مجله مهندسی مکانیک، شماره پیاپی ۶۷، جلد ۶۶، شماره ۳، پاییز، ۱۳۹۵، صفحه ۲۴۵–۹۲

بررسی توزیع مجدد تنشهای پسماند در اتصال جوشی در فرآیند ساچمه پاشی

| رسول محرمی * | استادیار، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران |
|--------------|--|
| رضا سورکی | کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران |
| پیام آزادیان | کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران |

چکیدہ

رفتار خستگی، مقاومت خوردگی و رفتار شکست اتصالات جوشی از تنشهای پسماند به شدت تأثیرپذیر میباشد و محققان سعی بر بهبود عملکرد و افزایش عمر سازههای جوشکاری شده دارند. فرآیند ساچمه پاشی با ایجاد تنش پسماند فشاری سطحی از روشهای مورد استفاده در بهبود کارکرد قطعات صنعتی از جمله اتصالات جوشی دارای تنش پسماند کششی میباشد. در مقالهی حاضر بررسی عددی اثر پارامترهای فرآیند بر توزیع و بزرگی تنشهای پسماند فرآیند ساچمه پاشی بر روی یک قطعه دارای تنش پسماند کششی میباشد. در مقالهی حاضر بررسی عددی اثر پارامترهای فرآیند بر توزیع و بزرگی تنشهای پسماند فرآیند ساچمه پاشی بر روی یک قطعه دارای تنش پسماند مورد توجه قرار گرفته است. ابتدا با شبیهسازی عددی فرآیند ساچمه پاشی بر روی نمونه بدون تنش پسماند و در بخش دیگر با شبیهسازی اعمال عملیات ساچمه پاشی در منطقه جوش و اطراف آن، تنشهای پسماند سطحی ایجاد شده بررسی شده است. نتایج هر قسمت علاوه بر مقایسه با نتایج پژوهشهای معتبر قبلی، با تهیه و ساخت نمونه تست مناسب، با نتایج اندازه گیری تجربی تنش نیز اعتبار سنجی شده است. نتایج حاصل از این پژوهش بیانگر کاهش تنش پسماند کششی و یا ایجاد تنش های فشاری در سطح قطعه دارای تنشهای پسماند کششی بزرگ پس از ساچمه پاشی و تأثیر پارامترهای فرآیند در حالت نهایی تنش در قطعه میباشد. همچنین طبق نتایج به دست آمده افزایش بیشینه تنش پسماند فشاری با افزایش پارامتر سرعت و قطر ساچمه مربوط می باشد.

كلمات كليدى: تنش پسماند، توزيع مجدد، شبيهسازى، ساچمه پاشى، اتصال جوشى.

Study on Residual Stresses Redistribution in Welded Joint in Shot peening process

| R. Moharrami | Mechanical Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran |
|--------------|--|
| R. Sourki | Mechanical Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran |
| p. Azadian | Mechanical Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran |

Abstract

Investigations illustrate that fatigue behavior, corrosion resistance and failure behavior are one of the most common results affected by residual stresses. The shot peening process which causes compressive residual stress (CRS), is one of the ways to improve the performance of industrial components, especially weld joints with tensile residual stress. In the present paper, numerical analysis of parameters of shot peening process on residual stress distribution is employed on pre-stressed specimen. On one hand, the numerical simulation of this process is investigated. On the other hand, the surface CRS and the effective parameters of this process, by simulating it on the welded specimen, are investigated on and around the welding region. In each section, numerical results were verified not only with former numerical investigations but also with building a proper empirical specimen and measuring the stresses experimentally. Results illustrate the decrease of tensile residual stress or increase of CRS on the surface of the pre-stressed specimen after shot peening process. Moreover, it shows that parameters of the shot peening process have a significant impact on final stresses in the specimen. Besides, based on the results the maximum CRS goes up by increasing the diameter and velocity of the shot.

Keywords: Residual stress, Redistribution, Simulation, Shot peening, weld joint.

هنوز مسئله ایجاد تنشهای پسماند بزرگ و مشکلات متعاقب آن در سازههای جوشی حل نشده باقی مانده است.

به دلیل اهمیت موضوع، امروزه تحقیقات وسیعی در رابطه با ارائه توصیههایی جهت کاهش احتمال بروز چنین مشکلاتی بهویژه در مورد سازههای جوشکاری شده که در آن تنشهای پسماند کششی بزرگ و معمولاً در حد تنش تسلیم ماده بوجود میآیند، در حال انجام است. در این رابطه مدیریت توزیع تنش های پسماند کششی سطحی و همچنین ایجاد تنش های سطحی فشاری با استفاده از فرآیندههای کار سرد از هدف های چنین تحقیقاتی میباشد.

فرآیند ساچمه پاشی با ایجاد تنش پسماند فشاری سطحی از روش های مورد استفاده در بهبود کارکرد قطعات صنعتی دارای تنش پسماند کششی سطحی میباشد. در این فرآیند از پرتاب ذرات کروی کوچک و

۱– مقدمه

بررسی روشهای افزایش اطمینان به یکپارچگی سازه های تحت بارگذاری و جلوگیری از بروز آسیب هایی مثل ایجاد و رشد ترک از موضوعات مورد علاقه محققان مکانیک و سازه و مراکز تحقیقاتی میباشد. تحقیقات علمی و بررسی مستندات مربوط به شکست برخی از سازه هایی که منجر به بروز خسارت زیادی شدهاند، نشان میدهد رفتار خستگی، مقاومت خوردگی و رفتار شکست و پایداری ابعادی سازه از عمده ترین خصوصیات تاثیرپذیر از تنش های پسماند میباشد. تنشهای پسماند کششی سطحی میتوانند منجر به ایجاد و رشد ترک و

