

منحنی S-N برای سازه های دریایی جوشکاری شده و غیر جوشکاری

چکیده

می توان گفت که ترک خوردگی خستگی مطمئناً یکی از رایج ترین دلایل از بین رفتن سازه های دریایی است. تجربیات نشان می دهد که در بیشتر موارد، ترک ها از اتصالات جوشکاری آغاز می شوند و بنابراین روش هایی از سال های دهه هفتاد برای بررسی اتصالات جوشکاری شده توسعه یافته است. در موارد اخیر FPSOs نشان داده است که ترک ها می توانند از مناطق غیرجوشکاری شده نیز در مخازن بسیار بزرگ کشتی ها¹ (ULCS) ایجاد می شوند در نتیجه باید روش هایی نیز برای بررسی گوشه ها و مناطقی که جوشکاری نشده است نیز ارائه گردد. به عنوان یک راه حل برای طراحی این کشتی ها شرکت کشتی سازی Bureau VERITAS یک فرمولاسیون جدید برای منحنی های S-N (تنش-تعداد سیکل) موضعی ارائه کرده اند که شامل قسمت های جوشکاری شده، جوشکاری نشده و مناطقی که جوش آنها بهبود یافته می باشد. این فرمولاسیون بر اساس تجربیات و دانشی است که در زمینه روش های ارزیابی خستگی از دهه هفتاد توسعه یافته است. همچنین بر اساس اطلاعاتی که بر اساس آزمایشاتی که نتایج آنها منتشر شده است و اطلاعات آنها در دسترس قرار دارد، مورد تایید قرار گرفته است. این مقاله مراحل توسعه این فرمولاسیون جدید را توضیح می دهد. توسعه این فرمولاسیون از تعریف منحنی S-N برای اتصالات جوشکاری شده شروع می شود و در ادامه محدوده سیکل های بالا و پایین را نیز در نظر گرفته سپس رابطه ای را برای اتصالات جوشکاری شده ای که تحت تنش قرار دارند ارائه می دهد و سطوح مختلفی از تنش R را در نظر می گیرد و در نهایت یک رابطه کلی برای اتصالاتی که جوشکاری آنها بهبود یافته است ارائه می کند. منحنی های S-N برای قطعات جوشکاری نشده شامل تاثیر استحکام تسلیم بر روی سیکل های پایینی و تنش های متوسط بر روی شیب سیکل های بالا موثر است. منحنی S-N مشخص با توجه به روش های موجود برای اتصالات جوشکاری شده و قطعات مکانیکی کالیبره می شوند.

¹¹ Ultra large container ships

همچنین این کالیبره کردن بر اساس اطلاعات حاصل از آزمایش نیز انجام می شود. در نهایت کاربرد عملی این فرمولاسیون بر روی عرشه کشتی های مختلف بررسی شده است و نتایج قابل قبولی بدست آمده است.

1-مقدمه

توسعه صنایع کشتی سازی و ساخت تجهیزات فراساحلی در دهه شصت میلادی با کمک ابزارهای طراحی کامپیوتری این امکان را فراهم می سازد تا واحدهای بزرگ با ساختارهای قوی و مستحکم با بهینه سازی وزن فولاد ساخته شود {1و2و3و4} کاهش وزن فولاد با در نظر گرفتن الزامات ایمنی با کمک این ابزارهای طراحی صورت گرفت. همچنین استفاده از فولادهای استحکام بالا نیز به این پدیده کمک کرد در نتیجه خستگی مهمترین دلیل تخریب قطعات در همگام سرویس است.

برای حل این مسئله یک برنامه تحقیقاتی بزرگ در اروپا با کمک جامعه آهن و ذغال سنگ اروپا² (CEAS) انجام گرفته است که نتایج آن در سال 1987 {5} منتشر شده است. در طول همین دوره زمانی انجمن های دیگری نیز تحقیقاتی را بر روی خستگی سیکلی سازه های کشتی انجام دادند. {6} با انتشار راهنماهای مختلف {7} و قوانین مختلف برای تانکرهای بزرگ اطلاعاتی در این زمینه منتشر شد. {8}

این اطلاعات نشان می دهد که منطقه جوش محل بسیار حساس به شکست در برابر تنش های خستگی افزایشی است. بنابراین بیشتر قوانین در خصوص اتصالات جوشکاری تنظیم شده اند روش های مختلف تنش های اسمی را به همراه جداولی از قطعات در نظر گرفته اند. {9} و {10} تنش های نقاط داغ³ در مراجع {11و12و13} بررسی شده است. تنش های ناچ (شکاف) در مرجع {14} و تنش های محلی در مراجع {15 و 16} مورد بررسی قرار گرفته اند.

² European Community for Coal and Steel

³ Hot Spot Stress

اما اخیراً تجربیات زیادی به سازمان FPOS گزارش شده است. {15} همچنین تانکر ها و کشتی های بزرگی توسعه یافته است {16} که دارای گوشه های لبه دار و گوشه های ضخیم جوشکاری شده می باشند. که باعث می شوند این سوال مطرح شود که قطعات جوشکاری نشده چگونه باید مورد مطالعه و بررسی قرار گیرند. همچنین سازمان FPSO نیز تعمیرات را انجام می دهد و در آنها به بررسی عملیات های پس از جوشکاری می پردازد که این امر باعث ایجاد سوالاتی در خصوص نحوه استفاده از نمودار های S-N می گردد.

