Archive of SID

بررسی امکان استفاده از شلتوک برنج و پسماند کاغذ در ساخت لنت ترمز بدون مس

بیتا معزی‌پور[1*]
آیدا معزی‌پور[2]

[1] استادیار صنایع چوب و کاغذ، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، ایران

[2] دانش‌آموخته دکتری صنایع چوب و کاغذ، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

مسئول مکاتبات:
b.moezzipour@uma.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۲۲

چکیده

در این پژوهش ویژگی‌های مواد اصطکاکی بدون مس و آزبست، با استفاده از پسماند سلولزی برای ساخت لنت ترمز بررسی شد. مواد اصطکاکی حاوی ۲۰ درصد پسماند سلولزی (شلتوک برنج و پسماند کاغذ) برای ساخت لنت ترمز به روش صنعتی مورداستفاده قرار گرفت و مقاومت برشی، نرخ سایش و ضریب اصطکاک نمونه‌های لنت ساخته شده طبق استانداردهای مربوطه مورد آزمون قرار گرفت. نتایج نشان داد که میانگین مقاومت برشی لنت ترمزهای ساخته شده با شلتوک برنج در حالت نرمال، ۳۵ درصد و پس از حرارت دادن، ۲۴ درصد بیشتر از لنت ترمزهای ساخته شده با سلولز کاغذ است. همچنین میانگین ضریب اصطکاک لنت‌های ساخته شده با شلتوک برنج در مراحل حرارتی آزمون سایش و اصطکاک، ۳۵ درصد بیشتر از لنت ترمزهای ساخته شده با سلولز کاغذ و میانگین نرخ سایش لنت‌های ساخته شده با شلتوک برنج، ۶۷ درصد کمتر از لنت‌های ساخته شده با سلولز کاغذ بود. هم‌چنین کلیه ویژگی‌های لنت ترمزهای ساخته شده با شلتوک برنج در حدود مجاز استاندارد بود؛ بنابراین می‌توان گفت که لنت ترمز ساخته شده با استفاده از شلتوک برنج بدون مس و آزبست ویژگی‌های مطلوبی دارد و می‌توان از این فرمولاسیون در تولید لنت ترمز خودرو استفاده نمود.

واژگان کلیدی: پسماند سلولزی، لنت ترمز، مواد اصطکاکی، ویژگی‌های سایشی.

مقدمه

مواد اصطکاکی مورداستفاده در لنت ترمز، ترکیب پیچیده-ای شامل اجزای مختلف (معمولاً ۵ تا ۳۰ جزء) به‌منظور تنظیم ضریب اصطکاک و نرخ سایش لنت ترمز است. این اجزا به چهار گروه رزین، پرکننده، اصلاح‌کننده اصطکاک و تقویت‌کننده تقسیم می‌شود [۱]. یکی از مواد بسیار مؤثر در بهبود کیفیت مواد اصطکاکی مورداستفاده در تولید لنت ترمز، الیاف آزبست است که ضمن داشتن قیمت مناسب، ویژگی‌های حرارتی و تریبولوژی بسیار مطلوبی مانند ضریب اصطکاک بالا و پایدار و ترمزگیری مناسب را در لنت ترمز فراهم می‌کند. به دلیل ایجاد این ویژگی‌های مطلوب تا سال‌ها آزبست یکی از اجزای حذف نشدنی در ترکیب مواد اصطکاکی لنت ترمز بود اما محققین ثابت نمودند که آزبست ماده‌ای سرطان‌زا است و طبق قوانین بین‌المللی استفاده از آن در ترکیب مواد اصطکاکی ممنوع شد [۲]. در ایران نیز از سال ۱۳۸۰ طبق تصویب‌نامه شماره ۴۴۶۵۷۱۶۶۴۸۹ شورای عالی محیط‌زیست، به‌کارگیری هر نوع آزبست در فرآیند تولید محصولات کارخانجات و کارگاه‌های تولیدی ازجمله انواع قطعات خودرو و مصالح ساختمانی ممنوع اعلام شد [۳]. در سال‌های اخیر، تلاش‌های زیادی در سطح بین‌المللی برای یافتن فرمولاسیون مواد اصطکاکی فاقد آزبست

