

Dependence of Magnetic Properties of Barium Ferrite on Additives and Microstructure

Amighian, J. and Mozaffari, M.

physics Department, Isfahan University.

Abstract: In this work the effect of nonmagnetic oxide additives on microstructure and magnetic properties of barium ferrite is studied. Two groups of samples were prepared, one with limonite and the other with hematite, both having similar barium carbonate. The conventional wet ceramic technique was used for the preparation of the samples and the percentage of different impurities in the raw materials was determined by XRF and atomic absorption techniques. The magnetic results obtained for the first group are superior and their grain sizes are smaller as compared to the second group. By adjusting only two of the additives (Al_2O_3 and SiO_2) in the second group the magnetic parameters were improved and the grain sizes were reduced. The inhibiting effect of SiO_2 on grain growth mechanism during sintering is also discussed.

Key Words: *Additives, Microstructure, Barium Ferrite, Sintering*

پژوهشی

بررسی وابستگی ویژگیهای مغناطیسی فریت باریوم به افزودنیهای نامغناطیسی و ریز ساختار

جمشید عمیقیان و مرتضی مظفری

گروه فیزیک - دانشگاه اصفهان

چکیده: در این کار اثر افزودنیهای اکسید نامغناطیسی در کنترل کردن اندازه دانه ها هنگام تفجوشی فریت باریوم، مورد بررسی قرار گرفتند. نمونه ها از دو نوع اکسید آهن ولی با یک نوع کربنات باریوم ساخته شدند. در گروه اول از لیمونیت و در گروه دوم از هماتیت استفاده شدند نمونه های فریت باریوم به روش معمولی سرامیکی تر تهیه شدند. آنالیز مواد اولیه با XRF و جذب اتمی انجام گرفت و درصد ناخالصیهای موجود در آنها به ویژه SiO_2 و Al_2O_3 را به دقت تعیین کردیم. مقایسه پارامترهای مغناطیسی نمونه های تهیه شده در دو گروه مذکور، نشان داد که مقادیر مربوط به پارامترهای مغناطیسی گروه اول در مقایسه با گروه دوم بالاترند. مقایسه عکسهای ریز ساختار نمونه های دو گروه نشان داد که دانه های گروه اول در مقایسه با گروه دوم ریزترند. با تنظیم تنها دو اکسید نامغناطیسی آلومینیوم و سیلیسیوم در گروه دوم، که مقدار آنها در برابر گروه اول کمتر بود، پارامترهای مغناطیسی گروه دوم بهبود یافت. بررسی های ریز ساختار نمونه های اصلاح شده در گروه دوم نشان داد که اندازه دانه ها نسبت به حالت قبل ریزتر شدند، هرچند هنوز به کوچکی ذرات گروه اول نبودند. این امر می تواند در اثر تنظیم نبودن دیگر ناخالصیهای موجود در گروه دوم باشد. تأثیر افزودنی SiO_2 بر اندازه دانه ها، و ویژگیهای مغناطیسی نمونه های تهیه شده براساس ویژگی این اکسید، در جلوگیری از رشد دانه، مورد بحث قرار خواهد گرفت. برای مشاهده ریز ساختارها از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) استفاده شد.

واژه های کلیدی: افزودنیها، ریز ساختار، فریت باریوم، تفجوشی

مقدمه

ویژگیهای فیزیکی فریت‌ها در بسیاری از موارد به اندازه و شکل هندسی دانه‌های مغناطیسی بستگی دارند، که این امر در مورد فریت‌های سخت به سمتگیری دانه‌ها نیز مربوط است [۱]. شکل هندسی دانه‌ها در واقع منجر به ناهمسانگردی شکل می‌شود، هرچند در مورد فریت باریوم ناهمسانگردی مغناطی - بلورین غالب است. مراحل گوناگون ساخت فریت‌ها که شامل مخلوط سازی، برشتن، آسیاب، بازپخت و تفجوشی است، نقش مؤثری در ریز ساختار فریت‌ها دارد [۲].

