



تحلیل خستگی کم بسامد بستار منیزیمی با استفاده از روش انرژی کرنش مومسان

محمد آزادی^{۱*}، غلامحسین فرهی^۲، فرشاد زاهدی^۳

^۱دانشگاه صنعتی شریف و شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو (ایپکو)، تهران، ایران، m_azadi@ip-co.com

^۲دانشکده مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران، farrahi@sharif.edu

^۳دانشکده مکانیک، دانشگاه تگزاس در آرلینگتون، آرلینگتون، امریکا، farshad.zahedi@mavs.uta.edu

*نویسنده مسئول، شماره تماس: ۰۹۱۰۲۱۰۷۲۸۰

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۰۵ اسفند ۱۳۹۱

پذیرش: ۳۱ فروردین ۱۳۹۲

کلیدواژه‌ها:

خستگی کم بسامد

معادله پیش بینی عمر

همبسته منیزیم

روش انرژی

بستار

در این مقاله، یک معادله جدید پیش بینی عمر خستگی کم بسامد برای همبسته منیزیم، ارائه شده و به منظور تدوین آن، از نتایج آزمون خستگی کم بسامد روی نمونه‌های منیزیمی استفاده شده است. در این راستا، روش انرژی (در نظر گرفتن اثر تنش و اثر کرنش) بکار گرفته شده است. این معادله در مقایسه با دیگر نظریه‌های متداول موجود، از متغیرهای مادی کمتری برخوردار است و دارای دقت مناسب‌تری می‌باشد؛ چراکه در روش انرژی، از معادله عمر- انرژی کرنش مومسان (پلاستیک) که معادل با ضرب همزمان عددهای تنش و کرنش مومسان می‌باشد، استفاده می‌شود. همچنین، اثر تنش میانگین به صورت یک ضریب تصحیح در معادله پیش بینی عمر خستگی اعمال شده است. نتایج حاصل از معادله، تطابق خوبی را با نتایج آزمون نشان می‌دهد. در انتهای این مقاله، به یک مثال کاربردی شامل تحلیل خستگی کم بسامد بستار در یک موتور دیزل که از همبسته منیزیم ساخته شده است، پرداخته شده و سپس، بر اساس معادله ارائه شده، عمر خستگی آن پیش بینی گردیده است.

تمامی حقوق برای انجمن علمی موتور ایران محفوظ است.

۱) مقدمه

بستار و بدنه موتور، از قطعات حساس در موتورهای احتراق داخلی است که به دلیل نحوه کارکرد آنها، انتخاب مواد برای این گونه قطعات از اهمیت خاصی برخوردارند و لذا باید از نظر خواص مکانیکی در دماهای گرم، به میزان کافی، استحکام داشته باشند تا بتوانند تنش‌های متناوب ناشی از فشار و حرارت گاز را تحمل نمایند. افزایش هزینه‌های تعمیر و نگهداری و هزینه سوخت، نظر طراحان موتور را به سمت موتورهای سبک‌تر همچون استفاده از همبسته‌های منیزیم، با نسبت استحکام به وزن بزرگ، جلب می‌کند. در حال حاضر، برای ساخت قطعات فوق، از انواع چدن و همبسته‌های آلومینیوم استفاده می‌شود. همبسته‌های منیزیم، خواص مواد نزدیکی به همبسته‌های آلومینیوم داشته و تا حدود ۴۰ درصد وزن را کاهش می‌دهند و بر این اساس، مورد توجه اند [۱-۲].

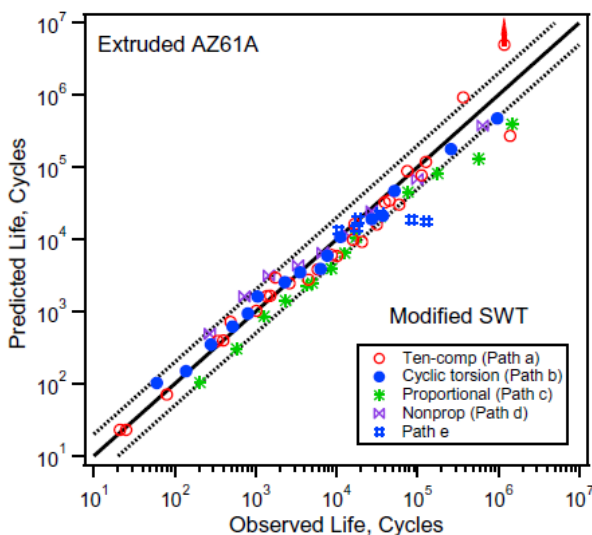
در زمینه خستگی همبسته‌های منیزیم، مقالات متعددی وجود دارد. آیسنمیر^۱ و همکاران [۳]، رفتار چرخه‌ای همبسته منیزیم (AZ91) را در دماهای ۲۵ و ۱۳۰ درجه سانتیگراد، بررسی کرده‌اند. معادله‌های پیش‌بینی عمر ارائه شده برای این همبسته، بر اساس معادله‌های متداول مانسون - کافین - باسکوئین^۲ است. رفتار خستگی کم بسامد همبسته منیزیم (AZ31)، به توسط هاسگاو^۳ و همکاران [۴]، بر اساس معادله مانسون - کافین یا معیار کرنش مومسان (پلاستیک)، استخراج شده است.

