فصلنامهٔ علمی- پژوهشی تحقیقات موتور

تارنمای فصلنامه: www.engineresearch.ir

بررسی تاثیر دمای راه‌اندازی و پهنای تسمه بر نیروی جانبی تسمه زمانبندی

سعید جوان[۱*]، حجت نوری بنوار ناظر[۲]، محراب اسدی[۳]، پیمان طاهی[۴]

[۱] شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو، تهران، ایران، S_javan@ip-co.com

[۲] شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو، تهران، ایران، H_noori@ ip-co.com

[۳] شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو، تهران، ایران، M.asadi@ikco.ir

[۴] شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو، تهران، ایران، P_tahi@ip-co.com

[*] نویسندهٔ مسئول

چکیده

تسمه‌های زمانبندی در موتورهای درونسوز وظیفه انتقال توان از میل لنگ به میل بادامک‌ها جهت چرخش آنها و باز و بسته شدن دریچه ها در زمان مشخص را بر عهده دارند. در هنگام کارکرد موتور ارتعاشات مختلفی در تسمه ایجاد می‌شود که منجر به حرکت و ارتعاش تسمه می‌گردد. یکی از این موارد حرکت جانبی تسمه است که منجر می شود تسمه به سمت داخل یا خارج موتور حرکت کند. در اثر این حرکت تسمه به لبه برخورد کرده و ممکن است علاوه بر بروز خرابی، سبب ایجاد صدای اضافی و نارضایتی مصرف کننده گردد. عوامل مختلفی بر این حرکت تاثیر دارند از جمله دمای راه‌اندازی، میزان شیب چرخ تسمه‌ها، خاصیت ذاتی تسمه، پهنای تسمه، موقعیت تسمه سفت‌کن. در مقاله حاضر تاثیر دمای راه‌اندازی، پهنای تسمه و مشخصه گریز تسمه بر میزان نیروی جانبی تسمه در یک موتور درونسوز مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس تحلیل نتایج آزمون، کاهش دمای راه‌اندازی موتور به کمتر از ۳۰ درجه سانتیگراد تاثیر چشمگیری بر افزایش نیروی جانبی و حرکت جانبی تسمه دارد، افزایش پهنای تسمه به اندازه ۰٫۵ میلیمتر سبب کاهش قابل قبول نیروی جانبی خواهد شد. علاوه بر این، با کنترل میزان گریز تسمه می‌توان حرکت جانبی تسمه را به طور چشمگیری کنترل نمود.

اطلاعات مقاله

تاریخچهٔ مقاله:

دریافت: ۱ دی ۱۳۹۶

پذیرش: ۲ اسفند ۱۳۹۶

کلیدواژه‌ها:

تسمه زمانبندی

نیروی جانبی

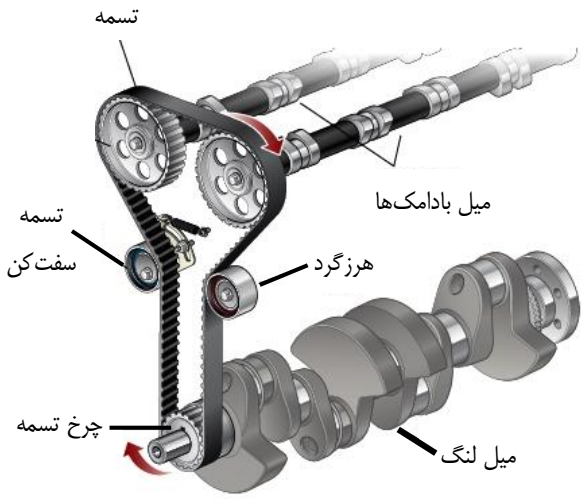
دمای راه‌اندازی

پهنای تسمه

تمامی حقوق برای انجمن علمی موتور ایران محفوظ است.

