موضوع گزارش:

ارائه طرح و نقشه ساختی لوله ریفرمر با سایز ۱۱ اینچ و بررسی سازه ریفرمر جهت افزایش ظرفیت

نوع گزارش:

گزارش فنی و مهندسی

شماره بازنگری:	تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۷/۱۰

شماره قرارداد / دستورکار مرتبط: **۴۸۵۵۲۶۲۴**	شرح قرارداد/دستورکار مرتبط: گزارش فنی و مهندسی

شماره مدرک شرکت مهندسی فولاد مبارکه	Rev	
	0	
شماره مدرک کارفرما		

آدرس : اصفهان، خیابان شریعتی غربی، کوچه شرف الدین(۱۶)، کوچه ورپشتی غربی، پلاک ۴۶، کد پستی: ۸۱۷۳۹۴۶۷۴۲

www.mse.ir info@mse.ir

تلفن: ۱۲-۳۶۲۵۷۰۱۱ (۰۳۱) - فاکس: ۳۶۷۰۱۷۲۸ (۰۳۱)

شرکت مهندسی فولاد مبارکه **M.S.E.**		تاریخ	نام و نام خانوادگی	
		۱۴۰۲/۰۷/۱۰	فرزاد مویدیان	تهیه کننده
MSE DOC No.	REV.	۱۴۰۲/۰۷/۱۰		کنترل کننده
	0	۱۴۰۲/۰۷/۱۰		تایید/ تصویب کننده

جدول تغییرات

شماره بازنگری	صفحات اصلاحی	تاریخ	شرح تغییرات

فهرست مطالب

۱- مقدمه ۲

۲- شبیه سازی در نرم افزار آباکوس ۲۰۲۳ ..... ۶

۳- نتیجه گیری ۱۶

۱- مقدمه

لوله های ریفرمر

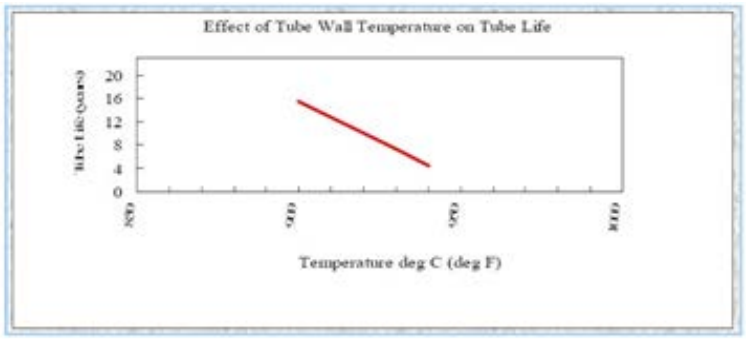
امروزه لوله های ریخته گری شده مقاوم در دمای بالا در بسیاری از صنایع مختلف مورد استفاده قرار می گیرند و یکی از عمده ترین شاخه های استفاده آنها در صنایع فولاد، پتروشیمی و شیمیایی به عنوان لوله های ریفرمر می باشد. لوله های ریفرمر یکی از مهمترین اجزا در ریفرمر می باشند که در قیاس با سایر قسمت ها تعویض آن سخت و هزینه بر می باشد. بنابراین تلاش در جهت ارتقای خواص و طول عمر این لوله ها در شرایط سرویس تا به امروز نیز ادامه دارد.

مکانیزم از بین رفتن تیوب ها

عوامل از بین رفتن تیوبها شامل:

- Creep
- Thermal shock
- Longitudinal Stress
- Stress corrosion cracking
- High TWT (Tube Wall Temperature)

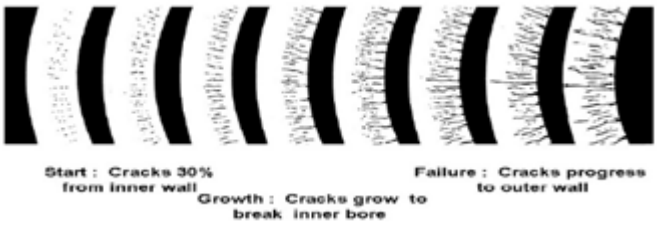
می باشد که این عامل آخر نقش مهمی را در این میان ایفا می نماید. افزایش دمای جداره لوله مطابق نمودار ۱ در ذیل باعث کاهش عمر تیوب ها می شود و در بعضی موارد افزایش ۲۰ درجه سانتیگراد دمای پوسته، عمر تیوب را به نصف کاهش می دهد:



شکل (۱) نسبت عمر تیوب های ریفرمر با افزایش دمای پوسته

شرایط عملیاتی تیوب های پرایمری ریفرمر به گونه ای است که در دمای بسیار بالای کوره ریفرمر و استرس زیادی

که در اثر اختلاف فشار بالای مابین گاز فرآیند داخل تیوب و فلوگاز کم فشار بیرون تیوب به آنها اعمال می شود کار می کنند. درجه حرارت بالای کوره متریال فولادی تیوبهای کاتالیستی را مستعد خوردگی بین دانه ای می کند. خوردگی بین دانه ای در اثر تخلیه شدن نواحی مجاور مرز دانه ها نسبت به کروم بوجود می آید و باعث کم شدن مقاومت خوردگی مرزدانه ها می شود. نواحی تخلیه شده از کروم به سرعت خورده خواهند شد و دانه ها را محافظت می کنند. با افزایش و تجمع نقاط خورده شده در فاصله ۳۰ تا ۴۰ درصدی جداره داخلی تیوب اولین ترک های میکروسکوپی در دیواره تیوب بوجود می آیند. ترک های میکروسکوپی نیز با تجمع به سمت جداره بیرونی تیوب حرکت کرده و باعث ظهور ناگهانی و راپچر کردن تیوب می شوند. این نوع خوردگی اصطلاحا " به خوردگی خزنده (Creep Damage) موسوم است. شکل ۲ پیشرفت خوردگی خزنده را در جداره یک تیوب ریفرمر نشان می دهد.



