

Marek Błaszczak¹

ANALIZA WPŁYWU ZEWNĘTRZNEGO POLA MAGNETYCZNEGO NA ZMIANĘ WŁAŚCIWOŚCI MAGNETYCZNYCH STOPU Co-Cr-Ni

Streszczenie

W części analitycznej artykułu przedstawiono podstawy teoretyczne wyjaśniające wpływ budowy wewnętrznej biomateriałów na bazie kobaltu na zmianę własności magnetycznych. Szczególny nacisk położono na analizę struktury domenowej jako cechy mającej istotny wpływ na zachowanie się biomateriałów w silnym zewnętrznym polu magnetycznym. W części badawczej przedstawiono wyniki pomiarów koercji z których wynika że materiał ten znajduje się na pograniczu diamagnetyzmu i paramagnetyzmu.

Słowa kluczowe: biomateriały, stopy kobaltu, właściwości magnetyczne

WSTĘP

Magnetyzm, podobnie jak grawitacja i elektryczność, jest uniwersalną właściwością materii. Jedynym i pierwotnym jego źródłem jest ruch ładunku elektrycznego. W odniesieniu do mikroświata właściwości magnetyczne atomów wynikają z ruchu orbitalnego i wirowego elektronów oraz nukleonów w jądrze [6]. W ujęciu makroskopowym naturalny magnetyzm obserwuje się dla magnetytu (Fe_2O_3) lub wykazują go magnesy wytwarzane z materiałów ferromagnetycznych lub przewodniki z prądem. W bieżącym opracowaniu zostaną uwzględnione jedynie pola magnetyczne stałe, gdzie wartość indukcji w czasie nie ulega zmianie i jednorodne, dla których wartość indukcji jest jednakowa dla rozważanej przestrzeni. Natomiast pola gradientowe oraz pole elektromagnetyczne zostaną potraktowane marginalnie z tego względu, iż zakres badań nie obejmuje tego rodzaju oddziaływań.

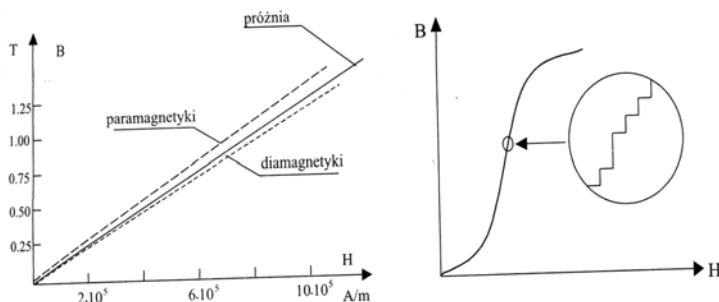
Struktura domenowa

Polem magnetycznym nazywamy pole sił, działających na magnesy, na przewodniki, w których płynie prąd elektryczny i na swobodne ładunki elektryczne będące w ruchu. Charakterystyczną, i ogólnie znaną wielkością pola magnetycznego jest indukcja magnetyczna \mathbf{B} , która jest zależną od przenikalności magnetycznej oraz od natężenia pola magnetycznego:

$$\mathbf{B} = \mu \cdot \mathbf{H} \quad (1)$$

¹ Instytut Technologicznych Systemów Informatycznych, Wydział Mechaniczny, Politechnika Lubelska.

gdzie: H – natężenie pola magnetycznego, A/m
 μ – przenikalność bezwzględna materiału, H/m



Rys. 1. Zależność pomiędzy indukcją magnetyczną B a natężeniem pola magnetycznego H : a) w przypadku diamagnetyków, b) ferromagnetyków

Cechą charakterystyczną materiałów jest ich wartość przenikalności magnetycznej. W celu umożliwienia porównania przenikalności różnych materiałów przyjęto posługiwać się przenikalnością magnetyczną względną, którą zdefiniowano jako:

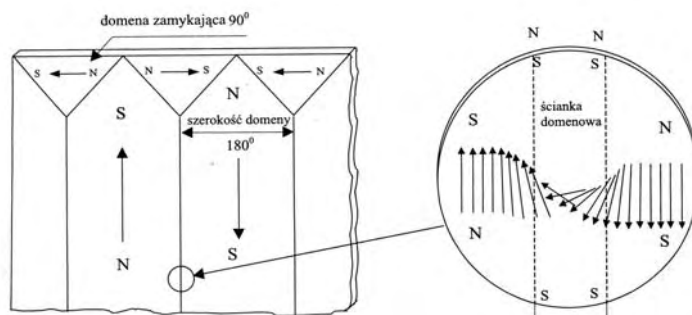
$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \quad (2)$$

gdzie: $\mu_0 = 12,57 \cdot 10^{-7}$ [H/m] – przenikalność magnetyczna próżni,
 μ_r – przenikalność magnetyczna względna materiału.

