

## اثر بازپخت ترکیبی بر نوار آمورف کبالت پایه

روزمه، سید احسان؛ پیرمردیان، محمدرضا

دانشکده فیزیک دانشگاه کاشان، کاشان

### چکیده

در این تحقیق به بررسی اثر فرکانس و دامنه جریان بازپخت بر نوار آمورف مغناطیسی کبالت پایه، در فرآیند بازپخت AC پرداخته شد. بهینه دامنه جریان بازپخت در فرکانس ۶۰ هرتز، جریان ۴۵۰ میلی آمپر در مدت زمان بازپخت ۱۵ دقیقه بدست آمد. با افزایش فرکانس، امپدانس مغناطیسی تا فرکانس ۱۰۰۰ هرتز افزایش و سپس کاهش می یابد. بهینه فرکانس بازپختی ۱۰۰۰ هرتز بدست آمد. نمونه‌ی خام و بازپخت شده در شرایط بهینه، تحت تابش گاما در شدت‌های مختلف قرار گرفته و بهینه شدت تابش در شدت ۱۰۰۰ گری بدست آمد. امپدانس مغناطیسی نمونه‌هایی که تحت تابش گاما در شدت‌های بالا قرار می‌گیرند کاهش می‌یابد.

کلمات کلیدی: جریان بازپخت، فرکانس بازپخت، تابش گاما، نوار آمورف، امپدانس مغناطیسی

## The effect of combination annealing on Co-based alloy amorphous ribbons.

Roozmeh, Seyed ehsan; Pirmoradian, Mohammadreza

Department of Physics, University of kashan, kashan

### Abstract

*In this research, the influence of frequency and amplitude of current annealing has been investigated in the magnetic alloys amorphous Co-based in the AC annealing process. The optimal amplitude of current annealing that obtained at 60 Hz frequency was 450 mA in 15 minutes annealing. By increasing the annealing frequency, magnetic impedance increases, but for over 1000 Hz, the magneto impedance decreases. Therefore, the optimal annealing current frequency obtained at 1000 Hz frequency. Raw sample and annealed sample are radiated under different radiation and the optimal radiation intensity is achieved 1000 Gy. Magnetic impedance of Irradiated samples under high radiation reduces the effect of magnetic impedance.*

**Key words:** Annealing current, Annealing frequency, Gamma radiation, Amorphous ribbons, Magneto impedance

PACS No. 75

نوارهای کبالت پایه به دلیل دارا بودن حوزه‌های مغناطیسی برای مشاهده اثر امپدانس مغناطیسی MI بسیار مناسب می‌باشند. القای حوزه‌های مغناطیسی را می‌توان به وسیله کنترل شرایط بازپخت اعم از (نرخ بازپخت، مدت زمان اعمال میدان و...) کنترل کرد. تغییر امپدانس الکتریکی رسانای حامل جریان متناوب با دامنه و فرکانس مشخص تحت تغییر میدان مغناطیسی استاتیکی خارجی، امپدانس

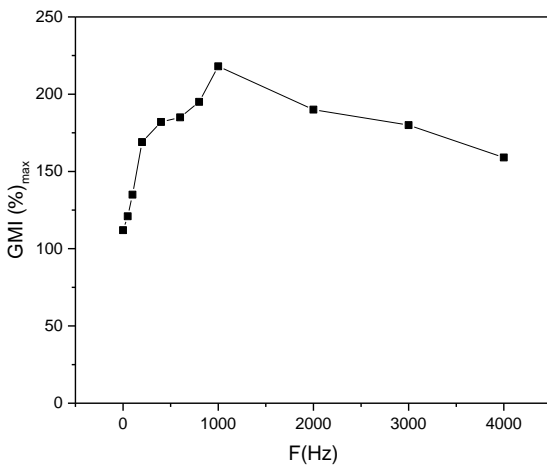
### مقدمه

اثر امپدانس مغناطیسی بزرگ در آلیاژهای مغناطیسی نرم نوید توسعه این گونه مواد در ساخت حسگرهای میدانی بسیار حساس را می‌دهد. این پدیده به طور گسترده در نوارهای کبالت پایه به دلیل داشتن میدان ناهمسانگردی نزدیک صفر بررسی شده است. ناهمسانگردی را می‌توان به وسیله کنترل شرایط بازپخت تغییر داد.

