

E. Kania, J. Ranachowski

A. Jędrzejewski

METODY I APARATURA
DEFEKTOSKOPOWYCH
BADAŃ MAGNETYCZNYCH

38/1994

P. 269



WARSZAWA 1994

Praca wpłynęła do Redakcji dnia 12 grudnia 1994 r.



56611



Na prawach rękopisu

Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN

Nakład 100 egz. Ark. wyd. 3,0 Ark. druk. 3,5

Oddano do drukarni w grudniu 1994 r.

Wydawnictwo Spółdzielcze sp. z o.o.

Warszawa, ul. Jasna 1

Edmund Kania

Jerzy Ranachowski

IPPT PAN

Andrzej Jędrzejewski

Biuro PASCAL

METODY I APARATURA DEFEKOSKOPOWYCH
BADAŃ MAGNETYCZNYCH

S t r e s z c z e n i e

W artykule podano podstawy fizyczne badań magnetycznych dotyczących nieniszczącej metody proszkowej. Omówiono różne techniki postępowania przy badaniach wyrobów. Opisano aparaturę do stosowania powyższych badań opracowaną i produkowaną w IPPT PAN, jak: defektoskop strumieniowy, prądowy oraz stanowisko badawcze do kontroli magnetycznej.

WSTEP

Obecnie w IPPT rozwijane są szerzej magnetyczne nieniszczące metody badań materiałów i wyrobów. Podjęto próby badań struktury zwłaszcza wyrobów ze stali wykorzystując zjawisko Barkhausena. Planowana jest budowa aparatury użytkowej w oparciu o to zjawisko. Prace będące przedmiotem prezentowanej publikacji dotyczą metody proszkowej i aparatury różnego typu budowanej w IPPT. Autorzy uważali za stosowne podać podstawy fizyczne zjawisk pola magnetycznego w stopniu koniecznym dla posługiwania się aparaturą do magnetycznych badań nieniszczących.

W rozdziale pierwszym dotyczącym podstaw teoretycznych de-

defektoskopii magnetycznej opisano: zjawiska magnetyczne w oparciu o atomową budowę materii, pole magnetyczne i jego parametry dla magnezu stałego i pola magnetycznego prądu stałego oraz pole magnetyczne prądu zmiennego. Omówiono zachowanie się różnych magnetycznie ciał znajdujących się w polu. Szczególną uwagę poświęcono technikom magnetycznego wykrywania nieciągłości w jednorodnych wyrobach i spoinach.

Opisano budowę, zasadę działania i sposób posługiwania się aparaturą do pomiaru defektoskopami magnetycznymi produkowanymi w Instytucie.

1. Podstawy teoretyczne defektoskopii magnetycznej

1.1. Zjawiska magnetyczne

Magnetyczne zachowanie się ciał można objaśnić w oparciu o procesy atomowe, które zachodzą w ciałach pod wpływem istniejącego zewnętrznego pola magnetycznego. Zjawiska magnetyczne jako własność ciał opisuje się szczegółowo przy użyciu atomistycznej teorii budowy materii. Z zasady tej budowy wynika, iż każdy atom ciała posiada moment magnetyczny, związany z istnieniem dipola magnetycznego atomu, który oddziałuje na zewnętrzne pole magnetyczne i podlega sam jego działaniu. Za podstawę do rozpatrywania istoty magnetyzmu należy przyjąć model budowy atomu wg Rutheforda-Bohra. Zgodnie z tą teorią atomy wszystkich pierwiastków są zbudowane w oparciu o ten sam schemat. Mianowicie w centrum atomu znajduje się dodatnio naładowane jądro, a dookoła niego po określonych torach ustalonych przez teorię kwantów poruszają się ujemnie naładowane elektrony. W stanie normalnym istnieje równowaga ładunków dodatnich i ujemnych. Liczba elektronów lub dodatnich ładunków jądra odpowiada liczbie porządkowej pierwiastka w układzie okresowym. Elektron krążący wokół jądra atomowego równoważny jest prądowi, którego natężenie I wynosi e/T - gdzie T jest czasem jednego obiegu elektronu dookoła jądra atomu. Przyjmując, że tor, po którym krąży elektron jest okręgiem o promieniu r możemy napisać, że:

$$I = \frac{2 \pi r}{T} v$$

/1/

gdzie v - jest prędkością elektronu.

Moment magnetyczny m_l prądu kołowego, jaki tworzy poruszający się elektron nazywamy orbitalnym momentem magnetycznym. Moment ten jest równy iloczynowi natężenia prądu przez powierzchnię orbity kołowej $\mathcal{N} r^2$. Można zatem napisać:

$$m_l = \frac{e v}{2 \mathcal{N} r} \cdot r^2 = \frac{1}{2} e v r \quad /2/$$

Z zależności /2/ wynika, że dla każdego elektronu jego orbitalny moment magnetyczny m_l jest wielokrotnością podstawowego momentu magnetycznego μ_B nazywanego magnetonem Bohra. Dlatego można napisać:

$$m_l = \mu_B n, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

gdzie $\mu_B = \frac{he}{4 \pi m}$ - magneton Bohra.

Tak więc w każdym atomie płyną elementarne prądy elektryczne. Występowanie tych prądów jest jedną z przyczyn magnetycznych własności ośrodków materialnych. Niezależnie od tego jaki rodzaj ruchu wykonuje elektron, ma własny on moment magnetyczny, który nazywamy spinowym momentem magnetycznym m_B . Wartość spinowego momentu magnetycznego jest równa magnetonowi Bohra. Atomy można podzielić na dwie grupy. Do pierwszej zaliczamy te pierwiastki, których orbitalne i spinowe momenty magnetyczne elektronów, wchodzących w skład danego atomu kompensują się nawzajem. W nieobecności zewnętrznego pola magnetycznego taki atom nie wytwarza własnego pola magnetycznego. Takie atomy nazywamy diamagnetycznymi. Do grupy drugiej zaliczamy pierwiastki, których orbitalne i spinowe momenty magnetyczne nie całkowicie kompensują się. Takie atomy wytwarzają własne pole magnetyczne. Nazywamy je przeto paramagnetykami. Jeżeli próbkę złożoną z atomów diamagnetycznych np. bizmut, cynk, ołów, miedź, srebro umieścimy w zewnętrznym polu magnetycznym to wszystkie atomy uzyskują moment magnetyczny skierowany przeciwnie do kierunku zewnętrznego pola magnetycznego.

W przypadku próbki złożonej z atomów paramagnetycznych np. aluminium, cyna, chrom, magnez, mangan umieszczonej w zewnętrznym polu magnetycznym, wytwarza ona własne pole magnetyczne skierowane zgodnie z kierunkiem pola magnesującego. Namagnesowanie diamagnetyków i paramagnetyków znika po usunięciu zewnętrznego pola magnetycznego. W diamagnetykach po usunięciu zewnętrznego pola magnesującego znika polaryzacja magnetyczna atomów, zaś w paramagnetykach ruchy termiczne bardzo szybko wprowadzają całkowite nieuporządkowanie dipoli atomowych. Istnieje szereg pierwiastków np. żelazo, kobalt, nikiel, gadolin i dysproz, w których występuje efekt pozwalający uzyskać duży stopień magnetycznego uporządkowania mimo przeciwdziałających temu ruchów termicznych atomów. Substancje te magnesują się silnie w zewnętrznym polu magnetycznym. Nazywa się je ferromagnetykami. Ferromagnetyzm jest własnością kryształów, a nie poszczególnych atomów. Atomy żelaza są atomami paramagnetycznymi, a ferromagnetykiem żelazo jest dopiero w stanie krystalicznym lub polikrystalicznym. Ferromagnetyzm kryształów żelaza wynika z tego, że podczas tworzenia kryształów momenty magnetyczne atomów żelaza ustawiają się ściśle równoległe w całych obszarach kryształów nazywanych domenami. Kierunki momentów magnetycznych poszczególnych domen mogą być różne, ale każda domena jest całkowicie magnetycznie uporządkowana. Próbką ferromagnetyczną w nieobecności zewnętrznego pola magnetycznego może mieć bardzo mały wypadkowy moment magnetyczny, gdyż chociaż magnetyczne dipole atomowe w poszczególnych domenach są całkowicie uporządkowane, to momenty magnetyczne całych domen mogą być w próbce rozłożone w sposób zupełnie przypadkowy. Tak dzieje się właśnie w nienamagnesowanej próbce żelaza. Jeśli próbkę tę umieścimy w zewnętrznym polu magnetycznym, to wystąpią następujące zjawiska. Kierunek orientacji wszystkich atomowych dipoli magnetycznych wewnątrz domeny może się zmienić zbliżając się do kierunku pola magnesującego, a także domeny zorientowane zgodnie z kierunkiem pola magnesującego mogą rosnąć kosztem domen o innej orientacji, co prowadzi do zmiany granicy domen. Ten ostatni efekt nie jest całkowicie odwracalny. Po usunięciu pola magnesującego granice domen nie powracają całkowicie do swoich położenia po-

czątkowych i próbka pozostaje trwale namagnesowana. Jest to zjawisko histerezy magnetycznej.

Jeżeli dwa magnesy sztabkowe równej siły złożymy przeciwnymi biegunami, wówczas końce przestają wykazywać własności magnetyczne. Gdy sztabkę żelaza lub stali zbliżymy do bieguna silnego magnesu, uzyskuje ona sama własności magnesu, przy czym koniec jej zawsze uzyskuje własności bieguna przeciwnego niż ten, do którego był on zbliżany. Istnieją gatunki stali /miękkie żelazo/, które po oddaleniu od magnesu tracą swoje własności magnetyczne. Natomiast inne gatunki stali pozostają namagnesowane. Opisane zjawisko nazywamy magnesowaniem przez indukcję. Przyciąganie kawałków żelaza objaśnia się właśnie ich namagnesowaniem przez indukcję. Przelamanie lub przecięcie magnesu sztabkowego prowadzi do otrzymania dwóch oddzielnych magnesów, gdyż w każdej połowie wyróżniamy bieguny N i S. Wykazano, iż każda najmniejsza nawet cząstka magnesu jest małym magnesem. W stali nie namagnesowanej wszystkie elementarne magnesy są nieuporządkowane. Rozrzucone w rozmaitych kierunkach bieguny różnych znaków znoszą się w swych działaniach na zewnątrz. Namagnesowanie polega na uporządkowaniu elementarnych magnesów przez zwrócenie biegunów tego samego rodzaju w jedną stronę.

Wzajemne oddziaływanie biegunów magnetycznych opisane jest prawem Coulomba i wyraża się następująco:

$$F = \frac{m_1 m_2}{\mu r^2} \quad /3/$$

gdzie: m_1, m_2 - oznaczają jednostkowe ładunki magnetyczne;

r - ich wzajemną odległość;

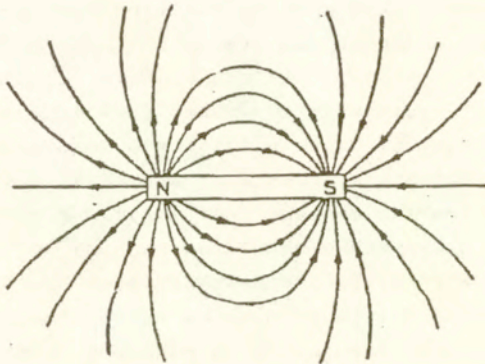
μ - przenikalność magnetyczną środowiska, w którym występuje oddziaływanie biegunów magnetycznych.

1.2. Pole magnetyczne magnesu stałego

W otoczeniu magnesu stwierdza się oddziaływanie dynamiczne i indukcyjne. Oddziaływanie dynamiczne polega na wywieraniu sił na inne magnesy, znajdujące się w jego otoczeniu. Przestrzeń, w której występują te oddziaływania, nazywamy polem magnetycznym. Pole wyobrażamy sobie za pomocą linii natężenia, po której

porusza się próbny punktowy ładunek magnetyczny.

