

Oddzielanie magnetyczne blach stalowych*)

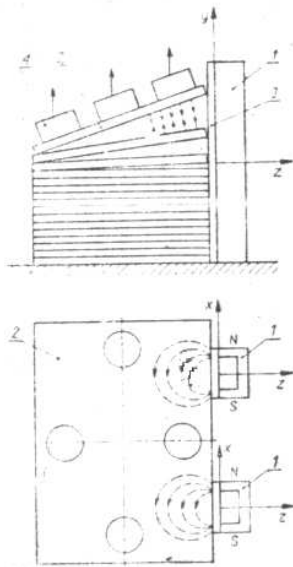
Wstęp

Sily odpychania namagnesowanych jednoimiennie elementów ferromagnetycznych są wykorzystywane w wielu procesach technologicznych. Jednym z przykładów może być oddzielanie magnetyczne arkuszy blach stalowych. Blachy stalowe o grubości od dziesiątych części milimetra do kilku milimetrów, dostarczane w pakietach przez huty do zakładów przemysłowych, muszą być oddzielone od siebie w celu dalszego transportu do gilotyny lub prasy hydraulicznej. Zaolejenie powierzchni poszczególnych blach związane z ochroną przed korozją powoduje powstawanie sił spójności między sąsiednimi arkuszami. Są to sily działające pomiędzy drobinami ciała stałego i cieczy.

Skutecznym a jednocześnie technologicznym sposobem oddzielania blach jest wykorzystanie sił odpychania w pakiecie blach, namagnesowanych w taki sposób, że linie pola magnetycznego w płaszczyźnie każdego arkusza mają przebieg jednokowy. Wartość sił odpychania musi być większa od wartości sił spójności i ciężaru pojedynczego arkusza, dzięki czemu istnieje możliwość przechwytywania blach przez przysawkę podnośnika pneumatycznego i transportu wzdłuż linii technologicznej.

Zasada działania urządzeń do oddzielania magnetycznego blach stalowych

Zasadę działania urządzenia do oddzielania magnetycznego blach stalowych ilustruje rys. 1. Dwa lub



Rys. 1. Zasada działania urządzenia do oddzielania blach stalowych
1 — magnes trwały lub elektromagnes; 2 — blacha stalowa; 3 — przekładka nieferromagnetyczna; 4 — przysawka podnośnika

większe liczba magnesów trwałych czy też elektromagnesów podkowiastych prądu stałego styka się powierzchniami aktywnymi z krawędziami bocznymi pakietu blach poprzez cieką przekładkę wykonaną z materiału nieferromagnetycznego. Wskutek magne-

sowania jednoimiennego sąsiednich blach powstają między nimi sily odpychania. Siła odpychania F_y pomiędzy blachami (układ współrzędnych prostokątnych x, y, z zaznaczono na rys. 1), jaką musi zapewnić magnes trwały lub elektromagnes, powinna być co najmniej równa sumie połowy sily ciężkości F_c pojedynczej blachy oraz sił F_s działających pomiędzy drobinami stali i oleju, pokrywającego powierzchnię blach w zasięgu działania pola magnetycznego, tzn.

$$(1) \quad kF_y \geq 0,5 F_c + F_s$$

przy czym: k — liczba urządzeń do oddzielania blach (rys. 1).

Współczynnik 0,5 we wzorze (1) wynika stąd, że urządzenia do oddzielania blach wystarczy usytuować tylko po jednej stronie pakietu. Arkusz zewnętrzny opiera się więc obrzeżem o pakiet po stronie przeciwnej urządzeń do oddzielania.

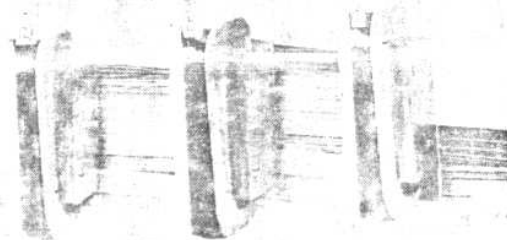
Silę odpychania pomiędzy dwoma arkuszami blach wyraża zależność [1]

$$(2) \quad F_y \approx \frac{\partial w_m}{\partial y}$$

w której energia magnetyczna zgromadzona w przestrzeni o objętości V zawartej pomiędzy dwiema sąsiednimi blachami

$$(3) \quad w_m = \frac{1}{2\mu_0} \int_V B^2 dV$$

Przez B_0 oznaczono indukcję magnetyczną w rozpatrywanej przestrzeni.



