

۲۷ و ۲۸ آبان ۱۳۹۳
مرکز همایش‌های بین‌المللی شهید بهشتی، تهران

18 - 19 Nov, 2014
Shahid Beheshti Conference Center, Tehran, Iran

www.imatconf.com
info@imatconf.com



iMat
Conference 2014

3rd International Engineering
Materials & Metallurgy Conference

هشتمین همایش مشترک و سومین کنفرانس بین‌المللی مواد مهندسی و متالورژی

(انجمن مهندسیین متالورژی ایران و انجمن علمی ریخته‌گری ایران)

شماره گواهی: ۹۳۰۸۵۴۱

گواهی ارائه مقاله

پدینوسید کواچی می‌شود مقاله

ارزیابی قابلیت اطمینان و حساسیت آزمون غیرمخرب ملچ‌ناقد در تعیین عیوب سطحی اتصالات جوشکاری شده

نویسنده اول: فرهاد کلان، نویسنده دوم: ابوالفضل ذوالفقاری

در بخش پوستر هشتمین همایش مشترک و سومین کنفرانس بین‌المللی مواد مهندسی و متالورژی

مورخ ۲۷ و ۲۸ آبان ماه سال ۱۳۹۳ پذیرفته شده است.

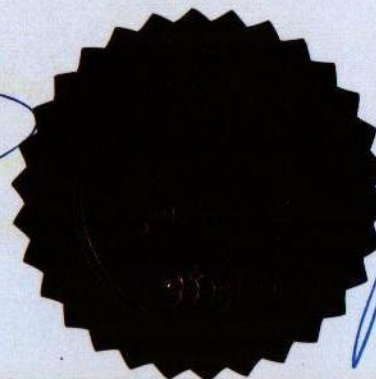
موقیت روز افزون شماره ۱ عرصه‌های علمی و اجرایی کشور عزیزمان آرزو مندیم

دکتر فرشید مالک

دبیر کنفرانس

دکتر امیر عبدالزاده

دبیر علمی کنفرانس



ارزیابی قابلیت اطمینان و حساسیت آزمون غیرمخرب مایع نافذ در تعیین عیوب سطحی اتصالات جوشکاری شده

ارائه دهنده مقاله: فرهاد کلاهان

فرهاد کلاهان^۱، ابوالفضل ذوالفقاری^۲

گروه مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

kolahan@um.ac.ir: ایمیل مسئول مقاله

چکیده

آزمون های غیرمخرب مجموعه عملیات بازرسی و یا آزمون قطعات بدون تاثیر بر کارایی آنها را آزمون های غیرمخرب است. امروزه به همین دلیل، استفاده از این نوع آزمون ها به طور چشمگیری در شاخه های زیادی از صنایع از قبیل سازه های ساختمانی، خودروسازی و پتروشیمی در حال گسترش است. هدف اصلی به کارگیری آنها شناسایی و توصیف عیوبی است که در قطعات در مراحل تولید و یا در حین به کارگیری ایجاد می گردند. یکی از معروف ترین این روش ها آزمون مایع نافذ است که به طور گسترده به منظور کشف عیوب سطحی قطعات به کار گرفته می شود. در این مقاله، قابلیت اطمینان و حساسیت آزمون غیرمخرب مایع نافذ مرئی در شناسایی عیوب سطحی اتصالات جوشی به دست آمده است. به این منظور، تعدادی قطعات جوشکاری شده که تعدادی از آنها دارای عیوب سطحی باشند، تهیه شد. سپس ارزیابی های میکروسکوپی به منظور تعیین مشخصات طول و تعداد عیوب انجام گرفت در ادامه با اجرای آزمون غیرمخرب مایع نافذ مرئی، مشخصات عیوب قطعات توسط این آزمون نیز تعیین گردید. با مقایسه و ارزیابی های آماری نتایج حاصل از این دو، مشخص شد که برای بازه طولی ۰,۵ تا ۵ میلی متر، آزمون قادر است عیوبی با اندازه ۲,۵۸ را با احتمال ۹۰ درصد تشخیص دهد که این عدد برای احتمال تشخیص ۵۰ درصد برابر ۲,۰۵ میلی متر است. هر چند کوچکترین عیب کشف شده ۱,۷ میلی متر است، بزرگترین اندازه عیب از دست رفته ۲,۲ میلی متر است.

