بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی و مهندسی

بخش مهندسی مواد و متالورژی

پایان‌نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مواد

گرایش شناسایی و انتخاب مواد مهندسی

بررسی ریزساختار و خواص مغناطیسی آلیاژ نانوساختار آهن کبالت کروم تهیه شده به روش آلیاژسازی مکانیکی

مؤلف:

سعید فارابی خانقاهی

استاد راهنما:

دکتر شهریار شرفی

استاد مشاور:

مهندس اطهره دادگری‌نژاد

دی ماه ۱۳۹۰

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

بخش مهندسی مواد و متالورژی

دانشکده فنی و مهندسی

دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مذبور شناخته نمی‌شود.

دانشجو: سعید فارابی خانقاهی

استاد راهنما: دکتر شهریار شرفی

استاد مشاور: خانم مهندس اطهره دادگری نژاد

داور ۱: دکتر غلام‌حسین اکبری

داور ۲: دکتر عباس صادق زاده عطار

نماینده تحصیلات تکمیلی در جلسه دفاع: دکتر غلام‌رضا خیاطی

معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده: خانم دکتر مریم احتشام‌زاده

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

تقدیم به:

پدر بزرگوار و مادر مهربانم

آن دو فرشته‌ای که از خواسته‌هایشان گذشتند، سختی‌ها را به‌جان خریدند و خود را سپر بلای مشکلات و ناملایمات کردند تا من به جایگاهی که اکنون در آن ایستاده‌ام برسم.

تشکر و قدردانی:

سپاس ایزد منان را که توفیق اطاعت و بندگی به من عطا فرمود.

در این رهگذر به رسم ادب، خود را ملزم می‌دانم که با تواضع تام و از صمیم قلب تشکر و سپاس خالصانه خود را از:

اعضای خانواده‌ام، به خصوص **پدر و مادر عزیزم** که امکان تحصیل را برای من مشتاقانه فراهم کرده‌اند و دعای خیرشان همواره همراه و پشتیبان من بود.

جناب آقای دکتر شرفی شما روشنایی بخش تاریکی جان هستید و ظلمت اندیشه را نور می-بخشید. چگونه سپاس گویم مهربانی و لطف شما را که سرشار از عشق و یقین است. چگونه سپاس گویم تأثیر علم‌آموزی شما را که چراغ روشن هدایت را بر کلبه‌ی محقر وجودم فروزان ساخته است. آری در مقابل این همه عظمت و شکوه شما، مرا نه توان سپاس است و نه کلام وصف.

از تمامی اساتید محترم بخش مواد و متالورژی دانشگاه شهید باهنر کرمان که اینجانب افتخار شاگردیشان را داشته‌ام و خصوصاً از **جناب آقای دکتر اکبری** و **جناب آقای دکترصادق-زاده عطار** که زحمت داوری این پایان نامه را بر عهده گرفته‌اند، صمیمانه تشکر می‌نمایم.

از مسئولین محترم مرکز تحقیقات متالورژی دانشگاه شهید باهنر کرمان، سرکار خانم **مهندس بقایی** و سرکار خانم **مهندس دادگری‌نژاد** کمال تشکر را دارم.

در نهایت، از تمام کسانی که در طول دوره کارشناسی ارشد همواره مورد لطف‌شان بوده‌ام، به-خصوص دوستان عزیز آقایان مهندس ناطقیان، خانگلی، امیری نژاد، ، نعیمی و هاشمی صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم.

