

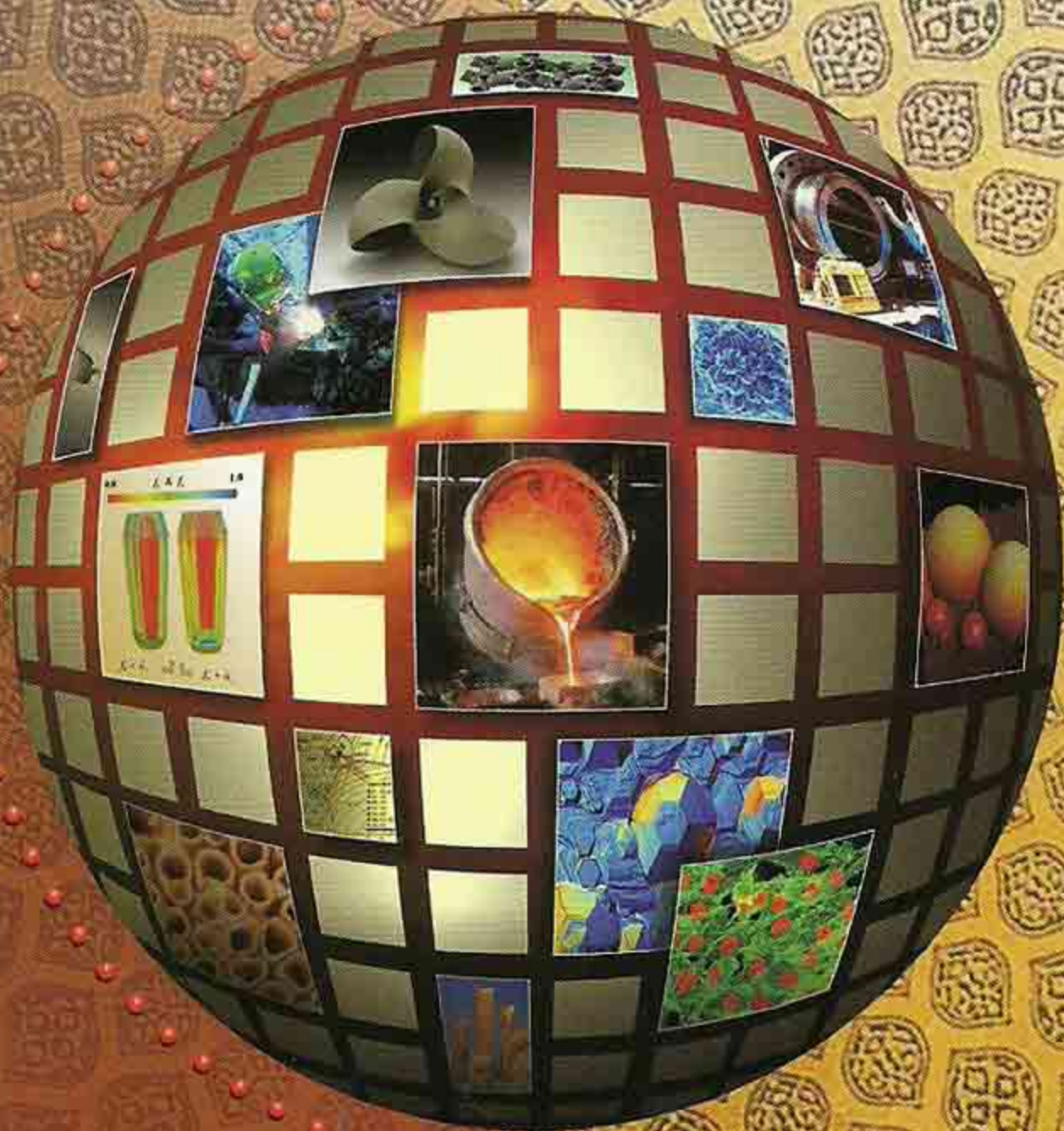


پنجمین

همایش مشترک مهندسی و علم مواد

پانزدهمین کنگره سالانه انجمن مهندسیین متالورژی ایران و

بیست و سومین سمینار سالانه انجمن علمی ریخته‌گری ایران



دبیر سمینار

دکتر محمود مرآتیان

۳ و ۴ آبان ۱۳۹۰

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی مواد

Isfahan University

of Technology

Department of

Materials Engineering

25 & 26 Oct. 2011

5th Joint Congress of Materials Science & Engineering

Iranian Metallurgical Eng. Society

Iranian Foundrymen's Society



آنالیز سیگنال‌های بارک هازون در ارزیابی غیرمخرب اندازه دانه و خواص مکانیکی ورق‌های فولادی