واژه های کلیدی: آزمون غیرمخرب، مایع نافذ، قابلیت اطمینان، جوشکاری، عیوب سطحی

^۱ - دانشیار گروه مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

^۲ - دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

Reliability and sensitivity evaluation of liquid penetrant nondestructive testing in surface defect detection for welded components

Paper Presenter: Farhad Kolahan

Farhad Kolahan^B, Abolfazl Zolfaghari^C

Department of Mechanical engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Corresponding Email: kolahan@um.ac.ir

Abstract

Nondestructive testing is a series of inspection or examination without any effects on performance of work pieces. The main aim of its application is defect detection and characterization in producing of components or In-services of them. One of well-known the methods is liquid penetrant testing (PT) which is widely applied to find surface flaws of products. In this paper, reliability and sensitivity of visible type of PT in surface defect detection of welded components have been obtained. To reach this, some components were welded which some of them had surface defects. Subsequently, some microscopic evaluations to determine length and number of defects were done. Then, by conducting visible PT, defect characterizations were performed. For defect length between 0.5mm to 5 mm, Comparison and statistical analysis revealed that the exam is capable to find flaws with 2.58 mm and 2.05 mm in length by 90% and 50% probability of detection, respectively. However, the smallest defect detected is 1.7 mm, the largest missed is 2.2 mm.

Key Words: Nondestructive testing, Liquid penetrant, Reliability, Welding, Surface defects

¹ Associate Professor of Mechanical engineering department, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad.

² Msc Student of Mechanical engineering department, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad.

مقدمه

آزمون‌های غیر مخرب به آزمایش‌هایی گفته می‌شود که برای انجام آنها نیازی به تخریب قطعه و نمونه برداری از آن نیست. به کمک آنها میتوان عیوب سطحی و داخلی قطعات از قبیل تخلخل، حفره‌های داخلی، ترک، ناپیوستگی‌های سطحی، ناخالصی‌ها و انواع عیوبی را که در حین فرایند تولید و یا در حین کار تحت شرایط محیط کار در قطعه شکل می‌گیرند، شناسایی نمود. با توجه به این قابلیت‌ها، این آزمون‌ها می‌توانند نقش بسزایی در جلوگیری از شکست قطعه و تضمین کیفیت آن ایفا نمایند که این مسئله سبب به کارگیری گسترده آنها در صنایع گوناگون شده است (هلیر، ۲۰۰۳؛ انجمن ساخت آمریکا (ASM)، ۱۹۹۷). انتخاب روش آزمون به عواملی از قبیل جنس قطعه مورد بررسی، اندازه، موقعیت، نوع عیب و همچنین درجه اطمینان در ارتباط با قابلیت روش مورد نظر در آشکار سازی عیب مورد نظر بستگی دارد. مهم‌ترین روش‌های آزمون‌های غیرمخرب را می‌توان به گروه‌های زیر طبقه بندی نمود:

(ریاحی و فرجی، ۱۳۸۴)

مایع نافذ (Liquid Penetrate – PT)

چشمی (Visual – VT)

فراصوت (Ultrasonic – UT)

ذرات مغناطیسی (Magnetic Particle – MT)

پخش آوایی (Acoustic Emission Testing – AE)

جریان گردابی (Eddy Current Testing – ET)

حرارت نگاری مادون قرمز (Infrared Thermography - TT)

پرتونگاری (Radiographic Testing – RT)

اعتماد پذیری هر روش آزمون غیرمخرب معیار مناسبی به منظور ارزیابی آن روش در تعیین مشخصات عیوب با نوع، شکل و اندازه خاصی است. این معیار به صورت احتمال تشخیص عیب بیان می‌گردد که نشان دهنده نسبتی از عیوب با مشخصات مورد نظر است که روش مورد نظر توانسته است آنها را تشخیص دهد. هر چه این احتمال بیشتر شود، اعتبار روش به کار رفته بیشتر خواهد شد. (بری هال و ورنون جان، ۱۹۸۸؛ راج، سوبرامانیا، جایاکومار، ۲۰۰۰) محاسبه و ارزیابی قابلیت اطمینان آزمون‌های غیرمخرب و بیان آن به صورت کمی تاثیر فراوانی در تعیین توالی مناسب دوره‌های تعمیر و نگهداری قطعات و سازه‌ها بر اساس قابلیت اطمینان، تضمین کیفیت، جلوگیری از شکست قطعه و همچنین تعیین تخمین عمر باقی مانده قطعات دارد. (تنگ، هیو، آنتونیو ۲۰۰۵) این مساله سبب شده است که پروژه‌ها و تحقیقات گوناگونی به منظور بررسی آزمون‌های مختلفی از این دیدگاه توسط موسسات گوناگونی از قبیل PISC^۳ و ABENDE^۴ انجام گیرد. NTIAC^۵ از مراکزی است که در این موضوع تحقیقات جامعی انجام داده است و نتایج را به صورت کتابی مرجع جهت استفاده مهندسی به منظور تحلیل و ارزیابی قابلیت‌های آزمون‌های غیرمخرب رایج در صنعت ارائه دادند. (رومل و مارترکانین ۱۹۹۷) کتاب مذکور بیش از ۴۰۰ نمودار احتمال کشف (POD) آزمون‌های غیر مخرب (VT, PT, MT, UT, ET, RT) را تحت شرایط خاص و برای مواد محدودی ارائه داده است. در این راستا، از محققینی که در این زمینه تحقیقاتی را انجام داده اند، می‌توان به (کاروالهو، ربلو، سیلوا، سگریلو، ۲۰۰۶) اشاره نمود. آنها به ارزیابی و مقایسه قابلیت اطمینان آزمون غیرمخرب فراصوتی به

