



صحه گذاری پایه تسمه سفت کن موتور به روش آزمون های عمر شتاب یافته

مهدی رضائی^۱

^۱ کارشناس ارشد مهندسی مکانیک، شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو (اییکو)، تهران، ایران، me_rezaei@ip-co.com

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۱۰ آذر ۱۳۹۸

پذیرش: ۲۹ بهمن ۱۳۹۸

کلیدواژه ها:

آزمون عمر شتاب یافته

تسمه سفت کن

آزمون دوام

قابلیت اطمینان

یکی از مراحل اصلی فرایند توسعه موتور، آزمون های صحه گذاری است که از نظر زمان و هزینه سهم مهمی در این فرایند دارد. این آزمون ها به بررسی عملکرد (وظیفه) سامانه ها و قطعات موتور و دوام (عمر) آنها می پردازند. امروزه با توجه به شتاب توسعه خودرو در بازارهای جهانی و کاهش زمان صحه گذاری موتور، تسریع در این زمینه امری ضروری است و این موضوع در حالی است که مفاهیمی مانند قابلیت اطمینان در توسعه خودرو جدی تر شده و پرداختن به آن اجتناب ناپذیر است. آزمون های عمر از طولانی ترین مراحل صحه گذاری بوده که برخی از آنها تا چندین هفته به طول می انجامد. تسریع زمان این آزمون ها با حفظ همان قابلیت اطمینان مورد انتظار، موضوع آزمون های عمر شتاب یافته است. در آزمون عمر شتاب یافته، شدت بارگذاری قطعات در آزمون طراحی شده افزایش می یابد و یا چرخه هایی که تاثیر کمتری در خرابی قطعه دارد حذف می شود تا زمان رسیدن به خرابی کاهش یابد. در این پژوهش تسمه سفت کن متعلقات جانبی یک موتور بنزینی مطابق فرایند دوام سازنده آن آزمایش شد و زمان آزمون دوام پایه تسمه سفت کن ۴۳۶ ساعت بدست آمد. به منظور شتاب دهی آزمون عمر، نیروی کشش تسمه تا حدود ۱,۴ برابر افزایش یافته و آزمون تکرار شد در نتیجه عمر قطعه به ۲۰۰ ساعت رسید. در ادامه با شبیه سازی اجزای محدود قطعه و استخراج تعداد چرخه خرابی به کمک روابط خستگی، ساعت خرابی قطعه در حالت عادی محاسبه شد و به کمک روابط قابلیت اطمینان، زمان عمر شتاب یافته قطعه بدست آمد که کمتر از ۲۰۰ ساعت می شود.



تمامی حقوق برای انجمن علمی موتور ایران محفوظ است.

۱- مقدمه

توسعه موتورهای احتراق داخلی از مرحله مفهوم تا تجاری سازی و بعد از ورود به بازار، فرایندی هزینه بر، زمان بر و رقابت پذیر است. در این فرایند، آزمون های موتوری و خودرویی نقش کلیدی داشته و بر همه فرایندها تاثیر می گذارد. علی رغم رشد شبیه سازی ها به کمک رایانه هنوز جایگاه آزمون های موتوری حفظ شده و جایگزینی برای برخی از این آزمون ها پیدا نشده است.

انجام این آزمون ها علاوه بر اینکه وقت گیر است به هزینه زیادی جهت تجهیزات آزمون، سوخت، آماده سازی موتور و انجام آزمون نیاز دارد. در این حوزه می توان آزمون ها را به شش دسته قطعه ای وظیفه ای، قطعه ای دوام، موتوری وظیفه ای، موتوری دوام، خودرویی وظیفه ای و خودرویی دوام تقسیم کرد.

آزمون های دوام موتوری از نظر تعداد و زمان بیشترین سهم را در برنامه صحت گذاری دارند و برای طراحی آنها باید الگوی خرابی قطعات موتور را استخراج کرد. از این رو طراحی آزمون دوام کار پیچیده و نیازمند شبیه سازی و آزمون های عمر قطعه ای است.

شرایط مرزی موتور و سیالات آن (هوا، روغن و مایع خنک کاری) و برنامه آزمون بدنه اصلی رویه آزمون موتور است که توسط توسعه دهندگان موتور در غالب استاندارد آزمون منتشر می شود. به کمک این رویه اطمینان حاصل می شود که الزامات و مشخصات آزمون طراحی شده برآورده می شود.

به منظور کاهش زمان و هزینه آزمون های دوام، از روش آزمون عمر شتاب یافته استفاده می شود. در این روش به منظور تسریع روند فرسودگی و خرابی قطعات و کشف الگوی خرابی، نمونه ها تحت تنش های قوی تر نسبت به آزمون طراحی شده قرار می گیرند و در نتیجه در زمانی کمتر به خرابی خواهند رسید و رابطه بین تنش، عمر و توزیع آماری خرابی قطعات زودتر بدست می آید.