مهرداد کاشفی^۱، علیرضا صاحب علم^۲، صادق قانعی^۳

چکیده

اندازه دانه یکی از مهمترین پارامترهای موثر بروی خواص مکانیکی قطعات فولادی می باشد. به طور معمول، برای بدست آوردن اندازه دانه از روش‌های مخرب استفاده می شود. روش جدید و نوین آنالیز سیگنال‌های بارک هازون (BN) به عنوان یک آزمون غیر مخرب قابلیت استفاده به صورت آنالیز اتوماتیک در خطوط تولید در صنعت، را دارد. مشخصات این سیگنال‌ها به خواص فیزیکی مواد (خواص مغناطیسی)، که این خواص تحت تاثیر میکروساختار، اندازه دانه، ترکیب شیمیایی و تنش‌های پسماند هستند، وابسته اند. برای تولید نمونه‌ها با اندازه دانه‌های متفاوت ورق‌هایی از جنس فولاد کم کربن در دماهای مختلف آستنیت، و سپس با سرعت‌های متفاوت سرد شدند. تفاوت چگالی مرزدانه در نمونه‌ها با اندازه دانه‌های مختلف حرکات DW را تحت تاثیر می گذارد. در این پژوهش نتایج آنالیز سیگنال‌های BN بدست آمده از نمونه‌ها با اندازه دانه‌های مختلف، با نتایج اندازه گیری اندازه دانه با نرم افزار پردازش تصویر Clemex و نتایج بدست آمده از آزمون کشش مقایسه شد، که ارتباط خوبی بین این نتایج را نشان می دهد. به طور کلی شدت این سیگنال‌ها با کاهش اندازه دانه، افزایش پیدا می کند، که این به دلیل کاهش چگالی مرز دانه به عنوان قفل کننده‌های DW است.

واژه‌های کلیدی: سیگنال بارک هازون - آزمون غیر مخرب - خواص مکانیکی - اندازه دانه

۱- استادیار، دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه فردوسی مشهد.

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه فردوسی مشهد،
alirezasahebalam65@yahoo.com

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه فردوسی مشهد



آنالیز سیگنال‌های بارک هازون در ارزیابی غیر مخرب اندازه دانه و خواص مکانیکی ورق‌های فولادی

مهرداد کاشفی^۱، علیرضا صاحب علم^۲، صادق قانعی^۳

چکیده

اندازه دانه یکی از مهمترین پارامترهای موثر بروی خواص مکانیکی قطعات فولادی می باشد. به طور معمول، برای بدست آوردن اندازه دانه از روش‌های مخرب استفاده می شود. روش جدید و نوین آنالیز سیگنال‌های بارک هازون (BN) به عنوان یک آزمون غیر مخرب قابلیت استفاده به صورت آنالیز و اتوماتیک در خطوط تولید در صنعت، را دارد. مشخصات این سیگنال‌ها به خواص فیزیکی مواد (خواص مغناطیسی)، که این خواص تحت تاثیر میکروساختار، اندازه دانه، ترکیب شیمیایی و تنش‌های پسماند هستند، وابسته اند. برای تولید نمونه‌ها با اندازه دانه-های متفاوت ورق‌هایی از جنس فولاد کم کربن در دماهای مختلف آستنیت، و سپس با سرعت‌های متفاوت سرد شدند. تفاوت چگالی مرزدانه در نمونه‌ها با اندازه دانه‌های مختلف حرکات DW را تحت تاثیر می گذارد. در این پژوهش نتایج آنالیز سیگنال‌های BN بدست آمده از نمونه‌ها با اندازه‌های مختلف، با نتایج اندازه گیری اندازه دانه با نرم افزار پردازش تصویر Clemex و نتایج بدست آمده از آزمون کشش مقایسه شد، که ارتباط خوبی بین این نتایج را نشان می دهد. به طور کلی شدت این سیگنال‌ها با کاهش اندازه دانه، افزایش پیدا می کند، که این به دلیل کاهش چگالی مرز دانه به عنوان قفل کننده‌های DW است.

واژه‌های کلیدی: سیگنال بارک هازون- آزمون غیر مخرب - خواص مکانیکی- اندازه دانه

۱- استادیار، دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه فردوسی مشهد، alirezasahebalam65@yahoo.com

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه فردوسی مشهد

۱. مقدمه

امروزه با توجه به رشد چشمگیر تولید قطعات صنعتی و اهمیت دو فاکتور زمان و هزینه در این حوزه به منظور افزایش بهره‌وری، مباحث کنترل کیفی در خطوط تولید از اهمیت زیادی برخوردار است. به همین منظور روش‌های غیر مخرب و کاربرد آن‌ها در این حوزه مورد توجه قرار گرفته است. دیگر این روش تنها جهت بازرسی عیوب و ترک استفاده نشده، بلکه در تعیین خواص متالورژیکی (کمی و کیفی) مواد کاربرد گسترده‌ای یافته و جایگزین روش‌های مخرب گردیده است. با پیشرفت علم در این حوزه روش‌های نوین بررسی غیر مخرب با دقت بالا معرفی و کاربردی می‌شوند. آنالیز و بررسی سیگنال‌های بارک هازون روشی نوین در بررسی غیر مخرب است. وابستگی نتایج این روش به خواص مغناطیسی ماده و وابستگی خواص مغناطیسی به پارامترهای متالورژیکی مانند اندازه دانه، ریز ساختار و غیره، دلیل استفاده از این روش در تعیین خواص متالورژیکی است [۱].