Rys. 2. Wpływ obecności przekładki nieferromagnetycznej między blęgunami elektromagnesu o pakietem blach na sily odpychania pomiędzy sąsiednimi arkuszami blach: a) bez przekładki; b) z przekładką

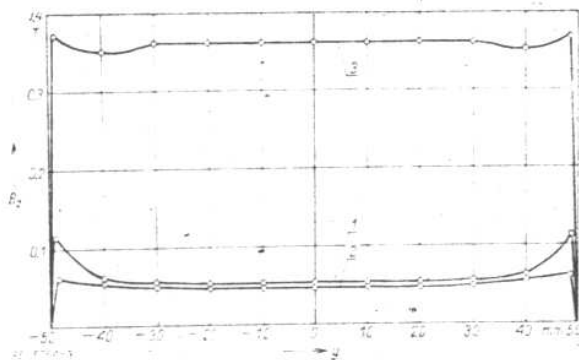
Z uwagi na trójwymiarowy rozkład indukcji $B_0 = B_0(x, y, z)$ w przestrzeni V , do obliczenia sily F_y można zastosować metodę najprostszą, a jednocześnie dokładną, jaką jest metoda różnic skończonych, przy zastosowaniu elektronicznych maszyn cyfrowych [2].

*) Artykuł opracowano w ramach planu badań Grupy tematycznej nr 1 (Teoria pola), Problemu węzłowego 05.57. Wybrane podstawowe badania w dziedzinie elektro-

Wartość sił odpychania jest największa na krawędzi arkuszy blach przylegających do magnesów trwałych lub elektromagnesów, najmniejsza zaś na krawędzi przeciwnej. Jest to związane z rozkładem indukcji magnetycznej w arkuszu blach. Obecność przekładki nieferromagnetycznej, która najczęściej jest obudowa urządzenia wykonana z blachy fosforobrazowej (grubość 1—4 mm), likwiduje zjawisko pasywności szczytowania się krawędzi blach przylegających bezpośrednio do powierzchni aktywnej magnesów lub elektromagnesów, wywołujące zanik sił odpychania (rys. 2).

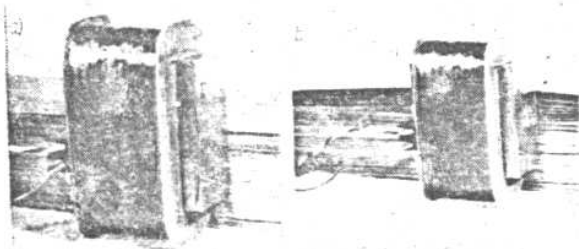
Na wartość sił odpychania podstawowy wpływ ma składowa normalna indukcji magnetycznej B_z w szczelinie między biegunami magnesu lub elektromagnesu a pakietem (w przekładce z materiału nieferromagnetycznego) oraz przebieg charakterystyki magnesowania $B(H)$ oddzielanych blach. Im większa jest indukcja w przekładce oraz większa magnesowalność oddzielanych blach (mniejsza reluktancja), tym większe są siły odpychania.

Ponadto siły odpychania zależą od usytuowania pakietu blach względem magnesu trwałego lub rdzenia elektromagnesu, w kierunku współrzędnej y . Jak wiadomo, rozkład składowej normalnej indukcji magnetycznej w przekładce jest nieliniowy, a wzdłuż długości rdzenia, tzn. najmniejsza indukcja jest dla $y=0$ (w środku), następnie rośnie w miarę przesuwania się ku końcom i przy $y=\pm 0,5L$ szybko maleje (rys. 3). Jeżeli grubość pakietu jest równa