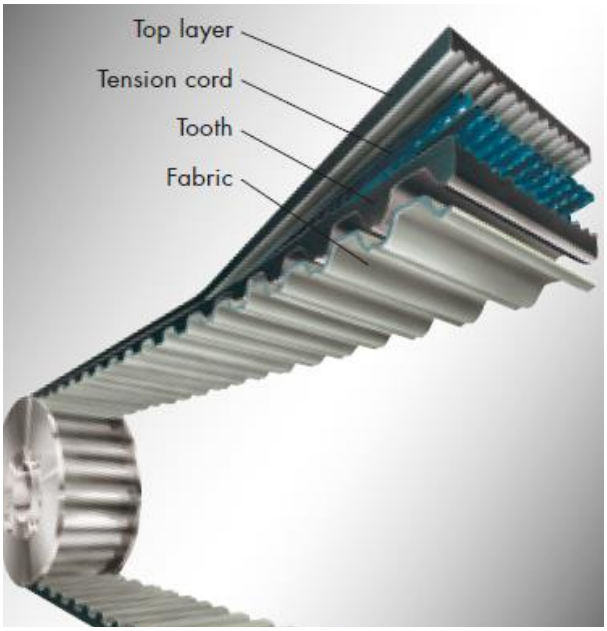
۱- مقدمه

استفاده از انواع تسمه در قسمت‌های مختلف خودروها کاربرد وسیعی دارد که یکی از مهمترین آنها استفاده از تسمه دندانه دار در سامانه زمانبندی[1] موتورهای درونسوز[2] است. امروزه به علت هزینه و استهلاک کمتر، عدم نیاز به روغنکاری و دقت مناسب در مقایسه با سایر روش های انتقال قدرت، تسمه زمانبندی یکی از محبوب ترین سامانه های انتقال قدرت در موتورهای درونسوز به شمار می‌آید[۱]. تسمه زمانبندی توان را از میل لنگ به میل بادامک‌ها انتقال می دهد تا باز و بسته شدن دریچه‌ها[3] در زمان مناسب رخ دهد. در برخی از موتورها ممکن است جهت به گردش درآوردن سامانه‌های جانبی (مانند واتر پمپ) نیز از تسمه زمانبندی استفاده شود[۲و۳]. در شکل ۱ تسمه زمانبندی و ارتباط آن با اجزای سامانه زمانبندی نشان داده شده است.



شکل ۱: ارتباط تسمه زمانبندی با سایر اجزای سامانه زمانبندی موتور [۴]

در اثر انتقال توان از میل‌لنگ به سایر مصرف کننده‌ها تسمه تحت کشش و ارتعاش قرار می‌گیرد اما علاوه بر این نیروها، تسمه در معرض شرایط محیطی مانند دما و روغن قرار دارد که منجر به خرابی آن می گردد[۵]. جهت تحمل نیروهای وارده و همچنین اثرات محیطی مخرب، تسمه زمانبندی با استفاده از مواد و اجزای مختلف در شرایط خاص تولید می‌شود. در شکل ۲ ساختار تسمه زمانبندی نشان داده شده است. لایه اول پوشش دندانه‌ها[4] است که از جنس نایلون یا تفلون برای جلوگیری از سایش دندانه‌ها ایجاد می‌شود. لایه دوم لاستیکی است که دندانه‌ها را ایجاد کرده است. این لایه دارای خاصیت ارتجاعی است و بارهای فشاری و برشی را تحمل می‌کند. همچنین بستری برای محافظت از عضوهای کششی[5] می‌باشد. عضوهای کششی بارهای کششی وارد بر تسمه را تحمل می‌کنند. در واقع انتقال توان از میل‌لنگ به سایر مصرف کننده به کمک این عضو صورت می‌گیرد. لایه خارجی[6] علاوه بر اینکه به پشت تسمه را شکل داده و سطح صاف ایجاد می‌کند، از لاستیک و عضوهای کششی در مقابل حرارت و صدمات مکانیکی محافظت می‌کند[۶ و۷].



