



تأثیر جوشکاری بر روی استحکام نهایی ورق های تقویت شده آلومینیومی تحت فشار درون صفحه ای تک محوری

محمد رضا خدمتی^۱، محمد رضا زارعی^۲، عباس بیات فر^۳
دانشگاه صنعتی امیر کبیر، دانشکده مهندسی کشتی سازی و صنایع دریایی
khedmati@cic.aut.ac.ir

چکیده

سازه های آلومینیومی مورد استفاده در کاربرد های دریایی از طریق جوشکاری ساخته می شوند. واضح است که جوشکاری آثار مهمی بر روی رفتار آلیاژهای آلومینیومی دارد. در این خصوص، میتوان به نرم شدگی این گونه آلیاژها در منطقه متأثر از حرارت^۴ اشاره کرد که متعاقب آن استحکام نهایی یا ظرفیت نهایی باربری آلیاژهای آلومینیومی جوش داده شده کاهش می یابد. از این رو ضروری است که طراح سازه آلومینیومی نسبت به چگونگی تاثیر فرآیند ساخت به کمک جوشکاری بر روی ویژگی های استحکام نهایی ورق های آلومینیومی درک بهتری داشته باشد. در این مقاله سعی بر آن است که تا به مطالعه و بررسی اینگونه ویژگی ها از طریق تغییر در پارامتر های مختلف مرتبط با جوشکاری ورقهای تقویت شده آلومینیومی پرداخته شود. از روش اجزای محدود غیر خطی و همچنین رابطه تجربی پیک^۵ در این راستا استفاده شود.

کلمات کلیدی: ورق تقویت شده آلومینیومی، فشار درون صفحه ای طولی، استحکام نهایی

۱- استادیار دانشکده مهندسی کشتی سازی و صنایع دریایی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی معماری کشتی گرایش سازه، دانشکده کشتی سازی و صنایع دریایی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سازه های دریایی، دانشگاه صنعتی مالک اشتر

⁴ Heat Affected Zone

⁵ Paik Empirical Formula



مقدمه

سازه های ورقه های آلومینیومی و یا فولادی مورد استفاده در کاربرد های دریایی ، عموماً از طریق جوشکاری ساخته می شوند ، که این خود به دلیل مزایای ناشی از جوشکاری از جمله بازده و هزینه ساخت می باشد. این در حالیست که در مقایسه با جوشکاری سازه های فولادی کم الیاژ^۶ ، جوشکاری در مورد سازه های آلومینیومی میتواند مسائل متعددی از جمله نرم سازی در منطقه متاثر از حرارت را به همراه داشته باشد. در نتیجه این امر ، ظرفیت باربری سازه جوش شده آلومینیومی میتواند کاهش یابد.

عموماً فرض می شود که ویژگی های انهدامی و رفتاری سازه های جوش شده آلومینیومی و فولادی تا نقطه دستیابی به استحکام نهایی و متعاقب آن ، علی رغم تفاوت های موجود در خواص مواد و پیامد های نتیجه از جوشکاری ، شباهت بسیاری نسبت به یکدیگر دارند. این در حالی است که عدم امکان کاربرد روابط طراحی استحکام نهایی استخراج شده برای ورق های تقویت شده فولادی ، بطور مستقیم در مورد ورق های تقویت شده آلومینیومی به خوبی مشخص شده است. یکی از دلایل اصلی واقع در پشت این عدم تطابق ، تضعیف رفتار انهدامی و استحکام نهایی سازه های جوش شده آلومینیومی در اثر پدیده نرم شدگی منطقه متاثر از حرارت می باشد. [۱] پارامتر های متعددی میتواند بر روی ویژگی های استحکامی سازه های جوش شده آلومینیومی و یا فولادی تاثیر داشته باشد و برای طراحان سازه ای نیز امری بسیار ضروری است تا درکی صحیح تر و یا عمیق تر نسبت به حساسیت این ویژگی ها در ارتباط با چنین پارامتر هایی داشته باشند. در این مقاله سعی می شود تا مشارکتی در خصوص مطالعه حساسیت استحکام نهایی ورق های آلومینیومی تقویت شده با تمرکز بر روی پارامتر های ناشی از جوشکاری ارائه گردد. پارامتر های در نظر گرفته شده در این مطالعه شامل موقعیت خطوط جوش و پهنای منطقه متاثر از حرارت می باشد. روش اجزای محدود غیر خطی و رابطه تجربی استخراج شده توسط پیک [۱] برای تخمین استحکام نهایی ورقهای تقویت شده آلومینیومی در تحلیل حساسیت حاضر مورد استفاده قرار می گیرند.

⁶ Low Alloy Steel Structure



۲- روش های تحلیل

۱-۲- روش اجزای محدود غیر خطی

از نتایج تحلیل های انجام شده توسط ریگو^۷ و همکارانش [۲] بر روی ورق های تقویت شده آلومینیومی به منظور مطالعه حاضر استفاده می گردد. همچنین تحلیل های جداگانه ای بر روی مدل ISSC 2003 که توسط سیمونسن^۸ و همکارانش [۳] مورد بررسی قرار گرفت استفاده می شود.

