



بهبود استحکام خستگی پایه دسته موتور آلومینومی با استفاده از آزمون خستگی تجمعی و شبیه‌سازی عددی

شهاب مرادی کلارده^۱، سید وحید حسینی^{۲*}، عبدالرضا صادقی^۳

^۱ کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی مکانیک و مکاترونیک دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران، Moradi.sh702@gmail.com

^۲ عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی مکانیک و مکاترونیک دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران، V_hosseini@shahroodut.ac.ir

^۳ مسئول گروه کارشناسی خدمات بازرسی آزمون، شرکت سایپو، تهران، ایران، Sadeghi@sapco.com

* نویسنده مسئول

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۲۴ آذر ۱۳۹۸

پذیرش: ۲۹ بهمن ۱۳۹۸

کلیدواژه‌ها:

پایه دسته موتور

آزمون خستگی پرچرخه

روش‌های اجزاء محدود

بهبود استحکام

رشد ترک

پایه دسته موتور یکی از قطعات حساس برای اتصال موتور به خودرو بحساب می آید که عموماً به روش ریختگی تولید می‌شود و واماندگی آن می‌تواند خطرات جبران ناپذیری بوجود آورد. در شرایط کارکرد خودرو، پایه دسته موتور تحت بارگذاری نوسانی قرار می‌گیرد و فرایند تولید و عیوب ناشی از عدم مهار متغیرهای ریختگی و شکل هندسی آن می‌تواند بر عمر خستگی آن تأثیرگذار باشد. در این پژوهش حد دوام خستگی پرچرخه پایه دسته موتور به روش تجربی مورد ارزیابی قرار گرفت. بر اساس آزمون‌های لوکاتی - پلکانی خستگی حد دوام با استفاده از تجمیع آثار خستگی در سری آزمون‌های اول ۱،۲۴ برابر نیروی اعمالی با پراکندگی ۰،۰۷ برابر نیروی اعمالی در خودرو بدست آمد که شرایط کارکرد ایمنی را برای قطعه پیش‌بینی نمی‌کرد. بنابراین برای تعیین نواحی بحرانی و بهبود شکل هندسی، شبیه‌سازی اجزاء محدود انجام شد. محل‌های شروع و رشد ترک در آزمون‌های خستگی به خوبی با نواحی بحرانی تعیین شده در نتایج اجزاء محدود هم‌پوشانی داشتند. پس از بهبود شکل هندسی پایه دسته موتور و رفع ایرادها تولید، آزمون‌های تجربی برای بررسی افزایش حد دوام خستگی مجدداً انجام گرفت. نتایج نشان دهنده بهبود حد دوام خستگی تا ۱،۳۳ برابر نیروی اعمالی با پراکندگی ۰،۰۶ برابر نیروی اعمالی بود که عملکرد ایمن را در کارکرد خودرو ارائه می‌دهد.



تمامی حقوق برای انجمن علمی موتور ایران محفوظ است.

۱- مقدمه

از سال‌ها پیش مشاهده گردید که اجزاء فلزی سازها و یا سیستم‌های مختلف تحت تنش‌های تکراری نوسانی، در تنشی به مراتب کمتر از استحکام نهایی به صورت ناگهانی خواهند شکست. خرابی‌های با این شرایط را شکست‌های خستگی می‌گویند. با پیشرفت صنعت و افزایش تعداد وسایلی از قبیل خودرو، هواپیما، تنجار، تلمبه، گردا و غیره که تحت بارگذاری تکراری و ارتعاشی زیادی هستند، شکست ناگهانی قطعات حساس می‌تواند بسیار فاجعه آمیز و پر مخاطره باشد؛ بنابراین این قطعات معمولاً برای عمر کاری بی نهایت طراحی می‌شوند. دلیل عمده خطرناک بودن شکست خستگی این است که بدون آگاهی قبلی و قابل رویت بودن رخ می‌دهد. در بررسی رفتار خستگی، تعداد متغیر زیادی دخالت دارند که حتی اگر تمام نمونه‌های آزمایش یکسان و با دقت زیادی تهیه و به‌طور یکنواخت آماده شوند، نتایج آزمون خستگی ممکن است دارای پراکندگی قابل ملاحظه‌ای باشد. در برخی موارد لازم است آزمون خستگی بر روی نمونه تا شکست کامل ادامه یابد تا با شناسایی حد خرابی، با انجام آزمون‌های شتاب‌گرفته فرایندهای ساخت را مورد ارزیابی قرار داد و در صورت نیاز در برای بهبود استحکام خستگی قطعه، برخی از متغیرهای ساخت بهینه شوند. خستگی بطور معمول همراه با جوانه‌زنی ترک در سطح قطعه یا نواحی تمرکز تنش و اشاعه آن در ناحیه تحت تنش ایجاد می‌شود.

تاکنون پژوهش‌های وسیعی برای توسعه روش‌ها برای تعیین و پیش‌بینی عمر خستگی انجام گرفته است. اهمیت استحکام خستگی قطعات به حدی بالا است که برای بسیاری از قطعات (مانند: میل‌لنگ، پره‌ها، اتصالات جوش، پرچ، پیچ و ...) بررسی‌های اختصاصی وسیعی صورت گرفته است. همچنین با پیشرفت روش‌های اجزاء محدود، امکان تعیین تمرکز تنش و پیش‌بینی عمر خستگی ارتقاء یافته است. برای مثال می‌توان به برخی از فعالیت‌های مرتبط صورت گرفته زیر اشاره کرد.

سروجا و همکاران، آسیب خزش در سازه‌های فولادی تحت بارهای خستگی ترمومکانیکی را محاسبه کردند. آنها از شبیه‌سازی‌های تخمین عمر مختلف استفاده کرده و در نهایت شبیه‌سازی‌هایی را که از دقت مناسب تری برخوردار بودند را معرفی نمودند [۱].