Z przedstawionych zależności wynika praktyczny wniosek, że wartości przenikalności względnej μ_r świadczą o zdolności danego ośrodka do gromadzenia pola magnetycznego. W zależności od zachowania się ciał w polu magnetycznym można je podzielić na diamagnetyczne, paramagnetyczne i ferromagnetyczne. Krzywa magnesowania $B = f(H)$ materiałów ferromagnetycznych nie jest gładka, lecz składa się z odcinków prostych, co schematycznie przedstawiono na rysunku 1. Zasadniczą przyczynę tego zjawiska (zwanego szumem Barkhausena) stanowi struktura magnetyczna ferromagnetyków.

Nawet bez udziału zewnętrznego pola magnetycznego składa się ona ze domen tj. obszarów, z których każdy namagnesowany jest do nasycenia. Momenty magnetyczne wszystkich domen znoszą się i zakłada się, że materiał magnetycznie miękki nie wykazuje żadnych właściwości magnetycznych przy $H_{zew} = 0$. Jeżeli nastąpi trwałe uporządkowanie magnetyczne takich obszarów, materiał charakteryzują się zewnętrznymi właściwościami magnetycznymi (biegunami) i jest zaliczany do materiałów magnetycznie twardych. Strukturę domenową, można uważać za obowiązującą także dla magnetyków miękkich.

W praktyce jest ona bardziej skomplikowana co dla materiału polikrystalicznego przedstawia rysunek 2.



Rys. 2. Ilustracja ścianki domenowej w materiale magnetycznie miękkim

Na rysunku 2. przedstawiono ich wyidealizowaną strukturę paskową (180 – stopniową) oraz domykającą (90 – stopniową). Ostateczny kształt struktury domenowej zależy jednak od stopnia zgodności układu ze stanem o najniższym poziomie energii. Grubość ścianki domenowej wynosi 10^{-7} m. Zmiana kierunku ustawienia spinów magnetycznych zachodzi w obrębie zaledwie kilkuset odległości międzyatomowych (szacunek ten wynika z podzielenia grubości ścianki domenowej przez średnice atomów Fe, Ni, Co (tabela 1).

Oddziaływanie pola magnetycznego na substancję wyraża się zdolnością do namagnesowania, którą określa zależność

$$\chi = \frac{M}{H} \quad (3)$$

gdzie: χ – podatność magnetyczna,
 M – namagnesowanie,
 H – natężenie pola.

Podatność stanowi podstawę podziału substancji na diamagnetyki o ujemnej podatności magnetycznej, paramagnetyki i ferromagnetyki o podatności dodatniej.

Diamagnetyzm

Diamagnetyzm związany jest z dążnością ładunków elektrycznych do częściowego ekranowania wnętrza substancji przed zewnętrznym polem magnetycznym, zgodnie z prawem elektrodynamiki Lenza [11]. Analizę diamagnetyzmu atomów i jonów przeprowadza się na podstawie twierdzenia Larmora [10], wyrażającego zależność pomiędzy ruchem elektronu wokół jądra bez udziału i z udziałem pola H oraz nakładającej się precesji rozkładu elektronów. Precesja Larmora rozkładu elektronów jest równoważna prądowi elektrycznemu J , określanemu zależnością.

$$J = -\frac{Ze^2}{4\pi mc^2} \quad (4)$$

gdzie: Z – liczba elektronów e ,
 m – masa elektronu,
 c – prędkość światła w próżni.

Przenikalność magnetyczna diamagnetyka μ na jednostkę objętości może być określona wzorem:

$$\eta = -\frac{Ze^2 N}{6mc^2} \langle r^2 \rangle \quad (5)$$

przy czym $\langle r^2 \rangle$ stanowi średni kwadrat odległości elektronu od jądra.

