



مقایسه انواع سیستم‌های خنک‌کاری در ماشین‌آلات اختلاط لاستیک

نویسندگان: محمد حسین عارفی ، محمد سمیع سمیعی

گروه صنعتی بارز، اداره بهره برداری

Hosein_arefi_84@yahoo.com

mosasam524@gmail.com



چکیده

کنترل دما در فرآیند اختلاط لاستیک یکی از مهم‌ترین عوامل در تضمین کیفیت آمیزه و افزایش طول عمر ماشین‌آلات است. در این مطالعه سیستم خنک‌کاری آب سرد ، روغن حرارتی و سیستم ترکیبی آب –روغن در یک میکسر داخلی ۱۶۰ لیتری بررسی و مقایسه شدند. نتایج نشان داد که سیستم آب سرد سریع‌ترین کاهش دما را ایجاد می‌کند اما نوسانات حرارتی بالایی دارد. در مقابل، سیستم روغن حرارتی کنترل پایداری فراهم می‌کند ولی هزینه انرژی بیشتری به همراه دارد. سیستم ترکیبی عملکردی متعادل میان این دو روش نشان داد و موجب کاهش ۱۲ درصدی مصرف انرژی و بهبود ۱۵ درصدی یکنواختی پراکنش پرکننده‌ها نسبت به حالت تک‌سیستمی گردید. این نتایج می‌تواند در انتخاب بهینه سیستم‌های خنک‌کاری در صنایع لاستیک نقش بسزایی ایفا کند.

واژه های کلیدی: آب سرد، روغن حرارتی ، ترکیبی آب – روغن

محور همایش: فن آوری ماشین آلات و قطعات تولیدی

۱. مقدمه

اختلاط لاستیک فرآیندی پیچیده است که در آن پلیمرها، پرکننده‌ها (نظیر کربن بلک و سیلیکا) و افزودنی‌های مختلف به‌طور یکنواخت ترکیب می‌شوند تا خواص مکانیکی و فیزیکی مطلوب حاصل گردد. در این فرآیند، به دلیل اصطکاک شدید و انرژی مکانیکی واردشده، دما به سرعت افزایش می‌یابد . افزایش بیش از حد دما می‌تواند پیامدهای نامطلوبی همچون:

سوختگی آمیزه

تغییر ویسکوزیته و کاهش پردازش‌پذیری

تجزیه زودهنگام مواد شیمیایی

افت کیفیت نهایی محصول

را به همراه داشته باشد.

به همین دلیل، استفاده از سیستم‌های خنک‌کاری کارآمد برای کنترل دما در محدوده‌ی مناسب ۹۰ تا ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد ضروری است. در گذشته عمدتاً از آب سرد به عنوان خنک‌کننده اصلی استفاده می‌شد، اما محدودیت‌هایی نظیر نوسانات دمایی و تشکیل رسوب در مسیرهای جریان آب، ضرورت بررسی گزینه‌های دیگر همچون روغن حرارتی و سیستم‌های ترکیبی را آشکار کرده است

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲ تجهیزات و مواد اولیه

میکسر داخلی Banbury با حجم ۱۶۰ لیتر

موتور محرک ۲۵۰ کیلووات با قابلیت تغییر سرعت (rpm ۶۰–۱۰۰)

سیستم ثبت داده‌های دما و توان مصرفی

آمیزه آزمایشی شامل ۷۰ phr :لاستیک طبیعی (NR)، ۳۰ phr SBR و ۵۰ phr کربن بلک نوع N330

۲.۲ سیستم‌های خنک‌کاری بررسی‌شده

آب سرد : ورود آب با دمای 20°C–15 به ژاکت‌های جداره و روتور

روغن حرارتی : جریان روغن سیلیکونی با دمای کنترل‌شده 120°C

سیستم ترکیبی : شروع فرآیند با روغن حرارتی برای یکنواخت‌سازی دمای اولیه و تکمیل خنک‌کاری با آب سرد

