



مرکز ملی پژوهش‌ها و نوآوری‌های دریایی

سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی‌رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.



سازمان بنادر و دریانوردی



تأثیر خصوصیات هندسی اتصالات لوله ای از نوع KT بر توزیع تنش در امتداد پنجه جوش تحت بار گذاری متعادل محوری

محمد علی لطف الهی یقین
دانشگاه تبریز

حمید احمدی
دانشگاه تبریز

lotfollahi@tabrizu.ac.ir , a_lotfollahi@yahoo.com

h_ahmadi_81@yahoo.com

چکیده

تاکنون تحقیقات زیادی در مورد محاسبه ضرایب تمرکز تنش (SCF) در انواع مختلف اتصالات لوله ای صورت گرفته است و ضرایب تمرکز تنش در محل تقاطع اعضای اصلی و مهاری با استفاده از معادلات پارامتری ارائه شده در این گزارشات فنی بسهولت قابل محاسبه میباشد. با این وجود، نتایج اکثریت قریب به اتفاق این تحقیقات بر تعیین مقدار SCF در نقاط Crown و Saddle متمرکز بوده و بررسی توزیع تنش در امتداد محل تقاطع اعضای اصلی و مهاری و تعیین موقعیت تنش بحرانی (HSS) در امتداد پنجه جوش کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است، درحالیکه تعیین توزیع مقادیر SCF در امتداد پنجه جوش برای تخمین محل ایجاد ترک های سطحی ناشی از خستگی، تخمین عمر خستگی اتصال و تعیین عمر باقی مانده اتصالات ترک خورده از اهمیت خاصی برخوردار است. در این مقاله، اثر پارامترهای هندسی بی بعد شامل β ، γ ، ζ و τ بر توزیع ضرایب تمرکز تنش (SCFs) در امتداد پنجه جوش در اتصالات لوله ای KT تحت اثر بار متعادل محوری مورد بررسی قرار میگیرد. پس از بررسی نحوه تأثیر این پارامترها، یک معادله پارامتری برای تعیین توزیع مقادیر SCF در امتداد پنجه جوش ارائه میگردد.

کلید واژگان: سکوی شابلونی، خستگی، مکانیک شکست، اتصال لوله ای KT، ضریب تمرکز تنش.

مقدمه

گسیختگی ناشی از خستگی یکی از مدهای گسیختگی بسیار متداول در اتصالات لوله ای مورد استفاده در سازه های مهندسی ساحلی و فراساحلی میباشد. جهت ارزیابی عمر خستگی تقریبی این سازه ها، معمولاً از منحنی های S-N استفاده میشود. در این روش، تعداد سیکل های بارگذاری قابل تحمل توسط سازه پیش از گسیختگی با توجه به محدوده تنش بحرانی مربوطه تخمین زده میشود. محدوده تنش بحرانی با استفاده از پارامتری که ضریب تمرکز تنش نامیده میشود قابل تعیین است. این ضریب نسبت تنش واقعی در محل اتصال به تنش اسمی در عضو مهاری است.

تاکنون مطالعات و پژوهش های زیادی در مورد محاسبه ضرایب تمرکز تنش (SCF) در انواع مختلف اتصالات لوله ای صورت گرفته است و ضرایب تمرکز تنش در محدوده جوش با استفاده از معادلات پارامتری ارائه شده در این گزارشات فنی بسهولت قابل محاسبه میباشد. با این وجود، نتایج اکثریت قریب به اتفاق این تحقیقات بر تعیین مقدار SCF در نقاط Crown و Saddle متمرکز بوده و بررسی توزیع تنش در امتداد محل تقاطع اعضای اصلی و مهاری و تعیین موقعیت تنش بحرانی (HSS) در امتداد پنجه جوش کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است.

تعیین توزیع مقادیر SCF در امتداد پنجه جوش از چندین لحاظ دارای اهمیت ویژه ای میباشد:

۱- با انجام چنین مطالعه ای میتوان موقعیت دقیق HSS را تعیین نمود. موقعیت HSS از اهمیت خاصی برخوردار است چرا که ترک های سطحی ناشی از خستگی اتصال تحت بارهای تناوبی از موقعیت HSS آغاز میشود. در صورت استفاده از معادلاتی که مقادیر SCF را صرفاً در نقاط Saddle و Crown toe ارائه میکنند، امکان تعیین موقعیت HSS وجود ندارد.

۲- ممکن است اختلاف بین ماکزیمم ضریب تمرکز تنش (SCF_{HSS}) و مقادیر SCF در نقاط Saddle و Crown toe زیاد باشد. در این صورت استفاده از معادلاتی که مقادیر SCF را صرفاً در این نقاط ارائه میکنند، منجر به کاهش دقت و پیش بینی دست پائین مقدار HSS خواهد شد. از طرفی به علت هزینه های بسیار بالای بازرسی اعضای قرار گرفته در زیر آب توسط غواص ها، عملاً امکان بازرسی تمام اتصالات وجود ندارد. بنابراین بازرسی صرفاً برای چند اتصال بحرانی صورت میگیرد. میزان مستعد بودن یک اتصال نسبت به آسیب های ناشی از خستگی ارتباط مستقیم با محدوده تنش بحرانی آن اتصال دارد. لذا تعیین مقدار دقیق HSS از اهمیت زیادی برخوردار است.

۳- اتصالات سکوهایی فراساحلی علاوه بر بار محوری، تحت لنگر خمشی داخل صفحه و خارج از صفحه نیز قرار دارند. طبق روش پیشنهادی توسط آئین نامه API، ابتدا باید بطور جداگانه تنش اسمی ناشی از هر کدام از این بارها را در ماکزیمم ضریب تمرکز تنش اتصال تحت آن بار ضرب

نموده و سپس سه مقدار حاصل را با هم جمع نمود. واضح است که این روش موقعیت HSS را در نظر نگرفته و عموماً منجر به تخمین بسیار محافظه کارانه ای از عمر خستگی اتصال خواهد شد. برای حصول مقادیر بر مراتب دقیقتر برای HSS، میتوان ابتدا توزیع تنش ناشی از هر کدام از این سه حالت بارگذاری را بطور مجزا بدست آورد و سپس آنها را رویهم گذاری نمود. در نتیجه میتوان مقادیر واقع بینانه تری از عمر خستگی اتصال بدست آورد.

۴- اطلاعات دقیق در مورد نحوه توزیع تنش در اتصال جهت پیش بینی رشد ترک های ناشی از خستگی و همچنین تعیین عمر باقی مانده اتصالات ترک خورده با استفاده از روش های پیشرفته مکانیک شکست نظیر O-integral، AVS و TPM، ضروری است. لذا تعیین دقیق توزیع تنش در امتداد محل تلاقی اعضای فرعی و اصلی از اهمیت خاصی برخوردار است.