Gdy zbliża się ładunek punktowy do bieguna N magnesu sztabkowego to na ładunek będzie działać pewna siła. Jeśli swobodnie przemieszcza się ładunek punktowy w kierunku działającej siły, to zakreśli on linię krzywą, będącą torem ładunku. Tor ten nazywamy linią natężenia pola magnetycznego. Linię natężenia pola magnetycznego można zobrazować, posypując cienką płytkę diamagnetyczną pod którą jest magnes sztabkowy opiłkami żelaza /rys. 1/.



Rys. 1. Linie natężenia pola magnetycznego magnesu sztabkowego

Opiłki wskutek działania indukcyjnego magnesu sztabkowego zmieniają się na małe magnesiki równej wielkości ziarna i układają się w łańcuchy wzdłuż linii sił pola. Linie te zamykają się od bieguna N do bieguna S.

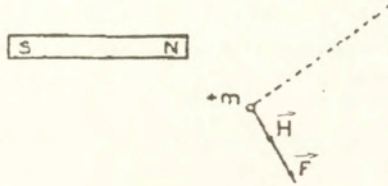
1.3. Natężenie pola magnetycznego

Umieścimy w polu magnetycznym magnesu sztabkowego jednostkowy ładunek magnetyczny dodatni o ładunku m . Działa na niego w każdym punkcie pola siła F /rys. 2/.

Siła ta jest proporcjonalna do m , stąd stosunek F/m będzie jedynie zależał od miejsca w polu. Nazywa się go natężeniem pola magnetycznego H w danym punkcie. Będzie to wektor o kierunku siły wywieranej na próbny ładunek

$$H = F/m$$

/4/

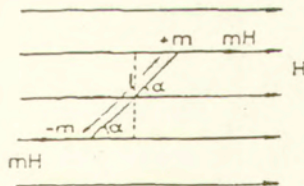


Rys. 2. Natężenie pola magnetycznego

Natężenie pola H nazywa się wektorem magnetycznym. Pole magnetyczne, w którym wektor magnetyczny jest stały co do kierunku i wielkości nazywane jest jednorodnym. Pole magnetyczne, którego natężenie jest niezmiennie w czasie i posiadające tę własność, że praca wykonana przez siły pola przy ruchu ładunku magnetycznego po dowolnym obwodzie zamkniętym równa się zero, nazywane jest polem magnetostatycznym.

1.4. Moment magnesu

Jeśli w jednorodnym polu magnetycznym o natężeniu H znajduje się idealny magnes liniowy posiadający dwa ładunki punktowe, każdy o jednostkowym ładunku magnetycznym m , tak by linia magnesu liniowego tworzyła z kierunkiem jednorodnego pola magnetycznego o natężeniu H w danym punkcie kąt α /rys. 3/, to



Rys. 3. Działanie sił na dipol magnetyczny w jednorodnym polu magnetycznym

momentem magnetycznym M_m dipola nazywamy wektor skierowany od bieguna $-m$ do $+m$. Wartość momentu magnetycznego M_m określamy wzorem:

$$M_m = ml \quad /5/$$

gdzie: l - oznacza odległość między biegunami dipola.

Na tak umieszczony dipol działa para sił o momencie $mH l \sin \alpha$. Iloczyn $ml = M_m$, jest momentem pary sił M_p określany wzorem:

$$M_p = M_m H \sin \alpha \quad /6/$$

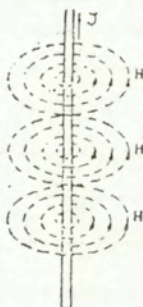
Największy moment pary sił będzie działać przy ustawieniu dipola osią prostopadle do linii sił pola:

$$M_p = M_m H$$

Jeżeli znany jest moment pary sił M_p i znane natężenie pola H , to można obliczyć moment magnetyczny danego magnesu lub, znając moment magnetyczny M_m magnesu i moment sił działających w polu magnetycznym, wyznaczyć natężenie pola magnetycznego H .

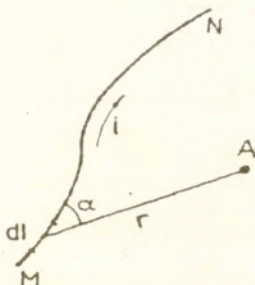
1.5. Pole magnetyczne prądu stałego

W otoczeniu przewodu, przez który przepływa stały prąd elektryczny można wykazać istnienie pola magnetycznego. Kierunek linii sił pola magnetycznego jest zgodny z kierunkiem obrotu prawoskrętnej śruby, posuwającej się przy wkręcaniu w kierunku prądu /rys. 4/.



Rys. 4. Linie sił pola magnetycznego wokół przewodnika prostoliniowego, przez który płynie stały prąd elektryczny

W przypadku przewodników innych kształtów niż linia prosta, powstające pola magnetyczne są skomplikowane i trudne lub niemożliwe jest obliczenie natężenia pola magnetycznego w różnych miejscach. Posługując się prawem Biota i Savarta możemy w wielu przypadkach obliczyć natężenie pola magnetycznego, rozpatrując jako pole działań, pochodzących od poszczególnych elementów przewodnika /rys. 5/, jeśli przewodnik z prądem i biegun magnetyczny znajdują się w środowisku jednorodnym i nieograniczonym.



Rys. 5. Prawo Biota i Savarta dla działań magnetycznych przewodnika różnego od linii prostej

Zgodnie z prawem Biota i Savarta siła pochodząca od elementu dl przewodnika jest umiejscowiona w prostej prostopadłej od płaszczyzny przechodzącej przez element dl i przez punkt A , w którym umieszczony jest biegun magnetyczny. Zwrot wektora siły dF na prostej określa tzw. reguła pływaka. Pływak, płynący wzdłuż przewodnika prądu głową naprzód w kierunku tego prądu zwrócony twarzą do bieguna $+m$, lewą ręką wskazuje zwrot wektora dF . Siła dF wywierana przez element prądu na biegun magnetyczny jest:

- proporcjonalna do jednostkowego bieguna magnetycznego m ,
- proporcjonalna do natężenia I prądu płynącego w przewodniku,
- proporcjonalna do długości dl elementu prądu,
- proporcjonalna do sinusa kąta α , jaki element dl tworzy z prostą łączącą go z biegunem,
- odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości r^2 bieguna od elementu dl .

$$dF = C \frac{m i dl \sin \alpha}{r^2} \quad /7/$$

gdzie: C - współczynnik proporcjonalności zależny od doboru jednostek

lub:

$$F = C \int_M^N \frac{m i dl \sin \alpha}{r^2} \quad /8/$$

gdzie: MN - odcinek przewodnika z prądem.

Prąd wyrażany jest w amperach, to wzór przybierze postać:

$$H = \frac{1}{10} i \int \frac{dl \sin \alpha}{r^2} \quad /9/$$

Natężenie pola magnetycznego H w odległości r od przewodnika prostoliniowego nieskończenie długiego, podaje zależność:

$$H = \frac{2i}{r} \quad /10/$$

Jeżeli i wyrażone jest w amperach to wzór /10/ przybierze postać:

$$H = \frac{2i}{10r} \quad /11/$$

W przypadku, gdy prąd płynie w przewodniku o kształcie koła, na biegun magnetyczny umieszczony w jego środku działa siła określona prawem Biota i Savarta:

$$F = C m i \oint \frac{dl \sin \alpha}{r^2} \quad /12/$$

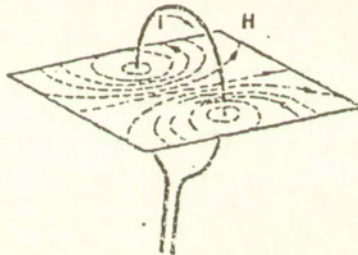
Ponieważ dla koła $r = \text{const}$, $\alpha = 90^\circ$, $\int dl = 2\pi r$ otrzymuje się na siłę wzór:

$$F = C \frac{2\mathcal{N} m i}{r} \quad /13/$$

przyjmując $H = F/m$ otrzymamy:

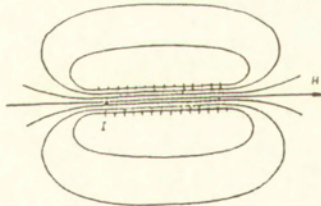
$$H = C \frac{2\mathcal{N} i}{r} \quad /14/$$

Pole magnetyczne przewodnika kołowego prądu jest podobne do pola magnetycznego płytki stalowej namagnesowanej poprzecznie. Taką bardzo cienką płytkę nazywamy podwójną warstwą magnetyczną. Pole magnetyczne obwodu kołowego przedstawiono na rys.6.



Rys. 6. Pole magnetyczne obwodu kołowego

Pole magnetyczne zwojnicy /rys. 7/ różni się od pojedynczego przewodu tym, że linie sił pola są krzywymi zamkniętymi.



Rys. 7. Pole magnetyczne zwojnicy

Pole magnetyczne wewnątrz zwojnicy jest w przybliżeniu jednorodne. Jej natężenie pola magnetycznego wyrażamy wzorem:

$$H = \frac{4}{10} \mathcal{N} N i \quad \text{A/m} \quad /15/$$

gdzie: N - liczba zwojów zwojnicy na długości l_m , a i wyrażamy w amperach.

1.6. Pole magnetyczne prądu zmiennego

Pole magnetyczne można wytworzyć też przepuszczając przez zwojnicę prąd zmienny. Istnieją znaczne różnice zarówno w wielkościach elektrycznych i magnetycznych w porównaniu z otrzymywaniem pola magnetycznego przy przepływie prądu stałego. Wiąże się to z tym, że napięcie U i natężenie prądu I , a w konsekwencji natężenie pola magnetycznego i strumień magnetyczny w cewce zmieniają się okresowo w czasie. W zwojnicy zgodnie z prawem indukcji Faradaya indukuje się napięcie U_L

$$U_L = -N \frac{d\Phi}{dt} \quad /16/$$

która jest proporcjonalna do liczby zwojów N i do szybkości zmian strumienia magnetycznego $d\Phi$. Wyindukowana siła elektromotoryczna jest, zgodnie z regułą Lenza skierowana przeciwnie do napięcia przyłożonego do zwojnicy - stąd we wzorze znak minus. Zatem można napisać:

$$U + U_L = 0$$

czyli

$$U = -U_L$$

stąd

$$U_L = -L \frac{dI(t)}{dt} \quad /17/$$

gdzie: $L = \frac{z^2 \mu_r \mu_0}{1} - S$ jest indukcyjnością własną cewki

zależną od parametrów cewki; Z , l , S zależą od przenikalności magnetycznej μ_r . Indukcyjność własna L stawia pewien opór płynącemu przez zwojnicę prądowi zmiennemu.

Rozpatrując wielkości H i B we wnętrzu zwojniczy wypełnionej rdzeniem ferromagnetycznym o skończonej przewodności elektrycznej, przez którą przepływa prąd zmienny stwierdza się zmianę napięcia i prądu. Stąd:

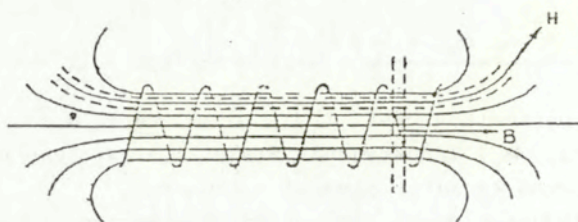
$$H(t) = |H| j\omega t \quad /18/$$

Zmienne w czasie pole magnetyczne indukuje w rdzeniu ferromagnetycznym zwojniczy prądy wirów, które ze swej strony wywołują zmienne pole magnetyczne, które zgodnie z prawem indukcji magnetycznej jest skierowane przeciwnie do wzbudzającego pola magnetycznego i przeciwstawia się jego wnikananiu do wnętrza rdzenia ferromagnetycznego. Zmiany te zależą w zasadzie od częstotliwości prądu zasilającego zwojnicę i prowadzą do magnesowania cienkiej warstwy rdzenia ferromagnetycznego i tylko w niej płyną indukcyjnie. Zjawisko to określamy mianem naskórkowości. Wynika z tego, że pole magnetyczne zwojniczy, przez który płynie prąd zmienny zmienia się tak często jak często zmieniają się wartości napięcia i natężenia prądu zasilającego.

