فصل اول : اصول طراحی ماشین های الکتریکی

عوامل طراحی

مهندسی به معنی کاربرد اقتصادی اصول علمی برای طرح مسایل عملی

حذف مساله هزینه و دوام ⟸ طرح فاقد ارزش مهندسی

- ✓ اهمیت کم اثر الکترواستاتیکی (الکتریسیته ساکن) در ماشینهای معمولی به خاطر پایین بودن سطح ولتاژ
- ✓ درنظر گرفتن اثر مزبور در طراحی مولدهای فشارقوی و ترانسفورماتورها مخصوصاً در محاسبات عایقی

بخش های مختلف ماشین :

۱- مدار مغناطیسی یا مسیر شار
۲- مدار الکتریکی یا سیم پیچی
۳- عایق
۴- مدار حرارتی
۵- اجزاء مکانیکی

بررسی کمیتهای مختلف الکتریکی، مغناطیسی، حرارتی و مکانیکی در مسایل طراحی ماشین

ایجاد محدودیت در طراحی به خاطر عوامل زیر :

۱- اشباع : منجر به افزایش تحریک و افت آهن
۲- افزایش درجه حرارت : آسیب رساندن به عایق ماشین و کاهش عمر ماشین
۳- عایق بندی : شکست عایق به خاطر شدت میدان الکتریکی زیاد
محافظت عایق دربرابر خطرات مکانیکی و حرارتی
۴- بازده : استفاده از مواد بیشتر برای طراحی یک ماشین پربازده
که منجر به افزایش هزینه ساخت

۵- طرح مکانیکی : مواجه شدن اجزاء ماشین با تنش های مکانیکی بخصوص در ماشین های سرعت زیاد
۶- کموتاسیون : محدود شدن توان خروجی به خاطر کموتاسیون در ماشینهای کموتاتوری
۷- ضریب توان : افزایش جریان در ضریب توان کم برای یک قدرت معین

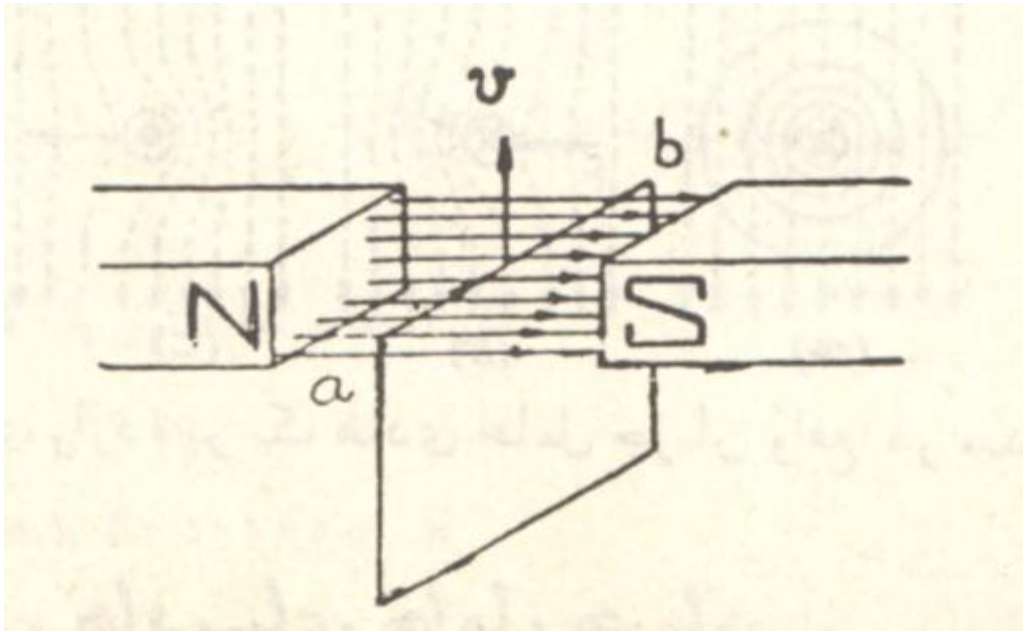
۱-۲- اصول طراحی

- ✓ وابستگی طراحی ماشین به تجربیات به دست آمده در این زمینه به خصوص برای طراحی عایق بندی، تهویه و اجزاء مکانیکی
- ✓ تغییر مقادیر استفاده شده برای رسیدن به یک طرح رضایت بخش (تکرار مراحل طراحی)
- ✓ امکان طراحی مدارهای الکتریکی و مغناطیسی براساس قوانین علمی

۱-۲-۱- قانون القای فارادی

القاء ولتاژ درون یک حلقه با عبور شار متغیر با زمان : $e = -\frac{d\varphi}{dt}$

- ✓ تحقق شار متغیر با تغییر زمانی شار یک پیچک ساکن یا حرکت یک پیچک ساکن درون شار ثابت یا هردو
- ✓ علامت منفی به خاطر قانون لنز



نیروی محرکه الکتریکی القایی در یک هادی متحرک درون میدان مغناطیسی

ولتاژ القایی در هادی متحرک درون میدان مغناطیسی :

