

امکان سنجی بهینه کردن زمان و دمای پخت در پرس های بلادری

علی علی احمدی، سهیل شفیعی بافتی

سرپرست مکانیک سالن پخت ناحیه ۴ گروه صنعتی بارز، مدیرکل اداره خرید گروه صنعتی بارز
Aliahmadi18880@gmail.com
۰۹۱۳۳۴۳۶۲۸۵



چکیده:

در این پژوهش به امکان‌سنجی بهینه‌سازی زمان و دمای پخت در پرس‌های بلادری در صنعت لاستیک با هدف کاهش مصرف انرژی و افزایش کیفیت محصول پرداخته شده است. پرس بلادری به‌عنوان یکی از تجهیزات کلیدی در فرآیند پخت تایر، نقش مهمی در انتقال حرارت یکنواخت و اعمال فشار کنترل‌شده ایفا می‌کند. در این مطالعه، اثر متغیرهای اصلی از جمله دمای قالب، فشار بلادر و زمان پخت بر کیفیت محصول نهایی و میزان مصرف انرژی مورد بررسی قرار گرفت. استفاده از روش‌های شبیه‌سازی عددی و تحلیل حرارتی (FEM) جهت تعیین توزیع دما و فشار بهینه در قالب به کار گرفته شد. نتایج نشان داد که تنظیم دقیق دمای قالب در بازه‌ی ۱۶۰ تا ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و کاهش زمان پخت تا ۱۰ درصد نسبت به مقدار معمولی، می‌تواند منجر به صرفه‌جویی قابل توجهی در انرژی و بهبود یکنواختی پخت شود. همچنین، انتخاب مناسب سبکل فشار و دمای بخار در بلادر، مانع از سوختگی سطحی و نپختگی داخلی تایر گردید. این نتایج بیانگر آن است که کنترل همزمان زمان و دمای پخت می‌تواند فرآیند تولید تایر را به سمت پایداری، کاهش هزینه و افزایش بهره‌وری هدایت نماید.

واژه های کلیدی: پخت تایر، بهینه‌سازی انرژی، دمای قالب، زمان پخت، شبیه‌سازی حرارتی

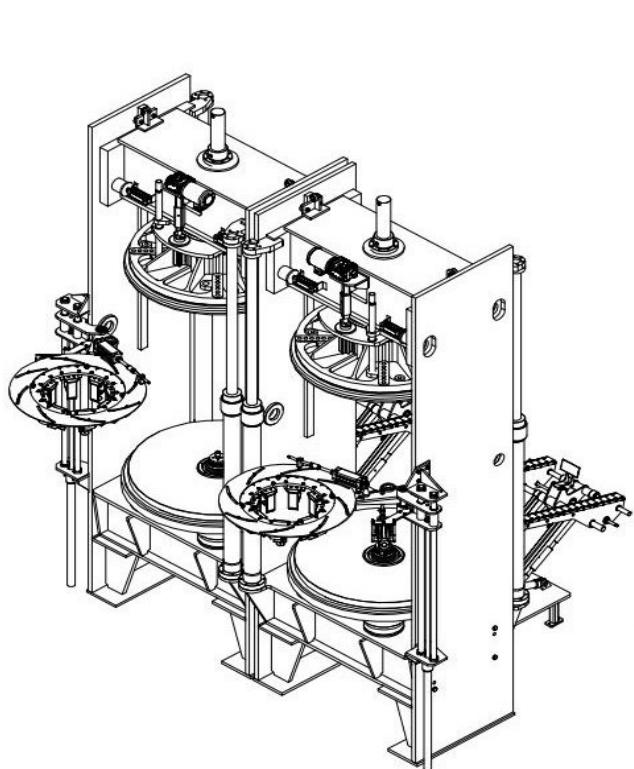
محور مقاله: فناوری ماشین‌آلات و قطعات تولیدی، بهره‌وری ماشین آلات و افزایش بازدهی تولید

مقدمه:

پرس‌های پخت لاستیک از تجهیزات حیاتی در فرآیند تولید تایر هستند. دما، فشار بخار و زمان پخت عوامل کلیدی در کیفیت محصول محسوب می‌شوند. تغییرات بار حرارتی، نوسان فشار بخار و نوع ترکیب لاستیک از جمله عوامل مؤثر بر پایداری فرآیند پخت هستند. سیستم‌های کنترل کلاسیک (PID) در مواجهه با این تغییرات عملکرد ضعیفی دارند. با توسعه فناوری‌های هوش مصنوعی و صنعت ۴.۰، استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای کنترل و بهینه‌سازی فرآیندهای صنعتی در حال گسترش است.