دو معیار اساسی که بهینه سازی ویژگیهای مغناطیسی فریت‌های سخت را تأیید می‌کند عبارت اند از نیروی وادارندگی H_c و القايدگي باقیمانده B_r . نیروی وادارندگی در مورد آهنرباهای همسانگرد به اندازه و شکل دانه‌های مغناطیسی و در مورد آهنرباهای ناهمسانگرد به سمتگیری آنها نیز بستگی دارد [۳].

اندازه دانه‌های مغناطیسی در مورد فریت باریوم باید برابر با اندازه تک حوزه‌های مغناطیسی آن، یعنی کمی بیش از یک میکرون باشد [۴]. با آسیاب کردن پودرهای برشته شده فریت باریوم در زمانهای مناسب، می‌توان به یک توزیع اندازه ذره‌ای در حدود یک میکرون یا کمتر دست یافت [۵]، ولی بهینه اندازه دانه‌ها هنگامی حاصل می‌شود که پودرهای آسیاب شده را پس از قالب گیری تفجوشی کرد. در اثر تفجوشی، دانه‌ها رشد می‌کنند که با افزودنیهای SiO_2 و Al_2O_3 می‌توان رشد آنها را در دما و زمان مناسب کنترل کرد [۶]. در روش هم‌رسوبی که در آن نیازی به آسیاب کردن پودرها نیست، به آسانی می‌توان به ذرات مغناطیسی یک میکرون و کمتر از آن دست یافت [۷].

در این بررسی از دو نوع اکسید آهن داخلی و خارجی ولی با یک نوع کربنات باریوم، نمونه‌هایی تهیه شدند. آنگاه با مقایسه ریز ساختار نمونه‌های ساخته شده و تنظیم افزودنی‌های اکسید سیلیسیوم و آلومینیوم در اکسید آهن داخلی، این اکسید تهیه شد، به طوری که پارامترهای مغناطیسی آهنرباهای تهیه شده با این اکسید، افزایش قابل توجهی را نشان دادند.

