JSST
فصلنامهٔ علمی - پژوهشی علوم و فناوری فضایی

جلد ۹ / شمارهٔ ۳/ پاییز ۱۳۹۵
ص. ص . ۵۱- ۳۷

طراحی و ساخت پین پولر نوع قرقره در سطح فضایی ــ از طراحی مفهومی تا نمونهٔ کیفی

اشکان محمود اقدمی[۱*]، فرهاد فرهنگ لاله[۲] و محمد قهرمانی[۳]

۱- گروه مهندسی ساخت و تولید، دانشکدهٔ مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز

۲ و ۳- پژوهشکدهٔ رانشگرهای فضایی تبریز، پژوهشگاه فضایی ایران

*تبریز، کد پستی: ۵۱۷۴۸۸۳۴۳۱

aghdami@tabrizu.ac.ir

در این مقاله، طراحی مکانیزم رهایش پین پولر نوع قرقره از طرح مفهومی تا نمونهٔ مهندسی آن به‌تفصیل تشریح شده است. ابتدا نمونه‌ها و طرح‌های مشابه خارجی بررسی شد. براساس مشاهدات و تجمیع طرح‌های خارجی و استفاده از نقاط قوت هر یک از طرح‌ها طراحی مفهومی اجرا و نمونهٔ آزمایشگاهی در مقیاس پنج برابر برای بررسی بهتر عملکرد اولیهٔ مکانیزم طراحی و ساخته شد. بعد از این نمونه، مرحلهٔ طراحی و ساخت نمونهٔ پیش-مهندسی در مقیاس یک به یک با نیروی کشش ۳۵۰N آغاز شد. در نمونهٔ پیش‌مهندسی سعی شده است که مشکلاتی مشاهده‌شده در عملکرد نمونهٔ آزمایشگاهی مانند عملکرد فیوز رهایش و نحوهٔ گسیختگی سیم اتصال مرتفع شود. مونتاژ نهایی توسط فیکسچر مخصوص اجرا و تست عملکرد در دمای محیط با موفقیت انجام شد. در نمونهٔ مهندسی نیروی کشش به ۵۰۰N افزایش یافت و جنس بعضی از اجزای پین پولر به دلیل شرایط خاص الکتریکی و مکانیکی تغییر کرد. در این طرح، فاکتور دما و تست‌های محیطی نیز وارد طراحی شد و طرح با هدف گذراندن تمامی شرایطی محیطی در حد تست‌های کیفیت طراحی و ساخته شد. سپس، نمونهٔ کیفی ساخته و تست‌های ارتعاشی و تست سیکل حرارتی در محفظهٔ خلأ در محدودهٔ تست‌های فضایی اجرا شد. قابلیت اطمینان برای اجزای تشکیل‌دهندهٔ پین پولر محاسبه شد و در نهایت، قابلیت اطمینان پین پولر به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: پین پولر، مکانیزم‌های رهایش، تست ارتعاش، قابلیت اطمینان

علائم و اختصارات

قطر متوسط فنر	D
تعداد حلقه‌های فعال فنر	N_a
نیرو در راستای پین	F_Y
برایند نیروها در راستای جانبی پین	F_X
نیروی کشش سیم پیچشی	T
قطر مفتول	d
ضریب سختی فنر	K
مدول برشی مفتول	G
نیروی فنر	F_S
نیروی عمود بر سطح	N_1

مقدمه

پین پولرها[۴] از جمله سخت‌افزارهای پرکاربرد در حوزهٔ مکانیزم فضایی است که به دو دستهٔ کلی انفجاری و غیر انفجاری تقسیم‌بندی می‌شود [۱]. از عمدهٔ کاربردهای کلیدی پین پولر

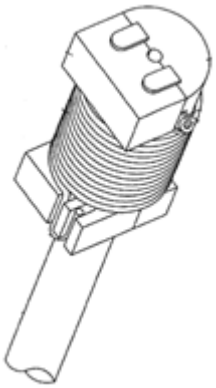
۱. دانشجوی دکتری (نویسنده مخاطب)
۲ . کارشناسی ارشد
۳ . مربی

۴. کشندهٔ پین اتصال

Archive of SID
www.SID.ir

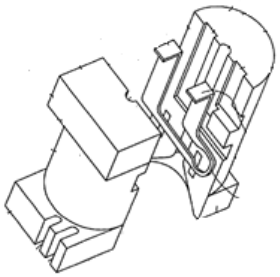
دریافت مقاله: ۹۳/۰۷/۲۳ ، تأیید مقاله: ۹۵/۱۱/۰۶

می‌توان به مکانیزم رهایش آرایه‌های خورشیدی، آنتن‌های ارتباطی، جدایش طبقات ماهواره‌بر و اتصال مخزن ذخیرهٔ سوخت و کلاهک ماهواره و ... اشاره کرد. پین پولرهای غیر انفجاری به انواع مختلفی مانند حالت قرقره، پارافینی، آلیاژ حافظه‌دار و ... دسته‌بندی می‌شود [۲]. پین پولر نوع قرقره‌ای با داشتن هشت قطعه درگیر در عملکرد مکانیزم امکان افزایش قابلیت اطمینان را بالا خواهد برد [۱]. در پین پولر نیروی محرک پین، فنر پشت آن است که در حالت آماده به صورت فشرده پشت پین قرار داده شده است. سیم پیچشی به دور قرقره‌ها پیچیده شده است تا دوتکهٔ قرقره را کنار هم نگه دارد و در نهایت، سیم پیچشی از داخل سیم اتصال عبور داده می‌شود. مجموعهٔ قرقره‌ها، سیم پیچشی و سیم اتصال، فیوزی الکتریکی تشکیل می‌دهد که با عبور جریان از سیم اتصال، سیم گسیخته خواهد شد و سیم پیچشی از دور قرقره‌ها آزاد می‌شود. در انتهای قرقره‌ها مخروطی تعبیه شده است که زاویهٔ مخروط آن با پین برابر است و نیروی فشاری پین همواره تمایل به جدا کردن قرقره‌ها دارد. با آزاد شدن سیم پیچشی، پین قرقره‌ها را از هم جدا کمی‌کند و به سمت جلو حرکت خواهد کرد و پین به داخل محفظه کشیده خواهد شد. نمونهٔ مجموعهٔ قرقرهٔ مونتاژشده در شکل (۱) نشان داده شده است.

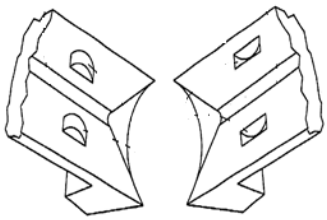


شکل ۱- مجموعهٔ مونتاژی قرقره [۳]

ممکن است دو انتهای قرقره‌ها حالت فلنجی داشته باشد تا از سرخوردن سیم پیچشی جلوگیری کند. روی یکی از فلنج‌ها برای نگهداری یک سر سیم پیچشی دو شیار طولی لحاظ شده است. جنس قرقره از مواد پلاستیکی اپوکسی است. سر دیگر سیم پیچشی داخل سیم اتصال قلاب شده است. سیم پیچشی از جنس فولاد زنگ‌نزن است. در شکل (۲) اجزای داخلی قرقره نشان داده شده است. عضو یکپارچه به سیم اتصال و پایانه‌های الکتریکی مجهز است که برای اتصال به منبع الکتریکی از قرقره خارج شده است. برای چفت شدن دو نیمهٔ قرقره، شکل متقارن قطعهٔ یکپارچه در سطح داخلی قرقره ساخته شده است (شکل ۳).

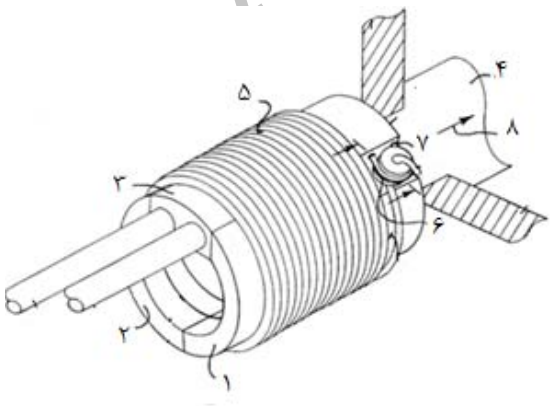


شکل ۲- نمای دو نیمهٔ قرقره و سیم اتصال [۳]



شکل ۳- نیمه‌های قرقره [۳]

شکل (۴) یک مدل از راه‌انداز مکانیکی ـ الکتریکی قرقره را نشان می‌دهد که از دو تکهٔ سرامیکی ۱۵۰ درجه‌ای (در مجموع ۳۰۰ درجه) که در شکل با شماره‌های (۱) و (۲) مشخص شده است و یک قطعه اتصالی (۳) تشکیل شده است که ۶۰ درجهٔ باقی‌مانده از دایرهٔ کامل را پر می‌کند. سیم از جنس فولاد زنگ‌نزن با رفتار فنری به دور قرقره پیچانده شده است. داخل قرقره طوری طراحی شده است که انتهای شبه‌مخروط پین رهایش را در میان بگیرد و مانع از حرکت محوری آن شود. پین رهایش (۴) در جهت (۸) تحت کشش قرار می‌گیرد.