مواردی که در آزمون های عمر شتاب یافته باید در نظر گرفته شوند عبارتند از: ضریب شتاب^۱ (نسبت عمر عادی به عمر شتاب یافته)، نوع تنش های وارد شده (مکانیکی، حرارتی و ...)، شبیه سازی تنش - عمر^۲، حداکثر تنش وارد شده، شبیه سازی توزیع خرابی. بسته به شرایط بارگذاری آزمون، ممکن است تنش های گوناگونی به نمونه اعمال شود که به تبع آن شبیه سازی های تنش - عمر مختلفی برای تقریب رفتار عمر شتاب یافته ارائه شده است.

انتخاب هر یک از این شبیه سازی ها بستگی به نوع تنش وارد شده دارد که از بررسی تاریخچه کارکرد سامانه و سازوکارهای خرابی آن تعیین می شود. آزمون های عمر - خرابی غالباً به دو دسته زمان محور^۳ و خرابی محور^۴ تقسیم می شوند.

در آزمون های زمان محور، آزمون بر روی نمونه ها تا زمانی از پیش تعریف شده ادامه می یابد در صورتی که در حالت خرابی محور تا زمان خرابی قطعی پیش می رود. از آنجا که معیار ارزیابی قابلیت اطمینان، احتمال خرابی است بروز خرابی در آزمون و زمان وقوع آن بسیار مهم است و آزمون های خرابی محور برای آن در اولویت است [۱].

موهیر و همکاران [۲] با بررسی شرایط بارگذاری سامانه انتقال قدرت یک خودرو محرک عقب، چرخه آزمون این سامانه را استخراج کردند. به منظور بارگذاری سامانه انتقال قدرت، میز آزمونی^۵ ساخته و نمودار تنش - عمر قطعات سامانه (چرخ دنده های پینیون و کرانویل و بلبرینگ ها) استخراج شد. قابلیت این میز آزمون اعمال گشتاورهای قوی (شتاب دهی عمر) بود که از شرایط واقعی رانندگی در جاده بدست می آمد اما رسیدن به آن در خودرو نیازمند صرف زمان و طولانی شدن آزمون می شد.

آیبیل^۶ و همکاران [۳] از گروه کرایسلر، خرابی در چرخ دنده های جعبه دنده یک خودروی سواری را در شرایط رانندگی واقعی و آزمون شتاب یافته مقایسه کردند. آنها محدوده زمان و گشتاور آزمون شتاب یافته را با رانندگی واقعی مقایسه کرده و مقادیر بارگذاری در شرایط آزمون شتاب یافته را بدست آوردند.

زاهاریا^۷ و مارتین [۴] قابلیت اطمینان پره بالگرد را در آزمون های شتاب یافته بررسی کردند. برای این منظور آنها پره را در سه سطح تنش ضعیف، متوسط و قوی در میز آزمون تحت بار قرار داده و تعداد چرخه تا خرابی را در هر سطح بدست آوردند.

رگاتیری^۸ و همکاران [۵] با بررسی جعبه دنده ماشین های صنعتی در آزمون های واقعی و شتاب یافته، تعداد چرخه عمر در سطوح مختلف سرعت و گشتاور را بدست آوردند. سپس قابلیت اطمینان را بین آزمون های واقعی و شتاب یافته برای چرخه های عمر مختلف مقایسه کردند و تطابق خوبی بین آنها مشاهده نمودند.

زاهاریا و همکاران [۶] یک قطعه از بالگرد را در شرایط عادی و شتاب یافته با سه نرخ ضریب شتاب تحت تنش قرار دادند و قابلیت اطمینان را برای هر عمر محاسبه نمودند. نتایج آنها نشان می داد که عمر قطعه در شرایط عادی بیش از ۱۲ میلیون چرخه می شود در حالی که در آزمون شتاب یافته به کمتر از ۳ میلیون چرخه می رسد.

احداد و همکاران [۷] با طراحی یک آزمون ترمومکانیکی شتاب یافته بر روی محفظه گردای^۹ پرخوران، قابلیت اطمینان قطعه را برای سه سال کارکرد بدست آوردند. در پژوهش حاضر صحت گذاری پایه تسمه سفت کن^{۱۰} و متعلقات جانبی^{۱۱} یک موتور چهار استوانه طی دو آزمون

