علوم و فناوری جوشکاری ایران، سال سوم، شماره 2، پاییز و زمستان 1396، صفحه 67-58

تمرکز تنش در اتصال سوپرآلیاژهای IN718 و Mar-M247حین جوشکاری اصطکاکی- اغتشاشی به روش المان محدود

سیدرحیم کیاحسینی[1*]، مصطفی تیموری[2]، سید جواد محمدی بایگی[1]

1- دانشکده فنی و مهندسی، واحد دامغان، دانشگاه آزاد اسلامی، دامغان، ایران

2- باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد دامغان، دانشگاه آزاد اسلامی، دامغان، ایران

(دریافت مقاله: 1396/02/17 ؛ دریافت نسخهٔ نهایی: 1396/07/23)

چکیده

روش جوشکاری اصطکاکی اختلاطی یا FSW یکی از روش های نوین جوشکاری محسوب می شود که با ایجاد اصطکاک بین دو قطعه و ایجاد حرارت عمل جوشکاری انجام می پذیرد. در اتصالات جوشکاری شده،پدیده تمرکز تنش باعث افزایش موضعی تنش در محل اتصال جوش خواهد شد. در این تحقیق،مدلسازی و تحلیل اتصالات جوشکاری اصطکاکی لب به لب سوپرآلیاژ های همنام پایه نیکل IN718و پایه Mar-M247واتصال غیرهمنام IN718 و Mar-M247به وسیله نرم افزار ANSYS انجام گردید و سپس دستیابی به ضریب تمرکز تنش اتصال جوشکاری شده سوپرآلیاژهای همنام و غیرهمنام انجام پذیرفت. در نهایت ضرایب تمرکز تنش اتصالات همنام و غیرهمنام بررسی و با یکدیگر مقایسه گردید و با داده های تجربی گزارش شده در منابع مقایسه شد. نتایج نشان داد که مقدار ضریب تمرکز تنش میانگین در اتصال سوپرآلیاژهای همنام Mar-M247برابر 1/566 ، در اتصال سوپرآلیاژهای غیرهمنام IN718 و Mar-M247برابر 1/63 و در اتصال دو سوپرآلیاژ همنام IN718 برابر 1/52 می باشد.

کلمات کلیدی: منطقه خمیری، سوپرآلیاژ، درجه آزادی،نرم افزارANSYS، تمرکز تنش.

The stress concentration of IN 718 superalloy after friction stir welding and compare with Mar-M247 and IN718 welded joints

S. R. Kiahosseini[1*], M. Teymoori[2], S.J.Mohammadi Baygi[1]

1-Department of Engineering, Damghan Branch, Islamic Azad University, Damghan, Iran

2- Young researchers and elite club, Damghan Branch, Islamic Azad University, Damghan, Iran

(Received 7 May 2017 ; Accepted 14 October 2017)

* نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: rkiahoseyni@yahoo.com

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-28]

Abstract
Friction stir welding (FSW) is a new method that the joining is carried out by friction between two metals and heat creation.The stress concentration phenomena in welded joint cause the stress increasing in welded zone.In this research, modeling and analysis of similar junction of IN718 and Mar-M247 and non-similar junction of IN718-Mar-M247 superalloys were performed by ANSYS Software and finally the stress concentration factors of welded samples were calculated.The stress concentration factor of similar and non-similar of junctions was assessed and compared with reported experimental data in the literatures.The results showed that, the mean stress concentration factor for similar junction of Mar-M247 and IN718 superalloys are 1.566 and 1.63 respectively and for non-similar junction is equal to 1.52.

Keywords: Paste zone, superalloy, degrees of freedom, ANSYS software, Stress Concentration.

1- مقدمه

سوپرآلیاژها مواد مهندسی هستند که به دلیل دارا بودن خواص منحصر به فرد مانند استحکام، مقاومت به خزش و خوردگی داغ، به طور گسترده در دماهای بالا مورد استفاده قرار می گیرند[1]. به منظور استفاده از این آلیاژها در صنایع نیاز است که اتصالات مختلف بین آنها ایجاد گردد[2]. جوشکاری اصطکاکی اختلاطی یکی از روش های نوین جوشکاری محسوب می شود که در اواخر سال 1991 میلادی توسط مؤسسه جوشکاری انگلستان با پتانسیل بالا ابداع شد و به عنوان یک روش نوین جوشکاری در حالت جامد، به ثبت رسید[3]. برخلاف روش های جوشکاری مرسوم که در حالت مذاب انجام می شوند، این جوشکاری در فاز جامد انجام می گیرد[4] که در ابتدا برای اتصال فلزات غیرآهنی مانند آلومینیوم سری 2xxx بود، ولی پیشرفت ابزارهای جوشکاری و ساخت ابزارهایی نظیر B_4CوWC و$PCBN$، جوشکاری مواد با نقطه ذوب بالا مانند انواع فولادها و یا آلیاژهای نیکل و تیتانیوم و دیگر مواد با این روش امکان پذیر شد[5].جوشکاری اصطکاکی اختلاطی به عنوان مهم ترین پیشرفت در اتصال فلزات در دهه اخیر مطرح بوده که دارای راندمان انرژی بالایی است و به دلیل صرفه¬جویی در مصرف انرژی، میزان آلایندگی کم و دوست دار محیط زیست بودن، تکنولوژی سبز نامیده می شود[4]. در این روش هیچ گاز محافظ و فلاکسی استفاده نمی شود و همچنین نیازی به الکترود یا مواد پرکننده ندارد. ازطرفی بعضی از انواع ناپیوستگی هایی که در جوش ها یافت می شوند عبارتند از: تخلخل، ذوب ناقص، نفوذ ناقص در درز، بریدگی (سوختگی) کناره جوش، روی هم افتادگی، ترک ها، ناخالصی های سرباره، گرده جوش اضافی. برای سازه هایی که تحت بار خستگی و یا سیکلی می باشند، خطر این ناپیوستگی های سطحی افزایش می یابد[5, 6].وجود ناپیوستگی هندسی در قطعات موجب می شود که تنش در اطراف ناچ به صورت موضعی شدیداً افزایش پیدا کند، از این رو گفته می شود که در اطراف ناچ تمرکز تنش وجود دارد.ضریب تمرکز تنش هندسی یا الاستیک به صورت رابطه 1 تعریف می شود[7, 8]:

