

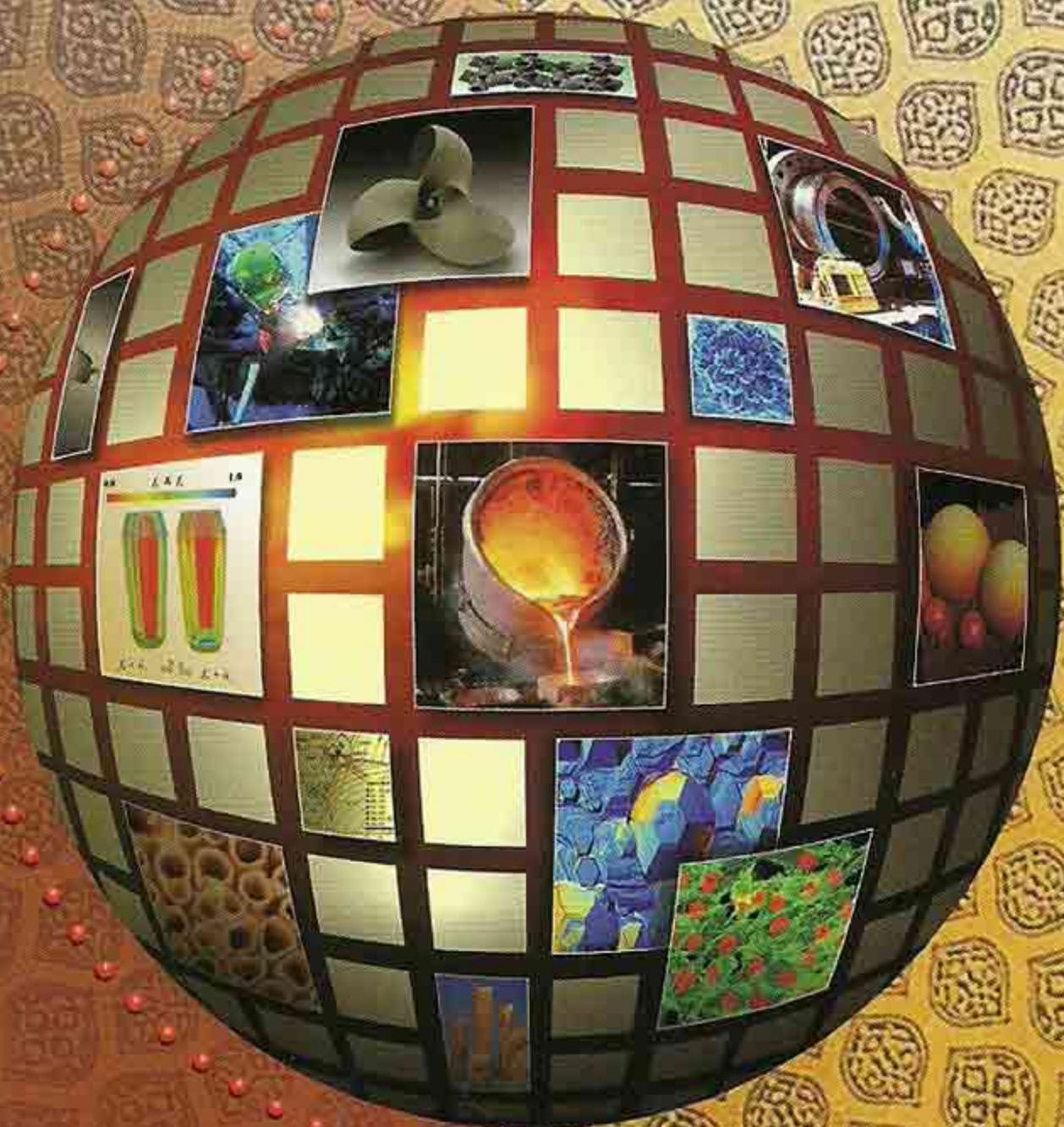


پنجمین

همایش مشترک مهندسی و علم مواد

پانزدهمین کنگره سالانه انجمن مهندسین متالورژی ایران و

بیست و سومین سمینار سالانه انجمن علمی ریخته‌گری ایران



دیر سمینار

دکتر محمود مرآتیان

۱۳۹۰ آبان ۴ و ۳
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. Soc.

Iranian Foundrymen's Soc.



