مجلهٔ فنی و مهندسی مدرس
شمارهٔ ۳۲، تابستان ۱۳۸۷
«ویژه‌نامهٔ مهندسی مکانیک»

تحلیل تنش و تخمین عمر خستگی در اتصالات جوش نقطه‌ای

احسان نراقیان[۱]، مجید میرزایی[۲*]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشیار مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

***تهران، صندوق پستی ۱۴۳ - ۱۴۱۵۵**

mmirzaei@modares.ac.ir

(دریافت مقاله: خرداد ۱۳۸۵، پذیرش مقاله: دی ۱۳۸۵)

چکیده- در این مقاله رفتار مکانیکی اتصالات نقاط جوش و پیش‌بینی عمر خستگی برای ورق‌های موجی‌شکل حاوی اتصالات جوش نقطه‌ای مورد مطالعه قرار گرفته است. مدلهای ارائه شده به‌صورت یک ورق موجی‌شکل هستند که به‌ترتیب با ۷ و ۱۴ نقطه جوش به یک ورق L شکل متصل شده و هر یک تحت چهار حالت بارگذاری تناوبی متفاوت قرار دارند. تحلیل بر پایه حل برنامه اجزای محدود ANSYS7 با استفاده از المانهای صلب انجام شده است. در این تحقیق همچنین تنش‌ها و کرنش‌ها در ناگت‌های نقطه جوش مطالعه شده است؛ اما تحلیل بیشتر بر پیش‌بینی عمر خستگی براساس کرنش و مطالعه خصوصیات سه‌بُعدی ناحیه تنش در اتصالات نقاط جوش و پیدا کردن نگرشی نسبت به رفتار سازه در بارگذاری‌های تناوبی، با توجه به در نظر گرفتن خواص مواد و هندسه غیرخطی متمرکز است.

کلید واژگان: خستگی، تحلیل اجزای محدود، تحلیل کرنش، تحلیل تنش، نقطه جوش.

۱- مقدمه

امروز تعداد زیادی از سازه‌های فلزی با استفاده از فنّاوری اتصال جوش نقطه‌ای مقاومتی ساخته می‌شوند. اگر چه اتصال نقطه جوش مقاومتی فرایندی صنعتی و سریع برای تولید انبوه است؛ اما بسیاری از سازه‌های تولید شده توسط نقطه جوش را به‌راحتی نمی‌توان تحلیل کرد؛ برای مثال، خودرو دارای چندین هزار نقطه جوش است. یکی از فرایندهای واماندگی که باعث تخریب بسیاری از سازه‌های متصل شده توسط اتصال نقطه جوش می‌شود، واماندگی براساس بارهای تناوبی یا همان خستگی است. عوامل متعددی این فرایند را پیچیده می‌سازد؛ تنش‌های تناوبی باعث تغییرات تدریجی می‌شوند که به‌سهولت قابل مشاهده نیستند [۱].

راهکار مبتنی بر کرنش[۱] در خستگی، تغییر شکل پلاستیک را در نواحی که ترک خستگی رشد می‌کند مفروض قرار می‌دهد. در این راهکار تنش‌ها و کرنش‌ها در بعضی نواحی به‌عنوان مقدمه‌ای برای تخمین عمر، تحلیل می‌شود و به‌کار می‌رود. این حالت اغلب برای فلزهای نرم و با عمر نسبتاً کوتاه است؛ اما این راهکار در جایی‌که پلاستیسیته کوچک در عمر طولانی وجود دارد نیز اعمال می‌شود. همچنین روش جامعی است که می‌توان آن را به‌جای راهکار مبتنی بر

1. Strain-Based Approach

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1387.8.1.13.0]

تنش[1] نیز به‌کار برد. بررسی ورق موجی‌شکل تحت نقطه جوش‌های متعدد در این مقاله مورد بحث قرار گرفته و آنچه این تحقیق را نسبت به تحقیقات پیشین متمایز می‌کند، آن است که قطعات مورد تحلیل کاملاً با آنچه در صنعت و آزمایشهای تجربی به‌کار رفته، یکسان است و با توجه به هندسه خاص آن، ساده‌سازی از نظر کم کردن تعداد نقاط جوش بر روی آن انجام نشده است. با توجه به موارد گفته شده، هدف اصلی از این تحلیل، شناسایی عمر این قطعات برای بارگذاری‌های متفاوت و مقایسه آن با نتایج تجربی و همچنین مقایسه نتایج قطعات آزمایش شده (به‌صورت نمونه) با یک قطعه تحت آزمایش بدون ساده‌سازی است.

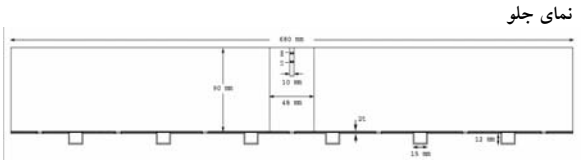
۲- توصیف مسأله

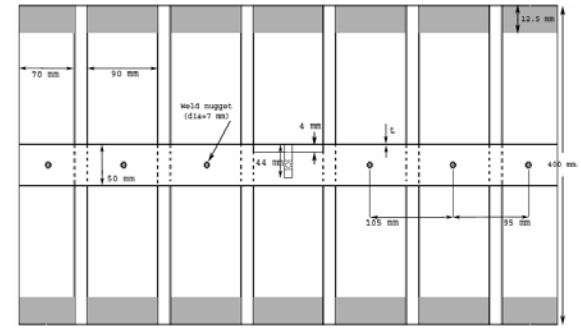
نمونه اصلی مورد آزمایش در تحلیل تجربی، ورق L شکل است که بر روی ورق موجی‌شکل، به‌ترتیب با ۷ و ۱٤ نقطه جوش متصل شده است. همانطور که در شکل ۱- الف نشان داده شده، در حالت اتصال با ۷ نقطه جوش، ورق L شکل تنها با یک نقطه جوش در حد فاصل قسمت موجی‌شکل ورق زیرین، به ورق موجی‌شکل متصل شده است.

تمامی اندازه‌ها در نمای جلو و بالا در شکل آورده شده است؛ فقط قسمت انتهایی ورق موجی‌شکل دارای اندازه‌های ۷۰ میلیمتر است و قسمتهای میانی دارای اندازه ۹۰ میلیمتر هستند و نقاط جوش در فواصل مساوی از فرورفتگی‌های ورق زیرین، اعمال شده است. در حالت اتصال با ۱٤ نقطه جوش همان قطعه قبلی مورد استفاده قرار گرفته با توجه به اینکه در حد فاصل فرورفتگی‌های موجی‌شکل، دو اتصال جوش با فواصل مساوی از یکدیگر و همچنین از لبه‌های فرو رفته اعمال شده است (شکل ۱- ب).