$$K_t = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_o} \quad (1)$$

در این رابطه σ_{max}تنش ماکزیمم در محل ناچو σ_0 مقدار تنش اسمی می باشد. ضریب تمرکز تنش هندسی (الاستیک) به پارامترهایی نظیر شکل هندسی، ناپیوستگی هندسی قطعه و نیز نوع بارگذاری (محوری، خمشی، پیچشی) بستگی دارد و تا وقتی می توان از ضریب تمرکز تنش برای محاسبه تنش ماکزیمم در محل ناچ استفاده کرد که تنش ماکزیمم در حد الاستیک باشد[8].

در این تحقیق سعی شده است به کمک نرم افزار ANSYS، تمرکز تنش حاصل از جوشکاری اصطکاکی اختلاطی بین دو سوپر آلیاژ In718 و Mar-M247 بررسی گردد.

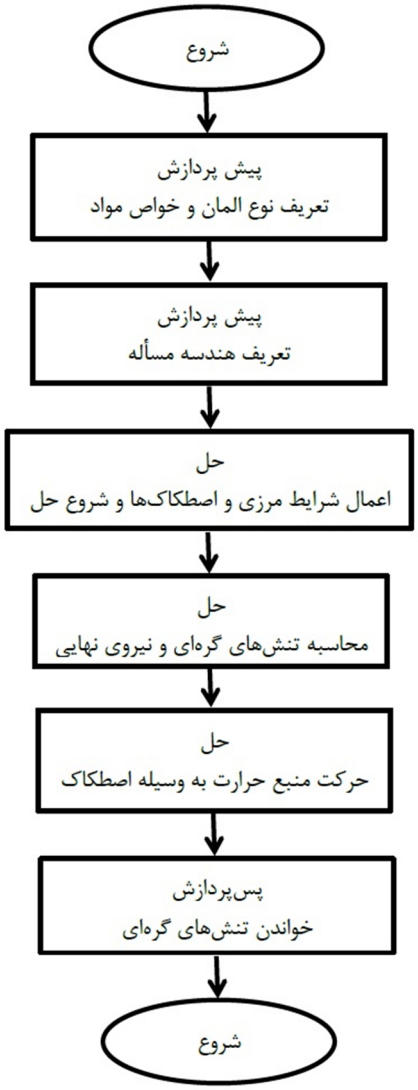
2- روش تحقیق

2-1- روند انجام تحلیل جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی در ANSYS

مراحل تحلیل جوشکاری دو آلیاژ In718 و Mar-M247 به

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-28]

صورت همنام و غیرهمنام، به روش جوشکاری اصطکاکی به وسیله نرم افزار ANSYS در فلوچارت شکل 1 آورده شده است.



شکل1- فلوچارت روند انجام تحلیل در نرم افزار ANSYS

مشخصات بکار برده شده در مدل المان محدود باید کاملاً وابسته به دما تعیین گردند چراکه تنش و کرنش مکانیکی در دماهای بالا به دما ربط پیدا می کنند. المانی باید در این قبیل آنالیزها استفاده شود که قابلیت کوپل دمایی- سازه ایی را داشته باشد.

در ایجاد تماس بین دو ماده، دما نیز در درجه آزادی آن المان ها لحاظ گردیده است. شکل 2-الف شمای کلی از اتصال دو آلیاژ به وسیله جوشکاری اصطکاکی را نشان می دهد.

2-2- مشخصات مسأله

سوپر آلیاژهای In718 و Mar-M247 بوسیله جوشکاری اصطکاکی با ابزار بدون پین تحلیل گردید. شبیه سازی طی سه مرحله انجام گردید:

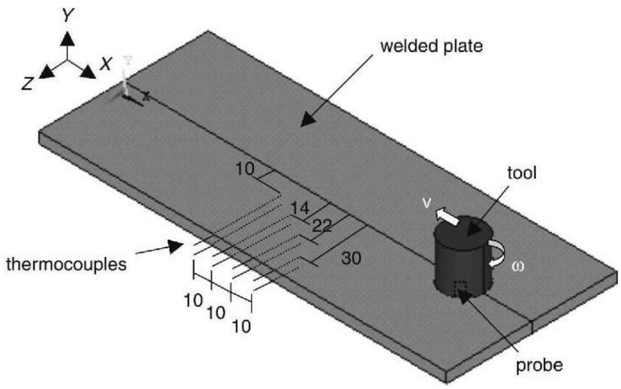
1- درگیری ابزار با قطعه کار.

2- تولید دما تا حد جوش توسط چرخش درجای ابزار بر روی قطعه کار.

