

بررسی تنش پسماند در نمونه‌های تنش‌زدایی شده به دو روش حرارتی و اولتراسونیک با بکارگیری روش سوراخکاری مرکزی

محمد هنرپیشه^{1*}، وحید زندیان²

1- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه کاشان، کاشان
 2- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد جاسب، جاسب
 *کاشان، صندوق پستی 8731751167

چکیده

تنش پسماند تنشی خود متعادل است که بر اثر انجام عملیاتی خاص نظیر جوشکاری در جسم باقی ماند. روش‌های مختلفی جهت کاهش تنش‌های پسماند در نمونه‌های جوشکاری شده وجود دارد. در این تحقیق پس از آماده سازی سه نمونه جوشکاری شده، یکی از نمونه‌ها با استفاده از روش حرارتی و نمونه دیگر به روش استفاده از ضربات اولتراسونیک تنش‌زدایی گردید. نمونه سوم نیز به عنوان نمونه‌ای که هیچ گونه عملیات تنش‌زدایی برروی آن صورت نگرفته است، در نظر گرفته شد. جهت تعیین مقدار تنش پسماند هر یک از نمونه‌ها، از روش سوراخکاری مرکزی استفاده شد و مقدار تنش پسماند موجود در هر سه نمونه در ناحیه متأثر از حرارت جوش تعیین گردید. نتایج نشان داد که مقدار تنش‌های پسماند در روش تنش‌زدایی با استفاده از ضربات اولتراسونیک به مراتب کمتر از نمونه تنش‌زدایی شده به روش حرارتی و همچنین نمونه بدون انجام عملیات تنش‌زدایی می‌باشد. جهت اعتبار بخشی به نتایج حاصل، از روش پراش اشعه ایکس نیز استفاده گردید و نتایج این روش نشان داد که در نمونه تنش‌زدایی شده با ضربات اولتراسونیک در زاویه دو تا پیکی حاصل نگردید در صورتیکه برای نمونه تنش‌زدایی شده به روش حرارتی در زاویه حدود 137 درجه شدت پیک، نشان از مقداری تنش پسماند در نمونه می‌باشد.

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل	1393 مرداد 14
دریافت: 23 شهریور 1393	پذیرش: 23 شهریور 1393
ارائه در سایت: 30 مهر 1393	
کلید واژگان:	
تنش پسماند	
تنش‌زدایی	
روش سوراخکاری مرکزی	
روش پراش اشعه ایکس	

Investigation of Residual Stresses in Stress-Relieved Samples by Heat Treatment and Ultrasonic Methods Using Hole-Drilling Method

Mohammad Honarpisheh^{1*}, Vahid Zandian²

1-Department of Mechanical Engineering, Kashan University, Kashan, Iran

2-Department of Mechanical Engineering, Jasb Branch Islamic Azad University, Jasb , Iran

*P.O.B. 8731751167 Kashan, Iran, honarpishe@kashanu.ac.ir

ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper
 Received 05 August 2014
 Accepted 14 September 2014
 Available Online 22 October 2014

Keywords:
 Residual Stress
 Stress-Relieved
 Hole Drilling Method
 X-Ray Diffraction Method

ABSTRACT

Residual stress is stress that remains in the body, such as some specific operations like welding, and is available when body is not under external loads. Different methods are available for residual stress relieved in any welded samples. In this research, samples one, two and three have been prepared and welded. Stress of samples one and two have been relieved using heat treatment method and ultrasonic method, respectively. Also, no operation has been taken on the sample three. For different amounts of residual stress of each sample, hole drilling method was used and amount of residual stress in welding heat affected area of each sample was determined. Results show that residual stress in ultrasonic method is less than heat treatment method. To validate the results the x-ray diffraction method was used and results of this method show that in the sample with ultrasonic stress, stress relief had no peak at 2θ angles, but for sample with heat treatment stress relief had a peak at 137° , which shows some residual stress.

تنش‌های پسماند تنش‌های خود متعادلی هستند که در قطعه در اثر فرآیندهای تولید نظیر نور، جوشکاری، ریخته‌گری و غیره محبوس می‌گردند و می‌تواند تأثیر مثبت یا منفی بر روی عمر قطعات داشته باشند [1]. بسته به نوع و مقدار تنش باقی‌مانده، این تنش می‌تواند برای استحکام ساختار مفید و یا ضر باشد و از آنجا که نوع تنش معمولاً به راحتی قابل تشخیص نیست، بهتر است که هیچ تنش باقی‌مانده‌ای در ساختار باقی نماند و باید قبل از کاربری قطعه این تنش‌ها آزاد و یا در کل قطعه توزیع شوند که این فرآیند را

1- مقدمه

پکی از مباحث مهم در زمینه جوشکاری در سازه‌های مهندسی بحث کاهش تنش‌های پسماند در خطوط جوش و بهبود کیفی جوش است. تنش‌های پسماند باعث کاهش حد تحمل بار، عمر اتصالات جوشی و تغیر فرم‌هایی در سازه‌های جوشکاری شده می‌گردند.

