Research article

Available in: http://jips.ippi.ac.ir

Iran. J. Polym. Sci. Technol. (Persian),
Vol. 33, No. 2, 115-123
June-July 2020
ISSN: 1016-3255
Online ISSN: 2008-0883
DOI: 10.22063/JIPST.2020.1728

Thermomechanical Properties of Nylon 6,6/ Polyester Hybrid Tire Cord: Effect of Twist Level and Core Ratio

Zahra Mahdavipour[1], Mohammad Karimi[1*], and Seyyed Anvar Hoseini[2]

1. Department of Textile Engineering, Amirkabir University of Technology, P.O. Box 1591634311, Tehran, Iran
2. Razi Tire Cord Co., P.O. Box 1345, Takestan, Iran

Received: 5 January 2020, accepted: 20 May 2020

ABSTRACT

Hypothesis: Design and production of hybrid tire cords is a simple and cost-effective way to improve the physical and thermal properties of the tire. It also affects the fuel consumption of the vehicle.

Methods: In this study, to achieve new reinforcing materials with better performance using conventional fibers, a hybrid tire cord has been manufactured by twisting nylon 6.6 and polyester yarns together. The effects of twist level and core ratio were studied on the thermomechanical properties of the hybrid cord. The produced cords have different twist levels of 300, 350 and 400 tpm and core ratios of 1.00, 1.03, and 1.05. The mechanical properties of these cords, including strength and creep, have been studied. The heat shrinkage and shrinkage force were also measured and compared with reference samples, nylon and polyester yarns and cords. The dynamic mechanical thermal analysis (DMTA) was used to examine the shrinkage force and creep of the tire cords.

Findings: The results show that the yield strain and shrinkage of all hybrid cords were lower than those of the nylon cord and more than those of the polyester cord. The increase in the twist level leads to a decrease in the load at specific elongation (LASE), and also an increase in the creep due to the helix angle between the cord axis and filament axis. In addition, the LASE, work to rupture and creep increase, as the core ratio increases. Furthermore, a rise in twist level and core ratio leads to an increase in shrinkage and shrinkage force. The hybrid tire cord with a core ratio of 1.05 due to its dimensional stability and good mechanical properties can be used to design high-performance tires.

Keywords:
tire cord,
hybrid,
shrinkage force,
nylon 6,6,
polyester

(*)To whom correspondence should be addressed.
E-mail: mkarimi@aut.ac.ir

Please cite this article using:
Mahdavipour Z, Karimi M., and Hoseini S.A., Thermomechanical Properties of Nylon 6,6/ Polyester Hybrid Tire Cord: Effect of Twist Level and Core Ratio, *Iran. J. Polym. Sci. Technol. (Persian)*, **33**, 115-123, 2020.

www.SID.ir

Archive of SID

مقاله پژوهشی

بررسی خواص گرمایی و مکانیکی رسن تایر هیبریدی نایلون ۶،۶- پلی‌استر: اثر مقدار تاب و نسبت چنبرش

قابل دسترس در نشانی: http://jips.ippi.ac.ir

زهرا مهدوی‌پور[۱]، محمدکریمی[۱*]، سید انور حسینی[۲]

۱- تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی نساجی، صندوق پستی ۱۵۹۱۶۳۴۳۱۱
۲- تاکستان، مجتمع نخ تایر رازی، صندوق پستی ۱۳۴۵

مجله علوم و تکنولوژی پلیمر،
سال سی‌وسوم، شماره ۲،
صفحه ۱۲۳-۱۱۵، ۱۳۹۹
ISSN: 1016-3255
Online ISSN: 2008-0883
DOI: 10.22063/JIPST.2020.1728

دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۱۵، پذیرش: ۱۳۹۹/۲/۳۱

چکیده

فرضیه: طراحی و تولید رسن‌های هیبریدی تایر، روشی ساده و مقرون به‌صرفه برای بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی تایر بوده و بر مصرف سوخت خودرو نیز اثرگذار است.

روش‌ها: در این مطالعه، برای دستیابی به مواد تقویت‌کننده جدید با عملکرد بهتر به‌کمک الیاف متداول، از دولاتابی نخ‌های نایلون ۶،۶ و پلی‌استر به یکدیگر، رسن تایر هیبریدی تولید شد. اثر مقدار تاب و نسبت چنبرش بر خواص گرمایی و مکانیکی رسن هیبریدی مطالعه شد. رسن‌های تولیدشده، دارای مقادیر مختلف تاب ۳۰۰، ۳۵۰ و ۴۰۰ tpm و نسبت چنبرش ۱/۰۰، ۱/۰۳ و ۱/۰۵ بودند. خواص مکانیکی شامل استحکام و خزش بررسی شد. جمع‌شدگی گرمایی و نیروی جمع‌شدگی نیز اندازه‌گیری و با نمونه‌های مرجع، رسن‌ها و نخ‌های نایلونی و پلی‌استری مقایسه شد. آزمون دینامیکی-مکانیکی-گرمایی (DMTA) برای بررسی نیروی جمع‌شدگی و خزش نمونه‌ها به‌کار گرفته شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد، کرنش تسلیم و جمع‌شدگی تمام رسن‌های هیبریدی کمتر از رسن نایلونی و بیشتر از رسن پلی‌استری بود. افزایش مقدار تاب به کاهش نیرو در ازدیاد طول ویژه (LASE) و افزایش خزش منجر می‌شود که دلیل آن زاویه مارپیچ میان محور الیاف و محور رسن است. افزون بر این، LASE با افزایش نسبت چنبرش، کار تا حد گسیختگی و خزش افزایش می‌یابد. همچنین ازدیاد مقدار تاب و نسبت چنبرش، به افزایش جمع‌شدگی و نیروی جمع‌شدگی منجر می‌شود. بر اساس نتایج، رسن هیبریدی با نسبت چنبرش ۱/۰۵ به‌دلیل پایداری ابعادی و خواص مکانیکی خوب، می‌تواند برای طراحی تایرهای کارآمد استفاده شود.