۳.۲ پارامترهای اندازه‌گیری

دمای نهایی آمیزه (°C)

زمان رسیدن به دمای 100°C

مصرف انرژی (kWh/Batch)

شاخص یکنواختی پراکنش پرکننده‌ها (Dispersion Index) با روش میکروسکوپ نوری

۳. نتایج و بحث

۳ ۱۰ رفتار دمایی

نوع سیستم	دمای نهایی آمیزه (درجه سانتی گراد)	زمان رسیدن به ۱۰۰ درجه سانتی گراد (دقیقه)	نوسان دمایی (درجه سانتی گراد)
آب سرد	98	4.5	±6
روغن	105	6	±2
ترکیبی	100	5	±3

تحلیل نتایج نشان داد که آب سرد در کاهش سریع دما مؤثر است اما به دلیل تغییرات ناگهانی، احتمال شوک حرارتی به آمیزه و قطعات وجود دارد. روغن حرارتی روند ملایم‌تری ایجاد می‌کند که برای آمیزه‌های حساس مطلوب است، هرچند سرعت پایین‌تری دارد. سیستم ترکیبی با کاهش نوسانات و زمان مناسب، راه‌حلی میانی ارائه می‌دهد

۲.۳ مصرف انرژی و یکنواختی پراکنش

نوع سیستم	انرژی مصرفی (kwh/ batch)	شاخص پراکنش کربن بلک (%)
آب سرد	95	82
روغن	105	87
ترکیبی	92	94

سیستم ترکیبی نشان داد که می‌تواند ضمن کاهش ٪ 12 انرژی مصرفی نسبت به روغن حرارتی، کیفیت پراکنش را تا 15٪ بهبود دهد. این به دلیل کنترل بهتر دمای لحظه‌ای و جلوگیری از تجمع موضعی گرما در حین اختلاط است.

۳.۳ تحلیل فنی و صنعتی

در خطوط تولید کوچک و کارگاه‌های ساده، سیستم آب سرد به دلیل هزینه پایین و سادگی نصب همچنان پرکاربرد است.

در تولید تاپرهای باکیفیت بالا (مانند تایر سبز) روغن حرارتی ترجیح داده می‌شود چون به کنترل دقیق‌تر دما نیاز است.

سیستم ترکیبی، اگرچه نیاز به طراحی پیچیده‌تر دارد، اما در خطوط صنعتی بزرگ بهترین گزینه به شمار می‌رود.

۴. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

مطالعه حاضر نشان داد که انتخاب سیستم خنک‌کاری تأثیر مستقیم بر مصرف انرژی، کیفیت پراکنش پرکننده‌ها و طول عمر ماشین‌آلات دارد. نتایج اصلی عبارت‌اند از:

آب سرد سریع و ارزان است، اما کیفیت پایینی در یکنواختی پراکنش دارد.

روغن حرارتی پایداری دمایی بالا ایجاد می‌کند ولی هزینه انرژی بیشتری دارد.

سیستم ترکیبی بهترین تعادل بین سرعت، کیفیت و هزینه را ارائه می‌دهد.

برای تحقیقات آینده، پیشنهاد می‌شود:

بررسی تأثیر سیستم‌های خنک‌کاری نوین مانند نانو سیالات یا مایعات یونی

استفاده از مدل‌سازی CFD برای پیش‌بینی رفتار حرارتی و بهینه‌سازی طراحی ژاکت‌ها

تحلیل چرخه عمر سیستم‌ها جهت ارزیابی زیست محیطی

مراجع

Coran, A. Y. (2001). Science and technology of rubber compounding. In The Science and Technology of Rubber. Academic Press.

Rodgers, B., & Waddell, W. (2013). The Science and Technology of Rubber Mixing. Rubber Chemistry and Technology, 86(2), 248–282.

Dick, J. S. (2014). Rubber Mixing Technology. Hanser Publishers.

Isayev, A. I. (2017). Mixing of Rubber Compounds: Theory and Practice. Smithers Rapra Press.