رفتار و خواص مکانیکی آلیاژ آلومینیم ۵۰۸۳ در طی نورد

حسن غیاثی
مربی

محمد فرخ
استادیار

علی جزایری
استادیار
گروه پژوهشی مواد، پژوهشکده توسعه تکنولوژی،
جهاد دانشگاهی صنعتی شریف

چکیده

در ایـن پژوهش، رفتار متالورژیکی ورقهای نوردی آلیاژ آلومینیم ۵۰۸۳ در ضمن تولید صنعتی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته و برخـی راه حـل‌های تجربی جهت رفع مشکلات ارائه شده است. موضوعات مطرح شده شامل: ۱ـ سوسماری شدن ورق و اثر زمان پـیش گـرم و دمـای نورد بر آن، ۲ـ قایقی شدن ورق، تاثیر نحوه چیده شدن ورقها در کوره پیش گـرم و تنظیم غلتکها بر روی این پدیـده، ۳ـ بروز پدیده پیرنرمی در ورقـها و پایـداری سـازی آنها و ٤ـ عملیـا ت تنش‌گیری می‌باشد. علاوه بر اینها خواص مکانیکی نظـیـر اسـتحکام کشـشـی و سـختی در مـراحل مختلف بعد از نورد گرم، پایدارسازی و نورد سرد و نیز سختی در نقاط مختلف ورق اندازه‌گیری شده و تاثیر پارامترهایی نظیر دمای پاسهای نهایی بر این خواص مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

کلمات کلیدی

آلـیاژ آلـومینیم ۵۰۸۳ ـ نورد گـرم و سرد ـ خواص مکانیکی ـ پایدار سازی

Behaviour and Mechanical Properties of Aluminium Alloy 5083 during Rolling

M. farrokh H.Ghiassi

A. Jazayeri-G

The Institute for Technology Development Research

Abstract

In this research, metallurgical behaviour of aluminium alloy 5083 plates during rolling in industrial scale were studied and some empirical solutions were presented for solving problems occurred during the production. The main subjects discussed in the paper are: 1) the crocodiling phenomenon and the effect of preheating and rolling temperature on the crocodiling, 2) the boating phenomenon, in which the shape of the plates undergo a change to boat-like form, and the influence of stacking manner of plates in preheating furnace and mills adjustment on the phenomenon, 3) occurrence of age softening after hot rolling and stabilisation and 4) stress relieving treatments. In addition, some mechanical properties such as tensile strength and hardness were determined at different stages i.e. after hot rolling, stabilisation and cold rolling. Hardness measurements were also carried out at various locations in the rolled plates. The effect of some parameters such as the temperature of final passes on the mechanical properties were also studied.

Keywords
Aluminium Alloy 5083, Cold and Hot Rolling, Mechanical Properties, Stabilisation

مقدمه

در آلیاژهای سری ×××5 بالاخص آلیاژ ۵۰۸۳ عنصر منیزیم به تنهایی یا همراه با منگنز، آلیاژی کار سخت‌شونده با استحکام متوسط به بالا را ایجاد می‌نمایند. منیزیم نقش موثرتری از منگنز در استحکام بخشی به آلیاژ دارد بطوریکه اثر استحکام بخشی حدود ۰/۸ درصد منیزیم معادل با ۱/۲۵ درصد منگنز بوده و در مقادیر بیشتری نیز می‌تواند به آلیاژ افزوده شود. عناصر کروم و منگنز موجود در این آلیاژ، استحکام آنرا از طریق تشکیل محلول جامد یا ریز کردن دانه‌ها افزایش می‌دهند. آلیاژهای این سری دارای مشخصات جوشکاری خوب و مقاومت به خوردگی بالایی در محیط‌های دریایی هستند. هر چند در مقادیر بالای ۳/۵ ٪ منیزیم، بدلیل مستعد بودن به‌خوردگی تنشی دارای محدودیت در دمای کاربرد هستند. این آلیاژها دارای کاربردهای زیادی نظامی، دریایی در صنایع، خودروسازی و بسته‌بندی می‌باشند [۱-۳]. آلیاژ ۵۰۸۳ دارای ترکیب شیمیایی زیر می‌باشد [۱]:

عنصر	Al	Mg	Mn	Fe Max	Si	Cr	Zn Max	Cu Max	Ti Max
درصد وزنی	**پایه**	۴-۴/۹	۰/۴-۱	۰/۴	۰/۴-۰/۷	۰/۰۵-۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۱	۰/۱۵

همگن‌سازی این آلیاژ به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۵۴۰°C -۵۲۰، نورد داغ (Hot Rolling) آن در دمای ۴۸۰° C-۳۱۵ و نورد گرم (Warm Rolling) آلیاژ در دمای ۲۸۰° C-۲۵۰ انجام میشود. دمای آنیل آلیاژ ۴۱۵ ° C میباشد [۱ و ۴ -۷]. دو ناپایداری در خواص این آلیاژها مشاهده میگردد که عبارتند از:

۱ـ کاهش مقاومت به خوردگی : با گذشت زمان، مقاومت آلیاژ به‌خوردگی تنشی (S.C.C)و یا تورق (Exfoliation) کاهش می‌یابد.[۲].

۲ـ پیرنرمی : با گذشت زمان پس از نورد به تدریج استحکام آلیاژ، به دلیل بروز بازیابی ساکن در دانه‌های تغییر فرم یافته و حذف جزئی تنشهای داخلی، اندکی کاهش می‌یابد. با انجام عملیات پایدارسازی، هر چند خواص مکانیکی اندکی کاهش می‌یابند، لکن برای مدتهای طولانی پایدار می‌مانند. از طرفی انجام این عملیات، میزان رسوب فاز β از محلول فوق اشباع را نیز کاهش میدهد که این حالت باعث افزایش مقاومت به خوردگی تنشی میگردد [۸-۱۰].

