

به نام خدا



# مرکز دانلود رایگان مهندسی متالورژی و مواد

[www.Iran-mavad.com](http://www.Iran-mavad.com)



## Evaluating the effect of strain path change on microstructure and mechanical properties of 60/40 brass cross roll accumulative roll-bonding

### Abstract

In this study, the effect of strain path change on microstructure and mechanical properties of 60/40 brass cross roll accumulative roll-bonding. For this purpose, 60/40 brass rotated around of the normal direction axis on accumulative roll-bonding and Evaluated microstructure and mechanical properties. The results showed that tensile strength and elongation has different properties than this rotates and bauschinger effect seen on mechanical properties and microstructure.

**Keywords:** 60/40 brass, Mechanical properties, bauschinger effect

## ارزیابی تاثیر تغییر مسیر کرنش بر ریزساختار و خواص مکانیکی در نورد مقاطع برنج ۶۰/۴۰

### چکیده

در این مقاله، به بررسی تاثیر تغییر مسیر کرنش بر خواص مکانیکی و ریزساختاری برنج ۶۰/۴۰ پرداخته شده است. بدین منظور برنج ۶۰/۴۰ را نسبت به محور عمود بر نورد در حین فرایند نورد تجمعی چرخش داده و خواص مکانیکی و ریزساختاری آن مورد بررسی گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که استحکام کششی و ازدیاد طول نسبت به این چرخش‌ها خواص متفاوتی را نشان می‌دهند و اثر باوشینگر به خوبی در خواص مکانیکی و ریزساختاری دیده می‌شود.

واژه‌های کلیدی: برنج ۶۰/۴۰، خواص مکانیکی، اثر باوشینگر

## مقدمه

اخيرا برای ریزدانه کردن از فرایندهای منحصر به فرد اعمال کرنش شدید برای ریزدانه کردن مواد فلزی با متوسط اندازه دانه زیر  $1\mu\text{m}$  مثل فرایند پیچش تحت فشار بالا، فرایند فشار تحت کانال زاویه‌ای با مقطع یکسان و آلیاژسازی مکانیکی برای پودرهای فلزی استفاده می‌شود. این روش‌ها برای تولید مواد با متوسط اندازه دانه زیر میکرومتر هستند اما مشکل این روش‌ها این است که توانایی کافی برای تولید مواد حجمی را ندارند (Tsuji, Shiotsuki, Saito, ۱۹۹۹). تنها روشی که می‌تواند برای تولید پیوسته مواد حجمی به کار رود روش نورد تجمعی- پیوندی<sup>۱</sup> (ARB) است که می‌توان با استفاده از این روش به متوسط اندازه دانه زیر  $1\mu\text{m}$  دست یافت. فرایند ARB نیز از روش‌های تغییر شکل پلاستیک شدید است. مقدار زیادی از کرنش بدون تغییر ابعاد در ورق باقی می‌ماند و ساختار ورق را به طور قابل توجهی ریز می‌گرداند. مواد ARB شده دارای تنش تسلیم و تنش کششی بالایی هستند اما میزان تغییر طول و توانایی کرنش سختی پایینی دارند (Kim, Kang, Shin, ۲۰۰۶).

فرایند نورد تجمعی- پیوندی تنها فرایند تغییر شکل پلاستیک شدید است که تغییر شکل از طریق نورد را در خود دارد. فرایند ARB در سال ۱۹۹۸ توسط سایتو و همکارانش ابداع شد (Saito, Utsunomiya, Tsuji, Sakai, ۱۹۹۹). نورد بهترین فرایند تغییر شکل بر روی فلزات است که قابلیت تولید محصولات پیوسته‌ای چون ورق، صفحه و نوار را دارا است. با این حال، حداکثر کاهش ضخامت در فلزات محدود است، به این دلیل که ابعاد سطح مقطع مواد با کاهش ضخامت کم می‌شود. در فرایند ARB نمونه‌ها کاهش ضخامت ۵۰٪ را دارند. به این منظور، به دو قسمت بریده می‌شود و سپس بر روی هم چسبانده می‌شوند و ضخامت آن‌ها به ضخامت اولیه ورق می‌رسد و سپس دوباره نورد می‌شود. به منظور داشتن مواد جامد یک تکه، نورد در فرایند ARB تنها یک فرایند تغییر شکل نیست، بلکه فرایند پیونددهی نیز محسوب می‌شود.