www.SID.ir

Archive of SID

باکیفیت مطلوب انجام‌شده است. چنانچه گفته شد، مواد به‌کاررفته در ترکیب لنت ترمز بسیار متنوع می‌باشد و ویژگی‌های مختلفی را در لنت ترمز ایجاد می‌کند. باید این مهم را در نظر گرفت که ویژگی‌های لنت ترمز بسیار پیچیده بوده و همزمان باید دارای ضریب اصطکاک زیاد و نرخ سایش مناسب باشد [۴]. به‌منظور حذف آزبست و رسیدن به ویژگی‌های مطلوب ترمزگیری یکی از گزینه-هایی که اغلب در ترکیب لنت ترمز استفاده می‌شود، انواع فلزات به‌ویژه مس می‌باشد [۵]. مقدار کمی غبار فلزات سنگین در هر بار ترمزگیری از وسیله نقلیه وارد محیط شده و تجمع می‌یابد که بسیار مضر می‌باشد. مس یکی از اصلاح‌کننده‌های اصطکاک رایج در تولید لنت ترمز می-باشد که در ترکیب لنت ترمز به‌منظور کاهش یا از بین بردن افت حرارتی ضریب اصطکاک در ترمزگیری و نیز بهبود هدایت حرارتی به کار می‌رود، اما به لحاظ بیولوژیکی مضر است. تحقیقات نشان داده که ۳۰ درصد آلودگی مس در محیط‌زیست توسط لنت ترمزهای مورد مصرف در وسایط نقلیه تولید می‌شود [۶]. اخیراً در سطح بین‌المللی، کارگروهی متشکل از متخصصین صنعت لنت ترمز و محیط‌زیست ایجادشده که مسائل محیط زیستی مرتبط با صنعت ترمز را موردتوجه قرار می‌دهد. این کارگروه اعلام کرده است که کاربرد مس در مواد اصطکاکی لنت ترمز در سال‌های اخیر ۴۰ درصد افزایش‌یافته که اثرات زیانباری بر محیط‌زیست دارد؛ زیرا ذرات غبار ناشی از ترمزگیری درنهایت وارد هوا، فاضلاب‌های شهری و آب‌های سطحی می‌شود. مس موجود در غبار لنت ترمز هم برای موجودات زنده آبزی سمی است و هم از طریق این موجودات وارد چرخه غذایی شده و روی کل زنجیره غذایی اثر منفی می‌گذارد. به همین دلیل، امروزه تلاش‌های زیادی در کشورهای مختلف اروپایی و ایالات‌متحده در راستای کاهش یا حذف مس از ترکیب مواد اصطکاکی لنت ترمز شده است. به‌عنوان‌مثال در کالیفرنیا، لایحه‌ای تصویب‌شده که مقدار مصرف مس در ترکیب مواد اصطکاکی لنت ترمز را تا سال ۲۰۲۱ به کمتر از ۵ درصد و تا سال ۲۰۲۵ کمتر از ۰/۵ درصد محدود نموده است؛ بنابراین تولیدکنندگان قطعات خودرو باید به این امر توجه داشته باشند و به‌شرط حفظ کیفیت لنت ترمز، مواد اصطکاکی ایمن‌تر، مؤثرتر و سازگارتر با محیط‌زیست را برای جایگزینی فلزات سنگین مانند مس پیدا کنند [۷]؛ اما آنچه در این امر حائز اهمیت است مناسب بودن قیمت تمام‌شده محصول و کیفیت مطلوب و عملکرد بهینه لنت ترمز می‌باشد که ازلحاظ ایمنی سطح بسیار بالایی دارد. ویژگی‌های مهم برای لنت ترمز، ضریب اصطکاک نسبتاً بالا و پایدار، نرخ سایش و هدایت حرارتی مناسب، مقاومت برشی و سختی مطلوب می‌باشد و اینکه در عمل، در زمان ترمزگیری فاقد صدا و دود باشد.

Aranganathanو Bijwe در سال (۲۰۱۶) به بررسی ویژگی‌های فرمولاسیونی بدون مس اقدام نمودند. در ترکیب این فرمول از پشم سنگ تیمار شده و ترموگرافیت استفاده شد. در برخی ویژگی‌ها لنت‌های بدون مس نسبت به لنت‌های دارای مس برتری داشتند [۸]. Lee و Filip نیز در سال (۲۰۱۳) به بررسی ویژگی‌های لنت ترمز ساخته شده از فرمول محتوی مس و قلع و فرم اصلاح‌شده همان فرمول بدون مس و قلع پرداختند. نتایج نشان داد که ضریب اصطکاک لنت‌های ساخته شده با فرمول اصلاح‌شده در مرحله حرارتی بالاتر رفته و عملکرد لنت بهتر شده اما نرخ سایش که نشان‌دهنده میزان خوردگی لنت ترمز است، افزایش‌یافته است [۹]. اغلب موادی که در این فرمولاسیون‌ها استفاده‌شده، در ایران قابل تهیه نیست و با توجه به شرایط تحریم، امکان واردات این مواد به کشور فراهم نبوده و یا بسیار دشوار و پرهزینه می‌باشد و سبب افزایش شدید قیمت تمام‌شده محصول می‌شود. پسماندهای سلولزی به‌عنوان مواد جدید، ارزان‌قیمت، در دسترس و مقبول ازنظر محیط زیستی پتانسیل لازم برای استفاده در ترکیب لنت ترمز را دارند به‌عنوان‌مثال، شلتوک برنج با داشتن درصد بالایی از سیلیس که موجب بهبود ویژگی‌های سایشی در لنت ترمز می‌شود، قابلیت استفاده در فرمولاسیون مواد اصطکاکی را دارد [۱۰]. Moezzipour و همکاران، (۱۳۹۲) در مقاله‌ای از شلتوک برنج در ترکیب فرمولاسیون مواد اصطکاکی دارای مس استفاده نمود و نتایج نشان داد که استفاده از شلتوک برنج در لنت ترمز سبب بهبود ویژگی‌های لنت ترمز به‌ویژه کاهش نرخ سایش آن می‌شود [۳]. در این تحقیق امکان استفاده از شلتوک برنج در فرمولاسیون لنت ترمز بدون

