

بهره گیری از روش غیرمخرب بارک هاوزن در شناسایی تغییرات ریزساختاری در سطح و عمق فولادهای کربن زدایی شده

سعيد كهربائي' ، مهرداد كاشفي'، عليرضا صاحب علم"، ميلاد حجتيٌّ، مرجان طهماسيم، ۱ و ۵- گروه مهندسی مواد و متالورژی، مؤسسه آموزش عالی سجاد، مشهد ۲ و ۴- گروه مهندسی مواد و متالورژی، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد ۳- آزمایشگاه مواد و متالورژی، پارک علم و فناوری خراسان، مشهد

چکیده در مشخصه یابی مواد با استفاده از سیگنال های بارک هاوزن، از تغییرات مشخصه های پیکهای الکتریکی ایجاد شده ناشی از آزاد سازی دیواره حوزه های مغناطیسی یک ماده فرومغناطیس که تحت یک میدان مغناطیسی خارجی قرار گرفته است، استفاده می شود. در پژوهش حاضر، پتانسیل این روش در شناسایی تغییرات ریزساختاری در سطح و قسمت های داخلی نمونه های کربن زدایی شده، مورد ارزیابی قرار گرفته است. به منظور ایجاد نمونه هایی با عمق های متفاوت از لایه کربن زدایی، دو گروه از فولاد CK45 در دمای ۹۰۰ درجه سانتیگراد برای مدت زمان های متفاوت قرار گرفته و سپس با اعمال شرایط متفاوت، هر گروه از نمونه ها تحت مدت زمان های متفاوت قرار گرفته و سپس با اعمال شرایط متفاوت، هر گروه از نمونه ها تحت مارک هاوزن (ارتفاع و موقعیت پیک) در نمونه ها با عمق های متفاوت، ایر گروه از نمونه ها تحت بارک هاوزن (ارتفاع و موقعیت پیک) در نمونه ها با عمق های متفاوت، ارتباطی منطقی با نتایج حاصل از روش های مخرب متالو گرافی و میکروسختی سنجی را نشان می دهد. این امر گواهی بر کارامدی این روش غیر مخرب در شناسایی وقوع پدیده کربن زدایی در قطعات فولادی و همچنین تعیین ضخامت لایه کربن زدایی با استفاده از روش غیرمخرب پیشنهادی می باشد.

كلمات كليدى: عمق لايه كربن زدايي، سيكنال هاى بارك هاوزن، موقعيت پيك، ارتفاع پيك

## بهره گیری از روش غیرمخرب بار ک هاوزن در شناسایی تغییرات ریزساختاری در سطح و عمق فولادهای کربن زدایی شده

سعید کهربائی'، مهرداد کاشفی'، علیرضا صاحب علم"، میلاد حجتی"، مرجان طهماسبی<sup>۵</sup> ۱ و ۵- گروه مهندسی مواد و متالورژی، مؤسسه آموزش عالی سجاد، مشهد ۲ و ٤- گروه مهندسی مواد و متالورژی، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد ۳- آزمایشگاه مواد و متالورژی، پارک علم و فناوری خراسان، مشهد