کاربرد جریان گردابی در جداسازی ریزساختار و تعیین اندازه داده

محمود رضا قندھاری فردوسی^۱، مهرداد کاشفی^۲

چکیده

در تولیدات صنعتی همواره این احتمال وجود دارد که برخی قطعات مراحلی از تولید مانند سیکل های عملیات حرارتی را به درستی طی نکنند. دو فرایند عملیات حرارتی آنیل و نرماله به عنوان عملیات اولیه از این نوع می باشند. برای جداسازی ریزساختارهای حاصل از این دو نوع عملیات حرارتی، می توان بر اساس تفاوت در اندازه دانه ها، حد تفکیک مناسبی قائل شد. روش های سنتی جهت تعیین اندازه دانه و جداسازی ریزساختارها، روش هایی مخرب، وقت گیر و پرهزینه می باشند. آزمون جریان گردابی یک آزمون غیرمخرب است که به سرعت اجرا شده و از آنجا که پاسخ آن به ترکیب شیمیایی و ریزساختار ماده می باشد، می توان از آن در تشخیص ریزساختارها و تعیین اندازه دانه از یک ترکیب شیمیایی یکسان بهره گرفت. در این مقاله، این روش تفکیک برای جداسازی دو ریزساختار حاصل از عملیات آنیل و نرماله از فولادهای CK45، CK60 و CK20 به کار گرفته شده و نیز تعیین اندازه دانه از فولاد CK20 صورت پذیرفته است. نتایج حاصل نشان دهنده اطمینان قابل قبول این آزمون غیرمخرب در تعیین اندازه دانه و پیش‌بینی آن می باشد.

واژه های کلیدی: تعیین اندازه دانه، جداسازی ریز ساختارها، آزمون غیرمخرب، آزمون جریان گردابی.

^۱-دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مواد، گرایش شناسایی و انتخاب مواد، دانشگاه فردوسی مشهد

Reza.Ghandehari.F@gmail.com.

^۲-استادیار، عضو هیئت علمی دانشگاه فردوسی مشهد.



کاربرد جریان گردابی در جداسازی ریز ساختار و تعیین اندازه دانه

محمود رضا قندھاری فردوسی^۱، مهرداد کاشفی^۲

چکیده

در تولیدات صنعتی همواره این احتمال وجود دارد که برخی قطعات مراحلی از تولید مانند سیکل های عملیات حرارتی را به درستی طی نکنند. دو فرایند عملیات حرارتی آنیل و نرماله به عنوان عملیات اولیه از این نوع می باشند. برای جداسازی ریز ساختارهای حاصل از این دو نوع عملیات حرارتی، می توان بر اساس تفاوت در اندازه دانه ها، حد تفکیک مناسبی قائل شد. روش های سنتی جهت تعیین اندازه دانه و جداسازی ریز ساختارها، روش هایی مخرب، وقت گیر و پرهزینه می باشند. آزمون جریان گردابی یک آزمون غیر مخرب است که به سرعت اجرا شده و از آنجا که پاسخ آن به ترکیب شیمیایی و ریز ساختار ماده می باشد، موردنظر حساس است، می توان از آن در تشخیص ریز ساختارها و تعیین اندازه دانه از یک ترکیب شیمیایی یکسان بهره گرفت. در این مقاله، این روش تفکیک برای جداسازی دو ریز ساختار حاصل از عملیات آنیل و نرماله از فولادهای CK45، CK60 و CK20 به کار گرفته شده و نیز تعیین اندازه دانه از فولاد CK20 صورت پذیرفته است. نتایج حاصل نشان دهنده اطمینان قابل قبول این آزمون غیر مخرب در تعیین اندازه دانه و پیش بینی آن می باشد.

واژه های کلیدی: تعیین اندازه دانه، جداسازی ریز ساختارها، آزمون غیر مخرب، آزمون جریان گردابی.

^۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مواد، گرایش شناسایی و انتخاب مواد، دانشگاه فردوسی مشهد.

Reza.Ghandehari.F@gmail.com

^۲- استادیار، عضو هیئت علمی دانشگاه فردوسی مشهد.

در صنعت بروی اغلب قطعات تولیدی، سیکل‌های مختلف عملیات حرارتی انجام می‌شود تا خواص مکانیکی موردنظر حاصل شود. از آنجا که در بسیاری از موارد مانند عملیات حرارتی آنیل و نرماله، ریزساختار حاصل از یکی از فرآیندهای عملیات حرارتی به عنوان ریزساختار اولیه فرایند دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد، همواره احتمال اختلاط ناخواسته‌ی قطعات وجود داشته و بنابراین جداسازی آنها براساس نوع عملیات حرارتی اعمال شده از اهمیت خاصی برخوردار است. از آنجا که در دو ریزساختار حاصل، اندازه دانه نمونه آنیل شده بزرگتر از اندازه دانه نمونه نرماله شده می‌باشد، عاملی که باعث تفاوت در پاسخ‌های القاء جریان گردابی به این دو ریزساختار می‌شود، اثر اندازه دانه و چگالی مرزدانه‌ها بر خواص مغناطیسی آنها می‌باشد. به دلیل اهمیت بسیار زیاد اندازه دانه بر روی خواص مکانیکی مواد پلی کریستال، تعیین این پارامتر به عنوان متغیر اصلی جهت جداسازی در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت.

