

تأثیر افزودن یون کروم بر آنالیز فازی، ریز ساختاری و خواص مغناطیسی بدنه های هگزا فریت استرانسیوم تهیه شده به روش حالت جامد

امیرعباس نوربخش^۱، محسن نوربخش^۲، مهرداد شایگان^۳، سلین غربیان^۴

۱-استاد یار مواد دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرضا

nourbakhsh@iaush.ac.ir

۲-مرکز تحقیقات شرکت گسترش مواد مغناطیسی تابان

mohsen2100@yahoo.com

۳-کارشناس ارشد تحقیقات شرکت سرمایه‌گذاری نوین سپاهان

m.shaygan@gmail.com

۴-گروه مهندسی مواد دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرضا

gharibianc@yahoo.com

چکیده

بدنه های سخت مغناطیسی هگزا فریت استرانسیوم همچنان اهمیت خود را در صنایع میکروویو، ساخت موتور های الکتریکی، صنایع کشاورزی (آبیاری بارانی) و غیره دارا می باشند. در تحقیق حاضر نقش افزودن یون کروم بر آنالیز فازی، ریز ساختاری و خواص مغناطیسی بدنه های هگزا فریت استرانسیوم تهیه شده به روش حالت جامد مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می دهد انتخاب نسبت مولی مناسب اکسید آهن و اکسید استرانسیوم ($n=6$)، درجه حرارت پخت اول (1210°C) به منظور تشکیل فاز مغناطیسی هگزا فریت استرانسیوم و درجه حرارت پخت دوم (1220°C) جهت ساخت بدنه با خواص مغناطیسی مناسب در حضور افزودنی کروم الزامی می باشد. بررسی الگوی تفرق اشعه X به همراه اندازه گیری مشخصات ریز ساختاری (SEM) نشان داد که میزان بهینه افزودنی کروم $0/3$ مول ($\text{SrCr}_{0/3}\text{Fe}_{11/7}\text{O}_{19}$) بوده و نیروی وادارندگی مغناطیسی 3995 Oe ، مغناطش باقی مانده 3719Gs و میزان مربعی شدن $83/5$ درصد گردید.

واژه‌های کلیدی

هگزا فریت استرانسیوم، افزودن کروم، خواص مغناطیسی، حالت جامد

۱- مقدمه

بدنه های سخت مغناطیسی شدیداً تابع مشخصات ریز ساختاری همچون سایز دانه ها، تخلخل، فاز های ثانویه و رشد انیزوتروپ دانه ها می باشد [۳]. درحالیکه مغناطش باقی مانده مناسب ایجاد می کند که بدنه دانسیته بالایی به همراه رشد انیزوتروپ داشته باشد، لازم است جهت فراهم نمودن نیروی وادارندگی

بدنه های سخت مغناطیسی هگزا فریت استرانسیوم با ساختار مگنتوپلمبیت و فرمول عمومی $\text{MeFe}_{12}\text{O}_{19}$ همچنان اهمیت خود را در صنایع میکروویو، ساخت موتورهای الکتریکی، صنایع کشاورزی (آبیاری بارانی) و غیره دارا می باشند [۲و۱]. خواص

منحنی های هستریزیس مغناطیسی را نشان می دهد. در نهایت خواص مغناطیسی نمونه بهینه حاوی ۰/۳ مول کروم، نیروی وادارندگی مغناطیسی Oe ۳۹۹۵ ، مغناطش باقی مانده ۳۷۱۹Gs و میزان مربعی شدن ۸۳/۵ درصد بدست آمد.

۲-مواد اولیه و روش انجام آزمایشات

در تحقیق حاضر جهت سنتز پودر و بدنه هگزافریت استرانسیوم دب شده با مقادیر مختلف کروم از مواد اولیه آورده شده در جدول (۱) استفاده گردید. لازم به ذکر است که به غیر از اکسید آهن که از لجن صنعتی شرکت فولاد مبارکه تامین گردیده در بقیه موارد از مواد با خلوص بالا استفاده شده است. آنالیز شیمیایی اکسید آهن مورد استفاده در جدول (۲) آورده شده است.

جدول (۱) : مواد اولیه مورد استفاده

ردیف	نام ماده	فرمول شیمیایی	جرم مولی (g/mol)	دانسیته (g/cm ^۳)
۱	کربنات استرانسیوم	SrCO _۳	۱۴۷/۶۳	۳/۵
۲	اکسید آهن	Fe _۲ O _۳	۱۵۹/۶۹	۵/۲۴۲
۳	اکسید کروم	Cr _۲ O _۳	۱۵۱/۹۹	۵/۲۲
۴	پلی وینیل الکل	(C _۲ H _۴ O) _x	۴۴	۱/۴۱-۱/۱۹
۵	اسید بوریک	H _۳ BO _۳	۶۱/۸۳	۱/۴۳
۶	اکسید کلسیم	CaO	۵۶/۰۷	۳/۳۵
۷	سیلیس	SiO _۲	۶۰/۰۸	۲/۲
۸	آلومینا	Al _۲ O _۳	۱۰۱/۹۶	۴/۱-۳/۹۴

جهت ساخت نمونه ها ، در ابتدا و با توجه به خلوص مواد اولیه مقادیر متناسبی از اکسید آهن و کربنات استرانسیوم و با توجه به نسبت مولی اکسید آهن به اکسید استرانسیوم (n=۶) توزین گردیده و در جارمیل پلیمری مدل BP-۴۰۳ و نسبت گلوله به مواد ۱۱ به ۱ و سرعت ۵۵۰ دور در دقیقه و بمدت یکساعت مخلوط گردید .