5 Test rig

6 Attibele

7 Zaharia

8 Regattieri

9 Turbo housing

10- Tensioner

11- Accessory

1 Acceleration factor

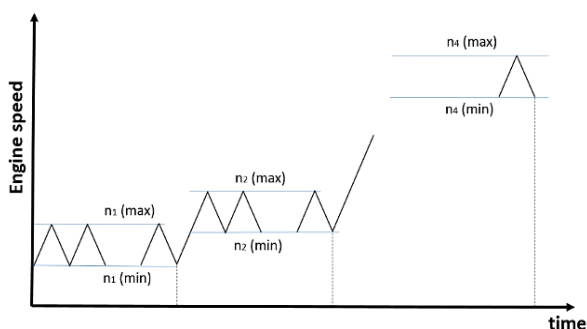
2 Stress-life model

3 Time terminated test

4 Failure terminated test

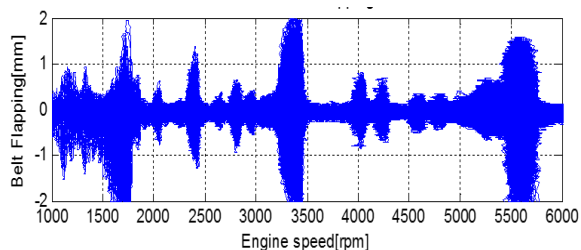
۲-۱- رویه آزمون دوام موتوری

رویه آزمون دوام (عمر) تسمه و متعلقات آن (چرخ تسمه، هرزگرد، تسمه سفت کن) توسط سازنده موتور استخراج شده است. این رویه شامل ۴ نقطه نوسان شدید (تشدید) تسمه است که از آزمون مشخصات تسمه و به کمک ابزارهای خاص آزمایشی بدست می‌آیند. موتور در مدت ۶۰ ثانیه در ۵۰ rpm قبل و ۵۰ rpm بعد از هر نقطه تشدید بصورت رفت و برگشتی جاروب می‌شود و این چرخه تا خرابی تسمه یا متعلقات آن ادامه دارد و در صورت عدم خرابی این قطعات تا ۹۰ میلیون گردش میل لنگ، آزمون خاتمه می‌یابد [۸]. نمودار یکی از چرخه‌های آزمون در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲: رویه آزمون دوام (عمر) پایه هرزگرد تسمه متعلقات [۸]

بنابراین تعیین نقاط نوسان تسمه پیش از شروع آزمون دوام ضروری است. برای این کار بررسی نوسانات تسمه طی چند آزمون انجام می‌شود و پس از اطمینان از تکرارپذیری نتایج، نقاط تشدید انتخاب می‌شود. در شکل ۳ نمونه‌ای از نتایج بدست آمده از نوسانات تسمه نشان داده شده است. در آزمون دوام موتور مورد بررسی، این نقاط برابر ۱۶۰۰، ۳۰۰۰، ۴۰۰۰ و ۵۳۵۰ rpm بدست آمد و از روی آنها ساعت آزمون حدود ۴۳۶ ساعت (۹۰ میلیون چرخه) شد که قطعه پایه هرزگرد تسمه بدون هیچ گونه خرابی آن را به پایان رساند.



شکل ۳: نمودار نوسانات تسمه برحسب دور موتور در یک آزمون

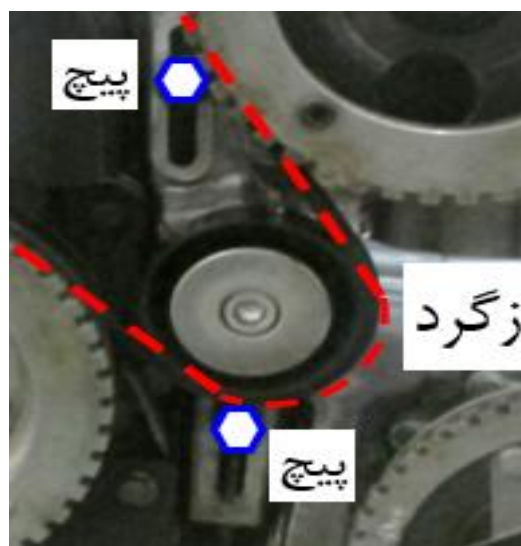
۳- طراحی آزمون شتاب یافته

همان طور که در قسمت قبل بیان شد رویه آزمون عمر پایه هرزگرد در حالت عادی ۴۳۶ ساعت بدست آمد که با توجه به مدت توسعه موتور و هزینه اتاق آزمون، زمان نسبتاً طولانی است. از این رو شتاب-دهی این آزمون می‌تواند مفید باشد. رویه آزمون دوام عادی که در شکل ۲ نشان داده شده است به نقاط تشدید تسمه یا به عبارتی

عادی و شتاب یافته بررسی شده است. به منظور شتاب دادن به آزمون عمر این قطعه، تنش قطعه (نیروی تسمه) تا ۱,۴ برابر افزایش می‌یابد و با حفظ قابلیت اطمینان آزمون عادی، زمان آزمون شتاب یافته استخراج شده است. برای این کار زمان خرابی نمونه‌ها و تنش-های وارد بر آنها لازم است که با شبیه‌سازی به روش اجزای محدود بدست آمده است.