1.7. Ciała w polu magnetycznym

Dla ciał jak żelazo, kobalt, nikiel, gadolin i dysproz oraz wiele stopów różnice w oddziaływaniu magnetycznym pod wpływem pola będą duże. Wartość siły działającej na jednostkowy ładunek magnetyczny w płaszczyźnie normalnej do osi zwojniczy oznaczamy przez B /rys. 8/.

Wektor nazywany indukcją magnetyczną. Linie styczne w każdym punkcie pola do kierunku tego wektora nazywamy liniami indukcji. W większości ciał wektor B ma ten sam kierunek, co wektor H , a jego wartość jest proporcjonalna do wartości H :



Rys. 8. Indukcja B w polu magnetycznym zwojownicy

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad /19/$$

gdzie μ współczynnik przenikalności magnetycznej ośrodka. Iloczyn $B S$, indukcji przez pole danej powierzchni S normalnej do linii indukcji jest strumieniem indukcji :

$$\phi = B S$$

lub /20/

$$\phi = \mu H S$$

Gdy ośrodek będący w polu magnetycznym nie wytwarza własnego pola magnetycznego to nazywamy go diamagnetycznym, natomiast jeśli pod wpływem zewnętrznego pola wytwarza własne pole magnetyczne, nazywamy go paramagnetycznym. Dla diamagnetyków $\mu < 1$ zaś paramagnetyków $\mu > 1$.

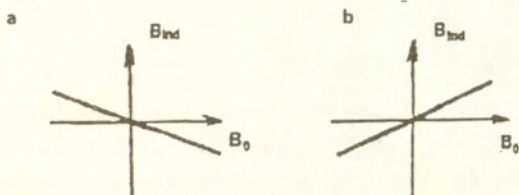
Ośrodki, które pod wpływem zewnętrznego pola magnetycznego magnesują się bardzo silnie, a wielkość tego namagnesowania zależy nie tylko od wielkości pola magnesującego i od stanu wcześniejszego. Ośrodki te nazywamy ferromagnetycznymi.

Wielkość namagnesowania materiału /ośrodka/ możemy określić przez podanie wielkości pola B_{ind} jakie dodatkowo powstaje w tym materiale na skutek namagnesowania. Jeżeli indukcję zewnętrznego pola magnesującego oznaczymy przez B_0 , to całkowita indukcja magnetyczna B w materiale magnesowanym wyniesie:

$$B = B_0 + B_{ind} \quad /21/$$

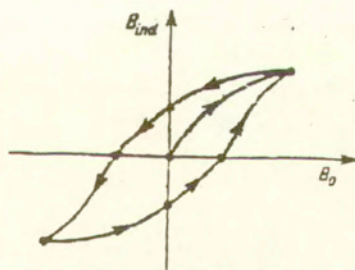
gdzie: B_0 - pozostałość magnetyczna,
 B_{ind} - namagnesowanie indukcyjne.

Zależność wielkości namagnesowania B_{ind} od wielkości pola magnesującego B dla diamagnetyków i paramagnetyków przedstawiono na rys. 9.



Rys. 9. Zależność wielkości namagnesowania B_{ind} od wielkości pola magnesującego: a - diamagnetyk, b - paramagnetyk

Inną sytuację mamy dla ferromagnetyków. Namagnesowanie ferromagnetyka zależy nie tylko od wielkości pola magnesującego B_0 , ale i od historii magnetycznej próbki, to jest w jakim kierunku była ona namagnesowana przed umieszczeniem w polu magnetycznym. Ilustruje to rys. 10.



Rys. 10. Pętla histerezy ferromagnetyka

Własności magnetyczne ferromagnetyków zależą w niewielkim stopniu od temperatury charakterystycznej dla każdego ferromagnetyka. Nazywamy ją temperaturą Curie T_C . Powyżej tej temperatury magnetyczne własności ferromagnetyków ulegają zmianie - ferromagnetyk staje się paramagnetykiem. Obecność w polu magnetycznym ciał komplikuje zadanie znalezienia pola magnetycz-

nego pochodzącego od innych źródeł. Pole magnetyczne B_0 , jakie wytworzyłyby te źródła, gdyby w otaczającej przestrzeni nie było innych ciał powoduje namagnesowanie się ciał otaczających źródła pola, a wytwarzane przez te ciała pole magnetyczne B_{ind} dodaje się do pierwotnego pola B_0 , czyli całkowite pole magnetyczne wyniesie:

$$B = B_0 + B_{ind}$$

Wartość B_0 można obliczyć w oparciu o prawo Biota i Savarta, natomiast część B_{ind} zależy zarówno od wielkości pola B_0 i od kształtów geometrycznych ciał magnesujących się pod wpływem pola B_0 , jak i od rodzaju procesów mikroskopowych, zachodzących w tych ciałach pod wpływem pola B_0 i powodujących ich namagnesowanie. Można z dobrym przybliżeniem przyjąć, że wielkość pola B_{ind} jest proporcjonalna do pola magnesującego B_0 :

$$B_{ind} = \chi B_0 \quad /22/$$

gdzie: χ nazywamy podatnością magnetyczną materiału.

Dla diamagnetyków pole B_{ind} skierowane jest przeciwnie niż pole magnesujące B_0 , zatem dla nich χ jest ujemne. Dla paramagnetyków, dla których B_{ind} i B_0 są skierowane zgodnie χ jest liczbą dodatnią. Całkowita indukcja B pola magnetycznego może być opisana przez wielkość zewnętrznego pola B_0 . Uwzględniając wyrażenia /21/ i /22/ otrzymuje się:

$$B = B_0 + \chi B_0$$

czyli

$$B = B_0(1 + \chi)$$

Jeżeli stałą $1 + \chi$ oznaczyć przez μ to uzyskuje się definicję przenikalności magnetycznej materiału:

$$\mu = 1 + \chi \quad /23/$$

Namagnesowanie się ciał ferromagnetycznych w obecności zewnętrznego pola magnetycznego znalazło praktyczne zastosowanie

w badaniach nieniszczących.

Dla wykrywania nieciągłości mierzy się lub wykrywa występujący strumień rozproszenia podczas magnesowania lub po namagnesowaniu w okolicach miejsc, w których spodziewamy się występowania nieciągłości. W pomiarach grubości ścianek lub warstw wykorzystuje się zmianę strumienia w magnesie, oddziaływanie magnesu na badany przedmiot, albo spadek natężenia pola magnetycznego magnesu w odległości zależnej od badanego przedmiotu.

2. Techniki kontroli

Metody magnetyczne wykorzystują zjawisko zakłócenia pola magnetycznego przez nieciągłości powierzchniowe, podpowierzchniowe i wewnętrzne materiałów ferromagnetycznych. Obszary, w których występują nieciągłości obrazowane są przez skupiska proszku magnetycznego /metoda proszkowa/, przez rejestrację zmian natężenia pola magnetycznego za pomocą taśm magnetycznych /magnetografia/ lub wykrywane za pomocą przyrządów, służących do pomiaru natężenia.

W metodach badania struktury mierzy się najczęściej szczerbkowe pole próbki /pozostałość magnetyczną/ po usunięciu pola magnesującego. Natomiast przy wykrywaniu nieciągłości mierzy się lub wykrywa występujący strumień rozproszenia w miejscach wadliwych w aktywnym polu magnetycznym /podczas magnesowania/ lub po namagnesowaniu. W metodach pomiaru grubości warstw i ścianek wykorzystuje się do pomiaru zmianę strumienia magnesu, oddziaływanie pola na badany przedmiot lub zmianę natężenia pola magnetycznego, magnesu przy stałej odległości od badanego przedmiotu.

2.1. Zasada metody magnetycznej wykrywania nieciągłości

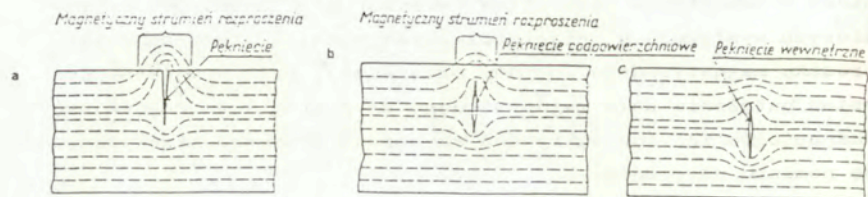
2.1.1. Rozpraszanie pola magnetycznego

Obserwując przebieg linii sił pola magnetycznego w magnesowanym przedmiocie, który zawiera nieciągłości lub niejednorodności materiałowe obserwuje się rozpraszanie pola magnetycznego, które objawia się tym:

- większa część linii omija trudne do przebycia miejsca nieciągłości, takie jak np. pęknięcia i obiera drogę przez pozostały przekrój przedmiotu. Na brzegu pęknięcia obserwuje się zagęszczenie linii sił pola magnetycznego,

- część linii sił pola magnetycznego przechodzi przez pęknięcie,

- pozostała część linii sił pola magnetycznego zostaje odchyłona od pierwotnego kierunku. Tworzą się po obu stronach wady bieguny magnetyczne, a towarzyszące im pole ulega rozproszeniu /rys. 11/.



Rys. 11. Rozpraszczenie pola magnetycznego w obecności nieciągłości: a - powierzchniowej, b - podpowierzchniowej, c - wewnętrznej

By wytworzyć dobrze wykrywalne pole magnetyczne rozproszenia konieczne jest by nieciągłość materiału była bliska powierzchni lub znajdowała się w niezbyt grubej warstwie podpowierzchniowej. W takim przypadku część linii sił pola magnetycznego ulega załamaniu na pęknięciu i wchodzi w powietrze o innej przenikalności magnetycznej, niż badany materiał, w którym wytworzyliśmy strumień magnetyczny. Stąd łatwo wykryć takie pole rozproszenia, a szczególnie wtedy gdy nieciągłość tworzy z kierunkiem linii sił pola magnetycznego kąt w przedziale $45-90^{\circ}$. Natężenie pola magnetycznego rozproszenia zależy od własności magnetycznych materiału, jak i indukcji magnetycznej B.

2.1.2. Ujawnianie pola magnetycznego

Obecność pola magnetycznego może być wykryta przez:

- pokrycie powierzchni badanego przedmiotu proszkiem magnetycznym;
- poruszające się cewki, w których pod wpływem zmiennego pola magnetycznego indukuje się prąd elektryczny;
- sondę Förstera;
- generator Halla /hallotron/.

