

بررسی ویژگی‌های مغناطیسی نانوبلورهای آلیاژ $Fe_{85}Si_{9.6}Al_{5.4}$ تهیه شده به روش آلیاژسازی

مکانیکی

عموهادی، مریم^{۱*}؛ مظفری، مرتضی^۲؛ قرائتی، عبدالرسول^۱؛ رضازاده، محمد^۳

^۱گروه فیزیک، دانشگاه پیام نور، ایران

^۲گروه فیزیک، دانشگاه اصفهان، خیابان هزارجریب، اصفهان

^۳دانشکده مواد، دانشگاه صنعتی، اصفهان، اصفهان

چکیده

در این پژوهش نانوبلورهای آلیاژ $Fe_{85}Si_{9.6}Al_{5.4}$ به روش آلیاژسازی مکانیکی تهیه شد. مواد اولیه با درصدهای مناسب در زمان‌های ۵، ۷/۵ و ۱۰ ساعت آلیاژسازی شدند. فازبندی پودرهای آسیاب شده با روش پراش سنجی پرتوایکس و نرم‌افزار *X'Pert* و *MAUD* انجام شد. به دلیل تشکیل فاز موردنظر تنها در نمونه‌های آسیاب‌کاری شده با زمان ۷/۵ و ۱۰ ساعت بررسی‌های بیشتر بر روی این نمونه‌ها انجام شد. وجود قله‌های دوتایی در الگوهای پراش پرتوایکس بر پایه‌ی وجود فازهای بانظم و بی‌نظم این آلیاژها تفسیر شد. وجود دو کاهش در منحنی مغناطش - دمای هر نمونه نشان‌دهنده وجود دو فاز مغناطیسی است که به دو فاز بانظم و بی‌نظم آشکار شده در الگوهای پراش پرتوایکس نسبت داده شد. مغناطش سنجی نمونه‌ها نشان می‌دهد که با افزایش زمان آسیاب‌کاری مغناطش اشباعی افزایش می‌یابد.

An investigation on magnetic properties of $Fe_{85}Si_{9.6}Al_{5.4}$ alloy nanocrystals, prepared by mechanical alloying

Amoohadi, Maryam^{1*}; Mozaffari, Morteza²; Gharaati, Abdolrasool¹; Rezazadeh, Mohammad³

¹ Department of Physics, payamenoor University, Iran

² Department of Physics, University of Isfahan, Isfahan

³ Department of Materials Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan

Abstract

In this work, $Fe_{85}Si_{9.6}Al_{5.4}$ alloy nanocrystals was prepared by mechanical alloying. Raw materials were alloying for 5, 7.5 and 10 hours. Phase identification of the milled powders was carried out by X-ray diffractometry and *X'Pert* and *MAUD* software. Due to formation of the desired phase just in the samples milled for 7.5 and 10h, further investigation were carried out on these samples. Existence of twin peaks on the XRD patterns was explained based on existence of ordered and disordered phases of the alloys. Existence of two different decreases on the magnetization- temperature curves of each sample indicates that there are two different magnetic phases which are attributed to ordered and disordered phases revealed on XRD patterns. Magnetometry of the samples shows that by increasing of milling time saturation magnetizations increase too.

PACS No.75

مقدمه

توجه زیادی را به خود جلب کرده است. این آلیاژ یکی از مهم‌ترین مواد مغناطیسی نرم به‌کاررفته در ترانسفورماتورها، القاگرها، تقویت‌کننده‌های مغناطیسی و ... است [۱]. این ترکیب میان فلزی که برآمده از آلومینادهای آهن است می‌تواند ساختارهای بلورین بی‌نظم مکعبی مرکز حجمی (A2) ساختار

از سال ۱۹۲۳ آلیاژ مغناطیسی نرم Fe-Si-Al به دلیل تراوایی مغناطیسی بالا، مقاومت الکتریکی بالا نسبت به آهن خالص، ناهمسانگردی مغناطوبلوری پایین و مغناطوتنگش نزدیک به صفر،

۳۰ گرم از مخلوط پودرهای آهن - سیلیسیوم و آلومینیوم همراه با شماری گلوله فولادی به قطرهای ۷ و ۱۲ میلی‌متر در یک محفظه فولادی سخت‌کاری شده ریخته شد، به‌گونه‌ای که نسبت وزنی گلوله به پودر ۱۰ به ۱ شود.