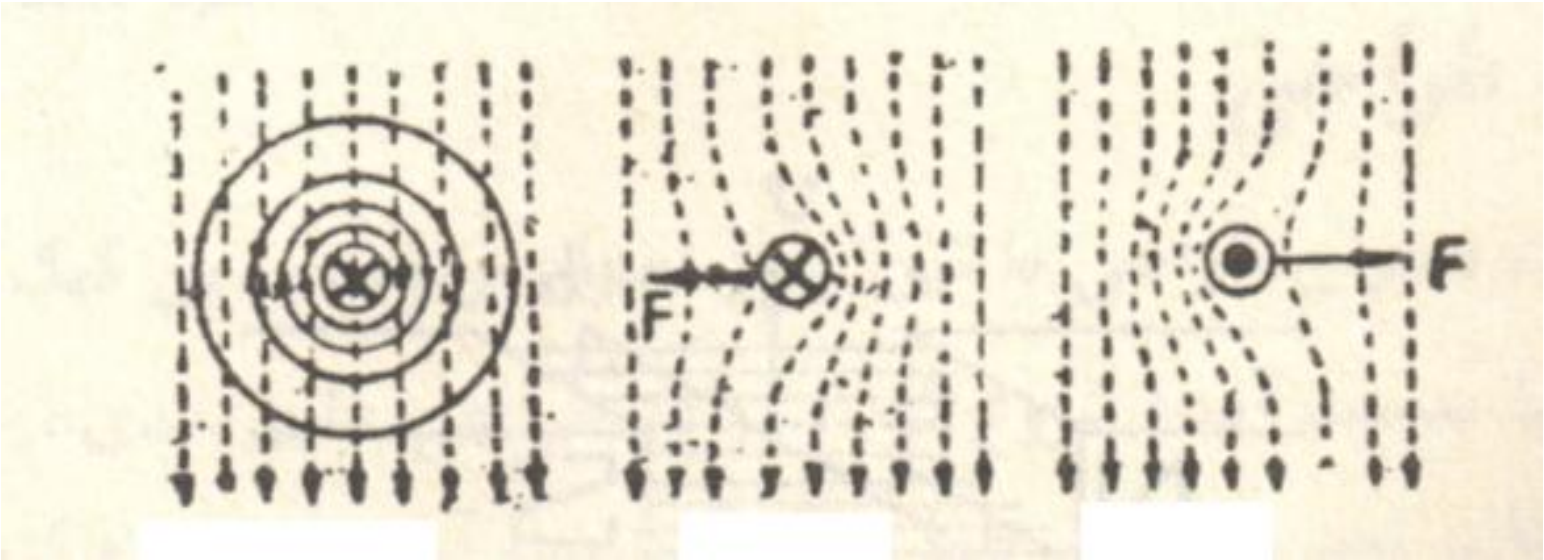
$$e = (V \times B).l$$

V : بردار سرعت ، B : بردار چگالی شار l : بردار طول

۱-۲-۲- قانون بیوساوار

$$F = i(l \times B)$$

i : دامنه جریان ، B : بردار چگالی شار ، l : بردار طول



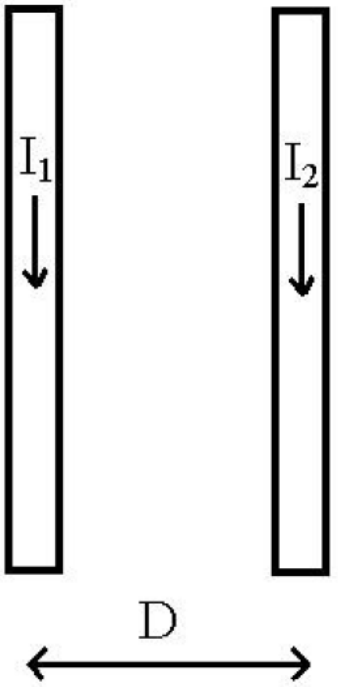
نیروی وارده بر یک هادی حامل جریان در میدان مغناطیسی

۱-۳-۱- نیروی بین هادی های حامل جریان

$$B = \mu_{\circ} H = \mu_{\circ} \frac{I}{2\pi D}$$

$$F = Bil = \mu_{\circ} \frac{I_1}{2\pi D} I_2 \times 1$$

$$= \frac{\mu_{\circ}}{2\pi D} I_1 I_2$$



نیرو از نوع دافعه در صورت هم‌جهت بودن جریانها و
از نوع جاذبه برای جریانهای در خلاف جهت یکدیگر

مثال ۱-۱- یک هادی به طول 50 cm حامل جریان 100 A می باشد و عمود بر میدان مغناطیسی به چگالی شار 0.8 T قرارگرفته است. مطلوب است محاسبه :

۱- نیروی مکانیکی اعمال شده

۲- قدرت لازم برای چرخش هادی با سرعت 40 m/s

۳- نیروی محرکه الکتریکی تولیدی در هادی

۴- قدرت الکتریکی تولیدی

نیروی مکانیکی : $F = B\,i\,l = 0.8 \times 100 \times 0.5 = 40\ N$

قدرت مکانیکی : $P = F \times v = 40 \times 40 = 1600\ W$

ولتاژ تولیدی : $e = B\,l\,v = 0.8 \times 0.5 \times 40 = 16\ V$

قدرت الکتریکی : $Pe = e \times i = 16 \times 100 = 1600\ W$

فصل دوم : مواد

۲-۱- مواد هادی :