تختالهای تولید شده به روش ریخته‌گری نیمه مداوم مورد استفاده در این پروژه بایستی قبل از نورد تحت عملیات پیش گرم و همگن سازی قرار بگیرند تا علاوه بر حصول دمای لازم جهت نورد گرم جدایش‌های موجود، بالاخص در مرکز شمش نیز تا حد ممکن حذف گردد و در نتیجه احتمال ایجاد عیوب مختلف در حین نورد همچون سوسماری شدن را در حد امکان کاهش یابد. عوامل دیگری نیز بر ایجاد عیوب نورد موثر می‌باشند که از آن جمله می‌توان غیریکنواختی تغییر فرم بالاخص در پاسهای اولیه نورد تختالهای ضخیم، ترکیب شیمیایی آلیاژ، حضور انواع ناخالصی‌های مضر حتی در مقادیر کم، ساختار شمش یا تختال، رژیم‌های سرعت و دمای نورد و بالاخص توزیع دما در سطح مقطع شمش را نام برد [۱۱].

غیریکنواختی تغییر فرم بالاخص در نورد تختالهای ضخیم از اهمیت به سزایی برخوردار است، بطوریکه باعث ایجاد عیوب داخلی و خارجی همچون ترکها میگردد. در اکثر موارد ترکهای داخلی در پاسهای بعدی نورد بسته شده و جوش می‌خورند، لکن در برخی موارد نیز بسته به توزیع تنشهای کششی و فشاری، این ترکها ممکن است باعث شکست و بروز پدیده سوسماری شدن در ورقها گردند. ترکهای سطحی کار تمیز کاری سطح را افزایش داده و باعث افزایش میزان ضایعات می‌گردند [۱۱و۱۲].

در مقاله حاضر، نورد آلیاژ آلومینیم ۵۰۸۳ در مرحله تولید صنعتی مورد بررسی قرار گرفته و راه حل‌هایی برای رفع عیوب مشاهده شده در خلال تولید از قبیل سوسماری شدن و قایقی شدن ارائه شده است. در ضمن، نتایج اندازه‌گیری برخی از خواص مکانیکی از قبیل استحکام کششی و سختی نیز در شرایط مختلف ارائه شده است.

روشهای آزمایش

ترکیب شیمیایی آلیاژ آلومینیم مورد استفاده در این تحقیق در جدول زیر ارائه شده است.

ترکیب شیمیایی آلیاژ ۵۰۸۳ مورد آزمایش.

عنصر	Al	Mg Max	Mn Max	Fe Max	Si Max	Cr Max	Zn Max	Cu Max	Ti Max
درصد وزنی	پایه	۴/۴۰	۰/۶۶	۰/۱۷	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۱

مواد اولیه بصورت تختالهایی به ابعاد ۱۶۰×۱۰۴۰×۱۸۱۰ میلیمتر تولیدی شرکت Alcoa کانادا بود. این تختالها توسط نورد داغ و گرم و بصورت صنعتی به ورقهایی به ضخامتهای ۲۰ تا ۴۰ میلیمتر تبدیل شدند. تمامی شش وجه هر تختال ماشینکاری شده بود. تختالها قبل از نورد گرم در دمای C ° ۵۴۰-۵۳۰ و در مدت زمانهای ۲۴، ۴۰، ۴۸ و ۶۰ ساعت پیش‌گرم و همگن سازی شدند. در مواقعی که نورد ورق در اثر مشکلات پیش آمده متوقف می‌شد، جهت ادامه نورد، ورق مجدداً در درجه حرارت‌های فوق‌الذکر ولی در زمانهای کوتاهتری پیش‌گرم میگردید.

در این تحقیق برخی از شرایط فوق الذکر مورد بررسی و تجزیه و تحلیل واقع می‌شود. نورد داغ عموماً در دمای حدود C ° ۵۳۰ آغاز و در ادامه آن، نورد گرم با کاهش دما در C °۳۰۰-۲۰۰ انجام می‌گرفت.

دستگاه نورد داغ مورد استفاده، ساخت کمپانی Nash و دارای قدرت پایه ۱۲۵۰ اسب بخار با حداکثر نیروی ۷۵۰ تن و جریان اسمی ۱۴۵۰ آمپر بود. غلتکهای دستگاه، به قطر ۸۰۰ و عرض ۱۴۰۰ میلیمتر بوده و توسط مخلوطی از آب و روغن مخصوص خنک می‌شدند. سرعت دورانی غلتکها در ابتدا ۴۰ دور بر دقیقه و در پاسهای نهایی ۵۰ دوربر دقیقه بود. کاهش ضخامت در اکثر پاسها به میزان ۰/۵ سانتیمتر (۰/۲ اینچ) در هر پاس و در مراحل نهایی به میزان ۴ /۰ سانتیمتر (۰/۱۵ اینچ) و ۰/۲۵ سانتیمتر (۰/۱ اینچ) در هر پاس بود.

ورقها پس از نورد گرم به مدت نیم ساعت در دمای C ۱۲۵ پایدار سازی شدند. کوره‌های پیش گرم و پایدارسازی، یکسان بوده و دارای طول مفید ۸ متر بودند. سپس ورقها به ابعاد مورد نظر برش خورده و عمدتاً تحت نورد سرد قرار گرفتند. به منظور تعیین خواص مکانیکی و متالورژیکی ورق‌ها، از مراحل مختلف عملیات انجام شده نمونه‌هایی جهت آزمایشهای متالوگرافی، سختی سنجی و کشش تهیه گردید. بررسی ساختار میکروسکوپی نمونه‌ها، با استفاده از میکروسکوپ‌های نوری و الکترونی مروری (SEM) انجام پذیرفت.

