

ALIAJE METALICE CU PROPRIETATI MAGNETICE SPECIALE

1 - Caracteristici generale ale materialelor metalice magnetice

In functie de nivelul si de semnul susceptibilitatii magnetice, materialele sunt de trei categorii:

- **diamagnetice**
- **paramagnetice**
- **feromagnetice**

Materialele *diamagnetice* au o susceptibilitate magnetica negativa. Ele se magnetizeaza invers decat campul magnetic aplicat, slabindu-l pe acesta din urma. Din categoria diamagneticilor fac parte materialele semiconductoare (Si, Ge), dielectricele (polimerii), precum si o serie de metale cum ar fi Be, Cu, Ag, Pb.

Materialele *paramagnetice* sunt caracterizate de o magnetizare slaba sub influenta unui camp exterior. Din aceasta categorie fac parte K, Na, Al, precum si o serie de metale de tranzitie cum ar fi Mo, W, Ti.

Feromagneticele prezinta o susceptibilitate magnetica ridicata. Dintre toate metalele doar patru - Fe, Co, Ni, Gd - au proprietati feromagnetice ridicate. Aria din interiorul buclei histerezis a unui feromagnetic se caracterizeaza prin pierderi de histerezis sau remagnetizare. Principalele caracteristici ale materialelor feromagnetice sunt:

- inductia remanenta, B_r ;
- forta coercitiva H_c ;
- permeabilitatea magnetica, $\mu = B / H$;

Inductia remanenta se masoara in Tesla ($1 \text{ T} = 10^4 \text{ Ga}$) si se numeste inductie magnetica care ramane in proba dupa magnetizare si indepartarea campului magnetic.

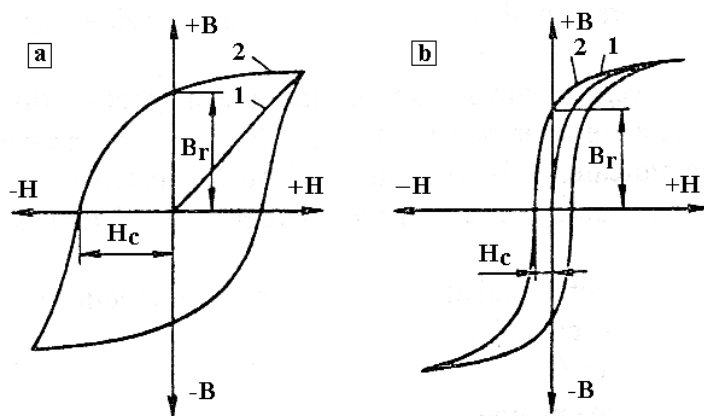
Fora coercitiva se masoara in A / m si masoara intensitatea campului magnetic de semn opus care trebuie aplicat probei pentru demagnetizarea acestuia.

Permeabilitatea magnetica μ , masurata in H / m , caracterizeaza intensitatea magnetizarii si se stabileste prin unghiul tangentei la curba de magnetizare primara $B = f(H)$.

In functie de forma curbei histerezis si de valorile caracteristicilor magnetice principale, se deosebesc aliaje magnetice dure si magnetice moi. Aliajele magnetice dure (figura 29, a) se

caracterizeaza printr-o curba histerezis larga, printr-o valoare ridicata a fortei coercitive H_c , fiind utilizate pentru fabricarea magnetilor permanenti.

Figura 29 - Dependenta dintre inductia magnetica B si intensitatea campului magnetic H : a - materiale magnetice dure; b- materiale magnetice moi; 1 - curba primara de magnetizare; 2 - curba histerezis de magnetizare;



Aliajele magnetice moi lucreaza in conditiile variatiei ciclice a campurilor magnetice si a unei remagnetizari permanente. Acestea, dimpotriva, prezinta o curba histerezis foarte ingusta, valori scazute ale H_c si se caracterizeaza prin pierderi mici prin histerezis (figura 29, b). Din aceasta ultima categorie de materiale se fabrica miezurile de transformator, de generatoare electrice si motoare electrice, precum si alte piese care sunt supuse in continuu la variatii de magnetizare.