به طور کلی مواد فرومغناطیس از نواحی کوچکی به نام حوزه‌های مغناطیسی تشکیل شده‌اند [۲]. با اعمال یک میدان مغناطیسی متناوب به ماده‌ی فرو مغناطیس تغییرات گسسته‌ای در فرآیند مغناطیس شدن آن مشاهده می‌شود. این تغییرات به دلیل حرکت ناگهانی دیواره‌ی حوزه‌های مغناطیسی است. این تغییرات ناگهانی میدان مغناطیسی در داخل نمونه باعث القای یک سری پالس‌های الکتریکی در سیم پیچ قرار گرفته در اطراف نمونه می‌شود. این پالس‌های ولتاژ القا شده همان سیگنال‌های بارک هازون هستند.

این سیگنال‌ها به اندازه دانه، ترکیب شیمیایی ماده، سختی، تنش‌های پسماند و خستگی حساسیت نشان می‌دهند [۳]. در سال‌های اخیر تحقیقات زیادی بروی ارتباط خواص کششی و سیگنال‌های بارک هازون (BN) انجام شده است. در این مطالعات هدف بهبود و پیشرفت روش غیر مخرب در تعیین خواص مکانیکی به طور کلی و تنش‌های کششی پسماند به طور خاص است. آقای چو^۴ و همکارانش با برقراری ارتباط بین شدت سیگنال‌های بارک هازون و کرنش اعمالی به پیش بینی رفتار کششی فولاد کم کربن پرداخت [۴]. با استفاده از آنالیز این سیگنال‌ها در پژوهش‌های جداگانه‌ای به بررسی عملیات سطحی مانند تعیین عمق لایه دی کربور شده و عمق لایه سخت شده پرداخته شده است [۵ و ۶]. ارزیابی مشخصات فولادهای دوفازی و چدن نیز با این روش توسط محققین با استفاده از شدت سیگنال‌های بارک هازون و میدان مغناطیسی لازم برای ظهور این سیگنال‌ها انجام شده است [۷، ۸ و ۹]. تغییرات ریز ساختاری در نمونه‌های مختلف منشا تفاوت در خواص مغناطیسی بین آن‌ها است. با توجه به این اصل این روش قابلیت تفکیک نمونه‌ها با اندازه دانه‌های متفاوت را دارد.

۲. مواد و روش تحقيق

۲-۱ تهیه نمونه‌ها

در این پژوهش از ورق‌های فولادی کم کربن استفاده شده است. آنالیز شیمیایی این ورق‌ها در جدول ۱ آورده شده است. در این بخش از پژوهش از ۱۰ نمونه مستطیلی شکل به ابعاد $۱۰۰ \times ۵۰ \times ۲/۵$ میلی‌متر از

جدول ۱. آنالیز شیمیایی ورق کم کربن آهنی

عنصر	C	Si	S	P	Mn	Ni	Cu	Fe
درصد وزنی	۰/۰۵۶	۰/۰۰۷	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۲	۰/۰۳۵	۰/۰۴۷	باقی مانده

ورق فولادی کم کربن استفاده شد. به منظور ایجاد نمونه‌ها با اندازه دانه‌های متفاوت، نمونه‌ها در دمای آستنیتی متفاوت و شرایط سرد شدن متفاوت قرار گرفتند. جدول ۲ دمای آستنیتی و نحوه‌ی سرد کردن نمونه‌ها را نشان می‌دهد. به منظور حذف اثر خروج کربن از سطح نمونه‌ها که به دلیل تفاوت قرارگیری در دماهای متفاوت آستنیتی برای هر نمونه، متفاوت خواهد بود، نمونه‌ها توسط لایه از ماده کربواستاپ^۵ پوشیده می‌شود. پس از انجام متالوگرافی با توجه به ضخامت کم نمونه‌ها یکسان بودن اندازه دانه در سرتاسر نمونه تمامی عکس‌ها با بزرگنمایی مختلف از مرکز نمونه گرفته شد و جهت تعیین اندازه دانه با نرم افزار پردازش تصویر Clemex مورد پردازش قرار گرفتند. سپس سختی هر نمونه توسط سختی سنجی ویکرز اندازه‌گیری شد. به منظور بررسی ارتباط خواص مکانیکی با سیگنال‌های بارک هازون همراه تعدادی از نمونه‌های مستطیلی شکل دو نمونه‌ی کشش که تحت استاندارد ASTM-E8M تهیه شده‌اند، در کوره قرار گرفته است. در این مرحله آزمایشات کشش در آزمایشگاه خواص مکانیکی دانشکده و توسط دستگاه Zwick 250 با نرخ کرنش ثابت ۰/۰۰۲ انجام شده است.

