



شبیه سازی جوشکاری زیر پودری تک پاسی با دو الکتروود بوسیله نرم افزار ABAQUS

عباس صیقلی^۱ - دکتر فرشید مالک^۲ - دکتر فریدرضا بیگلری^۳

آدرس : تهران - میدان نوبنیاد-شهرک شهیدچمران-بلوک ۶- طبقه ۲- واحد ۵- تلفن: ۲۵۸۳۵۳۱

Email: abbas_seighali@yahoo.com

چکیده

جوشکاری یکی از روشهای اصلی اتصال است که در کشتی سازی استفاده می شود. تنشهای حرارتی پیچیده‌ای در طی انجام پروسه جوشکاری، به علت اعمال حرارت متمرکز، در قطعات تولید میگردد که پس از انجام عملیات جوشکاری، تنشهای پس ماند و پیچیدگی در سیستم باقی می ماندند. در این مقاله، تکنیک جوشکاری زیر پودری تک پاسی با دو الکتروود روی ورقه های فولادی معمولی به دو روش شبیه سازی شده است. تحقیقات بر روی پیچیدگی و تنشهای گذرا و باقیمانده ناشی از جوشکاری در سازه عرشه کشتی با دیواره نازک متمرکز شده است. این مقاله توسعه یک روش آنالیزی در زمینه تحلیل جوش پذیری را نشان می دهد. تحقیقات بر آنالیز المان محدود متکی است.

۱- کارشناس ارشد مهندسی مواد، دانشگاه تربیت مدرس

۲- استادیار بخش مهندسی مواد، دانشگاه تربیت مدرس

۳- استادیار بخش مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.



کلمات کلیدی: جوشکاری ، شبیه سازی ، تغییرشکل و پیچیدگی .

مقدمه:

کارخانجات کشتی سازی بزرگ ، در تولید پانلهای مسطح بزرگ از روش جوشکاری یک طرفه استفاده می کنند. این روش شامل استفاده از چند منبع حرارتی می باشد. این تکنیک از دستگاههای برگردان پانل استفاده نمی کند . علاوه براین سود حاصله از این روش را به مقدار ۵۰٪ افزایش می دهد. این روش یک منطقه تغییر فرم پلاستیکی با گرمای ورودی بالا تولید می نماید .

روش تحقیق :

در این مقاله، ابتدا مدل سه بعدی کوپل شده متناوب در صفحه XYZ شبیه سازی شده ، سپس برای بدست آوردن نتایج بهتر، از مدل دوم که مقادیر دمایی، تنش و پیچیدگی را بطور همزمان محاسبه می نماید، استفاده کردیم . نتایج دو مدل را با مقدار طبیعی پیچیدگی ناشی از جوشکاری ورق مقایسه کردیم . در مدل اول ، ابتدا تاریخچه حرارتی را محاسبه نموده و سپس با استفاده از داده های بخش حرارتی ، مقدار تنش و پیچیدگی ناشی از جوشکاری را محاسبه نمودیم . اما در مدل دوم مقادیر دمایی، تنش و پیچیدگی را بطور همزمان محاسبه نمودیم . در نمونه جوشکاری لب به لب مورد تحقیق در این مقاله ، صفحه عبوری از خط مرکزی جوش در جهت عمود بر سطح ورق ، متقارن فرض شده است. جدول ۱- پارامترهای اصلی برای شبیه سازی جوشکاری زیرپودری ورق فولادی معمولی بدنه کشتی را نشان می دهد.

مدل اول : شبکه بندی مدل المان محدود سه بعدی کوپل شده متناوب و شرایط مرزی و اولیه بکار رفته : ابعاد مدل در صفحه XYZ ، $500 \times 250 \times 8 \text{ mm}$ می باشد. کوچکترین المانها ، نزدیک جوش قرار گرفته و ابعادشان $10 \times 1 \times 4 \text{ mm}$ می باشد. پهنای المانها با دورشدن از خط المکزین جوش ، افزایش می یابد. در سطوح آزاد المانها ، تبادل حرارتی همرفتی با اطراف بکار برده شده است . در وضعیت سطوح هوا-فلز ضریب انتقال حرارت همرفتی $\alpha_c = 30. \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ می باشد. هر منبع حرارتی به مقدار یک المان از دو المان موجود در جهت ضخامت ، توزیع شده است . شکل ۱، شماتیکی از نوع شبکه بندی و شرایط مرزی بکار رفته در مدل شار حرارتی سه بعدی را نشان می دهند. در مدل سه بعدی جامد ، المانهای DC3D8 ، استفاده شده است.

