

بررسی آزمایشگاهی تغییرات افت تنش در فنرهای آستنیتی عملیات حرارتی شده تحت بار استاتیکی طولانی مدت

یاسر معانی قهرمانلوبی^۱، سیروس آقاجفی^۲ و مهدی احمدی نجف آبادی^۳
Yaser.moghani@gmail.com

چکیده

فنرها اجزای مکانیکی هستند، که کاربردهای زیادی در صنایع مختلف دارند. این قطعات موقعی که تحت نیروهای دینامیکی یا استاتیکی قرار می گیرند، دچار افت تنش شده و مقداری از نیرو و طول آزادشان را از دست می دهند. در بعضی از قطعات و ماشین ها از جمله قطعات صنعت هواپیمایی و ریلی که فنرها تحت نیروی ثابتی برای مدت زمان نسبتاً طولانی هستند، اندازه نیروی فنر برای یک جابجایی خاص دارای اهمیت بسیاری می باشد، و کاهش در مقدار آن دارای محدوده مشخص و محدودی می باشد. لذا نیاز است که به طرق مختلف از کاهش بیش از اندازه نیروی فنرها یا به عبارت دیگر ثابت فنرها جلوگیری شود. در این تحقیق ابتدا فنرها تحت دماهای مختلف تنش زدایی قرار گرفتند، در ادامه فنرهای عملیات حرارتی شده، تحت جابه جایی ثابت قرار گرفتند. تغییرات ثابت فنرها و نرخ این تغییرات طی مراحل مختلف آزمایش از نتایج بدست آمده در این تحقیق بود. در پایان این بررسی، تنش زدایی تحت دمای ۳۰۰ درجه سانتیگراد به عنوان بهترین عملیات تنش زدایی که تحت آن کمترین کاهش در ثابت فنر هنگام بارگذاری استاتیکی حاصل شد، بدست آمد.

کلیدواژه:

ثابت فنر - تنش زدایی - نیروی استاتیکی - افت تنش

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

۳- استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۱- مقدمه

فنرها قطعات مکانیکی هستند که در عمل یکی از نقش های جذب یا استفاده از ارتعاشات، کم اثر کردن یا جذب انرژی ضربه‌ای، ذخیره و یا آزادسازی انرژی یا اندازه گیری نیرو را انجام می‌دهند [۱]. فنرها هنگام کارکرد ممکن است با عیوب مختلفی مواجه شوند، که از متداولترین این عیوب می‌توان به شکست ناشی از تنش‌های تکراری، ضربه ای یا استاتیکی، تغییر شکل ناشی از تسلیم و تغییر شکل پلاستیک ماده فنری، تغییر شکل ناشی از خزش استاتیکی یا دینامیکی، کاهش اندازه سطح مقطع و افت تنش اشاره کرد [۱].

افت تنش کاهش ثابت فنر یا طول آزاد فنر می‌باشد. افت تنش هنگامی روی می‌دهد که فنر در معرض نیروهای تناوبی^۱ یا در معرض یک نیروی ثابت قرار گرفته باشد [۲]. تنش پسماند، از مهمترین پارامترهای فیزیکی در طی مراحل مختلف تولید فنر است [۳]. تحقیقاتی که توسط مرکز مواد لابراتوار ملی فیزیک انگلیس در سال ۱۹۹۸ انجام شد؛ نشان داد که در ۵۰ درصد صنایع تنش‌های پسماند دارای اهمیت بالایی بوده و در ۳۰ درصد دارای اهمیت متوسط هستند [۴]. افت تنش پسماند هنگام کارکرد قطعات، خواص مفید قابل دسترسی آن را کاهش می‌دهد [۴].

فهم و کنترل وضعیت تنش پسماند در طول پروسه های مختلف تولید فنر، معادل کنترل مقاومت در برابر خستگی، مقاومت در برابر افت تنش^۲ و مقاومت در برابر تغییر شکل فنر می‌باشد [۳]. از آنجایی که تنش‌های پسماند کششی باعث ایجاد ترک و رشد آن می‌شوند، تأثیرات نامطلوب آنها برای ما شناخته شده می‌باشد [۶ و ۵]. تنش پسماند کششی و پسماند فشاری تحت تأثیر پروسه‌های مختلف از قبیل عملیات حرارتی تنش زدایی^۳ یا ساچمه زنی^۴ دچار تغییر می‌شود [۷]. هنگامی که عملیات حرارتی بر روی فنر فرم داده شده انجام می‌شود، تنش پسماند بسته به دما و زمان عملیات حرارتی کاهش می‌یابد، اما به طور کلی از بین نمی‌رود. دما و زمان عملیات تنش زدایی، نباید از حدی بیشتر باشد، چون باعث ایجاد خواص نامطلوب می‌گردد [۲]. نکته‌ای که باید به آن توجه کرد، این است که، بعضی مواقع نگهداشتن فنر در کوره حرارتی، ممکن است پروسه تنش زدایی را خیلی پرهزینه کند [۹ و ۸].

