Archive of SID

ضرایب تمرکز تنش در اتصالات چندصفحه ای **TT** و **XX**
مقاطع مستطیلی توخالی

محمدرضا بهاری
دانشیار گروه مهندسی عمران – دانشکده فنی – دانشگاه تهران
سیدحسین حسینی حصاری
فارغ التحصیل کارشناس ارشد سازه – دانشکده فنی – دانشگاه تهران

چکیده

برای تعیین عمر خستگی اتصالات در سازه هایی که تحت اثر بارهای تکراری قرار دارند، نیاز به تعیین ضرایب تمرکز تنش می باشد. تاکنون تحقیقات اندکی در زمینه اتصالات چندصفحه ای[1] مقاطع مستطیلی صورت گرفته است، بطوریکه روش متداول طراحی خستگی این اتصالات براساس بررسی صفحه ای این اتصالات و استفاده از بیشترین ضریب تمرکز تنش بدست آمده اتصال صفحه ای[2] معادل می باشد. لذا در این مقاله به روش اجزاء محدود سعی شده است که اتصال مدلسازی شده و اثر عضو مهاری[3] خارج از صفحه ای در ضرایب تمرکز تنش اتصالات چند صفحه ای TT و XX ساخته شده از مقاطع مستطیلی توخالی بررسی شود. در ادامه به بررسی تاثیر پارامترهای مختلف در ضرایب تمرکز تنش اتصالات چندصفحه ای TT و XX پرداخته شده است.

واژه های کلیدی : خستگی، اتصالات مقاطع توخالی مستطیلی، تنش بحرانی، ضریب تمرکز تنش

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

سازه های متشکل از اعضاء لوله ای با مقاطع دایره ای و مستطیلی به مقیاس وسیع در سازه های دریایی و ساحلی، خرپاهای فضاکار، دکل های مخابراتی و انتقال نیرو، سازه باربر جرثقیل ها، منابع هوایی فلزی، خرپاها و تیرهای ویراندل بکار برده می شوند. مقاطع توخالی[٤] (HS) بسیار اقتصادی اند و استفاده از آنها در عمل به دلایل متعددی بر مقاطع باز ارجحیت دارد که بعضی از این موارد عبارتند از :

۱ – مقاومت بالای مقاطع توخالی در مقابل پیچش، از کمانش جانبی آنها جلوگیری می کند. این عامل به همراه اتصالات جوش نیمه گیردار در خرپاها موجب می شود که طول کمانش اعضاء خرپا بین ۰/۵ تا ۰/۷۵ طول عضو باشد که این امر باعث افزایش مقاومت کمانشی عضو می شود.

۲ – ممان مقطع کمینه این مقاطع نسبت به مقاطع باز بیشتر بوده که این عامل خاصیت بسیار مهمی در طرح
اعضاء فشاری می باشد.

۳ – این مقاطع نسبت به مقاطع باز دارای سطوح نمایان کمتری هستند که این امر باعث کاهش سطوح رنگ کاری و سطوح در معرض خوردگی و آتش سوزی می شود.

٤ – این مقاطع در مقابل نیروهای هیدرودینامیکی پسا[٥] (نیروهای بازدارنده) کمترین مقاومت را از خود نشان میدهد.

۵ – نسبت مقاومت به وزن این مقاطع بالا می باشد.

از آنجایی که این مقاطع بیشتر در سازه هایی کاربرد دارند که تحت بارهای خستگی قرار دارند، این خود اهمیت کنترل خستگی را در این مقاطع نمایان می سازد. خستگی معمولاً در محلهایی از سازه که دارای ناپیوستگی می باشند موجب بروز ترک می شود. بحرانی ترین ناپیوستگی سازه ها ، تقاطع ها و اتصالات می باشند. در این اتصالات اغلب از جوش استفاده می شود که خود مستعدترین ناحیه تمرکز تنش و شروع ترک خستگی است. مهمترین عامل در شناخت رفتار خستگی، ضرایب تمرکز تنش می باشند. بنابراین برای شناخت تحلیل خستگی بایستی به بررسی ضرایب تمرکز تنش پرداخته شود که خود متاثر از نوع و هندسه اتصال و

www.SID.ir

Archive of SID

همچنین نوع بارگـذاری مـی باشـند. عمـر خستگی اتصالات اغلب از روش مشخصـه محاسـبه مـی شـود کـه در آیـین نامـه هـا براساس نمودارهای S-N ارزیابی می شـود بطوری که عمر خسـتگی تمـامی اتصـالات یک سازه باید از عمر خسـتگی کـل سـازه بیشتر باشد.

آنالیز خستگی

تحلیل خستگی به موارد زیر بسـتگی دارد :

۱ – دامنـــــه تـــــنش هـــــای اســـــمی $(S_r = \sigma_{max} - \sigma_{min})$ و نسبت تنشها $R = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{min}}$

۲ – ضرایب تمرکز تنش (SCF) که خـود وابسته به مشخصات و پارامترهای هندسـی اتصا ل است.

۳ – منحنی های S_r-N

٤ – روشهای ساخت و نحوه جوشکاری

برای تعیین عمـر خسـتگی اتصـالات مقاطع توخالی دو روش کلی وجود دارد :

۱ – روش مشخصه[٦]

۲ – روش طیفی[۷]

روش مشخصه، روشی کاربردی و عمـومی می باشد که براساس قاعده – Palmgren Miner قرار دارد و در آن میزان خسـارت خستگی بصورت تجمعی خطی بیـان مـی شود.

$$D = \sum_{i=1}^{k} (\frac{n}{N})_i \leq 1 \qquad (۱)$$

که در آن :

D : میزان خسارت اتصال

n : تعداد سیکلهای تنش وارده

N : تعداد سـیکل قابـل تحمـل اتصـال در تنش وارده

در این روش نسبت تعداد سـیکلهایی که بار با دامنه تـنش بحرانـی (دامنـه تـنش اسمی × ضرایب تمرکز تنش) وارد می شود از منحنی های S_r-N آیین نامه هـا خوانـده شده و نسبت آن به تعداد دفعات مجاز قابل تحمل محاسبه می شود کـه مجمـوع آن در تنش های بحرانی مختلف وارده بـه عنـوان میزان خسـارت اتصـال و عکـس آن بیـان کننده میزان عمر خستگی اتصال می باشد.

