

Design and Fabrication of Spool Type Pin Puller Mechanism- from Concept to Qualification Model

A. Mahmoud- Aghdami^{1*}, F. Farhang Laleh² and M. Ghahramani³

1. Department of Manufacturing Engineering, University, Faculty of Mechanical Engineering, University of Tabriz

2, 3. Space Extruders Institute, Iranian Space Research Institute

*Postal Code: 5174883431

aghdami@tabrizu.ac.ir

In this article the design and the development of spool type pin puller mechanism from concept model to engineering model was expressed. At first, present models and designs were investigated and the conceptual design was based on positive aspects of these models and in order to better study the operation of mechanism, the concept model was built 5 times bigger than the real model. After this model the pre-engineering model with 350N pulling force was designed and built. It was tried to reduce the operational defects of concept model like fuse operation and the rupture of warping wire, in the pre-engineering model. Assembling of the model was carried out with special tools and operation test carried out in room temperature. In the engineering model pulling force was increased to 500 N and the material of inside parts was changed due to special electrical and mechanical conditions. Temperature and atmospheric test conditions were considered in the last model and the model was prepared to pass all qualification tests. Vibration tests and also Temperature tests were performed in vacuum chamber with respect to space standards. Reliability calculations were done on each pin puller parts and at last reliability of whole pin puller system were obtained.

Keyword: Pin puller, Relaxation mechanisms, Vibration tests, Vacuum temperature tests

1. PhD Student (Corresponding Author)

2. M. Sc.

3. Educator

طراحی و ساخت پین پولر نوع قرقره در سطح فضایی - از طراحی مفهومی تا نمونه کیفی

اشکان محمود اقدمی^{۱*}، فرهاد فرهنگ لاله^۲ و محمد قهرمانی^۳

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

۲ و ۳- پژوهشکده 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 نمونه مهندسی آن به تفصیل 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 نمونه آزمایشگاهی در مقیاس پنج برابر برای بررسی بهتر عملکرد اولیه مکانیزم طراحی و ساخته شد. بعد از این نمونه، مرحله طراحی و ساخت نمونه پیش-مهندسی در مقیاس یک به یک با نیروی کشش ۳۵۰N آغاز شد. در نمونه پیش‌مهندسی سعی شده است که مشکلاتی مشاهده شده در عملکرد نمونه آزمایشگاهی مانند عملکرد فیوز رهایش و نحوه گسیختگی سیم اتصال مرتفع شود. مونتاژ نهایی توسط فیکسچر مخصوص اجرا و تست عملکرد در دمای محیط با موفقیت انجام شد. در نمونه 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 شرایط محیطی در حد تست‌های کیفیت طراحی و ساخته شد. سپس، نمونه کیفی ساخته و تست‌های ارتعاشی و تست سیکل حرارتی در محفظه خلأ در محدوده تست‌های فضایی اجرا شد. قابلیت اطمینان برای اجزای تشکیل دهنده 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
K	ضریب سختی فنر	قطر متوسط فنر
G	مدول برشی مفتول	تعداد حلقه‌های فعال فنر
F_S	نیروی فنر	نیرو در راستای پین
N_1	نیروی عمود بر سطح	برایند نیروها در راستای جانبی پین
		نیروی کشش سیم پیچشی
		قطر مفتول

مقدمه

پین پولرها^۴ از جمله سخت‌افزارهای پرکاربرد در حوزه مکانیزم فضایی است که به دو دسته کلی انفجاری و غیر انفجاری تقسیم‌بندی می‌شود [۱]. از عمده کاربردهای کلیدی پین پولر

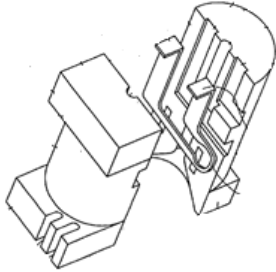
۱. دانشجوی دکتری (نویسنده مخاطب)

۲. کارشناسی ارشد

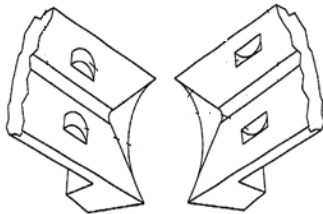
۳. مربی

۴. کشنده بین اتصال

برای چفت شدن دو نیمه قرقره، شکل متقارن قطعه یکپارچه در سطح داخلی قرقره ساخته شده است (شکل ۳).

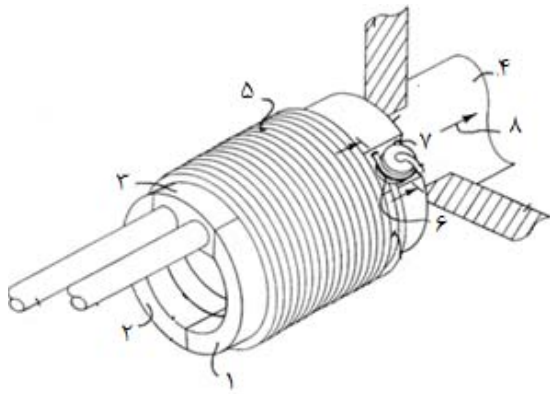


شکل ۲- نمای دو نیمه قرقره و سیم اتصال [۳]



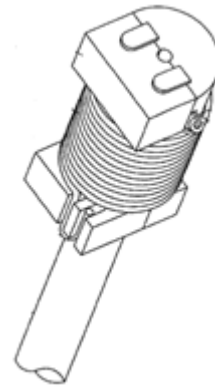
شکل ۳- نیمه‌های قرقره [۳]

شکل (۴) یک مدل از راه‌انداز مکانیکی - الکتریکی قرقره را نشان می‌دهد که از دو تکه 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 درجه باقی‌مانده از دایره 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 بین رهايش را در میان بگیرد و مانع از حرکت محوری آن شود. بین رهايش (۴) در جهت (۸) تحت کشش قرار می‌گیرد.