www.SID.ir

Archive of SID

آزبست و مس از طریق اندازه‌گیری سختی، مقاومت برشی و ویژگی‌های سایشی (ضریب اصطکاک و نرخ سایش) بررسی شد.

مواد و روش‌ها

در ابتدا بر اساس فرمولاسیون مناسبی که با انجام چند پیش تست به‌دست‌آمده بود مواد مختلف تهیه شد. به‌طورکلی این مواد شامل رزین، پرکننده، مواد ساینده و الاستومر بود و درصد وزنی آن در جدول ۲ آورده شده است. پسماند سلولزی (سلولز کاغذ بازیافتی و شلتوک برنج) در اینجا عامل متغیر بود و به مقدار ۱۵ درصد استفاده شد. برای انجام آزمون‌ها با در نظر گرفتن یک عامل متغیر نوع پسماند سلولزی، نمونه‌هایی از دو ترکیب مختلف ساخته شدند. برای هر تیمار ۵ تکرار در نظر گرفته شد و درمجموع ۱۰ عدد لنت ترمز خودرو پراید برای انجام تحقیق ساخته شد. درنهایت، تجزیه‌وتحلیل‌های آماری بر روی‌داده‌های به‌دست‌آمده از آزمون‌های استاندارد با استفاده از نرم‌افزار spss انجام شد. برای این منظور از آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه برای قضاوت معنی‌دار بودن تأثیر تیمارها بر روی مؤلفه‌های موردتحقیق استفاده شد. علائم مربوط به تیمارها در جدول ۱ نشان داده‌شده است. درصد وزنی مواد در نمونه‌های لنت ترمز ساخته‌شده در جدول ۲ نشان داده‌شده است.

جدول ۱. تیمارهای مورداستفاده در ساخت لنت ترمز و علائم مربوطه

تیمار مورداستفاده	علامت اختصاری
شلتوک برنج	P
سلولز کاغذ	C

جدول ۲. درصد وزنی مواد فرمولاسیون بدون مس و آزبست برای ساخت لنت ترمز

نام ماده	درصد وزنی
رزین فنول فرمالدهید	۷
رابر	۶
الیاف استیل	۱۸
پسماند سلولزی	۱۵
پشم سنگ	۸
پودر نسوز	۸
گرافیت	۱۲
کک	۶
پرکننده معدنی	۲۰

نمونه‌ها به روش کاملاً صنعتی ساخته شدند. ماشین‌آلات مورداستفاده در شکل ۱ نشان داده‌شده است. مواد با درصد وزنی مشخص‌شده در جدول ۲ در یک دستگاه مخلوط‌کن باهم مخلوط شدند.

پس‌ازآن مواد به‌منظور فرم دهی اولیه داخل قالب ریخته شده و به کمک پیش پرس سرد فشرده شدند. سپس کفشک‌های چسب خورده روی حفره‌های قالب پرس قرار گرفتند و مواد پیش پرس شده بر روی آن قرار گرفتند؛ و برای اتصال کفشک به لقمه و فرم‌دهی نهایی لنت ترمز از پرس گرم با دمای ۱۵۰ درجه سلسیوس و فشار ۸۵ بار استفاده شد. مدت‌زمان پرس ۶ دقیقه بود. نمونه‌های پرس شده به مدت ۸ ساعت در کوره بازپخت با دمای ۱۸۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند. سپس نمونه‌ها از کوره خارج شده و پس از خنک شدن مراحل ساب‌زنی و نصب سنسور و رنگ‌زنی روی آن‌ها انجام شد. تصویر نمونه ساخته شده در شکل ۲ نشان داده شده است. سپس آزمون‌های اندازه‌گیری مقاومت برشی و سایش و اصطکاک طبق استانداردهای مربوطه روی نمونه‌های ساخته‌شده، انجام شد.