جدول ۲. فرآیندهای عملیات حرارتی انجام شده

شماره نمونه	دمای آستنیتی و زمان قرارگیری	نحوه‌ی سرد کردن
۱	۲۰ دقیقه در دمای ۹۰۰°C	کوئنچ در روغن
۲	۲۰ دقیقه در دمای ۹۳۰°C	هوای متلاطم
۳	۲۰ دقیقه در دمای ۹۳۰°C	هوای راکد
۴	۲۰ دقیقه در دمای ۹۵۰°C	هوای راکد
۵	۲۰ دقیقه در دمای ۹۷۰°C	هوای راکد
۶	۲۰ دقیقه در دمای ۹۰۰°C	کوره خاموش
۷	۲۰ دقیقه در دمای ۹۳۰°C	کوره خاموش

⁵ - Carbostop

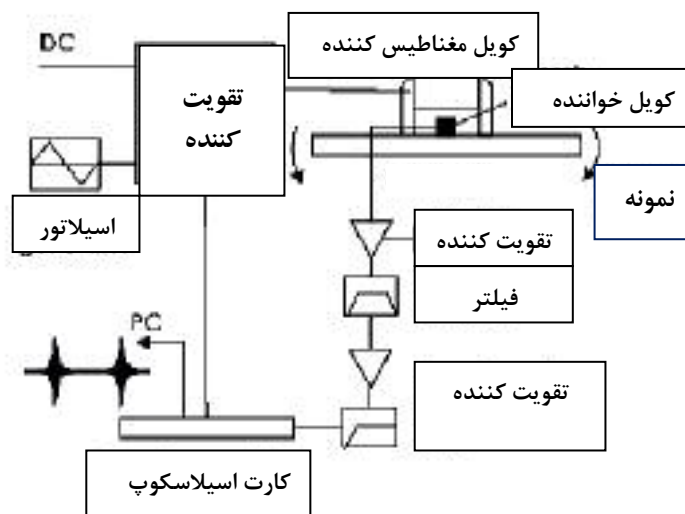
کوره خاموش	۲۰ دقیقه در دمای 970°C	۸
کوره خاموش	۲۰ دقیقه در دمای 1020°C	۹
کوره خاموش	۲۰ دقیقه در دمای 1050°C	۱۰

۲-۲ روش انجام آزمون غیر مخرب سیگنال بارک هازون

برای اندازه‌گیری و بررسی سیگنال‌های بارک هازون از دستگاه آزمایشگاهی که به همین منظور طراحی شده بود استفاده شد. شکل ۱ تصویر شماتیک دستگاه طراحی شده و مورد استفاده قرار گرفته شده در این پژوهش را نشان می‌دهد. از انجام بررسی‌های متالوگرافی و سختی سنجی آزمون غیر مخرب سیگنال بارک هازون بروی نمونه‌ها در ۵ فرکانس انجام شده است. سیگنال‌های بارک هازون در یک فرکانس بهینه ثبت و مورد بررسی قرار گرفتند. برای بررسی سیگنال‌های بارک هازون و ارتباط آن‌ها با اندازه دانه و خواص مکانیکی نمونه‌ها از دو پارامتر شدت پیک سیگنال و RMS ولتاژ سیگنال‌های بارک هازون استفاده شده است.

طراحی کوپل خواننده و مغناطیس‌کننده با توجه به شکل نمونه مورد بررسی طراحی شده است. به همین منظور کوپل مغناطیس‌کننده به صورت U شکل و از ورق‌های آهن-سیلیسی ساخته شده است. در این کوپل سیمی به ضخامت $0/35$ میلی‌متر و به تعداد دور ۵۰۰ دور در اطراف هسته‌ی آهنی پیچیده شده است. برای ساخت کوپل خواننده از ۳۰۰ دور سیم به ضخامت $0/13$ میلی‌متر که در اطراف یک هسته‌ی فریتی پیچیده شده است، استفاده می‌شود. ولتاژ خروجی توسط تقویت‌کننده‌ها تا مقدار تقریبی ۱۰۰۰۰ برابر تقویت می‌شود، و بازه‌ی فیلترینگ فرکانسی مانند بخش قبل بین ۳ تا ۳۰۰ کیلوهرتز در نظر گرفته شده است.

در ادامه ارتباطی بین خروجی‌ها یا پارامترهای سیگنال‌های بارک هازون بدست آمده از نمونه‌ها با نتایج اندازه دانه و عدد اندازه دانه (ASTM) بدست آمده نرم از افزار پردازش تصویر Clemex و نتایج سختی سنجی که بر حسب ویکرز اندازه‌گیری شده است، برقرار شده است.



شکل ۱. تصویر شماتیک دستگاه اندازه گیری سیگنال های بارک هازون

۳- نتایج و بحث

۳-۱ نتایج آزمون های مخرب (متالوگرافی، سختی سنجی و آزمون کشش)

جدول ۳ نتایج پردازش تصویر، سختی سنجی و آزمون های کشش را نشان می دهد.