شکل ۴- نمای بین پولر قرقره در حالت جمع‌شده [۳]

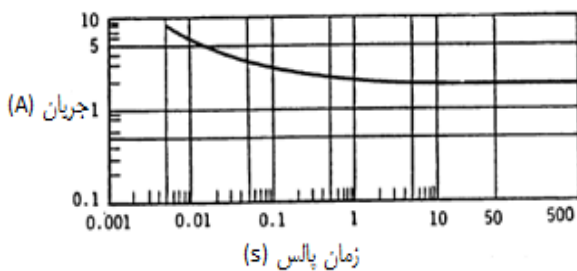
می‌توان به مکانیزم رهايش آرایه‌های خورشیدی، آنتن‌های ارتباطی، جدایش طبقات ماهواره‌بر و اتصال مخزن ذخیره سوخت و کلاهک ماهواره و ... اشاره کرد. بین پولرهای غیر انفجاری به انواع مختلفی مانند حالت قرقره، پارافینی، آلیاژ حافظه‌دار و ... دسته‌بندی می‌شود [۲]. بین پولر نوع قرقره‌ای با داشتن هشت قطعه درگیر در عملکرد مکانیزم امکان افزایش قابلیت اطمینان را بالا خواهد برد [۱]. در بین پولر نیروی محرک بین، فنر پشت آن است که در حالت آماده به صورت فشرده پشت بین قرار داده شده است. سیم پیچشی به دور قرقره‌ها پیچیده شده است تا دوتکه قرقره را کنار هم نگه دارد و در نهایت، سیم پیچشی از داخل سیم اتصال عبور داده می‌شود. مجموعه 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 زاویه مخروط آن با بین برابر است و نیروی فشاری بین همواره تمایل به جدا کردن قرقره‌ها دارد. با آزاد شدن سیم پیچشی، بین قرقره‌ها را از هم جدا کمی کند و به سمت جلو حرکت خواهد کرد و بین به داخل محفظه کشیده خواهد شد. نمونه مجموعه قرقره مونتاژشده در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱- مجموعه 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.

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» 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 رهائش و جریان در حالت جریان ۰/۶ آمپر در وضعیت بدون آتش در شکل (۶) نشان داده شده است.



شکل ۶- زمان رهائش 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 به راحتی به سیم پیچشی متصل شود [۴]. مهم‌ترین چالش پیش رو، اتخاذ تدابیری برای گسیخته شدن سیم اتصال از یک نقطه مشخص است، زیرا طول کل سیم اتصال ۲-۳ cm است و گسیختگی باید در یک نقطه مشخص با تلرانس ۱ mm اتفاق بیفتد و پاره شدن سیم در هر نقطه غیر از این ناحیه مشخص سبب عدم رهائش صحیح سیم پیچشی خواهد شد [۵].

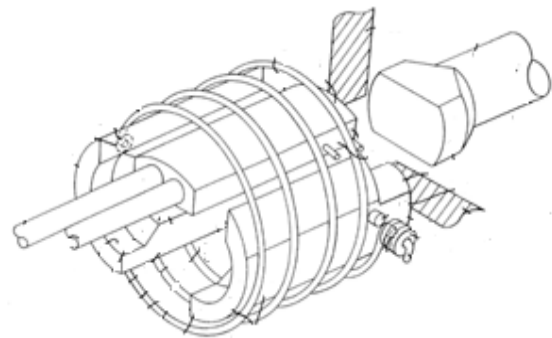
قرقره

طراحی قرقره یکی از مهم‌ترین بخش‌های طراحی مکانیزم بین‌پولر 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^۶ را داشته باشد. طراحی هندسه قرقره نقش بسیار مهمی در سرعت و نحوه جدایش آنها بازی می‌کند.

فنر

سیستم محرک و تامین‌کننده نیروی کشش، فنر فشاری داخل بین‌پولر است. فنر باید در کمترین حجم و طول بیشترین نیروی کششی

یک انتهای سیم پیچشی (۵) به بدنه یکی از تکه‌های قرقره متصل می‌شود و انتهای دیگر آن از سوراخ مرکزی یک استوانه کوچک از جنس سرامیکی عبور می‌کند. استوانه سرامیکی توسط سیم اتصال (۶) نگه داشته و بدین ترتیب از رهائش سیم پیچشی (۱) و در نتیجه، از رها شدن قرقره و پین رهائش جلوگیری می‌شود. برای جلوگیری از سر خوردن سیم اتصال (۶)، در خارج استوانه سرامیکی یک شیار محیطی حفر شده است تا سیم (۶) در آن قرار گیرد. شکل (۵) حالت رها شده دستگاه را نشان می‌دهد. برای انجام رهائش 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 گرم شدن بر اثر عبور جریان الکتریکی با توان متوسط را دارد. همان‌طور که در شکل (۵) دیده می‌شود انتهای بین‌رهائش شبه-مخروطی است و محل نشستن آن در سطح داخلی دوتکه قرقره با توجه به آن شکل داده شده است.