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۱. مراحل ساخت لنت ترمز، الف: مخلوط‌کن، ب: پیش پرس، ج: پرس گرم، د: کوره باز پخت

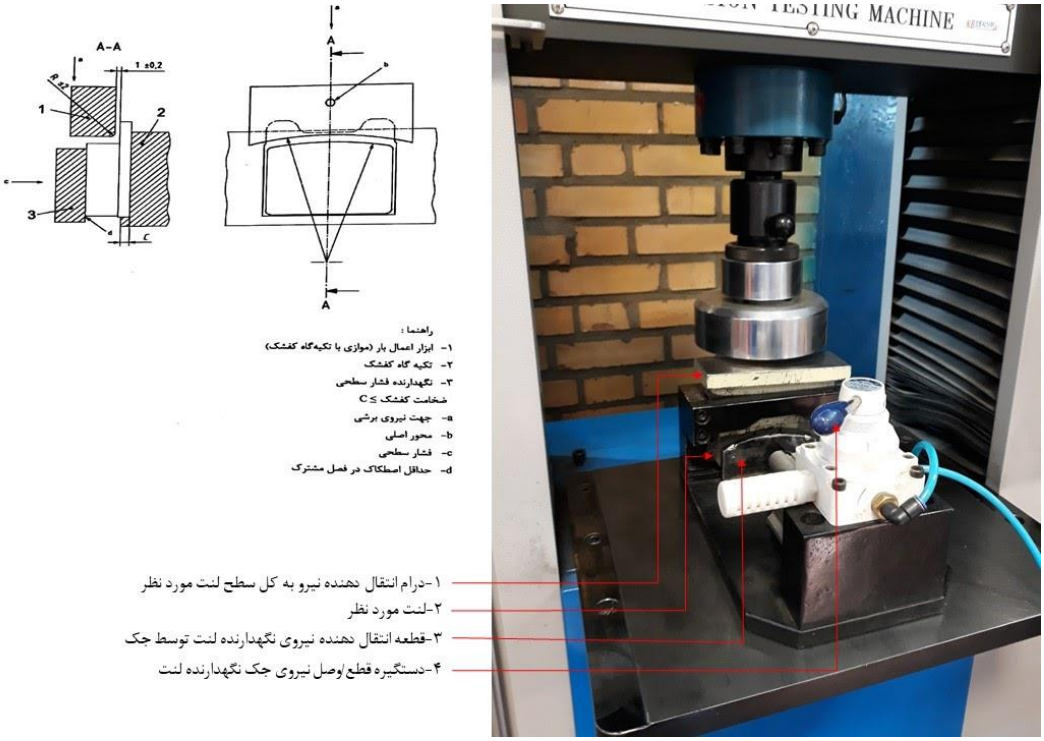
شکل ۲. تصویر نمونه لنت‌های ساخته شده

www.SID.ir

Archive of SID

مقاومت برشی

آزمون مقاومت برشی طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۲۷۹۵ معادل ISO_6312 انجام شد [۱۱]. تصویر دستگاه آزمون مقاومت برشی در شکل ۳ نشان داده‌شده است. این دستگاه وزنی معادل ۵ تن دارد و با ایجاد فشار ۱۰۰ کیلوگرم نیرو بر سانتی‌متر مربع موجب جدا شدن لقمه لنت ترمز از کفشک آن یا گسیختگی داخلی لقمه می‌شود. نیروی برشی ایجاد شده توسط یک نیروسنج اندازه‌گیری می‌شود.



شکل ۳. دستگاه آزمون مقاومت برشی لنت ترمز

آزمون سایش و اصطکاک

نمونه‌ها پس از ساخت ازنظر ظاهری بررسی شدند، سپس لقمه‌ها از بک پلیت فلزی جداشده و به ابعاد ۱۰×۲۴×۲۴ میلی‌متر بریده شدند. پس‌ازآن به‌وسیله دستگاه آماده‌سازی، قوسی بر روی نمونه‌ها ایجاد شد تا تماس بهینه بین نمونه و دیسک دستگاه تست ایجاد شود. آزمون سایش و اصطکاک مطابق با استاندارد شماره ۵۸۶ موسسه استاندارد تحقیقات صنعتی ایران انجام شد [۱۲]. دستگاه ویژه این آزمون (شکل ۴) از نوع دور ثابت است و ضریب اصطکاک و میزان سایش را در درجه حرارت‌های مختلف و تحت بار یا گشتاور ثابتی که بر روی لنت ترمز اعمال می‌شود، اندازه‌گیری می‌کند. دیسک مورداستفاده در این دستگاه از جنس چدن خاکستری با زمینه پرلیتی و با سختی ۲۹۹-۱۷۹ برینل است. دستگاه دارای وزنه‌ای به وزن ۴۳/۵۵ کیلوگرم است که فشاری معادل ۷ کیلوگرم نیرو بر سانتی‌متر مربع را با سرعت ۶۰۰ دور بر دقیقه برای شبیه‌سازی عملیات ترمزگیری بر روی نمونه اعمال می کند.

