

بررسی تغییر طراحی در طول عمر خستگی دیافراگم لاستیکی مورد استفاده در پمپ های شناور

امین اخباری زاده^۱ علیرضا عراقی^۲

در تحقیق حاضر به منظور بررسی مقاومت خستگی دیافراگم لاستیکی مورد استفاده در پمپ شناور، بر روی دو نوع پمپ تولید شده توسط شرکت پمپیران و پمپ رایان آزمایش خستگی صورت گرفت. به منظور بررسی نقاط تمرکز تنش، در هر یک از این دو نوع دیافراگم لاستیکی در ابتدا با استفاده از نرم افزار آباکوس محل های تمرکز تنش تعیین گردیدند. محل های تمرکز تنش در این دو نوع دیافراگم در محل های تیز و محل هایی بود که تغییر شیب ناگهانی در آنها دیده می شد. به منظور بررسی رفتار خستگی این دیافراگم ها، دستگاه خستگی با امکان اعمال نیروی مشابه شرایط اصلی کار پمپ های شناور (نیروی رفت و برگشتی) و امکان تست در محیط سیال طراحی و ساخته شد. در مرحله بعد، به منظور افزایش مقاومت خستگی دیافراگم های لاستیکی، از طراحی های جدید با لبه قوس دار (غیر تیز) برای دیافراگم پمپ رایان و با لبه قوس دار و همچنین با قوس کامل برای پمپ های پمپیران استفاده شد. نتایج آزمون خستگی نشان می دهد که مقاومت خستگی دیافراگم های لاستیکی در اثر این تغییر طراحی افزایش می یابد. این افزایش در دیافراگم لاستیکی پمپ های پمپ رایان برابر $1/3$ برابر نمونه اولیه و در دیافراگم لاستیکی مورد استفاده در پمپ پمپیران در نمونه اول (با لبه های قوس دار) $1/7$ برابر نمونه اول و در نمونه با قوس کامل 2 برابر نمونه اولیه بود.

کلیدواژه: دیافراگم لاستیکی، خستگی، پمپ شناور.

^۱ - دانشجوی دکتری مهندسی مواد - دانشگاه شیراز

^۲ - دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه شیراز

مقدمه

پمپ های شناور دسته ای از پمپ های توربینی هستند که به یک موتور الکتریکی شناور متصل می شوند. در این دسته از پمپ ها که در زیر آب کار می کنند، پمپ از یک محفظه چند مرحله ای (پروانه ای) تشکیل شده است که در قسمت بالایی به لوله انتقال دهنده آب متصل می شود. یکی از اجزای بسیار مهم در پمپ های شناور، دیافراگم لاستیکی مورد استفاده در این پمپ ها می باشد [۱]. دیافراگم لاستیکی در انتهای محور موتور تعبیه می شود و از خروج آب درون پمپ که در واقع باعث خنک شدن پمپ می شود جلوگیری می کند [۲].

از سال ۱۸۵۰ معلوم شد که مواد تحت تنش تکراری یا نوسانی، در تنشی به مراتب کمتر از تنش لازم برای شکست، در اثر اعمال یک مرتبه بار خواهند شکست. به این پدیده خستگی گفته می شود. این نام گذاری مبتنی بر این دلیل است که ماده در اثر تنشهای نوسانی و تناوبی، اصطلاحاً خسته شده و در تنشی زیر تنش تسلیم تخریب می شود [۳]. همان گونه که گفته شد محفظه ی درونی الکتروپمپ های شناور جهت خنک کردن سیم پیچ از آب پر می شود. وقتی پمپ روشن می گردد در اثر چرخش روتور آب درون محفظه افزایش حجم می دهد به همین خاطر در کف الکترو موتور پمپ شناور یک لاستیک دیافراگم قرار دارد. این اختلاف در حجم آب (افزایش حجم آب) باعث تغییر فرم در لاستیک دیافراگم می شود. در اثر تغییرات حجم آب داخل محفظه (به علت چرخش محور موتور) این لاستیک تحت تنش متناوب قرار می گیرد. این تنش های تناوبی باعث ایجاد خستگی در این لاستیک شده و موجب پاره شدن لاستیک می گردند. با پاره شدن لاستیک، آب داخل محفظه از موتور خارج شده و سیستم خنک کننده دیگر عمل نکرده و موجب ذوب شدن روکش سیم ها گشته و الکترو موتور می سوزد [۴]. بنابراین انتخاب لاستیک مقاوم به خستگی با طول عمر زیاد در افزایش عمر پمپ های شناور بسیار مؤثر است.

