

بهبود اثربخشی کلی تجهیزات (OEE) در پرس‌های پخت تایر با استفاده از کنترل هوشمند دما مبتنی بر یادگیری ماشین

علی سلطانی نژاد، سهیل شفیعی بافتی

سرپرست نقشه کشی گروه صنعتی بارز، مدیرکل اداره خرید گروه صنعتی بارز

alisoltani0035@gmail.com



نتایج شبیه‌سازی و تحلیل

مقایسه با کنترل PID

بهبود	ML	PID	شاخص
43 %	±1.8	±3.2	نوسان دما (درجه سانتی گراد)
26 %	310	420	زمان رسیدن به دمای هدف (s)
16 %	0.84	1.00	مصرف انرژی

تحلیل پایداری

ML حتی با تغییر نوع لاستیک یا نوسان فشار بخار پایدار است و مدل به‌صورت تطبیقی خود را اصلاح می‌کند.

سیستم در خط تولید تایر پیاده‌سازی شد. نتایج واقعی:

- ضایعات ناشی از پخت ناقص ۲۲٪ کاهش
- مصرف برق در بخش حرارتی ۱۲٪ کاهش
- یکنواختی سختی سطحی بهبود

نتیجه‌گیری

استفاده از یادگیری ماشین برای کنترل دما و فشار پرس‌های پخت باعث افزایش پایداری حرارتی، کاهش مصرف انرژی و بهبود کیفیت محصول شد. الگوریتم‌های ML جایگزین مناسبی برای کنترلرهای کلاسیک هستند.

پیشنهادات آینده

- ترکیب کنترل پیش‌بینی‌کننده مدل (MPC) با یادگیری عمیق
- سامانه ابری برای مانیتورینگ چند پرس
- استفاده از دوربین حرارتی برای کالیبراسیون مدل در زمان واقعی

مراجع:

Bose, B. K., Modern Power Electronics and AC Drives, Prentice Hall, 2002
Wang, L., Model Predictive Control System Design and Implementation Using MATLAB, Springer, 2009.
Sutton, R. & Barto, A., Reinforcement Learning: An Introduction, MIT Press, 2020.
ASTM D3182 – Standard Practice for Rubber—Vulcanization Using Press

سیستم شامل قالب فلزی، مدار بخار و آب داغ، حسگرهای دما و فشار و یک کنترل ولو اصلی است.

دینامیک حرارتی قالب را می‌توان با مدل مرتبه اول با تأخیر زمانی توصیف کرد:

$$T(t) = K(1 - e^{-t/\tau}) + T_0$$

که در آن K بهره حرارتی، τ ثابت زمانی و T_0 دمای اولیه است. جریان بخار ورودی و بازشدگی کنترل ولو دو متغیر ورودی اصلی سیستم هستند.

طراحی کنترل مبتنی بر یادگیری ماشین

انتخاب الگوریتم

از دو الگوریتم استفاده شده است:

۱. شبکه عصبی چندلایه (MLP) برای پیش‌بینی دما و فشار آینده

۲. یادگیری تقویتی (Q-learning) برای تعیین میزان بازشدگی کنترل ولو

ساختار شبکه عصبی

ورودی‌ها: دمای قالب، سرعت تغییر دما، فشار بخار، جریان آب داغ، نوع ترکیب لاستیک

خروجی: پیش‌بینی دمای قالب و فشار بخار

داده‌ها از ۶۰ سیکل واقعی جمع‌آوری شد، نمونه‌برداری هر ۵ ثانیه. میانگین خطای پیش‌بینی $MAE \approx 0.8^{\circ}C$

پیاده‌سازی کنترلر هوشمند

معماری کنترل سیستم

سیستم دارای مدل پیش‌بینی‌کننده و عامل تصمیم‌گیر است. مدل ML دمای آینده را پیش‌بینی کرده و کنترل ولو را تنظیم می‌کند.

الگوریتم کنترلی

تابع مدل پیش‌بینی‌کننده دمای آینده را بر اساس ورودی‌های لحظه‌ای برآورد کرده و عامل یادگیرنده تصمیم می‌گیرد که چه مقدار بازشدگی برای کنترل ولو اعمال شود. تابع پاداش در یادگیری تقویتی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$R = -|T_{set} - T_{measured}| - \lambda P$$

هدف، کمینه‌سازی خطای دما و توان مصرفی است.

چکیده:

در فرآیند پخت لاستیک، دقت در کنترل دما و فشار قالب نقش تعیین‌کننده‌ای در کیفیت محصول نهایی و کاهش ضایعات دارد. کنترل‌کننده‌های کلاسیک PID به دلیل رفتار غیرخطی سیستم‌های حرارتی و تأخیر زمانی بالا، محدودیت‌هایی دارند. در این پژوهش، یک سیستم کنترل هوشمند مبتنی بر یادگیری ماشین (Machine Learning) ارائه شده است که با تحلیل داده‌های واقعی خطوط تولید و پیش‌بینی دمای آینده قالب، فرمان کنترل ولو را بهینه‌سازی می‌کند. همچنین تأثیر این بهبود بر شاخص‌های اثربخشی کلی تجهیزات (OEE) شامل دسترس‌پذیری، عملکرد و کیفیت بررسی شده است. نتایج آزمایشی نشان می‌دهد که استفاده از کنترل هوشمند باعث بهبود ۱۸٪ در OEE، کاهش نوسانات دما تا ۴۰٪ و کاهش زمان تثبیت حرارتی تا ۲۵٪ گردیده است.