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۴. دستگاه آزمون سایش و اصطکاک لنت ترمز

آزمون سایش و اصطکاک شامل مراحل زیر می‌باشد [۱۲]:

مرحله مبنای اولیه

۲۰ مرتبه عمل ترمزگیری در ۶۶۷ نیوتن ۴۱۷ دور بر دقیقه اجرا می‌شود و در هر ترمز ۱۰ ثانیه عمل ترمزگیری (اعمال نیرو) انجام و ۲۰ ثانیه قطع می‌گردد. این مرحله درحالی‌که درجه حرارت کاسه ۸۲ تا ۹۳ درجه سلسیوس است، شروع‌شده و با استفاده از هوا خنک‌کن، حداکثر و حداقل دما در ترمزگیری‌های این مرحله بین ۸۲ تا ۱۰۴ درجه سلسیوس نگه‌داشته می‌شود.

مرحله گرمایی اول

درحالی‌که وسایل گرم‌کن و خنک‌کن خاموش می‌باشند، به کاسه فرصت داده می‌شود تا با چرخش خود، خنک شود. در دمای ۸۲ درجه سلسیوس با اعمال نیرو بر نمونه و روشن شدن گرم‌کن، عمل ترمزگیری ممتد شروع می‌شود. این مرحله در شرایط ۶۶۷ نیوتن و ۴۱۷ دور بر دقیقه انجام می‌شود و ترمزگیری به مدت ۱۰ دقیقه و یا تا رسیدن به دمای ۲۸۸ درجه سلسیوس با اولویت وقوع هر یک، ادامه می‌یابد.

مرحله بازیابی اول

بلافاصله پس از اتمام مرحله حرارتی اول، گرم‌کن خاموش و خنک‌کن روشن می‌شود. در هر یک از دماهای ۲۶۰، ۲۰۴، ۱۴۹ و ۹۳ درجه سلسیوس عمل ترمزگیری به مدت ۱۰ ثانیه حین خنک شدن کاسه و در شرایط ۶۶۷ نیوتن ۴۱۷ دور بر دقیقه انجام می‌گیرد.

مرحله سایش

۱۰۰ مرتبه ترمزگیری در ۶۶۷ نیوتن و ۴۱۷ دور بر دقیقه انجام می‌شود. به‌طوری‌که در هر مرتبه ۲۰ ثانیه عمل ترمزگیری انجام و ۱۰ ثانیه قطع می‌شود. این مرحله در دمای کاسه ۱۹۳ تا ۲۰۴ درجه سلسیوس شروع شده و دما طی مرحله با استفاده از خنک کننده بین ۱۹۳ تا ۲۱۶ درجه سلسیوس نگه داشته می‌شود.

مرحله گرمایی دوم

بعد از اتمام مرحله اندازه‌گیری سوم سایش، درحالی‌که وسایل گرم‌کن و خنک‌کن خاموش است، به کاسه فرصت داده می‌شود تا با چرخش خود خنک شود. در دمای ۸۲ درجه سلسیوس با اعمال نیرو بر روی نمونه و روشن شدن گرم‌کن عمل ترمزگیری ممتد شروع می‌شود. این مرحله

www.SID.ir

Archive of SID

در شرایط ۶۶۷ نیوتن و ۴۱۷ دور بر دقیقه انجام می‌گیرد. ترمزگیری به مدت ۱۰ دقیقه و یا تا رسیدن به دمای ۳۴۳ درجه سلسیوس با اولویت وقوع هر یک ادامه می‌یابد. ثبت نیروی اصطکاک از دمای ۹۳ درجه سلسیوس با فواصل ۲۸ درجه سلسیوس شروع می‌شود. زمان موردنیاز برای رسیدن به دمای ۳۴۳ درجه سلسیوس ثبت می‌گردد.

مرحله بازیابی دوم

بلافاصله پس از اتمام مرحله گرمایی دوم، گرم‌کن خاموش و خنک‌کن روشن می‌شود. در هر یک از دماهای ۳۱۶، ۲۶۰، ۲۰۴، ۱۴۹ و ۹۳ درجه سلسیوس عمل ترمزگیری به مدت ۱۰ ثانیه حین خنک شدن کاسه و در شرایط ۶۶۷ نیوتن و ۴۱۷ دور بر دقیقه انجام می‌گیرد.

مرحله مبنای دوم

مرحله مبنای اولیه تکرار می‌شود.

