



سلامت سنجی و بررسی عملکرد تسمه متعلقات موتور احتراق داخلی در شرایط بحرانی

سید محمد جعفری^{۱*}، محمد کاظمی^۲، مصطفی مرزبان^۳، سید اشکان موسویان^۴

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

^۲شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو (ایپکو)، تهران، ایران، m_kazemi@ip-co.com

^۳شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو (ایپکو)، تهران، ایران، m_marzban@ip-co.com

^۴دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، a.moosavian@alumni.ut.ac.ir

^۵نویسنده مسئول، شماره تماس: ۰۲۱-۴۴۵۳۰۸۸۲

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۰۷ اسفند ۱۳۹۱

پذیرش: ۰۲ اردیبهشت ۱۳۹۲

کلیدواژه‌ها:

متعلقات

تسمه متعلقات

نوسانات تسمه

سرعت‌های بحرانی

موتور احتراق داخلی

عملکرد برخی از تجهیزات خودرو مانند انواع روشنایی‌ها، سامانه تهویه مطبوع و برق مصرفی خودرو به عملکرد سامانه متعلقات موتور بویژه به عملکرد تسمه وابسته است. در این مقاله عملکرد این قسمت از موتور هنگام آزمون شتابدار و طولانی مدت بررسی می‌شود. در این آزمون عملی، ابتدا سرعت‌های بحرانی موتور در شرایط مختلف کارکرد موتور و متعلقات به دست می‌آید. سرعت‌های بحرانی، به سرعت‌هایی گفته می‌شود که تسمه بیشترین نوسان را دارد. مطابق با سرعت‌های بحرانی، آزمون با چرخه مشخص راه‌اندازی می‌شود. در هنگام آزمون متغیرهای مختلف اندازه‌گیری می‌شود. این اندازه‌گیری‌ها شامل ویژگی‌های تسمه مانند طول، جرم و سختی آن و متغیرهای حاصل از عملکرد تسمه مانند جریان مولد برق و فشار تنجار خنک کن می‌باشند. همچنین مقدار لغزش تسمه، به وسیله مقایسه سرعت دورانی چرخ تسمه‌ها در دو حالت نظری و واقعی انجام می‌شود. نتایج نشان می‌دهند که طول، مقدار نوسان و سختی تسمه به طور همزمان روی یکدیگر اثر متقابل دارند و افزایش هر یک، موجب افزایش دیگری می‌شود. در مورد عملکرد متعلقات نیز مشخص شد فشار تنجار بشدت به افزایش طول تسمه، وابسته است به طوری که با افزایش آن، فشار تنجار بشدت کاهش می‌یابد. در مقابل، جریان مولد برق وابستگی کمتری به افزایش طول تسمه دارد و عملکرد یکنواخت و پایداری در هنگام آزمون دارد.

تمامی حقوق برای انجمن علمی موتور ایران محفوظ است.

۱) مقدمه

دینگ^{۱۱} و همکاران در سال ۲۰۱۳ [۱۲] برای بهبود سروصدا در سامانه تسمه متعلقات یک موتور بنزینی سعی کردند تا با استفاده از هرزگرد یکطرفه^{۱۲} و تغییر چیدمان قطعات، سروصدای سامانه متعلقات را به کمترین مقدار برسانند.

بر اساس تحقیق نویسندگان، مطالعه تغییر ویژگی‌های تسمه و سلامت آن در آزمونی طولانی مدت، تحقیقی جدید است. لذا در این مقاله، در پژوهشی نو، عملکرد تسمه متعلقات موتوری بنزینی و چهار استوانه در آزمونی سخت‌گیرانه طولانی مدت، مطالعه می‌شود.

۲) روش آزمون

برای دستیابی به آزمون شتابدار، یک چرخه زمانبندی شده که در آن ارتعاشات تسمه بیشترین دامنه خود را دارد، طراحی می‌شود. در آغاز این آزمون، شرایط بیشینه دمای مجاز برای تسمه تنظیم می‌شود تا تسمه در مرز دمای مجاز خود کار کند. سپس در چهار آزمون مختلف بارگذاری موتور و متعلقات، سرعت‌های بحرانی تسمه به دست می‌آید. منظور از سرعت‌های بحرانی، سرعت دورانی موتور در شرایطی است که تسمه بیشترین نوسان را دارد. بر اساس سرعت‌های بحرانی چرخه‌ای به مدت یک ساعت، طوری طراحی می‌شود که در آن تمام سرعت‌های بحرانی چندین بار طی شوند. چرخه مذکور در این آزمون، طبق استاندارد [۱۳] ۳۵۰ بار (ساعت) تکرار شد. در هنگام آن در زمان‌های مشخص، ویژگی‌های مختلف تسمه و متعلقات آن اندازه‌گیری می‌شود. این ویژگی‌ها عبارتند از:

- جابه‌جایی تسمه در نقطه مرجع (که بیشترین طول را دارد).
- کشش پایدار، جرم، طول و سختی تسمه
- زاویه قرارگیری تسمه سفت کن در هنگام آزمون
- فشار تولید شده به توسط تنجار خنک کن
- جریان برق تولید شده به توسط مولد برق
- عدم همسانگردی چرخ تسمه‌های تنجار خنک کن و مولد برق در ادامه جزئیات آزمون و شرایط اندازه‌گیری‌ها ارائه می‌شود.

۳) سرعت‌های بحرانی

در این قسمت ابتدا نقشه تسمه متعلقات موتور ارائه و سپس روش یافتن سرعت‌های بحرانی شرح داده می‌شود.

۳-۱) نقشه متعلقات

سامانه متعلقات موتور شامل: تسمه، تسمه سفت‌کن، مستهلک‌کننده پیچشی، مولد برق، تنجار خنک کن و تلمبه روغن هیدرولیک است [۲]. شکل ۱ محل قرارگیری هر یک از آن اجزاء را نشان می‌دهد.