تنش پسماند تنشی است که در جسم باقی‌مانده و در تعادل با محیط اطراف خود می‌باشد. بنابراین دانستن مقدار آن در طراحی بسیار مهم است.

Please cite this article using:

M. Honarpisheh, V. Zandian, Investigation of Residual Stresses in Stress-Relieved Samples by Heat Treatment and Ultrasonic Methods Using Hole-Drilling Method, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 14, No. 15, pp. 273-278, 2015 (In Persian)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

837 برای نخستین بار در سال 1981 تعریف و ارایه گردد. این استاندارد یکی از مهم‌ترین مراجع موجود برای تعیین تشخیص پسماند است و در آن الزامات اندازه‌گیری تشخیص ارایه شده است [6].

اصول و مبانی پراش اشعه ایکس را اولد و همکارانش ارایه نمودند [7]. تحقیقات زیادی در زمینه تنش های پسماند بر روی نمونه های مختلف با استفاده از این روش صورت گرفته است که از آن جمله می توان به تحقیق آفای آلبرتینی و همکارانش در سال 1997 اشاره نمود. وی به اندازه گیری تنش پسماند بر روی صفحات جوشکاری شده از جنس آلومینیوم 2219 پرداخت [1].

در سال 2001 والکر و همکاران تنش‌های پسماند جوشی را با تنش‌گیری ارتعاشی کاهش داده و نشان دادند که در اثر تنش‌گیری ارتعاشی حداکثر به مقدار 30 درصد تنش‌های پسماند کاهش یافته است. در این تحقیق از فرکانس رزونانس 25 هرتز استفاده گردید [8].

استفاده از ارتعاشات اولتراسونیک در فرکانس 17/8 برای تنفس گیری توسط آوکی در سال 2005 ارائه گردید. این تحقیق با هدف اثبات کارایی ارتعاشات با فرکانس بالا، برای کاهش تنش‌های پسماند، در مرحله شکل‌گیری و در حین فرآیند جوشکاری انجام شد [9].

در سال 2012 شلوندی و همکاران به بررسی تجربی فرآیند اولتراسونیک بر روی قطعات فولادی با در نظر گرفتن اثر اندازه دانه‌ها پرداختند. نتایج به دست آمده نشان داد که در نمونه‌های درشت دانه در حدود 46 درصد و در تسممه‌های ریز دانه در حدود 27 درصد از مقدار از مقدار تنش‌های پسماند کاسته می‌شود. در پژوهش مذکور از بین پارامترهای بررسی شده، اندازه دانه بیشترین تأثیر و نیروی پیش‌بار کمترین تأثیر را در نرخ تنش گیری داشتند.^[10]

در مقاله حاضر تنشیهای پسماند در نمونه‌های تنش‌زدایی شده به دو روش حرارتی و اولتراسونیک بررسی و پس از آن به تحلیل نتایج نمونه‌های مذکور نسبت به نمونه بدون انجام عملیات تنش‌زدایی پرداخته شده است. جهت بررسی تنشیهای پسماند و اندازه‌گیری مقدار آن از روش سوراخکاری مرکزی استفاده شده است. ضمن اینکه جهت بررسی کیفی نتایج از روش پراش پرنو ایکس نیز استفاده گردید. که در ادامه به شرح آن پرداخته خواهد شد.

2- روش تحقیق

در این پژوهش ابتدا دو نوار از جنس فولاد 1/0065 با ابعاد 150×750 میلیمتر و ضخامت 4/6 میلیمتر تهیه گردید. پس از آماده سازی شامل پخت زدن در محل خط جوش با زاویه حدود 45 درجه، با استفاده از گاز آرگن و الکترود تنگستن⁷ جوشکاری انجام گردید. بر اساس استاندارد ای اس ام [11] خواص مکانیکی نوار استفاده شده پیش از فرآیند جوشکاری مطابق جدول 1 می باشد.

پس از آن، نوار جوشکاری شده به سه قسمت مساوی تقسیم و نوارهای برش خود را با نام نمونه‌های A، B و C نامگذاری شدند. نمونه A نمونه‌ای است که عملیات تنش زدایی به روش حرارتی بر روی آن انجام می‌گیرد. نمونه B نمونه‌ای است که عملیات تنش زدایی با استفاده از ضربات اولتراسونیک بر روی آن انجام و نمونه C به عنوان نمونه‌ای که هیچ گونه عملیاتی پس از

تنش‌گیری گویند. روش‌های مختلفی برای کاهش تنش‌های باقی‌مانده در قطعات مختلف وجود دارد که از آن جمله می‌توان به تنش‌زدایی حرارتی و تنش‌زدایی با استفاده از ضربات اولتراسونیک^۱ اشاره نمود.