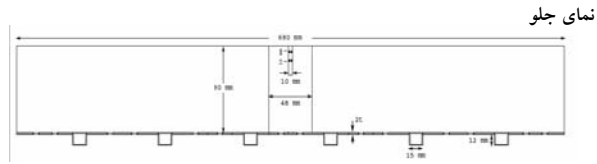
1. Stress-Based Approach

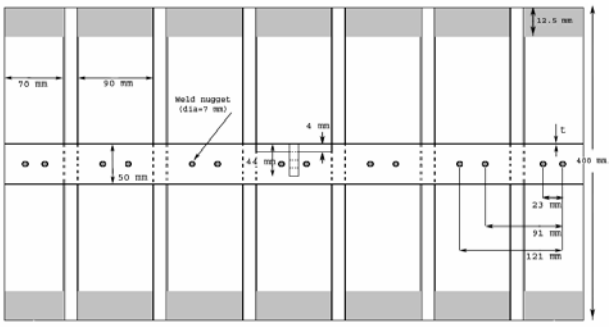
قسمت تیره‌تر در دو انتهای بالایی و پایینی نمای از بالا نشان‌دهندهٔ محل اتصال گیره‌ها برای اعمال قید و جلوگیری از حرکت بر روی نمونه است.





(الف)





(ب)

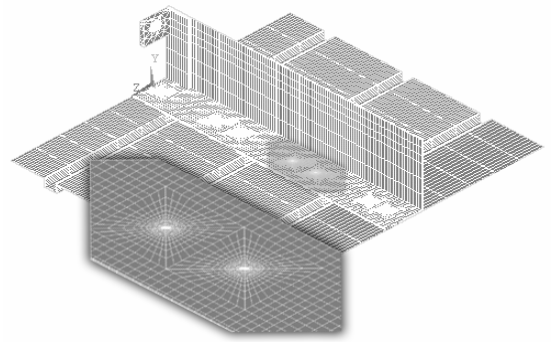
شکل ۱ هندسه نمونه‌های تحت آزمایش: نما از جلو و بالا برای نمونه با **الف)** ۷ نقطه جوش **ب)** ۱٤ نقطه جوش

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1387.8.1.13.0]

۳- المان محدود

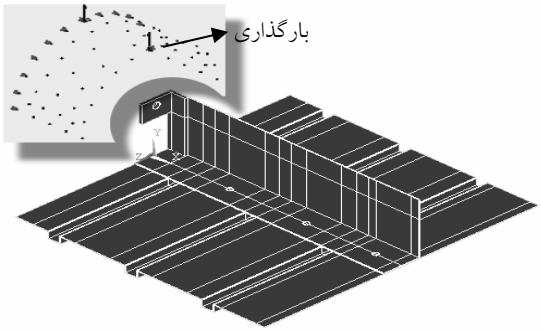
در این تحقیق برای شبیه‌سازی مدل‌های المان محدود با توجه به اینکه هر یک از مدل‌ها دارای یک محور تقارن بودند؛ تنها نیمی از مدل اصلی نسبت به صفحه تقارن y-z مدل شده است (شکل ۲).



شکل ۲ مدلهای المان محدود برای نمونه با ۱٤ نقطه جوش

ضخامت ورق‌ها در هر دو نمونه و برای دو قسمت موجی‌شکل و L شکل برابر ۱mm در نظر گرفته شده است.

در این نمونه‌ها، بارگذاری تحت سطوح بارگذاری متفاوت با دامنه ثابت و دو نوع متفاوت نسبت تنش (R=۰/۱، R=۰/۲)، انجام شده است. محل اعمال بار، قسمت داخلی و فوقانی استوانه‌ای شکل است که به‌صورت برجسته در شکل ۳ نشان داده شده است.



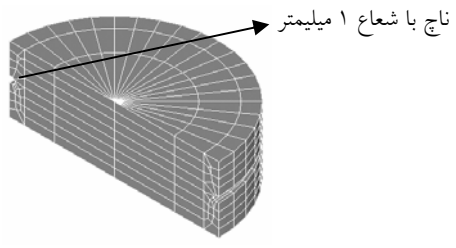
شکل ۳ محل بارگذاری در نمونه‌های المان محدود

برای به‌حداقل رساندن اعوجاج و اعمال خمش بر نقاط جوش، محل اعمال بارها دقیقاً در بالای مرکز نقاط جوش برای هر دو نمونه قرار دارد.

تمامی مدل‌ها به‌جز ناحیه بارگذاری - که دارای المانهای منشوری با ٦ گره هستند - دارای المان‌های مکعبی ۸ گرهی بوده و به‌علت تمرکز تنش در ناحیه ناگت نقطه جوش، در این ناحیه از المان‌های ریزتری استفاده شده است. با توجه به تحقیقات انجام شده [۲]، قسمت میانی ناگت جوش دور از ناچ تقریباً بدون تنش است؛ به‌همین دلیل در این قسمت از المان‌های درشت‌تر استفاده شده است.

شعاع ناچ در تمامی نمونه‌های برای ناگت جوش بر پایه اطلاعات تجربی برابر ۱mm در نظر گرفته شده است.

شکل ٤، نقطه جوش را با جزئیات بیشتری نشان می‌دهد.



شکل ٤ جزئیات اتصال

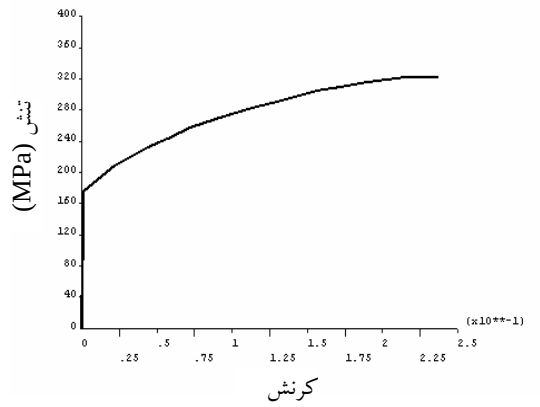
با توجه به اینکه هر دو نمونه دارای هندسه یکسان هستند، انتظار می‌رود نحوه توزیع تنش و همچنین حالت تغییر مکانها (جدا از مقدار عددی آنها) تشابه زیادی داشته باشد. همانطور که ذکر شده در این تحقیق از مدل‌بندی سه‌بُعدی استفاده شده و کرنش‌ها در نزدیکی جوش به‌صورت محدوده بیشینه کرنش تناوبی[1] در دوره‌های بارگذاری، مطالعه شده است.

1. Maximum Cyclic Strain Range

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1387.8.1.13.0]

٤- هندسه و خواص مواد

منحنی تنش - کرنش به‌کار رفته در این تحلیل مطابق شکل ٥ است.