روش مشخصه خود بـه چنـد روش دیگـر تقسیم می گردد :

۱ – تحلیل خسـتگی براسـاس تـنش هـای اسمی (روش کلاسیک طبقه بندی)

۲ – تحلیل خسـتگی براسـاس روش نقـاط بحرانی[۸] (روش شرح داده شده در فوق)

www.SID.ir

Archive of SID

۳ – روش تنش های محلی درز

روش مشخصه و روش طیفی هـر دو براسـاس منحنـی هـای S_r-N مـی باشـند. روش دیگر که پیچیده است، روش مکانیک شکست است کـه براسـاس قاعـده Paris استوار است که نرخ رشد ترک خسـتگی را براساس ثابتهای مصـالح و ضـریب شـدت تنش بیان می کند.

آیین نامـه هـای طراحـی نمودارهـای S_r-N گوناگونی را ارائه کرده انـد کـه حـد گسیختگی ، ضرایب تصحیح ضخامت ، اثر بهبـود پروفیـل جـوش و تعـداد سـیکلهای گسیختگی موجب تفاوت آنها شده است.

جـدول زیـر نشـان دهنـده معـادلات نمودارهای S_r-N در آیین نامـه API [۱]و AWS [۲] است .

جدول ۱ : معادله منحنی های S-N آیین نامه های API و AWS.

معادله	گراف
$N = 2\times10^6(\frac{S_{r.h.s}}{100})^{-4.38}$	AWS-X_1 و API-X
$N = 2\times10^6(\frac{S_{r.h.s}}{79})^{-3.74}$	AWS – X_2 و API – X′

شکل (۱) نمودارهای $S_r - N$آیین نامه هـای مختلـف بـرای اتصـالات مقـاطع توخـالی مسـتطیلی در ضـخامت $t = 25$ میلیمتـر را نشان می دهد.

تمرکز تنش در اتصالات مقاطع توخالی

تنش ها و کرنش های بحرانی اغلب در نقاط بحرانی گوشه مقطع اعضا واقع در محل اتصال و عموماً در گوشه جوش بوجود می آیند. تنش و کرنش های بحرانی بوجود آمده در اتصالات مقاطع توخالی اغلب متاثر از عوامل زیر می باشند :

۱ – هندسه عمومی اتصال کـه بـه صـورت پارامترهـــای هندســـی $\alpha = \frac{2l_\circ}{b_\circ}$ ، $\beta = \frac{b_1}{b_\circ}$ ، $2\gamma = \frac{b_\circ}{t_\circ}$ و $\tau = \frac{t_1}{t_\circ}$ در معادلات پارامتری وارد می شود.

۲ – شکل و نوع جوش

۳ – شرایط گرده جوش (شکافهای ناشی از جوشکاری در فلز مبناء ، زاویه بین جـوش و فلز منباء و ...)

٤ – نوع بارگذاری که مـی توانـد کششـی، فشاری، خمشی درون صفحه ای یـا بـرون صفحه ای باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

در مطالعات خستگی اتصالات مقاطع توخالی تنش مورد استفاده، دامنه تنش بحرانی اندازه گیری شده در مجاورت گرده جوش می باشد که معمولاً به یکی از روشهای زیر حاصل می شود :

۱ – اندازه گیری کرنش در سطح بیرونی مقاطع اعضاء یک اتصال توسط کرنش سنج.

۲ – محاسبه تنش یا کرنش با استفاده از تحلیلهای اجزاء محدود.

۳ – روش فتوالاستیک با مدلهای پلاستیک

ضرائب تمرکز تنش و کرنش

ضرایب تمرکز تنش (SCF) بصورت نسبت دامنه تنش های بحرانی در محل اتصال به دامنه تنش های اسمی در عضو مهاری تعریف می گردد[۳].

ضریب $SCF = \frac{S_{rhs}}{S_{rnom}}$

تمرکز تنش

(۲)

به همین ترتیب ضرایب تمرکز کرنش تعریف می گردند :

ضریب $SNCF = \frac{\varepsilon_{rhs}}{\varepsilon_{rnom}}$

تمرکز کرنش

(۳)

که در این روابط :

ε_{rhs} و S_{rhs} : دامنه کرنش و تنش بحرانی

ε_{rnom} و S_{rnom} : دامنه کرنش و تنش اسمی

در عضو مهاری نسبت SCF و SNCF بین ۰/٦ تا ۱/٤ متغیر است. ولی طبق مطالعات پنجه شاهی [٤] و Wingerde [٥] و Frater [٦] ، این نسبت برای اتصالات مقاطع مستطیلی برابر ۱/۱ می باشد یعنی :

$$SCF = 1.1\ SNCF$$

(٤)

در اتصالات چندصفحه ای برای هر عضو مهاری بایستی مقدار SCF جداگانه محاسبه گردد.