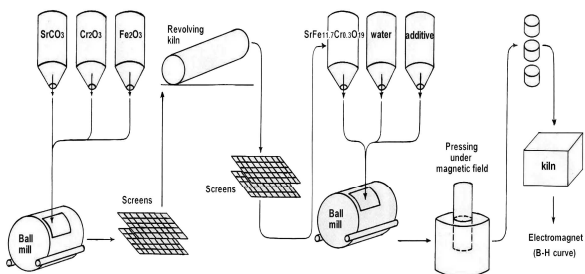
مغناطیسی بالا از رشد دانه ها جلوگیری نمود[۴]. جهت بدست آوردن شرایط فوق از فرآیند های مختلفی در ساخت بدنه های مغناطیسی استفاده گردیده است که از آن جمله می توان به رسوبدهی همزمان[۵]، سنتز هیدروترمال[۶]، شیشه - سرامیک [۷]، فرآیند سل-ژل [۸] و سنتز خود احتراقی [۹] اشاره نمود.

از زمان کشف هگزافریت استرانسیوم در شرکت فیلیپس در سال ۱۹۵۴ تا کنون فعالیت های تحقیقاتی متعددی جهت بهینه سازی خواص این ماده استراتژیک صورت پذیرفته است[۱۰]. در میان تحقیقات صورت گرفته، مطالعات زیادی در زمینه جایگزینی کاتیون های مختلف در زیر شبکه های هگزافریت استرانسیوم به چشم می خورد[۱۱]. در هگزافریت های نوع M یون های آهن در پنج محل مختلف کریستالی شامل محل های هشت وجهی (۲b و ۴f_۱) قرار می گیرند. یونهای آهن در هگزافریت استرانسیوم در محل های ۲b و ۲a، ۱۲k و ۴f_۲ دارای اسپینهای موازی و در جهت (c) محور کریستالی بوده و این در حالی است که اسپینها در محل های ۴f_۲ و ۴f_۱ بصورت موازی و در خلاف جهت سه موقعیت قبلی در کریستال گزارش شده است[۱۲]. تحقیقات بسیاری بر روی جایگزینی یونهای مختلف همچون ^{۲+}Zn ، ^{۳+}Al ، ^{۴+}Ti ، ^{۳+}Ga ، ^{۳+}La و ^{۲+}Co در ساختار هگزافریت استرانسیوم و نقش آن بر بهینه سازی خواص مغناطیسی انجام گرفته است[۱۳].

علیرغم حجم بالای فعالیتهای تحقیقاتی ،اطلاعات مدونی در زمینه نقش یون کروم به عنوان افزودنی بر خواص مغناطیسی هگزافریت های استرانسیوم در دسترس نمی باشد. در کار تحقیقاتی حاضر سعی گردید تا نقش افزودن یون کروم سه ظرفیتی بر ساختار، آنالیز فازی و مشخصات مغناطیسی بدنه هگزافریت استرانسیوم تهیه شده به روش حالت جامد مورد بررسی قرار گیرد . نتایج نشان داد ، حد بهینه میزان افزودن مول کروم ۰/۳ بوده وبالاتر از آن فاز غیر مغناطیسی هماتیت ظاهر می گردد . همچنین بررسیهای ریز ساختاری (SEM) مشخص نمود که با افزودن یون کروم ، ساختار نسبتاً ریز دانه تری حاصل می گردد که تطابق خوبی با نتایج بدست آمده از بررسیهای

جدول (۲): آنالیز شیمیایی اکسید آهن مورد استفاده

ترکیب	Fe _۲ O _۳	Cl	CaO	SiO _۲	MnO	Al _۲ O _۳	SO _۳	MgO	CuO	ZnO	Cr _۲ O _۳	K _۲ O	LOI	Total
درصد وزنی	۹۳/۶۸	۱/۴۱	۱/۰۵	۰/۲۷	۰/۲۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۰۸۴	۰/۰۴۲	۰/۰۲۵	۰/۰۲۱	۰/۰۱۹	۳/۱۰	۱۰۰/۱۶



شکل (۱): مراحل ساخت نمونه هگزا فريت استرانسیوم با افزودنی کروم

نمونه های مورد بررسی در تحقیق حاضر و پارامترهای در نظر گرفته شده جهت تولید آنها در جدول (۳) آورده شده است .