- دقت مدل ۳D کوپل شده متناوب

- روش ارزیابی: در نمونه آنالیز شارحرارتی ، توزیع ماکزیمم دما در سطح مقطع جوش بعنوان پارامتر اصلی برای آنالیز انتخاب شده است. نتایج آنالیز شارحرارتی مدل المان محدود دو بعدی و سه بعدی در



اشکال ۳ و ۲، نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می گردد توزیع دما در هر دو مدل در جسم یکسان می باشد.

- دقت نتایج بخش مکانیکی مدل سه بعدی کوپل شده متناوب

برای اینکه مطمئن شویم که تغییر تراکم مش در سه جهت طولی، عرضی و ضخامت اثری در دقت نتایج بخش مکانیکی مدل سه بعدی، دارد. مدل با تراکم مش متفاوت در جهت X, Y, Z بررسی شده است. در طول بررسی مدل، این واقعیت بدست آمد که مدل سه بعدی، به تغییر تراکم مش در جهت طولی جوشکاری خیلی حساس می باشد. بنابراین مش ها با گامهایی در جهت X بصورت $h_x = 5, 10, 12.5, 20 \text{ mm}$ استفاده شده است. شکل ۴a، بطور واضح نشان می دهد که توزیع تنش به درشتی مش خیلی حساس نمی باشد. شکل ۴b، نشان می دهد که تراکم مش در جهت طولی ورق، با افزایش از یک حدی باعث ایجاد خطا در نتایج تغییر شکل می گردد. البته تراکم مش طولی در تغییر فرم عرضی ورق تأثیر چندانی ندارد. اما تراکم مش طولی در ایجاد تغییر فرم در جهت ضخامت که در شکل ۴c، نشان داده شده است، خیلی مهم می باشد. این مشکل بخاطر اینکه مدل در جهت X خیلی سفت می باشد، رخ می دهد. بطور مشابه توزیع تنش با تغییر زیاد طول المان تحت تأثیر واقع نمی شود. دقت مش در شکل ۵، نشان داده شده است. نتایج تغییر فرم در جهت ضخامت، پس از ۷۰۰۰ ثانیه از فرآیند جوشکاری (زمانی که تعادل حرارتی در کل ورق پایداری شود) استفاده شده است. مطابق با شکل ۵، خطای مدل با گام طولی ۱۰ میلیمتر در جهت X ($h_x = 10 \text{ mm}$) برابر ۱۵٪ می باشد. گستره خطای نشان داده شده در شکل ۵، از این مقدار تجاوز نمی کند. بنابراین می توانیم مطمئن باشیم که دقت بخش مکانیکی مدل تنش حرارتی از ۸۵٪ کمتر نمی باشد.

- بحث روی نتایج بخش مکانیکی مدل سه بعدی کوپل شده متناوب

۱- میدان تنشی:

روشهای جوشکاری لب به لب موجود می توانند پهنای متفاوتی از منطقه تغییر فرم پلاستیکی در محل اتصال تولید نمایند. تنشها در نواحی دورتر از قوس جوشکاری، کششی هستند و با تنشهای فشاری در نواحی نزدیک به جوش بالانس دارند.