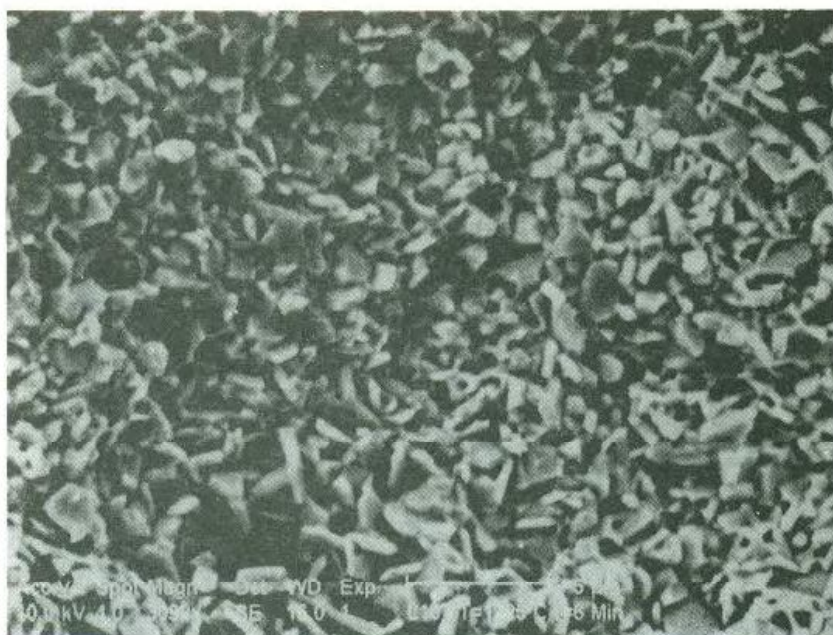
فرایندهای آزمایش

دو گروه آهنربا که تفاوت اصلی آنها در اکسید آهن است با فرمول (Fe_2O_3) ۵ر۵ و BaO تهیه شدند. اکسید آهن گروه اول لیمونیت از شرکت بایر آلمان و اکسید آهن گروه دوم هماتیت از محصول جنبی مجتمع فولاد مبارکه اصفهان بود. در هر دو گروه از کربنات باریوم داخلی با خلوص ۹۷ر۵ درصد استفاده شد. درصد اکسید آلومینوم و سیلیسیوم موجود در این کربنات ناچیز بودند، به طوری که با روش جذب اتمی آشکار شدند. آنالیز شیمیایی لیمونیت نشان داد که مقدار درصد SiO_2 و Al_2O_3 آن به ترتیب برابر با ۹۲ر۰ و ۶۳ر۰ است، در حالی که درصد همین ناخالصیها در هماتیت به ترتیب برابر با ۲۵ر۰ و ۲۲ر۰ بوده‌اند.

در تهیه تمام نمونه‌ها از روش سرامیکی تر استفاده شد. در این روش نخست مواد خام با نسبت‌های مناسب توزین و سپس با مخلوط‌کن ویژه‌ای که می‌توانست هر بار بیش از ۲۰ نمونه را در خود جای دهد، آنها را مخلوط کردیم. آنگاه نمونه‌های مخلوط شده در یک کوره الکتریکی در دمای $1100^{\circ}C$ برای ۲ ساعت با آهنگ گرمایش $10^{\circ}C/min$ برشته شدند. پودرهای برشته شده در حدود ۱۵ تا ۲۰ ساعت آسیاب و آنگاه برای تنش زدائی، در دمای حدود $800^{\circ}C$ برای ۲ ساعت بازپخت شدند. پودرهای بازپخت شده در قالب‌های استوانه‌ای تحت فشار ۵ تن بر سانتیمتر مربع به صورت قرص‌هایی به قطر ۱۰ و ارتفاع ۷ میلیمتر درآمدند. نمونه‌های هماتی با افزودن ۰٫۴ درصد اکسید آلومینوم ولی با درصد‌های گوناگون اکسید سیلیسیوم در دماهای $1175^{\circ}C$ ، $1200^{\circ}C$ و $1225^{\circ}C$ برای یک ساعت تفجوشی شدند. پارامترهای مغناطیسی با دستگاه تراوایی سنج و ریز ساختارها با میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) بررسی شدند.