شکل (۲) مراحل پیشرفت خوردگی خزشی در جداره یک تیوب

تنش های وارده بر ریفرمر تیوب

شکل (۳) عوامل افزایش دمای پوسته تیوب ها

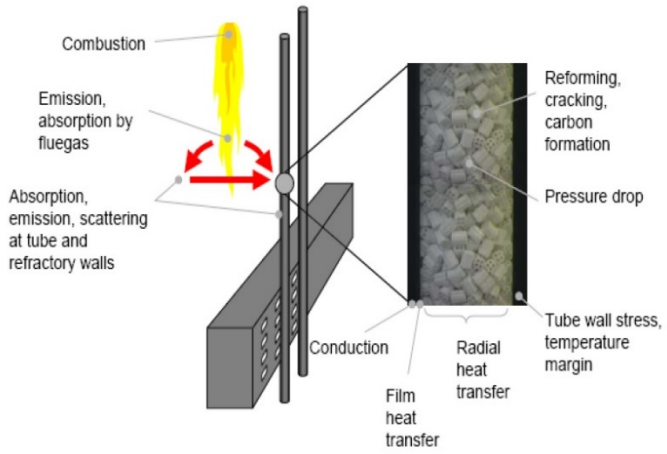
لوله های ریفورمر تیوب باید برای مدت طولانی در شرایطی مخرب کار کنند. بنابراین کیفیت مواد مورد استفاده در ساخت ریفورمر تیوب بسیار مهم است. لوله های ریفرمر تیوب عوامل تنشی زیادی قرار می گیرند:

۱- تنش محیطی ناشی از فشار گاز در داخل کوره،

۲- تنش محوری ناشی از فشار گاز خارجی و وزن،

۳- تنش هدایت حرارتی باعث گرادیان دمای دیواره لوله می شود. این تنش عمدتاً روی سطح داخلی تیوب اعمال می شودکه شامل تنش محیطی و شعاعی است.

عوامل متعددی نظیر پدیده خزش، شوک های حرارتی، کربوره شدن و ... می توانند عمر مفید این لوله ها را کاهش دهند. خزش در نتیجه بالا رفتن دمای کاری و تنش رخ می‌دهد. **شرایط ایجاد خزش همواره در ریفرمر تیوب ها برقرار است و به همین دلیل خزش عامل اصلی تعیین طول عمر ریفرمرها است.** علاوه بر تنش ناشی از فشار بالا، تنش های حرارتی شدید هنگام شروع به کار کارخانه، خاموشی ها و وقفه های ناگهانی در حال اعمال است.



شکل (۴) انواع توزیع انتقال حرارت در ریفرمر

شماتیکی از کوره ریفرمر با برنرهای سقفی آمده است. حرارت ناشی از احتراق سوخت در مشعل ها از طریق هدایت (Conduction) جداره لوله به کاتالیست؛ تابش (Radiation) در محفظه کوره؛ جابجایی (Convection) گازهای سوخته و واکنش گرماگیر انتقال می یابد. اختلال در نحوه عملکرد هر یک از این سه نوع پدیده انتقال حرارت در نهایت منجر به افزایش دمای پوسته تیوب و از بین رفتن آن می شود.

در رابطه با انجام شبیه سازی پروژه "ارائه طرح و نقشه ساختی لوله ریفرمر با سایز ۱۱ اینچ و بررسی سازه ریفرمر جهت افزایش ظرفیت" با توجه به مسائل بیان شده در بالا، جنس بسیار خاص آلیاژ، خصوصیات مکانیکی وابسته دما

(دمای بسیار بالا)؛ بارگذاری مکانیکی و حرارتی در دمای خیلی بالا رخ می دهد و همچنین توزیع انتقال حرارت شامل جابه جایی، همرفت و تشعشع در این مساله بسیار پیچیده است.

برای شبیه سازی این پروژه موارد زیر باید در نظر گرفته شود:

- داشتن ضرایب انتقال حرارت جابه جایی (Conduction) در دماهای مختلف،
- ضرایب گرمای ویژه (Specific Heat) در دماهای مختلف،
- ضرایب انتقال حرارت همرفت (Convection) در دماهای مختلف،
- ضرایب انتقال حرارت تشعشی (Radiation) در دماهای مختلف،
- ضرایب انبساط حرارتی، چگالی ها، مدول های یانگ، نسبت های پوآسون، تنش های تسلیم و کرنش های پلاستیک در دماهای مختلف،
- پارامترهای مرتبط با خزش در دماهای مختلف،
- نوع بارگذاری حرارتی به صورت تعیین دما و شار حرارتی،

** شار حرارتی وارد شده به قسمت های نسوز نیز بایستی به عنوان ورودی در نظر گرفته شود،

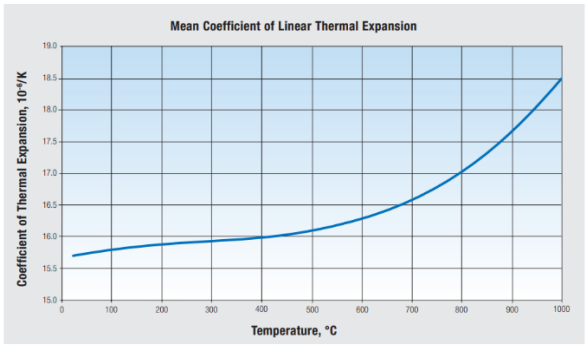
- فشار داخلی لوله متفاوت است که این تغییر فشار بایستی در جداره داخلی لوله در نظر گرفته شود،
- اثر تماسی بین گاز داخل لوله و جداره داخلی لوله (Interaction).

با توجه به تغییرات خصوصیات مکانیکی و حرارتی در دماهای مختلف و بالا بودن دمای عملیاتی به نظر می رسد حل این مساله یکی از دشوارترین مسئله ها در شبیه سازی با نرم افزار است و برای شبیه سازی دقیق نیاز به زمان مطلوب و تخصص های زیر می باشد:

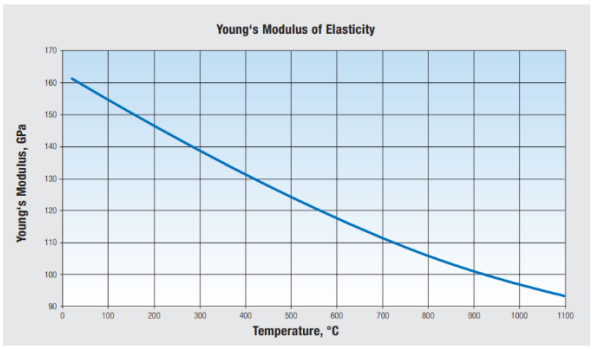
۱- مهندس متالوژی (جهت مشخص شدن خصوصیات دقیق مکانیکی)، ۲- مهندس مکانیک سیالات (جهت شبیه سازی توزیع انتقال حرارت) و ۳- مهندس مکانیک جامدات (جهت شبیه سازی تغییر شکل ها بر اساس بارهای مکانیکی).

