

روشی نو جهت ترک‌یابی اسکله‌های نفتی، سازه و تجهیزات فلزی از روی عایق و پوشش‌های حفاظتی

پژوهش نفت

سال بیست و دوم

شماره ۷۲

صفحه ۳۷-۳۰، ۱۳۹۱

تاریخ دریافت مقاله: ۹۰/۳/۱۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۱/۸/۱۴

میرسعید صفی‌زاده^۱ و مسعود حسینیان^{۲*}

۱- دانشگاه علم و صنعت ایران - دانشکده مهندسی مکانیک

۲- شرکت پخش فرآورده‌های نفتی منطقه فارس

hasanian82@gmail.com

واژه‌های کلیدی: ترک‌یابی سازه اسکله‌های نفتی، تست‌های غیر مخرب، آزمون جریان گردابی گذرا، تحلیل سیگنالی

چکیده

یکی از مشکلات عمده و اساسی در اسکله‌های نفتی و سازه‌های فلزی، وجود ترک‌های ریز در محل اتصالات می‌باشد و همواره مهندسین نصب و نگهداری در پی یافتن راهی بوده‌اند که این عیوب را قبل از گسترش بیشتر و رسیدن سازه به وضعیت بحرانی، عیب‌یابی و ترمیم نمایند. تاکنون آزمون‌های غیر مخرب زیادی جهت عیب‌یابی این ترک‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. ولی وجود لایه‌های اکسید و رنگ و به خصوص لایه‌های عایق، این الزام هزینه بر را موجب شده که همواره سطح مورد تست باید آماده و یا سیکل تولید باید قطع شود. در این پژوهش، به کمک آزمون نوین غیر مخرب جریان گردابی گذرا، می‌توان ترک‌های ریز زیر سطوح عایق را بدون نیاز به جدا کردن و از بین بردن عایق روی سازه، با دقت بالایی تشخیص داده و حتی عمق ترک را نیز تعیین نمود. در این تحقیق، ابتدا اصول اولیه آزمون جریان گردابی گذرا توضیح داده می‌شود. سپس چندین ترک با عمق‌های متفاوت بر روی یک مقطع فلزی شبیه‌سازی شده و با اعمال لایه‌های عایق، تست ترک‌یابی انجام می‌شود. در پایان دقت نتایج تست جریان گردابی گذرا ارائه خواهد شد.

مقدمه

آزمون غیر مخرب^۱ به کارگیری علم و تکنولوژی است به گونه‌ای که بدون بر هم زدن شرایط موجود اجزای سازه‌ای، امکان آزمایش و عیب‌یابی آنها را فراهم می‌کند.

معایبی همچون ترک، مک و خوردگی که ممکن است منجر به شکست شوند، می‌تواند قبل از ساخت قطعات و اجزاء در مواد خام وجود داشته باشد. همچنین این نقص‌ها می‌تواند در طول فرآیندهای تولید، مثل شکل‌دهی، خمش، ایجاد سوراخ، ماشین‌کاری و عملیات حرارتی در قطعه ایجاد شوند. یکی از اهداف آزمون‌های غیر مخرب این است که قبل از فرستادن قطعات برای کار و سرویس‌دهی، این نقایص در محل اولیه تولید، شناسایی شوند. آزمون‌های غیر مخربی که در مراحل مختلف تولید انجام می‌شود، معمولاً