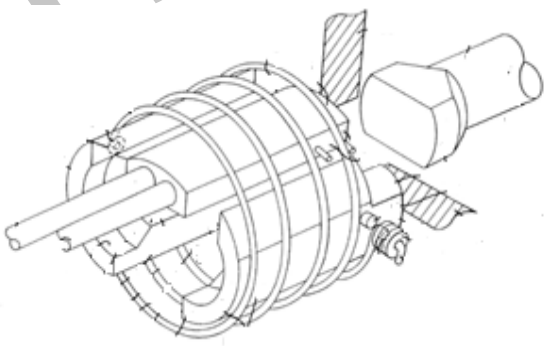


شکل۴- نمای پین پولر قرقره در حالت جمع‌شده [۳]

Arhive of SID

www.SID.ir

یک انتهای سیم پیچشی (۵) به بدنهٔ یکی از تکه‌های قرقره متصل می‌شود و انتهای دیگر آن از سوراخ مرکزی یک استوانهٔ کوچک از جنس سرامیکی عبور می‌کند. استوانهٔ سرامیکی توسط سیم اتصال (۶) نگه داشته و بدین ترتیب از رهایش سیم پیچشی (۱) و در نتیجه، از رها شدن قرقره و پین رهایش جلوگیری می‌شود. برای جلوگیری از سُر خوردن سیم اتصال (۶)، در خارج استوانهٔ سرامیکی یک شیار محیطی حفر شده است تا سیم (۶) در آن قرار گیرد. شکل (۵) حالت رهاشدهٔ دستگاه را نشان می‌دهد. برای انجام رهایش پین یک جریان به سیم اتصال اعمال می‌شود که موجب گرم شدن و کاهش استحکام و در نتیجه بریده شدن آن بر اثر تنش اعمالی از طرف سیم پیچشی (۵) می‌شود. جنس سیم اتصال از فولاد زنگ‌نزن است، زیرا هم استحکام لازم برای تحمل تنش اعمالی از سیم پیچشی و هم مقاومت الکتریکی مناسب برای گرم‌شدن بر اثر عبور جریان الکتریکی با توان متوسط را دارد. همان‌طور که در شکل (۵) دیده می‌شود انتهای پین رهایش شبه-مخروطی است و محل نشستن آن در سطح داخلی دوتکهٔ قرقره با توجه به آن شکل داده شده است.



شکل ۵- نمایی از حالت باز شدن پین پولر و رهایش پین [۳]

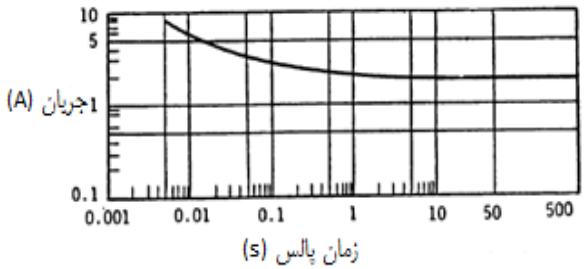
قابلیت اطمینان و کارایی این عملگرهای غیر انفجاری به عوامل مختلفی مانند سیم اتصال، فصل مشترک قرقره، محفظهٔ اصلی و سیستم جدایش مکانیکی بستگی دارد. همچنین، نیروی شوک مکانیکی حاصل از این دستگاه‌های غیر انفجاری باید مد نظر گرفته شود.

پارامترهای مهم طراحی

سیم اتصال، قرقره و فنر از پارامترهای مهم طراحی است که در ادامه هریک شرح داده می‌شود.

سیم اتصال

مجموعهٔ قرقره از طریق عبور جریان از سیم اتصال از هم جدا می‌شود که به سیم پیچشی متصل شده است و دو تکهٔ قرقره را کنار هم نگه می‌دارد. عبور جریان سبب گرمایش مقاومتی و افزایش دمای سیم خواهد شد. در جریان‌های کم، دما به محیط اطراف منتقل می‌شود و افزایش دما به حداقل می‌رسد. بنابراین، بدون در نظر گرفتن زمان، در جریان‌های کم حالت «بدون آتش[5]» سیم اتصال گسیخته نخواهد شد. جریان الکتریکی بیشتر سبب افزایش دمای سیم خواهد شد. در جریان‌های بیشتر از جریان بدون آتش زمان زیادی صرف گسیخته شدن سیم اتصال می‌شود. نتایج حاصل از بررسی زمان رهایش و جریان درحالت جریان ۰/۶ آمپر در وضعیت بدون آتش در شکل (۶) نشان داده شده است.



شکل ۶- زمان رهایش سیم برحسب مقدار جریان ورودی [۲]

خصوصیات فیزیکی و ابعادی سیم اتصال بسیار مهم است. سیم باید استحکام کافی، مقاوم به خوردگی و انعطاف‌پذیری خوبی داشته باشد تا بتواند به‌راحتی به سیم پیچشی متصل شود [۴]. مهم-ترین چالش پیش رو، اتخاذ تدابیری برای گسیخته شدن سیم اتصال از یک نقطه مشخص است، زیرا طول کل سیم اتصال ۳-۲ cm است و گسیختگی باید در یک نقطهٔ مشخص با تلرانس ۱ mm اتفاق بیفتد و پاره شدن سیم در هر نقطهٔ غیر از این ناحیه مشخص سبب عدم رهایش صحیح سیم پیچشی خواهد شد [۵].

قرقره

طراحی قرقره یکی از مهم‌ترین بخش‌های طراحی مکانیزم پین پولر است. جنس قرقره باید عایق الکتریکی باشد [۶]، زیرا سیم پیچشی که به دور قرقره پیچیده شده است نباید جریان الکتریکی را از سیم اتصال به قرقره منتقل کند. از طرفی جنس قرقره باید طوری انتخاب شود که استحکام فشاری کافی در برابر فشار ناشی از پیستون[6] را داشته باشد. طراحی هندسهٔ قرقره نقش بسیار مهمی در سرعت و نحوهٔ جدایش آنها بازی می‌کند.

فنر

سیستم محرک و تامین‌کنندهٔ نیروی کشش، فنر فشاری داخل پین پولر است. فنر باید در کمترین حجم و طول بیشترین نیروی کششی

5. no-fire
6. Plunger

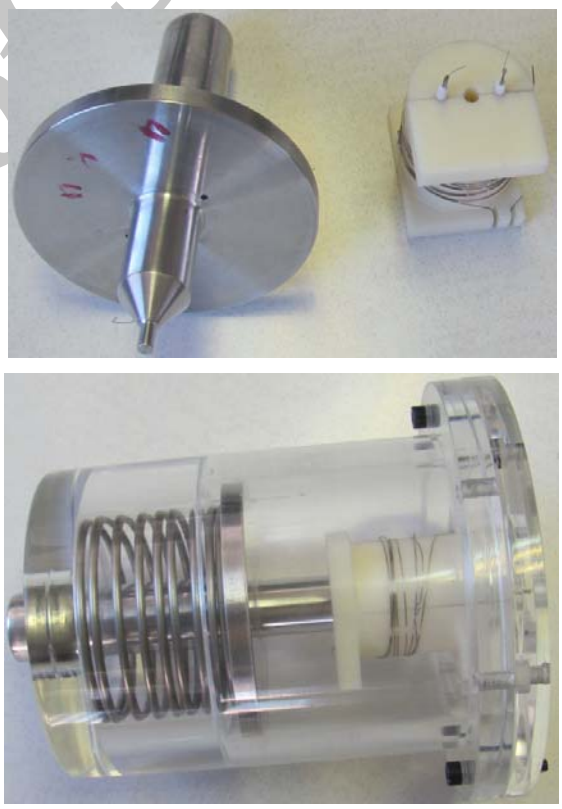
Archive of SID

www.SID.ir

را تأمین کند. ضریب ثابت فنر باید در طول زمان مأموریت در فضا که چندین سیکل حرارتی از دمای ۶۵°C- تا ۸۰°C را طی می‌کند، ثابت بماند و نیروی فشاری فنر در دمای ۸۰°C و ۶۵°C- تغییر زیادی نداشته باشد. انبارش فنر درحالت فشرده تأثیری بر خواص فنر از جمله طول و ضریب ثابت فنر نداشته باشد. در دماهای منفی فنر دچار شکست ترد نشود.

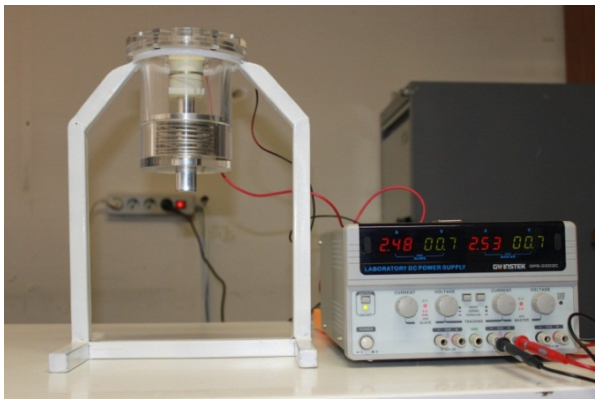
طراحی نمونهٔ آزمایشگاهی

هدف از طراحی و ساخت نمونهٔ آزمایشگاهی، بررسی و شناسایی پارامترهای تأثیرگذار بر عملکرد پین پولر و رسیدن به یک دید مهندسی از مکانیزم نوع قرقره است. بنابراین، محفظهٔ نمونهٔ آزمایشگاهی از جنس شفاف پلکسی‌گلاس انتخاب شده است. سیم اتصال از جنس Cr20Ni80 برگزیده شد که از نوع سیم‌های مقاومت حرارتی[۷] است. جنس پیستون از Al 7075 بوده و قرقره‌ها پلی‌اتیلنی است.