سعید فارابی خانقاهی

دی ماه ۱۳۹۰

چکیده

فرآیند آلیاژسازی مکانیکی به‌عنوان یکی از روش‌های تولید پودرهای آلیاژی نانوساختار در سال‌های اخیر مورد توجه وسیعی قرار گرفته است. از جمله کاربردهای این فرآیند می‌توان به تولید پودرهای نانوساختار مغناطیسی اشاره کرد که بهبود خواص مغناطیسی را به‌دنبال دارد. آلیاژهای آهن-کبالت دارای نفوذپذیری مغناطیسی بالا و نیروی مغناطیس‌زدای پایین می‌باشند. علاوه بر این در بین تمام آلیاژها و ترکیبات شناخته شده، آلیاژهای آهن-کبالت دارای بالاترین مغناطش اشباع می‌باشند. در سیستم آلیاژی آهن-کبالت بیشترین مغناطش اشباع در ترکیب Fe-35%Co حاصل می‌گردد. از طرف دیگر افزودن کروم به سیستم آلیاژی آهن-کبالت سبب افزایش مقاومت الکتریکی می‌شود. در نتیجه تلفات جریان گردابی کاهش و بازده سیستم افزایش می‌یابد. ولی کروم به‌دلیل رقیق کردن اتم‌های مغناطیسی سبب کاهش مغناطش اشباع می‌شود. در این پژوهش پودرهای نانوکریستالی $(Fe\text{-}35\%Co)_{100-x}Cr_x$ (x=0, 2, 10) به‌روش آلیاژسازی مکانیکی توسط آسیاب گلوله‌ای سیاره‌ای و با هدف بررسی خواص ساختاری و مغناطیسی تهیه گردید. آلیاژهای فوق به‌وسیله آسیاب پودرها با سرعت ۳۰۰ دور بر دقیقه و در زمان‌های ۱، ۱۵، ۳۲، ۶۰ و ۹۰ ساعت تحت آسیاکاری قرار گرفته است. به‌منظور بررسی‌های ساختاری از آنالیزهای SEM و XRD استفاده گردید و هم‌چنین از دستگاه مغناطومتر جهت بررسی خواص مغناطیسی کمک گرفته شد. طبق نتایج حاصل از آزمایشات، با افزایش میزان کروم از دو درصد اتمی به ۱۰ درصد اتمی، زمان آلیاژسازی لازم از ۶۰ ساعت به ۹۰ ساعت افزایش یافته است. افزایش میزان کروم سبب کاهش مغناطش اشباع می‌شود. ولی در ترکیب $(Fe\text{-}35\%Co)_{100-x}Cr_{x=2}$ که به مدت ۹۰ ساعت آسیاکاری شده است, بیشترین مغناطش اشباع ایجاد می‌شود. در ضمن پس از ۹۰ ساعت آسیاکاری با افزایش میزان کروم در این آلیاژها، نیروی مغناطیس‌زدا افزایش یافته و آلیاژ از لحاظ مغناطیسی سخت‌تر می‌شود.

کلمات کلیدی: آلیاژسازی مکانیکی، نانوساختار، مغناطش اشباع، نیروی مغناطیس‌زدا، آلیاژ آهن-کبالت-کروم.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول (مقدمه).....۱۶