تسمه متعلقات عامل واسط برای انتقال انرژی از میل‌لنگ به تجهیزات جانبی مانند مولد برق، تنجار خنک کن، تلمبه آب و تلمبه روغن فرمان است [۱]. در موتورها برای نگهداری کشش تسمه در وضعیت مطلوب و یکنواخت از یک تسمه سفت‌کن خودکار استفاده می‌شود. هرزگردها نیز برای تغییر جهت تسمه به کار می‌روند. در طول عمر تسمه، تغییر ویژگی‌های تسمه موجب کاهش کارایی و بازده تجهیزات جانبی می‌شود. این تغییرات به عوامل مختلفی مانند رفتار دینامیکی هر یک از مصرف‌کننده‌ها، جنس خود تسمه و مقدار سایش آن، شرایط محیطی کارکرد تسمه وابسته است.

امروزه در خودروها، سامانه‌های مختلف در طراحی چیدمان متعلقات به کار می‌روند. عموماً این سامانه‌ها شامل اجزایی چون: تسمه، تسمه سفت‌کن، مستهلک‌کننده پیچشی، مولد برق، تنجار خنک کن، تلمبه آب و تلمبه روغن فرمان اند [۲].

فوجی^۱ در سال ۲۰۰۲ به تحلیل نوسانات عمودی تسمه متعلقات پرداخت [۳]. او بیان کرد بیشترین عوامل مؤثر بر عمر و عملکرد تسمه، دما و ارتعاشات تسمه می‌باشند. م^۲ در مطالعه‌ای از یک الگوی تحلیلی برای بررسی حرکت خطی تسمه استفاده کرد [۴].

هاوانگ^۳ در سال ۱۹۹۱ از نظریه‌های راجع به حرکت محوری تیر به صورت یک قطعه در سرعت‌های کند استفاده کرد که می‌تواند برای شبیه‌سازی حرکت تسمه بکار رود [۵]. در سال ۲۰۰۱، واسفی^۴ به توسعه دینامیک اجزاء محدود و مطالعه آن بر روی سامانه محرک تسمه با دو چرخ تسمه پرداخت [۶]. زانگ^۵ در سال ۱۹۹۹، از یک الگوی خطی دارای استهلاک برای شبیه‌سازی تسمه استفاده کرد [۷]. پارکر^۶ در سال ۲۰۰۳ الگوی سه بعدی آن را برای چندین چرخ تسمه توسعه داد [۸]. در سال ۲۰۰۵، همیلتون^۷ یک سامانه محرک تسمه را با نرم افزار والدین^۸ شبیه‌سازی کرد [۹]. الگوی او برای یک موتور دیزل خورجینی ۶ استوانه بود. ذاکری در سال ۲۰۰۸، رفتار دینامیکی تسمه متعلقات موتور را با نرم افزار ادامز^۹ شبیه‌سازی کرد و نتایج خود را با نتایج آزمون تجربی مقایسه نمود [۱۰].

سازوکار تولید سروصدا در سامانه متعلقات موتور به توسط ساکاگوچی^{۱۰} در سال ۲۰۰۹ مطالعه شد. نتایج نشان دادند که بیشترین سروصدای متعلقات راجع به نوسان تسمه است که خود تحت تأثیر دور موتور و نوسان آن است [۱۱].

¹ Fujii

² Mote

³ Hwang

⁴ Wasfy

⁵ Zhang

⁶ Parker

⁷ Hamilton

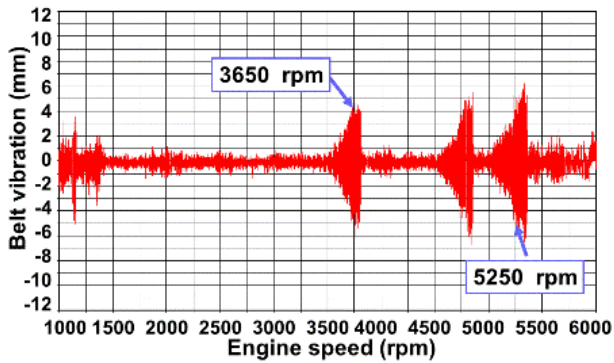
⁸ VALDYN

⁹ ADAMS

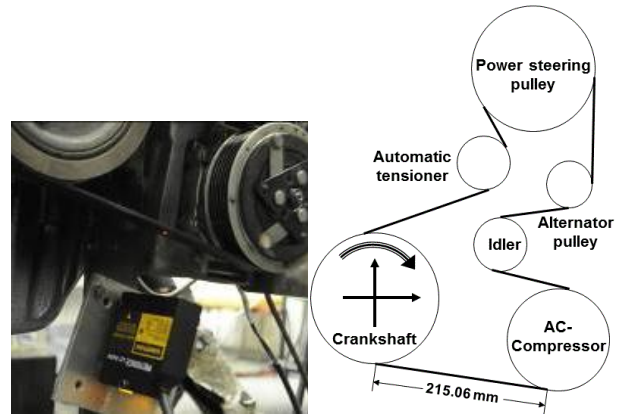
¹⁰ Sakaguchi

¹¹ Ding

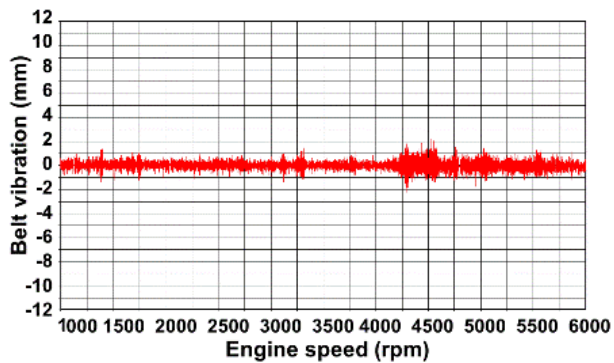
¹² OAD



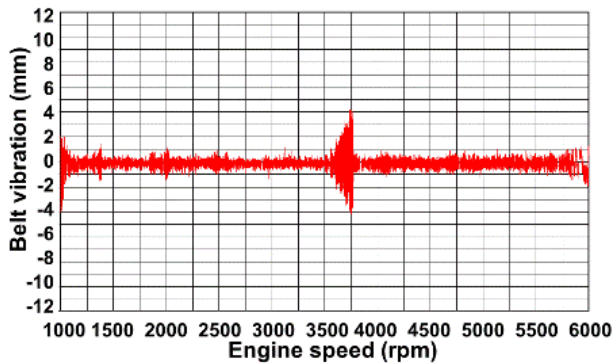
شکل ۳: نوسان تسمه (موتور تمام بار- متعلقات بی بار)