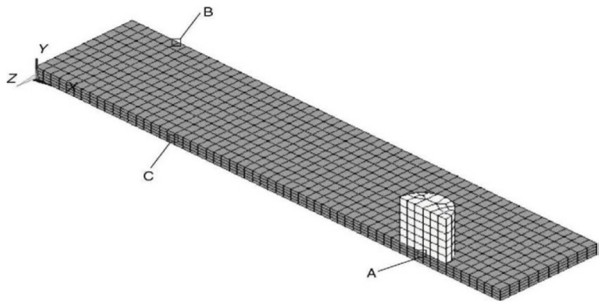
3- حرکت با چرخش ابزار بر روی قطعه کار.

2-3-مشخصات ماده سوپرآلیاژها

ترکیبات شیمیایی سوپرآلیاژهایIN718 وMar-M247 بر حسب درصد وزنی در جدول(1) نشان داده شده است. مشخصات سوپرآلیاژهایIN718، Mar-M247 و همچنین مشخصات مربوط به ابزار جوشکاری نیزمطابق با جدول 2 در نظر گرفته شد.



الف

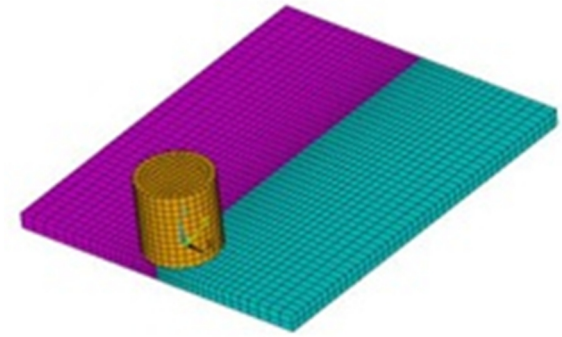


ب

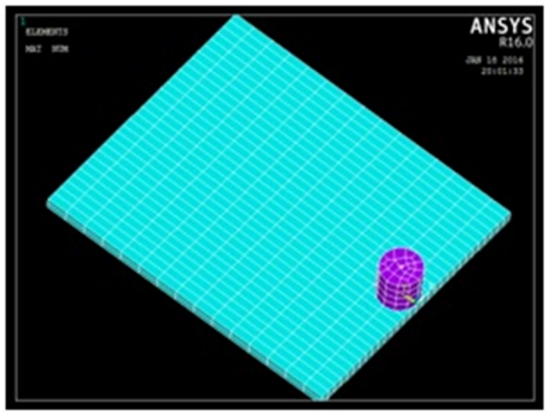
شکل2- الف- شماتیک هندسه مدل طراحی شده[9]،

ب- مدل اجزا محدود ورق ها و ابزار جوشکاری، که گره A در لبه ابزار و گره B و C به ترتیب نشان دهنده گره در محل اتصال دو صفحه و لبه انتقال حرارت می باشد.

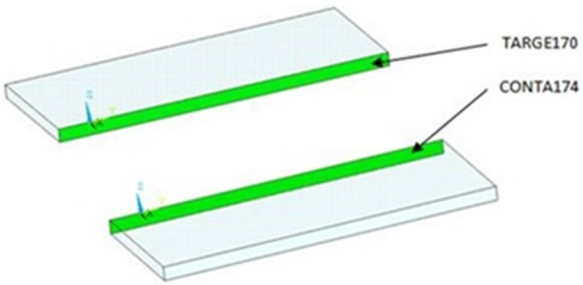
[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-28]



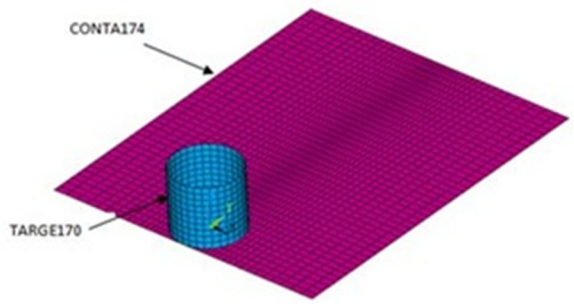
الف



ب



ج



د

شکل3-الف) مدلسازی در نرم افزار ANSYS، ب) مدل مش بندی شده، ج) تماس سطح به سطح targe170 و conta174، د) تماس سطح به سطح targe170 و conta174 بین ورق ها و ابزار.

2-4-مدل سازی و مش بندی

در این تحقیق دو صفحه به ابعادmm 70×50×35 به همراه ابزار استوانه ای شکل با قطر 30 و ارتفاع 35 میلیمتر با بکارگیری از المان solid226 با خاصیت دمایی- سازه ای مطابق شکل 3-الف مدل گردید که در شکل 2-ب مدل اجزا محدود ورق ها و ابزار جوشکاری نشان داده شده است. همچنین مدل مش بندی شده قطعات در این تحقیق در شکل3-ب نشان داده شده است.مطابق شکل 3-ج از تماس سطح به سطح targe170 و conta174 با $TCC =2e6\ w/\ m^2\ °C$ بین دو ورق استفاده شده است.

نوع فرمول تماس surface-projection-based contact method مفروض گردید و دمای TBND =1200 برای اتصال دو ماده پیش فرض قرار داده شد.

با توجه به شکل3 تماس بین قطعه کار و ابزار نیز توسط المان های مشابه صورت گرفت با این تفاوت که ثابت FHTG برابر با 1 بوده تا تمام اصطکاک به گرما تبدیل شود وFWGT نیز برابر با 95% منظور گردید تا 95 درصد گرما به قطعه کار منتقل گردد و تنها 5 درصد از آن به ابزار منتقل شود. همچنین مقدار $TCC=10W/m^2\ °C$ بسیار پایین منظور می گردد تا اکثر دما به قطعه کار انتقال یابد.

