

HUTNICTWO METALI NIEŻELAZNYCH	NORMA BRANŻOWA	BN-75 <hr/> 0803-15
	Materiały magnetycznie miękkie Pomiar własności magnetycznych metodą techniczną	
	Grupa katalogowa III 59	

1. WSTĘP

1.1. Przedmiot normy. Przedmiotem normy jest metoda techniczna pomiaru natężenia pola magnetycznego i indukcji magnetycznej oraz sposób wyznaczania przebiegu dynamicznych krzywych magnesowania i określanie przebiegu krzywych przenikalności magnetycznej magnetowodów pierścieniowych związanych z taśm, składanych z kształtek pierścieniowych oraz z kształtek innych typów.

1.2. Zakres stosowania normy. Norma obowiązuje w zakresie kontroli własności magnetycznych w zmiennych polach magnetycznych materiałów magnetycznie miękkich przewidzianych w normach przedmiotowych przy częstotliwościach od 20 do 10 000 Hz.

1.3. Określenia

1.3.1. Natężenie pola magnetycznego H - wg PN-72/T-01019, przy czym zależnie od wybranego rodzaju wielkości charakteryzującej natężenie pola magnetycznego H_x (np. H_m, H_{1m}, H) są to wartości obliczane w amperach na metr ze wzoru

$$H_x = \frac{I_x \cdot z_1}{l_{\text{sr}}} \quad (1)$$

w którym:

I_x - natężenie prądu magnesującego odpowiednio do wybranego rodzaju pola magnetycznego, A,

z_1 - liczba zwojów uzwojenia magnesującego,

l_{sr} - długość średniej drogi magnetycznej, m.

1.3.2. Indukcja magnetyczna B_m - wg PN-72/T-01019 niezależnie od wybranego rodzaju funkcji obliczana jest w teslach ze wzoru

$$B_m = \frac{E_{\text{sr}}}{4fz_2S} \quad (2)$$

w którym:

E_{sr} - średnia wartość siły elektromotorycznej wyindukowanej w uzwojeniu pomiarowym, V,

f - częstotliwość, Hz,

z_2 - liczba zwojów uzwojenia pomiarowego,

S - powierzchnia przekroju poprzecznego magnetowodu, m^2 .

1.3.3. Dynamiczne krzywe indukcji - miejsca geometryczne punktów wyznaczonych przez wartości określonych rodzajów indukcji magnetycznej i odpowiadające im wartości określonych rodzajów natężenia pola magnetycznego mierzone przy sinusoidalnym przebiegu indukcji. Najczęściej są to funkcje: $B_m = f(H_m), B_m = f(H_{1m}), B_m = f(H)$, w których:

B_m - amplituda indukcji magnetycznej,

H_m - amplituda natężenia pola magnetycznego,

H_{1m} - amplituda pierwszej harmonicznej natężenia pola magnetycznego.

W przypadkach szczególnych mogą wystąpić inne rodzaje indukcji magnetycznej lub natężenia pola magnetycznego.

2. METODA POMIARU

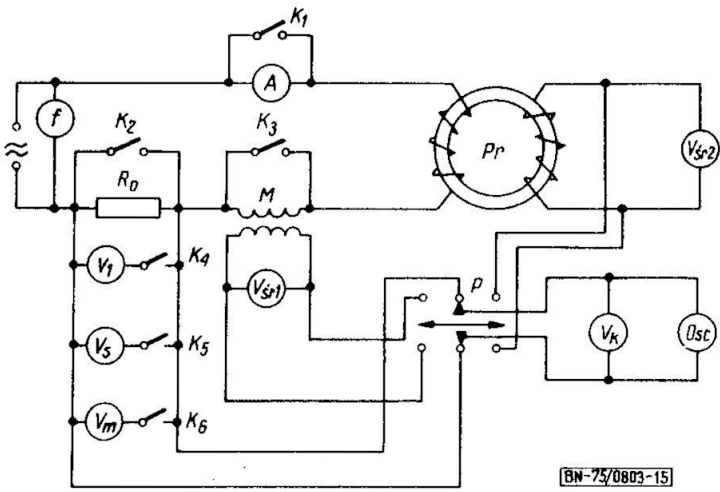
2.1. Zasada pomiaru. Pomiar polega na kolejnym wyznaczaniu odpowiadających sobie wartości natężenia prądu przepływającego w uzwojeniu magnesującym i napięcia indukowanego w uzwojeniu pomiarowym. W oparciu o otrzymane wartości oblicza się natężenia pól magnetycznych i odpowiadające im wartości indukcji magnetycznej. Wartości te naniesione na wykres w prostokątnym układzie współrzędnych tworzą jedną z wybranych dynamicznych krzywych magnesowania. Dynamiczne krzywe magnesowania określone przy różnych częstotliwościach tworzą rodziny krzywych magnesowania. Podstawowym założeniem metody jest sinusoidalność przebiegu indukcji.

