محاسبه نیروی بهینه Squeeze Force در پرس‌های پخت هیدرولیک

پوریا صادقی[۱] ، جواد اسکندری[۲] ، علی اصغر سردارپور[۳]
۱-رییس بخش طراحی فراورده ۲-کارشناس بخش مهندسی تایر ۳-مدیر امور تکنولوژی
شرکت تولیدی ایران تایر
sadeghi_pouria@yahoo.com

چکیده:

فرآیند پخت تایر در پرس‌های هیدرولیکی یکی از حساس‌ترین و مهم‌ترین مراحل تولید تایر به شمار می‌آید. تعیین دقیق squeeze force در پرس‌های پخت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، زیرا نیروی کمتر از حد به باز شدن دهانه قالب و ایجاد نقص در تایر منجر می‌شود، در حالی که نیروی بیش از اندازه می‌تواند موجب له‌شدگی و سایش در نواحی سایدوال و آسیب به قالب گردد. در این پژوهش، با بررسی رفتار مکانیکی اجزای مختلف پرس پخت شامل قالب، بلادر، سایدوال، اکتیویتور رینگ و جک‌های هیدرولیکی، مدلی تحلیلی برای محاسبه نیروی فشردگی بهینه ارائه شده است. ابتدا دیاگرام‌های نیرویی برای بخش‌های مختلف نظیر صفحه زیرین کانتینر، سایدوال‌ها و سگمنت شو ترسیم و سپس معادلات تعادل نیرو استخراج گردید. با ترکیب روابط به‌دست‌آمده و در نظر گرفتن اثر اصطکاک بین اکتیویتور رینگ و سگمنت شو، رابطه‌ای نهایی برای نیروی فشردگی به شکل تابعی از فشار داخلی بلادر، زاویه کانتینر و ضریب اصطکاک حاصل شد.

واژگان کلیدی: نیروی فشردگی، پرس پخت، Squeeze force، قالب تایر، کانتینر

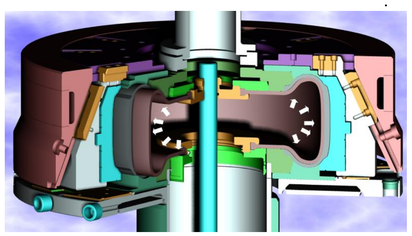
محور مقاله : فناوری ماشین آلات و قطعات تولیدی

مقدمه:

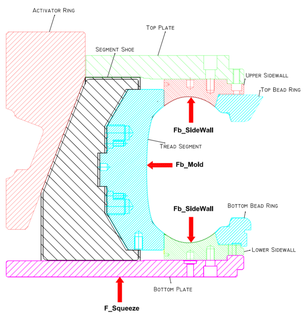
فرایند پخت تایر در پرس‌های هیدرولیکی یکی از مراحل کلیدی در چرخه تولید تایر به‌شمار می‌آید که نقش تعیین‌کننده‌ای در دستیابی به خواص فیزیکی و مکانیکی مطلوب ایفا می‌کند. در این مرحله، تایر خام (Green Tire) پس از شکل‌گیری اولیه در فرایند ساخت، درون قالب مخصوص قرار گرفته و تحت اثر فشار و دمای کنترل‌شده ناشی از پرس هیدرولیکی، واکنش ولکانیزاسیون بین زنجیره‌های پلیمری لاستیک آغاز می‌شود. این واکنش موجب تشکیل پیوندهای عرضی گوگردی میان مولکول‌های پلیمر شده و در نتیجه، استحکام، مقاومت سایشی، پایداری حرارتی و خواص الاستیکی تایر به‌طور چشمگیری بهبود می‌یابد.

پرس‌های هیدرولیکی به دلیل توانایی در اعمال یکنواخت فشار و کنترل دقیق پارامترهای فرآیند مانند دما، زمان و نیروی اعمالی، از دقت و کارایی بالایی برخوردارند. انتخاب مناسب این پارامترها تأثیر مستقیمی بر کیفیت نهایی محصول، کاهش ضایعات تولید و بهبود بهره‌وری فرایند دارد. بنابراین، بررسی و بهینه‌سازی عملکرد پرس‌های هیدرولیکی در فرآیند پخت تایر، از اهمیت ویژه‌ای در صنایع لاستیک‌سازی برخوردار است.