در معادله آنها، به جهت در نظر گرفتن اثر تنش میانگین، یک معادله ساده بر اساس تنش و مدول ارتجاعی (الاستیک) ماده، به معادله فوق اضافه شده است. مشخصات خستگی کم بسامد همبسته منیزیم (AZ31)، بر اساس روش انرژی، به توسط پارک^۴ و همکاران [۵]، تعیین شده است. در این معادله، از معادله ساده انرژی کرنش مومسان - عمر استفاده شده که نتایج آن در محدوده خطی با ضریب ۲ از نتایج آزمون خستگی قرار می‌گیرد. لی^۵ و همکاران [۶]، اثر دامنه کرنش بر رفتار خستگی همبسته منیزیم (AZ61A) را مطالعه کرده‌اند. معادله ارائه شده در این تحقیق، شامل تصحیح معادله کرنش - عمر می‌باشد. آنها در مقاله دیگری [۷]، رفتار خستگی چندمحوره همبسته فوق را بررسی کرده و از معادله فاطمی - سوشی^۶ و معادله اصلاح شده اسمیت - واتسون - تاپر (SWT)^۷ استفاده نموده‌اند. نتایج معادله‌های پیش‌بینی عمر در این دو مقاله، دارای دقت مناسبی نمی‌باشند.

بر اساس شکل ۱، به جهت مقایسه نتایج معادله و آزمون خستگی، از خطی با ضریب ۲ (محدوده مثبت و منفی دو برابر عمر) بهره گرفته شده که همچنان برخی از نتایج، خارج از محدوده هستند. لذا در این مقاله، با استفاده از نتایج آزمون‌های خستگی همبسته منیزیم (AZ61A) دو مقاله [۶-۷]، به جهت ارائه یک معادله جدید پیش‌بینی عمر خستگی بر اساس روش انرژی استفاده شده است. در معادله‌های ارائه شده تاکنون، اکثر مقالات از روش‌های متداول بهره جسته‌اند که در این روش‌ها، اصل معادله بر پایه کرنش است. حال آنکه روش انرژی، هر دو متغیر کرنش و تنش را در مدنظر قرار می‌دهد.

۲) آزمون خستگی کم بسامد

ماده مورد بررسی، همبسته منیزیم (AZ61A) بوده که ترکیب شیمیایی آن شامل ۶٫۵ درصد آلومینیوم، ۰٫۰۵ درصد مس، ۰٫۱ درصد سیلیسیم و مابقی شامل عنصر منیزیم می‌باشد [۶]. نتایج آزمون‌های خستگی کم بسامد ماده فوق، در جدول ۱ آمده است. آزمون‌های خستگی کم بسامد تحت بارهای کششی - فشاری کاملاً عکس‌شونده ($R = -1$) و در دمای محیط روی نمونه‌های استاندارد انجام شده‌اند. اعداد تنش و کرنش گزارش شده، درباره داده چرخه نیمه عمر می‌باشند. ضریب ارتجاعی، ۴۳٫۴ گیگاپاسکال، استحکام نهایی، ۲۷۹ مگاپاسکال و درصد تغییر طول، ۸٫۹۴ درصد است [۷].



شکل ۱: نتایج آزمون خستگی کم بسامد همبسته منیزیم [۷]

1 Eisenmeier

2 Manson-Coffin-Basquin (MCB)

3 Hasegawa

4 Park

5 Li

6 Fatemi and Socie

7 Smith-Watson-Topper (SWT)

مومسان می‌باشد (شکل ۲). چند روش به جهت محاسبه انرژی مومسان وجود دارد که از جمله آنها، انتگرال گیری عددی است [۸]. در مرجع [۱۰]، کرنش و انرژی کرنش مومسان، عبارتند از:

$$\Delta W_p = \int \sigma d\varepsilon \approx \Delta \sigma \Delta \varepsilon_p \quad (4)$$

$$\Delta \varepsilon_t = \Delta \varepsilon_e + \Delta \varepsilon_p \rightarrow \Delta \varepsilon_p = \Delta \varepsilon_t - \frac{\Delta \sigma}{E} \quad (5)$$

در این مقاله، معادله پیش‌بینی عمر خستگی کم بسامد، براساس روش انرژی کرنش ارائه شده که دارای عبارت تصحیح تنش (ψ_σ) است.

$$N_f = A[\Delta W_p(\psi_\sigma)]^{-B} \quad (6)$$

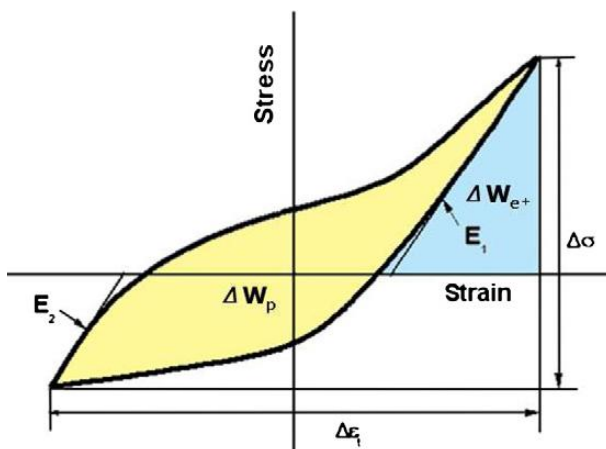
متغیرهای A و B ثوابت مادی و مثبت می‌باشند. به جهت محاسبه ضرایب ثابت ماده، از رگرسیون خطی در مقیاس لگاریتمی استفاده می‌شود. قبل از محاسبه ضرایب متعلق به ماده، باید ضریب تصحیح تنش میانگین (MS_{CF})^۳، محاسبه گردند. این ضریب، بر اساس تنش تنش بیشینه و استحکام نهایی ماده، تعریف شده‌اند که معادله اول (معادله ۷)، همان معادله انرژی ارائه شده در مرجع [۸] است و معادلات ۸ و ۹، پیشنهادی می‌باشند. متغیر m_i ، یک عدد ثابت است.