واژه‌های کلیدی

رسن تایر،
هیبریدی،
نیروی جمع‌شدگی،
نایلون ۶،۶،
پلی‌استر

* مسئول مکاتبات، پیام‌نگار:
mkarimi@aut.ac.ir

www.SID.ir

مقدمه

منسوجات از مهم‌ترین اجزای تایر به‌شمار می‌آیند و ٪۵-۳ وزن تایر خودروهای سواری از نخ تشکیل شده است [۱]. شکل‌دهی تایر، پایداری ابعادی، افزایش ظرفیت حمل بار و استحکام آن از وظایف نخ تایر است. رفتار دینامیکی تایر نیز به‌وسیله نخ تأمین می‌شود [۲]. عملکرد نهایی تایر از جمله فرمان‌پذیری (steering)، راهبری (handling) و دفع ضربه به‌طور مستقیم تحت تأثیر خواص گرمایی-مکانیکی منسوج تایر است. شکل ۱ طرحی از نحوه قرارگیری الیاف در ساختار تایرهای رادیال و اریبی (bias) را نشان می‌دهد. الیافی که برای تایر به‌کار گرفته می‌شوند، باید دارای خواص مطلوبی همچون استحکام و مقاومت خستگی زیاد، جمع‌شدگی و خواص گرمایی مناسب باشند. امروزه الیاف پلی‌استر، پلی‌آمید، ریون، کولار و فولاد بیشترین کاربرد را به‌عنوان تقویت‌کننده تایر به‌عهده دارند [۳]. طی سال‌های گذشته الیاف نایلون و پلی‌استر بیشترین درصد تولید نخ تایر را در دنیا به‌خود اختصاص داده‌اند. الیاف پلی‌استر که معمولاً در منجید (carcass) تایرهای رادیال استفاده می‌شوند، استحکام زیاد، ثبات ابعادی و پایداری خوب، مدول زیاد و خزش کمی دارند [۴]. با وجود این، چسبندگی (به آمیزه لاستیکی) و مقاومت خستگی کم این الیاف، جزء معایب آن به‌شمار می‌آید [۵]. مطالعات بسیاری برای بهبود این خواص در پلی‌استر انجام شده است [۸-۶]. الیاف نایلون ۶،۶ نیز در رولایه تایر (cap ply) به‌کار گرفته می‌شوند. این الیاف چسبندگی، استحکام و مقاومت خستگی بیشتری نسبت به پلی‌استر دارند. اما، ثبات ابعادی آن‌ها از پلی‌استر کمتر است [۱].

امروزه برای افزایش کارایی تایرهای تولیدی، موضوع استفاده از رسن هیبریدی تایر شامل دو جزء نایلون و پلی‌استر مطرح شده است. رسن هیبریدی متشکل از حداقل دو نخ با خواص متفاوت است که به یکدیگر تابیده شده‌اند. این محصول امکان دستیابی به مواد تقویت‌کننده جدید با عملکرد بهتر را با استفاده از الیاف متداول فراهم می‌کند. رسن هیبریدی تایر نایلون ۶،۶-پلی‌استر یکی از محصولاتی است که به‌دلیل مزیت اقتصادی و خواص مطلوب، توجه بسیاری

شکل ۱- قرارگیری الیاف در ساختار تایر: (a) رادیال و (b) اریبی [۹].
Fig. 1. Fiber placement in tire structure: (a) radial and (b) bias.

را به خود جلب کرده است. مطالعه مراجع نشان می‌دهد، رسن تایر هیبریدی در دنیا تولید و ارزیابی شده است. Yilmaz [۴] ترکیبی از نخ‌های پلی‌استر و نایلون ۶،۶ را برای تولید رسن هیبریدی با هدف هم‌افزایی خواص مدنظر هر دو نخ پیشنهاد داده است. نتایج این مقاله حاکی از آن است که این رسن برتری‌هایی از جمله مقاومت خستگی عالی، سختی و مقاومت برشی بسیار خوب دارد که قابلیت استفاده در بخش‌های منجید، بریکر و تسمه (belt) تایر را فراهم می‌کند. Aytac و همکاران [۱۰،۱۱] اثر مقدار تاب رسن نایلون ۶،۶-پلی‌استر را بر بعضی خواص آن مانند خواص مکانیکی، جمع‌شدگی، چسبندگی و مقاومت خستگی بررسی کردند. طبق نتایج این پژوهش‌ها، بهترین خواص گرمایی-مکانیکی و بیشترین استحکام زمانی حاصل می‌شود که مقدار تاب نخ پلی‌استر و تاب رسن، بیشتر از مقدار تاب نخ نایلون باشد. همچنین اثرگذارترین شاخص بر مقاومت خستگی، تاب رسن است. برای دستیابی به چسبندگی بهینه رسن به آمیزه لاستیکی نیز، به غوطه‌وری دومرحله‌ای منسوج در محلول لاتکس فرمالدهید-رزورسینول نیاز است و غوطه‌وری تک‌مرحله‌ای نتایج قابل قبولی را تأمین نمی‌کند. افزایش مقدار تاب رسن می‌تواند به‌دلیل افزایش سطح، تا حدودی موجب افزایش چسبندگی شود. Tian و همکاران [۱۲] رسن تایر هیبریدی پلی‌استر-نایلون را به‌عنوان محصولی اقتصادی با مدول زیاد و در نتیجه پایداری ابعادی خوب معرفی کردند. همچنین این محصول با داشتن ازدیاد طول بیشتر نسبت به رسن متداول پلی‌استر به بهبود مقاومت خستگی و مقاومت در برابر ضربه منجر شد.