۲-۲- رابطه تجربی پیک

از دیدگاه بررسی استحکام نهایی و قابلیت اعتماد سازی، تخمین سریع و دقیق استحکام نهایی ورق های تقویت شده آلومینیومی بسیار مهم می باشد. در این راستا دسترسی به یک رابطه تجربی اغلب بسیار با ارزش محسوب می گردد. پیک و همکارانش [۱] بر اساس تحلیل های رگرسیون بر روی نتایج محاسبات اجزای محدود انجام شده توانستند رابطه ای تجربی را به منظور تخمین استحکام نهایی ورق های تقویت نشده و یا تقویت شده آلومینیومی بدست آورند. سه تراز مختلف برای تغییر شکل های اولیه ناشی از جوشکاری در محاسبات اجزای محدود در نظر گرفته شده است. اثر تنشهای پسماند منتهی از جوشکاری در محاسبات اجزای محدود لحاظ نشده است. رابطه استخراج شده توسط پیک و همکارانش بر اساس علائم نمایش داده شده در شکل (۱) بصورت رابطه (۱) می باشد.

$$\sigma_{Ult} = \frac{\sigma'_{Y,seq}}{\sqrt{c_1 + c_2(\lambda')^2 + c_3(\beta')^2 + c_4(\lambda' * \beta')^2 + c_5(\lambda')^4}} \leq \frac{\sigma'_{Y,seq}}{(\lambda')^2} \quad (1)$$

$$\sigma'_{Y,seq} = \frac{P_s}{bt + h_w t_w + b_f t_f} \quad (2)$$

$$P_s = (b - 2b'_p) t \sigma_{Yp} + 2b'_p t \sigma'_{Yp} + (h_w - b'_s) t_w \sigma_{Ys} + b'_s t_w \sigma_{Ys} + b_f t_f \sigma_{Ys} \quad (3)$$

$$\lambda' = \frac{a}{\pi r} \sqrt{\frac{\sigma'_{Y,seq}}{E}} \quad (4)$$

⁷ Rigo

⁸ Simonsen



$$r = \sqrt{\frac{I}{bt + h_w t_w + b_f t_f}} \quad (5)$$

$$I = \frac{bt^3}{12} + bt \left(z_0 - \frac{t}{2} \right)^2 + \frac{h_w^3 t_w}{12} + h_w t_w \left(z_0 - t - \frac{h_w}{2} \right)^2 + \frac{b_f t_f^3}{12} + b_f t_f \left(t + h_w t_w + \frac{t_f}{2} + z_0 \right)^2 \quad (6)$$

$$z_0 = \frac{0.5bt^2 + h_w t_w (t + 0.5h_w) + b_f t_f (t + h_w + 0.5t_f)}{bt + h_w t_w + b_f t_f} \quad (7)$$

$$\beta' = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\sigma'_{yp}}{E}} \quad (8)$$

در روابط (1) تا (8) داریم :

استحکام نهایی ورق تقویت شده آلومینیومی	σ_{Ult}
تنش تسلیم معادل ورق تقویت شده آلومینیومی	$\sigma'_{Y,seq}$
پهنای ورق	b
پهنای بال تقویت کننده	b_f
پهنای منطقه متاثر از حرارت در ورق	b'_p
پهنای منطقه متاثر از حرارت در تقویت کننده	b'_s
ارتفاع جان تقویت کننده	h_w
ضخامت ورق	t
ضخامت بال تقویت کننده	t_f
ضخامت جان تقویت کننده	t_w
تنش تسلیم ورق	σ_{Yp}
تنش تسلیم منطقه متاثر از حرارت در ورق	σ'_{Yp}
تنش تسلیم تقویت کننده	σ_{Ys}
تنش تسلیم منطقه متاثر از حرارت در تقویت کننده	σ'_{Ys}
ضریب لاغری ورق تقویت شده با احتساب منطقه متاثر از حرارت	λ'
طول ورق تقویت شده	a
مدول الاستیسیته	E
شعاع ژیراسیون	r
ممان اینرسی مقطع عرضی ورق تقویت شده	I
فاصله سطح خارجی ورق تا محور خنثی افقی مجموعه ورق-تقویت کننده	z_0
ضریب لاغری ورق با احتساب منطقه متاثر از حرارت	β'



در جدول (۱)، مقادیر ضرایب C_1 تا C_5 برای ترازهای مختلف تغییر شکل اولیه در ورق تقویت شده ارائه شده است. [۱]

جدول ۱: ضرایب رابطه (۱) بر اساس تراز تغییر شکل اولیه ورق تقویت شده

ضریب	تغییر شکل اولیه کم	تغییر شکل اولیه متوسط	تغییر شکل اولیه زیاد
C_1	۰/۸۷۸	۰/۰۳۸	۱/۱۵۷
C_2	۰/۱۸۱	۱/۰۹۹	۲/۲۹۷
C_3	۰/۱۰۶	۰/۰۹۳	۰/۱۵۲
C_4	-۰/۰۱۷	-۰/۰۴۷	-۰/۱۳۸
C_5	۱/۳۰۰	۱/۶۴۸	۳/۶۸۴

پیک و همکارانش ترازهای مختلف تغییر شکل اولیه در ورق تقویت شده را بر مبنای معیارهای زیر طبقه بندی نمودند:

تغییر شکل اولیه کم:	تغییر شکل اولیه متوسط:	تغییر شکل اولیه زیاد:
$\begin{cases} w_{opl} = 0.003b \\ w_{oc} = 0.001a \\ w_{os} = 0.001a \end{cases}$	$\begin{cases} w_{opl} = 0.009b \\ w_{oc} = 0.0025a \\ w_{os} = 0.0025a \end{cases}$	$\begin{cases} w_{opl} = 0.015b \\ w_{oc} = 0.005a \\ w_{os} = 0.008a \end{cases}$

(۹)

در روابط (۹) داریم:

ماکزیمم تغییر شکل اولیه ورق در مود کمانشی	w_{opl}
ماکزیمم تغییر شکل اولیه ستونی در ورق تقویت شده	w_{oc}
ماکزیمم تغییر شکل اولیه پیچشی در ورق تقویت شده	w_{os}
طول ورق تقویت شده	a
عرض ورق تقویت شده	b

۳- مدل برای تحلیل

۳-۱- خواص مواد

مواد در اینجا بصورت ایزوتروپیک و با نسبت پواسون $0/3$ فرض می شوند. مدول یانگ آلومینیوم نیز 70475 مگا پاسکال می باشد. استحکام ماده آلومینیوم در منطقه متاثر از حرارت بدلیل اعمال دمای بالا در طول فرآیند های جوشکاری کاهش می یابد. مشخصات و منحنی های تنش- کرنش ماده اصلی و همچنین ماده در منطقه متاثر از حرارت در جدول (۲) و شکل (۲) داده شده اند. همچنین تنش تسلیم ورق در ماده اصلی برابر با 260 مگاپاسکال و در منطقه متاثر از حرارت برابر با 135 مگاپاسکال می باشد.