فرمولهای پارامتریک برای محاسبه مقادیر SCF

برای محاسبه ضرایب تمرکز تنش در مقیاس وسیع مقاصد طراحی، نیاز به استفاده از فرمولهای پارامتریک به خوبی احساس می شود. در این زمینه می توان به

$$SCF = f_1(\tau), f_2(\beta) 2\gamma^{f_3(\beta)}$$

www.SID.ir

Archive of SID

نتـایج آزمایشـگاهی و تحلیلهـای اجـزاء محدود Wingerde [۵] اشـاره کـرد. وی فرمول عمومی زیر را برای اتصالات صفحه ای مقاطع مستطیلی ارائه کرده است :(۵)

برادران Soh [۷] نیـز فرمولهـایی را بـرای اتصالات صفحه ای T شکل مقاطع مربعی ارائه کرده اند که فرم کلـی ایـن فرمـول بـه صورت زیر است .

$$SCF = K\alpha^{n1}\beta^{n2}\gamma^{n3}\tau^{n4}$$

(٦)

همانطور که ذکر شد ایـــن معـــادلات بـــرای اتـــصالات

فحه ای ارائه شـده انـد و تحقیقـات بـرای دستیابی به فرمولهایی جهت محاسبه SCF در اتصالات چندصفحه ای این مقاطع ادامه دارد که از تلاشهای صورت گرفته می توان بـــه تحقیقـــات پنجـــه شـــاهی [٤] و deKoning و همکاران [۸] اشاره کرد.

تحلیـــل تمرکـــز تـــنش در اتصـــالات چندصفحه ای مقاطع مستطیلی

از آنجـایی کـه در عمـل اتصـالات مقاطع مستطیلی به صـورت چندصـفحه ای می باشند، لازم است ضرایب تمرکـز تـنش این اتصالات تعیـین شـوند. روش متـداول طراحی خستگی ایـن اتصـالات اسـتفاده از نتایج آزمایشگاهی یا روابط ارائه شده برای اتصالات تک صـفحه ای مـی باشـد. بـدین شـکل کـه در هـر مرحلـه اتصـال در یـک صفحه ، بدون توجه به اثـر اعضـاء مهـاری خارج آن صـفحه مـورد بررسـی قـرار مـی گیـرد. همـانطور کـه در ادامـه نشـان داده خواهد شد، در همه جا نمی تـوان از تـاثیر عضـو مهـاری خـارج از صـفحه در رفتـار اتصـال خصوصـاُ ضـرایب تمرکـز تـنش صرفنظر کرد. نتـایج مطالعـاتی کـه توسـط Davies و همکـاران [۹] و همچنـین Yu و همکـاران [۱۰] در زمینـه تـاثیر عضـو مهاری خارج از صفحه بـر مقاومـت نهـایی اتصال DTT صورت گرفته است حاکی از افزایش ۲٦ تا ۳٤ درصد در مقاومت نهـایی در صـورت درنظـر گـرفتن عضـو مهـاری خارج از صفحه می باشد.

روش المان محدود

روشهای مختلفی توسط محققین برای تحلیل تمرکز تنش اتصالات چند صفحه ای ارائه شده است که عبارتند از :

www.SID.ir

Archive of SID

۱ – استفاده از روش آزمایشگاهی و تعیین کرنش بحرانی

۲ – اعمال ضرایب تصحیح بر روی نتایج اتصالات صفحه ای

۳ – استفاده از روش المان محدود

باتوجه به اینکه تحلیل های اجزاء محدود با هزینه بسیار کمتری نسبت به روشهای آزمایشگاهی قابل انجام است و همچنین با عنایت به افزایش کارآیی برنامه های تحلیلی و انعطاف پذیری آنها با شرایط عملی و همچنین مشکلات موجود در ساخت نمونه های آزمایشگاهی ، علاقه مندی برای انجام تحلیل های عددی افزایش یافته است. ولی بایستی دقت داشت که به دلایلی از جمله استفاده از انواع مختلف المان، تعداد المان و شکل مش بندی ، شرایط مرزی، وجود و یا عدم وجود مدل جوش ، نوع المان مورد استفاده برای مدلسازی جوش و مرتبه انتگرال گیری تفاوتهایی در مقادیر نتایج به چشم می خورد که لازم است با اصلاح این پارامترها به مدل منطبق با شرایط آزمایشگاهی رسید و یا به عبارت خلاصه تر باید مدل تحلیلی را کالیبره نمود.

از میان برنامه های تجاری موجود طبق تحقیقات Dexter برنامه ANSYS [۱۱] نسبت به سایر برنامه ها انعطاف پذیرتر و آسانتر می باشد [۱۲] . با لحاظ کردن قابلیت بسیار بالای این برنامه در ساختن سطوح فضایی و سه بعدی و ترکیب و مش بندی آنها که در عین سهولت کار با آن انجام می شود، استفاده از این برنامه ترجیح داده شده است. در این مطالعه با استناد به تحقیقات پارامتری وسیع از جمله مطالعات Lee [۱۳]و Lee & Wilmshurst [۱۵،۱٤] و Dexter و همکاران [۱٦] از المان پوسته ای[۹] ٤ گرهی با ٦ درجه آزادی در هر گره استفاده شده است.

محققین مختلف در تحقیقات خود برای مدلسازی جوش در اتصالات مقاطع توخالی از روشهای گوناگونی استفاده کرده اند :

۱ – تقریباً تمامی محققین عدم مدلسازی جوش را در مقاومت نهایی اتصالات صفحه ای بی تاثیر دانسته اند [۱۱] .

۲ – برخی از محققین از جمله Davies و همکاران [۹] ، Romeign [۱۷] و

www.SID.ir

Archive of SID

Wingerde [۵] جوش را با المانهای حجمی [۱۰] مدلسازی کرده اند

۳ – محققین دیگری از جمله Lee [۱۲] و VanderVegte [۱۸] نیز از روش ساده تری نسبت به المانهای حجمی یعنی مدلسازی جوش با المانهای پوسته ای شکل استفاده کرده اند. صحت این روش با دقت بین ٤ تا ۹ درصد تایید شده است [۱٤،۱۵] .