انجام عملیات متالوگرافی و مشاهدات میکروسکوپی جهت تعیین اندازه دانه و بررسی ریزساختارها، روش‌هایی مخبر، وقت‌گیر و هزینه‌بر هستند که به طور سنتی بدین منظور به کار می‌روند. اما امروزه کاربرد روش‌های غیرمخرب تنها به بازرسی عیوب و ترک‌یابی محدود نمی‌شوند. با توجه به توانایی‌ها و مزایای روش‌های غیرمخرب در فرایند کنترل تولیدات صنعتی، در سال‌های اخیر به تعیین خواص مکانیکی و متالورژیکی مواد و بدست آوردن نتایج آزمون‌های مخبر با روش‌های غیرمخرب توجه بسیاری شده است که این امر سبب صرفه‌جویی از لحاظ هزینه و زمان، در تولید انبوه قطعات صنعتی شده و امکان کنترل صددرصد قطعات را فراهم آورده است. از این میان آزمون غیرمخرب جریان گردابی مزایای منحصر به فردی دارد. حساسیت این آزمون به ترکیب شیمیایی و ریزساختار و خواص مکانیکی را می‌توان جزء مهمترین عواملی دانست که باعث توجه ویژه به این روش شده است [۲۱و۲].

برای اینکه بتوان در قطعات حساس، فولادهای کوئنچ - تمپر را جایگزین فولادهای میکروآلیاژی نمود بایستی این فولادها استحکام مشابه با چقرمگی مناسب داشته باشند [۳]. بنابراین کنترل ریزساختار برای رسیدن به استحکام و چقرمگی مطلوب در این فولادها، که دارای میزان کربن و عناصر میکروآلیاژی متفاوت هستند، ضروری به نظر می‌رسد. از آنجا که هر کدام از عناصر میکروآلیاژی ترکیبات گوناگونی با خواص متفاوت تولید می‌کنند، این کنترل می‌تواند از طریق بهینه کردن ترکیب شیمیایی فولاد و پارامترهای فرایند تولید صورت گیرد [۴]. به عنوان مثال وانادیم در مقایسه با تیتانیم و نیوپیم قابلیت انحلال بیشتری در فاز آستانیت داشته و می‌تواند به عنوان عامل استحکام بخش اصلی عمل کند.

کاتاپلایک^۳ ارتباط خوبی بین سختی چدن داکتیل با ولتاژ خروجی دستگاه جریان گردابی بدست آورده^[۳] و یوچی موتو و چک^۴ در پژوهش‌هایی جداگانه همین ارتباط را برای چدن خاکستری نشان داده‌اند^[۴و۵]. تعیین عمق دی کربوره شده با آنالیز هارمونیک^[۶] و همچنین براساس تفاوت خواص مغناطیسی در دو فاز فریت و پرلیت^[۷] گزارش شده است. خان^۵ توانسته است با استفاده از پاسخ جریان گردابی در صد پرلیت فولاد را تعیین کند^[۸]. رومیچه^۶ و همکارانش اثر ریزساختار را بررسی رفتار مغناطیسی فولادهای کربنی به وسیله‌ی سنسورهای الکترومغناطیسی بررسی کرده اند^[۹] و تأثیر اندازه دانه بر خواص مغناطیسی توسط محققین دیگری نیز بررسی و تأیید شده است^[۱۰و۱۱و۱۲].

تعیین اندازه دانه و به دنبال آن جداسازی دو ریزساختار حاصل از عملیات آنیل و نرماله، هدف پژوهش حاضر می‌باشد. در این پژوهش با بررسی و تحلیل خروجی‌های ناشی از پاسخ مواد به القاء جریان گردابی، ارتباط مناسبی بین اندازه دانه با امپدانس نرماله شده ناشی از القاء جریان بدست آمد و با استفاده از ولتاژهای ثانویه در محدوده‌ای از فرکانس جداسازی دو ریزساختار حاصل از عملیات آنیل و نرماله انجام شد.

مواد و روش تحقیق

در این پژوهش از سه فولاد CK20، CK60 و CK45 که ترکیب شیمیایی آنها در جدول ۱ آورده شده است، استفاده شد.