فصل دوم (تئوری و مروری بر مطالعات پیشین) ۵

۲-۱- تئوری.....۶

۲-۱ ۱- فن‌آوری نانو.....۶

۲-۱ ۱-۱- تعریف فن‌آوری نانو ۷

۲-۱ ۱-۲- تولید مواد نانومتر ۷

۲-۱ ۲- آلیاژسازی مکانیکی ۸

۲-۱ ۲-۱- مقدمه ۸

۲-۱ ۲-۲- روند و مکانیزم فرآیند آلیاژسازی مکانیکی ۹

۲-۱ ۲-۳- متغیرهای فرآیند آلیاژسازی مکانیکی ۱۱

۲-۱ ۳- مغناطیس ۱۸

۲-۱ ۳-۱- مواد مغناطیسی نرم.....۱۸

۲-۱ ۳-۲- رفتارهای مواد مغناطیسی.....۱۹

۲-۱ ۳-۳- فاکتورهای مغناطیسی ۲۴

۲-۱ ۳-۴- حوزه‌ها و فرآیند مغناطیس شدن.....۲۶

۲-۱ ۳-۵- موانع حرکت دیواره حوزه‌ها و ارتباط آن با نیروی مغناطیس‌زدا.....۳۰

۲-۱ ۳-۶- مواد نانوساختار مغناطیسی ۳۱

۲-۲ مروری بر تحقیقات پیشین برای تولید مواد مغناطیسی نرم توسط فرآیند آلیاژسازی مکانیکی ۳۱
۲-۲ ۱- خواص ساختاری و مغناطیسی سیستم آهن و کبالت ۳۱
۲-۲ ۲- خواص ساختاری و مغناطیسی سیستم حاوی آهن، کبالت و کروم ۳۹
فصل سوم (روش تحقیق) ٤٤
۳-۱ مقدمه ٤٥
۳-۲ ترکیب شیمیایی ٤٥
۳-۳ مواد اولیه ٤٥
۳-۴ عملیات آسیاکاری ٤٦
۳-۵ نمونه‌برداری ٤٧
۳-۶ آزمایشات انجام شده روی پودرها ٤٧
۳-۶ ۱- آنالیز پراش اشعه ایکس(XRD) ٤٧
۳-۶ ۲- بررسی‌های میکروسکوپ الکترونی روبشی(SEM) ٤٨
۳-۶ ۳- تست مغناطومتری ٤٨
۳-۷ تعیین فاکتورهای ساختاری با استفاده از نتایج XRD ٤٨
۳-۷ ۱- تعیین اندازه کریستالی و کرنش شبکه ٤٨
۳-۷ ۲- تعیین پارامتر شبکه ٤٩
فصل چهارم (ارائه نتایج) ٥٠
۴-۱ آنالیز پراش اشعه ایکس ٥١

۴-۱ ۱- الگوهای پراش اشعه ایکس ۵۱
۴-۱ ۲- تعیین اندازه کریستالی ۵۷
۴-۱ ۳- تعیین کرنش شبکه ۵۸
۴-۱ ۴- تعیین پارامتر شبکه ۵۸
۴-۲ نتایج حاصل از میکروسکوپ الکترونی روبشی ۵۹
۴-۲ ۱- تصاویر SEM ۵۹
۴-۲ ۲- آنالیز تصاویر توزیع عنصری (Mapping) ۷۵
۴-۲ ۳- آنالیز طیف سنجی تفرق انرژی (EDS) ۷۷
۴-۳ نتایج حاصل از مغناطومتر ۷۸
۴-۳ ۱- حلقه‌های پسماند ۷۸
۴-۳ ۲- تعیین مغناطش اشباع ۸۳
۴-۳ ۳- تعیین نیروی مغناطیس‌زدا ۸٤
فصل پنجم (بحث و نتیجه‌گیری) ۸۵
۵-۱ آزمایشات اشعه ایکس ۸٦
۵-۱ ۱- الگوهای پراش اشعه ایکس ۸٦
۵-۱ ۲- اندازه کریستالی ۸۸
۵-۱ ۳- میکروکرنش شبکه ۹۰
۵-۱ ۴- پارامتر شبکه ۹۰
۵-۲ میکروسکوپی (SEM) ۹۱
۵-۲ ۱- تصاویر SEM ۹۱

۵-۲ ۲- آنالیز Mapping ۹۳
۵-۲ ۳- آنالیز EDS ۹۳
۵-۳ آزمایشات مغناطومتری ۹۳
۵-۳ ۱- مغناطش اشباع ۹٤
۵-۳ ۲- نیروی مغناطیس‌زدا ۹۵
فصل ششم (نتیجه‌گیری کلی و پیشنهادات) ۹۷
۶-۱ خلاصه نتایج ۹۸
۶-۲ پیشنهادات ۹۹
فصل هفتم (منابع و مراجع) ۱۰۰
مراجع ۱۰۱

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل(۲-۱): شماتیک آسیاب گلوله‌ای سیاره‌ای ۱۳

شکل(۲-۲): رفتار مواد پارامغناطیس ۲۰

شکل(۲-۳): رفتار مواد فرومغناطیس ۲۲

شکل(۲-٤): ماده آنتی‌فرومغناطیس در غیاب میدان مغناطیسی ۲۲

شکل(۲-۵): رابطه بین دما با پذیرفتاری مغناطیسی و معکوس آن برای ماده آنتی فرومغناطیس.آنتی‌فرومغناطیس=AF، پارامغناطیس=P ۲۳

شکل(۲-٦): نمودارهای مغناطیس‌شوندگی (a)دیامغناطیس؛ (b)پارامغناطیس یا آنتی‌فرومغناطیس؛ (c)فرومغناطیس یا فری‌مغناطیس ۲۳