در نهایت شکست زودرس گردد. احتمال بروز این رفتار هنگامی که تنش پسماند سطحی و تنشهای ناشی از بارگذاری خارجی از نوع کششی باشند بسیار بیشتر میباشد. علیرغم توسعه زیاد تکنولوژی جوشکاری،

^{*} نويسنده مكاتبه كننده، آدرس پست الكترونيكي: r_moharami@znu.ac.ir

سخت برای ایجاد برخورد با قطعهی هدف استفاده می شود. با برخورد ذرات سخت در سرعت بالا با سطح هدف، با ایجاد فرو رفتگی و تغییر شکل پلاستیک و اثر متقابل منطقه الاستیک اطراف، در سطح قطعه تنش های پسماند سطحی فشاری بوجود می آید. شکل ۱ محل اثر برخورد و توزیع طرحواره ای تنش های پس از برخورد را نشان می دهد.



شکل ۱- توزیع تنشهای پسماند فشاری و کششی ایجاد شده بعد از برخورد ساچمه

بزرگی و توزیع تنشهای پسماند حاصل از ساچمه پاشی از پارامترهای فرآیند متأثر میباشد. هرچند عمق سطح متأثر از تنشهای پسماند بسیار کم میباشد ولی به تجربه ثابت شده است که بزرگی و توزیع تنشهای پسماند فشاری با بزرگی و توزیعهای خواهد داشت. شکل ۲ اثر تنشهای پسماند فشاری با بزرگی و توزیعهای مختلف بر عمر خستگی یک نمونه مورد بررسی در مقایسه با نمونه بدون کار سطحی را ارائه داده است. در شکل زیر نمونه شماره ۲ بدون تنش های پسماند و نمونههای دیگر دارای تنش های کششی و فشاری می باشند. توجه به شکل تفاوت بسیار زیاد در اثر تنشهای فشاری و کششی و نیز تفاوت محسوس در رفتار خستگی نمونههای دارای تنشهای پسماند فشاری مختلف را نشان می دهد.

به منظور کنترل بهینه فرآیند و درک عمیق اثرات آن متغیرهای متعددی که فرآیند ساچمه پاشی را متأثر مینمایند بایستی مورد بررسی قرار گیرند.پارامترهایی نظیر سرعت ساچمه، اندازهی ساچمه، ماده و سختی ساچمه و قطعه، اصطکاک بین ساچمه و قطعه، شدت و پوشش دهی از پارامترهای مهم در فرآیند ساچمه پاشی هستند.

بیست سال اخیر، تحقیقات زیادی دربارهی تنشهای پسماند و همچنین اثر اینگونه تنش ها در رفتار سازهها صورت گرفته است. همچنین بررسی فیزیک فرآیند ساچمه پاشی، توزیع تنشهای باقیمانده، اثر پارامترهای فرآیند بر توزیع تنشها و نیز اثر تنشهای پسماند سطحی بر رفتار مکانیکی قطعات مورد توجه محققان بوده است. برای مثال، شوارتزر و همکاران در مقالهای[۲] با مدل المان محدود برخورد ۱۹ ساچمه را مورد بررسی قرار دادند که به بررسی اثر سرعت، قطر و شعاع ساچمه پرداختند و نتایج خود را با نتایج تجربی اندازه گیری تنش سطحی با اشعهی X مقایسه کردند. مگوید و همکاران[۳] به بررسی پارامتر سرعت، شعاع و شکل و سختی ساچمه و اثرات آن بر روی تنشهای پسماند پرداختهاند.



شکل ۲- اثر توزیع تنشهای پسماند سطحی بر رفتار خستگی[۱]

روهاند و همکاران در مقالهی خود [۴] به بررسی تأثیر مدل مادهی ایزوتروپیکی و سینماتیکی پرداختند که نتایج آنها منجر به انتخاب مدل سینماتیکی به عنوان مدلی مناسب برای شبیهسازی این فرآیند گردید. شیوپوری و همکاران[۵] با شبیهسازی عددی به بررسی تأثیر پارامترها بر تنشهای پسماند پرداختند و به نتایجی نزدیک به نتایج تجربی تست سقوط دست یافتند. همچنین الحسنی [۶]به بررسی برخورد یک چهارم ساچمه و سپس برخورد چندین ساچمه پرداخت و نشان داد که نرخ کرنش و کار سختی غیر خطی نقش مهمی را بر توزیع تنشهای پسماند ایفا میکنند. زایون در مقالهای [۷] با شبیهسازی المان محدود به بررسی برخورد استاتیکی و دینامیکی با مواد و ضرایب اصطکاکی مختلف پرداختند. همچنین تورس در مقالهای تأثیر ساچمه زنی بر عمر خستگی فولاد زنگ نزن AISI 4340 را بررسی نموده است [۸]. هانگ در مقالهای با شبیه سازی عددی برای بررسی ارتباط پارامترهای ساچمه پی برد که ویژگی تصادفی این فرآیند بر نتایج به دست آمده تأثیر گذار میباشد[۹]. نتايج آنها توانايي روش بكار رفته براي ثبت رفتار واقع گرايانه فرآيند شامل برهم کنش میان ساچمهها در حال آمدن به سمت سطح و ساچمههای برگشتی از سطح را نشان داد. مجذوبی چندین پژوهش در زمینه مطالعه فرآیند ساچمه پاشی و اثرات آن داشته و در مقالهای شبیهسازی سه بعدی فرایند برخورد چندین ساچمه را انجام داد و نشان داد که توزیع تنش پسماند به شدت وابسته به سرعت و کثرت برخوردها میباشد. افزایش سرعت برخورد، توزیع تنش پسماند را تا رسیدن به نقطه خاصي بهبود ميبخشد. طبق نتايج به دست آمده افزايش ثانويه سرعت ممكن است تنش پسماند بيشينه را كاهش دهد. همچنين سرعت برخورد تأثير قابل توجهي برروي نمودار تنش پسماند دارد[١٠]. میائو در مقالهای یک مدل سه بعدی المان محدود با توزیع تصادفی