جدول ۱. ترکیب شیمیایی فولادهای مورد بررسی بحسب درصد وزنی

عنصر شیمیایی فولاد	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo	%Ni
CK20	۰ / ۱۸	۰ / ۳۰	۰ / ۹۲	۰ / ۰۰۶	۰ / ۰۰۹	۰ / ۱۴	۰ / ۰۲	۰ / ۰۸
CK45	۰ / ۴۴	۰ / ۲۵	۰ / ۵۷	۰ / ۰۰۴	۰ / ۰۳۰	۰ / ۱۵	۰ / ۰۳	۰ / ۰۹
CK60	۰ / ۵۹	۰ / ۳۲	۰ / ۷۴	۰ / ۰۰۶	۰ / ۰۳۰	۰ / ۲۸	۰ / ۰۲	۰ / ۰۸

هر کدام از فولادها استوانه‌هایی به قطر ۲۴ میلی‌متر و طول ۱۵۰ میلی‌متر تحت عملیات آنیل و نرماله مطابق با جدول ۲ قرار گرفتند. از تمامی نمونه‌ها قرصی به ارتفاع ۱۰ میلی‌متر جدا گردید و پس از مانت گیری، متالوگرافی شده و ریزساختارهای حاصله با استفاده از میکروسکوپ نوری بررسی شد.

³ Konoplyuk

⁴ Uchimoto, Check

⁵ Khan

⁶ Rumiche

کاربرد جریان گردابی در جداسازی ریزساختار

جدول ۲. سیکل های عملیات حرارتی آنیل و نرماله

نحوه سرد شدن	زمان	دماي آстينите (دقيقه) (°C)	نوع عملیات حرارتی
درکوره خاموش	۶۰	۹۰۰	آنیل کامل
درهوای راکد	۶۰	۹۰۰	نرماله

برای تعیین اندازه دانه، پنج نمونه ای استوانه ای شکل از فولاد CK20 با ابعاد ذکر شده، جهت ایجاد ریزساختارهایی با اندازه دانه متمایز تحت عملیات حرارتی های متفاوت مطابق با جدول ۳ قرار گرفتند. پس از انجام عملیات متالوگرافی، از هر نمونه قرصی شکل تهیه شده، تعداد ۶ عکس از سطح به مغز در بزرگنمایی های مختلف گرفته شد و تمامی عکس ها جهت تعیین اندازه دانه با نرم افزار Clemex مورد پردازش قرار گرفتند. جدول ۳ سیکل های عملیات حرارتی اعمالی و اندازه دانه های بدست آمده را نشان می دهد.

جدول ۳. سیکل های عملیات حرارتی اعمالی جهت ایجاد اندازه دانه های متفاوت

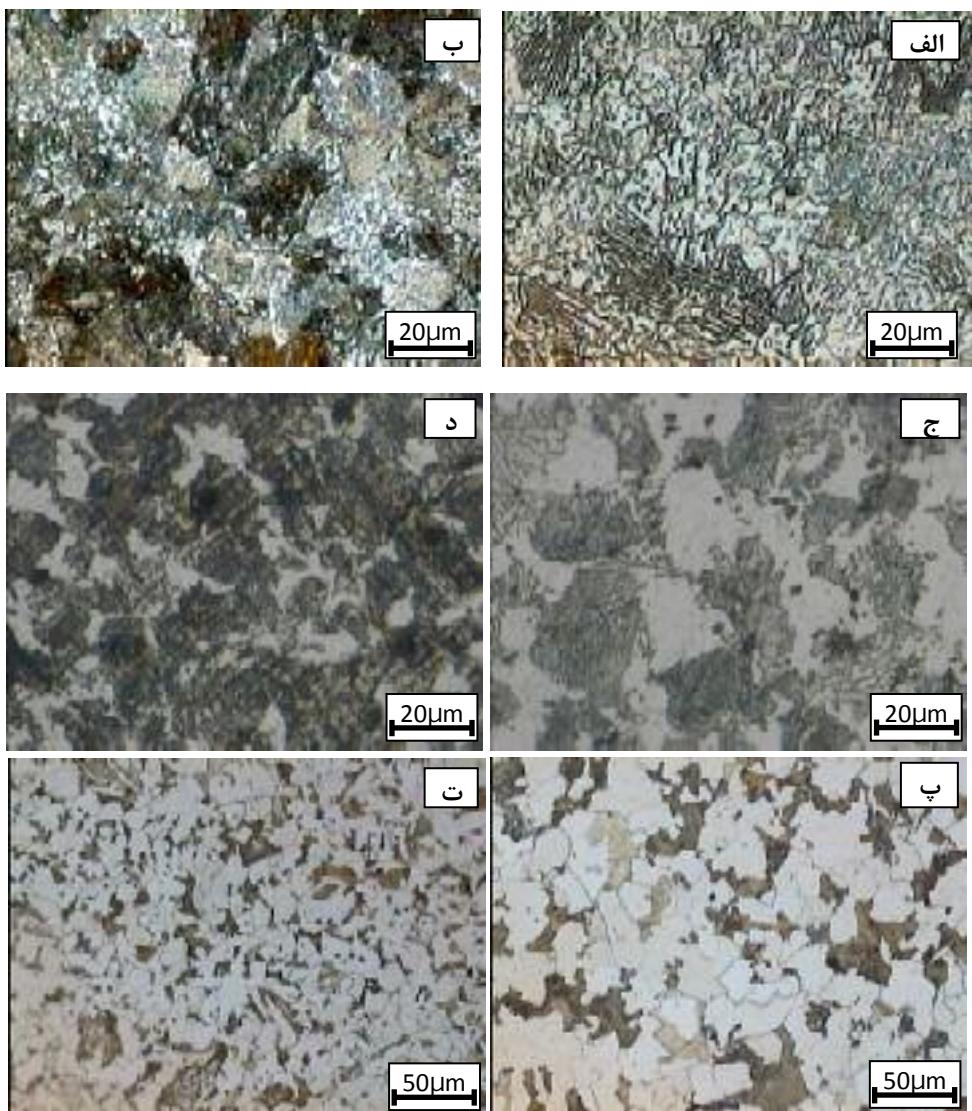
شماره نمونه	دماي آستينите (°C)	زمان آستينите (دقيقه)	نحوه سرد شدن	اندازه دانه (µm)
۱	۹۰۰	۳۰	هوای متلاطم	۱۱/۵
۲	۹۰۰	۳۰	هوای راکد	۱۱/۹۳
۳	۹۰۰	۳۰	کوره خاموش	۱۴/۷
۴	۹۸۰	۳۰	کوره خاموش	۲۶/۹۵
۵	۱۰۷۰	۳۰	کوره خاموش	۳۶/۴