مدل حرارتی پرس پخت

پرس‌های بلادری یکی از فناوری‌های پیشرفته در صنعت لاستیک هستند که نقش حیاتی در توزیع یکنواخت فشار و دما در طی فرآیند پخت ایفا می‌کنند. عدم کنترل مناسب دما و زمان پخت می‌تواند منجر به سوختگی، نپختگی یا ایجاد تنش‌های داخلی در قطعات لاستیکی شود. بهینه‌سازی این پارامترها نه تنها کیفیت محصول را افزایش می‌دهد، بلکه مصرف انرژی را کاهش داده و فرآیند تولید را پایدارتر می‌سازد



شکل ۱: نمایی از پرس های بلادری در صنعت لاستیک

ساختار کلی پرس های بلادری:

پرس بلادری شامل یک غشاء انعطاف‌پذیر است که در داخل قالب قرار می‌گیرد و لاستیک را به طور یکنواخت تحت فشار قرار می‌دهد. این روش باعث می‌شود دما و فشار به شکل همگن در سراسر قطعه توزیع شود و از ایجاد ناپیوستگی‌ها یا ترک‌های سطحی جلوگیری شود. در مقایسه با پرس بدون بلادر، فشار بلادر می‌تواند به راحتی تنظیم شده و با ضخامت‌های مختلف قطعات سازگار شود. اما اگر بخواهیم به تشریح ماشین پخت و آنچه که در پرس پخت اتفاق میافتد بپردازیم باید گفت: چیزی که واضح است این است که در فرآیند پخت، قالب‌گیری و پخت باید همزمان اتفاق بیافتد. قالب های پخت تایر از جنس آلومینیوم یا فولاد ساخته میشوند و دارای دو نیمه بالایی و پایینی هستند. نیمه پائینی معمولاً ثابت و به کف پائینی پرس متصل است و نیمه بالائی متصل به قسمت بالائی پرس و متحرک می باشد. گل یا آج تایر بر روی ترد، توسط قالب ایجاد میگردد. در پخت تایر مبتنی بر استفاده از بلادر، بلادر به عنوان عاملی برای ایجاد شکل اولیه و همچنین حرارت دهی به داخل تایر میباشد.

به طور خلاصه قالب‌گیری و پخت تایر توسط بلادر را چنین میتوان شرح داد که نخست تایر خام که به شکل تقریبی یک استوانه است به صورت یک پوشش بر روی بلادر قرار میگیرد، سپس بخار یا آب گرم با فشار به درون بلادر تزریق میشود، این عمل باعث میشود تا بلادر به صورت باد شده در آید. در حین اینکه بلادر شروع به حجیم شدن میکند پرس نیز شروع به بسته شدن میکند یا به عبارتی نیمه بالایی قالب روی نیمه پایینی آن قرار میگیرد. به عبارت دیگر، وقتی بلادر وارد گرین تایر میشود، دو فشار اعمال میشود: فشار تغییر شکل اولیه و فشار تغییر شکل ثانویه. فشار اولیه قبل از اینکه در پرس پخت بسته شود اعمال میشود که یک مقدار بلادر باد می‌شود و در فشار ثانویه، فشار کافی از دو طرف به گرین تایر وارد شود. بدین ترتیب عمل شکل دهی نهایی که شامل نقش بستن طرح آج روی تایر و نوشته ها و علامت های روی دیواره آن میباشد آغاز میگردد. اعمال فشار نیز بدین صورت است که در ابتدا فشار کم است و یکدفعه این فشار زیاد شده و به یک مقدار حداکثر میرسد و سپس در انتهای فرآیند پخت، فشار به شکل پله ای که در این صورت فشار کم کم کاهش یافته و در نتیجه زمان بیشتری نیاز است و از طرفی کیفیت تایر مطلوبتر است و یا یکدفعه با مدت زمان کمتر کاهش مییابد. باید به این موضوع اشاره کرد که برای پخت تایر در قسمتهای مختلف از بخار آب، آب گرم (ثابت و چرخشی) و نیز برای بعضی تایرها مانند تایرهای بایاس آب سرد استفاده میشود. عمل حرارت دهی از دو طرف صورت میگیرد، از یک طرف تایر در تماس با قالب است و خود قالب نیز توسط یک سیال مثل بخار آب یا آب گرم حرارت داده میشود و از سوی دیگر جداره داخلی تایر در تماس با بلادر است که از درون خود بلادر نیز بخار آب یا آب گرم در حال عبور است و به این ترتیب با در تماس بودن دو طرف تایر با حرارت زمان پخت بسیار کوتاه میگردد. معمولاً دمای داخل تایر بیشتر (حدود ۲۰ درجه سانتیگراد) از دمای قالب در قسمت بیرونی تایر است. محدوده دمایی در سیستم پخت معمولاً بین ۱۲۰ تا ۱۹۰ سانتیگراد است.

