بررسی عامل‌های مؤثر بر یکنواختی تایر

Investigation of Effective Parameters on Tire Uniformity

چکیده:

یکنواختی تایر نشان‌دهنده‌ی عملکرد عالی تایر ازنظر نیرو، ابعاد و تعادل جرمی‌ست. اگر این معیارها در سطح قابل‌پذیرشی حفظ نشوند، می‌توانند اثرهای منفی بر سواری وسیله‌ی نقلیه و ایجاد صدا داشته باشند. پیشرفت‌ها در طراحی وسیله‌ی نقلیه و رانندگی با سرعت بیشتر، نیازمند تایر یکنواخت‌تر است. با پیشرفت مواد، بهبود آمیزه‌کاری، ساخت و پخت دقیق، یکنواختی بیشتری به‌دست می‌آید. در این مقاله، عامل‌های طراحی و ساخت که بر یکنواختی تایر مؤثر است، بررسی‌شده است. یکنواختی به کنترل دقیق و پیوسته‌ی تمام فرایندهای ساخت و ارزیابی ثابت مواد و اجزای تایر بستگی دارد. کنترل زاویه‌ی نخ در کل مرحله‌های گوناگون تولید و مونتاژ دقیق اجزا، در طول ساخت تایر، ازجمله عامل‌های تأثیرگذار است. استفاده‌ی از ماشین‌آلات سنجش یکنواختی، ارزیابی یکنواختی تایر را در تولید بهبود می‌دهد و ابزاری برای تجزیه‌وتحلیل نایکنواختی‌هایی که در مرحله‌های ساخت یا طراحی ایجاد می‌شود، فراهم می‌کند.

واژه‌های کلیدی: یکنواختی، نیروی شعاعی، نیروی جانبی، محورگریزی.

نوع مقاله: مروری

فاطمه خودکار[1] و حسین روشنایی [2]و*

۱- دکتری مهندسی پلیمر، دانشگاه تربیت مدرس؛ و واحد تحقیق و توسعه- شرکت ایران یاساتایر و رابر

۲- واحد تحقیق و توسعه- شرکت ایران یاساتایر و رابر

*** عهده‌دار مکاتبات:**

roshanaei.hossein@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۶/۲/۱۴

تاریخ پذیرش: ۹۶/۷/۴

مقدمه

یکنواختی تایر درنتیجه‌ی توزیع یکنواخت نیروها در تایرِ درحال چرخش میسر می‌شود. ساخت یک تایر کاملاً یکنواخت غیرممکن است، زیرا در هرمرحله از ساخت، نوسان‌هایی وجود دارد. تنها کنترل دقیق تمامی فرایندهای تولید مواد و اجزای سازنده‌ی تایر می‌تواند نقص‌های اجتناب‌ناپذیری را که بر یکنواختی تایر تأثیر می‌گذارد، به کمترین میزان برساند. یکنواخت نبودن تایر، نوسان‌هایی در نیروهای واردشده توسط تایر به‌وسیله‌ی نقلیه ایجاد می‌کند و تأثیر آن با هربار چرخش تایر تکرار می‌شود. نوسان‌های دوره‌ای وسیله‌های نقلیه به سرعت وابسته است و به‌صورت ایجاد صدا، نوسان در فرمان‌پذیری، کف و صندلی، به‌طورمستقیم توسط راننده و مسافر احساس می‌شود.

تایرها از چهار جزء اصلی کائوچوها،

ترکیب‌های شیمیایی، منسوج‌ها[1] و سیم، ساخته‌ی می‌شوند که هنگام فرایند ساخت، باید ارزیابی دقیقی برای اطمینان از داشتن استانداردهای کیفیت و یکنواختی صورت گیرد [۱]. نایکنواختی تایر ناشی از نقص‌های تولید است که شامل تغییر شکل مواد خام در هنگام انبارش، جابه‌جایی منجید (کارکاس)[2] تایر در دستگاه‌های ساخت یا درون قالب پخت و روی‌هم قرار گرفتن غیرقابل پیش‌گیری مواد تسمه (بلت)[3] است. درنتیجه فرایند تولید تایر، بیشتر منجر به تولید تایر با توزیع جرمی نامناسب، گردی نامتقارن یا چگالی و سفتی نایکنواخت می‌شود. نایکنواختی تایر معمولاً به ۳دسته‌ی نایکنواختی ابعادی، نوسان‌های نیرو و عدم‌تعادل (نابالانسی)[4] جرمی تقسیم می‌شود. نایکنواختی ابعادی می‌تواند به‌صورت محورگریزی[5] شعاعی و جانبی[6] دیده شود که ناشی از وضعیت نادرست رویه (تِرِد)[7] و لایه‌های روی‌هم قرارگرفته است [۲].

به تایر در سه جهت گوناگون نیرو وارد می‌شود که می‌تواند منشأ خارجی داشته باشد یا توسط تایر ایجاد شود. این نیروها شامل نیروی عمودی یا شعاعی (در راستای عمود بر جاده است و راحتی سرنشین را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد)، نیروی طولی[8] یا مماسی (درراستای مسیر حرکت تایر است و شتاب‌گیری و ترمزگیری را تحت تأثیر قرار می‌دهد و شامل نیروی مقاومت غلتشی تایر است) و نیروی جانبی (درراستای عمود بر راستای مسیر حرکت تایر است و کنترل وسیله‌ی نقلیه را هنگام دور زدن تحت‌تأثیر قرار می‌دهد) است [۳]. نوسان‌های نیرو می‌توانند درجهت شعاعی، طولی و جانبی ایجاد شوند. مثال شناخته‌شده تغییرهای نیرو در جهت جانبی، مخروطسانی[9] و فرمان‌کِشی[10] است. البته‌ی نایکنواختی ابعادی و عدم‌تعادل جرمی نیز باعث ایجاد تغییرهای نیرو در زمان چرخش تایر می‌شود. عدم‌تعادل جرمی تایر معمولاً کمتر از سایر نایکنواختی‌های تایر موردتوجه است که این امر تا حدودی می‌تواند با تعادل جرمی چرخ خنثی شود [۴].

عامل‌های بررسی یکنواختی تایر

استانداردهای اندازه‌گیری یکنواختی تایر شامل بررسی نوسان‌های نیرو، مخروطسانی (نایکنواختی ساختار تایر که به حرکت مخروطوار آن منجر می‌شود)، فرمان‌کِشی (نایکنواختی تایر که موجب کشیده شدن تایر به یکسو می‌شود)، محورگریزی شعاعی، محورگریزی جانبی و برآمدگی/تورفتگی[11] دیواره (نقطه‌ی ضعیفی در دیواره‌ی تایر که هنگام باد کردن تایر بالا می‌آید)، می‌شود [۴].

در میان نوسان‌های نیرو، نوسان‌های نیروی شعاعی (RFV)[12] بیشترین نوسان را دارد و تحت‌تأثیر سرعت قرار نمی‌گیرند. ازاین‌رو، اندازه‌گیری‌ها در سرعت کم، پیش‌بینی خوبی از نوسان‌های نیرو در سرعت زیاد فراهم می‌کند. محورگریزی شعاعی تحت بار به نوسان‌های نیروی شعاعی- هم تایر و هم مونتاژ تایر/چرخ- ارتباط دارد. در محورگریزی شعاعی محل قرار گرفتن یا نشیمن طوقه‌ی[13] چرخ، مسؤول اولین هارمونیک RFV است. محورگریزی جانبی تایر یا چرخ در نوسان‌های نیروی شعاعی دخیل نیست. نوسان‌های نیروی شعاعی مستقل از بار است، درحالی‌که به فشار وابسته است. هم‌چنین عدم‌تعادل جرمی مونتاژ تایر یا چرخ با نوسان‌های نیروی شعاعی مرتبط خواهد بود.

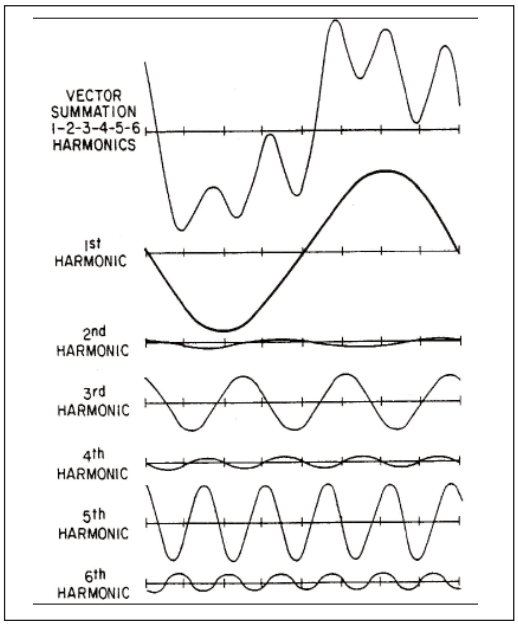
نوسان‌های نیروی جانبی (LFV)[14] با محورگریزی جانبی در تایر یا چرخ مرتبط نیست. نوسان‌های نیروی جانبی حساسیت زیادی به‌سرعت نشان نمی‌دهد؛ بنابراین اندازه‌گیری‌ها در سرعت کم نزدیک به عملکرد در سرعت زیاد است. نوسان‌های نیروی جانبی مستقل از فشار است، درحالی‌که به بار حساس است (به¬ویژه‌ی در تایرهای رادیال).

1. Fabrics 2. Carcass 3. Belt 4. Imbalance 5. Runout 6. Lateral 7. Tread 8. Longitudinal
9. Conicity 10. Ply- steer 11. Bulge/Depression 12. Radial Force Variation 13. Bead Seat 14. Lateral Force Variation

نوسان‌های نیروی طولی یا مماسی (TFV)[1] به‌شدت به‌سرعت بستگی دارد و نمی‌توان با اندازه‌گیری میزان آن در سرعت‌های کم، میزان آن در سرعت زیاد را پیش‌بینی کرد. هم‌چنین عدم‌تعادل جرمی در تایر یا چرخ، با نوسان‌های نیروی طولی یا مماسی ارتباط دارد. نوسان‌های نیرو در سرعت زیاد، مستقل از فشار و وابسته به بار (کاهش یا افزایش بار) است. نوسان‌های نیروی طولی در تایرها، از نوسان‌ها در هر دو ویژگی محورگریزی و سفتی تایر ناشی می‌شود. نوسان‌ها در شعاع تایرِ تحت بار (محورگریزی شعاعی تحت بار)، می‌تواند منابع نوسان‌های نیروی طولی باشند.