اندازه‌گیری ضخامت و وزن نهایی

مطابق مراحل اندازه‌گیری وزن و ضخامت اولیه، نمونه وزن شده و ضخامت آن اندازه‌گیری می‌شود. در هر بار ترمزگیری ضریب اصطکاک ثبت می‌شود. پس از انجام آزمون، نمونه‌ها مجدداً با دقت ۰/۰۱ وزن شد و نرخ سایش ویژه Sw از رابطه ۱ محاسبه شد:

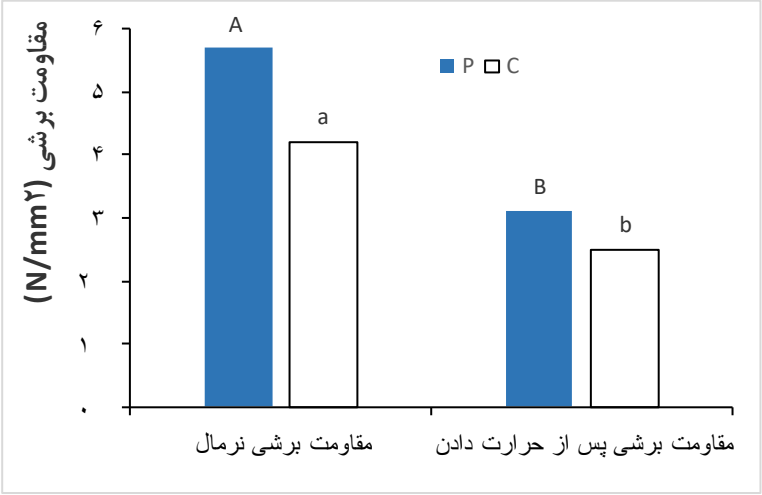
$$Sw=\frac{m1-m2}{2\pi\times r\times N\times Fm} \qquad (1)$$

که در رابطه (۱): Sw نرخ سایش ویژه (گرم بر نیوتن متر)، m_1 وزن اولیه نمونه (گرم)، m_2 وزن ثانویه نمونه (گرم)، r شعاع دیسک (متر)، N دور بر دقیقه دیسک در طول یک آزمون کامل و F_m میانگین نیروی سایشی (نیوتن) است.

نتایج و بحث

مقاومت برشی

مقاومت برشی در دو حالت دمای محیط و پس از حرارت دادن در دمای ۳۰۰ درجه سلسیوس اندازه‌گیری شد. چنانچه در شکل ۵ مشاهده می‌شود، بررسی اثر نوع پسماند سلولزی نشان داد که بیشترین مقاومت برشی در نمونه‌های ساخته شده با شلتوک برنج به دست می‌آید.



شکل ۵. مقایسه میانگین مقاومت برشی لنت‌های ساخته شده با پسماند کاغذ (C) و شلتوک برنج (P)

طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۲۷۹۵، مقاومت برشی برای لنت ترمز دیسکی، باید حداقل ۲/۵ نیوتن بر میلی‌متر مربع باشد [۱۱] و همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، نتایج حاصل از آزمون مقاومت برشی برای کلیه نمونه‌های ساخته شده از پسماند سلولزی با این استاندارد مطابقت دارد. همچنین مشاهده می‌شود که دما بر مقاومت برشی لنت ترمز اثر منفی می‌گذارد و موجب کاهش آن می‌شود. نتایج نشان داد که هم در دمای محیط

www.SID.ir

Archive of SID

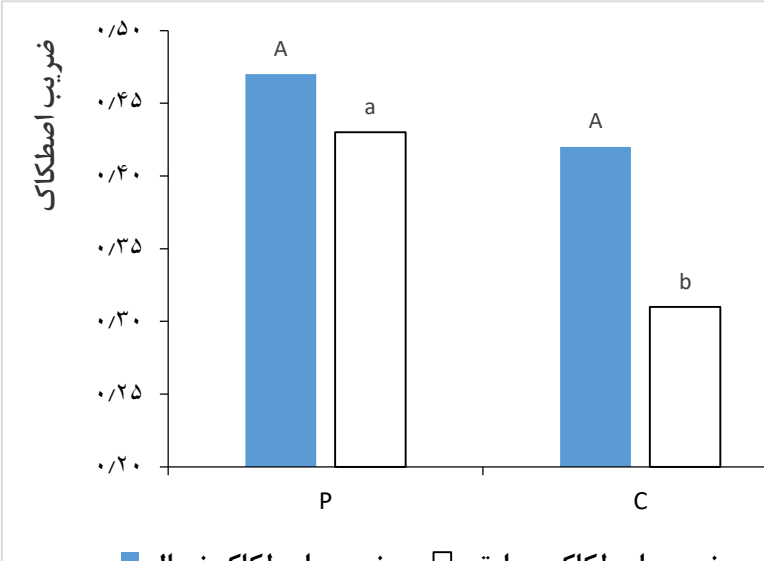
و هم در حالتی که لنت‌ها در دمای ۳۰۰ درجه سلسیوس حرارت داده شوند، مقاومت برشی تیمار شلتوک برنج بیشتر از تیمار پسماند کاغذ است. علت کاهش مقاومت برشی لنت‌های ساخته شده از پسماند کاغذ، پس از حرارت‌دهی، تجزیه همی‌سلولز و آلفا سلولز در دمای ۲۹۵ درجه سلسیوس است [۱۳]. علت بالا بودن مقاومت برشی لنت‌های ساخته شده با شلتوک برنج بهبود ویژگی‌های مکانیکی شلتوک برنج در دمای بالا به‌واسطه ایجاد یک‌لایه سرامیکی است [۱۴]. نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده-های حاصل از آزمون مقاومت برشی نرمال و مقاومت برشی پس از حرارت دادن (جدول ۳) نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها بود.