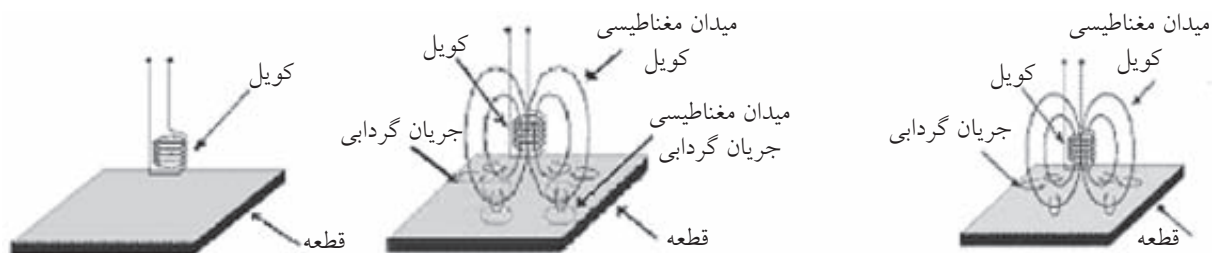
1. Non-destructive Testing

بالتر است. مقدار نفوذ در PEC نسبت به ET حدود ده برابر می‌باشد. فرکانس‌های پایین‌تری در این روش مورد نیاز است که حداکثر آن باید ۱۰۰ Hz باشد [۳]. مبنای این روش براساس ایستایی جریان‌های گردابی (ادی) در اجسام هادی است که توسط یک کویل به وجود می‌آید. بعد از قطع این جریان، تغییرات بزرگ الکترو مغناطیسی در قطعه ایجاد می‌شود. این تغییر میدان، جریان ادی را در میدان با رسانایی غیر صفر تولید می‌کند. براساس قانون لنز، جهت جریان‌های ادی مخالف جهت تغییرات میدان است. میدان جریان‌های ادی باید شبیه میدانی باشد که توسط جریان اولیه ایجاد شده است. میدان ایجاد شده توسط جریان، مشابه میدان تولید شده با کویل خواهد بود. جریان‌های ادی کارنت به وجود آمده در کویل باعث می‌شوند که جریان‌های ادی در نزدیک سطح قطعه متمرکز شوند. به دلیل عدم وجود منبع تغذیه در قطعه، جریان افت خواهد نمود. بنابراین، میدان الکترومغناطیسی تولیدی وابسته به زمان می‌باشد. به دلیل تغییرات میدان حاصل از جریان ادی با زمان، جریان گردابی دیگری در قطعه به وجود خواهد آمد. اثر این پدیده باعث انتشار جریان ادی به سوی پایین قطعه آزمایش می‌شود. نرخ تغییرات جریان گردابی شامل اطلاعات ضخامت قطعه است. متأسفانه نرخ زوال جریان ادی، وابسته به متوسط این تغییرات و پارامترهای کویل می‌باشد. شکل ۱ نحوه ایجاد جریان و میدان مغناطیسی القایی یک سیم پیچ در قطعه آزمایشی فرومغناطیس را نشان می‌دهد [۴].

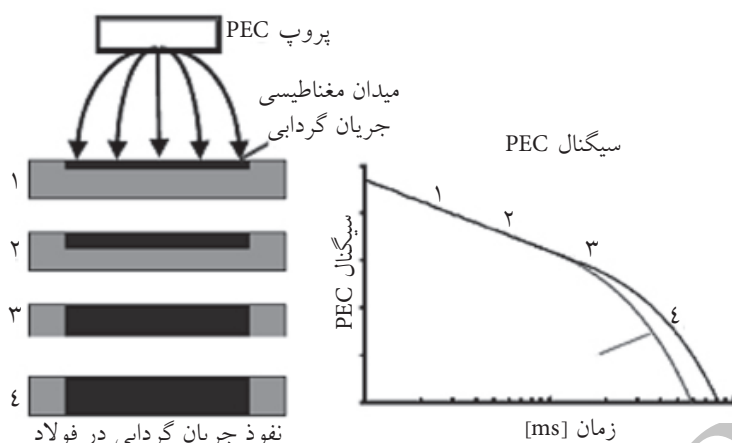
عملکرد سیستم PEC مطابق با شکل شماره ۲ به چمندمین مرحله که براساس ولتاژ کویل‌های گیرنده تقسیم‌بندی شده است، مشخص می‌گردد.

برای مصرف کنندگان قطعات و مواد مخصوصاً در موارد حساس مانند هواپیما یا نیروگاه‌ها نگرانی کمتری دارد [۱]. یکی از روش‌های مختلف آزمون غیر مخرب که از اصول الکترو مغناطیس پیروی می‌کند، آزمون جریان‌های گردابی (ادی) می‌باشد که استفاده از آن در آزمون غیر مخرب هر روزه فراگیرتر می‌شود. استفاده از روش آزمون جریان گردابی گذرا^۱ در آزمایش مواد به سال ۱۹۷۱ بر می‌گردد [۱]. از این روش در زمینه انرژی اتمی نیز استفاده شده است. به تازگی استفاده قابل توجه از این روش با رشد تکنولوژی افزایش یافته ولی هنوز به صورت تجاری در نیامده است. از مزایای مهم این روش نفوذ بیشتر، توانایی تشخیص ناپیوستگی در قطعات هواپیما و در هنگام پرواز می‌باشد. مزیت اصلی این روش در اندازه‌گیری لوله‌ها و ورق‌های نازک مثل عملیات پوشش‌دهی، شناسایی ترک‌های ریز داخل قطعه و خصوصاً خوردگی است [۲].