گروه صنعتی Kordsa (ترکیه) رسن هیبریدی نایلون۶،۶-پلی‌استر را به‌طور صنعتی تولید کردند [۱۳]. بر اساس گزارش این شرکت، کاهش زمان پخت تایر بر اثر امکان افزایش دمای پخت، افزایش پایداری ابعادی، بهبود خواص مکانیکی نخ تایر نسبت به نایلون ۶ (استحکام، ازدیاد طول و انرژی پارگی) و پایداری گرمایی بیشتر، نتیجه استفاده از این محصول است. بررسی مراجع نشان می‌دهد، تعدادی اختراع ثبت‌شده نیز در این زمینه موجود است [۱۶-۱۴]. از آن جمله می‌توان به تلاش Love و همکاران [۱۶] اشاره کرد. در این پژوهش، رسن هیبریدی کولار-نایلون ۶،۶ دارای اختلاف طول بین اجزا، تولید شده است. در مراجع مختلف، اثر مقدار تاب بر خواص رسن هیبریدی بررسی شده، اما نسبت چنبرش (core ratio) مطالعه نشده است. در این پژوهش، اثر مقدار تاب و نسبت چنبرش رسن هیبریدی تایر نایلون ۶،۶-پلی‌استر بر خواص گرمایی-مکانیکی بررسی شده است. استحکام کششی، جمع‌شدگی، نیروی جمع‌شدگی و خزش رسن‌های هیبریدی اندازه‌گیری و با نمونه‌های مرجع شامل نخ تک‌لا و رسن‌های نایلون و پلی‌استر مقایسه شده است. نیروی

www.SID.ir

Archive of SID

جمع‌شدگی و خزش رسن اثر شگرفی بر عملکرد تایر، یکنواختی و پایداری ابعادی آن دارد. با وجود این، مراجع مشابه این شاخص‌ها را در رسن هیبریدی بررسی نکرده‌اند. از این‌رو، در پژوهش حاضر تلاش شد، رفتار رسن هیبریدی تایر به‌طور جامع‌تری بررسی شده و نتایج آن با پژوهش‌های موجود مقایسه شود.

تجربی

مواد

دو نمونه نخ تایر پلی‌استر و نایلون۶،۶ بدون تاب، به‌ترتیب با نمره‌های نخ ۱۶۷۰ و dtex ۱۴۰۰ (واحد جرم نخ برحسب گرم در طول 10^4 متر آن) از شرکت‌های نخ تایر Unifull چین و Junma خریداری شدند. عملیات دولاتابی و تولید رسن هیبریدی در مجتمع تولیدی نخ تایر رازی (ایران) انجام شد. برای تحقق این هدف، تاب و نسبت چنبرش رسن، در سه سطح متغیر درنظر گرفته شدند. نسبت چنبرش در نمونه‌ها طوری ایجاد شد که طول نخ پلی‌استر در یک متر رسن نسبت به نایلون بیشتر بود. مشخصات نمونه‌های ترکیبی در جدول ۱ آمده است. نسبت چنبرش رسن نیز به شکل معادله (۱) تعریف می‌شود:

$$\text{نسبت چنبرش} = \frac{\text{طول نخ هسته در یک متر رسن}}{\text{طول نخ پوسته در یک متر رسن}} \quad (۱)$$

برای ایجاد نسبت چنبرش در رسن، حین تاب‌دادن باید تنش متفاوتی به نخ‌ها وارد شود. این موضوع در دستگاه تاب لحاظ شد. از دستگاه تاب Cable Corder CC3 ساخت شرکت SAURER. Allma سوئیس استفاده شد. برای تحلیل رفتار رسن‌های ترکیبی، تعدادی نمونه مرجع شامل نخ تک‌لای نایلونی و پلی‌استری و رسن (نخ دولا) آن‌ها با تاب ۳۵۰ tpm نیز تولید و بررسی شدند.

جدول ۱- مشخصات اولیه نمونه‌های هیبریدی.

Table 1. Initial specification of hybrid samples.

Sample	Twist (tpm*)	Core ratio
HC-t300-cr_0	300	1.00
HC-t300-cr_3	300	1.03
HC-t300-cr_5	300	1.05
HC-t350-cr_0	350	1.00
HC-t350-cr_3	350	1.03
HC-t350-cr_5	350	1.05
HC-t400-cr_0	400	1.00
HC-t400-cr_3	400	1.03
HC-t400-cr_5	400	1.05

*tpm: twist per meter.

دستگاه‌ها و روش‌ها

آزمون استحکام کششی

در این پژوهش، از دستگاه Instron TM-SM ساخت آمریکا استفاده شد که بر اساس روش CRE (مقدار ازدیاد طول ثابت) عمل می‌کند. فاصله دو فک ۱۵ cm و سرعت حرکت فک متحرک نیز ۳۰۰ mm/min تنظیم شد. منحنی تنش-کرنش نمونه‌ها به‌دست آمد و استحکام، مدول اولیه و ازدیاد طول در نیروی معین از آن استخراج شد. با محاسبه سطح زیر منحنی نیز کار تا گسیختگی حاصل شد. استحکام و مدول ویژه تمام نمونه‌ها با تقسیم نتایج بر نمره نخ آن‌ها بیان شده است،. نتایج گزارش‌شده در این بخش، میانگین نتایج ۱۰ آزمون است. محاسبات مربوط به معناداری تغییرات با استفاده از تحلیل واریانس (جدول Anova) در نرم‌افزار minitab 16 انجام شد.

جمع‌شدگی

برای تعیین مقدار جمع‌شدگی رسن، طول مشخصی از رسن زیر نیروی معینی اندازه‌گیری شده که برای از بین‌بردن فر و موج درنظر گرفته می‌شود. سپس، نمونه درون گرم‌خانه پیش‌تنظیم‌شده در دمای معین (طبق استاندارد ۱۷۷°C) قرار می‌گیرد و پس از تعادل دمایی (۲ min)، طول نهایی آن اندازه‌گیری می‌شود. مقدار جمع‌شدگی از اختلاف مقادیر طول اولیه و نهایی محاسبه می‌شود. در این پژوهش، میانگین پنج آزمون جمع‌شدگی گزارش شده است. برای انجام آزمون نیروی جمع‌شدگی از دستگاه DMA 2980 ساخت شرکت TA Instruments آمریکا استفاده شد. در این آزمون، مقدار ازدیاد طول اولیه، ۰/۵٪، نیروی اولیه ۵ mN/tex و سرعت تغییرات دما ۳°C/min انتخاب شد. دمای گزارش نتایج ۱۷۷°C بود. دستگاه DMA منحنی نیروی جمع‌شدگی را برحسب تغییرات دما رسم می‌کند.