بطور کلی تنش‌زدایی حرارتی فرآیندی است که در آن باید از دمای A_1 در زمان حداقل t_1 به دمای A_2 رسیده و به مدت t_2 در همان دمای A_2 قطعه را نگهداری نمود و در زمان حداقل t_3 به دمای A_1 بازگشت. انتخاب روش اصولی فرآیند کنترلی کمک شایانی به اصولی طی شدن روند تنش‌گیری می‌کند [2].

روش استفاده از ضربات اولتراسونیک نیز روش نسبتاً نوینی جهت حذف تنش‌های پسماند کششی و تبدیل آن به تنش‌های فشاری در مناطق حساس به خستگی می‌باشد. همچنین مناطق تمرکز تنش و عیوب را در پاشنه جوش کاهش داده و استحکام خودگی - خستگی و استحکام خستگی را افزایش می‌دهد. این روش برای اولین بار در اوایل دهه 70 میلادی در روسیه اختراع شد و مورد توجه بسیاری از مخترعین و صنعتگران قرار گرفت. طی این فرآیند، تنش‌ها از حالت کششی در سطح، حداکثر تا تنش تسلیم فلز به حالت فشاری تبدیل می‌شوند، که این موضوع در افزایش استحکام سازه جوشی بسیار موثر است [3].

تکنیک‌های متفاوتی برای اندازه‌گیری تنش‌های پسماند وجود دارد که از مهمترین آن‌ها می‌توان به روش سوراخکاری مرکزی²، روش پراش پرتو ایکس³، تفرق الکترون، تفرق نوترون، رهاسازی ترک اشاره نمود که هر کدام دارای مزايا، معایب و محدودیتهاي نيز مي باشنند [4].

در این پژوهش پس از تنش‌زدایی نمونه‌های جوشکاری شده به دو روش حرارتی و اولتراسونیک، جهت اندازه‌گیری و بررسی تنش‌های باقیمانده در آن‌ها از روش سوراخکاری مرکزی و جهت اعتبار بخشی به نتایج حاصل از روش پراش پرتو ایکس استفاده شده است.

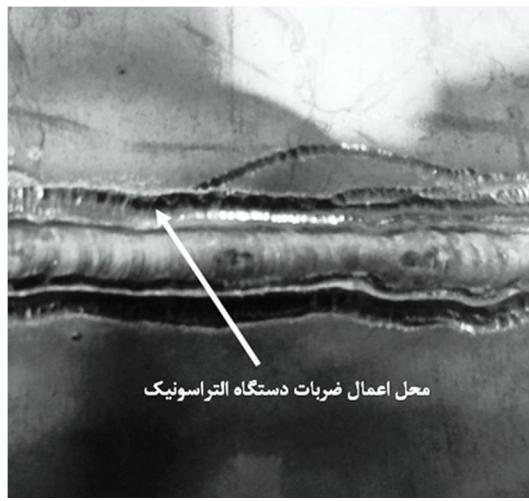
در اوایل دهه 70، استانیکو روش بیوای تی⁴ را پیشنهاد نمود که کاربردهای فراوانی در تولید و نگهداری سازه‌های جوشکاری شده داشت. این روش شامل سوزن لغزانی بود که در راستای محوری حرکت می‌کرد و باعث اعمال ضربه قوی اولتراسونیک به سطح مورد عمل و به دنبال آن یک تغییر شکل پلاستیک سنگین در قطعه بوجود می‌آمد. در اثر همین ضربه، موج تنشی در قطعه ظاهر می‌شد که در نهایت باعث بهینه‌سازی مواد در عمق قطعه کار می‌گردید. بعدها پروکوپنکو روشی پیشنهاد نمود که با تحریک پیوسته امواج اولتراسونیک کار می‌کرد و نتایج آن شبیه به حالت جرم کردن میانی بود. در این حالت، ضربه میان مبدل اولتراسونیک و قطعه، زمانی در حدود 0/0001 الی 0/05 ثانیه اتفاق می‌افتد.^[5]

در سال 2011 یوری کادریا به تأثیر تنفس زدایی با ضربات اولتراسونیک با استفاده از دستگاه یوپی⁵ پرداخته و به طور موثر بهبود عمر خستگی در راندهای حمکار شده امدادهای مدد نمود.

اندازه‌گیری تنش پسماند به کمک سوراخکاری برای اولین بار در سال ۱۹۳۴ توسط ماتار معروفی شد. در سال ۱۹۶۶ رندر و ویگنس این روش را توسعه دادند و هندسه شکل استانداردی را برای روزت کرنش سنج پیشنهاد نمودند. توسعه روش سوراخکاری موجب شد که استاندارد ای اس تی ام ای

- 6- ASTM- E 837
- 7- Tungsten inert gas
- 8- ASM

مهندس، مکانیک مدرس، فوق العاده اسفند 1393، دوره 14، شماره 15



شکل 2 عملیات تنش‌زدایی با ضربات اولتراسونیک بر روی نمونه B

استفاده از روش سوراخکاری مرکزی مقدار تنش‌های پسماند موجود در نمونه A محاسبه و تعیین گردید.