در تحقیق رحمتی و همکارانش[13] منابع مختلفی جهت تولید حرارت نظیر حرارت ناشی از پین، تغییر شکل پلاستیک و غیره بیان شده است، در تحقیق حاضر مجموعه حرارت تولید شده از منابع مختلف به صورت کل در نظر گرفته شد و به منظور ایجاد شرایط خمیری در قطعه کار، فرض گردید که 95% از حرارت کل در قطعه، باعث افزایش دما گردیده است.

همان طور که در شکل 4 نشان داده شده است برای مدل نمودن ابزار در این تحقیق لازم بود پس از مش بندی، توسط روش pilot node اقدام به کنترل کردن کل مش گردد.

برای این منظور، یکpilot node (target 170) در وسط سطح بالای ابزار ایجاد شد و آن سطح (contac174) به حالت rigid در نظر گرفته شد و نیز از روش MPC استفاده گردید.

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-28]

جدول1- ترکیبات شیمیایی سوپر آلیاژهای **IN718**و **Mar-M2472**[3]

آلیاژ	C	Si	Cr	Mo	Fe	Nb	Mn	V	Ti	Al	Co	B	Ta	W	Zr	Hf	Ni
In718	۰/۰۶	۰/۰۲	۱۸/۵۵	۳/۰۲	۱۹/۸	۴/۷۵	۰/۰۵	۰/۰۳۳	۰/۹۵	-	-	-	-	-	-	-	پایه
Mar-M247	۰/۱۶	-	۸/۲	۰/۶	-	-	-	-	۱	۵/۵	۱۰	۰/۰۱۵	۳	۱۰	۰/۰۵	۱/۵	پایه

جدول2- مشخصات سوپرآلیاژهای **IN718**، **Mar-M247** و مشخصات مربوط به ابزار جوشکاری[9-12]

خواص صفحه **In718**	مدول یانگ	۲۰۶GPa					
	ضریب پوآسون	۰/۲۹					
	ضریب انبساط حرارتی	۱۶/۹ µm/m °C					
	تنش تسلیم	۸۶۱MPa (at ۲۵°C) ۱۰۳۴MPa(at ۶۵۰°C)					
	دمای ذوب	۱۳۳۶-۱۲۶۰°C					
	تنش نهایی	۱۲۷۵MPa (at ۲۵°C) ۱۰۰۰MPa(at ۶۵۰°C)					
	دما (°C)	۲۵	۲۰۰	۴۰۰	۶۰۰	۸۰۰	۱۰۰۰
	هدایت حرارتی(W/m °C)	۱۱	۱۲	۱۴	۱۶	۱۷/۷	۱۹
	گرمای ویژه(J/kg °C)	۴۳۵	۴۵۵	۴۷۵	۴۸۵	۴۹۵	۵۱۰
	دانسیته(kg/m^3)	۸۱۹۰	۸۰۷۲	۷۹۶۶	۷۸۵۴	۷۷۳۳	۷۵۹۴
خواص صفحه**Mar-M247**	مدول یانگ	۱۹۹GPa					
	ضریب پوآسون	۰/۳					
	ضریب انبساط حرارتی	۱۸/۸۵µm/m °C					
	تنش تسلیم	۷۹۹MPa (at ۲۵°C) ۸۲۷MPa(at ۶۵۰°C)					

2-5- اعمال شرایط مرزی

با توجه به شکل 5 شرایط مرزی به گونه ای انتخاب گردید که قطعات در دو طرف خود کاملاً مقید شده‌اند و همان‌طور که در شکل 6 قابل ملاحظه است به لحاظ جابجایی u_z، نودهای زیرین بسته شدند و در شکل 7 نیز شرایط همرفت سطوح در مدل طراحی شده نشان داده شده است که در تمام سطوح شرایط همرفت 30W/m2 °C به همراه دمای اولیه 25° C لحاظ گردید، اما ضریب آن در سطح پایینی قطعه کار 10 برابر دیگر سطوح (300W/m2 °C) قرار داده شد و از افت دمایی در اثر تابش چشم پوشی گردید.

سپس سه مرحله بارگذاری به صورت جدول 3 اعمال گردید:

ابزار به اندازه بسیار اندکی وارد قطعه کار گردید و شروع به چرخش کرد. مقدار عمق و سرعت چرخش کاملاً وابسته به دمای جوش دارد.

سرعت خطی برابر با $2/7\ m/s^2$در نظر گرفته شد. سپس نوع آنالیز گذار همراه با large deformation و اعمال شرایط مرزی به صورت خطی ramp فرض گردید. مقدار حد بالای Time step به خاطر نوع تحلیلs 0/2 تعیین گردید. در این تحقیق مراحل فوق الذکر یکبار برای اتصال دو سوپرآلیاژ همنام IN718 و بار دیگر برای اتصال سوپرآلیاژ IN718 با سوپرآلیاژ Mar-M247 مورد تحلیل قرار گرفت.