³ Program for Inspection of Steel Components

⁴ Brazilian Association of Nondestructive Testing

⁵ Nondestructive Testing Information Analysis Center

روش دستی و خودکار در تعیین عیوب عدم ذوب^۶ و عدم نفوذ جوش^۷ لوله جوشکاری شده پرداختند. طبق تحقیقات آنها نقش عوامل انسانی بر نتایج آزمون و قابلیت اطمینان آزمون به روش دستی پررنگ تر است. همچنین بر اساس مطالعات آنها، قابلیت اطمینان در تعیین عیب عدم ذوب و عدم نفوذ جوش برای روش دستی به ترتیب ۶۳٪ و ۷۷٪ است که این مقادیر برای روش اتوماتیک ۱۰۰٪ است. در تحقیق آنان همچنین به لزوم توجه به هزینه های اجرای آزمون با توجه به سطح قابلیت اطمینان مورد انتظار از آزمون نیز اشاره شده است. (سیمسیر و آنکارا، ۲۰۰۷) به مقایسه قابلیت اطمینان و حساسیت آزمون های غیرمخرب مایع نافذ و جریان گردابی به منظور تشخیص عیوب دیسک های کمپرسور پرداختند. بر اساس یافته های آنان، در آزمون جریان گردابی ۴۸٫۳٪ عیوب توسط آزمون تشخیص داده شده و ۵۱٫۵٪ تشخیص داده نشده اند و اشتباه در تشخیص نیز ۹٫۱٪ است. علاوه براین، ماکزیمم طول ترک از دست رفته برای این آزمون ۰٫۹۵ میلیمتر بدست آمده است. برای آزمون مایع نافذ به روش فلورسنت این نتایج عبارتند از: ۱۸٫۲٪ تشخیص داده شده، ۸۱٫۸٪ از دست رفته و اشتباه در تشخیص ۳٪، ماکزیمم طول ترک از دست رفته نیز ۱٫۷ میلیمتر است. (ناس، بالاسوبرامانیان، کریشنامورسی، نارایانا، ۲۰۱۰) به ارزیابی قابلیت اطمینان آزمون غیرمخرب فراصوتی به روش زمان پرواز پراش (TOFD) و ترسیم آزمایشگاهی منحنی های احتمال کشف (POD) مربوط به این آزمون و بررسی اثر زاویه انتشار امواج از پرآب و فاصله دو پرآب از یکدیگر بر منحنی POD پرداختند. (علی، بالینت، تمپل، لیورز، ۲۰۱۲) نیز روشی جدید به منظور تعیین قابلیت اطمینان در تفسیر عیوب تشخیص داده شده توسط آزمون غیرمخرب فراصوتی به روش دستی ارائه دادند.

هر چند تحقیقات در این زمینه همچنان ادامه دارد به جهت آن که شرایط آزمون ها و همچنین مواد مورد آزمون گسترده است، هر گونه تحقیقات در این زمینه می تواند تاثیر زیادی بر انتخاب آزمون مناسب و سایر کاربردهایی که مبتنی بر در داشتن قابلیت اطمینان است، داشته باشد. در این راستا، علیرغم اهمیت فراوان اتصالات جوشکاری شده از جهت عدم وجود عیوب سطحی در آنها، تحقیق جامعی در زمینه احتمال کشف عیوب سطحی توسط آزمون غیرمخرب مایع نافذ انجام نگرفته است.