2.2. Układ pomiarowy

2.2.1. Schemat układu pomiarowego. Układ pomiarowy składa się z elementów połączonych ze sobą zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku.

Zgłoszona przez Instytut Metali Nieżelaznych

Ustanowiona przez Generalnego Dyrektora Zjednoczenia Górniczo-Hutniczego Metali Nieżelaznych METALE dnia 30 kwietnia 1975 r. jako norma obowiązująca w zakresie czynności określonych normą od dnia 1 stycznia 1976 r. (Dz. Norm. i Miar nr 19/1975 poz. 68)



A - amperomierz z prostownikiem, Pr - próbka, f - częstotściomierz, R_0 - opornik bezindukcyjny, M - indukcyjność wzajemna, V_1 - woltomierz wartości skutecznych, V_S - woltomierz selektywny, V_m - woltomierz wartości maksymalnej, V_{s1} i V_{s2} - woltomierze wartości średnich, K_1, K_2, K_3, K_4 - łączniki zawierające, P - przełącznik, V_k - miernik zniekształceń, Osc - oscyloskop

2.2.2. Elementy układu pomiarowego stosowane w układzie wg schematu na rysunku powinny spełniać następujące wymagania:

- Amperomierz wielozakresowy o czułości 0,03 mA do 5 A, klasy 0,5.
- Częstotściomierz elektroniczny wielozakresowy z odczytem cyfrowym, w granicach od 0,1 do 10^5 Hz, klasy 0,2.
- Woltomierz elektroniczny wartości skutecznej o czułości od 0,3 do 30 V, klasy 0,5.
- Woltomierze elektroniczne wartości średniej o czułości od 3 mV do 30 V, klasy 1.
- Woltomierz wartości maksymalnej o czułości od 1 mV do 1 V, klasy 1.
- Woltomierz selektywny o czułości od 3 mV do 10 V, klasy 1.
- Miernik zniekształceń o czułości od 0,1 mV do 10 V z zakresem pomiarowym od 0,1 do 100% i opornością wejściową większą od 150 Ω .
- Oscylograf o czułości 5 mm/V i zakresie pomiarowym 0 ÷ 1 MHz.
- Zespół bezindukcyjnych oporników wzorcowych o oporności 1 i 10 Ω , klasy 0,02.
- Zespół indukcyjności wzajemnych o wartościach od 0,001 do 0,01 H, klasy 0,3.

2.2.3. Źródło zasilania. Źródłem zasilania mogą być:

- generator elektroniczny (ze wzmacniaczem lub bez) o mocy od 0,5 do 200 W i stałości częstotliwości nie mniejszej od $2,5 \cdot 10^{-3}$ f w ciągu jednej godziny oraz oporności wyjściowej nie większej od 0,1 Ω ,
- generator elektromaszynowy o zbliżonych parametrach,
- transformator regulacyjny zasilany z sieci prądu przemiennego przy pomiarach w zakresie częstotliwości 50 Hz.

Współczynnik zniekształceń nieliniowych każdego z powyższych źródeł nie powinien przekraczać 3% przy obciążeniu opornością czynną.

3. PRZEBIEG POMIARU

3.1. Przygotowanie próbek

3.1.1. Kształt i wymiary próbek oraz sposób ich wykonania. Metodą techniczną można badać próbki pierścieniowe zwijane z taśm lub składane z kształtek pierścieniowych. Zaleca się stosowanie próbek pierścieniowych o następujących wymiarach geometrycznych:

$$d_z = 4,8 \cdot 10^{-2} \text{ m}; \quad d_w = 3,2 \cdot 10^{-2} \text{ m}; \quad h = 1 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

w których:

- d_z - średnica zewnętrzna,
- d_w - średnica wewnętrzna,
- h - wysokość.