روش سوراخکاری مرکزی از مهمترین روش‌های اندازه‌گیری تنش پسماند به روش مکانیکی است که در این روش، مقدار تنش باقی‌مانده به وسیله اندازه‌گیری مقدار کرنش آزاد شده با استفاده از کرنش‌سنج‌های مکانیکی و الکترونیکی تعیین می‌گردد. در روش سوراخکاری مرکزی یک سوراخ کوچک در صفحه حاوی تنش ایجاد می‌شود. با ایجاد این سوراخ، تنش‌های باقی‌مانده در اطراف سوراخ آزاد شده و می‌توان با قرار دادن کرنش‌سنج در اطراف سوراخ، مقدار تنش آزاد شده را اندازه‌گیری نمود. در شکل 3 یکی از رایج‌ترین کرنش‌سنج‌ها در اندازه‌گیری تنش پسماند با نام اف‌آراس 23-2³ نشان داده شده است [13].

جهت اندازه‌گیری تنش‌های پسماند موجود در سطح نمونه‌های A، B و C ابتدا کرنش‌سنج سه المانه بر روی نمونه مورد نظر و در ناحیه تحت تاثیر حرارت و نزدیک به خط جوش قرار داده شد. پس از اتصال سیم‌های رابط به دستگاه و قرار دادن دریل مربوطه در مرکز کرنش‌سنج و با آغاز عملیات سوراخکاری یک سوراخ با قطر مشخص و در مرکز کرنش‌سنج ایجاد می‌شود. در این حال مقدار کرنش‌های خوانده شده ناشی از آزاد شدن تنشها در حین سوراخ شدن را یادداشت کرده و در پایان برای هر سه نمونه، سه کرنش با نام ϵ_1 ، ϵ_2 و ϵ_3 بدست آمد که با قراردادن آن‌ها در روابط مرتبط و استخراج شده از استاندارد ای‌اس‌تی‌ام-ای 837 مقدار تنش ماقزیمم، مینیمم و همچنین زاویه بین آنها بدست خواهد آمد.

شکل 4 محل قرارگیری کرنش‌سنج بر روی نمونه C را نشان می‌دهد. جهت اعتبار بخشی به نتایج حاصل، از روش استاندارد پراش اشعه ایکس که روش غیرمخرب در اندازه‌گیری تنش‌های پسماند می‌باشد، استفاده گردید. در این روش از تغییر در فاصله بین صفحات کریستالی به عنوان کرنش‌سنج استفاده می‌شود. رابطه اساسی در روش استاندارد پراش اشعه ایکس، قانون برآگ است که مطابق فرمول 1 می‌باشد:

$$n\lambda = 2d \sin(\theta) \quad (1)$$

که در رابطه $n=1$ مرتبه انعکاس، λ طول موج اشعه ایکس، d فاصله

جوشکاری بر روی آن انجام نگرفته است، انتخاب می‌گردد. فرآیند تنش‌زدایی بر روی نمونه A به این صورت انجام پذیرفت که نمونه تا دمای 600 درجه سانتی‌گراد با استفاده از دستگاه تنش‌زدایی حرارتی و با قرار دادن المنت‌های مربوطه به مدت دو ساعت گرم می‌شود. فرآیند نگهداری در دمای مشخص و در مدت زمان حدود یک ساعت و در نهایت فرآیند خنک‌کاری تا دمای محیط و از دمای 600 درجه سانتی‌گراد صورت پذیرفت [12]. شکل 1 منحنی تنش‌زدایی حرارتی بر روی نمونه A را نشان می‌دهد.

روش دیگری که جهت تنش‌زدایی نمونه B استفاده شد، عملیات تنش‌زدایی با استفاده از ضربات اولتراسونیک است که تنش‌های فشاری را در مواضعی از جوش که ترک‌های خستگی مستعد به شکل‌گیری هستند ایجاد کرده و هندسه پاشنه جوش را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. طی این فرآیند تنش‌ها از حالت کششی در سطح، حداکثر تا تنش تسلیم فلز، به حالت فشاری تبدیل می‌شوند که این موضوع در افزایش استحکام سازه جوشی بسیار موثر است [3]. عملیات تنش‌زدایی با ضربات اولتراسونیک بر روی نمونه B با استفاده از دستگاه یوبی 500¹ صورت پذیرفت [5].

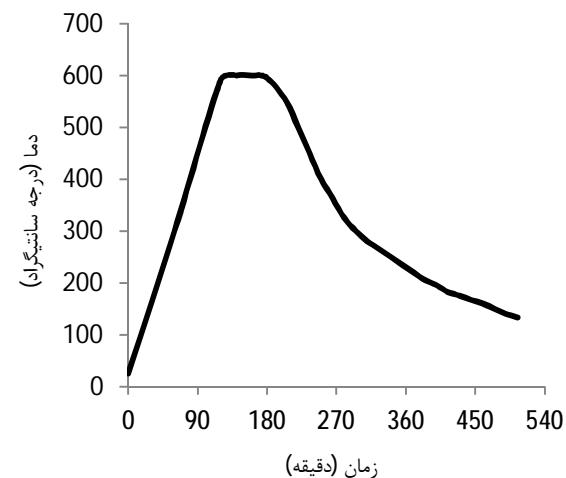
شکل 2 عملیات تنش‌زدایی با استفاده از ضربات اولتراسونیک بر روی نمونه B را نشان می‌دهد.

