بسم الله الرحمن الرحيم

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 مهندسی

بررسی ریزساختار و خواص مغناطیسی آلیاژ نانو ساختار Fe-Co-Cu تولید شده بوسیله فرایند آلیاژسازی مکانیکی

استاد راهنما :

دکتر شهریار شرفی

استاد مشاور :

دکتر غلامحسین اکبری

مؤلف :

علی شریفاتی

مهر ماه 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 شریفاتی

استاد راهنما :جناب آقای دکتر شهریار شرفی

استاد مشاور :جناب آقای دکتر غلامحسین اکبری

داور ۱ : دکتر رامین رئیس زاده

داور۲ : دکتر عباس صادق زاده

نماینده‌ی تحصیلات تکمیلی در جلسه دفاع: دکتر محمد مهدی افصحی

معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده : دکتر مریم احتشام زاده

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

تقدیم به :

تقدیم به مادر مهربان و پدر عزیزم که از شروع زمان تحصیل در دوران کودکی تا به امروز یار و یاور و مشوق من بوده‌اند و من از بیان زحمات و فداکاری‌های آنها عاجز بوده و تنها از خداوند، طول عمر با عزت و توفیقات الهی را برای آنها مسئلت دارم. به امید آنکه روزی مهربانیها و فداکاری‌های آنها را جبران نمایم.

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. از جمله:

جناب آقای دکتر شهریار شرفی، استاد راهنما

جناب آقای دکتر غلامحسین اکبری، استاد مشاور

خانم مهندس فاطمه بقایی و اطهره دادگرنژاد، مسئول آزمایشگاه

همچنین سپاس خود را به داوران محترم این پایان نامه جناب آقای دکتر رامین رئیس‌زاده و جناب آقای دکتر عباس صادق زاده تقدیم می‌دارم و زحمات بی شائبه این بزرگواران را ارج می‌نهم.

یاد و خاطره همکلاسی‌های عزیزم، دانشجویان کارشناسی ارشد ورودی ۱۳۸۸ و به خصوص آقایان جلال میر عباسی، غلام رضا آقایی، سجاد امیری نژاد، مرتضی ناطقیان، سعید فارابی، فاضل خان گلی، مسعود یوسف زاده، و خانم مریم یوسفی و همچنین هم اتاقی های خوبم آقایان رضا ابراهیمی و محمد حسین نیکنامی همواره در ذهنم باقی خواهد ماند.

در نهایت سپاس فراوان خود را نثار می‌کنم به یگانه خواهرم و برادرم، به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان که در سردترین روزگاران زندگی بهترین پشتیبان من بوده است و به پاس محبت بی در یغشان که هرگز رنگ خاموشی بخود نمی‌گیرد.

علی شریفاتی

چکیده

آلیاژهای آهن-کبالت با غلظت کبالت در محدوده ۵۰-۲۵ درصد اتمی، خواص مغناطیسی نرم عالی مانند، مغناطیس پذیری اشباع، نفوذپذیری و دمای کوری بالا ارائه می‌دهند، با توجه به این خواص مغناطیسی عالی کاربردهای فراوان در دمای بالا دارند. نشان داده شده است که با اصلاح ریز ساختار، خواص مغناطیسی بهبود می‌یابد. بنابراین از عنصر دیا مغناطیس مس برای اصلاح ریز ساختار آلیاژ آهن-کبالت استفاده شد. در این تحقیق از فرایندآلیاژسازی مکانیکی برای تولید آلیاژ Fe-Co-Cu استفاده شده است. به منظور بررسی ریزساختار و موفولوژی ذرات از آنالیز XRD و SEM استفاده شد. همچنین برای بررسی خواص مغناطیسی نمونه‌ها از دستگاه مغناطیس‌سنج لرزشی(VSM) استفاده شد. همچنین مشاهده شد که با افزودن مس به آلیاژ آهن-کبالت زمان تشکیل آلیاژ کاهش می‌یابد. با افزایش زمان آسیاکاری و همچنین با افزایش مقدار مس، اندازه دانه وکرنش افزایش می‌یابد. اندازه گیری‌های مغناطیسی نشان می‌دهد که بین مغناطش اشباع و نیروی مغناطیس زدا در آلیاژ Fe-Co تقابل وجود دارد. این تغییرات بر اساس تغییرات اندازه کریستالی و کرنش در نمونه ها در طول آسیاکاری توضیح داده می‌شود.