در این تحقیق نیز همانطور که ذکر شد از المانهای پوسته ای ٤ گرهی (Shell 63 در برنامه ANSYS) استفاده شده است و برای ابعاد جوش نیز ابتدا ابعاد واقعی جوش در نظر گرفته شد. در ادامه با استناد به تحقیقات مبسوط Lee و همکاران [۱۹] که بهترین بعد جوش در مدلسازی با المان پوسته ای را معادل t_1 (ضخامت عضو مهاری) یافتند، ابعاد جوش در دو عضو مهاری و اصلی برابر t_1 در نظر گرفته شد که نتایج حاکی از سه درصد اختلاف نسبت به حالت اول (مدل ابعاد واقعی جوش) می باشد. ضمناً در هر دو حالت برای ضخامت المان پوسته ای جوش از روش معرفی شده توسط Koning و همکاران [۲۰] و Yu و همکاران [۲۱] استفاده شد.

آنها ضخامت المان پوسته ای مورد استفاده برای مدلسازی جوش را مطابق رابطه (۷) بر حسب مساحت جوش $(a = \frac{w_\circ \times w_1}{2})$ و طول گرده جوش $(L = \sqrt{w_\circ^2 + w_1^2})$ آن محاسبه کردند که نتایج حاصله همخوانی خوبی با نتایج آزمایشگاهی داشته است:

(۷)

کالیبراسیون مدل

برای کالیبراسیون مدل تحلیلی صفحه ای نیز از نتایج آزمایشگاهی پروژه تحقیقاتی ECSC-CIDECT [۲۲] استفاده شده است. در تحلیلها از تنش های فون مسیز[۱۱] استفاده شده است.

هندسه دو نمونه اتصال T_4 و X_5 که برای کالیبراسیون مدل تحلیلی انتخاب شده اند در جدول (۲) آورده شده است. بزرگترین SCF حاصل از آزمایش برای این دو اتصال به ترتیب ۷/۲۱ و ۹/۸۸ می باشد که هر دو در محل اتصال عضو مهاری و اصلی و در گوشه عضو مهاری اتفاق می افتد.

www.SID.ir

Archive of SID

برای دستیابی به یک شبکه مناسب، دو

$$t_w = \frac{a}{L} = \frac{w_\circ \times w_1}{2\sqrt{w_\circ^2 + w_1^2}}$$

اتصال مذکور T_4 و X_5 مدلسازی گردید و با تغییر شبکه اعضاء در آن سعی گردید که اولاً مقادیر SCF را به مقداری ثابت همگرا شود و ثانیاً کمترین اختلاف را با نتایج آزمایشگاهی داشته باشد. در ضمن برای بررسی میزان تاثیر بعد جوش در نتایج SCF ، اتصال T_4 یکبار با بعد جوش واقعی و سپس با بعد جوش توصیه شده توسط محققین که موردبحث واقع شد مدلسازی گردید.

الف – مدلسازی T_4 با ابعاد جوش واقعی و تحت اثر نیروی محوری در عضو مهاری

اتصال T_4 را با مشخصات هندسی مندرج در جدول (۲) مدل کرده و چگالی تعداد المان در پنج حالت بررسی شد که نتایج SCF بدست آمده در جدول (۳) آورده شده است. مطابق شکل (۲) مقادیر SCF با شبکه بندی دارای تعداد المان بیشتر از ۳۸۲٤ به مقدار ثابتی همگرا می شوند. رابطه تعداد المان و مدت زمان تحلیل (شکل (۳)) مبین این امر است که هرچه تعداد المان بیشتر باشد مدت زمان تحلیل نیز به صورت تصاعدی افزایش می یابد. بنابراین باتوجه به این که اختلاف SCF بدست آمده از مدل T_{4-7} و T_{4-6} کمتر از ۰/۲ درصد می باشد، لذا به نظر می رسد که استفاده از مدل T_{4-6} امری منطقی باشد. در شکل (٤) انواع مختلف مش بندی نشان داده شده اند.

ب – مدلسازی T_4 با ابعاد جوش فرضی تحت اثر نیروی محوری در عضو مهاری

از آنجایی که در تحقیقات عددی برای اتصالات چندصفحه ای که در ادامه آمده است، مدل واقعی و آزمایشگاهی از این اتصالات در دست نبود تا ابعاد جوش مطابق آنها مدل شود، بنابراین طبق توصیه Lee [۱۷] و همکاران ابعاد جوش $w_\circ = w_1 = t_1$ درنظر گرفته شده و جوش با المان پوسته ای به ضخامت معادل محاسباتی مطابق رابطه (۷) مدل شده است. نتیجه حاصله برای مدل T_{4-6} مقدار SCF = 7.949 می باشد که نسبت به مقدار بدست آمده از

www.SID.ir

Archive of SID

قسمت (الف) طبق جدول (۳) که در آن SCF = 7.882 بود، حدود ۳/۲ درصد اختلاف دارد که قابل توجه نمی باشد.

ج - مدلسازی T_4 با ابعاد جوش واقعی تحت اثر لنگر خمشی درون صفحه ای در عضو مهاری

در این حالت نیز مدل T_{4-6} برای لنگر خمشی مورد بررسی قرار گرفته است که نتایج به قرار زیرند :

SCF = 5.06 حاصل از آزمایش

SCF = 5.195 حاصل از تحلیل المان محدود

درصد ۲/۷ = درصد اختلاف

ملاحظه می شود که مدل به خوبی در مقابل لنگر خمشی کالیبره شده است.

د - مدلسازی X_5 با ابعاد جوش واقعی تحت اثر نیروی محوری در اعضا مهاری

در این حالت اتصال X_5 با چگالی های المان مختلف مدلسازی شد که نتایج این بررسی در جدول (٤) آورده شده است. ملاحظه می شود که اختلاف مدل X_5-5 (که همان ابعاد مدل T_{4-6} در اتصال T_4را داراست) و X_5-7 حدود ۰/۳ درصد می باشد که ناچیز بوده و می توان از ابعاد مش مدل X_5-5 استفاده کرد.