تایر نایکنواختی را فرض کنید که در شعاع تحت بار نوسان دارد. هنگامی‌که تایر می‌غلتد، نقطه‌های برجسته[2] در شعاع، در برابر غلتیدن مقاومت کرده و نیروی طولی برای گذر از سطح تماس اِعمال می‌کنند. مقدار نیروی طولی به‌طورمستقیم با سرعتی که تایر می‌چرخد، تغییر نمی‌کند. نوسان در شعاع موجب می‌شود سرعت چرخشی تایر هنگامی‌که می‌غلتد تغییر کند، اما سرعت زمین (سرعت وسیله‌ی نقلیه در طول مسیر آن) ثابت نگه‌داشته می‌شود. در هر چرخش تایر، مونتاژ تایر/چرخ افزایش و کاهش سرعت را تجربه می‌کند. مقدار شتاب واقعی به‌سرعت حساس است، سرعت بیشتر، شتاب بیشتر دارد. به‌علت اینرسی دَوَرانی، برای ایجاد پدیده‌ی شتاب‌گیری[3]، ترمزگیری[4]، نیروهای طولی باید در جاپای تایر ایجاد شود؛ بنابراین نوسان‌های نیروی طولی با عامل‌های یکنواختی شعاعی تایر مرتبط است [۵ و ۶].

نوسان نیرو می‌تواند به‌شکل موج نشان داده شود. شکل (۱)، نوسان نیروی شعاعی را برای یک دور چرخش تایر نشان می‌دهد و شکل (۱) اولین هارمونیک نوسان نیروی شعاعی (RH1) و طولی (LH1) را برحسب سرعت نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود، RH1 با سرعت آزمون به‌تدریج افزایش پیدا می‌کند، درحالی‌که LH1 در سرعت کم بسیار اندک و با افزایش سرعت، به‌شدت افزایش پیدا می‌کند. نوسان نیروی طولی با محورگریزی شعاعی تایر و توان دوم سرعت متناسب است.



شکل ۱- نوسان نیروی شعاعی برای یک دور چرخش تایر [۷]

نقص‌های ساخت یا مواد، روی نوسان نیروی شعاعی یا طولی مؤثر است. نقص‌هایی که روی نوسان جرمی تایر مؤثر هستند، در نوسان نیروی شعاعی بسیار اهمیت دارند و نقص‌هایی که روی نوسان محورگریزی یا سفتی مؤثر هستند، در نوسان نیروی طولی اهمیت بیشتری دارند. در جدول (۱)، برخی از منابع نوسان نیرو آورده شده است.

جدول ۱- منابع نوسان نیروی نایکنواختی تایر [۷]

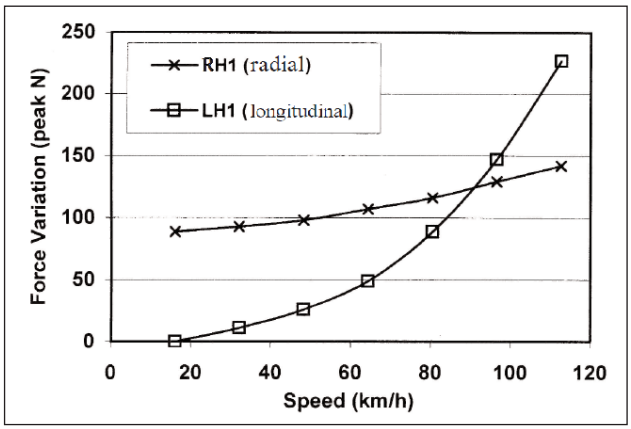
منبع	نوسان نیروی شعاعی	نوسان نیروی طولی
سنگینی یا سبکی محل پیوند	**	*
نخ‌های دسته‌ای یا پراکنده	**	*
تغییر ضخامت رویه	**	*
تنظیم نامتقارن طوقه	*	**
ناهم‌ترازی درام ساخت تایر	*	**
ناهم‌ترازی قالب	*	**
محورگریزی منجید	*	**

* = اثر کم ** = اثر زیاد

1. Tangential Force Variation
2. High Points
3. Acceleration
4. Deceleration

سال‌هاست که در دستگاه‌های یکنواختی برای کاهش نوسان‌های نیروی شعاعی، تایرها سمباده زده می‌شوند که این فرایند بیشتر برای اولین هارمونیک نیروی شعاعی مؤثر است. سمباده‌زنی[۱] از راه حذف مقدارهای کوچک لاستیک در ناحیه‌ی شانه‌ی[۲] تایر یا در سراسر سطح رویه انجام می‌شود. در سال‌های اخیر، سمباده‌زنی محبوبیت خود را ازدست‌داده و برای سازندگان خودرو و مشتریان تایر کمتر قابل‌پذیرش است.

روش دیگر مورداستفاده برای کاهش RH1، درست سوار کردن تایر[۳] است. این روش به‌طورمعمول در پایان مونتاژ وسیله‌ی نقلیه به‌کار می‌رود، جایی که تایرها و چرخ‌ها به هم می‌رسند. در این فرایند، تایر و چرخ به‌گونه‌ای قرار می‌گیرند که نقطه‌ی بالایی RH1 برای تایر، هم‌راستای نقطه‌ی پایین اولین هارمونیک محورگریزی نشیمن طوقه‌ی چرخ باشد. این فرایند، اولین هارمونیک کلی نوسان نیروی شعاعی را برای مونتاژ تایر/چرخ به کمترین میزان می‌سازد (شکل ۲) [۷].



شکل ۲- اولین هارمونیک نوسان نیروی شعاعی و طولی برحسب سرعت [۷]

یکی از عامل‌های نوسان نیروی جانبی، مخروطسانی‌ست. مخروطسانی ویژگی‌ای است که تمایل تایر به چرخش شبیه مخروط را نشان می‌دهد. این تمایل بر عملکرد فرمان‌پذیری خودرو تأثیر می‌گذارد. برای تعیین مخروطسانی، نیروی جانبی باید در هر دوجهت ساعت‌گرد[۴] و پادساعت‌گرد[۵] اندازه‌گیری شود. مخروطسانی به‌صورت نصف اختلاف این مقدارها اندازه‌گیری می‌شود. مقدارهای CW و CCW دارای علامت مخالف هستند. در بسیاری از خودروهای با کارایی زیاد، تایرها با مخروطسانی مساوی در سمت چپ و راست خودرو قرار می‌گیرند تا اثرهای مخروطسانی یکدیگر را خنثی کنند تا عملکرد سواری راحت‌تر با اثر فرمان‌کشی کمتر ایجاد کنند. انحراف از مرکزیت اجزای تایر هنگام مونتاژ و عدم تقارن جرمی پروفایل رویه یا تسمه، از دلیل‌های اصلی ایجاد نیروی مخروطسانی‌ست. چنانچه مخروطسانی بیش‌ازحد باشد، باعث کشیده شدن فرمان به یکسو می‌شود.

دیگر عامل نوسان نیروی جانبی، فرمان‌کِشی است. فرمان‌کِشی نیروی جانبی را شرح می‌دهد که در تایر هنگامی‌که روبه‌جلو با زاویه‌ی لغزش صفر می‌چرخد، به‌علت عدم تقارن، در منجید ایجاد می‌شود. این ویژگی معمولاً به‌صورت راه رفتن خرچنگ‌وار اشاره می‌شود که بر عملکرد فرمان‌پذیری خودرو تأثیر می‌گذارد. این نیرو به‌خاطر زاویه و انحنای لایه‌های تسمه‌ی به‌وجود می‌آید و باعث می‌شود که فرمان از دست راننده به یکسو کشیده شود. به‌منظور تعیین فرمان‌کشی، نیروی جانبی ایجادشده هنگام چرخش تایر روبه‌جلو و روبه‌عقب اندازه‌گیری می‌شود و سپس به‌صورت نصف مجموع این مقدارها محاسبه می‌شود. این مقدارها دارای علامت مخالف هستند. نیروی فرمان‌کشی درصورتی‌که هیچ اشکالی در ساخت تایر وجود نداشته باشد، به‌طور ذاتی در تایر ایجاد می‌شود و اجتناب‌ناپذیر است؛ فقط ممکن است عامل‌هایی مانند تغییر زاویه‌های تسمه آن را تشدید کند.

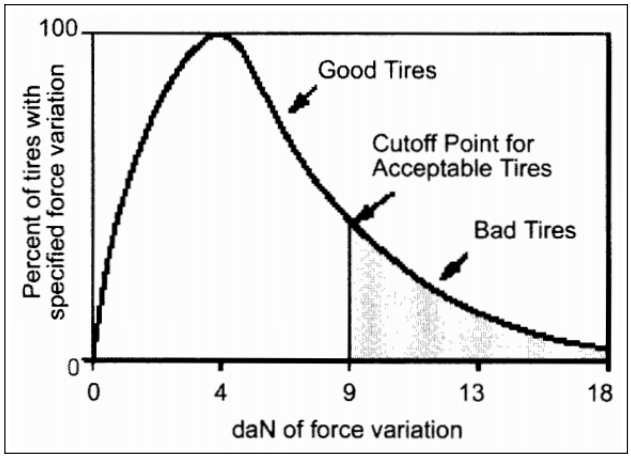
محورگریزی شعاعی (RRO)، انحراف ناهمواری‌های تایر از یک دایره‌ی کامل را توصیف می‌کند. محورگریزی شعاعی اثر مشابه نوسان نیروی شعاعی دارد. برخی از تایرسازان برای

1. Grinding 2. Shoulder 3. Match Mounting 4.Clockwise (CW) 5. Counter Clockwise (CCW)

نشان دادن محل بیشترین نیروی شعاعی یا محورگریزی، نقطه‌ای قرمز روی دیواره‌ی تایر می‌گذارند. محورگریزی جانبی (LRO) انحراف دیواره‌ی تایر از یک سطح صاف را توصیف می‌کند. محورگریزی جانبی نیز اثر مشابه نوسان نیروی جانبی وارد می‌کند [۳ و ۸].