از جمله تفاوت‌های آزمون جریان گردابی گذرا (PEC) با آزمون جریان گردابی (ET) را می‌توان این‌گونه برشمرد که در روش ET قطعه توسط یک میدان مغناطیسی تک فرکانس تحریک می‌شود، ولی در PEC یک میدان مغناطیسی گذرا موجب تحریک قطعه می‌شود. مزیت PEC این است که محصولی به صورت یک پالس زودگذر با یک طیف حجمی فرکانس از جریان DC با میزان ۱۰۰ کیلوهرتز می‌باشد. موج مورد استفاده در ET موج پیوسته سینوسی است. به عبارتی عرض باند مورد استفاده در روش ET کوچک می‌باشد. در روش PEC دامنه فرکانسی زیاد است. این عرض با طول پالس نسبت عکس دارد که این امر امکان کار با سیستم چند فرکانس را فراهم می‌کند. به عبارتی ولتاژ مورد استفاده در سیستم PEC نسبت به ET



شکل ۱- نحوه ایجاد جریان و میدان مغناطیسی القایی یک سیم پیچ در قطعه آزمایشی فرومغناطیس [۴]



شکل ۲- گراف نتایج سیستم PEC روی نمونه تست [۵]

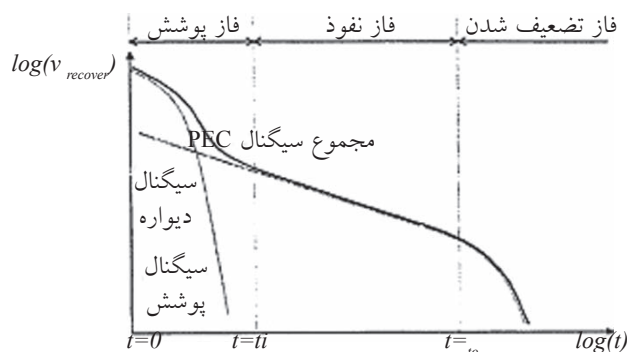
انجام شده قبلی امکان پذیر می باشد. آزمون (PEC) نیز مانند هر روش دیگر معایبی دارد از جمله اینکه این روش به دلیل به کار بردن اصول مغناطیسی، تنها قادر به بازرسی مواد رسانا است و پروب باید به سطح دسترسی داشته باشد و همچنین آموزش و مهارت در این روش نسبت به دیگر روش ها بیشتر احساس می گردد [۴]. تغییرات فاصله بین پروب و نمونه مورد تست که باعث تغییر ظرفیت القاء مغناطیسی می شود را Lift-off می نامند [۷].

سه پارامتر تأثیرگذار در PEC عبارتند از: ۱- پیک دامنه نمودار دریافتی، ۲- زمن رسیدن به پیک دامنه و ۳- زمان عبور از مقدار صفر نمودار.

بزرگی (حجم مقدار) پیک دامنه، متناسب با میزان کاهش فلز است و در حقیقت پیک دامنه به موقعیت و اندازه عیب بستگی دارد [۸].

در سیگنال PEC انطباق از دو منبع مشاهده می شود. روکش عایق و دیواره لوله میدان های مغناطیسی تولید شده در این دو قطعه، می تواند به صورت خطی به میدان مغناطیسی کل درقطعه اضافه گردد. دامنه سیگنال روکش نسبت به سیگنال دیواره لوله بلندتر است، چون به پروب نزدیک تر است. زوال سیگنال روکش نسبت به دیواره سریع تر روی می دهد، چون ضخامت روکش نسبت به ضخامت لوله بسیار کمتر است (شکل شماره ۳).

