Hutnictwo Żelaza i Stali	Norma Branżowa	BN-70/0671-01
	Pomiar natężenia koercyjnego i indukcji magnetycznej materiałów magnetycznie miękkich w otwartym obwodzie magnetycznym na próbkach prostych	gr.kat. VI-30

1. WSTĘP

1.1. Przedmiot normy. Przedmiotem normy są metody pomiaru natężenia koercyjnego i indukcji magnetycznej.

1.2. Zakres stosowania normy. Normę stosuje się przy sprawdzaniu własności magnetycznych elektrotechnicznej stali niskowęglowej i innej na próbkach prostych dla natężeń koercyjnych od 20 A/m /0,25 Oe/ do 400 A/m /5 Oe/ w otwartym obwodzie magnetycznym:

a/ natężenia koercyjnego oraz indukcji magnetycznej /komutacyjnej lub pierwotnej krzywej magnesowania/ przy natężeniu pola magnetycznego nie mniejszym od 8000 A/m /100 Oe/ - za pomocą układu z miernikiem strumienia magnetycznego /galwanometrem balistycznym lub pełznym/,

b/ natężenia koercyjnego - za pomocą układu z miernikiem natężenia stałego pola magnetycznego.

Niniejsza norma nie ogranicza stosowania innych metod pomiaru o nie mniejszej dokładności.

1.3. Oznaczenia i określenia

1.3.1. Oznaczenia

I - natężenie prądu magnesującego w A

H - natężenie pola magnetycznego w A/m /Oe/

B - indukcja magnetyczna w T /Gs/

B_{nas} - indukcja magnetyczna przy nasyceniu w T /Gs/

M - magnetyzacja w A/m /Oe/

M_w - indukcyjność wzajemna w H

H_m, B_m, M_m - współrzędne wierzchołków pętli histerezy tj. współrzędne komutacyjnej krzywej magnesowania.

H_x, B_x, M_x - wartości występujące w krzywej pierwotnego magnesowania lub w pętli histerezy, poza jej wierzchołkami

I_m, I_x - natężenie prądu magnesującego w A, przy którym natężenie pola w cewce magnesującej wynosi odpowiednio H_m, H_x, A/m /Oe/

H_c - natężenie koercyjne /ogólnie/ w A/m /Oe/

$B^{H}c$ - natężenie koercyjne indukcji w A/m /Oe/

$M^{H}c$ - natężenie koercyjne magnetyzacji w A/m /Oe/

a - odchylenie /wskazanie/ miernika strumienia magnetycznego wzgl. miernika natężenia pola magnetycznego w działkach

K_ϕ - stała miernika strumienia magnetycznego uwzględniająca ilość zwojów stosowanej cewki pomiarowej w Wb/dz /M_x/dz/

S - pole powierzchni przekroju próbki w m^2

L - długość próbki w m

D - średnica wzgl. średnica równoważna próbki w m

N - balistyczny współczynnik odmagnesowania próbki

- przenikalność magnetyczna próżni,

$= 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m

Instytut Metalurgii Żelaza

Ustanowiona przez Dyrektora Zjednoczenia Hutnictwa Żelaza i Stali zarządzeniem nr 53/70 z dnia 25.XI.1970 jako norma obowiązująca w zakresie metod badań i prób od dnia 1.IV.1971r

DRUK IMŻ.288.64.n.100

Cena 22,- zł.

Od 01.[illegible] 240,-

Nakład wznowiony - uwzględnia zmianę wprowadzoną zarządzeniem Naczelnego Dyrektora ZHŻiSt nr 22/71 z dnia 25 05 1971 r

C_o - stała uzwojenia w środku cewki magnesującej /stosunek H/I/ w 1/m /Oe/A/

C_x - stała uzwojenia w punkcie oddalonym o x m od środka cewki magnesującej /w osi cewki/ w 1/m /Oe/A/

Z - ilość zwojów cewki pomiarowej miernika strumienia magnetycznego

1.3.2. Określenie

1.3.2.1. Średnica równoważna próbki - średnica koła o tym samym polu powierzchni co pole przekroju poprzecznego próbki.

1.3.2.2. Smukłość próbki - stosunek długości próbki do jej średnicy wzgl. średnicy równoważnej L/D.

1.3.2.3. Pętla histerezy - zależność B=f/H/ lub M=f/H/ x/ występująca przy pełnym przemagnesowaniu materiału polem magnetycznym o natężeniu zmienianym powoli w granicach od + H_m do $-H_m$ i z powrotem, po uprzednim kilkakrotnym przemagnesowaniu materiału /rys 1./.

1.3.2.4. Graniczna pętla histerezy - pętla histerezy otrzymana dla dostatecznie wielkiej wartości H_m, przy której materiał zostaje namagnesowany do nasycenia.

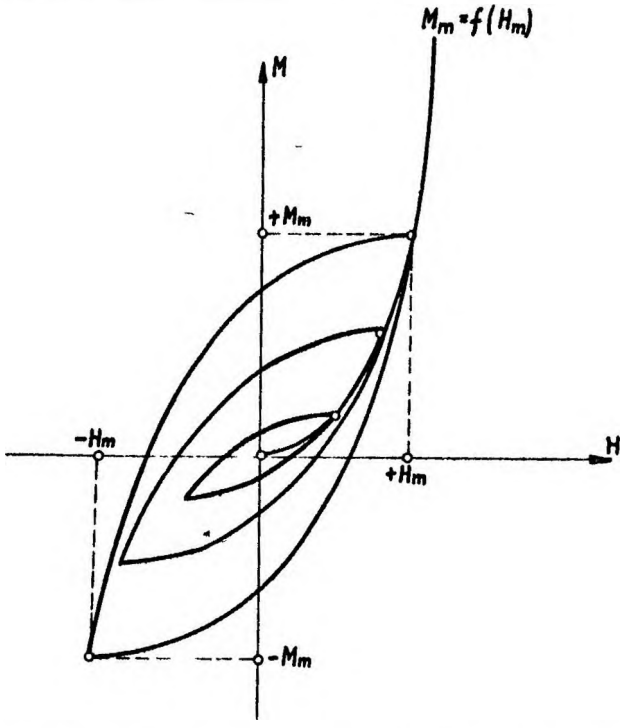
1.3.2.5. Natężenie koercyjne indukcji $_BH_c$ - natężenie pola, któremu w granicznej pętli histerezy B=f/H/ odpowiada zerowa wartość indukcji.