از آن‌جایی‌که تایر مونتاژ چند جزء است که در قالب پخت می‌شود، متغیرهای فرایندی زیادی وجود دارد که باعث تورفتگی‌ها و برآمدگی‌های دیواره می‌شوند. این دو نقص چشمی هستند و ممکن است در شرایط ساخت ناقص مانند فقدان نخ[1] دیده شود. اگر در هنگام تولید تایر، محل پیوند[2] (اسپلایس)، لایه‌ها به‌طور کامل روی‌هم قرار نگیرند، درنتیجه‌ی عدم وجود نخ‌های لایه‌ی تقویت‌کننده در قسمتی کوچک از تایر، برآمدگی روی دیواره‌ی تایر ظاهر می‌شود. این امر باعث می‌شود زمانی‌که تایر باد می‌شود، برآمدگی کوچک رشد کند. این نقص ممکن است باعث وادادگی زودرس تایر شود و هوا را برای مدت طولانی حفظ نکند. تورفتگی هنگامی ظاهر می‌شود که محل پیوند لایه‌ها بیش‌ازحد روی‌هم قرار گیرند. باگذشت زمان، نخ‌ها در ناحیه‌هایی که بیش‌ازحد روی‌هم قرارگرفته، شروع به رشد می‌کنند؛ درحالی‌که نخ‌های لایه‌ی درون محل پیوند رشد نمی‌کنند. این باعث فرورفتگی[3] کوچکی در این محل می‌شود. هم‌چنین اِشکال‌های به‌وجود آمده در فرایند کلندرینگ لایه‌ها، می‌تواند از عامل‌های مهم ایجاد این عیب‌ها باشد [۹].

منحنی توزیع نرمال به نسبت تغییرهای نیرو، به درصد تایرهایی که با یک تغییر نیروی مشخص می‌توانند یک منحنی توزیع نرمال را به‌وجود آوردند، گفته می‌شود. این منحنی از صفر آغاز می‌شود، پیش از نقطه‌ی عطف به‌تندی سیر صعودی دارد، ولی پس از نقطه‌ی عطف به‌کندی سیر نزولی دارد؛ به‌طوری‌که این منحنی دارای دنباله‌ی بلندتری نسبت به حالت صعودی است. هرچه دنباله‌ی پس از نقطه‌ی عطف، کشیده‌تر و بلندتر باشد، تایرهای بیشتری خارج از Spec بوده که عامل آن تغییرهای نیرویی و مشکل‌های یکنواختی آن تایرهاست (شکل ۳) [۱۰].



شکل ۳- منحنی توزیع نیرو [۱۰]

عامل‌های طراحی و ساخت مؤثر بر یکنواختی تایر

برخی عامل‌های طراحی و ساخت بر یکنواختی تایر مؤثر هستند. یکنواختی به کنترل دقیق و پیوسته‌ی تمام فرایندهای ساخت و ارزیابی ثابت مواد، اجزا و تایر ساخته‌شده بستگی دارد. طراحی و انتخاب درست مواد برای رسیدن به کمترین میزان غیریکنواختی اهمیت دارد. یکنواختی تایر برای الزام‌های دوام و زیبایی اهمیت یافته است. به‌طورکلی نوسان نیرو، محورگریزی و تعادل جرمی، معیار اصلی برای توصیف یکنواختی تایر هستند. یک تایر کاملاً یکنواخت، هنگام غلتیدن تحت بار در یک جاده‌ی صاف، نباید هیچ اختلالی در وسیله‌ی نقلیه ایجاد کند و نباید به‌سرعت حساس باشد. به‌منظور ارزیابی یکنواختی تایر از دستگاه‌های یادشده در جدول (۲) استفاده‌ی می‌شود.

منابع نایکنواختی تایر ممکن است شامل یک یا چند مورد زیر باشد که در ادامه بیشتر شرح داده‌شده است.

۱- رویه، دیواره و اینرلاینر (آستر درونی) درحالت خام،

1. Cord 2. Splice 3. Indentation

به‌مدت طولانی روی غلتک‌ها انبار شوند. درحالت خام، در طول انبارش و ساخت تایر، لاستیک می‌تواند تغییرشکل دهد؛ بنابراین، اجزای تایر خام ممکن است پیش از پخت، ضخامت را به‌طور یکنواختی حفظ نکنند

۲- طوقه‌ها ممکن است به‌طور نایکنواختی تغییرشکل دهند، زیرا آن‌ها حاوی بستر لاستیکی خام هستند و تحت این بستر قابل‌تغییر شکل قرار دارند.

۳- پیش از پخت، موقعیت لایه‌ی درون تایر به‌وسیله‌ی کائوچوی خام اطراف محکم نگه‌داشته می‌شود. اگر کائوچوی خام تغییرشکل دهد، موقعیت لایه ممکن است جابجا شود.

۴- جایی‌که لایه از سر به هم وصل می‌شود (در درام ساخت هم‌پوشانی می‌کند)، ضخامت آن دو برابر شده و سفت‌تر از مابقی لایه است.

۵- ممکن است نخ‌های لایه‌ی روی درام ساخت، در جهت و کشش یکنواختی قرار نگیرند و دوطوقه ممکن است نسبت به یکدیگر به‌طورکامل موازی نباشد.

۶- در قالب، جمع‌شدگی نخ و باد شدن منجید ممکن است باعث سُر خوردن نخ‌ها در اطراف طوقه‌ها شود، اما ممکن است محل‌های پیوند لایه‌ها نسبت به مابقی جاهای لایه، تمایل کمتری به سُر خوردن داشته باشد.

۷- اگر تسمه و رویه به‌طور متقارن روی منجید خام قرار نگیرند، تایر پخت شده یکنواخت نخواهد شد.

۸- اگر تایر خام به‌صورت متقارن درون قالب قرار نگیرد، تایر پخت شده یکنواخت نخواهد شد.

۹- در قالب، بلادر باد شده، لایه را به‌سمت خارج می‌کشد و هنگام گرمایش، الیاف نایلون یا پلی‌استر لایه جمع می‌شوند و درنتیجه لایه بیشتر کشیده می‌شود. در شرایط کشش، لایه به اندازه‌های گوناگون در نقطه‌های گوناگون اطراف طوقه سُر می‌خورد.

۱۰- در قالب، تایر می‌تواند در زمان‌های گوناگون در مکان‌های گوناگون سفت شود، بنابراین باعث تنش نایکنواخت لایه می‌شود [۱۱].

مواد و آمیزه‌کاری:

در هرکارخانه‌ی تایرسازی، صدها مواد خام از انواع کائوچوها، پرکننده‌ها، روغن‌ها، سیم‌ها، منسوج‌ها و انواع ترکیب‌های شیمیایی دیگر مصرف می‌شود که کیفیت و میزان یکنواختی آن پیش از استفاده در تایرها باید آزمایش شود. این ارزیابی‌ها می‌تواند از راه بررسی چشمی، توسط افراد ماهر یا تجزیه‌وتحلیل آزمایشگاهی انجام شود.

عملکرد تایر بستگی به کیفیت و مشخصات مواد و انتخاب و فرمول‌بندی مناسب آن‌ها دارد. پیروی از مشخصات دقیق و استانداردهای کنترل کیفیت، پیش‌نیاز یکنواختی محصول نهایی‌ست. مرحله‌ی ساخت آمیزه‌های کائوچوی مصنوعی و

جدول ۲- دستگاه‌های بررسی یکنواختی تایر [۱۴]

دستگاه	هدف
دستگاه تعادل	تعیین مقدار عدم تعادل جرمی و تعیین محل سبک تایر به‌طور نظری
دستگاه محورگریزی	اندازه‌گیری و ثبت حداکثر و پیوستگی محورگریزی شعاعی و جانبی تایر نصب‌شده بر رینگ درست
دستگاه سنجش ضخامت	ثبت ضخامت پیوسته‌ی و ضخامت کل تایر در شانه‌های رویه و خط مرکزی دور تایر
رادیوگرافی خشک[1] یا فلورنمای الکترونی[2]	بررسی چشمی اجزا در تایر پخت‌شده و پخت‌نشده
دستگاه نوسان نیرو	اندازه‌گیری و ثبت نوسان نیروی شعاعی، جانبی و طولی تایر تحت بار درحال چرخش با شعاع ثابت

1. Xeroradiography 2. Electron Fluoroscope

طبیعی، منسوج‌ها و سیم ازنظر رعایت رواداری وزن و ابعاد اهمیت دارد، زیرا تغییرها در این موارد به‌طورمستقیم روی تایر نهایی تأثیر می‌گذارد.

محورگریزی تسمه و نوسان جرمی تسمه:

نقص‌های ابعادی مانند محورگریزی تسمه ناشی از فرایند تولید است و نیروهای طولی و شعاعی ایجاد می‌کند. هم‌چنین محورگریزی تسمه باعث عدم تعادل جرمی می‌شود. تغییر ضخامت محل پیوند رویه باعث نوسان اندازه‌ی رویه می‌شود. ترکیبی از محورگریزی تسمه و نوسان اندازه‌ی رویه، به‌عنوان محورگریزی کل اشاره می‌شود. نایکنواختی‌ها از توزیع غیریکنواخت سفتی درجهت‌های گوناگون نتیجه می‌شود. تغییرهای سفتی شعاعی باعث نوسان‌های نیروی شعاعی و مماسی می‌شود، درحالی‌که تغییرهای سفتی مماسی باعث ایجاد نیروهای مماسی یا طولی می‌شود [۱۲].

محورگریزی تسمه به‌عنوان افست مرکز ابعاد حلقه‌ی تسمه نسبت به مرکز چرخش تعریف می‌شود. محورگریزی تسمه به عدم تعادل جرمی اشاره می‌کند، زیرا مرکز ثقل تسمه نسبت به چرخش، خارج است. از آن‌جایی‌که بیشتر تایرها در عمل متعادل می‌شوند، محورگریزی ناشی از عدم تعادل جرمی با مقدار مشخصی وزن جبران می‌شود. مقدار جرم متعادل می‌تواند از رابطه‌ی (۱) محاسبه شود. در این رابطه، m_{Belt} جرم تسمه، r_B محورگریزی تسمه و r_{Rim} شعاع رینگ است.