2 - Materiale magnetice dure

Aceasta grupa de materiale trebuie sa prezinte valori ridicate ale fortei coercitive si inductiei remanente si sa pastreze timp indelungat un nivel ridicat al acestor forte.

Pentru magneti permanenti se utilizeaza oteluri cu continut ridicat de carbon ($\sim 1\% \text{ C}$), cu structura martensitica, aliate suplimentar cu crom ($3\% \text{ Cr}$), sau crom si cobalt (de exemplu, otelul cu $1\% \text{ C}$, $6\% \text{ Cr}$, $6\% \text{ Co}$). Elementele de aliere ridica caracteristicile magnetice, imbunatatind in acelasi timp stabilitatea mecanica si termica a magnetilor permanenti. Aceste oteluri sunt supuse normalizarii, calirii si revenirii joase.

Tabelul 22 - Compozitia chimica si proprietatile magnetice pentru cateva aliaje turnate de tip **alnico** utilizate pentru magneti permanenti

Aliajul	Compozitia chimica, % (Fara fier)					Proprietati magnetice		
	Ni	Al	Co	Cu	Alte elemente	BHmax. Kj/m ³	H _c , KA/m	Br, T
Str. columnara	12-13,5	6,8-7,2	30,5-31,5	3,0-3,5	3-3,5 Ti 0,9-1,1 Nb	32	92	1,15
Structura monocristalina	14-14,5	7,2-7,7	39-40,6	3-4	7-8Ti 0 1-0,2 Si	32	145	0,9
Str. columnara	14-14,5	6,8-7,2	34,5-35,5	3,3-3,7	0,8-1,1 Nb 4,7-4,5 Ti	36	110	1,02
Structura monocristalina	14-14,5	7-7,5	34-35	2,5-3	5-5,5 Ti 0 1-0 2 Si	40	115	1,05

Proprietati magnetice ridicate au aliajele Fe-Ni-Co, asa numitele aliaje de tip **alnico**, cateva exemple fiind indicate in tabelul 22.

Principalele dezavantaje ale aliajelor de tip alnico sunt duritatea foarte mare, fragilitatea si posibilitatea de prelucrabilitate foarte scazuta. De aceea, magnetii se obtin din aceste materiale prin turnare, prelucrandu-se ulterior prin slefuire. Tratamentul termic consta dintr-o calire de la 1250 - 1280°C cu viteza de racire corespunzatoare fiecarui aliaj in parte, urmata de o revenire la 580 - 600°C. Proprietatile magnetice pot fi imbunatatite daca tratamentul de calire se efectueaza intr-un camp magnetic puternic.

Pentru obtinerea de magneti cu dimensiuni medii dar exacte, din aliaje de tip alnico, se utilizeaza metodele metalurgiei pulberilor. Din punct de vedere al compozitiei chimice, aliajele sinterizate sunt asemanatoare cu cele obtinute prin turnare, se prelucreaza mai usor decat acestea, dar au proprietati magnetice ceva mai scazute.

Magnetii foarte buni, dar mult mai scumpi, se obtin din aliaje cu un continut mai mare de cobalt, cuprins intre 25 - 50%. Aceste aliaje sunt cunoscute sub denumirea de *permendur* (50%Fe, 50%Co), sau *perminvar* (45%Ni, 25%Co, 23%Fe). Aceste aliaje sunt aliate in plus cu mici adaosuri de Mo, V sau Cr.