رسول محرميي، رضا سوركي و پيام آزاديار

پژوهش اعمال شده است. به عنوان نمونه در این قسمت که هدف آن توسعه توانمندی شبیهسازی صحیح فرآیند میباشد، برای مدل سازی رفتار مواد، فولاد كربنى استحكام بالا با رفتار غير خطى و با قابليت كارسختى طبق مدل مادهى كوپر- سايموندز با اطلاعات تجربى رفتار مواد ارائه شده در مرجع [۱۰] استفاده شده است. در شبیه سازی انجام شده پارامترهای رفتار با مقایسهی این نتایج میتوان تطابق مناسبی را برای این پژوهش ملاحظه کرد. هرچند خطاهایی ناشی از مدلسازیها وجود دارد که عدم تطابق بُعد مدلسازیها و استفاده از نرمافزاهای متفاوت از آن جمله می باشد. اما آنچه که اهمیت دارد، به دست آمدن نتايج قابل قبول در حد نتايج تجربي و رفتار مناسب الاستيك-پلاستيك قطعهی هدف در فرآیند ساچمه پاشی در حین برخورد ساچمه میباشد. مکانیکی اعمال شده مطابق جدول ۱ در نظر گرفته شده است. همچنین مقدار مؤثر میرایی فرکانسی در این پژوهش با مقایسه با نتایج تجربی موجود با استفاده از تکنیک سعی- خطا به دست آمده و اعمال گردیده است. همچنین از موضوع عدم وابستگی نتایج به دست آمده به اندازه و توزيع المان ها، با بررسى نتايج در چند مدل مختلف و عدم تفاوت قابل ملاحظه در نتایج، اطمینان حاصل شده است.

به منظور نمایش درستی روش و صحت نتایج این بخش، از مقایسه نتایج حاضر با نتایج ارائه شده در پژوهشهایی که در آنها تحلیل عددی و اندازه گیری تجربی انجام شده است استفاده گردیده است. یک مورد از نتایج مقالهی حاضر به منظور صحهگذاری با نتیجه تأیید شده در مرجع [۵] مقایسه شده که در شکل ۳ نشان داده شده است.



میلیمتر

در ادامه در آنالیزهای متفاوت دیگر، شبیه سازی برخورد تعداد ۱، ۲، ۳، ۵، ۹ و ۲۵ ساچمه بر روی مدل بدون تنش انجام و نتایج با هم مقایسه گردید. جهت استخراج نتایج توزیع تنش با توجه به روش پیشنهاد شده در مرجع [۵] از میانگین گیری تنش در سطوح مختلف در راستای محورهای عمود بر جهت برخورد استفاده شد. بررسی نتایج نشان می دهد به دلیل تقارن، تنش در هر دو امتداد مقادیر مشابهی را داراست و در هر مدل سازی با مقایسه نتایج المان محدود با نتایج پژوهش های منتشر شده دقت مناسب تحلیل های انجام شده تأیید شده است.

میانگین گیری سطحی برای نزدیکی به تنش پسماند ساچمه زنی در زیر محل برخورد چندگانه با استفاده از مدل المان محدود متقارن سه بعدی، با ساچمههای پلاستیک (شکل پذیر) به یک روش مناسب برای اندازه گیری تنشهای سطحی ساچمه زنی دست یافته که بسیار نزدیک به نتایج حاصل از اندازه گیری تنش با استفاده از اشعه ایکس میباشد[۱۲]. هدف اصلی از این تحقیق که بخشی از یک بررسی تحلیلی و تجربی جامع در بارهی اثر فرآیند کار سرد بر رفتار خوردگی و خستگی میباشد. مطالعه تأثیر عملیات ساچمه زنی بر بزرگی و توزیع تنشهای پسماند سطحی در نمونه یجوشکاری شده دارای میدان تنشهای پسماند قبلی مى باشد. بدين منظور ابتدا با استفاده از تكنيك المان محدود اقدام به شبیهسازی فرآیند ساچمهزنی و بررسی اثر برخی از پارامترها بر توزیع و بزرگی تنشهای پسماند بر روی نمونه بدون تنش قبلی شده است. در این قسمت برای بررسی صحت روش شبیهسازی نتایج به دست آمده با دادههای پژوهشهای عددی و تجربی موجود مقایسه شده است. در قسمت دیگر که بخش نوآوری این گزارش می باشد با استفاده از روش شبیهسازی تأیید شده در بخش قبل تنشهای حاصل از فرآیند ساچمه زنی بر روی نمونه دارای تنش پسماند اولیه بررسی شده و اثر برخی از پارامترهای این فرآیند بر توزیع تنشهای پسماند سطحی در اتصال جوشی مطالعه شده است. در این بخش با ساخت نمونه آزمایشگاهی جوشکاری شده و انجام فرآیند ساچمه پاشی هدفمند و با به کارگیری روش تجربی پراش اشعه ایکس در اندازهگیری تنش پسماند سطحی صحت نتایج این پژوهش بررسی شده است.