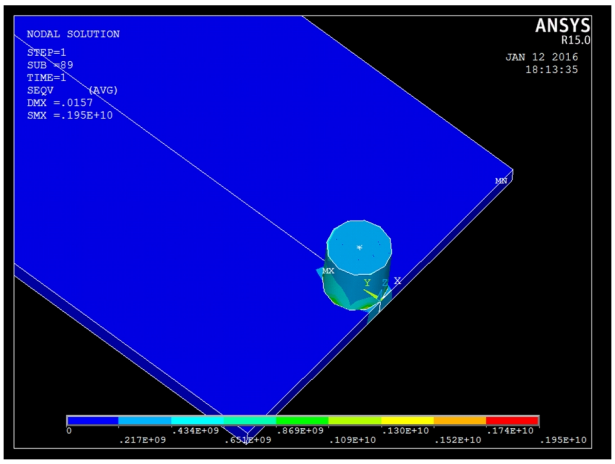
[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-28]

3- نتایج و بحث

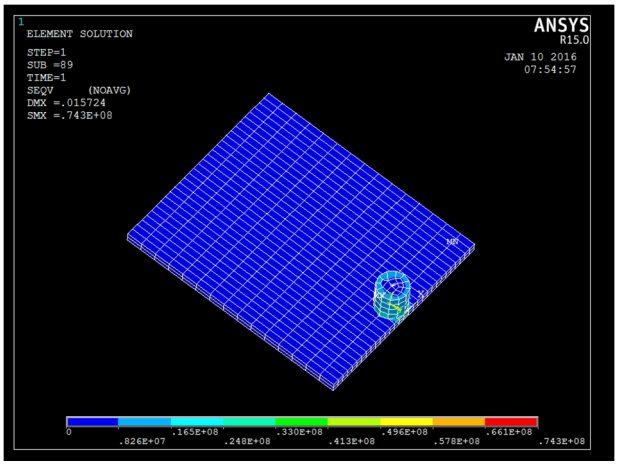
3-1- نتایج میزان تنش در جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی لب به لب سوپرآلیاژها

نتایج حاصل از مدل سازی و تحلیل بشرح زیر می باشد:

در ابتدا نفوذ ابزار به داخل قطعه کار توسط نرم افزار تحلیل گردید. در این مرحله از تحلیل پین ابزار به داخل قطعه به مقدار خیلی ناچیز فرو رفت که باعث تنش فشاری در راستای Z گردید که تنش فون میزز معادل در این مرحله در شکل 8 الف و ب نشان داده شده است.



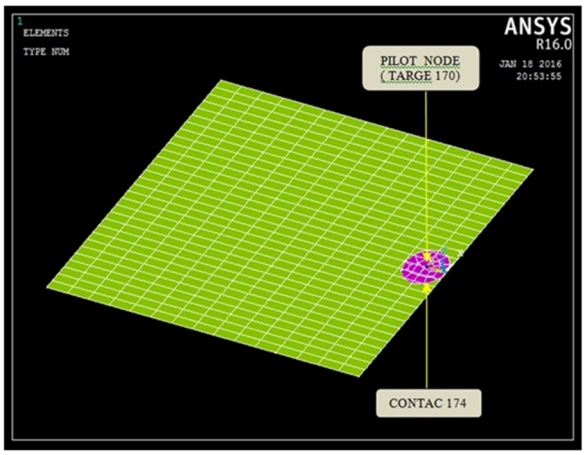
الف



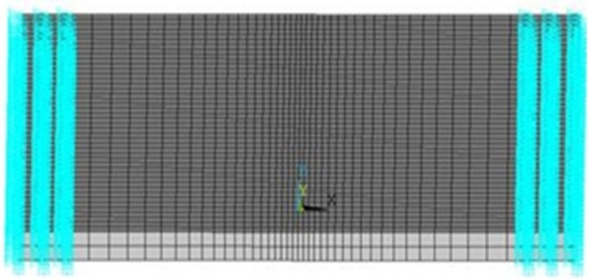
ب

شکل 8- الف) تنش فون میزز اعمالی در انتهای فرو رفتگی ابزار در داخل دو قطعهIN718، ب) تنش فون میزز اعمالی در فرورفتگی ابزار در داخل قطعاتIN718 و Mar-M247.

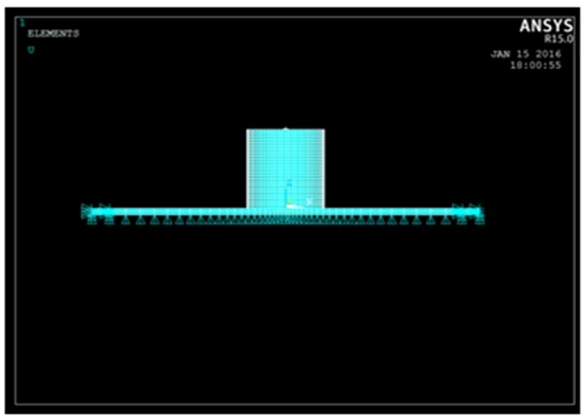
در مرحله دوم چرخش دورانی پین می باشد که این چرخش باعث تنش اصطکاکی بین دو سطح و نهایتا ایجاد دما گردید و در ضمن میزان فرو رفتگی ابزار در همان مرحله اول باقی ماند.



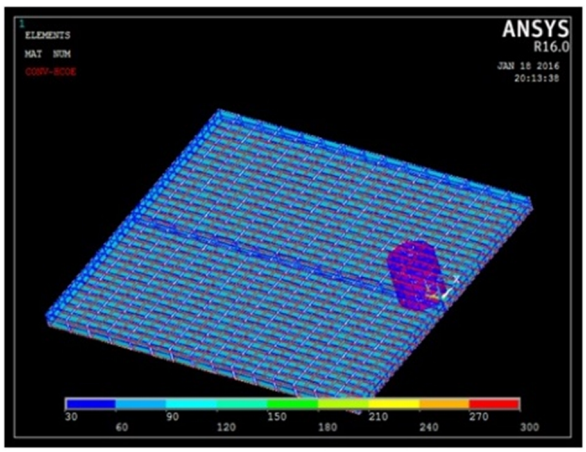
شکل4- تماس پایلوت نود (**targe170**) با ابزار.