جدول ۳. تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمون‌های مقاومت برشی و سایش و اصطکاک

ویژگی لنت	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	سطح معنی‌داری
مقاومت برشی نرمال	۸/۴۶۴	۱	۸/۴۶۴	۱۹۹/۱۵	۰/۰۰۰
مقاومت برشی حرارتی	۲/۶۰۱	۱	۲/۶۰۱	۷۳/۲۶۸	۰/۰۰۰
ضریب اصطکاک نرمال	۰/۰۰۰	۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۱
ضریب اصطکاک حرارتی	۰/۰۵	۱	۰/۰۵	۷۴/۶۸۱	۰/۰۰۰
نرخ سایش	۲۴/۳۳۶	۱	۲۴/۳۳۶	۳۱۲	۰/۰۰۰

سایش و اصطکاک

طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۵۸۶، ضریب اصطکاک لنت ترمز دیسکی در آزمون سایش و اصطکاک باید در حدود ۰/۲ تا ۰/۴ باشد [۱۲] و نتایج حاصل نشان داد که نمونه‌های ساخته شده با شلتوک برنج وضعیت مطلوب‌تری نسبت به نمونه‌های ساخته شده با پسماند کاغذ دارند. در شکل ۶ میانگین ضریب اصطکاک لنت‌های ساخته شده در مراحل حرارتی و در حالت نرمال مقایسه شده اند.



شکل ۶. مقایسه میانگین ضرایب اصطکاکی مراحل حرارتی و نرمال لنت‌های ساخته شده با پسماند کاغذ (c) و شلتوک برنج (P)

چنانچه مشاهده می‌شود ضریب اصطکاک در مراحل حرارتی نسبت به سایر مراحل، کاهش می‌یابد به‌ویژه در مرحله حرارتی دوم که دما تا ۳۵۰ درجه سلسیوس افزایش می‌یابد. علت این مسئله، تجزیه مواد آلی مورداستفاده در فرمولاسیون لنت ترمز به‌ویژه رزین فنولی است که به آن اصطلاحاً پدیده فید[۱] می‌گویند [۱۵]. این افت ناگهانی در ضریب اصطکاک، اثرات بسزایی در کیفیت و عملکرد لنت ترمز دارد. همچنین مشاهده می‌شود که

[۱] Fade

www.SID.ir

Archive of SID

مقدار میانگین ضرایب اصطکاک نرمال و حرارتی تیمار شلتوک برنج بیشتر از تیمار پسماند کاغذ است. نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که اختلاف میانگین ضریب اصطکاک نرمال، معنی‌دار نیست اما اختلاف آن در مراحل حرارتی در سطح ۱ درصد معنی‌دار است و مقدار متوسط آن برای تیمار شلتوک برنج بیشتر از تیمار پسماند کاغذ است. درواقع آنچه بیشتر از بالا بودن ضریب اصطکاک در لنت ترمز اهمیت دارد، ثابت ماندن آن در شرایط مختلف به‌ویژه افزایش دما است. به‌طوری‌که طبق استاندارد، تغییرات ضریب اصطکاک در هر مرحله در خصوص مراحل بازیابی اول و دوم، سایش و مبنای دوم نباید از ۲۰ درصد و در مراحل حرارتی اول و دوم از ۳۰ درصد تجاوز کند [۱۲]. نتایج درصد تغییرات ضریب اصطکاک در هر مرحله، در جدول ۴ نشان داده‌شده است. چنانچه مشاهده می‌شود، درصد تغییرات برای نمونه‌های ساخته شده با شلتوک برنج در تمام مراحل در حدود مجاز استاندارد است، اما در نمونه‌های ساخته شده با پسماند کاغذ، تغییرات ضریب اصطکاک در مراحل حرارتی اول و دوم، بیشتر از حدود تعیین‌شده توسط استاندارد است. علت افت ضرایب اصطکاک نمونه‌های ساخته شده با پسماند کاغذ در مقایسه با پوسته شلتوک تفاوت در مقاومت حرارتی این دو ماده است. آنالیز ترموگراویمتریک[1] (TGA) پسماند کاغذ نشان داده که اولین مرحله تجزیه حرارتی آن در حدود دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس رخ می‌دهد و علت آن تبخیر آب موجود در الیاف ناشی از ویژگی آب‌دوستی آن‌ها است. همچنین دمای تجزیه اولیه (۱۰ درصد افت وزنی) برای پسماند کاغذ ۳۱۰ درجه سلسیوس است و بیشترین افت وزنی برای پسماند کاغذ در دمای ۳۴۰ درجه سلسیوس رخ می‌دهد [۱۳] اما نتایج TGA پوسته شلتوک نشان‌دهنده این است که دمای تجزیه اولیه آن حدود ۶۰۰ درجه سلسیوس است. علت آن مقدار خاکستر بالای شلتوک برنج و همچنین بالا بودن مقدار سلولز آن است [۱۴] بنابراین انتظار می‌رود که لنت-های ساخته شده با شلتوک برنج در دماهای بالاتر ویژگی-های مطلوب‌تری نسبت به نمونه‌های ساخته شده با پسماند کاغذ داشته باشد.