انتقال ضربات در این روش با فرکانس 27 کیلوهرتز بر روی نمونه B و در ناحیه متأثر از حرارت² که ناحیه‌ای است که ساختار و دانه‌بندی فلز پایه در اثر حرارت ناشی از جوشکاری تغییر یافته است صورت پذیرفت. این ناحیه بهدلیل سرعت بالای سرد شدن، ساختار مارتینزیتی در آن تشکیل می‌گردد و بسیار مستعد ایجاد ترک در قطعه جوشکاری شده و بهخصوص در ناحیه جوش می‌باشد.

پس از انجام عملیات تنش‌زدایی بر روی نمونه‌های A و B، ابتدا با

جدول 1 خواص مکانیکی فولاد 0065/1/[11]

خواص	فولاد نورد سرد	فولاد نورد گرم
تنش تسلیم (MPa)	300	170
مدول الاستیک (GPa)	200	200
استحکام کششی (MPa)	330	280



شکل 1 منحنی تنش‌زدایی حرارتی بر روی نمونه A

جهت اعتبار بخشی به نتایج حاصل از روش سوراخکاری مرکزی استفاده شده است.

3- نتایج حاصل از روش سوراخکاری مرکزی

پس از ثبت کرنش‌های خوانده شده از دستگاه سوراخکاری مرکزی و قرار دادن مقادیر بدست آمده در روابط مستخرج از استاندارد ای‌اس‌تی‌ام-۱۸۳۷ مقدار تنفس‌های باقی‌مانده برای سه نمونه A، B و C شامل تنفس‌های ماکزیمم، تنفس مینیمم و زاویه β که زاویه بین دو تنفس اصلی می‌باشد، به دست آمد.

شکل 5 نتایج حاصل از روش سوراخکاری مرکزی را بر روی نمودار میله‌ای نشان می‌دهد.

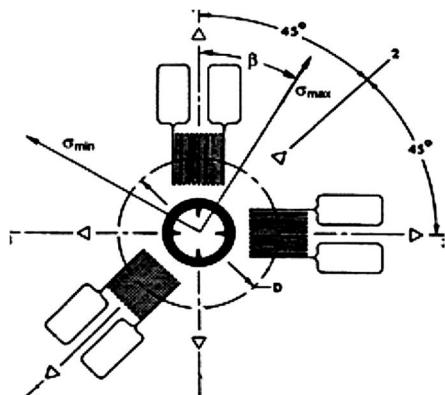
همانطور که از نمودار میله‌ای و نتایج به دست آمده از روش سوراخکاری مرکزی در شکل 5 مشاهده می‌شود، مقدار تنفس ماکزیمم در نمونه بدون انجام عملیات تنفس‌زدایی یا نمونه C مقدار ۱۳۵/۲ مگاپاسکال به دست آمد. این مقدار برای نمونه تنفس‌زدایی شده به روش حرارتی یا نمونه A برابر ۶۱/۵۸ مگاپاسکال می‌باشد که نشان از کاهش تنفس‌های باقی‌مانده نمونه A در مقایسه با نمونه C دارد. همچنین نمونه B که عملیات تنفس‌زدایی با ضربات اولتراسونیک بر روی آن صورت گرفته است، دارای مقدار تنفس باقی‌مانده کمتری معادل ۳۷/۸۷ مگاپاسکال می‌باشد که به مرتب کمتر از نمونه‌های A و C بوده و این نشان از برتری روش تنفس‌زدایی با ضربات اولتراسونیک در مقایسه با تنفس‌زدایی به روش حرارتی است.

نتایج به دست آمده از نمونه B که مربوط به تنفس‌زدایی با استفاده از ضربات اولتراسونیک می‌باشد، با مقاله آقای کاریوتیسو و همکارش کلیمن که افزایش استحکام خستگی بر روی اتصالات جوشکاری و تنفس‌زدایی شده به همین روش و همچنین تبدیل تنفس‌های پسماند کششی به فشاری در نمونه‌های تنفس‌زدایی شده با روش مذکور نیز تطابق دارد [۱۴].

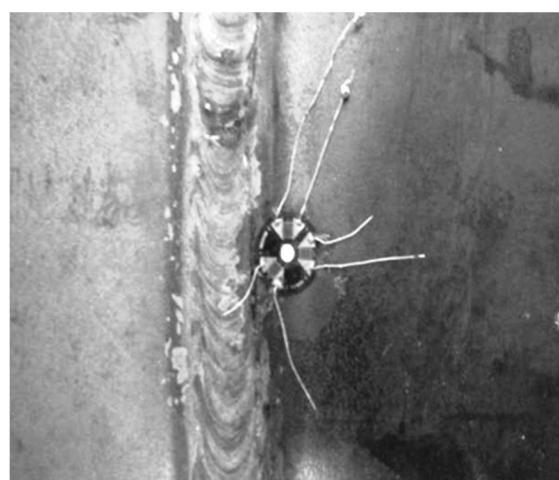
همچنین نتایج حاصل را می‌توان با مقاله آقای والکر و همکاران در کاهش ۳۰ درصدی تنفس‌های پسماند در اتصال جوشی با استفاده از عملیات تنفس‌گیری ارتعاشی نیز تطابق داد [۸].