آلیاژسازی مکانیکی با یک دستگاه آسیاب سیاره‌ای (FRITSCH Pulverisette6) در زمان‌های ۵ و ۷/۵ و ۱۰ ساعت و با سرعت 350rpm در اتمسفر آرگون انجام شد.

همه‌ی فرایند پر کردن و آسیاب‌کاری پودر در یک کیسه دستکش دار و در فضای آرگون انجام شد. برای فازیابی نمونه‌ها پراش سنجی پرتوایکس (با لامپ مس و طول‌موج 1.5406\AA) انجام شد. فازیابی، تعیین پارامتر شبکه و ریزتنش از الگوهای پراش پرتوایکس و با نرم‌افزارهای X'Pert و MAUD [۶] بر پایه محاسبات ریتولد به‌دست آمد. میانگین اندازه‌ی بلورک‌ها از الگوهای پراش پرتوایکس و با فرمول شرر $\bar{d} = \frac{0.9\lambda}{\beta \cos \theta}$ محاسبه شد، که در آن λ طول‌موج پراش‌سنجی، θ زاویه‌ی براگ و β پهنای کامل در نیم شدت مربوط به پرشدت‌ترین قله‌ی پراش (110) فاز (A2) است.

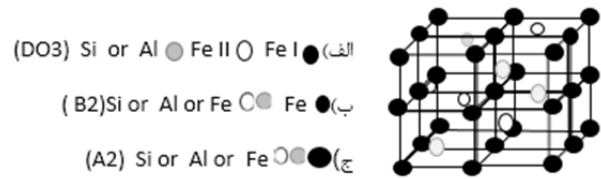
آلیاژهای به‌دست‌آمده در لوله‌هایی از جنس کوارتز کپسوله و مغناطش برحسب دمای آن‌ها با یک دستگاه ترازوی فاراده اندازه‌گیری شد. چرخه پسماند در دمای اتاق با پرمیامتر بر روی نمونه‌های استوانه‌ای شکل به قطر ۱۰/۴۰ و بلندی حدود ۱۰ میلی‌متر که در فشار 600MPa فشرده‌شده بودند، رسم شد.

بحث و نتایج

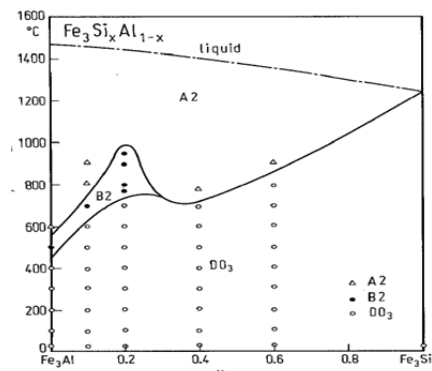
شکل‌های (۳-الف و ب) الگوهای پراش پرتوایکس مخلوط مواد اولیه و نمونه‌های آسیاب‌کاری شده را پس از ۵، ۷/۵ و ۱۰ ساعت نشان می‌دهد.

همان‌گونه که دیده می‌شود در الگوی پراش نمونه‌ی ۵ ساعت آسیاب‌کاری شده، هم چنان قله‌های مربوط به مواد اولیه‌ی سیلیسیوم و آلومینیوم دیده می‌شود که نشان می‌دهد محلول جامد به‌طور کامل تشکیل نشده است. با افزایش زمان آسیاب‌کاری به ۷/۵ ساعت، دیگر هیچ قله‌ای مربوط به مواد اولیه دیده نمی‌شود. قله‌های شاخص گذاری شده با کارت استاندارد شماره (-00-035) و (-00-045) مربوط به فاز بی‌نظم (Fe3Si یا A2) و

بانظم پاره‌ای (B2) و ساختار کاملاً بانظم (DO3) داشته باشد، شکل (۱)، (۲)، [۳].