Rys. 3. Rozkład składowej normalnej indukcji magnetycznej B_z wzdłuż współrzędnej y elektromagnesu modelowego o długości $L=100$ mm przedstawionego na rys. 2 oraz rys. 4 1 — przebieg na powierzchni rdzenia przy braku pakietu blach; 2 — na powierzchni przekładki nieferromagnetycznej o grubości 4 mm przy braku pakietu; 3 — w szczelinie o grubości 4 mm przy obecności pakietu

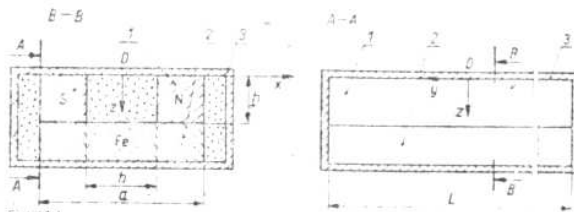
długości L magnesów trwałych lub rdzenia elektromagnesu, to siły odpychania są niewielkie, a blachy nie są wypychane poza obręb działania pola magnetycznego (rys. 4a i b). Największa wartość sił odpychania występuje przy usytuowaniu pakietu w sąsiedztwie dolnej części rdzenia, gdzie gradient indukcji magnetycznej jest ujemny względem zwrotu siły odpychania, tzn. pomiędzy dolną krawędzią a środkiem rdzenia (rys. 4c).



Rys. 4. Siły odpychania pomiędzy arkuszami blach: a) w pobliżu końca rdzenia; b) na samym końcu rdzenia; c) w dolnej części rdzenia

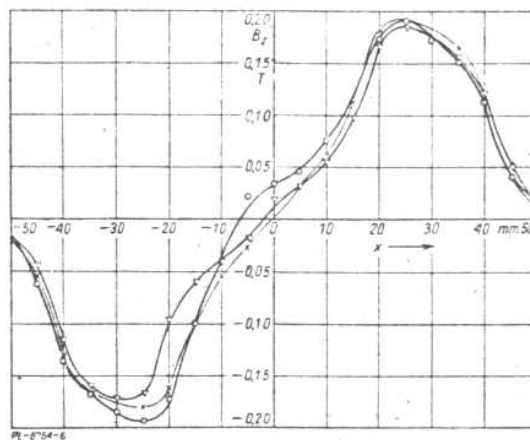
Urządzenia o magnesach trwałych do oddzielania blach stalowych

W krajach o rozwiniętej produkcji materiałów magnetycznych twardych do rozdzielania blach stalowych stosuje się urządzenia o magnesach trwałych. Budowa takiego urządzenia jednej z firm zachodnich jest przedstawiona na rys. 5. W cienko-

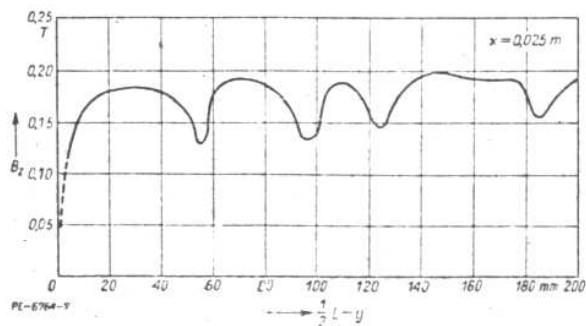


Rys. 5. Budowa urządzenia o magnesach trwałych do oddzielenia blach 1 — magnesy trwałe; 2 — jażmo ferromagnetyczne; 3 — obudowa nieferromagnetyczna

ściennej obudowie nieferromagnetycznej o wymiarach $450 \times 104 \times 50$ mm, tłoczzonej, a następnie spawanej, znajdują się dwa rzędy różnoimiennych magnesów trwałych ułożonych symetrycznie względem osi y . Magnesy jednym końcem dotykają do obudowy, drugim zaś do jażma wykonanego z płyty ferromagnetycznej. Wnętrze obudowy jest wypełnione zalewą żywiczną termoutwardzalną. Rozkład składowej normalnej indukcji magnetycznej na powierzchni aktywnej obudowy przedstawiono na rys. 6 oraz rys. 7.