خزش

آزمون خزش با دستگاه DMA 2980 ساخت شرکت TA Instruments آمریکا در تنش ثابت ۰/۰۱ MPa روی نمونه‌های هیبریدی انجام شد. زمان اعمال تنش مزبور به نمونه، ۳۰ min و زمان بازگشت‌پذیری پس از حذف تنش، ۱۵ min انتخاب شد. دمای انجام آزمون نیز ۳۰°C تعیین شد. دستگاه استفاده‌شده، ازدیاد طول بلافاصله پس از

www.SID.ir

اعمال نیرو (کرنش)، خزش و درصد بازگشت‌پذیری طول (load at specific elongation, LASE) را به‌دست می‌دهد. خزش نیز درصد تغییرات طول در زمان است که نسبت به ازدیاد طول اولیه محاسبه می‌شود.

نتایج و بحث

خواص کششی رسن‌های هیبریدی

خواص مکانیکی کششی از جمله استحکام، کرنش نقطه تسلیم، کار تا پارگی و بار در ازدیاد طول ویژه (LASE) نمونه‌های هیبریدی و نیز نمونه‌های پلی‌استری و نایلونی تک‌لا و دولا در جدول ۲ آمده است. (نمونه‌های رسن پلی‌استری و نایلونی دارای تاب tpm ۳۵۰ بودند). LASE در صنعت به‌جای مدول یانگ نمونه‌ها به‌کار می‌رود و معمولاً تعریف مشخصی دارد. متداول‌ترین آن، نیرو برحسب نیوتن در ٪۵ ازدیاد طول است. همان‌طور که در جدول ۲ نیز دیده می‌شود، پلی‌استر نسبت به نایلون کرنش تسلیم کمتر و نیرو در ازدیاد طول معین بیشتری دارد. با مقایسه خواص نخ‌های تک‌لا و دولای پلی‌استر و نایلون، می‌توان به بیشتربودن مدول و استحکام نخ‌های تک‌لا نسبت به دولا پی برد. زمانی که دو نخ به یکدیگر تابیده می‌شوند، به‌دلیل افزایش زاویه قرارگیری الیاف نسبت به محور نخ (زاویه مارپیچ)، استحکام و مدول تا حدی کاهش می‌یابد [۱۷]. موضوع دیگری که در نتایج این آزمون باید بحث شود، رفتار کلی رسن‌های هیبریدی است. تمام رسن‌های هیبریدی خواصی بین نخ دولای پلی‌استر و نایلون دارند (شکل ۲). در واقع، کرنش تسلیم و بار در ازدیاد طول معین رسن‌های هیبریدی مقادیری میان این عامل در رسن نایلون و رسن پلی‌استر است.

اثر نسبت چنبرش بر مدول یانگ

مقدار تاب و نسبت چنبرش موجب تغییراتی در رفتار مکانیکی نمونه‌ها می‌شود. شیب بخش ابتدایی منحنی تنش-کرنش رسن‌های هیبریدی مشابه شیب منحنی نایلون است و با افزایش کرنش، مدول تا حدی افزایش می‌یابد. با توجه به اینکه پلی‌استر در ساخت رسن هیبریدی با طول بیشتری مشارکت دارد و سهم طولی نخ نایلون ۶،۶ نسبت به نخ پلی‌استر کمتر است. پیچش نخ پلی‌استر دور نخ نایلون منطقی به‌نظر می‌رسد. در نتیجه در ابتدای بارگذاری، نایلون که در مرکز رسن قرار دارد، درگیر نیرو است و در کرنش‌های بیشتر، با بازشدن تاب پلی‌استر و درگیرشدن آن، مدول افزایش می‌یابد. به

جدول ۲- استحکام نمونه‌های مرجع و هیبریدی.

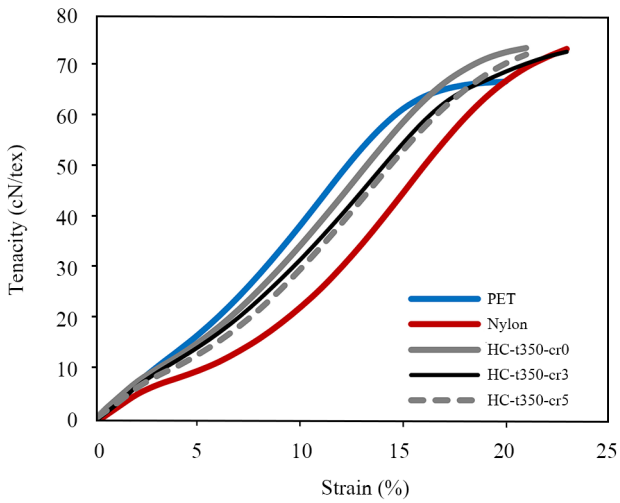
Table 2. Strength of reference and hybrid samples.