جدول ۳. اندازه دانه، سختی، تنش تسلیم و تنش حداکثری برای نمونه های ۱ تا ۱۰

شماره نمونه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
اندازه دانه (μm)	۴/۳	۵/۹۱	۶/۵۲	۶/۷	۷/۲	۱۰/۳	۱۱/۴۳	۱۹	۲۵/۳	۳۵/۴۳
سختی (VHN)	۱۴۱	۱۱۴	۱۰۷	۱۰۵	۹۲	۸۶	۸۲	۷۹	۷۳	۷۱
تنش تسلیم (MPa)	۳۷۸	-	-	-	-	۲۱۷	۲۰۴	۱۸۶	۱۳۶	۱۳۰
(MPa) UTS	۴۴۷	-	-	-	-	۲۷۷	۲۷۲	۲۶۰	۲۴۵	۲۴۰

همانطور که نتایج پردازش این تصاویر مشخص است، با افزایش دمای آستنیت دانه افزایش پیدا می کند. دلیل این افزایش، به دلیل افزایش اندازه دانه آستنیت اولیه است [۱۰]. همچنین با افزایش سرعت کردن در یک دمای آستنیت ثابت به دلیل کاهش نفوذ اتم ها در شکل گیری دانه ها، اندازه دانه کاهش پیدا می کند. با افزایش اندازه دانه سختی، تنش تسلیم و استحکام کششی (UTS) نمونه ها کاهش پیدا می کند. سختی نمونه-ی کوئنچ شده در روغن که حداقل اندازه دانه را دارد ۱۴۱ ویکرز و سختی نمونه ی دهم که درشت ترین اندازه

آنالیز سیگنال‌های بارک هازون در ارزیابی غیر مخرب ...

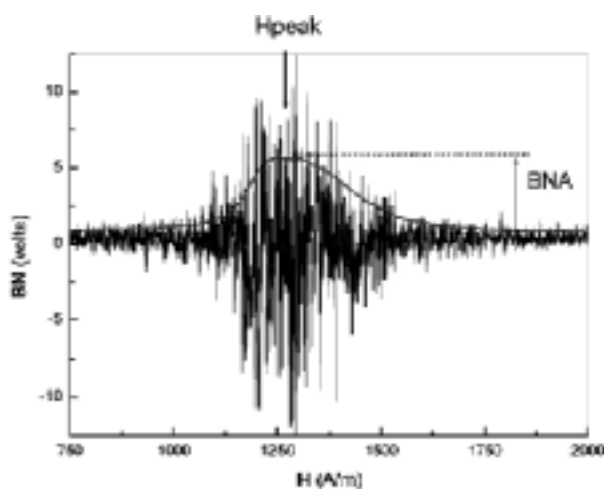
دانه را دارد حدود ۷۱ ویکرز است. همچنین استحکام تسلیم و UTS برای نمونه‌ها به ترتیب از ۳۷۸ و ۴۷۷ تا ۱۳۰ و ۲۴۰ کاهش پیدا می‌کند.

۲-۳ نتایج آنالیز سیگنال‌های بارک هازون

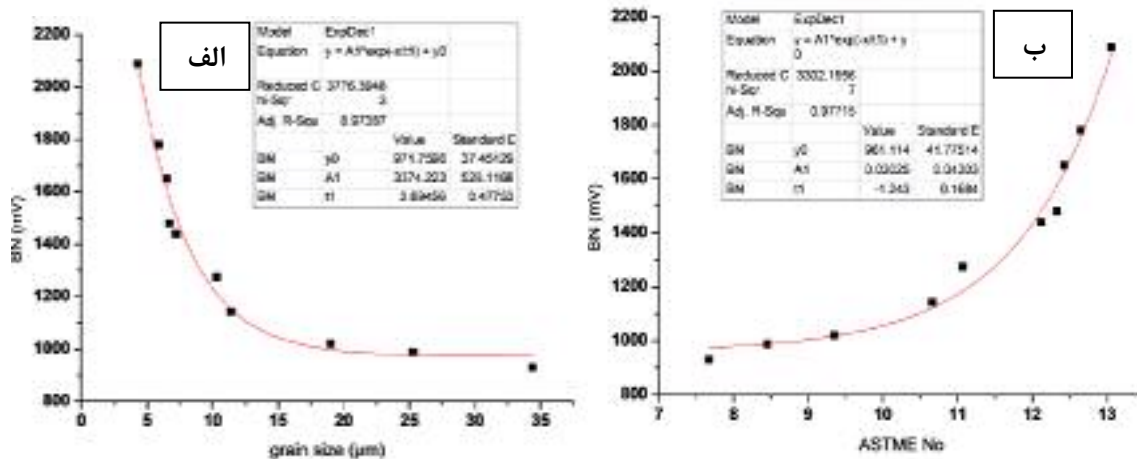
به منظور آنالیز سیگنال‌های بارک هازون، داده‌های بدست آمده توسط نرم افزار Origin Pro8 مورد پردازش قرار می‌گیرند (شکل ۲). توسط این نرم افزار بهترین نمودار ممکن را از میان سیگنال‌های ولتاژ بدست آمده رسم شده است، و شدت پیک این سیگنال‌ها و موقعیت آن‌ها محاسبه می‌شود. این نرم افزار با استفاده رابطه‌ی (۱) به محاسبه‌ی RMS سیگنال‌های ولتاژ می‌پردازد.

$$RMS = \sqrt{\frac{V_1^2 + V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_n^2}{n}} \quad (1)$$

شکل ۳ نتایج آنالیز سیگنال‌های بارک هازون و ارتباط آن‌ها با تغییرات اندازه دانه و عدد اندازه دانه نشان می‌دهد.