خستگی در فلزات از حالات مهمی است که منجر به شکست می شود. اگرچه لاستیکها در مقابل طیف گسترده ای از پدیده های ساقط شدن، حساس هستند اما به نظر می رسد که خستگی هنوز هم نقش مهمتری را ایفا می کند. در فلزات، عملیات و فرایند خستگی به طور کلی، کاملاً معین و درک شده و عبارت است از: رشد و گسترش پایدار ترک از یک نقص ترک مانند اولیه، شروع ترک و گسترش آن در میان درزهای مویین موسوم به نواقص و نابجایی ها. اثر بار سیکلی تا زمانی موجب رشد ترک می شود که باقیمانده سطح مقطع، توان تحمل بار را از دست نداده باشد. در این مرحله، پیشرفتی ناگهانی و خطرناک در ترک در عرض ماده فقط در یک نوبت به وقوع می پیوندد. شکست در اثر خستگی در فلزات، معمولاً از نوع خشک و ترد بوده و هیچ اخطار و هشدار قابل مشاهده ای که بیانگر شکست قریب الوقوع باشد، روی نمی دهد. اما برای خستگی در پلیمرها، چنین نیست. در پلیمرها ساختمان مولکولی کاملاً متفاوت است. بدین مفهوم که آغاز روند ترک خوردگی هیچ تشابهی با فلز ندارد. اگرچه پیش از حدوث ترک، فرایند رشد و گسترش آن، ممکن است شبیه فلز باشد [۵].

اگر قطعه ای لاستیکی ماشینکاری شود به احتمال قریب به یقین، در آن درزهای سطحی که بالقوه قابل گسترش یافتن است ایجاد می شود و لذا، مرحله شروع پارگی یا شکست در واقع حذف شده است. روی سطح قطعه قالبگیری شده، پوسته محافظی تشکیل و ایجاد می شود که از شروع و بسط ترک خوردگی ناشی از خستگی ممانعت می کند. در این حالت، بسیار محتمل است

که ترکهای ناشی از خستگی در دورن قطعه گسترش یابد. در چنین حالتی، شروع ترکها- که بالقوه قابل گسترش است- ممکن است در حالتی که پلیمر بلوری است از لغزش مولکولها و جابه‌جایی آنها نتیجه شده باشد [۶].

قطعات لاستیکی قالبگیری شده نیز وجوهی دارند که شروع کننده ترک است، مانند ضایعات ناشی از عمل قالبگیری نظیر خطوط جوش^۱، دریچه‌های قالب و نظایر آنها یا در اثر حضور ذرات پرکننده‌ای مثل دانه‌های رنگی، مواد استحکام بخش و غیره. البته نقاط تمرکز تنش ناشی از وجود انقطاعهای هندسی، مهمترین منشأ تولید ترکهای خستگی است [۵].

مسائل مختلفی وجود دارد که پدیده خستگی پلیمرها را پیچیده می‌کند، بطوری که بسادگی قابل تجزیه و تحلیل نیست. عوامل مؤثر در بارگذاری یعنی تنش، کرنش و زمان به صورت لحظه‌ای تغییر می‌کند. رفتار ویسکوالاستیک مواد یعنی آهنگ کرنش (نوسان) عامل مهم دیگری است که در نرخ خستگی لاستیک نقش بسیار مهمی را ایفا می‌کند [۵].