چندگانه ساچمهها را گسترش داده اند[۱۱]. کیم در مقالهای با یک

۲-تحلیل عددی فرآیند ساچمه پاشی

در این بخش برای بررسی نحوه ایجاد تنشهای پسماند در طی فرآیند ساچمهزنی و تأثیر پارامترهای فرآیند بر بزرگی و توزیع آن، ابتدا از شبیهسازی اجرای فرآیند بر روی نمونه بدون تنش اولیه به کمک نرمافزار تحلیل المان محدود NASYS LS-DYNA استفاده شده است. برای مدلسازی هندسی یک مدل المان محدود پارامتریک با امکان تغییر در ابعاد و توزیع المان ها تهیه و جهت بررسی اثر برخورد ساچمه مورد استفاده قرار گرفته است. در این شبیهسازی بهدلیل تقارن مسئله فقط یک چهارم قطعه و ساچمه در مدل سازی در نظر گرفته شده است. جهت عدم تأثیر پذیری نتایج عملیات ساچمهزنی از شکل، ضخامت و ابعاد قطعه کار ابعاد و عمق قطعه مورد بررسی حداقل به اندازه ۷ و ۴ برابر شعاع ساچمه در نظر گرفته شده است.

از المان هشت گرهای برای آنالیزهای مورد نظر استفاده شده و برای افزایش دقت، ایجاد مش منظم بهطوریکه منطقهی برخورد دارای مش ریزتری باشد مد نظر قرار گرفته است. برای برخورد دو جسم، ضریب اصطکاک ۲۰/۲۰ برگرفته از مرجع [۳] استفاده شده و جهت شرایط مرزی، قطعه از اطراف در جهت افقی و از زیر در جهت عمودی قیدگذاری شده است. در این شبیهسازی ساچمه صلب در نظر گرفته شده و در جهت افقی مقید شده است. در بخش های مختلف این پژوهش اثر ساچمه پاشی بر روی تعدادی مواد با رفتار مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. در هر قسمت رفتار مواد متناسب با اطلاعات تجربی در دسترس و نیز نمونههای ساخته شده در تستهای تجربی این

جدول ۱- داده های مورد استفاده در مدل سازی رفتار مکانیکی مواد

| تنش | مدول | باده برای نرخ | ضرایب مدل م | کرنٹ |
|-------|---------|---------------|-------------------|---------------|
| تسليم | پلاستيک | ش | كرن | ىرىسى شكست |
| (Mpa) | (Gpa) | Р | С | |
| 10 | 18 | ٣/٣ | ۲×۱۰ ^۵ | ۰/۷۵ |

شکل ۴ نمونه المان بندی سه بعدی در حال برخورد ۹ ساچمه و نتایج توزیع تنش حاصل را نشان میدهد.بررسی نشان دهنده آن است در صورت عدم همپوشانی کامل سطح، در برخی از مناطق در سطح تنشهای پسماند کششی توسعه خواهد یافت.طبق نتایج در صورت پوشانندگی کامل، توزیع و بزرگی تنشهای ناشی از ۲۵ ساچمه با تنشهای برخورد یک ساچمه در محل برخورد تک ساچمه برابر می.باشد.



شکل ۴- مدل المان محدود سه بعدی و توزیع تنش بعد از برخورد ساچمهها

با توجه به نتایج به دست آمده و به دلیل پیچیدگی شبیهسازی برخورد چندین ساچمه به یک اتصال جوشکاری شده، با ساده سازی مسئله، در ادامه شبیهسازی برخورد یک ساچمه بر روی سطح دارای تنش پسماند اولیه دنبال شده است.

۳- بررسی توزیع مجدد تنش در قطعه دارای تنش یسماند اولیه

مطالعه پژوهشهای منتشر شده در باره فرآیند ساچه زنی نشان دهندهی آن است که در اغلب پژوهشهای گذشته بررسی این فرآیند بر روی سطوح بدون تنش موضوع بررسی بوده و اثر آن بر روی سطوح دارای تنش قبلی که میتواند از فرآیندهای ساخت قبلی مثل جوشکاری و غلتک کاری ایجاد شود بررسی نشده است. در این بخش با استفاده از نتایج بخش های قبل ابتدا با شبیهسازی فرآیند جوشکاری و در ادامه بر خورد تک ساچمه به منطقه دارای تنش های پسماند کنار خط جوش، اثر وجود تنشهای پسماند جوشی بر باز توزیع تنشهای حاصل از ساچمه پاشی بررسی شده و در قسمت دیگر قطعه دارای تنش های اولیه

مختلف در معرض برخورد ساچمه با مشخصات معین و کنترل شده قرار گرفته است.

۳-۱-مدل سازی فرآیند جوشکاری و برخورد تک ساچمه

تنش پسماند حین انجام اغلب فرآیندهای ساخت نظیر ریخته گری، آهنگری، ماشینکاری و یا جوشکاری در قطعه به وجود آمده و پس از آن در قطعه باقی میماند و این موضوع از مشکلات مهم در استفاده از سازههای دارای این اتصال جوشی می باشد.

در این پژوهش نیز مدل سازی با توجه به نمونه جوشکاری که قبلا برای آزمایش آماده شده بود انجام شده و تلاش گردیده تا اندازه ها با مقادیر واقعی که در بخش فعالیت های تجربی ارائه شده است تطابق داشته باشد. در این شبیه سازی برای کاهش زمان آنالیز و به دلیل تقارن مسئله یکی از ورق های مورد جوشکاری مدلسازی شده است. المانهای منطقه برخورد ساچمه از مرتبه ۲۰۰۰۲۵ متر و المانهای مربوط به جوش از مرتبه ۲۰۲۰۲ متر بوده و از المان های مناسب برای تحلیل کوپل غیر مسستقیم حرارتی-مکانیکی استفاده شده است. شکل ۵ مدل هندسی با المان های ایجاد شده مورد استفاده در این بخش را نشان داده است.