شکل ۱: نمای کلی از ساختار (الف) بانظم (ب) بانظم پاره‌ای (ج) بی‌نظم [۲] نمودارهای فازی گوناگونی برای این آلیاژ موجود است که نشان می‌دهد ساختار بلوری آن می‌تواند با تغییر درصد عنصرهای تشکیل‌دهنده و/یا دما، از (A2) به (B2) و (DO3) و وارونه آن تغییر یابد، شکل (۲)، [۴]. پژوهش‌ها بر روی آلیاژهای گوناگون مانند Fe-Al و Ti-Al نشان می‌دهد که این تغییر ساختارها از بانظم به بی‌نظم با آسیاب‌کاری نیز در یک دما و درصد معین از عنصرها رخ می‌دهد [۵]. در این پژوهش نانوبلورهای آلیاژ Fe-Si-Al با درصدهای وزنی ۸۵، ۹/۶ و ۵/۴ به ترتیب برای آهن، سیلیسیوم و آلومینیوم به روش آلیاژسازی مکانیکی تهیه و تغییر ساختار و ویژگی‌های مغناطیسی آن‌ها به هنگام آسیاب‌کاری مکانیکی بررسی شده است.



شکل ۲: نمودار فازی مربوط به $Fe_3Si_xAl_{1-x}$ [۴]

مواد و روش‌ها

مواد اولیه شامل پودر آهن (با کمینه خلوص ۹۹٪ و اندازه‌ی ذرات کوچک‌تر از ۴۵ میکرون) از شرکت آلمانی "متال پاور" ، پودر سیلیسیوم (با کمینه خلوص ۹۹٪ و اندازه‌ی ذرات کوچک‌تر از ۴۴ میکرون) از شرکت "آلد ریچ" و پودر آلومینیوم (با کمینه خلوص ۹۹٪ و اندازه‌ی ذرات ۱۰۰-۲۰۰ میکرون) از شرکت "فلوکا" بودند که با درصدهای وزنی به ترتیب ۸۵ و ۹/۶ و ۵/۴ باهم مخلوط شدند.

میانگین اندازه بلورکها برای زمانهای آسیابکاری ۷/۵ و ۱۰ ساعت، به ترتیب ۱۱/۶ و ۹/۱ نانومتر به دست آمد. با تحلیل الگوهای پراش پرتویکس با نرم افزار MAUD و مقایسه با داده-های مرجع مربوط به فاز بی‌نظم (A2: Fe₃Si)، (COD ID:9006607) و فاز بانظم (DO3: Fe₃Si)، (COD ID:1534714) [۱۰]، وجود فازهای (A2) و (DO3) نشان داده شد. همچنین پارامتر شبکه (a) و ریزتنش (ε) مربوط به هر فاز پس از زمانهای آسیابکاری ۷/۵ و ۱۰ ساعت محاسبه و در جدول (۱) آورده شد. باید گفت که بررسی‌ها وجود فاز B2 را نشان نمی‌دهد.

جدول ۱: پارامتر شبکه (a)، میانگین اندازه بلورک (\bar{d}) و ریزتنش (ε) مربوط به هر فاز پس از زمانهای آسیابکاری ۷/۵ و ۱۰ ساعت

نمونه	DO3		A2	
	ε	a(Å)	ε	a(Å)
آسیابکاری ۷/۵ ساعت	۰/۰۱۰۴	۵/۶۹۱	۰/۰۰۵۸	۲/۸۵۹
آسیابکاری ۱۰ ساعت	۰/۰۱۶۰	۵/۷۰۵	۰/۰۰۸۳	۲/۸۵۷

با توجه به تحلیل‌های بالا می‌توان گفت:

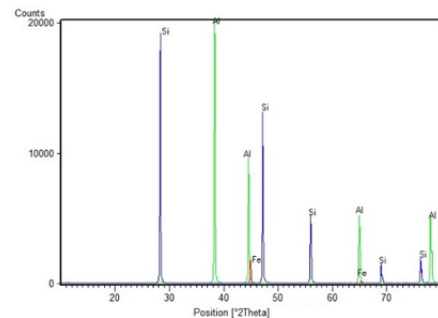
- ۱- فازهای (A2) و (DO3) در آلیاژ وجود دارد.
- ۲- پارامتر شبکه نسبت به فاز Fe₃Si و آنچه در مرجع‌های [۹] و [۱۰] که پارامتر شبکه را برای فازهای (A2) و (DO3) به ترتیب، ۲/۸۴۲۹ و ۵/۶۵۲ گزارش کرده‌اند، افزایش پیدا کرده است که بیان‌گر تشکیل محلول جامدی شامل آهن، سیلیسیوم و آلومینیم است و حل‌شدگی آلومینیوم که دارای شعاع اتمی بزرگ‌تری (0.142nm) نسبت به سیلیسیوم (0.118nm) است در آلیاژ باعث افزایش پارامتر شبکه شده است [۷].