## چکیدہ

در مشخصه یابی مواد با استفاده از سیگنال های بارک هاوزن، از تغییرات مشخصه های پیک های الکتریکی ایجاد شده ناشی از آزادسازی دیواره حوزه های مغناطیسی یک ماده فرومغناطیس که تحت یک میدان مغناطیسی خارجی قرار گرفته است، استفاده می شود. در پژوهش حاضر، پتانسیل این روش در شناسایی تغییرات ریز ساختاری در سطح و قسمت های داخلی نمونه های کربن زدایی شده، مورد ارزیابی قرار گرفته است. استفاده می شود. در پژوهش حاضر، پتانسیل این روش در شناسایی تغییرات ریز ساختاری در سطح و قسمت های داخلی نمونه های کربن زدایی شده، مورد ارزیابی قرار گرفته است، استفاده می شود. در پژوهش حاضر، پتانسیل این روش در شناسایی تغییرات ریز ساختاری در سطح و قسمت های داخلی نمونه های کربن زدایی شده، مورد ارزیابی قرار گرفته است. به منظور ایجاد نمونه های با عمق های متفاوت از لایه کربن زدایی، دو گروه از فولاد متفاوت، هر گروه از نمونه ها تحت دو عملیات حرارتی نرماله و کوئنچ قرار گرفته و سپس با اعمال شرایط متفاوت، هر گروه از نمونه ها تحت دو عملیات حرارتی نرماله و کوئنچ قرار گرفته و سپس با اعمال شرایط متفاوت، هر گروه از نمونه ها تحت دو عملیات حرارتی نرماله و کوئنچ قرار گرفته و سپس با اعمال شرایط مربوط به سیگنال های بارک هاوزن (ارتفاع و موقعیت پیک) در نمونه ها با عمق های متفاوت، از تغییرات پارامتره ی منطقی با نتایج حاصل از روش های مخرب متالو گرافی و میکروسختی سنجی را نشان می دهد. این امر مربوط به سیگنال های بار که هاوزن (ارتفاع و موقعیت پیک) در نمونه ها با عمق های متفاوت، ارتباطی منطقی با نتایج حاصل از روش های مخرب متالو گرافی و میکروسختی سنجی را نشان می دهد. این امر مولادی و گواهی بر کارامدی این روش غیر مخرب در شناسایی وقوع پدیده کربن زدایی در قطعات فولادی و همچنین نیین ضخامت لایه کربن زدایی با استفاده از روش غیر مخرب پیشنهادی می باشد.

كلمات كليدي: عمق لايه كربن زدايي، سيگنالهاي بارك هاوزن، موقعيت پيك، ارتفاع پيك

<sup>1</sup> <u>kahrobaee@sadjad.ac.ir</u>, Saeed\_Kahrobaee@yahoo.com

۱ – مقدمه

مواد فرو مغناطیس از نواحی کوچکی مغناطیسی که به اصطلاح حوزه های مغناطیسی نامیده می شوند، تشکیل می شوند. هر یک از این حوزه ها در جهت های خاص مغناطیسی شده اند یا به عبارتی جهت گیری کرده اند. این حوزه ها از یکدیگر به وسیله مرزهایی جدا شده اند، که این مرزها را دیواره ی حوزه ی مغناطیسی می نامند. میدان مغناطیسی که توسط جریان متناوب ایجاد شده است، این دیوارها را به طور متناوب به عقب و جلو می راند. این جهت گیری جدید حوزه ها باعث مغناطیسی شدن کل نمونه می شود. در اثر این تغییرات مغناطش نمونه، یک سری پالس های الکتریکی در کویل القا می گردد. این مشاهدات الکتریکی ناشی از حرکت دیواره حوزه های مغناطیسی نخستین بار توسط پروفسور بارک هازون در سال شوند، سیگنال هایی به وجود می آیند که به این سیگنال ها، سیگنال های بارک هازون گفته می شود. آنجا که کوچکترین تغییر در مشخصه های ریز ساختاری باعث تغییر در شدت این سیگنال ها می می در از توان در شناسایی تغییرات ریز ساختاری مواد فرومغناطیس مانند فولادها و چدنها، از این روش غیر مخرب بهره برد [۱].

عملیات حرارتیهای صورت گرفته بر روی فولادها در محدوده دمای پایداری آستنیت در شرایط اتمسفر کنترل نشده منجر به خروج کربن از سطح فولاد و واکنش با اتمسفر محیط میشود که به این فرایند کربن زدایی می گویند. فقدان کربن در سطح باعث افت شدید خواص مکانیکی قطعه فولادی مانند مقاومت به خستگی، مقاوت در برابر خوردگی و نرخ سایش میشود [۳-۲].