از دهه هفتاد اطلاعات مختلفی منتشر شده است. در این مقاله با استفاده از این اطلاعات، منحنی های S-N به صورت محدوده تنش برای انواع مختلف اتصال جوش های خطی برای کشتی های مختلف و سازه های دریایی مورد بررسی و توسعه قرار گرفته است.

2-پیش زمینه

قوانین موجود برای شناسایی خستگی فولادهای جوشکاری شده کشتی ها در سازه های فراساحلی شامل منحنی های S-N است که بر اساس محدوده تنش تعریف شده اند و برای تمام استحکام های فولادی مورد استفاده به کار می روند.

2-1-اطلاعات موجود

برای کارهای انجام گرفته، اطلاعات موجود باید جمع آوری شده و مورد آزمون قرار بگیرند. قدیمی ترین آزمون برای اتصالات جوشکاری شده خطی و اتصالاتی که جوشکاری شده مورد استفاده قرار می گیرند، بر اساس تنش اسمی⁴ بدون در نظر گرفتن تنش متوسط⁵ است. و فرض می شود که تنش های پسماند⁶ به اندازه کافی بالا هستند که

⁴ Nominal Stress

⁵ Mean stress

⁶ Residual stress

تأثیر تنش متوسط را بر روی عمر خستگی حذف نماید. بدین منظور دو منبع اصلی باید مورد استفاده قرار گیرند. {18 و 19} اسناد مربوط به قطعات جوشکاری نشده: ورقه های نورد شده در جدول یک آورده شده است.

جدول 1- منحنی های S-N برای ورقه های نورد شده {9}

Stdv(l ogK)	Log(k 50)	m	نوع ورق فولادی
0.182 2	15.36 97	4	در شرایط ورقه های نورد شده یا با سطوح تمیز شده بدون لبه های برش با شعله یا گوشه های نوک تیز
		4	همانند شرایط بالا با گوشه های برش خورده با شعله که پس از آن ماشینکاری شده اند تا آثار خطوط درگ پاک شوند.
0.204 1	14.03 42	3.5	همانند شرایط بالا با محدوده های ماشینکاری شده و برش شعله با دستورالعمل های کنترل شده که این اطمینان را می دهد که لبه های برش فاقد ترک هستند.

زمانی که گستره تنش در حالت فشاری باشد باید تاثیر تنش متوسط در نظر گرفته شود که باعث افزایش طول

عمر خستگی می شود. بنابراین در ابتدا یک فاکتور اصلاح بر اساس فرمول گودمن⁷ ارائه می شود. {19}

$$S_{eff} = S_{max} - 0.6 S_{min}$$

برای S_{min} کمتر از صفر (کشش مثبت و فشار منفی در نظر گرفته شده است)

⁷ Goodman

این فرمول بسیار ساده است در ادامه یک فرمولاسیون جدید بر اساس مدل فیزیکی و نتایج آزمون برای مواد پایه جوشکاری نشده توسعه یافته است و محصولات نورد شده با تنش پسماند ناچیز، اجزای تنش گیری شده و جوشکاری شده، استفاده می شود {18} استحکام خستگی با یک فاکتور $f(R)$ افزایش پیدا می کند که R نسبت تنش است که معادل کاهش تنش اعمالی با یک فاکتور $1/f(R)$ است:

$$F(R)=1.6 \quad (2)$$

برای تنش در ناچ (شکاف) قوانین BV برای فولاد کشتی استفاده می شود {17} که برای آن تجربیات و بازخوردهای بیشتری وجود دارد گستره تنش برای تأیید خستگی به صورت زیر است :

3

گستره تنش

 N =ناچ

nom = اسمی

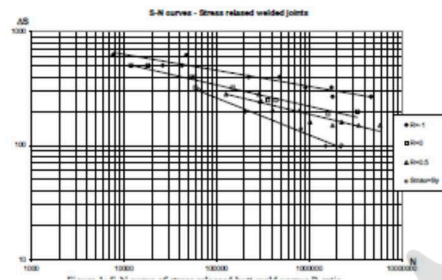
HS=نقاط داغ

K=فاکتور تمرکز تنش

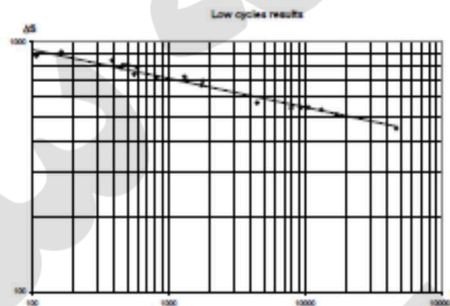
G=تاثیر منطقه هندسی

F=تاثیر ناچ

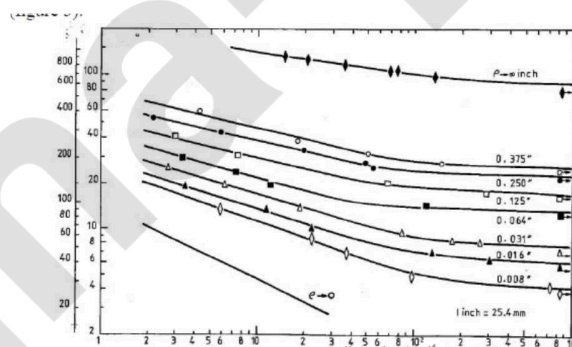
تنش متوسط در یک تحقیق انجام شده در ژاپن 579 مگاپاسکال در گرده جوش بوده است {20 و 21} منحنی های $S-N$ برای مقادیر مختلف R بدست آمده است و آزمون آن با حداکثر تنش برابر با تنش عرضی $S_{max}=S$ انجام شده است. (شکل 1)



شکل 1: بر اساس سیکل های پائینی اطلاعات از مرجع {22} بدست آمده از 600 تا 40000 سیکل را مورد بررسی قرار داده است.