1.3.2.6. Natężenie koercyjne magnetyzacji $_MH_c$ - natężenie pola, któremu w granicznej pętli histerezy M=f/H/ odpowiada zerowa wartość magnetyzacji.

1.3.2.7. Pozorna graniczna pętla histerezy - zależność B=f/H/ lub M=f/H/ jak w przypadku granicznej /rzeczywistej/ pętli histerezy z tym, że przez H rozumie się natężenie zewnętrznego pola magnesującego /cewki magnesującej/.

1.3.2.8. Komutacyjna krzywa magnesowania - krzywa łącząca wierzchłoki pętli histerezy o różnych wartościach H_m, tj. zależność B_m = f/H_m/ lub M_m = f/H_m/.

1.3.2.9. Krzywa pierwotnego magnesowania - zależność B_x=f/H_x/ x/



Rys. 1 Pętla histerezy oraz komutacyjna krzywa magnesowania M_m = f /H_m/

2. BADANIA

2.1. Próbki

2.1.1. Pobieranie i sposób wykonania próbek. Próbki należy pobrać i wykonać zgodnie z normami przedmiotowymi dla badanego materiału. Obróbka mechaniczna próbek powinna być wykonana przed ich obróbką cieplną.

x/ Przez H rozumie się natężenie wewnętrznego /wypadkowego pola magnetycznego w materiale, które w przypadku próbek prostych jest różnicą natężenia zewnętrznego pola magnesującego, wytworzonego przez cewkę magnesującą i natężenia pola odmagnesowującego końców próbki.

2 1 2 Kształt i wymiary próbek Próbki powinny mieć postać bądź prętów o przekroju okrągłym lub prostokątnym, bądź też pasków złożonych po kilka i związanych ze sobą cienką taśmą niemetalową

Krzywizna próbki /strzałka/ mierzona w środku jej długości nie powinna przekraczać 1% długości Pole przekroju poprzecznego w środkowej części /30% długości/ próbki nie powinno się zmieniać więcej niż o ± 1%, a w pozostałej części próbek - nie więcej niż o ± 5%. Długość próbki nie powinna być większa od długości strefy jednorodnego pola magnetycznego cewki magnesującej /p. 3 2 4./. Zaleca się stosować próbki o polu powierzchni przekroju poprzecznego nie mniejszym niż 0,2 cm^2. Smukłość próbek powinna wynosić co najmniej 20 - w przypadku pomiaru natężenia koercyjnego oraz co najmniej 50 - w przypadku pomiaru indukcji magnetycznej.

2 1.3. Wyznaczenie pola powierzchni przekroju próbki Jako pole S powierzchni przekroju poprzecznego próbki należy przyjąć średnią wartość pól wyznaczonych dla co najmniej trzech różnych przekrojów próbki w środkowej /30% długości/ części próbki.

2.2 Metody pomiarowe

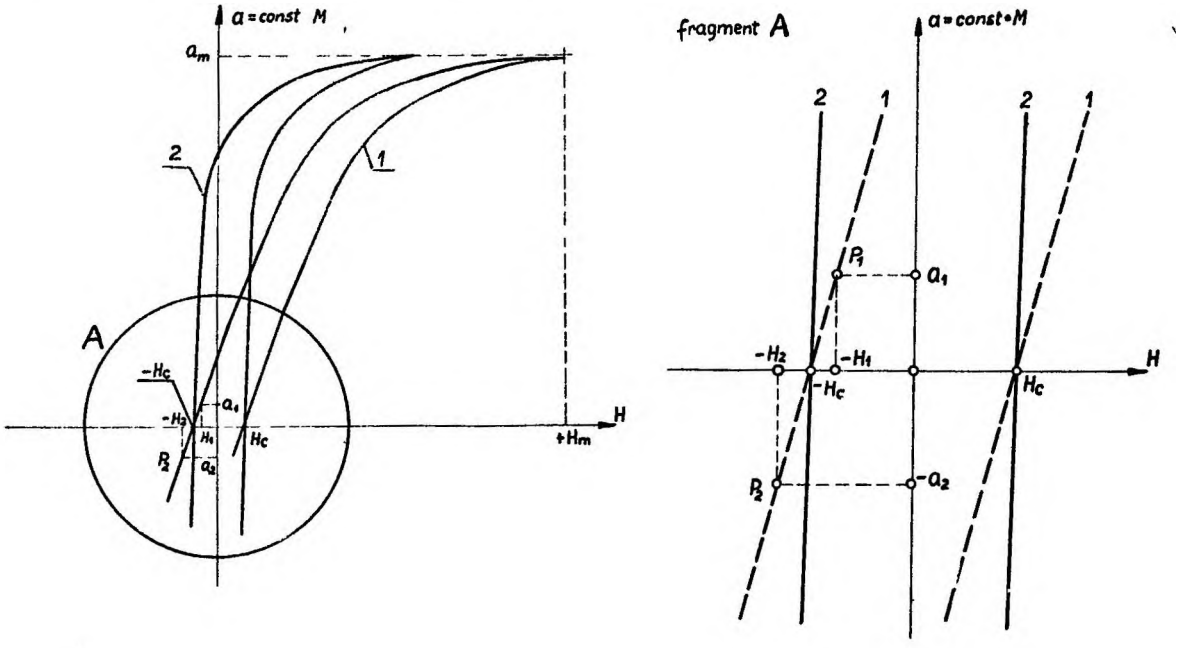
2.2.1 Pomiar natężenia koercyjnego i indukcji magnetycznej za pomocą układu z miernikiem strumienia magnetycznego

2 2 1.1. Zasada pomiaru. Pomiar natężenia koercyjnego polega na

- wyznaczeniu dwóch punktów pozornej granicznej pętli histerezy magnetyzacji leżących powyżej i poniżej zerowej wartości magnetyzacji,
- wyznaczeniu przy pomocy interpolacji liniowej wartości natężenia pola cewki magnesującej przy której magnetyzacja w próbce jest równa zeru /rys 2/.