روش جدید (PEC) نسبت به دیگر روش های آزمون غیرمخرب، مزایای عمده ای دارد که می توان به نفوذ بیشتر در تشخیص ناپیوستگی ها، بررسی لوله ها و ورق های نازک اشاره کرد. به دلیل اینکه در روش PEC فرکانس ها در محدوده وسیعی قرار دارند، شناسایی دقیق عیوب (مکان و اندازه)، ثبت کلیه اطلاعات پردازش عیوب نسبت به ابعاد و مکان و همچنین قابلیت ارزیابی و مقایسه با تست های



شکل ۳- فازهای چهارگانه تست PEC [۶]

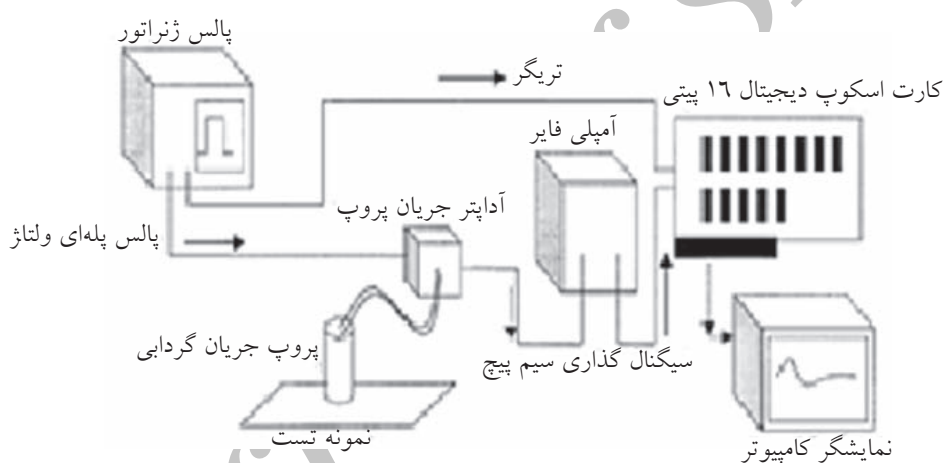
روی آن انجام داد. شماتیک سیستم آزمون (PEC) و نمای اصلی سیستم آزمون (PEC) در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است.

بحث و تحلیل نتایج

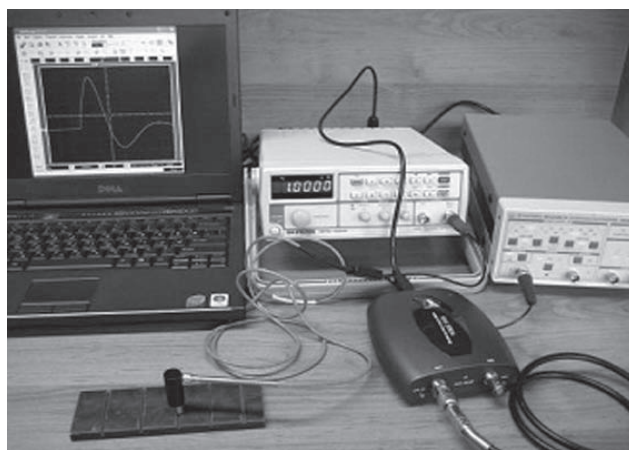
سیگنال‌های مربوط به هر یک از ترک‌ها (شکل ۶) را به صورت جداگانه از سیگنال مرجع (سیگنال مربوط به ضخامت اولیه قطعه فلزی) کسر نموده و نمودار سیگنال اختلافی را مطابق شکل ۷ رسم می‌کنیم.

سیستم آزمایش و نحوه عملکرد

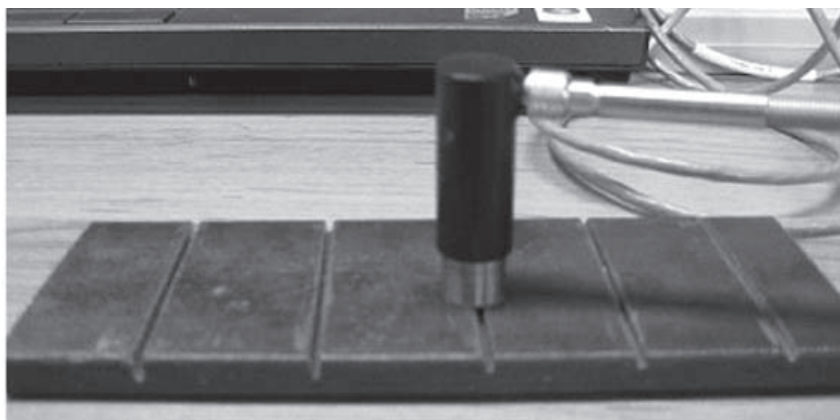
طرز چیدمان سیستم آزمون جریان گردابی گذرا به این صورت است که ابتدا از فانکشن ژنراتور جهت تولید پالسی از سیگنال استفاده می‌کنیم. سیگنال‌های تحریک جهت القاء مغناطیسی توسط پروپ (PEC) وارد قطعه مورد تست می‌شود. پروپ، سیگنال برگشتی را جهت تقویت سیگنال وارد آمپلی فایر می‌کند و در نهایت سیگنال تقویت شده به یکی از کانال‌های کارت اسکوپ داده می‌شود. با اتصال کارت اسکوپ به کامپیوتر می‌توان سیگنال تولیدی را ذخیره نمود و در مراحل بعدی فرآیند تحلیل سیگنالی را