شکل ۵-مدل هندسی مشبندی شده برای برخورد ساچمه به منطقه جوش

آنالیز در سه مرحله حل حرارتی، حل مکانیکی جوش و حل مسئله برخورد تک ساچمه به نمونه انجام گرفته است و در دو مرحله ابتدایی که مربوط به شبیهسازی جوش میباشد که در آن خواص مواد وابسته به دما فرض شده و اطلاعات آن به همراه جزییات فرآیند جوشکاری، شرایط مرزی، مدل گرمایی بکار رفته مطابق مرجع ۱۳ میباشد.

نتایج شبیه سازی در مورد بزرگی و توزیع تنشهای پسماند جوشی نشان می دهد به واسطه ماهیت جوشکاری (اعمال حرارت موضعی)، تنشهای پسماند بزرگ کششی در ناحیه جوش بوجود آمده است. در شکل ۶ توزیع تنشهای پسماند جوشی به دست آمده از شبیه سازی نشان داده شده است. طبق شکل تنشهای پسماند کششی در مناطق جوش و مجاورت آن در وسط قطعه توسعه پیدا کرده است.

بررسی های تجربی و نیز شبیه سازی های انجام شده توسط محققان و نیز مولفان مقاله نشان دهنده آن است که در اغلب اتصالات جوشی، اتصال هایی که دارای طول کافی هستند، بزرگی تنش های پسماند طولی در حد ۹۵-۶۰ درصد تنش تسلیم و بزرگی تنش عرضی در محدوده ۱۰-۱۰ درصد تنش تسلیم قطعه جوشکاری شده می باشد [۱].

در بخش انتهایی شبیهسازی برخورد یک ساچمه به منطقه دارای تنشهای پسماند جوشی مورد توجه قرار گرفته است. در این قسمت

خواص مواد مورد استفاده در بخش قبلی و تجربیات به دست آمده استفاده شده است[۱۳]. نتایج شبیه سازی در بخش ۴ این مقاله مورد استفاده بوده و نشان دهنده امکان ایجاد باز توزیع تنش پسماند مطلوب و تغییر تنش های کششی شدید به تنش های فشاری بزرگ و مفید می باشد. با توجه به اینکه شبیه سازی انجام شده مربوط به نمونه تجربی ساخته شده می باشد، برای بررسی بیشتر لازم است مدل های المان محدود با توزیع تنش های متفاوت توسعه داده شده مورد ساچمه پاشی قرار گیرند.



شکل ۶-توزیع تنشهای پسماند طولی و عرضی پس از جوشکاری

شکل ۷ مدل جوشکاری شده و ساچمه برخورد کرده را به هنگام جدا شدن از قطعه نشان میدهد.



شکل ۷-توزیع تنشهای پسماند جوشی در نمونه به هنگام برخورد ساچمه

۳-۲-مدلسازی تنشهای پسماند جوشی در نمونه مورد بررسی

در این قسمت از پژوهش جهت جلوگیری از پیچیدگی آنالیز عددی، به جای شبیهسازی توامان فرآیند جوشکاری و برخورد ساچمه با آن، اثر

رسول محرميى، رضا سوركى و پيام آزاديار

تنشهای پسماند جوشی به صورت تنش خارجی بر روی مدل المان محدود در نظر گرفته شده است. در اعمال پیش تنش، جهت اعمال تنش کششی بر روی سطوح مدل المان محدود از ایجاد تغییر مکان اجباری و ثابت بر روی کلیه گره های واقع در سطوح کناری مدل استفاده شده است. مقادیر تنشهای اعمالی برابر با تنشهای پسماند جوشکاری که در اندازه گیری تجربی بر روی نمونه تعیین شده میباشد. در این بخش نیز رفتار مواد به صورت غیر خطی و مشابه با مواد مورد نظر برای ساخت نمونههای تست تجربی انتخاب شده است. در مدلسازی فرآیند از تجربیات بخش قبلی استفاده شده و از مستقل بودن نتایج از مش بندی اطمینان حاصل شده است و مطابق روش توضیح داده شده قبلی اثر برخی از پارامترهای فرآیند بر توزیع مجدد تنشهای پسماند مورد برسی قرار گرفته است.

۳-۳-بررسی اثر تغییرات سرعت ساچمه

در بررسی اثر تغییرات سرعت، ساچمه صلب با قطر ثابت ۲/۵mm به قطعهای که به آن تنش کششی اعمال شده است برخورد نموده است.

بررسی با در نظر گرفتن شش سرعت برخورد برابر با ۲۵، ۴۰، ۵۵، ۲۰، ۸۵ و ۱۰۰ متر بر ثانیه برای ساچمه صورت گرفته است که بررسی این ساچمه پاشی بر روی دو حالت اعمال پیش تنش به قطعه برابر با۲/۷ ۴۹٫۰ برابر تنش تسلیم قطعه صورت پذیرفته است.