W celu wyeliminowania wpływu składowej pola ziemskiego skierowanej wzdłuż próbki, powyższą wartość natężenia pola cewki magnesującej wyznacza się dwukrotnie: raz - na opadającej gałęzi pętli histerezy, wychodząc z punktu + H_m, drugi raz na wznoszącej się gałęzi pętli, wychodząc z punktu - H_m i za wartość miarodajną przyjmuje się ich średnią arytmetyczną Pomiar indukcji magnetycznej dla danej wartości natężenia pola magnetycznego polega na:

- usunięciu próbki z cewki przy polu o wymaganym natężeniu i wyznaczeniu spowodowanej tym zmiany strumienia,
- obliczeniu wartości indukcji magnetycznej.



Rys 2 Sposób wyznaczenia wartości natężenia koercyjnego na podstawie punktów P_1 i P_2 granicznej pozornej pętli histerezy magnetyzycji
1 - graniczna pozorna pętla histerezy
2 - graniczna /rzeczywista/ pętla histerezy

2 2.1 2. Układ pomiarowy

2.2.1.2 1. Schemat układu pomiarowego. Schemat układu pomiarowego przedstawiono na rys 3.

2 2.1.2.2. Źródło prądu i cewka magnesująca. Źródło prądu i cewka magnesująca powinny umożliwiać wytworzenie wewnątrz cewki magnesującej stałego pola magnetycznego o wymaganym natężeniu, nie mniejszym jednak niż 16000 A/m /200 Oe/

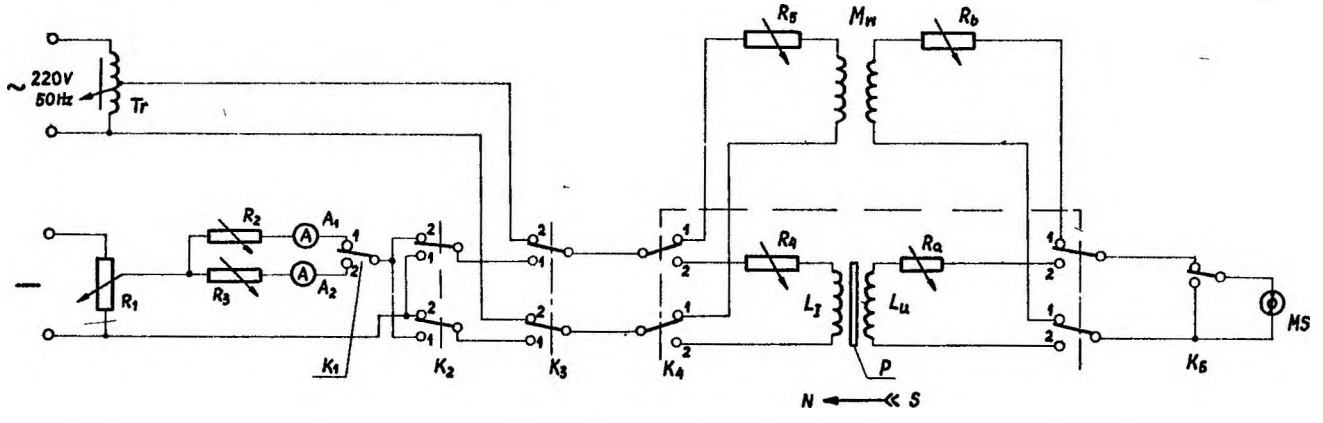
Cewka magnesująca powinna spełniać następujące wymagania:

- stała C_o w środku cewki powinna być określona z błędem nie większym niż ± 0,5%,
- stała C_x mierzona w osi cewki w dowolnych punktach zajmowanych przez próbkę, jednak na długości nie mniejszej niż 0,2 m, nie powinna się zmieniać więcej niż ± 0,5%.

2.2.1 2.3. Amperomierze. Do pomiaru natężenia prądu stałego należy stosować amperomierze klasy nie gorszej niż 0,5.

2 2 1 2 4. Cewka pomiarowa i miernik strumienia magnetycznego. Cewka pomiarowa i miernik strumienia magnetycznego powinny być dobrane tak, by dla występujących w pomiarach zmian strumienia magnetycznego otrzymać wskazania w granicach od 75 do 100% pełnego odchylenia miernika

Cewkę pomiarową należy nawinąć na niemetalowym korpusie, przy czym długość uzwojenia nie powinna przekraczać 15% długości próbki.



Rys. 3 Schemat układu do pomiaru natężenia koercyjnego i indukcji magnetycznej miernikiem strumienia magnetycznego.

P - próbka
L_I - cewka magnesująca
L_U - cewka pomiarowa
M_w - wzorzec indukcyjności wzaj.
MS - miernik strumienia magnetycznego
A_1, A_2 - amperomierze prądu stałego
R_1-R_5 - rezystory do regulacji natęż. prądu magn
R_a, R_b - rezystory do wyrówn. rezystancji w obw pom
Tr - autotransformator
K_1-K_5 - wyłączniki i przełączniki

Cewka pomiarowa może mieć odczepy. Rezystancję cewki pomiarowej należy wyrównać do wartości wymaganej przez stosowany miernik strumienia magnetycznego /w układzie na rys. 3 do tego celu służą rezystory R_a i R_b/

Jako miernika strumienia magnetycznego można użyć bądź galwanometru balistycznego bądź strumieniomierza /galwanometru pełznego/ o stałej określonej z dokładnością nie gorszą niż ± 1%.