Z przedstawionych zależności wynika, że w substancjach diamagnetycznych wektor namagnesowania J skierowany jest przeciwnie do pola magnesującego, co wyraża się ujemną wartością podatności magnetycznej.

Do ciał diamagnetycznych zalicza się takie substancje, jak rtęć, złoto, ołów, miedź, żelazo γ oraz wodę – czyli o wartościach podatności $\chi = -(10^{-3} - 10^{-6})$. Diamagnetyki osłabiają pole magnetyczne, ale jest to efekt indukowany, tj. powstający w następstwie umieszczenia tego materiału w zewnętrznym polu magnetycznym. W materiałach metalicznych implantowanych do organizmu wśród diamagnetyków mogą się znaleźć Ag, Au, a więc metale jednowartościowe oraz postacie alotropowe węgla np. diament lub grafit, które znalazły zastosowanie w niektórych powłokach implantów.

Paramagnetyzm

Paramagnetyzm jest wynikiem oddziaływania elektronów walencyjnych o niecałkowicie sparowanych spinach z zewnętrznym polem magnetycznym. Pod wpływem zewnętrznego pola elektrony o spinie ujemnym ustawiają się zgodnie z kierunkiem pola i zmniejszają swoją energię. Natomiast elektrony o spinie dodatnim orientują się przeciwnie do kierunku przyłożonego pola i zwiększają swoją energię o tę samą wartość [10]. Część elektronów o spinie dodatnim przemieszcza się do pasma, w którym znajdują się elektrony o spinie ujemnym, aż do chwili wyrównania się energii Fermiego [11]. W konsekwencji wzrasta liczba elektronów w obszarze pasma ze stanami o ujemnej projekcji spinów i pojawia się stały moment magnetyczny o energii $2 \mu\text{H}$. Namagnesowanie paramagnetyka M określa się za pomocą równania Langevina [7].

$$M = N\mu L(x) \quad (6)$$

gdzie: N – liczba atomów na jednostkę objętości substancji,
 $L(x)$ – funkcja Langevina $\equiv \text{ctg } hx - x^{-1}$
 $x \equiv \mu\text{H}/k_{\text{B}}T$.

Z kolei podatność magnetyczna paramagnetyka wyrażona jest zależnością:

$$\chi = \frac{M}{H} = \frac{N\mu^2}{3k_B T} = \frac{C}{T} \quad (7)$$

gdzie: $C \equiv N\mu^2/3k_B$ – stała Curie

W przypadku paramagnetyków następuje niewielkie uporządkowanie momentów magnetycznych atomów takich pierwiastków jak: glin, magnez czy platyna. Zmiany występują w zakresie $\mu = 1,000002 \div 1,003$. Jeżeli przyjmiemy że substancje o takiej przenikalności magnetycznej są paramagnetyczne, to przenikalność $\mu = 1,005 \div 1,002$ cechująca stopy o strukturze austenitycznej przeznaczone na implanty jest problematyczna w klasyfikowaniu ich bez zastrzeżeń do grupy paramagnetyków. Należałoby w takim przypadku mówić raczej o ferromagnetyzmie tego typu materiałów. Najślabszym paramagnetykiem okazuje się powietrze, dla którego $\mu = 3,7 \times 10^{-7}$.

Ferromagnetyk ma spontaniczny moment magnetyczny, tzn. występuje w nim moment magnetyczny nawet bez przykładania z zewnątrz pola magnetycznego.

Wypadkowy moment magnetyczny w ferromagnetykach tworzą momenty spinowe elektronów, porządkowanych w skutek wymiennego oddziaływania elektronów 3d [10]. Wiadomo, że podczas zbliżania się wzajemnego atomów ferromagnetyka na odległość, umożliwiającą nakładania się częściowe pól elektronowych, następuje obniżenie energii elektronów o spinach równoległych. To wzajemne oddziaływanie elektronów pasm 3d sąsiadujących atomów wywołuje nie tylko zmniejszenie energii elektronów o spinach równoległych, lecz także samorzutne porządkowanie spinów w paśmie d w temperaturach poniżej temperatury Curie. Procesowi temu zachodzącemu w ferromagnetykach towarzyszy uporządkowanie struktury magnetycznej. Ta przemiana jest więc wynikiem kwantowo-mechanicznego oddziaływania elektronów sąsiadujących atomów, które prowadzi do zmiany rozkładu elektronów w stanach spinowych.