شکل ٥ منحنی تنش - کرنش حقیقی

در تحلیل المان محدود از تأثیر هندسه و مواد غیرخطی استفاده شده است. مدل تحلیل شده در این تحقیق مدلی غیرخطی و دارای سخت‌شوندگی غیرخطی است [٣] که از تعریف خواص مواد چندنقطه‌ای که در آن از ١٢ نقطه برای شبیه‌سازی منحنی تنش - کرنش به‌کار رفته، استفاده شده است. در این مسأله غیرخطی، برای همگرایی از روش اول لاگرانژی استفاده شده و روش حل ماتریسی، روش نیوتن - رافسون کامل در نظر گرفته شده است [٤].

٥- بحث در نتایج تست خستگی

٥-١- حالت‌های بارگذاری خستگی

حالت کلی اعمال بار بر روی نمونه‌های ذکر شده، به‌صورت بارگذاری تا حد بیشینه با تعداد مشخص سطح بارگذاری[1] در زمانهای پیش‌بینی شده به‌طور خودکار در نرم‌افزار، و سپس باربرداری تحت همان سطح بارگذاریهای قبلی برای رسیدن به نرخ تنش مورد نظر است.

آزمایش در حالت کنترل بار[2] انجام می‌شود؛ هر نمونه مورد تحلیل، هم نمونه با ٧ اتصال نقطه جوش و هم ١٤ نقطه جوش، تحت ٤ حالت بارگذاری خستگی قرار گرفته که هر ٤ حالت به شکل بارگذاری با دامنه ثابت است. بارگذاری‌ها به‌صورت ٢٥٠٠، ٣٠٠٠ و ٤٥٠٠ نیوتن با نسبت تنش برابر R=٠/١ و بارگذاری ١٠٠٠ نیوتن با نسبت تنش برابر با R=٠/٢ است.

در آزمایش خستگی، نمونه‌ها بارهای تناوبی را متحمل می‌شوند. رفتار ماده با توجه به بارگذاری یکنواخت[3] ناشی از فرض عملکرد ماده به‌صورت پلاستیک با توجه به اثر بوشینگر[4] است. اثر بوشینگر بهترین حالت شبیه‌سازی برای مدل‌هایی با سخت‌شوندگی جنبشی (در مقایسه با سخت‌شوندگی همسانگرد[5]) است [٥]. در خواص مواد برای تحلیل، حالت نبود آسودگی تنش[6] فرض شده است.

محل کرنش اصلی بیشینه در اولین قله بارگذاری برای محاسبه کرنش اصلی تناوبی مورد استفاده قرار گرفته است و بعد از باربرداری تفاوت میان کرنش‌های بیشینه در همان نقطه به‌عنوان محدوده کرنش تناوبی بیشینه برای محاسبه عمر به‌کار رفته است.

٥-٢- بررسی تغییر مکان‌ها

بررسی نحوه تغییر مکان برای نشان دادن سازگاری هندسه بر اثر اعمال بار و همچنین صحت اعمال شرایط مرزی بر روی المان‌ها و مقایسه کلی آن با بارگذاری تجربی الزامی است. با توجه به شکلهای ٦- الف برای تغییر مکان در نمونه با یک اتصال نقطه جوش در فواصل بین دو قسمت فرورفتگی و شکل ٦- ب برای تغییر مکان در نمونه با دو نقطه جوش در فواصل بین دو قسمت فرورفتگی می‌توان به

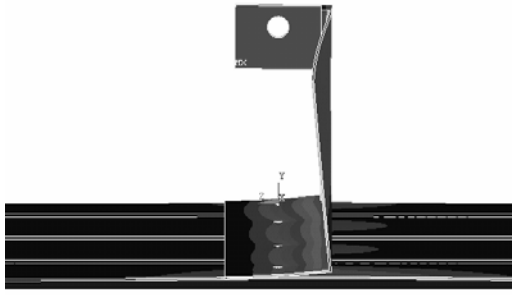
1. Load - Step

2. Load – Control
3. Monotonic
4. Bauchinger
5. Isotropic
6. Stress Relaxation

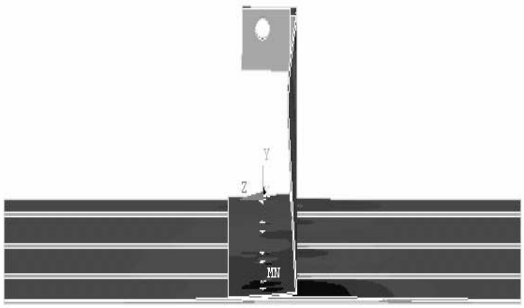
[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1387.8.1.13.0]

این نکته پی برد که بر اثر اعمال بار، حالت تغییر مکان کاملاً منطقی است. بدین‌صورت که لبه فوقانی ورق L شکل در منطقه دورتر از اعمال بار، حالت اعوجاج پیدا می‌کند که این باید بر روی حالت تنش بر روی نقاط جوش انتهایی، تأثیر داشته باشد.

قسمت پایینی ورق L شکل نیز تا ابتدای اتصالات نقطه جوش خمیده شده و پس از اتصال میزان خمیدگی، باعث ایجاد حالت برخورد با ورق موجی‌شکل شده است. آنچه از حالت هندسه این دو نمونه پیداست، آن است که افزایش نقاط جوش به‌ترتیبی که ذکر شد در حالت کلی تغییر شکل هندسی دو نمونه – جدا از مقادیر عددی آن – تغییری ایجاد نمی‌کند.



(الف)

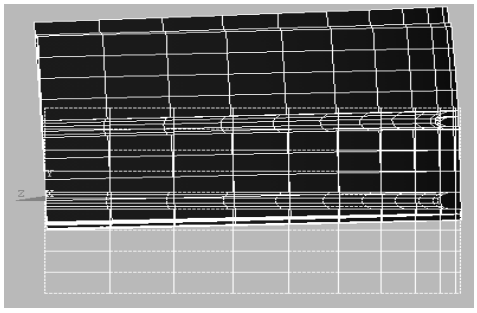


(ب)

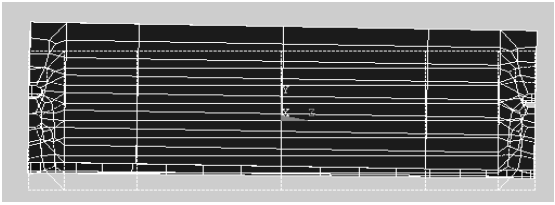
شکل ٦ طرحواره تغییر مکان کلی نمونه تحت بارگذاری **الف)** نمونه با ۷ نقطه جوش **ب)** نمونه با ١٤ نقطه جوش

مبحث دیگری که در بررسی تغییرمکان‌ها باید بدان پرداخت، تغییر شکل ناگت جوش بر اثر بارگذاری است.