شکل 2- سیکل های پایین منحنی S-N برای فولادهای با تنش کششی بالا، $\sigma_y=420$ و $\sigma_{yk}=550$ مگاپاسکال ترک اتصالات جوش می توانند با یک ناچ روی یک ماده صاف نشان داده شوند. تاثیر ناچ بر روی شکاف (ناچ) عمر خستگی نیز بررسی می شود {23 و 24} (شکل 3)



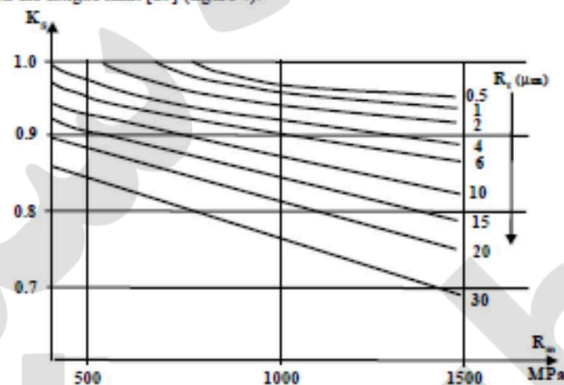
شکل 3-منحنی S-N فولاد HY130 بر اساس اندازه شکاف (ناچ) ($s=N \times 10^{-3}$)

سرانجام تجربیات زیادی مخصوص اجزای مکانیکی وجود دارد که بر روی تنش نهایی موثر است. حد خستگی ($n \leq 10^7$) برای $R=-1$ به صورت زیر تعریف می شود:

$$S_D(-1) = 0.9 S_{ult} (0.58 - 1.4 \cdot 10^{-4} S_{ult}) \quad 4$$

و تاثیر زبری سطح روی حد خستگی در شکل 4 آورده شده است.

face roughness on the fatigue limit [25] (figure 4).



شکل 4- فاکتور اصلاح حد خستگی K_s بر اساس تنش نهایی R_m و زبری سطح R_t

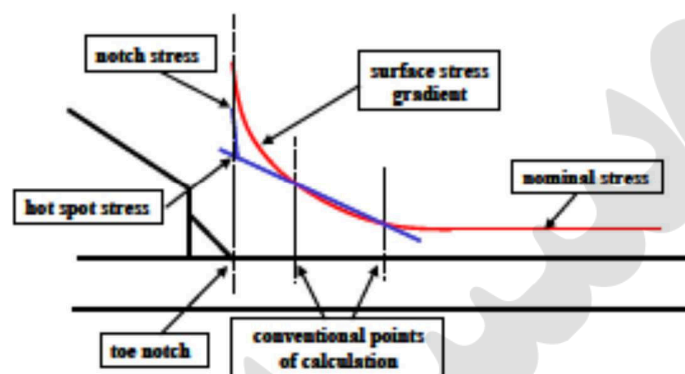
2-2- روش های موجود

سه روش را می توان در قوانین موجود بدست آورد (شکل 5)

تنش های اسمی

تنش های نقاط داغ

تنش شکاف



شکل 5- تعاریف تنش در باریکه جوش

این سه روش در استاندارد IIW توضیح داده شده است {18}

در مورد ترک های خستگی در باریکه جوش می توان گفت که تنش های اسمی که کلی و یا موضعی نیستند و تغییرات هندسی بر روی آنها موثر نیست نیازمند جزئیاتی هستند که یافتن این جزئیات طراحی در کاتالوگ ها دشوار است. استاندارد IIW {18} برای مثال شامل 80 قطعه مختلف است.

نقاط داغ تنش مربوط به تغییرات هندسی کلی قطعه است اما با شکل باریکه جوش ارتباطی ندارد، شعاع باریکه و شیب پروفایل جوش زمانی که این دو متغیر با نوع جوش تغییر می کنند.

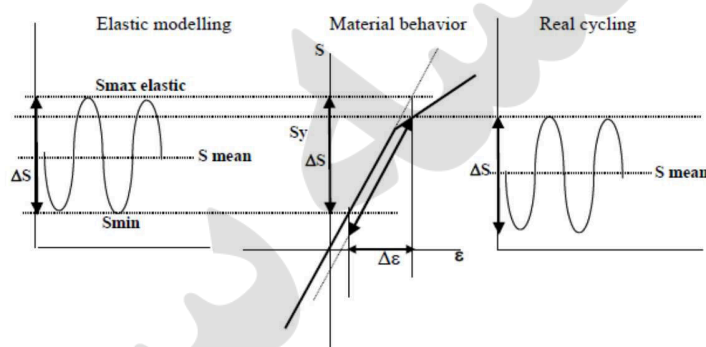
به طور مثال گرده جوش، اتصالات T و غیره

منحنی های S-N مختلفی وجود دارد اما منحنی S-N مختلفی وجود دارد اما بسیار محدود تر خواهند بود. استاندارد IIW مثال هایی برای 9 قطعه مختلف آورده است.