Materiały ferromagnetyczne charakteryzują się niezwykle dużymi wartościami podatności magnetycznej rzędu $10^5 - 10^6$ lub nawet większej. Głównymi przedstawicielami ciał ferromagnetycznych są: żelazo, kobalt, nikiel oraz gadolin. Ich podstawowe charakterystyki zostały przedstawione w tabeli 1.

Tabela 1. Charakterystyka podstawowych pierwiastków ferromagnetycznych

Pierwiastek	Orbita nieskompensowana	Konfiguracja elektronów	Moment magnetyczny		Indukcja nasycenia B w 0 K [T]	Promień atomu r [nm]	Temp. Curie T _c [K]	Temp. topienia T _m
			teoretyczny	zmierzony				
Fe	3d	3d ⁶ 4s ²	4	2,2	2,16	0,126	1043	1808
Co	3d	3d ⁷ 4s ²	3	1,7	1,80	0,126	1404	1753
Ni	3d	3d ⁸ 4s ²	2	0,6	0,61	0,124	631	1728
Gd	4f	4f ⁷ 5d ¹ 6s ²	7	7,1	2,54	0,179	292	1585

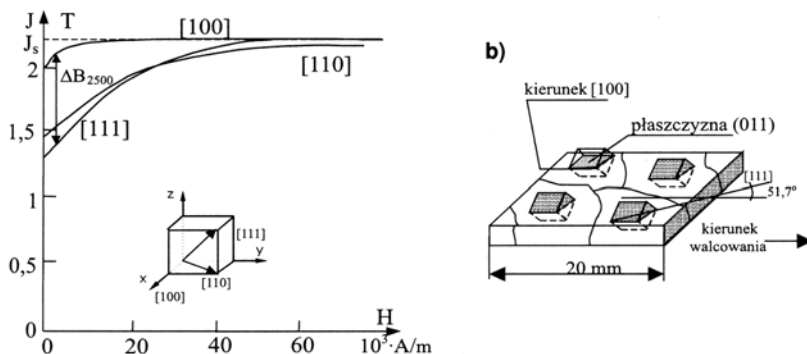
W analizie pominięto pierwiastki ferromagnetyczne o bardzo dużych indukcjach nasycenia, ale o niezwykle małej temperaturze Curie. Z przedstawionych w tabeli 1 pierwiastków także gadolin posiada niską temperaturę Curie (292 K) i z tego też powodu nie znajduje szerszego zastosowania. Pierwiastki ferromagnetyczne – o określonej wartości teoretycznej momentów magnetycznych w skutek rozpraszania i ruchów cieplnych atomów, wykazują się mniejszymi właściwościami magnetycznymi aniżeli wynika to z ilości niesparowanych elektronów (np. dla żelaza moment teoretyczny wynosi 4, a zmierzony 2,22, tabela 1). Najszersze zastosowanie wśród materiałów ferromagnetycznych znalazły Fe, Co oraz Ni, występujące często jako stopy.

W przypadku stopów metali następuje ujednoczenie sieci krystalicznych w stosunku do sieci pierwiastków składowych. Przykładem takiego stopu może być układ Co – Fe gdzie następuje unifikacja sieci krystalicznych kobaltu o strukturze heksagonalnej i żelaza o strukturze regularnej w kierunku sieci regularnej. W wyniku tego moment magnetyczny stopu jest sumą momentów dwóch podsieci. Efektem tego zjawiska jest stop 35%Co – Fe, który charakteryzuje się największą znaną indukcją 2,43 T [5], podczas gdy dane prezentowane w tabeli 1 wykazują mniejsze wartości indukcji nasycenia dla poszczególnych pierwiastków (dla Co – 1,8 T dla Fe – 2,16 T). Przypadek ten może być potwierdzeniem tezy jaką przedstawiło kilku badaczy, która w ogólnym ujęciu wskazuje na fakt, iż właściwości fizyczne w tym właściwości magnetyczne stopów wybiegają poza ogólnie przyjęte schematy prognozowania właściwości stopów metali [12, 9, 4]. Możliwe jest jednak częściowe uporządkowanie momentów atomów np. Au i Cu (materiały diamagnetyczne) z domieszką ferromagnetyków Fe, Ni, Co i wówczas materiały te charakteryzują się cechami ferromagnetycznymi. Ze względu na duży wpływ przypadkowego rozłożenia momentów magnetycznych w omawianym typie materiałów, trudno jest wskazać obszary ich praktycznego wykorzystania.