$$\psi_\sigma \equiv MS_{CF_1} = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{ult} - m_1 \sigma_{mean}} \quad (7)$$

$$\psi_\sigma \equiv MS_{CF_2} = 1 + m_2 \frac{\sigma_{mean}}{\sigma_{ult}} \quad (8)$$

$$\psi_\sigma \equiv MS_{CF_3} = \left(1 + \frac{\sigma_{mean}}{\sigma_{ult}}\right)^{m_3} \quad (9)$$

در معادله اول ضریب تصحیح تنش، اگر مخرج کسر صفر شود، مقدار آن بینهایت شده و این مطلب یکی از ایرادهای معادله ارائه شده در مرجع [۸] است. در معادله ۷، با توجه به اینکه تنش بیشینه از مجموع تنش میانگین و دامنه تنش محاسبه می‌شود، ضریب تصحیح تنش فقط تابعی از تنش میانگین است.



شکل ۲: شماتیک منحنی تنش - کرنش در آزمون خستگی کم بسامد

جدول ۱: نتایج آزمون خستگی کم بسامد کشش - فشار [۷]

دامنه کرنش (%)	دامنه تنش (مگاپاسکال)	تنش میانگین (مگاپاسکال)	عمر خستگی (چرخه)
۱,۰۰	۱۹۰,۲	۳۴,۵	۴۰۰
۰,۷۰	۱۷۸,۵	۳۳,۶	۱۰۲۰
۰,۶۰	۱۶۹,۱	۳۱,۶	۱۵۲۰
۰,۵۲	۱۶۳,۹	۲۷,۹	۲۶۲۰
۰,۵۰	۱۶۱,۹	۲۲,۲	۴۵۰۰
۰,۴۵	۱۵۵,۰	۱۷,۸	۵۸۶۰
۰,۴۰	۱۴۲,۸	۷,۸	۸۷۴۰
۰,۳۵	۱۳۰,۱	۲,۸	۱۶۰۰۰
۰,۳۰	۱۱۵,۶	۴,۰	۱۶۷۵۰
۰,۲۵	۹۸,۳	۳,۱	۳۹۶۰۰
۰,۱۵	۶۳,۹	۳,۴	۳۷۰۰۰۰

۳) معادله‌های پیش‌بینی عمر

به طور کلی، رویکردهای متداول در شکل ۲ بیان شود [۸]:

$$\phi(\varepsilon, \varepsilon^p, \sigma, \dots) = f(N_f, \alpha, \beta, \dots) \quad (1)$$

که سمت راست معادله فوق، شامل خواص مادی و سمت چپ، شامل شرایط بارگذاری، تنش و کرنش است. یکی از این روش‌های متداول، معیار مانسون - کافین است که به تشریح یک معادله خطی بین دامنه کرنش مومسان و عمر، در مقیاس لگاریتمی می‌پردازد. معادله مانسون - کافین - باسکوئین، روش کرنش کل (مجموع کرنش ارتجاعی و مومسان) است [۹].

$$\varepsilon_p = \varepsilon_f' (2N_f)^c \quad (2)$$

$$\varepsilon_t = \varepsilon_e + \varepsilon_p = \frac{\sigma_f'}{E} (2N_f)^b + \varepsilon_f' (2N_f)^c \quad (3)$$

تأثیر تنش روی عمر خستگی، به توسط مورو^۱ و روش اسمیت - واتسون - تاپر (SWT)، در نظر گرفته شده است [۹]. این روش‌های متداول مبتنی بر کرنش، برای حالت بارگذاری تک‌محوره و هم‌دما، بیان شده‌اند. معیارهای انرژی، می‌توانند با شرایط بارگذاری چندمحوره و غیرهم‌دما، با استفاده از انتگرال گیری روی مسیر و داشتن متغیرهای مستقل از دما، سازگار شوند. نکته دیگر معادله‌های متداول، درباره ثابت‌های مادی زیاد آنها می‌باشد و این درحالی است که براساس روش انرژی، فقط چند ثابت مادی وجود دارد که با اجرای آزمون‌های خستگی، مشخص می‌گردند [۸].

۴) معادله انرژی

به طور کلی، چگالی انرژی هیستریزیس کرنشی کل (در واحد حجم)^۲ در هر چرخه از عمر خستگی ماده، شامل دو قسمت ارتجاعی و

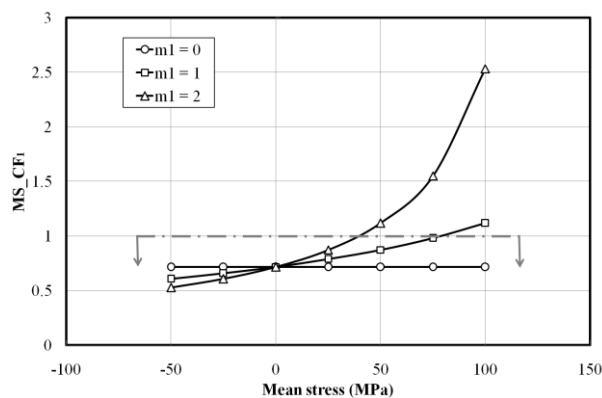
¹ Morrow

² Total hysteresis strain energy density (per unit volume)