در حال حاضر، روش های اندکی جهت پیش بینی دقیق توزیع تنش در امتداد خط جوش موجود میباشد. برای اتصالات لوله ای با هندسه پیچیده، تاکنون روشی جهت تعیین موقعیت تنش بحرانی گزارش نشده است. در این مقاله، تأثیر پارامترهای هندسی بر توزیع تنش در امتداد پنجه جوش در اتصالات لوله ای KT تحت بارگذاری متعادل محوری مورد بررسی قرار گرفته و یک معادله پارامتری جهت تعیین توزیع مقادیر SCF در امتداد پنجه جوش ارائه شده است.

مرور مطالعات فنی

در این بخش خلاصه ای از تحقیقات صورت گرفته در مورد تعیین مقادیر SCF در اتصالات لوله ای که هدف اصلی آنها ارائه معادلات پارامتری برای تعیین مقادیر SCF بوده است ارائه میشود.

Lee و Morgan [۱] در سال ۱۹۹۷، یک سری معادله پارامتری برای تعیین مقادیر SCF در اتصالات لوله ای K تحت بار متعادل محوری ارائه نمودند. این معادلات که با استفاده از نتایج تحلیل ۲۵۴ مدل اجزای محدود پوسته ای نازک بدست آمده اند، ابتدا مقادیر SCF را در نقاط کلیدی روی عضو اصلی و عضو مهاری ارائه می دهند. سپس می توان مقادیر SCF در سایر نقاط را با استفاده از مقادیر SCF در این نقاط کلیدی محاسبه نمود. در این معادلات، اثر متفاوت بودن پارامترهای هندسی برای دو عضو مهاری و همچنین اثر کوتاه بودن عضو اصلی در نظر گرفته شده اند. همین نویسندگان در سال ۱۹۹۸ [۲]، مطالعه قبلی را برای اتصالات لوله ای K تحت بارگذاری لنگر خمشی خارج از صفحه تکرار نموده و یک سری معادله پارامتری ارائه نمودند.

Chang و Dover [۳] در سال ۱۹۹۹، یک سری معادله پارامتری برای تعیین توزیع مقادیر SCF در امتداد محل تقاطع اعضای اصلی و مهاری در اتصالات T و Y ارائه نمودند. این معادلات با استفاده از نتایج تحلیل اجزای محدود پوسته ای نازک که در آنها پروفیل جوش مدل سازی نشده بود، بدست آمده اند. برای هر کدام از حالات بارگذاری محوری، لنگر داخل صفحه (IPB) و لنگر خارج از صفحه (OPB) معادلات جداگانه ای ارائه شده است و در هر حالت معادلات جداگانه برای تعیین مقادیر SCF روی عضو اصلی و عضو مهاری ارائه شده است. همین نویسندگان [۴] در همان سال ۱۹۹۹، مطالعه قبلی را برای اتصالات X و DT تکرار نموده و یک سری معادله پارامتری ارائه نمودند.

Karamanos و همکاران [۵] در سال ۱۹۹۹، معادلاتی برای تعیین مقادیر SCF در اتصالات لوله ای چند صفحه ای XX ارائه نمودند. در این مطالعه، برای مدل سازی پروفیل جوش از المان ۲۰ گرهی SOLID و برای مدل سازی اعضای اصلی و مهاری از المان ۸ گرهی SHELL استفاده شده است. این تحقیق برای بارگذاری های مختلف صورت گرفته و هر دو حالت بارگذاری مرجع^۱ و بارگذاری Carry-over مورد بررسی قرار گرفته است. همین نویسندگان [۶] در سال ۲۰۰۰، مطالعه پیشین را برای تعیین مقادیر SCF در اتصالات لوله ای K تکرار نموده و یک سری معادله پارامتری ارائه نمودند.

Chiew و همکاران [۷] در سال ۲۰۰۰، معادلاتی برای تعیین مقادیر SCF جهت استفاده در طراحی اتصالات چندصفحه ای XX تحت بارگذاری های محوری، لنگر خمشی داخل صفحه و لنگر خمشی خارج از صفحه ارائه نمودند.

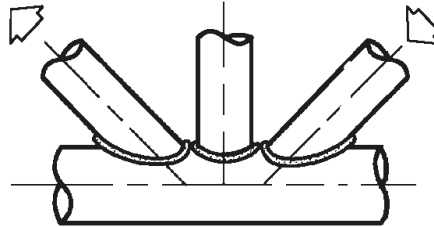
Van Wingerde و همکاران [۸] در سال ۲۰۰۱، معادلات و گراف هایی برای تعیین مقادیر SCF در اتصالات K و اتصالات چند صفحه ای KK ارائه نمودند. هدف این پژوهش ساده سازی معادلات بمنظور ایجاد سهولت بیشتر در کاربردهای طراحی بود.

Karamanos و همکاران [۹] در سال ۲۰۰۲، معادلاتی برای تعیین مقادیر SCF در اتصالات لوله ای چند صفحه ای DT با در نظر گرفتن اثرات خمشی ارائه نمودند.

Shao [۱۰] در سال ۲۰۰۴، معادلاتی را برای تعیین مقادیر SCF در اتصالات لوله ای K تحت بارهای خمشی ارائه نمود.

¹ Reference

برای اعضای مهارى کنارى و مركزى، در تمام مدل ها يکسان مى باشند. لازم به ذکر است که مقادير پارامترى β ، γ و τ در هر مدل برای هر ۳ عضو مهارى يکسان بوده و مقادير پارامترى ζ و θ نیز برای دو عضو مهارى کنارى يکسان هستند. شمای کلی از یک اتصال لوله ای KT تحت بار متعادل محوری در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل (۲): شمای کلی از یک اتصال لوله ای KT تحت بار متعادل محوری

مقادير پارامترهاى بى بعد در اتصالات لوله ای KT مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول (۱): مقادير پارامترهاى بى بعد در اتصالات لوله ای KT مورد مطالعه

پارامتر بى بعد	مقادير مفروض
β	۰/۳، ۰/۵ و ۰/۸
γ	۱۰، ۲۵ و ۴۰
τ	۰/۴، ۰/۷ و ۱/۰
ζ	۰/۲، ۰/۴ و ۰/۶
α	۱۲
α_B	۸
$\theta_{\text{outer brace}}$	۴۵ درجه
$\theta_{\text{central brace}}$	۹۰ درجه

المان مورد استفاده

بمنظور مدل سازی اعضای فرعى و اصلی و همچنین پروفيل جوش توسط نرم افزار ANSYS از المان سه بعدى 95 SOLID استفاده شده است. استفاده از این المان برای مدل سازی احجام نامنظم با دقت بالا بسیار مفید است. این المان ۲۰ گرهى بوده و در هر گره دارای ۳ درجه آزادى مى باشد. المان مذکور قابلیت هر گونه جانمایی فضایی (Spatial Orientation) دلخواه را دارا مى باشد. با استفاده از این المان، امکان لحاظ نمودن خصوصياتی نظیر پلاستیسیته، خزش، سخت شدگی تنش، تغییر شکل های بزرگ و کرنش های بزرگ وجود دارد [۱۵].