شکل ۲: ساختار متداول تسمه زمانبندی [۷]

تسمه های زمانبندی به واسطه دندنه های خود توان را انتقال می دهند و ارتعاشات مختلفی بر آنها وارد می شود. ارتعاشاتی که به واسطه انتقال توان وارد می شوند در راستای عضوهای کششی هستند و می‌توان آنها را ارتعاشات طولی نامید. ارتعاشات عرضی در راستای عمود بر جهت حرکت ایجاد می‌شوند و در برخی دورهای موتور که سرعت زاویه‌ای چرخ تسمه‌ها و فرکانس طبیعی منطبق می‌شوند تشدید می‌شود. ارتعاشات عرضی حرکتی مانند حرکت شلاق در فضا ایجاد می کنند و سامانه هایی مانند تسمه سفت کن اتوماتیک جهت کنترل این ارتعاشات استفاده می‌شود[۵].

برخلاف تسمه‌های ذوزنقه‌ای یا تسمه های شیاردار، هنگام انتقال توان در تسمه‌های زمانبندی حرکتی در راستای محور در تسمه ایجاد می شود، در واقع تسمه بر روی چرخ تسمه حرکت جانبی می‌کند[۸]. هر چقدر که طول آزاد تسمه بین دو چرخ تسمه بیشتر باشد جابجایی جانبی تسمه افزایش پیدا می‌کند[۵و۸]. برای کنترل حرکت جانبی تسمه بر روی چرخ تسمه‌ها معمولا از فلانچ در کناره چرخ تسمه استفاده می

[1] Timing
[2] Internal combustion engine (ICE)
[3] Valve
[4] Tooth coating
[5] Tension Cords
[6] Top layer

شود. در سیستم‌های انتقال قدرت ساده معمولا این فلانچ بر روی چرخ تسمه محرک قرار می‌گیرد اما در سیستم های پیچیده ممکن است بنا به صلاحدید طراحی برای سایر چرخ تسمه‌ها نیز فلانچ در نظر گرفته شود[۵].

حرکت جانبی تسمه سبب برخورد کناره تسمه به فلانچ شده و معمولا مسیر حرکت اصلاح می گردد اما در برخی موارد ممکن است سبب ایجاد سروصدای آزار دهنده گردد. عوامل متعددی سبب حرکت جانبی می شود از جمله خاصیت ذاتی تسمه که با پارامتر گریز[1]مشخص می گردد، همراستایی[2] نامناسب پولی‌ها، همبندی[3] نادرست که منجر به افزایش نیرو در یک جهت شود و تمایل تسمه به حرکت جانبی را افزایش دهد[۹].

هر کدام از این عوامل می تواند بر روی میزان حرکت و همچنین نیرویی که به فلانچ وارد می شود موثر باشد. در مقاله حاضر، تاثیر پهنای تسمه، دمای محیط، و میزان گریز تسمه بر میزان نیروی وارد شده بر فلانچ مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- تجهیزات و روش آزمون

آزمون‌ها بر روی یک موتور چهار سیلندر تنفس طبیعی انجام شده است و جهت اندازه گیری نیروی جانبی تسمه از یک لودسل خمشی استفاده شده است. این لودسل به کمک رابط و پایه نگهدارنده به نحوی بر روی بلوکه موتور نصب گردید تا در صورت حرکت جانبی تسمه و برخورد به فلانچ نیرو اندازه‌گیری شود. خوانش داده به کمک نرم افزار و رایانه آزمون صورت گرفته است.

ابتدا آزمون‌ها بر روی یک ترکیب نمونه از موتور و سامانه زمانبندی (انتخاب تصادفی از خط تولید) انجام شد تا وضعیت حرکت تسمه و نیروی جانبی در ترکیب کنترل نشده مورد بررسی قرار گیرد و سپس سایر اندازه‌گیری‌ها با در نظر گرفتن شرایط ذیل صورت پذیرفت.

تمام اندازه‌گیری‌ها به هنگام کارکرد موتور در دور آرام[4] انجام شده است و هرکدام سه مرتبه تکرار شده است. جهت مطالعه تاثیر دما بر میزان حرکت جانبی و مقدار نیروی وارد شده بر فلانچ آزمونهایی در دماهای ۲۰ تا ۵۰ درجه سانتیگراد انجام گرفت اما در سایر موارد شروع به کار موتور در دماهای ۲۸ درجه و ۴۰ درجه سانتیگراد در فشار تهران (حدد ۸۸ کیلوپاسکال) بوده است. در هر اندازه‌گیری موتور به مدت ۳ دقیقه روشن بوده و داده‌ها با سرعت یک هرتز ذخیره شده‌اند.