در این مقاله به ارزیابی قابلیت اطمینان آزمون غیرمخرب مایع نافذ به روش مرئی (visible) در تعیین عیوب سطحی اتصالات جوشی قطعات از جنس فولاد CK45 پرداخته شده است. به منظور تحلیل داده های حاصل از آزمایشاتی که جهت یافتن قابلیت اطمینان آزمون های غیر مخرب بدست آمده اند از بسته نرم افزاری mh 1823 (آنیس، ۲۰۱۳) که تحت نرم افزار تحلیل آماری R نوشته شده، بهره گرفته شده است. بر اساس نتایج آزمایشات، برای اندازه عیوب در بازه ۰٫۵ تا ۵ میلی متر، در حالی که حداکثر طول عیب از دست رفته ۲٫۲ میلی متر است، کوچکترین عیب کشف شده ۲٫۲ میلی متر است. آزمون مورد نظر توانایی تشخیص عیوب با اندازه ۲٫۵۸ میلی متر را با احتمال ۹۰ درصد دارد. این اندازه برای احتمال تشخیص ۵۰ درصد برابر ۲٫۰۵ میلی متر خواهد بود.

⁶ Lack of fusion (LOF)

⁷ Lack of Penetration (LOP)

آزمون غیرمخرب مایع نافذ

این آزمون تنها به منظور تشخیص و آشکارسازی عیوبی که به سطح قطعه راه پیدا کرده اند مورد استفاده قرار می گیرد که اساس آن بر خاصیت موینگی مایعات استوار است. امروزه این روش به عنوان یک روش صنعتی مهم به منظور شناسایی نواقصی از قبیل انواع ترک های سطحی و حفره های گازی و در گستره وسیعی از قطعات کوچک و بزرگ با شکل های ساده و پیچیده در صنایع به کار گرفته می شود. یکی از مزایای این آزمون قابلیت به کارگیری آن در محدوده گسترده ای از مواد فلزی و غیرفلزی است. در این زمینه تنها محدودیت آن در رابطه با مواد متخلخل، جاذب رطوبت و ایجاد خوردگی و پوسیدگی در مواد به دلیل حساسیت به مواد آزمون است. با توجه به اهداف آزمون و خصوصیات مواد به روش های مختلفی اجرا می شود اما تمام آنها شامل مراحل زیر است:

- آماده سازی سطح و تمیز کاری: سطوح قطعات معمولا توسط لایه هایی از قبیل چربی ها، روغن، رنگ، اکسیدهای سطحی پوشیده شده اند که به دلیل مسدود نمودن دهانه عیوب از ورود مایع نافذ به داخل عیوب سطحی جلوگیری می کند. علاوه بر این، مواد آلاینده سطح ممکن است نشانه هایی ایجاد کنند که باعث گمراهی در تفسیر درست عیوب سطحی قطعه شوند. به همین دلیل شرایط سطح حساسیت آزمون را به شدت تاثیر قرار می دهد. بنابراین از برخی مایعات حلال که به این منظور تولید شده اند، استفاده نمود تا سطح قطعه کاملا تمیز شود.
- اعمال مایع نافذ به سطح مورد ارزیابی: مایع نافذ به صورت یکنواخت به سطح قطعه اعمال می شود که به روی سطح قطعه پخش شده و در ناپیوستگی های سطح به دلیل خاصیت موینگی نفوذ می کنند. مواد نافذ در دو دسته موجود هستند: فلورسان یا مرئی. مواد نافذ فلورسان در حضور نور سیاه درخشش سبز/زرد از خود ساطع می کنند در حالی که مواد نافذ مرئی قرمز روشن بوده و در نور سفید با چشم قابل دید می باشند. پس از اعمال مایع نافذ زمانی که به (Primary dwell time) معروف است، باید به آن داده شود تا بتواند به خوبی در ناپیوستگی های سطح نفوذ کند.
- زدودن مایع نافذ اضافی: پس از سپری شدن زمان کافی، مایع نافذ از روی سطح قطعه پاک می شود.
- استفاده از ماده آشکارساز: مایع نافذی که در ناپیوستگی ها باقی مانده با استفاده از خاصیت جذب یک ظاهر ساز بیرون کشیده می شود. ظاهر سازی که برای این کار استفاده می شود معمولا ماده پودری سفید است که خاصیت جذبی بالایی دارد. ظاهر ساز به شکل پوششی نازک روی سطح قرار می گیرد و وقتی نافذ به داخل ظاهر ساز کشیده می شود یک نشانه مرئی ایجاد می کند که تقریبا اندازه و شکل ناپیوستگی را مشخص می کند. به دلیل آن که کشیده شدن مایع نافذ به داخل ماده آشکارساز نیاز به سپری شدن زمان دارد، در این حالت نیز باید زمان مناسب که به (Secondary dwell time) نامیده می شود سپری شود تا نشانه ها به خوبی آشکار شوند.