مشخصات هندسى پروفيل جوش

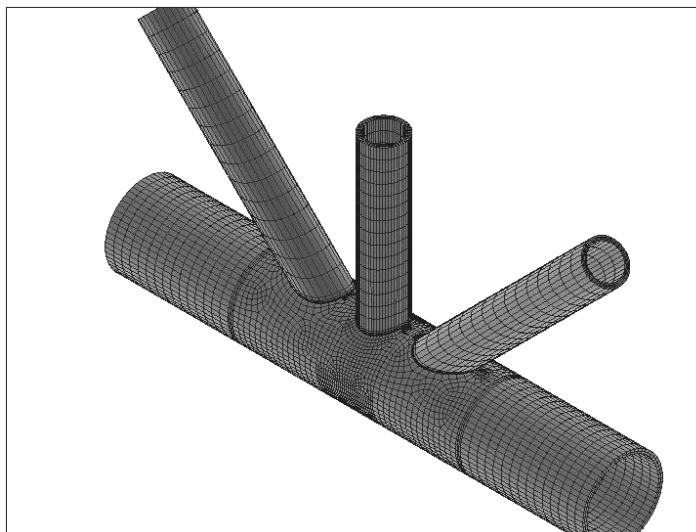
شکل پروفيل جوش بر اساس ضوابط انجمن جوش آمریکا (AWS) [۱۶] تعیین شده است. یکی از پارامترهاى مهم در تعیین ضخامت جوش، زاویه دى هدرال^۱ مى باشد. زاویه دى هدرال زاویه بين سطوح اعضای اصلی و فرعى در امتداد منحنى محل تقاطع مى باشد. تقریب های بکار رفته توسط Lee [۱۷] و Chiew و همکاران [۱۸] در مدل سازی پروفيل جوش، در این تحقیق نیز بکار گرفته شده است.

روش تولید مش

از آنجا که محل تقاطع اعضای فرعى و اصلی در یک اتصال لوله ای، یک منحنى فضایی است و پروفيل جوش در امتداد این منحنى فضایی، تشکیل یک حجم پیچیده را مى دهد، مشکل ترین مسئله در مدل سازی اتصالات لوله ای که مدل سازی پروفيل جوش در آنها در نظر گرفته شده

¹ Dihedral Angle

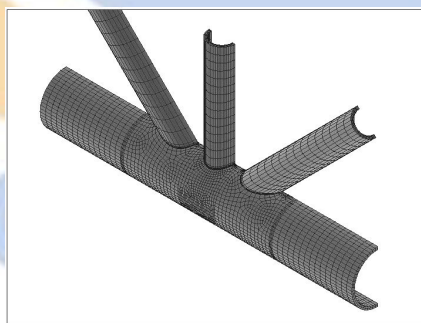
است، تولید مش با کیفیت و مطلوب می باشد. جهت نیل بدین مقصود، اتصال به قسمت های مختلف تقسیم شده و پس از چسب نمودن (Glue) این قسمت ها به هم، هر قسمت جداگانه مش زده شده است. در شکل ۳ نمونه ای از مش تولید شده توسط این روش نشان داده شده است.



شکل (۳): نمونه ای از مش تولید شده برای اتصال KT

شرایط مرزی و بارگذاری

به علت وجود تقارن در هندسه و بارگذاری اتصالات لوله ای KT مورد بررسی، همانگونه که در شکل ۴ نشان داده شده است، صرفاً مدل سازی نیمی از اتصال کافی است. لذا نیمی از اتصال مدل شده و در صفحه تقارن، شرایط مرزی متقارن برای مدل تعریف می شود. با تعریف این شرایط مرزی، از تغییر مکان گره های واقع در صفحه تقارن در جهت عمود بر این صفحه جلوگیری خواهد شد. شرایط مرزی در دو انتهای عضو اصلی و انتهای عضو مهارتی مرکزی بصورت کاملاً گیردار در نظر گرفته شده است. بمنظور سهولت در تعیین مقادیر ضرایب تمرکز تنش در امتداد پنجه جوش، بارگذاری وارد بر اعضای مهارتی مایل به صورت تنش واحد (1MPa) اعمال شد. لذا مقدار تنش در هر نقطه حول پنجه جوش، برابر با ضریب تمرکز تنش در آن نقطه خواهد بود و توزیع تنش در امتداد پنجه جوش معادل با توزیع مقادیر SCF خواهد بود.



شکل (۴): به علت وجود تقارن در هندسه و بارگذاری، صرفاً مدل سازی نیمی از اتصال کافی است.

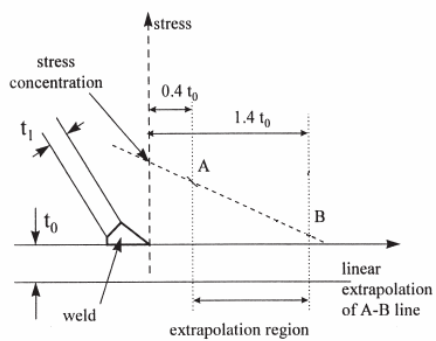
تحلیل و برداشت نتایج

بنا به توصیه N' Diaye و همکاران [۱۹]، تحلیل استاتیکی از نوع ارتجاعی خطی برای تعیین مقادیر SCF در امتداد پنجه جوش، مناسب می باشد. مدول الاستیسیته فولاد برابر ۲۰۷ Gpa و ضریب پواسون برابر ۰/۳ در نظر گرفته شده است. برای تعیین محدوده برون یابی بمنظور برداشت نتایج، از توصیه های پیشنهادی توسط کمیته XV-E انستیتوی بین المللی جوش (IIW-XV-E) [۲۰] استفاده شده است. همانطور که در شکل ۵ نشان داده است، حداقل و حداکثر فاصله ناحیه برون یابی از پنجه جوش بترتیب برابر ۰.۴ t_0 و ۱.۴ t_0 در نظر گرفته شده است که t_0 ضخامت عضو

اصلی می باشد. لذا مقدار تنش در هر نقطه حول پنجه جوش از برون یابی خطی مقادیر تنش در نقاطی که بترتیب در فواصل $0.4t_0$ و $1.4t_0$ از پنجه جوش قرار گرفته اند بدست می آید:

$$\sigma_{\text{weld toe}} = 1.4\sigma_1 - 0.4\sigma_2 \quad (1)$$

در این رابطه، $\sigma_{\text{weld toe}}$ مقدار تنش Von Mises در پنجه جوش و σ_1 و σ_2 بترتیب مقادیر تنش Von Mises در نقاطی به فاصله $0.4t_0$ و $1.4t_0$ از پنجه جوش میباشد.



شکل (۵): محدوده برون یابی پیشنهادی توسط IIW-XV-E که در این مقاله نیز مورد استفاده قرار گرفته است.