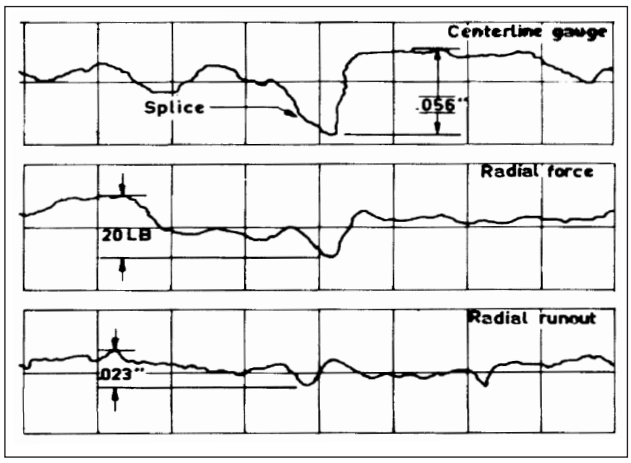
$$m = m_{Belt} \times (r_B/r_{Rim}) \qquad (۱)$$

نوسان جرمی تسمه نیاز به حفظ تعادل محورگریزی دارد. نوسان نیرو به‌طورعمده، به‌علت نیروی گریز از مرکز ناشی از عدم تعادل جرمی‌ست و درنتیجه اثر سرعت بر هر دوی T1H و R1H قابل‌توجه است [۱۲].

اندازه‌ی رویه:

نوسان‌های اندازه‌ی رویه به‌علت نوسان‌های ضخامت رانش‌گری و محل‌های پیوند آن رخ می‌دهد. محورگریزی تسمه و نوسان‌های اندازه‌ی رویه، ازجمله نقص‌های ابعادی هستند. شبیه‌سازی محورگریزی تسمه و نوسان اندازه‌ی رویه، در سرعت غلتش ثابت نشان می‌دهد که نوسان نیرو برای R1H، به‌شدت به نقص ابعادی بستگی دارد، درحالی‌که T1H مستقل از نوسان اندازه‌ی رویه است [۱۲].

برای اطمینان از توزیع یکنواخت رویه در تایر، طول، وزن و اندازه‌ی آن باید به‌دقت کنترل شود. روش‌های بسیاری برای اِعمال رویه وجود دارد؛ بااین‌حال، رویه‌ها معمولاً در درام ساخت تایر اعمال می‌شوند. این روشِ اِعمال، مستعد تمرکز هرگونه نوسان طولی در ناحیه‌ی پیوند رویه است. این اثر می‌تواند با بررسی نیروی شعاعی، محورگریزی یا منحنی‌های اندازه‌ی ضخامت تایر نهایی تعیین شود. در شکل (۴) نتیجه‌های نایکنواختی ایجادشده به‌واسطه‌ی رویه‌ای که ازنظر طولی زیر حد مجاز بوده، آورده شده است [۱۴].



شکل ۴- اثر طول کم رویه‌ی [۱۴]

طول اضافی رویه، به‌علت بیش‌ازحد کشیدن رویه‌ی در هنگام اِعمال در درام ساخت تایر، نیز بر نیروی شعاعی، محورگریزی

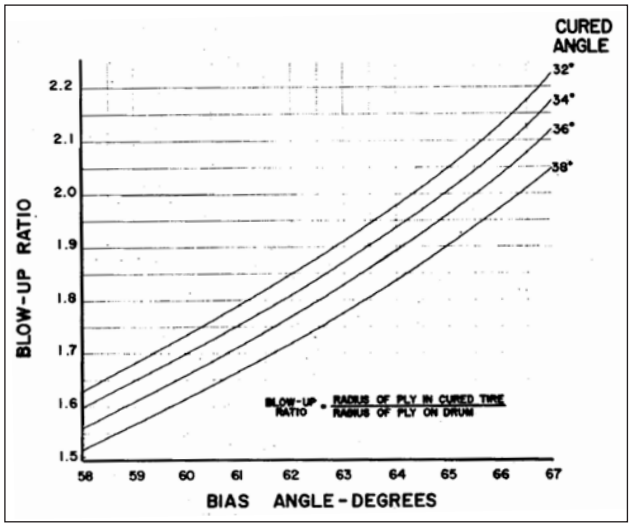
شعاعی و ضخامت شانه‌ی رویه‌ی تأثیر می‌گذارد. محل پیوند رویه‌ی ضخیم باعث عدم تعادل جرمی می‌شود و این، منبع بسیار مهم نایکنواختی شناخته‌شده است. تعادل جرمی می‌تواند تا حدودی جبران شود؛ اما محل پیوند رویه‌ی ضخیم که کمتر از مابقی جاهای رویه انعطاف‌پذیری دارد و سفتی متفاوتی دارد، نمی‌تواند با افزودن وزن (سُرب) متعادل مناسب به چرخ، اصلاح یا جبران شود. نیروهای لازم برای شتاب رویه‌ی تایر در ناحیه‌ی تماس ممکن است به‌طور چشم‌گیری با توزیع جرم نایکنواخت تغییر کند. تغییر در نیروهای اینرسی باعث تغییرهای شعاع چرخش مؤثر[1] خواهد شد. نوسان‌های شعاع چرخش مؤثر می‌تواند با اندازه‌گیری سرعت‌های زاویه‌های چرخ و درام در دستگاه یکنواختی بررسی شود. نوسان‌های شعاع چرخش باعث شتاب زاویه‌ها[2] می‌شود که موجب نوسان‌های نیروی مماسی متناسب با سرعت رو به جلو می‌شود. محل‌های پیوند رویه که مازاد روی‌هم قرارگرفته است نیز نوسان‌هایی در مقاومت غلتشی نشان می‌دهد. در مرکز نبودن رویه‌ی تایر، منجر به نوسان‌های نیروی جانبی و ضخامت شانه می‌شود [۱].

پارچه‌ی لایه و زاویه‌ی نخ:

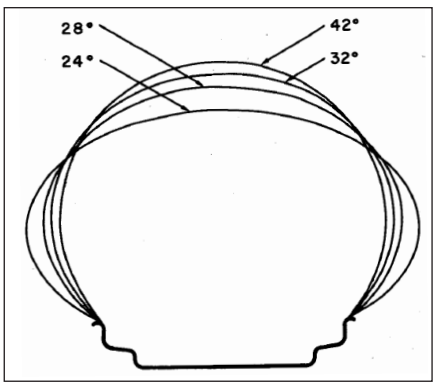
پس از اِعمال کائوچو به نخ‌ها در فرایند کلندرینگ یا غلتکرانی، منسوج لایه با زاویه‌ی معینی بریده‌شده و برای تشکیل منسوج لایه‌ی تخت[3] از سر وصل می‌شوند که درنهایت منجید یا بخش مستحکم تایر را تشکیل می‌دهد. هرگونه نایکنواختی در روش ساخت لایه، به‌دلیل تغییر نقشه‌نگاری[4] تاروپود، هنگام شکل‌گیری لایه‌ی درون تایر نهایی، تأثیر خود را بر نایکنواختی تایر بیشتر نشان می‌دهد. شکل (۵) نسبت رشد با تغییر زاویه‌های نخ (زاویه‌های بایاس) در درام ساخت تایر را نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود، یک درجه نوسان در زاویه‌ی نخ، موجب ۲ تا ۳ درجه نوسان در تایر پخت شده می‌شود.

زاویه‌ی نهایی یا پخت‌شده‌ی نخ‌ها، شکل تایر را تعریف می‌کند؛ بنابراین کنترل زاویه‌ی نخ باید دقیق و یکنواخت باشد تا به‌شکل مطلوب با ابعاد ثابت دست‌یافت. شکل (۵) اثر زاویه‌ی نخ بر سطح مقطع شکل تایر را نشان می‌دهد. شکل‌های (۵) و (۶) نشان می‌دهند که نوسان زاویه‌ی درون تایر می‌تواند اثرهای چشم‌گیری بر ابعاد و درنتیجه نیروهای مرتبط داشته باشد. به‌همین دلیل کنترل زاویه‌ی نخ، عامل مهمی در کنترل یکنواختی تایر است [۹].

از آن‌جایی‌که زاویه‌ی نخ، نسبت ارتفاع به عرض منجید تایر را تعیین می‌کند، اندازه‌گیری تغییرهای عرضی در دیوارهای تایر می‌تواند نشان‌دهنده‌ی تغییرهای زاویه‌ی نخ در تایر باشد [۱].