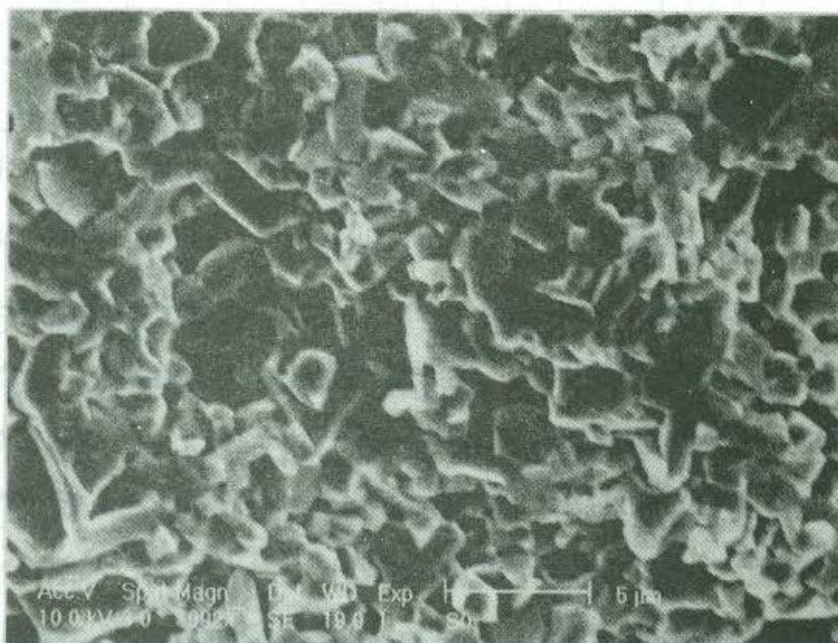
نتایج و بحث

شکلهای ۱ و ۲ به ترتیب ریزساختار دو نمونه نوعی از فریت‌های گروه‌های ۱ و ۲ را نشان می‌دهند. در شکل ۳ ریز ساختار نمونه اصلاح شده گروه ۲ دیده می‌شود، که در آن افزودنی‌های SiO_2 و Al_2O_3 به ترتیب با خلوص ۹۹ر۸۸ و ۹۸ر۸۶ درصد تنظیم شده‌اند. مقادیر Hc و Br و $(BH)_{max}$ برای هر نمونه در زیر شکلهای مربوط نوشته



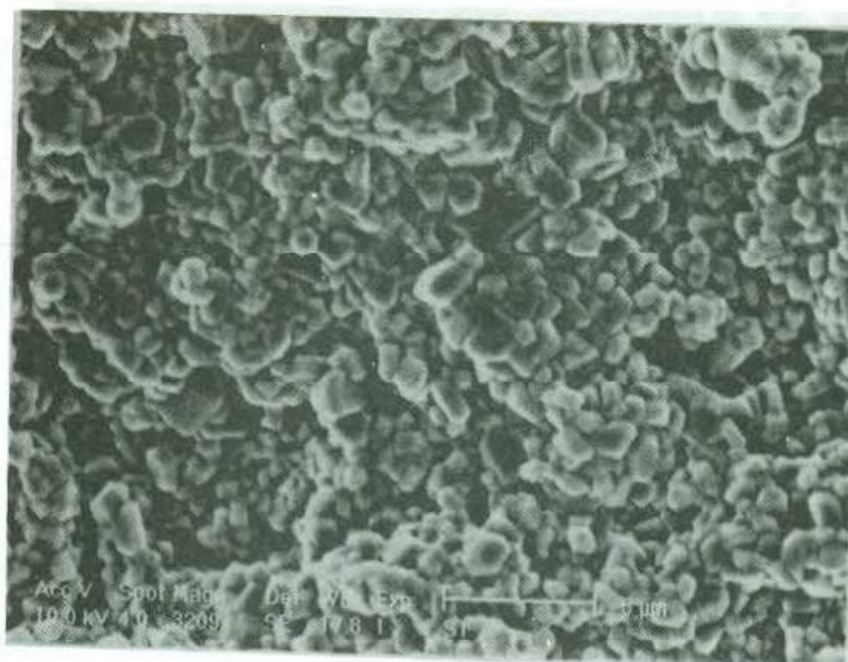
شکل ۱ ریزساختار یک نمونه نوعی لیمونیتی با دمای تفجوشی 1225°C