شکل ۵- نمایی از حالت باز شدن بین‌پولر و رهائش پین [۳]

قابلیت اطمینان و کارایی این عملگرهای غیر انفجاری به عوامل مختلفی مانند سیم اتصال، فصل مشترک قرقره، محفظه 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

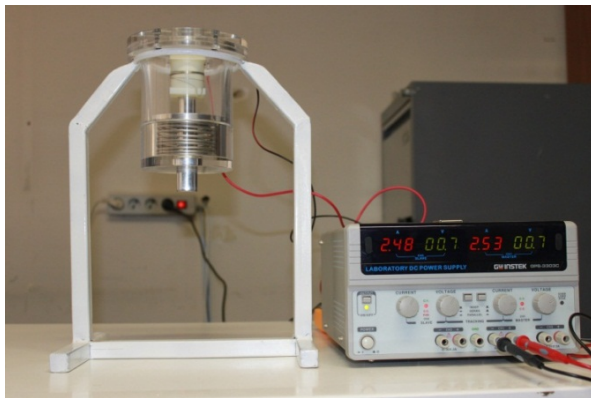
سیم اتصال، قرقره و فنر از پارامترهای مهم طراحی است که در ادامه هر یک شرح داده می‌شود.

سیم اتصال

مجموعه قرقره از طریق عبور جریان از سیم اتصال از هم جدا می‌شود که به سیم پیچشی متصل شده است و دو تکه قرقره را کنار هم نگه می‌دارد. عبور جریان سبب گرمایش مقاومتی و افزایش

5. no-fire
6. Plunger

جریان ۵A از آن عبور داده شد. برای سنجش زمان گسیخته شدن نیز، یک مقاومت $1K\Omega$ با سیم اتصال به صورت سری متصل و با ثبت لحظه اعمال ولتاژ و قطع شدن آن، زمان رهایش اندازه‌گیری شد. زمان رهایش در تست نزدیک به ۷۵۰ms اندازه‌گیری شد که کمتر از ۱ ثانیه است و در محدوده 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- نمونه آزمایشگاهی در حال تست رهایش



شکل ۹- تست زمان رهایش نمونه آزمایشگاهی

مشکلات عملکردی نمونه 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 دیواره داخلی محفظه قرار گرفت که سبب توقف حرکت پین شد.

را تأمین کند. ضریب ثابت فنر باید در طول زمان مأموریت در فضا که چندین سیکل حرارتی از دمای $80^{\circ}C$ تا $-65^{\circ}C$ را طی می‌کند، ثابت بماند و نیروی فشاری فنر در دمای $80^{\circ}C$ و $-65^{\circ}C$ تغییر زیادی نداشته باشد. انبارش فنر در حالت فشرده تأثیری بر خواص فنر از جمله طول و ضریب ثابت فنر نداشته باشد. در دماهای منفی فنر دچار شکست ترد نشود.

طراحی نمونه آزمایشگاهی

هدف از طراحی و ساخت نمونه آزمایشگاهی، بررسی و شناسایی پارامترهای تأثیرگذار بر عملکرد پین پولر و رسیدن به یک دید مهندسی از مکانیزم نوع قرقره است. بنابراین، محفظه نمونه 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 نمونه آزمایشگاهی بعد از مونتاژ

نمونه آزمایشگاهی اولیه (شکل ۷) در دمای اتاق روی پایه آن قرار گرفت و ولتاژ منبع تغذیه برابر حداکثر مقدار ۲۴۷ تنظیم و

7. Thermal resistance

طراحی فنر

برای طراحی فنری با این مشخصات با استفاده از استانداردهای طراحی فنرهای فشاری و کدنویسی در نرم‌افزار متلب^۸ 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^۹ و سیم اتصال^{۱۰} 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 $OD=23mm$ است. با در نظر گرفتن فولاد زنگ‌نزن (SS-302) با قطر مفتول‌های متفاوت و تکرار رابطه (۱) و در نظر گرفتن معیارهای استاندارد طراحی فنرهای فشاری، می‌توان به فنری با قطر مفتول $d=3mm$ و مشخصات رابطه (۱) دست یافت:

$$k = \frac{d^4 G}{8D^3 N_a} \quad (1)$$

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 در نظر 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 رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$F = k\Delta x = 14.55 \times 34 = 495 \quad (2)$$

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

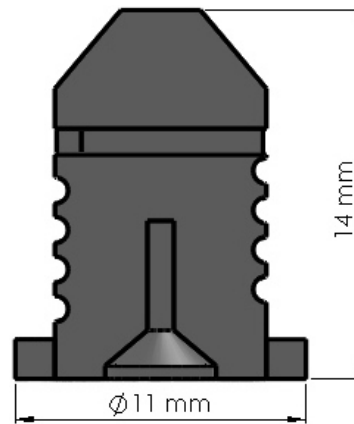
برای حل این مشکل در نمونه‌های بعدی محفظه به دو قسمت محفظه فرمان و محفظه فنر تقسیم شد تا تکه‌های سیم اتصال به داخل محفظه فنر راه نیابند.

طراحی نمونه پیش‌مهندسی

در طراحی نمونه پیش‌مهندسی اندازه نمونه به ابعاد اصلی مد نظر تغییر داده شد. حداقل نیروی محوری که بین باید داشته باشد ۳۵۰N و طول کورس بین 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 نمونه 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 نمونه 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.

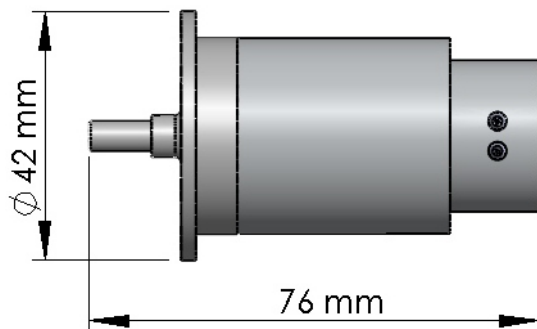


شکل ۱۰- قرقره‌های نمونه پیش‌مهندسی

8. Matlab

9. Wrappingwire

10. Linkwire



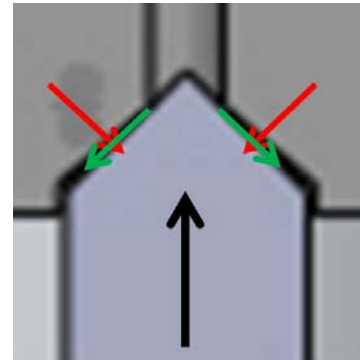
شکل ۱۲- نمونه پیش‌مهندسی

مشکلات نمونه 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 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 0.7mm کار دشواری است، زیرا این روکش باید بتواند تا دمای ذوب سیم نیکل - کروم (حدود 900°C) روی سیم باقی بماند. در این بررسی تمام پوشش‌ها و روکش‌هایی اعمال شده روی سیم بر اثر حرارت سیم از بین رفت و اتصال کوتاه بین سیم اتصال و بدنه 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.