شکل ۵- ارتباط نسبت رشد (نسبت قطر نهایی به قطر ساخت)، زاویه‌ی بایاس و زاویه در تایر پخت شده [۱۴]

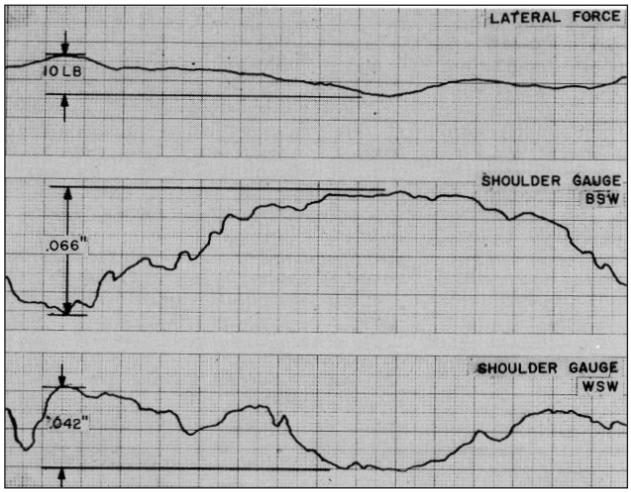


شکل ۶- اثر تغییر زاویه بر شکل تایر [۱۴]

1. Effective Rolling Radius
2. Angular Acceleration
3. Flat Ply Fabric
4. Pantographing

حمل:

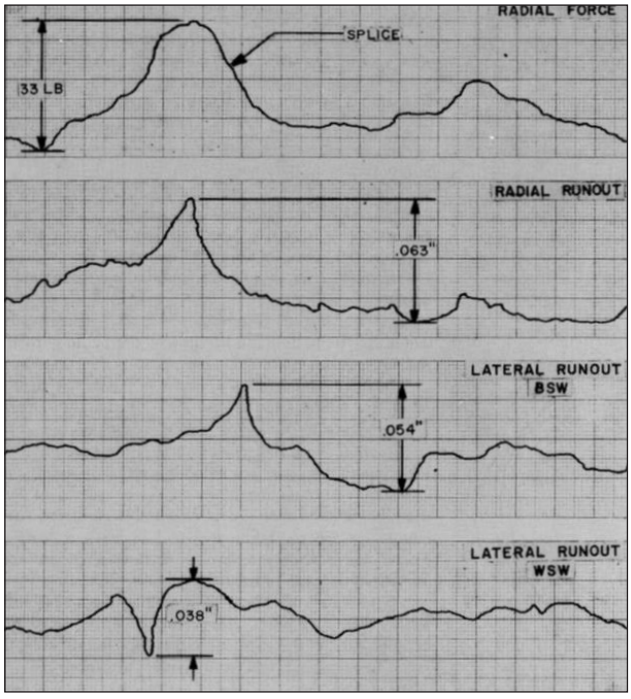
برای حفظ یکنواختی، تجهیزات حمل‌ونقل ویژه‌ای برای حمل و انبارش بسیاری از اجزای تایر نیاز است. اجزای پخت نشده به‌راحتی با هر فشار یا نیروی خارجی تغییرشکل می‌دهند و درنتیجه برای حفظ یکنواختی آن‌ها در هنگام عملیات حمل‌ونقل، نیاز به برخی مواد تقویت‌کننده است. علاوه بر این، ضروری‌ست که این مواد هیچ‌گونه ماده‌ی خارجی یا آلودگی که می‌تواند بر دوام و یکنواختی تأثیر بگذارد، نداشته باشند.



شکل ۷- اثر رویه‌ی خارج از مرکز [۱۴]

ساخت تایر:

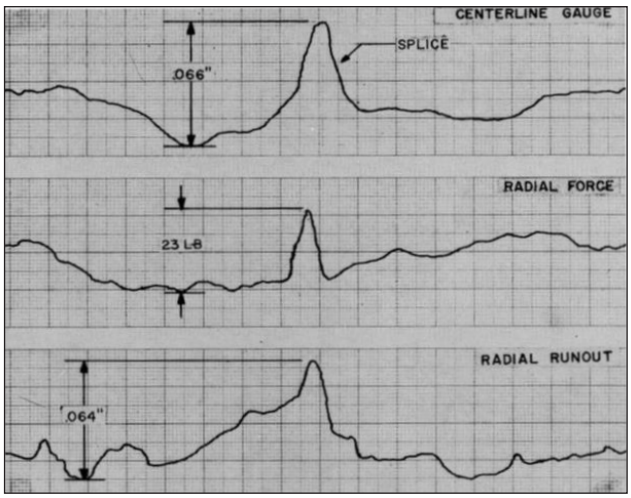
در گذشته ساخت تایر کاملاً دستی انجام می‌شد. با افزایش تولید تایر و نیاز به دوام و یکنواختی بیشتر، بیشتر کارهای دستی حذف‌شده‌اند. بااین‌حال، سایر عملیاتِ دستیِ باقی‌مانده، نیازمند آموزش، انتخاب و نظارت دقیق کارکنان و توسعه و نصب تجهیزات دقیق ساخت تایر است. برخی از نایکنواختی‌های تایر در مرحله‌ی ساخت اتفاق می‌افتد. خارج از مرکز بودن رویه، یکی از این موردهاست. شکل (۷)، اثر ساخت تایر با رویه‌ی خارج از مرکز را با مقایسه‌ی منحنی‌های نیروی جانبی و تغییر ضخامت شانه نشان می‌دهد. بررسی این منحنی‌ها نشان می‌دهد که به‌علت نوسان‌ها، در اندازه‌ی ضخامت شانه، نوسان جانبی مرتبه‌ی اول در وسیله‌ی نقلیه ایجاد می‌شود. حرف‌های اختصاری WSW و BSW دیده‌شده در شکل‌های (۷) تا (۱۱)، به‌ترتیب معادل دیواره‌ی سفید[1] و دیواره‌ی سیاه[2] است. دیگر نایکنواختی تایر که در مرحله‌ی ساخت ایجاد می‌شود، باز بودن محل‌های پیوند لایه است. شکل (۸) اثر نیرو و محورگریزی را برای تایر با پیوند لایه‌ی باز نشان می‌دهد. در این مورد، سازنده‌ی تایر، لایه را بسیار کوتاه بریده است.



شکل ۸- اثر محل پیوند لایه‌ی باز [۱۴]

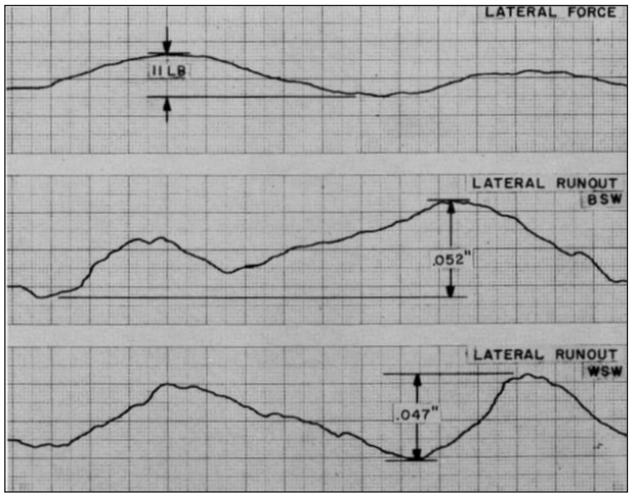
1. White Sidewall 2. Black Sidewall

شکل (۹)، اثر کشیدگی رویه هنگام چسباندن در درام ساخت تایر را نشان می‌دهد. این امر باعث طول بیش‌ازحد در محل پیوند رویه، تأثیر بر نیروی شعاعی، محورگریزی و ضخامت شانه‌ی رویه می‌شود. هم‌چنین، محل‌های پیوند برجسته یا دارای چین‌وچروک و موج‌دار موجب نایکنواختی می‌شوند. دلیل دیگر نایکنواختی در طوقه‌های غیر هم‌مرکز ممکن است ناشی از تراز نادرست درام ساخت تایر باشد. همان‌طور که در شکل (۱۰) دیده‌ی می‌شود، درام ساخت تایر، اگر به‌درستی تراز نباشد، می‌تواند موجب بی‌نظمی در تایرها شود. در این مورد، حلقه‌های طوقه به‌طور نادرست و خارج از مرکز درام ساخت تایر تنظیم‌شده است؛ بنابراین، محورگریزی جانبی مرتبه‌ی دوم و نوسان نیرو در تایر ایجاد می‌شود.

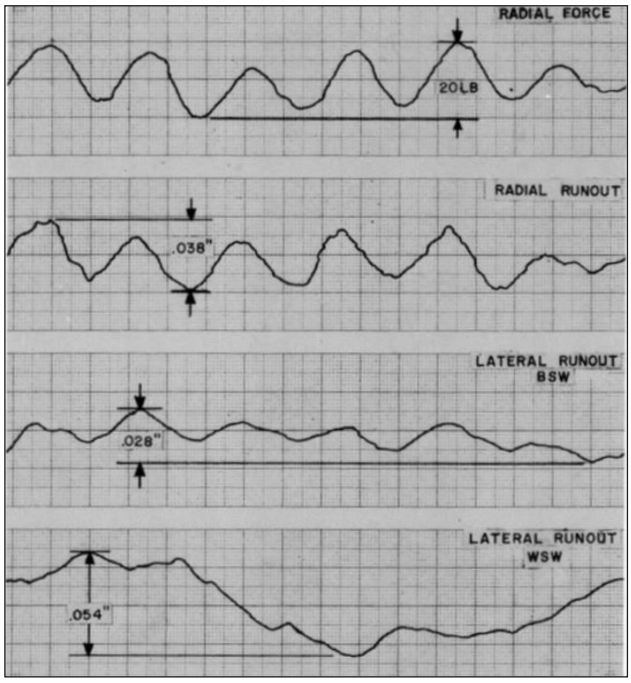


شکل ۹- اثر کشیدگی رویه [۱۴]

عامل دیگری که بر یکنواختی تایر تأثیرگذار است، خود درام ساخت تایر است. درام ساخت تایری را فرض کنید که از ۶ قطعه[1] ساخته‌شده است تا قطر نسبتاً کوچک‌تر از قطر اسمی طوقه‌ی تایر جمع می‌شود[2]. در روش ساخت تایر نیاز است که لایه‌ی روی درام در وضعیت جمع‌شده اِعمال شود و سپس برای اِعمال طوقه‌ها، رویه و دیواره ۱ تا ۱٫۲ اینچ باز شود[3]. تمرکز تنش بر لایه در هنگام باز شدن درام، موجب کج‌وکولگی منجید تایر، در محل پیوند قطعه‌های درام ساخت تایر می‌شود، درنتیجه منجر به نوسان‌های مرتبه‌ی ششم در نمودارهای نیرو و محورگریزی می‌شود (شکل (۱۱)) [۱۴].