شکل ۱- نشانه های ظاهر شده بر روی قطعه در آزمون مایع نافذ

- بررسی و تفسیر نشانه‌های ظاهر شده: پس از سپری شدن زمان مناسب، چنانچه مایع نافذ از نوع فلورسنت باشد به منظور تفسیر عیوب نیاز به چراغ UV است، حال آنکه اگر نوع مایع نافذ مرئی (Visible) باشد، بدون نیاز چراغ مذکور، در نور اتاق هم می‌توان اگر کافی باشد می‌توان به ارزیابی پرداخت. شکل (۱) نمونه‌ای از نشانه‌های ظاهر شده این آزمون را نشان می‌دهد.
- تمیزکاری بعد از بازرسی: قطعات باید پس از بازرسی تمیز شوند. زدودن ظاهرساز بعد از مدت کمی از استفاده آن راحت‌تر از وقتی است که به مدت زیادی روی قطعه بماند. در بیشتر موارد ظاهرسازهای خشک را می‌توان با دمش هوای فشرده به راحتی تمیز کرد. دیگر انواع ظاهرسازها را می‌توان با استفاده از شوینده‌ها تمیز کرد.

تحلیل آماری داده‌های آزمون‌های غیرمخرب

قابلیت اطمینان و حساسیت برای آزمون غیرمخرب به ترتیب به صورت احتمال تشخیص عیب و قابلیت‌های تشخیص آنها تعریف می‌شوند. به منظور تعیین قابلیت اطمینان توسط داده‌های حاصل از آزمایشات، پاسخ‌های حاصل از آزمون باید به گونه‌ای باشند که به صورت کمی بیان شوند که با توجه نوع خروجی به صورت باینری (Binary response) یا عددی (Quantitative Signal) باشد، دو شیوه مجزا پیشنهاد شده است. در این تحقیق به جهت آنکه از روش باینری بهره گرفته شده است، این روش شرح داده می‌شود. نتایج آزمون‌های غیرمخرب در این شیوه به چهار دسته تقسیم می‌شوند که عبارتند از: ۱- عیبی وجود داشته باشد و آزمون آن را تشخیص دهد. (True Positive (T.P) or Hit) ۲- عیبی وجود دارد ولی آزمون آن را شناسایی نکرده است. (False Negative (F.N) ۳- عیبی وجود ندارد ولی آزمون آن را به اشتباه عیب نشان می‌دهد. (False Positive (F.P) or False Call) ۴- عیبی وجود ندارد و آزمون نیز تشخیص نداده است. (True Negative (T.N) No Error)

با توجه به این موضوع، احتمال کشف به صورت تعداد عیوب مشخص شده به تعداد کل عیوب تعریف می‌شود و نرخ False Call به صورت تعداد نشانه‌هایی که تشخیص داده شده اند به تعداد کل نشانه‌ها بیان می‌گردد. احتمال کشف (POD) معمولاً به صورت تابعی از اندازه عیب و ۰.۹۵ باند اطمینان پایین روی منحنی POD به دست می‌آید و به صورت منحنی ترسیم می‌شود. از مرسوم‌ترین شیوه‌ها، ترسیم منحنی POD توسط یک بار آزمون برای هر عیب است. در این روش چندین قطعه که شامل محدوده‌ای از طول عیب هاست یک بار آزموده می‌شوند و حد بالا و پایین اندازه عیوبی که مورد نظر است به تعدادی بازه تقسیم می‌شود و احتمال تشخیص برای هر زیر بازه با مشخص بودن تعداد عیوب کشف شده و از دست رفته تعیین می‌شود. در پایان، نتایج به منظور تعیین منحنی POD به صورت تابعی از طول عیب با در نظر گرفتن محدود اطمینان به کار گرفته می‌شوند. باید توجه داشت که به دلیل آنکه داده‌ها به صورت گسسته جمع‌آوری می‌شوند به منظور تولید یک منحنی پیوسته باید برون‌یابی شوند. از میان توابع توزیع گوناگونی که به منظور تقریب زدن منحنی POD پیشنهاد شده‌اند، توزیع log-logistic به عنوان یکی از مناسب‌ترین توابع پیشنهاد شده است. فرم تابعی این توزیع در زیر آمده است:

$$P_i = \frac{\exp(S_0 + S_1 \ln(r_i))}{1 + \exp(S_0 + S_1 \ln(r_i))} \quad (1)$$

در این رابطه، P_i احتمال تشخیص، i طول عیب، S_1 پارامتر مکان و S_0 پارامتر شیب هستند.