بررسی شرایط مرزی

برای بررسی تاثیر شرایط مرزی بر نتایج SCF

اتصال T_4 را مورد بررسی قرار می دهیم. جدول (۵) نتایج این بررسی را نشان می دهد. با بررسی جدول (۵) چنین به نظر می رسد که شرایطر مرزی گیردار کامل برای عضو اصلی (مدل T_4-6) کمترین مقدار SCF و کمترین شرایط لازم جهت پایداری (مدل T_4-6-2) بیشترین مقدار SCF را نتیجه می دهد. از طرفی اختلاف بین بیشترین و کمترین مقدار SCF در این جدول ۱/۲ درصد می باشد که مقدار ناچیزی است. لذا این بررسی مبین تاثیر بسیار ناچیز شرایط مرزی بر مقادیر SCF است. از آنجایی که شرایط مرزی گیردار کامل موجب کاهش حجم محاسبات می شوند لذا در تحلیل اتصالات چند صفحه ای شرایط مرزی گیردار کامل برای انتهای عضو اصلی درنظر گرفته شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

بررسی اتصالات چند صفحه ای TT مقاطع مستطیلی

ابتدا به بررسی میزان تاثیر عضو مهاری خارج از صفحه ای در مقادیر SCF می پردازیم وصحت و سقم روش متداول طراحی که از این عضو در مطالعات تمرکز تنش صرفنظر می کند، را مورد مطالعه قرار می دهیم.

برای این منظور ۲ نمونه اتصال TT به همراه اتصالات معادل صفحه ای آنها را مدل می کنیم.

۱ – اتصال TT3-1

در این اتصال عضو اصلی به ابعاد ۱۲/۸×۲۰۰×۲۰۰ میلیمتر و عضو مهاری دارای ابعاد ۵×۸۰×۸۰ میلیمتر بوده و ۱۲۰۰ = L_{chord} و ٤۰۰ = L_{brace} میلیمتر می باشند. شرایط مرزی دو انتهای عضو اصلی گیردار بوده و اعضاء مهاری تحت اثر نیروی فشاری ۵۰ KN قرار می گیرد.

تنش اسمی عضو مهاری :

$$\sigma_{nom} = \frac{P}{A} = \frac{50E3}{1548.496} = 32.2894 \quad MPa$$

مطابق شکل (۵) تنش بحرانی براساس تحلیل گرهی و المانی مساوی است با:

$$\sigma_{h.s} = 224.487 \quad MPa$$

$$SCF = \frac{\sigma_{h.s}}{\sigma_{nom}} = 6.952$$

مطابق شکل (٦) تنش بحرانی برای اتصال T صفحه ای معادل TT3-1 تحت عنوان T-13 با همان مشخصات، بارگذاری و شرایط مرزی مدل برابر است با :

$$\sigma_{h.s} = 249.719 \quad MPa$$

$$SCF = \frac{249.719}{32.2894} = 7.734$$

از مقایسه دو مقدار SCF بدست آمده فوق ملاحظه می شود که در نظر نگرفتن عضو مهاری خارج از صفحه ای مقدار SCF را حدود ۱۱/۲۵ درصد بیشتر برآورد می کند.

باتوجه به رابطه ارائه شده در جدول (۱) که توسط API [۱] برای تخمین عمر خستگی اتصال پیشنهاد شده است ، تاثیر برآوردهای محافظه کارانه SCF در عمر خستگی بررسی می شود. برای این منظور بق رابطه ارائه شده برای نمودار API-X خواهیم داشت :

$$N = 2 \times 10^6 \left(\frac{S_{rhs}}{100}\right)^{-4.38} \qquad (۸)$$

www.SID.ir

Archive of SID

اگر N_1 عمر سازه بـا فـرض SCF معـادل باشد و یادآوری $S_{rhs} = SCF.S_{nom}$ داریم :

$$\frac{N_1}{N_2} = (\frac{6.952}{7.734})^{-4.38} = 1.6 \rightarrow N_1 = 1.6N_2$$

(۹)

یعنی درنظر نگرفتن عضو مهاری خـارج از صفحه در اتصالات چندصفحه ای موجـب می شود عمـر خسـتگی حـدود ٤٠درصـد کمتـر بـرآورد گـردد کـه ایـن موضـوع در ملاحظات اقتصادی حائز اهمیت می باشد.

مطابق رابطه ارائه شده توسط Wingerde [٥] داریم :

$$SCF = (0.013 + 0.693\beta - 0.278\beta^2)2\gamma^{(0.79+1.898\beta-2.109\beta^2)}$$

(۱۰)

با توجه به پارامترهای این اتصال داریم :

$$SCF = 5.936$$

۲ – اتصال TT_4-5

اتصال دوم دارای عضو اصلی به ابعاد ۱۲/۸×۲۰۰×۲۰۰ میلیمتر و عضو مهاری بـه ابعـاد ٥×۱۰۰×۱۰۰ میلیمتـر مـی باشـد و شرایط بارگذاری و مرزی آن مشابه اتصـال TT_3-1 می باشد. بنابراین تنش اسـمی در عضو مهاری برابر است با :

$$\sigma_{nom} = \frac{P}{A} = \frac{50E3}{1939.9115} = 25.7744 \quad MPa$$

تنش بحرانی نیز برابر است با :

$$\sigma_{rhs} 185.6 \quad MPa$$

در نتیجه :

$$SCF = \frac{185.6}{25.7744} = 7.005$$

مطابق تحلیل اتصال T_{14} که معادل صـفحه ای اتصـال TT_4-5 بـا شـرایط مـرزی و بارگذاری مشابه آن است داریم:

$$\sigma_{h.s} = 202521 \quad MPa$$

$$SCF = \frac{202.521}{25.7744} = 7.857$$

به روش دستی نیـز از روابـط Wingerde [٥] برای محاسبه SCF خواهیم داشت :

$$SCF = 7.00543$$

جدول (٦) نتـایج تحلیـل دو اتصـال چنـد صفحه ای TT و مقایسه آن با نتایج تحلیل معادل صفحه ای و روابط پیشنهادی مرجـع [۳] برای اتصال معادل صـفحه ای را نشـان می دهد.