Proszek magnetyczny, najczęściej ziarna magnetytu Fe_3O_4 średnicy kilkudziesięciu mikronów pod wpływem pola magnetycznego stają się same magnesami. Powierzchnia przedmiotu, w którym występuje magnetyczne pole rozproszenia, pokryta takim proszkiem daje wyraźny obraz tego pola, który potwierdza istnienie nieciągłości. Proszek magnetyczny do wykrywania pola rozproszenia może być używany w stanie suchym lub w postaci zawiesiny w cieczy. Stąd wyróżnia się metodę magnetyczną suchą i mokrą. W metodzie suchej magnetyczne pole rozproszenia ujawnia się po napyleniu badanej powierzchni proszkiem magnetycznym. Jednak przy rozpylaniu proszku magnetycznego w przestrzeni otwartej konieczne jest z~~w~~zględów BHP zapewnienie sprawnie działającej wentylacji, co zwiększa koszty badania. Obecnie stosuje się przy metodzie suchej silnie rozdrobnione proszki z czystego żelaza lub ferromagnetycznych tlenków żelaza. Do ujawniania magnetycznych pól rozproszenia w metodzie mokrej stosuje się zawiesinę proszku magnetycznego w cieczy tworząc układ zemulgowany dwuskładnikowy. Podstawowym wymaganie takiej zawiesiny jest jej dobra ruchliwość po powierzchni badanego przedmiotu. Posługując się tą zawiesiną lepiej wykrywa się zaburzenia pola magnetycznego.

Cewka indukcyjna jest najprostszym i najtańszym elementem stosowanym do pomiaru pól magnetycznych. Przy zmianach strumienia magnetycznego w czasie przenikającego powierzchnię uzwojenia cewki, zgodnie z prawem indukcji elektromagnetycznej w cewce indukuje się napięcie elektryczne proporcjonalne do zmiany strumienia, a tym samym do zmian natężenia pola magnetycznego, jakie występuje przy jego rozproszeniu. W celu wytworzenia

trwałego napięcia pomiarowego proporcjonalnego do natężenia pola magnetycznego rozproszenia, cewkę pomiarową wprowadza się w ruch drgający lub obrotowy. Wskutek tego następuje okresowa zmiana strumienia magnetycznego, który obejmuje cewkę i indukuje się w niej napięcie, którego wartość zależy nie tylko od zmian natężenia pola rozproszenia, ale też od częstotliwości i amplitudy drgań cewki lub od prędkości kątowej cewki. Jeżeli cewka jest w spoczynku i pole magnetyczne jest niezmiennie to w cewce nie indukuje się napięcie pomiarowe.

W 1939 r. Förster odkrył metodę pomiaru stałych pól magnetycznych, która stanowiła podstawę do opracowania czulej sondy pomiarowej nazywanej sondą Förstera. Umożliwia ona mierzenie stałych pól magnetycznych w przedziale $10^{-5} - 10^{-3}$ A/cm. Ponieważ pomiary stałych pól magnetycznych wykonuje się w polu magnetycznym Ziemi to do pomiarów wykorzystuje się dwa rodzaje sond Förstera - sonda do pomiarów bezwzględnych, którą mierzymy składową pola mierzonego prostopadłą do pola magnetycznego ziemskiego, a sondę pomiarową można po właściwym ukierunkowaniu w polu magnetycznym ziemskim przesuwając tylko równolegle lub w kierunku osi wzdłużnej sondy. Wad tych nie posiada sonda różnicowa Förstera, która skutecznie stłumia działanie pola magnetycznego ziemskiego i można ją ustawiać w dowolnym kierunku względem pola ziemskiego.

W 1879 r. Hall zauważył, że w płaskim przewodniku na jego płaszczyźnie wzdłuż której przepływa prąd o natężeniu I , a prostopadle do powierzchni działania pola magnetycznego o natężeniu H , powstaje napięcie, które nazywa się napięciem Halla U_H i określa się go wzorem:

$$U_H = R_H \frac{IH}{d} \quad /24/$$

gdzie: R_H - współczynnik Halla, charakteryzujący materiał;
 d - grubość płaskiego przewodnika.

Wymiary hallotrona /generatora Halla/ mogą być bardzo małe, stąd nadaje się on do pomiarów pola magnetycznego w miejscach trudno dostępnych i pomiarów punktowych. Jest on mniej

czuły niż sonda Förstera, ale można go używać do pomiarów bardzo dużych natężeń pola magnetycznego zarówno prądu stałego, jak i zmiennego.

2.2. Strukturoskopia

Takie cechy materiałów jak twardość, wytrzymałość, struktura, mają swój związek z własnościami magnetycznymi i elektrycznymi tego materiału. Wśród własności magnetycznych i elektrycznych najważniejsze są: przenikalność magnetyczna, pozostałość magnetyczna, natężenie koercyjne, magnetyzacja nasycenia, straty przy przemagnesowaniu i przewodność elektryczna. Wspomniane charakterystyczne własności magnetyczne i elektryczne zależą od: składu chemicznego, budowy sieci krystalicznej, dyslokacji i obcych wtrąceń. Ponieważ czynniki te zmieniają się dlatego nie można podać szczegółowych zależności między własnościami magnetycznymi i elektrycznymi a mechanicznymi. Dlatego stosując metody magnetyczne i przez odpowiednie badania wstępne ustala się własności materiału, które potem wykorzystuje się w kontroli.

2.3. Wykrywanie nieciągłości

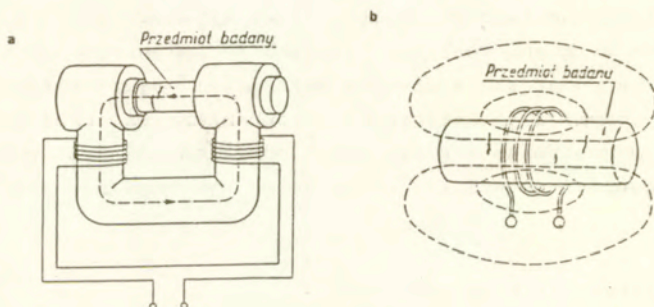
Wykrywanie nieciągłości za pomocą metod opartych na obserwacji i przebiegu linii sił pola magnetycznego, które powstają pod wpływem magnesowania w skutek lokalnych zmian przenikalności magnetycznej w miejscach nieciągłości. Stosowane metody różnią się między sobą głównie sposobem ujawniania magnetycznych pól rozproszenia.

2.3.1. Sposoby magnesowania

Pole magnetyczne, konieczne do wywołania pola rozproszenia na nieciągłościach materiału może być wytworzone różnymi sposobami. Szczególne znaczenie ma tu rodzaj i położenie miejsc wadliwych, ponieważ metoda jest w stanie ujawnić z optymalną czułością jedynie wady o określonym kierunku i wielkości. Do wytworzenia pola magnetycznego używa się elektromagnesu z trans-

formatora silnoprądowego lub magnesu stałego. Metody magnesowania można podzielić w zasadzie na dwie grupy: magnesowania wzdłużnego i poprzecznego, przy czym w grupach tych wyróżnia się metody magnesowania ciągłego i impulsowego.

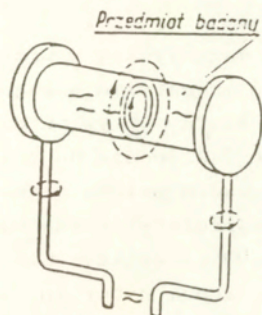
Magnesowanie wzdłużne stosuje się do długich przedmiotów i wykrywa w nim nieciągłości poprzeczne. Przy tym magnesowaniu linie sił pola magnetycznego przebiegają równoległe do głównej osi badanego przedmiotu. Rozpoczynają się i kończą na biegunach magnetycznych magnesu trwałego lub elektromagnesu. Magnesujemy też przez wprowadzenie badanego przedmiotu do zwojnicy, przez który przepuszczamy prąd elektryczny. Te sposoby magnesowania przedstawiono na rys. 12.



Rys. 12. Magnesowanie wzdłużne w celu ujawniania nieciągłości poprzecznych: a - między biegunami, b - w zwojnicy

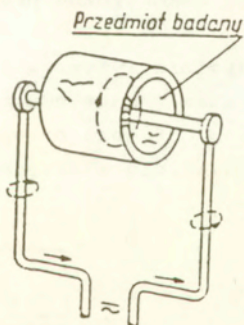
Do wykrywania wad wzdłużnych stosuje się magnesowanie poprzeczne /kołowe/. Przy tym magnesowaniu pole magnetyczne otacza badany przedmiot i ma kierunek prostopadły do jego osi wzdłużnej. Magnetyczne pole kołowe uzyskuje się za pomocą silnego prądu elektrycznego o dużym natężeniu prądu stałego lub zmiennego. Nazywa się je magnesowaniem przez przepuszczanie prądu elektrycznego bezpośrednio przez przedmiot /rys. 13/, lub przez przewód pomocniczy przechodzący przez przedmiot /rys. 14/.

Prąd elektryczny można przepuszczać przez przedmiot badany stosując przykładane elektrody, co daje nam możliwość dowolnego zmieniania kierunku pola magnetycznego i przydatne jest szczególnie przy badaniu spoin.



Rys. 13. Magnesowanie kołowe przez przepuszczanie prądu w celu ujawnienia wad wzdłużnych

W wielu przypadkach kontroli, kiedy nie można oczekiwać określonego kierunku nieciągłości stosuje się jednocześnie magnesowanie złożone z magnesowania wzdłużnego i poprzecznego, chociaż wykrywalność wad w tym przypadku jest nieco gorsza niż przy magnesowaniu pojedynczym.



Rys. 14. Magnesowanie kołowe z przewodem pomocniczym w celu ujawnienia wad wzdłużnych i promieniowych

Przy magnesowaniu impulsem prądowym przez badany przedmiot przepuszcza się prąd w postaci krótkotrwałego impulsu, który otrzymujemy z transformatora impulsowego lub baterii kondensatora. Metoda ta posiada pewne zalety, do których należy np. mała ilość ciepła, wytwarzająca się przy tym magnesowaniu w prze-

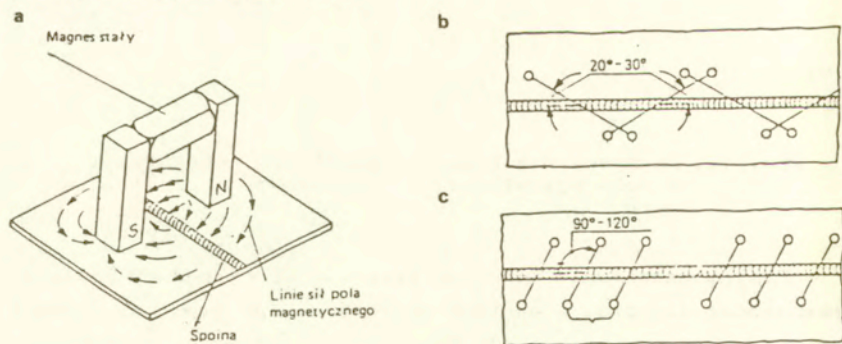
ciwieństwie do magnesowania ciągłego.

Przy badaniu metodą magnetyczną w przedmiocie kontrolowanym pozostaje pozostałość magnetyzmu szczątkowego. Pole szczątkowe może wywierać niekorzystny wpływ na dalsze operacje technologiczne lub wprowadzać zakłócenia do otaczającej przestrzeni. Dlatego po wykonaniu badań metodą magnetyczną stosuje się rozmagnesowanie, które najprościej można wykonać przez odpowiednie magnesowanie w kierunku przeciwnym niż ten, przy którym wykonywane było badanie. Jednak wybór sposobu rozmagnesowania zależy od tego jaką metodą przedmiot był namagnesowany. Dlatego dla konkretnych przypadków dobiera się sposób rozmagnesowania. Dla wykrycia ewentualnych szczątkowych pól magnetycznych po rozmagnesowaniu, stosuje się specjalne mierniki pola szczątkowego.

Zalecane sposoby magnesowania przy badaniu metodą magnetyczną proszkową podano w tabl. 1.

2.4. Kontrola spoin metodą magnetyczną proszkową

Pole magnetyczne w spoinie wytwarza się przez bezpośredni przepływ prądu lub strumienia magnetycznego. Sposób magnesowania spoiny za pomocą magnesu stałego przedstawiono na rys. 15a, a magnesowanie przez przykładanie elektrod defektoskopu magnetycznego na rys. 15 b i c.