جدول(۳): نمونه های مورد بررسی به همراه پارامترهای تولید

شماره نمونه	نسبت مولی (Fe/Sr)	نسبت مولی (Fe/Sr)	درجه حرارت پخت اول (°C)	درجه حرارت پخت دوم (°C)	مول کروم
C _۱	۶	۱۲	۱۱۸۰	-	-
C _۲	۶	۱۲	۱۱۹۰	-	-
C _۳	۶	۱۲	۱۲۰۰	-	-
C _۴	۶	۱۲	۱۲۱۰	-	-
C _۵	۶	۱۲	۱۲۱۰	۱۲۱۰	-
C _۶	۶	۱۲	۱۲۱۰	۱۲۲۰	-
C _۷	۶	۱۲	۱۲۱۰	۱۲۴۰	-
C _۸	۶	۱۲	۱۲۱۰	۱۲۶۰	-
C _{۹-i}	۶	۱۱/۹	T*	۱۲۲۰	۰/۱
C _{۱۰-i}	۶	۱۱/۷	T*	۱۲۲۰	۰/۳
C _{۱۱-i}	۶	۱۱/۵	T*	۱۲۲۰	۰/۵

$T^*: i = 1 \rightarrow T^* = 1210^{\circ}\text{C}, i = 2 \rightarrow T^* = 1220^{\circ}\text{C},$

$i = 3 \rightarrow T^* = 1240^{\circ}\text{C}, i = 4 \rightarrow T^* = 1260^{\circ}\text{C}$

سپس جهت مشخص نمودن دمای بهینه تشکیل هگزا فريت استرانسیوم پودرهای حاصل در کوره الکتریکی مدل LH۳۰/۱۴، با نرخ گرمایش ۱۰ درجه سانتیگراد بر دقیقه و زمان نگهداری دو ساعت در دماهای متفاوت ۱۱۴۰-۱۲۲۰ درجه سانتیگراد با فاصله دمایی ۱۰ درجه برای هر پخت ، تحت عملیات پخت اول قرار گرفتند. از پودر های حاصله در این مرحله الگوی تفرق اشعه X توسط دستگاه بروکر مدل DAADVANCEساخت آلمان و با استفاده از تابش Cu-Kα ($\lambda=1/ 54.06 \text{ \AA}$) به همراه فیلتر نیکل تهیه گردید. همچنین شاخصهای نسبی خواص مغناطیسی نمونه ها بدست آمده از منحنی هسیتریزس (B-H curve) گرفته شده توسط دستگاه الکترومگنت شرکت گسترش مواد مغناطیسی مدل AMT-۴ مورد بررسی قرار گرفت. سپس نمونه بهینه (بدون افزودنی کروم) با توجه به بررسیهای فازی و خواص مغناطیسی انتخاب و با توجه به فرمول SrCr_xFe_{۱۲-x}O_{۱۹} مقادیر متناسبی از اکسید کروم محاسبه و پس از توزین با پودر بهینه و افزودنی های ردیف ۵ تا ۸ مندرج در جدول ۱ و با نسبت آب به مواد(سه به یک) در جارمیل فلزی ریخته شده و به مدت ۸ ساعت مخلوط گردید. سپس دوغاب حاصله توسط پرس تحت میدان مغناطیسی مدل C۴۵۲۰ تبدیل به قرص هایی با قطر ۳ سانتی متر و ارتفاع ۱ سانتی متر گردید .

نمونه های حاصله در دمای بین ۱۲۱۰ تا ۱۲۶۰ سانتیگراد و با فاصله دمایی ۱۰ درجه سانتیگراد و با شرایط مشابه با پخت اول تحت فرآیند پخت قرار گرفتند. از نمونه های حاصله الگوی تفرق اشعه X ، منحنی هسیتریزس و همچنین تصاویر میکروسکوپ الکترونی توسط دستگاه LEO ۴۳۵ VP گرفته شد. کلیه مراحل ساخت قطعه در شکل (۱) آورده شده است.

۳-نتایج و بحث

با توجه به آنالیز اکسید آهن ارائه شده در جدول (۲) و با توجه به کمبود نسبی آهن و به دلیل خلوص نسبتاً پائین لجن صنعتی مورد مصرف، تصمیم گرفته شد که نسبت مولی اکسید آهن به اکسید استرانسیوم، ۶ انتخاب گردد. در تحقیقات دیگران مشاهده می گردد که نسبت فوق عمده (۵/۸-۵/۹) در نظر گرفته شده که بدلیل ایجاد جای خالی و بهبود فرآیند نفوذ و به دلیل استفاده از پودرهای خالص گزارش شده است [۱۴]. آنالیز حرارتی (DTA) بر روی پودر مخلوط شده نشان داد که دمای شروع تشکیل هگزا فریت استرانسیوم در حدود ۸۰۰ درجه سانتیگراد می باشد.

۳-۱- انتخاب بهینه دمای پخت اول (دمای کلسیناسیون)

با توجه به تشکیل فاز هگزا فریت استرانسیوم در حین پخت اول، انتخاب دمای بهینه که به شرایط مواد اولیه همچون اندازه ذرات، سطح ویژه ذرات، نسبت مولی و نحوه اختلاط بستگی دارد، از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد. عدم تشکیل مقدار مناسب هگزا فریت استرانسیوم به دلیل تشکیل فازهای میانی بر روی سطح اکسید آهن و جلوگیری از فرآیند نفوذ و همچنین کامل نشدن انقباض پودر در این مرحله مشکلات اساسی در حین فرآیند زینترینگ را به همراه خواهد داشت.

