością charakterystyki temperaturowej materiału przedstawia wzór:

$$\rho_t = \rho_0 [1 + \alpha(t - t_0)] \quad (4)$$

2.3. Określenie współczynników zmiany oporu elektrycznego pod wpływem temperatury. Współczynniki zmiany oporu elektrycznego pod wpływem temperatury są parametrami charakteryzującymi użytkowe właściwości materiału. Wartości ich wyznacza się z zależności (1) i (2) doświadczalnie. W ogólnym przypadku do wyznaczenia współczynników konieczne jest wyznaczenie wartości oporu elektrycznego próbki zmierzonej w trzech różnych temperaturach. W przypadku stopów oporowych są to wartości zmierzone w temperaturze początkowej $t_0 = 23^\circ\text{C}$ oraz poniżej (t_1) i powyżej (t_2) tej temperatury.

Sposób wyboru temperatur t_1 i t_2 podano w 5.1.

Współczynniki zmiany oporu elektrycznego pod wpływem temperatury oblicza się ze wzorów:

$$\alpha = \frac{(R_2 - R_0)(t_0 - t_1)^2 - (R_1 - R_0)(t_2 - t_0)^2}{R_0(t_2 - t_0)(t_0 - t_1)(t_2 - t_1)} \quad (5)$$

$$\beta = \frac{(R_1 - R_0)(t_2 - t_0) + (R_2 - R_0)(t_0 - t_1)}{R_0(t_2 - t_0)(t_0 - t_1)(t_2 - t_1)} \quad (6)$$

w których:

R_0 — opór elektryczny próbki o temperaturze początkowej t_0 , Ω ,

R_1 — opór elektryczny próbki o temperaturze t_1 , Ω ,

R_2 — opór elektryczny próbki o temperaturze t_2 , Ω ,

t_0 — temperatura początkowa, $^\circ\text{C}$ ($t_0 = 23^\circ\text{C}$),

t_1 — temperatura poniżej temperatury początkowej, $^\circ\text{C}$, $t_1 < t_0$,

t_2 — temperatura powyżej temperatury początkowej, $^\circ\text{C}$, $t_2 > t_0$.

Zgłoszona przez Instytut Metali Nieżelaznych
Ustanowiona przez Dyrektora Instytutu Metali Nieżelaznych dnia 28 grudnia 1984 r.
jako norma obowiązująca od dnia 1 stycznia 1986 r.
(Dz. Norm. i Miar nr 9/1985 poz. 17)

2.4. Określenie temperatury odpowiadającej maksymalnemu oporowi elektrycznemu. Z charakterystyk temperaturowych oporu elektrycznego można wyznaczyć przybliżoną wartość temperatury odpowiadającej maksymalnej wartości oporu ze wzoru

$$t_m = t_0 - \frac{\alpha}{2\beta} \quad (7)$$

w którym określenia jak we wzorze (1).

3. METODY POMIARU

3.1. Podstawowy układ pomiarowy do wyznaczania zmian oporu elektrycznego pod wpływem temperatury obejmuje:

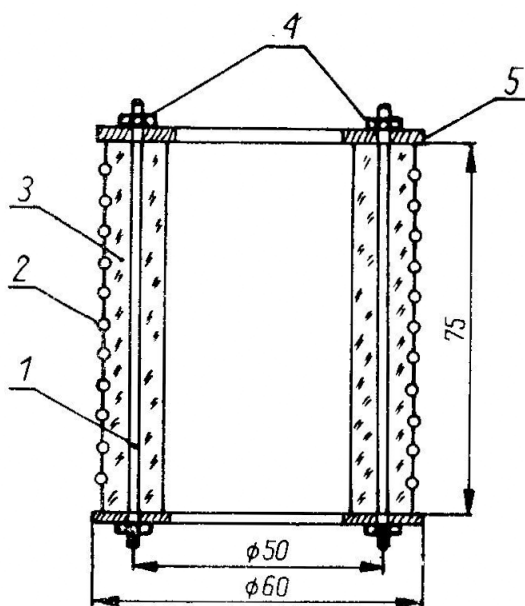
- próbkę do pomiaru,
- źródło temperatur,
- miernik temperatur,
- układ do pomiaru oporu.

Każdy z tych elementów należy dobierać w zależności od wymaganych warunków pomiarowych i zakresu zmian temperatury.