کلمات کلیدی :آلیاژسازی مکانیکی، مواد نانوساختار، خواص مغناطیسی، آلیاژهای آهن-کبالت- مس.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول(مقدمه).....۱

فصل دوم(مروری بر منابع و تحقیقات گذشته).....۵

۲-۱-تئوری.....۶

۲-۱-۱- فناوری نانو.....۶

۲-۱-۱-۱- دسته بندی نانو مواد.....۷

۲-۱-۲- آلیاژسازی مکانیکی.....۱۱

۲-۱-۲-۱- عوامل موثر بر فرایند آلیاژسازی مکانیکی.....۱۳

۲-۱-۲-۱-۱- نوع آسیا.....۱۳

۲-۱-۲-۱-۲- محفظه آسیا.....۱۴

۲-۱-۲-۱-۳- سرعت آسیاکاری.....۱۴

۲-۱-۲-۱-۴- زمان آسیاکاری.....۱۵

۲-۱-۲-۱-۵- جنس و ابعاد و نحوهٔ توزیع گلوله ها.....۱۵

۲-۱-۲-۱-۶- نسبت وزنی گلوله به پودر.....۱۵

۲-۱-۲-۱-۷- میزان پر شدن محفظه.....۱۶

۲-۱-۲-۱-۸- اتمسفر آسیاکاری.....۱۶

۲-۱-۲-۱-۹- عامل کنترل کننده فرآیند.....۱۶

۲-۱-۲-۱-۱۰- دمای آسیاکاری.....۱۷

۲-۱-۲-۱-۱۱- شدت آسیاکاری.....۱۷

۲-۱-۲-۲- ترمودینامیک آلیاژسازی مکانیکی..... ۱۸
۲-۱-۲-۳- مکانیزم آلیاژسازی مکانیکی..... ۱۸
۲-۱-۳- مغناطیس..... ۱۹
۲-۱-۳-۱- دو قطبیها و گشتاورهای مغناطیسی ۱۹
۲-۱-۳-۲- رفتار های مغناطیسی مواد..... ۲۰
۲-۲-۳-۲-۱- رفتار دیا مغناطیس در مواد..... ۲۰
۲-۱-۳-۲-۲- رفتار پارامغناطیسی درمواد ۲۰
۲-۱-۳-۲-۳- رفتار فرو مغناطیسی ۲۱
۲-۱-۳-۲-۴- رفتارآنتی‌فرومغناطیس..... ۲۲
۲-۱-۳-۲-۵- رفتار فری‌مغناطیس ۲۲
۲-۱-۳-۳- پارامترهای مغناطیسی..... ۲۲
۲-۱-۳-۴- تلفات مغناطیسی..... ۲۵
۲-۱-۳-۵- حلقه پسماند(حلقه هیسترزیس)..... ۲۷
۲-۱-۳-۶- حوزه های مغناطیسی..... ۲۹
۲-۱-۳-۷- حرکت دیواره های حوزه ی مغناطیسی..... ۳۰
۲-۱-۳-۸- موانع در برابر حرکت دیواره ها..... ۳۰
۲-۱-۳-۹- مروری بر خواص میکروساختاری و مغناطیسی آلیاژ آهن-کبالت..... ۳۲
۲-۱-۳-۱۰- مغناطش اشباع آلیاژ آهن-کبالت..... ۳۵
۲-۱-۳-۱۱- نیروی مغناطیس‌زدا در آلیاژ آهن-کبالت..... ۳۷