شکل ۱۱- نحوه وارد شدن نیروها به قرقره‌ها و پیستون در نمونه پیش‌مهندسی

$$\sum F_y = 0 \rightarrow F_s - 2N_1 \sin 50 - 2\mu_1 N_1 \cos 50 = 0$$

$$N_1 = \frac{F_s}{2(\sin 50 + \mu_1 \cos 50)} = \frac{500}{2(0.77 + 0.2 \times 0.64)} \quad (3)$$

$$= 280\text{N}$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow N_1 \sin 50 + \mu_1 N_1 \cos 50 - N_2 = 0$$

$$N_2 = N_1 (\sin 50 + \mu_1 \cos 50) \quad (4)$$

$$\sum F_x = 0 \rightarrow N_1 \cos 50 - \mu_1 N_1 \sin 50 - F_w - \mu_2 N_2 = 0$$

$$F_w = N_1 (\cos 50 - \mu_1 \sin 50) + \mu_2 N_2$$

$$F_w = N_1 (\cos 50 - \mu_1 \sin 50) + \mu_2 N_1 (\sin 50 + \mu_1 \cos 50) \quad (5)$$

$$F_w = N_1 (\cos 50 - \mu_1 \sin 50 + \mu_2 \sin 50 + \mu_1 \cos 50)$$

$$\mu_1 = \mu_2 = \mu = 0.2$$

$$F_w = N_1 \cos 50 (1 + \mu)$$

$$T = \frac{1}{2} N_1 \cos 50 (1 + \mu) \rightarrow T = \frac{1}{2} \times 280 \cos 50 \times 1.2 \quad (6)$$

$$= 108$$

در روابط (۳) تا (۷)، نیرو در راستای پین، F_s نیروی فنر، F_x برآیند نیروها در راستای جانبی پین، N_1 نیروی عمود بر سطح قسمت مخروطی پین و نیروی T بیشترین نیرویی است که سیم پیچشی تحمل خواهد کرد. برای محاسبه نیروی منتقل شده به سیم پیچشی مطابق رابطه (۷) عمل می‌شود:

$$\frac{T_1}{T_2} = e^{\mu\theta} \rightarrow \frac{108}{T_2} = e^{0.2 \times 5\pi}$$

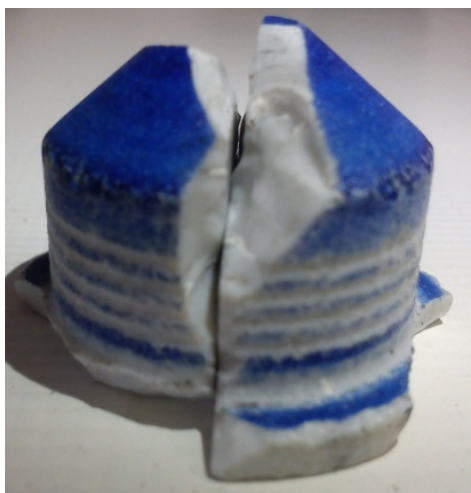
$$T_2 = \frac{108}{e^{0.2 \times 5\pi}} = 0.2\text{N} \quad (7)$$

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 رهائش سیم پیچشی دارد که به سیم اتصال وارد می‌شود. نمونه پیش‌مهندسی در شکل (۱۲) نشان داده شده است.

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 نمونه 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^{۱۲} است. نمونه داخلی این نوع سرامیک از پژوهشگاه مواد و انرژی کرج تهیه شد. برای تراشکاری آن از تیغچه کاربردی 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 فوقانی دچار ترک می‌شد و می‌شکست. نمونه شکسته‌شده آن در شکل (۱۵) نشان داده شده است.



شکل ۱۵- نمونه تراشیده‌شده قرقره از جنس ماکور

ماده دیگری که برای ساخت قرقره انتخاب شد کامپوزیت‌های کتان - فنولیک^{۱۳} است که در بازار به نام فیبر استخوانی شناخته می‌شود. این ماده استحکام فشاری بسیار خوب بوده و قابلیت ماشین‌کاری بسیار عالی دارد. نمونه ماشین‌کاری‌شده آن در شکل (۱۶) نشان داده شده است.



شکل ۱۳- قرقره‌های نمونه پیش‌مهندسی با رنگ کوره‌ای

طراحی نمونه مهندسی

در نمونه مهندسی، نیروی کشش و کورس حرکتی بین 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 بین پولر و افزایش نیروی کششی، طراحی فنری که بتواند در محدوده ابعادی محفظه بین 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^{۱۱}، برای تأمین نیروی کشش از دو فنر تو در تو به صورت موازی استفاده شد که در شکل (۱۴) نشان داده شده است.



شکل ۱۴- فنرهای بین پولر نمونه مهندسی

با توجه به الزامات طراحی فنر و لزوم کارکرد در محدوده دمایی $80^{\circ}\text{C} - (-65)$ از فولاد آلیاژی En 10270-3-1.4310 برای ساخت فنر استفاده شده است. فنر بیرونی از مفتولی به قطر ۴ mm ساخته

12. Macor

13. Cotton- Phenolic

11. Advance Spring Design



شکل ۱۸- نمونهٔ مونتاژشدهٔ پین پولر در سطح مهندسی

آزمایش ارتعاشی 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.