شکل ۱: نقشه تسمه متعلقات موتور



شکل ۴: نوسان تسمه (موتور بی بار- متعلقات تمام بار)



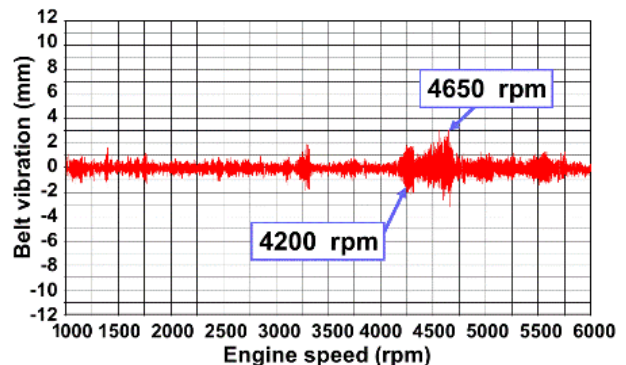
شکل ۵: نوسان تسمه (موتور بی بار- متعلقات بی بار)

۲-۳) روش یافتن سرعت‌های بحرانی

برای استخراج سرعت‌های بحرانی، موتور در آزمون عملکرد از سرعت ۱۰۰۰ تا ۶۰۰۰ دور بر دقیقه (د.د.د)، در این حالت‌ها راه‌اندازی شد:

- موتور تمام بار- متعلقات تمام بار
- موتور تمام بار- متعلقات بی بار
- موتور بی بار- متعلقات تمام بار
- موتور بی بار- متعلقات بی بار

در هر حالت به توسط لیزر^۱ (شکل ۱)، نوسانات قسمتی از تسمه که بین چرخ تسمه میل‌لنگ و تنجرار خنک کن قرار دارد، اندازه‌گیری می‌شود. ویژگی این قسمت این است که بیشترین طول آزاد بین چرخ تسمه‌ها را در کل سامانه متعلقات تسمه دارد. شکل‌های ۲-۵-جابه‌جایی عمودی تسمه را در سرعت‌های مختلف نشان می‌دهند. با توجه به شکل‌های ۲-۵، سرعت‌های بحرانی مطابق جدول ۱ انتخاب شدند و موتور در مدت زمان ۱۵ دقیقه، در هر یک از این سرعت‌ها راه‌اندازی می‌شود. در هر سرعت بحرانی، سرعت بین ۱۰۰ د.د.د. زیاد و کم می‌شود تا تسمه، محدوده بیشتری از نوسانات را تجربه کند. شکل ۶ چرخه یک ساعته طراحی شده را نشان می‌دهد.

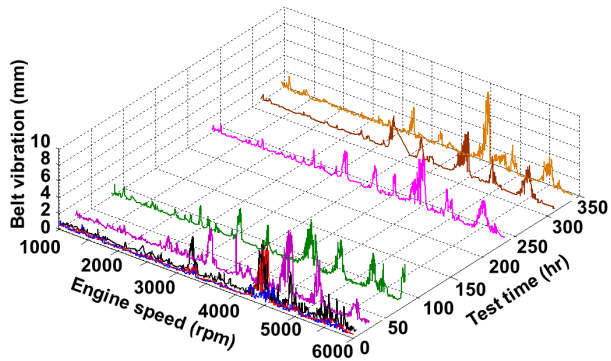


شکل ۲: نوسان تسمه (موتور تمام بار- متعلقات تمام بار)

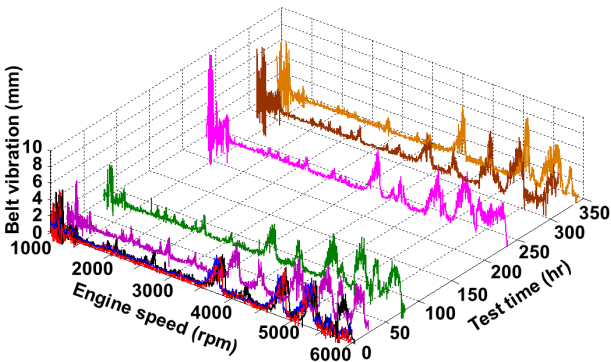
جدول ۱: سرعت‌های بحرانی

ردیف	سرعت (د.د.د)	موتور	متعلقات
۱	۳۶۵۰	تمام بار	بی بار
۲	۴۲۰۰	تمام بار	تمام بار
۳	۴۶۵۰	تمام بار	تمام بار
۴	۵۲۵۰	تمام بار	بی بار

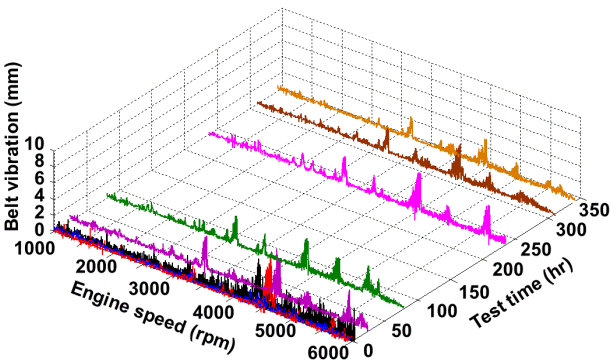
^۱ Laser device



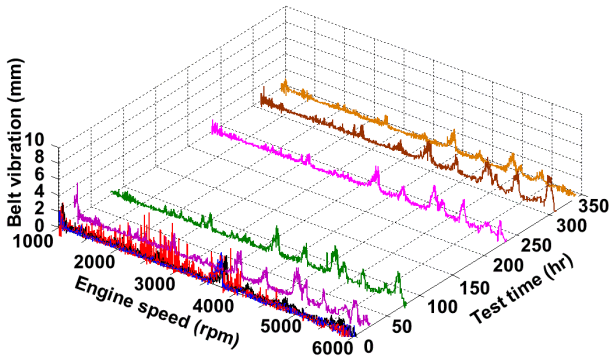
شکل ۷: جابه‌جایی تسمه (موتور تمام بار - متعلقات روشن)