۲-۳- هندسه مدل

این مدل یک پانل سه دهانه شامل تقویت کننده های ال شکل از جنس آلایژ آلومینیوم AA6082-T6 میباشد. ابعاد بخش های مختلف مدل در شکل (۳) بر روی مدل نشان داده شده اند.

۳-۳- بارگذاری

تنها بارگذاری درون صفحه ای طولی برای ورق در نظر گرفته شده است. بارگذاری درون صفحه ای طولی دقیقاً مطابق با روش اتخاذ شده در مرجع [۲] بصورت جابجایی گره های انتهایی ورق اعمال می شود.

۴-۳- شرایط مرزی

شرایط مرزی اعمال شده بر روی این مدل بصورت زیر می باشد. دو لبه طولی ورق که بارگذاری نشده اند ، بصورت تکیه- گاه ساده می باشند تا همچنان بصورت مستقیم باقی بمانند. در دو لبه عرضی ورق که در واقع لبه های بارگذاری میباشد ، شرایط مرزی بصورت زیر می باشد. یک لبه بصورت ثابت فرض شده است یعنی اینکه جابجایی در جهت X آن مسدود می باشد و همچنین دوران حول محور Y آن نیز مسدود می باشد اما در لبه دیگر که جابجایی در جهت X به گره ها اعمال شده ولی همچنان دوران حول محور Y آن مسدود می باشد. در محل اتصال تقویت کننده های عرضی نیز فرض شده است که ورق در محل اتصال ایت تقویت کننده ها به ورق هیچگونه جابجایی در جهت Z ندارد. همچنین در محل اتصال این تقویت کننده ها به ورق در محل تقویت کننده طولی میانی فرض شده است که جابجایی در جهت Y مسدود می باشد. همچنین فرض شده است که دو لبه طولی ورق دارای جابجایی یکسان در جهت Y می باشند. این شرایط مرزی را می توان بر روی شکل (۴) دید.

۵-۳- مدلسازی منطقه متاثر از حرارت

بعضی از استانداردها وسعت یا پهنای منطقه متاثر از حرارت را برابر با ۲۵ میلیمتر در هر طرف خط جوش در نظر می گیرند. در این تحلیل نیز عرض منطقه متاثر از حرارت برابر با همین مقدار در نظر گرفته شده است. بر



این اساس عرض این منطقه در ورق ۵۰ میلیمتر و در تقویت کننده ۲۵ میلیمتر خواهد بود که در شکل (۵) نشان داده شده است.

براساس محل جوش دادن ورق دو حالت را میتوان در نظر گرفت که عبارتند از :

الف) پنج جوش طولی در محل اتصال تقویت کننده به ورق

ب) چهار جوش طولی در محل اتصال بین بخش های ال شکل که بصورت اکستروژن تولید شده اند.

این دو حالت را می توان در شکل (۶) دید.

۳-۶- خیز اولیه مدل

خیز اولیه ورق تقویت شده بر روش زیر تولید می شود، شکل (۷) یک بار عرضی یکنواخت مطابق شکل بر روی کل سه دهانه پانل تقویت شده وارد می گردد. این فشار بگونه ای وارد می گردد که لبه فوقانی تقویت کننده ها در حالت کشش قرار می گیرند. این فشار بگونه ای تنظیم و تعیین می شود تا بتواند خیز الاستیک خطی برابر با ۲ میلیمتر را در نقطه مرکزی دهانه میانی و روی تقویت کننده میانی بوجود آورد. مقادیر بدست آمده جابجایی باید بصورت خیز اولیه به مدل اعمال گردند. مسلم است که این خیز اولیه نباید تنشی را در مدل ایجاد کند.

۴- نتایج بدست آمده از تحلیل اجزای محدود غیر خطی مدل مورد مطالعه

در این قسمت نتایج بدست آمده از این تحلیل برای ورق با شرایط گفته شده به کمک نرم افزار ANSYS [۴] ذکر می-شود. خیز اولیه برای این ورق با استفاده از روش گفته شده بصورت شکل (۸) خواهد بود ، همچنین منحنی بدون بعد تنش- کرنش برای این ورق تقویت شده در سه حالت زیر در شکل (۹) آورده شده است.

الف) بدون در نظر گرفتن منطقه متاثر از حرارت

ب) با در نظر گرفتن منطقه متاثر از حرارت و محل جوش در محل اتصال ورق به تقویت کننده

ج) با در نظر گرفتن منطقه متاثر از حرارت و محل جوش در محل اتصال بین بخش های ال شکل که بصورت اکستروژن تولید شده اند.



تغییر شکل ورق در نقطه استحکام نهایی در اشکال (۱۰) تا (۱۲) آورده شده است.

روشهای بکار رفته توسط سه گروه از محققین در زیر بطور خلاصه تشریح شده است:

روش له مان و کاتالین^۹ [۲] : له مان و کاتالین از نرم افزار تجاری اجزا محدود به نام MSC Mark استفاده

کردند. در این مورد سیستم معادلات غیر خطی بوسیله روش نیوتن-رافسون و با تقریبا ۳۵۰ مرحله حل شده

است. مواد بصورت الاستوپلاستیک و با سخت شدگی مجدد^{۱۰} خطی فرض شده است. سطح تنش نیز سطح

تنش ون مایرز فرض شده و از قانون سخت شدگی ایزوتروپیک^{۱۱} نیز استفاده شده است.