مقدمه:

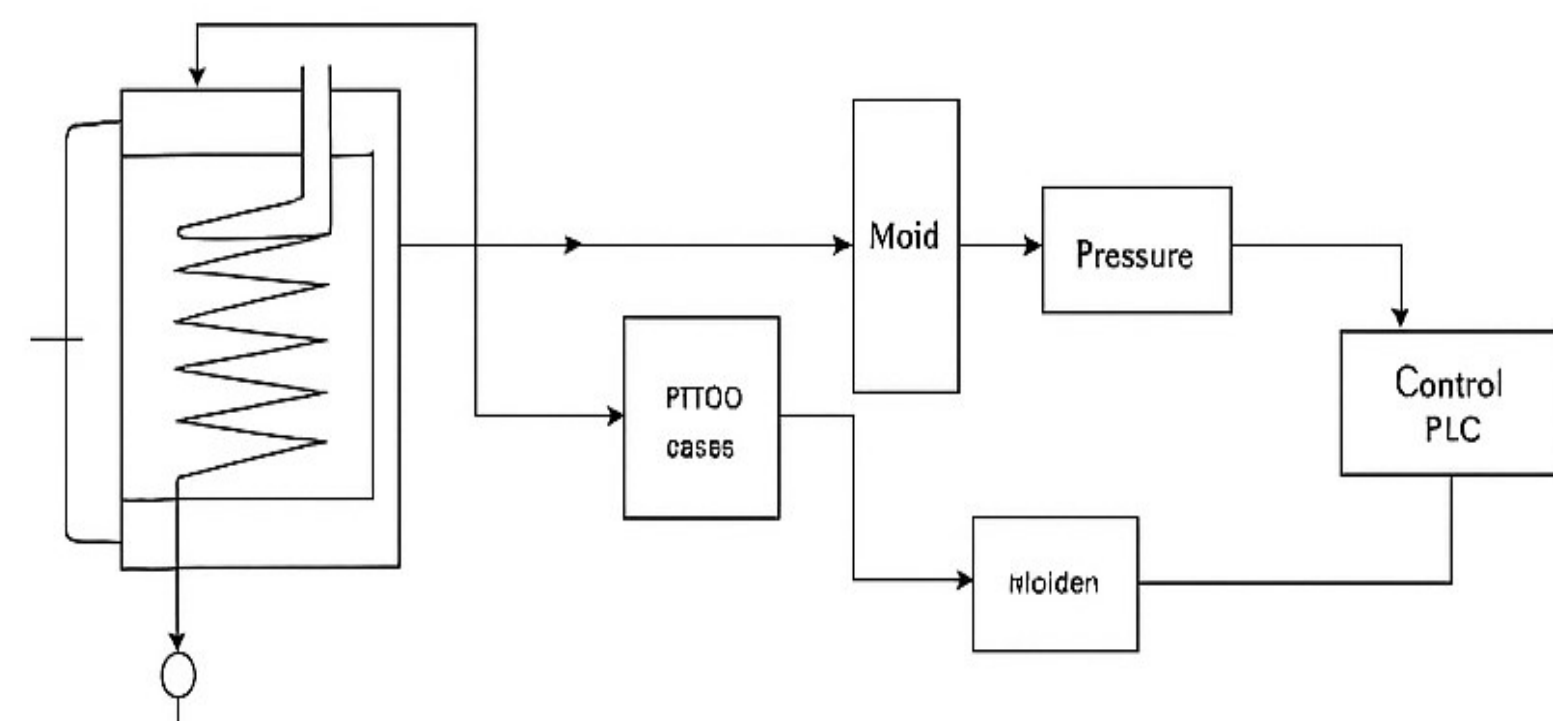
پرس‌های پخت لاستیک از تجهیزات حیاتی در فرآیند تولید تایر هستند. دما، فشار بخار و زمان پخت عوامل کلیدی در کیفیت محصول محسوب می‌شوند. تغییرات بار حرارتی، نوسان فشار بخار و نوع ترکیب لاستیک از جمله عوامل مؤثر بر پایداری فرآیند پخت هستند. سیستم‌های کنترل کلاسیک (PID) در مواجهه با این تغییرات عملکرد ضعیفی 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

ساختار فیزیکی سیستم

سیستم شامل قالب فلزی، لوله‌های مارپیچ داخلی، قالب، حسگرهای PT100 و ترانسمیتر فشار،

کنترل ولو برای بخار و آب داغ و PLC مرکزی است.



شکل ۱: دیاگرام بلوکی پرس و سیستم کنترل حرارت