معمولاً بررسی اثر فرایند نورد متقاطع<sup>۲</sup> به دو صورت چرخش غلتک‌ها و چرخش نمونه انجام گرفته است. در مقالات منتشر شده در زمینه چرخش در فرایند ARB به بررسی تاثیر چرخش غلتک‌ها بر ریزساختار پرداخته‌اند (Chino, ۲۰۰۹; Song, Kim, Kim, ۲۰۱۱). و مقالات کمی در زمینه بررسی تاثیر چرخش قطعه نورد شده بر خواص ماده، انجام گرفته‌است. روش چرخش نمونه نوردی اولین بار توسط جماعتی و طرقي‌نژاد (Jamaati, Toroghinejad, ۲۰۱۱) برای ارزیابی خواص مکانیکی، مطرح شد. آن‌ها در چرخش نمونه آلومینیومی به این نتیجه رسیدند که چرخش نمونه باعث کاهش استحکام باندها می‌شود. در بررسی که علیزاده (Aizadeh, ۲۰۱۰)، برای ساخت کامپوزیت  $\text{Al/B}_4\text{C}$  انجام داده است به نتایج جالبی دست یافته است. او در این فرایند آلومینیم ۱۱۰۰ را با روش ARB و همچنین با روش نورد تجمعی- پیوندی متقاطع<sup>۳</sup> (CRARB) با پودر  $\text{B}_4\text{C}$  ترکیب کرده و به کامپوزیتی از آن دست یافته است که خواص مطلوب‌تر از کامپوزیت ساخته شده با فرایند ARB دارد.

در این مقاله به بررسی تاثیر تغییر مسیر کرنش بر ریزساختار و خواص مکانیکی در نورد متقاطع برنج ۶۰/۴۰ پرداخته خواهد شد.

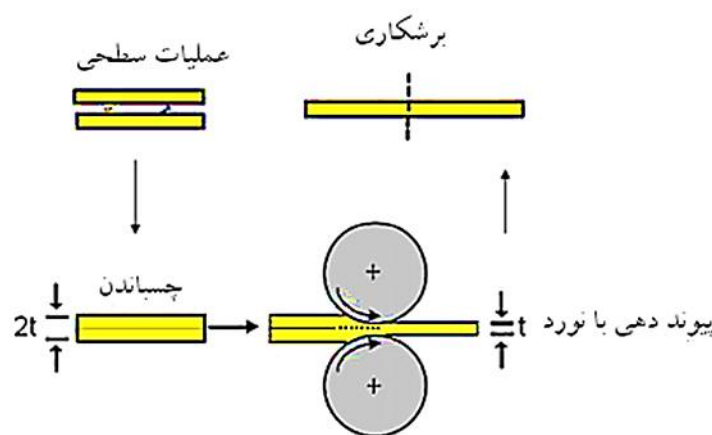
<sup>1</sup> Accumulative roll-bonding

<sup>2</sup> Cross-roll

<sup>3</sup> Cross-roll accumulative roll-bonding

## مواد و روش تحقیق

در این تحقیق برنج ۶۰/۴۰ تک فاز آنیل شده با متوسط اندازه دانه  $37/31 \pm 4/03 \mu m$  استفاده شد و تصویری از ریزساختار برنج در شکل ۲ نشان داده شده است. ترکیب شیمیایی این آلیاژ نیز در جدول ۱ نشان داده شده است. ورق برنج اولیه با ضخامت ۱ mm به نوارهایی با طول ۱۰ cm و عرض ۶ cm بریده شد. سپس مطابق با روش نشان داده شده در شکل ۱ ابتدا توسط استون چربی زدایی شده و سپس برسکاری شده است. بعد از برسکاری سطوح، آن ها را روی هم قرار داده و با سیم فولادی محکم بهم بسته و سپس نورد شدند. یک دستگاه نورد دو غلتکه آزمایشگاهی با غلتک هایی به قطر ۲۲۵ mm و سرعت نورد ۸ m/min مورد استفاده قرار گرفت. در این تحقیق فرایند نورد متقاطع (CRARB) انجام گرفت که نمونه ها در مرحله چسباندن به ترتیب با چرخش صفر (مسیر A) و ۱۸۰ درجه (مسیر C) حول محور ND تا ۵ سیکل در دمای اتاق و بدون روغنکاری نورد شدند. کاهش ضخامت در هر سیکل حدود ۵۰٪ بود، بنابراین ضخامت نهایی ورق نورد شده نسبت به ورق اولیه در هر سیکل تقریباً بدون تغییر باقی ماند.



شکل ۱- طرح شماتیکی از فرایند ARB [۸].