آزمایش‌های سختی سنجی نمونه‌ها در سطح ورق و با استفاده از نیروی ۶۲/۵ کیلوگرم و ساچمه ۲/۵ میلیمتر در مقیاس برینل انجام گرفته و نمونه‌ها تحت استانداردهای ASTM E8M، DIN 50125 و ASTM A370 تحت آزمایش کشش قرار گرفتند.

نتایج

در این قسمت ابتدا به برخی از نکات تکنیکی و تجربی عملیات نورد اشاره شده و سپس به بررسی خواص مکانیکی و ساختار میکروسکوپی نمونه‌ها پرداخته خواهد شد. مسائلی همچون سوسماری شدن، قایقی شدن، تاثیر دما بر روی خواص مکانیکی، پیر نرمی و تنش‌گیری مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

سوسماری شدن

در حین نورد ابتدا و انتهای تختال ممکن است در طول یک صفحه سست مرکزی باز شود. این پدیده که سوسماری شدن نامیده می‌شود یکی از عیوب اساسی بود که در حین نورد ورقهای ۵۰۸۳ مشاهده گردید. با توجه به بررسی‌های انجام شده و شرایط مختلف مورد آزمایش، افزایش زمان پیش‌گرم ورق تا بیش از ۴۰ ساعت و نیز نورد در دماهای پایین باعث تشدید در بروز این عیب می‌گردید. عیب مزبور عمدتاً به دلیل شرایط معیوب و نامطلوب ریخته‌گری یا گاززدایی ناکافی و نیز وجود

آخالهـای غـیر فلـزی و نیز غیریکنواختی در تغییر فرم که باعث ایجاد ترکهای داخلی و اشاعه آنها می‌گردد رخ میدهـد [۱۰ و ۱۱].

قایقی شدن

یکـی از مشـکلات اساسی، قایقی شدن ورق در حین نورد بود. این مشکل چنان جدی بود که گاهی ادامه نورد را غیرممکن مـی‌سـاخت. تصاویری از این پدیده در شکلهای (۱) و (۲) مشاهده میگردد. زیرسازی نامناسب تختالها درون کوره پیش‌گرم که باعـث ایجـاد اندکـی خمیدگـی در تختال می‌گردید قایقی شدن ورق را در هنگام نورد تشدید می‌نمود. در چنین مواردی ورق چندیـن بار بایستی در کوره تحت فشار و حرارت قرار می‌گرفت تا صاف شده و ادامه نورد تا ضخامت مورد نیاز ممکن شود. این عیـب هنگام نورد سرد برخی از ورقها و در کاهش ضخامت بیش از ۲۵-۲۰٪ نیز مشاهده گردید. از طرفی در ورقهایی که هنگام نـورد گـرم قایقی شدن در آنها رخ داده بود، هنگام نورد سرد در میزان کمتری از درصد کاهش ضخامت، قایقی می‌شدند. تجربه عملـی نشـان داد کـه رعایت موارد زیر از جمله عواملی هستند که در جلوگیری از بروز این عیب یا رفع آن موثر می‌باشند. ۱ـ ایجـاد زیرسـازی مناسب برای تختالها در کوره پیش گرم ۲ ـ با مشاهده اولین علائم قایقی شدن، برای جلوگیری از تشدید این پدیـده می‌بایست ورق را بطور مکرر و بدون اعمال بار اضافی از زیر غلتکها عبور داد. ۳ـ افزایش ارتفاع غلتک زیرین نورد نسبت بـه سـطح صـفر (هـم سـطح با غلتکهای میز نورد). این افزایش تا حدود ۰/۷ میلیمتر تاثیر به سزایی در جلوگیری از ایجاد این مشکل داشت. به نظر میرسد از علل اصلی ایجاد چنین عیبی توزیع نامتقارن تنش و کرنش در ضخامت ورق باشد [۱۱].

تاثیر دما بر خواص مکانیکی

بعـد از اتمـام نورد گرم دمای قسمتهای ابتدایی و انتهایی ورق به دلیل سرعت سرد شدن بالاتر این قسمتها نسبت به دمای نقـاط مرکـزی حـدودC۱۰ پایین تر بود. با اینهمه، اختلاف سختی در نقاط مختلف سطح ورق ناچیز بود. سختی سطح در طول و عـرض ورقهـای نورد شده تا ضخامتهای ۲۵ و ۳۵ میلیمتر اندازه گیری شده و نتایج در شکلهای ۳ و ۴ رسم شده است (پیش گـرم ایـن ورقهـا بـه مـدت ۴۸ ساعت در دمای C ۵۴۰ انجام شده بود). همانگونه که در این شکلها مشاهده می‌شود، تغییرات سختی در طول و عرض ورقها ناچیز می‌باشد.