۲- نمونه آزمون

استفاده از تسمه برای انتقال توان در خودروها بسیار رایج است. اگر چه در سامانه زمان‌بندی موتور جایگزین‌هایی مانند زنجیر یا چرخ دنده نیز وجود دارد اما برای سامانه متعلقات جانبی که شامل مولد برق، کمپرسور کولر، پمپ فرمان هیدرولیک و گاهی پمپ آب می‌شود تسمه همیشه بکار رفته است. در این سامانه هرزگرد برای افزایش زاویه تماس تسمه با چرخ‌های محرک و متحرک و همچنین کاهش طول آزاد (کاهش نوسانات تسمه) بکار می‌رود. در برخی از موتورها هرزگرد بر روی پایه‌ای کشویی قرار می‌گیرد و نقش تسمه‌سفت‌کن دستی را هم به عهده دارد. در موتور مورد بررسی تسمه‌سفت‌کن از این نوع بوده و بر روی پایه‌ای از جنس آلومینیوم نصب می‌شود (شکل ۱). مشخصات موتور آزمایش در جدول ۱ آمده است.



شکل ۱: موقعیت هرزگرد موتور مورد بررسی

جدول ۱: مشخصات موتور آزمایش

نوع موتور	۴ زمانه تنفس طبیعی
سوخت	بنزین
تعداد استوانه	۴
ترتیب استوانه‌ها	خطی
حجم موتور	۱,۶ لیتر

پس از این تغییر آزمون موتوری با نیروی کشش دوم تکرار شد و این بار قطعه بعد از ۲۰۰ ساعت دچار شکست شد. در آزمونی دیگر با همین روش یعنی حفظ چهار نقطه از نقاط تشدید، نیروی تسمه ۳۳۰ نیوتن تنظیم شد و عمر قطعه حدود ۶۰ ساعت بدست آمد. لازم به ذکر است که همه نیروها در محدوده مجاز کشش تسمه بوسیله تسمه‌سفت‌کن هستند و با معیار سازنده موتور برای کشش این نوع تسمه‌سفت‌کن‌ها مطابقت دارند [۸].

با توجه به اینکه در آزمون عادی قطعه دچار شکست نمی‌گردد می‌توان نتیجه گرفت که با نیروی اعمال شده، قطعه بعد از h ساعت دچار خستگی و شکست خواهد شد که زمان h بیش از ۴۳۶ ساعت است. بنابراین در آزمون شتاب‌یافته، عمر قطعه از h کمتر می‌شود که مقدار آن بستگی به نیروی کشش تسمه دارد. با توجه به کاهش عمر قطعه به کمتر از h ساعت، زمان آزمون صحنه‌گذاری قطعه نیز کاهش می‌یابد و کمتر از ۴۳۶ ساعت می‌شود. بنابراین برای صحنه‌گذاری قطعه می‌توان با افزایش نیرو، آزمون صحنه‌گذاری را در زمانی کمتر از ۴۳۶ ساعت انجام داد.

برای بدست آوردن زمان دقیق آزمون شتاب یافته ابتدا لازم است که زمان خرابی قطعه در آزمون عادی (h) استخراج گردد. سپس با محاسبه فاصله‌ای که آزمون عادی (۴۳۶ ساعت) از زمان خرابی خود (h) دارد، آزمون شتاب یافته از ساعت خرابی بدست آمده (مثلاً ۲۰۰ ساعت) فاصله می‌گیرد و بدین ترتیب زمان آزمون شتاب یافته بدست می‌آید. این کار نیازمند محاسبه و مقایسه قابلیت اطمینان در همه حالات آزمون است.

محاسبه زمان خرابی آزمون عادی (h) به کمک روابط یا نمودارهای خستگی قطعه امکان‌پذیر است و این روابط بستگی به جنس نمونه آزمایش دارد. قطعه پایه تسمه سفت‌کن در این آزمایش از جنس آلومینیوم AS9u3g است [۹] که برخی از مشخصات آن در جدول ۲ آمده است.

مشخصه	مقدار	واحد
سختی	۹۱	برینل
ضریب الاستیسیته	۷۳	GPa
ضریب پواسون	۰,۳۳	-
تنش تسلیم	۱۶۰	MPa
استحکام نهایی	۲۷۰	MPa

روابط خستگی مربوط به آلومینیوم از معادله بسکوئین^۱ قابل استفاده است:

$$S = A(N)^{-B} \quad (۱)$$

سرعت‌های موتور که در آن تسمه دچار تشدید می‌شود بستگی دارد. با فرض ثابت بودن سرعت‌های تشدید، عامل خرابی قطعه دامنه نوسانات تسمه خواهد بود که این مشخصه نیز به مقدار کشش تسمه بستگی دارد. بنابراین برای شتاب‌دهی آزمون مورد بررسی دو راه وجود دارد:

الف) تغییر سرعت (دور) موتور:

رویه آزمون دوام (شکل ۲) به سرعت موتور وابسته است. بنابراین با افزایش دور موتور، زمان آزمون کاهش می‌یابد و موتور در زمان کمتری ۹۰ میلیون چرخه (دور) آزمون عادی را طی خواهد کرد. بنابراین یکی از روش‌های کاهش زمان آزمون یا شتاب‌دهی آزمون دوام می‌تواند استفاده از نقاطی باشد که دوره‌های تندتری داشته و تسمه دچار تشدید می‌شود. دوره‌های کاری موتور از حدود ۱۰۰۰ rpm شروع شده و تا ۶۰۰۰ rpm ادامه می‌یابد.