۳- با افزایش زمان آسیابکاری به دلیل افزایش تنش‌های واردشده ریزتنش افزایش یافته است [۱۱].

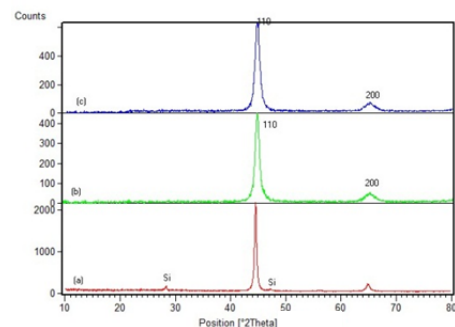
۴- با افزایش زمان آسیابکاری میانگین اندازه بلورکها کوچک‌شده است.

شکل (۵) منحنی تغییرات مغناطش برحسب دما را به هنگام گرمایش برای دو نمونه با زمان آسیابکاری ۷/۵ و ۱۰ ساعت نشان می‌دهد، در این منحنی‌ها دو افت در مغناطش در دو دمای

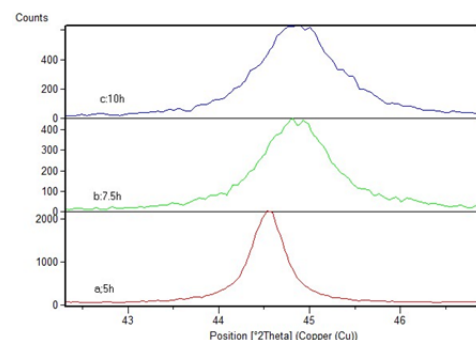
۱۲۰۶) هم‌خوانی دارد. این قله‌ها با پرشدت‌ترین قله‌های مربوط به فاز بانظم (Fe₃Si.7Al.3 یا DO3) نیز هم‌خوانی دارد [۷]. با دقت بیشتر در الگوی پراش، شکل (۴)، دیده می‌شود که قله‌ها به‌صورت دوتایی هستند. این رفتار در آلیاژهای Fe-Al نیز دیده شده [۸] که این دوتایی شدن به حضور فازهای بانظم و بی-نظم نسبت داده شده است.



شکل ۳-الف: الگوهای پراش پرتویکس مخلوط مواد اولیه



شکل ۳-ب: الگوهای پراش پرتویکس پودرهای آسیاب شده، (a) ۵، (b) ۷/۵ و (c) ۱۰ ساعت، همان‌گونه که بر روی شکل برجسته زده شده است. قله‌های شاخص گذاری شده با کارت استاندارد شماره (00-035-0519) مربوط به فاز بی‌نظم (Fe₃Si یا A2) و (00-045-1206) هم‌خوانی دارد. این قله‌ها با پر شدت‌ترین قله‌های مربوط به فاز بانظم (Fe₃Si.7Al.3 یا DO3) نیز هم‌خوانی دارد.