۲- شکل کلی ورق تغییر شکل یافته توسط جوشکاری

تمرکز اصلی این مقاله، تحقیق در روش جوشکاری زیر بودری بکار رفته در صنایع کشتی سازی می باشد. این فرآیند جوشکاری برای جوش لب به لب ورقهای طویل استفاده می شود. بنابراین در نمونه های طویل، کشیدگی طولی یک مشخصه می باشد. ورق در جهت طولی در ابتدا و انتهای جوشکاری خیلی بیشتر از نواحی دورتر از جوش، اعوجاج یافته است. تقریباً همانند هر تغییر شکل جوشکاری، تغییر فرم در جهت ضخامت بوسیله حرارت دادن و سرد کردن غیر یکنواخت در طول جوشکاری ایجاد می شود. تشکیل تدریجی تغییر فرم خارج از صفحه از تشکیل تدریجی تغییر شکل طولی باقیمانده بیشتر می باشد. این موضوع بعلاوه این که تعادل دمایی در جهت ضخامت خیلی سریعتر از جهت عرضی ورق می باشد، رخ می دهد.



مدل دوم: شبکه بندی مدل دما-جابجائی کوپل شده سه بعدی و شرایط مرزی بکار رفته :

در این مدل که برای آنالیز انتقال حرارت گذرا بکار می رود ، دما و تنش بطور همزمان محاسبه می گردد و تغییر فرم های ورق در جهات مختلف بدست می آید . در این مدل ، مشها با استفاده از تکنیک تولد المان بکار رفته اند. کوچکترین المانها در نزدیکی جوش قرار گرفته و ابعادشان $12.5 \times 1 \times 2.67 \text{ mm}$ می باشد . فقط اندازه المانها در ناحیه باگردیان دمایی بالا ، نیاز بوده که کوچک نگه داریم . بمنظور شبیه سازی اضافه کردن الکتروود ذوب شده به منطقه جوش ، المانهای دوباره فعال شده متناظر با منبع حرارتی با دمای اولیه ۲۰۰۰ درجه سانتیگراد انتخاب شده اند . در این مدل از المانهای جابجائی سه گوشه ای با ۲۰ گره و دما (C3D20RT) با پیوستگی کاهش یافته، استفاده شده است . این المانها سه درجه انتقال (U_x, U_y, U_z) دارند .

- دقت مدل دما-جابجائی سه بعدی کوپل شده

- روش ارزیابی : نتایج توزیع ماکزیمم دما در سطح مقطع جوش و توزیع جابجایی در جهت ضخامت ورق مدل المان محدود سه بعدی کوپل شده در اشکال ۶ و ۷، نشان داده شده است . همانطور که مشاهده می گردد توزیع دما در این مدل (مدل دوم) با مدل سه بعدی بطور متوالی کوپل شده در ورق، یکسان نمی باشد.

بحث و بررسی

- دلایلی که می توان برای متفاوت بودن نتایج این نوع مدل با مدل سه بعدی جوشکاری بصورت متوالی کوپل شده، ارائه نمود به شرح زیر است :
- ۱- ممکن است طول المان در جهت X بزرگ در نظر گرفته شده باشد که سفتی بیش از حد المانها باعث ایجاد چنین خطایی گشته باشد ، اما المانهایی با طول کمتر نیز با این نوع مدل آنالیز گردید و تفاوت چندانی مشاهده نگردید .
 - ۲- ممکن است بخاطر شرایط مرزی انتخاب شده باشد ، اما باز هم شرایط مرزی متنوعی اجرا گردید ولی نتیجه مطلوبی بدست نیامد.
 - ۳- شاید بدلیل استفاده نکردن از پارامتر $DFLUX^*$ باشد ، اما این پارامتر نیز امتحان گردید و اثر چندانی در توزیع تنش و حرارت در مدل از خود نشان نداد ، فقط زمان حل مسئله را زیاد کرد .
 - ۴- علت اصلی که برای متفاوت بودن نتایج دو مدل ، می توان ارائه نمود ، استفاده از تکنیک تولد المان در مدل دوم می باشد که یکسری مشکلاتی را در آنالیز تنشی- حرارتی ایجاد می کند . این مشکل باعث ایجاد جابجائی بزرگی در فرآیند حرارتی می شود . برای دست یافتن به اثر مرگ المان ، ABAQUS بطور واقعی المانی را بر نمی دارد بلکه در واقع آنها را با تغییر خواص شان غیر فعال می کند. البته راههای دیگری برای افزایش سفتی منطقه برداشت شده با کاهش فاکتور نه برابر با صفر قرار دادن آن وجود دارد. محاسبات در محیط ANSYS بدین گونه می باشد .