صحت سنجی مدل اجزای محدود

بمنظور حصول اطمینان از صحت روش های بکار رفته برای مدل سازی از جمله نحوه مدل سازی پروفیل جوش و روش بکار رفته برای تولید مش و در نتیجه حصول اطمینان نسبت به قابل اعتماد بودن نتایج، صحت سنجی مدل اجزای محدود ضروری است. از آنجاکه تاکنون هیچ پژوهش آزمایشگاهی برای تعیین ضرایب تمرکز تنش در اتصالات لوله ای KT فولادی صورت نگرفته است، لذا برای صحت سنجی مدل اجزای محدود از نتایج آزمایشگاهی موجود برای اتصالات T، Y و K استفاده شده است. بارگذاری اتصالات T و Y، بار محوری بوده و بار وارد بر اتصال K نیز متعادل محوری می باشد. در هر حالت اتصال مورد نظر توسط همان روش های مورد استفاده برای مدل سازی اتصالات KT، مدل سازی شده و نتایج حاصل از تحلیل با نتایج آزمایشگاهی ارائه شده در گزارش HSE OTH 354 [۲۱] و همچنین مقادیر بدست آمده از معادلات پارامتری ارائه شده توسط لویدز رجیستر (معادلات LR) [۲۱] مقایسه شده است. مقایسه نتایج تحلیلی با داده های آزمایشگاهی و مقادیر بدست آمده از معادلات LR، که به لحاظ حفظ اختصار از ارائه آنها در این مقاله خودداری شده است، نشان دهنده عملکرد مناسب مدل تحلیلی می باشد.

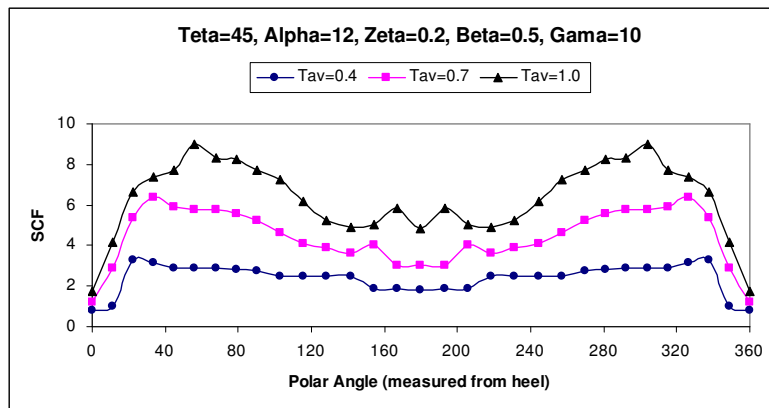
تأثیر پارامترهای هندسی بی بعد بر توزیع مقادیر SCF در امتداد پنجه جوش

در این بخش نحوه تأثیر پارامترهای هندسی بی بعد شامل τ ، γ ، β و ζ بر توزیع تنش در امتداد پنجه جوش در اتصالات لوله ای KT تحت اثر بار متعادل محوری که به اعضای مهارى مایل اعمال شده است، مورد بررسی قرار میگيرد.

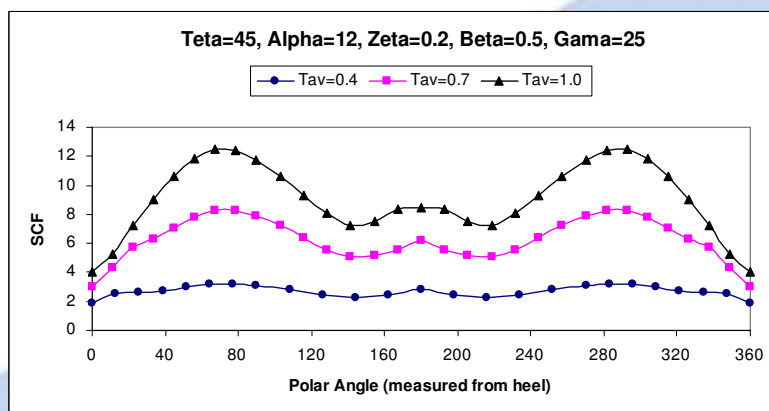
تأثیر پارامتر τ

بررسی نحوه تأثیر پارامتر τ بر توزیع تنش در امتداد پنجه جوش برای مدل های دارای پارامترهای ζ و β متفاوت بتفکیک صورت گرفته است و در هر مرحله نقش پارامتر γ در نحوه تأثیرگذاری پارامتر τ بررسی شده است. از آنجا که پارامتر τ برابر نسبت ضخامت عضو مهارى به عضو اصلی میباشد و پارامتر γ برابر نسبت شعاع به ضخامت عضو اصلی میباشد، لذا افزایش پارامتر τ در مدل های دارای γ برابر بمعنی افزایش ضخامت عضو مهارى میباشد.

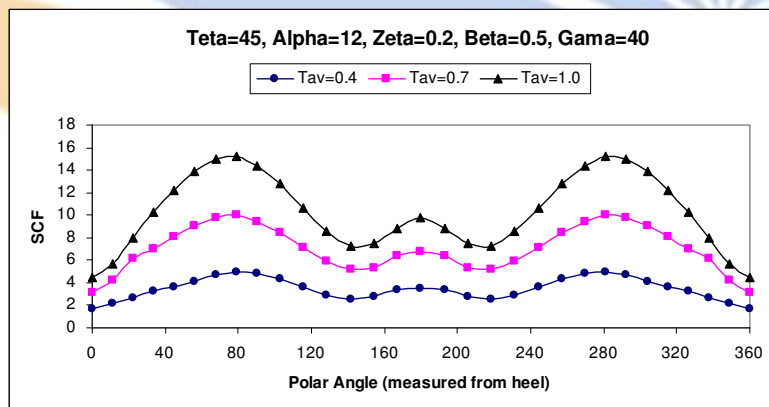
به عنوان مثال، توزیع تنش در امتداد پنجه جوش در اتصالات با شرایط هندسی $\zeta = 0.2$ و $\beta = 0.5$ در شکل های ۶ تا ۸ ارائه شده است. در هر کدام از این شکل ها توزیع تنش به ازای ۳ مقدار متفاوت از پارامتر τ (۰/۴، ۰/۷ و ۱/۰) ترسیم شده است. مقدار پارامتر γ در شکل های ۶ تا ۸ بترتیب ۱۰، ۲۵ و ۴۰ میباشد.