De curand, a fost elaborat un aliaj *hiperco* 5-HS care contine 2% V, 48,5 %Co, restul Fe. Din grupa de aliaje Fe-Cr-Co face parte unul din cele mai noi aliaje, asa numitul *crovac*, capabil sa inlocuiasca aliajul alnico. In ultimii ani s-au elaborat noi materiale care utilizeaza pamanturi rare, precum samariul sau neodimul. Pentru imbunatatirea caracteristicilor magnetice, materialele magnetice dure trebuie sa aibe o structura neuniforma, caracterizata de tensiuni interne puternice si o granulatie foarte mica. Toate acestea se au in vedere in aplicarea metodelor metalurgiei pulberilor sau in cazul tratamentelor termice pentru obtinerea

magnetilor permanenti.

3 - Materiale magnetice moi

Principalele caracteristici cerute materialelor magnetice moi sunt valori scazute ale fortei coercitive si permeabilitate magnetica ridicata, pierderi scazute prin remagnetizare sau sub curenti de inductie. Pentru indeplinirea acestor cerinte, metalul trebuie sa aiba o structura omogena, sa nu prezinte impuritati sau incluziuni, granulatia sa fie mare, fara tensiuni interne care ar putea produce ecruisare.

Ca material magnetic moale se utilizeaza fierul pur, in care toate impuritatile, inclusiv carbonul, trebuiesc indepartate. Astfel, continutul de carbon nu trebuie sa depaseasca 0,025%. Pentru indepartarea ecruisarii si pentru obtinerea unei granulatii mari, metalul sub forma de tabla este supus unei recoaceri de temperatura inalta in atmosfera neoxidanta. Fierul tehnic pur se utilizeaza pentru confectionarea releelor, a miezurilor si electromagnetilor de curent continuu. Rezistenta electrica specifica scazuta ridica pierderile la remagnetizare. De aceea, utilizarea fierului tehnic pur se limiteaza doar la piese cu un curent magnetic constant.

O rezistenta electrica mai ridicata au otelurile electrotehnice cu carbon scazut, aliate suplimentar cu 0,8 - 4,8% Si. Siliciul formeaza cu fierul α o solutie solida aliata. Datorita unei rezistente electrice ridicate, scad pierderile prin curenti prin inductie. Introducerea siliciului creste permeabilitatea magnetica si, in acelasi timp, ca urmare a cresterii dimensiunii de graunte, scad pierderile prin histerezis. Pentru un continut de $\sim 4\%$ Si are loc insa fragilizarea otelului, fapt ce ingreuneaza simtitor obtinerea sa sub forma de tabla.

Otelul electrotehnic sub forma de tabla este supus, dupa laminare, unei recoaceri de temperatura inalta in vid sau in atmosfera de hidrogen la 1100-1200°C. Pentru micșorarea pierderilor termice, miezurile de transformator din otelul silicios se confectioneaza din tabla foarte subtire ($< 1\text{mm}$), cu straturi intermediare din materiale izolatoare.

Marcile de oteluri electrotehnice cu siliciu se deosebesc dupa structura (izotropa sau anizotropa) si dupa procedeul de laminare - la cald sau la rece. Astfel, se disting urmatoarele tipuri de asemenea oteluri:

- 1 - laminat la cald cu structura izotropa;
- 2 - laminat la rece cu structura izotropa;
- 3 - laminat la rece cu structura anizotropa avand orientarea cristalografica [100];

Din punct de vedere al proprietatilor magnetice, pentru otelurile avand aceeasi grosime a tablei si aceeasi compozitie chimica, pierderile specifice mai mari se inregistreaza pentru

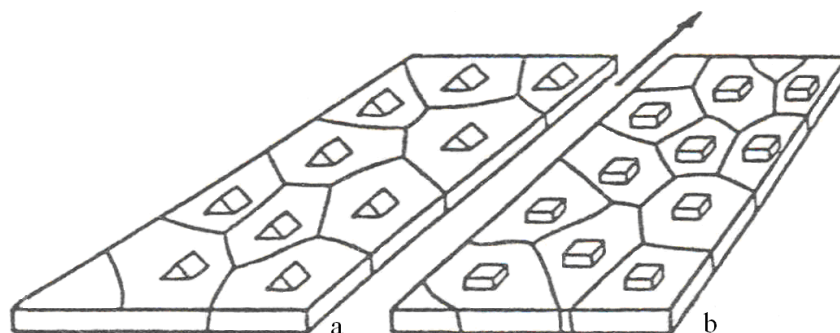
otelul laminat la cald cu structura izotropa, decat pentru otelul anizotrop laminat la rece.