در تعیین احتمال کشف باید توجه داشت که نرخ False call نامطلوب است و به طول عیب نیز وابسته نیست که اغلب به صورت یک عدد ثابت تعیین می‌شود و باید سعی شود تا در یک حد مرزی باقی بماند و از آن تجاوز نکند زیرا افزایش آن سبب کاهش POD می‌شود. در مراجع میزان آن به منظور آن که یک مدل دقیق از POD بتوان ارائه داد حداکثر ۵٪ پیشنهاد شده است.

آماده سازی قطعات

تعداد ۲۰ نمونه اتصال جوشکاری شده قطعاتی از جنس CK45 که ترکیب شیمیایی آن در جدول ۱ آمده است و فولادهای با کربن متوسط طبقه بندی می‌شود توسط فرآیند جوشکاری به روش MAG (Metal Active gas) ایجاد شدند. مشخصات فرآیند جوشکاری و مشخصات هندسی اتصال در جدول ۲ آمده است. شکل ۲ قطعات تهیه شده برای آزمون قبل و بعد از جوشکاری را نشان می‌دهد.

جدول ۱- مشخصات ترکیب شیمیایی فلز پایه و الکتروود

| ماده | %Cr | %S | %P | %Mn | %Si | %C |
|----------------------------|-----|-------|-------|-----|-----|------|
| فولاد با کربن متوسط (CK45) | ۰,۳ | ۰,۰۳۵ | ۰,۰۳۵ | ۰,۷ | ۰,۴ | ۰,۴۶ |

جدول ۲- مشخصات هندسی اتصال و فرآیند جوشکاری

| | | | | | |
|---------------------|-------|-----------------------------|-----|----------------------------|------------|
| ضخامت قطعه (mm) | ۶ | طول خط جوش (mm) | ۱۰۰ | محیط خنک کننده | آب - هوا |
| ضخامت الکتروود (mm) | ۱ | فاصله مشعل تا قطعه کار (mm) | ۲۰ | نرخ تغذیه الکتروود (m/min) | ۶ و ۸ و ۱۰ |
| شدت جریان (A) | ۱۲-۳۰ | ولتاژ (V) | ۲۰ | سرعت جوشکاری (cm/min) | ۱۴۵ و ۲۹۰ |

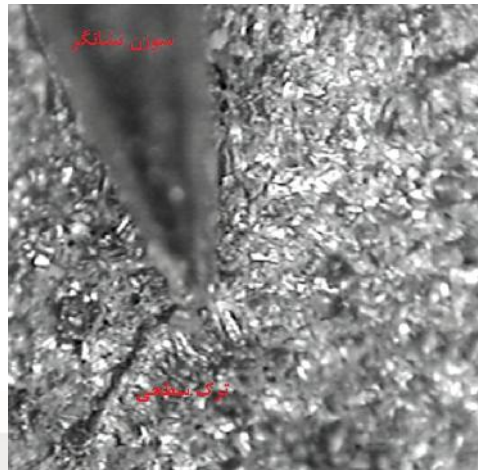


شکل ۲- نمونه قطعات تهیه شده قبل از جوشکاری

روش اجرای آزمون

سطح کلیه نمونه های آماده شده توسط محلولی که به صورت اسپری ساخت شرکت Magnaflux (SKC-S Cleaner/Remover) که مختص از بین بردن اکسیدها و ذرات چربی سطح برای آزمون مایع نافذ تولید می‌شوند، قبل از اجرای آزمون به خوبی پاک شدند.

سپس سطح آنها توسط میکروسکوپ نوری با بزرگنمایی 50x عکس برداری شده و به دقت مورد بررسی قرار گرفتند تا تعداد و طول عیوب سطحی ایجاد شده در سطح جوش و اطراف آن مورد ارزیابی قرار گیرند. شکل ۳ نمونه ای از این تصاویر را نشان می دهد.



شکل ۳- تصویر میکروسکوپی گرفته شده از سطح جوش نشان دهنده عیب سطحی

پس از پاک سازی مجدد توسط مایع اشاره شده، سطح جوش به کمک اسپری Magnaflux (SKL-SP2 Penetrant) کاملاً آغشته به مایع نافذ شده و پس از بین بردن مایع نافذ اضافه، توسط اسپری Magnaflux (SKD-S2 Developer) سطح جوش از ماده آشکار ساز کاملاً پوشیده شد تا علامت های عیوب آشکار شوند. زمان های Primary dwell time و Secondary dwell time به ترتیب ۲۰ و ۱۰ دقیقه در نظر گرفته شد.