تمامی آزمون های غیرمخرب با دستگاه آزمایشگاهی جریان گردابی که محدوده فرکانس از ۱ هرتز تا ۲ مگا هرتز را دارا است، انجام شد. تمامی نمونه ها در کویل با ضریب پرشوندگی ۰/۹۸ و دمای ثابت ۲۷°C آزمایش شدند. این آزمون در محدوده فرکانس ۱۰ تا ۱۰۰۰ هرتز انجام گردید و ولتاژ اولیه و ثانویه و امپدانس کویل در هر فرکانس برای هر نمونه توسط کارت اسیلوسکوپ دیجیتال ثبت شد. برای جداسازی ریزساختارها محدوده ای از فرکانس، و جهت تعیین اندازه دانه، یک فرکانس بهینه تعیین شد.

نتایج و بحث

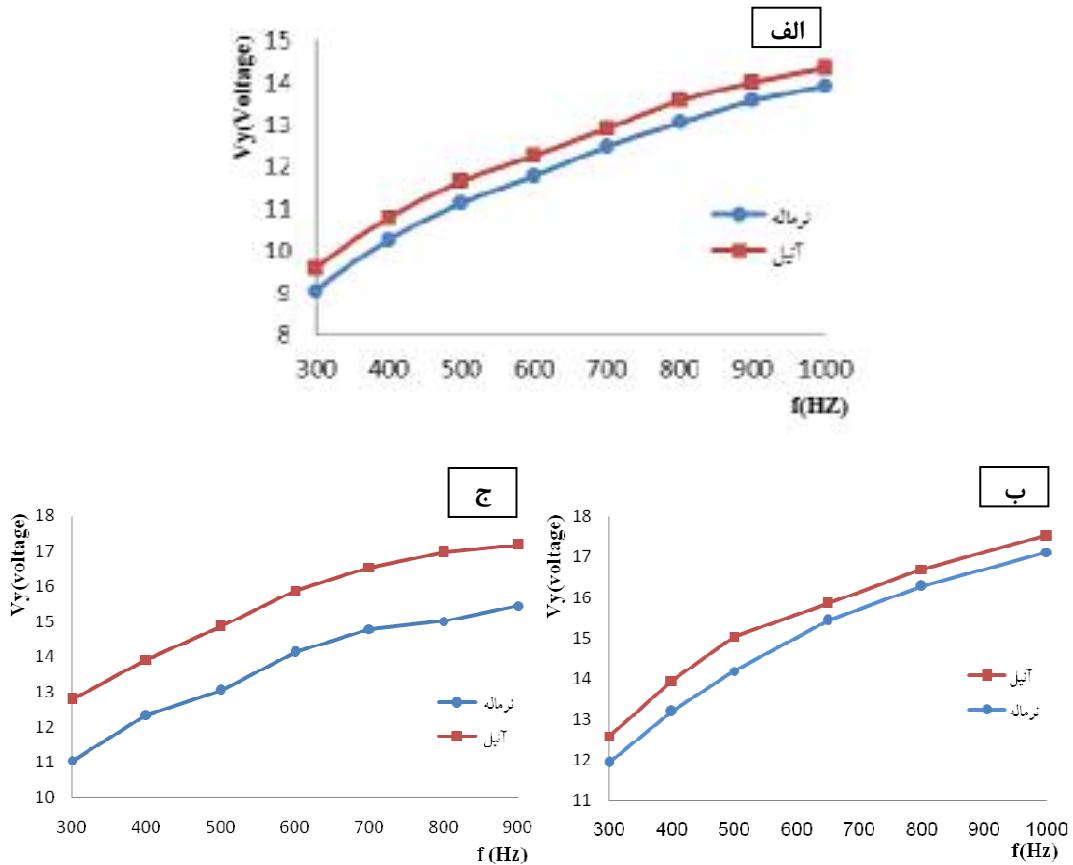
تصاویر میکروسکوپ نوری از دو ریزساختار حاصل از عملیات آنیل و نرماله برای سه فولاد CK45، CK60 و CK20 در شکل ۱ نشان داده شده است.