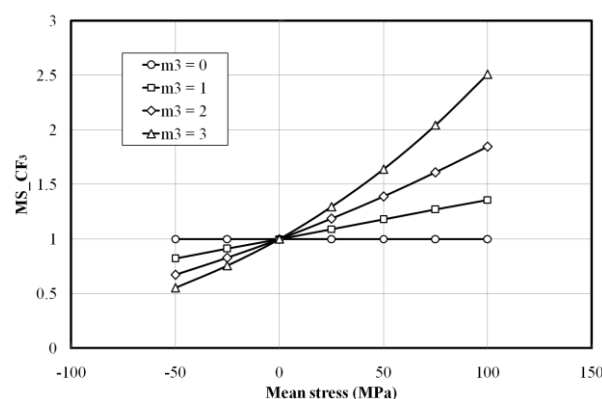
³ Mean stress correction factor

میانگین کمتر از ۷۵ مگاپاسکال، ضریب تصحیح تنش کمتر از ۱ است و تنش میانگین (هر دو نوع فشاری و کششی)، باعث افزایش عمر خستگی می‌شود. همچنین، به ازای مقدار ۲ برای m_1 ، تنش میانگین کششی تا حدود ۵۰ مگاپاسکال باعث افزایش عمر و بیش از آن، باعث کاهش عمر خستگی می‌گردد.

در معادله‌های پیشنهادی در این پژوهش، اثر تنش بیشینه لحاظ نشده است؛ چراکه اثر آن در انرژی کرنش مومسان، به صورت مستقیم وارد می‌شود. ضمناً، مقادیر ضرایب تصحیح تنش، در تنش میانگین صفر، برابر با ۱ است. در معادلات ۷ و ۸، ضریب تصحیح تنش با معادله‌ای خطی به تنش میانگین وابسته است و در معادله ۹، طبق شکل ۴، تابعی غیرخطی بین ضریب تصحیح و تنش میانگین در نظر گرفته شده که با افزایش تنش میانگین کششی، نرخ رشد ضریب، افزایش و عمر، کاهش و همچنین با افزایش تنش میانگین فشاری، نرخ رشد ضریب، کاهش و عمر، افزایش می‌یابد.



شکل ۳: ضریب تصحیح تنش برای منیزیم، به ازای مقادیر مختلف m_1 و با در نظر گرفتن ۲۷۹ مگاپاسکال برای تنش نهایی همبسته منیزیم



شکل ۴: معادله سوم ضریب تصحیح تنش (MS_CF_3) برای همبسته منیزیم، به ازای مقادیر مختلف m_3

به منظور محاسبه متغیرهای m_i ، معادله CDR^1 ، معادل با متغیر R^2 در مرجع [۸]، به شکل توان دوم تفاضل عمر محاسبه شده از معادله و عمر خستگی نمونه‌های آزمون، تقسیم بر تفاضل توان دوم عمرها و میانگین عمر نمونه‌ها در آزمون‌های خستگی، تعریف شده است. هر چه این متغیر به ۱ نزدیک‌تر باشد، معادله، جواب‌های بهتری دارد.

$$CDR = 1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum y_i^2 - (\sum y_i)^2 / M} \quad (10)$$

متغیر R^2 در مرجع [۸]، به منظور محاسبه متغیر m_i ، در ضریب تصحیح تنش، مورد استفاده قرار گرفته است. به جهت مقایسه بهتر معادله‌های پیش‌بینی عمر خستگی، متغیرهای دیگری همچون دو متغیر میانگین و بیشینه درصد خطای نسبی (MOE & AOE)^۲، برای نتایج آزمون‌های خستگی تعریف شده‌اند که از مقدار خطای نسبی، به شکل (۱۱) محاسبه می‌شوند. هر چه متغیرهای فوق کمتر باشند، نشان دهنده خطای کمتر و دقت بهتر معادله خواهند بود.

$$E_i = \frac{|N_{f,exp} - N_{f,cal}|}{N_{f,exp}} \quad (11)$$

به منظور مقایسه نتایج پیش‌بینی عمر به روش انرژی با روش‌های دیگر، از این معادلات استفاده شده است.

$$P_{SWT} = \sigma_{max} \varepsilon_{a,t} = CN_f^D \quad (12)$$

$$P_{M\&C} = \varepsilon_{a,p} = CN_f^D \quad (13)$$

$$P_{OST} = \sigma_{max} \Delta \varepsilon_p = CN_f^D \quad (14)$$

معادلات فوق، به ترتیب، به معادلات اسمیت-واتسون-تایپر (SWT)، مانسون-کافین (M&C) و استرجن (OST)^۳ معروف هستند.