Zaleca się stosować miernik strumienia zaopatrzony w wielozakresowy "bocznik", zmieniający jego stałą w stosunku 1:2; 1:5; 1:10; 1:20; itd.

2.2.1 2.5 Wzorzec indukcyjności wzajemnej. Klasa użytego wzorca indukcyjności wzajemnej nie powinna być gorsza niż 0,5. Wzorzec może być pominięty w układzie pomiarowym jeśli nie zachodzi potrzeba wyznaczania stałej stosowanego miernika strumienia.

2 2.1.2.6. Elementy przełączające i regulacyjne. Elementy przełączające i regulacyjne użyte w układzie pomiarowym powinny umożliwiać bezbłędne wykonanie następujących czynności:

- włączenie prądu stałego o natężeniu $+I_m$, $-I_m$ oraz $+I_x$, $-I_x$ w obwód cewki magnesującej lub pierwotnego uzwojenia wzorca indukcyjności wzajemnej /jeśli jest on stosowany/,
- płynną regulację natężenia prądu stałego,
- zwarcie miernika strumienia,
- przyłączenie do miernika strumienia albo cewki pomiarowej albo wtórnego uzwojenia indukcyjności wzajemnej /jeśli jest on stosowany/,
- włączenie w obwód cewki magnesującej prądu przemiennego o natężeniu płynnie regulowanym od zera /jeśli jest ona używana do rozmagnesowania próbek/.

Wszelkie zmiany natężenia prądu stałego w układzie pomiarowym powinny mieć charakter aperiodyczny w czasie.

Sposób wykonania powyższych czynności w układzie pomiarowym podanym na rys. 3 pokazuje tablica 1, w której podano położenia poszczególnych wyłączników i przełączników oraz zaznaczono literą "x" elementy wymagające ustawienia. Dopuszczalne jest stosowanie innych sposobów przełączeń i regulacji aniżeli pokazane na rys. 3.

Zaleca się jako wyłączniki i przełączniki stosować w obwodach prądowych styczniki, a w obwodach napięciowych - przekaźniki.

2.2.1.3. Przeprowadzenie pomiaru.

2.2.1.3.1. Czynności wstępne

2.2.1.3.1.1. Zorientowanie próbki względem ziemskiego pola magnetycznego Cewkę magnesującą należy ustawić poziomo, w kierunku prostopadłym do magnetycznego pola ziemskiego z dokładnością $\pm 5^{\circ}$.

2.2 1 3.1.2. Wyznaczenie stałej miernika strumienia magnetycznego za pomocą wzorca indukcyjności wzajemnej. W celu wyznaczenia stałej stosowanego miernika strumienia magnetycznego należy wykonać następujące czynności:

- zawrzeć miernik strumienia,
- przyłączyć wzorzec indukcyjności wzajemnej,
- włączyć prąd stały o natężeniu I_x,
- rozewrzeć miernik strumienia,
- wyłączyć prąd o natężeniu I_x,
- odczytać wskazania a_x miernika strumienia,
- obliczyć stałą K_ϕ ze wzoru:

$$K_\phi = \frac{M_w \; I_x}{z \; a_x} \quad \text{Wb/dz} \quad \text{/Mx/dz/} \qquad /1/$$

Za stałą miernika strumienia należy przyjąć średnią wartość z trzech pomiarów K_ϕ wykonanych przy różnych natężeniach I_x prądu magnesującego, dla których wskazanie miernika strumienia jest nie mniejsze niż 50% pełnego odchylenia.

Tablica 1

C Z Y N O Ś Ć	K1	K2	K3	K4	K5	R1	R2	R3	R4,5
włącz. pr. stałego o nat.$+I_m$	poz1	poz1	poz1			x	x		x
włącz. pr. stałego o nat.$-I_m$	poz1	poz2	poz1			x	x		x
włącz. pr. stałego o nat.$+I_x$	poz2	poz1	poz1					x	
włącz. pr. stałego o nat.$-I_x$	poz2	poz2	poz1						
włącz. pr. przemiennego			poz2						
włączenie cewek mgn.i pom.				poz2					
włączenie wzorca ind.wzaj.				poz1					
zwarcie miernika strumienia					zał				

2.2.1.3.2 Rozmagnesowanie próbki. Należy każdy pomiar przeprowadzać na próbce rozmagnesowanej. W celu rozmagnesowania próbki należy:

- włożyć próbkę do cewki magnesującej lub innej poza układem pomiarowym,
- w obecności próbki w cewce wytworzyć pole przemienne o amplitudzie nie mniejszej niż 16000 A/m/200 Oe/,
- za pomocą transformatora regulacyjnego zmniejszyć płynnie do zera natężenie pola przemiennego w czasie nie krótszym niż 10 s, zwracając szczególną uwagę na powolne i równomierne obniżanie natężenia w okolicy zera

Rozmagnesowanie w cewce magnesującej należy wykonywać przy zwartym mierniku strumienia

2 2.1 3 3. Przebieg pomiaru natężenia koercyjnego.