شکل5- اعمال قیود همه جانبه در دو طرف.



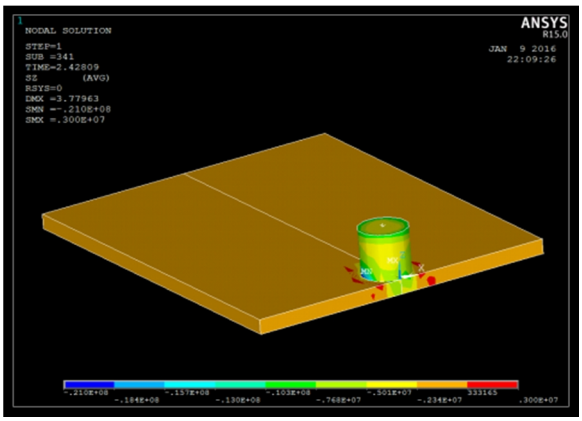
شکل6- قیود صفحه تحتانی در جهت **uz**.



شکل7-شرایط همرفت سطوح در مدل طراحی شده

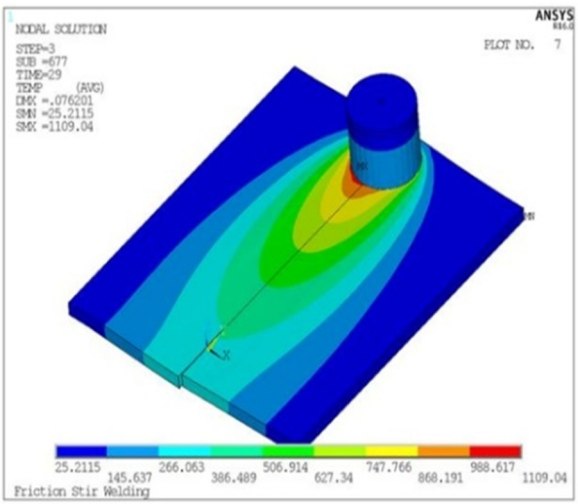
[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-28]

در این حالت تنش اصطکاکی باعث بالا رفتن دمای قطعه کار از 70 تا 90 درصد دمای ذوب آن شد و یک حالت خمیری به قطعه کار داده شد. این حالت باعث جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی لب به لب دو قطعه در ابتدای فرآیند گردید.میزان تغییر شکل در راستای Z ابزار در حین جوشکاری در شکل 9 نشان داده شده است.



شکل9- میزان تغییر شکل در راستای Z ابزار در حین جوشکاری.

در این مرحله بیشترین تنش ایجاد شده به واسطه چرخش پین ابزار به قطعه کار منتقل گردید که باعث تنش اصطکاکی دو سطح شد. در مرحله آخر نیز یک سرعت خطی به پین ابزار داده شد تا به همراه چرخش دورانی در طول درز منطقه مورد نظر حرکت نماید. با پیشروی پین که باعث حالت خمیری قطعه کار گردید، این حالت خمیری در طول جوش ادامه یافت و باعث جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی قطعه کار شد. کانتور دما در انتهای این مرحله در شکل10 نشان داده شده است.



شکل10-کانتور دما در انتهای جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی

3-2- صحه گذاری بر جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی توسط نرم افزار

3-2-1- ضریب تمرکز تنش در اتصال سوپرآلیاژهای همنام Mar-M247 به روش FSW

جهت صحه گذاری بر تحلیل ها، ابتدا جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی لب به لب انجام گرفته بوسیله نرم افزار ANSYS تحت بارگذاری کششی قرار گرفت. برای این منظور قیود و بارگذاری های مربوط به تحلیل جوشکاری اصطکاکی از روی مدل برداشته شد و بارگذاری در راستای عمود بر جوش اعمال شد که نتایج آن در جدول 4 آورده شده است.

در این جدول نتایج جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی دو آلیاژ همنام Mar-M247 با نتایج تجربی استخراجی از تحقیق موری کافمن[14] مقایسه شده است. لازم به ذکر است مقادیر K_t و σ_0از رابطه 2 بدست آمد که در آن σ_0 مقدار تنش اسمی، F مقدار نیروی کششی، مقدار h ضخامت (گلو) جوش و l طول جوش می باشد[15].

$$\sigma_0 = \frac{F}{hl} \qquad (2)$$

با توجه به اعداد جدول 4 می توان دریافت که ضریب تمرکز تنش در اتصال دو سوپرآلیاژهمنام Mar-M247 که به روش جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی به هم متصل شده انددر حدود 1/56 می باشد که این مقدار برای یک سوپرآلیاژ Mar-M247 مطابق با مرجع [8] برابر 1/33 است که افزایش این مقدار با در نظر گرفتن فرآیند جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی بدیهی است و درصد خطای میانگین در این بارگذاری در حدود 15/05% می باشد. درصد خطای موجود نشان می دهد که نتایج تحلیل های نرم افزار تطابق نسبتاً خوبی با نتایج تجربی دارند.