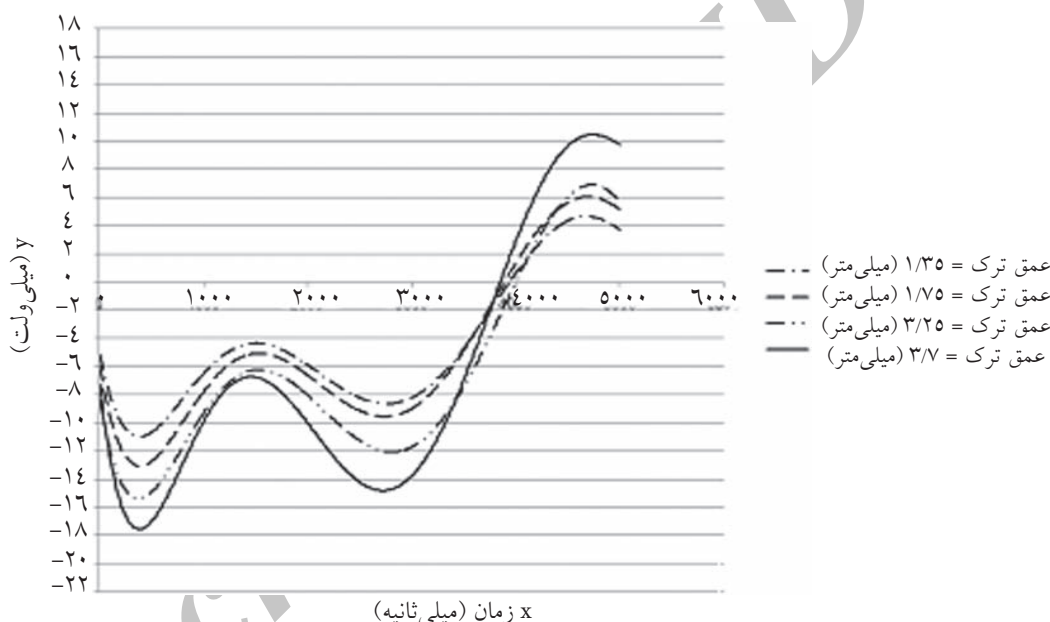
شکل ۴- شمای کلی سیستم آزمون جریان گردابی گذرا



شکل ۵- سیستم و تجهیزات آزمون جریان گردابی گذرا



شکل ۶- ترک‌های با عمق مشخص جهت کالیبراسیون [۷]



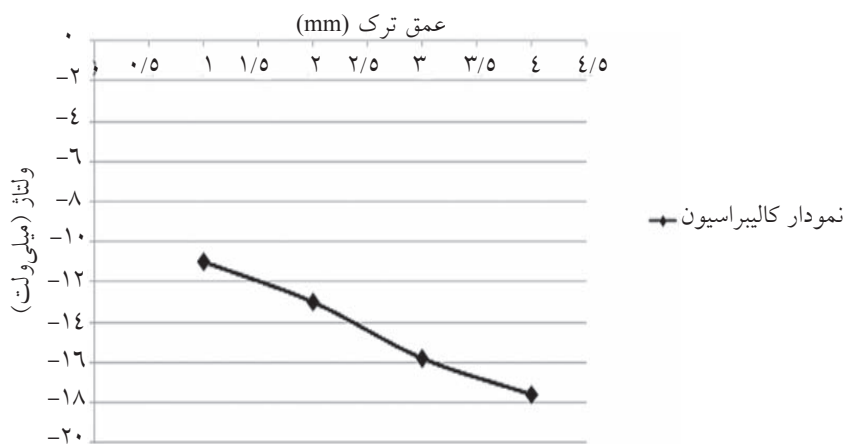
شکل ۷- سیگنال‌های مختلفی از سیگنال در نقطه مرجع

اختلافی را یادداشت می‌کنیم. نهایتاً با استفاده از دامنه‌های خوانده شده و انجام میان‌یابی، می‌توان میزان ترک را با دقت بالایی تعیین نمود که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است.