نتایج بررسیهای الگوی تفرق اشعه X، نمونه های (C_۱-C_۴) حاکی این مطلب است که هیچگونه تغییر در الگوی تفرق اشعه X با افزایش درجه حرارت پخت اول مشاهده نمی گردد. جهت انتخاب بهینه دمای کلسیناسیون (پخت اول) خواص مغناطیسی پودرهای کلسینه شده (C_۱-C_۴) بدست آمده از منحنی های هیستروگراف مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت که نتایج آن در جدول (۴) آورده شده است.

نتایج نشان میدهد که علی رغم ثابت بودن مقدار مغناطش باقی مانده در حدود ۳۶۰۰ گوس، نیروی وادارندگی مغناطیسی از حدود ۳۵۰۰ به حدود ۴۰۰۰ اورستد افزایش یافته است، این

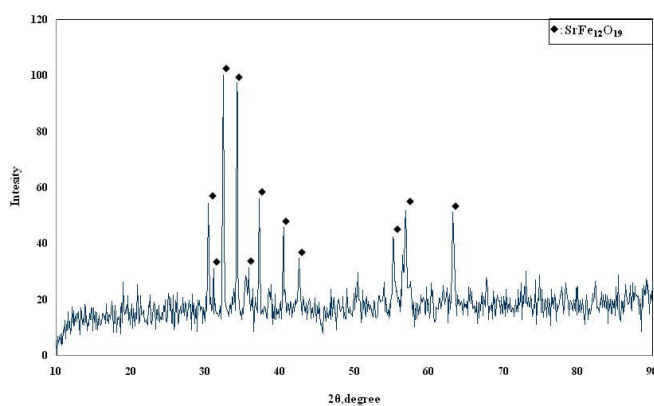
درحالی است که میزان مربعی شدن در حدود ۸۷ درصد گزارش شده است.

جدول (۴):اطلاعات مربوط به منحنی های هیستریزس جهت تعیین دمای

پخت اول

شماره نمونه	دمای پخت اول (°C)	Br(Gs)	Hcj(Oe)	Hk/Hcj(%)
C _۱	۱۱۸۰	۳۷۹۷	۳۵۲۵	۸۸/۲
C _۲	۱۱۹۰	۳۶۴۳	۳۹۲۳	۹۰
C _۳	۱۲۰۰	۳۵۳۸	۳۹۸۷	۸۸/۷
C _۴	۱۲۱۰	۳۶۷۳	۴۰۴۸	۸۷/۱

نتایج فوق که صرفاً و جهت مقایسه پودرهای کلسینه شده مورد استفاده قرار گرفته، می تواند دلیل مناسبی جهت انتخاب دمای ۱۲۱۰ درجه سانتیگراد برای پخت اول باشد. البته ذکر این نکته نیز ضروری است که انجام عملیات پخت اول در دمای بالاتر از ۱۲۱۰ درجه سانتیگراد باعث زینترینگ جزئی بدلیل ناخالصی همراه آهن بوده که شرایط پخت پودر در مرحله زینترینگ را طولانی تر می نماید. در شکل (۲) الگوی تفرق اشعه X نمونه C_۴ در دمای ۱۲۱۰ درجه سانتیگراد آورده شده است.



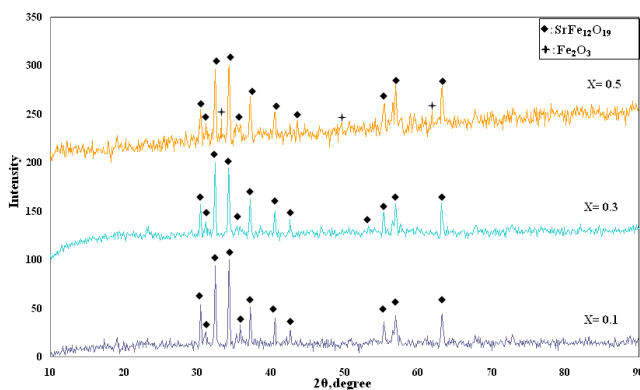
شکل (۲): الگوی تفرق اشعه X نمونه C_۴ در دمای ۱۲۱۰ درجه سانتیگراد

۳-۲- انتخاب دمای بهینه پخت دوم (دمای زینترینگ)

جهت بهینه سازی دمای پخت دوم، نمونه های C_۵-C_۸

۳-۳- تعیین میزان بهینه افزودنی کروم

در این مرحله و جهت دپ کردن یون کرم، در ساختار هگزافریت استرانسیوم و با فرمول $\text{SrCr}_x\text{Fe}_{12-x}\text{O}_{19}$ و به میزان ۰ تا ۵/۵ مول کروم، از اکسید کروم با خلوص آزمایشگاهی استفاده گردید. نتایج بررسی آنالیز تفرق اشعه X ، از نمونه های پخته شده در ۱۲۲۰ درجه سانتیگراد در شکل (۳) نمایش داده شده است.