3-2-2- ضریب تمرکز تنش در اتصال سوپرآلیاژهای غیرهمنام IN718وMar-M247 به روش FSW

برای دستیابی به تمرکز تنش در جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی سوپر آلیاژهای غیرهمنام IN718و Mar-M247،دو صفحه

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-28]

جدول3- میزان بارگذاری و پارامترهای چرخش و حرکت ابزار

مراحل بارگذاری	دوره زمانی(sec)	بارگذاری بر روی گره‌ها	شرایط مرزی
۱ نفوذ	۱	جابجایی شرایط مرزی	U_Z = -7.95E-07 m
۲ ایجاد دما	۵/۵	شرایط مرزی چرخشی	ROT_Z = 60 RPM
۳ حرکت طولی با چرخش	۲۲/۵	جابجایی و شرایط مرزی چرخشی مربوط به گره‌ها	U_Y = 60.96E-03 m ROT_Z = 60 RPM

جدول4-نتایج ضریب تمرکز تنش در جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی سوپرآلیاژهای همنام **Mar-M247**

Mar-M247 & Mar-M247	بارگذاری کششی عمود بر راستای جوش				
نیرو(kN)	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰
تنش کششی(Pa)	۲۸/۵ ×۱۰^۶	۵۷/۷ ×۱۰^۶	۸۵/۶ ×۱۰^۶	۱۱۴/۲×۱۰^۶	۱۴۲/۸ ×۱۰^۶
ماکزیمم تنش کششی(Pa)	۴۷/۳۱ ×۱۰^۶	۸۶/۷ ×۱۰^۶	۱۳۴/۳ ×۱۰^۶	۱۸۵×۱۰^۶	۲۱۱×۱۰^۶
ضریب تمرکز تنش	۱/۶۶	۱/۵۰	۱/۵۷	۱/۶۲	۱/۴۸
ضریب تمرکز تنش(مرجع)	۱/۳۳				
خطا(٪)	۱۹/۸	۲۱/۳	۱۵/۳	۱۱/۳	۱۰
میانگین خطا(٪)	۱۵/۵۴				
میانگین ضریب تمرکز تنش	۱/۵۶۶				
خطای میانگین ضریب تمرکزتنش نتایج شبیه سازی و مرجع (٪)	۱۵/۰۷				

جوشکاری شده توسط نرم افزار تحت بارگذاری در راستای X یعنی عمود بر راستای جوش قرار داده شد و مقادیر ماکزیمم تنش نرم افزار در مقطع جوش مطابق جدول 5 بدست آمد.

در نهایت می توان نتیجه گرفت که ضریب تمرکز تنش در اتصال دو سوپرآلیاژIN718 وMar-M247 که به روش جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی به هم متصل شده اند در حدود 1/63 می باشد که همین مقدار برای سوپرآلیاژهای همنام Mar-M247 در حدود 1/56 بدست آمده است.

3-2-3- ضریب تمرکز تنش در اتصال دو سوپرآلیاژ همنام IN718 به روش FSW

نتایج پس از بارگذاری در راستای X یعنی عمود بر راستای جوش به شرح جدول 6 بدست آمد. مشاهده می گردد که ضریب تمرکز تنش در اتصال دوسوپرآلیاژ همنام IN718 که به روش جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی به هم متصل شده اند در حدود 1/52 می باشد. در نتیجه می توان مقایسه نمود که ضریب تمرکز تنش در سوپرآلیاژهای همنام IN718 و همنام Mar-M247 به نسبت پایین تر از سوپرآلیاژهای غیرهمنام IN718 وMar-M247 می باشد. درواقع اختلاف پارامتر شبکه در فصل مشترک اتصال دو آلیاژ IN718 وMar-M247 باعث می گردد که شبکه کریستالی دوفلز در منطقه جوشکاری شده تطابق مناسب را نداشته باشند، درنتیجه باعث افزایش تنش در منطقه جوشکاری می گردد. به عبارتی اختلاف ترکیب شیمیایی در دوآلیاژ باعث افزایش تنش پسماند می گردد.

همچنین در مورد جوشکاری اصطکاکی سوپرآلیاژهای همنام IN718 و همنام Mar-M247 می توان به این نکته اشاره کرد که ضریب تمرکز تنش در Mar-M247 قدری بالاتر از IN718 می باشد که بدلیل اختلاف ناچیز در خواص مکانیکی

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-28]

جدول 5- نتایج ضریب تمرکز تنش در جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی سوپرآلیاژهای غیرهمنام IN718 و Mar-M247

Mar-M247 & IN718	بارگذاری کششی عمود بر راستای جوش				
نیرو(kN)	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰
تنش کششی(Pa)	۲۸/۵ ×۱۰^{۶}	۵۷/۷ ×۱۰^{۶}	۸۵/۶ ×۱۰^{۶}	۱۱۴/۲ ×۱۰^{۶}	۱۴۲/۸ ×۱۰^{۶}
ماکزیمم تنش کششی(Pa)	۴۷/۳۱ ×۱۰^{۶}	۹۳/۴۷ ×۱۰^{۶}	۱۴۵/۵ ×۱۰^{۶}	۱۷۷×۱۰^{۶}	۲۳۵/۶ ×۱۰^{۶}
ضریب تمرکز تنش	۱/۶۶	۱/۶۲	۱/۷۰	۱/۵۵	۱/۶۵
میانگین ضریب تمرکز تنش	۱/۶۳				

جدول6-نتایج ضریب تمرکز تنش در جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی سوپرآلیاژهای همنام IN718

IN718 & IN718	بارگذاری کششی عمود بر راستای جوش				
نیرو(kN)	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰
تنش کششی(Pa)	۲۸/۵ ×۱۰^{۶}	۵۷/۷ ×۱۰^{۶}	۸۵/۶ ×۱۰^{۶}	۱۱۴/۲ ×۱۰^{۶}	۱۴۲/۸ ×۱۰^{۶}
ماکزیمم تنش کششی(Pa)	۴۱/۸ ×۱۰^{۶}	۸۴/۸ ×۱۰^{۶}	۱۲۴/۶ ×۱۰^{۶}	۱۸۱/۵ ×۱۰^{۶}	۲۰۴/۸ ×۱۰^{۶}
ضریب تمرکز تنش	۱/۶۱	۱/۴۷	۱/۵۰	۱/۵۹	۱/۴۳
میانگین ضریب تمرکز تنش	۱/۵۲				

آنهاست که یکی از این اختلافات بالاتر بودن تنش تسلیم و مدول الاستیسیته سوپرآلیاژ IN718 است.