- ✓ مواد با هدایت بالا برای ساختن انواع سیم پیچی ها و شبکه های انتقال انرژی
- ✓ مواد با مقاومت زیاد برای وسایل پرمقاومت و گرم کننده

۲-۲- مواد با هدایت بالا :

مشخصات مواد با هدایت بالا :

- ❑ حداکثر رسانایی ممکن (حداقل مقاومت)
- ❑ حداقل ضریب ازدیاد مقاومت حرارتی
- ❑ مقاومت مکانیکی مناسب (مقاومت کششی و قابلیت انعطاف)
- ❑ قابلیت نورد شدن برای ساخت سیم های کم مقطع
- ❑ قابلبت جوشکاری و لحیم کاری
- ❑ مقاومت دربرابر فساد و زوال

تغییر مشخصات مزبور با هدف طرح

برای مثال اهمیت کمتر مقاومت کششی و نیاز به مقاومت مکانیکی بالا و قابلیت انعطاف خوب در ساخت سیم پیچ ماشین الکتریکی با حداقل مقاومت الکتریکی

۲-۱-۱- مس

پراستفاده ترین هادی الکتریکی

مشخصات :

- هدایت الکتریکی بالا
- مشخصات مکانیکی عالی
- مصون از اکسیداسیون و فساد با شرط بازنگری و نگهداری
- قابلیت نورد و کشش به خاطر خاصیت چکش خواری و نرم بودن آن
- قابلیت لحیم کاری به سادگی

۲-۲-۲- آلومینیم

مورد استعمال زیاد به دلایل اقتصاد مهندسی

	Unit	Aluminum (Al)	Copper (Cu)
چگالی (جرم مخصوص)	gr/cm^3	2.7	8.94
نقطه ذوب	°C	657	1083
هدایت حرارتی	$W/m^3/°C$	200	350
مقاومت مخصوص	$\Omega/m/mm^2$	0.0287	0.01724
ضریب ازیاد حرارتی مقاومت	$\Omega/°C$	0.035	0.00393

نرم تر از مس ⟸ امکان نورد به صورت ورق های نازک

عدم امکان ساخت سیم های نازک به دلیل استقامت مکانیکی کم

امکان جایگزینی آلومینیم بجای مس با یکسان سازی مقاومت الکتریکی آنها :

مقاومت مخصوص آلومینیم ۶/۱ برابر مس ⟸ افزایش سطح مقطع آلومینیم به میزان 60%

جرم مخصوص مس ۲/۳ برابر آلومینیم ⟸ وزن آلومینیم 48% مس

مساله محدویت فضای سیم پیچی برای هادی آلومینیمی به عنوان یک اشکال

پذیرش آلومینیم ⟸ کاهش هزینه در ترانسفورماتور های کوچک
ولی افزایش ابعاد و هزینه در ترانسهای بزرگ

ساخت ظروف ترانس به خاطر سبکی آلومینیم

مورد استفاده زیاد آلومینیم در ساخت رتور قفس سنجابی

- ✓ اکسیدشدن سریع آلومینیم در شرایط عادی و تشکیل لایه AL_2O_3 روی آن
- ✓ جلوگیری از اکسیدشدن بیشتر به خاطر لایه مزبور
- ✓ کاربرد لحیم های آهنی ماوراء یونی برای آلومینیم به خاطر غیرعملی بودن استفاده از روش های معمولی لحیم کاری به دلیل نقطه ذوب بالای آلومینیم (۲۰۰۰ درجه سانتی گراد) و سرعت زیاد اکسید شدن آن

۲-۲-۳- آهن و فولاد

- ✓ کاربرد آلیاژهای فولاد با کرم و آلومینیم در ساخت رئوستای راه انداز جایی که سبکی ، استقامت مکانیکی و انتقال حرارت دارای اهمیت است
- ✓ استفاده از آهن ریخته ای در سیم های مقاومت راه انداز موتورهای بزرگ

۲-۲-۴- آلیاژهای مس

۱- برنز (مفرغ) : ترکیب مس با قلع ،کادیم یا برلیم

مقاومت مکانیکی بالا ولی مقاومت مخصوص زیاد

الف- مس با برلیم

افزودن 1-2.5% برلیم به مس ⟸ آلیاژ محکم برای نورد

کاربرد : فنرهای حامل جریان ، کنتاکتهای لغزان ، تیغه های کلیدهای چاقویی

ب- مس با کادیم

افزودن 1.1% کادیم به مس ⟸ امکان ساخت سیم های سخت تر ، محکمتر دارای مقاومت کششی بیشتر

۲- برنج : شامل 66% مس و 34% روی

- ❑ مقاومت مکانیکی و سائیدگی بزرگتر نسبت به مس
- ❑ هدایت کمتر
- ❑ قابلیت کشش ، جوشکاری و لحیم کاری بهتر

۲-۳- مواد با مقاومت مخصوص بالا

- ✓ کاربرد در تبدیل انرژی الکتریکی به حرارتی
- ✓ آلیاژ مواد مختلف : نیکل ، نقره و آهن

۱- مواد به کاررفته در دستگاههای اندازه گیری ظریف و دقیق و مقاومت های استاندارد و جعبه مقاومت