Rys. 15. Magnesowanie spoin

Tablica 1.

Sposób	Metoda magnesowania	Prąd magnesujący	Pole magnetyczne	Wykrywane wady
Magnesowanie wzdłużne	w jarzmie	stały	wzdłużne	poprzeczne
	cewką	stały i zmienny	wzdłużne	poprzeczne
Magnesowanie kolowe	bezpośrednim przepływem prądu	stały i zmienny	poprzeczne	wzdłużne
	pomocniczym przepływem prądu	stały i zmienny	poprzeczne	wzdłużne
	indukcyjnym przepływem prądu	zmienny	poprzeczne	wzdłużne
Magnesowanie złożone	w jarzmie i bezpośrednim przepływem prądu	stały i zmienny	zmienne	poprzeczne i wzdłużne
Magnesowanie impulsami prądowymi	przepływem impulsowym	stały i zmienny	pole szczelkowe	poprzeczne i wzdłużne

Do wykrywania wad podłużnych przykładą się elektrody tak by tworzyły z osią spoiny kąt ok. 30° , a wady poprzeczne wykrywa się przy kącie ok. $90-120^{\circ}$. W celu zwiększenia kontrastu wskazań obszar kontrolowany przed magnesowaniem pokrywa się białym błonotwórczym podkładem, na który w aktywnym lub szczątkowym polu magnetycznym nanosi się zawiesinę proszku magnetycznego.

3. Dobór parametrów badania

Najczęściej stosowaną nieniszczącą metodą magnetyczną kontroli materiałów jest magnetyczna metoda proszkowa, która pozwala na wykrywanie w materiałach ferromagnetycznych z dużą pewnością niejednorodności takich jak: pęknięcia, wtrącenia, zakucia, zawalcowania i strefy hartownicze. Na badanie metodą magnetyczną proszkową składają się następujące czynności:

- wytworzenie dostatecznie silnego strumienia magnetycznego w przedmiocie badanym;
- pokrycie badanej powierzchni bardzo drobnym proszkiem magnetycznym;
- obserwacja skupień proszku na powierzchni badanej;
- ocena wielkości i rodzaju ujawnionej nieciągłości;
- decyzja o jakości badanego przedmiotu;
- obliczenie natężenia pola magnetycznego.

Przy badaniach metodą magnetyczną proszkową elementów prostych geometrycznie, można obliczyć natężenie H pola magnetycznego.

- przewodnik, przez który przepływa prąd o natężeniu I , wytwarza pole magnetyczne, którego natężenie H w odległości r od niego wyraża się wzorem

$$H = \frac{I}{2 \mathcal{N} r} \quad ;$$

- zwojnica zawierająca n zwojów na długości l , przez który płynie prąd o natężeniu I wytwarza w swojej osi pole magnetyczne H wyrażone wzorem:

$$H = \frac{I_n}{l} ;$$

Do określania wielkości wykrywanych metodą magnetyczną proszkową nieciągłości, a także głębokości wnikania pola magnetycznego, stosuje się wzorce z wadami sztucznymi, w których umieszcza się informacje co do kierunku wykrywanych nieciągłości. W zależności od potrzeb i postawionych wymagań wykrywalności, stosowane wzorce są zalecane przez odpowiednie normy i wymagania.

Stosowane proszki w metodzie magnetycznej proszkowej muszą spełniać określone wymagania. Dla metody suchej są one następujące:

- proszek powinien odznaczać się dużą przenikalnością magnetyczną, ponieważ siła z jaką cząstki proszku będą utrzymywane przez strumień rozproszenia zależą od przenikalności magnetycznej cząstek proszku;
- proszek powinien odznaczać się dużą tocznością, czyli łatwym przemieszczaniem się po powierzchni;
- proszek powinien być trwały chemicznie, by nie przyczyniać się do powstania ognisk korozji.

W metodzie mokrej występują dwa media - ciecz nośna i proszek. Użytej cieczy nośnej stawia się następujące wymagania:

- duża zdolność zwilżania powierzchni badanej;
- określona lekkość, by zawarty w niej proszek długo utrzymywał się w stanie zawieszenia i łatwo mógł dotrzeć do miejsc zakłóceń pola magnetycznego.

Jako proszku używa się tlenków żelaza czarnego lub czerwonego. Stosuje się też proszki barwne poprawiające zauważalność wykrytych wad wynikające z tego, że im większy kontrast między proszkiem a badanym przedmiotem tym większa jest czułość badania. Istotną poprawę czułości badania uzyskuje się stosując proszki fluoroscencyjne, które świecą przy oświetleniu promieniowaniem UV.

W metodzie magnetycznej proszkowej na czułość wskazań wpływają przede wszystkim: wielkość, kształt i głębokość zalegania nieciągłości, a także sposób nanoszenia proszku magnetycznego

oraz jakość powierzchni badanej. Czułość tą można określić siłą działającą w polu magnetycznym na cząsteczki proszku. Wskazania metody magnetyczno-proszkowej dostarczają informacji o rodzaju, wielkości, kształcie i położeniu miejsc z nieciągłościami. Najważniejsze znaczenie ma właściwa ocena wskazań. Uzyskane obrazy proszkowe można podzielić na następujące grupy:

- obrazy wad powierzchniowych,
- obrazy wad podpowierzchniowych,
- obrazy wad pozornych.

Ich właściwa ocena uwarunkowana jest tylko doświadczeniem wykonującego badania oraz możliwością porównania z utrwalonymi obrazami znanych typów nieciągłości. Utrwaleń wskazań metody magnetyczno-proszkowej można dokonać przez wykonanie np. zdjęcia fotograficznego lub utrwalenie obrazu przez wykonanie odbitki obszaru kontrolowanego metodą "bibuły". Utrwalony obraz może służyć jako dokument lub do celów szkoleniowych kontrolerów stosujących metodę magnetyczno-proszkową.

Literatura

1. ASHCROFT N.W., MERMIN N.D., Fizyka ciała stałego. PWN, Warszawa 1986.
2. PAWŁOWSKI Z., Badania nieniszczące. ODK SIMP, Warszawa 1984.
3. HEPTNER H., STROPPE H., Magnetyczne i indukcyjne badania metali. Wyd. "Śląsk", Katowice 1972.

3. Aparatura do kontroli magnetycznej opracowana w IPPT

3.1. Defektoskop strumieniowy

PRZEZNACZENIE

Defektoskop DMS-11 służy do kontroli nieniszczącej metodą magnetyczną proszkową. Metoda ta umożliwia ujawnianie wad powierzchniowych i znajdujących się płytko pod powierzchnią, takich jak pęknięcia, pęcherze, wtrącenia. Metodą magnetyczną można badać przedmioty z materiałów ferromagnetycznych, takich jak stal, staliwo, żeliwo. Technika kontroli polega na namagnesowaniu badanego przedmiotu - do czego służy defektoskop - i pokryciu badanej powierzchni proszkiem magnetycznym, to znaczy drobnymi ziarenkami żelaza lub magnetytu, albo płynną zawiesiną takiego proszku. W obecności pola magnetycznego cząstki proszku gromadzą się przy wadach tworząc ich obrazy na badanej powierzchni.

Defektoskop DMS-11 może być stosowany do kontroli przedmiotów o różnych kształtach. Można go używać do badania spoin, materiału rodzimego zbiorników, rurociągów, a także do kontroli małych przedmiotów - wałków, tulejek. Segmentowa budowa defektoskopu umożliwia używanie go do kontroli miejsc o bardzo złożonym ukształtowaniu badanej powierzchni, np. w narożach i na zakrzywieniach.

BUDOWA

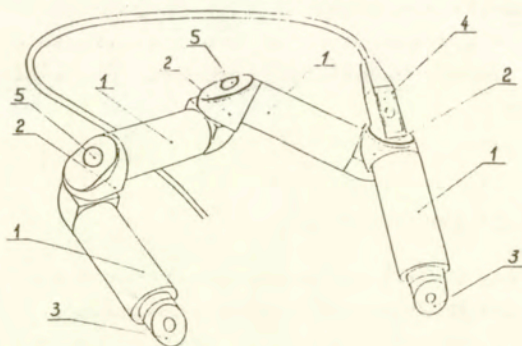
Ogólna koncepcja konstrukcyjna

Defektoskop DMS-11 ma oryginalną konstrukcję; różni się od podobnych urządzeń innych producentów modułową budową. Składa się bowiem z czterech modułów - elektromagnesów, które można łączyć przegubowo tworząc obwód o różnej długości i różnym całkowitym strumieniu magnetycznym. Można więc pracować defektoskopem o dwóch, trzech lub czterech modułach, o różnym kształcie i różnej odległości między nabiegunnikami, co pozwala dostosować się do skomplikowanych kształtów badanych powierzchni. Kontrolę przedmiotów o złożonych kształtach ułatwia także konstrukcja nabiegunników. Są one wymienne i mocowane do modułów

obrotowo. Oprócz nabiegunników o płaskich powierzchniach, które stanowią wyposażenie standardowe, można zamawiać nabiegunniki o innych kształtach, dostosowanych do kształtu badanych powierzchni, np. o przyłgni w kształcie powierzchni walcowej o odpowiednim promieniu. Defektoskop może być zasilany prądem stałym o napięciu 24 V, np. z akumulatorów samochodowych lub też prądem zmiennym ze specjalnego zasilacza, który podłącza się do sieci 220 V. Defektoskop zapewnia uzyskanie silnego pola magnetycznego. Badając przedmioty o przekroju mniejszym lub równym przekrojowi rdzenia uzyskuje się natężenie pola magnetycznego $H = 5 \text{ kA/m}$.

Opis defektoskopu DMS-11

Budowę defektoskopu DMS-11 przedstawia rys. 16. Widać na nim cztery moduły magnetyczne - elektromagnesy 1, połączone przegubami 2. Na końcach dwóch zewnętrznych modułów znajdują się nabiegunniki 3. Do jednego z przegubów przymocowany jest zespół włącznik-przełącznik 4, przez który prąd elektryczny płynie do wszystkich modułów. Przesuwając dźwignię wyłącznika ot-



Rys. 16. Ogólny schemat defektoskopu: 1 - elektromagnesy, 2 - przeguby, 3 - nabiegunniki, 4 - włącznik, 5 - zaśleпка

wiera się lub zamyka dopływ prądu. Naciśnięcie przycisku zmienia kierunek przepływu prądu, co służy do rozmagnesowywania zbadanego przedmiotu. Zaślepki 5 umożliwiają dostęp do zatrza-

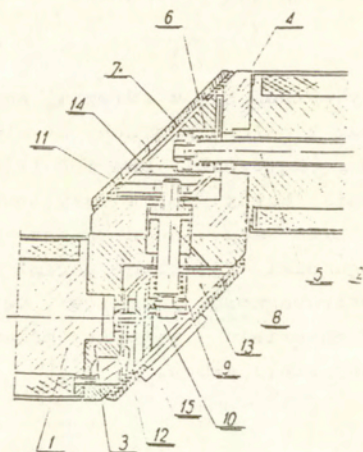
sków, celem demontażu i montażu przegubów.

Moduły

Moduł magnetyczny składa się z rdzenia, na którym nawinięte jest uzwojenie, oraz z osłony z blachy ze stopu aluminium. Z rdzeniami połączone są kątowniki. Dwa moduły wewnętrzne wyposażone są w dwa kątowniki każdy, zaś moduły zewnętrzne połączone są z jednym kątownikiem każdy, do drugiego końca każdego z nich mocuje się nabiegunniki. Połączone parami kątowniki tworzą przeguby. Rdzenie elektromagnesów /modułów/, kątowniki i nabiegunniki wykonane są z materiału o wysokiej przenikalności magnetycznej, z tak zwanej stali Armco.