4- نتیجه گیری

نتایج بدست آمده از این پژوهش به شرح زیر می باشد:

• چرخش پین داخل قطعه کار باعث ایجاد تنش اصطکاکی در قطعه کار می شود که این تنش اصطکاکی که در راستایZ در بیشترین مقدار است و باعث افزایش دما در قطعه کار تا حدود 70 تا 90 درصد دمای ذوب ماده شده و یک حالت خمیری به قطعه کار می دهد.

• در جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی بین دو سوپرآلیاژ همنام Mar-M247 و IN718 بدلیل خواص مکانیکی نزدیک به هم تفاوت زیادی مشاهده نگردید.

• ضریب تمرکز تنش در مراجع موجود برای سوپرآلیاژ Mar-M247، 1/33 ارائه شده است که در جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی با نرم افزار در حدود 1/56 بدست آمده است.

• ضریب تمرکز تنش در سوپرآلیاژهای همنام Mar-M247 در حدود 1/56 و سوپرآلیاژهای همنام IN718 در حدود 1/52حاصل شده است که با توجه به خواص مکانیکی تنش تسلیم و مدول الاستیسیته بالاتر سوپرآلیاژ IN718 این مطلب نمایان می شود.

• ضریب تمرکز تنش در سوپرآلیاژهای همنام IN718 و همنام Mar-M247 به نسبت پایینتر از سوپرآلیاژهای غیرهمنام IN718 وMar-M247 و در حدود 1/63 می باشد.

منابع

1- H. Hamatani, Y. Ichiyama, J. Kobayashi, Mechanical and thermal properties of HVOF sprayed Ni based alloys with carbide, Science and Technology of Advanced Materials, 3 (2002) 319-326.

2- F. Yan, G. Wang, C. Wang, X. Hu, Y. Wang, Y. Tan, Z. Chen, S. Li, Microstructures and properties of laser welding joint of super-eutectic ZA alloy, Materials & Design, 43 (2013) 25-30.

3- Y.B. Zhong, C.S. Wu, G.K. Padhy, Effect of ultrasonic vibration on welding load, temperature and material flow in friction stir welding, Journal of Materials Processing Technology, 239 (2017) 273-283.

4- M.-N. Avettand-Fènoël, A. Simar, A review about Friction Stir Welding of metal matrix composites, Materials Characterization, 120 (2016) 1–17.

5- A. Yazdipour, A. Heidarzadeh, Effect of friction stir welding on microstructure and mechanical properties of dissimilar Al 5083-H321 and 316L stainless steel alloy joints, Journal of Alloys and Compounds, 680 (2016) 595-603.

6- Z. Jamili-Shirvan, M. Haddad-Sabzevar, J. Vahdati-Khaki, N. Chen, Q. Shi, K.-F. Yao, Microstructure

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-28]

characterization and mechanical properties of Ti-based bulk metallic glass joints prepared with friction stir spot welding process, Materials & Design, 100 (2016) 120–131.
7- F. Pan, A. Xu, D. Deng, J. Ye, X. Jiang, A. Tang, Y. Ran, Effects of friction stir welding on microstructure and mechanical properties of magnesium alloy Mg-5Al-3Sn, Materials & Design, Volume 110, 15 November 2016, Pages 266-274, 110 (2016) 266-274.
8- M.M. Chauhan, D.S. Sharma, Stress concentration at the corners of polygonal hole in finite plate, Aerospace Science and Technology, 58 (2016) 197-206.
9- CChen, R. Kovacevic, Thermomechanical modelling and force analysis of friction stir welding by the finite element method, J. Mechanical Engineering, 218 (2004) 509-519.
10- R. Baldan, C.A. Nunes, M.J.R. Barboza, A.M.S. Costa, R. Bogado, G.C. Coelho, Tensile properties of MAR-M247 superalloy, in: 11th International Conference Advanced Materials, Brazil, 2009.
11- R. Przeliorz, F. Binczyk, P. Gradoń, M. Góral, T. Mikuszewski, Evaluation of Heat Capacity and Resistanceto Cyclic Oxidation of Nickel Superalloys, Archives of Foundry Engineering, 14 (2014) 67-70.
12- R. Przeliorz, J. Piatkowski, Thermophysical properties of nickel- based cast superalloys," Journal of Metabk, Vol.54,pp.543-564, 2015, Journal of Metabk, 54 (2015) 543-564.
13- A.R. Darvazi, M. Iranmanesh, Prediction of asymmetric transient temperature and longitudinal residual stress in friction stir welding of 304L stainless steel, Materials & Design, 55 (2014) 812–820.
14- M. Kaufman, Properties of cast Mar-M247 for Turbine blisk applications, in, General Electric Company, Lynn, Massachusetts, USA, 1984.
15- J.E. Shigley, Shigley's Mechanical Engineering Design, 9th ed., McGraw-Hill, New York, 2008.

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2026-11-28]