به وسیله استفاده از تحلیل تنش با استفاده از نرم افزارهای کامپیوتری مانند آباکوس^۲ یا انسیس^۳، نقاط تمرکز تنش تعیین می‌گردند. این نقاط را می‌توان نقاط ضعف قطعه در نظر گرفت زیرا در اثر اعمال نیرو و تغییر شکل الاستیک حاصل از آن، تنش با مقادیری حتی بیش از تنش اسمی اعمالی به سطح قطعه، در آنها ایجاد می‌شود. به دلیل ایجاد شدن تمرکز تنش، این نقاط زودتر از بقیه ی مناطق قطعه، آسیب خواهند دید و باعث از کار افتادگی و سوختن پمپ ها خواهند شد. به منظور افزایش عمر خستگی دیافراگم های لاستیکی می‌توان با تغییر جنس و یا تقویت موضعی نقاط تمرکز تنش با مواد مناسب برای تنش های خستگی و یا با تغییر دادن طراحی قطعه از ایجاد تنش های موضعی شدید تا حد امکان جلوگیری کرد. در اغلب قطعات صنعتی، طراحی، یکی از نخستین اقدامات برای کاهش تمرکز تنش می‌باشد [۷].

در این تحقیق به منظور بررسی رفتار خستگی دیافراگم های لاستیکی مورد استفاده در پمپ های شناور، ابتدا تنش های وارد شده به دو نوع دیافراگم مورد استفاده در پمپ های شناور پمپ رایان و پمپیران با استفاده از نرم افزار آباکوس مورد بررسی قرار گرفت. پس از تعیین محل های تمرکز تنش، قطعه ی جدید با پرهیز از محل های تمرکز تنش شدید مانند لبه های تیز و با جنس مشابه نمونه اولیه تولید شد. به منظور تعیین عمر خستگی دیافراگم های لاستیکی، دستگاه خستگی با مشخصات کاری شبیه به محیط اصلی و با امکان انجام آزمون در محیط آبی طراحی و عمر خستگی نمونه ها به وسیله دستگاه خستگی تعیین گردید.