که امیدانس مغناطیسی آن به حدود ۱۵۰٪ رسید. بهترین پاسخ امیدانس در فرکانس بازپخت ۱۰۰۰ هرتز است که بیشینه آن به ۲۲۰٪ درصد رسید و در مقایسه با بیشینه درصد امیدانس نمونه خام، ۱۱۲٪، افزایش قابل توجه و چشمگیری دارد. فرکانس بازپخت بالاتر از ۱۰۰۰ هرتز باعث کاهش امیدانس مغناطیسی می‌شود. نمونه‌های بازپخت شده در شرایط بهینه تحت تابش گاما قرار می‌گیرند که نمونه‌های بازپخت شده در شدت تابش ۱۰۰۰ گری بیشترین مقدار اثر امیدانس مغناطیسی را داراست.

### تحلیل و بررسی نتایج:

شکل (۱) نمودار بیشینه درصد امیدانس مغناطیسی نمونه‌های بازپخت شده در بازه فرکانسی ۶۰ الی ۴۰۰۰ هرتز رسم شده است.



شکل ۱: بیشینه امیدانس مغناطیسی نمونه‌های بازپخت شده در جریان ۴۵۰ میلی‌آمپر و فرکانس‌های مختلف

با توجه به شکل (۱) بهینه فرکانس بازپخت ۱۰۰۰ هرتز در نظر گرفته شد. با توجه به رابطه عمق پوسته با افزایش فرکانس جریان بازپخت، عمق پوسته‌ای که جریان از آن عبور می‌کند کاهش یافته در نتیجه اثر امیدانس مغناطیسی افزایش می‌یابد. این افزایش را می‌توان به چسبیدن حوزه‌های مغناطیسی به سطح نمونه نسبت داد [۳]. با افزایش فرکانس و تمایل عبور جریان از سطح، گرم و اکسید شدن سطح پدیده سنجاق شدن اتفاق می‌افتد. این پدیده خود باعث سختی مغناطیسی و کاهش اثر امیدانس مغناطیسی می‌شود.

مغناطیسی نامیده می‌شود [۱]. نسبت امیدانس مغناطیسی نمونه‌ها از رابطه زیر به دست می‌آید:

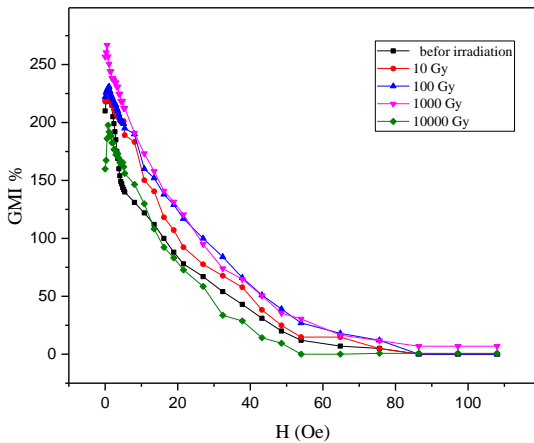
$$GMI\% = \frac{Z(H) - Z(H_{max})}{Z(H_{max})} \times 100$$

که در این رابطه  $Z(H)$  امیدانس مغناطیسی نمونه در میدان مغناطیسی،  $Z(H_{max})$  امیدانس مغناطیسی نمونه در حالت اشباع مغناطیسی است. میدان اشباع میدانی است که راستای تمام دوقطبی‌های مغناطیسی ماده با راستای میدان اعمالی خارجی یک‌سو باشد. اثر MI مستقیماً به جریان متناوب گذرنده از نمونه، میدان استاتیکی اعمالی خارجی، نفوذپذیری مغناطیسی، مقاومت الکتریکی و فرکانس جریان عبوری بستگی دارد. منشاء اثر امیدانس