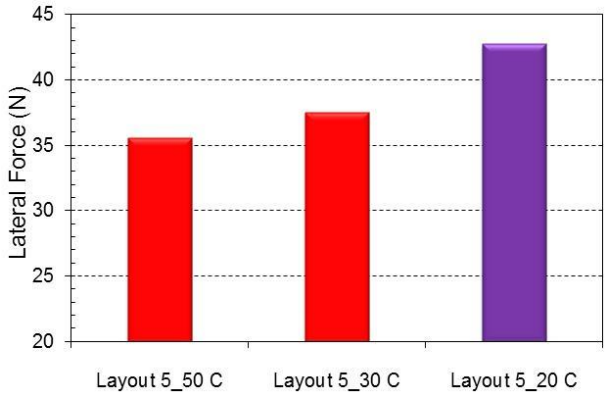
با در نظر گرفتن متغیرهای مختلف در سامانه زمانبندی، در مطالعه حاضر از دو تسمه با عرض ۲۴ و ۲۴٫۵ میلیمتر استفاده شده است و همچنین اثر گریز تسمه با کمک سه تسمه با مقادیر مختلف گریز مورد بررسی قرار گرفته است. در جدول ۱ ترکیب سامانه زمانبندی در هر آزمون ارائه شده است.

جدول ۱: ترکیب قطعات سامانه زمانبندی در آزمون‌ها

ردیف	پهنای تسمه (mm)	گریز	توضیحات
Layout 1	۲۴	۰	خنثی
Layout 2	۲۴	-۰٫۸	تمایل به حرکت به سمت داخل موتور
Layout 3	۲۴	+۰٫۶۵	تمایل به حرکت به سمت خارج موتور
Layout 4	۲۴٫۵	۰	خنثی
Layout 5	۲۴	نا مشخص	تسمه نمونه میانگین تولید

۳- بحث و بررسی نتایج

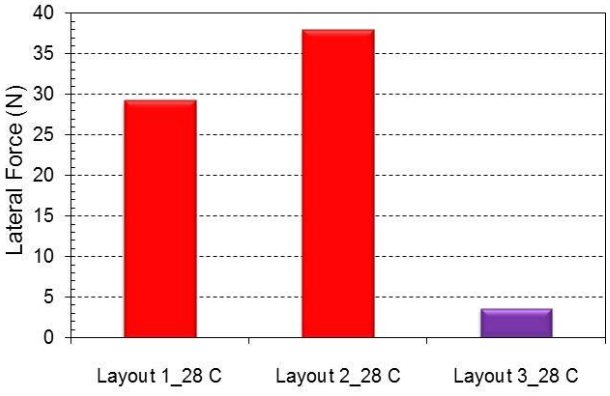
بر اساس نتایج آزمون افزایش دمای موتور در هنگام راه اندازی سبب کاهش نیروی جانبی تسمه می شود. همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است با افزایش دما از ۲۰ درجه به ۵۰ درجه سانتیگراد نیروی جانبی وارد شده از طرف تسمه به فلانچ به طور میانگین ۱۶٪ کاهش یافته است. افزایش دما علاوه بر اینکه در انبساط موتور تاثیر دارد سبب تغییر در خواص و ساختار تسمه می‌شود [۹و ۱۰] که ممکن است سبب این اختلاف شده باشد. با افزایش دما از ۲۰ به ۳۰ درجه سانتیگراد میزان کاهش نیروی جانبی حدود ۵٫۵ نیوتن است در حالی که نیروی جانبی در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد نسبت به دمای ۳۰ درجه فقط حدود ۲ نیوتن کاهش یافته است. این مساله نشان می‌دهد که نیروی جانبی در راه‌اندازی سرد موتور اهمیت بیشتری دارد و ممکن است در اثر حرکت جانبی تسمه و برخورد با فلانچ ایجاد سر و صدا کند یا موجب خرابی کناره تسمه گردد. با افزایش دمای محیط و موتور در هنگام راه‌اندازی، میزان نیرو کاهش یافته و در نتیجه احتمال خرابی کاهش می یابد.