Próbki pierścieniowe z materiałów szczególnie wrażliwych (np. stopy o dużej zawartości niklu) na naprężenia mechaniczne należy umieszczać w pojemnikach zabezpieczających. Na pojemniki należy nakładać w pierwszej kolejności uzwojenie pomiarowe, a następnie magnesujące. Uzwojenia muszą być dobrze odizolowane od siebie za pomocą ceratki izolacyjnej.

W wyjątkowych przypadkach pomiary można prowadzić na próbkach składanych z pasków lub kształtek stosowanych do budowy różnego rodzaju transformatorów małej mocy. Pomiary te można wykonywać tylko jako porównawcze ze względu na nadmierne błędy spowodowane szczelinami poprzecznymi i wzdłużnymi powstającymi w magnetowodzie oraz związany z tym nierównomierny rozkład indukcji w przekrojach. Uzwojenia magnesujące i pomiarowe należy w tym przypadku nawijać na karkasach specjalnie dobranych dla każdego typu kształtek lub magnetowodu. Poszczególne kształtki lub paski należy odizolować od siebie w celu zmniejszenia do minimum wpływu prądów wirowych. Zależnie od czułości stosowanej aparatury pomiarowej, mocy źródła zasilania oraz zakresu częstotliwości pomiaru masa próbki powinna mieścić się w granicach od 0,01 do 0,1 kg.

3.1.2. Obróbka cieplna próbek. Do badań należy stosować próbki obrobione cieplnie. Obróbka cieplna próbki powinna odpowiadać obróbce cieplnej wyrobu. Rodzaj obróbki cieplnej poszczególnych gatunków materiałów określają normy przedmiotowe lub warunki techniczne wytwórcy. Próbki pierścieniowe po obróbce cieplnej należy umieścić w pojemnikach ochronnych w celu wyeliminowania możliwości wprowadzenia niekontrolowanych naprężeń w trakcie uzwojenia próbek.

3.2. Wyznaczanie długości średniej drogi magnetycznej próbek. Długość średniej drogi magnetycznej z wystarczającą dokładnością wyznacza się w metrach z następujących wzorów:

a) próbki pierścieniowe zwijane z taśm lub składane z kształtek, w których stosunek średnicy zewnętrznej do wewnętrznej nie przekracza 1,3

$$l_{sr} = \frac{(d_z + d_w) \pi}{2} \quad (3)$$

b) próbki pierścieniowe zwijane z taśm lub składane z kształtek, gdy wymagana jest duża dokładność pomiaru lub, gdy stosunek średnicy zewnętrznej do wewnętrznej zawarty jest w granicach:

$$1,3 \leq \frac{d_z}{d_w} \leq 1,6 \quad (4)$$

$$l_{sr} = \frac{(d_z - d_w) \pi}{l_n \frac{d_z}{d_w}}$$

Długość średniej drogi magnetycznej w próbkach pierścieniowych o wymiarach zalecanych w 3.2, obliczona wg wzoru (3) wynosi 0,1248 m, natomiast wg wzoru (4) wynosi 0,1240 m.

c) próbki w postaci ramy kwadratowej złożonej z pasków o jednakowej szerokości

$$l_{sr} = 4(l_p - a_p) + \pi a_p \quad (5)$$

w którym:

l_p - długość paska, m,

a_p - szerokość paska, m.

d) próbki w postaci ramy prostokątnej złożonej z pasków o jednakowej szerokości

$$l_{sr} = 2(l_a + l_b - 2a_p) + \pi a_p \quad (6)$$

w którym:

l_a - długość paska dłuższego, m,

l_b - długość paska krótszego, m,

a_p - szerokość paska, m.

e) magnetowody innego kształtu; długość średniej drogi magnetycznej oblicza się dla każdego typu magnetowodu oddzielnie z poszczególnych wymiarów geometrycznych kształtek.

3.3. Wyznaczanie powierzchni przekroju poprzecznego próbek. Powierzchnię przekroju poprzecznego próbek pierścieniowych i ramowych wyznacza się w m^2 ze wzoru

$$S = \frac{m}{l_{sr} \rho} \quad (7)$$

w którym:

m - masa próbki, kg,

l_{sr} - średnia długość magnetowodu lub średnia długość obwodu ramy, m, obliczana z wzorów:

$$l_{sr} = \frac{(d_z + d_w) \pi}{2}$$

lub

$$l_{sr} = 2(l_a + l_b)$$

ρ - gęstość materiału, kg/m^3 .