شکل(۲-۷): تغییرات جهت بردار مغناطش درون دیواره حوزه مغناطیسی ۲۸

شکل(۲-۸): روند تغییرات مغناطش با اعمال میدان خارجی ۳۰

شکل(۲-۹): حلقه پسماند مغناطیسی ۳۰

شکل(۲-۱۰): دیاگرام اسلتر -پاولینگ ۳۱

شکل(۲-۱۱): نفوذپذیری اولیه و ماکزیمم برحسب درصد اتمی کبالت در آلیاژآهن -کبالت ۳۲

شکل(۲-۱۲): دیاگرام فازی آهن -کبالت ۳۲

شکل(۲-۱۳): اثر افزودن عنصر آلیاژی بر مقاومت الکتریکی آلیاژ هم‌اتمی آهن -کبالت ۳۳

شکل(۲-۱۴): ممان مغناطیسی اتمی برحسب درصد اتمی کبالت در آلیاژ آهن -کبالت ۳۴

شکل(۲-۱۵): مغناطش اشباع برحسب ترکیب شیمیایی در آلیاژ آهن-کبالت تهیه‌شده به روش آلیاژسازی مکانیکی ۳۴

شکل(۳-۱): الگوی پراش اشعه ایکس پودر آهن خالص مورد استفاده ۴۶

شکل(۳-۲): الگوی پراش اشعه ایکس پودر کروم خالص مورد استفاده ۴۶

شکل(۴-۱): الگوی پراش اشعه ایکس مخلوط پودرهای آهن، کبالت و کروم قبل از آسیاکاری ۵۱

شکل(۴-۲): الگوی پراش اشعه ایکس مخلوط پودری Fe-35%Co آسیاب شده به‌مدت ۱ ساعت ۵۲

شکل(۴-۳): الگوی پراش اشعه ایکس مخلوط پودری Fe-35%Co آسیاب شده به‌مدت ۱۵ ساعت ۵۲

شکل(۴-۴): الگوی پراش اشعه ایکس مخلوط پودری Fe-35%Co آسیاب شده به‌مدت ۳۲ ساعت ۵۲
شکل(۴-۵): الگوی پراش اشعه ایکس مخلوط پودری Fe-35%Co آسیاب شده به‌مدت ۶۰ساعت ۵۳
شکل(۴-۶): الگوی پراش اشعه ایکس مخلوط پودری Fe-35%Co آسیاب شده به‌مدت ۹۰ساعت ۵۳
شکل(۴-۷): الگوی پراش اشعه ایکس مخلوط پودری $(Fe\text{-}35\%Co)_{100-x}Cr_{x=2}$ آسیاب شده به‌مدت ۱ ساعت ۵۴
شکل(۴-۸): الگوی پراش اشعه ایکس مخلوط پودری $(Fe\text{-}35\%Co)_{100-x}Cr_{x=2}$ آسیاب شده به‌مدت ۱۵ ساعت ۵۴
شکل(۴-۹): الگوی پراش اشعه ایکس مخلوط پودری $(Fe\text{-}35\%Co)_{100-x}Cr_{x=2}$ آسیاب شده به‌مدت ۳۲ ساعت ۵۴
شکل(۴-۱۰): الگوی پراش اشعه ایکس مخلوط پودری $(Fe\text{-}35\%Co)_{100-x}Cr_{x=2}$ آسیاب شده به‌مدت ۶۰ ساعت ۵۵
شکل(۴-۱۱): الگوی پراش اشعه ایکس مخلوط پودری $(Fe\text{-}35\%Co)_{100-x}Cr_{x=2}$ آسیاب شده به‌مدت ۹۰ ساعت ۵۵
شکل(۴-۱۲): الگوی پراش اشعه ایکس مخلوط پودری $(Fe\text{-}35\%Co)_{100-x}Cr_{x=10}$ آسیاب شده به‌مدت ۱ ساعت ۵۶
شکل(۴-۱۳): الگوی پراش اشعه ایکس مخلوط پودری $(Fe\text{-}35\%Co)_{100-x}Cr_{x=10}$ آسیاب شده به‌مدت ۱۵ ساعت ۵۶
شکل(۴-۱۴): الگوی پراش اشعه ایکس مخلوط پودری $(Fe\text{-}35\%Co)_{100-x}Cr_{x=10}$ آسیاب شده به‌مدت ۳۲ ساعت ۵۶
شکل(۴-۱۵): الگوی پراش اشعه ایکس مخلوط پودری $(Fe\text{-}35\%Co)_{100-x}Cr_{x=10}$ آسیاب شده به‌مدت ۶۰ ساعت ۵۷
شکل(۴-۱۶): الگوی پراش اشعه ایکس مخلوط پودری $(Fe\text{-}35\%Co)_{100-x}Cr_{x=10}$ آسیاب شده به‌مدت ۹۰ساعت ۵۷
شکل(۴-۱۷): تغییرات اندازه کریستالیت‌ها برحسب زمان آسیاکاری ۵۸
شکل(۴-۱۸): تغییرات کرنش شبکه برحسب زمان آسیاکاری ۵۸