ایفرجان و همکاران به بررسی اثر ترتیب و نوع فرایندهای تولید مختلف بر روی خواص مکانیکی و مقاومت به خستگی قطعه از جنس AISI 4340 و همچنین به توسعه روش‌های آزمایشگاهی تمیز دادن بین آنها پرداختند [۲].

زکریا و همکاران نیز تجزیه و تحلیل آماری دو نوع علامت کرنش از بارگذاری جاده و مقایسه تأثیر آن بر آسیب خستگی در پایه دسته موتور پرداختند. مشخص شد که آسیب‌های خستگی با افزایش مقادیر آماری مربوط به علامت‌های کرنشی تشدید می‌یابد [۳].

حسینی و همکاران به واماندگی خستگی رام خودرو از ناحیه اتصال جوش پرداختند. آنها با بررسی تجربی و شبیه‌سازی اجزاء محدود دریافته‌اند که حد دوام قطعه برای حفظ ایمنی کافی است. همچنین دریافته‌اند که موقعیت شروع ترک در قطعات مختلف از یک محل شروع شده و نحوه رشد ترک باتوجه به چگونگی فرایند تولید در قطعات می‌تواند متفاوت باشد [۴].

سرولک و همکاران نیز به بررسی استحکام خستگی بازوی دسته موتور با استفاده از استحکام استاتیکی پرداختند. آنها برای تعیین استحکام استاتیکی از شبیه‌سازی اجزاء محدود و معیار خرابی فون میسر استفاده کردند و در نهایت ضخامت ناحیه شروع خرابی را افزایش دادند [۵].

ونچوکار و خانوالکار نیز به بهینه‌سازی استحکام و وزن پایه دسته موتور پرداختند. آنها با شبیه‌سازی اجزاء محدود، ناحیه پر تنش که نیاز به افزایش ضخامت و نواحی با تنش بسیار کمتر را مشخص کردند و پیشنهاد به کاهش ضخامت نواحی کم تنش برای بهینه‌سازی وزن نمودند [۶].

برای پیش‌بینی رفتار مواد تحت تنش‌های چرخه‌ای، آزمون‌های مختلفی با توجه به نوع، عملکرد و شرایط محیطی قطعه انجام می‌پذیرد. معادلات تجربی زیادی برای بیان رابطه میان بازه تنش، تنش متوسط و عمر خستگی پیشنهاد شده‌اند که عبارت‌اند از معادله تصحیح شده گودمن، معادله سهمی شکل گربر، معادله سودبرگ و ... در مطالعه حاضر برای صحنه‌گذاری و تعیین عمر خستگی پایه دسته موتور آلومینیومی، آزمون‌های خستگی مطابق استاندارد PSA که با توجه به مقدار و نوع بارگذاری‌های قطعه در خودرو است، انجام می‌پذیرد. با استفاده از ساخت ثابت کننده مخصوص قطعه مورد نظر تحت بارهای خستگی پرچرخه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد تا نیروی حد تحمل خستگی در قطعه مشخص شود. در نهایت با ارتباط نتایج اجزا محدود و نتایج آزمون تجربی، حد استحکام خستگی در قطعه مورد نظر بدست خواهد آمد و در صورت نیاز شکل هندسی قطعه بهبود می‌یابد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- آزمون خستگی پرچرخه

از آنجا که پایه دسته موتور دارای نقش اساسی در خودرو است، باید به گونه‌ای طراحی و ساخته شود که دارای مقاومت به خستگی بالایی باشد. برای نیل به این هدف، آزمون خستگی مطابق استاندارد PSA بر روی این قطعه با استفاده از دستگاه سرو هیدرولیک اینسترون ۸۸۰۲ با ظرفیت ۲۵۰ kN انجام شد. همچنین از حسگر نیروسنج kN ۲۵ ساخت شرکت اینسترون نیز استفاده گردید. آزمون خستگی در جهت محور Z پایه دسته موتور انجام شد. در شکل ۱ شبیه‌سازی ثابت کننده و برای اعمال نیروی محوری نشان داده شده است.

زمانیکه شکستی در قطعه اتفاق بیافتد و یا اینکه ترک در قطعه مشاهده شود، این آزمون به اتمام می‌رسد. از مقدار نیرو به دست آمده از این آزمون، برای شروع آزمون ثانویه پله‌ای استفاده می‌شود. این آزمون تنها یک بار و بر روی ۱ قطعه انجام می‌گردد. اساس آزمون لوکاتی، نظریه جمع آثار خستگی معادله (۱) است که برای تکرار پذیر بودن آزمایش، بار اعمالی را معادل بارگذاری در یک میلیون چرخه قرار خواهیم داد [۷].

$$\sum \frac{n_i}{N_i} = C \quad (1)$$

n_i تعداد چرخه تکرار بارگذاری قطعه و N_i تعداد چرخه‌ای که قطعه می‌توانست بدون تغییر در بارگذاری طی کند. در این رابطه $0.7 \leq C \leq 2$ است که برای محاسبات $C=1$ در نظر گرفته شد. در نهایت با استفاده از معادله (۲)، S_f نیروی معادل در یک میلیون چرخه محاسبه شد.

$$S_f = aN^b \quad (2)$$

در معادله‌ی بالا ضرایب a و b از معادلات (۳) و (۴) بدست خواهند آمد که S_{ut} استحکام نهایی، S_e استحکام حد دوام و f ضریب استحکام خستگی است.