Sample	Strength (cN/tex)	Yield strain (%)	Work to rupture (J)	LASE*[1]-5% (N)	Modulus (cN/tex)
PET yarn	83.36±1.1	11.4±0.8	1.64±0.10	45.5±1.0	411.5±14.6
PET cord	65.27±4.0	19.2±1.2	6.07±0.33	59.35±0.9	340.7±6.1
Nylon yarn	75.60±1.2	17.1±0.4	1.84±0.03	18.36±0.51	294.2±9.7
Nylon cord	72.97±2.0	23.1±1.1	6.04±0.63	32.79±1.36	231.1±11.2
HC-t300-cr_0	70.83±1.1	20.3±1.3	5.87±0.5	44.64±2.5	273.3±11.44
HC-t300-cr_3	71.47±0.6	20.2±0.6	5.93±0.26	47.32±2.8	292.6±11.8
HC-t300-cr_5	72.55±0.7	20.0±1.3	6.22±0.52	52.69±2.0	317.3±10.2
HC-t350-cr_0	68.27±1.5	20.5±1.1	5.72±0.49	43.28±1.6	255.8±8.4
HC-t350-cr_3	70.15±1.2	20.9±1.2	6.08±0.48	45.02±2.2	281.6±8.4
HC-t350-cr_5	69.86±0.7	21.6±1.1	6.45±0.39	47.13±3.7	243.0±6.0
HC-t400-cr_0	66.98±1.6	22.1±1.3	6.18±0.49	40.37±2.0	262.6±14.9
HC-t400-cr_3	66.92±1.0	22.7±1.1	6.45±0.38	40.46±2.6	295.2±12.3
HC-t400-cr_5	65.13±1.4	20.6±1.2	5.65±0.51	44.55±1.7	295.2±12.3

*[1] LASE: Load at specific elongation (elongation 5%).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲- منحنی تنش-کرنش رسن‌های نایلون و پلی‌استر و سه نمونه هیبریدی.

Fig. 2. Stress-strain curve of nylon and polyester cords and three hybrid samples.

همین دلیل نیز با ازدیاد طول پلی‌استر در رسن هیبریدی، نیرو در ازدیاد طول معین رسن افزایش پیدا می‌کند.

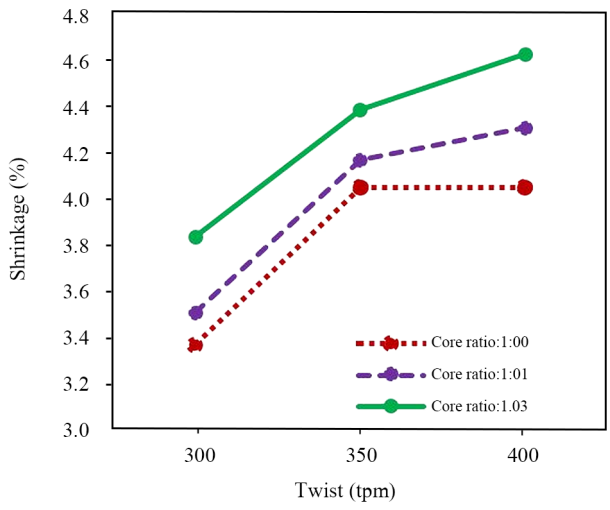
کار تا گسیختگی نیز با افزایش نسبت چنبرش افزایش یافته است. در واقع با افزایش نسبت چنبرش، می‌توان نمونه‌هایی با مقاومت بیشتر در برابر شوک و ضربه تولید کرد که این موضوع در تایر، به‌دلیل برخورد با موانع در جاده، اهمیت زیادی دارد [۱۸]. افزایش تاب در نمونه‌های هیبریدی به‌دلیل افزایش زاویه مارپیچ، به کاهش استحکام و بار در ازدیاد طول معین منجر شده است. تمام تغییرات ایجادشده در بار در ازدیاد طول معین و مدول نمونه‌ها از لحاظ آماری معنادار است.

جمع‌شدگی گرمایی

جمع‌شدگی و نیروی جمع‌شدگی رسن از مهم‌ترین آزمون‌هایی است که برای کنترل خط تولید تایر توصیه می‌شود. نیروی جمع‌شدگی در تایر باید در حد کنترل‌شده‌ای باشد که باعث بروز عیب در تایر نشود. این شاخص به‌دلیل قرارگیری تایر در دماهای زیاد حین پخت و سرویس (بر اثر اصطکاک با سطح جاده و تلفات ناشی از حرکت)، اهمیت ویژه‌ای دارد. گرمای تولیدشده در آمیزه تایر می‌تواند موجب تخریب خواص فیزیکی و شیمیایی و حتی جداشدن نخ از آمیزه لاستیکی شود [۱۹]. بنابراین، خواص گرمایی منسوج تایر از جمله جمع‌شدگی و نیروی جمع‌شدگی اهمیت بسزایی دارد. گرما به جمع‌شدگی در پلیمر منجر می‌شود. اما اگر پس از سردکردن، دوباره پلیمر تا محدوده دمای پیشین گرم شود، طول لیف در این حالت ثابت می‌ماند. در واقع، تغییر طول برگشت‌ناپذیر فقط یک مرتبه رخ می‌دهد و تکرارپذیر نیست که به آن جمع‌شدگی می‌گویند. از این ویژگی الیاف برای تثبیت ابعادی آن‌ها، پس از گرمادهی اولیه و سپس سردکردن آن، استفاده می‌شود. شکل‌شناسی و ساختار درونی الیاف و ساختارشیمیایی آن‌ها بر مقدار جمع‌شدگی گرمایی مؤثر است. به‌عنوان مثال، جمع‌شدگی پلی‌استر از نایلون کمتر است. دلیل این اختلاف، تفاوت در ساختار شیمیایی این دو پلیمر است. به‌طور خلاصه، وجود حلقه بنزنی در ساختار پلی‌استر، موجب کاهش جمع‌شدگی می‌شود [۲۰]. مقادیر جمع‌شدگی نمونه‌ها در شکل ۳ و جدول ۳ آمده است.