شکل(۴-۱۹): تغییرات پارامتر شبکه برحسب زمان آسیاکاری ۵۹
شکل(۴-۲۰): تصویر SEM مخلوط پودری آهن، کبالت و کروم قبل از آسیاکاری ۶۰
شکل(۴-۲۱): تصویر SEM مخلوط پودری Fe-35%Co بعد از ۱ ساعت آسیاکاری ۶۱
شکل(۴-۲۲): تصویر SEM مخلوط پودری Fe-35%Co بعد از ۶۰ ساعت آسیاکاری ۶۲
شکل(۴-۲۳): تصویر SEM مخلوط پودری Fe-35%Co بعد از ۹۰ ساعت آسیاکاری ۶۳
شکل(۴-۲۴): تصویر SEM مخلوط پودری $(Fe\text{-}35\%Co)_{100-x}Cr_{x=2}$ بعد از ۱ ساعت آسیاکاری ۶۴
شکل(۴-۲۵): تصویر SEM مخلوط پودری $(Fe\text{-}35\%Co)_{100-x}Cr_{x=2}$ بعد از ۱۵ ساعت آسیاکاری ۶۵
شکل(۴-۲۶): تصویر SEM مخلوط پودری $(Fe\text{-}35\%Co)_{100-x}Cr_{x=2}$ بعد از ۳۲ ساعت آسیاکاری ۶۶
شکل(۴-۲۷): تصویر SEM مخلوط پودری $(Fe\text{-}35\%Co)_{100-x}Cr_{x=2}$ بعد از ۶۰ ساعت آسیاکاری ۶۷
شکل(۴-۲۸): تصویر SEM مخلوط پودری $(Fe\text{-}35\%Co)_{100-x}Cr_{x=2}$ بعد از ۹۰ ساعت آسیاکاری ۶۸
شکل(۴-۲۹): تصویر SEM مخلوط پودری $(Fe\text{-}35\%Co)_{100-x}Cr_{x=10}$ بعد از ۱ ساعت آسیاکاری ۶۹
شکل(۴-۳۰): تصویر SEM مخلوط پودری $(Fe\text{-}35\%Co)_{100-x}Cr_{x=10}$ بعد از ۱۵ ساعت آسیاکاری ۷۰
شکل(۴-۳۱): تصویر SEM مخلوط پودری $(Fe\text{-}35\%Co)_{100-x}Cr_{x=10}$ بعد از ۳۲ ساعت آسیاکاری ۷۱
شکل(۴-۳۲): تصویر SEM مخلوط پودری $(Fe\text{-}35\%Co)_{100-x}Cr_{x=10}$ بعد از ۶۰ ساعت آسیاکاری ۷۲
شکل(۴-۳۳): تصویر SEM مخلوط پودری $(Fe\text{-}35\%Co)_{100-x}Cr_{x=10}$ بعد از ۹۰ ساعت آسیاکاری ۷۳
شکل(۴-۳۴): تصویر SEM ساختار لایه ای ۷۴
شکل(۴-۳۵): تصویر SEM مربوط به شکست ذرات و آگلومره‌شدن ذرات ۷۵
شکل(۴-۳۶): توزیع عنصری آهن، کبالت و کروم قبل از عملیات آسیاکاری ۷۶