یکی دیگر از عوامل موثر بر خواص مکانیکی ورقها، دمای پاسهای نهایی در نورد گرم است. به عبارتی با انجام پاسهای نهایی نـورد در دماهای پایین‌تر، سختی و استحکام ورق افزایش می‌یابد. البته این در شرایطی است که پارامترهای دیگر نورد، همچون درصـد کـاهش ضـخامت در هـر پـاس، دما و زمان پیش گرم و غیره یکسان باشند. لذا برای حصول ورقی با سختی و استحکام بالاتـر، بـا توقـف در بین پاسهای نهایی، دمای ورق را کاهش داده و نورد پاسهای نهایی در دماهای پایین‌تر انجام گردید. بعنوان مـثال دو تخـتال بـا شـرایط یکسـان دمـا و زمـان پـیش گرم (۴۰ ساعت درC ۵۳۰) با ضخامت نهایی حدود ۳۲ میلیمتر و با کـاهش ضخامت تقریباً یکسان در هر پاس و تعداد پاسهای تقریباً برابر، نورد شدند. با این تفاوت که در ورق اول بعد از ۲۲ پاس حـدود ۱۰ دقیقه و در ورق دوم پس از ۲۰ پاس حدود ۱۵ دقیقه و بعد از ۲۹ پاس مجدداً حدود ۳ دقیقه، عملیات نورد متوقف گـردید. سختی ورق اول بعد از نورد گرم توسط دستگاه پرتابل اکوتیپ، ۷۹ برینل و سختی ورق دوم ۸۹ برینل اندازه‌گیری شد. همچنیـن هـر چـه توقـف بیـن پاسـی به انتهای نورد نزدیک تر باشد یا به عبارتی دمای پاسهای نهایی کمتر باشد، تاثیر آن بر افـزایش سـختی بیشـتر خواهـد بـود. یکـی از علـل این افزایش سختی، ارتباط مستقیم کارسختی با دمای کار مکانیکی است، بطوریکه با کاهش دما، کارسختی افزایش یافته و در نتیجه خواص مکانیکی افزایش خواهد یافت.

پیرنرمی

از مشخصـات ایـن آلیاژ بروز پدیده پیرنرمی بعد از نورد گرم است، بطوریکه بعد از نورد گرم، با گذشت زمان، سختی کاهش مـی‌یابد. کاهش سختی ابتدا با سرعت زیادی صورت گرفته وسپس میزان آن با تغییرات ناچیزی تقریباً ثابت می‌ماند. این حالت بـه خوبـی در شـکلهای (۵) و (۶) نشـان داده شـده اسـت. در این شکلها تغییرات سختی با گذشت زمان بعد از نورد گرم برای ورقهای نورد شده تا ضخامتهای ۹، ۲۵ و ۳۵ میلیمتر رسم شده است.

مناسبترین روش پایدار کردن سختی و جلوگیری از کاهش آن توسط پیرنرمی، انجام عملیات پایدارسازی بلافاصله بعد از نورد گرم است. روشهای مختلفی برای انجام این عملیات پیشنهاد شده است، لکن سیکل بهینه آنست که ورق را با کمترین کاهش در سختی، پایدار نماید. از اینرو با انجام آزمایشات متعدد بهترین سیکل حرارت دادن به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۱۲۰C شناخته شد. در شکل (۷) تاثیر عملیات پایدارسازی تحت سیکل مذکور بر پایدار نمودن سختی نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده میشود با گذشت ۶۰ روز بعد از عملیات پایدار سازی، تغییرات سختی ورقهای نورد گرم شده تا ضخامتهای ۳۲ و ۴۳ میلیمتر، ناچیز بوده و قابل ملاحظه نمیباشند.

بر خلاف نورد گرم، پدیده پیرنرمی در تسمههای نورد سرد شده مشاهده نگردید. شکل (۸) تغییرات سختی با گذشت زمان برای تسمههای نورد سرد شده تا ضخامتهای ۲۸ و ۳۹ میلیمتر را نشان میدهد. در این نمودار مشاهده میشود که با گذشت زمان بعد از نورد سرد، سختی تغییر چندانی نمیکند. انجام نورد سرد عمدتاً جهت دستیابی به خواصی مشابه با خواص تمپر H321 صورت میگیرد. به عبارت دیگر در صورتی که با کنترل دما در نورد گرم و کاهش آن تا حدود ۲۰۰C در پاسهای نهایی، نتوان خواص تمپر H321 را بدست آورد، انجام نورد سرد بر روی ورق ضروری میباشد.

طبیعتاً بعد از نورد سرد، برخی از خواص مکانیکی نظیر استحکام کششی و سختی، افزایش، و برخی دیگر همچون درصد ازیاد طول نسبی، کاهش مییابند. شکل (۹) برخی از این تغییرات را برای ورقهای نورد سرد شده تا ضخامتهای ۲۸ و ۳۹ میلیمتر نشان میدهد (لازم به ذکر است که نورد گرم ورقهای مذکور، به ترتیب تا ضخامتهای ۳۳ و ۴۳ میلیمتر انجام شده بود).

تنش‌گیری

در اثر نورد سرد و عملیات تابگیری (که به منظور رفع اعوجاج و خمیدگی تسمههای نورد سرد شده انجام میگیرد) مقدار زیادی تنشهای پس ماند در تسمهها ایجاد میشود که هنگام ماشین‌کاری باعث پیچیدگی و اعوجاج تسمهها میگردد. لذا انجام عملیات تنش‌گیری ضروری میباشد. از طرفی برای جلوگیری از کاهش زیاد سختی در اثر انجام عملیات حرارتی تنش‌گیری، یک سیکل بهینه مورد نیاز است. لذا با آزمایشات متعددی که انجام شد حرارت دادن به مدت ۴۵ دقیقه در دمای ۲۵۰C، بهترینن سیکل جهت انجام این عملیات شناخته شد.