اثر نسبت چنبرش و تاب بر جمع‌شدگی

جمع‌شدگی نمونه‌های هیبریدی بیشتر از پلی‌استر و کمتر از نایلون است. همان‌طور که در شکل ۳ و جدول ۳ نشان داده شده است، با افزایش مقدار تاب، جمع‌شدگی گرمایی نخ تایر هیبریدی افزایش می‌یابد که این موضوع به‌دلیل افزایش مقدار جرم در واحد طول رسن است [۱۷]. با افزایش نسبت چنبرش، جمع‌شدگی افزایش پیدا می‌کند. در ساختار رسنی که نایلون در مرکز آن قرار گرفته، به محض اعمال گرما، نایلون جمع می‌شود. در نتیجه، مقدار جمع‌شدگی در این نمونه زیاد است. اما، در رسن‌هایی که نایلون و پلی‌استر با طول یکسان در آن مشارکت دارند، نایلون تاب بیشتری نسبت به حالت قبل دارد و گرما و جمع‌شدن نایلون موجب بازشدن تاب نایلون و مستقیم قرارگرفتن آن و نه جمع‌شدگی در رسن می‌شود. در نتیجه، مقدار جمع‌شدگی کمتری در رسن دیده می‌شود [۱۰].



شکل ۳- جمع‌شدگی رسن‌های هیبریدی.

Fig. 3. Shrinkage of hybrid cords.

www.SID.ir

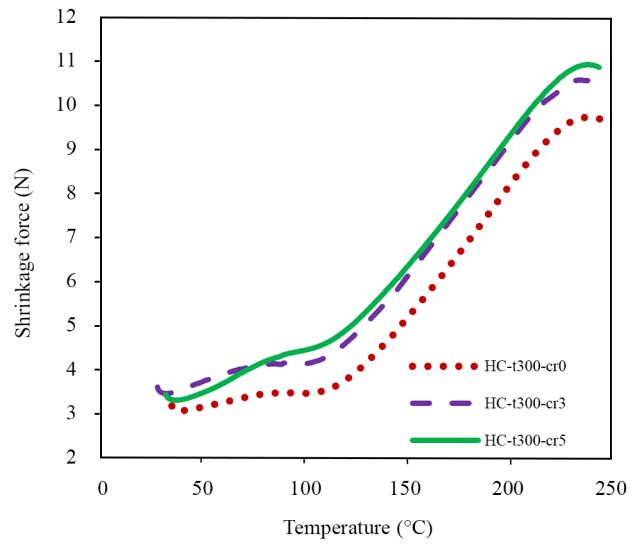
جدول۳- جمع‌شدگی رسن‌های هیبریدی و نمونه‌های مرجع.

Table 3. Shrinkage of hybrid cords and reference samples.

Sample	Shrinkage (%)
PET yarn	1.64±0.40
PET cord	2.23±0.12
Nylon yarn	2.85±0.18
Nylon cord	4.84±0.32
HC-t300-cr_0	3.37±0.11
HC-t300-cr_3	4.05±0.23
HC-t300-cr_5	4.05±0.15
HC-t350-cr_0	3.51±0.21
HC-t350-cr_3	4.17±0.24
HC-t350-cr_5	4.31±0.17
HC-t400-cr_0	3.84±0.10
HC-t400-cr_3	4.39±0.65
HC-t400-cr_5	4.63±0.09

نیروی جمع‌شدگی

اگر منحنی نیروی جمع‌شدگی نمونه‌ای بر حسب دما رسم شود، با افزایش دما نیروی جمع‌شدگی نیز افزایش می‌یابد. اما این افزایش تا دمایی (T_{max}) ادامه دارد و پس از آن، نیرو کاهش می‌یابد. کاهش جمع‌شدگی پس از دمای بیشینه، به‌دلیل ذوب بلورهای کوچک و آزادشدن زنجیرهاست. همچنین ممکن است، در برخی نمونه‌ها



شکل ۴- افزایش نیروی جمع‌شدگی با افزایش نسبت چنبرش.

Fig. 4. Increasing the shrinkage force by increasing the core ratio.

(به‌ویژه نمونه‌های تک‌لا) کاهش دیگری نیز (در دمای کمتر) دیده شود که این پدیده با دمای انتقال شیشه‌ای (T_g) پلیمر در ارتباط است [۲۱]. جدول ۴ نیروی جمع‌شدگی را در دمای ۱۷۷°C و دمایی گزارش می‌کند که در آن بیشینه نیروی جمع‌شدگی رخ می‌دهد (T_{max})، نیروی جمع‌شدگی نایلون بیشتر از پلی‌استر است. می‌توان گفت، ثبات ابعادی پلی‌استر بهتر از نایلون است که این مزیتی برای پلی‌استر به‌شمار می‌آید. اختلاف طول در رسن همان‌طور که موجب افزایش جمع‌شدگی می‌شود، تا حدی افزایش نیروی جمع‌شدگی را نیز به‌دنبال دارد (شکل ۴). به‌عبارت دیگر، زمانی که نسبت چنبرش زیاد است و نایلون در مرکز رسن قرار دارد، بلافاصله با اعمال گرما، نایلون به جمع‌شدگی تمایل دارد و نیروی جمع‌شدگی زیاد آن به افزایش نیروی جمع‌شدگی رسن منجر می‌شود [۱۰]. تاب نیز موجب تغییراتی در نیروی جمع‌شدگی شده که این موضوع به زاویه قرارگیری الیاف مربوط می‌شود. در واقع نیروی برایند که در رسن نیز ظاهر می‌شود، با زاویه قرارگیری الیاف در رسن مرتبط است [۱۷].

اثر تاب و نسبت چنبرش بر منحنی خزش

خزش شاخص مهمی در منسوج تایر است که پایداری ابعادی آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. مقدار خزش رسن تایر هنگام اعمال بار، می‌تواند اثر بسزایی بر عملکرد تایر داشته باشد. به‌عنوان مثال،

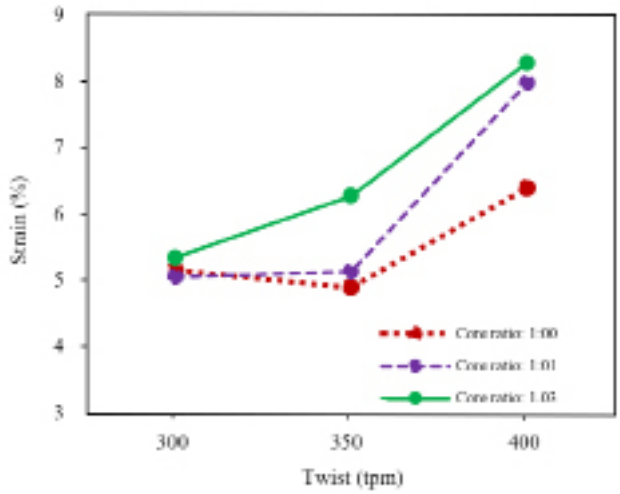
جدول ۴- نیروی جمع‌شدگی نمونه‌های مرجع و رسن‌های هیبریدی.