به منظور بررسی پیوند لایه های نمونه های CRARB شده، نمونه ها در صفحه RD-ND<sup>۱</sup> و RD-TD<sup>۲</sup> با میکروسکوپ نوری مورد بررسی قرار گرفتند. جهت بررسی خواص مکانیکی نمونه ها آزمایش کشش در دمای اتاق انجام شد. نمونه های آزمایش کشش مطابق با استاندارد ASTM E8 و در جهت نورد تهیه گردید. سختی نمونه ها با فرورونده ویکرز با نیروی ۱۰ Kg و به مدت ۲۰ ثانیه انجام شد.

<sup>1</sup> Rolling direction – Normal direction

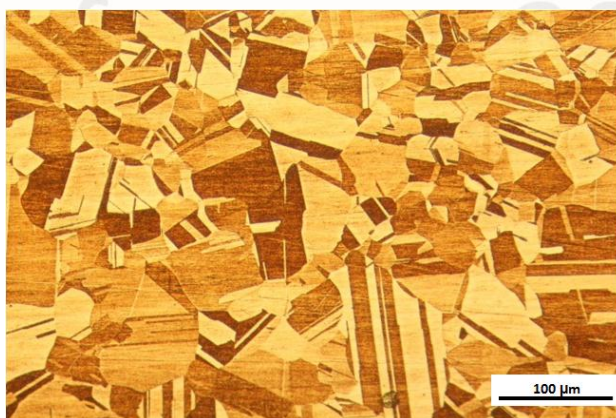
<sup>2</sup> Rolling direction – Transverse direction

جدول ۱- ترکیب شیمیایی فولادهای مورد استفاده در پژوهش حاضر (درصد وزنی)