با بسته شدن پرس، بلافاصله بخار اصلی داخلی مطابق تنظیمات انجام شده قبلی وارد بلادر شده و با آزاد کردن انرژی حرارتی خود و انتقال گرما از سمت بلادر از یک طرف و نیز انتقال انرژی حرارتی آزاد شده از سمت قالب، پخت آمیزه های لاستیکی بکار رفته در تایر شروع میشود. در تمام مدت پخت، با اعمال فشار داخلی بلادر، تایر کاملا به قالب فشرده میشود. در تمام مدتی که تایر در قالب قرار دارد این فشار حفظ میشود تا تمام اجزاء در محل خود مانده و بهم متصل گردند. نحوه اعمال فشار داخلی بلادر در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل ۱- اجزا مختلف پرس پخت و نحوه اعمال فشار داخلی بلادر



شکل ۲- اجزا مختلف پرس پخت و دیاگرام نیرویی

تحلیل نیرویی

یکی از مواردی که همواره بین تولیدکنندگان تایر مورد بحث بوده است تنظیم نیروی فشردگی (Squeeze force) در پرسهای پخت می‌باشد. وظیفه این نیرو بسته نگه داشتن قالب در حین فرایند پخت و مقابله با نیروی داخلی بلادر می‌باشد. نیروی فشردگی پرس از طرف جک‌های هیدرولیک که معمولا در زیر پرس های پخت قرار دارند تامین می‌شود. این نیرو پس از اینکه پرس بسته شد اعمال میشود.

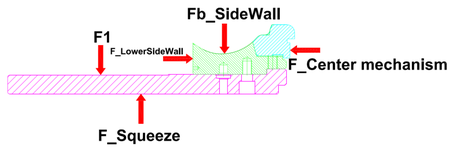
در صورتی که این نیرو از مقدار معینی کمتر باشد باعث می‌شود که دهنه قالب باز شود و تایر معیوب شود و همچنین اگر میزان این نیرو از حد مشخصی بالاتر باشد باعث خوردگی و له شدگی سطح سایدوال‌های بالا و پایین می‌شود و به قالب آسیب می‌رساند.

لذا محاسبه میزان دقیق این نیرو از اهمیت ویژه ای برخوردار است. در شکل ۲ اجزا مختلف پرس پخت و همچنین نیروهای وارده نشان داده شده است.

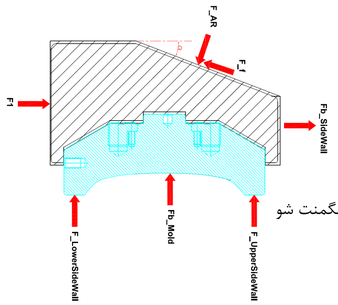
در این شکل تعریف نیروها به صورت زیر است:

- F_Squeeze نیروی فشردگی پرس
- Fb_Mold نیروی ناشی از فشار بلادر وارده به قالب
- Fb_SideWall نیروی ناشی از فشار بلادر وارده به سایدوال

در این مرحله سعی می‌شود دیاگرام نیرویی برای اجزای مختلف ترسیم گردد. در ابتدا از آنجایی که صفحه زیرین کانتینر، سایدوال پایین و بیدرینگ پایین به هم متصل هستند، دیاگرام نیرویی برای این سه قطعه به صورت شکل ۳ ترسیم میگردد.



شکل ۳- دیاگرام نیرویی صفحه زیرین کانتینر، سایدوال پایین و بیدرینگ پایین



شکل ۴- دیاگرام نیرویی سگمنت شو و ترد سگمنت

با نوشتن معادلات تعادل نیرویی به معادلات زیر میرسیم:

$$F_{squeeze} = F_1 + Fb_{sideWall}$$ معادله ۱

$$F_{LowerSideWall} = F_{CenterMechanism}$$ معادله ۲

حال مجموعه سگمنت شو و ترد سگمنت را مطابق شکل ۴ در نظر میگیریم. معادلات نیرویی در این مجموعه به صورت زیر است:

$$F_1 = F_{AR}\ sin(\alpha) + F_f\ cos(\alpha) - Fb_{SideWall}$$ معادله ۳

$$Fb_{Mold} + F_{LowerSideWall} + F_{UpperSideWall} = F_{AR} cos(\alpha) - F_f sin(\alpha)$$ معادله ۴

که در آن F_AR نشان دهنده نیروی وارد شده از طرف اکتیویتور رینگ و F_f نیروی اصطکاک بین اکتیویتور رینگ و سگمنت شو میباشد. از طرفی می دانیم رابطه بین نیروی اصطکاک و نیروی عمودی به صورت زیر است:

$$F_f = \mu F_{AR}$$ معادله ۵

که در آن μ ضریب اصطکاک می باشد.