مطابق این جـدول بـه نظـر مـی رسـد کـه اختلاف قابـل تـوجهی میـان تحلیـل چنـد صفحه ای و تک صفحه ای معادل اتصالات TT وجود ندارد، و می توان روش متـداول را به صورت محافظه کارانـه در مـورد ایـن اتصالات بکار برد.

www.SID.ir

Archive of SID

۳ – بررسی تاثیر پارامتر β در نتایج SCF اتصالات TT

برای بررسی تاثیر پارامتر β در مقادیر SCF با ثابت نگهداشتن ابعاد عضو اصلی (۱۲/۸×۲۰۰×۲۰۰ میلیمتر) عرض عضو مهاری را از ۸۰ میلیمتر تا ۱۶۰ میلیمتر تغییر داده و نتایج SCF مربوطه محاسبه می گردد.

در شکل (۷) نحوه تغییرات SCF با مقدار پارامتر β برای اتصالات چندصفحه ای بدست آمده از تحلیل بهمراه مقادیر بدست آمده از روابط پیشنهادی Wingerde [۵] که برای اتصالات صفحه ای ارائه شده اند، رسم شده است.

هرچند که به ازای $\beta = 0.4$ اختلاف تحلیل با رابطه مرجع [۵] محسوس است و SCF مربوط به این تحلیل بزرگتر است، لیکن برای $\beta > 0.5$ روند مشابه است و طبعاً برای محافظه کاری در طراحی مقادیر بیشتری توسط مرجع فوق داده شده است.

٤ – بررسی تاثیر پارامتر τ بر مقدار SCF اتصالات TT

پارامتر τ در مقایسه با پارامتر β در اتصالات صفحه ای از اهمیت کمتری برخوردار است بطوری که روابط پیشنهادی Wingerde [۵] برای خطوط A و E شامل پارامتر τ نمی باشند. ولی در این مطالعه بررسیهایی که بر روی اتصال TT3–1 با تغییر τ از ۰/۳۹۱ تا ۱ صورت گرفته است شکل (۸) نشان می دهد که مقادیر SCF با افزایش τ به صورت خطی افزایش می یابد. این موضوع با روابط پیشنهادی Soh [۷] برای محاسبه SCF همخوانی دارد.

$$[SCF = 0.2134\beta^{0.701}2\gamma^{1.304}\tau^{1.003}\alpha^{-0.283}] \quad (۱۱)$$

که در آن τ مساوی ۱/۰۰۳ می باشد.

۵– تاثیر زاویه بین دو عضو مهاری (θ) بر مقدار SCF اتصالات TT

برای بررسی تاثیر زوایه بین دو عضو مهاری در مقادیر SCF اتصال TT را با عضو اصلی ۱۲/۸×۲۰۰×۲۰۰ میلیمتر و عضو مهاری را با ابعاد ۵×۸۰×۸۰ میلیمتر مدل کرده و زاویه θ از ۵۰ تا ۱۰۰ درجه تغییر داده شد. نتایج تحلیل در شکل (۹) نمایش داده شده است. ملاحظه می شود که در زوایای کم، SCF کمترین مقدار را داشته و با افزایش زاویه به صورت سهموی

www.SID.ir

Archive of SID

افـــــــــــــــــــــــــــــزایش می یابد. دکل ها و خرپاهای فضایی سه محوره دارای SCF کمتری می باشند. مطابق شکل در زوایای بیش از ۹۰ درجه بین اعضای مهاری مقدار SCF تقریباً ثابت می ماند یعنی خرپاهای فضایی چهار، پنج و یا شش و .. محوره دارای SCF یکسانی اند.

طبق این شکل و فرمولهای جدول (۱) چنـــــــــــــــــــــــــــین نتیجه گیری می شود که عمر خستگی اتصال سازه سه پایه ۲۷ درصد بیشتر از عمر خستگی اتصال سازه چهار پایه می باشد.

بررسی اتصالات چندصفحه ی XX

همانند اتصالات TT ابتدا به بررسی میزان تاثیر اعضاء مهاری خارج از صفحه در مقادیر SCF پرداخته و متعاقباً تاثیر پارامترهای β و τ در مقادیر SCF بررسی می شود .

۱- بررسی تاثیر اعضاء مهاری خارج از صفحه ای در مقادیر SCF

در این قسمت نیز دو اتصال XX را مدنظر قرار داده و پس از تحلیل و بدست آوردن میزان SCF، اتصالات X صفحه ای معادل آنها را مدلسازی کرده و میزان SCF آنها نیز محاسبه می شود.

اتصال اول موسوم به XX3-4 با عضو اصلی ۱۲/۸×۲۰۰×۲۰۰ میلیمتر و عضو مهاری به ابعاد ۵×۸۰×۸۰ میلیمتر می باشد. روی انتهای هر ٤ عضو مهاری بار فشاری ۵۰ KN قرار داده می شود که معادل تنش اسمی فشاری ۳۲/۲۸۹٤ Mpa می باشد. مطابق شکل (۱۰) تنـــــــــش بحرانی بدست آمده برابر است با :

$$\sigma_{rhs} = 186.35 \quad MPa$$
$$SCF = \frac{186.35}{32.2894} = 5.771$$

در نتیجه :

$$\sigma_{rhs} = 269.473 \quad MPa$$
$$SCF = \frac{269.473}{32.2894} = 8.346$$

حال اتصال X-15 (اتصال صفحه ای معادل XX3-4) را مدلسازی و تحلیل می کنیم . مطابق شکل (۱۱) داریم :

مقدار اخیر نسبت به مقدار واقعی آن که از تحلیل اتصال XX بدست آمده حدود ٤٥ درصد بیشتر می باشد که موجب می شود

www.SID.ir

Archive of SID

عمر سازه مغادل $\frac{1}{5}$ مقدار واقعی برآورد گردد.