$$H_c = 2000 \text{ Oe}, Br = 2150 \text{ G}, (BH)_{\max} = 1917 \text{ MG.Oe}$$



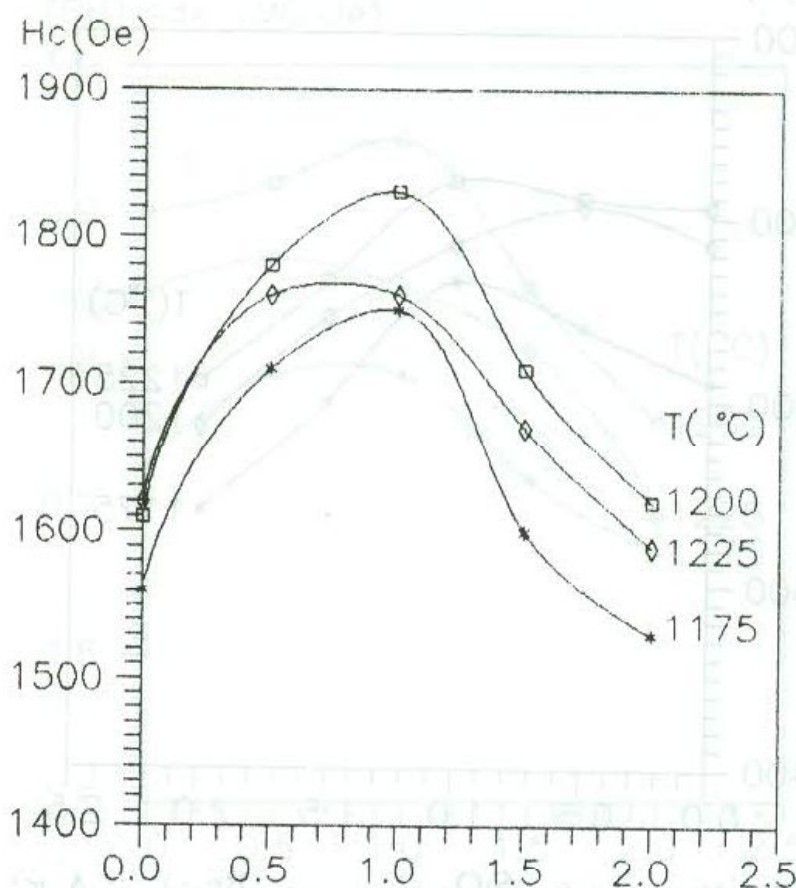
شکل ۲ ریزساختار یک نمونه نوعی هماتیتی اصلاح نشده با دمای تفجوشی 1200°C

$$H_c = 1620 \text{ Oe}, Br = 1960 \text{ G}, (BH)_{\max} = 988 \text{ MG.Oe}$$



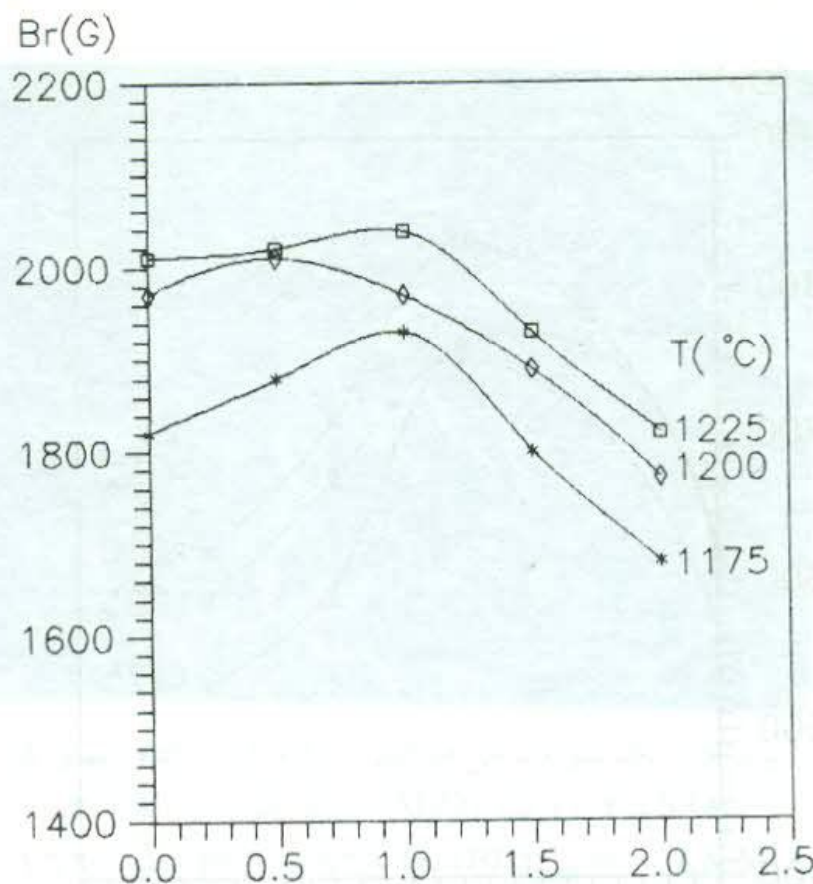
شکل ۳ ریزساختار یک نمونه نوعی هماتیتی اصلاح شده با افزودنیهای ۰٫۷۵ درصد SiO_2 و ۰٫۴ درصد Al_2O_3 با دمای تفجوشی 1200°C
 $H_c = 1660 \text{ Oe}$, $Br = 1960 \text{ G}$, $(BH)_{\max} = 0.88 \text{ MG}$, Oe