در پایان عمل پخت، با باز شدن و جدا شدن دو نیمه قالب از یکدیگر، تایر به بیرون قالب هدایت میشود. هنگامی که تایر از داخل قالب به بیرون رانده میشود بسیار داغ است و احتمالاً هنوز بعضی از نواحی داخلی آمیزه به علت کم بودن هدایت حرارتی لاستیک در تایر به پخت خود ادامه می‌دهند که به آن پخت تکمیلی گویند. در تایرهای سیمی با تغییر دما تغییر چندانی در شکل نهایی تایر اتفاق نمیافتد، اما در تایرهای بایاس به دلیل جنس نخ به کار رفته در تایر، بعد از خروج از پرس پخت امکان جمع شدگی نامطلوبی در نخها و آمیزه اتفاق میافتد، لذا سبب تغییر شکل تایر خواهد شد. از اینرو تایر تحت فشار هوا بهمنظور خنک شدن قرار میگیرد که مدت این عمل در تایرهای سبک تقریباً دو برابر زمان پخت و در تایرهای سنگین برابر زمان پخت میباشد. به این مرحله، PCIگفته میشود. البته این مرحله برای تایرهای با بتل سیمی و یا تایرهای با لایه های نخى از جنس ریبون و پلی استر انجام نمی‌شود و بیشتر در تایرهای بایاس با جنس نخ نایلون اتفاق می‌افتد و از طرفی در تایرهای سنگین نظیر OTRاین قسمت جداست و نمی‌تواند پشت پخت باشد.

بهینه‌سازی زمان و دما در پرس های بلادری

پارامترهای اصلی در پخت شامل دمای قالب، فشار بلادر و زمان پخت هستند. افزایش دما ممکن است زمان پخت را کاهش دهد اما خطر سوختگی سطحی را افزایش می‌دهد، در حالی که کاهش دما باعث نپختگی و طولانی شدن فرآیند می‌شود.