شکل (۳): الگوی تفرق اشعه X نمونه ها ($\text{SrCr}_x\text{Fe}_{12-x}\text{O}_{19}$) در دمای ۱۲۲۰ درجه سانتیگراد

نتایج نشان می دهد که با افزودن مول کروم تا ۳/۰ هیچگونه تغییری در آنالیز فازی بوجود نیامد. این در حالی است که با افزودن ۵/۰ مول کروم به هگزا فریت استرانسیوم فاز هماتیت که غیر مغناطیسی می باشد ظهور می نماید. نتایج بررسیهای Mossbauer توسط دیگر محققین ثابت نموده که یون Cr^{3+} در تمام موقعیت های Fe^{3+} به جز موقعیت تتراهدرال $4f_1$ ، امکان حضور دارد [۱۶]. با توجه به تقریباً برابر بودن شعاع یونی Cr^{3+} (۶۴ پیکومتر) در برابر شعاع یونی Fe^{3+} (۶۳ پیکومتر) حضور فاز هماتیت نمی تواند به اندازه یونی ارتباط یابد و این موضوع بنظر می رسد در ارتباط با انرژی تبادل بدلیل جایگزینی یون Cr^{3+} بجای Fe^{3+} در شبکه هگزا فریت استرانسیوم باشد [۱۷].

بررسی مشخصات مغناطیسی نمونه های (C_9 - C_{11}) در اشکال (۴) و (۵) آورده شده است. نتایج مربوط به مغناطش باقیمانده در شکل (۴) نشان می دهد که با افزایش میزان مول کروم دپ

مندرج در جدول (۳) مورد استفاده قرار گرفت. هدف این مرحله انتخاب دمای مناسب زینترینگ جهت حصول خواص مغناطیسی مناسب که شدیداً تحت تاثیر متغیرهای ساختاری می باشد، بوده است. جهت بهبود فرآیند زینترینگ در کار تحقیقاتی حاضر از مخلوط CaO و B_2O_3 ، Al_2O_3 ، SiO_2 و به میزان ۱/۵ درصد وزنی استفاده گردید. بر اساس گزارش آرندت، استفاده از مواد افزودنی در مرحله زینترینگ حتی برای پودرهای تجاری نیز که اغلب در حدود یک درصد ناخالصی دارند، با بهبود قابل ملاحظه ای بویژه در مورد نیروی وادارندگی مغناطیسی (Hcj) همراه بوده است [۱۵].

نتایج بررسیهای انجام گرفته در مورد دمای پخت دوم (زینترینگ) در جدول (۵) آورده شده است. همانگونه که از اطلاعات این جدول استنباط می گردد، با افزایش دمای پخت در مرحله زینترینگ، مغناطش باقی مانده (Br) افزایش نسبی یافته که دلیل آن زینترینگ بهتر بدنه و حذف تداخل می باشد، همچنین نیروی وادارندگی مغناطیسی (Hcj) کاهش یافته که علت آن رشد دانه ها در حین زینترینگ در درجه حرارت های بالاتر می باشد. با توجه به اطلاعات مندرج در جدول (۴) و با توجه به نیاز به بالا بودن همزمان مغناطش باقی مانده، نیروی وادارندگی مغناطیسی و درصد مربعی، درجه حرارت پخت دوم ۱۲۲۰ درجه سانتیگراد جهت بررسی نقش افزودن یون کروم و بهبود خواص مغناطیسی در نظر گرفته شد.

جدول (۵): اطلاعات مربوط به منحنی های هیستریزس جهت تعیین دمای

پخت نهایی

شماره نمونه	دمای پخت نهایی (°C)	Br(Gs)	Hcj(Oe)	Hk/Hcj(%)
C _۵	۱۲۱۰	۳۹۷۵	۳۵۱۸	۹۲/۵
C _۶	۱۲۲۰	۴۰۱۷	۳۴۱۴	۹۲/۹
C _۷	۱۲۴۰	۴۰۳۰	۳۳۹۶	۸۹/۶
C _۸	۱۲۶۰	۴۱۳۰	۲۸۸۶	۸۳/۹

موضوع با رابطه زیر نمایش داده می شود [۱۵].

(۱)

$$Ms = 6M_{12k}^{Fe^{3+}} - 2M_{4f_2}^{Fe^{3+}} - 2M_{4f_1}^{Fe^{3+}} + M_{2b}^{Fe^{3+}} + M_{2a_2}^{Fe^{3+}}$$

این رابطه در مورد هگزا فریت استرانسیوم دپ شده و با توجه به بررسیهای Mossbauer انجام گرفته توسط دیگران بصورت زیر تبدیل می شود [۱۸].

(۲)

$$Ms = [6(XM_{12k}^{Fe^{3+}} + (1-X)M_{12k}^{Cr^{3+}})] - 2(X\{M_{4f_2}^{Fe^{3+}} + (1-X)M_{4f_2}^{Cr^{3+}}\}) - 2M_{4f_1}^{Fe^{3+}} + [(XM_{2b}^{Fe^{3+}} + (1-X)M_{2b}^{Cr^{3+}})] + [(XM_{2a_2}^{Fe^{3+}} + (1-X)M_{2a_2}^{Cr^{3+}})]$$

که در رابطه فوق X ، کسر مولی اشغال شده توسط یون Fe^{3+} در مواضع ۵ گانه می باشد.