با توجه به تفاوت خواص مغناطیسی ایجاد شده در ریزساختارهای سطحی و مغز نمونههای فولادی کربن زدایی شده، روشهای غیرمخرب پایه مغناطیسی مانند جریان گردابی و بارک هاوزن، پتانسیل تعیین ضخامت این لایه را دارند. تحقیقات صورت گرفته در این زمینه شامل تعیین عمق لایه کربن زدایی شده با روش جریان گردابی در فولاد با ریزساختار مارتنزیتی با کمک آنالیز هارمونیک [۴]، در فولاد با ریزساختار فریت-پرلیتی با اندازه گیری امپدانس کویل [۵ و ۶] و همچنین راکتانس کویل [۷] میباشد. همچنین از روش بارک هاوزن در بررسی پدیده کربن زدایی بعد از عملیات حرارتی آنیل استفاده شده است [۸ و ۹]. در هیچ یک از این پژوهش ها به بررسی غیرمخرب پدیده کربن زدایی در شرایط متفاوت عملیات حرارتی پرداخته نشده است. بنابراین در پژوهش حاضر از روش بارک هاوزن نویز و اندازه گیری شدت پیک و میدانی که پیک در آن ظاهر شده (موقیت پیک) در تعیین عمق لایه کربن زدایی بعد از دو نوع عملیات حرارتی نرماله و کوئینچ پرداخته شده است. به این ترتیب با مقایسه نتایج حاصل شده از این دو نوع عملیات حرارتی، بهترین شرایط ریز ساختاری (نوع عملیات حرارتی) به منظور تعیین غیرمخرب ضخامت لایه کربن زدایی حاصل شده است.

۲- مواد و روش انجام آزمایش

در این پژوهش به منظور ایجاد نمونه هایی با عمق کربن زدایی متف اوت، ۸ نمونه استوانه ای شکل از فولاد CK45 به قطر ۲۰ و ارتفاع ۷۰ میلی متر تهیه شد. نمونه ها در دو گروه چه ار تایی تحت دو نوع عملیات حرارتی نرماله و کوئینچ قرار گرفتند. به این منظور، تمامی نمونه ها در یک کوره عملیات حرارتی بدون اتمسفر کنترل شده برای مدت زمان های ۲، ۴، ۶ و ۸ ساعت، دردمای ۹۰۰ درجه سانتیگراد قرار داده شدند. در هر مرحله (بعد از قرار گیری نمونه ها برای یک مدت زمان مشخص در دمای سرد شده و نرماله شد. در هر مرحله (بعد از قرار گیری نمونه ها برای یک مدت زمان مشخص در دمای مرد شده و نرماله شد. در هر مرحله (بعد از قرار گیری نمونه ها برای یک مدت زمان مشخص در دمای سرد شده و نرماله شد. در حالی که نمونه به منظور ایجاد ریز ساختار تعادلی فریت/پرلیت، در هوا شود. به این ترتیب، ۴ عمق متفاوت از لایه کربن زدایی برای نمونه ها به دلیل قرار گیری در ۴ زمان متفاوت در دمای آستنیته، ایجاد شد. اما بر حسب نوع عملیات حرارتی صورت گرفته در قسمت مرکزی نمونه ها ریز ساختارهای فریت/پرلیت (برای دسته اول) و مار تنزیت (برای دسته دوم) ایجاد شد.

پس از انجام عملیات حرارتیهای صورت گرفته، بـا اسـتفاده از آزمـون میکروسـختی سـنجی و رسـم پروفیل سختی، عمقهای لایه کربن زدایی شده تعیین شد. سپس نمونههـای مـورد آزمـایش بـا اسـتفاده از محول نایتال ۲٪، حکاکی شد و ریزساختارهای بدست آمـده بـا اسـتفاده از میکروسکوپ نـوری بررسی شدند.