Cu	Zn	Sn	Al	Pb	Ni	Fe	Si
۶۵/۸۵	۳۸/۷۳	<۰/۲	<۰/۲	<۰/۱	<۰/۰۲	<۰/۰۵	<۰/۰۵

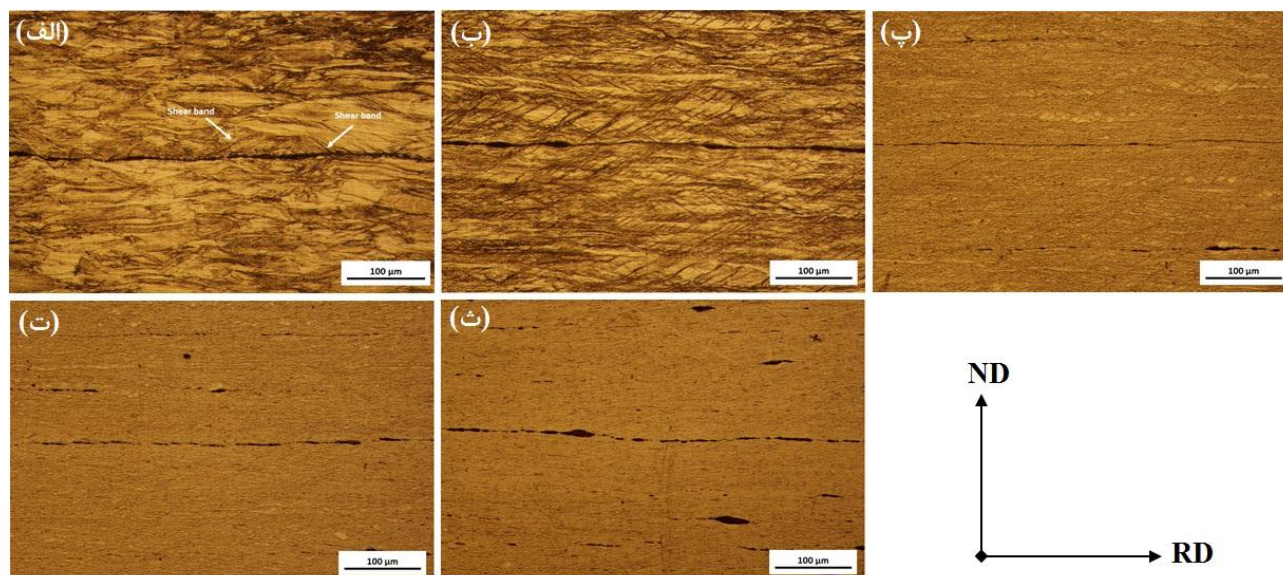
### تجزیه و تحلیل داده‌ها

در شکل ۳ و ۴ به ترتیب ریزساختار برنج نورد متقاطع شده مسیر A و C نشان داده شده است. در تصاویر ریزساختاری، برخی از فصل مشترک لایه‌ها دیده می‌شود که فصل مشترک نهایی قابل تمایز است. با توجه به شکل ۳ و ۴ در سیکل‌های ۱ و ۲ فصل مشترک نهایی به خوبی قابل مشاهده است که با افزایش تعداد سیکل نوردی این پیوندها بهبود یافته و در سیکل‌های بالاتر به سختی قابل مشاهده هستند. تشکیل دانه‌های بسیار ریز در هنگام فرایند ARB ترکیبی از تفکیک دانه و احتمالا تبلور مجدد پیوسته یا تبلور مجدد درجا (شامل تفکیک به دانه‌های بسیار ریز همراه با مهاجرت مرز دانه با برد کوتاه) یا یک بازیابی وسیع است. از آنجایی که با افزایش درصد روی در ساختار برنج انرژی نقص چیدن کاهش می‌یابد می‌توان گفت که آلیاژ به کار رفته در این تحقیق دارای انرژی نقص چیدن پایینی است ( $< 11 \text{ mJ.m}^{-2}$ ) (Zhao, Liao, Horita, Langdon, ۲۰۰۷; Hafok, Pippan, ۲۰۱۰)، به همین دلیل مکانیزم اصلی تغییر شکل در این آلیاژ دوقلویی است و در سیکل‌های اولیه در شکل‌های ۳ و ۴ به خوبی می‌توان باندهای تغییر شکل و باندهای برشی را مشاهده کرد. با مقایسه شکل ۳(ب) و شکل ۴(ب) به خوبی می‌توان مشاهده کرد که با تغییر جهت نیرو، باندهای برشی تشکیل شده در ساختار ریزتر و در هم پیچیده‌تر می‌گردند.