شکل ۱۶- قرقره‌های ساخته‌شده از فیبر استخوانی

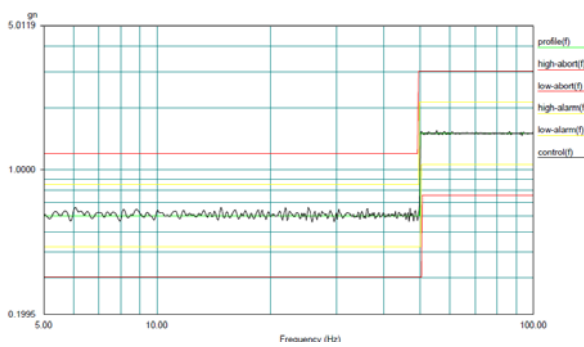
سیستم رهایش

سیستم رهایش پین پولر از سیم NiCr8020 به قطر ۰/۸mm 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 - کروم است. حالت مونتاژی سیستم رهایش در شکل (۱۷) نشان داده شده است.

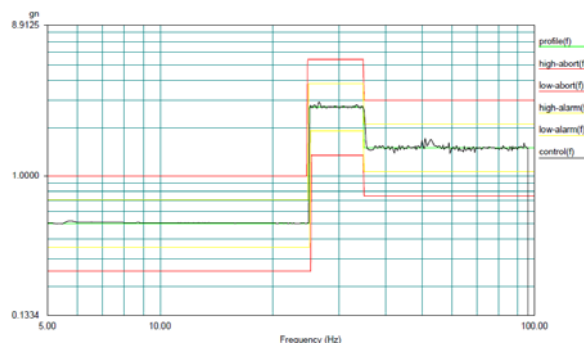


شکل ۱۷- حالت مونتاژی سیستم رهایش

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.

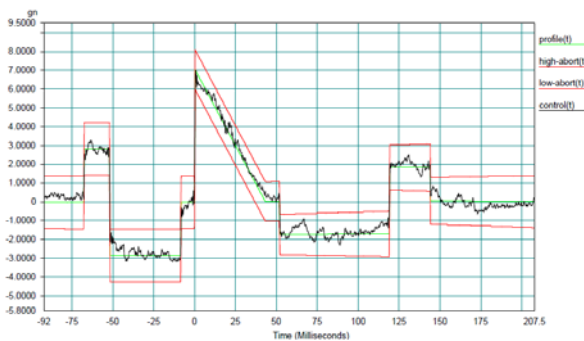


شکل ۲۴- پروفایل تست ارتعاشات سینوسی در راستای محور Y

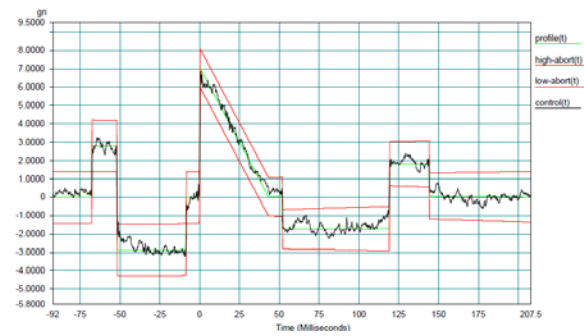


شکل ۲۵- پروفایل تست ارتعاشات سینوسی در راستای محور Z

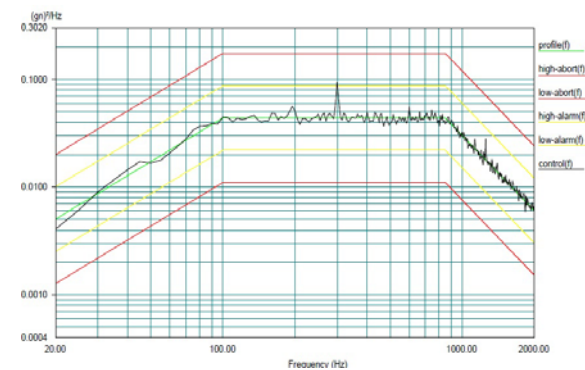
در نهایت، آزمایش شوک نیز مانند مراحل قبل در سه راستای روی نمونه‌ها اجرا شد که نمودارهای مربوطه در شکل‌های (۲۶) تا (۲۸) ارائه شده است.



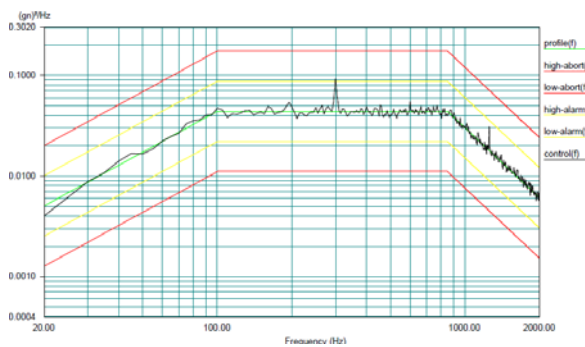
شکل ۲۶- پروفایل تست شوک مکانیکی راستای محور X



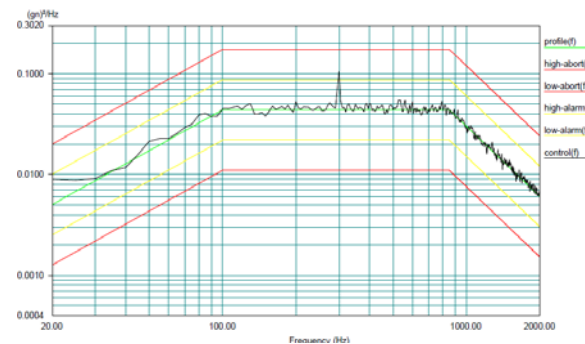
شکل ۲۷- پروفایل تست شوک مکانیکی راستای محور Y