روش یا او و هیگاشیما^{۱۲} [۲] : یا او و همکارش از نرم افزار ULSAS برای تحلیل ورق تقویت شده استفاده

کردند. ULSAS نرم افزاری است که برای مدلسازی و تحلیل انهدام سازه ها استفاده می شود. این نرم افزار

این کار را با در نظر گرفتن اثر غیر خطی هندسی و مادی که خود بدلیل تغییر شکل های بزرگ و تسلیم

شدگی ماده بوجود می آید، انجام می دهد. در این نرم افزار از المان های صفحه ای و تیر-ستون استفاده می

شود. برای المان های صفحه ای از المان ایزوپارامتریک صفحه ای با چهار گره استفاده شده است. المان هایی با

نوع مشابه اما با دو گره بعنوان المان تیر-ستون استفاده می شوند.

روش فیلیپ و رادو^{۱۳} [۲] : در این مورد پانل ورق تقویت شده بوسیله نرم افزار تجاری ANSYS

مدلسازی و تحلیل شده است. از المان Shell43 برای مش بندی کل مدل استفاده شده است. این المان دارای

۴ گره بوده و گره آن دارای ۶ درجه آزادی می باشد. رفتار مواد بصورت الاستوپلاستیک بوده و با سخت شدگی

مجدد چند بخشی خطی^{۱۴} مدلسازی می شوند. مواد نیز در اینجا از رابطه تسلیم ون مایرز تبعیت می کنند.

فشار محوری نیز بصورت اعمال جابجایی در جهت X (طولی) به مدل اعمال شده است. همچنین جهت تسهیل

همگرایی از موارد اختیاری موجود در نرم افزار نظیر Bisection، Linesearch و Automatic time

stepping استفاده شده است.

⁹ Lehman - Catalin

¹⁰ Workhardening

¹¹ Isotropic Hardening

¹² Yao - Higashiyama

¹³ Philippe - Radu

¹⁴ Multi-kinematics strain hardening



جدول ۲ مشخصات تنش- کرنش برای ماده اصلی و ماده در منطقه متاثر از حرارت [۲]

Plate and stiffener			Heat Affected Zone		
N° Point	Strain [%]	Stress [N/mm ²]	N° Point	Strain [%]	Stress [N/mm ²]
1	0.00	0.0	1	0	0
2	0.21	146.3	2	0.14	100
3	0.34	222.6	3	0.19	113.7
4	0.36	232.4	4	0.24	124.8
5	0.39	240.1	5	0.33	136
6	0.43	247.1	6	0.48	145.2
7	0.47	253.3	7	0.71	154.1
8	0.54	257.3	8	1.02	163.4
9	0.65	260.6	9	1.36	171.9
10	0.80	263.0	10	1.7	178.5
11	1.33	269.4	11	2.12	186.6
12	2.18	276.9	12	2.7	194.6
13	3.10	282.2	13	3.37	201.7
14	3.75	285.5	14	3.99	206.9
15	4.74	288.9	15	4.41	209.3
16	5.27	290.0	16	4.79	211.2
17	6.92	292.2	17	5.24	210.7
			18	5.61	209.5
			19	5.96	208.1
			20	6.42	204.3
			21	6.84	200.3
			22	7.16	196.8

۵- مقایسه و تفسیر نتایج

همانطور که گفته شد، مدل در نظر گرفته شده در اینجا توسط محققان مختلف با نرم افزار های مختلف تحلیل شده است. در اینجا نتایج بدست آمده از تحلیل حاضر توسط نرم افزار ANSYS با نتایج بدست آمده توسط دیگر محققین مقایسه می شوند. منحنی های تنش-کرنش برای مدل ISSC 2003 بدست آمده توسط گروه های مذکور در مقایسه با نتایج حاضر در اشکال (۱۳) تا (۱۵) نشان داده شده اند. همچنین مقادیر عددی استحکام نهایی حاصل از تحلیل ها در جدول (۳) با یکدیگر مقایسه گردیده اند.



اشکال (۱۳) تا (۱۵) نشان می دهند که نتایج اجزای محدود برای مدل‌های ISSC 2003 توسط محققان اشاره شده در بخش (۴) و همچنین نویسندگان این مقاله از گرایش‌های مشابهی برخوردار می باشد، اگر چه تفاوت‌هایی میان مقادیر استحکام کمانشی و استحکام نهایی مدل‌ها وجود دارد.

جدول ۳ مقادیر استحکام نهایی مدل‌های ISSC 2003

	Present			Yao-Higashiyama [1]		
	Maximum average stress		Average strain [%]	Maximum average stress		Average strain [%]
	(N/mm ²)	Difference to reference (%)		(N/mm ²)	Difference to reference (%)	
Without HAZ	165.468	Ref.	0.303	160.800	Ref.	0.300
With HAZ-Weld A	147.756	-10.705	0.312	136.150	-21.510	0.301
With HAZ-Weld B	162.549	-1.764	0.303	157.700	-9.090	0.302
Software	ANSYS			ULSAS		
	Philippe-Radu [1]			Lehmann-Catalin[1]		
	Maximum average stress		Average strain [%]	Maximum average stress		Average strain [%]
	(N/mm ²)	Difference to reference (%)		(N/mm ²)	Difference to reference (%)	
Without HAZ	173.460	Ref.	0.321	169.880	Ref.	0.310
With HAZ - Weld A	150.220	-13.400	0.300	144.480	-16.710	0.292
With HAZ - Weld B	171.210	-1.300	0.324	161.470	-6.910	0.296
Software	ANSYS			MSC Mark		

۶- تحلیل حساسیت

۶-۱- اثر موقعیت جوش

جدول (۴) اثر موقعیت جوش را بر روی استحکام نهایی مدل‌های ISSC 2003 نشان می دهد. همانطور که دیده می شود، کاهش استحکام نهایی ناشی از جوش نوع A شدیدتر از کاهش استحکام نهایی ناشی از جوش نوع B می باشد. مقدار کاهش استحکام نهایی بر اساس رابطه پیک چندان متاثر از نوع جوش نمی باشد و شاید این بدان دلیل باشد که در استفاده از رابطه پیک اثر نوع جوش تنها در تعیین مقدار پارامتر P_s لحاظ می شود.