۲- شبیه سازی در نرم افزار آباکوس ۲۰۲۳

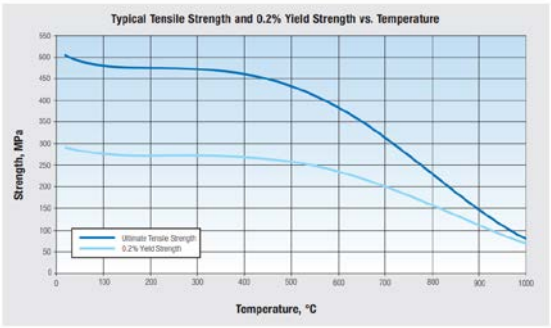
مهمترین موضوع در شبیه سازی دادن مشخصات مکانیکی و حرارتی در آباکوس است. این خصوصیات از نمودارهای شکل (۵) تا شکل (۸) نقطه یابی شده اند. شکل (۵) تغییرات ضریب انتقال حرارت انبساطی بر حسب دما، شکل (۶) تغییرات مدول یانگ بر حسب دما، شکل (۷) تغییرات تنش تسلیم و تنش نهایی بر حسب دما و در نهایت شکل (۸) تغییرات درصد ازدیاد طول (میزان افزایش طول به طول اولیه در نقطه شکست) را نشان می دهند.



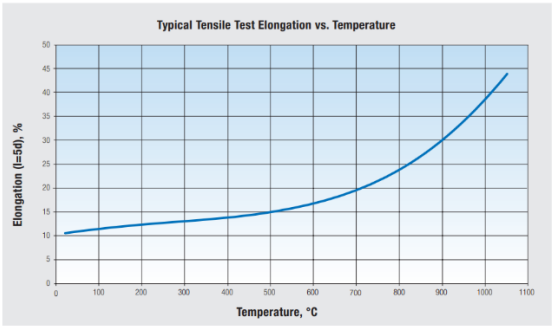
شکل (۵) ضریب انتقال حرارت انبساطی بر حسب دما



شکل (۶) مدول یانگ بر حسب دما



شکل (۷) تنش تسلیم و استحکام نهایی بر حسب دما



شکل (۸) درصد ازدیاد طول بر حسب دما

ضریب انتقال حرارتی $14\ W/mK$ و چگالی ریفورمر $8000\ Kg/m^3$ در دمای ۲۰ درجه اعلام شده است. جرم کاتالیزورهای درون ریفورمر با ضریب اطمینان $650\ Kg$ توسط کارفرمای محترم اعلام شده است.

این ورودی ها در نرم افزار آباکوس در ماژول Property وارد شده اند. در قسمت رفتار الاستیک با توجه به اینکه مقادیر تغییرات نسبت پوآسون بر حسب دما موجود نبود این نسبت مقدار ثابت ۰/۳ فرض شده و بقیه داده ها در نرم

افزار به عنوان ورودی در نظر گرفته شده اند، جدول (۱) تا (۴).

در جدول (۱) مدول یانگ در دماهای مختلف در نرم افزار وارد شده است. حال آن که مقدار نسبت پوآسون ثابت در نظر گرفته شده است.

جدول (۱) مدول یانگ، نسبت پوآسون و دما

Young's Modulus (GPa)	Poisson's Ratio	Temp
۱۶۱	۰/۳	۲۰
۱۵۹	۰/۳	۵۰
۱۵۵	۰/۳	۱۰۰
۱۵۰	۰/۳	۱۵۰
۱۴۷	۰/۳	۲۰۰
۱۴۲	۰/۳	۲۵۰
۱۳۸	۰/۳	۳۰۰
۱۳۵	۰/۳	۳۵۰
۱۳۱	۰/۳	۴۰۰
۱۲۸	۰/۳	۴۵۰
۱۲۴	۰/۳	۵۰۰
۱۲۱	۰/۳	۵۵۰
۱۱۸	۰/۳	۶۰۰
۱۱۴	۰/۳	۶۷۰
۱۱۲	۰/۳	۷۰۰
۱۰۸	۰/۳	۷۵۰

۸۰۰	۰/۳	۱۰۶
۸۵۰	۰/۳	۱۰۳
۹۰۰	۰/۳	۱۰۱
۹۵۰	۰/۳	۹۸/۹
۱۰۰۰	۰/۳	۹۸/۶

در جدول (۲) ضریب انبساط حرارتی به صورت زیر بر حسب دما داده شده است:

جدول (۲) ضریب انبساط حرارتی و دما

Temp	Exp. Coefficient $\times 10^{-5}$
۲۰	۱/۵۷
۵۰	۱/۵۷
۱۰۰	۱/۵۸
۱۵۰	۱/۵۸
۲۰۰	۱/۵۹
۲۵۰	۱/۵۹
۳۰۰	۱/۵۹
۳۵۰	۱/۶
۴۰۰	۱/۶
۴۵۰	۱/۶
۵۰۰	۱/۶۱

۵۵۰	۱/۶۲
۶۰۰	۱/۶۳
۶۷۰	۱/۶۴
۷۰۰	۱/۶۶
۷۵۰	۱/۶۸
۸۰۰	۱/۷
۸۵۰	۱/۷۳
۹۰۰	۱/۷۷
۹۵۰	۱/۸۱
۱۰۰۰	۱/۸۵

در جدول (۳) رفتار پلاستیک در دماهای مختلف در نظر گرفته شده است.