نتیجه گیری

در این مقاله ، روش آنالیز سه بعدی تنش- حرارتی کوپل شده متناوب و روش آنالیز دما- جابجایی کوپل شده سه بعدی، برای فرآیند جوشکاری زیر بودری توضیح داده شده است. بر پایه مطالب این مقاله ، نتایج زیر را می توان بدست آورد :

۱- تکنیک تولد المان در بخش مکانیکی مدل آنالیز تنش- حرارتی کوپل شده متناوب ، یکسری مشکلاتی را ایجاد می نماید. این مسائل بوسیله جابجایی بزرگ منتج شده از فرآیند حرارتی بوجود می آیند و غیر ممکن است المانهای تازه متولد دوباره فعال شده در موقعیت قبلی خود قرار داشته باشند .

۲- درباره دقت مدل ، ما نیاز داریم ابتدا تعیین کنیم چه چیزی مد نظر ما می باشد . اگر مسئله اصلی به توزیع تنش (همچون مسائل خوردگی ، شکست ترد و استحکام خستگی) وابسته باشد از مش های نسبتاً درشت می توان استفاده نمود. ولی مسائلی که به فرآیند تغییر فرم در جوشکاری مربوط می شوند بهتر است از مش ریز استفاده گردد .

۳- با انواع مختلف مش ، می توان نشان داد که مقدار دقیق تغییر فرم در جهت ضخامت کمتر از مقدار اصلی بدست می آید . بعبارت دیگر مش درشت خیلی سفت بوده و اجازه نمی دهد که سازه در برابر بارحرارتی اعمالی ، پاسخ خوبی ارائه دهد .

۴- با توجه به نتایج بدست آمده از مقایسه چندین مش و نتایج تجربی، دقت مدل تنش- حرارتی کوپل شده متوالی بیش از ۸۵٪ می باشد .

۵- در ابتدای جوشکاری فقط موقعی که ورق ها دربالا و پائین بخوبی گرم شده باشند، تغییر فرم کمانشی بطور چشمگیری افزایش می یابد . بعبارت دیگر ، بمنظور توسعه تشکیل تغییر فرم کمانشی ، یک ناحیه نرم شده فلز بایستی در امتداد خط مرکزی سطح مقطع وجود داشته باشد .

مراجع :

۱- James R. Dydo , Harvey R. Castner, Kyle Koppenhoefer , " Guidelines for Control of Distortion in Thin Ship Structures ", EWI Project No. ۴۲۳۷۲GDE , Navy Joining Center , Columbus , Ohio, November ۲, ۱۹۹۹.

۲- "Abaqus tutorial ", Division of Engineering Brown University , EN ۱۷۵: Advanced, <http://www.engin.brown.edu/courses/En175/Abaquistut/abaquistut.htm> [۱۰/۵/۲۰۰۱].

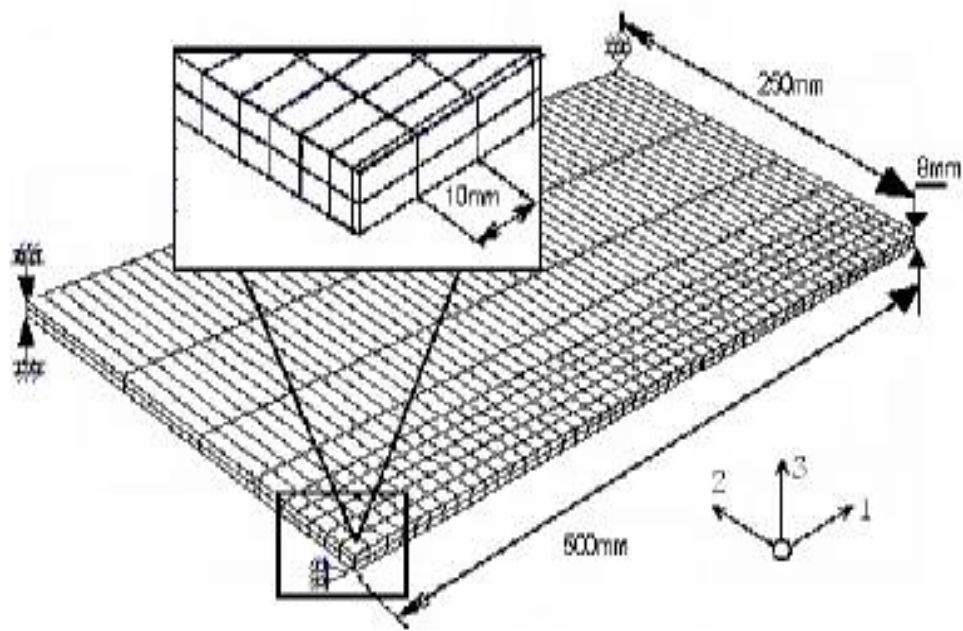
۳- P. Michaleris , J. Dantzing and D. Tortorelli, "Minimization of welding residual stress and distortion in large structures " .