3.2. Próbki do pomiaru należy pobrać i przygotować zgodnie z BN-82/0890-02/01.

W zależności od materiału (drut, taśma) próbki należy nawijać w postaci zwojnicy śrubowej podwójnej (bifilarnej). Zaleca się stosowanie do tego celu specjalnych karkasów wykonanych zgodnie z rys. 1.

Dla taśm o dużych przekrojach dopuszcza się próbki w postaci łagodnie zwiniętej pętli umocowanej oboma końcami do jednego kołnierza.



BN-84/0890-02/03-1

Rys. 1. Karkas do nawijania próbek materiałów oporowych
1 — pręt mosiężny, 2 — badany drut, 3 — rurka ceramiczna lub inna izolacyjna, 4 — nakrętki, 5 — kołnierz mosiężny

Karkas stanowi jedną zwartą konstrukcję w postaci szpuli utworzonej z 4, 6, 8, 12 lub 16 prętów (1), równomiernie rozmieszczonych pomiędzy dwoma kołnierzami mosiężnymi (5). Pręty tworzą pobocznice walca. Należy je wykonać z drutów mosiężnych o średnicy $\varnothing \cong 2$ mm. Na pręty należy nałożyć rurki ceramiczne,

szklane lub z tworzyw (3) z nacięciami w równomiernych odstępach rowkami wzdłuż linii śrubowej, które utrzymują badany drut (2) zawsze w tym samym położeniu. Całość jest skręcona za pomocą nakrętek (4).

Tak wykonany karkas powinien mieć uchwyty umożliwiające umocowanie próbki i wyprowadzeń podłączonych do jej końców. Nawinięte na karkas próbki należy poddać wyżarzaniu odprężającemu w następujących warunkach:

- dla miedzioniklu MNM401 (konstantan) — 200°C/4h,
- dla brązu manganowego BM123 (manganin) — 140°C/6h,

3.3. Źródło temperatur stanowi komora wypełniona medium umożliwiającym chłodzenie lub grzanie próbki w zakresie temperatur przewidzianych w normach przedmiotowych.

Medium tym w zakresie temperatur od -40°C do +35°C może być nafta, a w zakresie temperatur od +35°C do 100°C olej silikonowy.

W zakresie od -40°C do +100°C może być stosowany toluol.

Zawsze wymagany jest wymuszony przepływ medium.

Źródło temperatury (komora, termostat) powinno umożliwiać nastawianie temperatury w całym stosowanym zakresie (-40°C ÷ +100°C) z dokładnością $\pm 1^\circ\text{C}$.

Temperatura w komorze powinna być równomierna, a jej zmiany w czasie i przestrzeni nie powinny przekraczać $\pm 0,25^\circ\text{C}$.

Źródło temperatury powinno umożliwiać swobodne umieszczenie próbki, łatwe wprowadzenie przewodów łączących próbkę z zespołem pomiarowym oraz wygodne ustawienie termometru lub czujnika miernika temperatury.

Pojemność komory powinna wynosić w przybliżeniu około 1000 cm³.

Dla próbek o większych przekrojach komora powinna być odpowiednio większa.

3.4. Miernik temperatury. Temperatura w komorze pomiarowej może być mierzona termometrem cieczowym, oporowym, termoelementem lub czujnikiem termistorowym. Niezależnie od zastosowanego przyrządu pomiarowego błąd pomiaru temperatury nie może być większy niż $\pm 0,1^\circ\text{C}$.

Pomiar temperatury należy prowadzić w zakresie przewidzianym w normach przedmiotowych w sposób ciągły, za pomocą rejestratora o wymaganej czułości i dokładności.

3.5. Metody do pomiaru oporu elektrycznego. Rozróżnia się trzy grupy metod pomiaru oporu elektrycznego różniące się zastosowaną aparaturą.

Pierwszą stanowią metody dwuelektrodowe stosowane w pomiarach oporów równych lub wyższych niż 10 Ω , w których najczęściej używany jest mostek Wheatstone'a.

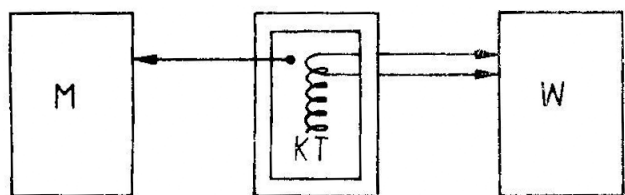
Druga obejmuje metody czteroelektrodowe stosowane do pomiaru oporów równych lub mniejszych niż 10 Ω , w których najczęściej używany jest mostek Thomson'a lub kompensator.