Zasadniczą cechą dla dobrych właściwości magnetycznych okazuje się szerokość domeny, która wynosi niekiedy setne części mm. Szerokość domeny powinna być jak najmniejsza, gdyż materiał poddawany procesowi przemagnesowania zmienia swą strukturę magnetyczną przemiennie i skokowo. Następuje to zarówno poprzez przesuwanie ścianek pochodzących od domen składowych, jak i obrotów wektorów magnetyzacji w domenach [10].

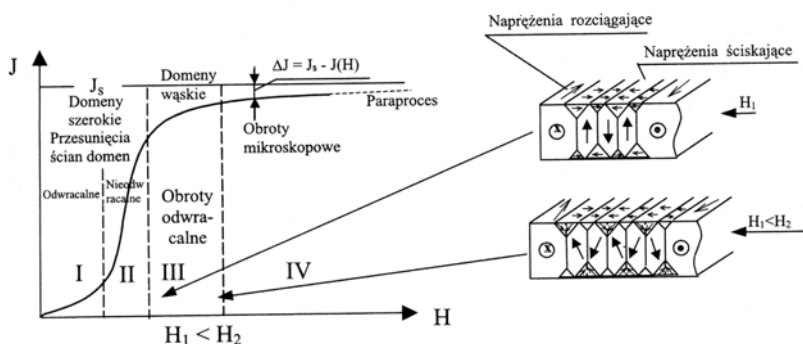
W materiałach polikrystalicznych struktura domenowa uzależniona jest od struktury krystalicznej tj. od orientacji i rozmiarów poszczególnych ziaren, defektów sieci krystalicznej i wtrąceń, naprężeń mechanicznych itp. Struktura krystaliczna i wymienione czynniki wywołują nawet w przypadku materiałów anizotropowych (o wyróżnionym kierunku uprzywilejowania magnetycznego), bardzo rozwiniętą strukturę domenową. Obok ścian domenowych 180° i zamykających 90° (rys. 2), występują: ścianki proste (granice domen równoległe do kierunku [100] rysunek 3), kliny (figury które swymi ostrzami wskazują kierunki [100]), krople i koronki (figury, ukierunkowane jak poprzednio) oraz

mozaika (beładne figury, z których nie można wnioskować o uprzywilejowanym kierunku).



Rys. 3. Kierunkowe zmiany właściwości magnetycznych, a) krzywe magnetyzacji monokryształów Fe, b) orientacja krystalitów w ziarnach blachy krzemowej [13,14]

Magnesowanie materiału realizuje się poprzez przesuwanie ścian domenowych oraz przy odpowiednio dużym polu, poprzez obroty wektorów magnetyzacji do kierunku zewnętrznego pola magnetycznego. Przy wzroście pola magnetycznego granice domen początkowo przesuwają się skokowo rys. 1b powodując dużą stratność krzywej magnesowania. Proces ten jest odwracalny rys. 4 i ustaje w pobliżu zakrzywienia krzywej magnesowania.



Rys. 4. Etapy magnesowania stopu amorficznego

Dalszy wzrost namagnesowania następuje w wyniku obrotów wektorów magnetyzacji, co wymaga stosunkowo dużego wzrostu natężenia pola magnetycznego, a więc i energii. Opis ilościowy zjawiska jest dość trudny, gdyż obok ścian domenowych 180° występują w materiałach domeny zamykające, które utrudniają proces magnesowania i powodują dodatkowy wzrost stratności (energii na przemagnesowanie).

Ruch ścianek oddzielających domeny ulega zahamowaniu na licznych wtrąceniach znajdujących się w materiale, przy czym najbardziej niepożądane są wtrącenia o rozmiarach cząstek odpowiadających grubości ściany domenowej ($0,1 - 1 \mu\text{m}$) [14].