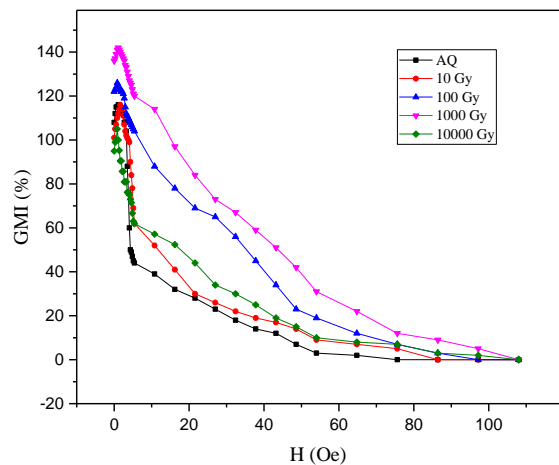
مغناطیسی عمق پوسته یا اثر پوسته است که با رابطه  $\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{\omega\mu}}$  تعریف می‌شود. در این رابطه  $\delta$  عمق پوسته،  $\mu$  نفوذپذیری مغناطیسی،  $\rho$  مقاومت ویژه الکتریکی ماده و  $\omega$  فرکانس جریان متناوب است [۲]. این پدیده کاملاً کلاسیکی بوده و براساس معادلات لاندائو-لیفشیتز و ماکسول قابل توجیه است. پخت جریانی علاوه بر جریان یافتن گرما در نمونه، طبق قانون آمپر باعث ایجاد یک میدان مغناطیسی پیرامونی می‌شود. در بازپخت DC جریان اعمالی از کل سطح مقطع نمونه عبور کرده اما در بازپخت AC جریان متناسب با فرکانس اعمالی از یک لایه خارجی عبور می‌کند. با افزایش فرکانس جریان بازپخت یک میدان مغناطیسی پیرامونی در سطح نمونه ایجاد می‌شود (جهت آن از قانون مداری آمپر به دست می‌آید) که باعث ایجاد یک میدان ناهمسانگردی در سطح نمونه شده و با قطع جریان به‌طور کامل از بین نمی‌رود [۲].

### روش تحقیق:

در این تحقیق نوار آمورف کبالت پایه با ترکیب  $Co_{68.15}Fe_{4.35}Si_{12.5}B_{15}$  در ابعادی با طول ۳۰ میلی‌متر، عرض ۷ میلی‌متر و ضخامت ۲۸/۸ میکرومتر که به روش ذوب چرخان تهیه شده، مورد استفاده قرار گرفته است. برای به دست آوردن بهینه جریان بازپختی، نمونه‌ها در فرکانس ثابت ۶۰ هرتز در جریان‌های ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰، ۵۰۰ و ۵۰۰ میلی‌آمپر به مدت زمان ۱۵ دقیقه بازپخت داده شد. جریان بهینه بازپختی ۴۵۰ میلی‌آمپر به دست آمد

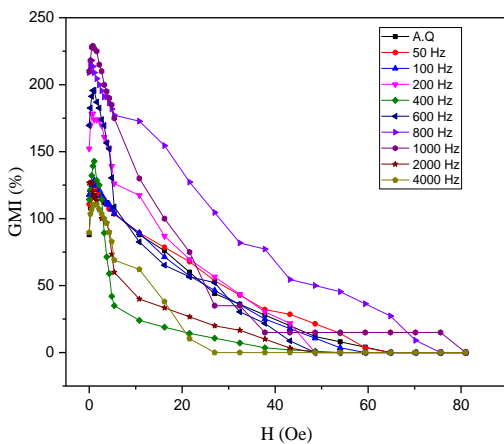


شکل ۳: نمودار امپدانس مغناطیسی نمونه‌های بازیخت شده در جریان ۴۵۰ میلی‌آمپر، ۱۰۰۰ هرتز و مدت زمان ۱۵ دقیقه تحت تابش‌های مختلف



شکل ۲: نمودار امپدانس مغناطیسی نمونه‌های خام تحت تابش‌های مختلف

با توجه به شکل (۲) مقدار بیشینه امپدانس مغناطیسی نمونه‌ی تحت تابش ۱۰۰۰ گری در مقایسه با نمونه خام حدود ۲۵ درصد افزایش داشته است اما این مقدار برای نمونه تحت تابش ۱۰۰۰۰ گری حدود ۱۰ درصد کاهش داشته است که دلیل این کاهش را می‌توان به نقص‌های ایجاد شده در نمونه، در اثر تابش با انرژی بالا دانست. از این‌رو شدت تابش بهینه ۱۰۰۰ گری در نظر گرفته شده است.