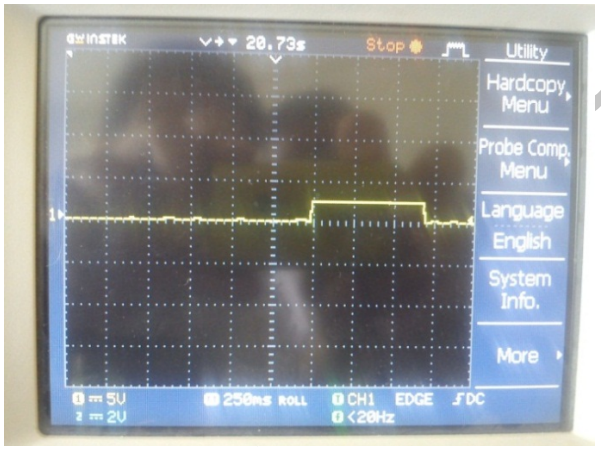


شکل ۷- قرقره‌ها، پیستون و نمونهٔ آزمایشگاهی بعد از مونتاژ

نمونهٔ آزمایشگاهی اولیه (شکل ۷) در دمای اتاق روی پایهٔ آن قرار گرفت و ولتاژ منبع تغذیه برابر حداکثر مقدار ۲۴V تنظیم و جریان ۵A از آن عبور داده شد. برای سنجش زمان گسیخته شدن نیز، یک مقاومت ۱KΩ با سیم اتصال به صورت سری متصل و با ثبت لحظهٔ اعمال ولتاژ و قطع شدن آن، زمان رهایش اندازگیری شد. زمان رهایش در تست نزدیک به ۷۵۰ms اندازه‌گیری شد که کمتر از ۱ ثانیه است و در محدودهٔ قابل قبولی قرار دارد. در شکل (۸) تصویری از تجهیزات تست و محصول در حال تست و در شکل (۹) زمان رهایش سیم رهایش نشان داده شده است.



شکل ۸- نمونهٔ آزمایشگاهی در حال تست رهایش



شکل ۹- تست زمان رهایش نمونهٔ آزمایشگاهی

مشکلات عملکردی نمونهٔ آزمایشگاهی

برای کاهش سطح تماس و اصطکاک بین قرقره‌ها و درپوش و لغزش آسان قرقره روی سطح داخلی درپوش، سطح داخلی درپوش شیب‌دار ساخته شده است. ولی بر اثر فشار قرقره‌ها به درپوش برخلاف استفاده از روانکار، اصطکاک چسبندگی بین آنها حاصل شد که مانع از رهایش قرقره‌ها بعد از پاره شدن سیم اتصال شد. در برخی موارد تکه‌های سیم اتصال بعد از گسیخته شدن بین دیسک و دیوارهٔ داخلی محفظه قرار گرفت که سبب توقف حرکت پین شد.

7. Thermal resistance

www.SID.ir

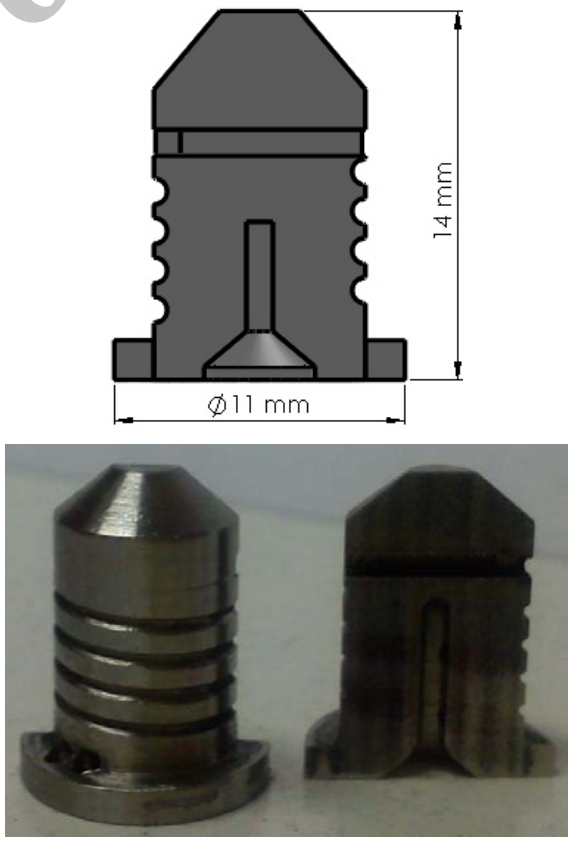
برای حل این مشکل در نمونه‌های بعدی محفظه به دو قسمت محفظهٔ فرمان و محفظهٔ فنر تقسیم شد تا تکه‌های سیم اتصال به داخل محفظه فنر راه نیابند.

طراحی نمونهٔ پیش‌مهندسی

در طراحی نمونهٔ پیش‌مهندسی اندازهٔ نمونه به ابعاد اصلی مد نظر تغییر داده شد. حداقل نیروی محوری که پین باید داشته باشد ۳۵۰N و طول کورس پین ۱۰mm است. بنابراین، باید در فضای استوانه‌ای به قطر ۲۵mm و ارتفاع ۳۵mm، فنری قرار داده شود تا نیروی حداقل ۳۵۰N را تأمین کند.

طراحی قرقره‌ها

همان‌طور که در تست نمونهٔ آزمایشگاهی دیده شد نیروی جانبی که از پیستون به قرقره‌ها وارد می‌شد توان غلبه بر نیروی اصطکاک بین قرقره و درپوش را نداشت و قرقره‌ها در جای خود قفل شدند. در طراحی نمونهٔ پیش‌مهندسی، طراحی قرقره‌ها طوری است که به جای حرکت لغزشی قرقره‌ها بر اثر دوران حول سطح بالایی از یکدیگر جدا شود که این حالت در شکل (۱۰) نشان داده شده است. جنس قرقره‌ها از استیل ۳۱۶ انتخاب شد.



شکل ۱۰- قرقره‌های نمونهٔ پیش‌مهندسی

طراحی فنر

برای طراحی فنری با این مشخصات با استفاده از استانداردهای طراحی فنرهای فشاری و کدنویسی در نرم‌افزار متلب[8] براساس روابط این استانداردها و تغییر پارامترها، یک فنر فشاری طراحی شد که بتواند نیروی مورد نیاز را در شرایط خواسته‌شده تأمین کند. با توجه به اینکه فنر در طول کورس خود باید حداقل نیروی ۳۵۰N را به صورت محوری به پیستون وارد کند، بنابراین، در حالت حداکثر فشردگی نیروی بیشتر از ۳۵۰N را وارد خواهد کرد. به دلیل انتقال این نیرو به سیم پیچشی[9] و سیم اتصال[10] باید نیروی فنر در حالت حداکثر فشردگی تا حد امکان به ۳۵۰N نزدیک باشد. این اختلاف نیرو با اختلاف طول ۱۰mm (طول کورس پیستون) در فنر حاصل خواهد شد. با در نظر گرفتن توضیحات یادشده، هدف، طراحی فنری فشاری با قطر مفتول دلخواه d و قطر بیرونی OD=۲۳mm است. با در نظر گرفتن فولاد زنگ‌نزن (SS-302) با قطر مفتول‌های متفاوت و تکرار رابطهٔ (۱) و درنظر گرفتن معیارهای استاندارد طراحی فنرهای فشاری، می‌توان به فنری با قطر مفتول d=۳mm و مشخصات رابطهٔ (۱) دست یافت:

$$k = \frac{d^4 G}{8 D^3 N_a} \qquad (۱)$$

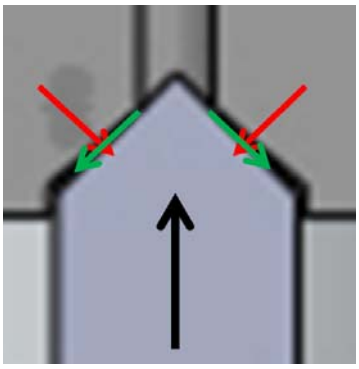
که در آن K ضریب سختی فنر، d قطر مفتول، G مدول برشی مفتول، D قطر متوسط فنر و N_a تعداد حلقه‌های فعال فنر است. فنر فشاری یادشده برای تولید نیروی ۳۵۰N باید تقریباً ۲۴mm فشرده شود. با درنظر گرفتن ۱۰mm کورس پیستون این فنر در حداکثر فشردگی خود ۳۴mm جابه‌جایی خواهد داشت. پس نیرویی که در حالت حداکثر فشردگی به پیستون وارد می‌کند طبق رابطهٔ (۲) محاسبه می‌شود:

$$F = k\Delta x = 14.55 \times 34 = 495 \qquad (۲)$$

نیروهای تماسی که در مجموعهٔ مونتاژی بین مجموعهٔ قرقره و پیستون حاصل می‌شود، مطابق شکل (۱۱) است که نیروهای قرمزرنگ نیروی عمودی سطح وارده از طرف قرقره به پیستون، نیروهای سبزرنگ نیروی اصطکاک بین قرقره و پیستون و نیروی مشکی‌رنگ نیروی وارده از طرف فنر فشاری پشت پیستون است. مجموعهٔ این نیروها باید در تعادل باشد. ضریب اصطکاکی تماسی بین قطعات برای تماس دو سطح فولادی و با شرایط تماس خشک ۰/۲ در نظر گرفته شده است.