در معادله ۴، F_LowerSideWall و F_UpperSideWall عکس العمل نیروهایی است که از طرف قالب به سایدوال‌ها وارد می‌شود. اگر نیروی افقی که از سمت اکتیویتور رینگ به قالب وارد می‌شود بیش از حد باشد این نیروهای وارد به سایدوال‌ها باعث خوردگی و خرابی لبه سایدوال میگردد. لذا نیروی بهینه به صورتی محاسبه میگردد که نیروهای وارد به سایدوال‌ها در کمترین عدد باشد و صرفا قالب و سایدوال به هم مماس شوند. لذا در محاسبات F_LowerSideWall و F_UpperSideWall را صفر در نظر میگیریم که نیروی فشردگی بهینه را بیابیم.

با ترکیب معادلات ۱ تا ۵ به معادله زیر می‌رسیم:

$$F_{squeeze} = Fb_Mold \times \frac{\sin(\alpha)+\mu\cos(\alpha)}{\cos(\alpha)-\mu\sin(\alpha)}$$ معادله ۶

لازم به ذکر است Fb_Mold یا همان نیروی ناشی از فشار بلادر که به قالب وارد می‌شود با حاصل‌ضرب فشار داخلی بلادر در سطح داخلی تردسگمنت به راحتی محاسبه میگردد. لذا با داشتن فشار داخلی بلادر، سطح تردسگمنت، زاویه کانتینر و ضریب اصطکاک نیروی فشردگی و یا همان Squeeze forceپرس با فرمول معادله ۶ محاسبه میگردد.

نکته قابل ذکر این است که در محاسبات انجام شده از آنجایی که وزن قطعات در مقابل سایر نیروها بسیار پایین تر است (حدود ۵ درصد)، میتوان از آن صرف نظر کرد و در انتها پس از محاسبه نیروی فشردگی بهینه با در نظر گرفتن یک safety factor در حدود ۱.۳ تا ۱.۴ نیروی فشردگی قابل اطمینان برای اعمال در پرس های پخت را پیدا کرد.

جمع‌بندی

در این تحقیق، به منظور تعیین نیروی فشردگی بهینه در پرس‌های پخت تایر، رفتار مکانیکی اجزای مختلف سامانه شامل قالب، بلادر، اکتیویتور رینگ، سگمنت شو و جک‌های هیدرولیکی مورد تحلیل قرار گرفت. با استفاده از روابط تعادل نیرو و لحاظ کردن تأثیر اصطکاک بین قطعات متحرک، رابطه‌ای تحلیلی برای محاسبه نیروی فشردگی به‌دست آمد که وابسته به فشار داخلی بلادر، زاویه کانتینر و ضریب اصطکاک بین سطوح تماس است. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که تعیین دقیق این نیرو نقش اساسی در کیفیت نهایی تایر و عمر مفید قالب دارد. در صورتی که نیروی فشردگی کمتر از مقدار بهینه انتخاب شود، احتمال باز شدن دهانه قالب، نشت فشار داخلی و ایجاد تایرهای معیوب افزایش می‌یابد. از سوی دیگر، نیروی بیش از اندازه موجب افزایش تنش‌های موضعی، له‌شدگی سطح سایدوال و کاهش عمر قالب خواهد شد. بنابراین، استفاده از رابطه استخراج‌شده و لحاظ نمودن ضریب اطمینان بین ۱.۳ تا ۱.۴ می‌تواند منجر به دستیابی به مقدار مطمئن و اقتصادی نیروی فشردگی شود.

از دیدگاه صنعتی، نتایج این مطالعه می‌تواند به‌عنوان راهنمایی برای بهینه‌سازی طراحی و تنظیمات پرس‌های پخت در خطوط تولید تایر مورد استفاده قرار گیرد. همچنین، با به‌کارگیری این مدل در نرم‌افزارهای شبیه‌سازی یا کنترل خودکار پرس‌ها، امکان کاهش ضایعات، افزایش کیفیت محصول نهایی و بهبود بهره‌وری فرآیند فراهم می‌شود.

تقدیر و سپاس‌گزاری:

در پایان، از جناب آقای مهندس عصمتی که با راهنمایی‌های ارزشمند و حمایت‌های صمیمانه خود سهم به‌سزایی در تکمیل این پژوهش داشتند، صمیمانه سپاسگزاری می‌نماییم.

منابع:

۱-رحمانی، "فرایند پخت تایر"، ۱۳۹۸

۲-تکنولوژی رحیم دریافتی از شرکت کنتیننتال