Trzecią grupę stanowią metody bezkontaktowe oparte na zjawisku prądów wirowych.

Każdą z metod należących do jednej z wymienionych trzech grup można stosować do pomiaru pod warunkiem, że użyte przyrządy zapewniają wykonanie pomiaru oporu z dokładnością nie mniejszą niż $\pm 0,2\%$.

3.6. Układy do pomiaru oporu elektrycznego w różnych temperaturach

3.6.1. Układ pomiarowy z zastosowaniem mostka Wheatstone'a. Układ pomiarowy zawiera elementy przedstawione na rys. 2.



BN-84/0890-02/03-2

Rys. 2. Schemat blokowy układu z mostkiem Wheatstone'a
M — miernik temperatury, KT — komora temperatur, W — mostek Wheatstone'a

W układzie pomiarowym należy stosować przyrządy spełniające następujące wymagania:

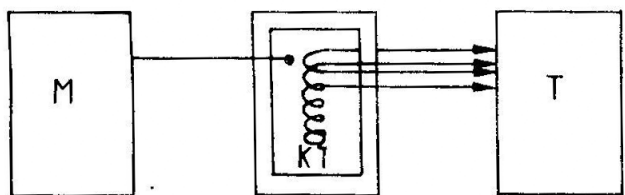
a) mostek Wheatstone'a o zakresie pomiarowym od 10Ω do $100 \text{ k}\Omega$ o wymaganej rozdzielczości i dokładności,

b) galwanometr lusterkowy o czułości od $1 \cdot 10^{-6}$ do $1 \cdot 10^{-10} \text{ A/dz}$ lub elektroniczny wskaźnik zera o wymaganej czułości,

c) źródło temperatur umożliwiające wykonywanie pomiarów w zakresie od -40°C do $+100^\circ\text{C}$,

d) przyrząd do pomiaru temperatury w zakresie -40°C do $+100^\circ\text{C}$ powinien umożliwiać pomiar z dokładnością nie mniejszą niż $\pm 0,1^\circ\text{C}$.

3.6.2. Układ pomiarowy z zastosowaniem mostka Thomsona. Układ pomiarowy zawiera elementy przedstawione na rys. 3.



BN-84/0890-02/03-3

Rys. 3. Schemat blokowy układu z mostkiem Thomsona
M — miernik temperatury, KT — komora temperatur, T — mostek Thomsona

W układzie pomiarowym należy stosować przyrządy spełniające następujące wymagania:

a) mostek Thomsona o zakresie pomiarowym od $1 \cdot 10^{-6} \Omega$ do $1 \cdot 10^1 \Omega$ o wymaganej rozdzielczości i dokładności,

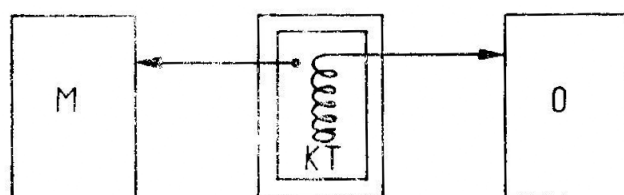
b) galwanometr lusterkowy o czułości od $1 \cdot 10^{-6}$ do $1 \cdot 10^{-10} \text{ A/dz}$ lub elektroniczny wskaźnik zera o wymaganej czułości,

c) komplet oporników normalnych o dokładności nie mniejszej niż $\pm 0,01\%$,

d) źródło temperatur umożliwiające wykonywanie pomiarów w zakresie od -40°C do $+100^\circ\text{C}$,

e) przyrząd do pomiaru temperatury w zakresie od -40°C do $+100^\circ\text{C}$, powinien umożliwiać pomiar z dokładnością nie mniejszą niż $\pm 0,1^\circ\text{C}$.

3.6.3. Bezkontaktowe metody pomiaru oporu elektrycznego. Dopuszcza się stosowanie innych układów do pomiaru oporu elektrycznego próbek w różnych temperaturach pod warunkiem spełnienia wymagań odnośnie dokładności pomiaru oporu ($\pm 0,2\%$). Jeden z przykładów układów pomiarowych przedstawiono na rys. 4.