8. Matlab
9. Wrappingwire
10. Linkwire

Arrive of SID
www.SID.ir



شکل ۱۱- نحوهٔ وارد شدن نیروها به قرقره‌ها و پیستون در نمونهٔ پیش‌مهندسی

$$\sum F_Y = 0 \rightarrow F_s - 2N_1 \sin 50 - 2\mu_1 N_1 \cos 50 = 0$$
$$N_1 = \frac{F_s}{2(\sin 50 + \mu_1 \cos 50)} = \frac{500}{2(0.77 + 0.2\times 0.64)} = 280N \quad (۳)$$

$$\sum F_Y = 0 \rightarrow N_1 \sin 50 + \mu_1 N_1 \cos 50 - N_2 = 0$$
$$N2 = N_1(\sin 50 + \mu_1 \cos 50) \quad (۴)$$

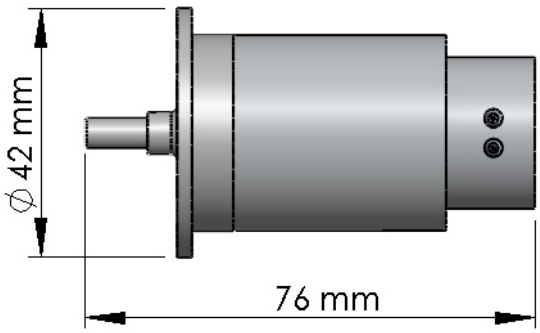
$$\sum Fx = 0 \rightarrow N_1 \cos 50 - \mu_1 N_1 \sin 50 - F_w - \mu_2 N_2 = 0$$
$$F_w = N_1(\cos 50 - \mu_1 \sin 50) + \mu_2 N_2$$
$$F_w = N_1(\cos 50 - \mu_1 \sin 50) + \mu_2 N_1(\sin 50 + \mu_1 \cos 50)$$
$$F_w = N_1(\cos 50 - \mu_1 \sin 50 + \mu_2 \sin 50 + \mu_1 \cos 50)$$
$$\mu_1 = \mu_2 = \mu = 0.2$$
$$F_w = N_1 \cos 50(1+\mu) \quad (۵)$$

$$T = \frac{1}{2} N_1 \cos 50(1+\mu) \rightarrow T = \frac{1}{2}\times 280 \cos 50 \times 1.2 = 108 \quad (۶)$$

در روابط (۳) تا (۷) F_Y، نیرو در راستای پین، F_S نیروی فنر، F_X برایند نیروها در راستای جانبی پین، N_1 نیروی عمود بر سطح قسمت مخروطی پین و نیروی T بیشترین نیرویی است که سیم پیچشی تحمل خواهدکرد. برای محاسبهٔ نیروی منتقل‌شده به سیم پیچشی مطابق رابطهٔ (۷) عمل می‌شود:

$$\frac{T_1}{T_2} = e^{\mu\theta} \rightarrow \frac{108}{T_2} = e^{0.2\times 5\pi}$$
$$T_2 = \frac{108}{e^{0.2\times 5\pi}} = 0.2N \quad (۷)$$

نیروی T_2، نیرویی است که به سیم پیچشی منتقل می‌شود که مقدار آن بسیار ناچیز است و در عمل هیچ نیرویی از نیروی فنر به سیم پیچشی منتقل نخواهد شد و تنها نیرویی میل به رهایش سیم پیچشی دارد که به سیم اتصال وارد می‌شود. نمونهٔ پیش‌مهندسی در شکل (۱۲) نشان داده شده است.



شکل ۱۲- نمونهٔ پیش‌مهندسی

مشکلات نمونهٔ پیش‌مهندسی

همان‌طور که اشاره شد جریان الکتریکی از سیم اتصال عبور می‌کند و با گرم شدن سیم از هم گسیخته می‌شود. از آنجایی که مقاومت الکتریکی سیم اتصال زیاد است، کوچک‌ترین اتصال سیم اتصال به فلز دیگر سبب عبور نکردن جریان از سیم اتصال خواهد شد. بنابراین، عایق بودن سیم اتصال یا بدنه بسیار مهم است. تولید روکش عایق نازک روی یک سیم اتصال به قطر ۰/۲mm کار دشواری است، زیرا این روکش باید بتواند تا دمای ذوب سیم نیکل ـ کروم (حدود ۹۰۰°C) روی سیم باقی بماند. در این بررسی تمام پوشش‌ها و روکش‌هایی اعمال‌شده روی سیم بر اثر حرارت سیم از بین رفت و اتصال کوتاه بین سیم اتصال و بدنهٔ قرقره رخ داد.

یکی دیگر از راه‌حل‌ها عایق کردن قرقره‌های فلزی است. اما مشکلی که مشاهده شد نفوذ نکردن مایعات پوششی به داخل سوراخ‌های ریز قرقره و شیارهای داخلی است. یکی از روش‌های که امتحان شد ساخت پوشش رنگ کوره‌ای الکترواستاتیک بود که در شکل ۱۳ نشان داده شده است.

با وجود این پوشش، لبه‌های تیز و همچنین، سوراخ‌های زیر قرقره، نقاطی بود که جریان را از سیم اتصال به بدنه انتقال می‌داد.

Arhive of SID

www.SID.ir

شکل ۱۳- قرقره‌های نمونهٔ پیش‌مهندسی با رنگ کوره‌ای

طراحی نمونهٔ مهندسی

در نمونهٔ مهندسی، نیروی کشش و کورس حرکتی پین پولر تغییر داده شد طوری که نیروی کشش حداقل ۵۰۰N و کورس حرکتی ۱۵mm در نظر گرفته شد.

طراحی فنر

با توجه به محدودیت ابعادی پین پولر و افزایش نیروی کششی، طراحی فنری که بتواند در محدودهٔ ابعادی محفظهٔ پین پولر قرار گیرد و نیروی کشش ۵۰۰N را تا انتهای کورس ۱۵ mm تأمین کند، امری دشوار است. با انجام محاسبات لازم در نرم‌افزار ادونس سپرینگ دیزاین[11]، برای تأمین نیروی کشش از دو فنر تو در تو به‌صورت موازی استفاده شد که در شکل (۱۴) نشان داده شده است.

شکل ۱۴- فنرهای پین پولر نمونهٔ مهندسی

با توجه به الزامات طراحی فنر و لزوم کارکرد درمحدودهٔ دمایی ۸۰°C-(۶۵-) از فولاد آلیاژی En 10270-3-1.4310 برای ساخت فنر استفاده شده است. فنر بیرونی از مفتولی به قطر ۴ mm ساخته شده است که قطر فنر ۴۳ mm و تعداد حلقه‌های آن ۸ عدد است. فنر داخلی از همان مفتول به قطر خارجی ۲۸ mm و تعداد حلقه‌های ۸ عدد ساخته شده است.

طراحی قرقره‌ها

همان‌طور که ذکر شد یکی از مشکلات اساسی نمونهٔ پیش-مهندسی عایق نبودن قرقره‌ها بود که سبب برقراری جریان بین سیم اتصال و قرقره‌ها می‌شد. بهترین گزینه برای ساخت چنین قطعه‌ای استفاده از مواد سرامیکی است که استحکام فشاری عالی دارد و عایق الکتریسیته است. به دلیل کوچک و پیچیده بودن ابعاد قرقره، تنها روش ساخت این نوع قطعه ماشین‌کاری است. بنابراین، سرامیک انتخابی باید قابلیت ماشینکاری داشته باشد که تنها نوع این سرامیک‌ها ، شیشه - سرامیک‌هایی با نام تجاری ماکور[12] است. نمونهٔ داخلی این نوع سرامیک از پژوهشگاه مواد و انرژی کرج تهیه شد. برای تراشکاری آن از تیغچهٔ کاربایدی استفاده شد که به دلیل ترد بودن سرامیک، تراشکاری آن در ابعاد کوچک امری بسیار دشوار بود طوری که هنگام برش، تکه‌های قرقره بعد از تراشکاری از قسمت فوقاتی دچار ترک می‌شد و می‌شکست. نمونهٔ شکسته‌شدهٔ آن در شکل (۱۵) نشان داده شده است.

شکل ۱۵- نمونهٔ تراشیده‌شدهٔ قرقره از جنس ماکور

مادهٔ دیگری که برای ساخت قرقره انتخاب شد کامپوزیت‌های کتان ـ فنولیک[13] است که در بازار به نام فیبر استخوانی شناخته می‌شود. این ماده استحکام فشاری بسیار خوب بوده و قابلیت ماشین‌کاری بسیار عالی دارد. نمونهٔ ماشینکاری‌شدهٔ آن در شکل (۱۶) نشان داده شده است.

11. Advance Spring Design

12. Macor
13. Cotton- Phenolic

Archive of SID

www.SID.ir

شکل ۱۶- قرقره‌های ساخته‌شده از فیبر استخوانی

سیستم رهایش

سیستم رهایش پین پولر از سیم NiCr8020 به قطر ۰/۱mm ساخته شده است. همان‌طور که قبلاً اشاره شد رهایش سیم اتصال در یک محدودهٔ مشخص بسیار مهم است، زیرا رهایش قبل و بعد از این ناحیه سبب آزاد نشدن قرقره‌ها و عملکرد پین پولر خواهد شد. برای اطمینان از گسیختن سیم اتصال در نقطهٔ مشخص، برای قسمتی از سیستم رهایش که داخل قرقره قرار دارد از سیم مسی استفاده شده و تنها بخشی که به سیم پیچشی متصل است از سیم نیکل ـ کروم است. حالت مونتاژی سیستم رهایش در شکل (۱۷) نشان داده شده است.