W przypadku próbek składanych z typowych kształtek transformatorowych powierzchnię przekroju poprzecznego rdzenia wyznacza się w m^2 ze wzoru

$$S_r = \frac{m \cdot a}{S_k \cdot \rho} \quad (8)$$

w którym:

m - masa próbki, kg,

a - szerokość kolumny roboczej kształtki, m,

S_k - powierzchnia kształtki, m^2 ,

ρ - gęstość materiału, kg/m^3 .

3.4. Wykonanie pomiaru

3.4.1. Warunki pomiaru. Pomiaru należy prowadzić przy praktycznie sinusoidalnym przebiegu indukcji. Współczynnik kształtu napięcia w uzwojeniu pomiarowym nie może przekraczać więcej niż 1% wartości 1,11 (1,12) charakteryzującej przebieg idealny. Gęstość prądu przepływającego przez uzwojenie magnesujące nie może przekraczać wartości, przy której występuje dostrzegalne nagrzewanie drutu nawojowego powodujące wzrost temperatury mierzonego magnetowodu. Zwykle gęstość prądu nie powinna przekraczać $2 \cdot 10^6$ A/ m^2 . Przyrządy pomiarowe, które przy wyznaczaniu wybranych wartości nie biorą udziału należy wyłączyć za pomocą odpowiednich wyłączników. Badania należy prowadzić w pomieszczeniach zamkniętych w temperaturze $20 \pm 2^\circ C$ i wilgotności względnej otaczającego powietrza nie przekraczającej 80%.

3.4.2. Rozmagnesowanie próbek. Przed pomiarem należy rozmagnesować próbki przez cykliczne przemagnesowywanie polem magnetycznym o częstotliwości 50 Hz i amplitudzie malejącej do określonej minimalnej wartości. Pole należy wytwarzać za pomocą prądu przepływającego w uzwojeniu magnesującym próbki. Maksymalna amplituda natężenia pola magnetycznego powinna 50-krotnie przewyższać wartość koercji materiału. Minimalna amplituda, przy której można przerwać rozmagnesowywanie, nie może być wyższa niż 0,1 A/m.

3.4.3. Wyznaczanie przebiegu dynamicznej krzywej magnesowania w postaci funkcji $B_m = f(H_m)$

3.4.3.1. Określenie maksymalnej wartości natężenia pola magnetycznego H_m . Przy określonej częstotliwości, regulując napięcie wyjściowe źródła prądu, ustala się za pomocą woltomierza V_m (rysunek) wartość maksymalną napięcia na bezinduk-

cyjnym oporniku R_0 lub za pomocą woltomierza V_{sr} wartość SEM we wtórnym uzwojeniu indukcyjności wzajemnej, odpowiadające najmniejszej wartości natężenia pola magnesującego, przy którym należy określić wartość indukcji magnetycznej. Wartości natężenia pola magnesującego odpowiadające wymaganej wartości SEM lub napięć oblicza się w amperach na metr ze wzorów:

$$H_m = \frac{E_{Msr} \cdot z_1}{4 l_{sr} \cdot f M} \quad (9)$$

w którym:

E_{Msr} - siła elektromotoryczna w uzwojeniu wtórnym indukcyjności wzajemnej, V,

z_1 - liczba zwojów uzwojenia magnesującego próbki,

l_{sr} - długość średniej drogi magnetycznej w próbce, m,

f - częstotliwość, Hz,

M - współczynnik indukcyjności wzajemnej, H,

oraz

$$H_m = \frac{U_{Rm} \cdot z_1}{l_{sr} \cdot R_0} \quad (10)$$

w którym:

U_{Rm} - amplituda napięcia na bezindukcyjnym oporniku R_0 , V,

z_1 - liczba zwojów uzwojenia magnesującego próbki,

l_{sr} - długość średniej drogi magnetycznej w próbce, m,

R_0 - nominalna oporność bezindukcyjnego opornika R_0 , Ω .

Sposób pomiaru prądu dobiera się zależnie od wymagań określających dokładność pomiaru. Metoda z zastosowaniem wzoru (9) pozwala na wykonanie pomiaru z dokładnością do 5%, a metoda z zastosowaniem wzoru (10) do 10%.