در این بازه هر تسمه بیش از ۴ نقطه که مورد نیاز آزمون است دچار تشدید می‌گردد (شکل ۳) و طبق شیوه‌نامه آزمون معمولاً از نقاط با بیشترین دامنه نوسان استفاده می‌شود اما اگر از نقاط تشدید دیگر هم استفاده شود، اشکالی در روند صحنه‌گذاری ندارد. از این رو در این مرحله از دوره‌های تندتری استفاده شد که برابر ۱۷۵۰، ۳۴۵۰، ۴۴۰۰ و ۵۷۰۰ rpm بودند.

در این حالت زمان آزمون ۳۹۲ ساعت بدست آمد که اختلاف چندانی با زمان آزمون عادی نداشت. یکی از دلایل آن، محدود بودن دوره‌های کاری موتور است. بیشینه دور کاری موتور مورد بررسی ۶۰۰۰ rpm بوده و امکان انجام آزمون در نقاط تندتر از آن وجود ندارد. علاوه بر آن ماهیت نوسان تسمه و دوره‌های کاری موتور در خودرو ایجاب می‌کند که آزمون در محدوده‌ای از دوره‌های کند تا تند موتور انجام شود و محدود به دوره‌های تند نباشد.

ب) تغییر نیروی کشش تسمه:

پیش‌تر ذکر شد که یکی از روش‌های شتاب‌دهی آزمون عمر، افزایش نیرو (تنش) وارد بر قطعه می‌تواند باشد. با توجه به اینکه نیروی وارد بر تسمه سفت‌کن مورد بررسی همان نیروی کشش تسمه است برای این منظور باید نیروی تسمه را افزایش داد. برخلاف تسمه سفت‌کن‌های خودکار که نیروی تسمه با فنر طراحی شده تنظیم می‌شود، در تسمه سفت‌کن‌های دستی این کار به کمک پیچ تنظیم انجام می‌شود و محدوده‌ای از کشش تسمه حاصل می‌گردد که حدود آن توسط طراح یا سازنده موتور مشخص شده است.

به‌منظور شتاب‌دهی آزمون دوام، نیروی کشش تسمه (نیروی هم‌بندی) از ۱۶۶ نیوتن به ۲۳۹ نیوتن افزایش داده شد. این افزایش نیرو باید طوری باشد که حداقل چهار نقطه از نقاط تشدید تسمه تغییر نکند تا بتوان با همان سرعت‌های قبل آزمون را انجام داد و مشخصه‌ای که برای شتاب‌دهی آزمون تغییر می‌کند فقط نیروی کشش تسمه باشد نه دوره‌های کاری موتور.

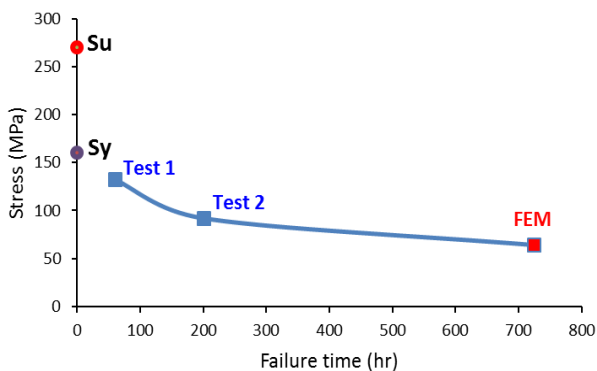
^۱ Basquin

بنابراین می‌توان تعداد چرخه (ساعت) خرابی آزمون عادی را بدست آورد که مقدار آن در ردیف سوم جدول ۳ آمده است. ساعت خرابی آزمون عادی با استفاده از دوره‌های کاری موتور استخراج می‌شود که برابر ۷۲۵ ساعت است. بنابراین زمان مجهول h که در قسمت‌های قبل بیان شد، برابر ۷۲۵ ساعت می‌شود.

این زمان از نتایج محاسبات بدست آمده و بدلیل هزینه و محدودیت‌های آزمون صحنه‌گذاری نگردد. شکل ۶ نمودار تنش خستگی بر حسب ساعت خرابی قطعات را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود نمودار استحکام خستگی بر حسب چرخه بصورت نزولی بوده و هیچ‌گاه خط صاف نمی‌شود که این از ویژگی‌های آلومینیوم‌های همبسته است. اختلاف نمودار استحکام-عمر آلومینیوم‌ها با فولادها در این است که دارای خط صاف حد خستگی^۱ نمی‌باشند و بصورت نزولی کاهش می‌یابند.