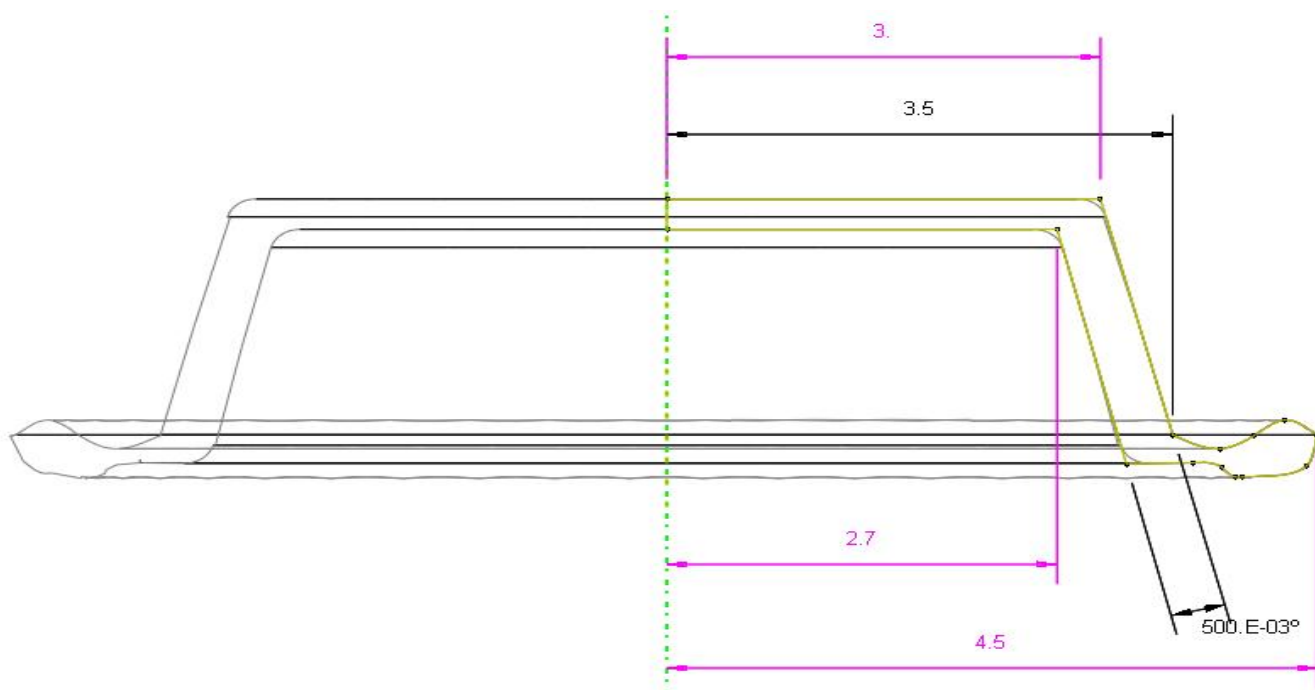
مواد و روش تحقیق

در این تحقیق دو نوع دیافراگم لاستیکی مورد استفاده در پمپ های شناور بوسیله ی نرم افزار آباکوس و به روش اجزای محدود مورد مطالعه قرار گرفت. دیافراگم لاستیکی اول در پمپ های شناور پمپیران (شکل ۱) و دیافراگم لاستیکی دوم در پمپ های شناور پمپ رایان (شکل ۲) مورد استفاده قرار می‌گرفت. در دیافراگم لاستیکی در این تحقیق به دلیل نوع بارگذاری قطعه، تحلیل از طریق روش استاتیک انجام شد و به وسیله این تحلیل، نقاط تمرکز تنش تعیین گردید.

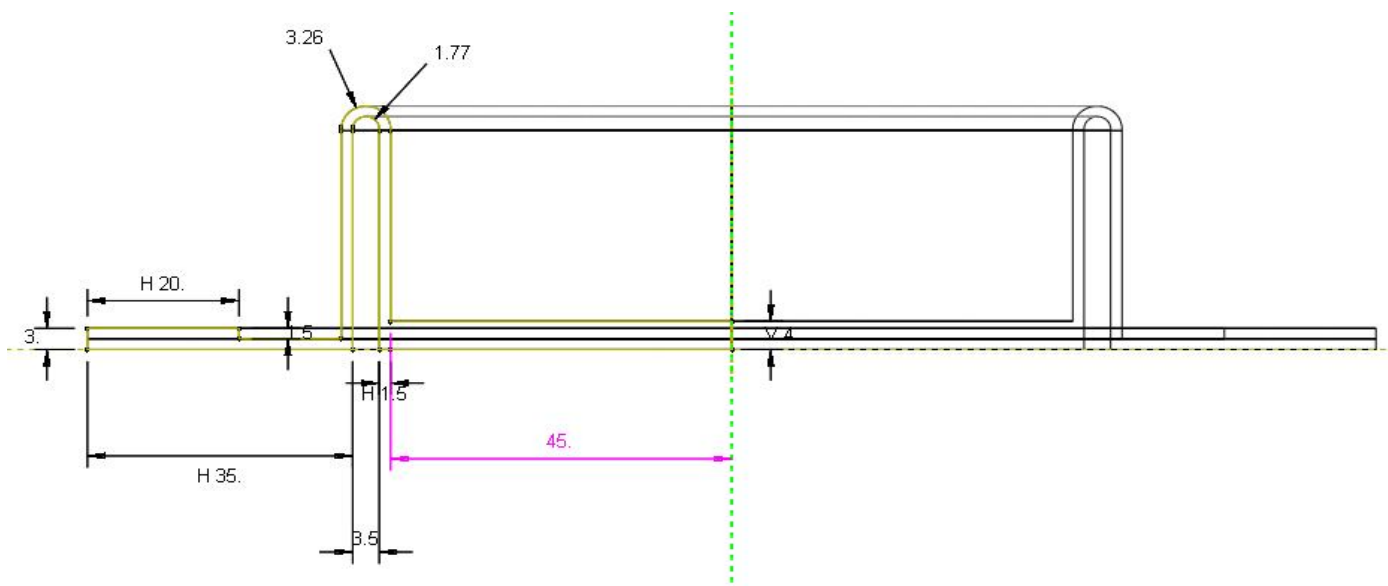
¹ - Weld Lines

² -ABACUSE

³ ANSYS



شکل ۱. دیافراگم لاستیکی مورد استفاده در پمپ های پمپیران.



شکل ۲. دیافراگم لاستیکی مورد استفاده در پمپ های پمپ رایان.