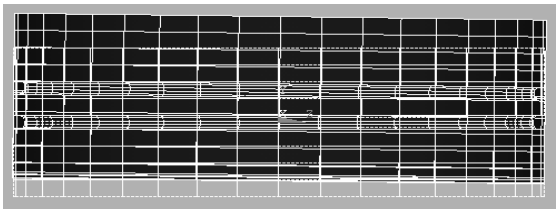
با توجه به شکلهای ۷– الف، ب و ج که تغییر مکان ناگت را در مدل‌ها و بارگذاری‌های متفاوت نشان می‌دهد، به‌راحتی می‌توان کشش در راستای محور y و همچنین خمش ناگت را که ناشی از نحوه بارگذاری است، مشاهده کرد.



(الف)



(ب)



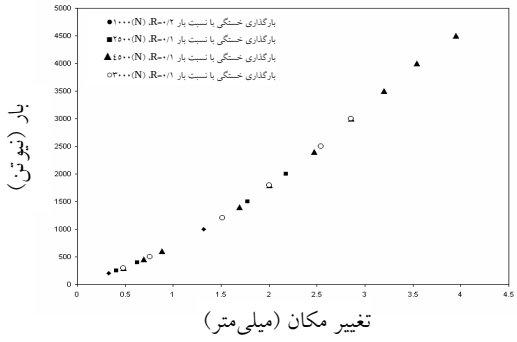
(ج)

شکل ۷ تغییر شکل ناگت **الف)** نمای کناری برای نزدیکترین ناگت به محل بارگذاری **ب)** نمای جلو برای دورترین ناگت به محل بارگذاری **ج)** نمای پشت برای دورترین ناگت به محل بارگذاری (مقدار بارها در سه نمونه متفاوت است).

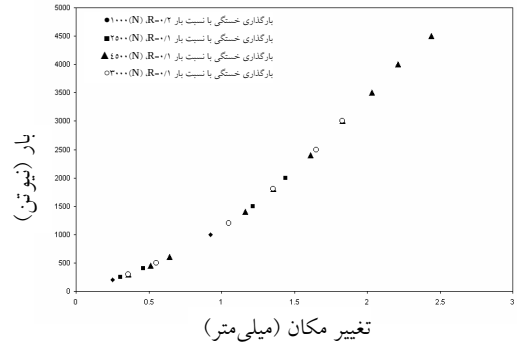
[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1387.8.1.13.0]

نکته دیگر قابل بحث، بررسی تغییر مکان‌ها در محدودهٔ بارگذاری است. توجه به این نکته لازم است که در این تحلیل از هندسه و خواص مواد غیرخطی استفاده شده و در مقایسه با نتایج تجربی، افزایش بار در سازه باید منجر به افزایش سفتی آن شود. درستی این مطلب را به‌راحتی می‌توان با ترسیم میزان تغییر مکان در جهت y براساس بارهای اعمال شده بر سازه بررسی کرد.

با توجه به شکلهای ۸- الف و ۸- ب که به‌ترتیب نشان‌دهنده میزان تغییر شکل برای بارگذاری‌های متفاوت در جهت y در نمونه‌های با ۷ و ۱٤ نقطه جوش است، می‌توان صحت افزایش سفتی سازه را با توجه به تقعر به‌سمت بالای منحنی‌ها مشاهده کرد.



(الف)



(ب)

شکل ۸ منحنی بار – تغییر مکان برای بارگذاری‌های متفاوت اعمال شده به **الف)** نمونه با ۷ نقطه جوش **ب)** نمونه با ۱٤ نقطه جوش

۵-۳- بررسی تنش‌ها در اتصالات جوش

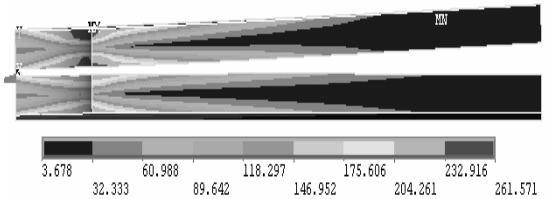
از آنجاکه تمرکز تنش و گرادیان تنش در نواحی ناچ ناگت جوش وجود داشته و تغییرات گسترده‌ای دارد [٦]، لذا تحلیل را برای بارگذاری‌های متفاوت، بر روی ناچ در ناگت‌ها متمرکز می‌کنیم. انتظار می‌رود که نحوه گسترش تنش برای هر دو نمونه ۷ و ۱٤ نقطه جوش - جدا از مقدار عددی آن - متشابه باشد؛ لذا در این قسمت به بررسی و تحلیل گسترش تنش هر دو نمونه به‌صورت توأم می‌پردازیم.

شکل ۹- الف نشان‌دهنده تنش مؤثر ون - مایزز برای بارگذاری ۱۰۰۰ نیوتن در ناحیه اطراف نقطه جوش چهارم و در ورق پایه است. با توجه به این شکل، توزیع متقارن کانتورهای تنش در دو سطح عمودی ورق و در راستای ضخامت نسبت به صفحه میانی آنها، نشان‌دهنده خمش ورق در این قسمت است. حتی در ناحیه مرزی ناگت با توجه به شکل ۹- ب که مربوط به تنش ون - مایزز برای بارگذاری ٤۵۰۰ نیوتن است، ناحیه تنش که به‌صورت متقارن نسبت به هر نیمه بالایی و پایینی است، حالت خمش در ناگت را نسبت به میانه ورق نشان می‌دهد. علاوه بر آن مقدار تنش بیشینه در قسمت بالایی ناچ نیز نشان‌دهنده تمرکز تنش بر اثر خمش در ناچ ناگت جوش است.

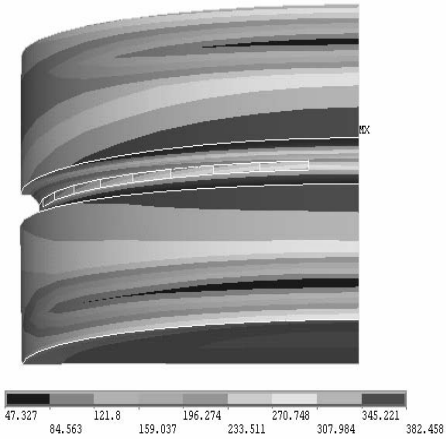
شکل ۹- ج که مربوط به توزیع تنش مؤثر ون – مایزز در ضخامت بالایی و پایینی برای ناحیه اطراف ناگت جوش در نزدیکترین نقطه جوش و درست پایین اعمال بار است، خمش ورق را بر اثر بارگذاری کاملاً نشان می‌دهد.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]