Table 4. Shrinkage force of reference samples and hybrid cords.

Samples	Shrinkage force (cN/tex)		T_{max} (°C)
	at 177°C	at T_{max}	
PET yarn	1.91	2.48	233
PET cord	1.35	1.76	247
Nylon yarn	2.28	3.40	233
Nylon cord	1.63	2.84	238
HC-t300-cr_0	1.52	2.41	238
HC-t300-cr_3	1.85	2.71	234
HC-t300-cr_5	1.98	2.94	238
HC-t350-cr_0	1.33	2.07	237
HC-t350-cr_3	1.74	2.62	234
HC-t350-cr_5	1.50	2.24	233
HC-t400-cr_0	1.66	2.47	233
HC-t400-cr_3	1.70	-	-
HC-t400-cr_5	1.60	-	-

www.SID.ir

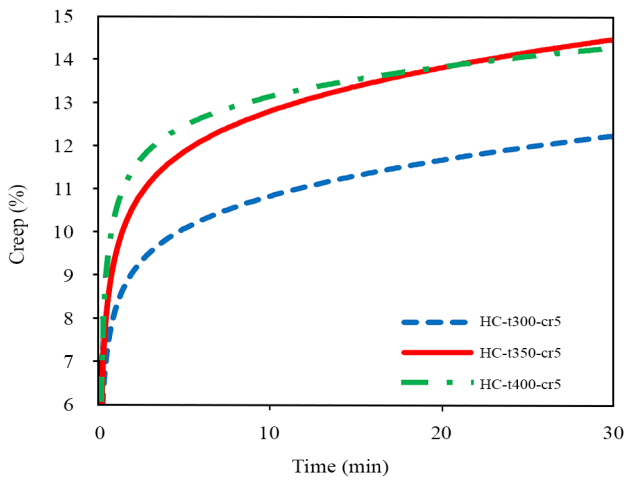
Archive of SID



شکل ۵- کرنش اولیه نمونه‌های هیبریدی در آزمون خزش.

Fig.5. Primary strain of the hybrid samples in the creep test.

هنگامی که خودرو به‌مدت معلوم بدون حرکت متوقف شده باشد، نیروی ایستای ناشی از وزن خودرو، موجب ازدیاد طول وابسته به زمان در تایر و نخ تایر می‌شود. اگر مقدار خزش اجزای تایر از جمله منسوج به‌کار رفته در آن زیاد باشد، هنگام شروع حرکت دوباره خودرو مشکلاتی بروز می‌کند. مطالعه مؤلفه‌های نیروهای عمودی و برشی وارد بر تایر و تغییرشکل ایجادشده در آن، این مورد را تأیید می‌کند [۲۲]. افزون بر آن، مقدار خزش رسن تایر می‌تواند بر ایجاد یا گسترش عیب‌ها در تایر اثر بگذارد. به‌عنوان مثال، ترک در شیار تایر (groove cracking) با مقدار خزش آمیزه تایر و رسن در ارتباط است [۲۳].



شکل ۶- اثر تاب بر منحنی‌های خزش رسن‌های هیبریدی.

Fig. 6. Effect of twist on creep curves of hybrid cords.

افزایش تاب در نمونه‌ها موجب افزایش مقدار کرنش اولیه و تا حدی خزش می‌شود (شکل‌های ۵ و۶). در واقع، نمونه با تاب بیشتر به‌راحتی ازدیاد طول را طی زمان نشان می‌دهد [۲۴]. نتایج آزمون مکانیکی کششی نیز این موضوع را تأیید می‌کند که نیرو در ازدیاد طول معین با افزایش تاب، کاهش می‌یابد. بنابراین کرنش اولیه در آزمون خزش نیز بر اثر افزایش تاب، کاهش می‌یابد. همچنین می‌توان ادعا کرد، با ازدیاد نسبت چنبرش، کرنش نیز افزایش می‌یابد. در نمونه‌هایی که نسبت چنبرش زیاد است، نایلون در مرکز رسن قرار دارد، بنابراین رفتار رسن با این جزء کنترل می‌شود و نیز نایلون نسبت به پلی‌استر کرنش بیشتری (و مدول کمتری) دارد. بنابراین روند افزایش کرنش اولیه با ازدیاد نسبت چنبرش، منطقی به‌نظر می‌رسد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، رسن هیبریدی تایر نایلون ۶،۶–پلی‌استر به‌عنوان راه حلی اقتصادی برای بهبود عملکرد تایر و کاهش مصرف سوخت خودرو بررسی شد. در این راستا اثر مقدار تاب و نسبت چنبرش رسن بر خواص گرمایی و مکانیکی رسن تایر مطالعه شد. نتایج نشان داد، با افزایش مقدار تاب، مدول یانگ و نیرو در ازدیاد طول معین رسن کاهش و مقدار خزش آن افزایش می‌یابد. تاب موجب افزایش زاویه قرارگیری الیاف با محور رسن می‌شود. بنابراین طول مؤثر الیاف در رسن و در نتیجه مدول کاهش پیدا می‌کند. جمع‌شدگی نیز به‌دلیل افزایش جرم واحد طول نخ در تاب‌های بیشتر، مقادیر بیشتری را نشان می‌دهد. چنبرش پلی‌استر دور نایلون موجب افزایش مدول نمونه می‌شود. زیرا در صورت واردشدن نیرو به رسن، ابتدا نایلون که در مرکز آن قرار دارد، درگیر می‌شود. پس از ازدیاد طول اولیه، پلی‌استر که دارای مدول بیشتری است، نقش ایفا می‌کند و موجب افزایش مدول می‌شود. بنابراین نمونه‌های با نسبت چنبرش ۱/۰۵ که دارای نیرو در ازدیاد طول معین بیشتر و در نتیجه پایداری ابعادی بهتری هستند، می‌توانند برای طراحی تایرهای کارآمد استفاده شوند. همچنین در این نمونه‌ها، نایلون به‌دلیل قرار گرفتن در هسته رسن، جمع‌شدگی و نیروی جمع‌شدگی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و موجب افزایش این شاخص‌ها می‌شود.