ساختار میکروسکوپی

الف ـ تاثیر نورد و عملیات ترمومکانیکی بر اندازه و توزیع ذرات ترکیبات بین فلزی

نورد گرم و سرد باعث خرد و پراکنده شدن ذرات ترکیبات بین فلزی آلومینیم ـ مینزیم در جهت نورد میشود. این پدیده در شکل ۱۰، ساختار میکروسکوپی قبل از خراش شیمیایی نمونهای که بعد از همگن سازی و پیش‌گرم (در دمای ۵۳۰C به مدت ۲۴ ساعت) تحت نورد گرم قرار گرفته است، به وضوح مشاهده میگردد. ترکیبات بین فلزی Al-Mg ترد بوده و از سختی بالاتری نسبت به زمینه برخوردار هستند [۱۰].

همانطور که قبلاً اشاره شد، گاهی بدلیل بروز مشکلاتی، بالاخص قایقی شدن، امکان نورد صفحه تا ضخامت مورد نظر در طی یک مرحله میسر نبوده و به ناچار جهت ادامه عملیات نورد، صفحه مجدداً پیش گرم شده و نورد میشد. گاهی این عملیات ترمومکانیکی جهت حصول ضخامت نهایی چندین بار تکرار میگردید. این عمل باعث درشت شدن ذرات ترکیبات بین فلزی میشد. شکل ۱۱ ساختار میکروسکوپی قبل از خراش شیمیایی نمونهای است که طی چندین مرحله تحت عملیات ترمومکانیکی قرار گرفته و نشان میدهد که ذرات ترکیبات بین فلزی در مقایسه با حالت قبل (شکل ۱۰) درشت‌تر میباشند. با توجه به جهت‌دار شدن دانهها در امتداد کار مکانیکی، ذرات ترکیبات بین فلزی نیز که عمدتاً در مناطق پر انرژی مرز دانهها رسوب میکنند، در جهت نورد پراکنده میشوند [۱۰]. از علل مهم درشت شدن ذرات ترکیبات بین فلزی این است که انرژی مرزدانهها در اثر عملیات مکانیکی افزایش یافته و در پیش گرم بعدی که به منظور آماده‌سازی صفحه جهت ادامه عملیات نورد تا ضخامت مورد نظر صورت میپذیرد، انرژی حرارتی لازم جهت رشد ذرات با افزایش ضریب نفوذ در دماهای بالا فراهم میگردد [۱۳ و ۱۴].

ب ـ اثر عملیات ترمومکانیکی بر شکل دانه‌ها

.کشیدگی دانه‌ها با میزان کار مکانیکی اعمال شده بر روی نمونه رابطه مستقیم داشته و با افزایش میزان نورد در دماهای پایین‌تر از دمای تبلور مجدد، کشیدگی دانه‌ها بیشتر می‌شود. شکل ۱۲ ساختار میکروسکوپی نمونه‌ای است که تا ضخامت ۳۳ میلیمتر نورد داغ شده است، لکن از آنجایی که دمای پاس نهایی بالاتر از دمای تبلور مجدد بوده است، تبلور مجدد در دانه‌های تغییر شکل یافته اتفاق افتاده و اثر کار مکانیکی در ساختار از بین رفته است.

شکل ۱۳ ساختار میکروسکوپی نمونه‌ای است که در مراحل نهایی نورد و بعد از پیش گرم کردن نمونه در دمای ۳۰۰C به مدت ۱۷ ساعت، از ضخامت ۴۱/۵ میلیمتر تا ۳۰ میلیمتر نورد گرم شده سپس تا ضخامت ۲۵ میلیمتر در دمای محیط نورد سرد شده است. اثر کار مکانیکی بصورت کشیدگی دانه‌ها در این تصویر به وضوح مشاهده می‌شود.

ساختار میکروسکوپی نمونه‌ای که ابتدا تا ضخامت ۳۰ میلیمتر نورد گرم شده سپس تا ضخامت ۲۰ میلیمتر نورد سرد شده است، در شکل ۱۴ نشان داده می‌شود. در این نمونه بدلیل افزایش کار مکانیکی، میزان کشیدگی دانه‌ها در مقایسه با نمونه قبل (شکل ۱۳) خیلی بیشتر می‌باشد.

خلاصه و نتیجه‌گیری

۱ـ سوسماری شدن در ورقهایی از آلیاژ آلومینیم ۵۰۸۳ که به منظور همگن سازی و نورد گرم بیش از ۴۰ ساعت پیش‌گرم شده بودند، مشاهده گردید.

۲ـ یکی از علل مهم ایجاد مشکل قایقی شدن در نورد گرم، زیر سازی نامناسب اسلبها درون کوره پیش گرم و ایجاد خمیدگی در آنها قبل از شروع نورد بود.

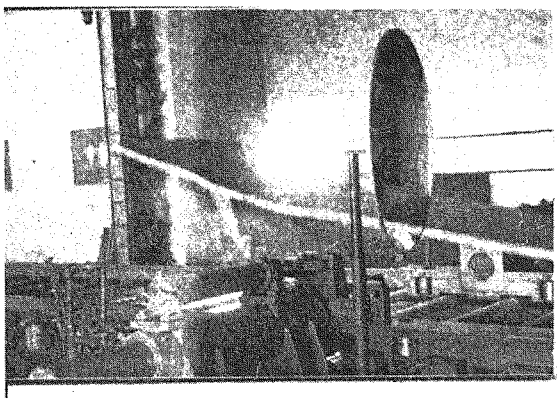
۳ـ عملیات پایدار سازی باعث جلوگیری از بروز پیرنرمی در این آلیاژ بعد از نورد گرم شده و لذا خواص مکانیکی، از جمله سختی، بعد از نورد گرم ثابت می‌ماند(شکل ۷). لکن با توجه به تغییرات ناچیز سختی پس از طی مدتهای طولانی بعد از نورد سرد (شکل ۸) انجام عملیات پایدار سازی در این حالت ضروری نمی‌باشد.