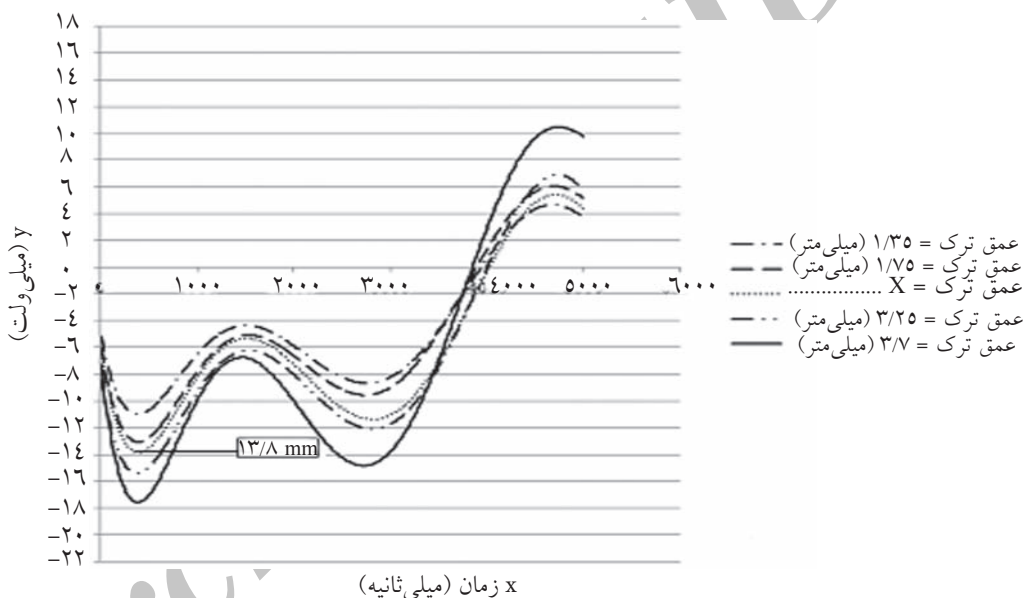
تحلیل نتایج با اعمال لایه‌های عایق

در این مرحله، تست ترک‌یابی از روی عایق مورد بررسی قرار می‌گیرد. عایق مورد استفاده از عایق‌های نوع سرد با ضخامت ۱ میلی‌متر می‌باشد که جهت محافظت سازه‌های فلزی کاربرد دارد. طی سه مرحله، سه لایه عایق اعمال و در هر مرحله نتایج مورد بررسی قرار می‌گیرد. شکل ۱۰ اعمال سه لایه عایق را نشان می‌دهد.

به منظور کالیبره کردن سیستم آزمایشی از چهار ترک مختلف روی قطعه فولادی استفاده می‌شود و ترک ۲/۴ میلی‌متر جهت راستی‌سنجی و آزمایش سیستم تست در این مرحله استفاده نمی‌شود. همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، با تغییر عمق ترک‌ها می‌نیم دامنه سیگنال اختلافی تغییر می‌کند و به سهولت می‌توان سیگنال ترک‌های متفاوت را از هم تمیز داد. برای کالیبره کردن سیستم، ترک‌های مختلف قطعه را با ارائه یک رابطه، به می‌نیم دامنه سیگنال‌های مختلفی مرتبط می‌کنیم (شکل ۸). سپس برای راستی‌سنجی سیستم از ترک به عمق ۲/۴ میلی‌متری استفاده می‌شود. همان‌گونه که در شکل ۹ نشان داده شده است، سیگنال‌های PEC مربوط به این ترک را از سیگنال مرجع کسر نموده و می‌نیم دامنه سیگنال‌های