شکل ۴: الگوهای پراش پرتویکس نمونه‌های آسیابکاری شده در زمانهای

۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰، ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۴۰، ۱۶۰، ۱۸۰، ۲۰۰، ۲۲۰، ۲۴۰، ۲۶۰، ۲۸۰، ۳۰۰، ۳۲۰، ۳۴۰، ۳۶۰، ۳۸۰، ۴۰۰، ۴۲۰، ۴۴۰، ۴۶۰، ۴۸۰، ۵۰۰، ۵۲۰، ۵۴۰، ۵۶۰، ۵۸۰، ۶۰۰، ۶۲۰، ۶۴۰، ۶۶۰، ۶۸۰، ۷۰۰، ۷۲۰، ۷۴۰، ۷۶۰، ۷۸۰، ۸۰۰، ۸۲۰، ۸۴۰، ۸۶۰، ۸۸۰، ۹۰۰، ۹۲۰، ۹۴۰، ۹۶۰، ۹۸۰، ۱۰۰۰، ۱۰۲۰، ۱۰۴۰، ۱۰۶۰، ۱۰۸۰، ۱۱۰۰، ۱۱۲۰، ۱۱۴۰، ۱۱۶۰، ۱۱۸۰، ۱۲۰۰، ۱۲۲۰، ۱۲۴۰، ۱۲۶۰، ۱۲۸۰، ۱۳۰۰، ۱۳۲۰، ۱۳۴۰، ۱۳۶۰، ۱۳۸۰، ۱۴۰۰، ۱۴۲۰، ۱۴۴۰، ۱۴۶۰، ۱۴۸۰، ۱۵۰۰، ۱۵۲۰، ۱۵۴۰، ۱۵۶۰، ۱۵۸۰، ۱۶۰۰، ۱۶۲۰، ۱۶۴۰، ۱۶۶۰، ۱۶۸۰، ۱۷۰۰، ۱۷۲۰، ۱۷۴۰، ۱۷۶۰، ۱۷۸۰، ۱۸۰۰، ۱۸۲۰، ۱۸۴۰، ۱۸۶۰، ۱۸۸۰، ۱۹۰۰، ۱۹۲۰، ۱۹۴۰، ۱۹۶۰، ۱۹۸۰، ۲۰۰۰، ۲۰۲۰، ۲۰۴۰، ۲۰۶۰، ۲۰۸۰، ۲۱۰۰، ۲۱۲۰، ۲۱۴۰، ۲۱۶۰، ۲۱۸۰، ۲۲۰۰، ۲۲۲۰، ۲۲۴۰، ۲۲۶۰، ۲۲۸۰، ۲۳۰۰، ۲۳۲۰، ۲۳۴۰، ۲۳۶۰، ۲۳۸۰، ۲۴۰۰، ۲۴۲۰، ۲۴۴۰، ۲۴۶۰، ۲۴۸۰، ۲۵۰۰، ۲۵۲۰، ۲۵۴۰، ۲۵۶۰، ۲۵۸۰، ۲۶۰۰، ۲۶۲۰، ۲۶۴۰، ۲۶۶۰، ۲۶۸۰، ۲۷۰۰، ۲۷۲۰، ۲۷۴۰، ۲۷۶۰، ۲۷۸۰، ۲۸۰۰، ۲۸۲۰، ۲۸۴۰، ۲۸۶۰، ۲۸۸۰، ۲۹۰۰، ۲۹۲۰، ۲۹۴۰، ۲۹۶۰، ۲۹۸۰، ۳۰۰۰، ۳۰۲۰، ۳۰۴۰، ۳۰۶۰، ۳۰۸۰، ۳۱۰۰، ۳۱۲۰، ۳۱۴۰، ۳۱۶۰، ۳۱۸۰، ۳۲۰۰، ۳۲۲۰، ۳۲۴۰، ۳۲۶۰، ۳۲۸۰، ۳۳۰۰، ۳۳۲۰، ۳۳۴۰، ۳۳۶۰، ۳۳۸۰، ۳۴۰۰، ۳۴۲۰، ۳۴۴۰، ۳۴۶۰، ۳۴۸۰، ۳۵۰۰، ۳۵۲۰، ۳۵۴۰، ۳۵۶۰، ۳۵۸۰، ۳۶۰۰، ۳۶۲۰، ۳۶۴۰، ۳۶۶۰، ۳۶۸۰، ۳۷۰۰، ۳۷۲۰، ۳۷۴۰، ۳۷۶۰، ۳۷۸۰، ۳۸۰۰، ۳۸۲۰، ۳۸۴۰، ۳۸۶۰، ۳۸۸۰، ۳۹۰۰، ۳۹۲۰، ۳۹۴۰، ۳۹۶۰، ۳۹۸۰، ۴۰۰۰، ۴۰۲۰، ۴۰۴۰، ۴۰۶۰، ۴۰۸۰، ۴۱۰۰، ۴۱۲۰، ۴۱۴۰، ۴۱۶۰، ۴۱۸۰، ۴۲۰۰، ۴۲۲۰، ۴۲۴۰، ۴۲۶۰، ۴۲۸۰، ۴۳۰۰، ۴۳۲۰، ۴۳۴۰، ۴۳۶۰، ۴۳۸۰، ۴۴۰۰، ۴۴۲۰، ۴۴۴۰، ۴۴۶۰، ۴۴۸۰، ۴۵۰۰، ۴۵۲۰، ۴۵۴۰، ۴۵۶۰، ۴۵۸۰، ۴۶۰۰، ۴۶۲۰، ۴۶۴۰، ۴۶۶۰، ۴۶۸۰، ۴۷۰۰، ۴۷۲۰، ۴۷۴۰، ۴۷۶۰، ۴۷۸۰، ۴۸۰۰، ۴۸۲۰، ۴۸۴۰، ۴۸