قدردانی

از حمایت‌های دانشگاه صنعتی امیرکبیر و کارخانه نخ تایر رازی برای انجام پژوهش حاضر، تشکر و قدردانی می‌شود.

www.SID.ir

مراجع

1. Sanjeevan T., Effects of Thermal Contraction on Structure and Properties of PET Fibers, https://www.slideshare.net/ThayaleesparakumarSanjeevan/tyre-technology, Available in 7 May 2019.
2. Aytac A., Yilmaz B., and Deniz V., Effects of Linear Density and Twist Level on The Mechanical Properties of Nylon 6.6 Tyre Cord, *Fiber. Polym.,* **1**, 309-315, 2010.
3. Ramazani S., Morshed M., and Ghane M., Study of the Effect of Heat Treatment on Nylon 66 Tire Cords Structure and Its Physical Properties, *Iran. J. Polym. Sci. Technol. (Persian)*, **2**, 109-117, 2006.
4. Yilmaz B., Investigation of Twisted Monofilament Cord Properties Made of Nylon 6.6 and Polyester, *Fiber Polym.*, **12**, 1091-1098, 2011.
5. Cho D. and Jeong Y., Study on the Strength Retention of Technical Cord Yarn, *Fiber. Polym.,* **7**, 305–309 , 2006.
6. Anthony R.B., Ramirez J., and Clerc C., *Handbook of Properties of Textile and Technical Fibres*, 2nd ed., Woodhead, North America, 595-618, 2018.
7. Vecchiato S., Ahrens J., Pellis A., Scaini D., Mueller B., Acero E.H., and Guebitz G.M., Enzymatic Functionalization of HMLS- Polyethylene Terephthalate Fabrics Improves the Adhesion to Rubber, *Sustain. Chem. Eng*., **5**, 6456-6465, 2017.
8. Razavizadeh M. and Jamshidi M., Adhesion of Nitrile Rubber (NBR) to Polyethylene Terephthalate (PET) Fabric-Part 1: Surface Modification by Methylenediphenyl Di-isocyanate (MDI), *Appl. Surf. Sci*., **360**, 429-435, 2016.
9. Mounting Radial Tires on Classic-Vehicle Rims, https://www.sema.org/news/2011/07/01/Mounting-Radial-Tires-on-Classic-Vehicle-Rims, Available in 28 March 2020.
10. Aytac A., Yilmaz B., and Deniz V., Nylon 66/Polyester Hybrid Cords: 1. Design and Investigation of Properties, *Fiber. Polym.*, **12**, 252-257, 2011.
11. Aytac A., Yilmaz B., and Deniz V., Fatigue Properties of Nylon 66/Polyester Hybrid Cord, *Rubber Chem. Techol.*, **84**, 482-492, 2011.
12. Tian L., Lv P., Zhuo J., and Wei Q., Preparation and Characteristics of an Advanced Polyester Tire Cord with Hybrid Effect*, J. Eng. Fiber. Fabr*., **14**,1-7, 2019.
13. Aytac A., Twaron Drives Tires, https://www.teijinaramid.com/en/applications/tires, Available in 5 November 2019.
14. Reuter R., Schmitz F., Imhoff S.J., and Donckels Y., Pneumatic Tire Having an Overlay Reinforcement, *US Pat.,6799618 B2*, 2004.
15. Fritsch J., Rugraff P., and Funderburk J., Hybrid Cabled Cord and a Method to Make It, *US Pat., 7051507B2*, 2003.
16. Love N.W., France B.R., Lamontia.M., and Deakyne .C., Unbalanced Hybrid Cords and Methods for Making on Cable Cording Machines*, US Pat., 9175425B2*, 2015.
17. Aytac A., Effect of Twist Level on Tyre Cord Performance, *Fiber. Polym.*, **10**, 221-225, 2009.
18. Rath J.P. and Chaki T.K., Effect of Thermal Treatment on Structure and Properties of Polyester Tire Cords, *J. Appl. Polym. Sci.*, **124**, 266-274, 2012.
19. Rezvani A., Karami G., and Yaghoubi M., Thermal Analysis of Tire, *Iran. J Esteghlal (Persian)*, **1**, 137-149, 2001.
20. Chen B., Material Characterization of Tire Cords and the Effects of Cord Thermal-Mechanical Properties on Tires, *Tire Sci. Technol.*, **32**, 2-22, 2004.
21. Keum J.K., Crystallization and Transient Mesophase Structure in Cold-Drawn PET Fibers, *Macromolecules*, **36**, 9873-9878, 2003.
22. Ghoreishy M., Naderi G., and Zare M., Computer Simulation and Experimental Study of Deformation in a Radial Tire under Different Static Loads Using Finite Element Method, *Iran. J. Polym. Sci. Technol. (Persian)*, **27**, 325-336, 2014.
23. Chakravarty S.N., Developments in Tyre Cords- Some Observations, *Indian J. Fiber Text. Res.*, **22**, 259-263, 1997.
24. Hockenberger A.S., Effect of Twist on Performance of Tire Cord Yarns, *Indian J. Fiber Text. Res.*,**29** , 19-24, 2004.

www.SID.ir