جدول ۴ اثر موقعیت جوش بر روی استحکام نهایی مدل های ISSC 2003

بر اساس نتایج تحلیل اجزای محدود

بدون احتساب منطقه متاثر از حرارت (مرجع)	با احتساب منطقه متاثر از حرارت (جوش A)	با احتساب منطقه متاثر از حرارت (جوش B)	
۱۶۵/۴۶۴	۱۴۷/۷۵۸	۱۶۲/۵۵۲	$\sigma_y (N/mm^2)$
-	-۱۰/۷۰	-۱/۷۶	اختلاف نسبت به مرجع (%)

جدول ۵ اثر موقعیت جوش بر روی استحکام نهایی مدل های ISSC 2003

بر اساس رابطه پیک [۱]

بدون احتساب منطقه متاثر از حرارت (مرجع)	با احتساب منطقه متاثر از حرارت (جوش A)	با احتساب منطقه متاثر از حرارت (جوش B)	
۱۲۵/۱	۱۱۷/۸	۱۱۹/۵	$\sigma_y (N/mm^2)$
-	-۵/۸	-۴/۵	اختلاف نسبت به مرجع (%)

مود های تغییر شکل مدل های ISSC 2003 برای حالات بدون احتساب منطقه متاثر از حرارت و با احتساب منطقه متاثر از حرارت (جوش نوع A) ، تشابه فراوانی با یکدیگر دارند. اگر چه نرم شدگی محل اتصال تقویت کننده ها به ورق یا منطقه متاثر از حرارت در اطراف خطوط اتصال تقویت کننده ها به ورق ، موجب کاهش شدید استحکام نهایی مدل ها می گردد.

مود تغییر شکل مدل های ISSC 2003 برای حالات بدون احتساب منطقه متاثر از حرارت و با احتساب منطقه متاثر از حرارت (جوش نوع B) ، تشابه چندانی با یکدیگر ندارند. در حالت اخیر (جوش نوع B) ، تغییر شکل پانل های ورقه ای و تقویت کننده ها در دهانه میانی بیشتر از دهانه های مجاور بوده و همچنین تغییر شکل های پیچشی در تقویت کننده ها به خارج از دهانه میانی منتقل شده اند. این نوع تغییر شکل ها منجر به کاهش اندک ظرفیت باربری مدل هاب مذکور نسبت به یکدیگر شده است. این امر به دلیل افزایش فاصله میان خطوط تغییر شکل پیچشی تقویت کننده ها در حالت جوش نوع B نسبت به حالت بدون احتساب منطقه متاثر از حرارت می باشد.



۶-۲- اثر پهنای منطقه متاثر از حرارت

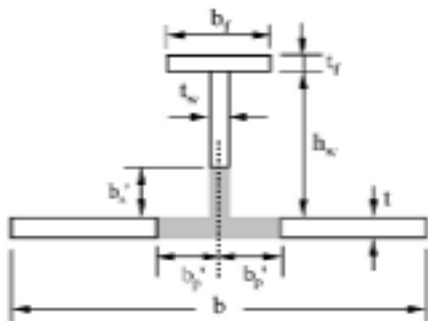
شکل (۱۶) اثر پهنای منطقه متاثر از حرارت را بر روی استحکام نهایی مدل ISSC 2003 با جوش نوع A به نمایش می گذارد. همچنین در همین شکل، میزان حساسیت استحکام نهایی نسبت به پهنای مذکور بر اساس رابطه پیک برای سه تراز مختلف از تغییر شکل های اولیه نشان داده شده است. همانطور که مشهود است، وسیعتر شده منطقه متاثر از حرارت موجب کاهش شدید استحکام نهایی مدل می گردد. این امر به دلیل کاهش سطح مقطع موثر ورق و تقویت کننده در تحمل بار های درون صفحه ای فشاری و گسترش خطوط تضعیف شده مصالح در محل استراتژیک اتصال ورق با تقویت کننده ها می باشد. بر اساس نتایج رابطه پیک، دیده می شود که کاهش استحکام نهایی ورق های تقویت شده به شدت متاثر از میزان تغییر شکل های اولیه در آنها می باشد. محاسبات اجرای محدود و همچنین رابطه پیک، ارتباط نسبتنا خطی میان کاهش ظرفیت باربری نهایی ورق های تقویت شده آلومینیومی با پهنای منطقه متاثر از حرارت را به نمایش می گذارد.

۷- نتیجه گیری

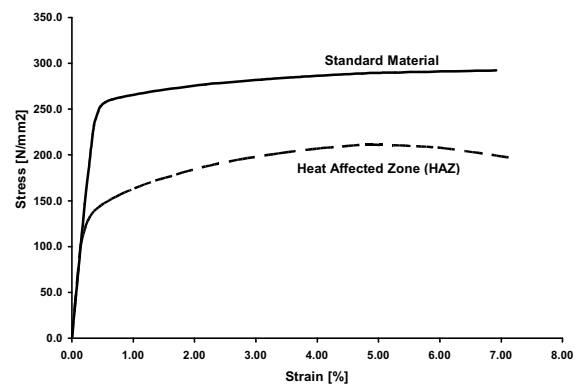
در این مقاله، آثار برخی پارامترهای مرتبط با جوشکاری بر روی استحکام نهایی ورقهای تقویت شده آلومینیومی مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج زیر را می توان در این ارتباط عنوان کرد:

- پارامترهای مورد مطالعه در این مقاله عبارت بودند از موقعیت خطوط جوش، پهنای منطقه متاثر از حرارت
- جوش گوشه در محل اتصال ورق و تقویت کننده نسبت به جوش لب به لب در امتداد خطوطی دور از محل اتصال ورق و تقویت کننده، موجب کاهش شدید استحکام نهایی ورق های تقویت شده می گردد. این امر به دلیل نرم شدگی ورق و تقویت کننده در محل اتصال (حالت جوش گوشه) نسبت به نرم شدگی تنها ورق (حالت جوش لب به لب) می باشد.
- با افزایش پهنای منطقه متاثر از حرارت، ظرفیت باربری نهایی ورق تقویت شده به شدت تنزل می کند.