$$a = \frac{(fS_{ut})^2}{S_e} \quad (3)$$

$$b = -\frac{1}{3} \log\left(\frac{fS_{ut}}{S_e}\right) \quad (4)$$

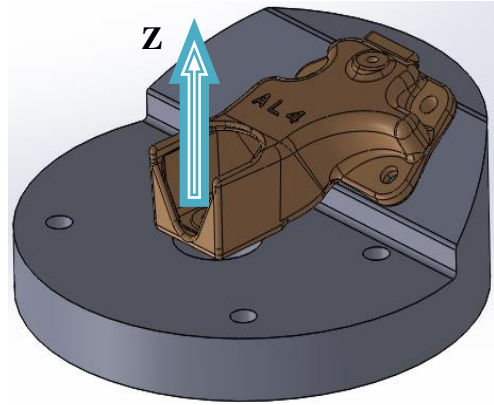
ب) آزمون ثانویه پله‌ای و لوکاتی^۲

در آزمون پله‌ای [۸]، نیروی شکست به دست آمده از آزمون اولیه به قطعه تا سقف 10^6 چرخه اعمال می‌شود. وضعیت احتمالی قطعه تحت آزمون به دو صورت خواهد بود:

الف) در صورتیکه قطعه تا پایان آزمون سالم و بدون هیچ عیبی باقی بماند، مجدداً بر روی همان قطعه با افزایش ۱۰٪ نیرو آزمون تا سقف 10^6 چرخه تکرار می‌شود و این روند تا خرابی قطعه ادامه می‌یابد؛ قطعه بعدی با افزایش ۱۰٪ نیرو تا سقف 10^6 چرخه و طی مرحله بالا ادامه می‌یابد.

ب) در صورتیکه در حین آزمون ترک یا شکستی در قطعه مشاهده شود، آزمون متوقف و قطعه بعدی با ۱۰٪ کاهش نیرو مجدداً با روند بالا تکرار می‌شود.

در نهایت بر اساس تعداد قطعه آزمون شده و محاسبه نیروهای شکست، می‌توان نیروی شکست میانگین و انحراف معیار را به دست آورد. در این آزمون بسامد بارگذاری ۱۰ هرتز بوده است. در آزمون ثانویه ۷ قطعه مورد بررسی قرار گرفت.



شکل ۱: شبیه‌سازی ثابت کننده به همراه پایه دسته موتور

به منظور انجام آزمون خستگی، ثابت کننده‌ی طراحی شد که قطعه با اتصالات استاندارد خودرو به آن و در نهایت به دستگاه خستگی متصل گردید. هدف از طراحی ثابت کننده پاسخگویی به نیازها و الزامات استاندارد PSA برای استقراردهی پایه دسته موتور برای انجام آزمون خستگی است. بدنه از جنس VCN 150 به دلیل استحکام مناسب، مقاومت به زنگ‌زدگی و سختی اولیه حدود ۳۵ راکول سی انتخاب گردید. ابعاد ثابت کننده مطابق با ابعاد دستگاه و قطعه کار طراحی و ساخته شده است. طرح ثابت کننده و نحوه هم‌بندی قطعه بر روی ثابت کننده در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲: ثابت کننده و پایه دسته موتور نصب شده بر روی دستگاه اینسترون

آزمون‌های خستگی انجام گرفته شامل دو مرحله می‌باشند:

الف) آزمون اولیه لوکاتی^۱

از آزمون لوکاتی برای یافتن نیروی شکست قطعه استفاده می‌شود. نیروی خستگی که در خودرو به این قطعه وارد خواهد شد در محدوده ۲۵۰۰ نیوتن کششی و فشاری است. لذا در اولین مرحله $1F_n = \pm 2500 \text{ N}$ انتخاب شد. در هر مرحله قطعه تا 3×10^5 چرخه بارگذاری می‌شود. در صورتیکه شکست و یا ترکی در قطعه مشاهده نشود، نیرو ۱۰٪ افزایش می‌یابد و سپس مجدداً آزمون تکرار می‌گردد.

² Staircase and locati

¹ Locati

۲-۲-۲- شبیه سازی اجزاء محدود

هدف از انجام این شبیه سازی بررسی نواحی تمرکز تنش در حالت استاتیکی پایه دسته موتور است. در صورت پایین بودن و عدم تأیید استحکام خستگی پایه دسته موتور، برای بهبود عملکرد قطعه، سعی به رفع نواحی تمرکز تنش با اعمال تغییرات بر روی شبیه سازی اولیه پایه دسته موتور انجام می گردد. در این راستا از نرم افزار ABAQUS6.14 برای انجام شبیه سازی مورد نظر استفاده شده است.

۲-۲-۱- مقدمات و فرضیات مسئله:

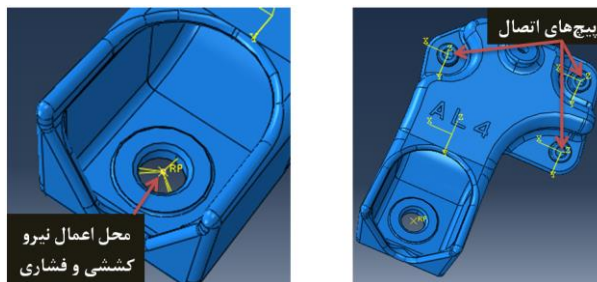
الف) جنس قطعه کار و پیچ های اتصال به صورت همسانگرد فرض شده است. ب) تمامی درجات آزادی پایه دسته موتور از ناحیه نشیمنگاه گرفته شده و ثابت می باشند. ج) به منظور اعمال نیروی همبندی به پیچ ها، انتهای پیچ ثابت در نظر گرفته شده است. د) در شبیه سازی اثر متقابل سطوح به صورت تماس سطح به سطح در زیر گل پیچ با پایه دسته موتور تعیین شد. ه) شبیه سازی اصطکاک به صورت جریمه تعریف و ضریب اصطکاک ۰,۲۵ فرض شد. خصوصیات پیچ و پایه دسته موتور در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱: خواص مکانیکی پایه دسته موتور و پیچ اتصال [۹]