3.4.3.2. Określenie wartości maksymalnej indukcji magnetycznej B_m . Wartość maksymalną indukcji magnetycznej B_m wylicza się w teslach ze wzoru

$$B_m = \frac{E_{2sr}}{4 f S z_2} \quad (11)$$

w którym:

E_{2sr} - średnia wartość SEM w uzwojeniu pomiarowym próbki, mierzona za pomocą woltomierza wartości średnich V_{sr2} , V,

f - częstotliwość, Hz,

S - powierzchnia przekroju poprzecznego próbki, m^2 ,

z_2 - liczba zwojów uzwojenia pomiarowego.

3.4.3.3. Określenie przebiegu dynamicznej krzywej magnesowania $B_m = f(H_m)$. Operacje opisane w 3.4.3.1 i 3.4.3.2 powtarza się przy innych wartościach natężenia pola przechodząc od wartości najniższych do najwyższych. W ten sposób uzyskuje się kolejne współrzędne punktów wyznaczających przebieg funkcji $B_m = f(H_m)$. Następnie, jeżeli wymagają tego warunki badania, należy zmienić częstotliwość pomiaru i powtórzyć opisany wyżej cykl. W ten sposób uzyskuje się rodzinę dynamicznych krzywych magnesowania typu $B_m = f(H_m, f)$.

3.4.4. Wyznaczanie przebiegu dynamicznej krzywej magnesowania w postaci funkcji $B_m = f(H_{1m})$

3.4.4.1. Określenie pierwszej harmonicznej wartości natężenia pola magnetycznego H_{1m} . Pomiar przeprowadza się podobnie jak opisano w 3.4.3.1 z tym, że pomiar napięcia przeprowadza się za pomocą woltomierza selektywnego V_S , który umożliwia bezpośrednie określanie wartości pierwszej harmonicznej prądu magnesującego. Wartość natężenia pola magnetycznego oblicza się w amperach na metr ze wzoru

$$H_{1m} = \frac{U_{RmS} \cdot z_1}{l_{sr} \cdot R_0} \quad (12)$$

w którym:

U_{RmS} - amplituda pierwszej harmonicznej napięcia na bezindukcyjnym oporniku R_0 , V,

z_1 - liczba zwojów uzwojenia magnesującego próbki,

l_{sr} - długość średniej drogi magnetycznej w próbce, m,

R_0 - nominalna oporność bezindukcyjnego opornika R_0 , Ω .

3.4.4.2. Określenie wartości maksymalnej indukcji magnetycznej B_m w próbce. Zarówno pomiar jak i obliczenie przeprowadza się wg 3.4.3.2.

3.4.5. Wyznaczanie przebiegu dynamicznej krzywej magnesowania w postaci funkcji $B_m = f(H)$

3.4.5.1. Wyznaczanie wartości natężenia pola magnetycznego H . Pomiar przeprowadza się w sposób podobny jak opisano w 3.4.3.1 z tym, że spadek napięcia na bezindukcyjnym oporniku R_0 mierzy się woltomierzem wartości skutecznych V_1 . Wartość natężenia pola oblicza się w amperach na metr ze wzoru

$$R = \frac{U_R \cdot z_1}{l_{sr} \cdot R_0} \quad (13)$$

w którym:

U_R - skuteczna wartość napięcia na bezindukcyjnym oporniku R_0 , V,

z_1 - liczba zwojów uzwojenia magnesującego próbki.

l_{sr} - długość średniej drogi magnetycznej w próbce, m,

R_0 - nominalna oporność bezindukcyjnego opornika R_0 , Ω .

3.4.5.2. Określenie wartości maksymalnej indukcji magnetycznej w próbce. Zarówno pomiar, jak i obliczenia przeprowadza się wg 3.4.3.2.

3.4.5.3. Określenie przebiegu dynamicznej krzywej magnesowania $B_m = f(H)$. Wszystkie operacje przeprowadza się w sposób opisany w 3.4.3.3.

3.4.6. Wyznaczanie przebiegu dynamicznych krzywych magnesowania w postaci innych funkcji. Po uzgodnieniu pomiędzy zainteresowanymi stronami dopuszcza się wyznaczanie przebiegu dynamicznych krzywych magnesowania innych rodzajów niż opisano wyżej pod warunkiem zachowania ustalonej dokładności pomiaru i zastosowania odpowiednich przyrządów.