اتصال دوم XX4-4 را برای اطمینان از نتیجه گیری حاصله با عضو اصلی به ابعاد ۱۲/۸×۲۰۰×۲۰۰ میلیمتر و عضو مهاری ۵×۱۰۰×۱۰۰ میلیمتر مدلسازی می کنیم. نتایج در جدول (۷) خلاصه شده اند.

جدول (۷) مؤید این واقعیت است که درنظر نگرفتن اعضاء مهاری خارج از صفحه ای اثر قابل ملاحظه ای بر مقدار SCF خواهد داشت تا جایی که عمر خستگی اتصال حدود $\frac{1}{5}$ تا $\frac{1}{7}$ مقدار واقعی برآورد می شود که این امر موجب غیر اقتصادی شدن طرح می شود.

۲ – بررسی تاثیر پارامتر β در مقادیر SCF اتصالات XX

برای بررسی تاثیر پارامتر β در مقادیر SCF اتصالات XX را با ثابت نگهداشتن ابعاد عضو اصلی (۱۲/۸×۲۰۰×۲۰۰ میلیمتر) و تغییر عرض مقطع عضو مهاری (t = ۵ میلیمتر) از ۸۰ تا ۱۶۰ میلیمتر مدلسازی و تحلیل گردیدند.

نتایج حاصله در شکل (۱۲) نمایش داده شده اند.

به منظور مقایسه نتایج تحلیلی بدست آمده با مقادیر بدست آمده برای اتصال صفحه ای معادل، SCF بدست آمده از فرمولهای Wingerde [۵] برای اتصالات صفحه ای° برحسب پارامتر β در همین شکل رسم شده است.

به نظر می رسد رابطه پیشنهادی مراجع [۵و۲۳] که در آن تاثیر β نمایی بوده و در $\beta = 0.6$ بیشترین تمرکز تنش را ارائه می دهد با نتایج تحلیلی این مقاله همخوانی ندارد. بطوریکه رابطه SCF با β تقریباً خطی است و با افزایش عرض مهار نسبت به عضو اصلی از مقدار تمرکز تنش کاسته می شود.

۳- بررسی تاثیر پارامتر τ در مقادیر SCF اتصالات XX

در این قسمت اتصال XX3-4 را مدنظر قرار داده و t_1 با ثابت نگهداشتن بقیه پارامترها و ابعاد از ۵ تا ۱۲/۸ میلیمتر $(\tau = 0.391 \rightarrow 1.0)$ تغییر داده می

www.SID.ir

Archive of SID

شود و برای هرکدام مقدار SCF محاسبه می شود. نتایج نشان دهنده رابطه خطی SCF با τ می باشد که در شکل (۱۳) نشان داده شده است و همخوانی خوبی با روابط پیشنهادی Soh [۷] دارد.

نتیجه گیری و پیشنهادات

در حال حاضر مهندسین به منظور بررسی پدیده خستگی و تعیین عمر اتصالات چندصفحه ای آنها را به چند اتصال صفحه ای معادل تقسیم کرده و ضمن بررسی جداگانه آنها بیشترین مقدار ضریب تمرکز تنش در میان آنها را مبنای محاسبات عمر خستگی قرار می دهند. در این تحقیق دو اتصال TT و XX با مقاطع مستطیلی مطالعه شدند که خلاصه نتایج به شرح زیر می باشند:

- در محدوده پارامترهای مطالعه شده به نظر می رسد مقادیر SCF اتصالات TT ناشی از تحلیل چند صفحه ای و روش متداول (بررسی صفحه ای آن) اختلاف چندانی ندارد (حدود ۱۲ درصد) و باتوجه به سادگی روش متداول می توان آن را به صورت محافظه کارانه قابل قبول دانست.
- به همین ترتیب به نظر می رسد مقادیر SCF حاصل از تحلیل چندصفحه ای اتصالات XX حدود ۵۰ درصد کمتر از مقدار بدست آمده برای آنها از روش متداول طراحی می باشد که این امر موجب می گردد تا عمر خستگی اتصالات براساس روش متداول حدود ۱/٦ مقدار واقعی برآورد گردد که در ملاحظات اقتصادی بسیار حائز اهمیت است.
- در بررسی اثر β بر مقدار SCF اتصالات XX ملاحظه می شود که بیشترین SCF در β = ۰/۵ و کمترین آن در β = ۱/۰ بدست می آید. یعنی با افزایش β مقدار تمرکز تنش رو به کاهش می گذرد لذا حتی الامکان بهتر است عرض مقاطع اصلی و مهاری نزدیک به هم باشند.
- در بررسی اثر τ بر مقدار SCF اتصالات XX ملاحظه می شود که با افزایش τ مقدار SCF نیز به صورت خطی افزایش پیدا می کند. بنابراین بهتر است حتی الامکان این پارامتر پایین نگهداشته شود.
- مقدار SCF در اتصالات T با زاویه بین دو عضو مهاری مساوی یا بیشتر از ۹۰ درجه بیشترین مقدار را داشته و ثابت باقی

www.SID.ir

Archive of SID

می ماند. پایه های ۳ محوره دارای کمترین SCF در اتصالات خود می باشند.

– برای نیل به نتیجه گیریهای مطمئن تر و ارائه روابط چند متغیره که در برگیرنده تاثیرات پارامترهای مختلف اتصالات باشد باید مطالعه این مقاله گسترش یابد و دامنه پارامترها کوچکتر گردد. لذا نتیجه گیریهای فوق جنبه کیفی دارد.