منحنی‌های تغییرات ولتاژ ثانویه بر حسب فرکانس در محدوده‌ای از فرکانس که بیشترین تفاوت بین این خروجی‌ها برای دو فولاد مذکور حاصل شده است، در شکل ۲ نشان داده شده است. در این نمودارها اختلاف ولتاژ در دو ریزساختار که ناشی از تفاوت در اندازه دانه و فاصله‌ی لایه‌های فریت و سماتیت در پرلیت است، مشهود می‌باشد.



شکل ۱. تصاویر میکروسکوپ نوری از ریزساختارهای حاصل از عملیات (الف) آنیل و (ب) نرماله، از فولاد CK60، (ج) آنیل و (د) نرماله، از فولاد CK45، (هـ) آنیل و (پ) نرماله، از فولاد CK20

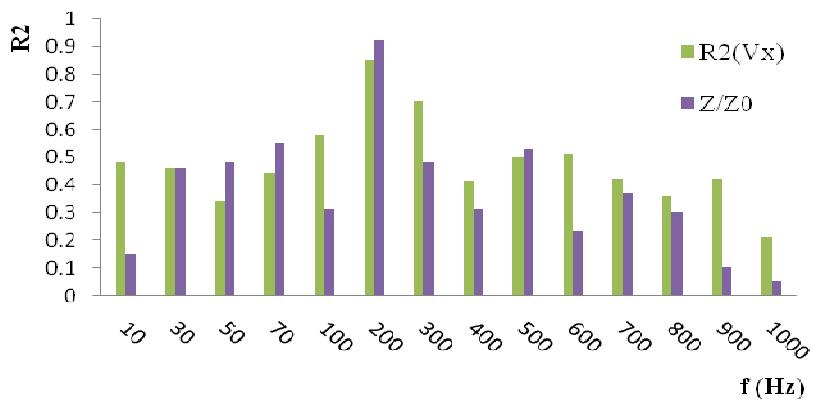
کاربرد جریان گردابی در جداسازی ریزساختار



شکل ۲. منحنی تغییرات ولتاژ ثانویه بر حسب فرکانس برای فولاد (الف) CK20 و (ب) CK45 و (ج) CK60

همان‌طور که در جدول ۳ نشان داده شده است، نمونه‌هایی با اندازه دانه $11/5$ تا $36/5$ میکرومتر بدست آمد. طبق پردازش انجام شده بر روی عکس‌های متالوگرافی، مشخص شد که در اثر عملیات حرارتی‌های متفاوت بر روی نمونه‌هایی از جنس CK20، درصد فازهای فریت و پرلیت در نمونه‌های مختلف بین ۱ تا ۳ درصد دچار تغییر شده که این عامل یکی از منابع اصلی خطا در تعیین اندازه دانه می‌باشد.

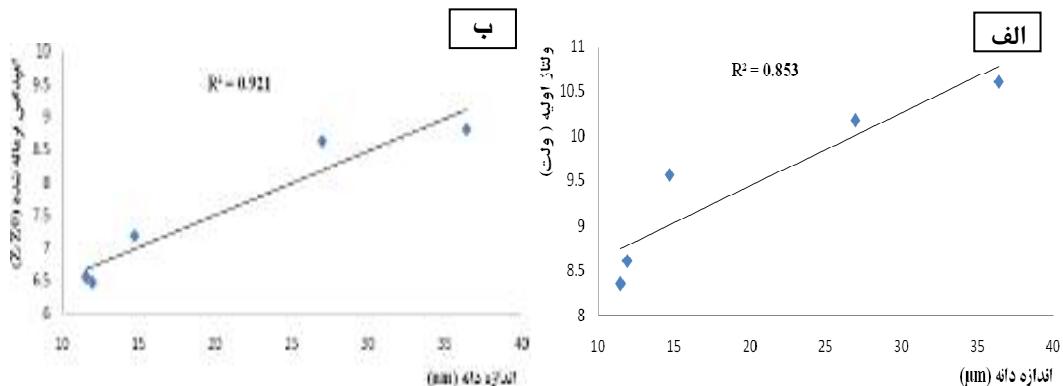
با هدف تعیین فرکانس بهینه از دو روش فرمول عمق استاندارد و آنالیز رگرسیون نتایج استفاده گردید [۱و ۲]. ضریب همبستگی (R^2) همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است، در فرکانس ۲۰۰ هرتز، بیشترین مقدار را دارا بوده و به عنوان فرکانس بهینه جهت تعیین اندازه دانه انتخاب گردید.