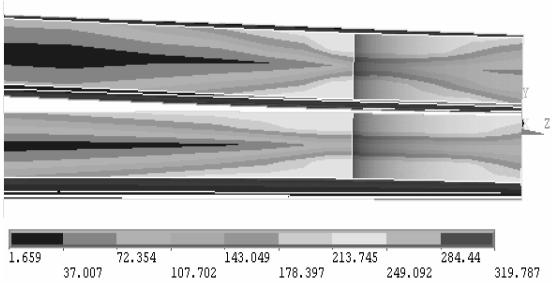
[DOR: 20.1001.1.10275940.1387.8.1.13.0]



(الف)



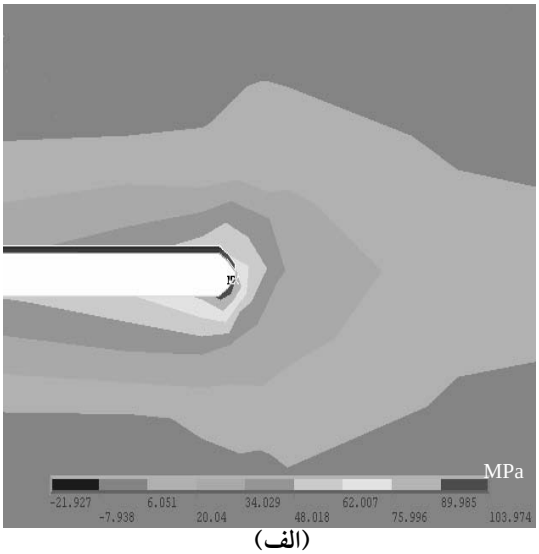
(ب)



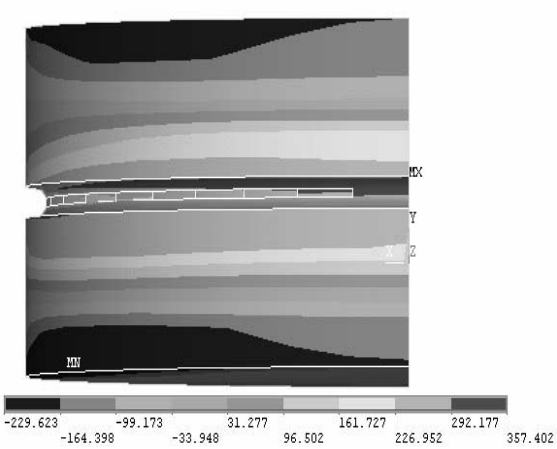
(ج)

شکل ۹ کانتور تنش ون - مایزز **الف)** بارگذاری ۱۰۰۰ نیوتن در ناحیه اطراف نقطه جوش چهارم و در ورق پایه **ب)** بارگذاری ٤٥٠٠ نیوتن در ناگت جوش **ج)** ناگت جوش در نزدیکترین نقطه جوش

از سوی دیگر به‌علت نوع هندسه ترک مانند در قسمت ناچ نقطه جوش، تمرکز تنش در ناچ به‌وجود می‌آید که آن را می‌توان در شکلهای ۱۰- الف و ب مشاهده کرد.



(الف)



(ب)

شکل ۱۰ الف) σ_{11} برای بارگذاری ۱۰۰۰ نیوتن در نمونه با ۷ نقطه جوش **ب)** تنش σ_x در ناگت جوش تحت بارگذاری ٤٥٠٠ نیوتن

با توجه به شکل ۱۰- الف که نشان‌دهنده تنش σ_{11} برای بارگذاری ۱۰۰۰ نیوتن در نمونه با ۷ نقطه جوش

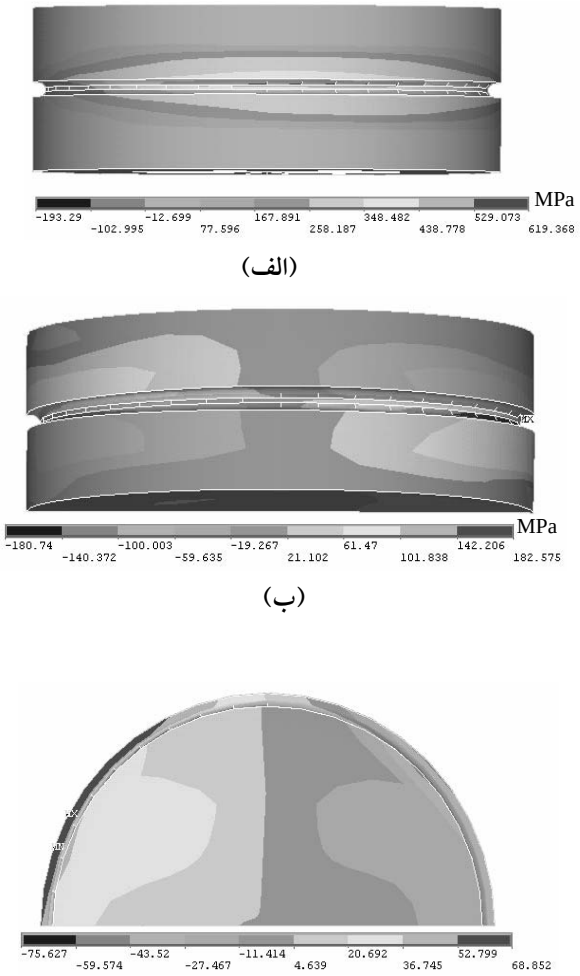
[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1387.8.1.13.0]

و برای نزدیکترین نقطه جوش نسبت به اعمال بار است، می‌توان دریافت که این مقدار بیشینه در ریشه ناچ واقع نشده بلکه کمی بالاتر از آن قرار دارد. شکل ۱۰- ب نشان‌دهنده تنش σ_x در ناگت جوش تحت بارگذاری ٤٥٠٠ نیوتن است که وجود تمرکز تنش را کمی بالاتر از ریشه ناچ و همچنین تقارن تنش‌ها را نسبت به مرکز ناچ - که نشان‌دهنده خمش ورق است - نشان می‌دهد.

آنچه از تحلیل تنش در این نمونه‌ها باقی می‌ماند، بررسی حالت پیچش آخرین نقاط جوش در نمونه‌ها است. با توجه به آنچه پیشتر در نمونه‌های تغییر مکان مشاهده شد، بیشترین اعوجاج در نقاط جوش انتهایی به‌وجود می‌آید؛ با توجه به شکل ۱۱- الف که نشان‌دهنده تنش σ_{11} برای بارگذاری ٤٥٠٠ نیوتن در دورترین نقطه جوش نسبت به بارگذاری است، می‌توان کشیده شدن کانتورهای تنش را به‌سمت راست که نشان‌دهنده پیچش ناگت است، مشاهده کرد.

اما این مطلب را می‌توان به‌سهولت در شکل ۱۱- ب مشاهده کرد. این شکل که نشان‌دهنده σ_{xy} برای آخرین نقطه جوش است، پیچش ناگت را مشخص می‌کند که با توجه به اینکه مقدار این تنش در این نقطه جوش بیشینه است، لذا می‌توان گفت که دورترین ناگت از محل بارگذاری دارای بیشینه پیچش است.