پایه دسته موتور	پیچ آلن M8	
جنس	فولادی	آلومینیوم
چگالی	۷۸۷۰ kg/m ³	۲۷۰۰ kg/m ³
مدول یانگ	۲۱۰,۵ GPa	۷۰ GPa
ضریب پواسون	۰,۲۹	۰,۳۳
تنش تسلیم	۹۵۱,۱ MPa	۳۱۱ MPa
استحکام نهایی	۱۱۶۲ MPa	۶۹۷ MPa

۲-۲-۲- هندسه مسئله

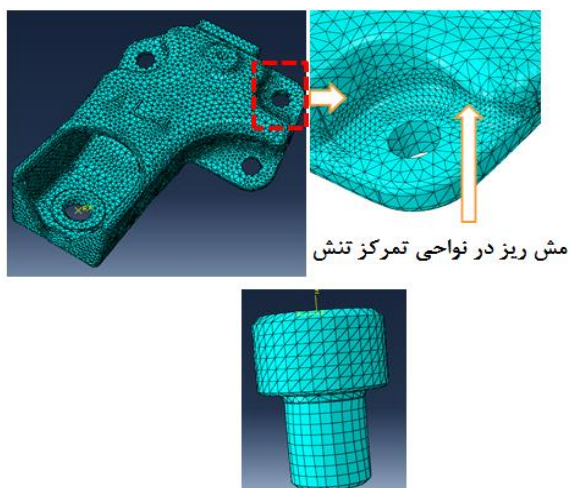
شبیه سازی سه بعدی ساده شده شامل پیچ و پایه دسته موتور در شکل ۳ نشان داده شده است. تمامی شبیه سازی های هندسی به صورت جداگانه ایجاد شده اند. تمامی قطعات در موقعیت مناسبی نسبت به هم قرار گرفته تا هندسه کلی شکل یابد. شبیه سازی تمامی قطعات از نوع شکل پذیر است. به جای شبیه سازی کردن رزوه ها از سطح مقطع تحت تنش پیچ استفاده شد. محل بارگذاری با نقطه مرجع در مرکز سوراخ تعیین شده و با قید Coupling به قطعه کار متصل شده است.



شکل ۳: هندسه، اجزاء و نوع بارگذاری در شبیه سازی پایه دسته موتور

۲-۲-۳- تعیین متغیرهای شبیه سازی

در این شبیه سازی، مسئله در یک گام حل می شود. با توجه به نوع فرایند و تغییر شکل کم ماده از حلگر استاندارد استفاده شد. زمان حل مساله ۱ تعریف شده است. برای شبکه بندی ساق پیچ ها از جزء C3D8R که جزئی پیوسته، سه بعدی، هشت گره و با انتگرال گیری کاهش یافته است، استفاده شد و برای شبکه بندی گل پیچ و پایه دسته موتور به دلیل هندسه پیچیده از جزء C3D10 استفاده گردید. برای تعیین تعداد جزء های بهینه، مسئله با تعداد جزء های متفاوتی حل شد و نیروی فرایند در هر یک از شبیه سازی ها مورد بررسی قرار گرفت. از آنجاکه تمرکز تنش در گوشه های پایه دسته موتور از اهمیت بالاتری برخوردار بود از دانه های ریزتری در این نواحی استفاده گردید. در شکل ۴ دانه بندی پیچ و پایه دسته موتور نشان داده شده است.



شکل ۴: دانه بندی پیچ و پایه دسته موتور

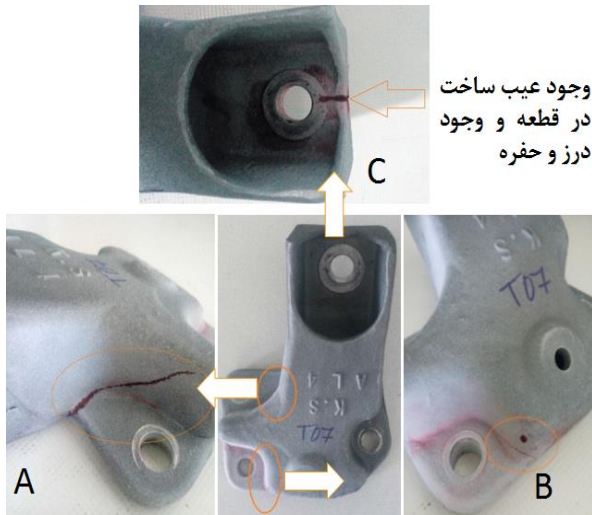
به دلیل استفاده از حلگر استاتیکی و ماهیت استاتیکی مسئله، مقدار تغییرات نیرو نسبت به نیروی کل کم بوده که اگر تعداد جزء ها از حدی فراتر رود تأثیر چندانی در نیروی کل فرایند نخواهد داشت و همچنین زمان تحلیل را افزایش می دهد. بر این اساس تعداد جزء های بهینه برای پیچ ۶۵۹۱ و برای پایه دسته موتور ۶۱۱۷۴ تعیین شد. نیروی اعمالی پیچ ها با توجه به گشتاور اعمالی، ۸۰۰۰ N و بارگذاری پایه دسته موتور ۲۵۰۰ N در نظر گرفته شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- آزمون خستگی مرحله اول

آزمون لوکاتی با نیروی ۲۵۰۰ نیوتون انجام شد. پس از اعمال ۴ مرحله بارگذاری با نیروی افزایشی تا ۳۰۰ هزار چرخه و عدم شکست، سرانجام در مرحله ۵ با نیروی ۳۵۰۰ نیوتن قطعه دچار شکست شد. به منظور بررسی دقت در آزمایش و اطمینان در تکرار پذیر بودن

نواحی بحرانی که مطابق آزمون خستگی در آن ترک ایجاد گردید در شکل ۶ نشان داده شده است. برای مشاهده و اندازه‌گیری طول ترک از آزمون نفوذ مایع^۱ استفاده شد. با غیر قابل قبول ارزیابی شدن نتایج آزمون خستگی سعی به بهبود شکل هندسی قطعه کار با تعیین نواحی تمرکز تنش در شبیه‌سازی اجزاء محدود و ارزیابی مجدد استحکام خستگی پایه دسته موتور انجام گردید.