تنش شکاف مربوط به تنش باریکه جوش است و شامل تمامی تاثیرات محیطی می باشد. بنابراین مستقل از هرگونه هندسه است و فقط نیازمند منحنی S-N است همانگونه که در استاندارد IIW آورده شده است.

که باید برای قطعات جوشکاری نشده به روش های تنش محلی اضافه می شود.

منحنی های S-N به صورت گستره تنش برای اتصالات جوش کاری شده، بدون در نظر گرفتن تنش متوسط در نظر گرفته می شوند که در آنها ماکزیمم تنش الاستیک اعمالی برابر S_y است شکل 6 نشان دهنده نتایج برای یک محدوده تنش الاستیک و تنش میانگین کششی است که منجر به تنش ماکزیمم تئوری می شود که در نهایت به S_y محدود می شود و تنش میانگین کاهش می یابد.



شکل 6- تاثیر منحنی S-N را روی گستره تنش های سیکلی و میانگین برای $S_{max} \geq S_y$ را نشان می دهد.

3-2- اصول کلی

برای به دست آوردن یک فرمولاسیون کلی برای قطعات جوشکاری شده و غیر جوشکاری اصولی باید برای منحنی های S-N برای نمونه های صاف تعریف شود تا این فاکتورها توسعه یابند و باید سطوح تنش پسماند نیز به حساب آید. تمرکز تنش بر اساس پروفایل جوش و تاثیر شکاف در اثر باریکه جوش ایجاد می شود.

برای اتصالات جوشکاری شده، منحنی S-N برای پایه نیز باید به حساب آید و تنش های پسماند برابر با استحکام تسلیم فولاد در نظر گرفته می شود. منحنی های S-N بر اساس اطلاعات سه سند مختلف مورد بررسی قرار گرفته

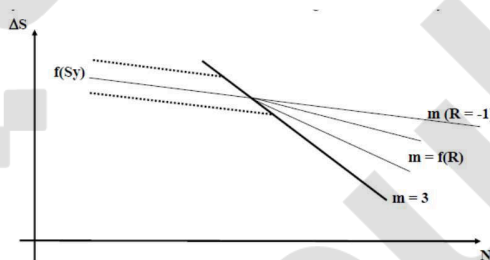
اند {20 و 21 و 22}

برای قطعات جوشکاری شده با فشار که در آنها S_{max} می تواند کمتر از S_y باشد منحنی های S-N بر اساس قطعات غیرجوشکاری شده تعریف می شود نتایج برای اتصالات جوشکاری شده با $s_{max} \leq s_y$ به عنوان یک پایه در نظر گرفته می شود {9و25}

با در نظر گرفتن منحنی تنش-کرنش در شکل 6 ایده های اصلی که در این شکل آورده شده است در ادامه آورده می شود:

برای سیکل های کم دامنه نمودار S-N مستقل از نسبت تنش R است زیرا در سیکل های بسیار کم R برابر 1- می شود اما تابعی از S_y است.

برای سیکل های پر دامنه، از نتایج تست ها پارامترهای شیب m تابعی از نسبت R است اما کمتر از 3 نمی شود. در قلمرو سیکل های بالا برای مقادیر R مختلف تبدیل به منحنی های مشابه سیکل پایین می شود.



شکل 7- پایه های منحنی S-N میانگین بر حسب S_y و نسبت R

3- منحنی S-N پایه

شروع از منحنی S-N شامل منحنی طراحی یک ماده صاف است، مشابه روش منحنی تنش محیطی که توسط Bureau Veritas استفاده شده است. برای تنش در شکاف (ناچ) داریم

3-1- منحنی های میانگین

توسعه با کمک منحنی های میانگین صورت می گیرد و نتایج نهایی به صورت منحنی های طراحی بدست می آیند بر اساس توسعه که در مرجع {9} داده شده است یک ضریب تغییرات⁸ COV بر روی $\log(k)$ انجام می شود که برابر 0.016 است بنابراین منحنی آغازین میانگین برابر است با:

$$S^3N=4.48 \times 10^{13}$$

ضریب فاکتور تنش که باید روی منحنی BV اعمال شود تا $m=3$ بدست آید {20 و 21} منحنی به صورت $k=2.9$ است. این مقدار را می توان با مقادیر مربوط به گرده جوش مقایسه نمود، فاکتور نیروی تنش عرضی مرجع {17} $K_f=2.4$ است که هر دو مقدار در یک سطح مشابه هستند.

مقایسه دیگری را می توان با منحنی های شکل 3 مرجع {23} انجام داد.