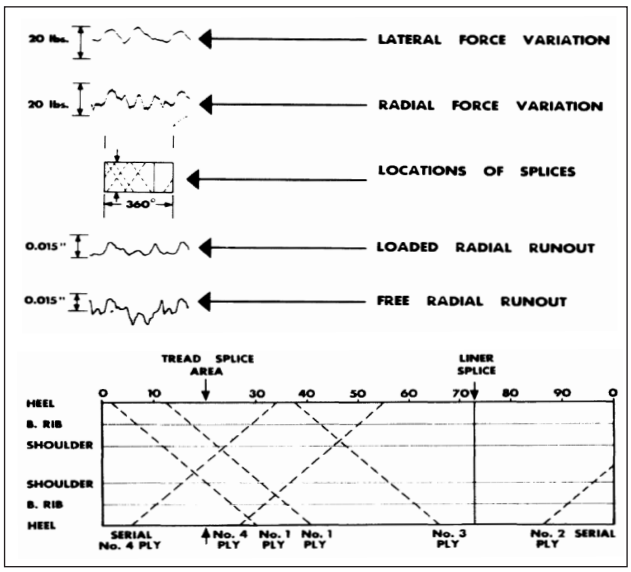
شکل ۱۰- اثر خارج از مرکز بودن طوقه [۱۴]



شکل ۱۱- درام ساخت تایر ۶ قطعه‌ای [۱۴]

1. Segment 2. Collapse 3. Expand

شکل (۱۲) اثر محل پیوند در اندازه‌گیری یکنواختی را نشان می‌دهد. پس از اندازه‌گیری تایرها در سه‌نقطه‌ی آج[1] و دو نوار ساب‌زنی[2] در دو طرف تایر بریده شدند. محل تمامی پیوندهای لایه و لاینر در نمودار پایینی شکل (۱۲) مشخص‌شده است. همان‌طور که دیده می‌شود تغییرهای نیروی شعاعی در محل پیوند لاینر و در نزدیکی تقاطع پیوندهای لایه اتفاق می‌افتد، جایی‌که چنین تقاطعی در نزدیکی آج وجود دارد. نیروی جانبی، شعاع تحت بار و شعاع آزاد نیز تغییرها در نزدیکی محل پیوند لاینر را نشان می‌دهد [۱].

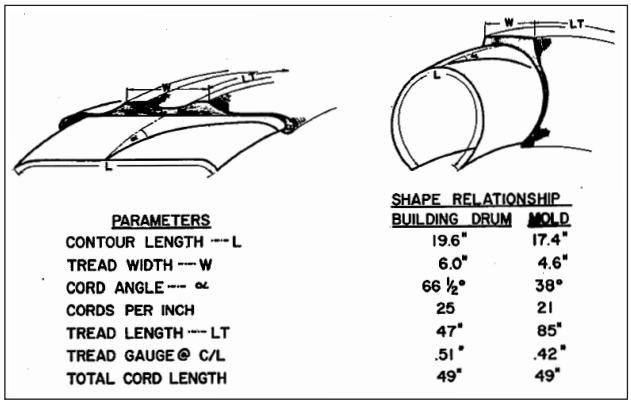


شکل ۱۲- ارتباط بین محل پیوند و اندازه‌گیری یکنواختی [۱]

پخت:

عملیات پخت مرحله‌ی بسیار مهمی در فرایند ساخت، ازنظر ایجاد یکنواختی‌ست. مهم‌ترین مرحله زمانی‌ست که تایر در ابتدای چرخه‌ی پخت شکل می‌گیرد. تمام اجزای تایر پخت‌نشده، متحمل تغییرهای ابعاد، شکل، ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی در طی فرایند پخت می‌شوند. در فرایند پخت، تایر استوانه‌ای پخت‌نشده، در عرض ۳۰ ثانیه تغییر پیدا می‌کند. در عرض این چند ثانیه، طول پیرابند (پروفایل ترد)[3] سطح مقطع، از طوقه تا طوقه کاهش پیدا می‌کند. زاویه‌ی نخ متناسب با تغییر اندازه‌ی تایر بین نخ‌ها و لایه‌ها تغییر می‌کند و ابعاد رویه و دیواره‌ها، در تأثیر از لایه‌ها و نیروی ناشی از فشار شکل‌گیری درون قالب تایر قرار می‌گیرد.

شکل (۱۳) نمونه‌ای از شکل تایر سواری، پیش و پس از شکل‌گیری را نشان می‌دهد. هنگامی‌که چرخه‌ی شکل‌گیری شروع می‌شود، بلادر از راه فشار بخار منبسط می‌شود تا با درون تایر در تماس باشد و تا زمانی که بلادر و تایر حفره‌ی قالب را پرکرده‌اند، شکل‌گیری ادامه پیدا می‌کند. انتخاب اندازه و طرح بلادر، مقدار کشش را کنترل می‌کند. این عامل‌ها همراه با قرارگیری درست تایر در بلادر و روان‌کاری هر دو، منجر به شکل‌گیری صاف و یکنواخت تایر می‌شود. عامل دیگر پخت، مربوط به قالب تایر است. بدیهی‌ست یکنواختی تایر نهایی، از یکنواختی ابعادی قالب پخت ناشی می‌شود. قالب پخت به‌طور چشم‌گیری به تغییرهای ابعادی تایر کمک می‌کند. امروزه روش‌های طراحی، ریخته‌گری و ماشین‌کاری به‌حدی رسیده است که این عامل اثر کمی می‌تواند بر یکنواختی تایر داشته باشد [۱۴].



شکل ۱۳- تغییر ابعادی از درام ساخت تایر تا قالب [۱۴]

پیرابند (پروفایل ترد) رویه:

دیگر عامل مهم، اندازه‌ی پیرابند (پروفایل ترد) رویه‌ی پخت

1. Crown 2. Buffing Ribs 3. Contour

نشده است. طراحی مناسب پیرابند (پروفایل ترد) رویه، در حالت پخت‌نشده، به توزیع یکنواخت مواد رویه در تایر کمک می‌کند. همان‌طور که در شکل (۱۳) نشان داده‌شده است، هنگامی‌که تایر شکل می‌گیرد و پخت می‌شود، رویه متحمل تغییرهای ابعادی زیادی می‌شود. این تغییرها به‌دلیل طرح منجید، کشش ناشی از افزایش قطر و جابجایی اجباری مواد رویه ایجاد می‌شود؛ زیرا رویه بین قالب و منجید تایر، تحت‌فشار زیاد پخت محدودشده است. ممکن است جابجایی اجباری بیش‌ازحد رویه، به‌اندازه و محل تقریبی موردنظر در طراحی نامناسب پیرابند (پروفایل ترد) مربوط باشد؛ بااین‌حال، این امر به‌طورکلی باعث تداخل تایر با قالب، در طول شکل‌گیری و درنتیجه کج‌وکولگی رویه در تایر پخت شده می‌شود. در چنین شرایطی، در طول ساخت پیرابند (پروفایل ترد) رویه، برای بررسی جریان مواد رویه و کمترین حد شدن تأثیر منفی آن بر یکنواختی، بررسی‌های ویژه باید انجام شود [۱۴].

اثر پهنای درام ساخت تایر:

در طراحی اولیه‌ی تایر با زاویه‌ی نخ متداول، لازم به محاسبه‌ی پهنای درام ساخت تایر است تا طول نخ روی درام را همان‌طور که در تایر پخت شده است، فراهم کند. همان‌طور که پیش‌تر در شکل (۱۳) نشان داده‌شده است، طول پیرابند (پروفایل ترد) تایر در تایر پخت شده کمتر از درام ساخت تایر می‌شود. این تفاوت در درجه‌ی اول، به‌دلیل تغییرهای نقشه‌نگاری در هنگامی دیده می‌شود که تایر درون قالب شکل می‌گیرد. محاسبه‌ی پهنای درام ساخت تایر باید شامل عامل‌های ابعادی طراحی و هم‌چنین اصلاحات برای مواد گوناگون باشد. به‌علاوه باید ویژگی‌های گرمایی و کشامد نخ‌های تایر و مدول آمیزه‌ی پخت نشده درنظر گرفته شود.

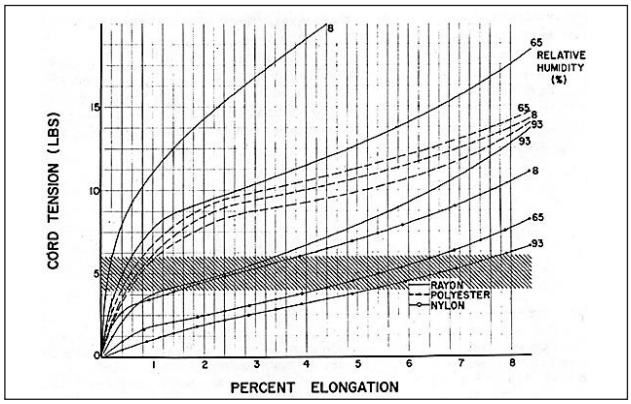
تعیین درست پهنای درام ساخت تایر بسیار مهم است و هر پهنایی که خارج از محدوده باشد، به دو دلیل دوام و یکنواختی تایر را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد:

۱- درام با پهنای زیاد باعث شل بودن نخ‌ها در تایر پخت شده و درنتیجه موجب عدم تعادل تنش‌های نخ در تایر باد شده می‌شود.

۲- درام با پهنای کم، باعث کشیدگی یا سُر خوردن نخ‌ها در تایر پخت شده و درنتیجه باعث ایجاد تغییرهای ابعادی و تنش زیاد می‌شود [۱۴].

پایداری مواد:

اختلاف‌های چشم‌گیری در پایداری و فرایندپذیری آمیزه‌ها و منسوج‌ها گوناگون وجود دارد. این تفاوت‌ها معمولاً درنتیجه‌ی ساختار شیمیایی و فیزیکی مواد است و باید در هر دو حالت پخت و پخت‌نشده موردتوجه قرار گیرد. اثر رطوبت بر مواد گوناگون نخ مصرفی در تایر اهمیت خاصی دارد. شکل (۱۴) نمودار تنش نخ را در برابر درصد ازدیاد طول برای مواد گوناگون مورد فراورش در رطوبت نسبی گوناگون نشان می‌دهد. سطح هاشورخورده در شکل (۱۴) نشان‌دهنده‌ی تنش نخ به‌علت فشار باد درون تایر است. بدیهی‌ست که باید این اثر بر ازدیاد طول نخ و ابعاد نهایی



شکل ۱۴- اثر رطوبت بر ازدیاد طول نخ [۱۴]

تایر در طراحی اولیه درنظر گرفته شود. ازنظر یکنواختی، موادی برای نخ ایده‌آل هستند که به رطوبت حساس نباشند و در هر محیطی ویژگی‌های ثابتی نشان دهند.