۵- عباس صیقلی ، پایان نامه کارشناسی ارشد ، دانشگاه تربیت مدرس ، ۱۳۸۳ .

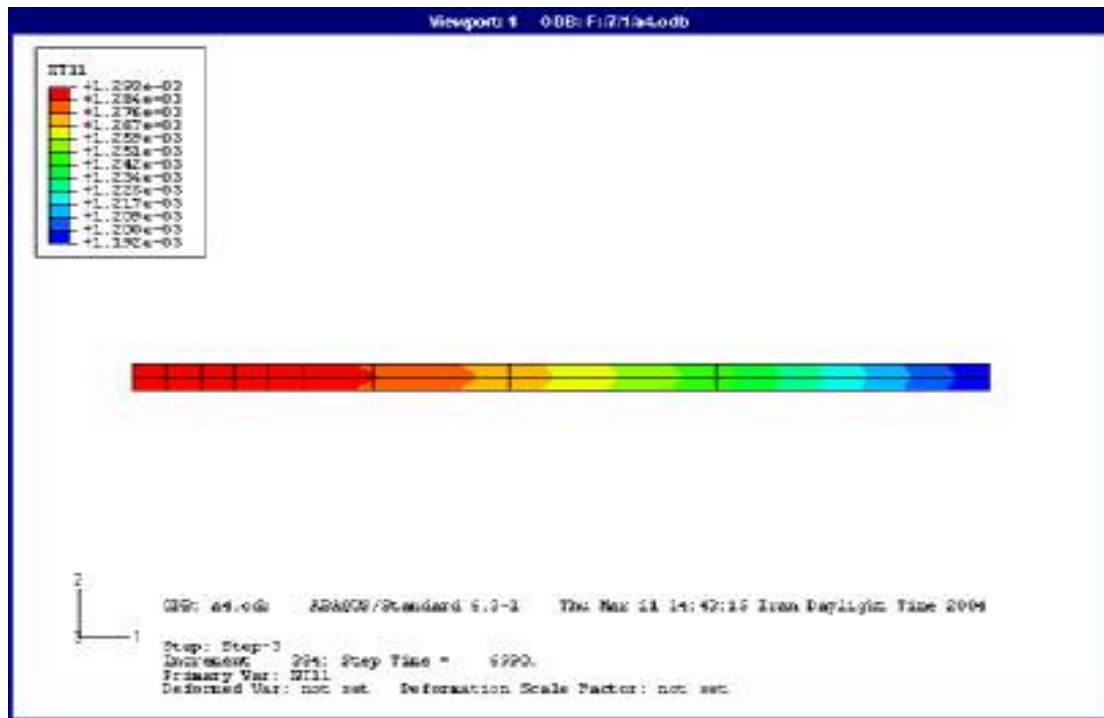


جدول ۱- پارامترهای اصلی برای شبیه سازی جوشکاری زیر پودری ورق فولادی معمولی بدنه کشتی [۴].

