

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده فنی و مهندسی
بخش مهندسی مواد و متالورژی

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مواد
گرایش شناسایی و انتخاب مواد

مطالعه امکان ساخت و بررسی خواص مکانیکی و مغناطیسی قطعات چسبی
Nd-Fe-B تولید شده بر پایه ذوب و بر پایه انحلال با استفاده از فرایند
قالب گیری تزریقی

مؤلف :

علی نثری

استاد راهنما :

دکتر محمد رضا ایزدپناه

استاد مشاور :

دکتر حمید دوست محمدی

اسفندماه ۱۳۹۰



این پایان نامه به عنوان یکی از شرایط درجه کارشناسی ارشد به

بخش مهندسی مواد
دانشکده فنی و مهندسی
دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی شود.

دانشجو: علی نثری

استاد راهنما: جناب آقای دکتر محمد رضا ایزدپناه

استاد مشاور: جناب آقای دکتر حمید دوست محمدی

داور ۱: جناب آقای دکتر مرتضی زند رحیمی

داور ۲: جناب آقای دکتر خیاطی

نماینده‌ی تحصیلات تکمیلی در جلسه دفاع: خانم دکتر مریم احتشام زاده

معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده: خانم دکتر مریم احتشام زاده

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه شهید باهنر کرمان است.

تقدیم به :

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم پدر و مادری فداکار نصیبم ساخته تا در سایه درخت پر بار وجودشان بیاسایم و از ریشه آنها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم.

والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم چرا که این دو وجود پس از پروردگار مایه هستی ام بوده اند دستم را گرفتند و راه رفتن را در این وادی زندگی پر از فراز و نشیب آموختند.

آموزگارانی که برایم زندگی؛ بودن و انسان بودن را معنا کردند حال این برگ سبزی است تحفه درویش تقدیم آنان....

تقدیر و تشکر

اکنون که به یاری و توفیق خداوند این پژوهش به پایان رسید، بر خود لازم می‌دانم که تشکر و سپاس فراوانی از زحمات همه اساتید که موفقیت این پایان نامه مرهون همکاری‌ها، مشاوره‌ها و زحمات ایشان بوده است، نمایم.

چکیده

آهن رباهای چسبی دارای قدرت مغناطیسی زیادی هستند و از آنها در ساخت تجهیزات الکتریکی از قبیل الکتروموتورها، موتورهای D.C، صنایع کمپرسورسازی استفاده می شود. در این تحقیق به بررسی امکان ساخت آهن رباهای چسبی Nd-Fe-B به دو طریق پرداخته شده است. در روش اول ساخت بر پایه حلال بوده و از سه نوع چسب پلی استر، PVC و چسب نایلون استفاده شده است. برای انحلال پلیمرهای مذکور از حلال های خاصی استفاده شد، که عبارتند از استون برای پلی استر، دی کلرو متان و تولوئن برای PVC و متیل پیرولیدین برای نایلون. ساخت قطعات آهن ربایی به این روش امکان پذیر نشد. در روش دوم یعنی روش ساخت بر پایه ذوب، به منظور اختلاط پودر فلزی با زمینه پلیمری، نخست پلیمر مورد نظر ذوب و به طور کامل با پودر فلزی مخلوط گردید. سپس مخلوط حاصل به صورت گرانول خرد و توسط یک دستگاه تزریق ماردونی تزریق گردید. که در این روش انجام عملیات ساخت موثر شد. در نهایت خواص کششی و مغناطیسی نمونه های تولید شده مورد بررسی قرار گرفتند. مشاهده شد، که با افزایش مقدار پودر استحکام قطعات افزایش می یابد. همچنین با افزایش مقدار Nd پسماند مغناطیسی، نیز افزایش می یابد.

واژه های کلیدی: آهن ربای چسبی، چسب پلی استر، دستگاه تزریق، پسماند مغناطیسی.