Rys. 6. Rozkład składowej normalnej indukcji magnetycznej $B_z(x)$ na powierzchni aktywnej obudowy urządzenia o magnesach trwałych do oddzielania blach produkcji jednej z firm zachodnich, dla różnych współrzędnych $y = \text{const}$ (brak pakietu blach)



Rys. 7. Rozkład składowej normalnej indukcji magnetycznej $B_z(y)$ na powierzchni aktywnej obudowy urządzenia o magnesach trwałych do oddzielania blach produkcji jednej z firm zachodnich przy $x=0,025$ m (brak pakietu blach)

Pomiary te wykonano za pomocą telesomierza halotronowego. Na podstawie pomiarów stwierdzono, że:

— jako magnesy trwałe stosuje się materiały prozskowe o dużej pozostałości magnetycznej i dużej energii magnetycznej;

— składowa normalna indukcji magnetycznej na powierzchni obudowy osiąga wartość 0,2 T, a zatem stosuje się bardzo wysokiej jakości materiały magnetycznie twarde;

— magnesy wykonane są w postaci kostek prostopadłościennych o wysokości 30—35 mm, szerokości 15—20 mm oraz różnej długości od 20 do 80 mm;

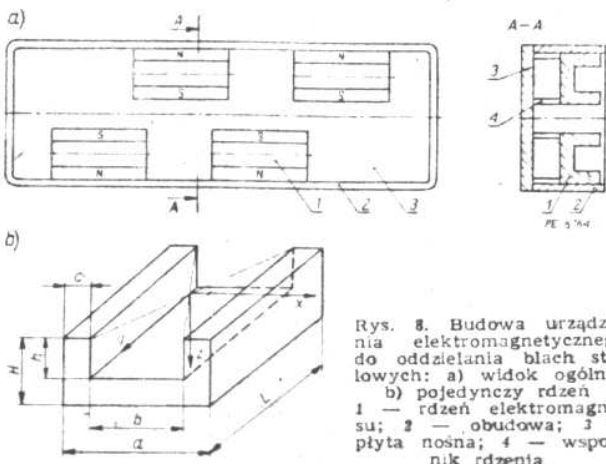
— zaprojektowanie urządzenia elektromagnetycznego o zbliżonych parametrach jest zagadnieniem trudnym ze względu na duży przepływ konieczny do osiągnięcia dużego strumienia magnetycznego.

Projektowanie urządzeń o magnesach trwałych do oddzielania blach sprowadza się do doboru odpowiednich materiałów magnetycznie twardych oraz do wyznaczenia strumienia roboczego głównego (indukcji magnetycznej w szczelinie) metodą graficzną (magnesy trwałe w tych urządzeniach są stabilizowane w powietrzu) [3].

Urządzenia elektromagnetyczne do oddzielania blach stalowych

Deficyt materiałów magnetycznie twardych na rynku krajowym zmusza do zastąpienia w urządzeniach do oddzielania blach stalowych magnesów trwałych — elektromagnesami. Ograniczenie strat cieplnych w uzwojeniach elektromagnesów oraz osiągnięcie odpowiednich wartości indukcji niezbędnych do oddzielania blach — to główne trudności związane z projektowaniem tych urządzeń. Grubość pakietów blach niekiedy dochodzi do 0,5 m, zatem taką też musi być długość rdzenia elektromagnesu. Nawinięcie uzwojenia przewodem nawojowym na tak długim rdzeniu jest technologicznie trudne, zatem rdzeń trzeba dzielić na segmenty o długości rzędu kilku lub kilkunastu centymetrów (rys. 8a). Podział rdzenia na segmenty mógłby być wyeliminowany, gdyby jako materiał na uzwojenie zastosować izolowaną folię aluminiową. Osie sąsiednich rdzeni są przesunięte względem siebie o odcinek większy od szerokości pojedynczego rdzenia. Wymiary pojedynczego rdzenia oraz układ współrzędnych prostokątnych x, y, z podano na rys. 8b. Jak wynika z rys. 3 zbliżenie elektromagnesu do pakietu blach powoduje wzrost indukcji magnetycznej. Elektromagnes jest zasilany prądem stałym, obecność blach powoduje więc reaktancję obwodu magnetycznego; przy niezmiennym przepływie wzrasta zatem strumień magnetyczny. Największa indukcja magnetyczna, jaka wystąpi w rdzeniu, będzie więc przy zbliżonym maksymalnie pakiecie blach.