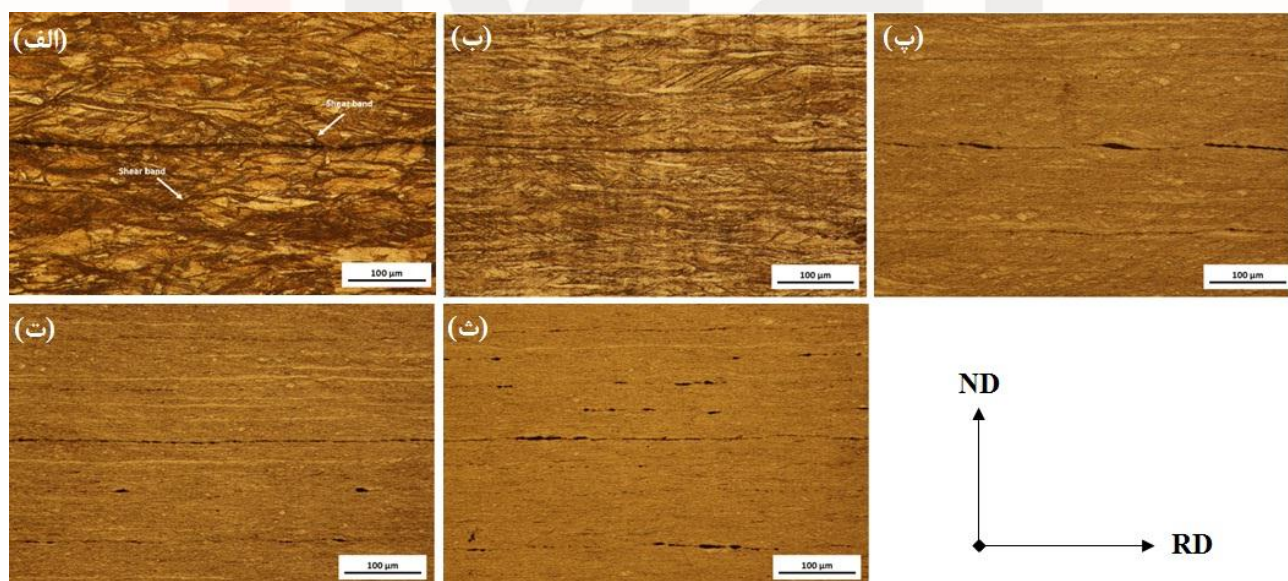


شکل ۲- ریزساختار برنج تک فاز ۶۰/۴۰





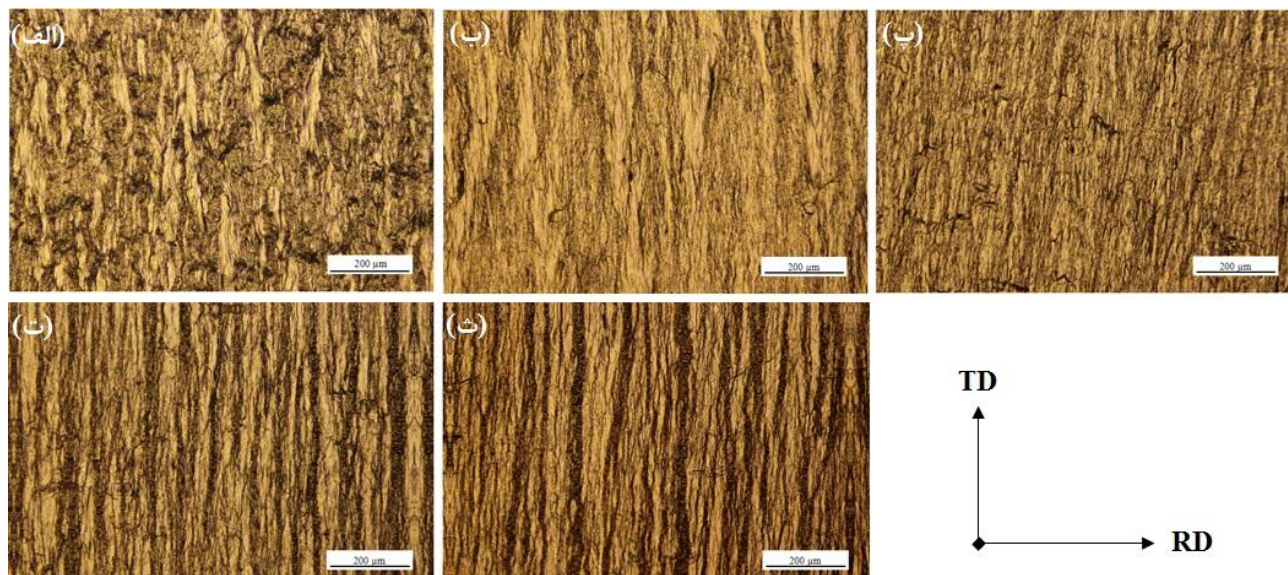
شکل ۳- ریزساختار سطح مقطع عرضی در مسیر A (الف) سیکل ۱، (ب) سیکل ۲، (پ) سیکل ۳، (ت) سیکل ۴، (ث) سیکل ۵.



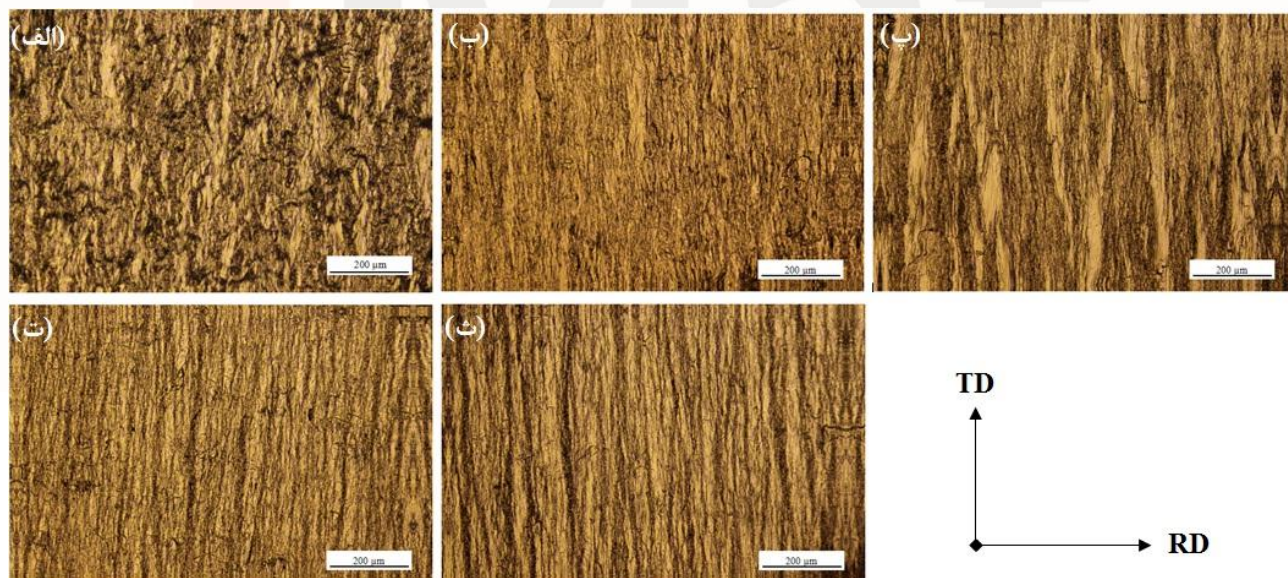
شکل ۴- ریزساختار سطح مقطع عرضی در مسیر C (الف) سیکل ۱، (ب) سیکل ۲، (پ) سیکل ۳، (ت) سیکل ۴، (ث) سیکل ۵.