جدول ۳: مقادیر تنش خستگی و چرخه معادل

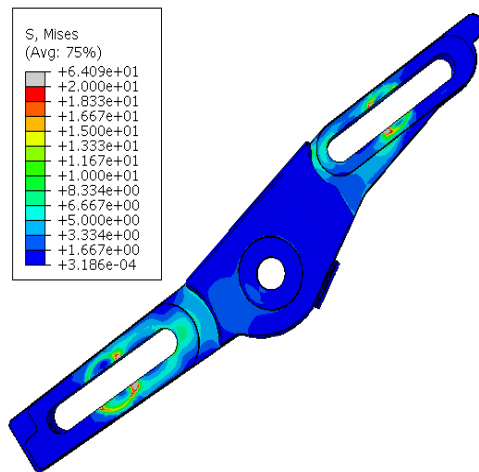
آزمون	نیروی تسمه نیوتن	تنش MPa	چرخه خرابی دور	زمان خرابی ساعت
۱	۲۳۹	۹۲,۰	۴۳۸۰۷۵۰۰	۲۰۰
۲	۳۳۰	۱۳۲,۳	۱۳۱۴۰۰۰۰	۶۰
۳	۱۶۶	۶۴,۰۹	۱۴۵۱۸۹۲۷۴	۷۲۵



شکل ۶: نمودار تنش خستگی بر حسب ساعت کارکرد پایه تسمه سفت‌کن

ردیف سوم جدول ۳ مربوط به آزمون در حالت عادی است. رابطه (۱) پیش بینی می‌کند که ساعت خرابی قطعه ساعت ۷۲۵ ام از آزمون خواهد بود اگر چه این آزمون تا ساعت ۴۳۶ ادامه داشت و صحنه‌گذاری قطعه تا این زمان قابل قبول است. به عبارت دیگر آزمون عمر در حالت عادی با فاصله‌ای از خرابی قطعه انجام می‌شود که برای شتاب‌دهی آن نیز باید فاصله معادل را از زمان خرابی حفظ کرد. بنابراین آزمون شتاب یافته قطعه با تنش ۹۲ MPa کمتر از ۲۰۰ ساعت و با تنش ۱۳۲,۳ MPa کمتر از ۶۰ ساعت خواهد بود. فاصله آزمون شتاب یافته از زمان خرابی به کمک روابط قابلیت اطمینان

که S تنش خستگی، N تعداد چرخه تا خرابی، A و B ثوابت معادله هستند [۱۱]. برای استفاده از معادله ۱، باید تنش خستگی قطعه در ساعات (چرخه‌های) خرابی محاسبه شود. ساعت خرابی با استفاده از دوره‌های کاری موتور که همان دوره‌های تشدید است و مدت زمان هر دور به تعداد چرخه تبدیل می‌شود. این دوره‌های کاری که شامل چهار نقطه است در قسمت‌های قبل آمده است. محاسبه تنش از روش شبیه‌سازی اجزای محدود قطعه قابل استخراج است. برای این منظور ابتدا قطعه شبیه‌سازی سه بعدی شده و سپس با اعمال براینده نیروی تسمه در نرم‌افزار اجزای محدود Abaqus، تنش وارد بر قطعه استخراج شد. قطعه از محل دو پیچ اتصال به موتور مقید شده و نیرو از محل اتصال تسمه با همان زاویه تسمه اعمال شده است. شکل ۴ تنش بدست آمده در نرم‌افزار برای کمترین نیروی تسمه (۱۶۶ نیوتن) را نشان می‌دهد.



شکل ۴: شبیه‌سازی اجزای محدود قطعه برای کمترین نیروی تسمه (آزمون عادی) (بر حسب MPa).

همان‌طور که در شکل ۴ دیده می‌شود در اطراف محل بستن پیچ‌ها بیشترین تنش وارد می‌شود. بررسی محل شکست نمونه‌های آزمون شتاب یافته (شکل ۵) نیز تایید کننده این نتیجه بود.



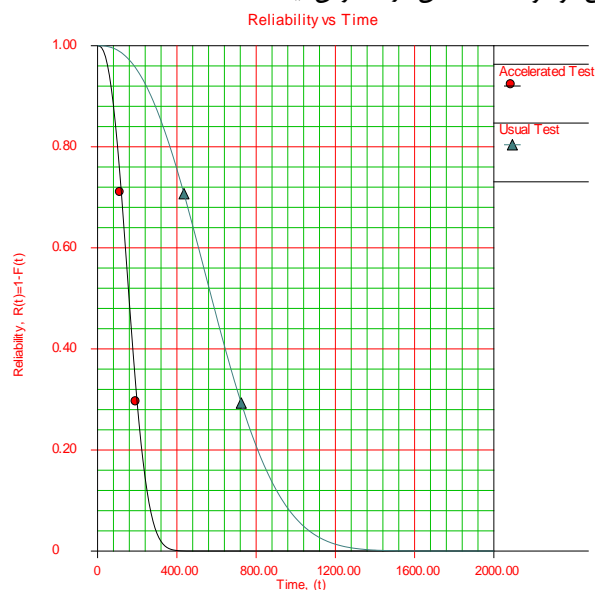
شکل ۵: محل شکست پایه تسمه سفت‌کن در آزمون شتاب یافته

محاسبه تنش و تعداد چرخه برای سایر نیروهای تسمه نیز انجام شد که نتایج آن در جدول ۳ آمده است. با داشتن دو تنش و تعداد چرخه خستگی معادل آن‌ها، دو ثابت A و B از معادله (۱) قابل استخراج است. با مشخص شدن ثوابت A و B ، معادله (۱) کامل می‌شود.