Wskutek powstania domen zamykających wokół wtrąceń przesunięcie ścian z tych położenia wymaga dodatkowego wkładu energii pola zewnętrznego, co wywołuje wzrost natężenia koercji i wzrost stratności materiału.

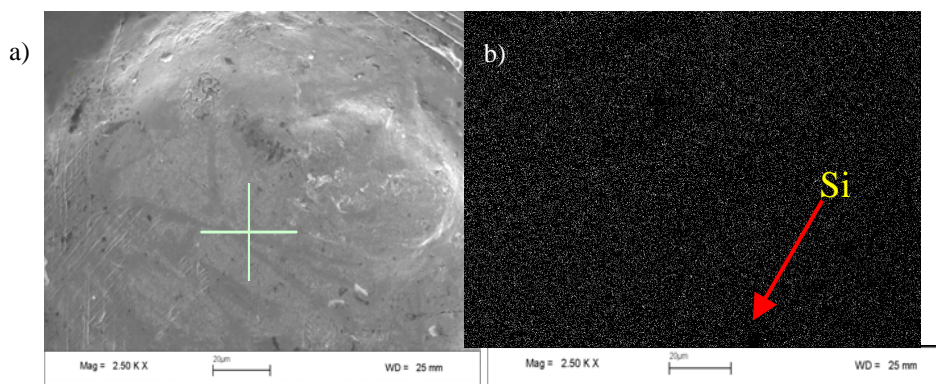
Jak wynika z przedstawionych informacji, zarówno materiały magnetycznie miękkie jak i twarde charakteryzują się nie tylko nieliniową krzywą magnesowania ale także histerezą magnetyczną [11], której postać może być opisana za pomocą funkcji elementarnej. W konsekwencji wciąż bardzo aktualnymi i aktywnie rozwijanymi są liczne prace dotyczące zagadnienia prawidłowego modelowania (w ujęciu matematycznym) właściwości materiałów magnetycznych [2, 11].

MATERIAŁ BADAWCZY

Badania mikrostrukturalne stopu odlewniczego w stanie surowym i po obróbce cieplnej polegały na określeniu struktury wlewka. W strukturze odlewniczej widoczne są kryształy kolumnowe, które są wynikiem powolnego procesu chłodzenia w formach [3].

Kolejnym czynnikiem mającym wpływ na strukturę stopu odlewniczego na bazie kobaltu są wysokie wymagania w zakresie czystości co wymaga zastosowania specjalnych warunków technologicznych (topienie i odlewanie w próżni). Powodują one, że stop tego typu cechuje skłonność do grubokrystalicznej struktury czego efektem są kryształy kolumnowe[3].

Mikroanaliza składu chemicznego stopu odlewniczego wykazała równomierne rozmieszczenie pierwiastków stopowych, których udział procentowy w materiale jest większy od 0,5 %. Otrzymane wyniki przedstawia rysunek 4.b na którym widoczne jest równomierne rozmieszczenie podstawowych pierwiastków stopowych Co, Cr, Ni. Rozmieszczenie pierwiastków na analizowanej powierzchni świadczy o braku segregacji grawitacyjnej oraz mikrosegregacji w obszarze dendrytów.



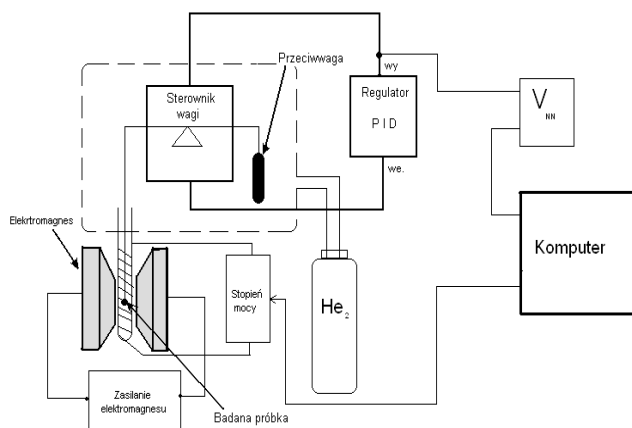
Rys. 4. Mikroanaliza składu chemicznego, a) topografia powierzchni, b) rozkład Co +Ni

BADANIA WŁAŚCIWOŚCI MAGNETYCZNYCH

Badania właściwości magnetycznych obejmowały określenie stopnia namagnesowania materiału pod wpływem zewnętrznego pola magnetycznego w temperaturze otoczenia ~ 293 K oraz temperatury Curie dla materiału M5[15].