3- نتایج حاصل از روش پراش پرتو ایکس

جهت اعتبار بخشی به نتایج حاصل از روش سوراخکاری مرکزی از روش استاندارد پراش اشعه ایکس استفاده شد که نتایج آن برای نمونه A و B به ترتیب در شکل 6 و 7 نشان داده شده است. مطابق شکل 6 که مربوط به



شکل 3 کرنش‌سنج نوع A در اندازه‌گیری تنفس پسماند [۹]



شکل 4 محل قرارگیری کرنش‌سنج بر روی نمونه C

بین صفحات کریستالی و θ زاویه انعکاس (زاویه براگ) می‌باشد. در این روش، اشعه‌های ایکس به سطح نمونه تابیده شده و اشعه‌های منعکس شده، در جایی که دارای بیشترین شدت می‌باشند، دریافت می‌گردد. در آنالیز تنفس‌های پسماند از زاویه‌های انعکاس بالاتر از ۱۲۰ درجه استفاده می‌شود که در این تحقیق زاویه انعکاس را ۱۲۵ تا ۱۵۰ درجه و جهت دقت بیشتر اندازه هر مرحله ۰/۰۵ درجه با زمان یک ثانیه برای هر مرحله انتخاب گردید. پس از آماده‌سازی نمونه‌ها و قرار دادن نمونه A در دستگاه ایکس آر دی^۱ ساخت شرکت فیلیپس، نموداری بر حسب شدت و زاویه 2θ به دست می‌آید که از روی پیک حاصل در زاویه 2θ و پهنه‌ای قله منحنی، می‌توان مقدار تنفس پسماند هر یک از نمونه‌ها را بررسی نمود. مشخصات دستگاه ایکس آر دی و شرایط آزمایش آن در جدول 2 آرائه شده است.

پس از آماده‌سازی هر یک از نمونه‌های A، B و قرار دادن آن در دستگاه ایکس آر دی، می‌توان به بررسی مقدار پیک به دست آمده هر یک از نمونه‌ها در زاویه 2θ پرداخت.

3- بحث و بررسی نتایج

در این بخش ابتدا به بررسی نتایج حاصل از روش سوراخکاری مرکزی پرداخته و پس از آن نتایج به دست آمده از روش استاندارد پراش اشعه ایکس مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. به عبارت دیگر می‌توان گفت از روش دوم

جدول 2 مشخصات دستگاه ایکس آر دی

مقدار واحد	مشخصات دستگاه
1/540598 [A]	طول موج پرتو $k\alpha_1$
1/544426 [A]	طول موج پرتو $k\alpha_2$
۱۲۵ درجه	زاویه شروع آنالیز 2θ
۱۵۰ درجه	زاویه پایان آنالیز 2θ
۰/۰۵ درجه	اندازه هر مرحله 2θ
۱ ثانیه	زمان هر مرحله
پیوسته	نحوه تابش پرتو ایکس
۴۰A و ۴۰V	مشخصات زنراتور
مس	آن دیوب

4- نتیجه گیری

در این پژوهش با استفاده از روش سوراخکاری مرکزی مقدار تنش‌های پسماند موجود در نمونه‌های تنش‌زدایی شده به دو روش حرارتی و اولتراسونیک مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت که با توجه به نتایج حاصل، دستاوردهای این تحقیق عبارتند از:

1- انجام عملیات تنش‌زدایی به روش حرارتی بر روی نمونه جوشکاری شده، منجر به کاهش تنش‌های پسماند در نمونه تنش‌زدایی شده نسبت به نمونه تنش‌زدایی نشده گردید.

2- انجام عملیات تنش‌زدایی با استفاده از ضربات اولتراسونیک، منجر به کاهش تنش‌های پسماند بیشتر در مقایسه با روش تنش‌زدایی حرارتی گردید و این نشان از برتری این روش نسبت به روش تنش‌زدایی حرارتی می‌باشد.

با توجه به نتایج حاصل از روش تنش‌زدایی با استفاده از ضربات اولتراسونیک، از روش مذکور می‌توان به عنوان جایگزینی برای روش تنش‌زدایی حرارتی به خصوص در محلهای که امکان استفاده از المنتهای دستگاه تنش‌زدایی وجود ندارد به سادگی و البته با مدت زمانی به مراتب کمتر از روش تنش‌زدایی حرارتی، استفاده نمود.