Do rozważań przyjmuje się kształt rdzenia elektromagnesu jak na rys. 8. Rdzeń składa się z trzech



Rys. 8. Budowa urządzenia elektromagnetycznego do oddzielania blach stalowych: a) widok ogólny; b) pojedynczy rdzeń
1 — rdzeń elektromagnesu; 2 — obudowa; 3 — płyta nośna; 4 — wspornik rdzenia

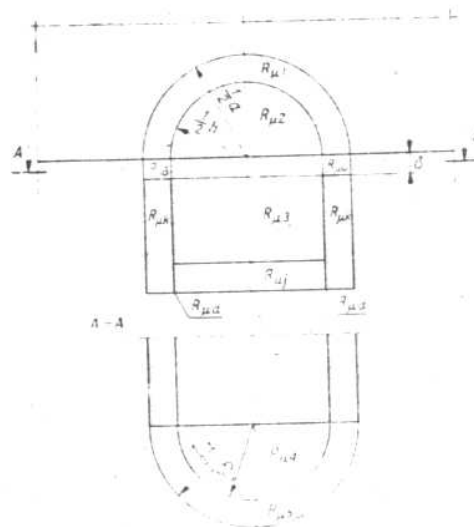
plaskowników stalowych (dwóch kolumn i jarzma) skręconych ze sobą śrubami. Uzwojenie zasilane prądem stałym jest usytuowane na jarzmie, gdyż w porównaniu z uzwojeniem na kolumnach taki sposób przyczynia się do lepszego wykorzystania okna rdzenia, wymaga wykonania tylko jednego karkasu oraz zapewnia mniejszą szerokość urządzenia do oddzielania blach (rys. 8a).

Obliczenia projektowe wymagają przyjęcia następujących założeń upraszczających:

a) grubość pakietu blach jest większa lub równa długości pojedynczego rdzenia elektromagnesu;

b) strumień magnetyczny główny (roboczy) w pakiecie występuje w bryle półwalcowej o promieniu $0,5 a$, w szczelinie nieferromagnetycznej, natomiast — w bryle o objętości $\delta c L$ (rys. 8, rys. 9);

c) strumień rozproszenia występuje tylko w przestrzeni pomiędzy kolumnami w obrębie jarzma, w bryle o objętości $h b L$ (prostopadłościach) oraz poza jarzmem w częściach czołowych — w bryle o objętości półwalca o promieniu $0,5 a$ i wysokości h (rys. 8, rys. 9);



Rys. 9. Podział obwodu magnetycznego elektromagnesu do oddzielania blach na proste bryły geometryczne

d) napięcie magnetyczne wzdłuż kolumn wzrasta prostoliniowo, przy czym zerowy potencjał magnetyczny występuje dla współrzędnej $z = -h$, maksymalny zaś — dla $z = 0$;

e) przenikalność magnetyczna blach w pakiecie równa jest przenikalności rdzenia elektromagnesu, przy czym przenikalność kolumn jest taka sama jak jarzma.

Schemat zastępczy uproszczonego obwodu magnetycznego podczas pracy elektromagnesu przedstawiono na rys. 10. Reluktancja wypadkowa obwodu magnetycznego

$$(4) \quad R_{\mu} = R_{\mu k} + R_{\mu j} + 2 R_{\mu d} + \frac{1}{k_r} R_{\mu r} \left(R_{\mu k} + 2 R_{\mu \delta} + \frac{R_{\mu 1} R_{\mu 2}}{R_{\mu 1} + R_{\mu 2}} \right) + \frac{1}{k_r} R_{\mu r} + R_{\mu r} + 2 R_{\mu \delta} + \frac{R_{\mu 1} R_{\mu 2}}{R_{\mu 1} + R_{\mu 2}}$$

przy czym

— reluktancja kolumny rdzenia

$$(5) \quad R_{\mu k} \approx \frac{H}{\mu_0 \mu_r c L}$$

— reluktancja jarzma

$$(6) \quad R_{\mu j} = \frac{b}{\mu_0 \mu_r c L}$$

— reluktancja szczeliny powietrznej pomiędzy biegunem elektromagnesu a pakietem blach