مشخصه های اصلی این مواد :

- ❑ داشتن حداقل ضریب تغییر مقاومت در اثر درجه حرارت
- ❑ پایین بودن ضریب نیروی محرکه الکتروحرارتی و درنتیجه کاهش خطا در اندازه گیری
- ❑ اهمیت کمتر هزینه در ساخت این مواد

منگانین به عنوان مهمترین ماده مورد استفاده برای این منظور :

86% مس 12% منگنز 2% نیکل

۲- مواد مورد استفاده برای رئوستا

مشخصات اصلی این مواد :

- ❑ اهمیت زیاد هزینه به دلیل حجم بالای مواد مصرفی
- ❑ تحمل درجه حرارت بالا
- ❑ اهمیت کم ضریب نیروی محرکه الکتروحرارتی

کنستانتان به عنوان مهمترین آلیاژ این دسته

60-65% مس 35-40% نیکل مقدار کمی آهن یا ماده مغناطیسی

۳- مواد مورد استفاده در وسایل حرارتی

- ✓ تحمل درجه حرارت بسیار بالا ⟸ کاربرد در کوره های الکتریکی و وسایل حرارتی
- ✓ داشتن نقطه ذوب بالا و ضد فساد و زوال
- ✓ کاربرد طلای سفید بخاطر نقطه ذوب بالا در کوره های الکتریکی آزمایشگاهی
- ✓ نیکروم : آلیاژ نیکل ،کرم و آهن

تحمل درجه حرارت بالا به دلیل وجود کرم

۲-۴- مواد کربنی (زغالی)

هدایت مخصوص کمتر کربن نسبت به فلزات

کاربرد در ساخت جاروبکهای ماشینهای الکتریکی (اغلب گرافیتی)

بزرگتر کردن ابعاد بلور در گرافیت با اعمال حرارت ← بالا رفتن هدایت الکتریکی جاروها و کاهش سختی

لزوم داشتن سطحی صاف در جاروها به خاطر جلوگیری از سائیده شدن

نوع جارو	سختی Kg/mm^2	مقاومت مخصوص $\Omega/m/mm^2$	سرعت محیطی = 25 m/s چگالی جریان = 20 A/cm^2 فشار = 800 Kg/m^2		
			افت ولتاژ تماسی	فرسایش در ۲۰ ساعت به mm	حداکثر اصطکاک
گرافیت	8 - 22	8 - 28	0.6 - 1.8	0.4 - 0.5	0.23 - 0.3
الکتروگرافیت	3 - 50	6 - 50	1.1 - 2.5	0.4 - 0.6	0.23 - 0.3
کربن گرافیت	18 - 42	40 - 57	1.5 - 2.5	0.1	0.3
مس گرافیت	4 - 25	0.03 - 15	0.1 - 2.2	0.15 - 0.8	0.2 - 0.26

مشخصات انواع جاروهای کربنی

۲-۵- فوق هادی ها

عدم استفاده از آهن به عنوان مدار مغناطیسی ← پایین بودن چگالی شار (0.1 T)

← کم بودن نیرو یا گشتاور تولیدی در واحد حجم ماشین

نیاز به برقراری جریان بزرگ در هادی برای تولید میدان مغناطیسی قوی

روش های مختلف تولید جریان بزرگ :

- انتخاب هادی با سطح مقطع بزرگ با استفاده از چگالی جریان کوچک

← بزرگ شدن ابعاد ماشین

- انتخاب هادی با سطح مقطع کوچک با استفاده از چگالی جریان بزرگ

← افزایش مقاومت سیم و تلفات مسی و بالارفتن درجه حرارت

مواد فوق هادی : مواد با مقاومت مخصوص قابل اغماض

درجه حرارت انتقالی : درجه حرارت تبدیل فلز به فوق هادی

فلزات هادی خوب در درجه حرارت دارای خواص بد فوق هادی (مس ، طلا و نقره)

فلزات هادی بد در درجه حرارت دارای خواص خوب فوق هادی

درجه های انتقالی مواد مختلف

فلزات	درجه حرارت انتقالی (°K)	ترکیبات	درجه حرارت انتقالی (°K)
آلومینیم	1.18	Pb_2Au	7
کادیم	0.52	SnSb	3.9
ایندیم	3.41	Cu_2S	1.6
سرب	7.19	MoN	12
جیوه	4.15	ZrC	2.4
قلع	3.72		
اورانیم	0.8		
روی	0.86		

- ✓ از بین رفتن خاصیت فوق هادی در حضور میدان مغناطیسی قوی (میدان مغناطیسی بحرانی) یا چگالی جریان بالا (چگالی جریان بحرانی)
- ✓ پایین آمدن میدان مغناطیسی بحرانی و چگالی جریان بحرانی با افزایش دما
- ✓ برگشتنی بودن انتقال از حالت فوق هادی به هادی
- ✓ امکان انتخاب چگالی جریان زیادتر با معرفی مواد فوق هادی
- ساخت ماشین با ابعاد کوچکتر در زیر درجه حرارت انتقالی
- ✓ تولید چگالی شار 10 T یا بیشتر با استفاده از سیم پیچی های فوق هادی خنک شونده به طور فوق العاده ای
- ✓ کوچکتر شدن ابعاد ماشین ها با پیشرفت فوق هادی ها