برای اندازه گیری و بررسی سیگنالهای بارک هازون از دستگاه آزمایشگاهی که به همین منظور طراحی شده بود، استفاده شد. ساختمان و اجزای دستگاه بارک هازون شامل یک دستگاه اسیلاتور، یک دستگاه کارت اسکوپ، تقویت کننده جریان به منظور تقویت جریان خروجی از اسیلاتور، یوک مغناطیس کننده (تحریک کننده) به منظور مغناطیسی کردن نمونه، (۱۰۰۰ دور سیم با قطر ۴۵/۰ میلی متر) و کویل حس گر که به منظور دریافت سیگنالهای بارک هازون (۵۰۰ دور سیم با قطر ۴۵/۰ میلی متر) از مونه مغناطیس شده، می باشد. وظیفه این کویل حس گر، ثبت تغییرات ولتاژ ناشی از تغییرات میدان مغناطیسی در اطراف نمونه است. شکل ۱، سیم پیچهای حسگر و مغناطیس کننده و چگونگی قرار گیری انها در مجاورت قطعه را به صورت شماتیک نمایش می دهد. با توجه به اینکه شدت سیگنالهای بارک هازون در کویل حسگر در حد میکروولت است، برای پردازش بهتر این سیگنالها از دو تقویت کننده با توانایی حداکثر ۱۰۰ برابر استفاده شده است. تقویت کننده اول در مرحله قبل از فیلترینگ و تقویت کننده بعدی در مرحله بعد از فلیترینگ استفاده میشود. همچنین از فیلتر فرکانسی به منظور حذف نویزها و سیگنالهای اضافی گرفته شده از کویل حس گر، استفاده شد. شکل ۱، ساختار کلی دستگاه طراحی شده را در پژوهش حاضر نشان میدهد.

در این پژوهش از دو پارامتر بیشینه ولتاژ (شدت پیک ولتاژ سیگنالها) و موقعیت یا شدت میدان مغناطیسی پیک که به صورت نسبت شدت میدان مغناطیسی پیک نسبت به شدت میدان مغناطیسی حداکثر تعریف شده است، به منظور بررسی و تعیین خواص مورد نظر استفاده شده است.

آزمایشات غیرمخرب در فرکانس ۱۰ هرتز انجام شده و در این فرکانس، سیگنالهای بارک هازون ثبت و مورد آنالیز قرار گرفت. در ادامه به منظور آنالیز سیگنالهای بارک هازون، دادههای بدست آمده مورد پردازش قرار گرفتند.

## ۳- نتایج و بحث

۳–۱ بررسی عمق لایه کربن زدایی شده با استفاده از روش های متالو گرافی و میکروسختی سنجی در شکل ۲، تصویر میکروسکوپی مقطع عرضی از دو ریز ساختار مربوط به نمونه های کربن زدایی شده که به مدت ۲ ساعت در دمای ۵°۹۰۰ قرار داده شده و تحت دو عملیات حرارتی نرماله و کوئینچ قرار گرفته اند، نشان داده شده است. همان طور که در این شکل مشاهده می شود، در نزدیکی سطح، قسمت کربن زدایی شده سفید رنگ است که نشان دهنده نفوذ و خروج کربن از سطح در دمای ۵°۹۰۰ و در نتیجه ایجاد ریز ساختار فریتی پس از سرد شدن و گذشتن از دمای استحاله می باشد. در قسمت داخلی به طرف مغز قطعه که نفوذ و خروج کربن به بیرون صورت نگرفته، ریز ساختار فریت – پرلیتی (با مقادیر بیشتر پرلیت) برای نمونه نرماله شده (شکل ۲–الف) و ریز ساختار مار تنزیتی برای نمونه کوئینچ شده (شکل ۲–ب) مشاهده می شود.

بنابراین عمق لایه کربن زدایی عبارتست از فاصله از سطح نمونه به سمت مغز تا جایی که بخش تیره تر فازهای فریت-پرلیتی و مارتنزیتی در قسمت مرکزی نسبت به بخش روشن تر کربن زدایی شده در سطح، قابل مشاهده و تفکیک باشد. همانطور که انتظار میرود، تفکیک ناحیه کربن زدایی از مغز نمونه، مشکل و بر اساس تفاوت رنگ میباشد. به همین جهت در این پژوهش از روش میکرو سختی سنجی و رسم پروفیل سختی برای تعیین عمقهای کربن زدایی استفاده شد.