Cristalele de fier α se caracterizeaza printr-o anizotropie accentuata a proprietatilor magnetice. Muchia cubului reprezinta axa de magnetizare cea mai usoara. Astfel, obtinerea unei structuri cristaline cu aceeasi orientare a tuturor cristalelor pe directia [100], cu alte cuvinte obtinerea unui otel texturat pe directia de laminare, sub forma de tabla, faciliteaza cresterea permeabilitatii magnetice, paralel cu aceasta directie.

In otelul laminat la cald cu continut ridicat de siliciu, se poate obtine o asemenea distributie a cristalelor astfel incat directia de laminare sa coincida cu directia (100) corespunzatoare muchiei celulei cubice elementare - directie de usoara magnetizare, iar directia transversala laminarii sa corespunda diagonalei [100] celulei elementare - vezi figura 30. Acest tip de textura se numeste textura tip Goss (Goss- Texture), dupa numele celui care a realizat-o.

Tehnologia actuala de fabricare a otelurilor electrotehnice de calitate superioara presupune obtinerea prin turnare a otelului cu un continut minim de carbon si un continut indicat de siliciu, laminarea tablei calde la o grosime de $\sim 2,5\text{mm}$, recoacere la 800°C , laminarea la rece la grosimi de $0,35\text{-}0,50\text{ mm}$. Pentru un grad de deformare la rece mai mare ($45\text{-}60\%$), otelul se textureaza in proportie de 90% , iar pentru deformatii de numai 10% , structura este slab texturata. Daca laminarea se efectueaza numai la cald, materialul nu se textureaza, iar proprietatile magnetice vor fi aceleasi atat in longitudinal cat si in transversal.

Figura 30 - Dispunerea celulelor elementare ale retelei cristaline intr-o textura tip Goss (a) si intr-o textura cubica (b) - sageata indica directia de laminare



Conductorii magnetici sub forma de table subtiri reprezinta principalele piese ale masinilor electrice precum motoarele electrice, generatoarele, transformatoarele.

Dupa operatiile tehnologice (matritare, debitare s.a.) necesare pentru fabricarea conductorilor magnetici, pentru evitarea ecrisarii si in vederea obtinerii unei granulatii mari,

se efectueaza recoaceri la 1100-1200°C in atmosfera de hidrogen. Utilizarea otelului electrotehnic texturat pentru fabricarea transformatoarelor, permite atat scaderea substantiala a pierderilor de putere, cat si micșorarea dimensionala a produsului.

Pentru lucrul in campuri magnetice slabe, de exemplu in sistemele de telecomunicatii, se utilizeaza materialul numit *permalloy* care este un aliaj Fe-Ni, cu un interval foarte mic de variatie al continutului de Ni (~79 %). Cateodata acesta se mai aliaza si cu Mo sau Cr, elemente care imbunatatesc deformabilitatea plastica a materialului si permeabilitatea magnetica. Aliajele permalloy cu continut ridicat de nichel (79% sau 81%) se caracterizeaza printr-o permeabilitate magnetica foarte ridicata in campuri slabe, valori care depasesc de zece ori permeabilitatea magnetica a fierului pur. Aliajele tip permalloy se obtin prin topire in vid, laminare in table si benzi, cu recoaceri ulterioare la 1100 - 1300°C, in vid sau hidrogen.

Pentru lucrul in campuri slabe (radio, telefon), a fost elaborat un inlocuitor pentru permalloy-ul scump - aliajul *Alsifer* - ce contine 5,4% Al, 9,6% Si, restul fier. Aliajul fiind deosebit de fragil, produsele din acesta se obtin sub forma de piese turnate cu pereti subtiri, sau prin metoda metalurgiei pulberilor.