۴ـ براساس آزمایشات انجام شده بهترین سیکل جهت انجام عملیات پایدارسازی بعد از نورد گرم ، حرارت دادن به مدت ۳۰ دقیقه در دمای C ۱۲۰ شناخته شد.

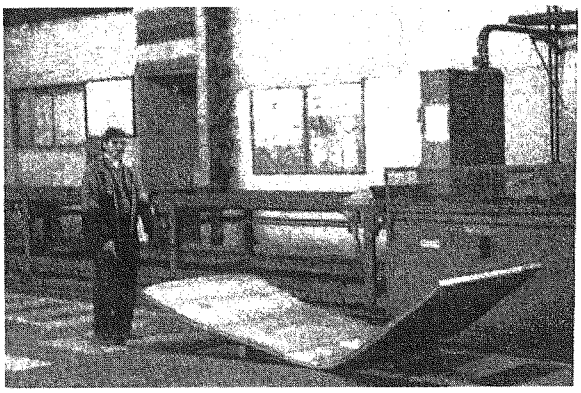
۵ ـ نتایج آزمایشات انجام شده نشان داد که سیکل بهینه تنش‌گیری در این ورقها بعد از نورد سرد، حرارت دادن به مدت ۴۵ دقیقه در دمای C ۲۵۰ میباشد.

تشکر و قدردانی

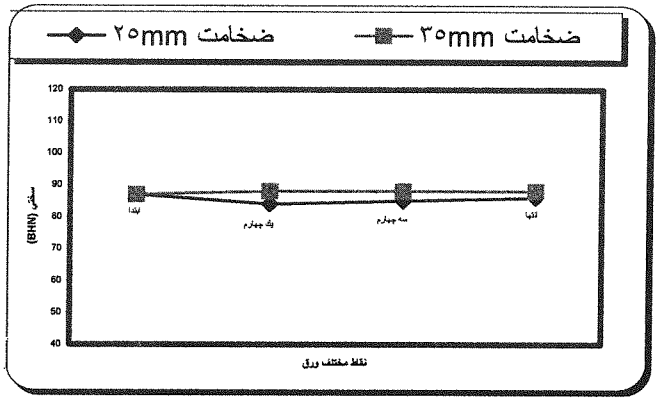
در اینجا لازم می‌دانیم از کارکنان محترم شرکت نورد آلومینیم اراک به دلیل همکاری در جهت انجام نورد گرم و همکاران محترم گروه پژوهشی مهندسی مواد پژوهشکده توسعه تکنولوژی که در تهیه این مقاله ما را یاری نمودند، صمیمانه تشکر نماییم.



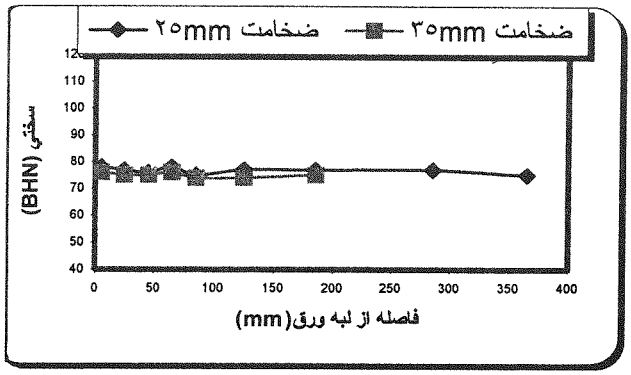
شکل (۱) تصویر قایقی شدن ورق آلومینیم ۵۰۸۳ در طی نورد گرم.



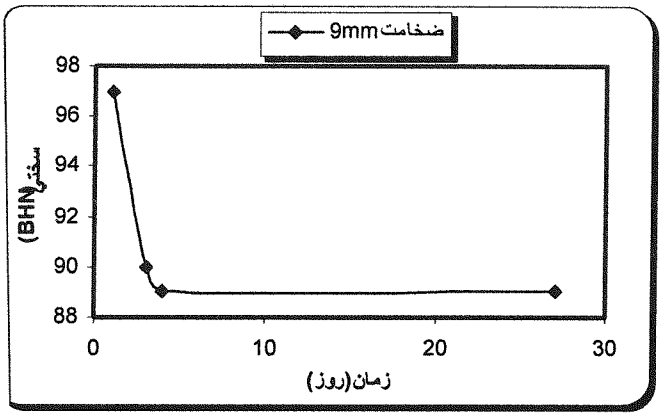
شکل (۲) ورق آلومینیم ۵۰۸۳ قایقی شده در اثر نورد گرم.



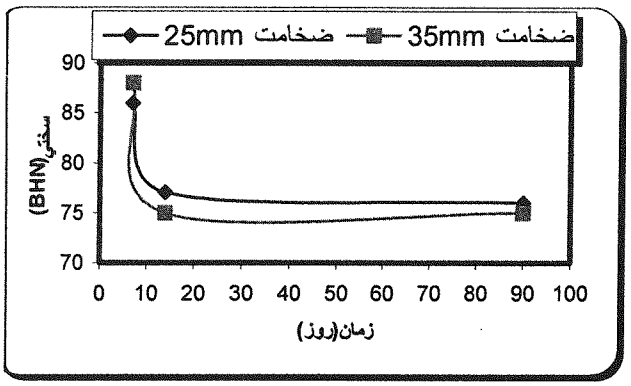
شکل (۳) تغییرات سختی در طول ورق آلومینیم ۵۰۸۳ بعد از نورد گرم.