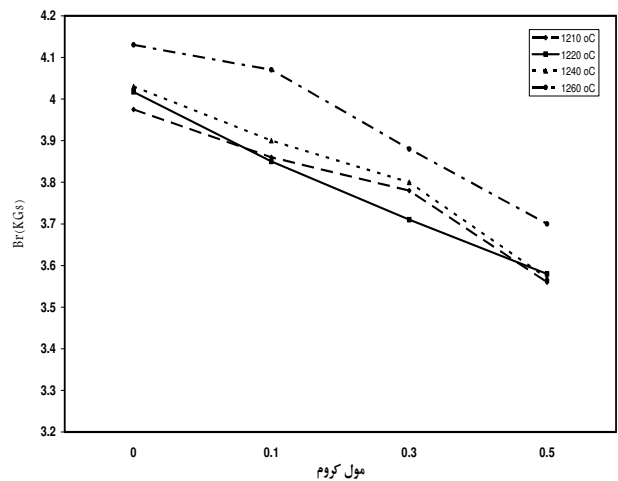
با حضور یون کروم با مغناطش کمتر، در کل مغناطش واحد شبکه و بالطبع آن مغناطش باقیمانده قطعه کاهش می یابد.

بررسی مقادیر نیروی وادارندگی مغناطیسی (H_{cj}) در شکل (۵) نشان می دهد که با افزایش میزان مول کروم در ساختار از ۰ تا ۰/۵ مول ($X=0-0.5$) میزان نیروی وادارندگی مغناطیسی افزایش می یابد. بطور کلی هر چه انرژی کل یک قطعه مغناطیسی کمتر باشد، میل سیستم جهت تغییر جهت ممان مغناطیسی کمتر می باشد. رابطه زیر توسط محققین درارتباط با ثابت ناهمسانگردی و مغناطیس اشباع به اثبات رسیده است [۱۹].

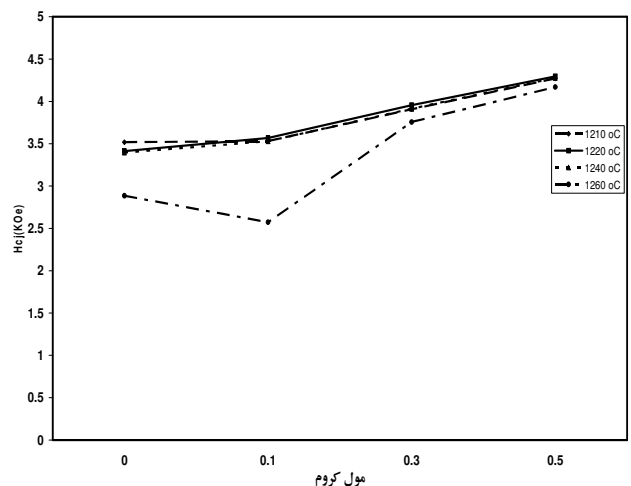
$$H_{cj} = \alpha \left(\frac{2k}{Ms} - NM_s \right) \quad (3)$$

که در رابطه فوق Ms مغناطش اشباع، K ثابت ناهمسانگردی و N فاکتور وادارندگی می باشد. با توجه به رابطه اخیر و کاهش Ms ناشی از افزودن یون کروم در شبکه هگزا فریت استرانسیوم و بالطبع مغناطش باقیمانده (Br)، می توان انتظار افزایش (H_{cj}) را داشت.

شده مغناطش باقیمانده در تمام درجه حرارت های پخت کاهش یافته است. با توجه به آرایش الکترونی، میزان مغناطش یون کروم معادل ۳ مگنتون بور بوده و این در حالی است که میزان مغناطش یون آهن ۵ مگنتون بور برآورد می گردد.

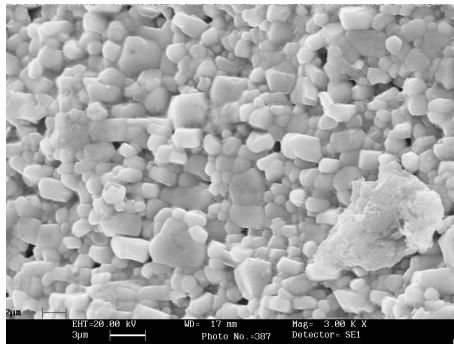


شکل (۴): تغییرات مغناطش باقیمانده در نمونه های حاوی مقادیر مختلف کروم در دماهای گوناگون

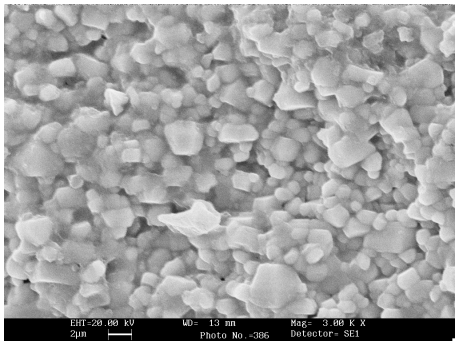


شکل (۵): تغییرات نیروی وادارندگی در نمونه های حاوی مقادیر مختلف کروم در دماهای گوناگون