شده‌اند همچنین برای مقایسه و تأثیر ریزساختارها در پارامترهای مغناطیسی، نتایج حاصل از اندازه‌گیریهای H_c ، Br و $(BH)_{\max}$ برحسب درصد SiO_2 در هماتیت، به ترتیب در شکل‌های ۴، ۵ و ۶ آمده‌اند. در این شکل‌ها مقادیر پارامترهای مغناطیسی مربوط به نمونه‌های ساخته شده از هماتیت اصلاح شده به طور جالبی بالا رفته‌اند هرچند هنوز کم‌تر از مقادیر مربوط به نمونه‌هایی است که از لیمونیت ساخته شدند. از سوی دیگر با توجه به عکسهای SEM، دانه‌بندی ذرات در شکل ۳ به طور محسوسی نسبت به شکل ۲ کاهش یافته است، هرچند هنوز به اندازه دانه‌بندی شکل ۱ نیست. این امر نشان می‌دهد که ارتباط تنگاتنگی بین ریز ساختار و ویژگیهای مغناطیسی وجود دارد. ناسازگاری این نتایج با نتایج حاصل از نمونه‌هایی که با اکسید آهن خارجی ساخته شده‌اند می‌تواند ناشی از تنظیم نبودن دیگر ناخالصیها و نیز خطای جزئی در آنالیز مواد با XRF و جذب اتمی باشد. مقایسه عکسهای ریزساختار ۲ و ۳ نشان می‌دهند که در اثر



شکل ۴ تغییرات H_c بر حسب درصد SiO_2 موجود در نمونه‌های هماتیته در دماهای گوناگون تفجوشی

وجود افزودنی نامغناطیسی SiO_2 در نمونه هماتیته اصلاح شده، دانه‌ها در شکل ۳ از رشد کمتری برخوردار بوده‌اند. وجود افزودنی SiO_2 باعث جلوگیری از رشد دانه‌ها می‌شود [۸]. این امر در اثر تجمع یک فاز ثانویه در مرز دانه‌هاست که باعث عدم حرکت مرز دانه‌ها می‌شود [۹ و ۱۰]. اثر Al_2O_3 به این صورت است که تا مقدار یک درصد افزایش به صورت محلول جامد در شبکه ششگوشی فریت باریوم قرار گرفته و باعث افزایش H_c می‌شود، ولی بالاتر از یک درصد افزایش، در مرز دانه‌ها جمع می‌شود، ولی برخلاف SiO_2 تأثیری بر جلوگیری از رشد دانه‌ها ندارد [۵]. از آنجا که H_c با اندازه دانه‌ها تغییر می‌کند و باید اندازه دانه‌ها به اندازه یک تک حوزه مغناطیسی باشد تا نتایج مطلوب