شکل ۶: ترک‌های ایجاد شده پس از آزمون خستگی

۳-۲- شبیه‌سازی اجزاء محدود

با توجه به شبیه‌سازی اجزاء محدود در بارهای خستگی، مقدار و محل بیشترین تنش‌های اعمالی به پایه دسته موتور استخراج شد. مقدار تنش‌ها و تمرکز تنش در نیروهای کششی و فشاری یکسان است. تنها نوع تنش از کششی به فشاری و یا بالعکس تغییر می‌یابد. شکل ۷ توزیع تنش در ناحیه A را نشان می‌دهد.

در ناحیه A بدلیل وجود پلیسه ناشی از خط جدایش ریخته‌گری با استفاده از دستگاه سنگ فرز قطعه پلیسه‌گیری شده است که این موضوع باعث بوجود آمدن ناچ اولیه در این ناحیه می‌شود. از آنجا که با استفاده از نتایج اجزا محدود، تنش هم در این ناحیه زیاد گزارش شده است، این نقطه یکی از نقاط مستعد تسلیم و رشد ترک در قطعه بحساب می‌آید. شکل ۸ توزیع تنش در ناحیه B را نشان می‌دهد.

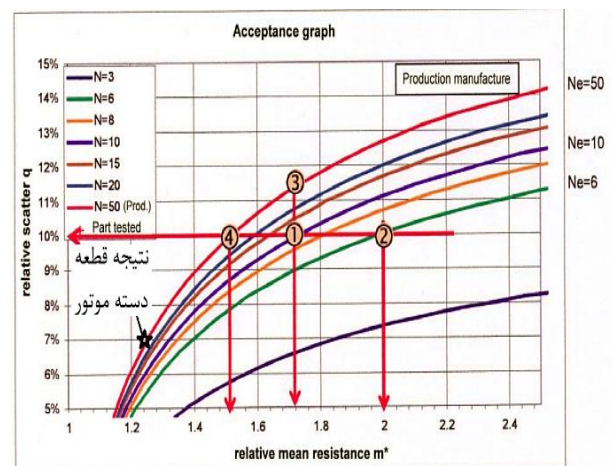
شکست در آزمون پله‌ای در این نیرو، نیروی تجمعی در آزمون لوکاتی مقدماتی، طبق معادله ۱، با نیروی ۳۲۵۰ نیوتن در یک میلیون چرخه معادل گردید.

قطعه شماره ۱، قطعه‌ای است که بر روی آن آزمون لوکاتی مقدماتی انجام شد و در نتیجه‌ی آن نیروی معدل برابر ۳۵۰۰ نیوتن بدست آمد. جدول ۲ نتایج آزمون سری اول برای آزمون اولیه لوکاتی و آزمون ثانویه پله‌ای در بارگذاری و چرخه‌های مختلف را نشان می‌دهد. بر اساس این جدول در آزمون اولیه لوکاتی مقدار $F_d^* = 1.30$ بدست آمد. آزمون ثانویه برای ۷ عدد قطعه انجام شد.

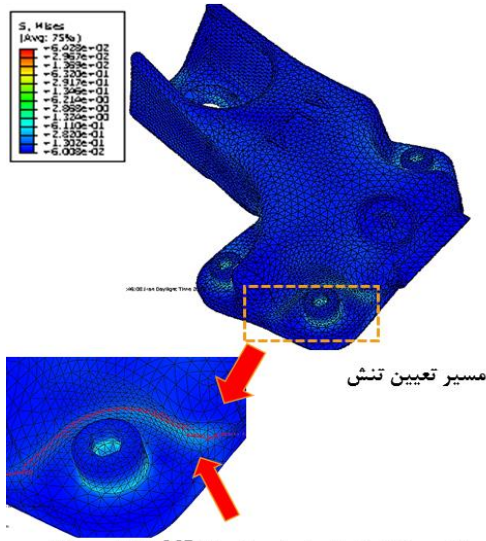
جدول ۲: نتایج سری آزمون اول خستگی پرچرخه لوکاتی-پلکانی

شماره قطعه	بارگذاری (N)	وضعیت
۱	۳۵۰۰	شکست (قطعه آزمون لوکاتی)
۲	۳۲۵۰	شکست
۳	۳۰۰۰	عدم شکست
۴	۳۲۵۰	شکست
۵	۳۰۰۰	شکست
۶	۲۷۵۰	عدم شکست
۷	۳۰۰۰	شکست
۸	۲۷۵۰	عدم شکست