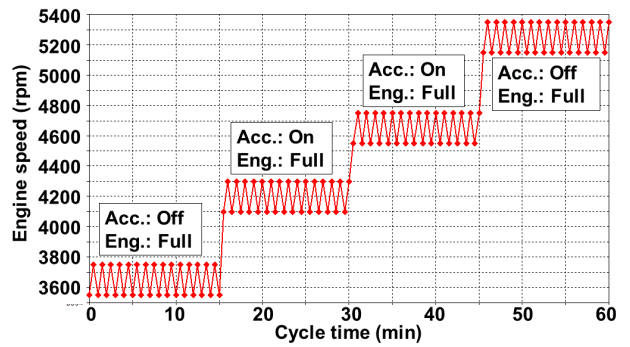
شکل ۸: جابه‌جایی تسمه (موتور تمام بار - متعلقات بی بار)



شکل ۹: جابه‌جایی تسمه (موتور بی بار - متعلقات روشن)



شکل ۱۰: جابه‌جایی تسمه (موتور بی بار - متعلقات بی بار)



شکل ۶: یک ساعت چرخه در سرعت‌های بحرانی تسمه

۴) تجهیزات آزمون و اندازه‌گیری‌ها

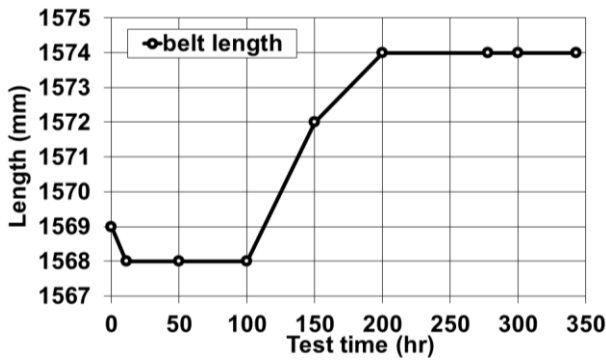
در این قسمت تجهیزات آزمون و موارد اندازه‌گیری شده در هنگام آزمون، برای تسمه و متعلقات، معرفی می‌شوند.

۴-۱) تجهیزات آزمون

- لیزر برای اندازه‌گیری جابه‌جایی عمودی تسمه
- تجهیزات مهار دما برای افزایش و پایش دمای تسمه
- دستگاه اندازه‌گیری کشش پایدار تسمه
- ترازوی دقیق برای اندازه‌گیری جرم تسمه
- دستگاه اندازه‌گیری طول تسمه
- دستگاه اندازه‌گیری سختی تسمه
- دستگاه خوانش جریان برق برای خوانش جریان مولد برق
- فشارسنج برای خوانش فشار تنجار خنک کن
- دورسنج برای خوانش سرعت دورانی چرخ تسمه‌ها

۴-۲) موارد اندازه‌گیری شده در هنگام آزمون

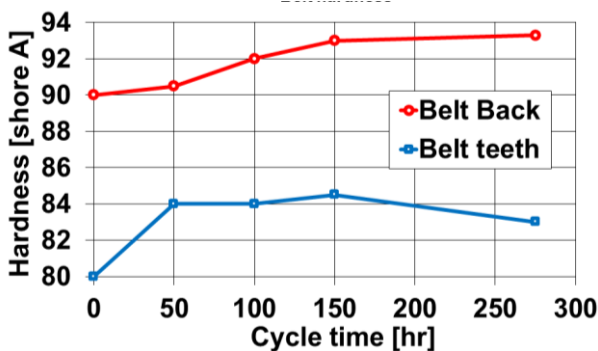
مهمترین متغیر پایش شده در هنگام آزمون "جابه‌جایی عمودی تسمه در محل بین چرخ تسمه میل‌لنگ و تنجار خنک کن" است و مقدار آن طبق استاندارد [۱۳]، نباید بیشتر از ۵ درصد طول آزاد بین دو چرخ تسمه شود. در این آزمون طول تسمه بین چرخ تسمه میل‌لنگ و چرخ تسمه تنجار خنک کن برابر ۲۱۵ میلی‌متر است. لذا محدوده مجاز نوسانات تسمه برابر ۱۰٫۷۵ میلی‌متر است. شکل‌های ۷-۱۰ نوسانات اندازه‌گیری جابه‌جایی عمودی تسمه در محل بین چرخ تسمه میل‌لنگ و تنجار خنک کن را در هنگام آزمون، مطابق با رویه توضیح داده شده در قسمت ۲-۲ نشان می‌دهد. زمان‌های اندازه‌گیری در شکل‌های ۷-۱۰ برابرند با ساعت‌های ۰، ۱، ۵، ۲۵، ۸۱، ۲۳۷، ۳۱۲ و ۳۴۳ آزمون.



شکل ۱۳: طول تسمه در هنگام آزمون

۴-۲-۴) سختی دندانها و سختی پشت تسمه

افزایش دمای تسمه در اثر حرارت محیط و بخصوص در اثر اصطکاک حین لغزش تسمه روی چرخ تسمه‌ها موجب سوخته شدن ملایم سطح تسمه می‌شود و سختی آن افزایش می‌یابد. شکل ۱۴ تغییرات سختی تسمه را بر حسب شور الف^۱، در مدت کارکرد آن نشان می‌دهد.



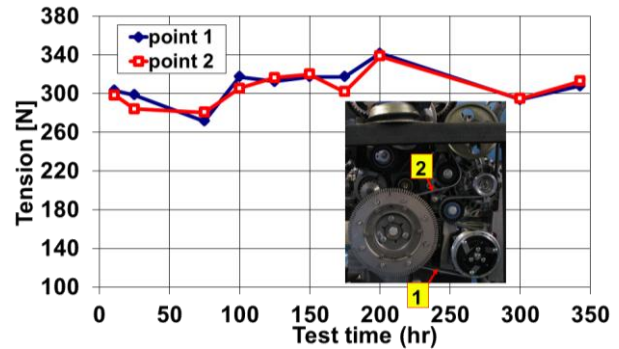
شکل ۱۴: سختی دندانها و پشت تسمه در هنگام آزمون

۴-۲-۵) موقعیت تسمه سفت‌کن

تسمه‌سفت‌کن با تغییر طول تسمه و مقدار نوسانات تسمه، به صورت خودکار در محل مناسب قرار می‌گیرد. زاویه تسمه سفت‌کن نماینده‌ای از تغییر طول تسمه در هنگام آزمون است. علاوه بر این، محل تسمه سفت‌کن نشان‌دهنده کیفیت عملکرد آن در مهار تسمه می‌باشد. هرچه تسمه محکمتر و دارای کشش بیشتری باشد، تسمه‌سفت‌کن در محل بالاتری قرار می‌گیرد و بالعکس. چنانچه تسمه‌سفت‌کن عملکرد مناسبی نداشته باشد، نوسانات تسمه زیاد می‌شود و مستقیماً روی عملکرد تسمه اثر می‌گذارد. شکل ۱۵ (الف) محل قرارگیری شاخص و نحوه خواندن تغییرات زاویه‌ای تسمه‌سفت‌کن را نشان می‌دهد. شکل ۱۵ (ب) مقدار تغییرات زاویه‌ای تسمه‌سفت‌کن را در هنگام آزمون نشان می‌دهد.