فهرست مطالب

۱	فصل ۱: مقدمه
۴	فصل ۲: مروری بر منابع و تحقیقات گذشته
۵	۱-۲- تاریخچه استفاده از آهنربا
۶	۲-۲- آهنرباهای دائم
۶	۱-۲-۲- آهنربای فریتی.....
۷	۳-۲- آهنرباهای فلزی (Metal Magnet)
۷	۱-۳-۲- آهنرباهای آلنیکو
۸	۲-۳-۲- آهنرباهای فلزات نادرخاکی
۸	۴-۲- روشهای تولید پودرمورد استفاده در آهنرباهای چسبی
۹	۱-۴-۲- روش کلاسیک یا فرایند مغناطیسی زینتر
۹	۲-۴-۲- روش دو م ذوب چرخشی
۱۰	۵-۲- عیب آهنرباهای Nd-Fe-B
۱۰	۶-۲- کاربردها
۱۲	۷-۲- تأثیر افزایش عناصر به آهنرباهای چسبی Nd-Fe-B
۱۲	۱-۷-۲- تأثیر افزودن پودر فریت استرانسیم روی خواص مغناطیسی آهنرباهای چسب Nd-Fe-B
۱۲	۲-۷-۲- تأثیر افزایش پودر آهن کربونیل بر آهنربای چسبی Nd-Fe-B
۱۳	۸-۲- رفتارهای مغناطیسی
۱۳	۱-۸-۲- دو قطبها و گشتاورهای مغناطیسی
۱۴	۲-۸-۲- رفتار پارامغناطیس
۱۵	۳-۸-۲- رفتار فرومغناطیس
۱۷	۴-۸-۲- رفتار آنتی فرومغناطیس
۱۷	۵-۸-۲- رفتار فری مغناطیس
۱۸	۶-۸-۲- رفتار دیا مغناطیس
۱۸	۹-۲- پارامترهای مغناطیسی
۱۸	۱-۹-۲- مغناطیس پذیری (M)
۱۹	۲-۹-۲- شدت میدان مغناطیسی (H)
۱۹	۳-۹-۲- القای مغناطیسی یا چگالی شار مغناطیسی (B)

۱۹	۴-۹-۲- میدان (نیروی) مغناطیس زدا (H_c)
۲۰	۵-۹-۲- حلقه پسماند (حلقه هیستریزس)
۲۱	۶-۹-۲- نفوذپذیری مغناطیسی (μ)
۲۲	۷-۹-۲- تلفات مغناطیسی
۲۳	۸-۹-۲- مغناطیس اشباع
۲۳	۹-۹-۲- حوزه های مغناطیسی
۲۵	۱۰-۹-۲- موانع در برابر حرکت دیواره ها
۲۸	۱۰-۲- پلاستیک ها
۲۹	۱-۱۰-۲- پلاستیک های ترموپلاست
۳۰	۲-۱۰-۲- نایلون (پلی آمید)
۳۱	۳-۱۰-۲- پلاستیک های ترموست
۳۲	۱۱-۲- قالب گیری تزریقی
۳۲	۱-۱۱-۲- نحوه عملیات
۳۳	۲-۱۱-۲- دستگاه قالب گیری تزریقی
۳۴	فصل ۳:
۳۴	روند عملی
۳۵	۱-۳- مواد اولیه مورد استفاده
۳۵	۱-۱-۳- پودر Nd-Fe-B
۳۷	۲-۳- مواد و وسایل مورد استفاده
۳۷	۱-۲-۳- چسب ها
۳۷	۲-۲-۳- حلال ها
۳۸	۳-۳- آماده سازی پودر اولیه
۳۸	۱-۳-۳- آسیاب
۳۸	۲-۳-۳- میکسر
۳۸	۳-۳-۳- اکستروود نمونه ها
۳۹	۴-۳-۳- بررسی خواص مغناطیسی
۳۹	۵-۳-۳- بررسی خواص کششی
۳۹	۶-۳-۳- بررسی ریزساختاری توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