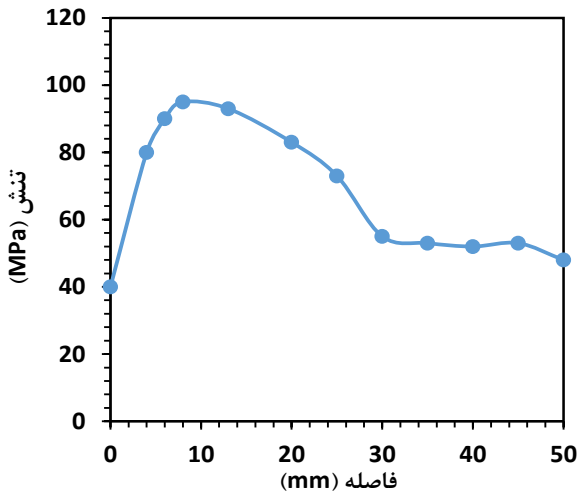
همچنین آزمون ثانویه پله‌ای، شکست قطعات در نیروهای متفاوت را نشان می‌دهد که در نهایت حد دوام ۱,۲۴ برابر نیروی اعمالی در خودرو با پراکندگی نسبی ۰,۰۷ به دست آمد. بر اساس شکل ۵ عمر خستگی پایه دسته موتور در مقایسه با نمودار خستگی مرجع [۱۰] مقایسه گردید. نتایج حد دوام و پراکندگی نسبی باید زیر خطوط نشان داده شده (ناحیه ایمن) قرار گیرد که با بررسی‌های انجام شده مطابق شکل ۵ در بالای خطوط قرار گرفته و غیر قابل قبول ارزیابی شد.



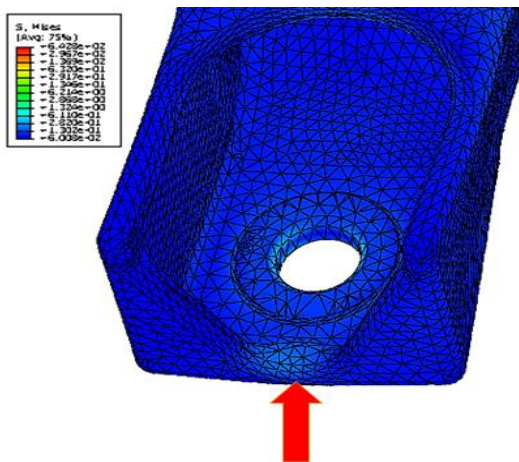
شکل ۵: نتیجه آزمون خستگی مرحله اول پایه دسته موتور آلومینیومی در نمودار خستگی مرجع



بیشترین تنش اعمالی در این ناحیه ۹۶٫۷ MPa می باشد.
الف- نمودار توزیع تنش و تعیین مسیر تنش

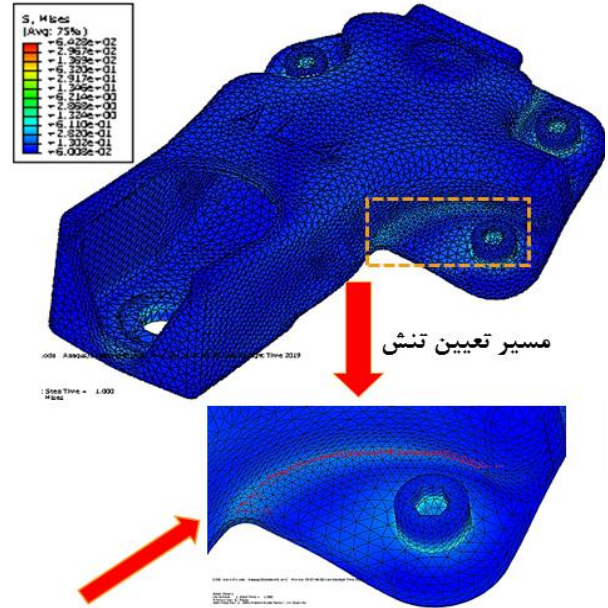


ب- نمودار تغییرات تنش در مسیر
شکل ۸: بیشینه تنش اعمالی در ناحیه بحرانی B



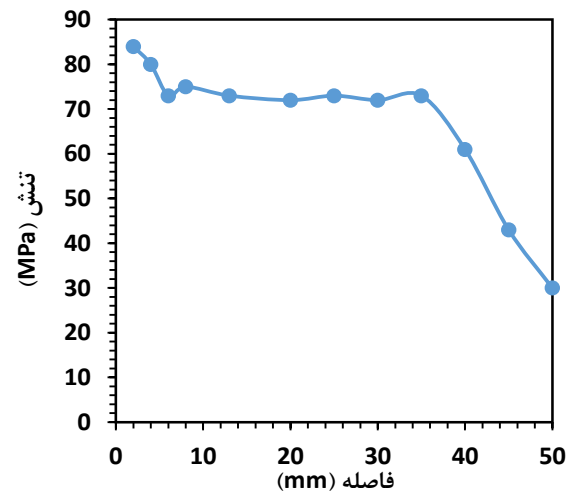
بیشترین تنش اعمالی در این ناحیه ۷۲ MPa می باشد.

شکل ۹: بیشینه تنش اعمالی در ناحیه بحرانی C



بیشترین تنش اعمالی در این ناحیه ۸۳٫۸ MPa می باشد.

الف- نمودار توزیع تنش و تعیین مسیر تنش



ب- نمودار تغییرات تنش در مسیر

شکل ۷: بیشینه تنش اعمالی در ناحیه بحرانی A

در ناحیه B تنش زیاد در مقطع تغییر هندسی مشاهده می شود. این مقدار تنش با توجه به هندسه ابتدایی قطعه به مقدار ۹۶٫۷ MPa می رسد و در بعضی از نمونه ها قطعه از محل مذکور دچار شکست می شود. شکل ۹ توزیع تنش در ناحیه C را نشان می دهد.

در ناحیه نشان داده شده در شکل ۹ احتمالاً به دلیل شکل هندسی، مذاب از دو مسیر به انتهای قطعه می رسد و امکان ایجاد عیب ریخته گری سرد جوش^۱ وجود خواهد داشت. ترکیب عیوب ریخته گری و تمرکز تنش در این ناحیه، احتمال ایجاد ترک و خرابی قطعه را قوی می کند.