روش‌های بهینه‌سازی

روش‌های عددی و شبیه‌سازی حرارتی (FEM) می‌توانند توزیع دما و فشار در قالب را پیش‌بینی کنند و زمان بهینه پخت را برای هر نوع قطعه تعیین کنند. همچنین الگوریتم‌های بهینه‌سازی می‌توانند مصرف انرژی و ضایعات را به حداقل برسانند. FEM یا تحلیل المان محدود یک روش محاسباتی است که می‌تواند رفتار حرارتی و مکانیکی قطعات را شبیه‌سازی کند. در پرس‌های بلادری که برای ساخت قطعات لاستیکی (مثلاً تایر یا قطعات صنعتی) استفاده می‌شوند، دما و فشار دو عامل حیاتی هستند. هر قطعه لاستیکی نیاز دارد تا در دمای مشخصی پخته شود تا خواص مکانیکی و الاستیسیته‌ی مناسبی پیدا کند. FEM می‌تواند نشان دهد که دما در نقاط مختلف قالب چگونه توزیع می‌شود و آیا احتمال ایجاد نقاط سرد یا داغ وجود دارد یا خیر. این باعث می‌شود قالب‌ها بهینه طراحی شوند تا دما به صورت یکنواخت باشد. فشار پرس باید به اندازه کافی باشد تا قطعه به شکل نهایی برسد، اما بیش از حد فشار می‌تواند باعث آسیب به قالب یا تغییر شکل غیرمطلوب قطعه شود. شبیه‌سازی FEM می‌تواند نشان دهد که فشار در قسمت‌های مختلف قالب چگونه توزیع می‌شود. با شبیه‌سازی حرارتی، می‌توان زمان لازم برای رسیدن قطعه به دمای مورد نظر در سراسر قالب را تعیین کرد. این زمان بهینه باعث می‌شود قطعات بدون سوختگی یا پخت ناقص تولید شوند.

پس از اینکه توزیع دما و فشار شبیه‌سازی شد، می‌توان از الگوریتم‌های بهینه‌سازی برای بهبود فرآیند استفاده کرد. با مشخص شدن زمان و دمای بهینه پخت، می‌توان مصرف انرژی سیستم‌های گرمایشی قالب را کاهش داد. به عنوان مثال، اگر مشخص شود که برخی نقاط سریع‌تر از بقیه به دمای مطلوب می‌رسند، می‌توان جریان گرما را در آن مناطق کاهش داد. ضایعات در صنعت لاستیک معمولاً به دلیل پخت ناقص، سوختگی یا تغییر شکل غیرمطلوب رخ می‌دهد. با شبیه‌سازی و بهینه‌سازی، می‌توان احتمال بروز این مشکلات را کم کرد، زیرا فشار و دما به صورت کنترل‌شده توزیع می‌شوند. با داده‌های FEM و الگوریتم‌های بهینه‌سازی، می‌توان طراحی قالب را تغییر داد یا زمان‌بندی فشار و گرما را تنظیم کرد تا تولید سریع‌تر و با کیفیت‌تر انجام شود.

برای پرس‌های بلادری، این ابزارها مزایای عملی زیر را دارند:

- کاهش هزینه‌ها با کاهش انرژی و ضایعات
- افزایش عمر قالب‌ها با جلوگیری از فشار و دمای بیش از حد
- تولید قطعات با کیفیت یکنواخت و دقیق
- کاهش زمان آزمون و خطا در تولید

مراجع:

I Memon, A. Ali, M. Memon, U. Rajput, S. Abro, A. Memon, “Controlling the Defects of Paint Shop using Seven Quality Control Tools in an Automotive Factory, Engineering,” Technology & Applied Science Research, 9, 5062–5065, (2019). <https://doi.org/10.48084/etasr.3160>

S. Muthu Baskaran, “An Analysis of Casting Defects and Quality Improvement Using QC tools,” International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development, 9, 405–411, (2019).

M.L. Duc, M.N. Thu, “Application of Lean Six Sigma for Improve Productivity at The Mechanical Plant. A Case Study,” Manufacturing Technology, 22 (2), 124–138, (2022). <https://doi.org/10.21062/mft.2022.028>

T. Kiatcharoenpol, R. Seeluang, Six Sigma Methodology for Reducing Warpage Defect of Sanitary Ware Production,” IEEE 10th International Conference on Mechanical and Intelligent Manufacturing Technologies, ICMIMT, 104–108, (2019).

T. Kiatcharoenpol, R. Seeluang, Six Sigma Methodology for Reducing Warpage Defect of Sanitary Ware Production,” IEEE 10th International Conference on Mechanical and Intelligent Manufacturing Technologies, ICMIMT, 104–108, (2019).

S. Krishna Priya, V. Jayakumar, S. Suresh Kumar, “Defect analysis and lean six sigma implementation experience in an automotive assembly line,” Materials Today: Proceedings, 22(3), 948–958, (2020).