۲-۶- مواد مغناطیس

- ❑ مواد فرومغناطیس : دارای ضریب نفوذپذیری مغناطیسی نسبی خیلی بزرگتر از واحد
- ❑ مواد غیرمغناطیسی : دارای ضریب نفوذپذیری مغناطیسی نسبی کمی بزرگتر از واحد
- ❑ مواد ضدمغناطیسی : دارای ضریب نفوذپذیری مغناطیسی نسبی کمی کمتر از واحد

- ✓ وابستگی ضریب نفوذپذیری مغناطیسی به نیروی مغناطیس کنندگی در مواد فرومغناطیس و مستقل بودن آن در مواد غیرمغناطیسی و ضدمغناطیسی

قرارگرفتن ماده فرومغناطیس درون میدان مغناطیسی ⟵ اعوجاج قابل ملاحظه میدان و تولید نیروی زیاد

- ✓ مواد فرومغناطیس : آهن، نیکل و کبالت و آلیاژهای آنها

۲-۷- انواع مواد مغناطیسی

۱- مواد مغناطیسی نرم
۲- مواد مغناطیسی سخت

❖ مواد مغناطیسی نرم : دارای حلقه هیسترزیس باریک ⟸ تلفات هیسترزیس پایین

کاربرد : استفاده در میدانهای متناوب ، ساختمان ماشینهای الکتریکی ، ترانسفورماتورها و ...

❖ مواد مغناطیسی سخت : دارای حلقه پسماند پهن

کاربرد در ماشینهای الکتریکی با قدرت کم و وسائلی که به آهنربا نیاز دارند

۲-۸- مواد مغناطیسی نرم

- ✓ مواد هسته یکپارچه
- ✓ ورقها و نوارهای آهن
- ✓ آلیاژهای مخصوص

۲-۸-۱- مواد هسته یکپارچه

کاربرد در اجزاء مدارهای مغناطیسی حاوی شار دائمی : رله ها و بدنه قطبهای ماشین DC

مواد اصلی : آهن نرم، ورق فولاد، فولاد ریخته ای، آهن ریخته ای و فروکبالت

۱- آهن، فولاد کم کربن و فولاد سیلیسیم دار

- ✓ بالارفتن شدید نیروی محرکه مغناطیسی مخالف به خاطر وجود کربن
  ⟸ افزایش تلفات هیسترزیس
- ✓ افزایش اندازه دانه ها در بلور به خاطر وجود اکسیژن در آهن سیلیسیم
  ⟸ اصلاح خاصیت نرمی مغناطیسی
- ✓ مقاومت مخصوص پایین در فولاد کم کربن
  ⟸ افزایش تلفات فوکو در تحریک جریان متناوب

۲- آهن ریخته ای

- ❑ دارای ضریب نفوذ پذیری مغناطیسی نسبی پایین
- ❑ کاربرد در بدنه ماشین وقتی قیمت و وزن ماشین اهمیت کمتری دارد

۳- فولاد ریخته ای

کاربرد در بخش هایی از مدار مغناطیسی حاوی شار دائم نیازمند استقامت مکانیکی بالا

کربن 4% سیلیسیم 0.2% منگنز 2.5% فسفر 0.08% گوگرد 0.05%

۴- فروکبالت

- ✓ دارابودن ضریب نفوذپذیری مغناطیسی بالا در مقادیر بالای چگالی شار
- ✓ چگالی شار اشباع 10% بالاتر از آهن خالص
- ✓ کاربرد در کفش قطبها حاوی چگالی شار زیاد

۲-۸-۲- ورق فولاد

۱- فولاد جهت دار شده

- ✓ اضافه کردن سیلیسیم

کاهش تلفات پسماند

افزایش مقاومت مخصوص و درنتیجه کاهش تلفات جریان گردابی

- ✓ مقدار مرسوم سیلیسیم در فولاد 4.5% - 0.2
- ✓ ترد و شکننده شدن فولاد دارای سیلیسیم بیشتر از 5%

استفاده از قسمتهای آهنی در چگالی شار بالا ← بیشتر شدن نسبت توان خروجی به وزن

↓

وجود سیلیسیم عیب است ← مواد مغناطیسی بکاررفته بایستی دارای چگالی شار اشباع بالاتری باشند

- ✓ استفاده از فولاد کم سیلیسیم دار در ماشینهای گردان
- ✓ کم اهمیت بودن تلفات آهن در ماشینهای کوچک ← استفاده از مواد با 0.5% سیلیسیم
- ✓ نیاز به حداکثر بازده در مولدهای توربینی ← استفاده از ورق آهن پرسیلیسیم به منظور کاهش تلفات آهن

۲- ورق فولاد نورد شده سرد با دانه های جهت یابی شده

- ✓ اختصاص سهم بزرگی از نیروی محرکه مغناطیسی در یک ماشین گردان به فاصله هوایی
- ✓ بزرگ شدن نیروی محرکه مغناطیسی برای قسمت های آهنی درصورت به اشباع رفتن آهن