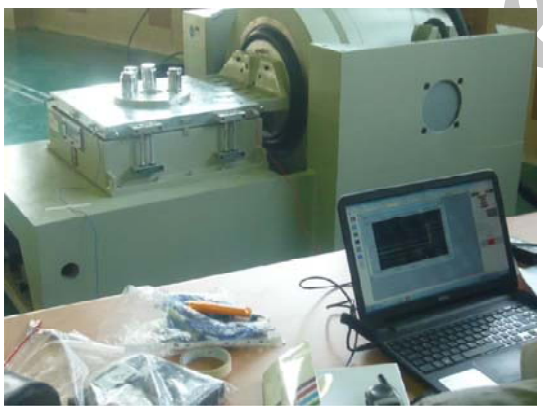
شکل ۱۷- حالت مونتاژی سیستم رهایش

در تست‌های انجام‌شده روی سیم اتصال مشاهده شد به دلیل کاهش قطر سیم، بر اثر عبور جریان ۵A در کمتر از ۲۰ms سیم اتصال از هم گسسته و سیم پیچشی از دور قرقره آزاد می‌شود. در شکل (۱۸) نمونهٔ مونتاژشدهٔ پین پولر نمونهٔ مهندسی نشان داده شده است. این نمونه بارها تست‌های عملکردی در دو جهت عمودی و جانبی با وزنه ۵۰kg را با موفقیت سپری کرده و زمان رهایش نیز با کاهش قطر سیم اتصال کمتر از ۲۰ms شده است.

شکل ۱۸- نمونهٔ مونتاژشدهٔ پین پولر در سطح مهندسی

آزمایش ارتعاش اتفاقی، سینوسی و شوک

طبق استاندارد فضایی [۷–۸] تست‌های ارتعاشی سینوسی، اتفاقی و شوک روی ۱۰ عدد پین پولر نمونهٔ فضایی انجام شد. این نمونه‌ها در دو گروه چهارتایی و یک گروه دوتایی به کمک فیکسچر اتصال به شیکر متصل و آزمون‌های مورد نظر روی آنها اجرا شد. نحوهٔ اتصال پین پولرها به میز لرزاننده در شکل (۱۹) نشان داده شده است.

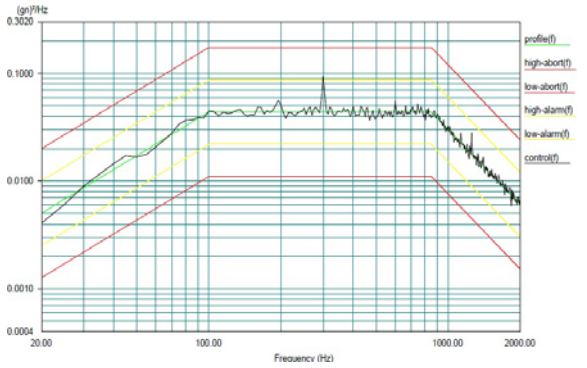


شکل ۱۹- اتصال پین پولرها به لرزاننده

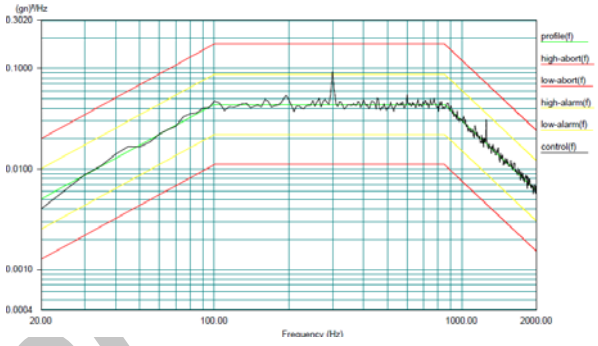
آزمایش ارتعاش اتفاقی در راستای سه محور X، Y و Z طبق استاندارد فضایی [۷] برای ۱۰ عدد پین پولر انجام شد. پین پولرها در دو دستهٔ چهارتایی و یک دستهٔ دوتایی به میز لرزاننده متصل شد. نمودار مربوط به آزمایش ارتعاش اتفاقی در سه راستا در شکل‌های (۲۰– ۲۲) نشان داده شده است.

Archive of SID

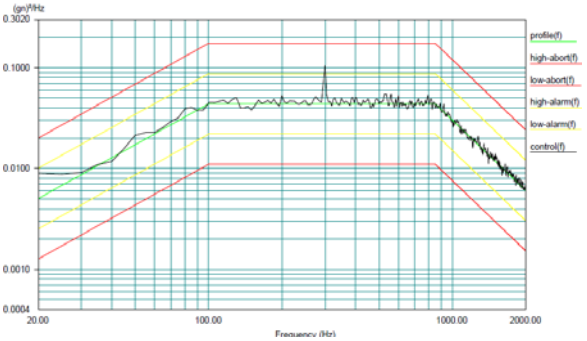
www.SID.ir



شکل ۲۰- پروفایل تست ارتعاشات اتفاقی راستای محور X در سطح پذیرش

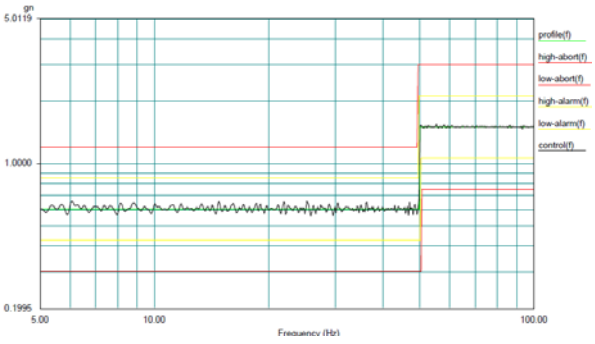


شکل ۲۱- پروفایل تست ارتعاشات اتفاقی راستای محور Y در سطح پذیرش

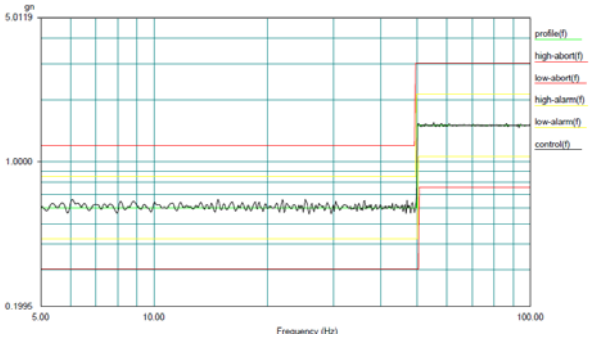


شکل ۲۲- پروفایل تست ارتعاشات اتفاقی راستای محور Z در سطح پذیرش

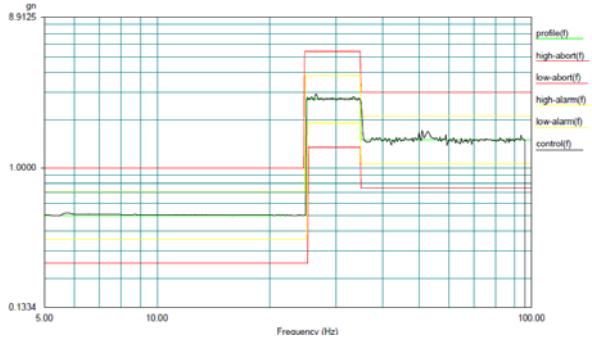
در مرحلهٔ بعد آزمایش ارتعاش سینوسی طبق استاندارد [۷] در راستای سه محور روی نمونه‌ها انجام شد که نمودار حاصل از آزمایش در شکل‌های (۲۳) تا (۲۵) نشان داده شده است.



شکل ۲۳- پروفایل تست ارتعاشات سینوسی در راستای محور X

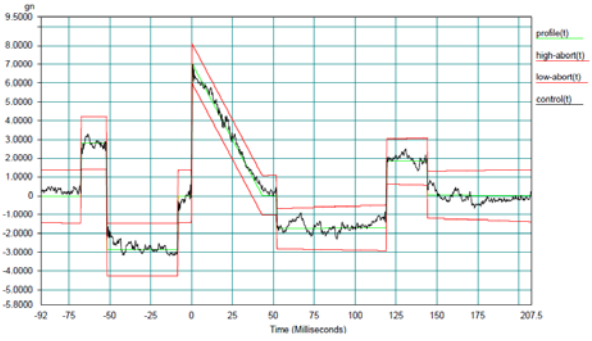


شکل ۲۴- پروفایل تست ارتعاشات سینوسی در راستای محور Y

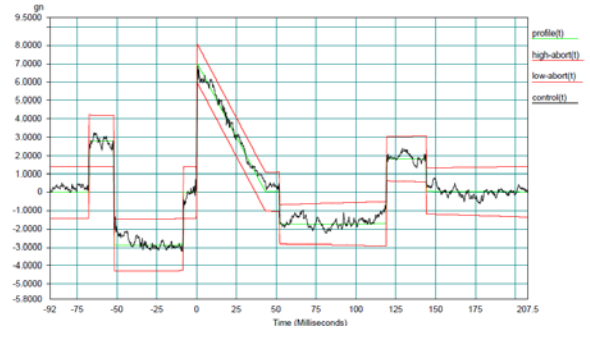


شکل ۲۵- پروفایل تست ارتعاشات سینوسی در راستای محور Z

در نهایت، آزمایش شوک نیز مانند مراحل قبل در سه راستا روی نمونه‌ها اجرا شد که نمودارهای مربوطه در شکل‌های (۲۶) تا (۲۸) ارائه شده است.