۴-۲-۱) کشش پایدار تسمه در دو محل

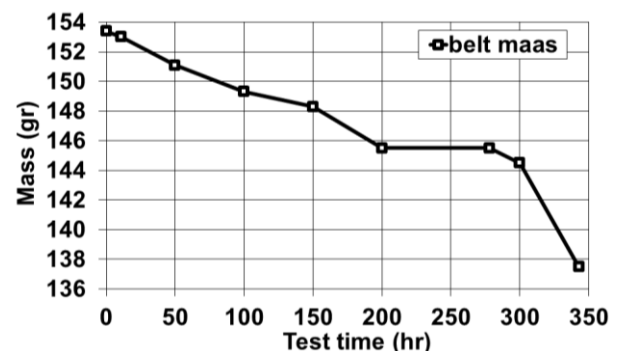
بین چرخ تسمه میل‌لنگ و تنجار (شماره ۱)، بین چرخ تسمه میل‌لنگ و تسمه سفت‌کن (شماره ۲). چون بین تسمه و چرخ تسمه‌ها اصطکاک وجود دارد کشش در دو طرف چرخ تسمه یکسان نیست. شکل ۱۱ نتایج اندازه‌گیری کشش تسمه را در دو محل فوق نشان می‌دهد.



شکل ۱۱: کشش پایدار تسمه در دو محل

۴-۲-۲) جرم تسمه

در هنگام آزمون، جرم تسمه اندازه‌گیری می‌شود. جرم تسمه نشان‌دهنده مقدار سایش تسمه در اثر لغزش آن روی چرخ تسمه‌ها است. مشخص است که هرچه مقدار سایش تسمه کمتر باشد، لغزش کمتری روی تسمه رخ داده است. شکل ۱۲ تغییرات جرم تسمه را در هنگام آزمون نشان می‌دهد. جرم تسمه با ترازوی دقیق و با دقت ۰٫۱ گرم اندازه‌گیری می‌شود.

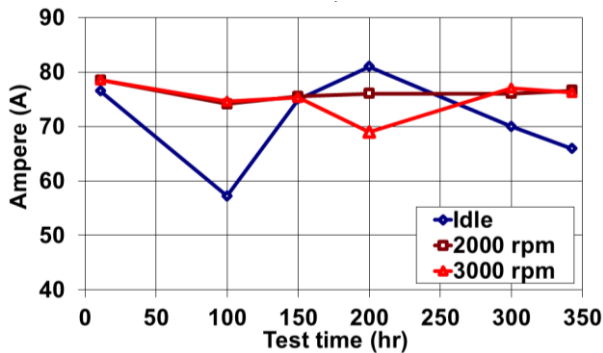


شکل ۱۲: جرم تسمه در هنگام آزمون

۴-۲-۳) طول تسمه

طول تسمه نیز در هنگام آزمون اندازه‌گیری می‌شود. طول تسمه در اثر حرارت و نیروهای طولی، افزایش می‌یابد و موجب شل شدن و افزایش نوسانات تسمه می‌شود. شکل ۱۳ تغییرات طول تسمه را در هنگام آزمون نشان می‌دهد. دقت اندازه‌گیری طول تسمه ۱ میلی‌متر است.

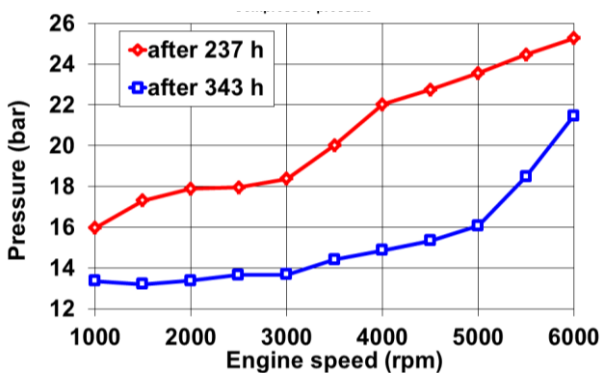
¹ Shore A



شکل ۱۶: جریان مولد برق در دوره‌های مختلف در هنگام آزمون

۴-۲-۷) فشار تنجار خنک‌کن

یکی دیگر از قطعات سامانه متعلقات موتور، تنجار خنک‌کن است که کیفیت خنک کردن فضای داخل خودرو به آن وابسته است. برای بررسی اثر تغییر ویژگی‌های تسمه، روی خنک‌کن خودرو، فشار تنجار در دو ساعت مختلف از آزمون اندازه‌گیری شد. شکل ۱۷ تغییرات فشار تنجار را در هنگام آزمون نشان می‌دهد. سه نتیجه از شکل ۱۷ حاصل می‌شود: نخست اینکه با افزایش طول تسمه از ساعت ۲۳۷ تا ۳۴۳، فشار تنجار بشدت تحت تأثیر قرار گرفته و کاسته شده است. دومین نتیجه گیری راجع به روند صعودی نمودارها است. مشاهده می‌شود در هر دو ساعت ۲۳۷ و ۳۴۳ با افزایش دور موتور، فشار تولید شده نیز افزایش یافته است. نهایتاً نتیجه سوم راجع به دامنه حداکثر و حداقل فشار در نمودارها است. در ساعت ۲۳۷ فشار تنجار از ۱۶ به ۲۵ رسیده است یعنی ۹ بار افزایش فشار از دور ۱۰۰۰ د.د.د. تا ۶۰۰۰ د.د.د. وجود داشته است. اما در ساعت ۳۴۳ (که طول تسمه ۹ میلیمتر افزایش داشته است)، فشار تنجار از ۱۳ به ۲۱ رسیده است. یعنی هم مقدار فشارها و هم اختلاف فشار (۸ بار) کمتر شده است.