شکل ۴: نمودار امپدانس مغناطیسی در جریان ۴۵۰ میلی‌آمپر در فرکانس‌های مختلف بازیخت

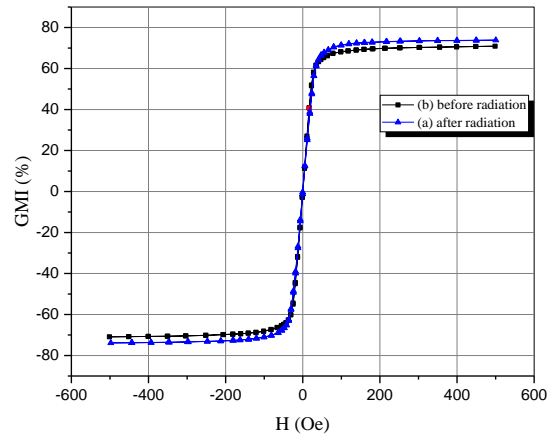
شکل (۳) درصد امپدانس مغناطیسی نمونه‌های بازیخت شده در جریان ۴۵۰ میلی‌آمپر، فرکانس ۱۰۰۰ هرتز تحت تابش‌های ۱۰، ۱۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ گری قرار گرفته است که رفتاری مشابه نمونه‌های خام دارد با این تفاوت که مقدار افزایش امپدانس مغناطیسی در این مورد بیشتر است. بیشترین اصلاح در نفوذپذیری مغناطیسی و در نتیجه افزایش امپدانس مغناطیسی در شدت ۱۰۰۰ گری است. این افزایش نشان می‌دهد که نمونه به لحاظ مغناطیسی نرم‌تر شده است. در شدت‌های بالاتر از ۱۰۰۰ گری به دلیل انرژی بالای تابش، نمونه به لحاظ مغناطیسی سخت شده و این سخت‌شدگی دلیل کاهش امپدانس مغناطیسی است. هنگامی که نمونه تحت تابش گاما با انرژی بالا قرار می‌گیرد، مقداری از انرژی تابشی جذب شده و دمای نمونه از طریق فرآیند گرمایش گاما افزایش می‌یابد.

با توجه به شکل (۳) مقدار بیشینه امپدانس مغناطیسی نمونه‌ای که تحت بازیخت جریانی-تابشی قرار گرفته در مقایسه با شکل (۴) نمونه‌ای که فقط بازیخت جریانی شده، حدود ۲۹ درصد افزایش داشته است. هنگامی که تابش با انرژی بالا به محیط آلیاژ آمورف وارد می‌شود، نقص‌هایی در سطح نوار ایجاد می‌شود. انتظار می‌رود که این نقص‌ها بر تغییر خواص مغناطیسی تأثیرگذار باشد

مراجع

- [1] M. H. Phan and H. X. Peng, "Giant magneto impedance materials: Fundamentals and applications" Progress in Materials Science, Vol. 53, 2008, pp. 323–420.  
 [2] LV. Panina, K. Mohri, "Magneto-impedance effect in amorphous wires". Appl Phys Lett 1994;65:1189–91.  
 [3] Kim Ck, Wk Ho, Rc O'handley, "Exchange coupling and microstructure in annealed cobalt-rich amorphous alloys" IEEE transactions on magnetics, 31 (1995) 4015-19.  
 [4] Park Dg, H Song, Ym Cheong, "Effects of gamma irradiation and thermal annealing on the co-based amorphous ribbon" IEEE transactions on magnetics, 47 (2011) 2835-37.

و این تأثیر از طریق برهم کنش قوی با دیواره‌ی حوزه‌ها انجام می‌گیرد [۴].



شکل ۵: نمودار حلقه پسماند نمونه‌ی قبل از پرتودهی (b) و نمونه‌ی تحت تابش ۱۰۰۰ Gy (a) بعد از بازیخت در جریان ۴۵۰ mA و فرکانس ۱۰۰۰ Hz

با توجه به شکل (۵) شیب نمودار حلقه پسماند نمونه‌ای که در جریان ۴۵۰ میلی‌آمپر و فرکانس ۱۰۰۰ هرتز بازیخت شده و سپس تحت تابش گاما ۱۰۰۰ گری قرار گرفته در مقایسه با نمونه‌ای که پرتودهی نشده افزایش داشته است. افزایش شیب نمودار حلقه پسماند نشان می‌دهد که نمونه به لحاظ مغناطیسی نرم‌تر شده و این افزایش، سبب بالا رفتن مقدار امپدانس مغناطیسی نمونه تحت تابش شده است.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به بررسی اثر تابش، فرکانس و دامنه جریان در بازیخت جریانی AC پرداخته شد. نتایج آزمایش‌ها در اندازه‌گیری امپدانس مغناطیسی نشان داد بهترین دامنه جریان بازیخت ۴۵۰ میلی‌آمپر و بهترین فرکانس جریان بازیخت ۱۰۰۰ هرتز است، که امپدانس مغناطیسی به مقدار ۲۲۰ درصد رسید. با افزایش فرکانس جریان بازیخت امپدانس مغناطیسی تا فرکانس ۱۰۰۰ هرتز افزایش یافته و سپس کاهش می‌یابد. امپدانس مغناطیسی نمونه‌ای که تحت بازیخت جریانی-تابشی قرار گرفته در مقایسه با نمونه‌ای که فقط بازیخت جریانی شده، حدود ۲۹ درصد افزایش داشته است.