۲-۲- مروری بر تحقیقات پیشین..... ۳۷
۲-۲-۱- آلیاژسازی مکانیکی..... ۳۷
۲-۲-۲- آلیاژسازی سیستم Fe-Co..... ۳۹
فصل سوم(مواد و روش پژوهش)..... ٤٥
۳-۱-تعیین ترکیب شیمیایی..... ۴۶
۳-۲- مواد اولیه..... ۴۶
۳-۳- عملیات آسیا کاری..... ۴۶
۳-۴- نمونه برداری..... ۴۷
۳-۵- بررسی‌های مورفولوژیکی..... ۴۸
۳-۶- آنالیز فازی..... ۴۸
۳-۷- تعیین پارامتر های ساختاری..... ۴۸
۳-۸ آزمون های مغناطیسی..... ۵۰
فصل چهارم(ارائه نتایج)..... ۵۱
۴-۱- نتایج حاصل ازمیکروسکوپ الکترونی روبشی..... ۵۲
۴-۲-آنالیز پراش اشعه ایکس..... ۶۱
۴-۳- تغییرات اندازه کریستالی..... ۷۰
۴-۴- تغییرات کرنش درونی..... ۷۱
۴-۵- مغناطش اشباع ۷۲
۴-۶- نیروی پسماند زدا..... ۷۲

فصل پنجم(تحلیل و بحث نتایج).....۷٤

۵-۱ تغییرات مورفولوژی ذرات پودری.....۷۵

۵-۲-آنالیز پراش اشعه ایکس.....۷۶

۵-۳- تغییرات اندازه کریستالی.....۷۷

۵-۴- تغییرات کرنش درونی.....۷۸

۵-۵- تغییرات پارامتر شبکه.....۷۹

۵-۶- مغناطش اشباع ۷۹

۵-۷- نیروی پسماند زدا.....۸۰

فصل ششم(نتیجه گیری و پیشنهادات).....۸۲

۶-۱- خلاصه نتایج.....۸۳

۶-۲- پیشنهادات.....۸۴

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲- ۱: تصویر شماتیکی از یک نانو خوشه.....۸

شکل ۲-۲: تصویری از یک نانو سیم.....۹

شکل ۲-۳ : انواع نانولوله های کربنی تک دیواره و چند دیواره.....۱۰

شکل ۲-۴ : حلقه هیسترزیس.....۲۴

شکل ۲-۵: نمایش ساده یک ترانسفورماتور برای چگونگی تشکیل جریان های گردابی در هسته آن.....۲۷

شکل۲-۶ : حلقه هیسترزیس مواد فرومغناطیس.....۲۸

شکل ۲-۷ : تغییرات جهت بردار مغناطش درون دیواره حوزه مغناطیسی.....۲۹

شکل(۲-۸) : عبور دیواره حوزه مغناطیسی از ناخالصی.....۳۱

شکل ۲-۹ : دیاگرام اسلتر-پاولینگ.....۳۲

شکل ۲-۱۰: نفوذپذیری اولیه و ماکزیمم بر حسب درصد اتمی کبالت در آلیاژ آهن-کبالت.....۳۳

شکل ۲-۱۱. : دیاگرام فاز دوتایی آهن-کبالت ۳۳

شکل ۲-۱۲: اثر افزودن عنصر آلیاژی سوم برمقاومت الکتریکی آلیاژ هم‌اتمی Fe-Co ۳۵

شکل ۲-۱۳ : ممان مغناطیسی اتمی بر حسب درصد اتمی کبالت در آلیاژ آهن-کبالت.....۳۶

شکل ۲-۱۴: مغناطش اشباع برحسب ترکیب شیمیایی در آلیاژ آهن-کبالت که به روش آلیاژسازی، مکانیکی تهیه شده است.....۳۷

شکل ۲-۱۵: نمودار مغناطش اشباع برحسب درصد کبالت ، برای زمان‌های مختلف آسیاکاری.....۴۲

شکل ۲-۱۶: نمودار نیروی مغناطیس‌زدا برحسب زمان آسیاب، برای درصدهای مختلف کبالت.....۴۳

شکل۴-۱: تصویر SEM مربوط به پودر آهن خالص.....۵۲

شکل ۴-۲ : تصویر SEM مربوط به پودر مس خالص..... ۵۳

شکل ۴-۳: تصویر SEM مربوط به پودر کبالت خالص..... ۵۳

شکل ۴-۴: تصویر SEM مربوط به ذرات پودر ($Fe_{70}Co_{30}$) بعد از چهار ساعت آسیا کاری..... ۵۴

شکل ۴-۵: تصویر SEM مربوط به ذرات پودر ($Fe_{70}Co_{30}$) بعد از هشت ساعت آسیا کاری..... ۵۵