شکل ۲. نمودار معادل رسم شده توسط نرم افزار



شکل ۳. بیشینه ولتاژ سیگنال بارک هازون بر حسب (الف) اندازه دانه (ب) عدد اندازه دانه

افزایش شدت بیشینه ولتاژ BN با کاهش اندازه دانه در نمودارهای بالا قابل مشاهده است. به عبارت دیگر سیگنال‌های بارک هازون در نمونه دانه درشت با شدت کمتری ظاهر می‌شوند ولی در نمونه دانه ریز شدت این سیگنال‌ها بیشتر است. معادله خطی که توسط نرم افزار برای ارتباط بین بیشینه ولتاژ BN و اندازه دانه و عدد اندازه دانه ارائه شده است، رگرسیون بالای ۰/۹۷ را نشان می‌دهد. این مقدار بالای رگرسیون نشان دهنده دقت بالای این روش در تعیین اندازه دانه است. به عبارت دیگر با استفاده از این روش با خطای کمی می‌توان اندازه‌ی دانه نمونه مجهول را پیش بینی کرد. RMS ولتاژ سیگنال بارک هازون حساسیت کمتری نسبت به تغییرات اندازه دانه نشان می‌دهد، که این امر به دلیل وجود نویزهای اضافی در محیط آزمایش است.

به طور کلی دو فاکتور دامنه‌ی حرکت دیواره‌ی حوزه‌های مغناطیسی و منابع تولید سیگنال‌های بارک هازون در مشخصات این سیگنال‌ها موثر هستند. با توجه به ریزساختار نمونه مورد بررسی اهمیت این دو عامل تغییر می‌کند. به عبارت دیگر در یک نمونه با ریزساختار پیچیده تر، مانند ریزساختار مارتنزیتی و یا ریز ساختار فریت - پرلیت ریز که منابع تولید این سیگنال‌ها (موانع حرکت دیواره‌ها) به حد کافی موجود است، دامنه‌ی حرکت دیواره‌ی حوزه‌های مغناطیسی عامل تعیین کننده در شدت این سیگنال‌ها است. از طرفی در یک ساختار فریتی دانه درشت دامنه‌ی حرکت این دیواره‌ها به اندازه کافی بزرگ است ولی منابع تولید سیگنال‌های بارک هازون محدود هستند، به همین علت عامل تعیین کننده در شدت این سیگنال‌ها همین منابع تولید سیگنال است.

آقای D.H.L. Ng در بررسی فرآیند مغناطیسی شدن فولادهای کم کربن و خواص مکانیکی آنها به این نکته اشاره کرده است که سیگنال‌های بارک هازون با تعداد دیواره‌ی آزاد شده از موانع متناسب است. وی نشان داد که در نمونه دانه ریز شدت سیگنال‌های بارک هازون بیشتر است. وی افزایش چگالی مرز دانه‌ها را که به عنوان موانع حرکت این دیواره‌ها محسوب می‌شوند، دلیل این تغییرات می‌داند [۴].

در تفسیر انتشار BN، مدل‌هایی توسط Ranjan و همکارانش، و Sakamoto و Hwang and Kim ارائه شده است. این مدل‌ها انتشار BN را با فرض تداخل دیواره‌ی حوزه‌های مغناطیسی و عیوبی که به صورت تصادفی

توزیع شده اند (مانند ناخالصی‌ها، نابجایی‌ها یا ذرات فاز دوم) در زمینه‌ی فریتی نمونه‌ها و تداخل بین این دیواره‌ها و مرز دانه‌ها را یکسان در نظر می‌گیرد [۴].

در این نمونه‌ها موانع اصلی حرکت دیواره‌ها مرز دانه‌ها هستند، و از طرفی مکانیزم قفل کردن DW توسط مرزدانه‌ها با موانع مجزایی که در داخل دانه‌های فریتی وجود دارد متفاوت است. بنابراین تعداد زیادی از مدل‌های موجود توانایی توجیح رخداد و ظاهر شدن سیگنال‌های بارک هازون را ندارد. دیواره‌ها تحت میدان اعمالی مغناطیسی حرکت می‌کنند. هنگامی که دیواره از یک مانع رها می‌شود، به صورت ناگهانی حرکت می‌کنند که این باعث تغییر در میدان مغناطیسی dM اطراف نمونه می‌شود. این تغییرات dM/dt باعث القای یک سری پالس‌های الکتریکی در کویل خواننده می‌شود. این ولتاژ القایی برای آزاد شدن یک دیواره با استفاده از رابطه‌ی (۲) محاسبه می‌شود:

$$V_{BE} = N A_c \mu_0 \frac{dM}{dt} \quad (2)$$

جایی که N تعداد دور سیم پیچ کویل، A_c سطح مقطع سیم پیچ و μ_0 نفوذپذیری مغناطیسی هوا است. هنگامی که حرکت چندین دیواره مد نظر قرار بگیرد:

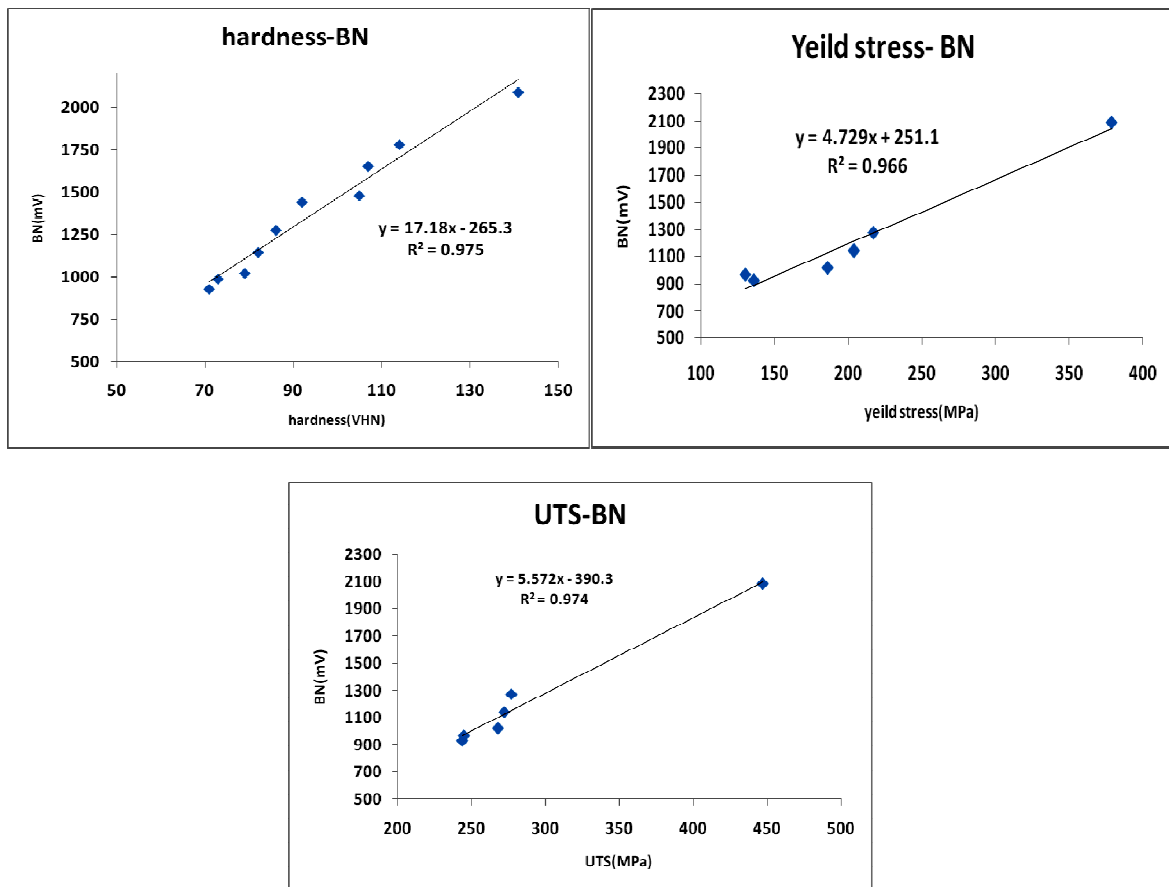
$$V_{BE} = N A_c \mu_0 n(H) \frac{dM}{dt} \quad (3)$$

که در رابطه‌ی (۵)، $n(H)$ تعداد دیواره‌های رها شده از مانع است. این تعداد بر اساس فرآیند مغناطیس شدن متفاوت است و به عبارت دیگر n به H وابسته است. سه فاکتور اندازه دانه، اندازه‌ی عیوب و ماهیت فیزیکی آن‌ها بروی n تاثیر گذار است [۴]. در نهایت می‌توان گفت با افزایش چگالی مرز دانه‌ها (کاهش اندازه دانه) $n(H)$ افزایش پیدا می‌کند و پیرو آن ولتاژ القا شده در کویل خواننده (سیگنال‌های بارک هازون)، V_{BE} افزایش پیدا می‌کند.

۳-۲ سیگنال‌های بارک هازون و پیش بینی خواص مکانیکی

شکل ۴ ارتباط بین خواص مکانیکی نمونه‌ها با سیگنال‌های بارک هازون گرفته شده را نشان می‌دهد. از بین خروجی‌های آنالیز سیگنال بارک هازون بیشینه ولتاژ BN بهترین ارتباط را نشان می‌دهد. مقادیر ارائه شده در نمودارها به صورت میانگین گزارش شده است.

به دلیل وابستگی خواص مکانیکی به اندازه دانه و چگالی مرزدانه و همچنین حساسیت سیگنال‌های بارک هازون به این تغییرات (اندازه دانه)، اندازه‌گیری یا پیش بینی خواص مکانیکی نمونه‌ها با استفاده از این روش امکان پذیر است. جدول ۴ معادلات بدست آمده از سیگنال‌های بارک هازون و خطای آن‌ها را در پیش بینی خواص مکانیکی را نشان می‌دهد.