مقدار تنش بیشینه برای تنش σ_{yz} برای ناگت چهارم نیز که در شکل ۱۱- ج نیمه پایینی آن نشان داده شده تأییدکننده بیشترین پیچش در آخرین ناگت نقطه جوش است.



شکل ۱۱ الف) تنش σ_{11} برای بارگذاری ٤٥٠٠ نیوتن در دورترین نقطه جوش نسبت به بارگذاری **ب)** تنش σ_{xy} برای آخرین نقطه جوش **ج)** تنش σ_{yz} برای ناگت چهارم

٥-٤- بررسی کرنش‌ها در اتصالات جوش و تخمین عمر

در این تحقیق کرنش در نزدیک جوش به‌صورت محدوده کرنش اصلی تناوبی بیشینه[1] در طول بارگذاری متناوب مطالعه شده و از این داده‌ها به‌طور ویژه برای محاسبه عمر

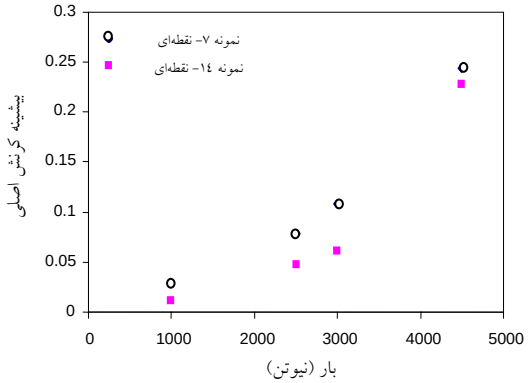
1. Maximum Cyclic Principal Strain Range

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1387.8.1.13.0]

خستگی ورق‌های موجی‌شکل تحت تعداد متفاوت جوش استفاده شده است.

آزمایشها در حالت کنترل بار و به‌صورت بارگذاری مرحله‌ای انجام شده است. شکل ۱۲ نمودار بار را برای بیشینه کرنش اصلی[1] برای هر دو نمونه تحت ۷ و ۱٤ نقطه جوش نشان می‌دهد. این نتایج المان محدود نشان می‌دهد که کرنش اصلی بیشینه بر روی بار، یک منحنی غیرخطی را تشکیل می‌دهد.

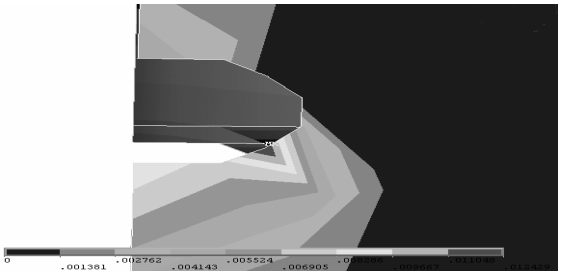


شکل ۱۲ تغییرات کرنش اصلی بیشینه بر روی بار برای نمونه‌های دارای ۷ و ۱٤ نقطه جوش، با تحلیل المان محدود

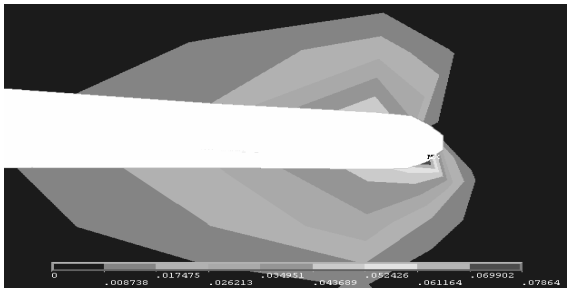
با توجه به این نتایج، در این نمونه‌ها تسلیم در ناچ حتی برای نمونه‌هایی که دارای عمر طولانی هستند نیز اتفاق می‌افتد. شکل ۱۳- الف، ب و ج نشان‌دهنده کرنش‌ها در نمونه‌های متفاوت و تحت بارگذاری‌های متفاوت است. آنچه می‌توان دریافت این است که محل کرنش بیشینه مانند تنش بیشینه دقیقاً در ریشه ناچ قرار ندارد، بلکه با کمی انحراف از این محل و در پایین ریشه ناچ واقع شده است.

با توجه به شکلها، افزایش کرنش‌ها به‌صورتی است که رشد ترک را در راستای ضخامت ورق توجیه می‌کند [٦، ٧].

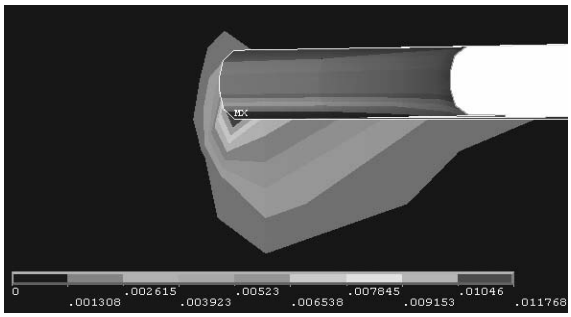
با توجه به اینکه خواص ناحیه گرما دیده[2] باعث افزایش مقاومت در برابر تسلیم نواحی جوش در فلز پایه می‌شود [۹]، انتظار می‌رود که میزان کرنش‌های به‌دست آمده در این تحقیق – از آنجاکه این خواص به‌علت عدم وجود داده‌های لازم، در نظر گرفته نشده است – کمی بیشتر از مقدار واقعی آنها باشد. اما با توجه به تحقیق انجام شده توسط پان [۱۰]، محل کرنش اصلی بیشینه تغییر نمی‌کند و در آزمایشهای تجربی نیز این محل دقیقاً مطابق شکل ۱۳ انتظار می‌رود که قرار داشته باشد.