برای درک بهتر تاثیر نورد متقاطع روی نمونه‌ها، نمونه‌ها را از آخرین فصل مشترک (صفحه RD-TD) خود جدا و تحت بررسی قرار گرفتند. در شکل‌های ۵ و ۶ به ترتیب سطح جدایش آخرین فصل مشترک جوش خورده نمونه‌های در مسیر A و C نشان داده شده‌است.





شکل ۵- آخرین فصل مشترک جدا شده در مسیر A (الف) سیکل ۱، (ب) سیکل ۲، (پ) سیکل ۳، (ت) سیکل ۴، (ث) سیکل ۵.



شکل ۶- آخرین فصل مشترک جدا شده در مسیر C (الف) سیکل ۱، (ب) سیکل ۲، (پ) سیکل ۳، (ت) سیکل ۴، (ث) سیکل ۵.

با توجه به شکل ۵، میزان چسبندگی فصل مشترک با افزایش میزان کارسختی تا سیکل ۳ کاهش می‌یابد زیرا با افزایش سیکل عرض ترک‌ها کم و تعدادشان افزایش می‌یابد که این عامل باعث افزایش نسبت ترک به سطح می‌گردد ولی با کوچک شدن ترک ماده دست‌نخورده کمتری بیرون آمده و استحکام باند را کاهش می‌دهد. پس از سیکل ۳ و شروع تبلور مجدد در ساختار (Pasebani, ۲۰۱۰)