۵) ضریب تصحیح تنش میانگین

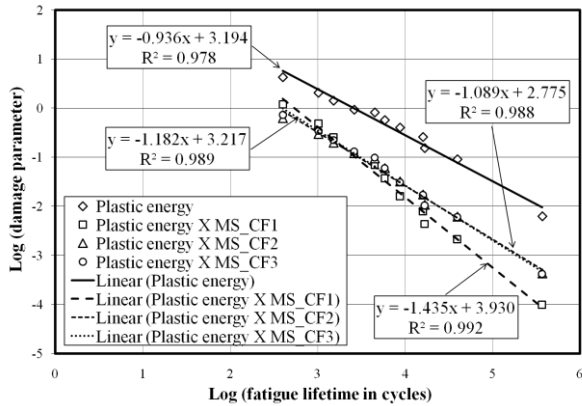
ضریب تصحیح تنش برای همبسته منیزیم و به ازای مقادیر مختلف m_1 بر اساس مرجع [۸]، در شکل ۳ نشان داده شده است. به ازای مقدار صفر متغیر m_1 ، ضریب تصحیح تنش برابر با مقدار ثابتی می‌گردد. با افزایش مقدار m_1 ، نرخ رشد ضریب تصحیح افزایش می‌یابد. بر اساس معادله ارائه شده، با افزایش ضریب تصحیح تنش، به این دلیل که در انرژی کرنش مومسان ضرب می‌شود، عمر خستگی کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، ضریب تصحیح تنش بیش از ۱، باعث کاهش عمر و ضریب تصحیح تنش کمتر از ۱، باعث افزایش عمر می‌شود.

واضح است که تنش میانگین کششی و فشاری، به ترتیب، باعث کاهش و افزایش عمر خستگی می‌شوند. اما همان‌گونه که در شکل ۳ مشخص است، به ازای مقادیر صفر و ۱ برای m_1 ، در حالت تنش‌های

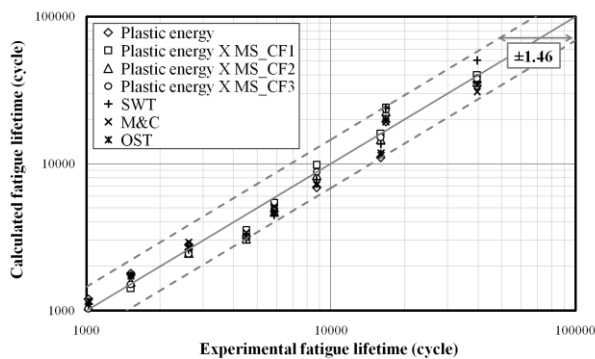
1 Coefficient of determination, R^2 (CDR)

2 Maximum of Errors (MOE) and Average of Errors (AOE)

3 Osteregen (OST)



شکل ۵: انرژی کرنش مومسان بر حسب عمر، در مقیاس لگاریتمی



شکل ۶: محاسبه عمر خستگی همبسته منیزیم بر اساس الگوهای مختلف در محدوده عمر ۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰ چرخه

جدول ۲: مقایسه نتایج معادله‌های پیش‌بینی عمر برای همبسته منیزیم

روشها / متغیرها	CDR (%)	AOE (%)	MOE (%)
Plastic energy	۹۷٫۸	۲۴٫۵	۶۰٫۰
Plastic energy X CF ₁	۹۹٫۲	۱۲٫۶	۴۴٫۳
Plastic energy X CF ₂	۹۸٫۸	۱۵٫۸	۳۵٫۸
Plastic energy X CF ₃	۹۹٫۰	۱۳٫۳	۳۸٫۳
SWT	۹۸٫۷	۱۷٫۰	۴۱٫۸
M&C	۹۸٫۳	۲۱٫۸	۵۳٫۲
OST	۹۸٫۲	۲۲٫۰	۴۸٫۵

۷ کاربرد معادله در تحلیل بستر

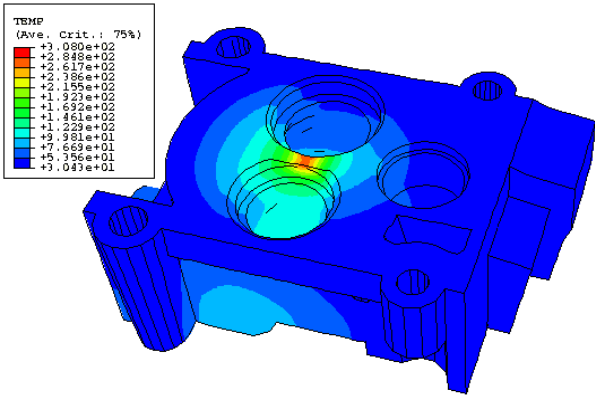
استفاده از همبسته‌های منیزیم در ساخت بستر و بدنه موتور، از جدیدترین فن‌آوری‌های روز دنیاست و علت این امر، کاهش وزن و در عین حال، شباهت زیاد خواص مکانیکی همبسته منیزیم نسبت به همبسته‌های آلومینیوم می‌باشد [۱-۲]. در این قسمت، اولین معادله ارائه شده برای پیش‌بینی عمر خستگی کم بسامد بستر در یک موتور دیزل (از جنس همبسته منیزیم AZ61A)، مورد استفاده قرار گرفته است. نمایی از بستر شبکه‌بندی شده و قطعات جانبی وابسته به آن، در نرم‌افزار ABAQUS در شکل ۷ آمده است.