^۱ Endurance limit

با توجه به هزینه و زمان آزمون‌های موتوری، تعداد آزمون‌ها در این نمودار محدود است.

در آزمون شتاب یافته زمان آزمون از ۴۳۶ ساعت به ۱۲۰ ساعت کاهش یافت. لازم به ذکر است که مقدار آزمون شتاب یافته به نیروی کشش تسمه بستگی دارد. نتیجه آزمون شتاب یافته این است که اگر قطعه آن را با موفقیت پشت سرگذارد با همان قابلیت اطمینان می‌تواند آزمون عادی را بدون مشکل تمام کند. به عبارت دیگر قطعه عملکرد آزمون عادی و کارکرد معادل آن در خودرو را خواهد داشت. کارکرد معادل خودرویی آزمون عادی توسط طراح آزمون استخراج می‌شود و اطلاعات آن در دسترس نیست.



$\beta_1=2.4876, \eta_1=184.1534, \rho=1.0000$
 $\beta_2=2.4876, \eta_2=667.5562, \rho=1.0000$

شکل ۷: نمودار قابلیت اطمینان دو آزمون عمر عادی و شتاب یافته با استفاده از نرم‌افزار Weibull++.

۵- نتیجه گیری

نتایج عمده به دست آمده از این پژوهش عبارت است از:

- ۱- روش استفاده از دوره‌های تشدید تندتر تأثیر چندانی در کاهش زمان آزمون دوام و شتاب‌دهی آن ندارد.
- ۲- نمودار تنش خستگی برحسب عمر نمونه آزمایش شده بصورت نزولی بوده و هیچ گاه به صورت خط صاف نمی‌شود که این امر با رفتار آلومینیوم‌های همبسته مطابقت دارد.
- ۳- با افزایش بار وارد بر قطعه (نیروی کشش تسمه) می‌توان زمان آزمون صحنه‌گذاری را کاهش داد برای این کار باید قابلیت اطمینان قطعه در هر دو آزمون عادی و شتاب یافته با هم برابر باشند.
- ۴- یکی از فواید آزمون‌های شتاب‌یافته، رسیدن به الگوی خرابی قطعات موتور در مدت زمان کمتر است. با شتاب‌دهی آزمون موتوری محل شکست و نقاط ضعف برخی از قطعات بدست می‌آید.

بدست می‌آید. یکی از الزامات شتاب‌دهی آزمون عمر این است که قابلیت اطمینان قطعه در هر دو آزمون عادی و شتاب یافته برابر باشد. بدین معنی که آزمون شتاب یافته باید بتواند همان قابلیت اطمینان را که آزمون عادی دارد ایجاد کند [۷].

برای محاسبه و ارزیابی قابلیت اطمینان، روابط و شبیه‌سازی‌های مختلفی ارائه شده است که یکی از مهم‌ترین آنها، معادله ویبول است:

$$R = e^{-(t/\eta)^\beta} \quad (2)$$

که t زمان خرابی، η مشخصه مقیاس^۱ و β مشخصه شکل^۲ است. مشخصه مقیاس، جمع‌شدگی یا گشودگی نمودار توزیع ویبول را نسبت به محور افقی نشان می‌دهد. مشخصه شکل به مشخصه‌ای گفته می‌شود که با تغییر آن، شکل تابع توزیع احتمالی تغییر نماید و بصورت زنگوله‌ای یا نمایی در می‌آید.

برای محاسبه قابلیت اطمینان آزمون شتاب یافته، ابتدا توزیع ویبول آزمون عادی با استفاده از نرم‌افزار Weibull++ استخراج شد و میزان قابلیت اطمینان آزمون صحنه‌گذاری در حالت عادی (۴۳۶ ساعت) محاسبه گردید. با فرض ثابت بودن مشخصه شکل در توزیع ویبول آزمون شتاب یافته، توزیع ویبول این آزمون نیز استخراج شده و از روی آن زمان آزمون شتاب یافته بدست آمد که برابر ۱۲۰٫۳ ساعت می‌شود.

در شکل ۷ نمودار توزیع ویبول با استفاده از نرم‌افزار برای دو آزمون عادی و شتاب یافته نشان داده شده است. ورودی‌های این نمودارها، مشخصه مقیاس و مشخصه شکل بدست آمده از ساعت خرابی آزمون عادی است. در این نمودار محور افقی ساعت آزمون و محور عمودی عدد قابلیت اطمینان را نشان می‌دهد. همان طور که نمودار نشان می‌دهد قابلیت اطمینان در ساعات ۷۲۵ با ۲۰۰ و ۴۳۶ با ۱۲۰٫۳ با هم برابر هستند.