Pomiaru dokonano na stanowisku do badania stopnia namagnesowania przy użyciu wagi magnetycznej. Schemat stanowiska przedstawiony jest na rysunku 6

Próbki przygotowano w postaci prętów o wymiarach 5 x 8 x 80 mm, a następnie podano je obróbce cieplnej (wyżarzaniu) w temperaturach 1173 K w czasie 12 godzin, 1223 K, 1323 K, 1373 K w czasie 0,75 h. z chłodzeniem na wolnym powietrzu.



Rys. 6. Schemat stanowiska do badań namagnesowania

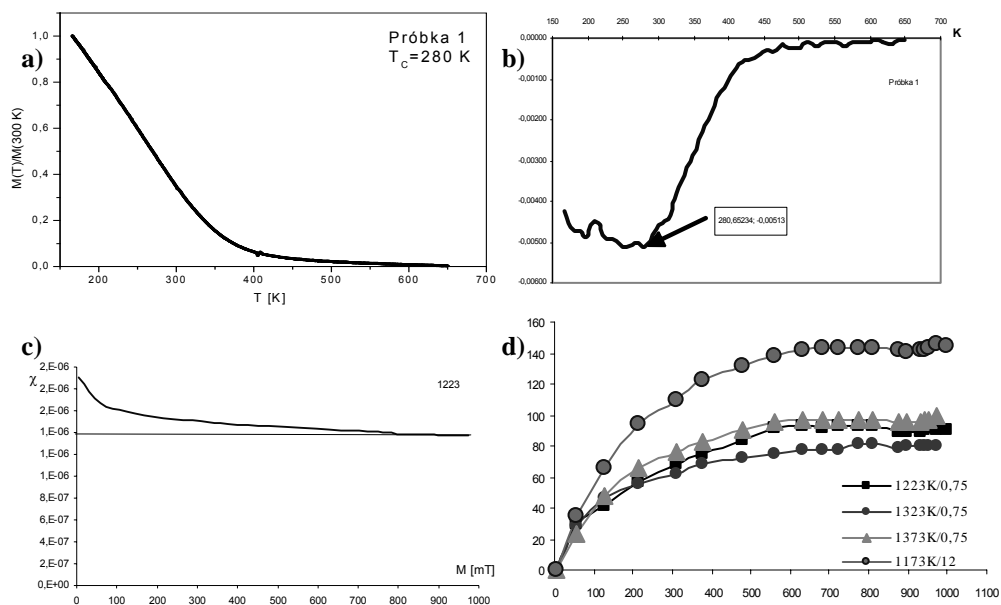
WYNIKI

Badanie właściwości magnetycznych stopu o strukturze odlewniczej oraz po obróbce cieplnej zostały poprzedzone analizą obrazów dyfrakcyjnych. Zwrócono uwagę na efekt tekstury, który stanowił podstawę wykluczenia danego materiału z tej części badań by ograniczyć liczbę czynników mogących mieć wpływ na własności magnetyczne. Graficzną prezentację wyników przedstawia rys. 7 a –d. Temperaturę Curie obliczono na podstawie pomiarów spadku szybkości namagnesowania w zależności od temperatury. Punkt Curie dla stopu wyżarzanego w różnych temperaturach określono po zróżniczkowaniu i jest to najniższa wartość krzywej rys. 7b.

Podatność dla stopu po obróbce cieplnej przyjęto jako wielkość otrzymaną po osiągnięciu stanu nasycenia dla poszczególnych temperatur wyżarzania:

$$\chi_{1123} = 1,45 \cdot 10^{-6} \quad \chi_{1223} = 1,38 \cdot 10^{-6} \quad \chi_{1323} = 1,37 \cdot 10^{-6} \quad \chi_{1373} = 1,39 \cdot 10^{-6}$$

Przedstawione na rys 6 wielkości koercji świadczą o bardzo słabych właściwościach ferromagnetycznych. Wielkość koercji na poziomie 7–11 wg. skali Gaussa może wskazywać, że jest to materiał magnetycznie twardy natomiast na podstawie normy dotyczącej materiałów magnetycznych [16], iż jest to materiał magnetycznie miękki, jeżeli natężenie koercji jest mniejsze niż 1×10^3 A/m.