(الف)



(ب)



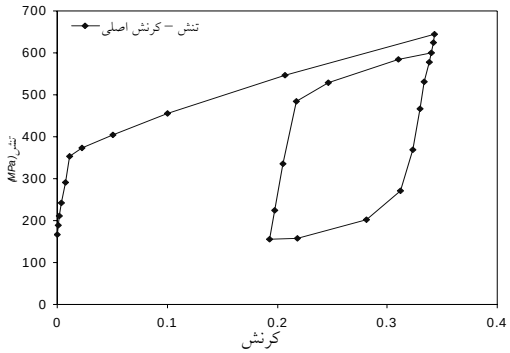
(ج)

شکل ۱۳ کانتور کرنش اصلی بیشینه برای **الف)** بارگذاری ۱۰۰۰ نیوتن در نمونه با ۷ نقطه جوش **ب)** بارگذاری ۲۵۰۰ نیوتن در نمونه با ۷ نقطه جوش **ج)** بارگذاری ۱۰۰۰ نیوتن در نمونه با ۱٤ نقطه جوش

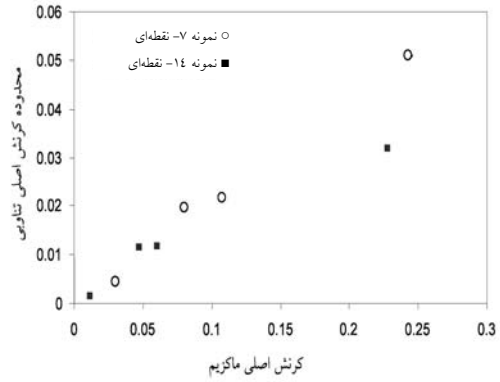
1. Maximum Principal Strain
2 . Heat Affected Zone

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1387.8.1.13.0]

محل کرنش اصلی بیشینه در اولین قله بارگذاری برای محاسبه کرنش اصلی تناوبی (محلی که در شکل ۱۳ نشان داده شده) به‌کار می‌رود. بعد از باربرداری و رساندن بار به مقدار کمینه تفاوت بین کرنش‌های اصلی بیشینه در یک نقطه یکسان به‌عنوان محدود کرنش اصلی تناوبی درنظر گرفته می‌شود (شکل۱٤). به‌علاوه شکل ۱۵ مقدار کرنش اصلی بیشینه را با محدوده کرنش اصلی تناوبی مقایسه می‌کند. همانطور که این شکل نشان می‌دهد، رابطه مشخصی بین این دو پارامتر وجود ندارد.



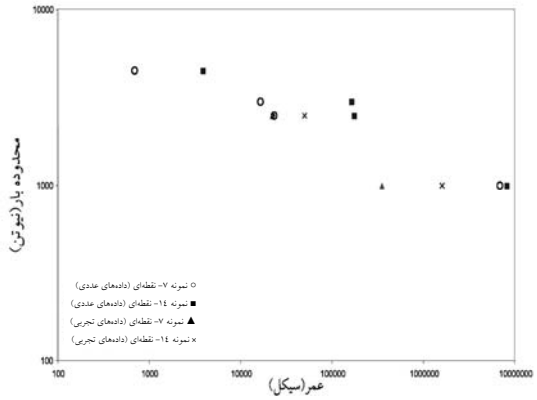
شکل ۱٤ منحنی تنش اصلی ماکزیمم بر روی کرنش اصلی بیشینه برای نمونه تحت ۷ نقطه جوش



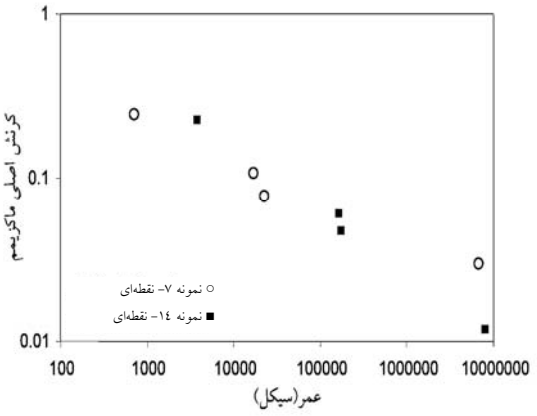
شکل ۱۵ تغییرات محدوده کرنش تناوبی بر حسب کرنش اصلی ماکزیمم

اساس به‌دست آوردن عمر در این تحقیق مقدار کرنش اصلی بیشینه است. شکل ۱٦ نشان‌دهنده عمر به‌دست آمده براساس میزان بارگذاری بر روی نمونه‌ها است. در این منحنی، مقادیر نیرو بر اساس عمر برای نمونه‌های تجربی موجود نیز آورده شده است؛ که با توجه به درنظر گرفتن خطاهای موجود به تفاوت بین دو نتیجه تجربی و عددی، نتایج معقولی است.

شکل ۱۷ نشان‌دهنده کرنش اصلی بیشینه در مقابل عمر و شکل ۱۸ نشان‌دهنده محدوده کرنش تناوبی بیشینه در مقابل عمر است.

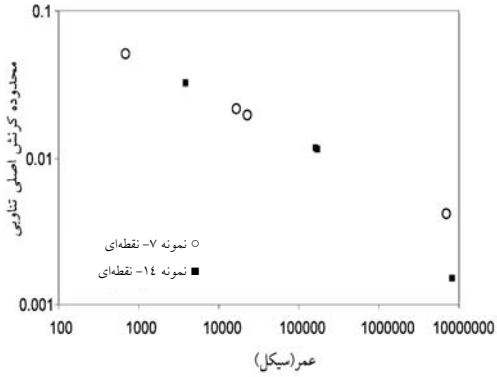


شکل ۱٦ نمودار نیرو بر – عمر



شکل ۱۷ کرنش اصلی بیشینه در مقابل عمر

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1387.8.1.13.0]



شکل ۱۸ نمودار محدوده کرنش اصلی تناوبی در مقابل عمر

همانطور که در شکل ۱۸ مشاهده می‌شود، رابطه تقریباً به‌صورت خطی است.

با توجه به نتایج، انتظار داریم که ترک خستگی با کمی انحراف نسبت به ریشه ناچ شروع شده و برای قطر ناگت در نظر گرفته شده، ترک به‌صورت راه به‌در در طول ضخامت یکی از ورقها رشد کند.

با توجه به نمودارهای بیشینه کرنش اصلی و محدوده کرنش تناوبی، اگر چه در این دو مقدار نسبت به یکدیگر، رابطه خاصی وجود ندارد اما از هر یک از آنها می‌توان برای پیش‌بینی عمرهای دیگر با خطای ۱۰٪ استفاده کرد.

از طرفی با توجه به اینکه خواص ناحیه گرما در این نمونه‌ها به‌علت کمبود داده درنظر گرفته نشده، اما بدون تنش بودن قسمت مرکزی ناگت، نشان‌دهنده آن است که قسمت مرزی ناگت، عامل مهمی در گسترش و توزیع تنش‌ها و کرنش‌ها به قسمتهای دیگر سازه است و از طرف دیگر وجود ناخالصی‌های جوشکاری در این قسمتها، تأثیر بسیار ناچیزی بر بی‌عیبی قطعه خواهد داشت.

عمرهای به‌دست آمده برای نمونه‌ها به‌جز برای بارهای ۱۰۰۰ نیوتن در هر دو نمونه، هم برای ۷ و هم برای ۱٤ نقطه جوش معقول است. با توجه به اینکه بیشتر کرنشها دارای مقدار نسبتاً بزرگی است و در کرنشهای بزرگ میزان تنش متوسط در به‌دست آوردن عمر تأثیر بسیار ناچیزی دارد [۱۱] اما تعیین کرنشها برای بارهای ۱۰۰۰ نیوتن، نیازمند محاسبه تنش متوسط برای به‌دست آوردن عمر است. با وجود این به‌علت معلوم نبودن خواص مواد برای محاسبه تنش متوسط، در این دو نوع بارگذاری نیز تخمین عمر با توجه به در نظر گرفتن کرنش‌های بزرگ انجام شده است که خطا در این عمرها از این موضوع ناشی می‌شود.