نقاط مربوط به $r=0.008$ اینچ ($r=0.2 \text{ mm}$) و منحنی S-N با عدد $m=3$ را می توان بدست آورد

$$S^3N=3.816 \times 10^9$$

مقدار K_f مربوطه نسبت به BV برابر است با $K_f=22.7$

بنابراین K_f را می توان بین منحنی مواد صاف ($r=\infty$) {23} و منحنی $r=0.008$ بدست آورد. منحنی موازی نیست موتور را می توان تشخیص داد

$$N=10^4 \text{ و } K_f=33.1 \text{ و } K_f=33.1 \text{ و } N=10^4$$

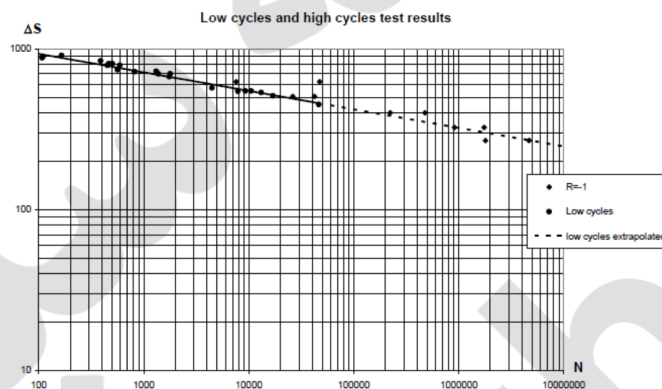
توجه شود که مقادیر K_f قبلی $K_f=22.7$ است که بین این دو مقدار قرار دارد که درست بدون انتخاب منحنی BV را تایید می کند.

⁸Coefficient of variation

3-2- اجزای جوشکاری شده

برای حوزه سیکل های بالا منحنی S-N میانگین از رابطه 5 بدست می آید. برای حوزه سیکل های پایین مشاهده می شود که اطلاعات مرجع {23} به صورت دقیق و اطلاعات مرجع 20 و 21 به صورت $R=1$ روی خط منطبق هستند (شکل 8) و معادله زیر برقرار است

$$\Delta S^{8.5} N = 2.217 \cdot 10^{27}$$



شکل 8- محدوده تنش پایین و بالا

تقاطع بین سیکل ها معادله 5 را ایجاد می کند و منحنی سیکل بالا معادله 7 را ایجاد می کند. که در

بدست می آید. منحنی S-N بر حسب E_s داده شده است برای آزمون مقادیر کرنش الاستیک فولاد تنش 579 مگا پاسکال در نظر گرفته شده است. که این مقدار کرنش 0.2 درصد را ایجاد می نماید.

$$S = 2 \times 979 = 1958 \text{ mpa}$$

از مرجع {22} و با استفاده از منحنی massoncoffin مقادیر زیر بدست می آید

جدول 2- استحکام تسلیم فولاد از منحنی massoncoffin

Sy (MPa)	E (MPa)	et (%)	E.et (MPa)
420	195 000	0.402	784
420	195 000	0.361	704
515	208 000	0.553	1150
515	208 000	0.558	1150

با این مقادیر می توان نقطه آغازین محدوده تنش های پایین را مشخص نمود که در آن با در نظر گرفتن منحنی سیکل بالا و منحنی سیکل پایین

که در آن می توانیم محل تقاطع با 579 مگاپاسکال را بدست آوریم {22,21,20}

با استفاده از انحراف معیارهای استاندارد مشابه بخش (1-3) بر $\log(k)$ برای هر دو منحنی ها منحنی های طراحی زیر بدست می آیند:

3-3-3- مقاطع جوشکاری شده و تنش زدایی شده

برای مقاطع جوشکاری شده s_{max} می تواند کمتر از S_y باشد.

با توجه به تجربیات به دست آمده، منحنی محدوده سیکل بالا جوشکاری شده می توان آنها را مستقل از S_y در نظر گرفت. از مراجع {21 و 20} داریم که m تابعی از نسبت R است S (شکل 1) در محدوده پایین $m=3$ است.

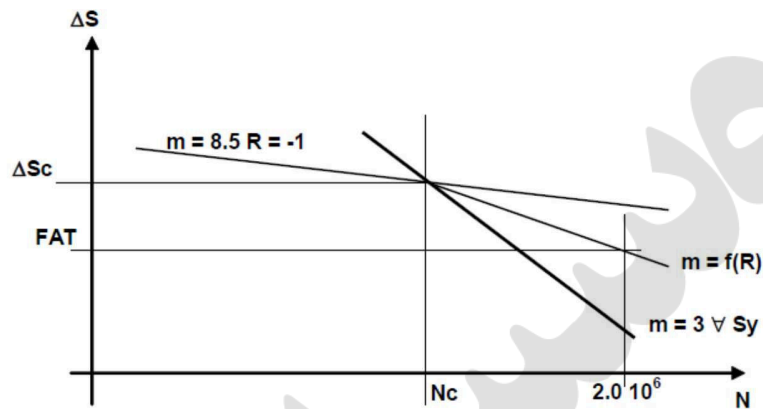
یک منحنی تنش متوسط به صورت زیر باید تعریف شود (شکل 9)

منحنی پایین تر برای $m=3$ ، $S_{max}=S_y$ همانگونه که در بخش 2-3 آورده شده است.

منحنی محدوده سیکل پایین $m=8.5$ و $R=-1$ و K تابعی از S_y در بخش 2-3 آورده شده است.

منحنی محدوده سیکل بالا برای $R=-1$ و K تابعی از S_y در بخش 2-3 آورده شده است.

منحنی محدوده سیکل بالا برای $R=-1$ و $m=8.5$ به صورت پیوسته با محدوده سیکل پایین بدست می آید.