شکل ۴-۶: تصویر SEM مربوط به ذرات پودر ($Fe_{70}Co_{30}$) بعد از ۳۲ ساعت آسیا کاری..... ۵۵

شکل ۴-۷ : تصویر SEM مربوط به ذرات پودر ($Fe_{70}Co_{30}$) بعد از ۴۵ ساعت آسیا کاری..... ۵۶

شکل ۴-۸ : تصویر SEM مربوط به ذرات پودر $(Fe_{70}Co_{30})_{91}Cu_9$ بعد از چهار ساعت آسیا کاری..... ۵۷

شکل ۴-۹: تصویر SEM مربوط به ذرات پودر $(Fe_{70}Co_{30})_{91}Cu_9$ بعد از هشت ساعت آسیا کاری..... ۵۷

شکل ۴-۱۰: تصویر SEM مربوط به ذرات پودر $(Fe_{70}Co_{30})_{91}Cu_9$ بعد از ۳۲ ساعت آسیا کاری..... ۵۸

شکل ۴-۱۱: تصویر SEM مربوط به ذرات پودر $(Fe_{70}Co_{30})_{91}Cu_9$ بعد از ۴۵ساعت آسیا کاری..... ۵۸

شکل ۴-۱۲: تصویر SEM مربوط به ذرات پودر $(Fe_{70}Co_{30})_{95}Cu_5$ بعد از چهار ساعت آسیا کاری..... ۵۹

شکل ۴-۱۳: تصویر SEM مربوط به ذرات پودر $(Fe_{70}Co_{30})_{95}Cu_5$ بعد از هشت ساعت آسیا کاری..... ۵۹

شکل ۴-۱۴: تصویر SEM مربوط به ذرات پودر $(Fe_{70}Co_{30})_{95}Cu_5$ بعد از ۳۲ ساعت آسیا کاری..... ۶۰

شکل ۴-۱۵: تصویر SEM مربوط به ذرات پودر $(Fe_{70}Co_{30})_{95}Cu_5$ بعد از ۴۵ ساعت آسیا کاری..... ۶۰

شکل ۴-۱۶: تصویر SEM مربوط به توزیع اتم های (a) تصویر SEM دانه ها ،(b) کبالت (c) آهن و (D) مس از ذرات پودر $(Fe_{70}Co_{30})_{91}Cu_9$ بعد از ۴۵ ساعت آسیا کاری..... ۶۱

شکل ۴-۱۷: الگوی پراش مر بوط به پودر $(Fe_{70}Co_{30})$ قبل از آسیا کاری..... ۶۲

شکل ۴-۱۸: الگوی پراش مر بوط به پودر $(Fe_{70}Co_{30})$ بعد از چهار ساعت آسیا کاری..... ۶۳

شکل ۴-۱۹: الگوی پراش مر بوط به پودر $(Fe_{70}Co_{30})$ بعد ازهشت ساعت آسیا کاری..... ۶۳

شکل ۴-۲۰: الگوی پراش مر بوط به پودر $(Fe_{70}Co_{30})$ بعد از ۳۲ ساعت آسیا کاری..... ۶۴

شکل ۴-۲۱: الگوی پراش مر بوط به $(Fe_{70}Co_{30})$ بعد از ۴۵ ساعت آسیا کاری..... ۶۴

شکل ۴-۲۲: الگوی پراش مر بوط به پودر $(Fe_{70}Co_{30})_{91}Cu_9$ بعد از چهار ساعت آسیا کاری.. ۶۵

شکل ۴-۲۳: الگوی پراش مر بوط به پودر $(Fe_{70}Co_{30})_{91}Cu_9$ بعد از هشت ساعت آسیا کاری. ۶۶

شکل ۴-۲۴: الگوی پراش مر بوط به پودر $(Fe_{70}Co_{30})_{91}Cu_9$ بعد از ۱۵ ساعت آسیا کاری..... ۶۶

شکل ۴-۲۵: الگوی پراش مر بوط به پودر $(Fe_{70}Co_{30})_{91}Cu_9$ بعد از۳۲ ساعت آسیا کاری..... ۶۷