Pentru tehnica de inalta frecventa sunt necesare materiale cu rezistenta electrica foarte mare ce pastreaza o permeabilitate magnetica ridicata, intr-un diapazon foarte larg de frecvente. Aceste cerinte sunt indeplinite de "ferite" (a nu se confunda cu ferita, solutia solida de carbon in fier), care sunt ceramice magnetice obtinute prin sinterizare, fiind formate din Fe_2O_3 si oxizii unor metale precum MnO, MgO, ZnO, LiO_2 . Practic, feritele sunt semiconductoare, rezistentele lor electrice fiind mai mari de 6-12 ori decat cele ale fierului. Datorita acestui fapt, chiar si pentru frecvente ridicate acestea au pierderi nesemnificative prin curenti Foucault.

In unele cazuri, pentru constructia masinilor electrice sunt necesare materiale paramagnetice. Pe post de inlocuitori pentru bronzuri, alame sau alte aliaje neferoase, se utilizeaza oteluri sau fonte paramagnetice care au o structura austenitica. Precum se stie, o asemenea structura se obtine printr-un continut ridicat de mangan si nichel - elemente gamagene.

4 - Aliaje electrotehnice

Otelurile si aliajele de acest tip se utilizeaza fie pentru transformarea energiei electrice in energie termica, fie invers, ca materiale cu rezistenta electrica minima.

Prima categorie de aliaje electrotehnice au o rezistenta electrica ridicata si se utilizeaza pentru confectionarea reostatelor sau a elementelor electrice de incalzire. Aceste materiale sunt solutii solide de concentratie ridicata, pentru care rezistenta electrica variaza dupa o curba cu maxim. Rezistenta electrica a aliajelor pe baza de solutie solida este cu mult mai mare decat rezistenta electrica a componentelor pure. Valorile acestei caracteristici n-ar trebui sa varieze cu temperatura. Ca aliaje reostatice se utilizeaza aliaje pe baza de cupru cu adaosuri de Ni, Mn, Zn. Aliajele Cu-Ni cu 40-50%Ni numite *constantan* prezinta valori maxime ale rezistentei electrice care practic nu variaza cu temperatura. Temperatura maxima de lucru pentru evitarea arderii, deci a oxidarii, nu trebuie sa depaseasca 500°C.

Rezistenta la oxidare determina, de altfel, durata de exploatare a elementelor de incalzire a cuptoarelor sau instalatiilor cu temperaturi de lucru ridicate. Pentru incalzitoare se utilizeaza oteluri feritice aliate cu crom si Al (*cromal*) si, de asemenea, aliaje pe baza de Cr si Ni, de exemplu *nicrom* (20%Cr, 80%Ni). Temperatura maxima de lucru este in jur de 1150°C. Incalzitoarele cu Mo, desi au o temperatura de exploatare mai ridicata (~1500°C), datorita refractaritatiei mai scazute, pot lucra numai in vid sau in atmosfera de gaze inerte.

Pentru confectionarea de termocuple, este necesara o sarma cu refractaritate ridicata, dar si cu o variatie liniara a temperaturii in functie de puterea electrica. Ca material pentru electrozii termocuplelor se utilizeaza o sarma din platina (un electrod) si un aliaj de platina cu 10% Ro. Asemenea termocuple se pot utiliza pentru masurarea temperaturilor ridicate, mergand pana la temperatura otelului lichid.

Pentru masurarea de temperaturi mai scazute (<1000°C) se utilizeaza aliaje de Ni cu 2% Al (*alumel*) sau cu 10%Cr (*cromel*).

Ca materiale conductoare, se utilizeaza metale pure si nu aliaje - Cu, Al, mai rar Ag. Metalele conductoare trebuie sa contina o cantitate minima de impuritati, deoarece prezenta acestora creste rezistenta electrica.