نتایج حاصل برای این فرآیند در مسیری دقیقاً در زیر محل برخورد ساچمه دریافت شدهاند. برای نمونه، در شکلهای ۸ و ۹ نتایج حاصل از این فرآیند، درحالتی که پیش تنش معادل ۷/۰و ۹۴/۰برابر تنش تسلیم قطعه می اشد مشاهده می شوند. با تکیه بر این نتایج می توان دریافت که:

اً) با افزایش سرعت، بزرگی تنش پسماند فشاری تا سرعت ۸۵متر بر ثانیه افزایش مییابد،

ب) کاهش تنش کششی سطحی اعمال شده شدیداً متأثر از این برخوردها میباشد،

ج) در حالتی که پیش تنش معادل ۱/۲۰برابر تنش تسلیم ماده است، افزایش سرعت به ۴ برابر منتج به افزایش ۱/۸ برابر بیشینهی تنش پسماند فشاری میشود،

د) در حالت اعمال پیش تنش معادل ۰۹۴، برابر تنش تسلیم ماده، افزایش سرعت به ۴ برابر منتج به افزایش حدود۱/۸ برابر بیشینهی تنش پسماند فشاری میگردد،

و) افزایش مقدار تنش کششی به قطعه باعث افزایش تنش سطحی میگردد اما انجام ساچمه پاشی قادر به کاهش آن تا مقدار زیادی میباشد.



. بر ما

شده

تنیده شده با ۰/۷ برابر تنش تسلیم

۳-۴-بررسی اثر تغییرات اندازهی ساچمه

در این بررسی از شبیهسازی برخورد ساچمهی صلبی با سرعت ثابت ۷۰m/s به قطعهای که به آن تنش کششی اعمال شده است استفاده شده است شعاع ساچمه های برخورد داده شده در تحلیل های انجام شده ۰/۵، ۰/۷، ۱/۲۵، ۱/۲۵ و ۲ میلیمتر میباشد. به ازای هر قطر ساچمه، ساچمه پاشی در دو حالت اعمال پیش تنش برابر با ۷/۰ و ۰/۹۴ برابر تنش تسلیم به قطعه مورد بررسی قرار گرفته است.



شکل۹- نتایج حاصل از اثر تغییرات سرعت ساچمه بر روی قطعهی تنیده شده با ۹۴/۰۰برابر تنش تسلیم

نتایج حاصل از ساچمه پاشی بر نحوهی توزیع و بزرگی تنش پسماند فشاری که پیش تنشی معادل ۰/۷ و ۰/۴ برابر تنش تسلیم قطعه به آن وارد شده در شکلهای ۱۰ و ۱۱ نمایش داده شده است. این نتایج بیانگر این امر هستند که:

آ) با افزایش شعاع ساچمه تا ۱/۲۵mm، مقدار بیشینهی تنش پسماند فشاری افزایش یافته و همچنین نفوذ آن در عمق قطعهی هدف بیشتر میشود،

ب) علاوه براین، با ۲/۵ برابر شدن شعاع ساچمه، در حالت اعمال تنش کششی معادل ۰/۷ برابر تنش تسلیم ماده، مقدار بیشینه یتنش پسماند فشاری به بیش از ۱/۲ برابر افزایش یافته است،

ج) با ۲/۵ برابر شدن شعاع ساچمه، در حالت اعمال پیش تنش معادل/۹۴/برابر تنش تسلیم ماده، مقدار بیشینهی تنش پسماند فشاری حدود ۱/۵ برابر افزایش داشته است،

د) با افزایش شعاع ساچمه از ۱/۲۵mm بعد، بیشینهی تنش پسماند فشاری سطحی کاهش یافته ولی میزان تنش پسماند کششی ایجاد شده در عمق قطعه کاهش پیدا کرده است.



شکل ۱۰- نتایج حاصل از اثر تغییرات شعاع ساچمه بر روی قطعهی تنيده شده با ٧/ برابر تنش تسليم



شکل ۱۱- نتایج حاصل از اثر تغییرات شعاع ساچمه بر روی قطعهی تنیده شده با ۹۴/۰برابر تنش تسلیم

۴- فعالیت تجربی و بررسی صحت نتایج عددی

به منظور تأیید نتایج حاصل از شبیهسازی ساچمه پاشیارائه شده در بخش قبل، نمونه دارای تنش پسماند اولیه جوشی تهیه و مورد ساچمه پاشی قرار گرفت. به این منظور یک قطعه ورق با ضخامت ۶ میلیمتر و به ابعاد ۲۵۰×۴۰۰ میلیمتر از جنس فولاد A304 تهیه و برای ایجاد تنشهای پسماند اولیه به روش تیگ و بدون استفاده از فیلتر مورد عملیات جوشکاری قرار گرفت. به هنگام جوشکاری کلیه پارامترهای جوشکاری برای استفاده در بخش شبیه سازی عددی که در بخش قبلی توضيح داده شد ثبت گرديد[1۳].

برای بررسی دستگاه ساچمه زنی یک نمونه نوار آلمن داخل دستگاه قرار داده شد تا میزان زمان مورد نیاز برای پوشانندگی ۱۰۰٪ به دست آید که این زمان برای این دستگاه با نمونه ساچمه های مورد استفاده درحدود ۱۵دقیقه با زاویه نازل عمودی برآورد گردید.[۱۴]. در این پژوهش برای اطمینان بیشتر زمان ۲۰ دقیقه برای ساچمه پاشی و رسیدن به شدت مطلوب در نمونه ها انتخاب گردید. در ادامه با پوشاندن نیمی از نمونه جوشکاری شده توسط یک ورق فولادی، نیمه دیگر از فطعه در معرض فرآیند ساچمه پاشی قرار گرفت و با کنترل پارامترهای فرآیند ساچمه پاشی همپوشانی ۱۰۰٪ را در سطح مورد عملیات از قطعه ایجاد نمود. شکل ۱۲ نمونه جوشکاری شده که یک طرف آن پوشانده شده به همراه نمونه تست آلمن را نشان میدهد.