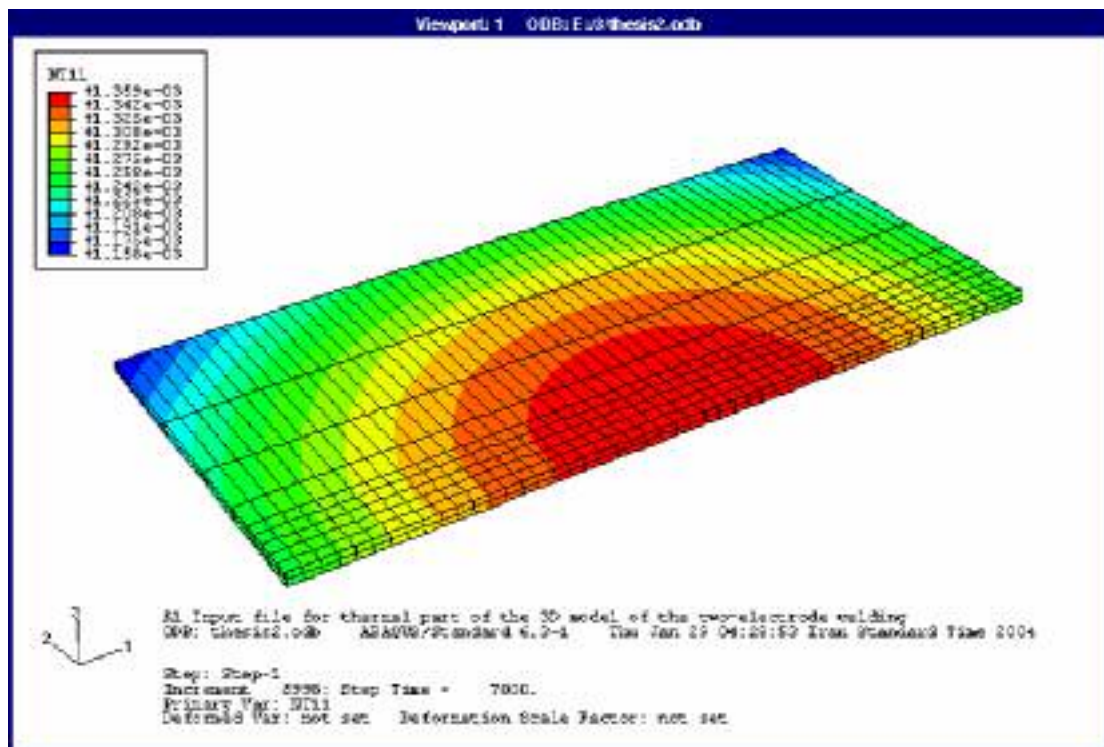
Plate thickness	h	8mm
Process		2 -electrodes SAW
Welding speed	v	10mm/s
Gap between plates		2mm
Current, leading electrode (DC+)	I_1	$I_1= 900A$
Current, 2 nd electrode (AC)	I_2	$I_2= 600A$
Voltage, leading electrode	U_1	$U_1= 35V$
Voltage, 2 nd electrode	U_2	$U_2= 40V$
Electrodes diameter	d_{el}	4mm
Distance between leading and 2 nd electrode	l_1	100mm



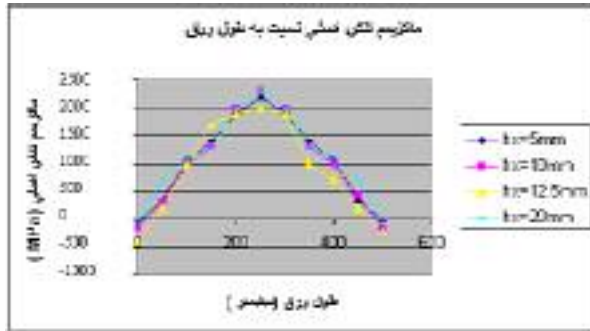
شکل ۱- شماتیکی از شرایط مرزی بکاررفته و مش بندی آنالیز
المان محدود برای شبیه سازی جوشکاری سه بعدی [۴].