شکل(۴-۳۷): توزیع عنصری آهن و کبالت در مخلوط پودری Fe-35%Co بعد از ۶۰ ساعت آسیاکاری ۷۶
شکل(۴-۳۸): توزیع عنصری آهن، کبالت و کروم در مخلوط پودری $(Fe\text{-}35\%Co)_{100-x}Cr_{x=2}$ بعد از ۶۰ ساعت آسیاکاری ۷۶
شکل(۴-۳۹): توزیع عنصری آهن، کبالت و کروم در مخلوط پودری $(Fe\text{-}35\%Co)_{100-x}Cr_{x=10}$ بعد از ۹۰ساعت آسیاکاری ۷۷
شکل(۴-۴۰): آنالیز عنصری EDS مخلوط پودری Fe-35%Co بعد از ۹۰ ساعت آسیاکاری ۷۷
شکل(۴-۴۱): آنالیز عنصری EDS مخلوط پودری $(Fe\text{-}35\%Co)_{100-x}Cr_{x=2}$ بعد از ۹۰ ساعت آسیاکاری ۷۸
شکل(۴-۴۲): آنالیز عنصری EDS مخلوط پودری $(Fe\text{-}35\%Co)_{100-x}Cr_{x=10}$ بعد از ۹۰ ساعت آسیاکاری ۷۸
شکل(۴-۴۳): حلقه پسماند Fe-35%Co ۹۰ ساعت آسیاب شده ۷۹
شکل(۴-۴۴): حلقه پسماند $(Fe\text{-}35\%Co)_{100-x}Cr_{x=2}$ قبل از عملیات آسیاکاری ۷۹
شکل(۴-۴۵): حلقه پسماند $(Fe\text{-}35\%Co)_{100-x}Cr_{x=2}$ ۱ساعت آسیاب شده ۷۹
شکل(۴-۴۶): حلقه پسماند $(Fe\text{-}35\%Co)_{100-x}Cr_{x=2}$ ۱۵ساعت آسیاب شده ۸۰
شکل(۴-۴۷): حلقه پسماند $(Fe\text{-}35\%Co)_{100-x}Cr_{x=2}$ ۳۲ساعت آسیاب شده ۸۰
شکل(۴-۴۸): حلقه پسماند $(Fe\text{-}35\%Co)_{100-x}Cr_{x=2}$ ۶۰ساعت آسیاب شده ۸۰
شکل(۴-۴۹): حلقه پسماند $(Fe\text{-}35\%Co)_{100-x}Cr_{x=2}$ ۹۰ساعت آسیاب شده ۸۱
شکل(۴-۵۰): حلقه پسماند $(Fe\text{-}35\%Co)_{100-x}Cr_{x=10}$ قبل از عملیات آسیاکاری ۸۱
شکل(۴-۵۱): حلقه پسماند $(Fe\text{-}35\%Co)_{100-x}Cr_{x=10}$ ۱ساعت آسیاب شده ۸۱
شکل(۴-۵۲): حلقه پسماند $(Fe\text{-}35\%Co)_{100-x}Cr_{x=10}$ ۱۵ساعت آسیاب شده ۸۲
شکل(۴-۵۳): حلقه پسماند $(Fe\text{-}35\%Co)_{100-x}Cr_{x=10}$ ۳۲ساعت آسیاب شده ۸۲
شکل(۴-۵۴): حلقه پسماند $(Fe\text{-}35\%Co)_{100-x}Cr_{x=10}$ ۶۰ساعت آسیاب شده ۸۲
شکل(۴-۵۵): حلقه پسماند $(Fe\text{-}35\%Co)_{100-x}Cr_{x=10}$ ۹۰ساعت آسیاب شده ۸۳
شکل(۴-۵۶): مغناطش اشباع برحسب زمان آسیاکاری برای ترکیبات مختلف ۸۳
شکل(۴-۵۷): نیروی مغناطیس‌زدا برحسب زمان آسیاکاری برای ترکیبات مختلف ۸۴
شکل(۵-۱): شماتیک مکانیزم تشکیل دانه نانومتری حین آسیاکاری ۸۹

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول (۱-۱): تکنیک‌های مختلف تولید مواد نانوساختار ۸

فصل اول

مقدمه

همواره مواد پیشرفته به صورت موادی که توجه اولیه به روش تولید و کنترل ساختار آنها به منظور تأمین خواص دقیق، اساسی و کاربردهای مورد تقاضا دارد، تعریف می‌شوند. اکنون پذیرفته شده است که ساختار و اجزای مواد پیشرفته با فرآیندهایی که تحت شرایط غیر تعادلی(یا دور از تعادل) قرار دارند بهتر می‌تواند کنترل شود. در میان چنین فرآیندهای زیادی که استفاده می‌شوند، فرآیندهایی چون انجماد سریع از حالت مایع، فرآیند پلاسمایی، رسوب بخار و آلیاژسازی مکانیکی[1] به طور جدی از طرف محققان مورد توجه قرار گرفته است[۱].