٦- نتیجه‌گیری

در این تحقیق ناحیه گسترش تنش در حالت متقارن برای دو نمونه بررسی شد. با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان گفت که کانتور تنش‌ها در هر نمونه مشابه و تفاوت اصلی در مقدار عددی تنش‌ها بود.

نکته دیگر آن است که رفتار تمرکز تنش در اتصال، به‌علت ناپیوستگی ترک شکل در سطح مشترک دو ورق متصل شده، در ناحیه بسیار کوچکی نزدیک به حائل میان مرز ناگت با سطح مشترک، محدود شده است. با توجه به تحلیل، منطقه مرکزی ناگت تقریباً بدون تنش است که این تأییدکننده آن است که انتقال بار در ناگت نقطه جوش، به‌طور کامل ناشی از ماده نزدیک مرز ناگت بوده و قابلیت اتصالات نقاط جوش از وجود حفره ها و ناخالصی‌های مرکز ناگت تأثیر نمی‌پذیرد و قابلیت بارپذیری در اتصال نقطه جوش بر اثر وجود حفره در ناحیه مرکزی ناگت، کاهش چندانی نمی‌یابد.

توزیع متقارن کانتورهای تنش در دو سطح عمودی ورق و در راستای ضخامت نسبت به صفحه میانی آنها، نشان‌هنده قرارگیری ورق پایه در معرض ناحیه تنش، ناشی از خمش ورق در این قسمت است و این خمش، دلیل اصلی ایجاد تمرکز تنش در ریشه ناچ است.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1387.8.1.13.0]

به‌همین دلیل می‌توان گفت که حالت تنش اتصال نقطه جوش، تا حد زیادی متأثر از شکل ورق سازه اتصال است و به‌نظر نمی‌رسد که ناحیه تنش منفرد در نقطه حائل، به‌طور کامل ناشی از ناحیه ترک شکل باشد.

نکته مهم در بررسی کرنش‌های اصلی، محل واقع شدن آنها در کمی پایین‌تر از ریشه ناچ در ریشه ناچ است.

به‌طور خلاصه می‌توان گفت که محل تنش‌ها و کرنش‌های بیشینه پس از هر بارگذاری تقریباً یکسان و جهت آن به‌طرف ضخامت ورق است که احتمال شروع و گسترش ترک را در راستای ضخامت به حالت ترک راه‌بدر و همچنین احتمال شکست قطعه را در حالت شکست در ورق توجیه می‌کند. با توجه به بررسی نمودارهای بار – کرنش اصلی، تسلیم در تمام بارگذاری‌ها در اتصالات نقطه جوش و حتی در بارهای پایینی قابل مشاهده است. با توجه به این نتایج به‌راحتی می‌توان غیرخطی بودن کرنش‌های اصلی را در بارگذاری‌های متفاوت مشاهده کرد.

از آنجاکه محل کرنش تناوبی بیشینه را می‌توان در جایی‌که کرنش اصلی بیشینه روی می‌دهد، پیش‌بینی کرد اما با توجه به آنچه در نمودار شکل ۱۵ آمده، این دو مقدار رابطه خاصی با یکدیگر ندارند. نکته دیگر اینکه با توجه به نتایج به‌دست آمده از منحنی تنش بر حسب کرنش تناوبی، مشاهده می‌شود که رفتار ماده در پاسخ به بارگذاری متناوب، به شکل نرم‌شوندگی تناوبی است.

از طرفی در این تحقیق اساس محاسبات بر پایه به‌دست آوردن عمر قطعات در کرنش‌های بالا انجام شده است؛ با توجه به محاسبات انجام شده در تمامی نمونه‌های بالای ۲۵۰۰ نیوتن در هر دو نمونه، اهمیت تنش‌های متوسط بسیار ناچیز است؛ اما این میزان در بارگذاری ۱۰۰۰ نیوتن به‌علت اینکه مقدار عمر با آنچه در تجربه به‌دست آمده تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای دارد، اهمیت خود را نشان می‌دهد.

با توجه به نتایج به‌دست آمده از منحنی‌های عمر می‌توان فرض کرد که اگر کرنش‌ها تا حد قابل‌قبولی بالا باشد به‌طوری که اهمیت تنش‌های متوسط در آنها تا حد زیادی پایین بیاید، تمامی عمرها را برای اینگونه قطعات فقط با یکی از دو پارامتر محدوده کرنش تناوبی یا کرنش اصلی بیشینه تا دقت قابل قبول می‌توان پیش‌بینی کرد.

۷- منابع

[1] Norman E. Dowling. “Mechanical Behavior of Materials”. TA404.8.D68 1998.

[2] Deng X, Chen W, Shi G. “Three-dimensional finite element analysis of the mechanical behavior of spot welds”. Finite Elements Anal Des 2000; 35:17–39.

[3] N. Pan, Sh. Sheppard. “Spot welds fatigue life prediction with cyclic strain range”- International Journal of Fatigue 24; (2002) 519–528.

[4] A. K. Noor, J. M. Peters, “Recent Advances in Reduction Method for Instability Analysis of Structures”, Computers and Structures, 1983, V. 16, No. 1-4, pp. 67-80.

[5] ANSYS Theory Manual, 7th edition, 2003.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1387.8.1.13.0]

[6] Radaj D. “Stress singularity, notch stress and structural stress at spot-welded joints”. Eng Fract Mech 1989; 134(2): 495–506.

[7] Henrysson H-F. “Fatigue of spot welded joints: experiment and life prediction”. Ph. D. Thesis. Chalmers University of Technology, Sweden; 2001.

[8] Zhang Y, Taylor D. “Sheet thickness effect of spot welds based on crack propagation”. Engng Fract Mech 2000; 67:55–63.

[9] Zuniga SM, Sheppard SD. “Determining the constitutive properties of the heat-affected zone in a resistance spot weld”. Model Simul Mater Sci Eng 1995; 3(3): 391–416. Technol, Trans ASME 1982; 111:263–9.

[10] Barsom JM, Dividson J, Imhof J. “Fatigue behavior of spot-welds under variable amplitude load history”. SAE technical paper 850396. Dearborn (MI): Society of Automotive Engineers, 1985.

[11] Wolfgang Fricke. “Fatigue analysis of welded joints: state of development”. Marine Structures 16 (2003) 185 –200.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1387.8.1.13.0]