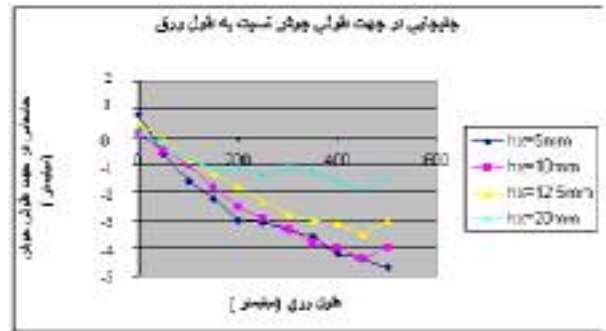
شکل ۲- نتایج توزیع دمای ماکزیمم در مدل دوبعدی کوپل شده متناوب (مدل اول) [۴].



شکل ۳- نتایج آنالیز شارحرارتی برای مدل سه بعدی کوپل شده متناوب (مدل اول) [۴].



a)

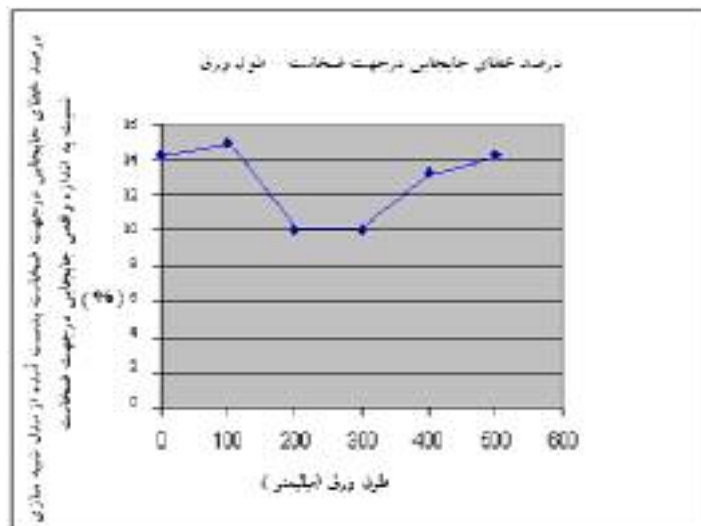


b)