$$(7) \quad R_{\mu \delta} \approx \frac{\delta}{\mu_0 c L}$$

— reluktancja szczeliny pomiędzy jarzmem a kolumną (połączenie rozłączne śrubowe — ewentualne niedokładności pasowania i chropowatość powierzchni)

$$(8) \quad R_{\mu d} \approx \frac{\delta_{jk}}{\mu_0 c L}$$

— reluktancja pakietu blach dla strumienia magnetycznego w obrębie bryły półprścieniowej [4]

$$(9) \quad R_{\mu 1} = \frac{1 + \frac{c}{b}}{0,64 \mu_0 \mu_r L k_1}$$

— reluktancja pakietu blach dla strumienia magnetycznego w obrębie bryły półwałkowej [4]

$$(10) \quad R_{\mu 2} = \frac{1}{0,26 \mu_0 \mu_r L k_1}$$

— reluktancja dla strumienia rozproszenia jest reluktancją wypadkową połączenia równoległego reluktancji następujących brył: prostopadłościennych $R_{\mu 3}$, dwóch półwałkowych $R_{\mu 4}$ oraz dwóch półprścieniowych $R_{\mu 5}$ (rys. 9), tzn.:

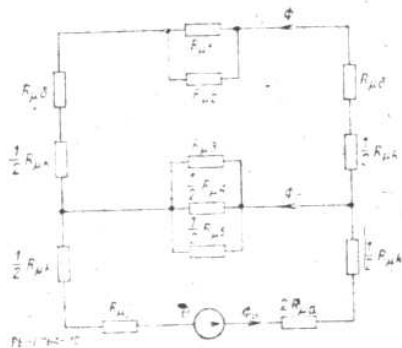
$$(11) \quad R_{\mu r} = \frac{0,25 R_{\mu 3} R_{\mu 4} R_{\mu 5}}{0,5 R_{\mu 3} R_{\mu 4} + 0,5 R_{\mu 3} R_{\mu 5} + 0,25 R_{\mu 4} R_{\mu 5}}$$

przy czym

$$(12) \quad R_{\mu 3} = \frac{b}{\mu_0 h L}$$

$$R_{\mu 4} = \frac{1}{0,26 \mu_0 h}$$

$$R_{\mu 5} = \frac{1 + \frac{c}{b}}{0,64 \mu_0 h}$$



Rys. 10. Schemat zastępczy uproszczony obwodu magnetycznego elektromagnesu do oddzielania blach stalowych

Współczynnik k_r występujący we wzorze (4) względnie nierównomierny rozkład napięcia magnetycznego wzdłuż kolumn. Na podstawie założenia d) współczynnik $k_r = 0,5$.

Grubość szczeliny δ_{jk} pomiędzy jarzmem a kolumną wynosi przeciętnie 0,05—0,1 mm. Współczynnik k_1 zapelnienia pakietu materiałem ferromagnetycznym — wzory (9), (10) — wynosi ok. 0,9 (założenie powierzchni blach). Wymiary a , b , c , h , H , L podano na rys. 8b.

Wymagana siła magnetomotoryczna elektromagnesu

$$(13) \quad \Theta = R_{\mu} \Phi_w$$

przy czym przez Φ_w oznaczono strumień magnetyczny wypadkowy.

Zgodnie ze schematem zastępczym obwodu magnetycznego (rys. 10)

$$(14) \quad \Phi_w = \Phi + \Phi_r = B_k c L$$

W celu wyznaczenia strumienia rozproszenia Φ_r korzysta się z pojęcia współczynnika rozproszenia strumienia, definiowanego jako

$$(15) \quad \sigma_r = \frac{\Phi_w}{\Phi} = 1 + \frac{\Phi_r}{\Phi} \approx 1 + \frac{1}{R_{\mu r}} \left(R_{\mu k} + 2 R_{\mu \delta} + \frac{R_{\mu 1} R_{\mu 2}}{R_{\mu 1} + R_{\mu 2}} \right)$$

Zatem strumień główny

$$(16) \quad \Phi = \frac{1}{\sigma_r} \Phi_w = B_k c L$$

przy czym B_k jest indukcją w kolumnie w pobliżu powierzchni biegunów. Indukcja ta jest w przybliżeniu równa indukcji w przekładce nieferromagnetycznej.