شکل ۱۲-سطح ساچمه زنی شده به همراه نمونه تست آلمن

در طراحی و در اجرای جوشکاری نمونه تجربی سعی بر این بوده که با حفظ تقارن در هندسه، قیود و بارگذاری به منظور فراهم کردن امکان مقایسه بین دو طرف خط جوش، توزیع تنشهای پسماند قبل از ساچمه پاشی به صورت متقارن نسبت به خط جوش ایجاد گردد. شکل ۱۳ نمای نزدیک سطح ساچمه زنی شده به همراه شکل و ابعاد تقریبی ساچمههای مورد استفاده در این تحقیق را نشان می دهد.



شکل ۱۳- نمونهی ساچمههای مورد استفاده در بخش تجربی [۱۳]

بعد از تکمیل فرآیند ساخت نمونه، در موقعیت های مشابه در دو طرف خط جوش چند مورد اندازه گیریی تجربی تنشهای پسماند انجام گرفت. در این بخش تنشهای پسماند توسط دستگاه XRD در فواصل معینی و مساوی در دو طرف خط جوش مطابق شکل ۱۴، اندازه گیری شد که نتایج آن در جدول ۲ گزارش شده است.

| بسماند توسط دستگاه XRD | ج اندازهگیری تنش پ | جدول۲ - نتايع |
|------------------------|---------------------------|---------------|
|------------------------|---------------------------|---------------|

| مقدار تنش اندازهگیری شده در راستای | فاصله از خط | رديف |
|------------------------------------|---------------|------|
| عمود بر خط جوش (مگا پاسکال) | جوش (میلیمتر) | |
| $-\mathcal{FV}/\Delta$ | 40 | ١ |
| ۲۰۲ | ١٠ | ٢ |
| -ΥΥ·/۵ | -1• | ٣ |
| -774 | 64– | ۴ |

با نرمال کردن تنشها نسبت به تنش تسلیم میتوان تا حدودی اثر تفاوت جنس را در این پژوهش رفع کرد. طبق نتایج تست کشش انجام شده بر روی ورق مورد استفاده مشخص شد جنس استفاده شده در MPa ماخت نمونه جوشی از فعالیت تجربی تنش تسلیمی معادل MPa بخش ساخت نمونه جوشی از فعالیت تجربی منش میادد نسبت به تنش ماکادارد. بنابراین، با بی بعد سازی تنشهای پسماند نسبت به تنش تسلیم قطعهی هدف در فعالیت تجربی، مشخص میشود کهبعد از عملیات جوشکاری در فاصلهی ۱۰ میلیمتری تنشی معادل ۹۴/۰برابر تنش تسلیم قطعه در سطح آن ایجاد شده است. از اینرو، در بررسی عددی تنشی معادل ۹۶/۰ برابر تنش تسلیم مادهی AISI 4340 در محل تقارن قطعه و درست در زیر ساچمه به تعدادی از المانها اعمال شده است تا نسبت تنش کششی مذکور در قطعه ایجاد شود.



شکل ۱۴ – نمایش محلهای اندازه گیری شده بر روی قطعه

نتایج تجربی نشان میدهند که بعد از فرآیند ساچمه پاشی، در فاصلهی ۱۰ میلیمتری تنش پسماندی معادل منفی۱/۰۲۵ برابر تنش تسلیم در سطح قطعه ایجاد شده است.

در بررسی عددی و شبیه سازی فرآیند ساچمه زنی به سطح نمونه ساخته شده از تجربیات بخش ۲ استفاده شده است. در این بررسی برای قطر ساچمه مورد استفاده با میانگین گیری از اندازه ی ساچمه های استفاده شده در بخش تجربی مطابق شکل ۱۱، عدد ۲۸۳۸ و برای اعمال سرعت ساچمه در هنگاه برخورد مقدار ۲۰۰ ۲۰ در نظر گرفته شد. در اسرعت ساچمه در هنگاه برخورد مقدار تابعیز فرض شده و از فرض تحلیل عددی انجام شده ضریب اصطکاک ناچیز فرض شده و از فرض ایجاد پوشانندگی ۱۰۰٪، استفاده شده است چراکه بررسی تنش ها دقیقا فرآیند و نیز نتایج اندازه گیری تجربی برای نقطه ای در فاصله ثابت ۱۰ فرآیند و نیز نتایج اندازه گیری تجربی برای نقطه ای در فاصله ثابت ۱۰ میلیمتر از خط جوش در جدول ۳ ارائه شده است. نزدیکی نتایج مقادیر تجربی و تحلیل عددی تنش های پسماند بیانگر قابل اعتماد بودن روش محت روش عددی بکار رفته می باشد.

دارای تنش های پسماند کششی و افت خواص مکانیکی و خوردگی مفید مورد نظر در برخی مناطق قطعه ساچمه پاشی شده وجود دارد که در شاریط مستعد این مناطق میتوانند محل شروع پدیده هایی مثل ترک-خوردگی تنشی باشد.

نتیجهی این پژوهش تایید کمی و کیفی این مطلب است که ساچمه پاشی بر روی سطوح دارای تنشهای پسماند سطحی کششی بزرگ مثل سطوح حاصل در جوشکاری نیز مفید بوده و منجر به تغییر رفتار کششی به رفتار فشاری تنش سطحی قطعه و افزایش عمر قطعات میگردد.