اگر درصد رطوبت در داخل تایر یا در طول ساخت تایر تغییر کند، می‌تواند بر یکنواختی تایر تأثیر گذارد. برای جلوگیری از این نوسان‌ها در تولید، مرحله‌های دقیق برای کنترل رطوبت در طول فرایند کاری، حمل و عملیات ساخت لازم است. بااین‌حال، حتی در بهترین شرایط کنترل، نوسان‌های جزئی می‌تواند در فرایند کاری به‌وجود آید و برخی از منسوج‌ها به‌علت ویژگی حساس بودن به رطوبت، پس از ساخت در هنگام استفاده نیز آماده‌ی تغییرهای ابعادی هستند [۱۴].

نخ تقویت‌کننده‌ی تایر بر عملکرد تایر تأثیرگذار است. در جدول (۳) مقایسه‌ی ویژگی‌های نخ‌های تقویت‌کننده‌ی تایر آورده شده است. هم‌چنین توزیع یکنواخت نخ در تایر نهایی بر یکنواختی و عملکرد تایر مؤثر است. به‌منظور کنترل عامل‌هایی مانند اندازه‌ی تایر، یکنواختی تایر، یکنواختی نخ تا نخ، تخت‌شدگی[۱]، فرورفتگی دیواره‌ی و خزش هنگام عملیات، کنترل پیوسته‌ی پایداری ابعادی نخ تحت محیط‌های

جدول ۳- مقایسه‌ی ویژگی‌های نخ‌های تقویت‌کننده‌ی تایر [۷]

پایداری ابعادی (منجید)	
یکنواختی در پخت	نایلون < پلی‌استر بهبودیافته < رایون
زیبایی ظاهری (فرورفتگی‌های دیواره)	نایلون < پلی‌استر بهبودیافته < رایون
سفتی دینامیکی (فرمان‌پذیری)	نایلون < پلی‌استر بهبودیافته < رایون
تخت‌شدگی	نایلون < پلی‌استر بهبودیافته < رایون
دوام (منجید)	
مقاومت خستگی/ گرمازایی	نایلون < پلی‌استر بهبودیافته < رایون
مقاومت ضربه (چقرمگی)	نایلون < پلی‌استر بهبودیافته < رایون
تایرهای پنچررو/ سرعت زیاد	پلی‌استر بهبودیافته < رایون
استحکام	رایون < پلی‌استر < نایلون < فولاد < آرامید
مدول (سفتی)	نایلون < پلی‌استر < رایون < فولاد < آرامید
ازدیاد طول	آرامید = فولاد < رایون < پلی‌استر < نایلون
خستگی فشاری	آرامید < فولاد < رایون < پلی‌استر < نایلون
مقاومت شیمیایی	فولاد < پلی‌استر < رایون < نایلون < آرامید

گوناگون ضروری‌ست. فولاد، آرامید و رایون کمتر تحت تأثیر فرایندکاری نخ قرار می‌گیرند، درحالی‌که الیاف گرمانرم، نایلون و پلی‌استر باید به‌دقت کنترل شوند.

فرایندکاری نخ زیر دمای ذوب انجام می‌شود. در طول فرایندکاری نخ، جهت‌گیری نایلون تغییر می‌کند. جمع‌شدگی از راه کشش منسوج در ناحیه‌ی تنظیم گرما تا اندکی کنترل می‌شود و آسودگی در ناحیه‌ی دوم کنترل می‌شود. به‌طورکلی، آسودگی بیشتر منجر به جمع‌شدگی کمتر می‌شود. کشش خالص (اختلاف بین کشش در ناحیه‌ی اول و آسودگی در ناحیه‌ی دوم) به‌عنوان اندازه‌ای از جمع‌شدگی استفاده می‌شود. شرایط اصلاح گرمایی نخ‌ها متفاوت است. برای مثال، اصلاح گرمایی نایلون در محدوده‌ی دمایی ۱۷۷ تا ۲۴۶ درجه‌ی سانتی‌گراد، کشش ۷ تا ۱۶ درصد و زمان اقامت ۲۰ تا ۶۰ ثانیه‌ی متغیر است. به‌طورمعمول کشش خالص[۲] ۳ تا ۷ درصد برای نایلون استفاده‌ی می‌شود [۷].

مرحله‌ی باد پس از پخت[۳]:

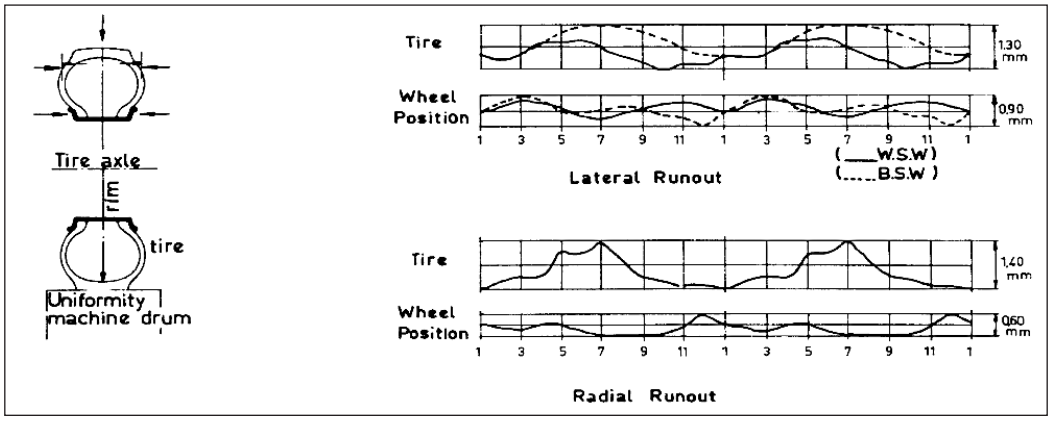
به‌محض خارج شدن تایر از پرس پخت، نخ‌های درون تایر گرم برای جمع‌شدگی به‌طورکامل آزاد هستند. ازاین‌رو برای پایداری ابعاد و یکنواختی تایر، باد پس از پخت انجام می‌شود. تایرهای تماماً رایون یا تماماً فولادی نیاز به اصلاح پس از پخت ندارند. این مرحله، اندازه، شکل، یکنواختی و رشد تایر نهایی را کنترل می‌کنند، بااین‌حال نتیجه‌ی آن به زمان، دما و بار اِعمال‌شده بر نخ‌ها هنگام فرایند باد بستگی دارد. نخ‌ها باید پیش از خروج از دستگاه باد، تا کمتر از دمای گذار شیشه‌ای (Tg) سرد شوند. زمان سرمایش عملی برای تایرهای کارخانه، معمولاً حدود دو چرخه‌ی پخت است [۷].

باد پس از پخت با استفاده از زمان و فشار هوای ثابت به‌منظور داشتن ابعاد ثابت تایرها انجام می‌شود. این فرایند، تغییر ابعاد تایر ناشی از جمع‌شدگی گرمایی نخ‌های منجید

1. Flat- spotting 2. Net Stretch 3. Post Cure Inflation (PCI)

پس از پخت را کنترل می‌کند. اگر گرمایش، نخ‌های منسوج مورداستفاده در نخ‌های منجید را جمع نکند، فرایند باد پس از پخت ضروری نخواهد بود. برای مثال برای آرامیدها که دارای ویژگی جمع‌شوندگی نیستند، باد پس از پخت برای ایجاد یکنواختی تایر نیاز نیست؛ بااین‌حال، بیشتر نخ‌های منسوج با دما، ویژگی جمع‌شوندگی گرمایی دارند. این پدیده از فرایند ساخت نخ تایر ناشی می‌شود. به‌طورکلی، ساختار مولکولی نخ تایر حاوی ناحیه‌های بلوری و آمورف است. ساختار مولکولی نخ در فرایند ساخت مانند فرایندهای گرمایش و کشش تشکیل می‌شود. در این فرایندها، تعداد مولکول‌های گره‌خورده در ناحیه‌ی آمورف و میزان جهت‌گیری آن‌ها، استحکام کششی نخ‌های تایر را تعیین می‌کند. هم‌چنین تعداد مولکول‌های گره‌خورده و جهت‌گیری آن‌ها به دما، تنش و زمان فرایندهای نخ بستگی دارد. به‌طورکلی، تایرها در دمای بیش از ۱۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد پخت می‌شوند. در چنین دمای زیادی، جمع شدن نخ اتفاق می‌افتد و ابعاد تایر (به‌ویژه پهنای طوقه) تغییر می‌کند. این پدیده‌ی جمع شدن بر یکنواختی تایرها و عملکرد رانندگی تأثیر می‌گذارد. ازاین‌رو، برای تولید تایرهای یکنواخت در کارخانه، نیاز به باد پس از پخت است. به‌طورکلی، مدول نخ‌های منجید از راه باد پس از پخت، در مقایسه با تایرها بدون باد پس از پخت افزایش پیدا می‌کند. این پدیده‌ی بر عملکرد رانندگی تایرها، به‌ویژه سواری، ایجاد سروصدا و فرمان‌پذیری، تأثیر می‌گذارد [۱۵].