- ۳-۴- بررسی امکان ساخت آهنرباهای Nd-Fe-B چسبی تزریقی با استفاده از روش برپایه حلال ۳۹
- ۳-۴-۱- ساخت با استفاده از چسب پلی استر ۳۹
- ۳-۴-۲- ساخت آهنربا با استفاده از چسب PVC ۴۰
- ۳-۴-۳- ساخت آهنربا با استفاده از چسب نایلون ۴۰
- ۳-۴-۵- ساخت آهنرباهای Nd-Fe-B چسبی با استفاده از روش برپایه ذوب ۴۰

فصل ۴ : نتایج

- ۴-۱- بررسی اندازه پودر مورد استفاده ۴۳
- ۴-۲- نتایج حاصل از ساخت آهنرباهای Nd-Fe-B چسبی به روش قالب گیری تزریقی بر پایه حلال ۴۵
- ۴-۲-۱- نتایج حاصل از ساخت آهنربا با استفاده از رزین پلی استر ۴۵
- ۴-۲-۲- نتایج حاصل از ساخت آهنربا با استفاده از رزین PVC ۴۵
- ۴-۲-۳- استفاده از رزین نایلون ۴۶
- ۴-۲-۴- بررسی امکان ساخت آهنرباهای Nd-Fe-B چسبی به روش قالب گیری تزریقی بر پایه ذوب ۴۶
- ۴-۳- بررسی خواص مغناطیسی ۴۶
- ۴-۳-۱- خواص مغناطیسی نمونه های چسبی تزریقی فرآوری شده با رزین نایلون بر پایه ذوب نایلون ۴۶
- ۴-۳-۲- نیروی پسماندزدایی نمونه های چسبی تزریقی ۴۷
- ۴-۳-۳- چگالی انرژی بیشینه نمونه های چسبی تزریقی ۴۸
- ۴-۳-۴- بررسی خواص مکانیکی نمونه های تهیه شده ۴۹
- ۴-۴-۱- استحکام کششی نمونه های چسبی تزریقی فرآوری شده با رزین نایلون بر پایه ذوب نایلون ۴۹
- ۴-۴-۵- مشاهدات ریزساختاری ۵۱