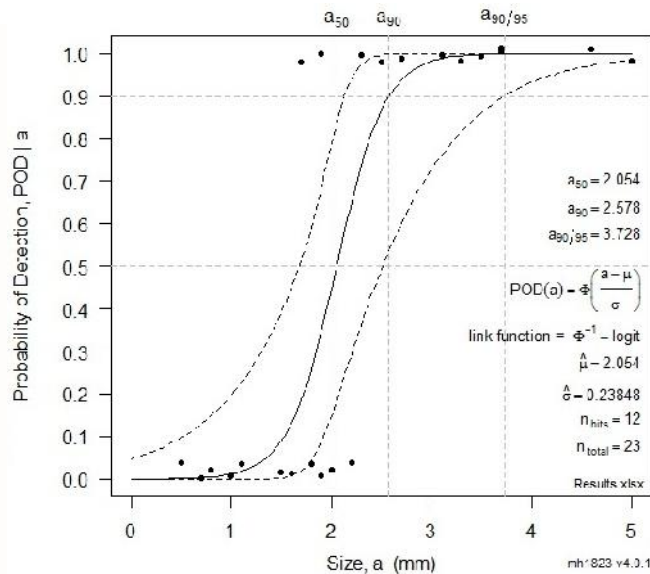
نتایج و تحلیل

نتایج حاصل از ارزیابی های میکروسکوپی کلیه نمونه ها که مشخصات واقعی عیوب سطحی را مشخص می کند در برابر آزمون غیر مخرب به صورت خلاصه در جدول ۳ آمده است. بر اساس آن، تعداد عیوب کشف شده ۱۲ عدد که معادل ۵۲,۱۷ درصد از کل عیوب است و تعداد عیوب از دست رفته ۱۱ عدد معادل ۴۷,۸۳ درصد از کل عیوب است. بزرگترین اندازه عیوب از دست رفته ۲,۲ میلی متر، در حالی که کوچکترین عیب کشف شده ۱,۷ میلی متر است.

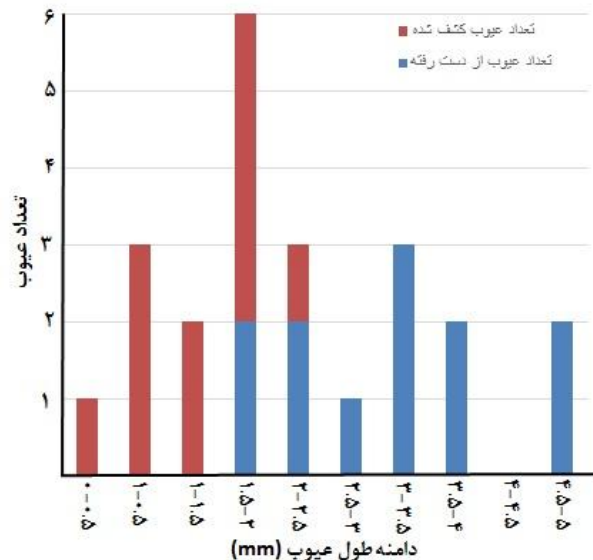
جدول ۳- نتایج آزمون غیرمخرب مایع نافذ بر روی نمونه ها

| تعداد کل عیوب | ۲۳ | بزرگترین عیب از دست رفته (mm) | ۲,۲ |
|-----------------------------|-------------|-------------------------------|------|
| تعداد عیوب کشف شده (%) | ۱۲ (۵۲,۱۷%) | کوچکترین عیب کشف شده (mm) | ۱,۷ |
| تعداد عیوب از دست رفته (%) | ۱۱ (۴۷,۸۳%) | a ₉₀ (mm) | ۲,۵۸ |
| دامنه طول عیوب کشف شده (mm) | ۰,۵ - ۵ | a ₅₀ (mm) | ۲,۰۵ |

به منظور ارزیابی بیشتر، داده‌های گزارش شده به صورت نمودارهای هیستوگرام که نشان دهنده تعداد عیوب کشف شده و از دست رفته به صورت تابعی از طول عیب در شکل ۴ آمده است. به کمک این نمودار می‌توان احتمال کشف عیوب سطحی آزمون مایع نافذ مرئی را برای اتصالات با مشخصات اشاره شده برای هر یک از بازه‌های طولی از طریق تقسیم تعداد عیوب کشف شده در هر بازه به کل عیوب موجود در آن بازه به دست آورد. با بهره‌گیری از داده‌های این نمودار و بسته نرم افزاری mh1823، احتمال کشف عیب به صورت نموداری بر حسب طول عیب با در نظر گرفتن محدوده‌های اطمینان ۹۵٪ در شکل ۵ نشان داده شده است. مطابق این نمودار، در حالی که آزمون قادر است عیبی با اندازه ۲٫۵۸ میلی‌متر را با احتمال ۹۰ درصد (a_{90}) تشخیص دهد، این اندازه برای احتمال ۵۰ درصد (a_{50}) برابر ۲٫۰۵ میلی‌متر است.