۶ معادله پیش‌بینی عمر همبسته منیزیم

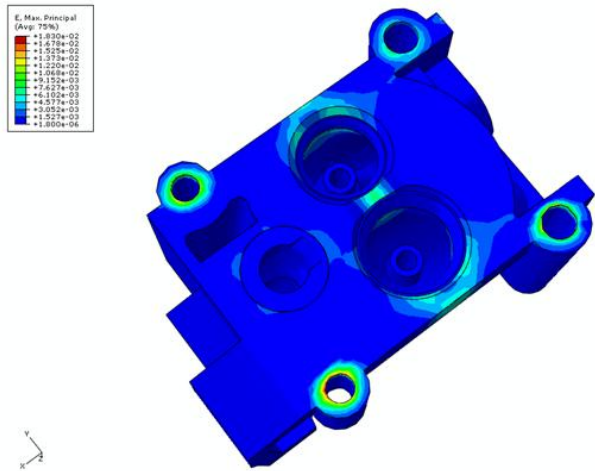
با استفاده از نتایج موجود برای همبسته منیزیم (AZ61A) در جدول ۱، می‌توان تمامی مراحل ذکر شده قبلی را اجرا نمود. بر این اساس و با توجه به معادله CDR، ابتدا مقادیر متغیر m_i محاسبه شده است. با پیشینه کردن مقدار CDR، مقادیر m_1 ، m_2 و m_3 به ترتیب، برابر با ۶٫۷، ۱۱٫۶ و ۹٫۰ محاسبه شده‌اند. در ادامه، متغیرهای A و B ، برای ماده فوق در معادله‌های مختلف پیش‌بینی عمر خستگی، محاسبه شده است (شکل ۵). در شکل ۵، متغیر R^2 همان معیار CDR است که میزان نزدیک بودن داده‌های آزمون به خط منطبق شده بر آنها را مشخص می‌کند. در بهترین حالت، مقدار آن برابر با ۱ است و البته همان‌گونه که در شکل ۵ مشخص است، مقدار آن برای معادله انرژی بدون ضریب تصحیح تنش (۰٫۹۷۸)، کمتر از معادله انرژی با ضریب تصحیح تنش است و این مسئله، اهمیت استفاده از ضریب تصحیح تنش را در همگن‌سازی نتایج نشان می‌دهد. در ادامه، با استفاده از معادله‌های پیشنهادی، عمر خستگی نمونه بدست آمده از آزمون و با نتایج آزمون‌های واقعی خستگی کم بسامد، مقایسه شده است (شکل ۶). نتایج بدست آمده از معادله‌های مختلف بین خطوط ± 1.46 (برای ۹۰ درصد آزمون‌های خستگی) قرار گرفته‌اند که در مقایسه با نتایج مرجع [۷]، دقت بهتری دارند. قابل ذکر است که این خطوط در مرجع [۷]، با ضریب ± 2 مشخص شده است (شکل ۱). این بهبود دقت الگو، در حدود ۲۷ درصد می‌باشد.

بر این اساس، مقادیر خطای عمر محاسبه شده با معادله‌های مختلف (شامل روش انرژی بدون ضریب تصحیح، سه روش انرژی با سه ضریب تصحیح متفاوت، معادله اسمیت-واتسون-تاپر، معادله مانسون-کافین و معادله استرجن)، در جدول ۲ آمده است. جواب معادله‌های پیش‌بینی عمر خستگی بر اساس روش انرژی و با ضریب تصحیح تنش میانگین، بمراتب بهتر از روش‌های متداول (معادله اسمیت-واتسون-تاپر، معادله مانسون-کافین و معادله استرجن) است. البته بیشترین مقدار خطاها (میانگین و بیشینه خطاها) در عمر پیش‌بینی شده از روش انرژی (بدون ضریب تصحیح تنش میانگین) است. این مطلب لزوم استفاده از ضریب تصحیح تنش میانگین را در روش انرژی مشخص می‌نماید. کمترین خطای انحراف (CDR) و کمترین میزان میانگین خطاها، راجع به معادله ارائه شده در مرجع [۸] می‌باشد و کمترین میزان بیشینه خطاها در محاسبه عمر، درباره معادله‌های دوم و سوم ارائه شده در این مقاله می‌باشد. نکته قابل توجه این است که میزان بیشینه خطاها برای معادله مرجع [۸]، حتی از معادله اسمیت-واتسون-تاپر هم بیشتر است.

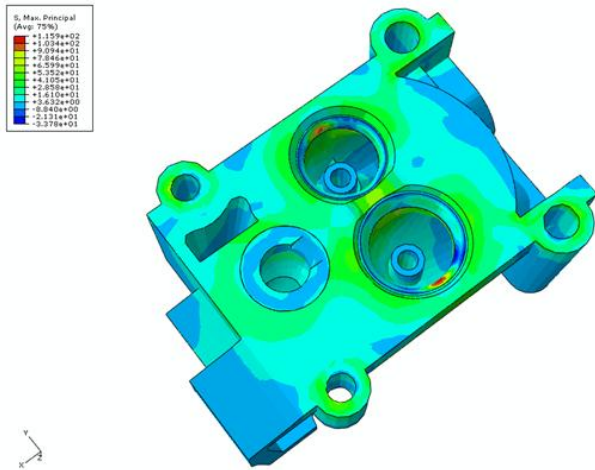
استفاده از یک ضریب تصحیح برای تنش میانگین، می‌تواند دقت الگوی انرژی کرنش مومسان را افزایش دهد. همچنین، در الگوهای ارائه شده، خطای تخمین عمر خستگی کم بسامد همبسته منیزیم، نسبت به الگوی انرژی کرنش مومسان، به نصف کاهش یافته است.