فصل ۵ : بحث

فصل ۶ : نتیجه گیری کلی

۶۵

منابع

۶۸

پیوست ها

فهرست اشکال

- شکل (۱-۲) نمایش شماتیک انواع آهنرباها [۱۱] ۷
- شکل (۲-۲) نمایش شماتیک نحوه تولید آهنربای Nd-Fe-B به روش زینتر [۱۰-۱۷] ۱۰
- شکل (۳-۲) رفتار مواد پارامغناطیس قبل و بعد از اعمال میدان [۲۷] ۱۵
- شکل (۴-۲) رفتار مواد فرومغناطیس قبل و بعد از اعمال میدان [۲۵-۲۶] ۱۶
- شکل (۵-۲) رفتار مواد آنتی فرو مغناطیس [۲۹] ۱۷
- شکل (۶-۲) رفتار مواد فری مغناطیس [۲۹] ۱۸
- شکل (۷-۲) حلقه هیستریزس مواد فرومغناطیس [۲۹] ۲۱
- شکل (۸-۲) روند تغییرات مغناطش با اعمال میدان خارجی [۳۲] ۲۴
- شکل (۹-۲) عبور دیواره حوزه مغناطیسی از ناخالصی [۳۵] ۲۶
- شکل (۱۰-۲) حلقه زنجیره ای آمید [۳۸] ۳۱
- شکل (۱-۳) تصویر SEM پودر NQP-L در شرایط دریافت شده ۳۶
- شکل (۲-۳) تصویر TEM پودر NQP-L در شرایط دریافت شده ۳۷
- شکل (۱-۴) توزیع اندازه دانه پودر NQP-A بعد از ۶۰ دقیقه آسیاب خشک در آسیاب ماهواره ای سریع ۴۳
- شکل (۲-۴) توزیع اندازه دانه پودر NQP-B بعد از ۶۰ دقیقه آسیاب خشک در آسیاب ماهواره ای سریع ۴۴
- شکل (۳-۴) توزیع اندازه دانه پودر NQP-L بعد از ۶۰ دقیقه آسیاب خشک در آسیاب ماهواره ای سریع ۴۴
- شکل (۴-۴) توزیع اندازه دانه پودر NQP-A بعد از ۶۰ دقیقه آسیاب خشک، NQP-B بعد از ۸۰ دقیقه خشک و NQP-L بعد از ۱۱۰ دقیقه آسیاب خشک در آسیاب ماهواره ای سریع ۴۵
- شکل (۵-۴) نمونه های مغناطیسی-چسبی تزریقی تولید شده در دماهای مختلف الف: 180°C ب: 200°C پ: 220°C ت: 240°C ۴۷
- شکل (۶-۴) تغییرات پسماند مغناطیسی نمونه های Nd-Fe-B چسبی تزریقی فرآوری شده با درصدهای مختلف پودر و پلیمر ۴۷
- شکل (۷-۴) تغییرات در نیروی پسماند زدایی القایی (Hcb) و ذاتی (Hci) نمونه های Nd-Fe-B چسبی تزریقی فرآوری شده با پودر NQP-A نسبت به درصد پلیمر ۴۸

- شکل (۸-۴) تغییرات در نیروی پسماند زدایی القایی (Hcb) و ذاتی (Hci) نمونه های Nd-Fe- B چسبی تزریقی فرآوری شده با پودر NQP-B نسبت به درصد پلیمر..... ۴۸
- شکل (۹-۴) تغییرات در نیروی پسماند زدایی القایی (Hcb) و ذاتی (Hci) نمونه های Nd-Fe- B چسبی تزریقی فرآوری شده با پودر NQP-L نسبت به درصد پلیمر..... ۴۹
- شکل (۱۰-۴) تغییرات چگالی انرژی بیشینه نمونه های Nd-Fe-B چسبی تزریقی فرآوری شده با درصد های مختلف پودر و پلیمر..... ۴۹
- شکل (۱۱-۴) مقایسه استحکام ترکیب با پایه نایلون شامل ۷۲٪ وزنی از ذرات جامد NQP-A در دماهای مختلف..... ۵۰
- شکل (۱۲-۴) مقایسه استحکام ترکیب با پایه نایلون شامل ۸۶٪ وزنی از ذرات جامد NQP-A در دماهای مختلف..... ۵۱
- شکل (۱۳-۴) مقایسه استحکام کششی برای نمونه NQP-A با ۸۹٪ و ۷۲٪ وزنی پودر در دماهای ۱۰، ۲۵ و ۱۰۰..... ۵۱
- شکل (۱۴-۴) تصاویر SEM سطوح شکست نمونه های شامل ۸۶٪ وزنی از ذرات جامد NQP-A در دمای ۱۰°C..... ۵۲
- شکل (۱۵-۴) تصاویر SEM سطوح شکست نمونه های شامل ۸۶٪ وزنی از ذرات جامد NQP-A در دمای ۱۰۰°C..... ۵۲
- شکل (۱۶-۴) تصاویر SEM سطوح شکست نمونه های شامل ۸۶٪ وزنی از ذرات جامد NQP-A در دمای ۲۵°C..... ۵۳
- شکل (۱۷-۴) تصویر SEM سطح شکست گردابی شکل برای نمونه ۸۶٪ وزنی از ذرات جامد NQP-A در دمای ۲۵ °C..... ۵۳
- شکل (۱۸-۴) تصویر SEM سطح شکست گردابی شکل برای نمونه ۸۶٪ وزنی از ذرات جامد NQP-A در دمای ۱۰°C..... ۵۴
- شکل (۱۹-۴) توزیع عنصر Fe در نمونه های تزریق شده..... ۵۴
- شکل (۲۰-۴) توزیع عنصر Nd در نمونه های تزریق شده..... ۵۵