Strumień rozproszenia

$$(17) \quad \Phi_r = (\sigma_r - 1) \Phi$$

W projektowaniu uzwojenia korzysta się z zależności (13) oraz następujących znanych zależności:

$$(18) \quad d_1 = \sqrt{\frac{A k_u}{N}}$$

$$(19) \quad I = j s = j \frac{\pi d^2}{4}$$

$$(20) \quad \Theta = I N = \frac{U}{R} N$$

$$(21) \quad R = \frac{N l_{zsr}}{\gamma s}$$

w których: $A = b h$ — pole powierzchni przekroju podłużnego karkasu przeznaczone na uzwojenie; k_u — technologiczny współczynnik zapelnienia pola A uzwojeniem; d_1 — średnica drutu nawojowego w izolacji; d — średnica drutu nawojowego bez izolacji; s — przekrój drutu nawojowego; j — gęstość prądu w uzwojeniach; U — napięcie zasilające elektromagnes; R — rezystancja uzwojenia; l_{zsr} — średnia długość pojedynczego zwoju; γ — konduktywność przewodu nawojowego w stanie nagrzanym.

Stąd liczba zwojów przy zadanym napięciu i gęstości prądu

$$(22) \quad N = \frac{\gamma U}{j l_{zsr}}$$

Współczynnik k_u we wzorze (18) dla przewodu nawojowego o przekroju kołowym wynosi ok. 0,7. Na-

leży zaznaczyć, że wzór (18) wynika stąd, że przewód o przekroju kołowym zajmuje tyle miejsca co przewód o przekroju kwadratowym o boku d_1 . Gęstość prądu dla uzwojenia chłodzonego powietrzem, bez wymuszenia przepływu powietrza nie powinna przekraczać $3,5 \text{ A/mm}^2$.

Podczas pracy ciągłej elektromagnesu przyrost ustalony (maksymalny) temperatury średniej uzwojenia (ponad temperaturę otoczenia) wyraża się znanym wzorem przybliżonym

$$(23) \quad \theta_{\max} = \frac{RI^2}{k_N S}$$

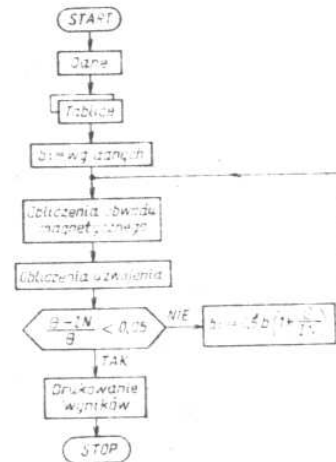
w którym k_N jest współczynnikiem Newtona oddawania ciepła na jednostkę powierzchni chłodzenia uzwojenia oraz jednostkę różnicy temperatur między uzwojeniem a otoczeniem. Dla przyrostu temperatury średniej uzwojenia ponad temperaturę otoczenia $\theta = 30^\circ\text{C}$ współczynnik $k_N = 9,5\text{--}11 \text{ W/(m}^2\text{ }^\circ\text{C)}$, dla $\theta = 80^\circ\text{C}$ współczynnik $k_N = 12\text{--}14 \text{ W/(m}^2\text{ }^\circ\text{C)}$.

Projektowanie elektromagnesu należy rozpocząć od przyjęcia wartości indukcji w tej części rdzenia, na której znajduje się uzwojenie, a więc indukcji B_1 w jarzmie. Indukcja B_1 powinna być bliska indukcji nasycenia materiału rdzenia, gdyż wtedy otrzymuje się maksymalne siły odpychania pomiędzy arkuszami blach. Dla tej indukcji B_1 , z charakterystyki magnosowania rdzenia, należy odczytać odpowiadającą wartość natężenia pola magnetycznego H_1 oraz wyznaczyć przenikalność magnetyczną względną μ_1 rdzenia i blach w pakiecie, korzystając z założenia upraszczającego e). Elektromagnes jest zasilany prądem stałym, nie występuje zatem zjawisko naskórkowości w rdzeniu oraz zmienność przenikalności magnetycznej w głąb rdzenia. Następnie wyznacza się reaktancję od (5) do (12), reaktancję wypadkową (4), strumień wypadkowy (14) oraz siłę magnetomotoryczną (13). Po obliczeniu obwodu magnetycznego należy zaprojektować uzwojenie.