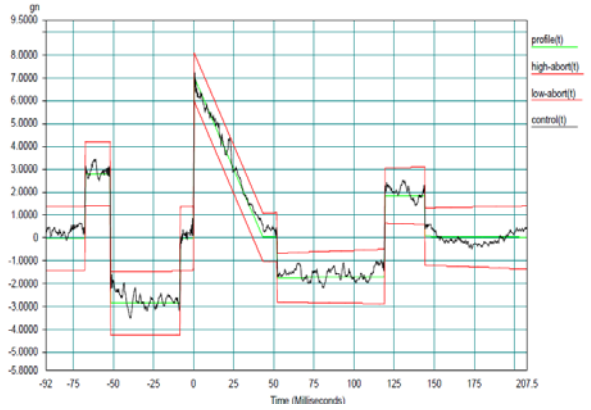


شکل ۲۶- پروفایل تست شوک مکانیکی راستای محور X



شکل ۲۷- پروفایل تست شوک مکانیکی راستای محور Y

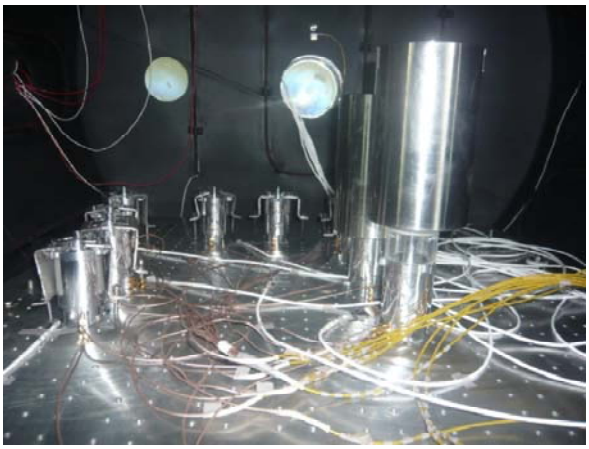
www.SID.ir



شکل ۲۸- پروفایل تست شوک مکانیکی راستای محور Z

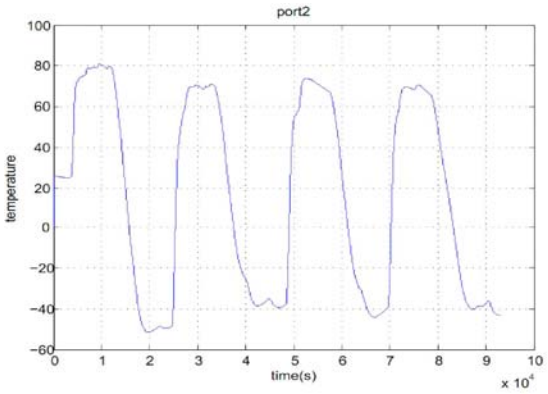
آزمون‌های پذیرش سیکل خلأ حرارتی

تعداد نمونه‌ها در آزمون پذیرش ۱۰ عدد است و به کمک براکت‌ها و وزنه به صفحهٔ محفظهٔ خلأ متصل می‌شود تا انتقال حرارت به روش هدایت به صورت کامل عملی شود (شکل ۲۹). به این ترتیب که دو تکهٔ براکت به کمک سیم فولادی نازک به هم اتصال داده و با استفاده از پیچ به سوراخ‌های تعبیه‌شده که روی صفحهٔ محفظه متصل شد و برای افزایش سطح تماس پین پولر با محفظه، بین اتصال ورقه‌های نازک و نرم آلومینیومی به کار رفت. برای رساندن جریان الکتریکی به درون محفظه، سیم خروجی جریان هر ۱۰ نمونه به هم وصل و به کمک یک سیم به بیرون از محفظه انتقال داده شد و جریان ورودی برای هرکدام از نمونه‌ها به صورت مجزا از طریق یک سیم از بیرون محفظه به آن اعمال می‌شود.



شکل ۲۹- نحوهٔ اتصال حسگرها و سیم‌های انتقال جریان الکتریکی به ده نمونهٔ پین پولر در محفظهٔ خلأ

نمودار تغییر دما در محفظهٔ خلأ که توسط حسگرها ثبت شده است در شکل (۳۰) نشان داده شده است.



شکل ۳۰- نحوهٔ تغییر دما در حسگرها

بررسی قابلیت اطمینان

یکی از معیارهای عمده در تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی‌های مهندسی نگهداری و تعمیرات، قابلیت اطمینان است. عام‌ترین و معمول‌ترین تعریف برای قابلیت اطمینان را می‌توان این طور ارائه کرد: قابلیت اطمینان یک سیستم عبارتست از احتمال کارکرد سالم و بدون عیب برای مدت زمان مشخص طبق شرایط حاضر و از پیش تعیین‌شده [۹]. قابلیت اطمینان معمولاً برای بیان درجهٔ اطمینان از کارکرد صحیح یک قطعه یا به طور کلی، مجموعه‌ای از عوامل طی مدت زمان و دورهٔ زمانی مشخص به کار می‌رود. اما توجه به این نکته ضروری است که اگر قطعه‌ای خراب شد، بدین معنا نیست که لزوماً غیر قابل اعتماد است. تمامی روابط قابلیت اطمینان بر پایهٔ احتمالات استخراج و برای شرایط عدم قطعیت محاسبه شده است. معمولاً برحسب نوع استفاده و موقعیت کاربرد، تعاریف گوناگونی برای قابلیت اطمینان ارائه می‌شود. همهٔ این تعاریف این وجه مشترک را دارد که تابع قابلیت اطمینان یعنی R(t) احتمال عملکرد مطلوب یک دستگاه در فاصلهٔ زمانی (0,T) را مشخص می‌کند.

بدیهی است که در حالت کلی، عملکرد مطلوب در زمان T این معنی را خواهد داشت که دستگاه در تمام فاصلهٔ زمانی (0,T) عملکرد مطلوب داشته است، به شرط اینکه در این مدت هیچ تعویض قطعه و یا تعمیری انجام نشود. قابلیت اطمینان با گذشت زمان تغییر می‌کند، پس می‌توان قابلیت اطمینان را به صورت تابعی از زمان در نظر گرفت و به صورت R(T) نشان داد.

بازهٔ عمر یک وسیله را می‌توان به سه دورهٔ نوزادی، جوانی و پیری تقسیم کرد. با توجه به نمودار تجربی نرخ خرابی، آهنگ بروز گسست در سیستم نسبت به زمان به صورت نمایی تغییر می‌کند. به علاوه، این نمودار مشخص‌کنندهٔ آن است که در دوران نوزادی و پیری نرخ گسست بسیار زیاد است. دوران نوزادی در تست‌های تنش و گرما می‌گذرد که درکارخانه اجرا می‌شود. پس می‌توان فرض

Archive of SID

www.SID.ir

کرد که معمولاً سیستم‌ها هنگام به‌کارگیری در بازهٔ جوانی قرار دارند. همچنین، پایان دورهٔ جوانی، پایان عمر مفید و پایان پیری، زمان گسست واقعی شناخته می‌شود. براساس روابط زیر قابلیت اطمینان با افزایش زمان گسست واقعی افزایش می‌یابد.

رابطهٔ (۷) به رابطهٔ گسست نمایی معروف است. در این روابط λ برابر تعداد گسست در واحد زمان، R(t) ضریب قابلیت اطمینان و θ طبق رابطهٔ (۸) برابر زمان گسست واقعی است [۱۰]:

$$R(t) = \exp(-\lambda t) \quad (۷)$$

$$\boldsymbol{\theta} = \int_0^\infty R(t)\, dt = \frac{1}{\lambda} \quad (۸)$$

هریک از سیستم‌ها از تعداد مختلفی از اجزا و زیرسیستم‌ها تشکیل شده است. با مشخص بودن کل اجزا، سیستم می‌تواند در یکی از سه گروه زیر قرار گیرد:

۱. سیستم‌های سری
۲. سیستم‌های موازی
۳. سیستم‌های سری ـ موازی

قابلیت اطمینان سیستم‌های سری

برای شبکه‌های متوالی قابلیت اطمینان کل سیستم از رابطهٔ (۹) به‌دست می‌آید.

$$R_s = \prod_1^n R_i \quad (۹)$$

در رابطهٔ (۹)، R_s برابر ضریب اطمینان کل سیستم، n برابر تعداد اجزای متوالی و R_i ضریب اطمینان هر جزء است.

قابلیت اطمینان سیستم‌های موازی

برای شبکه‌های موازی قابلیت اطمینان کل سیستم از رابطهٔ (۱۰) به دست می‌آید:

$$R_P = 1 - [(1 - R_1)(1 - R_2) \dots] \quad (۱۰)$$

که R_P برابر قابلیت اطمینان کل سیستم و R_1، R_2 و ... برابر قابلیت اطمینان هریک از اجزای سیستم است.