شکل ۸: توزیع دمای بستار در مرحله دوم بارگذاری



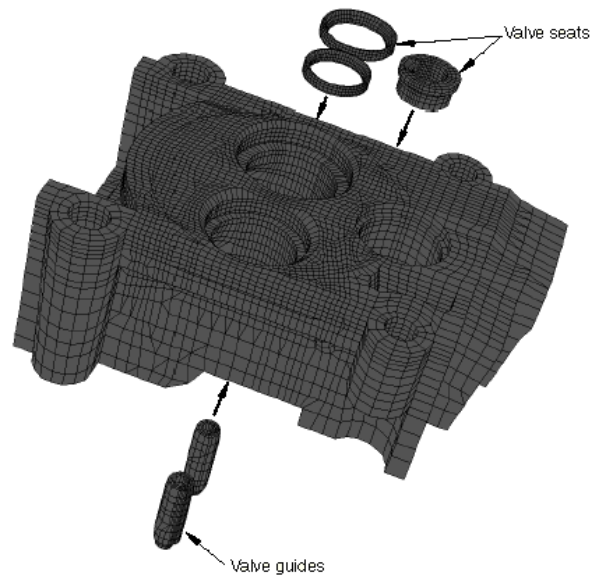
شکل ۹: توزیع تنش اصلی بیشینه در مرحله سوم بارگذاری



شکل ۱۰: توزیع کرنش اصلی بیشینه در مرحله سوم بارگذاری

بارگذاری بستار منیزیمی شامل ۳ مرحله است. مرحله اول، اعمال نیروهای مکانیکی پیچ‌ها و نشیمنگاه‌های دریچه می‌باشد. در مرحله دوم نیز، بارهای حرارتی (افزایش دما از دمای محیط تا دمای کارکرد و سپس کاهش مجدد دما تا دمای محیط) و مرحله آخر، نیروی مکانیکی ناشی از فشار احتراق اعمال شده است.

نتایج راجع به توزیع دما، تنش اصلی بیشینه و کرنش اصلی بیشینه در شکل‌های ۸، ۹ و ۱۰ آمده است. بر اساس شکل‌های فوق، تنش اصلی بیشینه در فاصله بین دریچه‌ها و زیر پیچ‌های بستار، بیشینه می‌شود اما کرنش اصلی بیشینه، روی نشیمنگاه‌های دریچه، بیشینه است. با توجه به اینکه معیارهای مختلف (تنش یا کرنش)، نقاط بحرانی مختلفی را نشان می‌دهند، لذا بهتر است که از روش انرژی استفاده نمود. مقدار انرژی هدر رفته در بستار از ضرب تنش و کرنش اصلی بیشینه بستار محاسبه شده است. سپس، با استفاده از معادله اول ارائه شده در مقاله، شکل مرزبندی شده عمر خستگی کم بسامد بستار محاسبه گردیده است (شکل‌های ۱۱ و ۱۲). لذا بر اساس روش انرژی، بحرانی‌ترین نقطه شامل فاصله بین دریچه‌هاست که به واقعیت نزدیک‌تر است و معمولاً بستار از این ناحیه دچار آسیب و ترک خوردگی می‌شوند. معمولاً بیشترین دمای کارکرد بستار نیز، در همین محل رخ می‌دهد (شکل ۸).

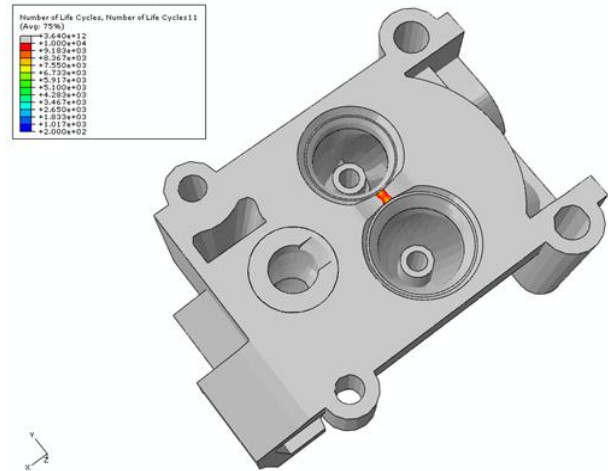


شکل ۷: نمایی از بستار شبکه‌بندی شده و قطعات وابسته به آن

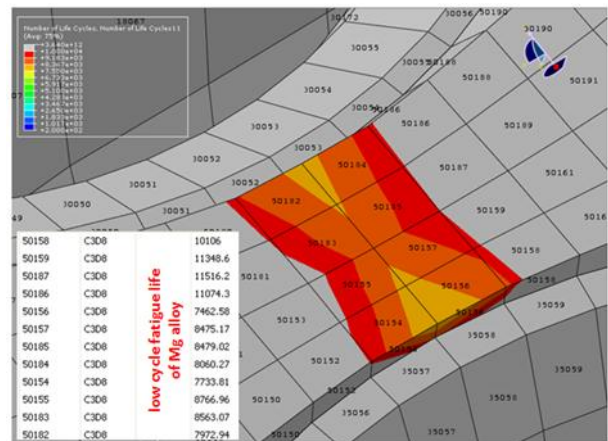
کم بسامد همبسته منیزیم، نسبت به الگوی انرژی کرنش مومسان، به نصف کاهش یافته است. تحلیل عمر خستگی کم بسامد بستار موتور دیزل، ساخته شده از همبسته منیزیم و بر اساس روش انرژی نشان می‌دهد که نقطه بحرانی بدست آمده از این روش، به واقعیت نزدیک است. الگوی تخمین عمری که در این پژوهش ارائه شده است، برای سایر قطعات موتوری که تحت بارگذاری خستگی کم بسامدند (همچون بدنه موتور) نیز، می‌تواند کاربرد داشته باشد.