۴- بررسی نتایج

روش استفاده از دوره‌های تشدید تندتر بدلیل محدود بودن دوره‌های کاری موتور، تأثیر چندانی در کاهش زمان آزمون دوام و شتاب‌دهی آن ندارد. یکی از فواید آزمون‌های شتاب‌یافته، رسیدن به الگوی خرابی در مدت زمان کمتر است. با شتاب‌دهی آزمون پایه تسمه‌سفت‌کن، محل شکست و نقاط ضعف این قطعه بدست آمد که در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است.

نمودار استحکام خستگی برحسب عمر برای قطعه آلومینیومی پایه تسمه‌سفت‌کن بصورت نزولی بوده و بصورت خط صاف در نمی‌آید که این رفتار در همبسته‌های آلومینیوم مشاهده می‌شود. لازم به ذکر است که با افزایش تعداد نمونه‌ها دقت این نمودار افزایش می‌یابد اما

¹ Scale parameter

² Shape parameter

تشکر و قدردانی

این مقاله با حمایت مالی شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران-خودرو (ایپکو) انجام شده است و نویسنده از مسئولین و کارکنان این شرکت بخصوص واحد آزمایشگاه آن، تقدیر و تشکر دارند.

فهرست علائم

N	تعداد چرخه خستگی، دور
R	قابلیت اطمینان
S	تنش خستگی، MPa
t	زمان خرابی، sec
η	مشخصه مقدار تابع ویبول
β	مشخصه شکل تابع ویبول

مراجع و منابع

- [۱] کاملیا کاظمی، حامد نیک نفس، طرح ریزی آزمون‌های عمر به منظور محاسبه قابلیت اطمینان محصول، ماهنامه صنعت خودرو (۱۳۹۳)، سال هجدهم، شماره ۱۹۳، صص ۲۸-۳۴.
- [2] S. Mohire, P. Kathale, M. Chaskar, and V. Tendulkar, Development of Accelerated Life Test Schedule for Rig Testing of Live Axles Based on Road Load Data and Its Correlation with Field. Tata Motors Ltd, SAE International 2018-01-0099 (2018)

- [3] P. Attibele, S. Makam, Y. L. Lee, A comparison of real world and accelerated powertrain endurance cycles for light duty vehicles, Chrysler Group LLC, 2013
- [4] S. M. Zaharia, I. Martinescu, Management of accelerated reliability testing, Technical Gazette 23, 5 (2016), 1447-1455
- [5] A. Regattieri, A. Casto, F. Piana, M.Faccio, E. Ferrari, Reliability prediction of a mechanical component through accelerated life testing, 24th International Conference on Production Research, ICPR 2017
- [6] S. M. Zaharia, I. Martinescu, C. O. Morariu, Life time prediction using accelerated test data of the specimens from mechanical element. Maintenance and Reliability, 14 (2) (2012) 99-106
- [7] F. Ahdad, C. Beltrami, L. Bernardini, Design of thermal mechanical fatigue accelerated life test criteria, 2008 ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, IMECE 2008-68209, October 31-November 6, 2008
- [8] PSA Peugeot Citroen standard, EI BAM 00 170, Accessory drive belt endurance test procedure, 2002.
- [۹] مهدی روزبان، بررسی علل خرابی تسمه سفت کن موتور R2، گزارش تحلیل خرابی، شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو (ایپکو)، ۱۳۹۳.
- [10] Material Properties Database, "www.makeitfrom.com".
- [11] Y.L. Lee, J. Pan, R. B. Hathaway, M. E. Barkey, Fatigue Testing and Analysis, ELSEVIER, 2005.



Validation of engine belt tensioners mounting by Accelerated Life Testing

M. Rezaei¹¹MSc Mechanical engineering, IPCO, Tehran, Iran, me_rezaei@ip-co.com

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 1 December 2019

Accepted: 18 February 2020

Keywords:

Accelerated Life Testing (ALT)

Belt tensioner

Durability test

Reliability

ABSTRACT

Engine validation tests are important stages of the production development process. Time and cost of these tests have important role in this process. Validation tests investigate performance (function) and durability of engine systems and parts. In recent markets developing of vehicles has accelerated and the validation process should be decreased. Farther more some concepts such as reliability has been serious in this field. Durability tests are longer stages of the validation process and some of them last some weeks. The subject of the accelerated life tests (ALT) is the acceleration of the durability tests without reliability variation. Two manners developed for accelerating durability tests (and decreasing test duration): increasing the severity of loading or removing the cycles that have no (low) influence on failures. In the present research the accessory belt tensioner bracket (feadbracket) tested with the engine supplier procedure for 436 hrs without any failure. In order to accelerating durability test, the belt load increased 1.4 times and bracket was fractured after 200 hrs. After that failure time of the bracket in the usual test extracted via finite element method (FEM) and fatigue models, then the accelerated test time calculated by reliability equations. Results show that ALT duration become less than 200 hrs.