جدول (۳) تنش تسلیم، کرنش پلاستیک و دما

Temp	Plastic Strain $\times 10^{-1}$	Yield Stress (Mpa)
۲۰	۰	۲۹۱
۲۰	۰/۹۷۶	۵۰۶
۵۰	۰	۲۸۴
۵۰	۱/۰۲	۴۹۰
۱۰۰	۰	۲۷۷
۱۰۰	۱/۰۵	۴۸۰
۱۵۰	۰	۲۷۳

۱۵۰	۱/۰۹	۴۷۶
۲۰۰	۰	۲۷۲
۲۰۰	۱/۱۳	۴۷۴
۲۵۰	۰	۲۷۳
۲۵۰	۱/۱۷	۴۷۳
۳۰۰	۰	۲۷۲
۳۰۰	۱/۲۰	۴۷۱
۳۵۰	۰	۲۷۲
۳۵۰	۱/۲۳	۴۶۸
۴۰۰	۰	۲۶۹
۴۰۰	۱/۲۷	۴۶۱
۴۵۰	۰	۲۶۴
۴۵۰	۱/۳۱	۴۴۹
۵۰۰	۰	۲۵۸
۵۰۰	۱/۳۶	۴۳۲
۵۵۰	۰	۲۴۹
۵۵۰	۱/۴۳	۴۱۱
۶۰۰	۰	۲۳۶
۶۰۰	۱/۵۲	۳۸۳
۶۵۰	۰	۲۲۱
۶۵۰	۱/۶۳	۳۵۲

۷۰۰	۰	۲۰۰
۷۰۰	۱/۷۷	۳۱۳
۷۵۰	۰	۱۷۹
۷۵۰	۱/۹۳	۲۷۲
۸۰۰	۰	۱۵۸
۸۰۰	۲/۱۲	۲۳۰
۸۵۰	۰	۱۳۵
۸۵۰	۲/۳۵	۱۸۶
۹۰۰	۰	۱۱۱
۹۰۰	۲/۶۲	۱۴۷
۹۵۰	۰	۸۸/۶
۹۵۰	۲/۹۲	۱۱۰
۱۰۰۰	۰	۷۰/۵
۱۰۰۰	۳/۲۷	۸۰/۶

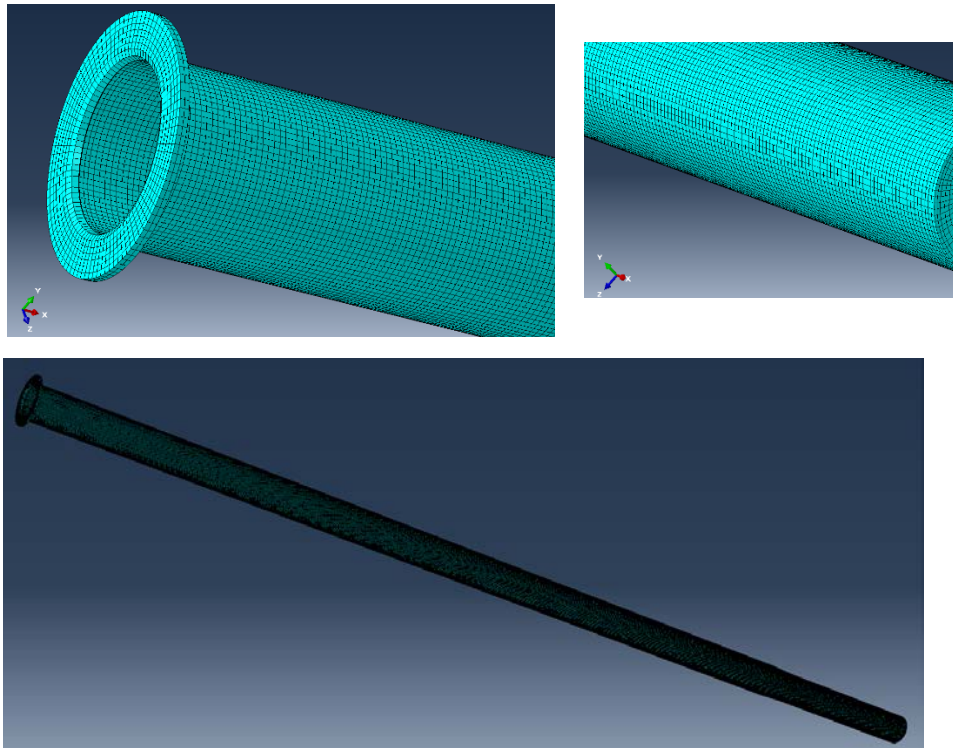
با توجه به اینکه در داده ها درصد ازدیاد طول داده شده است در حالیکه ورودی آباکوس کرنش پلاستیک است، کرنش پلاستیک در نقطه نهایی به میزان نصف درصد ازدیاد طول در آباکوس به عنوان ورودی در نظر گرفته شده است.

جرم ریفورمر و کاتالیزور مطابق جدول (۴) در محاسبات فرض شده است.

جدول (۴) جرم کاتالیزور و ریفورمر

جرم کاتالیزور	جرم ریفورمر
۶۵۰ کیلوگرم	۱۰۰۰ کیلوگرم

هندسه تیوب ریفرمر در ابعاد متریک توسط جناب آقای مهندسی حاتمی به عنوان خروجی نرم افزار اینونتور تحویل اینجانب داده شد که پس از پارتیشن زدن های فراوان جهت رسیدن به مش مطلوب در آباکوس، شبکه بندی نهایی در شکل (۹) قابل مشاهده است.

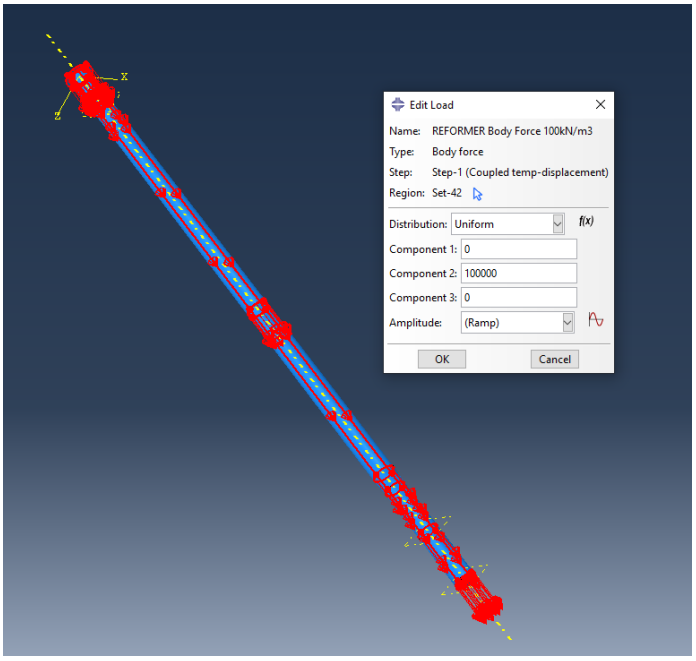


شکل (۹) شکل مش زده شده

در ماژول Step از حلگر Coupled temp-displacement استفاده شده و انتقال حرارت به صورت Steady State فرض شده است علاوه بر این فرض هندسه غیرخطی نیز در مساله در نظر گرفته شده است. سپس در ماژول Load بارها به شرح زیر وارد شده اند:

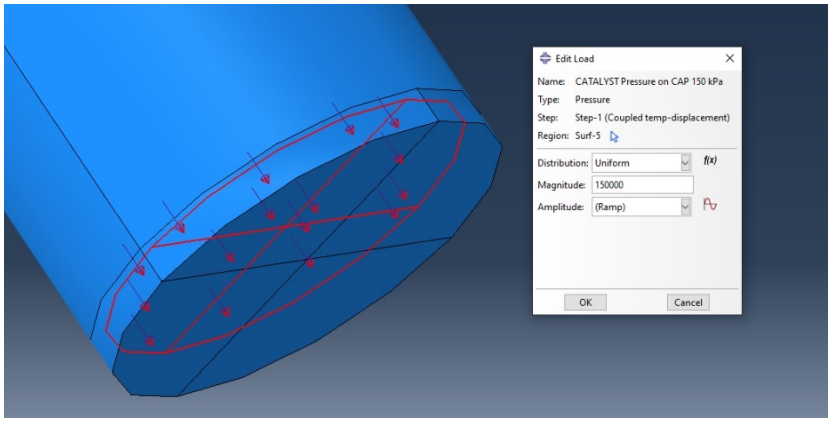
۱- شرایط بارگذاری

۱- در نظر گرفتن وزن سازه با استفاده از دادن مقدار وزن در واحد حجم در زیربرگ Body Force. مقدار نیروی حجمی با تقسیم نیروی وزن ریفورمر بر حجم ریفورمر و در نظر گرفتن ضریب اطمینان مقدار ۱۰۰ کیلونیوتن بر متر مکعب وارد شده است، شکل (۱۰).



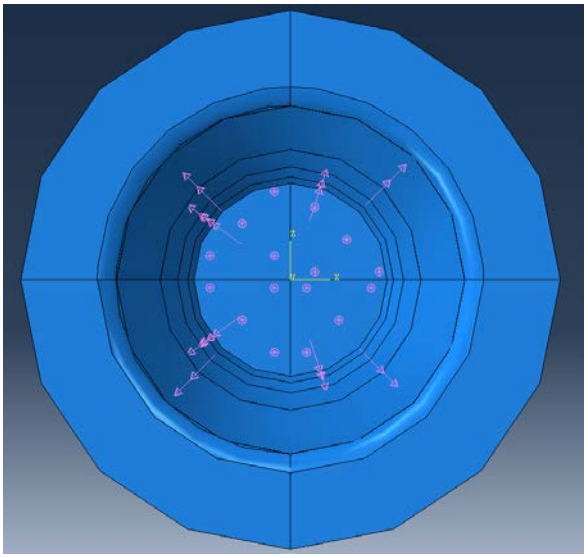
شکل (۱۰) در نظر گرفتن نیروی حجمی در آباکوس

۲- در نظر گرفتن وزن کاتالیزورها، با توجه به اینکه کاتالیزورها روی درپوش قرار گرفته اند وزن آن ها تقسیم بر مساحت درپوش با ضریب اطمینان معادل فشار ۱۵۰ کیلو پاسکالی مانند شکل (۱۱) در نظر گرفته شده است:



شکل (۱۱) در نظر گرفتن وزن کاتالیزورها به صورت نیروی فشاری در آباکوس

۳- فشار داخلی تیوب معادل ماکزیمم فشار و برابر با ۲۰۰ کیلوپاسکال در شکل (۱۲) می باشد.

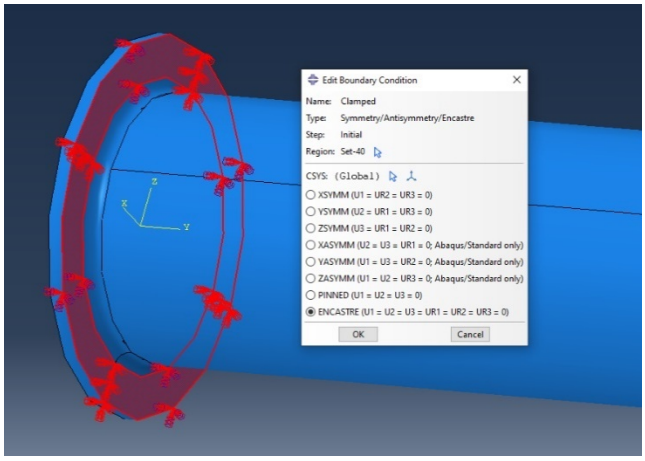


شکل (۱۲) اعمال فشار ۲۰۰ کیلوپاسکالی درون لوله

اکنون بارگذاری مکانیکی روی مساله تمام شد و در ادامه به بررسی شرایط مرزی حرارتی و مکانیکی خواهیم پرداخت.