شکل 9- منحنی S-N بر حسب R برای S_y ثابت

محل برخورد منحنی محدوده سیکل بالا و سیکل پایین برابر است با

$$N_c = 8.0 \cdot 10^{11} (S_y)^{-3}$$

$$S_c = 2.765 S_y'$$

با توجه به FAT می توان S را در $N = 2 \times 10^6$ محاسبه کرد و K ، m محدوده سیکل های بالا منحنی به صورت زیر محاسبه کرد:

$$m = 3 \log(k) - 5.0602 / ((\log(S_y) + 0.422 - \log(FAT))) \quad (11)$$

$$K = 2 \cdot 10^6 (FAT)^m \quad (12)$$

$$\text{with } FAT(-1) = 12.613 (S_y)^{0.64}$$

از شکل 1 و منحنی های آن می توان به این نکته پی برد که برای $S_{\max} = S_y$ رابطه بین FAT و R را در شکل 10 بدست آورد. که بین آنها رابطه خطی زیر برقرار است:

$$FAT(R) = (111.48 - 6.929 (S_y)^{0.647}) R + 5.71 (S_y)^{0.647} + 111.48 \quad (13)$$



شکل 10- FAT(R)/FAT(-1) بر حسب R

مقایسه ای بین منحنی های S-N در شکل 10 نشان دهنده انطباق خوبی است (جدول 2)

مقادیر میانگین اسمی "mean nominal" با اعمال تمرکز تنش در ناچ (§ 3.1) $KF = 2.9$ و یک انحراف معیار استاندارد $\log(k)$ برابر 0.211 که مساوی مقادیر میانی است که در مرجع {9} آورده شده است غیر از کلاس E

جدول 3- محدوده سیکل های بالای نمودارهای S-N مورد نظر و منحنی شکل 1 (A.Ohta)

R	FAT(R) design	m	FAT(R) mean nominal	m OHTA	FAT OHTA
0.828	204,3	3,0	96,6	3	98,0
0,5	307,1	3,73	136,5	4,4	159,7
0	463,7	4,97	193,6	5,1	189,5
-1	776,9	8,5	299,6	8,5	291,5

وقتی که مقدار R افزایش یابد سطح بالا و پایین FAT به صورت زیر محاسبه می شود:

سطح پایین زمانی که $S_{max}=S_y$ منحنی جوشکاری شده (بخش 3-2)

برای منحنی جوشکاری $S_{max} = (\text{§ 3.2}), FAT = 203.9 \text{ MPa (eq 11 with } m=3) S_y$

شده

سطح بالایی اگر $R < 0$: برای منحنی S_{min} داریم $S_{min} = -S_y$ و بنابراین S_{min} نمی تواند کمتر از $-S_y$ باشد.

با افزایش R S_y and R FAT(R) is t 203.9 MPa

$$FAT(R) = (111.48 - 6.929 (S_y)^{0.647}) R + 5.71 (S_y)^{0.647} + 111.48 < 203,9$$

معادله 14

مقدار حداکثر R برای مقادیر مختلف S_y محدوده تسلیم فولاد را پوشش می دهد (A.Hobbacher) و مقادیر جدول 4 بدست می آیند که تطابق خوبی با منحنی بدست آورده توسط (A ohta) که در آن $S_{max} = S_y$ وجود دارد.

جدول 4- R_{max} بر حسب S_y از معادله 14

S_y (MPa)	235	579	960
R_{max}	0.821	0.823	0.823

برای $R < 0$ و R عضو مجموعه اعداد $[0, -\infty]$ و در حالت تئوری $[-\infty, 0]$ $FAT(R)$ که قابل قبول نمی باشد اما با در نظر گرفتن این مطلب که S_{min} نمی توان $-S_y$ باشد می توانیم مقادیر حد پایین تر R را از این فرمول محاسبه نماییم

$$S_{min} = \frac{R}{1-R} FAT$$

برای 3 مقدار مختلف S_y مقادیر زیر در جدول 5 بدست می آیند.

جدول 5-مقادیر حداقل برای R بر حسب S_y بر اساس معادله 14 و 15

Sy (MPa)	235	579	960
FAT	446	950	1480
Rmin	-1.1	-1.6	-1.8

بنابراین منحنی های طراحی S-N می تواند به صورت زیر تعریف شوند:

$$R = -1 \text{ محدودۀ سیکل پایین معادلات با } R = -1$$

محدوده سیکل بالا

$$\Delta S^m N = (2 \cdot 10^6) (FAT)^m$$

$$FAT(R) = (111.48 - 6.929 (Sy)^{0.647}) R + 5.71 (Sy)^{0.647} + 111.48 \quad (15)$$

$$R \text{ not being taken } > \frac{5.71(Sy)^{0.647} - 92.28}{6.929(Sy)^{0.647} - 111.48} \quad \text{nor } < -1$$

$$m = \frac{3 \log(Sy) - 5.602}{\log(Sy) + 0.442 - \log(FAT)} \quad (16)$$

3-4-3 قطعات جوشکاری نشده

قطعات جوشکاری نشده همانند قطعات تنش زدایی شده بدون شکاف (ناچ) هستند اما همانند نمودارهای S-N (بخش 3-3) برای مواد سطح صاف تعریف شده اند باید تاثیر صافی سطح⁹ را به صورت K_r را نیز باید در نظر گرفت.