Rys. 7. Wykres: a) temperatury Curie dla próbki wyżarzanej w temperaturze 1223 K w czasie 0,75 h, b) po zróżniczkowaniu c) podatność magnetyczna, d) porównawczy namagnesowania próbek

PODSUMOWANIE

Ferromagnetyzm stali Cr-Ni-Mo wyraża się w praktyce współczynnikiem przenikalności $\mu_{160} = (1,256 \div 1,259) \cdot 10^6$ H/m w zależności od stanu umocnienia. W stanie umocnionym np. przez odkształcenie plastyczne współczynnik przenikalności magnetycznej osiąga górne wartości.

Nie w pełni kontrolowany ferromagnetyzm możemy odnieść do pozostałych grup stopów np. w stopach na bazie kobaltu, typu Protasul, stwierdzono obecność ferromagnetycznego martenzytu, natomiast w stopach na bazie tytanu występuje martenzytyczna faza β – Co.

W pracach Bartona i Marciniaka [1, 8] podjęto próbę określenia właściwości magnetycznych stali austenitycznych, w tym również powszechnie stosowanej na implanty do zespołów dociskowych stali Cr-Ni-Mo typu 316. Określono zmianę współczynnika przenikalności oraz nasycenia magnetycznego po różnych etapach procesu wytwarzania. Ocena właściwości magnetycznych stali i stopów przeznaczonych na implanty nie jest w literaturze eksponowana, gdyż z zasady materiały te należą do grupy materiałów odpornych na korozję i ta właściwość stanowi przedmiot analizy badawczej.

LITERATURA

1. Barton J., Marciniak J.: Wiad. Hut. 4, 1980,
2. Bertotii G.: Hysteresis in magnetism, Academic Press, San Diego 1998
3. Błaszczak M. Praca doktorska. Lublin 2005
4. Bojar Z.: Analiza wpływu struktury na odporność korozyjną i mechanizm pęknięcia stopów kobaltu typu Vitalium. WAT. Warszawa 1992.
5. Boll R.: Weichmagnetische Werkstoffe, Vakuumschmelze GmbH, Wydawnictwo Siemens Aktiellschaft 1990
6. Gonet B.: Oddziaływanie stałego pola magnetycznego na organizmy żywe. PAM Szczecin 1991
7. Kittel A.: Wstęp do fizyki ciała stałego. PWN, Warszawa 1976
8. Marciniak J., Barton J., Trzcionka J.: Wiad. Hut. 6, 1980
9. Marciniak J.: Biomateriały. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice 2002.
10. Matheisel Z.: Blachy elektrotechniczne walcowane na zimno, WNT Warszawa 1973
11. Morich A. H.: Fizyczne podstawy magnetyzmu. PWN, Warszawa 1970
12. Purcell E.M.: Elektryczność i magnetyzm. PWN, Warszawa, 1974
13. Rajan K.: J. Mater. Sci.vol. 18, 1983 pp 257 – 264.
14. Shishida H., Kan T., Ito Y.: The Magnetic Domain and Properties of Amorphous Ribbons, IEEE Trans. On Magnetics 1985, Vol. MAG-21, nr 1.
15. Surowska B. Kształtowanie składu chemicznego struktury stopów Co –Cr-Ni-Mo jako biomateriałów. Wyd. PL. Lublin 1997
16. Norma IEC, Publication 404 -1. Magnetic materials Part 1. Classification, Geneva 1979

THE ANALYSIS OF INFLUENCE OF MAGNETIC FIELD ON CHANGE OF MAGNETIC PROPERTIES OF CO-CR-NI ALLOY

Summary

Theoretical basis explaining the influence of internal structure of biomaterials based on cobalt on the change of magnetic properties were introduced in the analytic part of the article. The special emphasis was placed on the analysis of the domain structure as the attribute essentially influencing the behavior of biomaterials in strong external magnetic field. The results of the measurements of coercive force, Curie temperature and magnetic susceptibility which prove that the investigated material can be placed on the borderland between diamagnetism and paramagnetism were presented in research part of paper.

Keywords: biomaterials, the melts of cobalt, magnetic properties.