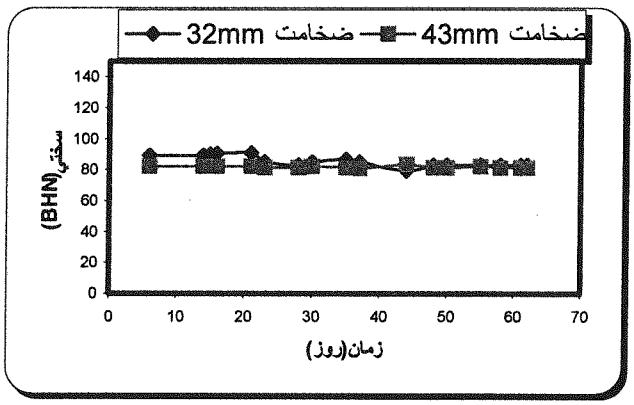
شکل (٤) تغییرات سختی در عرض ورق
آلومینیم ۵۰۸۳ بعد از نورد گرم.



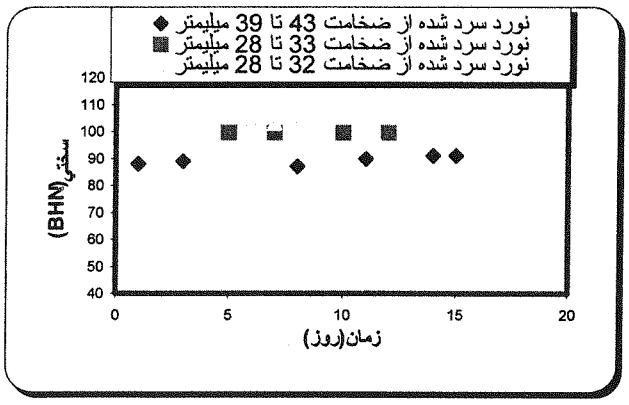
شکل (٥) تغییرات سختی بر حسب زمان
بعد از نورد گرم ورق آلومینیم۵۰۸۳.



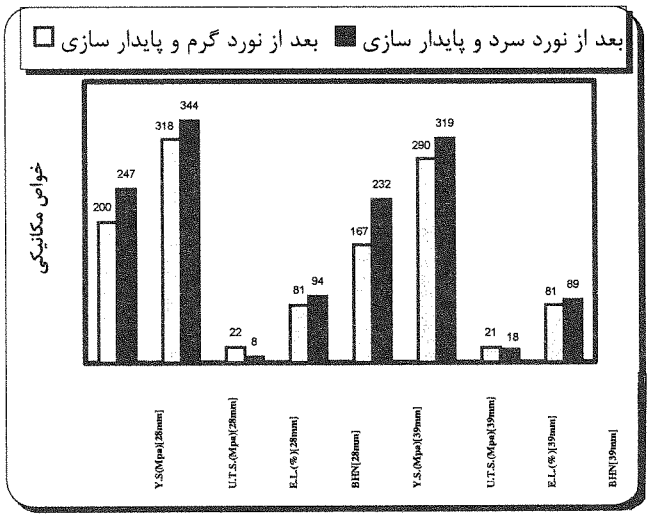
شکل (٦) تغییرات سختی بر حسب زمان بعد از
نورد گرم ورق آلومینیم ۵۰۸۳.



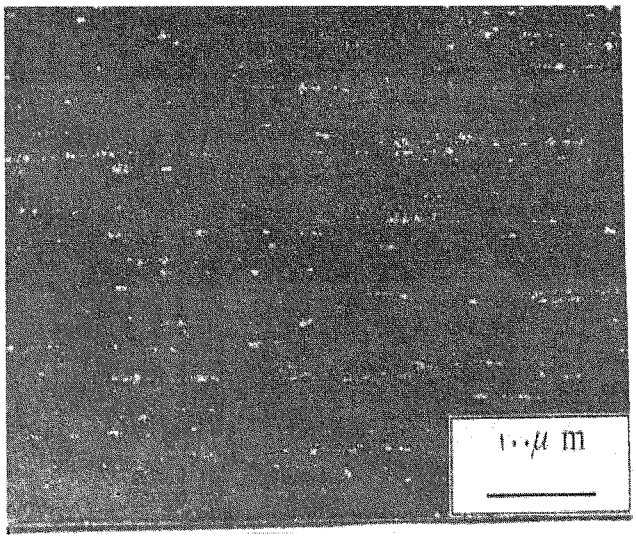
شکل (۷) تغییرات سختی بر حسب زمان ، بعد از پایدار سازی
ورق آلومینیم ۵۰۸۳ نورد گرم شده.



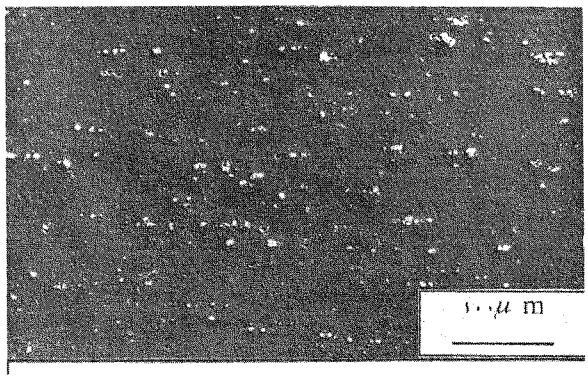
شکل (۸) تغییرات سختی بر حسب زمان ،
بعد از نورد سرد ورق آلومینیم ۵۰۸۳.