با توجه به توضیحات ارائه‌شده درخصوص روابط و نمودارهای قابلیت اطمینان و همچنین، نحوهٔ عملکرد این نوع از پین پولرها که در حقیقت، در طول عمر خود فقط یکبار عمل خواهد کرد، به نظر می‌رسد که باید به روش دیگری از این روابط استفاده شود. یعنی توابع یادشده برای سیستم‌هایی درنظر گرفته می‌شود که در طول عمر خود به صورت پیوسته یا گسسته کار می‌کند و پس از مدتی خراب می‌شود. قابلیت اطمینان این سیستم‌ها براساس مدت زمان عملکرد آنها تعیین می‌شود. حال آنکه در این نوع از پین پولرها، پس از مونتاژ پین پولر و قرار گرفتن آن در موقعیت خود، برای مدت زمان مشخصی (مثلاً سه ماه) بدون هیچ عملکردی باقی و در یک لحظهٔ مشخص در مدت زمان بسیار کوتاه (حدود صدم ثانیه) عمل می‌کند و وظیفهٔ خود را انجام می‌دهد که پس از آن دیگر هیچ وظیفه‌ای بر عهده ندارد و مأموریت آن پایان می‌یابد. بنابراین می‌توان قابلیت اطمینان این سیستم را در دو بازه بررسی کرد:

۱. از لحظهٔ مونتاژ تا لحظهٔ عملکرد
۲. در طول عملکرد

تحلیل قابلیت اطمینان پین پولر

همان‌طور که در بند قبل اشاره شد، برای تحلیل قابلیت اطمینان این نوع از پین پولر، بازهٔ زمانی عملکرد پین پولر به دو بخش«از لحظهٔ مونتاژ تا لحظهٔ قبل از شروع عملکرد» و «لحظهٔ عملکرد» تقسیم می‌شود. بنابراین، قابلیت اطمینان هریک از قطعات تشکیل‌دهندهٔ پین پولر در این دو بازه از عمر پین پولر بررسی و قابلیت اطمینان پین پولرتعیین می‌شود.

محفظه

محفظه یکی از قطعات پین پولر است که هیچ حرکت مکانیکی در عملکرد آن نیست و جزء قطعات ثابت پین پولر است. شبیه‌سازی‌ها و تحلیل‌های مکانیکی انجام‌شده روی پین پولر نشان داد که از نظر تنشی، این قطعه ضریب اطمینان بالایی دارد و کاملاً در ناحیه امن طراحی است طوری که حتی اگر هنگام ساخت، ایرادات احتمالی ساخت نیز در نظر گرفته شود، این قطعه همچنان در محدودهٔ قابل قبولی از نظر استحکام قرار می‌گیرد، پس قابلیت اطمینان این قطعه در هردو بازهٔ قبل از عملکرد و لحظهٔ عملکرد به شرح رابطه (۱۱) است:

$$R_{housing-S1} = 0.999$$
$$R_{housing-S2} = 0.999 \quad (۱۱)$$

در شکل (۳۱) نمای کلی محفظه نشان داده شده است.

شکل ۳۱- نمای کلی محفظهٔ پین پولر

درپوش

عملکرد درپوش پین پولر نیز به طور دقیق مشابه عملکرد محفظهٔ آن است (شکل ۳۲). در پوش نیز، یک قطعهٔ ثابت از پین پولر است

Arhive of SID
www.SID.ir

که میزان تنش‌های تولیدشده در آن نسبت به استحکام آن در محدودهٔ بسیار پایینی قرار دارد. بنابراین، حتی با در نظر گرفتن احتمال بیشینهٔ خطای ساخت می‌توان قابلیت اطمینان این قطعه را به شرح رابطهٔ (۱۲) در نظر گرفت:

$$R_{cap-S1} = 0.999 \\ R_{cap-S2} = 0.999 \quad (۱۲)$$

شکل ۳۲- نمای کلی درپوش پین پولر

پین

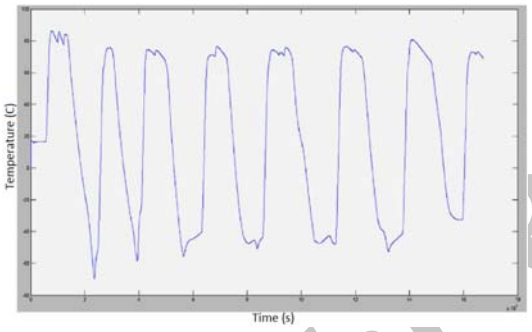
استحکام عملکرد پین همانند دو قطعهٔ قبلی از دو جهت (هم در بازهٔ قبل از عملکرد و هم در لحظهٔ عملکرد) بررسی می‌شود. با توجه به طراحی این قطعه با ضریب اطمینان بالا، مقدار تنش‌های تولیدشده در این قطعه بسیار کمتر از استحکام آن در هر دو بازهٔ قبل و بعد از عملکرد است و از این نظر پین با قابلیت اطمینان ۰/۹۹۹ در نظر گرفته می‌شود. همچنین، از دیدگاه عملکردی می‌توان به این نکته اشاره کرد که عملکرد پین به عملکرد دیگر قطعات اعم از قرقره، سیم اتصال و سیم پیچشی بستگی دارد که عملکرد این قطعات به نوبهٔ خود بررسی خواهد شد.

شکل ۳۳- نمای کلی پین

فنر

فنرها یکی از اجزای اصلی پین پولر هستند که وظیفهٔ آنها عقب راندن پین هنگام گسیخته شدن سیم اتصال است. طراحی پین پولر مورد نظر طوری است که در هر پین پولر دو عدد فنر با اندازه‌های متفاوت به کار برده شده است. جنس فنرها از آلیاژ فولاد ۱.۴۳۱۰ است که نوعی آلیاژ از فولاد ۳۰۲ است. فنری از این جنس قابلیت عملکرد در محدودهٔ دمایی $-200^{\circ}C$ (−۱۵۰) را دارد. محدوده دمایی بقا برای پین پولر $-80^{\circ}C$ (−۶۰) و محدودهٔ دمایی عملکرد پین پولر $-60^{\circ}C$ (−۴۰) است. بنابراین، عملکرد فنرها در این محدوده‌های دمایی تحت تأثیر قرار نخواهد گرفت. از لحاظ عملیاتی نیز در شرایط سیکل‌های حرارتی مطابق شرایط فضایی روی دو عدد پین پولر تست عملکردی اجرا شد.

در شکل (۳۴) نمودار سیکل حرارتی برحسب زمان اعمال‌شده روی پین پولر نشان داده شده است. در این نمودار، محور عمودی دما و محور افقی زمان (برحسب ثانیه) است. در هردو مورد بعد از طی سیکل حرارتی مورد نظر، پین پولر به‌درستی عمل کرده است. بنابراین، فنرها در دمای کاری پین پولر هیچ مشکلی نخواهد داشت که این نتیجه با توجه به دمای عملیاتی جنس فنر، پیش‌بینی می‌شد. فنرهای این دو پین پولر بعد از تست سیکل‌های حرارتی از لحاظ سختی فنر دوباره آزمایش شد و سختی فنرها همانند حالت قبل از تست و برابر مقدار مورد نظر بود.



شکل ۳۴- نمودار سیکل حرارتی (دما برحسب زمان)

همچنین، روی دو مورد از فنرها تست دوام اجرا شد. به این ترتیب که این دو فنر به اندازهٔ ۵۰ mm توسط گیره جمع شد و به مدت دو ماه در این حالت قرار گرفت. بعد از این مدت هر دو فنر از گیره باز شدند و تست سختی فنر روی آنها اجرا شد. سختی فنرها همانند حالت قبل بوده و این آزمایش و شرایط آن تأثیری بر عملکرد این فنرها نداشت. در شکل (۳۵) نمای جمع‌شدهٔ فنرها نشان داده شده است.

شکل ۳۵- تست دوام فنرهای پین پولر

Archive of SID

www.SID.ir

با توجه به توضیحات یادشده و طراحی با ضریب اطمینان بالای فنرها می‌توان به این نتیجه رسید که فنرها تحت شرایط مختلف کاری پین پولر هیچ مشکلی نخواهد داشت و به‌درستی به وظیفهٔ خود عمل می‌کند. بنابراین، می‌توان ضریب اطمینان فنرها را ۰/۹۹۹ در نظر گرفت:

$$R_{spring} = 0.999$$

تکه‌های قرقره

در این پروژه، قطعهٔ قرقرهٔ پین پولر به صورت دو تکه قرقرهٔ نیم‌استوانه‌ای مخروطی طراحی شده است که توسط سیم پیچشی به یکدیگر متصل می‌شود و با پاره شدن سیم اتصال و باز شدن سیم پیچشی از دور دو تکهٔ قرقره، پین توسط نیروی فنرها به جلو رانده می‌شود. بنابراین، رهایش از طریق جداسازی تکه‌های قرقره رخ می‌دهد و به واسطهٔ درگیری قطعاتی مثل پین و تکه‌های قرقره، قرقره، درپوش و تکه‌های قرقره با سیم پیچشی، کاهش برخوردها و نیروی اصطکاک در این درگیری‌ها از جمله مطالب مهم در طراحی مکانیزم پین پولر است و این عوامل می‌تواند عملکرد پین پولر را تحت تأثیر قرار دهد. برای شناسایی دقیق مکانیزم‌های در دسترس، مدلی اولیه از مکانیزم پین پولرهای حاضر طراحی و ساخته شد. نتایج حاصل از تست نمونهٔ آزمایشگاهی ساخته‌شده حاکی از آن بود که برای افزایش قابلیت اطمینان در رهایش پین در برخی مواقع با وجود رهایش سیم اتصال درگیری بین قرقره و درپوش به دلیل بالا بودن نیروی اصطکاک مانع عملکرد صحیح مکانیزم می‌شود. پس برای جلوگیری از این مسئله در هندسهٔ قرقره‌ها تغییراتی اعمال و به‌صورت سر مخروطی و دوتکه طراحی شده است (شکل ۳۶).

همچنین، برای جلوگیری از درگیری قرقره‌ها در مدل طراحی‌شده شیارهایی روی قرقره‌ها حفر شده است که در عمل نتیجهٔ بسیار مناسبی در عملکرد مکانیزم نشان می‌دهد.