2.2 1 3 3.1 Wyznaczenie wartości H_{c1} na opadającej gałęzi pętli histerezy. w pierwszej kolejności należy:

- zewrzeć miernik strumienia,
- włożyć próbkę do cewki,
- rozmagnesować próbkę /jeśli stosuje się rozmagnesowanie za pomocą cewki magnesującej/,
- wytworzyć w cewce pole o natężeniu $+H_m$ nie mniejszym od 16000 A/m /200 Oe/,
- zmniejszyć natężenie pola cewki od wartości $+H_m$ od zera, powoli i jednostajnie, w czasie nie krótszym niż 10 s,
- wytworzyć w cewce pole o natężeniu $-H_1$ takim, by indukcja magnetyczna w próbce miała kierunek zgodny z kierunkiem przy natężeniu $+H_m$ a jej wartość nie przekraczała 5% wartości indukcji przy nasyceniu; wskazania a_g miernika strumienia odpowiadające tej wartości indukcji określa wzór

$$a_g = 0{,}05 \frac{B_{nas} S}{K_\phi}, \text{ dz} \qquad /2/,$$

- wyzerować miernik strumienia,
- rozewrzeć miernik strumienia,
- wysunąć szybko próbkę z cewki,
- odczytać wskazanie a_1, miernika strumienia /powinno być $a_1 \leq a_g$/

Z kolei należy:

- zewrzeć miernik strumienia,
- włożyć próbkę do cewki,
- rozmagnesować próbkę /jeśli stosuje się rozmagnesowanie za pomocą cewki magnesującej/,
- wytworzyć w cewce pole o natężeniu $+H_m$ nie mniejszym od 16000 A/m /200 Oe/,
- zmniejszyć natężenie pola cewki od wartości $+H_m$ do zera, powoli i jednostajnie w czasie nie krótszym niż 10 s,
- wytworzyć w cewce pole o natężeniu $-H_2$ takim, by indukcja w próbce miała kierunek przeciwny do kierunku przy natężeniu $+H_m$, a jej wartość nie przekraczała 5% wartości indukcji przy nasyceniu, graniczną wartość wskazania miernika strumienia określa wzór /2/,
- wyzerować miernik strumienia,
- rozewrzeć miernik strumienia,
- wysunąć szybko próbkę z cewki,
- odczytać wskazanie a_2 miernika strumienia /powinno być $a_2 \leq a_g$/

Wartość H_{c1} oblicza się z wzoru:

$$H_{c1} = \frac{a_1 H_2 + a_2 H_1}{a_1 + a_2}, \text{ A/m /Oe/} \qquad /3/$$

w którym:

$$H_1 = I_1 C_o, \; H_2 = I_2 C_o.$$

2 2 1 3 3.2. Wyznaczanie wartości H_{c2} na wznoszącej się gałęzi pętli histerezy. Należy wykonać identyczne czynności jak w 3 3.3.1 z tym tylko, że:

- zamiast pola o natężeniu + H_m należy wytworzyć pole o natężeniu - H_m,
- zamiast pola o natężeniu - H_1 należy wytworzyć pole o natężeniu + H_3 takim, by indukcja w próbce miała kierunek zgodny z kierunkiem przy natężeniu - H_m w wyniku czego otrzyma się wskazanie a_3 miernika strumienia /powinno być $a_3 \leq a_g$/,
- zamiast pola o natężeniu - H_2 należy wytworzyć pole o natężeniu + H_4 takim, by indukcja w próbce miała kierunek przeciwny do kierunku przy natężeniu - H_m, w wyniku czego otrzyma się wskazanie a_4 miernika strumienia /powinno być $a_4 \leq a_g$/,

Wartość H_{c2} oblicza się z wzoru

$$H_{c2} = \frac{a_3 H_4 + a_4 H_3}{a_3 + a_4}, \quad A/m \quad /Oe/ \qquad /4/$$

w którym

$$H_3 = I_3 C_o, \quad H_4 = I_4 C_o.$$

2 2 1 3 3 3. Obliczenie wartości H_c. Wartość natężenia koercyjnego oblicza się z wzoru:

$$H_c = \frac{H_{c1} + H_{c2}}{2}, \quad A/m \quad /Oe/ \qquad /5/$$

2 2 1.3 4. Przebieg pomiaru indukcji magnetycznej komutacyjnej krzywej magnesowania W celu wyznaczenia indukcji magnetycznej B_m odpowiadającej na komutacyjnej krzywej magnesowania polu o natężeniu H_m należy wykonać następujące czynności:

- zewrzeć miernik strumienia,
- włożyć probkę do cewki,
- rozmagnesować próbkę /jeśli stosuje się rozmagnesowanie za pomocą cewki magnesującej/,
- wytworzyć w cewce pole o natężeniu zmienianym w granicach od + H_m do - H_m i z powrotem powtarzając pełny cykl magnesowania co najmniej trzykrotnie,
- wyzerować miernik strumienia,
- rozewrzeć miernik strumienia,
- wysunąć szybko próbkę z cewki przy polu o natężeniu + H_m,
- odczytać wskazania a_m miernika strumienia

Indukcję magnetyczną B_m oblicza się z wzoru:

$$B_m = \frac{K_\phi \, a_m}{S} + \mu_o \, H_m, \quad T \ /Gs/ \qquad /6/$$

w którym

$$H_m = I_m \, C_o \ w \ A/m \quad /Oe/$$

2 2 1 3 5 Przebieg pomiaru indukcji magnetycznej pierwotnej krzywej magnesowania W celu wyznaczenia indukcji magnetycznej B_x odpowiadającej na pierwotnej krzywej magnesowania polu o natężeniu H_x należy wykonać następujące czynności:

- zewrzeć miernik strumienia,
- włożyć próbkę do cewki,
- rozmagnesować próbkę /jeśli stosuje się rozmagnesowanie za pomocą cewki magnesującej/,
- wytworzyć w cewce pole o natężeniu H_x,
- wyzerować miernik strumienia,
- wysunąć szybko próbkę z cewki,
- odczytać wychylenie a_x miernika strumienia.