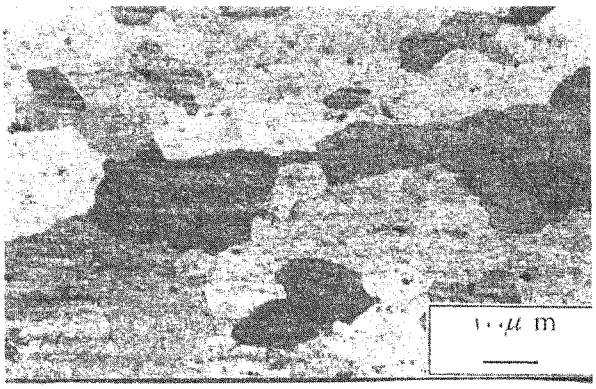
شکل (۹) اثر نورد سرد بر خواص مکانیکی ورق آلومینیم ۵۰۸۳.



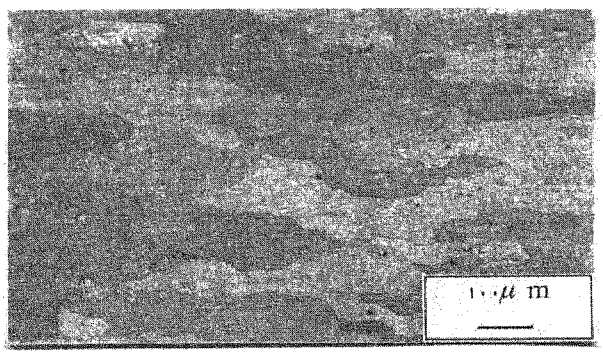
شکل (۱۰) ساختار میکروسکوپی قبل از خراش شیمیایی نمونه ای از ورق آلومینیم ۵۰۸۳ نورد گرم شده که به مدت ۲٤ ساعت در ۵۳۰ درجه سانتیگراد پیش گرم شده است ،تصویر SEM.



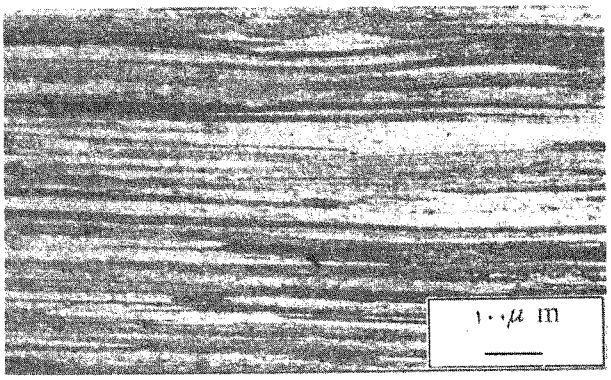
شکل (۱۱) ساختار میکروسکوپی قبل از خراش شیمیایی نمونه ای از ورق آلومینیم ۵۰۸۳ که طی چندین مرحله تحت عملیات ترمو مکانیکی قرار گرفته است ، تصویر SEM.



شکل (۱۲) ساختار میکروسکوپی بعد از خراش شیمیایی نمونه ای از ورق آلومینیم ۵۰۸۳ نورد داغ شده تا ضخامت ۳۳ میلیمتر با دمای پاس نهائی بالاتر از ٤۵۰ درجه سانتیگراد ،تصویر میکروسکوپ نوری.



شکل (۱۳) ساختار میکروسکوپی بعد از خراش شیمیایی نمونه ای از ورق آلومینیم ۵۰۸۳ نورد سرد شده تا ضخامت ۲۵ میلیمتر، تصویر میکروسکوپ نوری.



شکل (۱٤)ـ نمونه تصویر شکل ۱۳ ، نورد سرد شده تا ضخامت ۲۰ میلیمتر، تصویر میکروسکوپ نوری.

مراجع

[1] I. R. Davis et al, Specialty Handbook, Aluminium and Aluminium Alloys, ASM, 1993, p. 22, 59, 676.
[2] M. L. Wayman, The Metals Red Book, Nonferrous Metals, CASTI Publishing Inc., 1998, p. 5,6.
[3] P. M. Unterweiser & W.H. Cubberly, Source Book on Selection and Fabrication of Aluminum Alloys, ASM, 1978, p.12.
[4] J. L. McCall et al, Metals Handbook, Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Pure Metals, ASM, 9th Edition, Vol. 2 , 1979, p. 104.
[5] H. Chandler, Heat Treaters Guide; Practices and Procedures for Nonferrous Alloys, ASM, 1999, p. 189.
[6] K. Laue & H. Stenger, Extrusion, Processes, Machinery, Tooling, ASM, 1981, p. 126.
[7] M. Conserva & M. Leoni, Effect of Thermal and Thermo-Mechanical Processing on the Properties of Al-Mg Alloys, Metallurgical Transactions A, 1975, Vol. 6A, p. 189-195.
[8] E. H. Hollingsworth & H. Y. Hunsicker, The Same Reference as 4, p. 208.
[9] O. L. Mitchell, Heat Treating Aluminum Alloys, Reynolds Metals Company, 1957, p.59.
[10] H. B. Mcshane, C. P. Lee & T. Sheppard, Structure, Anisotropy and Properties of Hot Rolled A. A. 5083 Alloys, Materials Science and Technology, 1990, Vol. 6, p. 428-440.
[11] I. Y A. Tarnovskii et al , Deformation of Metals During Rolling, 1965, p.14,15.
[12] A. I. Tselikov et al, The Theory of Lengthwise Rolling, 1981, p.111.
[13] N. Raghunathan, M. A. Zaidi & T. Sheppard, Recrystallisation Kinetics of Al-Mg Alloys A. A. 5056 and 5083 after Hot Deformation, Materials Science and Technology, 1986, Vol. 2, p.938-945.
[14] D. A. Porter and K. E. Easterling, Phase Transformations in Metals and Alloys, 1983, p.60-68.