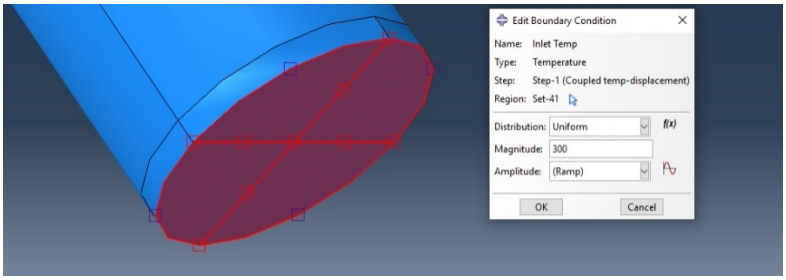
۲- شرایط مرزی

۱- سطح زیرین فلنج که روی تکیهگاه قرار دارد، گیردار شده است، شکل (۱۳):



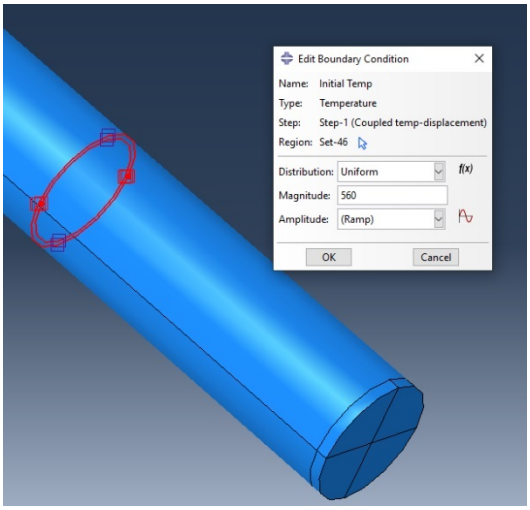
شکل (۱۳) گیردار کردن سطح زیرین فلنج

۲- به قسمت ورودی گاز دمای ۳۰۰ درجه سانتیگراد داده شده است، شکل (۱۴).



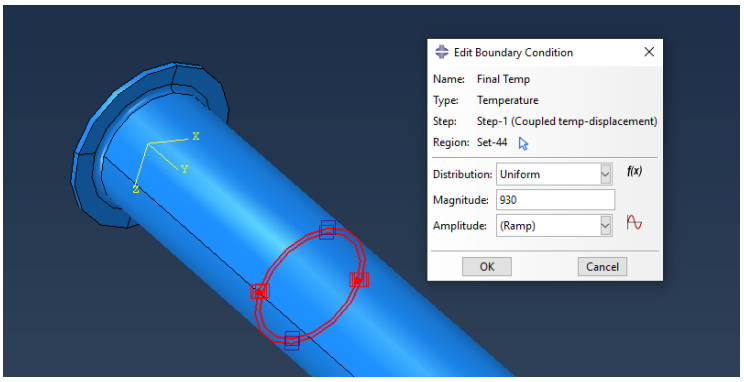
شکل (۱۴) دمای ۳۰۰ درجه سانتیگراد در قسمت ورودی گاز

۳- در فاصله ۰/۸ متر از قسمت ورودی دما به ۵۶۰ درجه سانتیگراد می رسد.



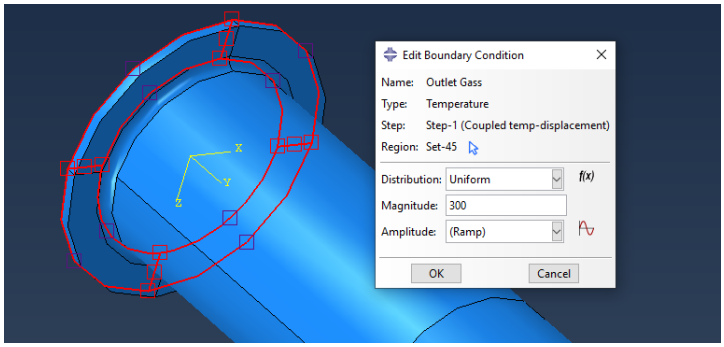
شکل (۱۵) دمای ۵۶۰ درجه سانتیگراد در فاصله ۰/۸ متر از وروی گاز

۴- در فاصله ۰/۶ متر تا انتهای تیوب دمای ریفومر به ۹۳۰ درجه سانتیگراد می رسد، شکل (۱۶).



شکل (۱۶) در فاصله ۰/۶ تا انتهای تیوب دما به ۹۳۰ درجه سانتیگراد میرسد

۵- در نهایت در سطح انتهایی ماکزیمم دما ۳۰۰ درجه سانتیگراد خواهد بود.



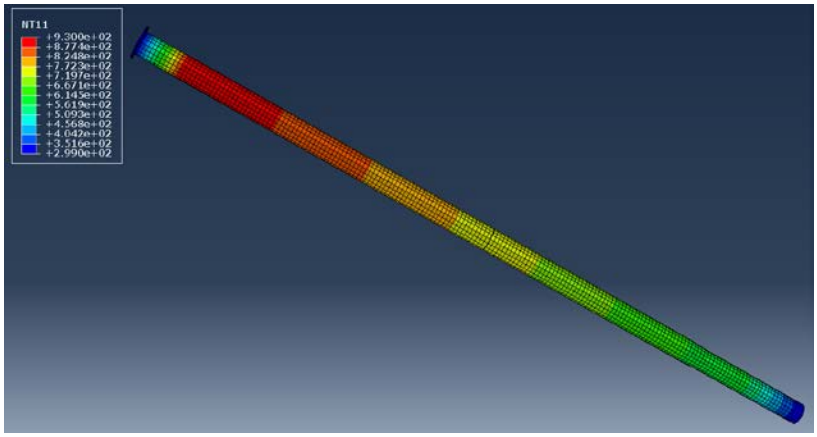
شکل (۱۷) در سطح انتهایی دما ۳۰۰ درجه سانتیگراد است.

شایان ذکر است که کلیه ورودی های مساله با صلاحدید بهره بردار و کارفرمای محترم بوده و همچنین با ضریب اطمینان مطلوب در نظر گرفته شده اند.