BN-84/0890-02/03-4

Rys. 4. Schemat blokowy układu do bezkontaktowego pomiaru oporu elektrycznego próbek w różnych temperaturach
M — miernik temperatury, KT — komora temperatur, O — miernik oporu

Układ powinien spełniać następujące wymagania:

a) pomiar oporu musi być wykonany z dokładnością większą niż $0,2\%$,

b) źródło temperatur musi umożliwiać pomiar w zakresie od -40°C do $+100^\circ\text{C}$.

c) przyrząd do pomiaru temperatury w zakresie od -40°C do $+100^\circ\text{C}$ powinien umożliwiać pomiar z dokładnością nie mniejszą niż $\pm 0,1^\circ\text{C}$.

Powyższą grupę metod wprowadzono do normy w celu stworzenia możliwości komputeryzacji pomiarów z zastosowaniem nowoczesnych przyrządów.

4. WYKONANIE PRZYRZĄDÓW

4.1. Przygotowanie próbek do pomiaru. Próbkę należy wykonać i ukształtować zgodnie z 3.2.

Końce zwojnicy pomiarowej należy umieścić blisko siebie i na tym samym poziomie. Końcówki doprowadzeń zaleca się lutować za pomocą cyny lub zgrzewać elektrycznie. Doprowadzenia należy wykonywać z drutu miedzianego o średnicach od $0,5$ do $1,5 \text{ mm}$, zależnie od wymiarów badanej próbki dla drutów i taśm o przekroju poprzecznym $1,5 \text{ mm}^2$ i poniżej.

Dla próbek o przekrojach powyżej $1,5 \text{ mm}^2$ doprowadzenia prądowe należy wykonać z drutów miedzianych o przekrojach odpowiadających przekrojom badanych próbek.

Przy umieszczeniu próbki w komorze temperatur należy zwracać szczególną uwagę na to, żeby próbka nie dotykała ścian komory, elementów mieszadła oraz aby podczas pomiaru uniemożliwić zwieranie się poszczególnych zwojów. Należy również dbać o czystość medium znajdującego się w komorze pomiarowej. Zanieczyszczenie medium może prowadzić do znacznych błędów pomiarowych w wyniku bocznikowania badanej próbki. Przy kształtowaniu próbki, szczególnie przy

średnicach powyżej 0,8 mm, mogą powstawać naprężenia mechaniczne, które prowadzą również do błędów pomiarowych. Z tego względu przed pomiarem należy wyżarzać zgodnie z 3.2.

4.2. Przebieg pomiaru. Niezależnie od wybranej metody pomiaru badania należy rozpocząć od wstępnych pomiarów próbki w powietrzu. Podczas tych prób dobiera się elementy układu oraz ustala zakresy pomiarowe używanych przyrządów. Następnie próbkę należy umieścić w komorze pomiarowej i ponownie wykonać pomiar. Czas od chwili wyrównywania temperatury w komorze do pomiaru oporu nie może być krótszy niż 5 min. W przypadku mostka Thomsona lub metody kompensacyjnej każdy pomiar powinien być prowadzony dwukrotnie przy różnych kierunkach prądu zasilającego układ.

Średnia arytmetyczna dwóch pomiarów stanowi właściwą wartość mierzonego oporu. W ten sam sposób należy prowadzić pomiary w kolejnych punktach charakterystyki. Po odczytaniu wartości zmierzonego oporu odczytuje się wskazania miernika temperatury.

Prąd pomiarowy powinien mieć taką wartość, aby nie powodował zmian oporu zarówno próbki jak i urządzenia pomiarowego pod wpływem nagrzewania. Zalecana jest klimatyzacja pomieszczenia pomiarowego.

5. WYNIKI POMIARÓW

5.1. Obliczanie wartości współczynników zmiany oporu pod wpływem zmian temperatury. Wartości współczynników wylicza się z zależności (5) i (6). W celu uproszczenia obliczeń do wzorów (5) i (6) można wprowadzić współczynnik podziału temperatur K

$$K = \frac{t_2 - t_0}{t_0 - t_1} \quad (8)$$

Wówczas zależności (5) i (6) przyjmują postać następującą:

$$\alpha = \frac{(R_2 - R_0) - K^2 (R_1 - R_0)}{R_0 K (K + 1) (t_0 - t_1)} \quad (9)$$

$$\beta = \frac{K (R_1 - R_0) + (R_2 - R_0)}{R_0 K (K + 1) (t_0 - t_1)^2} \quad (10)$$

Wartość współczynnika podziału temperatur (K) oblicza się zakładając temperatury wykonania pomiarów oporu elektrycznego t_0 , t_1 i t_2 .