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

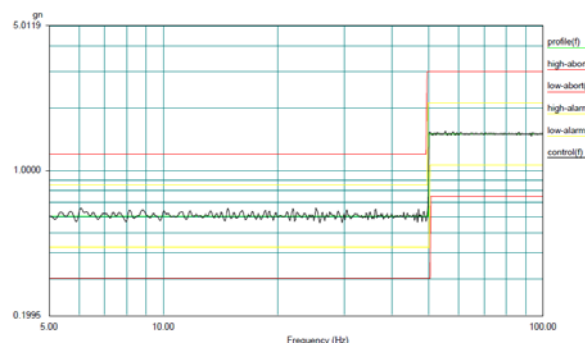


شکل ۲۱- پروفایل تست ارتعاشات اتفاقی راستای محور Y در سطح پذیرش

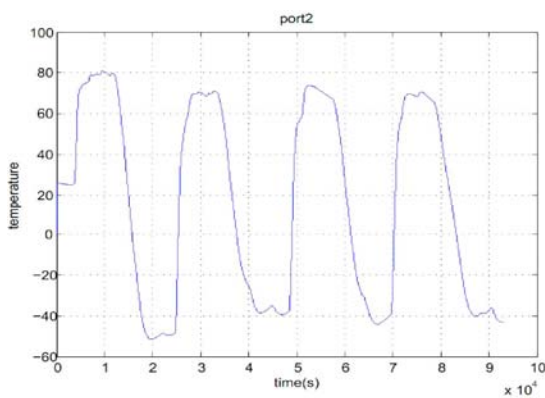


شکل ۲۲- پروفایل تست ارتعاشات اتفاقی راستای محور Z در سطح پذیرش

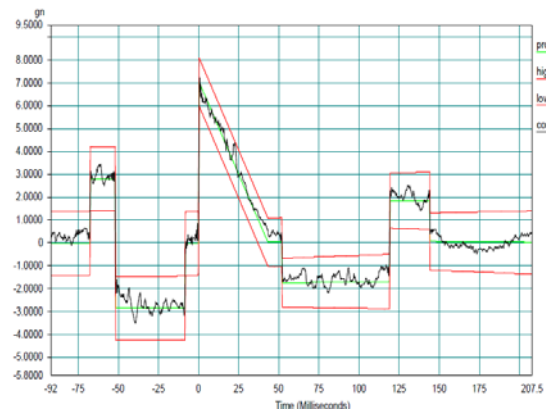
در مرحله بعد آزمایش ارتعاش سینوسی طبق استاندارد [۷] در راستای سه محور روی نمونه‌ها انجام شد که نمودار حاصل از آزمایش در شکل‌های (۲۳) تا (۲۵) نشان داده شده است.



شکل ۲۳- پروفایل تست ارتعاشات سینوسی در راستای محور X



شکل ۳۰- نحوه تغییر دما در حسگرها



شکل ۲۸- پروفایل تست شوک مکانیکی راستای محور Z

بررسی قابلیت اطمینان

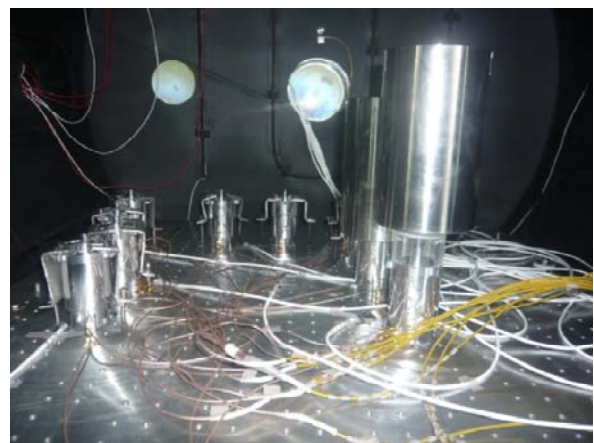
یکی از معیارهای عمده در تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی‌های مهندسی نگهداری و تعمیرات، قابلیت اطمینان است. عام‌ترین و معمول‌ترین تعریف برای قابلیت اطمینان را می‌توان این طور ارائه کرد: قابلیت اطمینان یک سیستم عبارتست از احتمال کارکرد سالم و بدون عیب برای مدت زمان مشخص طبق شرایط حاضر و از پیش تعیین شده [۹]. قابلیت اطمینان معمولاً برای بیان درجه اطمینان از کارکرد صحیح یک قطعه یا به طور کلی، مجموعه‌ای از عوامل طی مدت زمان و دوره 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 پایه احتمالات استخراج و برای شرایط عدم قطعیت محاسبه شده است. معمولاً برحسب نوع استفاده و موقعیت کاربرد، تعاریف گوناگونی برای قابلیت اطمینان ارائه می‌شود. همه این تعاریف این وجه مشترک را دارد که تابع قابلیت اطمینان یعنی $R(t)$ احتمال عملکرد مطلوب یک دستگاه در فاصله 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 فاصله زمانی $(0, T)$ عملکرد مطلوب داشته است، به شرط اینکه در این مدت هیچ تعویض قطعه و یا تعمیراتی 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.