شکل (۶): توزیع تنش در امتداد پنجه جوش به ازای مقادیر مختلف پارامتر τ ($\zeta = 0.2, \beta = 0.5, \gamma = 10$)



شکل (۷): توزیع تنش در امتداد پنجه جوش به ازای مقادیر مختلف پارامتر τ ($\zeta = 0.2, \beta = 0.5, \gamma = 25$)



شکل (۸): توزیع تنش در امتداد پنجه جوش به ازای مقادیر مختلف پارامتر τ ($\zeta = 0.2, \beta = 0.5, \gamma = 40$)

پس از بررسی اتصالات با شرایط هندسی مختلف که به علت محدودیت حجم مقاله از ارائه نمودارهای آنها خودداری شده است، نتایج زیر را در مورد نحوه تأثیر پارامتر τ بر توزیع تنش در امتداد پنجه جوش میتوان استنباط نمود:

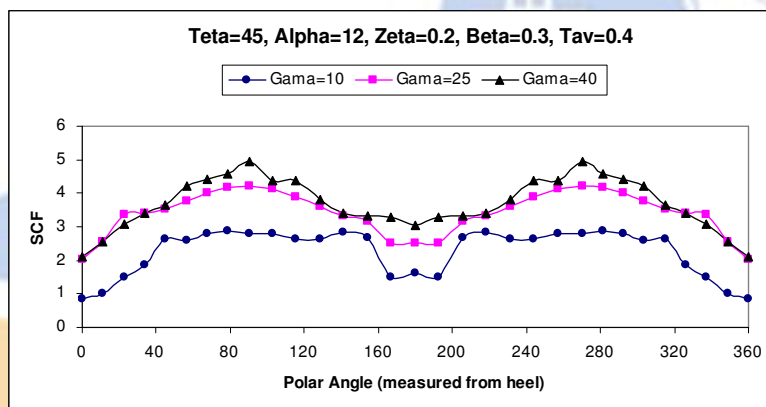
۱- صرفنظر از بی نظمی های کوچک مشاهده شده، با افزایش پارامتر τ ، مقادیر ضرایب تمرکز تنش (SCF) در تمام نقاط حول پنجه جوش افزایش میابد. گرچه افزایش پارامتر τ ، مقادیر SCF را بطور قابل ملاحظه ای متأثر میسازد ولی بر شکل توزیع تنش حول پنجه جوش تأثیر قابل توجهی ندارد. ضمناً مقدار پارامتر γ ، نقش قابل توجهی در نحوه تأثیر پارامتر τ در تغییر مقادیر SCF ندارد و با افزایش γ صرفاً تراز مقادیر SCF افزایش میابد.

۲- موقعیت تنش بحرانی (HSS) در امتداد پنجه جوش در اتصالات لوله ای KT تحت بار متعادل محوری، تابعی از مشخصات هندسی اتصال بوده و الزاماً در یکی از نقاط Saddle، Crown toe یا Crown heel قرار ندارد. این مسئله ضعف تحقیقاتی که صرفاً روی بررسی وضعیت SCF در این نقطه خاص متمرکز میشوند را آشکار میسازد و از آنجا که اکثر تحقیقات صورت گرفته در زمینه SCF در اتصالات لوله ای صرفاً در مورد تعیین مقادیر SCF در این نقطه است، لذا نتیجه بدست آمده ضرورت و اهمیت تحقیق حاضر را که به جای تمرکز روی نقاطی خاص، توزیع مقادیر SCF در امتداد پنجه جوش را مورد بررسی قرار میدهد نمایان میسازد.

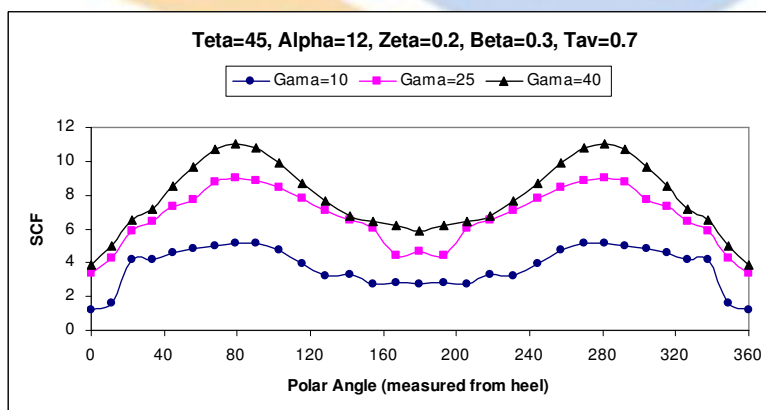
۳- صرفنظر از بی نظمی های کوچک مشاهده شده، با افزایش پارامتر τ ، اختلاف مقادیر SCF_{saddle} با $SCF_{crown\ toe}$ ، $SCF_{crown\ toe}$ با SCF_{saddle} ، $SCF_{crown\ heel}$ با $SCF_{crown\ toe}$ و همچنین $SCF_{crown\ heel}$ با $SCF_{crown\ toe}$ افزایش میابد. مقدار پارامتر γ در این مسئله بی تأثیر است.

تأثیر پارامتر γ

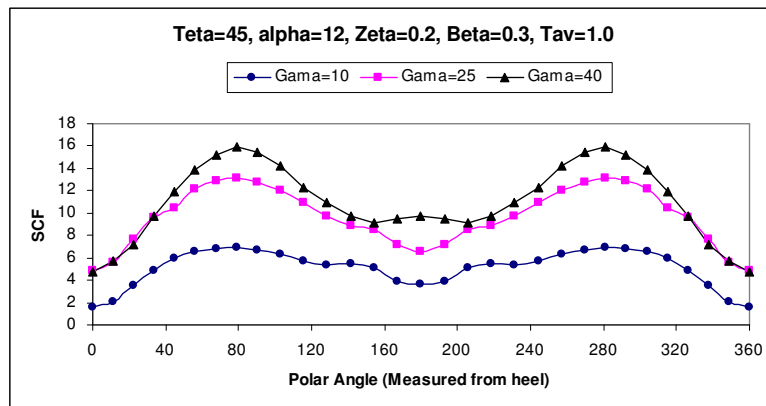
از آنجا که پارامتر γ برابر نسبت شعاع به ضخامت عضو اصلی بوده و قطر عضو اصلی در تمام مدل ها یکسان است، لذا افزایش γ بمعنی کاهش ضخامت عضو اصلی میباشد. در این بخش نحوه تأثیر پارامتر γ بر توزیع تنش در امتداد پنجه جوش مورد بررسی قرار میگردد. این بررسی برای مدل های دارای پارامترهای ζ و β متفاوت بتفکیک صورت گرفته است و در هر مرحله نقش پارامتر τ در نحوه تأثیرگذاری پارامتر γ بررسی شده است. به عنوان مثال، توزیع تنش در امتداد پنجه جوش در اتصالات با شرایط هندسی $\zeta = 0.2$ و $\beta = 0.3$ در شکل های ۹ تا ۱۱ ارائه شده است. در هر کدام از این شکل ها توزیع تنش به ازای ۳ مقدار متفاوت از پارامتر γ (۱۰، ۲۵ و ۴۰) ترسیم شده است. مقدار پارامتر τ در شکل های ۹ تا ۱۱ بترتیب ۰/۴، ۰/۷ و ۱/۰ میباشد.