3.4.7. Wyznaczanie przebiegów krzywych przepiękalności magnetycznej. W oparciu o wyniki pomiarów opisanych w 3.4.3, 3.4.4, 3.4.5 i 3.4.6 można wyznaczać przebiegi krzywych przenikalności w zależności od określonych wielkości. Wartości przenikalności oblicza się w henrach na metr ze wzoru

$$\mu_x = \frac{B_m}{\mu_0 \cdot H_x} \quad (14)$$

w którym:

B_m - wartość indukcji magnetycznej dla określonego rodzaju przenikalności, T,

H_x - wartość natężenia pola magnesującego dla określonego rodzaju przenikalności, A/m,

μ_0 - przenikalność magnetyczna próżni ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m)

3.4.8. Sprawdzenie czasowego przebiegu mierzonych wielkości. Podczas pomiaru należy systematycznie kontrolować za pomocą miernika zniekształceń nieliniowych V_k i oscyloskopu kształt mierzonych przebiegów. W przypadku stwierdzenia niezgodności wymagań, jak w 3.4.1, należy wprowadzić poprawkę w układzie pomiarowym lub w sposobie obliczania wyników.

3.4.9. Dokładność pomiaru zarówno natężenia pola magnetycznego, jak i indukcji magnetycznej zależy od dokładności pomiaru natężenia prądu w obwodzie magnesującym (napiecie na oporniku R_0 lub na uzwojeniu wtórnym indukcyjności wzajemnej), dokładności pomiaru napięcia w obwodzie pomiarowym, dokładności obliczenia nawiniętych zwojów, dokładności wyznaczenia powierzchni przekroju poprzecznego próbki oraz od dokładności wyznaczenia długości średniej drogi magnetycznej. Suma błędów podczas przygotowania próbek i podczas pomiaru nie może przekraczać 5% dla każdej mierzonej wielkości.

3.5. Opracowanie wyników pomiarów. Pomiaru należy ująć w zalecanym wzorze zapisu wyników (załącznik) zawierającym określenie metody pomiaru, wyszczególnienie zastosowanej aparatury, określenie danych charakterystycznych próbki oraz zestawienie wyników pomiarów.

K O N I E C

Informacje dodatkowe

ZALĄCZNIK

ZALECANY WZÓR ZAPISU WYNIKÓW POMIARU

Nr próbki		Nr zlecenia		Data pomiaru	
Rodzaj materiału:			Obróbka cieplna		
Gęstość $\rho = \text{kg/m}^3$			Długość średniej drogi magnetycznej $l_{sr} = \text{m}$		
Masa próbki $m = \text{kg}$			Powierzchnia przekroju poprzecznego próbki $S = \text{m}^2$		
Liczba zwojów uzwojenia magnesującego $z_1 =$					
Liczba zwojów uzwojenia pomiarowego $z_2 =$					
U_x	I_x	H_x	U_{sr}	R_m	μ_x
V	A	A/m	V	T	H/m
<p>U_x - wartość wybranego rodzaju napięcia mierzona na oporniku R_0 lub wtórnym uzwojeniu indukcyjności wzajemnej, V, I_x - wartość wybranego rodzaju natężenia prądu magnesującego, A, H_x - wartość wybranego rodzaju pola magnetycznego w próbce, A/m, U_{sr} - wartość średnia napięcia na uzwojeniu pomiarowym, V, B_m - wartość maksymalna indukcji w próbce, T, μ_x - wartość wybranego rodzaju przenikalności magnetycznej, H/m.</p>					

INFORMACJE DODATKOWE

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

2. Normy związane

PN-72/T-01019 Słownictwo teleelektryczne. Magnetyzm. Nazwy i określenia

3. Normy zagraniczne

CSRS ČSN 34 3675 Měření magnetický měkkých materiálu

USA ASTM A 340-65 Standard Definitions of Terms, Symbols and Conversion Factors Relating to magnetic Testing

ASTM A 346-64 Standard Method of Test for Alternating-Current Magnetic Properties of Laminated Core Specimens

ASTM A 348-68 Standard Method of Test for Alternating-Current Magnetic Properties of Materials Using the Wattmeter-Ammeter-Voltmeter Method 100 to 10000 Hz and 25 cm Epstein Frame

ZSRR ГОСТ 18334-73 Материалы магнитомягкие. Методы испытаний в диапазоне частот 50 Гц - 10 кГц.

4. Autorzy projektu normy - mgr Teresa Piszczek, mgr inż. Leszek Siarzewski - Instytut Metali Nieżelaznych, Gliwice.