شکل ۳: اثر دمای محیط بر نیروی جانبی تسمه

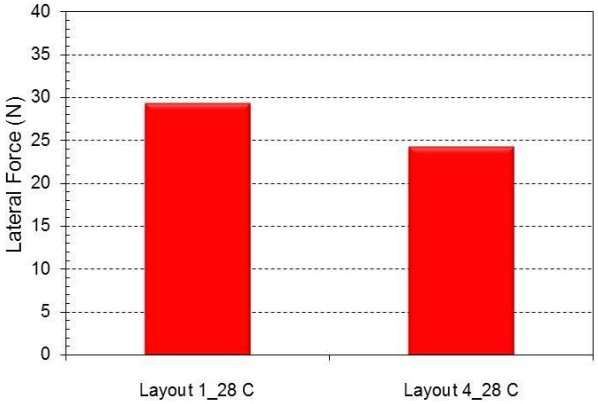
[1] Run-off
[2] Alignment
[3] Assemble
[4] Idle speed

با توجه به تاثیر گریز بر حرکت جانبی تسمه، در ادامه تاثیر این متغیر مهم بر نیروی جانبی بررسی شد. جمع بندی نتایج نشان می‌دهد که استفاده از تسمه با گریز منفی (تمایل تسمه برای حرکت به سمت داخل موتور) تاثیر قابل توجهی بر میزان نیروی جانبی وارد شده به فلانچ دارد. در شکل ۴ این نتایج ارائه شده است. تسمه خنثی نسبت به تسمه با گریز منفی (۰٫۸-) حدود ۳۰٪ نیروی جانبی کمتری وارد می‌کند. همان طور که در مقدمه ذکر شده گریز بیانگر تمایل حرکت تسمه به سمت داخل یا خارج موتور است. با استفاده از تسمه مثبت و یا منفی تمایل به حرکت افزایش می یابد که منجر به افزایش نیروی جانبی می‌گردد. در مطالعه حاضر با توجه به وجود مشکل برخورد تسمه به فلانچ داخلی، استفاده از تسمه با گریز منفی سبب تشدید این برخورد خواهد شد. بر اساس نتایج آزمون تاثیر گریز مثبت بر روی نیروی جانبی بسیار چشمگیر بوده است. به طوری که میزان نیرو از حدود ۲۹ نیوتن در حالت خنثی به حدود ۴ نیوتن کاهش یافته است.



شکل ۴: اثر میزان گریز بر نیروی جانبی تسمه

متغیر دیگری که باید مورد بررسی قرار گیرد تاثیر عرض تسمه بر میزان نیروی جانبی است. لذا نتایج به دست آمده برای تسمه با عرض ۲۴ میلیمتر و ۲۴٫۵ میلیمتر در شکل ۵ با یکدیگر مقایسه شده‌اند. بر اساس این داده‌ها با افزایش عرض تسمه به میزان ۰٫۵ میلیمتر، نیروی جانبی حدود از ۱۷٪ کاهش یافته است.



شکل ۵: اثر افزایش عرض تسمه بر نیروی جانبی

افزایش نیروی اصطکاک بین پشت تسمه و پولی سبب می‌شود تا مقاومت در مقابل حرکت جانبی تسمه افزایش یابد لذا کاهش نیرو با افزایش پهنای تسمه دور از انتظار نیست[۱۰].

نتیجه‌گیری

راه‌اندازی موتور در دماهای پایین سبب افزایش نیروی جانبی تسمه می‌گردد و با افزایش دما میزان نیرو کاهش می‌یابد. حساسیت نیروی جانبی به دما در دماهای پایینتر از ۳۰ درجه سانتیگراد بیشتر است و با افزایش دما از این مقدار، میزان کاهش نیرو چشمگیر نیست.