فهرست جداول

جدول (۱-۳) ترکیب شیمیایی پودرهای مورد استفاده در پژوهش براساس گزارش تولید کننده.....	۳۶
جدول (۲-۳) خواص مغناطیسی پودرهای مورد استفاده در پژوهش براساس گزارش تولید کننده.....	۳۶

فصل اول

مقدمه

آهنرباهای دائم^۱ نقش حیاتی در صنعت به عنوان جزء اصلی تجهیزاتی چون قطعات ذخیره اطلاعات، ارتباطات، تولید و توزیع انرژی الکتریکی، قطعات الکترونیکی خودکار، قطعات الکترونیکی پزشکی و کاربردهای متعدد دیگر ایفا می کنند. در ۵۰ سال گذشته پیشرفت آهنرباهای دائم قابل ملاحظه بوده است. ویلر^۲ آهنرباهای دائم را بعنوان “پیل های مغناطیسی که از کار نمی افتند” توصیف می کنند [۱]. آهنرباهای چسبی ترکیبات پلیمری اند، که مخلوطی از یک پودر مغناطیسی سخت و یک جزء آلی می باشند. این مخلوط می تواند به صورت پرس سرد و یا بصورت قالبگیری تزریقی به وسیله مواد پلیمری تهیه شوند. خواص مکانیکی این ترکیبات توسط فاز پلیمری و خواص مغناطیسی آنها توسط پودر ترکیب شده با آن تعیین می شود، بطوری که خواص مغناطیسی این آهنرباها به مقدار و خواص مغناطیسی پودر استفاده شده در آنها بستگی دارد [۲]. ماده آلی استفاده شده به عنوان فاز زمینه خواص مکانیکی از جمله الاستیسیته، استحکام، مقاومت نسبت به شکست و فشار، شکل پذیری را برای این نوع مواد تعیین می کند [۳]. به طور کلی آهنرباهای چسبی^۳ رشد سریعتری نسبت به مواد مغناطیسی دیگر داشته اند. علت این امر آمدن گستره وسیعی از خواص مکانیکی، فیزیکی و خصوصاً مغناطیسی است [۴]. آهنرباهای چسبی با ابعاد مختلف و نیروی مغناطیسی متفاوت، امکان طراحی قطعاتی با اندازه های مختلف و توان مغناطیسی متغیر را فراهم کرده اند. این نوع آهن ربا ها رشد اقتصادی چشمگیری داشته اند و با گذشت زمان تولید و فروش این نوع آهن ربا ها افزایش یافته است [۵-۴]. ساخت آهنرباهای چسبی بخش مهم و در حال رشدی از کل بازار جهانی آهنرباهای دائم را تشکیل داده است. مقدار فروش آهنرباهای چسبی در سال ۱۹۹۰ در حدود ۱۴ درصد از کل فروش آهنرباهای دائم بوده که این رقم در سال ۲۰۰۰ به حدود ۳۹ درصد و در سال ۲۰۰۴ به حدود ۵۶ درصد افزایش یافته است [۶]. در سال ۱۹۹۴ مطالعه ای روی آهنرباهای چسبی عناصر نادرخاکی^۴ توسط، کوگات^۵ و همکارانش انجام شده است، که این مطالعه خواص جدیدی از این نوع آهنرباهای چسبی ارائه می

¹ Premanet Magnet.

² Wheeler.

³ Hybrid Magnet.

⁴ RE lean alloy.

⁵ Cugat.