در بعضی از مصارف خاص نیروی حاصل از فشردگی فنر هنگام کارکرد آن از اهمیت فراوانی برخوردار است. لذا لازم است، به طور مختلف کاهش نیروی فنر، کنترل شود.

افت تنش فنرهای کششی در محیط‌های با دماهای مختلف توسط دیخوزین و ربینو [۱۰] مورد بررسی قرار گرفت، نتایج این تحقیق حاکی از این بود که در دماهای کاری بالا، درصد افت تنش بیشتر است. دلانو ویزکایا و ربیو گونزالس [۱۰] نیز افت ثابت فنر را برای چند فنر محدود تنش زدایی شده در دما و زمان‌های مختلف را مورد بررسی قرار دادند، و به این نتیجه رسیدند که دمای تنش زدایی و زمان آن بر روی افت تنش فنر موثر است. آنها همچنین با اندازه‌گیری تنش پسماند فنرها قبل و بعد از تنش زدایی نشان دادند که تغییرات دما و زمان تنش زدایی منجر به نرخ‌های متفاوت تنش پسماند کششی شده، و نتیجه‌گیری کردند که افت بیشتر تنش پسماند کششی، منجر به کاهش افت ثابت فنر می‌شود.

به علت محدود بودن تست‌های انجام گرفته رابطه مشخصی بین دماها حاصل نشد. تغییرات تنش پسماند فنرهای تنش زدایی شده و ساچمه زده شده نیز در [۷] مورد بررسی قرار گرفت، اما افت تنش در این تحقیق نشان داده نشد و نتیجه نشان دهنده کاهش تنش پسماند فشاری طی تنش زدایی و افزایش آن طی ساچمه زنی بود. بیشتر تحقیقاتی که تا به حال در رابطه با فنر انجام شده، راجع به خستگی و شکست فنرها بوده، یا در مورد تغییرات تنش پسماند طی پروسه‌های انجام گرفته بوده است، در این تحقیق با آگاهی از این که عملیات تنش زدایی بر روی تنش پسماند فنر موثر است و تنش پسماند در رابطه با افت تنش می‌باشد، رابطه عملیات حرارتی تنش زدایی با کاهش نیروی فنر یا به بیان دیگر افت تنش فنر، در اثر نیروهای استاتیکی^۵ مورد بررسی قرار گرفت.

۲- روش انجام آزمایش

برای این تحقیق متریکال فنر، از جنس فولاد آستینیتی S.S. 304 انتخاب شد. مقاومت این نوع مواد فنری در مقابل خوردگی فوق العاده می‌باشد و از دمای زیر صفر تا دمای ۲۹۰ درجه سانتیگراد قابلیت استفاده دارند [۱]. در مرحله بعد با استفاده از دستگاه CNC مخصوص تولید فنر، ۵۰ عدد فنر چپگرد با قطر مفتول ۲ mm، قطر داخلی ۱۲ mm، طول آزاد ۶۲ mm تعداد حلقه‌های فعال ۱۲ ساخته شد. دو انتهای فنرهای ساخته شده با استفاده از دستگاه مخصوص سنگ زنی فنرها، سنگ زده شد، به نحوی که دو انتهای فنر سنگ خورده، کاملاً نسبت به هم موازی باشند. نمونه ای از فنر ساخته شده در شکل (۱) نشان داده شده است.

در مرحله بعد، فنرهای ساخته شده، تحت بازرسی قرار گرفت تا اولاً از لحاظ ابعادی کاملاً درست باشند، ثانیاً در اثر سنگ زنی دو انتهای فنر دچار سوختگی نشده باشند و دارای پلیسه نباشند.