برای شبیه سازی رفتار تنشی قطعات، مدل سه بعدی با استفاده از نرم افزار آباکوس تهیه شد. با توجه به شکل قطعات، دانه بندی مناسب برای تحلیل دقیق انتخاب شد. برای مش بندی قطعات و به دلیل پیچیدگی آنها از روش مش آزاد^۱ استفاده شد. برای قطعه ی اول المان ها به صورت تتراگونال و برای قطعه دوم به صورت هگزاگونال انتخاب شد.

به منظور بررسی مقاومت خستگی دیافراگم لاستیکی مورد استفاده در پمپ های شناور دستگاه تعیین عمر خستگی این لاستیک با مشخصات کار در محیط سیال و امکان تعیین سرعت رفت و برگشت و تعیین دقیق تعداد چرخه های خستگی قبل از پارگی ساخته شد. نقشه دستگاه و قطعات آن در شکل ۳ آورده شده است. در این دستگاه در اثر چرخش موتور، حرکت چرخشی توسط یک زنجیر به چرخنده دیگری که در بالای ستون اصلی دستگاه قرار دارد منتقل می شود. در این مرحله توسط یک چرخ دنده و پین دیگر حرکت چرخشی به رفت و برگشتی تبدیل شده و نیرو به شکل رفت و برگشتی به لاستیک دیافراگم اعمال می شود. دستگاه تعیین عمر خستگی دیافراگم لاستیکی به نحوی طراحی شده است که به محض پارگی و عبور آب از دیافراگم لاستیکی، سنسور هایی که در زیر آن قرار گرفته اند فوراً مدار الکتریکی را قطع و تعداد چرخه های طی شده تا پارگی لاستیک به شکل اتوماتیک مشخص می شود.

برای پمپ های پمپ رایان طراحی دیافراگم لاستیکی جدید بر اساس زاویه دار کردن لبه های تیزی که تمرکز تنش بالایی در آنها وجود داشت انجام شد. برای این منظور لاستیکی با جنس پایه پلیمری NR-SBR و با مشخصات فنی ارائه شده در جدول ۱ با سختی یکسان با نمونه دارای لبه های تیز و با لبه های غیر تیز طراحی شد. در دیافراگم لاستیکی مورد استفاده در پمپ های پمپیران، برای کاهش تنش در محل های تمرکز تنش از دیافراگم هایی با قوس کامل به جای حالت مسطح استفاده شد (شکل ۴). بهمین دلیل در دیافراگم لاستیکی پمپیران نیز تغییر طراحی مد نظر قرار گرفت. برای تهیه این لاستیک ها، دو دیافراگم لاستیکی جدید با مشخصات زیر تولید شد:

۱- دیافراگم لاستیکی مسطح با جنس پایه پلیمری NR-SBR.

۲- دیافراگم لاستیکی با قوس کامل با ترکیب شیمیایی مشابه لاستیک اول.

مشخصات فنی دیافراگم های لاستیکی اشاره شده مشابه دیافراگم لاستیکی پمپیران می باشد (جدول ۱).

پس از تهیه دیافراگم های لاستیکی مورد اشاره آزمون خستگی با استفاده از دستگاه تعیین عمر خستگی لاستیک ها بر روی آنها انجام شد. آزمون خستگی با سرعت ۱۲۰ دور در دقیقه و تا پارگی لاستیک ادامه می یابد.

بحث و نتایج

در تحلیل تنش قطعه اول (دیافراگم لاستیکی پمپ های پمپیران)، دیافراگم لاستیکی، تحت تنش نشان داده شده در شکل ۵ قرار می گیرد. تنش نشان داده شده در این شکل تنش ماکزیمم اصلی می باشد. مناطق تمرکز تنش در این حالت با رنگ سبز دیده می شوند. در این تحلیل منطقه ساکن به صورت سطح تعریف شده و لذا در قسمت پایین تمرکز تنش مشاهده نمی شود. همانطور که از این شکل مشخص است با فاصله گرفتن از گوشه ها مقدار تنش کاهش می یابد. چنانچه تحلیل تنش با استفاده از