⇐ نیاز به چگالی شار بالا برای کوچک کردن ابعاد ماشین

- ✓ انتخاب ماده ای خاص برای قسمت های آهنی برای داشتن چگالی شار بالا بدون نیاز به نیروی محرکه مغناطیسی بزرگ

شکل گرفتن بلورها به صورت نامنظم در ورقهای نوردشده گرم ⇐ کم بودن ضریب نفوذپذیری مغناطیسی

- ✓ مقدم بودن جهت نورد شدن ماده به طور مغناطیسی بر دیگر جهات

⇐ شکل گرفتن ورق فولاد نورد شده سرد با دانه های جهت داده شده

✓ مناسب برای استفاده در ترانسفورماتورها و مولدهای توربینی بزرگ

✓ هزینه بالاتر فولاد نورد شده سرد

۲-۸-۳- آلیاژهای مخصوص

✓ استفاده از آلیاژهای مخصوص برای داشتن چگالی شار بالا در میدانهای ضعیف

۱- مومتال : 76% نیکل ، 4% مولیبدن ، مس ، آهن و منگنز

✓ دارای مقاومت مخصوص الکتریکی بالا ⟸ تلفات جریان گردابی کم

۲- پرمالوی : (Permalloy)

الف - پرمالوی پر نیکل (بالای 80% نیکل)

- ❑ دارای ضریب نفوذپذیری مغناطیسی نسبی حداکثر بالا و مقاومت مخصوص بالا
- ❑ کاربرد در تقویت کننده های مغناطیسی ، ترانسفورماتورهای جریان ضعیف

ب- پرمالوی کم نیکل (38-50% نیکل) به اضافه منگنز ، سیلیکن و کرم

- ❑ کمتر بودن ضریب نفوذپذیری مغناطیسی آن نسبت به پرمالوی پرنیکل
- ❑ بیشتر بودن مقاومت مخصوص
- ❑ کاربرد در هسته های ترانسفورماتورها و پیچکهای القایی

۳- سوپرمالوی

- ✓ آلیاژ آهن ، نیکل ، مس و مولیبدن
- ✓ دارای ضریب نفوذپذیری مغناطیسی نسبی ابتدایی بالا

۴- پرمیندار

- ✓ آلیاژ آهن ، نیکل و کبالت
- ✓ دارای ضریب نفوذپذیری مغناطیسی مستقل از شدت میدان مغناطیسی
- ✓ هزینه بالا و پیچیدگی فرآیند ساخت

۵- پرمندور (Permendur)

49% کبالت 2% واندیم 49% آهن

- ✓ کاربرد درهسته های نیازمند تولید چگالی شار قوی در فاصله هوایی همچون اسیلوگراف (نوسان نگار) و میکروفن
- ✓ قابلیت ایجاد چگالی شار بزرگتری نسبت به فولاد

۲-۹- مواد عایق

- ✓ مواد طبیعی : کاغذ پارچه پارافین جامد و صمغ های طبیعی
- ✓ مواد عایق غیر آلی : شیشه ، سرامیک ، میکا

ترکیبات آلی سیلیسیم مصنوعی : ترکیباتی جدید با خواصی بین مواد آلی و غیرآلی

۲-۱۰- خواص الکتریکی مواد عایق

- ✓ خواص مشخص کننده ماده به عنوان یک عایق :
  - ❑ مقاومت مخصوص
  - ❑ استقامت الکتریکی یا ولتاژ شکست
  - ❑ نفوذپذیری الکتریکی
  - ❑ استقامت دربرابر رطوبت ، اثرات شیمیایی و حرارت
  - ❑ خواص مکانیکی ماده
- ✓ تغییر خواص الکتریکی با عوامل مختلف :

۱- ابعاد نمونه مورد آزمایش
۲- مقدار موثر ، شکل موج و فرکانس ولتاژ اعمالی
۳- درجه حرارت و مقدار رطوبت
۴- فشار مکانیکی روی نمونه

- ✓ انتخاب اطلاعات به دست آمده برای خواص الکتریکی از روی تجربه های آزمایشگاهی روی نمونه به عنوان مقادیر اولیه و درنظرگرفتن ضریب اطمینان بزرگ برای اثرات رطوبت ، حرارت ، تنش های مکانیکی و شدت میدان الکتریکی غیرعادی ناشی از امواج ، ناصافی ها و لبه های تیز با شدت میدان عملی شدید

۲-۱۱- درجه حرارت و مواد عایق

- ✓ اتلاف انرژی در هنگام تبدیل انرژی در ماشین الکتریکی

گرم شدن بخشهای فعال ماشین (قسمتهای آهنی حاوی شار و هادی حامل جریان)

پایین آمدن راندمان

- ✓ اهمیت تلفات انرژی به خاطر اثر آن روی افزایش درجه حرارت و تخریب عایق بکاررفته در ماشین
- ✓ وابستگی تلفات به خروجی ماشین

تعیین بار حداکثر ماشین با توجه به درجه حرارت حداکثر مجاز مواد عایقی

- ✓ طول عمر عایق گروه A در درجه حرارت های مختلف همچون یک مثال :
  - در درجه حرارت ۹۰ درجه سیلسیوس حدود ۲۳ سال
  - در درجه حرارت ۹۷ درجه سیلسیوس حدود ۱۲ سال
  - در درجه حرارت ۱۵۰ درجه سیلسیوس حدود ۴۷ روز
  - در درجه حرارت ۲۰۰ درجه سیلسیوس حدود ۱۰ ساعت
- ✓ مسایل کم اهمیت تر دیگر ناشی از افزایش درجه حرارت :