شکل ۴-۲۶: الگوی پراش مر بوط به پودر $(Fe_{70}Co_{30})_{91}Cu_9$ بعد از۴۵ ساعت آسیا کاری..... ۶۷

شکل ۴-۲۷: الگوی پراش مر بوط به پودر $(Fe_{70}Co_{30})_{95}Cu_5$ بعد ازچهار ساعت آسیا کاری... ۶۸

شکل ۴- ۲۸: الگوی پراش مر بوط به پودر $(Fe_{70}Co_{30})_{95}Cu_{55}$ بعد ازهشت ساعت آسیاکاری. ۶۹

شکل ۴-۲۹: الگوی پراش مر بوط به پودر $(Fe_{70}Co_{30})_{95}Cu_5$ بعد از۳۲ ساعت آسیا کاری..... ۶۹

شکل ۴-۳۰ : الگوی پراش مر بوط به پودر $(Fe_{70}Co_{30})_{95}Cu_5$ بعد از۴۵ ساعت آسیا کاری..... ۷۰

شکل ۴-۳۱ : روند تغییرات اندازه کریستالی با زمان آسیا کاری..... ۷۱

شکل ۴-۳۲ : تغییرات کرنش درونی با زمان آسیا کاری..... ۷۱

شکل ۴-۳۳ : تغییرات مغناطش اشباع در مراحل مختلف آسیا کاری.....۷۲

شکل ۴-۳۴ : تغییرات نیروی پسماند زدا در مراحل مختلف آسیا کاری.....۷۳

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۳-۱: شرایط آسیاکاری مورد استفاده..... ۴۷

فصل اول

مقدمه

علم و فناوری نانو(نانو علم و نانو تکنولوژی) توانایی بدست گرفتن ماده در ابعاد نانومتری و بهره برداری از خواص و پدیده‌های این بعد در مواد، ابزارها و سیستم‌های نوین است. این تعریف ساده خود در برگیرنده معانی زیادی است. به عنوان مثال، فناوری نانو با طبیعت فرا رشته‌ای خود، مسیر رشد آنها را در دست گرفته و آنها را به‌صورت « یک حرف از علم» یکپارچه خواهد کرد[۱].
مواد نانو ساختار، موادی تک فاز یا چند فاز هستندکه حداقل در یک جهت، اندازه‌ی کریستال‌ها در حدود چند نانومتر(مثلاً ۱ تا۱۰۰ نانومتر) باشد. به دلیل اندازه دانه‌های فوق العاده ریز، کسر زیادی از اتم‌ها، در مرز دانه‌ها قرار گرفته و در نتیجه این گونه مواد، ترکیبی از خواص فیزیکی، مکانیکی و مغناطیسی عالی از خود نشان می‌دهند(در مقایسه با مواد با اندازه دانه‌ی بزرگ، که بزرگتر از ۱ میکرومتر است). این مواد دارای استحکام بالا، سختی زیاد، سرعت نفوذ فوق العاده بالا است،که منجر به کاهش زمان زینتر، در مورد پودرهای فشرده، می‌شوند.
مواد نانو ساختار توسط فرآیندهایی که به صورت فاز بخار(مثلاً تصعید گاز خنثی)، فاز مایع(مثلاً رسوب الکتریکی، انجماد سریع) و حالت جامد (برای مثال آلیاژسازی مکانیکی) هستند، ساخته می شوند. یکی از روش‌های مهم تولید مواد نانو ساختار و بخصوص نانو مغناطیس‌ها، روش آلیاژسازی مکانیکی[1] است. مزیت استفاده از آلیاژسازی مکانیکی در ساخت مواد نانوکریستال، توانایی آن در تولید مقادیر زیادی از مواد در حالت جامد، با استفاده از تجهیزات ساده و در دمای اتاق است[۲]. آلیاژسازی مکانیکی شامل تغییر شکل تکراری(جوش خوردن، شکستن و جوش خوردن مجدد) ذرات پودری در یک آسیای پر انرژی است تا هنگامی که ترکیب مورد نظر بدست آید. نشان داده شده است که دانه‌های دارای ابعاد نانومتری تقریبا در هر ماده‌ای پس از مدت زمان آسیا کردن قابل دستیابی است[۳و۴].
خواص برتر آلیاژ های مغناطیسی در حالت نانو ساختار، ناشی از ناهمسانگردی مغناطیسی در این مواد است. در واقع این کاهش بعلت غالب شدن اثر همسو شدن یا جفت شدن گشتاورهای مغناطیسی، در ساختارهایی با اندازه دانه کوچکتر از ۴۰ تا ۵۰ نانومتر است[۵]. امکان همسو شدن گشتاورهای مغناطیسی در مواد نانو ساختار از این واقعیت سرچشمه می‌گیرد که در ساختارهای معمولی به علت وجود حوزه‌های بزرگ مغناطیسی و همچنین رشد این حوزه‌ها در طی فرآیند مغناطش[2]، اثرجفت شوندگی گشتاورهای مغناطیسی محدود به سطح حوزه‌ها بوده و قابل صرف نظر کردن است[۵ و ۶]. تنها در حالت نانوساختار است که ابعاد حوزه‌ها لاجرم کاهش یافته و