بازه عمر یک وسیله را می‌توان به سه دوره 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 مشخص‌کننده آن است که در دوران نوزادی و پیری نرخ گسست بسیار زیاد است. دوران نوزادی در تست‌های تنش و گرما می‌گذرد که در کارخانه اجرا می‌شود. پس می‌توان فرض

آزمون‌های پذیرش سیکل خلاً حرارتی

تعداد نمونه‌ها در آزمون پذیرش ۱۰ عدد است و به کمک براکت‌ها و وزنه به صفحه محفظه خلاً متصل می‌شود تا انتقال حرارت به روش هدایت به صورت کامل عملی شود (شکل ۲۹). به این ترتیب که دو تکه براکت به کمک سیم فولادی نازک به هم اتصال داده و با استفاده از پیچ به سوراخ‌های تعبیه شده که روی صفحه محفظه متصل شد و برای افزایش سطح تماس بین 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 هر کدام از نمونه‌ها به صورت مجزا از طریق یک سیم از بیرون محفظه به آن اعمال می‌شود.



شکل ۲۹- نحوه اتصال حسگرها و سیم‌های انتقال جریان الکتریکی به ده نمونه بین پولر در محفظه خلاً

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

عملکردی باقی و در یک لحظه مشخص در مدت زمان بسیار کوتاه (حدود صدم ثانیه) عمل می‌کند و وظیفه 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 لحظه مونتاژ تا لحظه عملکرد
۲. در طول عملکرد

تحلیل قابلیت اطمینان بین پولر

همان‌طور که در بند قبل اشاره شد، برای تحلیل قابلیت اطمینان این نوع از بین پولر، بازه زمانی عملکرد بین پولر به دو بخش «از لحظه مونتاژ تا لحظه قبل از شروع عملکرد» و «لحظه عملکرد» تقسیم می‌شود. بنابراین، قابلیت اطمینان هر یک از قطعات تشکیل‌دهنده بین پولر در این دو بازه از عمر بین پولر بررسی و قابلیت اطمینان بین پولر تعیین می‌شود.

محفظه

محفظه یکی از قطعات بین پولر است که هیچ حرکت مکانیکی در عملکرد آن نیست و جزء قطعات ثابت بین پولر است. شبیه‌سازی‌ها و تحلیل‌های مکانیکی انجام‌شده روی بین پولر نشان داد که از نظر تشریحی، 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 محدوده قابل قبولی از نظر استحکام قرار می‌گیرد، پس قابلیت اطمینان این قطعه در هر دو بازه قبل از عملکرد و لحظه عملکرد به شرح رابطه (۱۱) است:

$$\begin{aligned} R_{\text{housing-s1}} &= 0.999 \\ R_{\text{housing-s2}} &= 0.999 \end{aligned} \quad (11)$$

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



شکل ۳۱ - نمای کلی محفظه بین پولر

درپوش

عملکرد درپوش بین پولر نیز به طور دقیق مشابه عملکرد محفظه آن است (شکل ۳۲). در پوش نیز، یک قطعه ثابت از بین پولر است

کرد که معمولاً سیستم‌ها هنگام به‌کارگیری در بازه جوانی قرار دارند. همچنین، پایان دوره جوانی، پایان عمر مفید و پایان پیری، زمان گسست واقعی شناخته می‌شود. براساس روابط زیر قابلیت اطمینان با افزایش زمان گسست واقعی افزایش می‌یابد. رابطه (۷) به رابطه گسست نمایی معروف است. در این روابط λ برابر تعداد گسست در واحد زمان، $R(t)$ ضریب قابلیت اطمینان و θ طبق رابطه (۸) برابر زمان گسست واقعی است [۱۰]:

$$R(t) = \exp(-\lambda t) \quad (7)$$

$$\theta = \int_0^{\infty} R(t) dt = \frac{1}{\lambda} \quad (8)$$

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 - موازی

قابلیت اطمینان سیستم‌های سری

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

$$R_s = \prod_1^n R_i \quad (9)$$

در رابطه (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 رابطه (۱۰) به‌دست می‌آید:

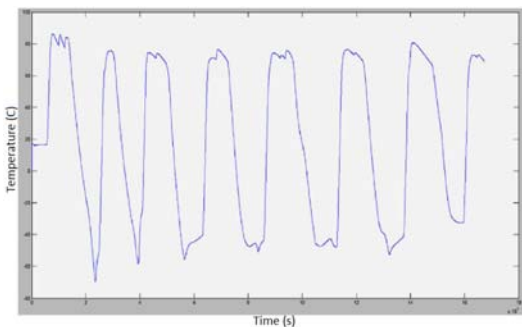
$$R_p = 1 - [(1 - R_1)(1 - R_2) \dots] \quad (10)$$

که R_p برابر قابلیت اطمینان کل سیستم و R_1, R_2 و ... برابر قابلیت اطمینان هر یک از اجزای سیستم است.

با توجه به توضیحات ارائه‌شده درخصوص روابط و نمودارهای قابلیت اطمینان و همچنین، نحوه عملکرد این نوع از بین 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 در نظر 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 بین پولرها، پس از مونتاژ بین پولر و قرار گرفتن آن در موقعیت خود، برای مدت زمان مشخصی (مثلاً سه ماه) بدون هیچ

است که نوعی آلیاژ از فولاد ۳۰۲ است. فنی از این جنس قابلیت عملکرد در محدوده دمایی 200°C (-) تا 150°C را دارد. محدوده دمایی بقا برای پین پولر 80°C (-) تا 60°C (-) و محدوده دمایی عملکرد پین پولر 60°C (-) تا 40°C (-) 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 اعمال شده روی پین پولر نشان داده شده است. در این نمودار، محور عمودی دما و محور افقی زمان (برحسب ثانیه) است. در هر دو مورد بعد از طی سیکل حرارتی مورد نظر، پین پولر به درستی 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 اندازه 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 جمع‌شده فنرها نشان داده شده است.