فهرست علائم

b_1: عرض عضو مهاری

b_0 : عرض عضو اصلی

t_1 : ضخامت جداره عضو مهاری

t_0 : ضخامت جداره عضو اصلی

L_1 : طول عضو مهاری

L_0 : طول عضو اصلی

W_1 : بعد جوش در عضو مهاری

W_0 : بعد جوش در عضو اصلی

θ : زوایه بین محور دو عضو مهاری در اتصالات TT

$S_{h.s}$: تنش بحرانی

σ_{rhs} : دامنه تنش بحرانی

σ_{nom} : تنش اسمی

S_r : دامنه تنش اسمی

R : نسبت تنش ها

SCF : ضریب تمرکز تنش

SNCF : ضریب تمرکز تنش

مراجع

1 – *API,* (1991). "*Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms.*" API Recommended Practice 2A (RP 2A), 19th Edition U.S.A.

2 – *IIW,* (1989). "*Design Recommandations for Hollow Sections Joints-Predominantly Statically Loaded.*" 2nd Edition, IIW Doc: XV-701-89.

3 – Dover, W. D. and Madhava Rao, A. G. (1996) . "Fatigue in offshore structures." A.A. Balkema/Rotterdam/Brookfield.

www.SID.ir

Archive of SID

4 – Panjeh Shahi, E. (1994). “Stress and strain concentration factors of welded multiplanar joints between square hollow sections.” Delft University Press, The Netharlands.

5 – Van Wingerde, A. M., (1992). “The fatigue behavior of T and X - joint made of square hollow section.” *HERON*, Vol 37, No. 2.

6 – Frater, G. (1991). “Performance of welded rectangular hollow structural section trusses.” University of Toronto, Canada.

7 – Soh, A. K. and Soh, C. K. (1990). “A parametric stress analysis of T/Y and K square-to-square tubular joints.” *J. of Construct. Steel Res.,* No. 15, PP. 173-190.

8 – de Koning, C.H.M., Puthli, R. S., Wardenier, J. and Dutta, D. (1992). “Fatigue behavior of multiplanar welded hollow section joints and reinforcement measures for repair.” *Final report, research program 7210 SA/114 of commission of European Comminities.*

9 – Davies, G. and Crockett, P. (1996). “The Strength of welded T-DT joints in rectangular and circular hollow section under variable axial loads.” *J. Construct. Steel Res.,* Vol. 37, No. 1, PP. 1-31.

10 – Yu, U., Liu, D. K., Puthli, R. S. and Wardenier, J. (1993). “Numerical Investigation into the static behavior of multiplanar welded T-joints in RHS.” ISBN 0419187707.

11 – ANSYS. Users Manual Swansea Analysis Systems Inc., 1995.

www.SID.ir

Archive of SID

12 – Lee, M. M. K. (1999). “Strength, stress and fracture analyses of offshore turbular joints using finite elements.” *J. of Construct. Steel Res.,* Vol. 51, PP. 265-286.

13 – Lee, M. M. K., Dexter, E. M. and Kirkwood, M. G. (1995). “Strength of moment loaded tubular T/Y-joints in offshore platforms.” *The Structural Engineer,* Vol. 73, No. 15, PP. 239-246.

14 – Lee, M. M. K. and Wilmshurst, S. R. (1996). “A Parametric Study of Strength of Tubular Multiplanar KK-Joints.” *J. of Structural Engineering, ASCE,* Vol. 122, No. 8, PP. 893-904.

15 - Lee, M. M. K. and Wilmshurst, S. R. (1997). “Strength of Multiplanar KK-Joint Under Anti-Symmetrical Loading.” *J. of Structural Engineering, ASCE,* Vol. 123, No. 6, PP. 755-764,

16 – Dexter, E. M., Lee, M. M. K. and Kirkwood, M. G. (1996). “Overlapped K-joints in circular hollow sections under axial loading.” *J. of Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Transactions of ASME,* Vol. 118, No. 1, PP. 53-61.

17 – Romeijn, A. (1994). “Stress and strain concentration factors of welded multiplanar tubular joints.” Delft University Press, The Netherlands.

18 – Van der Vegte, G. J. (1994). “The static strength of axially loaded uniplanar and multiplanar tubular X-joints.” *HERON,* Vol. 39, No. 4, PP. 55-67.

www.SID.ir

Archive of SID

19 – Lee, M. M. K. and Wilmshurst, S. R. (1995). “Numerical modelling of CHS joints with multiplanar double-K configuration.” *J. of Construct. Steel Res.,* Vol. 32, PP. 281-301.

20 – Koning, C. H. M. de., Liu, D. K., Puthli, R. S. and Wardenier, J. (1992). “The development of design methods for the cost-effective applications of multiplanar joints, experimental and numerical investigation on the static strength of multiplanar welded DX-and X-joints in R.H.S.” TNO-Bouw Report Netherlands.

21 – Yu, Y., Liu, D. K., Puthli, R. S. and Wardenier, J. (1993). “The development of design methods for the cost-effective applications of multiplanar joints, numerical investigation into the static strength of multiplanar welded T-joints in R.H.S.” TNO-Bouw Report Netherlands,

22 –Von Wingerde, A. M., Puthli, R. S., Koning, C. H. M. de., Verheul, A., Waradenier, J. and Dutta, D. (1989). “Fatigue strength of welded unstiffened R.H.S. joints in latticed structures and vierendeel girders.” Final Report, Part 1 “X-and T-joints”.

۲۳ – س . ح حسینی حصاری. "مطالعه تحلیلی ضرایب تمرکز تنش اتصالات چند صفحه ای مقاطع مستطیلی (RHS)." پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی، دانشگاه تهران ، (۱۳۷۹).

واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

1 – Multiplanar
2 – Uniplanar
3 – Brace
4 – Hollow Section

www.SID.ir

Archive of SID

5 – Drag

6 – Deterministic Method

7 – Spectral Method

8 – Hot Spot

9 – Shell

10 - Solid

11 – Von mises

www.SID.ir