شکل ۱۷: فشار تنجار خنک‌کن بر حسب تغییر سرعت

۴-۲-۸) عدم همسانگردی چرخ تسمه‌های تنجار

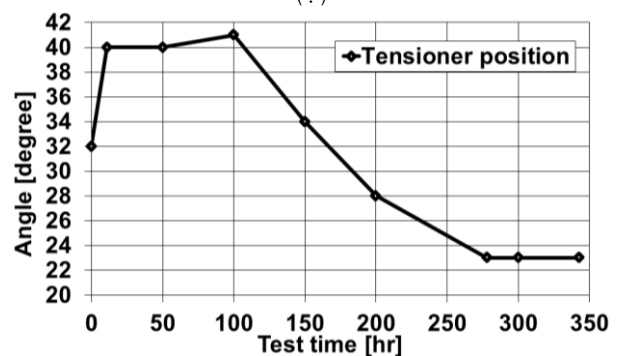
خنک‌کن و مولد برق

عواملی چون نوسانات زیاد تسمه، افزایش طول، اصطکاک نامناسب و لختی (اینرسی) متعلقات موجب افزایش لغزش بین تسمه و چرخ

(الف)



(ب)



شکل ۱۵: موقعیت تسمه‌سفت‌کن: (الف) شاخص مدرج برای خوانش

موقعیت زاویه‌ای (ب) موقعیت زاویه‌ای تسمه‌سفت‌کن در آزمون

با توجه به شکل ۱۵ (ب)، تسمه‌سفت‌کن عملکرد مناسبی داشته و در هنگام آزمون با تغییر محل قرارگیری خود نسبت به موقعیت اولیه، توانسته است همچنان نوسانات تسمه را مهار کند.

۴-۲-۶) جریان عبوری از مولد برق

هرچه لغزش تسمه از روی چرخ تسمه‌ها بیشتر شود، عملکرد و کارایی مولد برق کمتر می‌شود. به این منظور در هنگام آزمون، مقدار جریان عبوری از مولد برق اندازه‌گیری شد. شکل ۱۶ تغییر جریان مولد برق را در ۳ سرعت مختلف نشان می‌دهد. چنانچه عملکرد تسمه و قطعات مانند تسمه سفت‌کن مناسب نباشد، در طول مدت زمان با افزایش عمر تسمه و افزایش طول آن، تسمه روی چرخ تسمه مولد برق لغزش می‌کند و نمی‌تواند جریان مناسب را تولید کند. شکل ۱۶ نشان می‌دهد از ابتدای آزمون تا انتهای آن، به جز در حالت دور آرام، عملکرد مولد برق یکنواخت بوده است. لذا تسمه در این مدت بخوبی توانسته است مولد برق را با کیفیت مناسب بگرداند و جریان مولد برق را ثابت نگه دارد. توجه شود که علت تفاوت در حالت دور آرام، عدم پایداری سرعت دورانی موتور در این دور است.

۵-۱) نوسانات تسمه بین چرخ تسمه میل‌لنگ و تنجار خنک کن

دامنه نوسانات تسمه بین چرخ تسمه میل‌لنگ و تنجار خنک کن در شکل‌های ۷-۱۰ نشان داده شدند. نتایج این قسمت نشان می‌دهد در هنگام آزمون، سرعت‌های بحرانی که در ابتدای آزمون تعیین شدند، تا انتها تقریباً ثابت مانده‌اند و سرعت‌های بحرانی علی‌رغم تغییر متغیرهای تسمه، در همان محدوده ۱۰۰ د.د.د. حول هر سرعت بحرانی حفظ شده است. دلیل این موضوع وابسته بودن سرعت‌های بحرانی به بسامدهای طبیعی سامانه است که تغییرات در حدی نبوده‌اند که بسامدهای طبیعی تغییرات چندانی داشته باشند. همچنین با افزایش طول تسمه در هنگام آزمون، نوسانات تسمه در هر سرعت بحرانی بیشتر شده است به طوری که در ابتدای آزمون نوسان تسمه حدود ۶ میلی‌متر بوده است و در انتهای آزمون نوسانات به حدود ۹ میلی‌متر رسیده است. اما همچنان در محدوده مجاز قرار دارد. محدوده مجاز برای نوسان تسمه طبق [۱۳]، ۵ درصد طول تسمه بین دو چرخ تسمه است. در این حالت با توجه به طول ۲۱۵ میلی‌متری تسمه بین چرخ تسمه میل‌لنگ و تنجار، محدوده مجاز نوسان تسمه ۱۰٫۷۵ میلی‌متر است.

۵-۲) نتایج نیروی پایدار تسمه

به طور کلی نیروی مجاز پایدار کشش تسمه را دو محدوده مجاز تعیین می‌کند. نخست اینکه این نیرو نباید چنان زیاد باشد که از حد تحمل بندهای تسمه بیشتر شود. دوم اینکه این نیرو نباید از یک حد پایین، کمتر باشد که موجب شل شدن و نوسانات زیاد تسمه می‌شود. دو احتمال برای زیاد بودن نیروی تسمه وجود دارد: زیاد بودن نامقداری اجزاء یا زیاد بودن نیروی تسمه سفت‌کن. در مقابل کم بودن نیروی تسمه نیز می‌تواند دو علت داشته باشد: افزایش زیاد طول تسمه یا کم بودن نیروی تسمه سفت‌کن. با توجه به شکل ۱۱، در این آزمون نیروی تسمه در محدوده مجاز قرار دارد لذا می‌توان تا حد زیادی از طول مناسب تسمه و عملکرد مناسب تسمه سفت‌کن مطمئن شد. برای اطمینان از این موضوع جرم و طول تسمه و موقعیت تسمه سفت‌کن نیز اندازه‌گیری شد که در ادامه توضیحات بیشتری داده می‌شود.

۵-۳) جرم تسمه

جرم تسمه در هنگام آزمون دائماً در حال کاهش بوده است که نتایج نشان می‌دهند در ابتدای آزمون، نرخ کاهش جرم کمتر از انتهای آزمون بوده است. دلیل آن نیز افزایش لغزش‌ها به دلیل افزایش طول تسمه و افزایش نوسانات می‌باشد. چون تسمه سالم بود و از نظر ظاهری آسیبی به رشته‌های آن نرسیده بود، کاهش وزن تسمه تنها در اثر سایش عادی رخ داده بود.