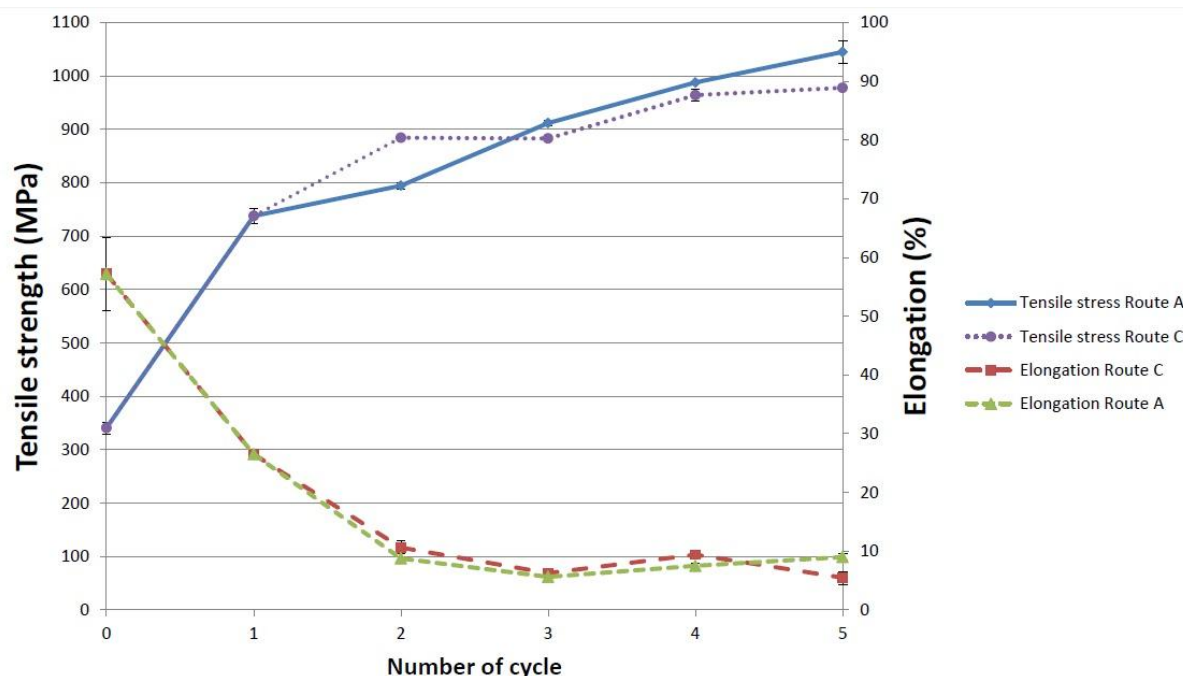


Toroghinejad, ترک‌های فصل مشترک نیز عریض تر شده و ماده دست نخورده به راحتی می تواند خارج گردیده و جوش مناسبی را به وجود آورد. با توجه به شکل ۵ و ۶ می توان گفت به دلیل کسر بالای نسبت ترک به سطح به دلیل اثر باوشینگر<sup>۱</sup> و کارسخت شدن لایه های سطحی در نمونه های سیکل ۲ و ۴ جوش سرد پیوندی در مسیر C بهتر از پیوند آن ها در مسیر A است. با توجه به شکل ۶ (پ) می توان گفت جوش مناسبی به دلیل خروج ماده دست نخورده از ترک های عریض سطحی صورت گرفته است.

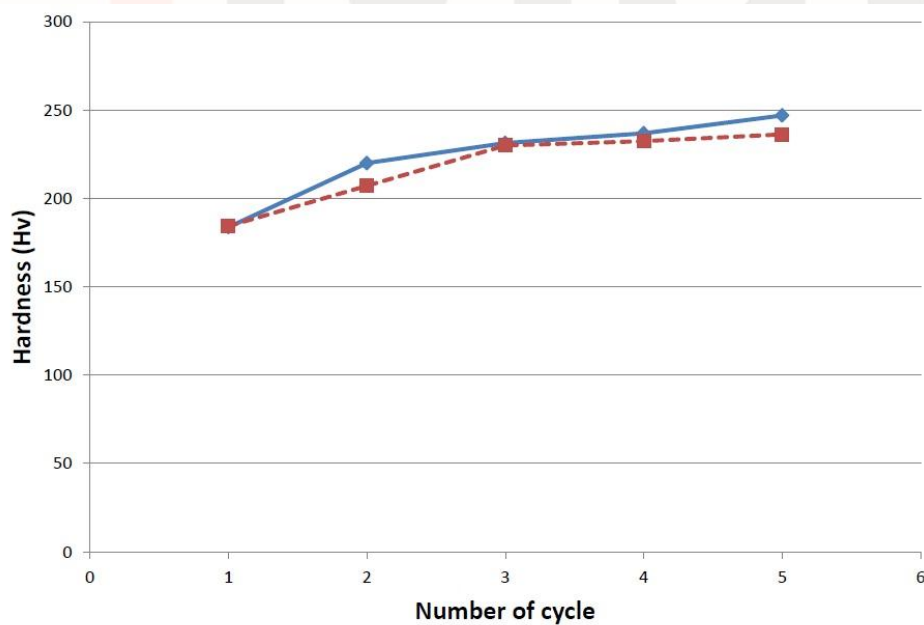
شکل ۷ خواص مکانیکی آلیاژ برنج ۶۰/۴۰ CRARB شده را نشان می دهد. در مسیر A استحکام کششی با افزایش تعداد سیکل های ARB افزایش می یابد و بعد از ۵ سیکل ARB استحکام کششی آن از ۳۴۰ MPa به طور قابل توجهی تا ۱۰۶۰ MPa بالا می رود. با این حال، میزان تغییر طول نمونه بعد از سه سیکل ARB از ۵۷٪ به طور قابل ملاحظه ای کاهش می یابد و به ۵/۶٪ می رسد. این داکتیلیته محدود به دلیل ماهیت غیر تعادلی مرزدانه های مواد، با دانه های فوق ریز، و نیز انرژی درونی بسیار بالا ناشی از تغییر شکل پلاستیکی شدید می باشد (Kim, ۲۰۰۶). کاهش تغییر طول و افزایش استحکام کششی تا سیکل سه را می توان به افزایش کارسختی در نمونه نسبت داد. افزایش اندک تغییر طول و استحکام کششی بعد از سیکل سه به دلیل تبلور مجدد و ریز شدن دانه ها است (Pasebani, ۲۰۱۰). در مسیر C نیز استحکام کششی از ۳۴۰ MPa به طور قابل توجهی تا ۹۷۸ MPa بالا می رود. با این حال، میزان تغییر طول نمونه بعد از سه سیکل ARB از ۵۷٪ به طور قابل ملاحظه ای کاهش می یابد و به ۶/۲۵٪ می رسد. سپس به دلیل تبلور مجدد پیوسته ای که در سیکل ۴ صورت می گیرد، استحکام کششی و تغییر طول افزایش می یابد ولی در سیکل ۵ به دلیل تغییر جهت نیرو و اثر باوشینگر تغییر طول کاهش می یابد. استحکام کششی در سیکل سه کاهش محسوسی داشته است که با توجه به شکل ۶ (پ) می توان گفت به دلیل وجود بخش های بزرگی از سطوح کارسخت که روی سطح فصل مشترک وجود دارد حفره های بزرگی در آخرین فصل مشترک این سیکل وجود دارد و کاهش استحکام کششی احتمالا ناشی از وجود حفره ها و ترک های بزرگ در فصل مشترک است.