شکل ۵- نمودار احتمال تشخیص بر حسب طول عیب



شکل ۴- نمودار هیستوگرام تعداد عیوب کشف شده

و از دست رفته در بازه‌های طولی

نتیجه‌گیری

به منظور محاسبه حساسیت و قابلیت اطمینان آزمون غیرمخرب مایع نافذ مرئی در تعیین عیوب سطحی قطعات جوشی، تعدادی اتصالات جوشی بر روی قطعاتی از جنس CK45 توسط فرآیند جوشکاری MAG ایجاد گردید که برخی از آنها دارای عیوب سطحی بودند. ارزیابی‌های میکروسکوپی بر روی کلیه قطعات با هدف تعیین مشخصات واقعی عیوب سطحی انجام گرفت. در ادامه، تعداد و اندازه عیوب سطحی به کمک آزمون غیرمخرب مرئی تعیین شد. ارزیابی‌های آماری انجام گرفته بر روی نتایج آزمون‌ها نشان دادند که در بازه طولی ۰٫۵ تا ۵ میلی‌متر عیوب، کوچکترین عیب کشف شده ۱٫۷ میلی‌متر و بزرگترین عیب از دست رفته ۲٫۲ میلی‌متر است.

در حالی که آزمون قادر است عیبی با اندازه ۲,۵۸ میلی متر را با احتمال ۹۰ درصد تشخیص دهد، این اندازه طولی برای احتمال تشخیص ۵۰ درصد، ۲,۰۵ میلی متر است. نرخ متوسط کشف عیوب برای بازه طولی مذکور، ۵۲,۱۷٪ و نرخ متوسط از دست رفتن عیوب ۴۷,۸۳٪ است.

منابع

- Hellier, C.J (2003). Handbook of nondestructive evaluation. New York: Mc Grow-Hill.
- American Society of Manufacturing (ASM) (1997). Metals Handbook volume 17 - Nondestructive Evaluation and Quality Control. (Ninth edition). New York: author.
- ریاحی، محمد و فرجی، محمد (۱۳۸۴). معرفی اصول آزمون‌های غیرمخرب. تهران: انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران.
- بری هال و ورنون جان. (۱۳۸۵). آزمونهای غیرمخرب، (ترجمه مسعود رضا شاکری). تهران: انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف. (تاریخ انتشار به زبان اصلی ۱۹۸۸).
- راج، سویرامانیان، جایاکومار. (۱۳۸۶). اصول و کاربرد تستهای غیرمخرب (NDT) در جوشکاری، (ترجمه مجید مصلی). تهران: طراح. (تاریخ انتشار به زبان اصلی ۲۰۰۰).
- Tong, T. C., Hou, J., Antoniou, R. A. (2005). Probabilistic damage tolerance assessment: the relative merits of DARWIN, NERF AND PROF. Victoria, Australia: Air Vehicle Division of Defence Science and Technology Organisation.
- W. D. Rummel., G. A. Matzkanin. (1997). Nondestructive evaluation (NDE) capabilities data book. (Third Edition). Austin, Texas: Nondestructive Testing Information Analysis Center (NTIAC).
- Carvalho, A. A., Rebello, J. M. A., Silva, R. R., & Sagrilo, L. V. S. (2006). "Reliability of the manual and automated ultrasonic technique in the detection of pipe weld defects". *Insight*, Vol. 48, No. 11, Pp. 1-16.
- Simsir, M., & Ankara, A. (2007). "Comparison of two non-destructive inspection techniques on the basis of sensitivity and reliability". *Materials and Design*, Vol. 28, Pp. 1433-1439.
- Nath, S. K., Balasubramaniam, K., Krishnamurthy, C. V., & Narayana, B. H. (2010). "Reliability assessment of manual ultrasonic time of flight diffraction (TOFD) inspection for complex geometry components". *NDT&E International*, Vol. 43, Pp.152-162.
- Ali, A., Balint, D., Temple, A., & Leever, P. (2012). "The reliability of defect sentencing in manual ultrasonic inspection". *NDT&E International*, Vol. 51, Pp. 101-110.
- Annis, P. E. C., R package mh1823, version 4.0.1, 2013. <http://StatisticalEngineering.com/mh1823/>