^۱ - Free Mesh

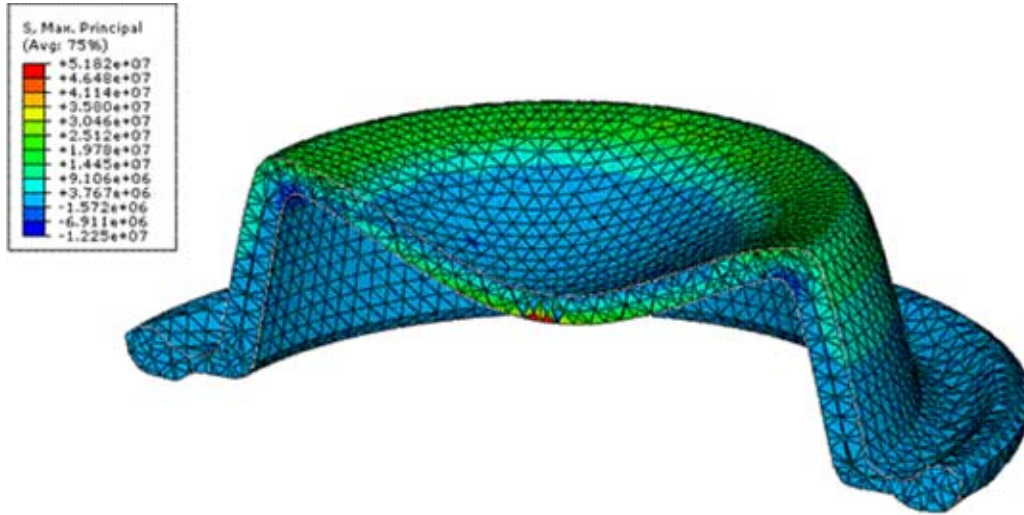
جدول ۱. مشخصات فنی دیافراگم لاستیکی، پمپیران و پمپ رایان.

ردیف	نام آزمون	استاندارد مرجع	واحد	نتیجه آزمون	توضیحات
۱.	سختی	ASTM D 2240	Shore A	55±5	
۲.	استحکام کششی	ASTM D 412	N/mm ³	Min 14	
۳.	درصد ازدیاد طول	ASTM D 412	%	Min 400	
۴.	مقاومت پارگی	ASTM D 624	Kgf/cm ³	Min 50	Die C
۵.	مانایی فشاری	ASTM D 395	%	Max 30	Method B 72 h/ 130 °C
۶.	مقاومت سایشی	DIN 53516	Mm ³	Max 140	
۷.	برجهندگی	DIN 53512	%	Min 30	

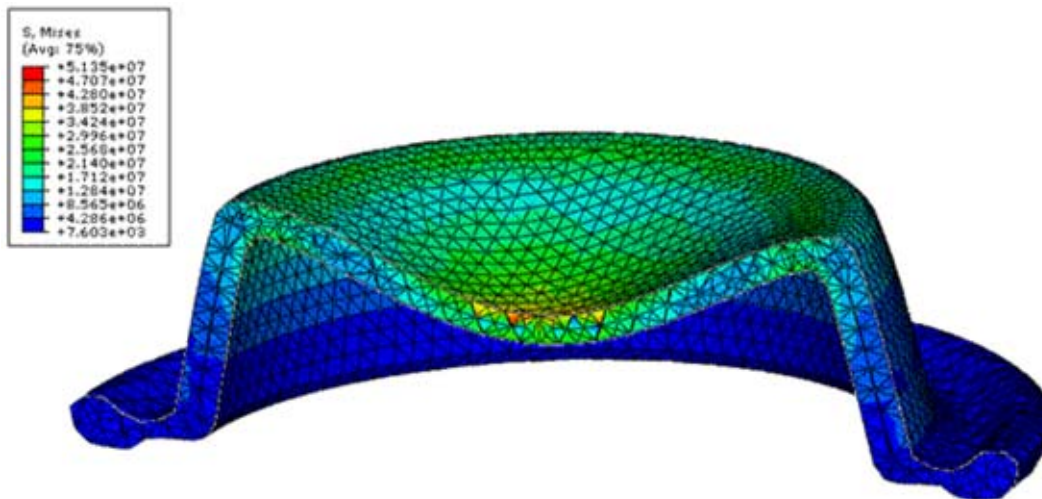


شکل ۴. دیافراگم های لاستیکی پیشنهادی برای استفاده به جای دیافراگم لاستیکی شرکت پمپیران.