همچنین در روش تنش‌زدایی حرارتی جهت گرم کردن قطعه و رساندن المنتهای دستگاه، به انرژی زیادی نیاز می‌باشد که در روش تنش‌زدایی با استفاده از ضربات اولتراسونیک این مهم حذف گردیده است. موارد مذکور را می‌توان از مزایای روش تنش‌زدایی با ضربات اولتراسونیک نسبت به روش حرارتی نیز به حساب آورد.

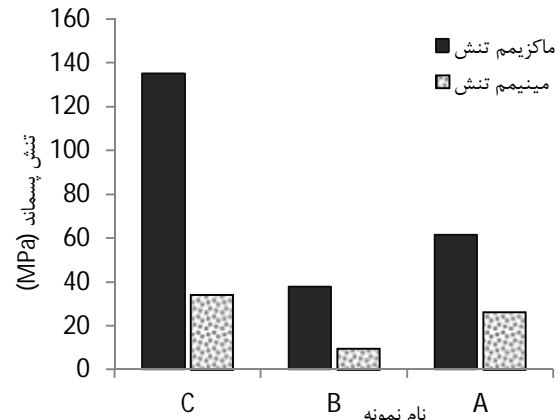
همچنین جهت اعتبار بخشی به نتایج حاصل از روش سوراخکاری مرکزی از روش استاندارد پراش اشعه ایکس بر روی نمونه A نتایج حاصل از روش سوراخکاری مرکزی، دستاوردهای زیر نیز به دست آمد:

1- در زاویه $2\theta = 20^\circ$ معادل 137 درجه پیکی حاصل از ضربات اولتراسونیک در نمونه A تنش‌زدایی شده با استفاده از ضربات اولتراسونیک که نمونه در زاویه $2\theta = 20^\circ$ آن در شکل 7 نشان داده شده است، به دلیل نزدیکی ماقریم و مینیمم پیک‌های حاصل، در روایای بین 125 تا 150 درجه، قله ای حاصل نگردید و این نشان از کاهش تنش‌های پسماند در نمونه A نسبت به نمونه B و همچنین صحت نتایج حاصل از روش سوراخکاری مرکزی می‌باشد.

2- در نمونه دوم که با استفاده از ضربات اولتراسونیک عملیات تنش‌زدایی بر روی آن انجام شده بود، به دلیل نزدیک شدن شدت پیک‌های ماقریم و مینیمم حاصل از روش استاندارد پراش اشعه ایکس به یکدیگر، پیکی حاصل نگردید و این نشان از کاهش تنش‌های پسماند در نمونه مذکور نسبت به نمونه تنش‌زدایی شده به روش مذکور می‌باشد.

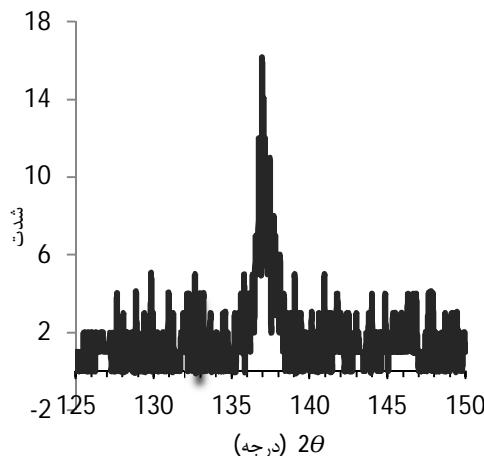
3- با بررسی نتایج حاصل از روش پراش پرتو ایکس بر روی نمونه تنش‌زدایی شده به روش حرارتی و مقایسه آن نسبت به نمونه تنش‌زدایی شده با استفاده از ضربات اولتراسونیک می‌توان چنین استنباط کرد که به دلیل پیکسان بودن شدت قله‌ها در تمامی زوایا به غیر از زاویه 137° درجه در نمونه حرارتی، می‌توان از وجود تنش پسماند در نمونه مذکور اطمینان حاصل کرد. همچنین به دلیل اختلاف شدت پیکها و پراکندگی آنها در نمونه تنش‌زدایی شده با ضربات اولتراسونیک و به دلیل عدم وجود پیکی با شدت زیاد و متتمرکز در زوایای خاص، نمی‌توان به وجود تنش پسماند زیاد در نمونه تنش‌زدایی شده با استفاده از ضربات اولتراسونیک استناد کرد یا حداقل مقدار تنش پسماند در مقایسه با نمونه حرارتی کمتر می‌باشد.