شکل (۹): توزیع تنش در امتداد پنجه جوش به ازای مقادیر مختلف پارامتر γ ($\zeta = 0.2$, $\beta = 0.3$, $\tau = 0.4$)



شکل (۱۰): توزیع تنش در امتداد پنجه جوش به ازای مقادیر مختلف پارامتر γ ($\zeta = 0.2$, $\beta = 0.3$, $\tau = 0.7$)



شکل (۱۱): توزیع تنش در امتداد پنجه جوش به ازای مقادیر مختلف پارامتر γ ($\zeta = 0.2, \beta = 0.3, \tau = 1.0$)

پس از بررسی اتصالات با شرایط هندسی مختلف که به علت محدودیت حجم مقاله از ارائه نمودارهای آنها خودداری شده است، نتایج زیر را در مورد نحوه تأثیر پارامتر γ بر توزیع تنش در امتداد پنجه جوش میتوان استنباط نمود:

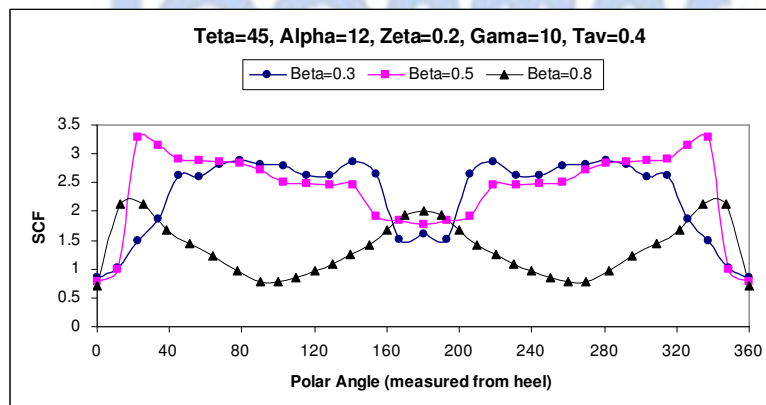
۱- صرفنظر از بی نظمی های جزئی مشاهده شده در برخی نقاط، مشاهده میشود که با افزایش γ مقادیر SCF در تمام نقاط حول پنجه جوش افزایش میابد. این نتیجه مستقل از مقدار پارامتر τ میباشد. گرچه افزایش پارامتر γ ، مقادیر SCF را بطور قابل ملاحظه ای متأثر میسازد ولی بر شکل توزیع تنش حول پنجه جوش تأثیر قابل توجهی ندارد. ضمناً مقدار پارامتر τ ، نقش قابل توجهی در نحوه تأثیر پارامتر γ در تغییر مقادیر SCF ندارد و با افزایش τ صرفاً تراز مقادیر SCF افزایش میابد.

۲- در اکثر موارد مشاهده میشود که با افزایش پارامتر γ ، اختلاف مقادیر SCF_{saddle} با $SCF_{crown toe}$ ، $SCF_{crown toe}$ با $SCF_{crown heel}$ و همچنین $SCF_{crown heel}$ با $SCF_{crown toe}$ افزایش میابد. مقدار پارامتر τ در این مسئله بی تأثیر است.

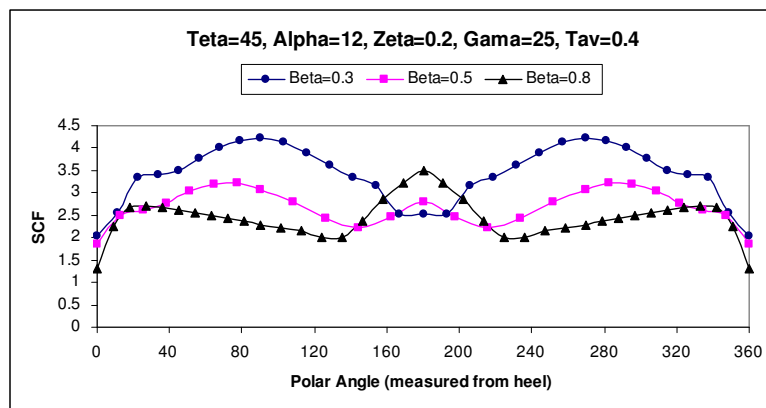
تأثیر پارامتر β

در این بخش نحوه تأثیر پارامتر β بر توزیع تنش در امتداد پنجه جوش مورد بررسی قرار میگیرد. این بررسی برای مدل های دارای پارامترهای ζ متفاوت بتفکیک صورت گرفته است و در هر مرحله نقش پارامترهای γ و τ در نحوه تأثیرگذاری پارامتر β بررسی شده است. از آنجا که پارامتر β برابر نسبت قطر عضو مهارى به عضو اصلی میباشد، لذا چون قطر عضو اصلی در تمام مدل ها ثابت است، افزایش پارامتر β بمعنی افزایش قطر عضو مهارى میباشد.

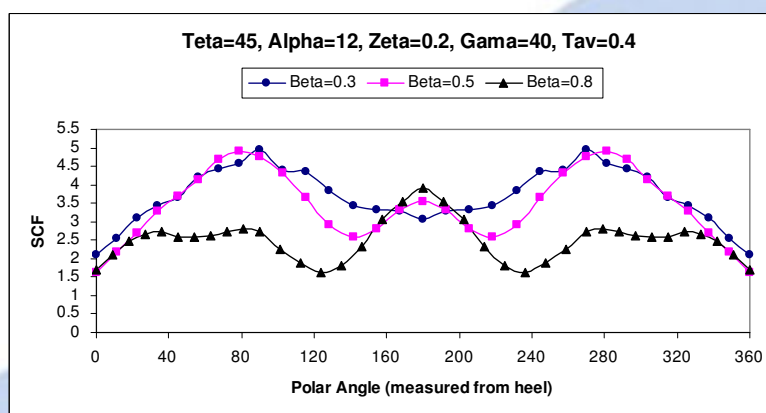
به عنوان مثال، توزیع تنش در امتداد پنجه جوش در اتصالات با شرایط هندسی $\zeta = 0.2$ در شکل های ۱۲ تا ۱۴ ارائه شده است. در هر کدام از این شکل ها توزیع تنش به ازای ۳ مقدار متفاوت از پارامتر β ($0.3, 0.5, 0.8$) ترسیم شده است. مقادیر پارامترهای τ و γ در عناوین اشکال مشخص شده است.



شکل (۱۲): توزیع تنش در امتداد پنجه جوش به ازای مقادیر مختلف پارامتر β ($\zeta = 0.2, \tau = 0.4, \gamma = 10$)



شکل (۱۳): توزیع تنش در امتداد پنجه جوش به ازای مقادیر مختلف پارامتر β ($\zeta = 0.2, \tau = 0.4, \gamma = 25$)



شکل (۱۴): توزیع تنش در امتداد پنجه جوش به ازای مقادیر مختلف پارامتر β ($\zeta = 0.2, \tau = 0.4, \gamma = 40$)

پس از بررسی اتصالات با شرایط هندسی مختلف که به علت محدودیت حجم مقاله از ارائه نمودارهای آنها خودداری شده است، مشاهده میشود که صرفنظر از بی نظمی های جزئی مشاهده شده، به ازای تمام مقادیر γ و τ ، با افزایش β مقدار SCF در نقطه Saddle و Crown heel کاهش می یابد. علت را میتوان افزایش سختی اتصال در اثر افزایش β دانست.