از طرف دیگر امروزه مواد نانوساختار[2]، به خاطر اینکه خواص مکانیکی، بیولوژیکی، اپتیکی، الکتریکی، ساختاری و مغناطیسی منحصربفرد و فوق‌العاده‌ای که از خود نشان می‌دهند، کاربرد وسیعی یافته‌اند و توجه محققین زیادی را به خود جلب کرده‌اند. چنین خواصی از ساختار نانومتری این مواد ناشی می‌شود. این اثر نانوساختاری، از زمانی که سایز میانگین دانه‌های کریستالی کمتر از ۱۰۰ نانومتر می‌شود، آشکار شده و هنگامی که به زیر ۱۰ نانومتر می‌رسد این امر مشهودتر می-شود[۲].

به‌طور کلی مواد نانوبلوری را می‌توان به دو روش کلی تولید کرد: ۱. روش پایین به بالا و ۲. روش بالا به پایین[۲]. روش‌های گوناگونی برای تولید مواد نانوساختار وجود دارد که یکی از آن‌ها، روش آلیاژسازی مکانیکی است[۱و۳]. آلیاژسازی مکانیکی فرآیندی است که امکان تولید مواد همگن را از مخلوط پودر عناصر به‌وجود می‌آورد. این فرایند شامل تغییر شکل تکراری (جوش سرد، شکست و جوش سرد مجدد) ذرات پودری در یک آسیاب[3] پرانرژی است تا زمانی که ترکیب مورد نظر به‌دست آید[۱و۳]. در این فرآیند ابتدا پودرها به نسبت مشخصی مخلوط و سپس در آسیاب مربوطه همراه با عامل ساینده وارد می‌شوند. در مرحله بعد مخلوط پودری طی زمان مطلوب تا رسیدن به یک حالت پایدار آسیاب می‌شوند. این زمان، زمانی است که ترکیب هر ذره پودر همان نسبتی را که ابتدا عناصر با هم مخلوط شدند را داشته‌باشد. بنابراین اصول مهم در آلیاژسازی مکانیکی مواد خام، نوع آسیاب و متغیرهای فرآیند هستند[۱و۴-۳].

ساختار نانو فرصتی را برای ایجاد مواد مغناطیسی نرم ایجاد می‌کند و در حالت نانوساختار، مواد مغناطیسی خواص متفاوت‌تر و بهتری را دارا می‌باشند. زیرا در این حالت کاهش ناهمسانگردی مغناطیسی در مواد ایجاد می‌شود. این کاهش به علت غالب شدن اثر همسوشدن یا

[1] .Mchanical Alloying
[2] .Nano Structure
[3] .Mill

جفت‌شدن گشتاورهای مغناطیسی در ساختارهایی با اندازه دانه کوچکتر از ۴۰ تا ۵۰ نانومتر است[۵].

آهن خالص یک ماده فرومغناطیس[1] مناسب است. اما مقاومت الکتریکی آن خیلی پایین و بنابراین تلفات جریان گردابی در آن بالا است. در اثر آلیاژسازی آهن با کبالت و نیکل می‌توان خواص مکانیکی آن را بهبود بخشید. آلیاژهای آهن-کبالت دارای نفوذپذیری مغناطیسی[2] بالا و نیروی مغناطیس‌زدای[3] پایین می‌باشند. علاوه بر این در بین تمام آلیاژها و ترکیبات شناخته‌شده، آلیاژهای آهن-کبالت دارای بالاترین مغناطش اشباع[4] می‌باشند. دمای کوری بالای این دسته آلیاژها به همراه خواص مغناطیسی مناسبی که در بالا ذکر شده، باعث شده تا از آلیاژهای آهن-کبالت در کاربردهای دما بالا به طور وسیعی استفاده شود. در اثر آلیاژشدن آهن با کبالت، تلفات جریان گردابی نسبت به آهن خالص کمتر شده که این امر سبب افزایش بازده سیستم می‌شود[۷-۶].