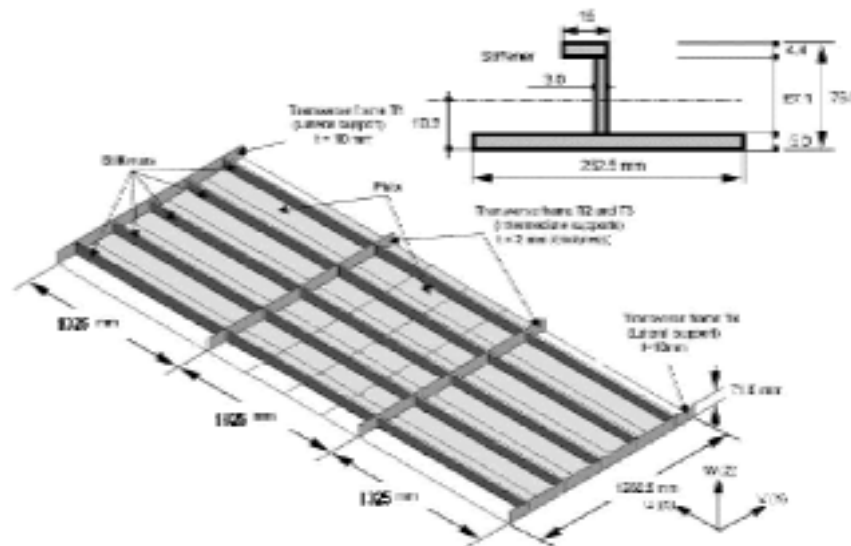
- 1- Paik, J.K., Duran, A., "Ultimate strength of aluminum plates and stiffened panels for marine applications", J. of Marine tech., Vol. 41, No. 3, 2004.
- 2- Rigo, P., et al., "Sensitivity analysis on ultimate strength of aluminum stiffened plates", J. of Marine structure, Vol. 16, 2003.
- 3- Simonsen, B.C., et al., "Benchmark, 15th Int. ship and offshore structure congress (ISSC2003)", San Diego, Elsevier Pub., 2003.
- 4- ANSYS user manual, Version 8.0, ANSYS Inc., 2004.



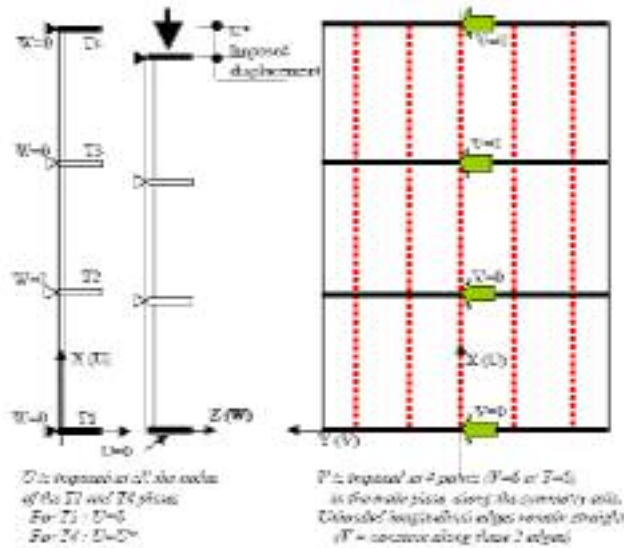
شکل ۱: مقطع عرضی ورق تقویت شده با احتساب نواحی متأثر از حرارت



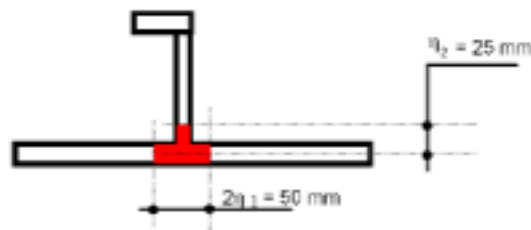
شکل ۲ منحنی های تنش-کرنش برای ماده اصلی و ماده در منطقه متأثر از حرارت [۲]



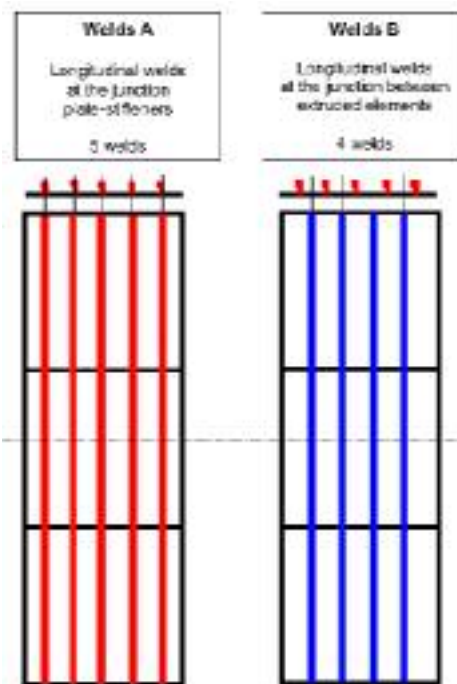
شکل ۳ مدل سه دهانه ISSC 2003



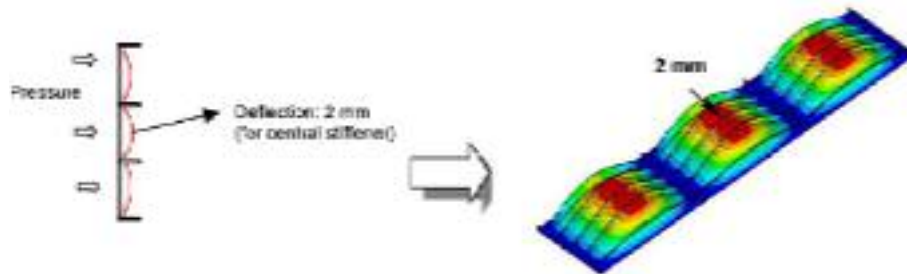
شکل ۴ شرایط مرزی [۲]