[1] Mechanical alloying

[2] Magnetization

امکان اثرگذاری گشتاورهای مغناطیسی حوزه‌های مجاور، بر روی یکدیگر فراهم می‌آید که در نهایت بهبود رفتار مغناطیسی را در پی خواهد داشت [۵ و ۷].

آهن خالص یک ماده فرومغناطیس مناسب است، اما مقاومت الکتریکی آن خیلی پایین است. بنابراین تلفات جریان‌های گردابی در آن بالاست. در اثر آلیاژسازی آهن با کبالت و نیکل می‌توان خواص مغناطیسی آهن را بهبود بخشید. آهن در بین تمام عناصر موجود بالاترین مقدار ممان مغناطیسی را دارد و همیشه آلیاژ شدن آن با دیگر عناصر باعث کاهش ممان مغناطیسی آن و در نتیجه کاهش مغناطش اشباع می‌شود[۸]. کبالت در آلیاژ شدن با آهن باعث افزایش ممان مغناطیسی و مغناطش اشباع می‌شود که این خاصیت بی‌نظیر را می توان مختص کبالت دانست[۱۰-۹]. تلفات جریان‌های گردابی در اثر آلیاژشدن آهن با کبالت نسبت به آهن خالص کمتر شده که این امر باعث افزایش راندمان سیستم استفاده کننده از این آلیاژ می‌گردد[۱۱]. آلیاژهای پایه آهن-کبالت با غلظت کبالت در محدوده ۵۰-۲۵ درصد خواص مغناطیسی نرم عالی، یعنی مقادیر بالایی از مغناطیس پذیری اشباع، نفوذ پذیری و دمای کوری بالا ارائه می‌کنند، که این مواد را برای کاربردهای مغناطیسی دما بالا ایده‌ال ساخته است[۱۰]. آلیاژهای آهن-کبالت دارای بالاترین مقدار مغناطش اشباع می‌باشند. دمای کوری بالای این دسته از آلیاژها به همراه خواص مغناطیسی نرم مناسبی که در بالا ذکر شد، باعث شده تا از آلیاژهای آهن-کبالت درکاربردهای دمای بالا به-طور وسیع، استفاده شود. یکی از کاربرد های اصلی نانو مغناطیس ها استفاده در محیط‌های ذخیره‌سازی اطلاعات است. صفحه ذخیره‌سازی اطلاعات مثال‌هایی از این محیط‌ها هستندکه سطح این صفحات از جنس ذره‌های مغناطیسی است و این ذره‌ها باید بسیار ریز و دارای دانه بندی یکنواخت باشند. کاربرد دیگر آنها در ساخت موتورهای الکتریکی کوچک و تولید مایعات و سیالات مغناطیسی است که متاسفانه در کشور ما به علت ضعف صنعت مغناطیس و عدم آشنایی تولید کننده‌ها با فناوری نانو، تولید نانو مغناطیس‌ها مطرح نیست. امروزه بیشترین استفاده از نانو مغناطیس‌ها به تولید نانو پودرهای مغناطیسی مربوط است. البته در کنار این پودرها، قطعات مغناطیسی هم مورد استفاده قرار می گیرد، اما چون با کاهش ابعاد ذره‌های پودر کیفیت قطعات مغناطیسی هم بهبود می‌یابد، بیشتر روی پودرها تاکید می شود[۱].