¹ Cold Shut

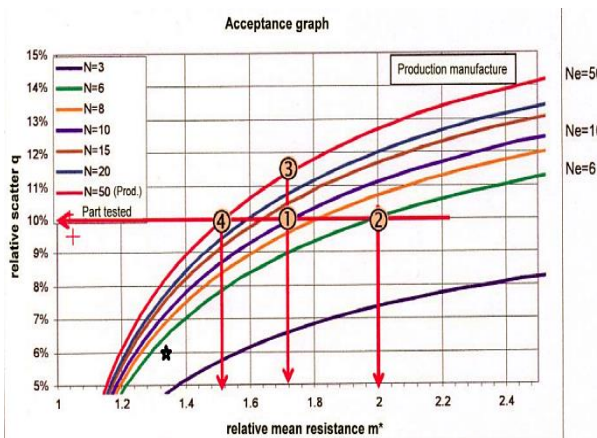
۳-۳- آزمون خستگی مرحله دوم

پس از بررسی آزمون خستگی پرچرخه و آزمون شبیه‌سازی اجزاء محدود، با مذاکرات انجام شده با قطعه ساز عیب‌های ساخت قطعه برطرف شده و این آزمون بر روی قطعات ویرایش دوم (اصلاح شده) انجام گرفت. نحوه انجام آزمون دوم مطابق آزمون اول است. جدول ۳ نتایج آزمون دوم نشان داده شده است.

جدول ۳: نتایج سری آزمون دوم خستگی پرچرخه لوکاتی-پلکانی

وضعیت	بارگذاری (N)	شماره قطعه
شکست (قطعه آزمون لوکاتی)	۳۵۰۰	۱
عدم شکست	۳۲۵۰	۲
شکست	۳۵۰۰	۳
عدم شکست	۳۲۵۰	۴
شکست	۳۵۰۰	۵
شکست	۳۲۵۰	۶
عدم شکست	۳۰۰۰	۷

بر اساس جدول ۲ در آزمون اولیه لوکاتی مقدار $Fd^* = 1.32$ بدست آمد. همچنین آزمون ثانویه پله‌ای و لوکاتی شکست قطعات در نیروهای متفاوت را نشان می‌دهد که در نهایت حد دوام $1,33$ برابر نیروی اعمالی در خودرو با پراکندگی نسبی $0,06$ نشان می‌دهد که بر اساس شکل ۱۲ از استاندارد PSA [۱۰] قابل قبول ارزیابی می‌شود. نتایج آزمون در پایین منحنی‌ها و در ناحیه ایمن قرار گرفته است.



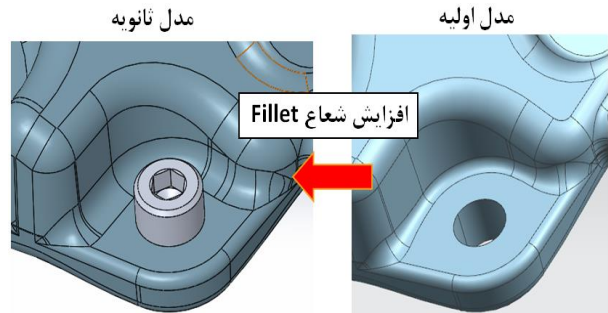
شکل ۱۲: نتیجه آزمون خستگی مرحله دوم قطعه پایه دسته موتور آلومینیومی بهبود یافته در نمودار خستگی مرجع

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش وضعیت حد دوام خستگی پرچرخه پایه دسته موتور خودرو با استفاده از تحلیل عددی و آزمون‌های خستگی تجمعی مورد ارزیابی قرار گرفت.

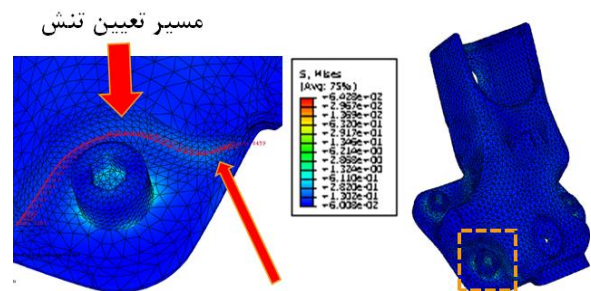
بر اساس آزمون‌های لوکاتی خستگی حد دوام با استفاده از تجمیع آثار خستگی در مجموعه آزمون‌های اول $1,24$ برابر نیروی اعمالی و پراکندگی $0,07$ برابر نیروی اعمالی در خودرو بدست آمد که شرایط

با توجه به نتایج شبیه‌سازی اجزاء محدود، پیشنهاد گردید که در نواحی با حداکثر تنش، مقدار شعاع گوشه‌ها افزایش داده شود و شکل هندسی پایه دسته موتور در بازه تoleransi نقشه کمی تغییر یابد. برای بررسی بهبود عملکرد پایه دسته موتور با اصلاح هندسی، شعاع گوشه‌های کار افزایش داده شد و شبیه‌سازی اجزاء محدود مجدد اجرا شد. شبیه‌سازی اصلاح شده در شکل ۱۰ نشان داده شده است.

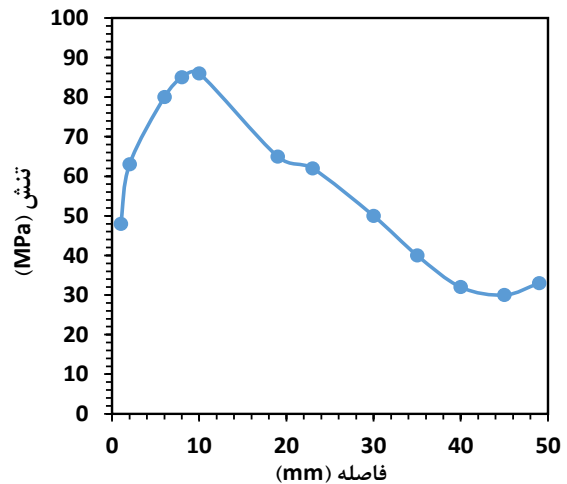


شکل ۱۰: افزایش شعاع نواحی بحرانی

در شکل ۱۱ نشان داده شده است که با افزایش شعاع شبیه‌سازی، حداکثر تنش پایه دسته موتور که در شکل ۷ برابر با $96,7$ MPa بدست آمده بود به مقدار 86 MPa کاهش پیدا کند.