۶۰، ۴۸۸۰، ۴۹۰۰، ۴۹۲۰، ۴۹۴۰، ۴۹۶۰، ۴۹۸۰، ۵۰۰۰، ۵۰۲۰، ۵۰۴۰، ۵۰۶۰، ۵۰۸۰، ۵۱۰۰، ۵۱۲۰، ۵۱۴۰، ۵۱۶۰، ۵۱۸۰، ۵۲۰۰، ۵۲۲۰، ۵۲۴۰، ۵۲۶۰، ۵۲۸۰، ۵۳۰۰، ۵۳۲۰، ۵۳۴۰، ۵۳۶۰، ۵۳۸۰، ۵۴۰۰، ۵۴۲۰، ۵۴۴۰، ۵۴۶۰، ۵۴۸۰، ۵۵۰۰، ۵۵۲۰، ۵۵۴۰، ۵۵۶۰، ۵۵۸۰، ۵۶۰۰، ۵۶۲۰، ۵۶۴۰، ۵۶۶۰، ۵۶۸۰، ۵۷۰۰، ۵۷۲۰، ۵۷۴۰، ۵۷۶۰، ۵۷۸۰، ۵۸۰۰، ۵۸۲۰، ۵۸۴۰، ۵۸۶۰، ۵۸۸۰، ۵۹۰۰، ۵۹۲۰، ۵۹۴۰، ۵۹۶۰، ۵۹۸۰، ۶۰۰۰، ۶۰۲۰، ۶۰۴۰، ۶۰۶۰، ۶۰۸۰، ۶۱۰۰، ۶۱۲۰، ۶۱۴۰، ۶۱۶۰، ۶۱۸۰، ۶۲۰۰، ۶۲۲۰، ۶۲۴۰، ۶۲۶۰، ۶۲۸۰، ۶۳۰۰، ۶۳۲۰، ۶۳۴۰، ۶۳۶۰، ۶۳۸۰، ۶۴۰۰، ۶۴۲۰، ۶۴۴۰، ۶۴۶۰، ۶۴۸۰، ۶۵۰۰، ۶۵۲۰، ۶۵۴۰، ۶۵۶۰، ۶۵۸۰، ۶۶۰۰، ۶۶۲۰، ۶۶۴۰، ۶۶۶۰، ۶۶۸۰، ۶۷۰۰، ۶۷۲۰، ۶۷۴۰، ۶۷۶۰، ۶۷۸۰، ۶۸۰۰، ۶۸۲۰، ۶۸۴۰، ۶۸۶۰، ۶۸۸۰، ۶۹۰۰، ۶۹۲۰، ۶۹۴۰، ۶۹۶۰، ۶۹۸۰، ۷۰۰۰، ۷۰۲۰، ۷۰۴۰، ۷۰۶۰، ۷۰۸۰، ۷۱۰۰، ۷۱۲۰، ۷۱۴۰، ۷۱۶۰، ۷۱۸۰، ۷۲۰۰، ۷۲۲۰، ۷۲۴۰، ۷۲۶۰، ۷۲۸۰، ۷۳۰۰، ۷۳۲۰، ۷۳۴۰، ۷۳۶۰، ۷۳۸۰، ۷۴۰۰، ۷۴۲۰، ۷۴۴۰، ۷۴۶۰، ۷۴۸۰، ۷۵۰۰، ۷۵۲۰، ۷۵۴۰، ۷۵۶۰، ۷۵۸۰، ۷۶۰۰، ۷۶۲۰، ۷۶۴۰، ۷۶۶۰، ۷۶۸۰، ۷۷۰۰، ۷۷۲۰، ۷۷۴۰، ۷۷۶۰، ۷۷۸۰، ۷۸۰۰، ۷۸۲۰، ۷۸۴۰، ۷۸۶۰، ۷۸۸۰، ۷۹۰۰، ۷۹۲۰، ۷۹۴۰، ۷۹۶۰، ۷۹۸۰، ۸۰۰۰، ۸۰۲۰، ۸۰۴۰، ۸۰۶۰، ۸۰۸۰، ۸۱۰۰، ۸۱۲۰، ۸۱۴۰، ۸۱۶۰، ۸۱۸۰، ۸۲۰۰، ۸۲۲۰، ۸۲۴۰، ۸۲۶۰، ۸۲۸۰، ۸۳۰۰، ۸۳۲۰، ۸۳۴۰، ۸۳۶۰، ۸۳۸۰، ۸۴۰۰، ۸۴۲۰، ۸۴۴۰، ۸۴۶۰، ۸۴۸۰، ۸۵۰۰، ۸۵۲۰، ۸۵۴۰، ۸۵۶۰، ۸۵۸۰، ۸۶۰۰، ۸۶۲۰، ۸۶۴۰، ۸۶۶۰، ۸۶۸۰، ۸۷۰۰، ۸۷۲۰، ۸۷۴۰، ۸۷۶۰، ۸۷۸۰، ۸۸۰۰، ۸۸۲۰، ۸۸۴۰، ۸۸۶۰، ۸۸۸۰، ۸۹۰۰، ۸۹۲۰، ۸۹۴۰، ۸۹۶۰، ۸۹۸۰، ۹۰۰۰، ۹۰۲۰، ۹۰۴۰، ۹۰۶۰، ۹۰۸۰، ۹۱۰۰، ۹۱۲۰، ۹۱۴۰، ۹۱۶۰، ۹۱۸۰، ۹۲۰۰، ۹۲۲۰، ۹۲۴۰، ۹۲۶۰، ۹۲۸۰، ۹۳۰۰، ۹۳۲۰، ۹۳۴۰، ۹۳۶۰، ۹۳۸۰، ۹۴۰۰، ۹۴۲۰، ۹۴۴۰، ۹۴۶۰، ۹۴۸۰، ۹۵۰۰، ۹۵۲۰، ۹۵۴۰، ۹۵۶۰، ۹۵۸۰، ۹۶۰۰، ۹۶۲۰، ۹۶۴۰، ۹۶۶۰، ۹۶۸۰، ۹۷۰۰، ۹۷۲۰، ۹۷۴۰، ۹۷۶۰، ۹۷۸۰، ۹۸۰۰، ۹۸۲۰، ۹۸۴۰، ۹۸۶۰، ۹۸۸۰، ۹۹۰۰، ۹۹۲۰، ۹۹۴۰، ۹۹۶۰، ۹۹۸۰، ۱۰۰۰۰.