Indukcję magnetyczną B_x oblicza się z wzoru:

$$B_x = \frac{K_\phi \, a_x}{S} + \mu_o H_x \quad T \ /Gs/ \qquad /7/$$

w którym:

$$H_x = I_x \, C_o \ w \ A/m \quad /Oe/$$

2 2.1.3 6. Błąd pomiaru Przy spełnieniu wymagań niniejszej normy błąd pomiaru natężenia koercyjnego nie przekracza ± 3% a błąd pomiaru indukcji magnetycznej ± 5%

2.2.2. Pomiar natężenia koercyjnego za pomocą układu z miernikiem natężenia pola magnetycznego.

2.2 2 1. Zasada pomiaru Pomiar natężenia koercyjnego polega na namagnesowaniu próbki dostatecznie blisko magnetycznego nasycenia i następnie na wyznaczeniu natężenia pola magnetycznego cewki magnesującej, skierowanego przeciwnie, przy którym zewnętrzne pole próbki osiąga wartość zerową - co stwierdza się miernikiem natężenia stałego pola magnetycznego.

2.2.2 2. Układ pomiarowy

2.2.2 2.1. Schemat układu pomiarowego. Schemat układu pomiarowego przedstawiono przykładowo na rys. 4.

2 2.2.2.2. Źródło prądu i cewka magnesująca. Źródło prądu i cewka magnesująca powinna spełniać wymagania podane w p 3 3 3 Jako źródła prądu zaleca się użyć prostownika o napięciu płynnie regulowanym za pomocą autotransformatora. Amplituda napięcia tętnienia w napięciu wyjściowym takiego prostownika nie powinna przekraczać 2% napięcia stałego

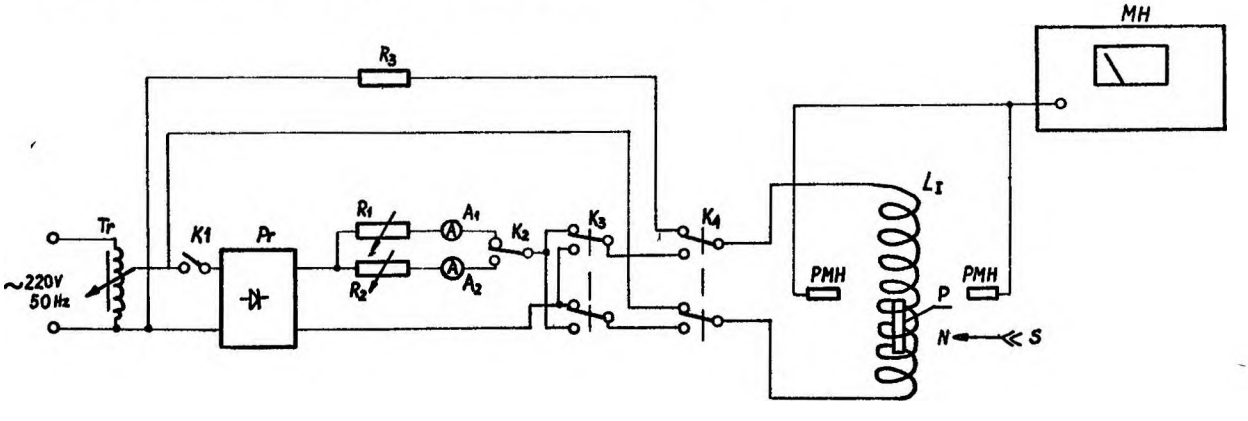
2.2 2.2.3. Amperomierze. Do pomiaru natężenia prądu stałego należy stosować amperomierze klasy nie gorszej niż 0,5.

2 2.2.2 4 Miernik natężenia pola magnetycznego Należy użyć wielozakresowego przyrządu mierzącego natężenie stałego pola magnetycznego, zaopatrzonego w astatyczny przetwornik /sondę/, którego stała na najczulszym zakresie nie powinna być większa niż 0,04 A/m dz /0,5 m Oe/dz,/ Przetwornik miernika natężenia pola może być umieszczony bądź zewnątrz cewki magnesującej bądź wewnątrz niej. W obu przypadkach przetwornik powinien być tak ustawiony względem cewki i próbki, aby mierzył on zewnętrzne pole próbki a nie reagował na pole cewki Zmiana wskazania miernika pod wpływem pola cewki nie powinna być większa niż 1% wskazania dla zewnętrznego pola próbki po jej namagnesowaniu, gdy natężenie pola w cewce wynosi zero

Astatyczne własności przetwornika oraz ewentualnie zastosowany sposób uzupełniającej kompensacji powinien zapewnić całkowitą nieczułość miernika na magnetyczne pole ziemskie.

2.2.2.2.5. Elementy przełączające i regulacyjne. Elementy przełączające i regulacyjne użyte w układzie pomiarowym powinny umożliwiać bezbłędne wykonania następujących czynności:

- włączenie w obwód cewki magnesującej prądu stałego o natężeniu regulowanym płynnie w granicach 0.....± I_m oraz 0 .. ± I_x,
- włączenie w obwód cewki magnesującej prądu przemiennego o natężeniu płynnie regulowanym od zera /jeśli jest ona używana do rozmagnesowania próbek/.



Rys. 4. Schemat układu do pomiaru natężenia koercyjnego miernikiem natężenia stałego pola magnetycznego

P	- próbka	Tr	- autotransformator
L_I	- cewka magnesująca	Pr	- prostownik
MH	- miernik natężenia stałego pola mgn.	K_1	- wyłącznik prostownika
PMH	- przetwornik miernika MH	K_2	- przełącznik natężenia prądu /I_m/I_x/
A_1,A_2	- amperomierze prądu stałego	K_3	- przełącznik kierunku prądu
R_1,R_2	- rezystory do regulacji nat. pr.	K_4	- przełącznik rodzaju prądu /stały/ przemienny/

Wszelkie zmiany natężenia prądu stałego w układzie pomiarowym powinny mieć charakter aperiodyczny w czasie Dopuszczalne jest stosowanie innych sposobów przełączeń i regulacji aniżeli pokazano na rys 4.