اکنون مساله در ماژول Job قابل حل است و نتایج زیر به دست آمده است:

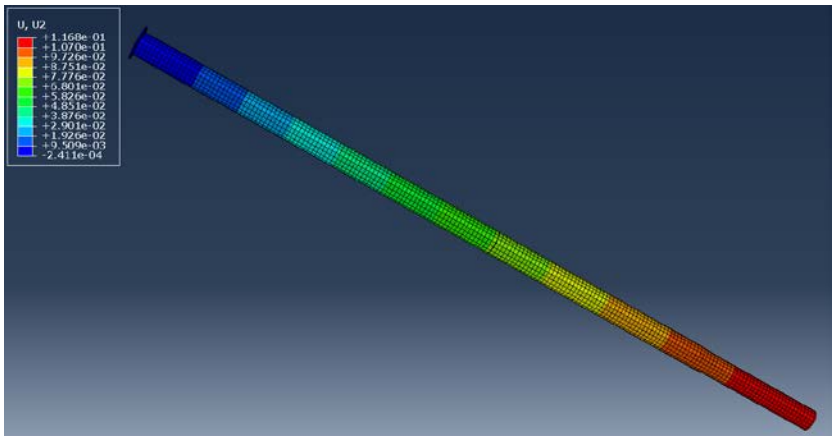
توزیع دما، شکل (۱۸)، تغییر مکان محوری، شکل (۱۹)، توزیع کرنش پلاستیک معادل، شکل (۲۰) و همچنین تغییرات تنش ون مایزز، شکل (۲۰) در ریفورمر.

همانطور که انتظار می رود در قسمت ورودی دما از ۳۰۰ درجه سانتیگراد با رنگ آبی افزایش یافته و به حدود ۵۶۰ درجه سانتیگراد با رنگ سبز رسیده در ادامه نزدیک به قسمت انتهایی دمای ۹۳۰ درجه سانتیگراد با رنگ قرمز تجربه شده که در نقطه انتهایی مجددا به ۳۰۰ درجه سانتیگراد با رنگ آبی رسیده است. گرادیان دما در شکل (۱۸) قابل مشاهده است.



شکل (۱۸) توزیع دما در اثر انتقال حرارت جابه جایی در ریفورمر

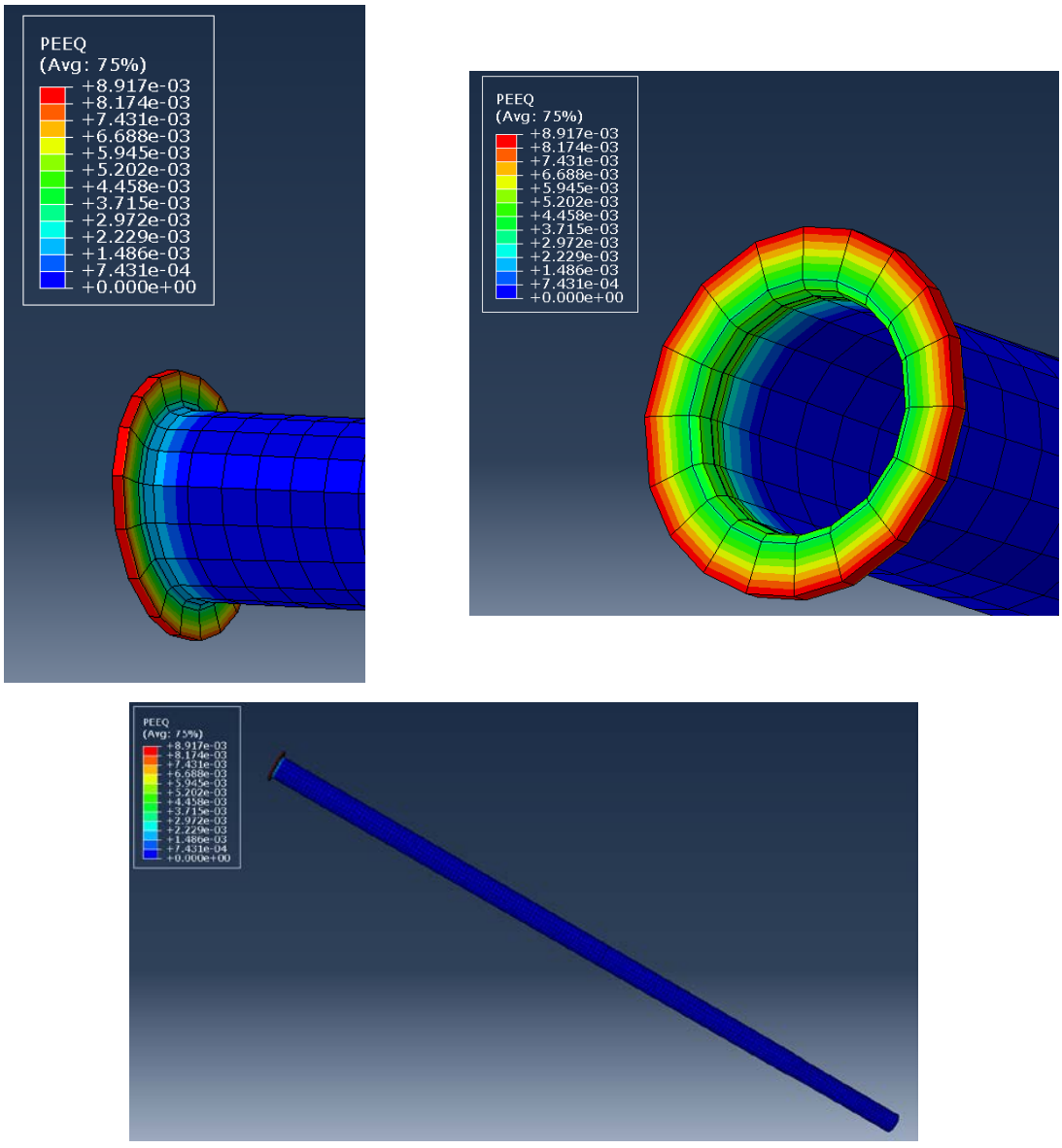
در ادامه در شکل (۱۹) تغییر طول محوری ریفورمر با در نظر گرفتن شرایط بارگذاری و مرزی ذکر شده حدود ۱۱/۷ سانتیمتر پیش بینی شده است که این تغییر طول در انتخاب فنر می تواند نقش مهمی ایفا کند.