۱- آلیاژ $Fe_{85}Si_{9.6}Al_{5.4}$ پس از دست کم ۷/۵ ساعت آسیاب کاری به دست می آید.

۲- آلیاژ به دست آمده دو فاز بی نظم و بانظم دارد.

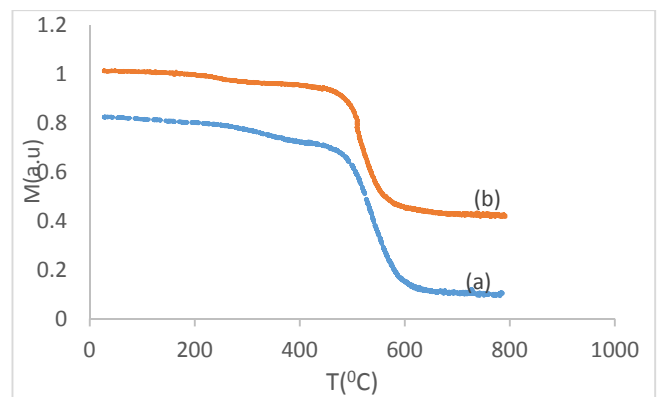
۳- وجود دو افت در منحنی مغناطش- دمای نمونه‌ها مربوط به وجود دو فاز مغناطیسی است.

۴- با افزایش زمان آسیاب کاری میانگین اندازه بلورک‌ها کاهش ولی مغناطش اشباعی افزایش می یابد.