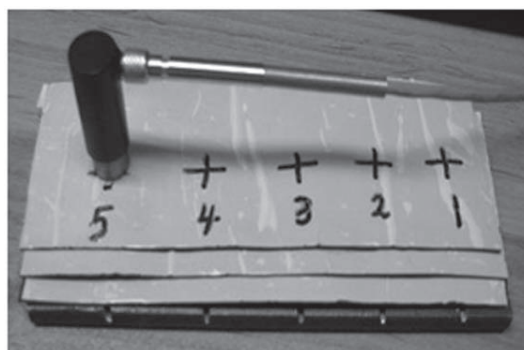
شکل ۸- نمودار سیگنال‌های اختلافی در نقاط کالیبراسیون بر حسب می نیمم دامنه



شکل ۹- به دست آوردن می نیمم دامنه سیگنال اختلافی ترک مجهول

جدول ۱- دقت اندازه‌گیری دستگاه PEC در تشخیص ترک‌یابی و عمق ترک

۲/۴	عمق ترک واقعی
۲/۲۸۳۹	عمق ترک تخمین زده شده توسط آزمون جریان گردابی گذرا
۴/۸۳۷۵	درصد خطای دستگاه آزمون جریان گردابی گذرا



شکل ۱۰- تست ترک‌یابی از روی سه لایه عایق

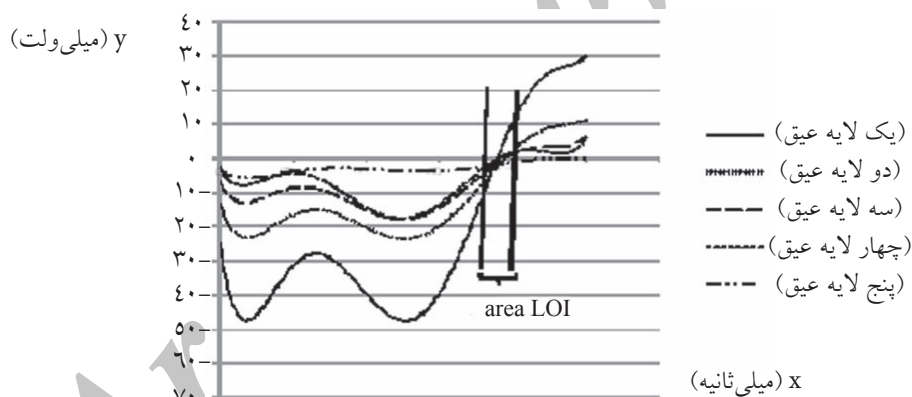
تخمین عمق ترک در دیگر نقاط مربوط به حالت سازه فلزی با عایق در نظر گرفت (شکل ۱۲).

نتیجه‌گیری

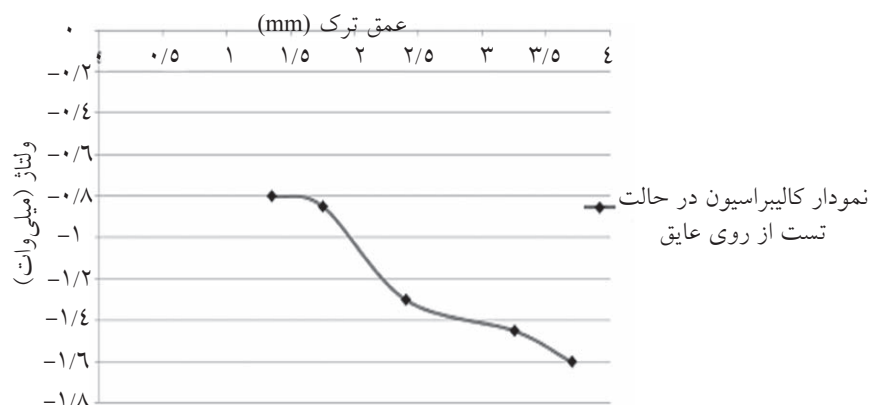
همان طور که در جدول ۲ مشاهده گردد. میانگین درصد خطا حدود ۸ درصد می‌باشد که از جمله علل بارز این میزان درصد خطا می‌توان به برخی نویزهای ناخواسته، دستی بودن پروسه آزمایش و اعمال فشارهای متفاوت در استفاده از پروپ اشاره نمود. در صورت استفاده از پروپ قوی‌تر با توانایی دریافت میزان ولتاژ بیشتر، میدان قوی‌تری خواهیم داشت و با پایین آوردن فرکانس پالس ولتاژ اعمالی، می‌توان جریان ادی قوی‌تری داشت، که در این صورت از درصد خطای حاضر تا میزان زیادی کاسته می‌شود.