شکل ۴. بیشینه ولتاژ سیگنال بارک هازون بر حسب (الف) سختی (ب) تنش تسلیم (ج) حداکثر استحکام

جدول ۴. معادلات و خطای آن‌ها در پیش بینی خواص مکانیکی

پارامتر	مقدار داده (mV)	معادله	بدست آمده از معادله	مقدار واقعی	درصد خطا %
سختی (VHN)	۱۱۴۳	$HV=0.056VBN + 17.2$	۸۱/۲	۸۲	۱
تنش تسلیم (MPa)	۱۱۴۳	$\sigma_y = 0.204VBN - 44.3$	۱۹۰	۲۰۴	۷
(MPa)UTS	۱۱۴۳	$UTS=0.175VBN+ 75.62$	۲۷۵/۶	۲۷۲	۱/۳

۴- نتیجه گیری

اندازه دانه بروی حرکت دیواره‌ی حوزه‌های مغناطیسی موثر است، در نتیجه این روش قادر به تفکیک نمونه‌ها با اندازه دانه‌ی متفاوت است. در جداسازی نمونه‌ها با اندازه‌ی دانه متفاوت به دلیل یکسان بودن ساختار

فقط دو پارامتر بیشینه ولتاژ سیگنال‌های بارک هازون و RMS آن‌ها روند خوبی از تغییرات اندازه دانه را نشان می‌دهند. این روش با دقت با بالایی قادر تعیین اندازه دانه نمونه‌ی مجهول و همچنین پیش‌بینی خواص مکانیکی آن‌ها است.

۵-مراجع

- 1- O. Saquet, J. Chicois, "Barkhausen noise from plain carbon steels: analysis of the influence of microstructure", *Materials Science and Engineering A269* (1999) 73–82.
- 2- S.L. Kakani, Amit Kakani, "*Material Science*", Published by New Age International (P) Ltd., Publishers.
- 3- J.A. Pe rez-Benitez, J. Capo -Sanchez, "A model for the influence of microstructural defects on magnetic Barkhausen noise in plain steels", *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 288 (2005) 433–442.
- 4- D.H.L. Ng, K.S. Cho, "Study of microstructure, mechanical properties, and magnetization process in low carbon steel bars by Barkhausen emission", *Materials Science and Engineering A358* (2003) 186_ 198.
- 5- M. Blaow, J. T. Evans, "Surface decarburisation of steel detected by magnetic barkhausen emission", *journal of materials science* 40 (2005) 5517 – 5520.
- 6- G. Lungn, O. Saquet, "Determination of surface Hardened depth By Barkhausen noise", *Universitatea Tehnica "Gh. Asschi", Iasi Tomul XLVII(LI), Supliment, 2001.*
- 7- Oleksandr STUPAKOV, "Evaluation of Ductile Cast Iron Microstructure by Magnetic Hysteresis and Barkhausen Noise Methods".
- 8- M. Kaplan, C.H. Gür, M. Erdogan "Characterization of Dual-Phase Steels Using Magnetic Barkhausen Noise Technique" *J Nondestruct Eval* (2007) 26: 79–87.
- 9- X. KLEBER, A. HUG, J. MERLIN "Ferrite–Martensite Steels Characterization Using Magnetic Barkhausen Noise Measurement" *ISIJ International*, Vol. 44 (2004), No. 6, pp. 1033–1039.
- 10- Reed- Hill, Robert E, "Physical Metlurgy Principles", PWS Publishing Company, 1994.

Analyzing Barkhausen Noise to evaluate grain size and mechanical properties of steel sheets

M. Kashefi, A. R. Saheb Alam* and S. Ghanei

Department of Materials Science and Metallurgical Engineering, Engineering Faculty, Ferdowsi University of Mashhad

Abstract

The grain size has the most influence on mechanical properties of sheet materials. Traditionally, destructive methods such as microstructure observation are used to determine grain size, combined with image processing software. These methods are time consuming and costly, in nature. In the industry and in mass production lines, time and cost are two importance factors. Barkhausen Noise analysis (BN) is a new nondestructive technique which can perform the test online. The BN method relies on physical properties (magnetic properties) of materials such as microstructure, grain size, chemical composition and residual stresses. The abrupt changes in magnetic flux in around a sample are the basic of this method. The change in magnetic field is due to abrupt motions of domain walls (DW). In the present a low carbon steel sheet was held in different austenite temperature (900-1050C°) and cooled in different rates. The density difference in grain boundaries in the samples with variation grain size has be key affect on domain wall motions. Finally, the analysis of BN signals was compared with grain size measurements via image processor software CLEMEX as well as tensile test results which show existence of a good correlation between these two methods. The fine-grain samples have larger BN signals, because of larger fractional volume of grain boundaries that act as pin sites for the domain walls unpinning.

Keywords: Barkhausen noise; Nondestructive test; Grain size; mechanical properties

* Corresponding author's E-mail: Alirezasahelam65@yahoo.com, 09151591605