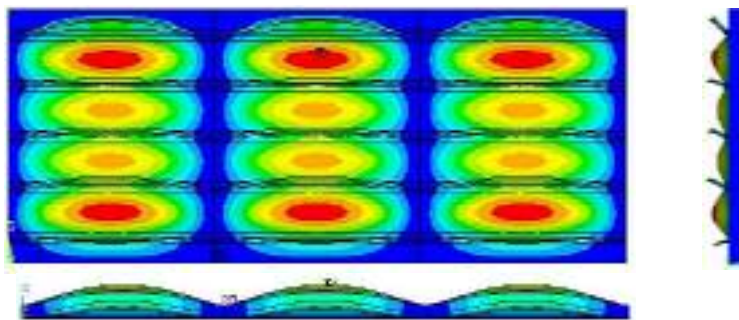
شکل ۵ مقطع ورق تقویت شده مورد نظر به همراه منطقه متاثر از حرارت اعمال شده [۲]



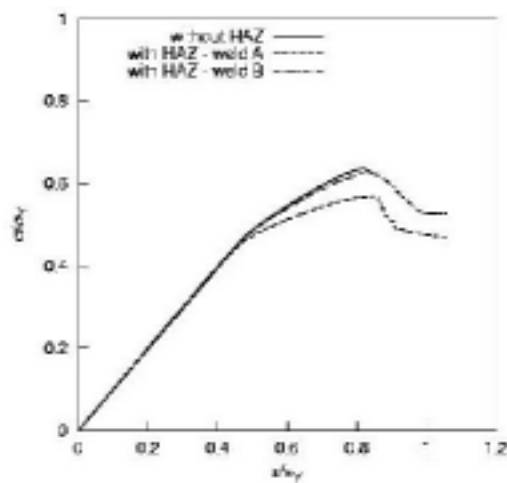
شکل ۶ محل جوش ها و منطقه متاثر از حرارت در پانل تقویت شده [۲]



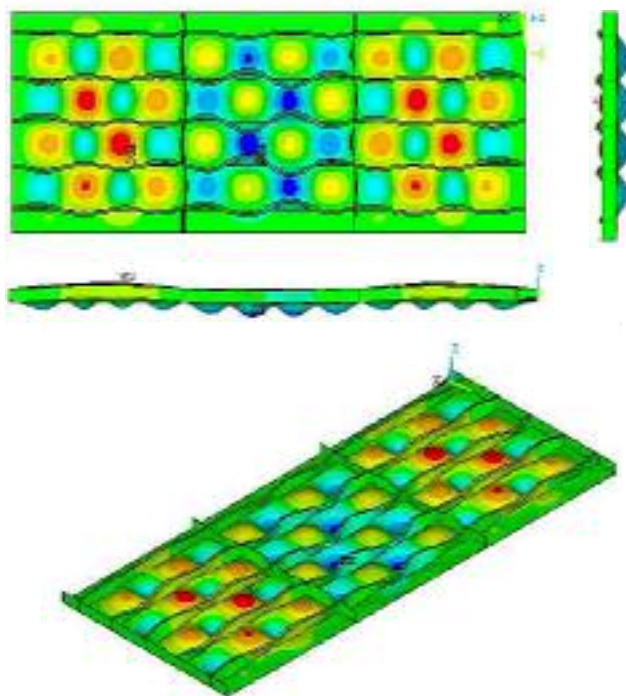
شکل ۷ روش تولید خیز اولیه پانل تقویت شده [۲]



شکل ۸ خیز اولیه ورق تقویت شده

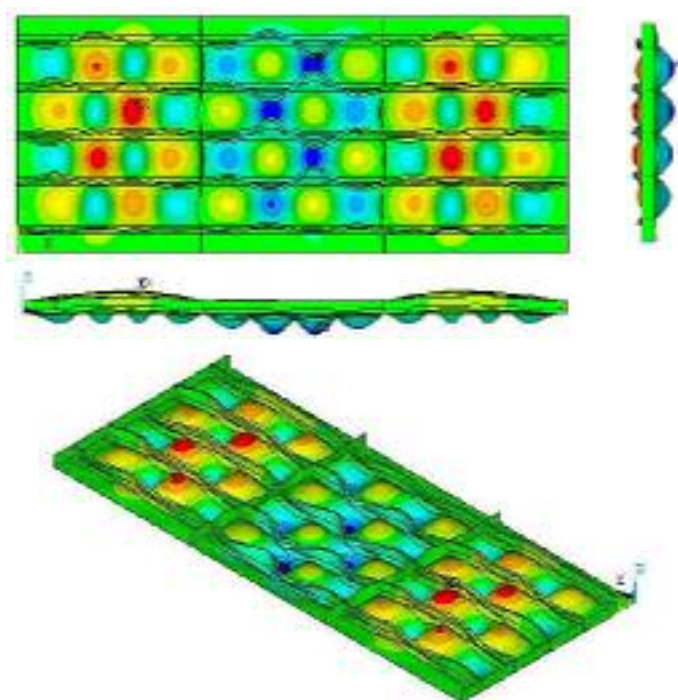


شکل ۹ منحنی بدون بعد تنش-کرنش ورق تقویت شده



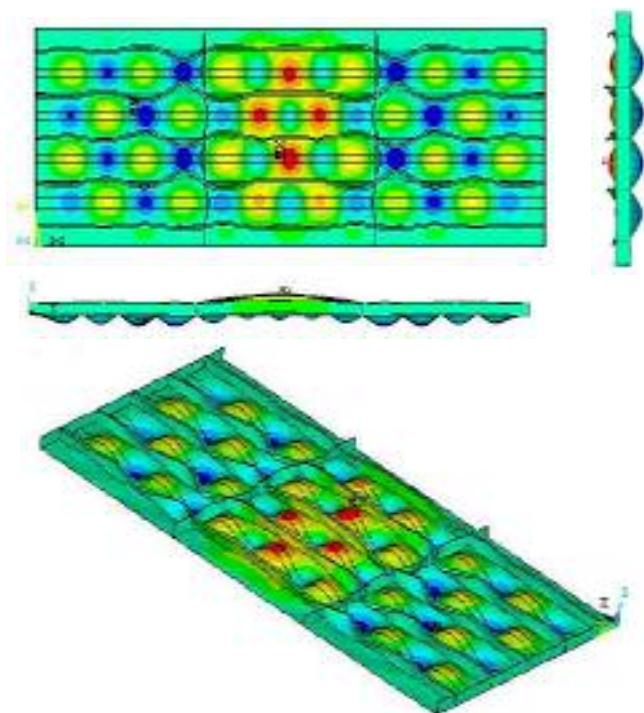
شکل ۱۰: مود تغییر شکل ورق در نقطه استحکام نهایی (ISSC model without HAZ)