بیشترین تنش اعمالی در این ناحیه 86 MPa می باشد. الف- نمودار توزیع تنش و تعیین مسیر تنش



ب- نمودار تغییرات تنش در مسیر

شکل ۱۱: کاهش تنش در ناحیه بحرانی B با بهبود هندسه نواحی بحرانی

manufacturing processes on the fatigue lifetime of aeronautical bolts, *Engineering Failure Analysis*, 8 (2001) 227-235

[3] K. A. Zakaria, S. Abdullah, M. J. Ghazali, M. Z. Nuawi, M. M. Padzi, Fatigue damage assessment of the engine mount bracket using a statistical based approach, *Advanced Materials Research*, 197 (2011) 1631-1635

[۴] سیدوحید حسینی، مهدی بهادری، عبدالرضا صادقی، شهاب مرادی کلارده، تعیین استحکام خستگی اتصال جوش در رام زیر موتور با استفاده از آزمون خستگی تجمعی و شبیه‌سازی عددی، دومین همایش ملی موتورهای درونسوز موتورهای درونسوز، مازندران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی، ۱۳۹۷.

[5] H. S. Thrilok, A. M Mohsin, Using Finite Element Analysis to Study the Static Structural and Fatigue Life of Engine Mounting Bracket, *International Journal of Engineering and Management Research*, 5 (2015) 370-373

[6] S. Vinchurkar, P.M. Khanwalkar, A Review on Optimization of Engine Mounting Bracket, *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, 35 (2016) 47-49

[7] R. G. Budynas, Shigley's Mechanical Engineering Design. McGraw-Hill, 2008

[8] D. Radaj, Design and analysis of fatigue resistant Welded structures. Abington Publishing, 1990

[9] <https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=Home&LN=EN>

[10] V. Pierre, S. Pierrick, M. Regis, Power Train Adaptation Fatigue Validation Test Procedure For Metallic Parts, PSA Peugeot - Citroen Standard, No. B320730, 2005

کارکرد ایمنی را برای قطعه پیش‌بینی نمی‌کرد. بنابراین برای تعیین نواحی بحرانی و بهبود شکل هندسی، شبیه‌سازی اجزاء محدود انجام شد. محل‌های شروع و رشد ترک در آزمون‌های خستگی به خوبی با نواحی بحرانی تعیین شده در نتایج اجزاء محدود هم‌پوشانی داشتند. پس از بهبود شکل هندسی پایه دسته موتور، شبیه‌سازی اجزاء محدود مجدداً انجام گرفت که نشان دهنده کاهش تمرکز تنش تا $10,7\text{MPa}$ بود. با تکرار آزمون‌های خستگی، نتایج نشان دهنده بهبود حد دوام تا $1,33$ برابر نیروی اعمالی و پراکندگی $0,06$ برابر نیروی اعمالی بود که عملکرد ایمن را در کارکرد خودرو ارائه خواهد داد.

فهرست علائم

<i>a</i>	ثابت استحکام خستگی
<i>b</i>	ثابت استحکام خستگی
<i>Se</i>	استحکام حد دوام، MPa
<i>Sut</i>	استحکام نهایی، MPa
<i>n</i>	تعداد چرخه تکرار بارگذاری
<i>N</i>	تعداد چرخه بدون تغییر در بارگذاری
<i>f</i>	ضریب استحکام خستگی

مراجع و منابع

[1] D. Seruga, M. Fajdiga, M. Nagode, Creep damage calculation for thermo-mechanical fatigue, *Journal of Mechanical Engineering*, 57 (5) (2011) 371-378

[2] S. Ifergane, N. Eliaz, N. Stern, E. Kogan, G. Shemesh, H. Sheinkopf, et al., The effect of



Fatigue Life Improvement of engine mounting bracket using cumulative fatigue test and numerical modeling

Sh. Moradi Kellardeh¹, S. V. Hosseini^{*2}, A. Sadeghi³

¹ MSc, Faculty of Mechanical Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran, Moradi.sh702@gmail.com

² Assistance Professor, Faculty of Mechanical and Mechatronics Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran, V_hossen@shahroodut.ac.ir

³ Responsible for the Graduate Examination Inspection Service, SAPCO Company, Tehran, Iran, Sadeghi@sapco.com

*Corresponding Author

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 15 December 2019

Accepted: 18 February 2020

Keywords:

Engine mount bracket

Fatigue Test

Finite Element

Strength Improvement

Crack Propagation

ABSTRACT

Engine mount bracket is one of the important parts of the car that produced by die-casting method. Failure of engine mount bracket can create irreparable risks. In the operating condition of the vehicle, the engine mount bracket is subjected to oscillatory loading, and manufacturing process such defects caused by uncontrolled casting parameters and its geometrical shape can effect on component fatigue life. In this study, the fatigue life of engine mount bracket was evaluated experimentally. Fatigue strength of specimen is derived that is 1.24 times bigger than critical strength with high dispersion using the Locati-Stair Case method that shows this component in unsafe status. Therefore, finite element simulation was performed to determine the critical areas and improve the geometric shape. The locations of crack initiation were similar in fatigue test and finite element simulation. After improving the geometric shape of engine mount bracket, experimental tests were performed again. The results showed an improvement of fatigue strength up to 1.33 times with lower dispersion that shows component is in safe status.