مقادیر k_r را می توان از شکل 4 بدست آورد ($K_r = 1 K_s$) (بخش B فصل 7 قسمت 4 جدول 12 قوانین BV) و ($K_r = K_F$)

برای صحت سنجی پروپوزال ها ابتدا مقادیر K_r را از مرجع 9 محاسبه نمودیم قطعات کلاس B و C

⁹ surface roughness

کلاس B: شرایط نورد شده با سطوح تمیز بدون لبه های برش خورده با شعله با گوشه های منظم و بدون هرگونه برش شعله که سنباده زنی و یا ماشینکاری رئی آن انجام شده تا علامت های خطوط کشش از آن حذف شود

$$m = 4 \quad K50 = 2.343 \cdot 10^{15} \quad \text{Stdv}(\log K) = 0.1822$$

کلاس C: شرایط نورد شده با گوشه های نامنظم بریده شده با شعله با دسترالععمل مشخص برای ایجاد اطمینان که سطح بدون ترک است

$$m = 3.5 \quad K50 = 1.082 \cdot 10^{14} \quad \text{Stdv}(\log K) = 0.2041$$

فولاد را می توان به صورت گستره ای از فولادهای مختلف با استحکام های مختلف در نظر گرفت می توانیم $Sy=235$ یا 315Mpa در نظر بگیریم بر اساس سال انتشار آزمون هایی در $R=0.1$ انجام شده است و به کارگیری فرمول (3-3) پارامترهای جدول 6 محاسبه می شود.

جدول 6 منحنی های S-N بر حسب Sy

Sy (MPa)	235	315
FAT(0.1)	294.23	330.05
m	4.4	4.5

بر اساس مرجع {9} منحنی کلاس C را می توان در نظر گرفت که در آن گوشه های برش شعله و ماشینکاری شده اند. مقداری تنش های پسماند حرارتی در آن وجود دارد که افزایش R و در نتیجه کاهش m را شاهد خواهیم بود. برای $m = 3.5$ and $Sy = 235 \text{ MPa}$ مقدار R مربوطه برابر 0.53 است که تطابق خوبی با سطح تنش پسماند متوسط دارد.

بر اساس طراحی مرجع 9 منحنی کلاس B مربوط به $FAT = 150.0 \text{ MPa}$ است و بنابراین K_r را می توان به صورت زیر محاسبه نمود:

$$K_r = 294.23/150.0 = 1.96$$

که این مقدار در گستره مقادیر ارائه شده توسط قوانین BV سال 2007 است.

KF در محدوده [1.4, 2.0] می باشد.

بنابراین Ks را از روش مکانیکی اجرا محاسبه می کنیم و حد خستگی را از معادله 3 بدست می آید و با معادله گودمن ما فاکتور اصلاح زبری Ks را داریم.

$$S(R)_D = K_s \frac{(1-R)S_{ult}S(-1)_D}{(1+R)S(-1)_D + (1-R)S_{ult}}$$

اگر $S_{ult} S_y = 235 \text{ mpa}$ نیز در گستره 400 تا 520 مگا پاسکال قرار دارد. $R=0.1$ و $S_D (0.1)$ در محدوده $[119.6 K_s, 152.4 K_s]$ قرار دارد فرض می کنیم حد خستگی در $N=10^6$ سیکل باشد و S_D را با استفاده از فرمول FAT محاسبه می کنیم.

$$SD = 0.5 \text{ FAT } (2)^{1/m}$$

$$\text{FAT}^m (2 \cdot 10^6) = (2SD)^m (106) \quad SD = 0.5 \text{ FAT } (2)^{1/m}$$

بر اساس مرجع {9} طراحی کککلاکاس منحنی b $\text{FAT}=150 \text{ mpa}$, $SD=89.1 \text{ mpa}$ و K_s در محدوده 0.58 و 0.74 قرار دارد که تطابق خوبی با مقادیر شکل 4 دارد.

منحنی هایی که برای تنش استفاده می شوند بر اساس معادلات 15 و 16 محاسبه شده اند و از فاکتور اصلاح زبری سطح استفاده می کنند که در استانداردهای مربوطه موجود است.

3-5- قطعات جوشکاری شده و بهبود یافته

بهبود هایی از طریق عملیات های پس از جوشکاری در قطعات جوشکاری شده ایجاد می شود این بهبودها می تواند شامل موارد زیر باشد

1- بهبود پروفیل جوشکاری بدون تغییر در تنش پسماند کششی

2- بهبود پروفیل جوشکاری با تغییر در تنش پسماند کششی و تبدیل آن به تنش فشاری

در حالت اول منحنی S-N مورد استفاده همان نمودار تنش پسماند آزاد شده است و معادلات 15 و 16 برای آن استفاده می شود.