$$\left(\frac{\sigma}{\sigma_Y} = 0.6364, \frac{\varepsilon}{\varepsilon_Y} = 0.8202 \right)$$



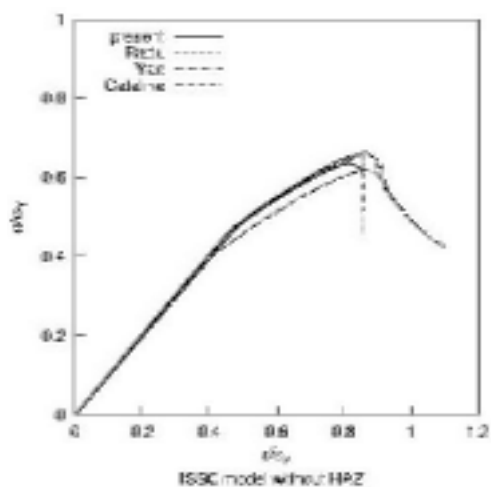
شکل ۱۱: مود تغییر شکل ورق در نقطه استحکام نهایی (ISSC model with weld A)

$$\left(\frac{\sigma}{\sigma_Y} = 0.5683, \frac{\varepsilon}{\varepsilon_Y} = 0.8454 \right)$$

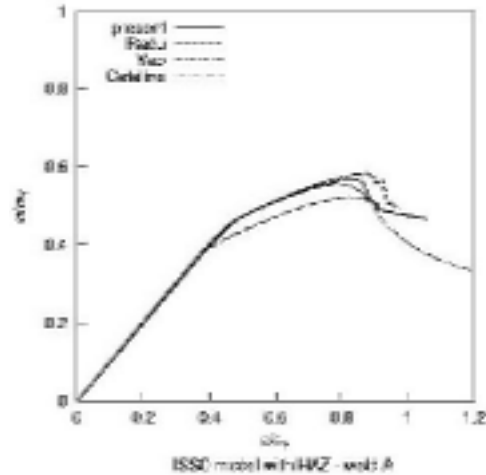


شکل ۱۲: مود تغییر شکل ورق در نقطه استحکام نهایی (ISSC model with weld B)

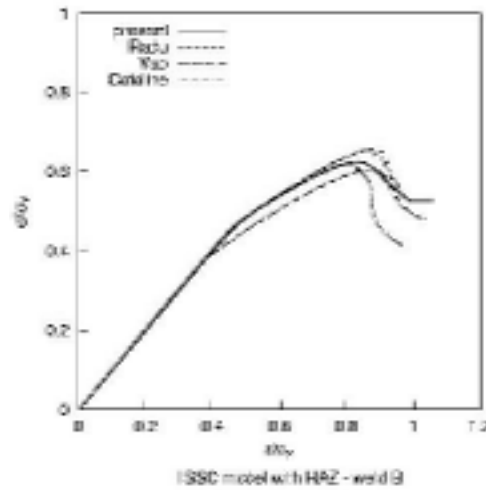
$$\left(\frac{\sigma}{\sigma_Y} = 0.6252, \frac{\varepsilon}{\varepsilon_Y} = 0.8364 \right)$$



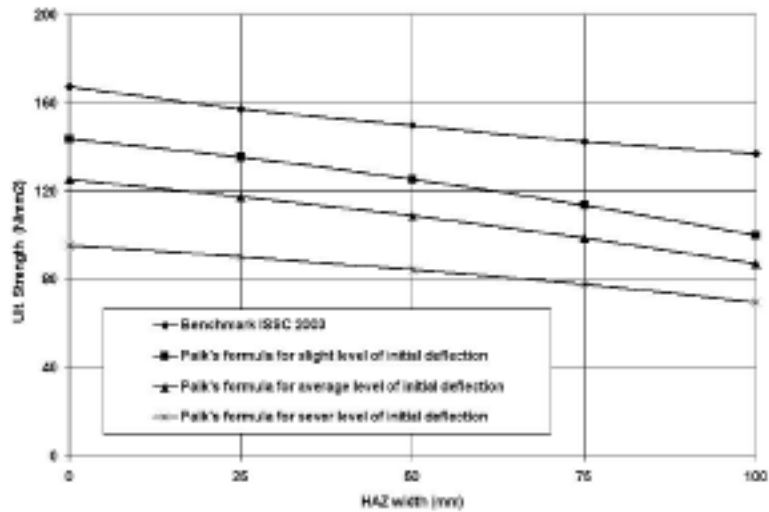
شکل ۱۳: منحنی های بدون بعد تنش- کرنش مدل ISSC2003 بدون در نظر گرفتن منطقه متاثر از حرارت



شکل ۱۴: منحنی های بدون بعد تنش- کرنش مدل ISSC2003 با در نظر گرفتن منطقه متاثر از حرارت و جوش نوع A



شکل ۱۵: منحنی های بدون بعد تنش- کرنش مدل ISSC2003 با در نظر گرفتن منطقه متاثر از حرارت و جوش نوع B



شکل ۱۶: حساسیت استحکام نهایی نسبت به پهنای منطقه متاثر از حرارت