Wówczas współczynnik (K) może przyjmować wartości całkowite lub ułamkowe w zakresie od 1 do 10. W celu uproszczenia obliczeń można założyć współczynnik (K) równy całkowitej wartości (np. 1, 2, 5 itp.), przyjmując temperaturę t_1 i t_0 i obliczyć temperaturę t_2 .

Dalsze uproszczenie obliczeń współczynników α i β , zalecane w przypadku badań ruchowych, uzyskuje się zakładając wartość współczynnika K równą 1. Wówczas otrzymuje się:

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{2R_0 (t_0 - t_1)} \quad (11)$$

$$\beta = \frac{R_1 + R_2 - 2R_0}{2R_0 (t_0 - t_1)^2} \quad (12)$$

Przy założeniu wartości współczynnika podziału temperatur $K = 1$ należy:

- przyjąć temperaturę początkową $t_0 = 23^\circ\text{C}$,
- przyjąć temperaturę t_1 lub t_2 w zakresie od -40°C do $+100^\circ\text{C}$,
- obliczyć z przedstawionego wzoru (8) temperaturę t_2 lub t_1 , np. $t_2 = 2t_0 - t_1$ lub $t_1 = 2t_0 - t_2$.

Należy podkreślić, że pomiary oporu powinny być wykonane po uzyskaniu przez próbkę założonych i obliczonych temperatur.

5.2. Zapis wyników. Wyniki pomiarów i obliczeń należy ujmować w tablicy, której zalecany wzór podano w załączniku.

K O N I E C

Załącznik

Informacje dodatkowe

ZALECANY WZÓR ZAPISU WYNIKÓW

| | | | |
|---|-------------|---------------------------|--|
| Nr próbki | | Nr zlecenia | Data pomiaru |
| Wytwórca: | | | Szerokość próbki mm |
| Rodzaj materiału: | | | Grubość próbki mm |
| Stan materiału: | | | Średnica próbki mm |
| Oporność właściwa: | | $\mu\Omega\text{m}$ | Długość próbki mm |
| Gęstość próbki: | | g/cm^3 | Powierzchnia przekroju mm^2 |
| Objętość próbki: | | cm^3 | Temperatura otoczenia $^{\circ}\text{C}$ |
| Lp. | Temperatury | | $1/^{\circ}\text{C}; 1/^{\circ}\text{C}^2$ |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | +20 | | $\alpha_1 =$ |
| 2 | -40 | | $\beta_1 =$ |
| 3 | -30 | | $\alpha_2 =$ |
| 4 | -20 | | $\beta_2 =$ |
| 5 | -10 | | $\alpha_3 =$ |
| 6 | 0 | | $\beta_3 =$ |
| 7 | +10 | | |
| 8 | +15 | | |
| 9 | +20 | | |
| 10 | +23 | | |
| 11 | +25 | | |
| 12 | +30 | | |
| 13 | +35 | | |
| 14 | +40 | | |
| 15 | +45 | | |
| 16 | +50 | | |
| 17 | +60 | | |
| 18 | +70 | | |
| 19 | +80 | | |
| 20 | +90 | | |
| 21 | +100 | | |
| $\alpha = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3}{3} ; \beta = \frac{\beta_1 + \beta_2 + \beta_3}{3}$ | | | |
| Temperatury pomiarów określają normy przedmiotowe. | | | |

INFORMACJE DODATKOWE

1. Instytucja opracowująca normę — Instytut Metali Nieżelaznych, Gliwice,

2. Normy związane

BN-82/0890-02/01 Stopy oporowe na oporniki. Badania właściwości fizycznych. Pobieranie i przygotowanie próbek

3. Dokumenty międzynarodowe i normy zagraniczne

IEC Publication 468 — 1974 Methode of Measurement of resistivity of metallic materials

USA ASTM B 84-75 Temperature-Resistance Constants of Alloy Wires for Precision Resistors

ASTM B 114-45 Temperature-Resistance Constants of Sheet Materials for Shunts and Precision Resistors

ASTM B 267-65 Wires for Use in Wire-Wound Resistors

Wielka Brytania BS 1117:1964 Bare fine resistance wire for precision electrical equipment

BS 3467:1962 Method of test for temperature coefficient of alloy wire for precision resistors

4. Autorzy projektu normy — mgr inż. Zbigniew Gdula, mgr inż. Leszek Siarzewski — Instytut Metali Nieżelaznych, Gliwice.