مراجع

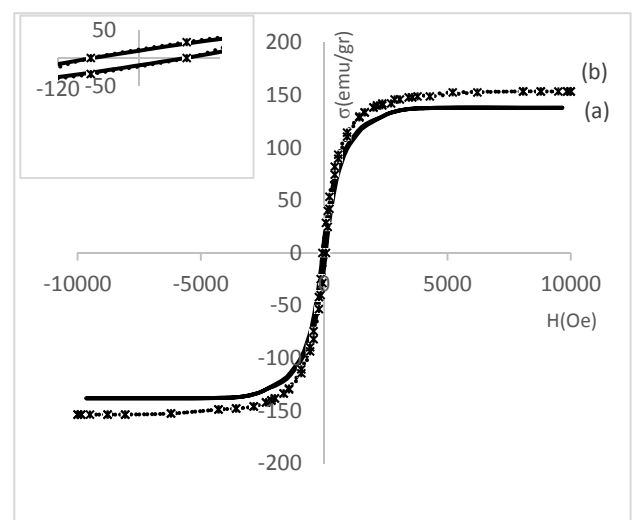
[1] K.H.J. Buschow, Handbook of magnetic materials, Elsevier 2003.
 [2] J.B. Friauf, Journal of the American Chemical Society, 49 (1927) 3107-3114.
 [3] G. Sauthoff, Intermetallics, Weinheim, New York. Basel - Cambridge - Tokyo, 1995.
 [4] G. Bertotti, A. Ferchmin, E. Fiorillo, K. Fukamichi, K. Kobe, S. Roth, Soft Magnetic Alloys, Invar and Elinvar Alloys Landolt Börnstein New Series, 3 (1994) 33-143.
 [5] C. Suryanarayana, Progress in materials science, 46 (2001) 221.
 [6] L. Lutterotti, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 268 (2010) 334-340.
 [7] B. Zuo, N. Saraswati, T. Sritharan, H. Hng, Materials Science and Engineering: A, 371 (2004) 210-216.
 [8] A.R. Yavari, D. Negri, E. Navarro, A. Deriu, A. Hernando, W.J. Botta, Journal of Metastable and Nanocrystalline Materials, Trans Tech Publ 1999, pp. 229-236.
 [9] M. Schütte, R. Wartchow, M. Binnewies, Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie, 629 (2003) 1846-1850.
 [10] J. Zhang, F. Guyot, Physics and chemistry of minerals, 26 (1999) 206-211.
 [11] M.S. El-Eskandarany, Mechanical alloying: For fabrication of advanced engineering materials, William Andrew 2001.
 [12] Z.A. Motlagh, M. Mozaffari, J. Amighian, Journal of Magnetism and Magnetic materials, 321 (2009) 1980-1984.
 [13] R.-H. Fan, L. Qi, K.-N. Sun, G.-H. Min, H.-Y. Gong, physics letters A, 360 (2006) 371-375.

گونگون دیده می شود که نشانگر وجود دو فاز مغناطیسی در نمونه است [۱۲].



شکل ۵: منحنی تغییرات مغناطش برحسب دما برای دو نمونه (a) ۷/۵ و (b) ۱۰ ساعت آسیاب کاری شده، همان گونه که در شکل برچسب زده شده است. دو افت در مغناطش نمونه‌ها در دو دمای گونگون دیده می شود.

شکل (۶) تغییرات مغناطش برحسب شدت میدان مغناطیسی را با زمان برای دو نمونه آسیاب کاری ۷/۵ و ۱۰ ساعت نشان می دهد. افزایش مغناطش اشباعی با افزایش زمان آسیاب کاری می تواند به دلیل افزایش درصد فاز (A2) باشد که در آن میانگین گشتاور مغناطیسی هراتم آهن ($2.0115 \mu_B$) بیش از میانگین آن در فاز (DO3)، ($1.6372 \mu_B$) است [۱۳].



شکل ۶: منحنی مغناطش برحسب شدت میدان مغناطیسی (a) ۷/۵ (b) ۱۰ ساعت آسیاب کاری، همان گونه که در شکل برچسب زده شده است. مغناطش اشباعی با افزایش زمان آسیاب کاری افزایش یافته است.

نتیجه گیری