Przeguby

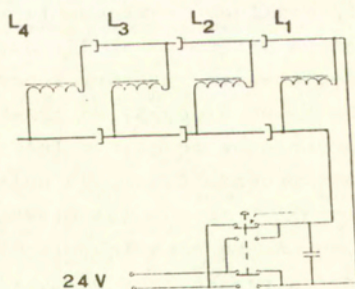
Budowę przegubu przedstawia rys. 17. Konstrukcja tego zespołu ma zapewnić: /a/ połączenie mechaniczne modułów magnetycznych, /b/ bezstratne połączenie rdzeni magnetycznych przy pomocy kątowników 3 i 4, /c/ połączenie elektryczne między modułami, /d/ obroty każdego z dwóch wewnętrznych modułów wokół własnej osi, czemu służą śruba 5, sprężyna 6 i zatrzask 7, /e/ obrót modułów względem siebie, do czego służy śruba 8, sprężyna 9 i zatrzask 10, /f/ możliwość rozłączania modułów, co umożliwiają śruba 8, sprężyna 9 i zatrzask 10. Zatrzaski mają kształt krążka z owalnym otworem, w który wchodzi specjalnie sfrezowany koniec śruby 8 lub śruby 5. Po przekręceniu zatrzasku o 90° powstaje połączenie ze śrubą, co łączy ze sobą oba moduły. Odpowiedni kształt prowadnic 13 i 14 uniemożliwia wypadnięcie zatrzasku. Śruby 5 i 8 są również elementami obwodu elektrycznego, połączone są one ze sobą łącznikami 11 i 12. Zaślepka 15 zakrywa dostęp do zatrzasku. Aby połączyć lub rozłączyć moduły należy zdjąć zaślepkę, a następnie specjalnym kluczem przekręcić zatrzask.



Rys. 17. Konstrukcja przegubu

Układ elektryczny

Schemat elektryczny defektoskopu z połączonymi wszystkimi czterema modułami L_1 , L_2 , L_3 , L_4 przedstawiony został na rys.18.



Rys. 18. Schemat elektryczny defektoskopu

Moduły są łączone mechanicznie szeregowo; jednakże pod względem elektrycznym jest to połączenie równoległe. Tak więc, łączny strumień indukcji magnetycznej jest sumą strumieni poszczególnych

nych modułów. Prąd doprowadzony jest do pierwszego modułu, wyposażonego we włącznik-przełącznik. Do dalszych modułów prąd doprowadzony jest przez przeguby. Poszczególne rdzenie kontaktują się ze sobą za pośrednictwem kątowników, drugim biegunem są śruby 5 i 8 /rys. 17/. Dobry kontakt poszczególnych elementów zapewniają sprężyny dociskowe 6 i 9 /rys. 17/. Przełącznik służący do zmiany kierunku prądu magnesującego utworzony jest z dwóch zablokowanych mikrowyłączników. Naciśnięcie przycisku powoduje zmianę kierunku prądu, zwolnienie przycisku - powrót do pierwotnego kierunku. Kondensator C gasi iskrzenie styków.

Zasilacz

Zasilacz wykonywany jest w dwóch wersjach: /a/ na prąd zmienny o napięciu 24 V oraz /b/ na prąd zmienny lub stały o takim samym napięciu. Na płycie czołowej znajdują się: włącznik i gniazdo wtyku defektoskopu, a w wersji b dodatkowo przełącznik prąd stały-zmienny.

OBSŁUGA

Przygotowanie do badań

Badania należy wykonywać zgodnie z uprzednio opracowaną instrukcją kontroli, która powinna określać rodzaj zawiesiny magnetycznej, miejsca przyłożenia i rozstaw nabiegunków, czas magnesowania itd. W przypadku braku instrukcji należy kierować się wymaganiami norm i praktyką.

Strumień magnetyczny zamyka się między nabiegunkami defektoskopu. Największą wykrywalność wad płaskich, takich jak np. pęknięcia, uzyskuje się gdy linie pola magnetycznego są prostopadłe do płaszczyzny wady. Zatem przy badaniu płaskiej powierzchni najlepiej wykrywalne są wady leżące na linii łączącej nabiegunki defektoskopu i prostopadłe do niej. Podczas badania przedmiotów o przekroju podobnym do przekroju rdzenia defektoskopu /ok. 5 cm²/ natężenie pola magnetycznego osiąga maksymalną wartość ok. 5 kA/m i nie zależy w praktyce od rozstawu nabiegunków. W przypadku badania przedmiotów o więk-

szych przekrojach wartość natężenia pola magnetycznego zależy od rozstawu nabiegowników. Rozstaw, a także ilość modułów, należy wówczas tak dobrać, by wartość natężenia pola magnetycznego nie była mniejsza od 1 kA/m, bowiem poniżej tej wartości wykrywalność wad zmniejsza się. Do określenia wartości natężenia pola magnetycznego należy stosować mierniki pola magnetycznego lub odpowiednie wzorce. np. wzorzec Bertholda.

Przed przystąpieniem do badań należy wykonać następujące czynności:

- oczyścić powierzchnię przeznaczoną do kontroli;
- określić miejsca przyłożenia nabiegowników;
- połączyć odpowiednią ilość modułów, stosownie do instrukcji kontroli.

Prawidłowe magnesowanie i rozmagnesowanie badanego elementu wymaga przyłożenia nabiegowników defektoskopu w odpowiednich punktach. Wiąże się to z potrzebą uformowania kształtu defektoskopu. Zwykle wystarcza defektoskop trzy a nawet dwuczłonowy. Jest on wówczas odpowiednio lżejszy, łatwiejszy w manipulowaniu i pobiera mniej energii. Z tego względu celowe jest wymontowanie jednego lub dwóch członów, jeśli do przeprowadzenia badania jest to możliwe. Prawidłowość wyboru ilości modułów oraz prawidłowość ich połączenia zaleca się sprawdzić przy pomocy wzorca Bertholda lub innego przyrządu.

MONTAŻ I DEMONTAŻ MODUŁÓW

Rozłączanie modułów

Rozłączanie modułów wykonuje się przez następujące czynności:

- zdjęć zaślepkę kątownika /4 rys. 16, 15 rys. 17/, jest ona koloru złotego; zaślepkę zdejmuje się podważając ją wkrętakiem lub tp.;
- w otwór kątownika włożyć klucz, nacisnąć pokonując opór sprężyny i przekręcić o 90° w prawo;
- rozsunąć kątowniki;
- wcisnąć zaślepkę w swoje gniazdo.

Łączenie modułów

Łączenie modułów wykonuje się przez następujące czynności:

- zdjąć zaślepkę;
- połączyć kątowniki wsuwając śrubę /8 rys. 17/ pierwszego kątownika w otwór drugiego;
- włożyć klucz do otworu kątownika, nacisnąć pokonując opór sprężyny i przekręcić o 90° w prawo. Jeśli bez wywierania nacisku na klucz nie można obrócić zatrzasku oznacza to, że przegub został połączony prawidłowo;
- wcisnąć zaślepkę w swoje gniazdo.

Magnesowanie

Do wyznaczonych miejsc badanego przedmiotu należy przyłożyć nabiegunniki tak, by przylegały one jak największą powierzchnią swych przylgni do badanej powierzchni, a następnie włączyć prąd przesuwając hebeleki włącznika tak, by ukazał się wskaźnik pokryty farbą w kolorze czerwonym. Luźno obracające się nabiegunniki oraz przeguby defektoskopu usztywniają się w momencie włączenia prądu, a obszar badanego przedmiotu zawarty między nabiegunnikami zostaje namagnesowany. Na tę powierzchnię należy nanosić proszek lub zawiesinę magnetyczną, zgodnie z instrukcją kontroli. Podczas kontroli przeprowadzanej w najczęściej stosowany sposób, to jest z przerwami, wzrost temperatury modułów defektoskopu jest nieznaczny. Dłuższe, trwające 5 - 10 min okresy włączenia prądu magnesującego powodują nagrzewanie się defektoskopu do ok. 60°C . Nie grozi to uszkodzeniem uzwojenia, gdyż maksymalna dopuszczalna temperatura defektoskopu wynosi 80°C . W przypadku zasilania defektoskopu prądem o napięciu niższym od znamionowego należy liczyć się ze spadkiem wykrywalności, spowodowanym zmniejszonym strumieniem magnetycznym.

Rozmagnesowanie

Po wykonaniu kontroli należy, zgodnie z instrukcją kontroli, należy rozmagnesować badane miejsce.

W przypadku, gdy magnesowanie przeprowadzono prądem sta-

ym, należy wykonać następujące czynności:

- Wyłączyć prąd magnesowania przesuwając hebeleki włącznika tak, by ukazał się wskaźnik pokryty farbą w kolorze czarnym. Utrzymując nabiegunniki defektoskopu w tym samym położeniu co podczas magnesowania należy powoli odsuwać je od badanej powierzchni, równocześnie zmieniając cyklicznie /np. co 0,5 - 1 s/ kierunek prądu magnesowania przez naciskanie i zwalnianie przycisku włącznika. Rozmagnesowanie należy zakończyć, gdy nabiegunniki zostaną odsunięte na odległość 100 - 150 mm od badanej powierzchni. Operacja rozmagnesowania wymaga od operatora pewnej wprawy, nawyku wyuczonego podczas treningu.
- W przypadku, gdy magnesowanie przeprowadzono prądem zmiennym, należy w podobny sposób odsuwać powoli nabiegunniki od badanej powierzchni; nie zachodzi jednak wówczas potrzeba naciskania przycisku włącznika by zmieniać kierunek prądu magnesowania. Tam gdzie jest to możliwe, np. w przypadku badania przedmiotów o małych wymiarach, należy stosować specjalne urządzenia rozmagnesowujące, typu tuneli czy stołów rozmagnesowujących.

KONSERWACJA DEFEKTOSKOPU

Konserwacja defektoskopu ogranicza się do utrzymania go w czystości. Dotyczy to zwłaszcza przegubów. Opiłki stalowe lub ziarenka proszku magnetycznego mogą, oprócz zwiększonego zużycia, powodować zwarcia obwodu elektrycznego. Natomiast substancje nieprzewodzące, np. olej, wewnątrz przegubów mogą powodować pogorszenie kontaktu elektrycznego i w efekcie zmniejszenie pola magnetycznego. Dlatego zaleca się przed każdym montażem przegubów staranne ich oczyszczenie i przemycie spirytusem lub benzyną ekstrakcyjną. Należy bezwzględnie chronić defektoskop przed działaniem substancji żrących /kwasy itp./. Przed umieszczeniem w futerale należy przyrząd starannie osuszyć. W przypadku uszkodzenia kabla należy go bezwzględnie wymienić.

DANE TECHNICZNE DEFEKTOSKOPU DMS-11

- Siła magnetomotoryczna	$4 \times 2 \times 10^3$ Az
- Strumień magnetyczny	4×10^{-4} Wb
- Przekrój rdzenia	$4,8 \times 10^{-4}$ m
- Maksymalna ilość modułów magnetycznych	4
- Minimalna ilość modułów magnetycznych	2
- Największa odległość między nabiegunnikami	300 mm
- Zasilanie - prąd stały/zmienny	24 V
- Maksymalny pobór mocy	4×25 W
- Minimalny pobór mocy	2×25 W
- Masa	ok. 4 kg
- Wymiary /gabaryty futerału transportowego/	100x160x280 mm
<u>Wyposażenie standardowe:</u>	
- klucz do przegubów	
- łącznik z zaciskami krokodyłowymi	
- futerał skórzany.	
<u>Wyposażenie dodatkowe:</u>	
- zasilacz 24 V w dwóch wersjach	
- nabiegunniki z przyłgniami o różnych kształtach.	