دهد [۷]. قیمت پایین آهنرباهای فریتی، بررسی امکان مخلوط کردن این دو آهن ربا را برای تولید یک محصول جدید مورد توجه قرار داده است. مخلوط فریت و Nd-Fe-B برای تولید آهنرباهای چسبی، امکان تولید آهنرباهایی با خواص و هزینه ای بین این دو را فراهم می کند [۸]. در سال ۱۹۹۶ دانیل رودریگز^۱، سمسون^۲ و همکارانش خواص مغناطیسی آهنرباهای بر پایه پودرهای آلیاژی Nd-Fe-B، مخلوط شده با پودر فریت را مورد بررسی قرار داده اند [۹-۸]. همانطور که گفته شد، آهن رباهای چسبی توانستند تحول شگرفی در صنعت بوجود بیاورند و استفاده از آنها روز به روز در حال افزایش است. به همین منظور در این پژوهش به بررسی ساخت این نوع قطعات چسبی مغناطیسی حاوی پودر Nd-Fe-B، با استفاده از روش قالب گیری تزریقی و بر پایه ذوب و پایه انحلال پرداخته شده است.

¹D.Rodrigues.

²Semones.

فصل ۲:

مروری بر منابع

و تحقیقات گذشته

۲-۱- تاریخچه استفاده از آهن ربا

کلمه مغناطیس از اسم مگنیزیا که نام دهکده ای در یونان است مشتق شده است. از لحاظ لغوی Magnet به معنی سنگی از مگنیزیا است. این سنگ حاوی مگنتیت (Fe_2O_3) بوده و هنگام مالش آن به آهن، آن را آهنربا می کند [۱۰].

ارسطو^۸ و طالس^۹ را می توان نخستین کسانی دانست که به تحقیق در مورد مغناطیس پرداخته اند. البته در همین زمان (۶۰۰ پیش از میلاد) پزشک هندی به نام سوشورتا^{۱۰} از آهن ربا در جراحی استفاده می کرده است [۱۰].

در نوشته ای که در سده چهارم پیش از میلاد در چین یافت شده، آمده است که گونه ای از سنگ به نام لوداستون^{۱۱} آهن را می رباید. همچنین در نوشته های چینی بین سال های ۲۰ تا ۱۰۰ پس از میلاد نیز آمده است، که این گونه سنگ سوزن را می رباید. شن کوا^{۱۲} دانشمند برجسته چینی (۴۱۰ تا ۴۷۴ خورشیدی) نخستین کسی بود که به ویژگی جهت دار بودن میدان مغناطیسی زمین پی برد و قطب نما را ساخت [۱۰].

الکساندر نکام^{۱۳} دانشمند انگلیسی نخستین اروپایی بود که در سال ۵۶۶ خورشیدی (۱۱۸۷ میلادی) به شرح مغناطیس پرداخت. در ۶۴۸ خورشیدی (۱۲۶۹ میلادی) پیرپلرین دمرکورت^{۱۴} نخستین مقاله در شرح ویژگی های آهنربا را نوشت. اشرف^{۱۵} دانشمند یمنی ۱۳ سال پس از آن به بررسی ویژگی های آهنربا و قطب نما پرداخت. در سال ۱۸۲۰ اورستد^{۱۶} کشف کرد که جریان الکتریکی می تواند میدان مغناطیسی به وجود آورد. اولین آهنربا در سال ۱۸۲۵ توسط استورگن^{۱۷} ساخته شد.

⁸ Arstue.

⁹ Tales.

¹⁰ Svosherta.

¹¹ Lodestone.

¹² Shnkva.

¹³ Alexander Nkam.

¹⁴ Pierre Pellerin Dmrykvt.

¹⁵ Ashraf.

¹⁶ Aursted.

¹⁷ Estorgen.