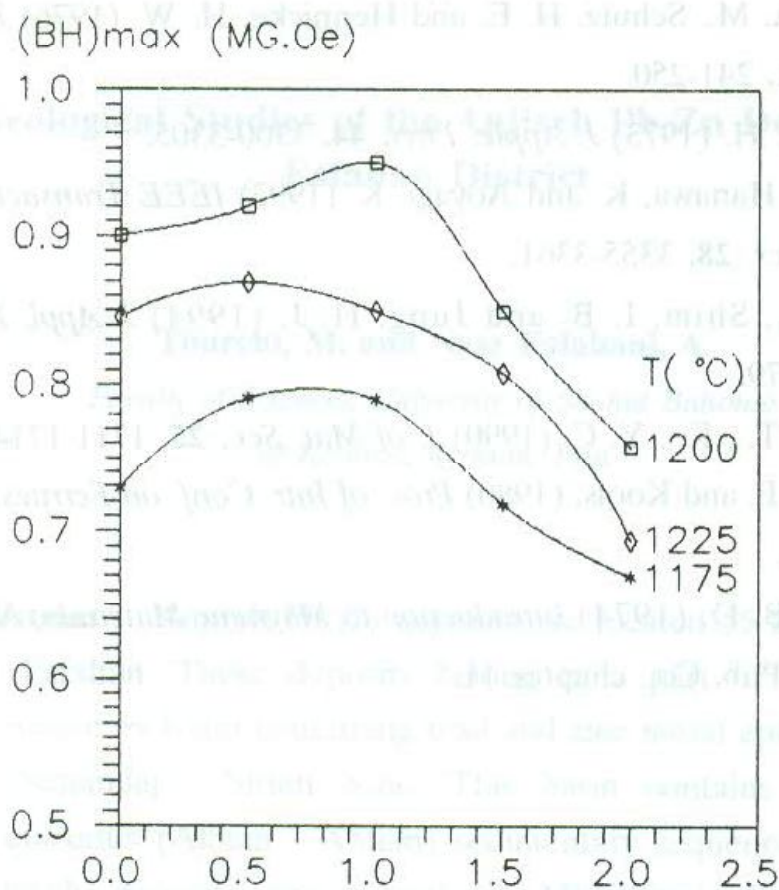


شکل ۵ تغییرات Br بر حسب درصد SiO_2 موجود در نمونه‌های هماتیته در دماهای گوناگون تفجوشی

مغناطیسی به دست آید، اندازه دانه‌ها در خواص مغناطیسی تأثیر می‌گذارد [۱۱]. نتیجه این که با تنظیم ناخالصیهای مواد اولیه‌ای که برای نخستین بار در تهیه فریت باریوم به کار می‌روند، می‌توان به مشخصاتی از این مواد دست یافت که برای ساخت این فریتها لازم است.

قدردانی

مؤلفین این مقاله تشکر فراوان خود را از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه اصفهان و دانشکده مواد دانشگاه صنعتی در تهیه عکس‌های SEM و آزمایشگاه مجتمع فولاد مبارکه اصفهان در آنالیز مواد اولیه ابراز می‌دارند.



شکل ۶ تغییرات $(BH)_{max}$ بر حسب درصد SiO_2 موجود در نمونه‌های هماتیته در دماهای گوناگون تفجوشی

مراجع

- 1 - Haneda K., and Kojima J. (1974) *J. Amer. Ceram. Soc.* **57**, 68-71.
- 2 - Goldman A. (1990) *Modern Ferrite Technology*, Van Nostrand Reinhold, New York, PP. 115-114.
- 3 - Van de Broek, C. A. M. and Stuijts A. L. (1977) *Philips Tech. Rev.* **37**, 157-175.
- 4 - Gadalla, A. M. and Sakurai, T. (1980) *Jpn. J. Appl. Phys.* **19**, 1339-1346.

- 5 - Gadalla, A. M., Schutz, H. E. and Hennicke, H. W. (1976) *J. Magn. Mater.* **1**, 241-250.
- 6 - Arendt, R. H. (1973) *J. Appl. Phys.* **44**, 3300-3305.
- 7 - Sakai, H., Hanawa, K. and Aoyagi, K. (1992) *IEEE Transactions on Magnetics.* **28**, 3355-3361.
- 8 - Oh, Y. J., Shim, I. B. and Jung, H. J. (1994) *J. Appl. Phys.*, **76** 6877-6879.
- 9 - Chien, Y. T. , Ko, Y. C. (1990) *J. of Mat. Sci.*, **25**, 1711-1714.
- 10 - Haberey, F. and Kools, (1980) *Proc. of Intr. Conf. on Ferrites*. Japan, 356-361.
- 11 - Cullity, B. D. (1974) *Introduction to Magnetic Materials*, Addison Wesley Pub. Co., chapter 11.