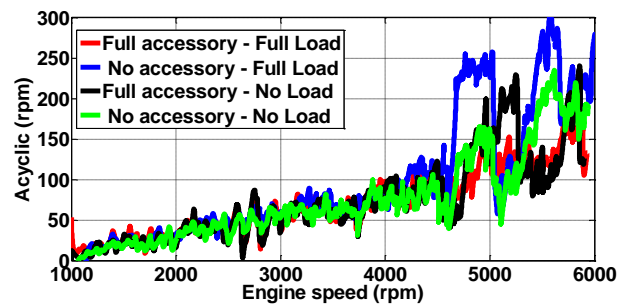
تسمه می‌شوند. اندازه‌گیری اختلاف سرعت دورانی واقعی چرخ تسمه نسبت به سرعت دورانی مطلوب آن به نام عدم همسانگردی^۱ چرخ تسمه معروف است. این متغیر نشان‌دهنده لغزش نسبی بین تسمه و چرخ تسمه است. در روابط آتی، روش محاسبه عدم همسانگردی چرخ تسمه‌ها نشان داده شده است.

$$n_d = (D_{cr}/D_{ac}) \times n_{cr} \quad (1)$$

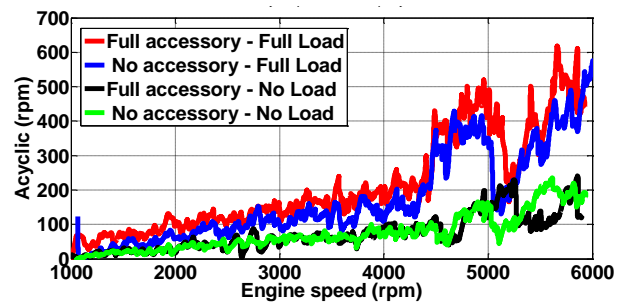
$$\Delta n = n_d \times n_a \quad (2)$$

که n_{cr} سرعت دورانی میل‌لنگ، D_{cr} قطر گامی چرخ تسمه میل‌لنگ، D_{ac} قطر گامی چرخ تسمه مولد برق/تنگار خنک‌کن، n_d سرعت دورانی مطلوب و n_a سرعت دورانی واقعی^۲ چرخ تسمه مولد برق/تنگار خنک‌کن و Δn عدم همسانگردی سرعت دورانی مطلوب و واقعی چرخ تسمه مولد برق چرخ تسمه مولد برق/تنگار خنک‌کن می‌باشند.

شکل‌های ۱۸ و ۱۹ بترتیب عدم همسانگردی چرخ تسمه مولد برق و چرخ تسمه تنجار خنک‌کن را نشان می‌دهند. این متغیر مطابق با چهار حالت توضیح داده شده در قسمت ۳-۲، اندازه‌گیری و محاسبه شد.



شکل ۱۸: عدم همسانگردی چرخ تسمه تنجار نسبت به حالت مطلوب



شکل ۱۹: عدم همسانگردی چرخ تسمه مولد برق نسبت به حالت مطلوب آن

۵) بررسی نتایج

در این قسمت با توجه به نمودارهای به دست آمده، نتایج پایش تسمه مولد برق، شرح داده می‌شود.

¹ Acyclic

² Actual

۵-۴ طول تسمه

ارائه شد، عدم همسانگردی چرخ تسمه‌ها با افزایش سرعت موتور، بیشتر می‌شود. همچنین مقایسه نتایج شکل‌های ۱۸ و ۱۹ نشان می‌دهد لغزش بیشتری روی چرخ تسمه مولد برق نسبت به چرخ تسمه تنجار اتفاق می‌افتد. دلیل آن نیز دو مورد است: تندتر بودن سرعت دورانی چرخ تسمه مولد برق نسبت به چرخ تسمه تنجار و کوچک بودن چرخ تسمه مولد برق که سطح اصطکاکی کمتری را بین تسمه و چرخ تسمه به وجود می‌آورد.

طول تسمه جزء متغیرهای بسیار مؤثر در عملکرد خود سامانه متعلقات می‌باشد. نتایج نشان می‌دهند که در طول ۱۰۰ ساعت اول آزمون طول تسمه تغییر چندانی نداشته است. بین ساعت ۱۰۰ تا ۲۰۰، طول تسمه ۶ میلی‌متر افزایش یافته است. از ساعت ۲۰۰ تا ۳۴۱ طول تسمه همچنان تغییر نداشته است.

۵-۵ سختی تسمه

افزایش سختی تسمه، در اثر افزایش دمای تسمه می‌باشد. به طور همزمان افزایش دمای تسمه نتیجه افزایش لغزش تسمه روی چرخ تسمه‌ها است. افزایش لغزش تسمه نیز متأثر از افزایش طول تسمه است. بنابر این ۴ متغیر طول تسمه، نوسانات تسمه، دمای تسمه و سختی تسمه به طور همزمان روی یکدیگر اثر متقابل دارند و افزایش هر یک موجب افزایش بقیه متغیرها می‌شود.

۵-۶ موقعیت زاویه‌ای تسمه سفت کن

چنانچه موقعیت زاویه‌ای تسمه سفت کن در شکل ۱۵ (ب) با طول تسمه در شکل ۱۳ مقایسه شود، مشخص می‌شود که موقعیت تسمه سفت کن تا حد زیادی به طول تسمه وابسته است. هرچه طول تسمه افزایش یابد، تسمه سفت کن نیز برای مهار تسمه، بیشتر باز می‌شود.

۵-۷ جریان مولد برق

مقدار جریان عبوری از مولد برق در هنگام آزمون در سه سرعت اندازه‌گیری شده است. نتایج نشان می‌دهند که علی‌رغم تغییر ویژگی‌های تسمه، جریان مولد برق تا حد ۵ آمپر^۱ در دو سرعت ۲۰۰۰ د.د.د. و ۳۰۰۰ د.د.د. تغییر داشته است. در دور آرام به دلیل نوسان سرعت دورانی خود موتور، جریان مولد برق تا ۲۴ آمپر تغییر داشته است.