در شکل ۳، پروفیل سختی نمونهها با ریزساختارهای متفاوت که برای مدت زمانهای ۲، ۴، ۶ و ۸ ساعت در دمای ۹۰۰ درجه سانتی گراد قرار گرفته بودند، نشان داده شده است. عمقهای کربن زدایی شده برای تمامی نمونه ها پس از رسم پروفیل سختی آنها با استفاده از استاندارد ISO 3887 اندازه گیری شد و نتایج آن در جدول ۱ نشان داده شده است.

۲-۳ تحلیل سیگنالهای بارک هاوزن

جهت جداسازی ریزساختارهای کربن زدایی شده با استفاده از روش بارک هازون، نمودارهای معادل برای دادههای خام بدست آمده از سیگنالها، رسم شد (شکل ۴). همان طور که در این شکل مشاهده میشود، افزایش ضخامت لایه کربن زدایی بر روی شکل سیگنال بدست آمده، اثر گذاشته و مشخصه-های سیگنال را تغییر داده است. دو مشخصه مورد بررسی در این پژوهش یعنی موقعیت میدان مغناطیسی که در آن پیک ظاهر شده و همچنین ارتفاع پیک (بیشینه ولتاژ)، با افزایش لایه کربن زدایی شده به ترتیب کاهش و افزایش یافته است. تغییرات ایجاد شده در مشخصههای سیگنالهای بارک هاوزن برحسب عمق لایه کربن زدایی شده در شکل ۵، نمایش داده شده است.

به منظور بررسی ریزساختارهای کربن زدایی شده بعد از عملیات کوئینچ، شکل سیگنالهای بدست آمده برای نمونههای آستنیته شده در ۴ زمان مختلف بعد از پردازش، رسم شد (شکل ۶). همان طور که در این شکل نیز مشهود است، افزایش ضخامت لایه کربن زدایی بر روی پارامترهای بدست آمده از سیگنالها اثر گذاشته است. برای این نمونهها نیز موقعیت میدان مغناطیسی و ارتفاع پیک با افزایش لایه کربن زدایی شده به ترتیب کاهش و افزایش یافته است. تغییرات ایجاد شده در مشخصههای سیگنالهای بارک هاوزن برحسب عمق لایه کربن زدایی شده که رفتاری خطی را نشان میدهد، در شکل ۷، نمایش

با توجه به شکلهای ۴ و ۶ مشخص است که سیگنالهال بدست آمده از نمونههای کربن زدایی شده بعد از عملیات نرماله دارای شدت پیک بیشتری نسبت به نمونههای کربن زدایی شده بعد از عملیات کوئینچ هستند. از طرفی پیک سیگنالهای بارک هازون برای نمونههای نرماله شده در یک شدت میدان مغناطیسی کمتری نسبت به نمونههای کوئینچ شده ظاهر شده است.

به طور کلی سیگنالهای بارک هازون به خواص مغناطیسی مواد وابسته هستند و ایـن خـواص تحت تأثیر ریزساختار ماده مورد نظر است. رابطه ۱، بـرای تغییـرات میـدان مغناطیسـی در اطـراف نمونـه (δm) گزارش شده است [۱۰].

$$\delta m = B(S.\delta l) \tag{1}$$

که در این رابطه، B ضریب ثابتی مربوط به گشتاور مغناطیسی اتمها و نوع دیوارهی حوزهها، S سطح دیوارهی متحرک و δl دامنهی حرکت این دیوارهها است.

با توجه به این رابطه، در ساختار فریت-پرلیت که یک ساختار لایهای است، دامنه حرکت دیـوارهها (الله) و سطح دیوارههای متحرک S (دیوارهی حوزههای مغناطیسی که می توانند آزادانه حرکت کننـد) نسبت به ساختار فشرده و تیغچهای شکل مارتنزیتی بیشتر است. بنابراین تغییـرات میـدان مغناطیسی در اطراف نمونه با ریزساختار ماتنزیتی کمتر از نمونه با ریزساختار فریت-پرلیتی است و این امر باعث ظاهر شدن سیگنالهای بارک هازون با شدت کمتر، در نمونههای مارتنزیتی خواهد شد.