روش فون مایز انجام گیرد مشاهده می شود در این معیار محدوده ی تنشی مجددا همان گوشه ها در شکل ۵ است، با این تفاوت که محدوده به مرکز تغییر شکل نزدیکتر شده است (شکل ۶).

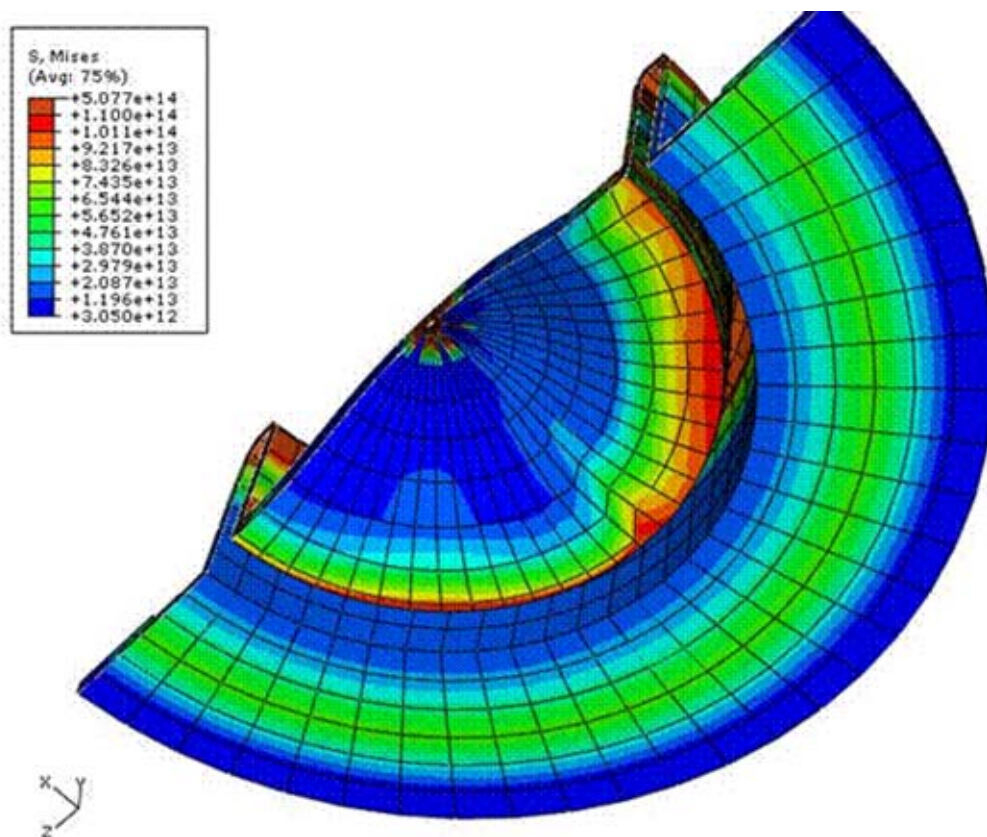


شکل ۵. دیافراگم لاستیکی پمپیران تحت تنش.



شکل ۶. معیار تنشی فون مایز.

در دیافراگم لاستیکی مورد استفاده در پمپ ها پمپ رایان بدلیل پیچیدگی بیشتر دیافراگم لاستیکی تحلیل تنش متفاوت با تحلیل تنش دیافراگم های پمپیران می باشد. در این حالت تحلیل قسمت ساکن به صورت سطح در نظر گرفته شده است و لذا تنشی در سطح پایینی دیده نمی شود. تحلیل تنش با استفاده از معیار تنشی فون مایرز تنش را در انحنای پایین نشان می دهد (شکل ۷). همانطور که از این شکل مشخص است علاوه بر لبه پایینی در لبه بالایی دیافراگم لاستیکی نیز تمرکز تنش مشاهده می شود.