۶-مراجع

- [1] Handbook of Residual Stress and Deformation of Steel, ASM International, ISBN: 0-87170-729-2, 2002.
- [2] Schwarzer J., Schulze V., Vöhringer O., Finite Element Simulation of Shot Peening – A Method to Evaluate the Influence of Peening Parameters on Surface Characteristics, Proceedings from International Conference of shot peening (ICSP-8), pp. 508-515, 2002.
- [3] Meguid S.A., Shagal G., Stranart J.C., Daly J., Threedimensional dynamic finite element analysis of shot-peening induced residual stresses, J. of F.E. in Analysis and design, Vol. 31, pp. 179- 191, 1999.
- [4] Rouhaud E., Oakka A., Ould C., Chaboche J., Francois M., Finite Elements Model of Shot Peening Effects of Constitutive Laws of the Material, Proceedings ICSP-9, pp. 107-112, 2005.
- [5] Shivpuri R., Cheng X., Mao Y., Elasto-plastic pseudo-dynamic numerical model for the design of shot peening process parameters, Materials and Design, Vol. 30, pp. 3112– 3120,2009.
- [6] Al-Hassani, Numerical Simulation of Multiple Shot Impact, Proceedings ICSP-7, pp. 217-227, 1999.
- [7] Zion H., Lewis, A Dynamic Finite Element Simulation of the Shot-Peening Process, [Ph.D. Thesis], USA, Georgia Institute of Technology, 2003.
- [8] Torres M.A.S., Voorwald H.J.C., An evaluation of shot peening, residual stress and stress relaxation on the fatigue life of AISI 4340 steel, Int. J. of Fatigue, Vol. 24, pp. 877-886, 2002.
- [9] Hong T., Ooi J.Y., Shaw B., A numerical simulation to relate the shot peening process parameters to the induced residual stresses, Engineering Failure Analysis, Vol. 15, pp. 1097-1110, Paris, France, 2008.
- [10] Majzoobi G.H., Azizi R., Alavinia A., A three-dimensional simulation of shot peening process using multiple shot impacts, J. Material Process and Technology, pp. 164-165:1226-34, 2005.
- [11] Miao H.Y., Larose S., Perron C., Levesque M., On the potential applications of a 3D random finite element model for the simulation of shot peening, Advances in Engineering software 40, pp. 1023-1038, 2009.
- [12] Kim T., J.H Lee J.H, Lee H., Cheong S.K., An area-average approach to peening residual stress under multi impacts using a three dimensional symmetry-cell finite element model with plastic shots, Material and Design, Vol. 31, pp. 50-59, 2010.
- [13] Azadiyan P., Experimental and numerical analysis of distribution of residual stresses caused by shot peening process on a welded specimen, M.Sc. Thesis, Department of Mechanical Engineering, University of Zanjan, Zanjan, 2011. (In Persian)
- [14] Guagliano M., Relating Almen intensity to residual stresses induced by shot peening: a numerical approach, J. Materials Processing Technology, Vol. 110, Issue 3, pp. 277–286, 2001.

جدول ۳- نتایج این تحقیق و نتایج تجربی قبل و پس از برخورد ساجمه^(®)

| | ÷ | |
|--------------|----------------------|------------------------|
| پس از برخورد | پیش از برخورد | نتايج |
| ساچمە | ساچمە | |
| -1/•20 | ٠/٩۴ | نتايج تجربى |
| - 1 / • YY | ٠/٩۴ ^(**) | نتايج عددي مقالهي حاضر |
| | | |

^{**}تنش های پسماند در جدول نسبت به تنش تسلیم بی بعد شدهاند. (**⁾معادل مقدار تنش تسلیمی است که به قطعه وارد گردیده.

همچنین در شکل ۱۵ تنشهای پسماند ناشی از اعمال تنش کششی و سپس تنشهای پسماند ناشی از برخورد ساچمه نشان داده شده است. بعد از برخورد ساچمه تنشی معادل منفی ۱/۰۲۷ تنش تسلیم قطعه بر روی سطح ایجاد شده است. ملاحظه می شود که تنش پسماند کششی سطحی به طور قابل توجهی کاهش یافته است.



شکل ۱۵-نتایج حاصل از تنشهای پسماند قبل و بعد از برخورد ساچمه بر روی قطعهی تحت کشش

۵-نتیجهگیری

در مقالهی حاضر، با شبیهسازی فرآیند ساچه پاشی، توزیع مجدد تنشهای پسماند ایجاد شده از فرآیند ساچمه زنی بر روی نمونه دارای تنش پسماند اولیه با دقت قابل قبولی بررسی شده است.

نتایج بیانگر تأثیر به سزای پارامترهای فرآیند ساچمه پاشی در کاهش مقدار تنش کششی و تبدیل آن به تنش پسماند فشاری است که در مواردی بزرگی تنش در پوشانندگی کامل به اندازه تنش تسلیم قطعه در عمقی ۳۰۰ تا ۵۰۰ میکرون میباشد. همانگونه که از نتایج شبیه سازی برخورد ساچمه بر روی قطعه ی پیش تنیده بر میآید، افزایش بزرگی و عمق اثر تنش پسماند فشاری متأثر از افزایش سرعت و شعاع ساچمه است. همچنین استفاده از ساچمههای بزرگتر در مدت زمان ساچمه پاشی طولانی منجر به افت بزرگی تنشهای پسمان فشاری سطحی خواهد شد.

طبق نتایج عددی و تجربی به دست آمده با انجام عملیات ساچمه پاشی مناسب به دلیل ایجاد تنشهای پسماند فشاری سطحی، رفتار خوردگی و خستگی و رشد ترک در اتصالات جوشی بهبود خواهد یافت. همچنین در صورت عدم دقت در انتخاب مناسب پارامترهای فرآیند و ساچمه پاشی با پوشانندگی کمتر از ۱۰۰ درصد، احتمال ایجاد مناطق