موقعیت بیشینهی سیگنالهای بارک هازون (پیک ولتاژ) نمونهای که تحت یک میدان مغناطیسی متناوب قرار گرفته است، ارتباط مستقیمی با مقدار میدان وادارندگی (Hc) نمونه مورد بررسی دارد. در نمونهی مارتنزیتی بیشینه سیگنالهای بارک هازون در یک شدت میدان مغناطیسی اعمالی بیشتری ظاهر میشود. به عبارت دیگر میتوان گفت عمده ی حرکت دسته جمعی دیواره ها در این ساختار با یک میدان مغناطیسی اعمالی بیشتری به وقوع می پیوندد. این امر به دلیل وجود چگالی بالای نابجایی ها در اثر تغییر فرم برشی ناشی از طبیعت استحاله ی مارتنزیتی، اعوجاج زیاد ناشی از محبوس شدن اتم ها در این ریز ساختار و نیز تشکیل دو قلویی ها در بین تیغه های مارتنزیتی است. این عوامل به عنوان موانعی بر سر حرکت دیواره های حوزه های مغناطیسی عمل میکنند. بنابراین برای حرکت دیواره ها به یک شدت میدان مغناطیسی بالاتری نسبت به ساختار فریت-پرلیتی نیاز است.

با توجه به نتایج بدست آمده این امر قابل مشاهده است که، در نمونه های با ریز ساختار مارتنزیتی بـه دلایل عنوان شده، بیشینه ولتاژ ظاهر شده کمتر و میدانی که در آن پیک ظاهر می شود، بیشتر میباشد.

علاوه بر این مطلب در هر دو حالت عملیات حرارتی، مشاهده می شود که با افزایش عمق لایه کربن زدایی شده، ارتفاع پیک افزایش یافته و میدانی که در آن پیک ظاهر می شود به سمت مقادیر کمتر سوق پیدا کرده است. دلیل این امر تفاوت خواص مغناطیسی ریزساختار کربن زدایی شده یعنی فاز فریت با ریزساختارهای مربوط به مغز قطعات (فریت-پرلیت و مارتنزیت) میباشد. به عبارتی هرچه ضخامت لایه کربن زدایی یا به عبارتی فاز فریت در سطح افزایش یابد، تحرک دیواره حوزههای مغناطیسی راحت تر و آزاد سازی آنها از سد موانع قفل کننده، در یک میدان مغناطیسی کمتری صورت می گیرد.

۴- **نتیجه گیری** درایـن پـژوهش از روش غیرمخـرب بـارک هـاوزن در مشخصـهیـابی نمونـههـای کـربن زدایـی شـده بـا ریزساختارهای فریت پرلیتی و مارتنزیتی بهره برده شد و نتایج زیر حاصل شد. ۱- از آنجا که با افزایش دامنهی حرکت حوزههای مغناطیسی، شدت سیگنالهای بارک هاوزن افزایش پیدا میکند، شدت پیک برای ریزساختارهای حاصل از عملیات کوئینچ دارای مقادیر کمتری نسبت به ریزساختارهای حاصل از عملیات نرماله می باشد.

۲- بنابر موانع بیشتری که در ریز ساختار مارتنزیتی نسبت به ریز ساختار فریت پرلیت وجود دارد، میدان وادارندگی در این ساختار، بیشتر میباشد. در نتیجه آزاد سازی دیواره از سد این موانع نیاز به اعمال میدان مغناطیسی بیشتری داشته و همین امر باعث می شود که سیگنالهای بارک هاوزن در ریز ساختار مارتنزیتی در شدت میدانهای بیشتری ظاهر شوند.