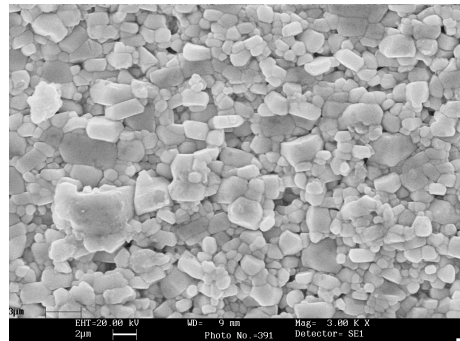
بررسیهای انجام گرفته در مورد واحد شبکه هگزا فریت استرانسیوم نشان داده که جهت گیری اسپینها در موقعیتهای ۵ گانه بصورتی است که در کل، مقدار مغناطش ۲۰ مگنتون بور را جهت واحد شبکه هگزا فریت استرانسیوم به همراه دارد، این



(الف)



(ج)

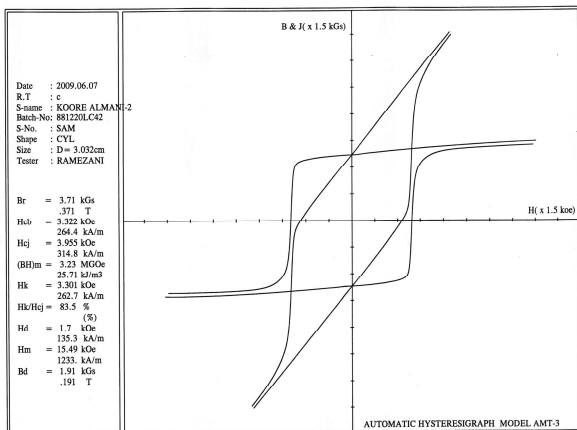


(ب)

شکل (۶): تصاویر ریز ساختار نمونه های پخته شده در 1220°C

(الف): ۱/۰ مول کروم- (ب): ۳/۰ مول کروم - (ج): ۵/۰ مول کروم

هیستریزیس آن در شکل (۷) آورده شده است.



شکل (۷): منحنی هیستریزیس نمونه بهینه حاوی ۳/۰ مول کروم

($\text{SrCr}_{0.7}\text{Fe}_{11.7}\text{O}_{19}$)

نتایج بررسیهای ریز ساختاری توسط SEM که در شکل (۶)

نمایش داده شده است، مشخص نمود که با افزایش یون کروم سائز دانه های هگزا فريت بصورت نسبی کاهش یافته ومی تواند دلیل افزایش نیروی وادارندگی مغناطیسی باشد، همچنین کاهش سائز دانه ها می تواند به کاهش نفوذ بین دانه ای در حضور یون کروم ارتباط داشته باشد .

با توجه به بررسیهای انجام گرفته ونیاز به بالا بودن همزمان نیروی وادارندگی مغناطیسی ، مغناطش باقی مانده و درصد مربعی شدن جهت یک قطعه مغناطیسی ، نمونه شامل ۳/۰ مول کروم با شاخصه های مغناطیسی نیروی وادارندگی مغناطیسی ۳۹۹۵ Oe ، مغناطش باقی مانده ۳۷۱۹Gs و میزان مربعی شدن ۸۳/۵ درصد بعنوان نمونه بهینه انتخاب گردید که منحنی

۴- نتیجه گیری

نتایج بررسیهای فوق نشان داد که انتخاب نسبت مولی مناسب ($n=6$) به همراه درجه حرارت پخت اول (کلسیناسیون) و ۱۲۱۰ درجه سانتیگراد و درجه حرارت پخت دوم (زینترینگ) ۱۲۲۰ درجه سانتیگراد جهت ساخت بدنه با خواص مغناطیسی مناسب در حضور افزودنی کروم الزامی می باشد. همچنین بررسیهای فازی مشخص نمود که حد بهینه افزودن یون کروم ۰/۳ مول بوده و در بالاتر از آن فاز غیر مغناطیسی هماتیت ظهور می یابد. میزان کاهش مغناطش باقی مانده در اثر افزایش میزان یون کروم در شبکه به مغناطش کمتر یون Cr^{+3} نسبت داده می شود. در همین رابطه افزایش نیروی وادارندگی مغناطیسی نیز به دلیل کاهش مقدار Ms در اثر جانشینی یون Cr^{+3} به جای Fe^{+3} می باشد.

بررسیهای ریز ساختاری SEM نشان داد که یون کروم احتمالاً به دلیل کاهش نفوذ بین دانه ای و به دلیل سایز بزرگتر آن باعث جلوگیری از رشد دانه در مرحله زینترینگ شده و همین عامل باعث تشکیل ریز ساختار ریز تر شده که افزایش نیروی وادارندگی مغناطیسی را به همراه دارد. این در حالی است که افزودن مقادیر بیشتر کروم باعث کاهش خواص مغناطیسی قطعه بدلیل خروج Fe^{+3} بصورت هماتیت از شبکه هگزا فریت استرانسیوم می باشد.

۵- تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله لازم می دانند از زحمات پرسنل و مدیریت محترم شرکت گسترش مواد مغناطیسی تابان که نهایت همکاری را در راه انجام این تحقیق داشته اند، سپاسگزاری نموده و همچنین از ریاست و معاونت محترم پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرضا که با حمایت های مالی زمینه انجام این فعالیت را بوجود آوردند کمال تشکر و قدردانی را می نماید.