در حالت دوم منحنی S-N مورد استفاده همان نمودار تنش پسماند آزاد شده است و معادلات 15 و 16 برای آن استفاده می شود. اما تاثیر عملیات حرارتی پس از جوشکاری نیز در نظر گرفته شده است که این نتایج عبارتند از:

کاهش فاکتور تمرکز تنش در ناچ یا شکاف

ایجاد تنش پسماند فشاری در قطعه به میزان S_y

در این صورت رابطه زیر را داریم

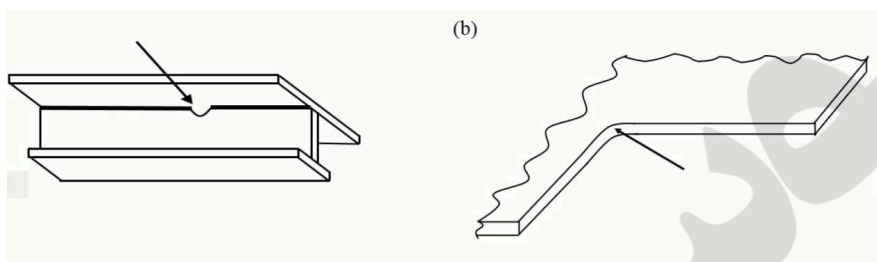
$$R = \frac{-S_y + S_{mean} - 0.5\Delta S}{-S_y + S_{mean} + 0.5\Delta S}$$

4- کاربردهای بررسی شده

برای بررسی صحت فرمول های بررسی شده یکسری بررسی های عملی نیز بر روی قطعات کشتی ها انجام شده است مشخصات کشتی مورد بررسی عبارت است از:

طول 266 متر عرض 32 متر عمق 21.5 استحکام تسلیم فولاد 355 مگاپاسکال

دو قطعه در نظر گرفته شده که شامل یک مقطع اسکلاپ و یک صفحه دندانه دار در لبه ها است



شکل 10- مقطع (a) اسکلاپ و (b) یک صفحه دندانه دار

توزیع تنش با قوانین Bv سال 2007 انجام شده است و نتایج زیر بدست آمده است:

تنش اسمی حداکثر موج 120 مگاپاسکال

حداقل تنش اسمی موج 152.8-

تنش استاتیک پسماند حداکثر در حالت هاگینگ 114

تنش استاتیک پسماند حداکثر در حالت ساگینگ 90-

ضریب شکل وی مان 0.906

کل زمان سیکل ها 5.53×10^7

منحنی ها با استفاده از فرمول های مربوطه بدست آمد دو شیب مختلف برای محدوده سیکل بالا و پایین بدست

می آید و یک شیب سوم $2m-1$ نیز برای سیکل های بیشتر از 10^7 بدست می آید. نیروهای موجرا می توان به

صورت رندوم در نظر گرفت بر اساس مرجع {17}

4-1- برای قطعه اسکلاپ¹⁰

فاکتورهای تمرکز تنش به صورت زیر است:

از محاسبات اجزا محدود $Ky=1.1$

هیچگونه عزم توازن وجود ندارد $Km=1$

$Kf=2.62$

در انتهای ریشه جوش در انتهای کانتورها لاندای برابر 2.15 است برای سیکل های بیشتر از 10^7

شرایط هاگینگ¹¹ $D=1.02$

شرایط ساگینگ¹² $D=0.03$

که این عدد با اعداد مرجع 17 که در آن به $D=1.03$ اشاره دارد همخوانی وجود دارد

4-2- صفحه با لبه های دنداندار

از محاسبات اجزا محدود $Ky=1.8$

$Kf=1.4$

بخش B فصل 7 قسمت 4 جدول 12 قوانین BV

اعداد حاصل از مجموع $minerD$ برای شرایط هاگینگ و یک شیب $2m-1$ و برای سیکل های بیشتر از

10^7 محاسبه شده است که مقدار $D=0.15$ است که با اعداد موجود در مراجع همخوانی دارد.

5- نتیجه گیری

بر اساس مقالات منتشر شده در مورد منحنی های اتصالات جوشکاری شده خطی اجزای مکانیکی دارای

محدودیت هایی در زمینه خستگی در عمل هستند. فرمول هایی برای منحنی های S-N وجود دارد که می توان

¹¹ Haggling

¹² sagging

آنها را برای تنش ناچ و قطعات جوشکاری نشده و برای قطعات جوشکاری شده می توان آزاد شدن تنش و جزئیات عملیات پس از جوشکاری را نیز توسعه داد.

منحنی های S-N دارای دو شیب منحنی هستند که برای محدوده های سیکل پایین و بالا متفاوت است محدوده سیکل پایین دارای یک پارامتر m ثابت و یک مقدار ثابت K است که تابعی از استحکام تسلیم فولاد است. نقطه تغییر شیب نیز تابعی از استحکام تسلیم فولاد است.

منحنی محدوده سیکل بالا دارای یک پارامتر m است که تابعی از نسبت R می باشد.

به غیر از قطعات جوشکاری شده که در آنها $m=3$ است. و یک ثابت k نیز که تابعی از نسبت تنش R و استحکام تسلیم می باشد. غیر از مقدار حداکثر R (که برای قطعات تازه جوشکاری شده در نظر گرفته می شود)

با استفاده از فرمولی که در این مقاله ارائه شده است قطعات عرشه و کشتی ها مورد بررسی قرار گرفتند و مشخص شد که مقدار مجموع پایینی تطابق خوبی با مقادیر عملی و تجربیاتی که تا کنون گزارش شده اند دارد.

فرمولی که در این مقاله بدست آمده است از درجه اول است و بخشی از مشکلاتی که در طراحی کشتی ها و سازه های فراساحلی وجود دارد را مرتفع می کند. زیرا استانداردهای موجود اطلاعات را در قطعات جوشکاری شده ارائه می کنند و برای سایر قطعات اطلاعات کافی را می توان با استفاده از فرمولاسیونی که در این مقاله توسعه یافته است مورد بررسی قرار داد.