  اثر مخرب آن روی شرایط کار اجزاء دیگر ماشین مثل ابعاد کموتاتور ، لحیم بین کموتاتور و سرهای سیم پیچی ، یاطاقانها
- ✓ سادگی طراحی ماشین با بارگیری الکتریکی و مغناطیسی کم

  ماشین طراحی شده سنگین و گران قیمت
- ✓ حل صحیح مسئله : ساخت ماشین با استفاده بهینه از مواد بکاررفته برای رسیدن به حداکثر بازده و طول عمر کافی

- ✓ طراحی مناسب سیستم تهویه به منظور انتقال حرارت تولیدی
- ✓ تعیین درجه حرارت نهایی ماشین هنگام برابری حرارت تولیدی ناشی از تلفات با مقدار حرارت انتقالی
- ✓ وابستگی درجه حرارت ماشین به سیستم خنک کردن و تهویه ماشین
- ✓ رسیدن به توان خروجی زیادتر با وزن معینی مواد به وسیله اصلاح سیستم تهویه

⇐ اهمیت زیاد مدلسازی حرارتی ماشین در طراحی ماشین

- ✓ طراحی ماشین دارای بازده حداکثر و تحمل درجه حرارت بالا با حداقل کردن هزینه ساخت و وزن ماشین

۲-۱۲- تقسیم بندی مواد عایقی

- درجه حرارت تا ۹۰ درجه سیلسیوس گروه Y
- درجه حرارت تا ۱۰۵ درجه سیلسیوس گروه A
- درجه حرارت تا ۱۲۰ درجه سیلسیوس گروه E
- درجه حرارت تا ۱۳۰ درجه سیلسیوس گروه B
- درجه حرارت تا ۱۵۵ درجه سیلسیوس گروه F
- درجه حرارت تا ۱۸۰ درجه سیلسیوس گروه H
- درجه حرارت بالاتر از ۱۸۰ درجه سیلسیوس گروه C

✓ گروه Y : پنبه ، ابریشم و کاغذ غیر آغشته

نامناسب برای ماشین های الکتریکی به خاطر فاسد شدن سریع و جاذب رطوبت

✓ گروه A : مواد گروه Y آغشته به روغن

✓ گروه E : لعابهای مصنوعی ورقهای کاغذ با چسب فرمالوئید

- ✓ گروه B : میکا ، الیاف شیشه ای (فیبرگلاس) ، پنبه نسوز با چسب مناسب
- ✓ گروه F : مواد گروه B با چسبی که دارای پایداری حرارتی بالاست
- ✓ گروه H : مواد گروه B با صمغ سیلیسیم
- ✓ گروه C : میکا ، چینی ، شیشه ، کوارتز با یا بدون چسب غیرآلی

۲-۱۳- موارد استعمال مواد عایق

۲-۱۳-۱- مواد عایق برای سیم ها

ویژگی های این نوع عایق:

قابلیت انعطاف ، ظرافت ، سرعت عمل ، استقامت در مقابل تنش ها و خراشیدگی در حین فرآیند سیم پیچی

۱- پوشش لعاب : لایه نازک لعاب مصنوعی

✓ فرآیند ساخت :

کشیدن سیم از داخل لاک و عبور از داخل محفظه گرم ← شکل گرفتن پوشش لاک به صورت لایه سفت و ارتعاجی با استقامت عایقی بالا

✓ مورد استفاده برای موتورهای کوچک و دستگاههای صنعتی

ضخامت پوشش لعاب : 0.025 – 0.075 mm

به دست آوردن ضریب فضای بزرگی برای پیچک ←

۲- پوشش پنبه

✓ فرآیند ساخت : پیچیدن چند رشته نخ به صورت مارپیچ به کمک ماشین حلاجی روی سیم به صورت یک لا یا دولا

ضخامت لایه : 0.05 – 0.2 mm

❑ موارد کاربرد : سیم پیچی قطبها، آرمیچر و موتورهای جریان متناوب

❑ مقاوم تر بودن آن نسبت به سیم لعابدار دربرابر کار خشن و ویژگی خواباندن چند لایه رویهم

۳- پوشش ابریشم :

- ✓ کاربرد برای سیم پیچی های با ضریب فضای مورد نیاز بزرگ
- ✓ استفاده کمتر به خاطر قیمت بالای آن

۴- پوشش لعاب شیشه ای

- ✓ تشکیل شده از دو لایه نخ از الیاف شیشه ای رویهم

ضخامت معمول : 0.15-0.2 mm

- ✓ ضرورت لعاب کاری روی لایه مزبور به خاطر تسهیل در امر سیم پیچی

لعابکاری ⟸ بالارفتن مقاومت سیم دربرابر خراشیدگی هنگام سیم‌پیچی

جلوگیری از جذب رطوبت

۵- پوشش پنبه نسوز

- ✓ کاربرد برای سیم گرد با عایق گروه B

۲-۱۳-۲- موادعایقی برای ورقه های آهن

- ✓ تحت فشاربودن هسته های مورق ماشینهای الکتریکی هنگام ساخت
- ✓ جلوگیری از اتصال فلز به فلز با عایق کاری ورقه ها
- ✓ خصوصیات اصلی عایق خوب برای ورقه ها :
  - ❑ همگن و متجانس بودن در لایه های نازک
  - ❑ چسبندگی و مقاومت مخصوص زیاد