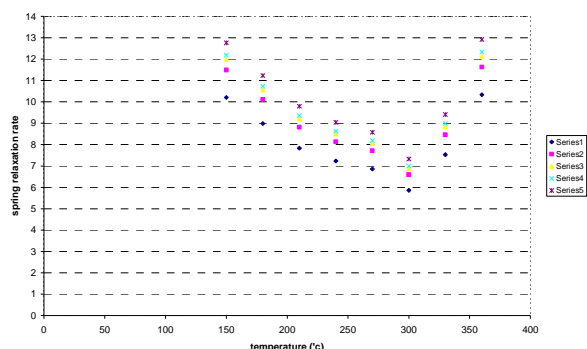
1- Cyclic Loads
2- Spring Relaxation
3- Stress Relieving
4- Shot Peening

5- Static Loads

از آنجایی که احتمال می رفت، کاهش صورت گرفته در مقدار نیرو، در ساعات اولیه آزمایش بیشتر باشد، این اندازه گیری برای روز اول، هر ۱۲ ساعت انجام گرفت.

۳- نتایج و بحث

پس از انجام آزمایش ذکر شده و اندازه گیری افت تنش های صورت گرفته، پراکندگی آماری نتایج حاصله مطابق شکل (۳) می باشد.



شکل (۳): پراکندگی آماری نتایج آزمایش انجام گرفته

درصد افت تنش برای فنرهای با عملیات تنش زدایی در دماهای مختلف، طی ۲۶۴ ساعت در جدول (۱) آورده شده است.

جدول (۱): درصد افت تنش برای فنرهای با عملیات تنش زدایی در دماهای مختلف

دما	درصد افت تنش
۱۵۰	۱۲/۷۶۱
۱۸۰	۱۱/۳۳۳
۲۱۰	۹/۷۹۱
۲۴۰	۹/۰۳۸
۲۷۰	۸/۵۷۱
۳۰۰	۷/۳۲۶
۳۳۰	۹/۴۰۵
۳۶۰	۱۲/۹۱۶

نتایج حاصل از این اندازه گیری ها برای درجه حرارت های مختلف در طول ۲۶۴ ساعت آزمایش در شکل (۴) آورده شده است. برای بررسی بهتر این نتایج نمودار رگرسیون^۶ این داده ها با استفاده از نرم افزار مینی تب^۷ استخراج شد که در شکل (۵) نشان داده شده است. بررسی این شکل و شکل مربوط به عملیات تنش زدایی مختلف نشان می دهد که در عملیات مختلف تنش زدایی، افت تنش



شکل (۱): فنر ساخته شده جهت بررسی میزان افت تنش

برای بررسی تاثیر عملیات حرارتی تنش زدایی روی افت تنش فنر، به تعداد مورد نیاز از فنرهای ساخته شده، که دارای ابعاد و متریکال همسان بودند انتخاب شد، سپس فنرها تحت ۸ نوع عملیات تنش زدایی مختلف قرار گرفتند. بدین صورت که فنرها تحت درجه حرارت های ۱۵۰، ۱۸۰، ۲۱۰، ۲۴۰، ۲۷۰، ۳۰۰، ۳۳۰ و ۳۶۰ درجه سانتیگراد، به مدت ۳۰ دقیقه، تنش زدایی شدند.

البته برای کارکرد فنر در حالت سبک، عمومی و سنگین مدت زمان تنش زدایی فنرها، تغییر می کند [۹ و ۸]. تمامی آزمایش ها با تکرار انجام شد، و در صورت همخوانی خوب، متوسط آنها به عنوان نتیجه نهایی در نظر گرفته شد. در تمامی عملیات تکرار در نظر گرفته شد تا در صد خطا پایین آمده، همچنین تاثیر عوامل جانبی به حداقل برسد. در مرحله بعدی فنرهای تنش زدایی شده، به طور جداگانه با استفاده از فیکسچری که برای این کار در نظر گرفته شده بود، تا رسیدن به طول ۴۰mm، فشرده شدند، در ادامه آزمایش هر ۲۴ ساعت نیروی فنرها توسط نیرو سنجی که به فیکسچر وصل بود، اندازه گیری شد، و نتایج تا ۲۶۴ ساعت، برای تحلیل آنها، یادداشت شدند. نیروسنج و فیکسچر متصل به آن در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل (۲): نیروسنج و فیکسچر متصل به آن جهت تست استاتیکی فنر

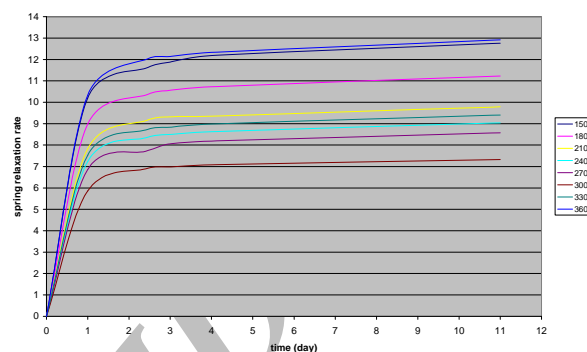
6- Regression
7- Minitab

۳- فنرهای با عملیات های تنش زدایی مختلف، در ساعات اولیه آزمایش، بیشترین افت تنش را داشته اند، که این مساله مستقل از نوع عملیات تنش زدایی می باشد.