شکل (۱۹) توزیع جابه جایی در راستای محور ریفورمور

در شکل (۲۰)، توزیع کرنش پلاستیک معادلدر ریفورمر مشاهده می شود. قسمت انتهایی ریفومر دچار کرنش پلاستیک شده و همانطور که مشاهده می شود در خارجی ترین لبه فلنج بیشترین میزان کرنش پلاستیک معادل حدود ۰/۰۰۹ مشاهده می شود. بایستی خاطر نشان کرد که باید اساس طراحی به گونه ای در نظر گرفته شود که کرنش پلاستیک در لبه فلنج تولید نشده و کل ریفورمر در محدوده الاستیک باقی بماند. در واقع به دلیل خستگی،

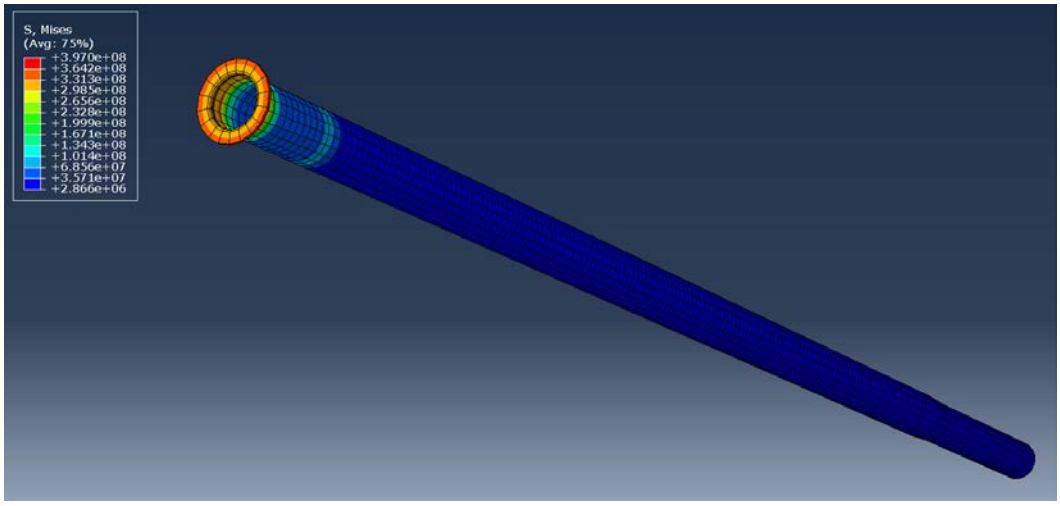
خزش و عوامل دیگر که ممکن است روی گسیختگی و ساقط شدن ریفورمر تاثیر گذار باشند بایستی تا حد امکان از ورود به ناحیه پلاستیک جلوگیری کرد.



شکل (۲۰) توزیع کرنش پلاستیک معادل روی ریفورمر

در نهایت در شکل (۲۰)، توزیع تنش ون مایزز مشاهده می شود. تقریبا در کل ریفورمر تنش ها نسبتا مطلوب و زیر ۶۰ مگاپاسکال هستند. میزان تنش در نزدیم قسمت انتهایی بیشتر شده و در همان نقلطی که کرنش پلاستیک به وجود آمده است مقادیر تنش از حد تسلیم در آن دما بالاتر رفته و سبب تلسیم شدن ماده می شود. به عنوان مثال

در لبه انتهایی فلنج تنش محاسبه شده حدودد ۴۰۰ مگا پاسکال است در حالیکه مطابق جدول (۳) در دمای ۳۰۰ درجه سانتیگراد تنش تسلیم ۲۷۲ مگا پاسکال و تنش نهایی ۴۷۱ مگا پاسکال است که نشان می دهد تنش محاسبه شده بزرگتر از تنش تسلیم و کوچکتر از تنش نهایی است که همانطور که قبلا گفته شد باید تغییراتی در سیستم به منظور بهبود وضعیت تنش در قسمت انتهایی ریفومر داده شود.



شکل (۲۱) توزیع تنش ون مایزز روی ریفورمر

در ادامه قطر ریفورمر از ۴۳۲ میلیمتر به ۴۸۵ میلیمتر افزایش داده شد و نتایج مجدد مورد بررسی قرار گرفت. با در نظر گرفتن این حالت نیز فلنج مجدد وارد ناحیه پلاستیک شد.

جدول (۵) مقایسه وضعیت انتهای فلنج با قطر خارجی ۴۳۲ میلیمتر و ۴۸۵ میلیمتر

	تغییر طول محوری (سانتیمتر)	تنش ون مایزز (مگا پاسکال)
فلنج با قطر خارجی ۴۳۲ میلیمتر	۱۱/۶۸	۳۹۷
فلنج با قطر خارجی ۴۸۵ میلیمتر	۱۱/۶۸	۳۸۶/۷

در این حالت تغییر طول محوری با حالت قبل یکسان بوده در حالی که وضعیت تنش تا حدودی بهتر شده است ولی با توجه به اینکه تنش تسلیم برای این جنس و در دمای ۳۰۰ درجه سانتیگراد ۲۷۲ مگا پاسکال است، جدول (۳)، این وجود فلنج مجددا وارد ناحیه پلاستیک شده و نیاز است که بررسی بیشتری در مورد رفع این مشکل و انجام طراحی بهینه صورت پذیرد.

۳- نتیجه گیری:

مساله در حالت ساده حل شد و مقادیر تنش تخمین زده شد. در واقعیت انتقال حرارت تشعشعی و همرفت نیز وجود دارد که ضرایب آن برای این جنس مشخص نیست. بحث خستگی و خزش در دمای بالا مطرح است که با این فرصت کوتاه و کمبود اطلاعات در مورد این جنس خاص مدل کردن آن امکان پذیر نیست. برخوردی بین گاز و جداره لوله صورت می گیرد که اطلاعات مشخصی برای بیان کردن این برخورد و اصطکاک در دمای بالا برای این جنس وجود ندارد. وجود جوش داخل لوله ها سبب تمرکز تنش و ایجاد ترک می شود که بررسی آن با آباکوس بسیار پیچیده و سخت است. در حالت کلی با توجه به صحبت های انجام شده با کارفرما و بهره بردار محترم شرایط ساده شد و این محاسبات توسط آباکوس انجام شد. در نهایت مشاهده شد که لبه فلنج در دو حالت قطر خارجی ۴۳۲ و ۴۸۵ میلیمتر در اثر بارگذاری مد نظر در طراحی وارد ناحیه پلاستیک می شود، لذا به عنوان مشاور توصیه می شود تغییراتی در این سیستم قبل از اجرا داده شود. درضمن جا به جایی محوری در اثر این بارگذاری حدود ۱۲ سانتیمتر خواهد بود.