اختلاف موضعی در مدول نخ درون لایه، باعث برآمدگی اندک تایر در نزدیکی نخ‌هایی که بیشتر قابل انبساط هستند، می‌شود و بر نیروی شعاعی تأثیر می‌گذارد. باد پس از پخت، روی افزایش مدول نخ‌های منجید درون تایر تأثیر دارد. بعضی از عامل‌های مؤثر بر میزان نیروهای نخ در قالب پخت تایر عبارت‌اند از: پهنای درام ساخت تایر (که باید برای دست‌یابی به سطح مطلوب انبساط، با ابعاد قالب مطابق باشد)، مدول لاستیک و نخ، شمارش انتهای نخ[1] و ضخامت آمیزه‌های لاستیکی گوناگون. اگر هنگام شکل‌گیری و پخت، بار، نخ بسیار زیادی در ناحیه‌ی شانه‌ی تایر ایجاد شود، نخ‌ها می‌توانند از راه کف بدنه‌ی لایه به داخل اینرلاینر نفوذ کنند. چنین تایرهایی در عمل به‌طور رضایت‌بخشی کار نمی‌کنند و به بازار عرضه‌ی نمی‌شوند. پس خوب است بلافاصله پس از ولکانش، به‌منظور افزایش یکنواختی، تایرها در حین سرمایش تا دمای اتاق باد شوند. بار نخ ناشی از فشار باد در طراحی تایر اهمیت دارد [۱۶]. دیده‌شده است که سرمایش نایکنواخت تایر در طول فرایند باد پس از پخت، باعث ایجاد اختلاف دما در تایر می‌شود. به‌علت حساسیت دمایی نخ‌های ترموالاستیک، این اختلاف دما باعث



شکل ۱۵- محورگریزی شعاعی و جانبی چرخ و تایر [۱]

1. End Count or End per Inch

جمع‌شدگی نخ می‌شود. اندازه‌گیری دمای تایرها در هنگام باد پس از پخت، اختلاف دمایی حدود ۱۵ درجه‌ی سانتی‌گراد را نشان می‌دهد [۵].

یکنواختی چرخ:

چرخ‌های خودرو تحت تأثیر نوسان‌های ساخت قرار می‌گیرند و دارای مقداری نایکنواختی هستند. بیشترین محورگریزی شعاعی و جانبی در طوقه‌ها، نباید از ۱٫۵ میلی‌متر تجاوز کند. در مرکز قرارگیری دقیق چرخ، کمک زیادی به میزان یکنواختی تایر می‌کند. شکل (۱۵) محورگریزی شعاعی و جانبی چرخ خودرو که روی طوقه‌ها اندازه‌گیری شده، همراه با محورگریزی تایر که در دیواره‌های تایر اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد. طیف محورگریزی جانبی چرخ و تایر گاهی هم‌بستگی خوبی را نشان می‌دهد [۱].

نتیجه‌گیری

در این مقاله، عامل‌های طراحی و ساخت که بر یکنواختی تایر مؤثر است، بررسی‌شده است. به‌طورکلی عامل‌هایی مانند یکنواختی اجزای تایر (مانند رویه، دیواره و اینرلاینر، طوقه‌ها) و عدم‌تغییر ابعادی هنگام انبارش آن‌ها؛ عدم جابجایی و تغییرشکل لایه‌ها هنگام ساخت و پخت تایر؛ ضخامت رویه، لاینر و لایه‌ها در ناحیه‌ی پیوند؛ یکنواختی زاویه‌ها و میزان کشش نخ‌ها در درام ساخت تایر؛ عدم جمع‌شدگی نخ و درنتیجه منجید، تقارن تسمه و لایه، متقارن قرار گرفتن تایر درون قالب پخت و شرایط پخت یکنواخت، بر یکنواختی تایر نهایی تأثیرگذار است. هم‌چنین رفتار اجزای سازنده‌ی تایر نسبت به تغییرهای دمایی در طول فرایند ساخت، کارکرد درست ماشین‌آلات و تراز دقیق دستگاه‌های ساخت و مهارت تکنیسین‌های ساخت تایر، ازجمله‌ی موردهایی‌ست که بر یکنواختی تایر تأثیرگذار است. هم‌چنین راه‌های بررسی یکنواختی تایر، مانند نوسان‌های نیرو و محورگریزی شعاعی و جانبی موردبحث قرار گرفت؛ بااین‌حال، ساخت تایر کاملاً یکنواخت غیرممکن است، زیرا در هر مرحله‌ی از ساخت، نوسان‌هایی وجود دارد. تنها کنترل دقیق تمامی فرایندهای تولید مواد و ساخت اجزای تایر می‌تواند نقص‌های اجتناب‌ناپذیری را که بر یکنواختی تأثیر می‌گذارد، به‌کمترین میزان برساند IRM

مراجع

1. S. K. Clark, “Mechanics of Pneumatic Tires”, National Bureau of Standards Monograph 122, Washington, D. C., 1971.
2. D. Mangun, “Simulation and Characterization of Tire Nonuniformity-induced Steering Nibble Vibrations through Integrated Subsystems Modeling”, M. Sc. Thesis, 2006.
۳- محمدحسن. فراهانی، "مکانیک تایر"، شرکت مهندسی و تحقیقات صنایع لاستیک، چاپ اول، ۱۳۸۹.
4. J. Suffeleers, “Tyre Non- Uniformities and their Effect on Chassis Vibrations”, M. Sc. Thesis, 2010.
5. T. D. Gillesipie, “Relationship of Truck Tire/Wheel Nonuniformities to Cyclic Force Generation”, MVMA Project 81162, 1984.
6. W. D. Mawby, “Uniformity Improvement through Discrete Effect Identification”, US 9,937,677 B2, 2018.
7. A. N. Gent, J. D. Walter, “The Pneumatic Tires”, National Highway Traffic Safety Administration U. S. Department of Transportation, Washington, D. C., 2005.
8. https://en.wikipedia.org/wiki/Tire_uniformity.
9. S. M. Immel, “Tire Geometry Measurement”, Tire Technology International, pp. 106- 108, 2014.

۱۰- م. زمزمزاده، "یکنواختی در تایر"، نشریه‌ی صنعت لاستیک ایران، شماره‌ی ۳۱، ۱۳۸۳.

11. R. W. Brown, "Tire and Method for Correcting Tire Uniformity Thereof", US 6,673, 184 B1, 2004.
12. N. Balaramakrishna, R. Krishna Kumar, "A Study on the Effect of Different Tyre Imperfections on Steering Wheel Vibration", International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility, 47:6, 753- 770, 2009.
13. H. R. Dorfi, "Tyre Non- Uniformities: Comparison of Analytical and Numerical Tyre Models and Correlation to Experimentally Measured Data", International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility, 43, 223- 240, 2005.
14. J. A. Davisson, "Factors of Tire Design and Manufacture Affecting Uniformity", SAE Paper No. 650521, 1965.
15. W. W. Lim, "Thermal Properties of Tire Cords and their Effects on Post- Curing Inflation of Tires", Rubber Chemistry and Technology, Vol. 75, No. 4, pp. 581- 587, 2002.
16. M. L. Janssen, J. D. Walter, "Stresses and Strains in Tires", Tire Science and Technology, Vol. 3, No. 2, pp. 67- 81, 1975.

سازمان ملی استاندارد ایران

شرکت مهندسی و تحقیقات صنایع لاستیک برگزار می‌کند

تقویم آموزشی دوره‌های تخصصی مرداد و شهریور ۱۳۹۷

ردیف	عنوان دوره	مدت (ساعت)	مدرس	زمان برگزاری	شهریه (ریال)
۱	طراحی قالب قطعات لاستیکی	۱۲	مهندس مسگر	۲ و ۳ مرداد	۹,۰۰۰,۰۰۰
۲	اصول طراحی تایر (مقدماتی)	۱۲	مهندس حیدرزاده	۹ و ۱۰ مرداد	۹,۰۰۰,۰۰۰
۳	مدیریت منابع انسانی : مسئولیت پذیری و پاسخگویی	۶	مهندس تفرشی	۱۷ مرداد	۴,۰۰۰,۰۰۰
۴	اصول طراحی تایر (پیشرفته)	۱۶	مهندس حیدرزاده	۶ و ۷ شهریور	۱۰,۰۰۰,۰۰۰
۵	آشنایی با فرایند پخت قطعات لاستیکی و نحوه انجام محاسبات جهت به دست آوردن زمان پخت بهینه (با تکیه بر انجام محاسبات برای پخت تایر)	۱۲	دکتر رافعی	۱۳ و ۱۴ شهریور	۸,۰۰۰,۰۰۰
۶	آمیزه کاری لاستیک (پیشرفته)	۱۲	خانم دکتر جلالی	۲۰ و ۲۱ شهریور	۹,۰۰۰,۰۰۰

- شروع کلاس‌ها از ساعت ۹ صبح خواهد بود.
- شهریه دوره شامل: آموزش، پذیرایی و جزوات آموزشی است.
- به شرکت‌کنندگان دردوره گواهینامه‌ی شرکت مهندسی و تحقیقات صنایع لاستیک و سازمان ملی استاندارد ایران اعطاء خواهد شد.
- به شرکت‌کنندگان بیش از ۵ نفر از یک سازمان ۱۰٪ تخفیف تعلق خواهدگرفت.
- حد نصاب هر دوره حداکثر ۱۵ نفر خواهد بود.
- برای کسب اطلاعات بیشتر با دپارتمان آموزش شرکت مهندسی و تحقیقات صنایع لاستیک با شماره‌های تلفن: ۴۴۷۸۷۹۲۰- ۴۴۷۸۷۹۱۸ و شماره فاکس ۴۴۷۸۷۹۱۸ تماس حاصل فرمایید.

آدرس: تهران، کیلومتر ۱۵ اتوبان تهران- کرج، شهرک علم و فناوری پژوهش، بلوار پژوهش، جنب پژوهشکده هواشناسی
email: sanaye_lastik@yahoo.com Website: www.rierco.ir

Investigation of Effective Parameters on Tire Uniformity

F. Khodkar and H. Roshanaei*

Department of Research and Development, IranYasa Tire and Rubber Company

*Corresponding author Email: roshanaei.hossein@gmail.com

Recieved: October 2017, Revised: November 2017, Accepted: December 2017

Abstract: Tire uniformity is an indication of excellent tire performance in terms of force, dimensions and balance. If these criteria are not maintained at an acceptable level, they can have a negative effect on vehicle riding and sound creation. Improving the design of the vehicle and driving more quickly requires a more uniform tire. With the development of materials, improved mixing, precision building and curing, more uniformity is achieved. In this paper, design and construction factors that are effective on tire uniformity are investigated. Uniformity depends on the precise and continuous control of all manufacturing processes and the constant evaluation of tire materials and components. Controlling the cord angle in all various stages of production and precision assembly of components during tire building is among these effective factors. Increasing the use of uniformity grading machines accelerates the assessment of tire uniformity in production, and provides a tool for analyzing the irregularities that builds up in design or construction.

Keywords: : Uniformity, Radial Force, Lateral Force, Runout.