تأثیر پارامتر ζ

از آنجا که پارامتر ζ برابر نسبت گپ به قطر عضو اصلی میباشد، لذا از آنجا که قطر عضو اصلی در تمام مدل ها ثابت است، افزایش پارامتر ζ بمعنی افزایش گپ میباشد. پس از بررسی اتصالات با شرایط هندسی مختلف که به علت محدودیت حجم مقاله از ارائه نمودارهای آنها خودداری شده است، نتایج زیر را در مورد نحوه تأثیر پارامتر ζ بر توزیع تنش در امتداد پنجه جوش میتوان استنباط نمود:

۱- تغییر در پارامتر ζ ، در اکثر موارد تأثیر کمی بر افزایش یا کاهش مقادیر SCF در امتداد پنجه جوش داشته و شکل توزیع تنش در امتداد پنجه جوش را چندان متأثر نمی سازد.

۲- صرفنظر از یک بی نظمی بسیار جزئی، مشاهده میشود که با افزایش ζ ، مقدار SCF در نقطه Crown heel کاهش می یابد. البته مقدار این کاهش در اکثر موارد بسیار اندک است. ضمناً صرفنظر از یک بی نظمی بسیار جزئی، مشاهده میشود که به ازای مقادیر بزرگ γ و برای تمام مقادیر τ و β ، با افزایش ζ ، مقدار SCF در نقطه Saddle افزایش می یابد که البته مقدار این کاهش نیز در اکثر موارد اندک است.

ارائه معادله پارامتری برای تعیین توزیع مقادیر SCF در امتداد پنجه جوش

ارائه یک معادله پارامتری که با استفاده از آن بتوان توزیع مقادیر SCF در امتداد پنجه جوش را بدست آورد دارای اهمیت ویژه ای میباشد. در صورت دسترسی به یک معادله پارامتری با دقت مناسب و ضریب همبستگی بالا که دارای پشتوانه ای قوی از داده های آزمایشگاهی یا داده های تحلیلی معتبر باشد، محاسبه مقادیر SCF بسهولت امکان پذیر بوده و دیگر نیازی به انجام آزمایش های پر هزینه و تحلیل های عددی وقت گیر

نمیباشد. برای استخراج معادله پارامتری از روش رگرسیون غیر خطی و نرم افزار SPSS استفاده شده است. برای استخراج معادله پارامتری به این روش توسط نرم افزار SPSS، ابتدا باید مقادیر متغیرهای مستقل و وابسته را در SPSS وارد نمود. داده های وارد شده شامل ۶ ستون است که در برگزیده مقادیر SCF، ϕ ، β ، γ ، τ و ζ میباشد که زاویه قطبی نشان دهنده موقعیت نقطه مورد نظر برای تعیین SCF در امتداد پنجه جوش میباشد که در Crown Heel برابر ۰ درجه و در Crown Toe برابر ۱۸۰ درجه میباشد. اگر داده های ورودی را بصورت یک ماتریس در نظر بگیریم، هر سطر از این ماتریس حاوی اطلاعات مربوط به مقادیر SCF در یک نقطه خاص در امتداد پنجه جوش در یک اتصال با شرایط هندسی خاص میباشد. تعداد ستون های این ماتریس برابر ۶ و تعداد سطرها آن برابر ۱۲۹۲ است که تعداد داده های استخراج شده از تحلیل اجزای محدود ۸۱ مدل بررسی شده میباشد. لذا تعداد کل داده های وارد شده به SPSS، ۷۷۵۲ میباشد.

پس از تعریف داده ها، باید متغیرهای مستقل و وابسته مشخص شوند. واضح است که SCF متغیر وابسته و ϕ ، β ، γ ، τ و ζ متغیرهای مستقل میباشند. سپس باید یک رابطه که بر حسب متغیرهای مستقل تعریف شده مقدار متغیر وابسته تعریف شده را بدست آورد برای SPSS تعریف شود و پارامترهای رابطه مذکور که همان ضرایب و توان های مجهول رابطه هستند مشخص شوند. در شروع کار، مقادیر اولیه پارامترها باید توسط کاربر تعیین شود. سپس SPSS مقادیر این پارامترها را طوری تعیین خواهد نمود که حداکثر انطباق بین رابطه تعریف شده و داده های ورودی ایجاد گردد. هرچه مقادیر اولیه پارامترها مناسبتر انتخاب گردند بطوریکه اختلاف کمتری با مقادیر نهائی پارامترها که توسط SPSS محاسبه خواهد شد داشته باشند، تعداد تکرارها در محاسبه کاهش پیدا خواهد کرد و در نتیجه احتمال واگرایی حل کمتر خواهد شد.

پس از انجام تحلیل رگرسیون غیر خطی روی نتایج تحلیلی بدست آمده از ۸۱ مدل مورد بررسی، معادله زیر برای تعیین توزیع ضرایب تمرکز تنش در امتداد پنجه جوش در اتصالات لوله ای KT تحت بار متعادل محوری پیشنهاد میشود:

$$SCF = f_1(\tau, \beta) + f_2(\tau, \gamma).f_3(\beta).f_4(\zeta).f_5(\phi) \quad (2)$$

توابع f_1 تا f_5 بصورت زیر خواهند بود:

$$f_1(\tau, \beta) = 0.898 - 0.179\tau - 0.707\beta + 4.827\tau\beta \quad (3)$$

$$f_2(\tau, \gamma) = (6.093\tau^{0.628} - 2.567).(3.121\gamma^{0.004} - 3.138) \quad (4)$$

$$f_3(\beta) = (-2.734\beta^{2.162} + 1.957).(-2.378\beta^2 + 2.484\beta + 1.798) \quad (5)$$

$$f_4(\zeta) = \zeta^{0.132} \quad (6)$$

$$f_5(\phi) = 6.468\sqrt{\phi} + 4.931\sin(2.451\phi) - 19.688\cos(2.055\phi) + 26.175 \quad (7)$$

ضریب همبستگی معادله (۲) ۰/۹۳۱ میباشد که با توجه به ماهیت پیچیده مسئله قابل قبول میباشد. ضمناً معادله پیشنهادی بر اساس معیارهای ارزیابی معادلات پارامتری که توسط دپارتمان انرژی بریتانیا (UK DoE) [۲۲] ارائه شده است، مورد پذیرش قرار گرفته است.