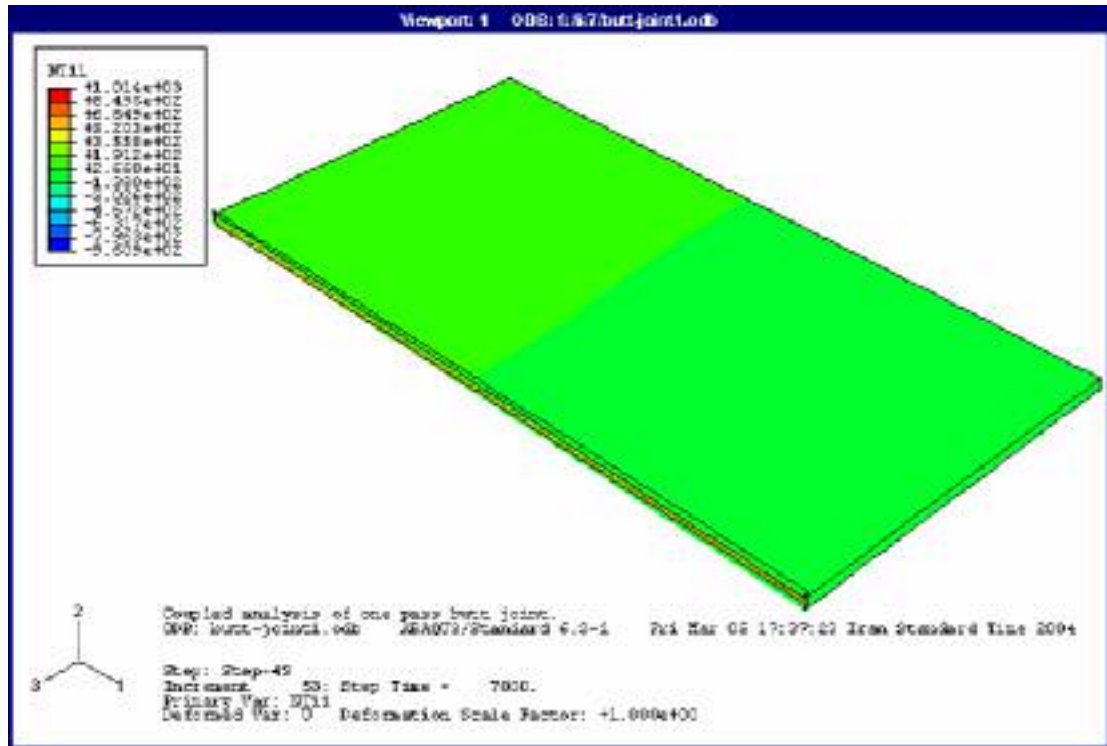


c)

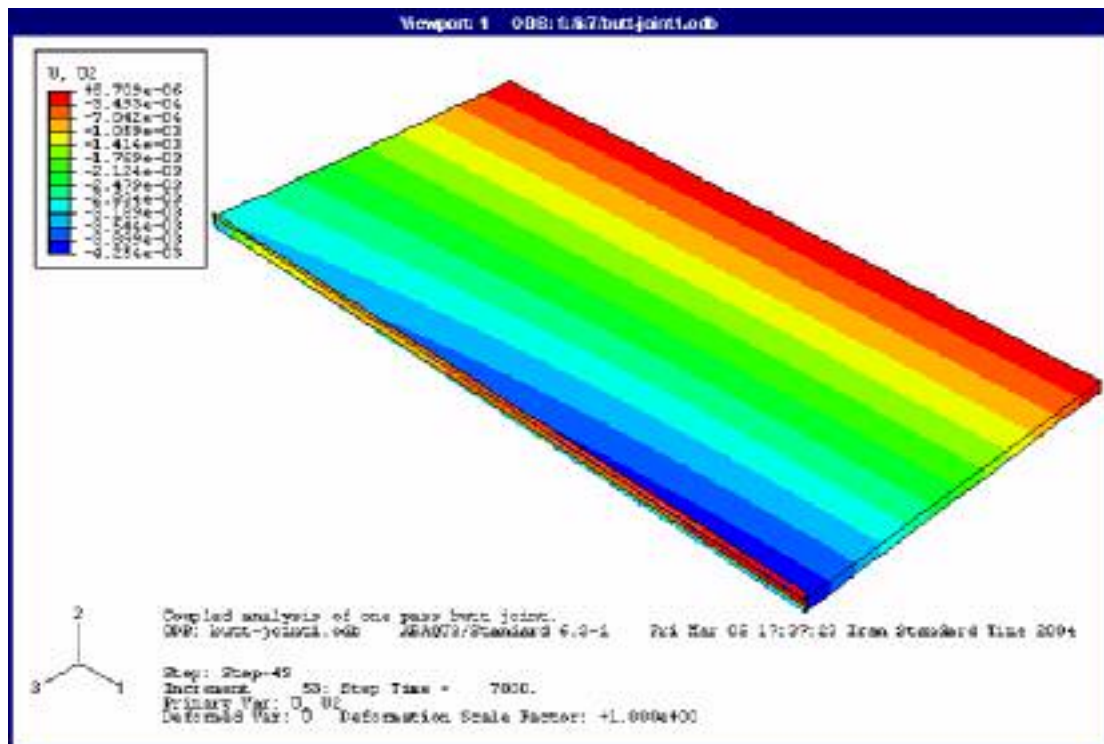
شکل ۴- توزیع تنش ماکزیمم ، جابجایی طولی و جابجایی در جهت ضخامت در مدل ۳D با اندازه المان $h_x = 5,10,12.5,20mm$ در جهت طولی جوش (مدل اول) [۴].



شکل ۵- درصد خطا مش با $h_x = 10mm$ نسبت به نتایج واقعی (مربوط به جابجایی در جهت ضخامت ورق در مدل اول) [۴].



شکل ۶- نتایج توزیع ماکزیمم دما در مدل دما-جابجائی ۳D کوپل شده (مدل دوم) [۴].



شکل ۷- نتایج توزیع جابجایی در جهت ضخامت در مدل دما-جابجائی ۳D کوپل شده (مدل دوم) [۴].