۳- بررسی ها نشان داد که که در هر دو حالت عملیات نرماله و کوئینچ، با افزایش عمق لایه کربن زدایی، شدت پیکها افزایش یافته اما این پیک ها در میدانهای ضعیف تری ظاهر شوند.
۴- بررسی ار تباطات خطی ایجاد شده بین عمق لایه کربن زدایی و دو پارامتر شدت پیک و موقعیت ظهور پیک، نشان داد که ضرایب همبستگی حاصل شده برای این ار تباطهای خطی برای نمونههای کربن زدایی شده با ریز ساختار مار تنزیتی مقادیر بیشتری را نسبت به نمونههای نرماله هم به دارا می با ان این پیک و موقعیت نهی نشان داد که ضرایب همبستگی حاصل شده برای این ار تباطهای خطی برای نمونه مای کربن زدایی شده با ریز ساختار مار تنزیتی مقادیر بیشتری را نسبت به نمونه های نرماله شده دارا می باشد. لذا زدایی شده با ریز ساختار مار تنزیتی مقادیر بیشتری را نسبت به نمونه های نرماله شده دارا می باشد. لذا تعیین غیر مخرب عمق لایه کربن زدایی با استفاده از روش پیشنهادی در این پیژوهش بعد از عملیات کوئینچ با دقت بالاتری صورت می گیرد.

۵- مراجع

[1] D.C. Jiles, "Review of magnetic methods for nondestructive evaluation", NDT International, 21,1988, pp. 311-319.

[2] P.L.F. Rademakers, B.H. Kolster, "Corrosion of various ferritic steels in an isothermal sodium loop system", Journal of Nuclear Materials, 1981, 97, pp. 309-318.

[3] S. Wei, Z. Jinhua, X. Liujie, L. Rui, "Effects of carbon on microstructures and properties of high vanadium high-speed steel", Materials Design, 2006, 27, pp. 58-63.

[4] D. Mercier, J. Lesage, X. Decoopman, D. Chicot, "Eddy Currents and Hardness Testing for Evaluation of Steel Decarburizing", NDT and E International, 2006, 39, pp. 652-660.

[5] S. Kahrobaee, M. Kashefi, A. Saheb Alam, "Magnetic NDT Technology for characterization of decarburizing depth" Surface and Coatings Technology, 2011, 205, pp. 4083–4088.

[7] X.J. Hao, W. Yin, M. Strangwood, A.J. Peyton, P.F. Morris, C.L. Davis, "off-line measurement of decarburization of steels using a multifrequency electromagnetic sensor", Scripta Materialia, 2008, 58, pp. 1033–1036.

[8] M. Blaow, J.T. Evans, B.A. Shaw, "Surface decarburisation of steel detected by magnetic barkhausen emission, journal of materials science", 2005, 40, PP. 5517-5520.

[9] O. Stupakov, O. Perevertov, I. Tomas, B. Skrbek, "Evaluation of surface decarburization depth by magnetic Barkhausen noise technique", Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 2011, 323, 1692-1697.

[10] O. Saquet, J. Chicois, A. Vincent, "Barkhausen noise from plain carbon steels: analysis of the influence of microstructure", Materials Science and Engineering, 1999, A269, pp. 73-82.

	زمان آستنيته (ساعت)			
نوع عمليات	٨	۶	۴	۲
	عمق لایه کربن زدایی شده (میلیمتر)			
نرماله	• /VA	•/99	•/۵۵	•/۵
كوئينچ	۰/V۵	•/9	۰/۵	•/40



شکل ۱: تصویر شماتیک دستگاه اندازه گیری سیگنالهای بارک هازون.



شکل ۲: ریز ساختار نمونههای کربن زدایی شده در دمای ۹۰۰ درجه سانتیگراد و به مدت ۲ ساعت، الف) بعد از عملیات نرماله و ب) بعد از عملیات کوئینچ.





شکل ۴: سیگنالهای بارک هاوزن حاصل شده برای نمونههای کربن زدایی شده بعد از عملیات نرماله.



شكل ۵: تغييرات بيشينه ولتاژ و موقعيت پيك برحسب عمق لايه كربن زدايي شده بعد از عمليات نرماله.



شکل ۶: سیگنالهای بارک هاوزن حاصل شده برای نمونههای کربن زدایی شده بعد از عملیات کوئنچ.



شکل ۷: تغییرات بیشینه ولتاژ و موقعیت پیک برحسب عمق لایه کربن زدایی شده بعد از عملیات کوئنچ.