۵- مراجع

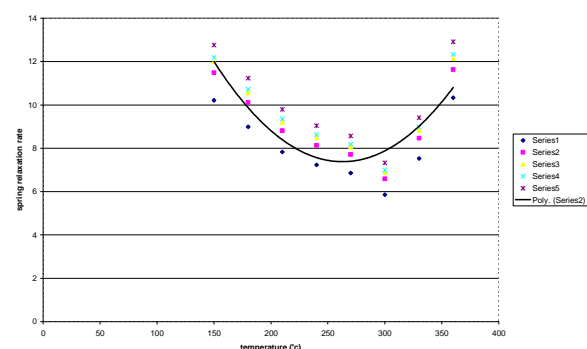
- [1] Yamada, Y., "Materials for Springs" , Springer , Verlag Berlin Heidelberg , 2007, pp. 2-5, 47, 72-120, 259-292.
- [2] L. Del Llano-Vizcaya, C. Rubio-Gonzalez , G. Mesmacque , A. Banderas-Hernández , "Stress relief effect on fatigue and relaxation of compression springs", Materials and Design, Volume 28 , 2007, pp. 1130-1134.
- [3] Wang, R., "Review on the Residual Stress in through the Course of Manufacture Technique for Cold Formed Coil Spring", JSSE 60th Anniversary International Symposium Proceedings , japan , 2006, pp. 1-4.
- [4] Wyman Z. Zhuang, Gary R. Halford, "Investigation of residual stress relaxation under cyclic load" , International Journal of Fatigue, Vol. 23, 2001, pp. 31-37.
- [5] Artaraz F, Sa´nchez Beitia S., "An unsuitable residual stress state in train springs originated by shot peening". Int J Fatigue, Vol. 13, 1991, pp. 165-168.
- [6] Todinov M. T., "Residual stresses at the surface of automotive suspension springs", J Mater Sci , Vol. 35, 2000, pp. 3313-20.
- [7] J. Matejcek, P.C. Brand, A.R. Drews, A. Krause, C. Lowe-Ma , "Residual stresses in cold-coiled helical compression springs for automotive suspensions measured by neutron diffraction", Materials Science and Engineering, Vol. 367 ,2004, pp. 306-311.
- [8] Harold Carlson, "Spring Designer's Handbook", New York Marcel Dekker, 1978, pp. 123-132.
- [9] SAE Spring Committee, "Spring Design Manua", Society of Automotive Engines, UAS, 1990, pp. 356-362.
- [10] Dykhuizen, R. C. and Robino, C. V., "Load Relaxation of Helical Extension Springs in Transient Thermal Environments", Journal of Materials Engineering and Performance, Vol. 13, 2004, pp. 151-157.

فنر بیشتر در ساعات اولیه آزمایش روی می دهد و افت تنش فنرها در ادامه تقریباً حالت میرایی به خود می گیرد.



شکل (۴): افت تنش فنرهای تنش زدایی شده در درجه حرارت های مختلف نسبت به زمان

نمودار رگرسیون نشان می دهد که افت تنش فنرها در اثر نیروی استاتیکی، با افزایش دمای تنش زدایی تا ۳۰۰ درجه سانتیگراد کاهش می یابد، اما بعد از آن با افزایش دمای تنش زدایی تا ۳۶۰ درجه سانتیگراد، افت تنش فنر، افزایش می یابد. همچنین افت تنش فنر در ساعات اولیه آزمایش در تمامی حالات مختلف تنش زدایی، بیشتر از دیگر ساعات آزمایش می باشد.



شکل (۵): نمودار رگرسیون داده های آزمایش انجام گرفته

۴- نتایج

۱- افزایش درجه حرارت تنش زدایی، منجر به کاهش افت تنش فنر شده، و عملیات تنش زدایی بهینه در دمای ۳۰۰ درجه سانتیگراد بدست می آید، اما افزایش بیش از حد دمای تنش زدایی، تاثیر منفی دارد و در نتیجه باعث افزایش افت تنش فنر می شود.

۲- هر چند عملیات حرارتی های مختلف، نتایج متفاوتی از لحاظ کاهش افت تنش فنر در پی داشته است، اما این فنرها تحت نرخ تقریباً مشابهی افت تنش داشته اند.