Ograniczeniem podstawowym jest dopuszczalna gęstość prądu j . Przy zadanym napięciu U oraz konduktywności γ przewodu nawojowego wyznacza się liczbę zwojów N cewki elektromagnesu na podstawie zależności (22). Wymiary rdzenia narzucają średnią długość zwoju cewki, jak również pole przekroju A karkasu przeznaczone na uzwojenie. Średnicę d_1 przewodu nawojowego w izolacji obliczoną według wzoru (18) należy zaokrąglić do najbliższej średnicy znormalizowanej według RN-59/MPC-13079. Przepływ uzwojenia powinien być co najmniej równy sile magnetomotorycznej (13) koniecznej do wywołania wymaganego strumienia Φ_w w obwodzie magnetycznym. Jeżeli tak nie jest, należy zwiększyć pole powierzchni A . Zwykle w tym celu wystarczy zwiększyć tylko jeden wymiar rdzenia, np. b .

Przy wykorzystaniu elektronicznej techniki obliczeniowej, do pamięci maszyny cyfrowej oddzielnie wczytuje się dane indywidualne, tzn. napięcie zasilające, wymiary rdzenia c , L , h , b , grubość przekładki nieferromagnetycznej, grubość płyty izolacyjnej na karkas, indukcję B_1 w jarzmie, dopuszczalną gęstość prądu j w uzwojeniu, technologiczny współczynnik uzwojenia k_u , konduktywność γ przewodu nawojowego oraz dane tablicowe, tzn. charakterystykę mag-

nosowania oraz szereg znormalizowany przewodów nawojowych gołych i w izolacji. Algorytm obliczeń na maszynę cyfrową przedstawiono na rys. 11.



Rys. 11. Algorytm obliczeń na elektroniczną maszynę cyfrową elektromagnesu do oddzielania blach stalowych

Wnioski

Urządzenia do magnetycznego oddzielania blach stalowych stanowią nieodzowne oprzyrządowanie automatyzowanych linii technologicznych.

Warunkiem prawidłowej pracy urządzenia do magnetycznego oddzielania blach stalowych jest właściwy dobór grubości δ szczeliny nieferromagnetycznej. Stwierdzono doświadczalnie, że grubość ta jest odwrotnie proporcjonalna do grubości arkuszy oddzielanych blach.

Najlepszym uzwojeniem dla elektromagnesów byłoby uzwojenie foliowe. Zapewnia ono wysoki współczynnik technologiczny zapiełnienia pola powierzchni A — wg [5] $k_u = 0,95$, jak również umożliwia nawijanie uzwojenia na rdzeniu o długości L dochodzącej nawet do 1 m.

W celu oszczędności energii elektrycznej oraz minimalizacji temperatury pracy urządzenia, elektromagnesy powinny być załączane do sieci tylko podczas przechwytywania arkuszy blach przez przysawki pneumatyczne.

LITERATURA

- [1] Dąbrowski M.: Pola i obwody magnetyczne maszyn elektrycznych. Warszawa 1971 WNT.
- [2] Kącki E.: Równania różniczkowe cząstkowe w elektrotechnice. Warszawa 1971 WNT.
- [3] Bałagurow W. A., Gaitiejew F. F., Łarionow A. A.: *Przewodność elektryczna i magnetyczna metali*. Warszawa 1967 WNT.
- [4] Elbaum J.: Elektromagnesy przemysłowe. Warszawa 1964 WNT.
- [5] Jayawant B. V., Sinha P. K., Wheeler A. R., Whorlow R. J., Willisner J.: Development of 1-ton magnetically suspended vehicle using controlled d.c. electromagnets. *Proc. IEE* 1976 Vol. 123 No. 9 p. 941-948.