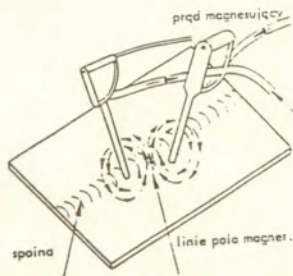
3.2. Defektoskop prądowy

PRZEZNACZENIE

Defektoskop magnetyczny DM-1000 jest przeznaczony do wykrywania powierzchniowych i podpowierzchniowych nieciągłości w przedmiotach z materiałów ferromagnetycznych, takich jak stal, zeliwo, staliwo, metodą magnetyczną proszkową. Metoda ta polega na wytwarzaniu pola magnetycznego w badanym elemencie, przy równoczesnym pokrywaniu jego powierzchni zawiesiną proszku magnetycznego. Proszek gromadzi się głównie w miejscach największych zmian pola magnetycznego. Zmiany pola istnieją przy nie-

ciągłościach materiału, zwłaszcza takich jak pęknięcia.

Defektoskop DM-1000 jest przystosowany do techniki tak zwanej prądowej, polegającej na przepuszczeniu prądu bezpośrednio przez badany materiał, przez przyłożenie do jego powierzchni dwóch elektrod będących końcówkami przewodu prądowego, tak jak to pokazano na rys. 19. Można też wykorzystać defektoskop DM-1000 do innego sposobu magnesowania: owijając badany przedmiot przewodem prądowym tak, by tworzył on cewkę. Defektoskop



Rys. 19. Magnesowanie przez bezpośredni przepływ prądu

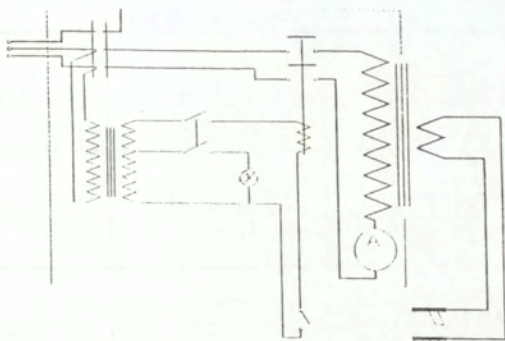
wytwarza duży prąd przy niewielkiej masie samego przyrządu. Nadaje się więc do badania zarówno dużych, jak i małych obiektów, w warunkach laboratoryjnych i terenowych. Można przy jego pomocy wykrywać pęknięcia, pęcherze i wtrącenia, zarówno wady tak zwane otwarte jak i znajdujące się płytko pod powierzchnią.

OPIS TECHNICZNY

Transformator

Podstawową częścią defektoskopu jest transformator dwurdzeniowy, odpowiednio obudowany. W obudowie znajdują się ponadto elementy jego zasilania i sterowania. Uzwojenie wtórne transformatora tworzy się przewlekając kabel prądowy przez okna rdzenia wystające nad obudową. Umożliwia to stosowanie kabli prądowych o różnych przekrojach i długości. Nie zaleca się używania kabli o przekroju mniejszym niż 80 mm^2 , ze względu na

szybkie nagrzewanie się. Natomiast kabel o dużym przekroju - 120 mm^2 może mieć większą długość, do ok. 10 m bez nadmiernych strat /rys. 20/.



Rys. 20. Schemat elektryczny defektoskopu DM-1000

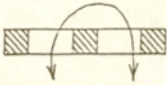
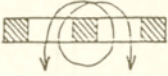

Regulacja i pomiar prądu magnesującego

Prąd indukowany w kablu prądowym zależy od ilości zwojów, utworzonych przez jego przewleczenie przez okna transformatora. Zależność między ilością zwojów a wielkością prądu jest następująca:

do 500 A	-	1 - 2 zwoje
500 A - 1000 A	-	3 zwoje
powyżej 1000 A	-	4 zwoje

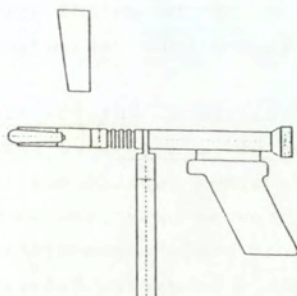
Pomiar prądu magnesującego dokonywany jest po pierwotnej stronie transformatora. Amperomierz wyskalowany jest dla 3 zwojów uzwojenia wtórnego. Stosując inne ilości zwojów należy więc wskazania amperomierza skorygować mnożąc je przez wartość mnożnika, podanego w tabl. 2.

Tablica 2. Mnożniki wskazań amperomierza

Schemat nawinięcia	Ilość zwojów uzwojenia wtórnego	Mnożnik
	1	3,00
	2	1,50
	3	1,00
	4	0,75

Uchwyty, elektrody

Kabel prądowy łączy się z uchwytami, z których każdy zakończony jest elektrodą. Jeden z uchwytów wyposażony jest w przycisk włącznika zasilania. Budowa uchwytu umożliwia wygodne dociśnięcie elektrody do powierzchni badanego materiału. Rys. 21 pokazuje konstrukcję uchwytu. Składa się on z rękojeści oraz przedłużacza. Przedłużacz łączy się z rękojeścią nakrętką. Dokręcając nakrętkę dociska się końcówkę kabla prądowego do przedłużacza. Elektroda wciśnięta jest do stożkowego gniazda przedłużacza. Do wybicia elektrody z przedłużacza służy klin. W skład wyposażenia podstawowego defektoskopu wchodzi elektrody z miedzi, stali i ołowiu. Można zamówić końcówki z innych materiałów oraz przedłużacze o innej długości.



Rys. 21. Schemat uchwytu do defektoskopu DM-1000

Obciążalność termiczna

Defektoskop DM-1000 jest przewidziany do pracy przerywanej. Względny czas pracy tp/t oraz maksymalny czas pracy /zimnego przyrządu/ tpm , w zależności od prądu magnesującego, podany jest w tabl. 3.

Tablica 3. Obciążalność defektoskopu

Prąd	350 A	500 A	750 A	1000 A	1250 A
tp/t	100 %	80 %	35 %	20 %	15 %
tpm	-	7 min	4 min	2 min	1.5 min

SPOSÓB WYKONYWANIA BADAŃ

- Umieścić przyrząd w odpowiednim miejscu; można go ustawić w położeniu ukośnym wysuwając w dół rączkę transportową i blokując przesunięciem jej dolnej części ku przodowi.
- Uformować uzwojenie wtórne transformatora przewlekając kabel przez okna rdzenia w ten sposób, by zwoje otaczały tylko środkową część rdzenia, tak jak to pokazano w tabl.2. Ilość

- zwojów uzależniona jest od potrzebnego natężenia prądu.
- c. Połączyć uchwyty z końcówkami kabla prądowego; nakrętki powinny być mocno dokręcone. Do gniazd przedłużaczy należy wsunąć końcówki. Połączyć kabel sterujący z gniazdem w korpusie defektoskopu.
 - d. Włączyć defektoskop do sieci. Gniazdo sieciowe powinno być wyposażone w sworzeń uziemiający. Po przestawieniu dźwigni włącznika ku górze powinna zapalić się lampka kontrolna, która sygnalizuje gotowość przyrządu do pracy.
 - e. Włączanie i wyłączanie prądu magnesującego następuje przez naciśnięcie przycisku w uchwycie. Należy pamiętać, że prąd magnesujący powinien być włączany po ustawieniu końcówek przedłużaczy w odpowiednich miejscach badanego przedmiotu i bardzo silnym ich dociśnięciu. Niedostateczny kontakt elektrod z przedmiotem kontroli jest przyczyną powstawania łuku elektrycznego, który może uszkodzić badaną powierzchnię.

EKSPLLOATACJA

Przyrząd należy utrzymywać w czystości, chronić go przed wilgocią, żrącymi substancjami i silnymi wstrząsami. Nie wolno ciągnąć przewodu zasilającego, gdyż może to doprowadzić do zwarcia elektrycznego wewnątrz przyrządu. Nie należy dopuszczać do zwilżania kabli elektrycznych olejem.

DANE TECHNICZNE DEFECTOSKOPU DM-1000

- Natężenie prądu magnesującego: od kilkudziesięciu do ok. 1250 A, regulowane skokowo. Wartość znamionowa 1000 A.
- Zasilanie: 220 V, 50 Hz.
- Pobór mocy: 2,65 kW przy obciążeniu znamionowym, do ok. 3,5 kW przy dużej oporności elektrycznej badanego przedmiotu.
- Sterowanie /włączanie i wyłączanie prądu magnesującego/: przyciskiem w rękojeści uchwytu. Możliwe jest również stosowanie innego wyłącznika zawierającego kontakty gniazda "sterowanie".
- Napięcie sterowania: 24 V.

- Uziemienie: gniazdo uziemiające we wtyczce sieciowej.
- Ciężar aparatu /bez kabla/: 13 kg.
- Ciężar wyposażenia: ok. 8 kg.

WYPOSAZENIE

- | | |
|---|-------|
| - Kabel prądowy 120 mm ² , o długości 4,5 m,
z końcówkami | 1 szt |
| - Kabel sieciowy | 1 szt |
| - Uchwyt zwykły | 1 szt |
| - Uchwyt z wyłącznikiem i kablem sterującym | 1 szt |
| - Przedłużacz z nakrętką mocującą | 2 szt |
| - Elektroda miedziana | 2 szt |
| - Elektroda stalowa | 2 szt |
| - Elektroda ołowiana | 2 szt |
| - Torba na osprzęt | 1 szt |
| - DTR | 1 szt |

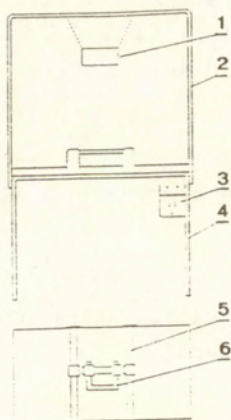
3.3. Stanowisko do kontroli magnetycznej elementów o złożonych kształtach

PRZEZNACZENIE

Stanowisko jest przeznaczone do kontroli magnetycznej przedmiotów o niewielkich wymiarach. Jako środek magnesujący służy defektoskop DMS-11 zamocowany w specjalnym uchwycie i wyposażony w dwa wyłączniki nożne, co umożliwia łatwe operowanie badanymi przedmiotami oraz ich rozmagnesowywanie. Defektoskop może być łatwo wyjęty z uchwytu i używany do badań innego rodzaju. Stanowisko jest wyposażone w źródło promieniowania ultrafioletowego o dużej wydajności i niskim udziale promieniowania widzialnego oraz w osłonę przed światłem z postronnych źródeł.

BUDOWA STANOWISKA

Stanowisko przedstawione na rys. 22 składa się z następujących zespołów:



Rys. 22. Widok ogólny stanowiska do kontroli elementów o złożonych kształtach:
1 - lampa UV, 2 - rama osłony przed światłem, 3 - zasilacz, 4 - stół laboratoryjny, 5 - uchwyt defektoskopu, 6 - defektoskop DMS-11

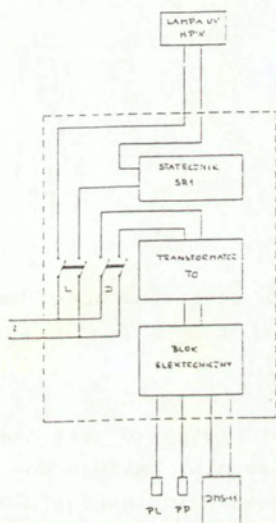
- stół laboratoryjny,
- szafka laboratoryjna,
- rama osłony przed światłem,
- defektoskop DMS-11,
- uchwyt defektoskopu,
- zasilacz,
- lampa UV,
- wyposażenie /wzorzec Bertholda, wkrętak, kuweta, zawiesziny magnetyczne/.