۱- اینزولین

مخلوط خاک چینی قرارگرفته در یک طرف یا دوطرف ورق با ضخامت 0.01-0.25 mm

۲- اکسید

- ✓ ایجاد پوشش اکسیدی روی ورقها به طور طبیعی هنگام نورد کردن گرم
- ✓ فراهم کردن پوشش اکسیدی مصنوعی با مقاومتی ۱۰ برابر پوشش طبیعی به دلیل قابل اطمینان نبودن پوشش طبیعی

۳- لعاب (ورنی)

- ✓ موثرترین نوع عایق (در دو طرف ورق)
- ✓ فراهم شدن خاصیت ضدزنگی برای ورقه
- ✓ ضخامت لعاب 0.006 mm برای ورقه 0.35 mm

۲-۱۳-۳- مواد عایقی در ماشین ها

- ✓ انتخاب عایقهای گروه A برای مولدهای و موتورهای جریان مستقیم و متناوب برای کاربرد صنعتی
- ✓ درنظرگرفتن عایقهای گروه B برای مولدهای توربینی، موتورهای حمل و نقل و ماشینهای مخصوص هواپیما
- ✓ استفاده از عایقهای گروه E برای موتورهای القایی

✓ عایقکاری به صورت بافتن یا رویهم قرارگرفتن برای سیمهای گرد یا هادیهای مستطیلی (شمش) قابل استفاده در ماشینهای بزرگ با مواد زیر:

۱- مواد گروه A

شامل نوارها و ورقهای قابل انعطاف مورد استفاده برای نوارپیچی هادیهای مستطیلی پیچک های میدان و آرمیچر ماشین dc و پیچکهای استاتور و رتور ماشینهای ac

الف- نوار پنبه ای و کتان آغشته به روغن

- ❑ آغشتگی به خاطر جلوگیری از نفوذ رطوبت
- ❑ نوار کتانی آغشته به روغن دارای استقامت الکتریکی 40 KV/mm

ب- الیاف چرم مانند

- برای عایقکاری شیارهای ماشینهای فشار ضعیف
- ضخامت 0.25-0.5 mm

ج- نایلون

✓ دارای استقامت کششی بالا و خواص عایقی خوب 80 KV/mm

۲- مواد عایقی گروه B

✓ مورد استفاده به صورت نوار شامل الیاف شیشه ای، پنبه نسوز و میکا

الف- الیاف شیشه ای

- ❑ به صورت نوار با ضخامت 0.075-0.275 mm
- ❑ ساخته شده از رشته های نخ به هم بافته شده به لعاب آغشته شده
- ❑ دارای استقامت الکتریکی 40-80 KV/mm

ب- پنبه نسوز

✓ مورد استفاده به صورت ورق درجایی که خاصیت ضربه گیر و اصطکاک لازم باشد مثل عایق گوشه های سیم پیچی

ج- میکا

- کاربرد به صورت ورق و نوار
- به شکل ورق دارای ضخامت 0.0125-0.025 mm به نام میکانیت

✓ پروسه ساخت :

آنرا روی ورق نازک نگه دارنده قرار داده با لاک یا صمغ مصنوعی می چسبانند و در حالت گرم فشرده می کنند تا حلال آن از بین رفته و به صورت جامد سختی درآید

✓ نوار میکا :

از خرده های میکا تشکیل شده که برای بالابردن استقامت مکانیکی روی کاغذی نازک یا پارچه ای پنبه ای بسته می شوند

کاربرد نوار میکا به صورت گسترده در نواربندی آرمیچر و پیچکهای تحریک موتورهای حمل و نقل و نوارپیچی پیچکهای جریان متناوب فشارقوی

- ✓ استقامت عایقی نوار میکا 40-48 KV/mm و از ورق میکا 80-160 KV/mm
- ✓ استفاده از ورنی و ترکیبات آغشته دیگر به عنوان مواد عایقی خوب برای ماشینهای الکتریکی به علت افزایش استقامت عایقی و ضدرطوبت نمودن عایقهای الیافی
- ✓ آغشته نمودن پیچکهای فشارقوی در خلا به خاطر جلوگیری از تشکیل حفره
- ✓ وجود حفره باعث افزایش شدت میدان در عایق و کاهش هدایت حرارتی پیچکها

۲-۱۳-۴- مواد عایقی برای ترانسفورماتورها

- ✓ استفاده از عایقهای گروه A برای ترانسفورماتورهای خنک شونده با هوا یا روغن
- ✓ کاربرد پارچه پنبه ای یا کتانی آغشته به روغن برای نواربندی سیم پیچی ترانسفورماتورهای خنک شونده با هوا
- ✓ کاغذ با صمغ مصنوعی به صورت فیبر برای عایق کاری پیچکها نسبت به هم و بین سیم پیچی و هسته