شکل ۳. ضریب تناسب R^2 بین اندازه دانه و امپدانس نرماله و ولتاژ ثانویه جهت تعیین فرکانس بهینه

شکل ۴-الف، ارتباط بین اندازه دانه با ولتاژ اولیه کویل، ناشی از القاء جریان را نشان می‌دهد. ضریب همبستگی ($R^2 = 0.85$) بدست آمده برای ولتاژ اولیه، نشان دهنده ارتباط مناسبی بین این نوع خروجی جریان گردابی با اندازه دانه می‌باشد.

برای یافتن ارتباطی بهتر از خروجی دیگری از جریان گردابی تحت عنوان امپدانس نرماله (Z/Z_0) استفاده شد. این خروجی با تقسیم امپدانس کویل مربوط به هر نمونه (Z ، به امپدانس کویل خالی (Z_0) بدست می‌آید. در شکل ۴-ب امپدانس نرماله بر حسب اندازه دانه رسم شده است.



شکل ۴. ارتباط بین اندازه دانه و (الف) ولتاژ اولیه، (ب) امپدانس نرماله شده، در فرکانس ۲۰۰ هرتز

همان‌گونه که مشاهده می‌شود در تمامی نمودارها با افزایش اندازه دانه یا به عبارت دیگر با کاهش چگالی مرز دانه، امپدانس نرماله شده (Z/Z_0) و ولتاژ اولیه افزایش می‌یابد. برای توجیه این مستعله ابتدا به بررسی اثر مرزدانه بر روی نتایج آزمون جریان گردابی می‌پردازیم.

کاربرد جریان گردابی در جدا سازی ریزساختار . . .

خواص مغناطیسی تحت تاثیر مرزدانه ها بوده، زیرا میدان بسته ای در مرزدانه ها به وجود آمده که با حرکت دامنه میدان^۷ در هنگام مغناطیسی شدن مخالفت می کند[۹]. به طور کلی مرزدانه با دو مکانیسم متفاوت بر روی حرکت دامنه میدان اثر می گذارد: الف) اثر خارجی که مربوط به جدایش و رسوبات و حضور آخال ها و ... در مرزدانه ها می باشد ب) اثر داخلی که به انرژی مغناطیس دائمی ناشی از تغییرات جهت گیری در دو دانه مجاور مرتبط می باشد[۱۰]. بنابراین مرزدانه ها به صورت مانع در برابر عبور جریان عمل می کنند و با افزایش اندازه دانه (کاهش چگالی مرز دانه) افزایش نفوذپذیری مغناطیسی (μ)، مقدار ضریب خودالقاء را شاهد هستیم. از طرفی رابطه ۱ بیان می کند که با افزایش تراوایی مغناطیسی (μ)، مقدار ضریب خودالقاء (L) افزایش می یابد.

$$L = \mu N^2 A / l \quad (1)$$

که در آن μ نفوذپذیری مغناطیسی، N تعداد دور سیم پیچ، A سطح مقطع نمونه و l طول سیم پیچ می باشد. در نتیجه طبق روابط زیر با افزایش μ، مقدار مقاومت القایی (X_L) و امپدانس (Z) نیز افزایش می یابد.

$$X_L = 2\pi f L \quad (2)$$

$$Z = \sqrt{X_L^2 + R^2} = V/I \quad (3)$$

بنابراین افزایش در امپدانس، دلیلی بر افزایش ولتاژ خروجی و امپدانس نرماله شده ناشی از القاء جریان گردابی در نمونه های با اندازه دانه بزرگتر می باشد، که در نمودارهای شکل ۴ چنین ارتباطی مشاهده می گردد. همان گونه که مشاهده می شود، بیشترین ضریب همبستگی ($R^2 = 0.92$) بین اندازه دانه و امپدانس نرماله شده، بدست آمد که نشان دهنده ضریب اطمینان بالای این روش در تعیین اندازه دانه و پیش بینی آن می باشد. رابطه ۴، ارتباط بین اندازه دانه و امپدانس نرماله شده را در فرکانس ۲۰۰ هرتز نشان می دهد.

$$\frac{\text{نمودار نرماله شده - امپدانس}}{(\mu m)} = \frac{231}{0.098} \quad (4)$$

در جدول ۴، اندازه دانه یک نمونه مجھول که به وسیله رابطه ۴ تعیین شده، با نتایج بدست آمده از نرم افزار Clemex مقایسه گردیده است. خطای محاسبه شده، بیانگر دقت بالای آزمون غیر مخبر جریان گردابی در تعیین اندازه دانه می باشد.