Zaleca się jako wyłączniki i przełączniki prądu stosować styczniki.

2.2.2.3 Sposób pomiaru

2 2 2.3.1. Zorientowanie próbki względem ziemskiego pola magnetycznego Próbkę należy zorientować zgodnie z wymaganiami p 3.3 1 1.

2.2.2 3.2. Rozmagnesowanie próbki Należy postąpić jak w p. 3.3 2., obniżając odpowiednio czułość miernika natężenia pola na czas rozmagnesowania

2 2 2.3 3. Przebieg pomiaru. Należy wykonać następujące czynności:

- wyzerować miernik pola,
- sprawdzić brak wpływu pola pustej cewki magnesującej na wskazania miernika i ewentualnie skorygować położenie przetwornika,
- umieścić próbkę w cewce magnesującej zgodnie z wymogami stosowanej sondy,
- obniżyć odpowiednio czułość miernika pola,
- rozmagnesować próbkę /jeśli stosuje się rozmagnesowanie za pomocą cewki magnesującej/,
- wytworzyć pole o natężeniu H_m nie mniejszym niż 16000 A/m /200 Oe/,
- zmniejszyć natężenie H_m pola do wartości zerowej wolno i jednostajnie w czasie nie krótszym niż 10 s,
- zwiększyć czułość miernika pola,
- włączyć pole o natężeniu $-H_x$ regulowanym płynnie od zera aż do wartości, przy której wskazanie miernika spadnie do zera,
- odczytać natężenie prądu I_{x1} w tym momencie

Powyższe czynności należy powtórzyć, stosując pole o natężeniu $-H_m$ oraz $+H_x$, w wyniku czego otrzyma się wartość natężenia prądu I_{x2}.

Wartość H_c natężenia koercyjnego oblicza się z wzoru:

$$H_c = \frac{H_{x1} + H_{x2}}{2}, \quad A/m \quad /Oe/ \qquad /8/$$

w którym

$$H_{x1} = C_o I_{x1}, \; H_{x2} = C_o I_{x2}$$

2.2 3 Błąd pomiaru Przy spełnieniu wymagań niniejszej normy błąd pomiaru natężenia koercyjnego nie przekracza ± 3%.-

K O N I E C

INFORMACJE DODATKOWE

1. UWAGI OGÓLNE

Wskazania miernika strumienia magnetycznego uzyskane w wyniku usunięcia próbki z cewki jak również wskazania miernika natężenia pola magnetycznego z przetwornikiem nie reagującym na pole cewki magnesującej są proporcjonalne do wielkości magnetyzacji w próbce Naskutek tego, wartość natężenia koercyjnego wyznaczona obiema metodami niniejszej normy jest w rzeczywistości wartością natężenia koercyjnego magnetyzacji ${}_{M}H_{c}$.

Przybliżony związek między tymi wartościami ${}_{B}H_{c}$ i ${}_{M}H_{c}$ przedstawia wzór:

$$ {}_{B}H_{c} \cong \frac{{}_{M}H_{c}}{1 + \frac{{}_{M}H_{c}}{B_{r}} \mu_{o}} \qquad /1/ $$

w którym B_r - pozostałość magnetyczna w T /Gs/.-

W zakresie stosowania normy różnica między tymi wartościami jest pomijalnie mała i dlatego w tekście normy wprowadzono ogólne oznaczenie natężenia koercyjnego H_c.

2. BŁĄD POMIARU INDUKCJI MAGNETYCZNEJ

Wypadkowy procentowy błąd δ pomiaru indukcji magnetycznej B w polu o natężeniu H metodą podaną w rozdz. 3 przedstawia wzór:

$$ \delta \cong \delta_{K_\phi} + \delta_a + \delta_s + \frac{dB}{dH} \cdot \frac{H}{B} \left(\delta_H + \delta_I + \delta_{C_o}\right) + \frac{H}{B}\left(\delta_I + \delta_{C_o}\right) \quad , \% \qquad /2/ $$

w którym: δ_{K_ϕ} - błąd określenia stałej miernika strumienia, %

δ_a - błąd odczytu wskazania miernika, %

δ_s - błąd określenia pola powierzchni przekroju próbki, %

δ_H - błąd określenia natężenia pola w próbce, %

δ_I - błąd pomiaru natężenia prądu magnesującego, %

δ_{C_o} - błąd określenia stałej uzwojenia cewki magnesującej, %

$\frac{dB}{dH}$ - "nachylenie" stycznej do krzywej magnesowania w miejscu pomiaru, Wb/m A

Z powyższego wzoru wynika, że stosunkowo duży błąd może być spowodowany błędnym określeniem natężenia pola w e w n ą t r z próbki, które w przypadku próbek prętowych jest z reguły mniejsze od natężenia pola cewki magnesującej, naskutek odmagnesowującego działania końców próbki.

Metoda pomiaru podana w p.3 niniejszej normy pomija ten wpływ, co powoduje błąd pomiaru /zaniżenie wyniku/ mieszczący się jednak w dopuszczalnych granicach dla zakresu stosowania normy.

Metoda wg normy może być stosowana do materiałów o natężeniu koercyjnym wykraczającym poza podany zakres 20 - 400 A/m /0,25 - 5 Oe/ jak również dla pomiarów przy polach o natężeniu mniejszym od 8000 A/m /100 Oe/ jeśli mierzący jest w stanie dostatecznie dokładnie uwzględnić odmagnesowujące działanie końców próbki, co polega na magnesowaniu próbki polem o odpowiednio większym natężeniu H' które oblicza się z wzoru:

$$ H' = H + MN \qquad /3/ $$

w którym: H - natężenie pola dla którego ma być wykonany pomiar B,

M - magnetyzacja przy natężeniu H,

N - balistyczny współczynnik odmagnesowania /zależny od kształtu i smukłości próbki/.