شکل ۳۵- تست دوام فنرهای پین پولر

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

$$\begin{aligned} R_{cap-S1} &= 0.999 \\ R_{cap-S2} &= 0.999 \end{aligned} \quad (12)$$



شکل ۳۲- نمای کلی درپوش پین پولر

پین

استحکام عملکرد پین همانند دو قطعه قبلی از دو جهت (هم در بازه قبل از عملکرد و هم در لحظه 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 بازه 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 قرقه، سیم اتصال و سیم پیچشی بستگی دارد که عملکرد این قطعات به نوبه خود بررسی خواهد شد.



شکل ۳۳- نمای کلی پین

فنر

فنرها یکی از اجزای اصلی پین پولر هستند که وظیفه 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

قرقره‌ها نیز باید از نظر استحکام در محدوده قابل قبولی قرار داشته باشد که شبیه‌سازی‌ها نشان‌دهنده 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، پدیده 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 بین پولر با قرقره سر مخروطی، ایراد ناشی از قرقره‌ها مشاهده نشد. بنابراین، می‌توان قابلیت اطمینان این قطعه را از نظر استحکام و عملکرد به شرح رابطه (۱۳) در نظر گرفت:

$$R_{spool-s1} = 0.999$$

$$R_{spool-s2} = 0.999 \quad (13)$$

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 جنبه 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 به-خود 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 اجرا شده، 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 لحظه برش سیم اتصال توجه می‌شود. نتایج شبیه‌سازی‌ها و همچنین، تست‌های انجام‌شده نشان داده است که از نظر استحکام، سیم پیچشی در محدوده مناسبی قرار دارد و پین پولر از این نظر مشکل نخواهد داشت. همچنین، در بحث باز شدن سیم پیچشی در لحظه گسست سیم اتصال، از بیش از ۵۰ تست انجام-شده یک مورد مشکل مشاهده شده است که در آن گسست سیم

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

$$R_{spring} = 0.999$$

تکه‌های قرقره

در این پروژه، قطعه قرقره پین پولر به صورت دو تکه قرقره 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 تکه قرقره، پین توسط نیروی فنرها به جلو رانده می‌شود. بنابراین، رهایش از طریق جداسازی تکه‌های قرقره رخ می‌دهد و به واسطه 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 بین پولر است و این عوامل می‌تواند عملکرد پین پولر را تحت تأثیر قرار دهد. برای شناسایی دقیق مکانیزم‌های در دسترس، مدلی اولیه از مکانیزم بین پولرهای حاضر طراحی و ساخته شد. نتایج حاصل از تست نمونه 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 هندسه 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 نتیجه بسیار مناسبی در عملکرد مکانیزم نشان می‌دهد.



شکل ۳۶- نمای قرقره پین پولر

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

نتیجه گیری

در این مقاله، روند طراحی و ساخت بین پولر نوع قرقره بررسی شده است. طراحی این بین پولر از ساخت نمونه آزمایشگاهی با مقیاس ۵ برابر شروع شد. نمونه‌ای که هدف از ساخت آن بررسی مکانیزم عملکردی بین پولر و پیدا کردن نقاط حساس از لحاظ طراحی است. در نمونه پیش‌مهندسی که در مقیاس واقعی ساخته شد، نیروی کشش برابر ۳۵۰N و کورس حرکتی ۱۰ mm است. در نمونه مهندسی نیروی کشش به ۵۰۰N و کورس حرکتی به ۱۵ mm افزایش داده شد. روی نمونه فضایی این محصول تست‌های عملکرد مانند تست ارتعاشی اتفاقی، سینوسی و شوک اجرا شد. تست‌های حرارتی نیز در محدوده استاندارد فضایی اعمال شد. قابلیت اطمینان این محصول با بررسی قابلیت اطمینان قطعات تشکیل‌دهنده بین 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 پژوهشکده رانشگرهای فضایی تشکر و قدردانی شود که سهم عمده‌ای در به ثمر رسیدن این پروژه داشتند. همچنین، از پژوهشگاه فضایی ایران بابت انجام تست‌های حرارت و ارتعاشات بین 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-Mechanical 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.

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 لحظه گسست سیم اتصال به ترتیب برابر است با (رابطه ۱۴):

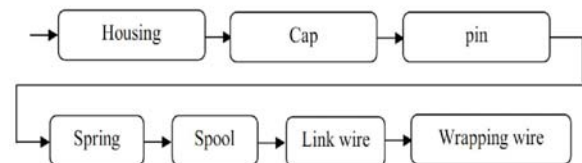
$$R_{wrapping\ wire-S1} = 0.999 \quad (14)$$



شکل ۳۷- نمای کلی قرقره مونتاژ شده با سیم اتصال و سیم پیچشی

مجموعه بین پولر

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



شکل ۳۸- نمودار عملکرد قطعات بین پولر

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

$$R_{pinpuller} = R_{housing} \times R_{cap} \times R_{pin} \times R_{spring} \times R_{linkwire} \times R_{spull} \times R_{wrappingwire} \quad (15)$$

با استفاده از نتایج یادشده برای هر یک از اجزا، قابلیت اطمینان

مجموعه بین پولر به صورت رابطه (۱۶) به دست می‌آید:

$$R_{pinpuller} = 0.998 \times 0.998 \times 0.998 \times 0.999 \times 0.998 \times 0.997 \times 0.979 = 0.967 \quad (16)$$

[10] Degarmo, E.P. and Black, J.T., *Materials and Processing in Manufacturing*, John Wiley & Sons, 2006.

[8] Mechanical Parts and Processes, ECSS-Q-ST-70C, 2009.
[9] Materials, J.E. Shigley, *Mechanical Engineering Design*, Seventh Edition, McGraw Hill, 2004.