تمایل ذاتی تسمه به حرکت به سمت داخل یا خارج موتور تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر میزان نیروی جانبی خواهد داشت. به طوری که تسمه خنثی نسبت به تسمه با گریز منفی (۰٫۸-) سبب کاهش حدود ۳۰ درصدی نیروی جانبی شده است. به طور کلی استفاده از تسمه خنثی یا دارای گریز مثبت سبب کاهش نیروی جانبی می‌گردد. افزایش پهنای تسمه منجر به افزایش نیروی اصطکاک بین تسمه و سطح غلتک هرزگرد شده و نیروی جانبی را کاهش می‌دهد. میزان کاهش ۱۷ درصدی با افزایش ۰٫۵ میلیمتری پهنای تسمه بیانگر اهمیت عرض تسمه در جابجایی جانبی تسمه است.

تشکر و قدردانی

از همکاری آزمایشگاه موتور شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو و فراهم نمودن زمینه تحقیق و انجام آزمایشها قدردانی می‌گردد.

مراجع

[1] T. Koyama, K. Marshek, Toothed belt drives—past, present and future, Mech. Mach. Theory. 23 227–241, 1998

[2] R. Van Basshuysen, F. Schäfer, Internal combustion engine handbook, SAE Technical Paper, 2004.

[3] R. Thomanek, R. Steinberg, B. Krauser, U. Morawitz, J. Querengaesser, J. Weiss, et al., Ford Zetec-E, I4 Engine Timing Belt Drive, SAE Tech. Pap. 1999-01-0641, 1999.

[4]www.repairpal.com/estimator/timing-belt-replacement

[5] R. Perneder, I. Osborne, Handbook Timing Belts, Springer, 2012.

[6] www.gates.com

[7] www.contitech.de

[8] B. Stojanović, L. Ivanović, M. Blagojević, Friction and Wear in Timing Belt Drives, Tribology in industry, Volume 32, No. 3, 2010.

[9] B. Stojanović, N. Miloradović: Development of timing belt drives, Mobility and Vehicle Mechanics, Vol. 35, No. 2, pp. 29-34, 2009.

[10] T. Johannesson, M. Distner: Dynamic loading of synchronous belts, ASME, J. Mech. Design Vol. 124, pp.79-85, 2002.

The Journal of Engine Research

Journal Homepage: www.engineresearch.ir

Effect of starting temperature and belt width on lateral force of timing belt

S. Javan*, H. Noori [2], M. Asadi[3], P. Tahi [4]

[1]*Irankhodro Powertrain Company (IPCo), Tehran, Iran, S_javan@ip-co.com*
[2]*Irankhodro Powertrain Company (IPCo), Tehran, Iran H_noori@ ip-co.com*
[3]*Irankhodro Powertrain Company (IPCo), Tehran, Iran, Me.asadi@ikco.ir*
[4]*Irankhodro Powertrain Company (IPCo), Tehran, Iran, P_tahi@ip-co.com*
**Corresponding Author*

ARTICLE INFO

Article history:
Received: 22 December 2017
Accepted: 21 February 2018

Keywords:
Timing Belt
Lateral Force
Starting Temperature
Belt Width

ABSTRACT

Timing belts transmit crankshaft's power to rotate synchronously camshafts so that the engine's valves open and close at the proper times. Various vibrations will be imposed to timing belt during engine operation that could lead to movement and flapping of timing belt. Lateral belt tracking that pushes belt toward or outward of engine is one of these movements. This movement cause to improper contact between pulley's flange and timing belt that can produce annoyance noise and also accelerate the belt failure. There are many factors such as starting temperature, inclination of pulleys, inherent characteristics of belt, belt width, and position of tensioner which effect on belt tracking. This article evaluates effect of starting time, belt width and belt run-off on magnitude of lateral force in an internal combustion engine. According to test results, reducing starting temperature to lower than 30 C has considerable effect on rise of lateral force and belt movement. By 0.5 increase of belt width can reduce lateral force acceptably. Moreover, it is possible to control lateral movement by using timing belts with proper run-off.

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