در شکل ۸ نمودار سختی مربوط به مسیر A و C نشان داده شده است. با توجه به نمودار با افزایش تعداد سیکل ARB سختی در نمونه ها افزایش می یابد که تاثیر باوشینگر در مسیر C به خوبی نمایان است. اثر باوشینگر در سیکل ۵ مسیر C با تغییر خواص مکانیکی از جمله استحکام کششی، تغییر طول و سختی به خوبی خود را آشکار می کند.

<sup>1</sup> Bauschinger effect



شکل ۷- تغییرات استحکام کششی و تغییر طول در مسیر A و C با افزایش تعداد سیکل



شکل ۸- نمودار سختی ویکرز در مسیرهای A و C.

## نتیجه گیری

۱. استحکام کششی نمونه‌های CRARB با افزایش تعداد سیکل نوردی افزایش می‌یابد ولی این افزایش در برخی سیکل‌های مسیر C به دلیل وجود اثر باوشینگر و همچنین وجود حفره‌های بزرگ چندان محسوس نیست.
۲. میزان تغییر طول تا سیکل سوم به دلیل کارسختی کاهش می‌یابد و با شروع تبلور مجدد افزایش می‌یابد که در سیکل ۵ مسیر C به دلیل وجود اثر باوشینگر تغییر طول روند کاهشی پیدا می‌کند.
۳. اثر باوشینگر بر خواص مکانیکی برنج ۶۰/۴۰ در نورد متقاطع تاثیر گذاشته و باعث کاهش خواص مکانیکی می‌شود.

## منابع

- Alizadeh, M. 2010. "Processing of Al/B<sub>4</sub>C composites by cross-roll accumulative roll bonding". *Materials Letters*, Vol. 64, Pp. 2641-2643.
- Chino, Y., Sassa, K., Mabuchi, M. 2009. "Enhanced stretch formability of Mn-free AZ31 Mg alloy rolled by cross-roll rolling". *J Mater Sci*, Vol. 44, Pp.1821-1827.
- Hafok, M., Pappan, R. 2010. "Influence of stacking fault energy and alloying on stage V hardening of HPT-deformed materials". *International Journal of Materials Research*, Vol. 101, No. 9, Pp. 1097-1104.
- Jamaati, R., Toroghinejad M. R. 2011. "Cold roll bonding bond strengths: review". *Materials Science and Technology*, Vol. 27, No. 7, Pp. 1101-1108.
- Kim, Y.-S., Kang, S.H., Shin, D.H. 2006. "Effect of rolling direction on the microstructure and mechanical properties of accumulative roll bonding (ARB) processed commercially pure 1050 aluminum alloy". *Materials Science Forum*, Vols. 503-504, Pp. 681-686.
- Pasebani, S., Toroghinejad, M. R. 2010. "Nano-grained 70/30 brass strip produced by accumulative roll-bonding (ARB) process". *Materials Science and Engineering A*, Vol.527, Pp. 491-497.
- Saito, Y., Utsunomiya, H., Tsuji, N., Sakai, T. 1999. "Novel ultra-high straining process for bulk materials-development of the accumulative roll-bonding (ARB) process". *Acta Materialia*, Vol. 47, No. 2, Pp. 579-583.
- Song, K. H., Kim, H. S., Kim, W. Y. 2011. "Enhancement of grain refinement and mechanical properties of cross-roll rolled pure copper". *Materials Transactions*, Vol. 52, No. 5, Pp. 1070 - 1073.
- Tsuji, N., Shiotsuki, K., Saito, Y. 1999. "Superplasticity of ultra-fine grained Al-Mg alloy produced by accumulative roll-bonding". *Materials Transactions*, Vol. 40, No. 8, Pp. 765-771.



Zhao, Y.H., Liao, X.Z., Horita, Z., Langdon, T.G., Zhu, Y.T. 2008. " Determining the optimal stacking fault energy for achieving high ductility in ultrafine-grained Cu–Zn alloy". *Materials Science and Engineering A*, vol. 493, Pp. 123–129.

iMat  
Conference 2014