دانشمندان زیادی از قبیل ماکسول^{۱۸} با این پدیده از دیدگاه تئوریک درگیر شدند. اما بیشترین پیشرفت در قرن ۲۰ حاصل شد. کیوری^{۱۹} و ویس^{۲۰} در شفاف سازی پدیده مغناطیسی دائمی موفق بودند. ویس فرضیه‌ی وجود حوزه های مغناطیسی را مطرح کرد، که توضیح می دهد مواد چگونه می توانند آهنربا شده یا خاصیت مغناطیسی خود را از دست دهند [۱۰].

۲-۲ - آهن ربا های دائم

آهن ربا های دائم به سه گروه تقسیم می شوند که در شکل (۲-۱) به طور شماتیک نشان داده شده است. نوع اول شامل آهنربای فریتی است. دومین گروه از آهن رباها، Magnet Metal هستند. گروه سوم از آهنربا های دائم، Bonded Magnets می باشند، که در ادامه به توضیح آنها پرداخته می شود [۱۱].

۲-۲-۱ - آهن ربا ی فریتی

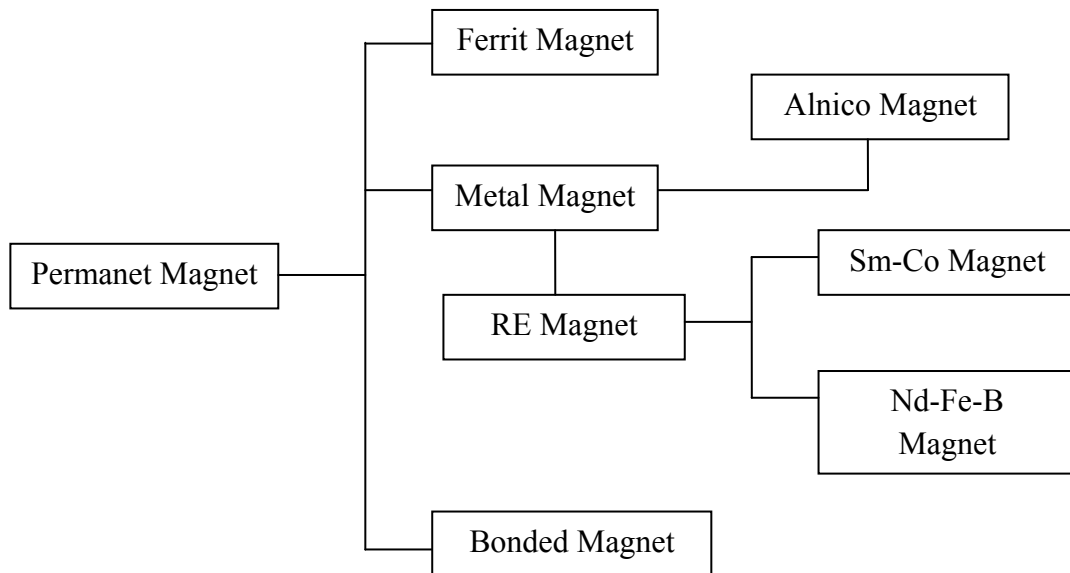
آهن ربا های فریتی، با نام آهن ربا های سرامیکی نیز شناخته می شوند. این نوع قطعات از ترکیب پودر مغناطیسی و یک سرامیک بدست می آیند. این مواد دارای نیروی پسماند مغناطیسی زیادی هستند. همچنین بسیار ترد و سخت می باشند. این نوع آهن رباها به چند دسته تقسیم می شوند. گروه اول Ceramic-1، که در این نوع از آهنربا های فریتی، توان مغناطیسی بصورت ایزوتروپیک وجود دارد و در تمام جهات بصورت یکسان پخش شده است [۱۰-۱۱-۱۲]. در آهن ربا های Ceramic(5-8)، خواص مغناطیسی ناهمسانگرد است و در تمام جهات یکسان نیست. همچنین توان مغناطیسی این نوع از آهن ربا های سرامیکی - فریتی، نسبت به دیگر آهن ربا های این گروه بیشتر می باشند [۱۰-۱۱]. از ویژگی های این نوع از آهن رباها می توان به مقاومت خوب این مواد در

¹⁸Maxvel.