Uchwyt do defektoskopu DMS-11

Uchwyt składa się z trzech przewodnic, dwóch zacisków stałych oraz dwóch ruchomych zacisków defektoskopu /przesuwno-obrotowych/. Konstrukcja uchwytu umożliwia zamocowanie nabiegunników defektoskopu w różnych położeniach, celem magnesowania przedmiotów o różnych wymiarach i kształtach.

Zasilacz

Zasilacz służy do zasilania defektoskopu oraz lampy UV. Ogólny schemat zasilacza jest przedstawiony na rys. 23.



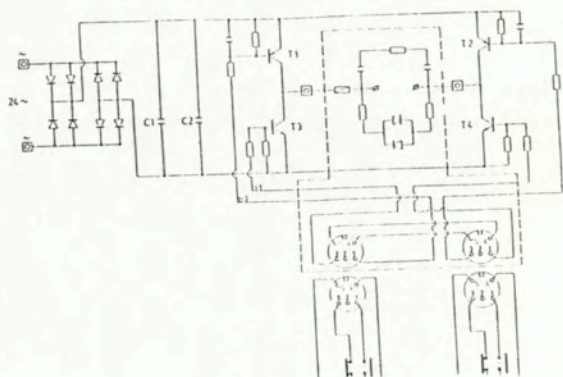
Rys. 23. Schemat elektryczny zasilacza do defektoskopu DMS-11

Defektoskop DMS-11 jest zasilany napięciem 24 V. Do obniżenia napięcia sieciowego do tej wielkości zastosowano transformator ochronny 160 VA. Podaje on napięcie do bloku elektronicznego, który umożliwia zmianę kierunku prądu magnesującego dwoma przyciskami nożnymi PP i PL. Schemat bloku elektronicznego jest przedstawiony na rys. 24.

Zasilanie lampy UV

Lampa UV jest zasilana przez statecznik 125 W, tak jak to pokazano na rys. 23.

Płyta czołowa zasilacza jest pokazana na rys. 25.



Rys. 24. Schemat bloku elektronicznego zasilacza

Lampa UV

Źródłem światła ultrafioletowego jest lampa PHILIPS HPW 125 W, zasilana przez statecznik. Emituje ona promieniowanie o długości fali 365 nm i zapewnia luminancję 2000 W/cm² w odległości 400 mm.

Defektoskop DMS-11 jest opisany w części niniejszego opracowania - p. 3.1.

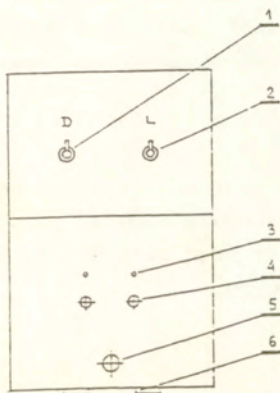
ZASADY OBSŁUGI STANOWISKA

Instalacja elektryczna stanowiska jest zerowana kablem zasilającym. Jednak dla bezpieczeństwa pracy tym urządzeniem należy dodatkowo uziemić części metalowe stanowiska przewodem o odpowiednim przekroju.

Przygotowanie do pracy

Defektoskop mocuje się w zaciskach czterema wkrętami. Po zostały wkręty uchwytu służą do unieruchamiania zacisków w odpowiednim położeniu. Dwie końcówki przewodu zasilającego defektoskopu mocuje się w zaciskach zasilacza /4, rys. 25/. Do gniazd

w dolnej części zasilacza /6, rys. 25/ należy wkręcić wtyki przycisków nożnych.



Rys. 25. Płyta czołowa zasilacza do defektoskopu DMS-11: 1 - włącznik defektoskopu, 2 - włącznik lampy UV, 3 - dwie diody świecące, sygnalizujące przepływ prądu magnesującego w którymś z kierunków, 4 - zaciski defektoskopu, 5 - bezpiecznik 6,3 A, 6 - wyjście do wyłącznika nożnego

Defektoskop włącza się włącznikiem oznaczonym literą "D" na płycie czołowej zasilacza - dźwignia skierowana ku górze. Lampę UV włącza się włącznikiem oznaczonym literą "L", również ku górze. Należy zwrócić uwagę, że aby włączyć defektoskop włącznik suwakowy defektoskopu powinien być przesunięty do pozycji "włączone". Włączenie defektoskopu do prądu nie powoduje bezpośrednio przepływu prądu magnesującego, lecz umożliwia wywołanie przepływu tego prądu naciskając któryś z przycisków nożnych. Naciśnięcie drugiego przycisku powoduje przepływ prądu magnesującego w przeciwnym kierunku, zaś naciśnięcie obu przycisków zatrzymuje przepływ prądu. Po włączeniu lampy UV osiąga ona pełną wydajność po pewnym, krótkim czasie. Po wyłączeniu lampy nie daje się ona bezpośrednio potem zapalić. Należy poczekać kilka minut.

Wykonanie kontroli magnetycznej

Należy przyłożyć badany przedmiot do odpowiednio ustawionych nabiegunników i nacisnąć któryś z przycisków nożnych, a następnie zwilżyć badaną powierzchnię zawieszoną magnetyczną.

Rozmagnesowanie

Należy zwolnić przycisk nożny, odsunąć badany przedmiot na pewną odległość, a następnie oddalać go powoli od nabiegunników defektoskopu zmieniając prąd magnesujący przez przemienne naciśnięcie przycisków nożnych.

Zakończenie pracy

Należy wyłączyć defektoskop oraz lampę UV przesuwając dźwignię włączników "D" i "L" ku dołowi a następnie wyjąć wtyk sieciowy z gniazda.

4. ZESTAWIENIE WIELKOŚCI I JEDNOSTEK MAGNETYCZNYCH

Wielkości magnetyczne i ich jednostki w układzie SI
oraz ich przeliczenia na jednostki układu CGS EM

Pole magnetyczne

Jednostką pola magnetycznego lub natężenia pola magnetycznego jest 1 A/m.

Natężenie pola równe 1 A/m panuje w cewce wówczas, gdy liczba zwojów na długości 1 m równa się 1 i przez cewkę przepływa prąd o natężeniu 1 A.

$$H = 1 \text{ A/m} \quad /SI/$$

lub 1 ersted /Oe/

$$1 \text{ Oe} = \frac{10^3}{4\pi} \frac{\text{A}}{\text{m}} = 79,58 \frac{\text{A}}{\text{m}} \quad \text{/CGS EM/}$$

Strumień magnetyczny

Jednostką strumienia magnetycznego jest weber /Wb/. Jest to taki strumień indukcji \underline{D} , którego równomierna zmiana w ciągu 1 sekundy indukuje w otaczającym go zwoju napięcie 1 V.

$$1 \text{ Wb} = 1 \text{ V } 1 \text{ s} \quad \text{/SI/}$$

lub 1 makswel /Mx/

$$1 \text{ Mx} = 10^{-8} \text{ Wb} \quad \text{/CGS EM/}$$

Indukcja magnetyczna

Jednostką indukcji magnetycznej jest tesla /T/. Jest to taka indukcja magnetyczna jednorodnego strumienia magnetycznego o wielkości 1 Wb, przechodzącego prostopadle przez powierzchnię 1 m^2 .

$$1 \text{ T} = \frac{1 \text{ Wb}}{1 \text{ m}^2} \quad \text{/SI/}$$

lub 1 gaus /G/

$$1 \text{ G} = \frac{1 \text{ Mx}}{1 \text{ cm}^2} = 10^{-4} \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2} \quad \text{/CGS EM/}$$

Indukcyjność

Jednostką indukcyjności jest 1 henr /H/

$$1 \text{ H} = \frac{1 \text{ V } 1 \text{ s}}{1 \text{ A}} \quad /SI/$$

Cewka ma indukcyjność 1 H, jeśli przy zmianie natężenia prądu o 1 A na 1 sekundę indukuje się napięcie 1 V.

lub 1 cm

$$1 \text{ cm} = \frac{10^{-8} \text{ V s}}{10 \text{ A}} = 10^{-9} \frac{\text{Wb}}{\text{A}} \quad /CGS EM/.$$

5. Wzorzec Bertholda

1. Zastosowanie

Wzorzec Bertholda jest prostym przyrządem kontrolnym do określania czułości wykrywania wad w metodzie magnetycznej proszkowej. Ponadto może służyć do określania kierunku linii sił pola magnetycznego.

2. Dane techniczne

Średnica kapturka	22 mm
Szerokość uchwytu	30 mm
Wysokość płytki z kapturkiem	5 mm
Długość wzorca z uchwytem	96 mm
Masa	24 g

3. Opis budowy

Wzorzec składa się z uchwytu, w którym umieszczona jest okrągła płytka z miękkiego żelaza składająca się z 4-ch segmentów. Segmenty są oddzielone od siebie szczelinami wzajemnie prostopadłymi do siebie i wypełnionymi materiałem niemagnesującym się. Na płytkę z miękkiego żelaza wkręcony jest mosiężny kapturek z cienkim denkiem. Przez odkręcanie lub wkręcanie

kapturka można jego denko oddalać lub przybliżać do powierzchni płytki ze szczelinami.

4. Zasada działania

Linie sił pola magnetycznego natrafiając na szczelinę w płycie z miękkiego żelaza załamują się, a część z nich wydostaje się ponad płytkę tworząc bieguny magnetyczne na powierzchni kapturka. W zależności od natężenia pola magnetycznego, jakości użytego proszku oraz odległości denka kapturka od powierzchni płytki intensywność gromadzenia się proszku magnetycznego nad szczeliną jest większa lub mniejsza.

5. Eksploatacja

Wzorzec należy położyć na badanym przedmiocie mosiężnym kapturkiem do góry. Kapturek powinien być wkręcony do oporu, tak aby znaki na uchwycie i kapturku znalazły się naprzeciw siebie. Następnie należy namagnesować przedmiot badany defektoskopem i pokryć kapturek proszkiem magnetycznym lub zawiesiną proszku magnetycznego. W zależności od kierunku linii sił pola magnetycznego zostanie uwidoczniiona znajdująca się pod kapturkiem jedna lub druga szczelina dzięki gromadzeniu się proszku nad nią. Odkręcając kapturek powoduje się oddalenie denka od głównej powierzchni płytki ze szczelinami. Im bardziej można oddalić denko od płytki nie powodując zaniku linii proszku nad szczeliną, tym lepsza jest czułość wykrywania wad jako następstwo silniejszego namagnesowania przedmiotu lub lepszej jakości proszku. Skala umieszczona na obwodzie kapturka ułatwia określenie kąta odkręcenia kapturka.

W celu określenia kierunku linii sił pola magnetycznego należy powoli obracać wzorzec wokół jego osi do momentu pojawienia się wyraźnego maximum intensywności gromadzenia się proszku. Kierunek prostopadły do linii gromadzenia się proszku jest kierunkiem linii sił pola magnetycznego.

6. Konserwacja i naprawy

Wzorzec należy przechowywać w stanie czystym, wkręcić kaptu-

rek do oporu, chronić przed wilgocią i zrącymi substancjami. W przypadku wypadania uchwytu z wygiętej, w kształcie litery U, sprężyny należy ją odpowiednio przygiąć. W celu dokonania wymiany uszkodzonych części należy wzorzec odesłać do zakładu produkcyjnego.

SPIS TREŚCI

Wstęp	3
1. Podstawy teoretyczne defektoskopii magnetycznej	4
2. Techniki kontroli	19
3. Aparatura do kontroli magnetycznej opracowana w IPPT	31
3.1. Defektoskop strumieniowy	31
3.2. Defektoskop prądowy	39
3.3. Stanowisko do kontroli magnetycznej elementów o złożonych kształtach	45
4. Zestawienie wielkości i jednostek magnetycznych	50
5. Wzorzec Bertholda	52