⁷ Domain walls

جدول ۴. محاسبه اندازه دانه با دو روش جریان گردابی و نرم افزار Clemex

خطا (درصد)	اندازه دانه از نرم افزار Clemex	به دست آمده از نرم افزار Clemex	اندازه دانه به دست آمده	امپدانس نرماله شده
۶/۵۱۹۶	۲۰/۴	۱۹/۰۷	۷/۴	

نتیجه گیری

- آزمون جریان گردابی می تواند جهت جداسازی ۱۰۰٪ ریز ساختارهای حاصل از عملیات آنیل و نرماله با ترکیب شیمیایی یکسان بکار رود.
- با استفاده از آنالیز رگرسیون ارتباط بسیار خوبی ($R^2=0.92$) بین اندازه دانه و امپدانس نرماله مشاهده گردید، که نشان دهنده امکان استفاده از روش غیر مخرب جریان القایی در تعیین اندازه دانه قطعات فولادی با دقت بسیار بالا می باشد.

مراجع

- 1- Don E.Bray, Roderic K.Stanly, "Nondestructive Evaluation", CRC, 1997.
- 2- Donald J.Hagemair, "Fundamentals of Eddy Current Testing", ASNT, 1990, ترجمه شرکت تست "تولید آلیاز"
- 3- S. Konoplyuk et al. "Characterization of ductile cast iron by eddy current method", NDT&E International, 2005, 623-626.
- 4- T. Uchimoto et al., "Eddy current evaluation of cast irons for material characterization", Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 2003, 493-496.
- 5- J. Cech, "Measuring the mechanical properties of cast irons by NDT methods", NDT International, 1990, 93-102.
- 6- D. Mercier et al., "Eddy currents and hardness testing for evaluation of steel decarburizing", NDT&E International, 2006, 652-660.
- 7- X.J.Hao et al., "Off-line measurement of decarburization of steels using a multifrequency electromagnetic sensor", Scripta Materrialia, 2008, 1033-1036.
- 8- S.H. Khan et al., "Pearlite determination in plain carbon steel by eddy current method", Journal of Materials Processing Technology, 2007, 316-318.
- 9- Rumiche, J.E. Indacochea and M.L. Wang., "Assessment of the Effect of Microstructure on the Magnetic Behavior of Structural Carbon Steels Using an Electromagnetic Sensor", Journal of Materials Engineering and Performance, 2008, 586-593.

کاربرد جریان گردابی در جدا سازی ریزساختار . . .

- 10- J. Degauque et al., "Influence of the Grain Size on the Magnetic and Magnetomechanical Properties of High-Purity Iron", Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 1982, 261-263.
- 11- J. Anglada-Rivera, L.R. Padovese, and J. Capo-Sanchez., "Magnetic Barkhausen Noise and Hysteresis Loop in Commercial Carbon Steel", Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 2001, 299-306.
- 12- B. K. Tanner, J. A. Szpunar, S. N. M. Willcock, L. L. Morgan, P. A. Mundell., "Magnetic and Metallurgical Properties of High-Tensile Steels", Journal of Materials Science, 1988, 4534-4540.

The Application of Eddy Current Method In Microstructure and Grain Size Determination

M. R. Ghandehari Ferdowsi*, M. Kashefi

* Department of Materials Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
Reza.Ghandehari.F@gmail.com

Abstract

In practical, the possibility of incomplete heat treatments such as annealing and normalizing could cause serious problems in the performance of final parts. The variation of the grain size could distinguish the difference between annealed and normalized microstructures. While traditional grain size assessment techniques are destructive, expensive and time-consuming, eddy current test method as a non-destructive test can define it faster. This test has higher sensitivity to chemical composition and microstructure, thus to remove the effect of chemical composition on eddy current test results for microstructural assessment, specimens with similar chemical composition is used. In the current work, two distinct annealed and normalized microstructures of three different alloy steels including CK20, CK45 and CK60 are investigated using this technique. Also, the grain size of CK20 alloy steel is estimated by this method. The results show that this non-destructive test can easily distinguish the differences between those microstructures and estimate the grain size with high accuracy.

Keywords: Grain size assessment, Microstructure determination, Non-destructive test, Eddy current test.