¹⁹Curi

²⁰Vise

برابر نیروی مغناطیس زدایی، مقاومت بالا در برابر خوردگی و قابلیت کار در دماهای بالا اشاره کرد [۱۲].



شکل (۱-۲) نمایش شماتیکی انواع آهنرباها [۱۱].

۲-۳ آهن ربا های فلزی (Metal Magnet)

این نوع از آهن ربا ها خود به دو زیر مجموعه تقسیم می شوند. گروه اول آهن ربا های آلنیکو^{۲۱} و گروه دوم آهن ربا های فلزات نادر خاکی^{۲۲} می باشند [۱۳].

۲-۳-۱ آهن ربا های آلنیکو

این آهنربا از ترکیب آلومینیوم، نیکل و کبالت ساخته می شوند. این آهن رباها، پذیرای نیروی مغناطیسی بالایی هستند و از آنها در ساخت بلند گوها و موتورهای D.C استفاده می شوند [۱۳]. این نوع آهن رباها دارای پایداری دمایی خوب، مقاومت به خوردگی بالا می باشند [۱۴-۱۵]. از

²¹ Alnico.

²² RE lean alloy.

معایب این نوع آهن رباها می توان به مقاومت کم در برابر نیروی مغناطیس زدایی اشاره کرد. این نوع از آهن رباها را می توان به روش زینتر، تولید کرد [۱۳].

۲-۳-۲- آهن رباهای فلزات نادر خاکی

این گروه از آهن رباها، به دو دسته تقسیم می شوند. آهن رباهای Nd-Fe-B و آهن ربای Sm-Co. قبل از پیدایش آهن ربای Nd-Fe-B، از آهن ربای Sm-Co استفاده می شد، ولی بدلیل گران بودن مواد اولیه آن، دانشمندان به فکر تولید ماده ای بودند که علاوه بر داشتن مزیت های آهن ربای مذکور، تولید آن نیز صرفه اقتصادی داشته باشد [۱۳-۱۵]. آهن رباهای Sm-Co، مقاومت خوبی در برابر اکسیداسیون دارند. این آهن رباها، دارای قدرت مغناطیسی بیشتری نسبت به آهن رباهای سرامیکی و آلنیکو می باشند [۱۳-۱۵]. آهن رباها Nd-Fe-B در سال ۱۹۸۲ در ژاپن و در شرکت Sitmo ساخته شدند. این نوع آهن ربا دارای ساختار کریستالی تتراگونال می باشند [۱۵]. از ویژگی های این آهن رباهای Nd-Fe-B دارند، می توان به تحمل دمای بالا تا ۲۰۰ درجه سانتیگراد اشاره کرد [۹-۱۶-۱۷]. آهن رباهای Nd-Fe-B دارای نیروی پسماند مغناطیسی بالایی هستند [۱۷]. این آهن رباها مقاومت بالایی در برابر نیروی پسماند زدایی دارند. همچنین اضافه کردن عناصر Al و Cu باعث افزایش مقاومت آهن رباها در برابر نیروی مغناطیس زدایی می شود [۸]. همچنین با استفاده از این آهن رباها می توان موتورهای رطراحی کرد که علی رغم اندازه کوچک، دارای انرژی و بازده مغناطیسی بالایی باشند. ارزانی و تولید آسان بویژه در بخش های خیلی پیچیده از دیگر مزایای آنها هستند [۹-۱۳].

۲-۴- روش های تولید پودر مورد استفاده در آهن رباهای چسبی

برای تولید پودرهای مورد استفاده جهت ساخت آهن رباهای چسبی، روش های مختلفی وجود دارد که از این میان روش ها، دو مورد بیشتر استفاده می شوند. روش اول، روش کلاسیک یا فرایند