4- با توجه به نتایج حاصل از روش سوراخکاری مرکزی، از روش پراش اشعه ایکس و همچنین نتایج حاصل از روش سوراخکاری مرکزی، از روش پراش پرتو ایکس می‌توان جهت اعتبار بخشی به روش اندازه‌گیری تنش پسماند با

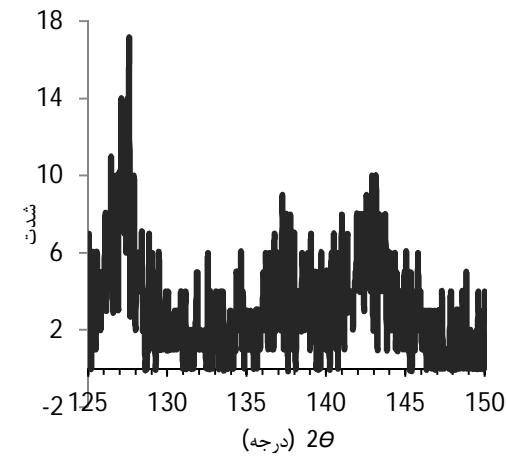


شکل 5 نتایج حاصل از روش سوراخکاری مرکزی بر روی نمونه میله‌ای

نتایج حاصل از روش استاندارد پراش اشعه ایکس بر روی نمونه A می‌باشد، در زاویه $2\theta = 20^\circ$ معادل 137 درجه پیکی حاصل گردید که نشان از وجود مقداری تنش پسماند در نمونه تنش‌زدایی شده به روش حرارتی می‌باشد در صورتیکه در نمونه B تنش‌زدایی شده با استفاده از ضربات اولتراسونیک که نمونه در شدت و زاویه $2\theta = 20^\circ$ آن در شکل 7 نشان داده شده است، به دلیل نزدیکی ماقریم و مینیمم پیک‌های حاصل، در روایای بین 125 تا 150 درجه، قله‌ای حاصل نگردید و این نشان از کاهش تنش‌های پسماند در نمونه B نسبت به نمونه A و همچنین صحت نتایج حاصل از روش سوراخکاری مرکزی می‌باشد.



شکل 6 نتایج حاصل از روش استاندارد پراش اشعه ایکس بر روی نمونه A



شکل 7 نتایج حاصل از روش استاندارد پراش اشعه ایکس بر روی نمونه B

ultrasonic impact treatment improving fatigue life of welded structure,
See also URL <http://www.itlinc.com>.

- [4] N. S. Rosin, B.M. Dassistia, K. Y. Benyounisb and A. G. Olabib, *Methods of Measuring Residual Stresses in Components*.
- [5] *operational manual up-500*, product by ITL, See also URL <http://www.itlinc.com>.
- [6] M. Sedighi, M. Khandaei, J. Jodake, Calibration Coefficients for Residual Stress Measurement in Incremental Hole Drilling Method, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 11, No. 1, pp. 19-27, 2011. (In Persian)
- [7] J. H. Auld, G. B. Greenough, Residual Lattice Strains in Iron Single Crystals, *J. Acta Metallurgica*, Vol. 2, No. 2, pp. 209-213, 1954.
- [8] S. M. Munsi, A. J. Waddell, C. A. Walker, The Influence Of Vibratory Treatment On The Fatigue Life Of Welds: A Comparison With Thermal Stress Relief, *International Journal Of Strain*, Vol. 37, pp. 141-149, 2001.
- [9] S. Hirai, Sh. Aoki, Reduction Of Residual Stress By Ultrasonic Surface Vibration, *Advances In Vibration Engineering*, Vol. 7, No.2, pp. 207-216, 2005.
- [10] M. Shalvandi, Y. Hojjat, A. Abdullah, H. Asadi, Experimental Evaluation Of Ultrasonic Stress Relieving On Steel Specimens Considering Grain Size Effect, *Modares Mechanical Engineering*, pp. 21-33, 2012. (In Persian)
- [11] *ASM Handbook*, Vol.1, Ohio, ASM international, 2004, p. 700.
- [12] *ASM Handbook*, Vol.4, Ohio, ASM international, 2004, p. 81.
- [13] *ASTM E837-01, Standard Test Method for Determining Residual Stresses by the Hole Drilling Strain-Gauge Method*, American Society for Testing and Materials, WestConshohocken, 2001.
- [14] y. kudr, Myavtsev, J. kleiman, increasing fatigue strength of welded joints by ultrasonic impact treatment, *iiw. Document Xiii*, 2338, 2010

استفاده از روش سوراخکاری مرکزی و صحت نتایج حاصل از آن روش استفاده نمود.

5- فهرست عالم

علایم یونانی

زاویه بین تنفس‌های اصلی	β
ماکریم تنفس اصلی(MPa)	σ_{\max}
مینیمیم تنفس اصلی(MPa)	σ_{\min}
زاویه انعکاس (زاویه برآگ)	θ

کرنش‌های به دست آمده در روش سوراخکاری مرکزی ϵ_1 ، ϵ_2 و ϵ_3

6- مراجع

- [1] M. Sedighi, R. Nazemnezhad, Analysis of the effect of residual stress measurement method for determining the position of the peaks in the diffraction curve of standard X-ray diffraction method, *Air and Space Engineering*, Vol. 7, No. 2, pp. 73-88. (In Persian)
- [2] M.A. Golozar, *Heat treatment of steels*, Isfahan University of Technology, No. 2, 2000. (In Persian)
- [3] Northern scientific & Technology Company. *Guide for application of*