پس از انجام آزمایش‌ها متعدد و بررسی نتایج تست، این نتیجه حاصل شد که به هر میزان تعداد لایه‌های عایق را اضافه نماییم، کلیه سیگنال‌های اختلافی حاصل، از یک نقطه یا محدوده‌ای از نقاط می‌گذرند که این نقطه را (Lift-Off Intersection (LOI می‌گویند (شکل ۱۱).

اگر به منظور تحلیل سیگنال‌های اختلافی از دامنه سیگنال در نقطه LOI استفاده کنیم، می‌توان اطمینان داشت که اضافه نمودن لایه‌های عایق تأثیری در دامنه سیگنال اختلافی نخواهد داشت و دامنه به دست آمده برای عایق با ضخامت‌های متفاوت را می‌توان با نمودار مرجع مقایسه نمود. در زیر نمودار می‌نیم دامنه سیگنال‌های اختلافی در حالت سازه فلزی بدون عایق و با اضافه نمودن عایق نمایش داده شده است. نمودار می‌نیم دامنه سیگنال اختلافی ترک بدون عایق را می‌توان به عنوان نمودار کالیبراسیون برای



شکل ۱۱- یافتن نقطه LOI



شکل ۱۲- نمودار می‌نیم دامنه سیگنال اختلافی در حالت ترک بدون عایق در نقطه LOI

جدول ۲- دقت اندازه‌گیری دستگاه PEC در تشخیص ترک و میزان عمق ترک از روی ضخامت‌های مختلف عایق

عمق ترک واقعی	عمق ترک تخمین‌زده شده	با تست جریان گردابی گذرا	درصد خطا
	با اعمال یک لایه عایق	۲/۴۲۷۶	۱/۱۵
۲/۴ میلی‌متر	با اعمال دو لایه عایق	۲/۶۰۸۷	۸/۶۹
	با اعمال سه لایه عایق	۲/۶۷۷۴	۱۱/۵۵
	با اعمال یک لایه عایق	۲/۸۴۲۷	۱۲/۵۳
۳/۲۵ میلی‌متر	با اعمال دو لایه عایق	۲/۹۴۹۱	۹/۲۵
	با اعمال سه لایه عایق	۳/۰۷۰۵	۵/۵۲

مراجع

- [۱]. رضا دادخواه س. و دادخواه ا.، تکنولوژی بازرسی جوش، نشر آزاده، ۱۳۸۵.
- [2] McMaster R. C., *Nondestructive testing handbook*, 2nd ed., vol Testing, 1986.
- [3] Tian G. Y., and Sophian A., "Defect classification using a new feature for pulsed eddy current sensors", *NDT & E International*, vol. 38(1), pp. 77-82, January 2005.
- [4]. Safizadeh M. S., Lepine B. A., Forsyth V. D. S and Fahr A., "Time-frequency analysis of pulsed eddy current signals", *Journal of Nondestructive Evaluation*, Vol.20, No. 2, PP. 73-86, June 2001.
- [۵]. صفی زاده م.س. و حسینیان م.، شبیه‌سازی مکانیزم تست خوردگی، تعیین و تشخیص میزان خوردگی لوله‌های گاز از روی عایق با به کارگیری آزمون غیر منخراب جریان گردابی گذرا، مجله علمی پژوهشی نفت، شماره ۶۳، صفحه ۳-۱۱.
- [۶]. صفی زاده م.س. و حسینیان م.، کاربرد آزمون جریان گردابی گذرا جهت تست ضخامت سنجی مقاطع، کنفرانس ساخت و تولید بابل، ۱۰-۱۲ اسفند ۱۳۸۸.
- [7]. WWW. Ndt.org excitrd 6 Oct 2009.
- [8]. Riccardo Scottini Herman J. "Inspection of Coated Subsea piping and risers Quakkelsteijn Applus RTD", *American Society for Nondestructive*, pp. 4-27. 2007.
- [9]. Tian G Y., and Sophian A., "Reduction of lift-off effects for pulsed eddy current NDT", *NDT & E International*, pp. 319-324, 2004.
- [10]. Giguere S., Lepine B. A., and Dubois J. M. S. "Pulsed Eddy Current Technology: Characterizing Material Loss with Gap and Lift-off Variations", *Res Nondestr Eval*, pp. 119-129, 2001.