Z uwagi na trudności dokładnego wyznaczenia współczynników odmagnesowania dla próbek walcowych i prostokątnych, wskazane jest w tym przypadku stosować próbki w postaci okrągłych prętów zakończonych podwójnym stożkiem /rys 1Z/. Pręty takie mogą być traktowane jak elipsoidy obrotowe, dla których współczynnik N jest jednoznaczny i daje się dokładnie obliczyć [3].

3 BŁĄD POMIARU NATĘŻENIA KOERCYJNEGO

Wypadkowy procentowy błąd δ pomiaru natężenia koercyjnego, zarówno metodą podaną w rozdz 3 jak i w rozdz 4, określa wzór:

$$\delta \cong \delta_I + \delta_{C_o} + \delta_z + \delta_{nas} + \delta_o \qquad /4/$$

w którym:

δ_{nas} - błąd spowodowany niedostatecznym nasyceniem magnetycznym próbki podczas magnesowania jej polem o natężeniu H_m, %,

δ_z - błąd spowodowany magnesowaniem polem ziemskim w kierunku prostopadłym do długości próbki, %,

δ_o - błąd interpolacji wzgl. błąd określenia zera natężenia zewnętrznego pola próbki, %,

δ_I, δ_{C_o} - jak w p. 2.

Wymagane natężenie H_m dla uzyskania magnetycznego nasycenia materiału próbki, gwarantującego uzyskanie poprawnej wartości natężenia koercyjnego, zależy od natężenia koercyjnego badanej próbki, od magnetyzacji przy nasyceniu M_{nas} i od współczynnika odmagnesowania próbki N Dla materiałów magnetycznie miękkich, orientacyjnie

$$H_m \cong /50 \div 100/ H_c + M_{nas} \cdot N \qquad /4/$$

Metody według niniejszej normy mogą być stosowane również do pomiarów wyższych wartości natężenia koercyjnego aniżeli przewidują warunki normy, o ile maksymalne natężenie pola cewki magnesującej będzie odpowiednio większe od 16000 A/m /200 Oe/ lub wprowadzi się modyfikację postępowania, polegającą na zastąpieniu magnesowania próbki polem cewki o natężeniu $\pm H_m$ - magnesowaniem jej w zamkniętym obwodzie magnetycznym W ostatnim przypadku można stosować próbki o małej smukłości Modyfikacja ta pozwala rozszerzyć zastosowanie metod nawet na materiały magnetycznie bardzo twarde, przykładowo o natężeniu koercyjnym powyżej 80000 A/m/1000 Oe/, przy czym szczególnie dobrze nadaje się do takich pomiarów układ z miernikiem natężenia pola magnetycznego.

Wpływ magnesowania magnetycznym polem ziemskim jest tym większy im mniejsze jest mierzone natężenie koercyjne W metodach wg niniejszej normy wpływ ten jest zredukowany do możliwego minimum przez prostopadłe ustawienie próbki do kierunku tego pola. Dalszym sposobem zmniejszenia tego wpływu w przypadku stosowania próbek o przekroju prostokątnym /pasków/ jest układanie ich tak, by pole ziemskie było skierowane wzdłuż ich g r u b o ś c i , a więc w kierunku najtrudniejszego magnesowania

W przypadku pomiarów natężenia koercyjnego materiałów magnetycznie bardzo miękkich należy liczyć się z koniecznością zastosowania specjalnej kompensacji pola ziemskiego

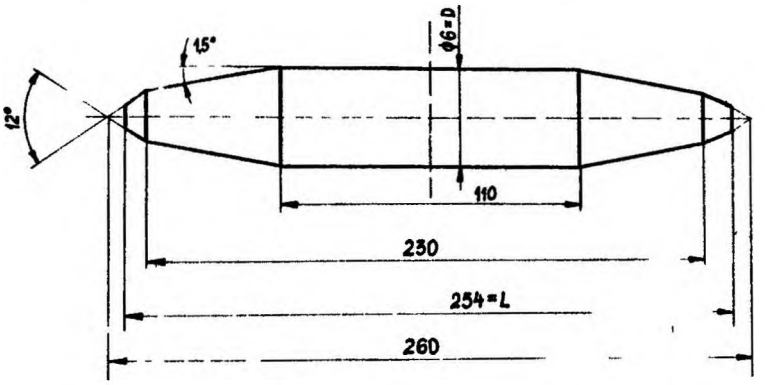
4. UKŁADY DO POMIARU NATĘŻENIA KOERCYJNEGO

Spośród dwóch przedstawionych w niniejszej normie układów pomiarowych do pomiaru natężenia koercyjnego godnym polecenia jest układ z miernikiem natężenia pola, za pomocą którego pomiary są przeprowadzane o wiele szybciej i wygodniej Zaletą jego jest bardzo duża czułość, pozwalająca stosować próbki o małych wymiarach przy dużej dowolności ich kształtu.

Układy takie są dostępne w handlu pod nazwą koercjometrów Jednym z nich jest koercjometr laboratoryjny Typ KL-1 produkcji ZD IMŻ, spełniający wymogi niniejszej normy w zakresie pomiarów natężenia koercyjnego.

5. BIBLIOGRAFIA

1. Badania materiałów magnetycznych. J.Kuryłowicz. WNT.1962
2. Fizyka laboratoryjna F Kohlrausch PWN 1961
3 Miernictwo magnetyczne. M.Nałęcz J.Jaworski. WNT 1968



Rys 1Z Wymiary pręta o zakończeniu stożkowym zastępującego elipsoidę obrotową /przykład/

UWAGA: na rysunku nie zachowano rzeczywistych proporcji wymiarowych