۶- مراجع

- [۲] C.Gabrielli, R.Jaoullari, G.Maurine and M.Keddam, "Magnetic Water Treatment for Scale Prevention", Water Reasearch, Vol.۳۵, Issue ۱۳, p.۳۲۴۹-۳۲۵۹, ۲۰۰۱.
- [۳] Xiansong Liu, Wei Zhong, Sen Yang, Zhi Yu, Beni Gu and Youwei Ou,"Structurte and Magnetic Preparation of La^{+3} -Substituded Strontium Hexaferrite Particles Prepared by Sol-Gel Method", Phys.Stat.Sol, ۱۹۳, No.۲, pp.۳۱۴-۳۱۹, ۲۰۰۲.
- [۴] Spomenka Besebicar and Miha Drfenik, "Journal of Magnetism and Magnetic Material", Vol.۱۰۱, pp.۳۰۷-۳۰۹, ۱۹۹۱.
- [۵] A.Ataei and S.Heshmati-Manesh."Synthesis of Ultra-fine Particles of Strontium Hexaferrite by a Modified Co-precipitation Method", Journal of the European Ceramic Society. Vol ۲۱, pp.۱۹۵۱-۱۹۵۵, ۲۰۰۱.
- [۶] J.F.Wang, C.B.Paton, R.Ciossingier, I.R.Harris, "A study of La-Substituted Strontium Hexaferrite by Hydrothermal Synthesis", Journal of Alloys and Compounds, Vol.۳۶۹, pp.۱۷۰-۱۷۷, ۲۰۰۴.
- [۷] M.Mirkazemi, V.K.Marghusiiam, A.Beitollahi, "Crystallization Behavior, Microstructure and Magnetic Properties of $BaO-Fe_2O_3-B_2O_3-SiO_2$ Glass Ceramic", Ceramic International, Vol.۳۲, pp.۴۳-۵۱, ۲۰۰۶.
- [۸] R.B.Jotania, R.B.Khomane, C.C.Chauhan, S.K.Menon, B.D.Kulkari,"Synthesis and Magnetic Properties of Barium-Calcium Hexaferrite Particles Prepared by Sol-Gel and Microemulsin Techniques", Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Vol.۳۱۰, pp.۲۴۷۷-۲۴۷۹, ۲۰۰۲.
- [۹] Liu Junliang, Zeng Yanwei, Cuo Cuijing, Zhang Wei, Yang Xiaowei, ,"One Step Synthesis of Barium Hexaferrite Nano-powder Via Microwave assisted Sol-Gel Auto Combustion ", Journal of the European Ceramic Society. Vol ۳۰, pp.۹۹۳-۹۹۷, ۲۰۱۰.
- [۱۰] R.J.Parker,"Advances in Permanent Magnet", John Willey & Sons, ۱۹۹۰.
- [۱۱] K.S.Martirosyan, N.S. Martirosyan and A.E.Chalykh. " La^{+3} and Ce^{+3} Dopping of Hard-Magnetic Ferrite", Inorganic Materials, Vol.۴۰, pp.۶۱۱-۶۱۶, ۲۰۰۴.
- [۱۲] A.Goldman, Modern Ferrite Technology, Newyork Nostrand Reinhold, ۱۹۹۰.
- [۱۳] Liang Qiao You, Jingwu Zheng,"The Magnetic Properties of Strontium Hexaferrite with La-Cu Substitution Prepared by SHS Method ", Journal of magnetism and magnetic material, Vol.۳۱۸, pp.۷۴-۷۸, ۲۰۰۷.
- [۱۴] H.Kajima, "Fundamental properties of Hexaferrite with Magneto-plumbite Structure ", Edited by E.P.Wohlfrath,

- [۱] Liringgstong, J.D,"The History of Permanent Magnetic Materials", Jox, Vol.۴۲, No.۲, pp.۳۰-۳۴, ۱۹۹۰.

North-Holland ,Amesterdam, pp.305-391.1982.

[15] R.H.Arendtm”Liquid-Phase Sintering of Magnetically Isotropic and anisotropic compacts of $\text{BaFe}_{1-y}\text{O}_3$ and $\text{SrFe}_{1-y}\text{O}_3$ ”, J.Appl.Phys. Vol 44, pp.3300-3305.1973.

[16] P.M.Rao, A.Gerard and F.Grandjean, “Mossbauer study of the Hexagonal ferrite Series $\text{SrFe}_{1-x}\text{Cr}_x\text{O}_3$ ” Journal of magnetism and magnetic material, Vol.15-18, pp.645-646.1980.

[17] Q.Fang, H.Cheng, K.Haung, J.Wang, R.Li, Y.Jiao, ”Doping Effect on Crystal Structure and Magnetic Properties of Chromium-Substituted Strontium Hexaferrite Nanoparticles ”, Journal of magnetism and magnetic material, Vol.294, pp.281-286.2005.

[18] Op P.M.Rao, A.Geraro,”A Mossbauer Study of the Effect of the Substitution of Fe by Cr in $\text{SrFe}_{1-y}\text{O}_3$ ”,Phys.Stot.Sol, Vol.54, pp.529-536.1979

[19] Ch.Kittel,”Introduction to Solid State Physics”,Willey Eastern Limited,Fifth Edition,1983.