References

- [1] A. Tharumarajah, P. Koltun, Is there an environmental advantage of using magnesium components for light-weighting cars?, Journal of Cleaner Production, Vol. 15, pp. 1007-1013, 2007
- [2] H.M. Park, Magnesium alloy engine block, United States Patent Application Publication, No. US 2010/0050977-A1, 2010
- [3] G. Eisenmeier, B. Holzwarth, H.W. Hoepfel, H. Mughrabi, Cyclic deformation and fatigue behaviour of the magnesium alloy AZ91, Materials Science and Engineering, Vol. A319-321, pp. 578-582, 2001
- [4] S. Hasegawa, Y. Tsuchida, H. Yano, M. Matsui, Evaluation of low cycle fatigue life in AZ31 magnesium alloy, International Journal of Fatigue, Vol. 29, pp. 1839-1845, 2007
- [5] S.H. Park, S.G. Hong, B.H. Lee, W. Bang, C.S. Lee, Low-cycle fatigue characteristics of rolled Mg-3Al-1Zn alloy, International Journal of Fatigue, Vol. 32, pp. 1835-1842, 2010
- [6] Q. Li, Q. Yu, J. Zhang, Y. Jiang, Effect of strain amplitude on tension-compression fatigue behavior of extruded Mg6Al1Zn magnesium alloy, Scripta Materialia, Vol. 62, pp. 778-781, 2010
- [7] Q. Li, Q. Yu, J. Zhang, Y. Jiang, Multiaxial fatigue of extruded AZ61A magnesium alloy, International Journal of Fatigue, Vol. 33, pp. 437-447, 2011
- [8] T. Gocmez, A. Awarke, S. Pischinger, A new low cycle fatigue criterion for isothermal and out-of-phase thermo-mechanical loading, International Journal of Fatigue, Vol. 32, pp. 769-779, 2010
- [9] S. Trampert, T. Gocmez, S. Pischinger, Thermo-mechanical fatigue life prediction of cylinder heads in combustion engines, Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, Vol. 130, pp. 1-10, 2008
- [10] R. Minichmayr, M. Riedler, G. Winter, H. Leitner, W. Eichlseder, Thermo-mechanical fatigue life assessment of aluminium components using the damage rate model of Sehitoglu, International Journal of Fatigue, Vol. 30, pp. 298-304, 2008



شکل ۱۱: نحوه توزیع عمر خستگی کم بسامد بستار



شکل ۱۲: نحوه توزیع عمر خستگی کم بسامد بستار با بزرگنمایی بیشتر

۸ نتیجه گیری

در این مقاله، بر اساس نتایج آزمون خستگی کم بسامد، یک معادله جدید پیش‌بینی عمر برای همبسته منیزیم (AZ61A)، ارائه شده است. این معادله بر اساس روش انرژی است و در مقایسه با دیگر نظریه‌های متداول همچون معادله اسمیت-واتسون-تاپر، دارای دقت مناسب‌تری می‌باشد. در روش انرژی از معادله عمر و ضرب همزمان عدد تنش و کرنش مومسان (معادل با انرژی کرنش مومسان)، استفاده می‌شود. در معادله جدید ارائه شده، اثر تنش میانگین، به شکل یک ضریب تصحیح شامل معادله‌ای از ضریب ثابت مادی، تنش میانگین و استحکام نهایی ماده، در پیش‌بینی عمر خستگی کم بسامد اعمال شده است. نتایج معادله جدید نشان می‌دهد که عمر، در مقایسه با روش انرژی (بدون ضریب تصحیح تنش)، دقت بهتری دارد و با نتایج تجربی حاصل از آزمون‌های خستگی کم بسامد، دارای تطابق خوبی می‌باشد. لذا استفاده از یک ضریب تصحیح برای تنش میانگین، می‌تواند دقت الگوی انرژی کرنش مومسان را افزایش دهد. همچنین، در الگوهای ارائه شده، خطای تخمین عمر خستگی



The Journal of Engine Research

Journal Homepage: www.engineersearch.ir



Low cycle fatigue analysis of magnesium alloy cylinder head based on plastic strain energy approach

M. Azadi^{1*}, G.H. Farrahi², F. Zahedi³

¹Sharif University of Technology and Irankhodro Powertrain Company (IPCO), Tehran, Iran, m_azadi@ip-co.com

²School of Mechanical Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran, farrahi@sharif.edu

³Department of Mechanical Engineering, The University of Texas at Arlington, Arlington, USA, farshad.zahedi@mavs.uta.edu

*Corresponding Author, Phone Number: +98-910-2107280

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 23 February 2013

Accepted: 20 April 2013

Keywords:

Low cycle fatigue
Fatigue lifetime prediction
Magnesium alloy
Energy approach
Cylinder head

ABSTRACT

In the present paper, a new low cycle fatigue lifetime prediction model for magnesium alloy is presented and low cycle fatigue experimental results of magnesium specimens were used to achieve this target. In such this case, an energy approach was applied to consider both stress and strain effects. This model had less material constants in comparison to other classical theories and had higher accuracy, since in the energy method, a plastic energy-lifetime relation was used, in which the plastic strain energy was equal to a multiple of plastic strain and stress numbers. In addition, the effect of the mean stress was considered in the fatigue lifetime prediction model by using a correction factor. Results of mentioned model demonstrated a proper agreement to experiments. At last, an applicable example was presented including a low cycle fatigue analysis of a diesel engine cylinder head, made of magnesium alloy, by using presented lifetime prediction model.

© Iranian Society of Engine (ISE), all rights reserved.