معادله پیشنهادی برای تعیین توزیع ضرایب تمرکز تنش در امتداد پنجه جوش در اتصالات لوله ای KT تحت بار متعادل محوری، در محدوده زیر معتبر می باشد:

$$\theta_{\text{outer brace}} = 45, \theta_{\text{central brace}} = 90,$$

$$\alpha \geq 12,$$

$$0.3 \leq \beta \leq 0.8,$$

$$10 \leq \gamma \leq 40,$$

$$0.4 \leq \tau \leq 0.7,$$

$$0.2 \leq \zeta \leq 0.6.$$

ICOPMAS

(۸)

جمع بندی و نتیجه گیری

در این مقاله، اثر پارامترهای هندسی بی بعد شامل β ، γ ، ζ و τ بر توزیع ضرایب تمرکز تنش (SCFs) در امتداد پنجه جوش در اتصالات لوله ای KT تحت اثر بار متعادل محوری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که توزیع مقادیر SCF در امتداد پنجه جوش و همچنین موقعیت تنش بحرانی (HSS) تابعی از مقادیر این پارامترهای بی بعد هستند. این نتیجه ضعف تحقیقاتی که در گذشته صرفاً روی تعیین مقادیر SCF در نقاط Saddle، Crown Heel و Crown Toe متمرکز بوده اند را آشکار ساخت. تعیین توزیع مقادیر SCF در امتداد پنجه جوش برای تخمین محل ایجاد ترک های سطحی ناشی از خستگی، تخمین عمر خستگی اتصال و تعیین عمر باقی مانده اتصالات ترک خورده از اهمیت خاصی برخوردار است. لذا پس از بررسی نحوه تأثیر این پارامترها، یک معادله پارامتری برای تعیین مقادیر SCF در امتداد پنجه جوش ارائه گردید. متغیرهای این

رابطه شامل ۴ پارامتر هندسی بی بعد مذکور و زاویه قطبی نشان دهنده موقعیت نقطه مورد نظر برای تعیین SCF در امتداد پنجه جوش (ϕ) میباشد.

مراجع

- [1] Morgan, M. R. and Lee, M. M. K. (1997), Prediction of Stress Concentrations and Degrees of Bending in Axially Loaded Tubular K-joints, *Journal of Constructional Steel Research* (45): 67-97.
- [2] Morgan, M. R. and Lee, M. M. K. (1998), Parametric Equations for Distributions of Stress Concentration Factors in Tubular K-joints under Out-of-Plane Moment Loading, *International Journal of Fatigue* (20): 449-461.
- [3] Chang, E. and Dover, W. D. (1999), Prediction of Stress Distributions along The Intersection of Tubular Y and T-joints, *International Journal of Fatigue* (21): 361-381.
- [4] Chang, E. and Dover, W. D. (1999), Parametric Equations to Predict Stress Distributions along The Intersection of Tubular X and DT-joints, *International Journal of Fatigue* (21): 619-635.
- [5] Karamanos, S. A., Romeijn, A. and Wardenier, J. (1999), Stress Concentrations in Multi-Planar Welded CHS XX-connections, *Journal of Constructional Steel Research* (50): 259-282.
- [6] Karamanos, S. A., Romeijn, A. and Wardenier, J. (2000), Stress Concentrations in Tubular Gap K-joints: Mechanics and Fatigue Design, *Engineering Structures* (22): 4-14.
- [7] Chiew, S. P., Soh, C. K. and Wu, N. W. (2000), General SCF Design Equations for Steel Multiplanar Tubular XX-joints, *International Journal of Fatigue* (22): 283-293.
- [8] Wingerde, A. M., Packer, J. A. and Wardenier, J. (2001), Simplified SCF Formulae and Graphs for CHS and RHS K- and KK-connections, *Journal of Constructional Steel Research* (57): 221-252.
- [9] Karamanos, S. A., Romeijn, A. and Wardenier, J. (2002), SCF Equations in Multi-planar Welded Tubular DT-joints Including Bending Effects, *Marine Structures* (15): 157-173.
- [10] Shao, Y. B. (2004), Proposed Equations of Stress Concentration Factor (SCF) for Gap Tubular K-joints Subjected to Bending Load, *International Journal of Space Structures* (19): 137-47.
- [11] Gho, W. M. and Gao, F. (2004), Parametric Equations for Stress Concentration Factors in Completely Overlapped Tubular K (N)-joints, *Journal of Constructional Steel Research* (60): 1761-1782.
- [12] Gao, F. (2006), Stress and Strain Concentrations of Completely Overlapped Tubular Joints under Lap Brace OPB Load, *Thin-Walled Structures* (44), 861-871.
- [13] Gao, F., Shao, Y. B. and Gho, W. M. (2007), Stress and Strain Concentration Factors of Completely Overlapped Tubular Joints under Lap Brace IPB Load, *Journal of Constructional Steel Research* (63): 305-316.
- [14] Woghiren, C. O. and Brennan, F. P. (2008), Weld Toe Stress Concentrations in Multi Planar Stiffened Tubular KK Joints, *International Journal of Fatigue*, [accepted manuscript, available online but not published yet], doi: 10.1016/j.ijfatigue.2008.03.039.
- [15] ANSYS user's manual, Version 11 (2007), Swanson Analysis Systems Inc.
- [16] American Welding Society (AWS) (2002), Structural Welding Code, AWS D 1.1:2002, Miami, FL: American Welding Society, Inc. USA.
- [17] Lee, M. M. K. (1999), Estimation of Stress Concentrations in Single-Sided Welds in Offshore Tubular Joints, *International Journal of Fatigue* (21): 895-908.
- [18] Chiew, S. P., Soh, C. K., Fung, T. C. and Soh, A. K. (1999), Numerical Study of Multiplanar Tubular DX-joints Subject to Axial Loads, *Computers and Structures* (72), 746-761.
- [19] N' Diaye, A., Hariri, S., Pluvinage, G. and Azari, Z. (2007), Stress Concentration Factor Analysis for Notched Welded Tubular T-joints, *International Journal of Fatigue* (29), 1554-1570.
- [20] IIW-XV-E (1999), International Institute of Welding Subcommission XV-E, Recommended Fatigue Design Procedure for Welded Hollow Section Joints, Part I: Recommendations and Part 2: Commentary, IIW Docs. XV-1035-99/XIII-1804-99, International Institute of Welding, Paris, France.
- [21] Health and Safety Executive (UK) (1997), OTH 354: Stress Concentration Factors for Simple Tubular Joints- Assessment of Existing and Development of New Parametric Formulae, Prepared by Lloyd's Register of Shipping.
- [22] Department of Energy (1983), Background Notes to The Fatigue Guidance of Offshore Tubular Joints, HMSO, London, UK.

The geometrical features of KT pipe fittings on stress distribution along the weld toe balancing load

H. Ahmadi, University of Tabriz.

L. Yaghin, University of Tabriz

Abstract

Many researches have already been conducted on a variety of the pipe connections and stress concentration factors (SCF) specifically for the purpose of the calculation of stress concentration factors at the intersection of major and inhibitory elements using parametric equations presented in this technical report. However, results of stress distribution evaluation along the Saddle and Crown SCF are similar. But the determination of HSS and also determination of the position of the intersection of main and inhibitory critical stress along the weld toe cracks are significantly important to estimate the level of fatigue, fatigue life prediction of binding and determining the distribution of the values of life SCF. The distribution cracked of τ and ζ , γ , β joints is of a great importance. This paper studies the geometric parameters including those under axial balancing load. After studying KT along the toe of the weld pipe fittings (SCFs), stress concentration factors are presented.

Keywords: *pipe connections, inhibitory elements, cracks, axial load balancing, stress distribution evaluation, Saddle and Crown, HSS*