اگر چه آلیاژهای آهن-کبالت در غلظت نزدیک به ۳۰ درصد کبالت خواص مغناطیسی نرم بالایی ارائه می‌دهند[۱۳-۱۲] با این حال خواص مغناطیسی نرم این مواد با پالایش ریز ساختار بهبود می‌یابد. به علاوه بر اساس مدل انیزوتروپی تصادفی [۱۴] با کاهش یافتن اندازه کریستالی تا محدوده نانومتر، خواص مغناطیسی نرم افزایش می‌یابد. با توجه به این واقعیت که با کاهش یافتن

اندازه کریستالی تا محدوده نانومتر، خواص مغناطیسی نرم افزایش می یابد، این امر باعث ایجاد تحقیقات وسیع برای تولید آلیاژهای کریستالی نانوساختار آهن-کبالت با روش آلیاژسازی مکانیکی شده است[۱۳و۱۹-۱۵]. در مقالات گزارش شده است که با اضافه کردن مقدار کمی مس به آلیاژهای مغناطیسی، اندازه کریستالی در اثر تشکیل شدن تعداد زیادی خوشه های مس با دانسیته بالا در مراحل ابتدای تبلور از فاز آمورف، کاهش می‌یابد[۲۰]. یوشی زاوا[1] و همکارانش نشان دادند که با اضافه کردن مقدار کم مس به آلیاژ Fe-Si-B خواص مغناطیسی نرم آلیاژ به علت پالایش ریز ساختارافزایش می‌یابد[۲۱]. نتایج مشابهی گزارش شده است مبنی بر اضافه کردن مس در آلیاژ های نوع FINEMET (باترکیب Fe-Si-B-Nb-Cu)، NANOPERM (با ترکیب Fe-M-B-Cu (M=Zr,Nb,Hf)) و HITPERM (با ترکیب (Fe,Co)-M-B-Cu (M= Nb,Hf,Zr)) که باعث کاهش دادن اندازه کریستالی و در نهایت باعث افزایش خواص مغناطیسی شده است[۲۳-۲۲]. از طریق فرآیند آلیاژسازی مکانیکی می‌توان اندازه کریستالی را تا محدوده نانو کاهش داد، اما اضافه کردن مقدار کم افزودنی مثل مس در آلیاژ های پایه آهنی علاوه بر تسریع کاهش اندازه دانه تا محدوده نانو می تواند سبب افزایش پالایش دانه و ریز ساختار شود، در عین حال در ساختار کریستالی تغییرات خیلی مهمی ایجاد نمی‌کند. با توجه به اثر مناسب عنصر Co در افزایش مغناطش اشباع و همچنین اثر مناسب عنصر Cu در اصلاح ریزساختار و در نتیجه بهبود خواص مغناطیسی، ایده اضافه کردن همزمان این دو عنصر به منظور بازده سیستم های آلیاژی پایه آهنی مناسب به نظر می رسد. با توجه به اینکه در سیستم آهن-کبالت هنگامی که نسبت آهن به کبالت ۷۰ : ۳۰ باشد، بیشترین مغناطش اشباع را تولید می‌کند، به همین دلیل در آزمایش خود از این نسبت آلیاژی استفاده کردیم.

این پایان نامه مشتمل بر شش فصل می باشد. فصل اول مقدمه و معرفی کلی این پژوهش است. فصل دوم مروری اجمالی بر تئوری و مطالب مورد نیاز جهت انجام پروژه به همراه تحقیقات پیشین در این زمینه. در فصل سوم مراحل و نحوه‌ی انجام آزمایش‌ها ذکر شده است. فصل چهارم نتایج حاصل از آزمایش‌های تجربی را ارائه می‌دهد و در فصل پنجم سعی بر این بوده که در هر مورد عوامل مؤثر بر نتایج حاصله توضیح داده شود. در نهایت فصل ششم چکیده‌ای از نتایج بدست آمده ارائه شده و پیشنهاداتی جهت ادامه پروژه آورده شده است.

[1] Yoshizava

فصل دوم

مروری بر منابع و تحقیقات گذشته