۵-۸ فشار تنجار خنک کن

نتایج اندازه‌گیری فشار تنجار خنک کن نشان می‌دهد که این فشار بسیار به عملکرد تسمه وابسته بوده و با افزایش طول تسمه و افزایش لغزش تسمه روی چرخ تسمه، شدت فشار تنجار کاهش می‌یابد.

۵-۹ عدم همسانگردی چرخ تسمه‌ها

نتایج نشان می‌دهند که با افزایش سرعت موتور، لغزش بیشتری بین تسمه و چرخ تسمه‌ها رخ می‌دهد و چرخ تسمه‌ها از رسیدن به سرعت مطلوب خود، باز می‌مانند. بنابراین مطابق تعریفی که در قسمت ۳-۲

۶ نتیجه‌گیری

در این مقاله نمودارهای اندازه‌گیری نوسانات، جرم، طول، سختی، کشش تسمه، موقعیت زاویه‌ای تسمه سفت کن، جریان مولد برق، فشار تنجار و عدم همسانگردی چرخ تسمه‌ها در آزمونی طولانی مدت در سرعت‌های بحرانی ارائه شد. مهمترین متغیر پایش شده، نوسانات تسمه بود که با افزایش طول آن، بیشتر شد. در هنگام آزمون بیشترین جابه‌جایی تسمه ۹ میلی‌متر بود که در محدوده مجاز قرار داشت. همچنین عملکرد متعلقات موتور مانند مولد برق و تنجار خنک کن بررسی شد. نتایج نشان می‌دهند که فشار تنجار شدت تحت تأثیر طول تسمه است به نحوی که فشار بیشینه تولید شده به توسط تنجار خنک کن تا ۴ بار کاهش داشته است. در مقابل جریان تولید شده به توسط مولد برق زیاد وابسته به تغییر طول تسمه نیست و تقریباً از ابتدا تا انتهای آزمون یکنواخت بوده و تغییرات کمی داشته است. نتیجه‌گیری نهایی که از مقایسه ویژگی‌های تسمه در هنگام آزمون به دست می‌آید نشان می‌دهد که متغیرهای طول، نوسانات و سختی تسمه روی یکدیگر اثر متقابل دارند و افزایش هر یک موجب افزایش بقیه متغیرها می‌گردد.

تشکر و قدردانی

کلیه آزمون‌ها در شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو (ایپکو) انجام شده است. نویسندگان مراتب تشکر و قدردانی خود را از کارکنان این شرکت بویژه متخصصان آزمایشگاه مرکز تحقیقات موتور، بابت همکاری فنی و علمی ایشان اعلام می‌دارند.

References

- [1] Houben, Layout of accessory belt system, FEV report, 2004
- [2] Houben, Front end accessory drive, FEV report, 2005
- [3] A. Fujii, S. Yonemoto, K. Miyazaki, S. Furumata, K. Okuda, H. Miyazawa, Analysis of the accessory belt lateral vibration in automotive engines, JSAE Review, Vol. 23, No. 1, pp. 41-47, 2002
- [4] W.Z Wu, C.D. Mote, Parametric excitation of an axially moving band by periodic edge loading, Journal of Sound and Vibration, Vol. 110, No. 1, pp. 27-39, 1986

¹ Ampere

- [10] A. Zakeri, B. Mashhadi, Dynamical analysis and design of front engine accessory drive system, MSc. thesis, 2008
- [11] M. Sakaguchi, T. Nishio, T. Shinohara, H. Takagishi, Study of the mechanism of accessory drive belt noise, SAE International Journal of Passenger Cars- Mechanical Systems, Vol. 2, No. 1, pp. 434-439, 2009
- [12] Y. Ding, Y. Dong, H. Liu, J. Yang, Q. Gu, L. Zhang, Investigation on the vibration of the engine fead accessory driving belt, The FISITA 2012 World Automotive Congress, Lecture Notes in Electrical Engineering, Vol. 201, pp. 249-259, 2013
- [13] PSA flapping test procedure, No. DTI/DPMO/AMMT/MVAM, 2002
- [5] S.J. Hwang, N.C. Perkins, Supercritical stability of an axially moving beam, Part II: vibration and stability analyses, Journal of Sound and Vibration, Vol. 154, pp. 397-409, 1992
- [6] M.J. Leamy, T.M. Wasfy, Dynamic modeling of timing belt frictional contact using an explicit finite element formulation, SAE Transactions, Journal of Engines, pp. 605-610, 2006
- [7] L. Zhang, J.W. Zu, Modal analysis of serpentine belt drive systems, Journal of Sound and Vibration, Vol. 222, pp. 259-279, 1999
- [8] R.G. Parker, Efficient eigensolution, dynamic response, and eigensensitivity of serpentine belt drives, Journal of Sound and Vibration, Vol. 270, pp. 15-38, 2004
- [9] A. Hamilton, M. Fattah, F. Campean, A. Day, Analytical life prediction modeling of an automotive timing belt, SAE International, Paper No. 2008-01-1207, 2008



The Journal of Engine Research

Journal Homepage: www.engineersearch.ir



Health monitoring and performance investigation of accessory belt in an internal combustion engine during critical speeds

S.M. Jafari^{1*}, M. Kazemi², M. Marzban³, S.A. Moosavian⁴

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

²Irankhodro Powertrain Company (IPCO), Tehran, Iran, m_kazemi@ip-co.com

³Irankhodro Powertrain Company (IPCO), Tehran, Iran, m_marzban@ip-co.com

⁴Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, a.moosavian@alumni.ut.ac.ir

*Corresponding Author, Phone Number: +98-21-44520882

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 25 February 2013

Accepted: 22 April 2013

Keywords:

Accessories

Belt vibration

Accessory belt

Critical speeds

Internal combustion engine

ABSTRACT

In this paper, critical speeds of an engine were found with different conditions of engine working and the alternator. Critical speeds occur whenever the belt has maximum oscillations. During a test at critical speeds, several variables were measured. The variables were the belt length, the mass and the stiffness. Belt performance variables such as the cooler compressor pressure and temperature of the alternator were measured, too. To measure the amount of the belt slippage, the difference between ideal and actual pulley rotational speeds was calculated. Results showed that the pressure of the cooler compressor increased by increasing the belt length but the temperature of the alternator was not changed. Also, parameters of the belt such as its length, oscillation, temperature and hardness affected each other.

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