شکل ۷. معیار تنشی فون مایرز برای دیافراگم لاستیکی پمپ رایان.

به منظور کاهش اثر محل های تمرکز تنش در دیافراگم لاستیکی پمپ رایان (دیافراگم لاستیکی شکل ۷)، دیافراگی با لبه غیر تیز از جنس لاستیک اول و با ترکیب NR-SBR تهیه شد. به منظور کاهش محل های تمرکز تنش در لاستیک پمپ رایان (شکل ۷) لبه تیز لاستیک به شکل زاویه دار (R دار) ساخته شد. آزمون خستگی انجام شده بر روی نمونه نشان می دهد که در اثر زاویه دار کردن محل های تمرکز تنش، عمر خستگی نمونه به میزان $1/3$ برابر نمونه اولیه افزایش یافت. برای کاهش اثر تمرکز تنش در لاستیک پمپ پمپیران (شکل ۵ و ۶)، دو نوع لاستیک طراحی شد. در لاستیک اول لبه های تیز به لبه های قوس دار (R دار) و در لاستیک دوم لبه های تیز به قوس کامل تبدیل شدند (شکل ۴). نتایج حاصل از آزمون خستگی نشان داد که با ایجاد قوس کامل در نمونه، محل های تمرکز تنش به شدت کاهش یافته و عمر خستگی افزایش بیشتری در مقایسه با نمونه زاویه دار شده نشان می دهد. عمر خستگی در نمونه اول و دوم به ترتیب در حدود $1/7$ و 2 برابر نمونه اولیه بود.

نتیجه گیری

- ۱- در لاستیک های پمپ رایان استفاده از لاستیک های قوس دار تولید شده از جنس پایه پلیمری NR-SBR باعث افزایش عمر خستگی لاستیک به میزان $1/3$ برابر نمونه اولیه می شود. دلیل اصلی این افزایش در عمر خستگی نمونه ها کاهش محل های تمرکز تنش و در نتیجه به تعویق افتادن شروع ترک در این نمونه ها بدلیل کاهش این محل ها (محل های تمرکز تنش) می باشد.
- ۲- در لاستیک های پمپیران پیشنهاد می شود استفاده از لاستیک های با قوس کامل باعث افزایش عمر خستگی به میزان 2 برابر نمونه می شود. دلیل اصلی این افزایش شدید در عمر خستگی نمونه ها با قوس کامل، کاهش محل های تمرکز تنش بدلیل قوس ماده و افزایش استحکام این نوع از لاستیک ها می باشد. در لاستیک های تولید شده با لبه های قوس دار (R دار) عمر خستگی بدلیل لبه های غیر تیز و کاهش محل های تمرکز تنش $1/7$ برابر افزایش می یابد.

تشکر و قدردانی

با تشکر بسیار زیاد از کمک های آقایان مهندس مرادی، شرفی، عطار و سادات که در انجام این پروژه نهایت همکاری را با محققان این تحقیق به عمل آورده اند.

مراجع

- [۱]. استوارت، حسین خوش کیش، مبانی و کاربرد انواع پمپ ها، ۱۳۶۲، انتشارات حسینیان.
- [2]. O. Moinz, P.Girdhar, practical centrifugal pump, 2005, Elsevier.
- [3] P.coper etc, pump handbook, 2001, McGraw-hill.
- [4] R. Ocampo, B. Ruiz, "Fatigue failures in pumps – part 2", World Pumps, Volume 2008, Issue 502, July 2008, Pages 18-21.
- [5] S. Yu, H. Hu, J. Yin, "Effect of rubber on tribological behaviors of polyamide 66 under dry and water lubricated sliding", Wear, Volume 265, Issues 3-4, 31 July 2008, Pages 361-366.
- [6] S. L. Al-Sabti, T. A. Stolarski, "Surface fatigue of brittle polymers in rolling line

contact", Tribology International, Volume 31, Issue 11, November 1998, Pages 695-699.
[7] M. Ezrin, G. Lavigne, "Unexpected and unusual failures of polymeric materials", Engineering Failure Analysis, Volume 14, Issue 6, September 2007, Pages 1153-1165.