در سیستم آلیاژی آهن-کبالت، بیشینه مغناطش اشباع در ترکیب Fe-35%Co حاصل می‌گردد. ولی ترکیب Fe-50%Co با دارا بودن مغناطش تقریبا یکسان، نفوذپذیری مغناطیسی بالاتری از خود نشان می‌دهد. بنابراین استفاده از روش آلیاژسازی مکانیکی برای تولید آلیاژهای پایه آهن-کبالت در تولید مواد مغناطیسی نرم مناسب می‌باشد[۹-۸]. از طرف دیگر افزودن کروم به آهن دمای استحاله‌ی محلول جامد α (bcc) به محلول جامد γ (fcc) [$T_{\alpha/\alpha+\gamma}$] را تحت‌تأثیر قرارمی‌دهد. همچنین مقاومت الکتریکی را افزایش داده و در نهایت اینکه مقاومت به خوردگی افزایش می‌یابد. ولی کروم به دلیل رقیق کردن اتم‌های مغناطیسی سبب کاهش مغناطش اشباع می‌شود[۱۰-۹]. همچنین افزودن کروم سبب افزایش نفوذپذیری مغناطیسی می‌شود، به طوری که در Fe-50%Co، $\mu_m(\mu_o)$ برابر با ۶۰۰۰ است و در Fe-35%Co-0.5%Cr، که آلیاژ پایه آهن-کبالت با نسبت تقریباً ۶۵ به ۳۵ است و در این نسبت نفوذپذیری در مقایسه با ترکیب ۵۰ به ۵۰ کمتر است، $\mu_m(\mu_o)$ برابر با ۱۰۰۰۰ است[۱۱]. پس از جنبه خواص مغناطیسی, کروم سبب شده تا مقاومت الکتریکی به مقدار زیادی افزایش یابد و در پی آن تلفات جریان گردابی کاهش می‌یابد و در کل کاهش تلفات و افزایش بازده سیستم مهیا می‌شود.

[1].Ferromagnetic
[2].Permeability
[3].Coercivity
[4].Saturation Magnetization

با توجه به اثر مناسب کبالت و کروم ایده اضافه کردن این دو عنصر به آهن و بهبود بخشیدن خواص و بازده در آلیاژ پایه آهن منطقی به نظر می‌رسد. بنابراین بررسی اثر افزودن کروم به آلیاژ Fe-35%Co، هدف اصلی این پروژه انتخاب گردیده است.

در این تحقیق به منظور تولید پودرهای نانوکریستال آهن-کبالت و آهن-کبالت-کروم با استفاده از روش آلیاژسازی مکانیکی از پودرهای آهن، کبالت و کروم با خلوص بالای ۹۹٪ استفاده شده است. پودرها در یک آسیاب سیاره‌ای[1] تحت اتمسفر آرگون در زمان‌های متفاوت و ترکیبات مختلف از کروم آسیاب شدند. مورفولوژی و ریزساختار پودرها توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی(SEM)[2] و آنالیز تفرق اشعه‌ی ایکس(XRD)[3] بررسی شد. مغناطش اشباع و نیروی مغناطیس‌زدا توسط مغناطومترهای VSM[4] و AGFM[5] اندازه‌گیری شد.

در تحقیق حاضر، فصل اول مقدمه و معرفی کلی این پژوهش است. فصل دوم مروری اجمالی بر تئوری و مطالب مورد نیاز جهت انجام این پروژه به همراه تحقیقات پیشین در این زمینه می‌باشد. در فصل سوم مواد و روش انجام آزمایش‌ها آورده شده است. فصل چهارم نتایج حاصل از آزمایش‌ها را ارائه می‌دهد. در فصل پنجم تحلیل نتایج حاصل از هر یک از موارد ارائه شده بیان می‌شود. درنهایت نتیجه‌گیری به همراه پیشنهاداتی جهت ادامه پروژه آورده شده است.

[1] .Planetary Mill
[2] .Scan Electron Microscope
[3] . X-Ray Diffraction
[4] .Vibrating Sample Magnetometer
[5] .Alternating Gradient Force Magnetometer

فصل دوم

تئوری و مروری بر مطالعات پیشین