شکل ۳۶- نمای قرقرهٔ پین پولر

قرقره‌ها نیز باید از نظر استحکام در محدودهٔ قابل قبولی قرار داشته باشد که شبیه‌سازی‌ها نشان‌دهندهٔ این مسئله است. همچنین، از نظر عملکردی، زمانی که سیم پیچشی باز می‌شود، قرقره‌ها باید از یکدیگر جدا شود که جدا نشدن تکه‌های قرقره می‌تواند ناشی از عملکرد ناصحیح سیم پیچشی یا پاره نشدن سیم اتصال باشد. عاملی از خود تکه‌های قرقره که مانع جدایش آنها شود، پدیدهٔ اصطکاک بین قرقره‌ها و کپ است که با مخروطی کردن سر قرقره‌ها، این مشکل به‌طور کامل رفع شد. در بیش از ۸۰ تست انجام‌شده روی طرح‌های مختلف پین پولر با قرقرهٔ سرمخروطی، ایراد ناشی از قرقره‌ها مشاهده نشد. بنابراین، می‌توان قابلیت اطمینان این قطعه را از نظر استحکام و عملکرد به شرح رابطهٔ (۱۳) در نظر گرفت:

$$R_{spool-S1} = 0.999 \qquad (۱۳)$$
$$R_{spool-S2} = 0.999$$

سیم اتصال

قابلیت اطمینان سیم اتصال که برش آن از محل مناسب سبب آزاد شدن سیم پیچشی و اسپول‌ها می‌شود و پین آزاد خواهد شد، از سه جنبهٔ استحکام سیم، محل برش آن و احتمال پاره نشدن آن بررسی می‌شود. از نظر استحکام، با توجه به شبیه‌سازی‌ها و تحلیل‌های انجام‌شده مشاهده می‌شود که در هیچ شرایطی سیم اتصال خود به‌خود پاره نخواهد شد. بنابراین:

$$R_{link\ wire-S1} = 0.999$$

مورد دوم در قابلیت اطمینان سیم اتصال آن است که سیم مورد نظر هنگام عبور جریان الکتریکی از محل مناسب و تعیین‌شده گسیخته شود. با توجه به اینکه سیم اتصال به دو عدد سیم کوتاه نظامی پیچیده می‌شود و فقط طول کوتاهی (کمتر از ۲ mm) از سیم اتصال (شکل ۳۵) آزاد باقی می‌ماند، بنابراین، سیم اتصال همواره از محل مورد نظر پاره می‌شود و تا به حال در تست‌های مختلف اجراشده، هیچ موردی از گسست سیم اتصال در محل نامناسب مشاهده نشده است. بنابراین:

$$R_{link\ wire-S2} = 0.999$$

سیم پیچشی

در بررسی قابلیت اطمینان سیم پیچشی به دو مورد استحکام و باز شدن در لحظهٔ برش سیم اتصال توجه می‌شود. نتایج شبیه‌سازی‌ها و همچنین، تست‌های انجام‌شده نشان داده است که از نظر استحکام، سیم پیچشی در محدودهٔ مناسبی قرار دارد و پین پولر از این نظر مشکل نخواهد داشت. همچنین، در بحث باز شدن سیم پیچشی در لحظهٔ گسست سیم اتصال، از بیش از ۵۰ تست انجام‌شده یک مورد مشکل مشاهده شده است که در آن گسست سیم

Arhive of SID

www.SID.ir

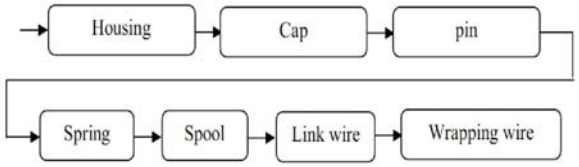
اتصال رخ داده است اما سیم پیچشی آزاد نشده و عمل نکرده است. بنابراین، قابلیت اطمینان برای این قطعه از نظر استحکام و باز شدن در لحظهٔ گسست سیم اتصال به ترتیب برابر است با (رابطهٔ ۱۴):

$$R_{wrapping\ wire-S1} = 0.999 \qquad R \qquad (۱۴)$$

شکل ۳۷- نمای کلی قرقرهٔ مونتاژشده با سیم اتصال و سیم پیچشی

مجموعهٔ پین پولر

برای تعیین قابلیت اطمینان پین پولر باید اجزا و زیرسیستم‌های آن شناسایی شود. با توجه به مطالب یادشده نمودار عملکرد پین پولر مطابق شکل (۳۸) است.



شکل ۳۸- نمودار عملکرد قطعات پین پولر

در بندهای قبلی قابلیت اطمینان هریک از اجزای پین پولر به صورت مجزا بررسی شد. در این قسمت قابلیت اطمینان پین پولر با استفاده از قابلیت اطمینان هریک از اجزای آن محاسبه می‌شود. در این پروژه به دلیل اهمیت کارکرد هم‌زمان زیرسیستم‌ها در یک لحظه و بالا بودن قابلیت اطمینان سیستم، همهٔ زیرسیستم‌ها به صورت سری در نظر گرفته شده است. یعنی چون هر یک از اجزا به‌طور مستقیم در عملکرد پین پولر دخیل است و عملکرد ناصحیح هرکدام به طور مستقیم بر عملکرد کل مجموعه تأثیر می‌گذارد. سیستم مورد نظر از نوع سری است و رابطهٔ قابلیت اطمینان آن به صورت رابطهٔ (۱۵) خواهد بود:

$$R_{pinpuller} = R_{housing} \times R_{cap} \times R_{pin} \times R_{spring} \times R_{linkwire} \times R_{spull} \times R_{wrappingwire} \qquad (۱۵)$$

با استفاده از نتایج یادشده برای هریک از اجزا، قابلیت اطمینان مجموعهٔ پین پولر به صورت رابطهٔ (۱۶) به دست می‌آید:

$$R_{pinpuller} = 0.998 \times 0.998 \times 0.998 \times 0.999 \times 0.998 \times 0.997 \times 0.979 = 0.967 \qquad (۱۶)$$

بنابراین، با استفاده از قابلیت اطمینان قطعات و اجزای پین پولر، ضریب اطمینان پین پولر برابر ۰/۹۶۷ به دست آمد.

نتیجه‌گیری

در این مقاله، روند طراحی و ساخت پین پولر نوع قرقره بررسی شده است. طراحی این پین پولر از ساخت نمونهٔ آزمایشگاهی با مقیاس ۵ برابر شروع شد. نمونه‌ای که هدف از ساخت آن بررسی مکانیزم عملکردی پین پولر و پیدا کردن نقاط حساس از لحاظ طراحی است. در نمونهٔ پیش‌مهندسی که در مقیاس واقعی ساخته شد، نیروی کشش برابر ۳۵۰N و کورس حرکتی ۱۰ mm است. در نمونهٔ مهندسی نیروی کشش به ۵۰۰N و کورس حرکتی به ۱۵ mm افزایش داده شد. روی نمونهٔ فضایی این محصول تست‌های عملکرد مانند تست ارتعاشی اتفاقی، سینوسی و شوک اجرا شد. تست‌های حرارتی نیز در محدودهٔ استاندارد فضایی اعمال شد. قابلیت اطمینان این محصول با بررسی قابلیت اطمینان قطعات تشکیل‌دهندهٔ پین پولر محاسبه شد و در نهایت قابلیت اطمینان ۰/۹۶۷ به دست آمد.

تقدیر و تشکر

در این قسمت لازم است از زحمات رییس محترم پژوهشکدهٔ رانشگرهای فضایی تشکر و قدردانی شود که سهم عمده ای در به ثمر رسیدن این پروژه داشتند. همچنین، از پژوهشگاه فضایی ایران بابت انجام تست‌های حرارت و ارتعاشات پین پولر تشکر و اعتلای روزافزون این مرکز بزرگ را از خداوند منان خواستارم.

مراجع

[1]Sclater, N. and Chironis, N.P., *Mechanisms and Mechanical Devices Sourcebook*, Mc Grow Hill, 2001.

[2]Chaput, D. and Visconti, M., "Payload Hold Down and Release Mechanism, G&H Technology: California, 1991.

[3]Holt, A. Wu, J.Y., Dalton, M. and Laughlin, P. "Spool Assembly With Integrated Link-Wire and Electrical Terminals for Non Explosive Actuators Used in Electro-Mechanidcal Structural Separation Devices", *US Patenet* 6,747,541 B1, Jun 8, 2004.

[4]Courtney, C., Mccormick, L., Moran, Stephenson, T. and *Electro*, R., *Mechanical Mechanism for Remote Actuation Requirements*, G&H Technology, Inc.

[5]Mc Cormick, L., "Motion Initiator", US Patent 5,471,888, Dec. 5, 1995.

[6] Courtney, C., Mc Cormick, L., Moran, T. and Stephenson, R. "Electro-Mechanical Mechanism for Remote Actuation Requirements", G&H Technology Inc, 750 W. Ventura Blvd, Camarillo, California, USA.

[7] Space Engineering Testing, ECSS-E-10-03A, 2002.

Archive of SID
www.SID.ir

[8] Mechanical Parts and Processes, ECSS-Q-ST-70C, 2009.
[9]Materials, J.E. Shigley, *Mechanical Engineering Design*, Seventh Edition, McGraw Hill, 2004.
[10]Degarmo, E.P. and Black, J.T., *Materials and Processing in Manufacturing*, John Wiley & Sons, 2006.

Arhive of SID

www.SID.ir