جدول ۴. درصد تغییرات ضریب اصطکاک در هر مرحله آزمون سایش و ضریب اصطکاک

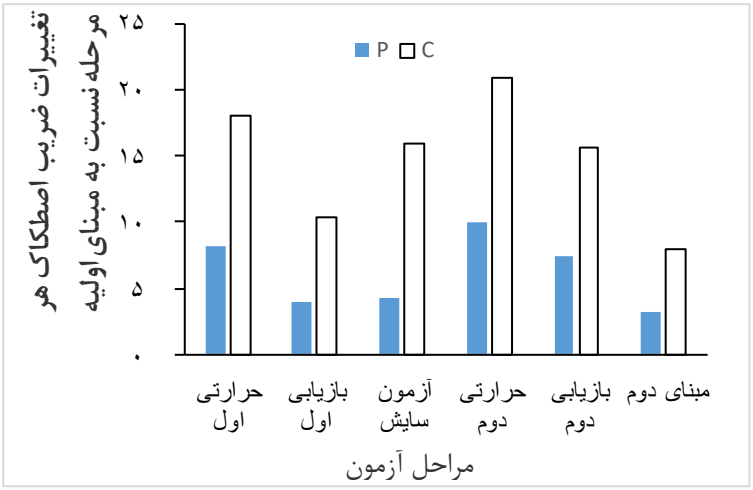
مرحله آزمون	شلتوک برنج		سلولز	
مبنای اولیه	۸/۲	۳/۳	۷/۸	۲/۴
حرارتی اول	۱۰/۹	۸/۵	۲۵/۶	۱۳/۶
بازیابی اول	۵/۸	۴	۱۸/۸	۱۰/۱
آزمون سایش	۳	۲/۵	۱۵/۳	۶/۹
حرارتی دوم	۲۵	۹/۴	۴۱/۵	۱۸
بازیابی دوم	۱۸	۱۰/۳	۱۹/۷	۱۲/۳
مبنای دوم	۳/۱	۲/۱	۵/۱	۵/۹

[1] Thermogravimetric

www.SID.ir

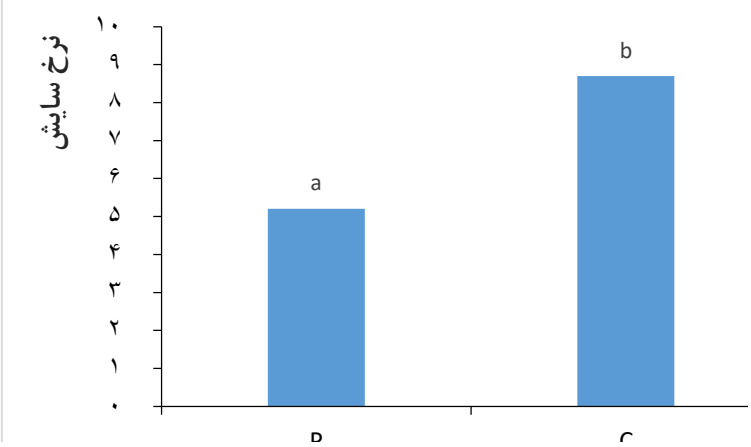
Archive of SID

از طرف دیگر به‌منظور اطمینان از پایداری ضریب اصطکاک، طبق استاندارد باید میانگین ضریب اصطکاک هر مرحله با مرحله مبنای اولیه مقایسه شود و میزان تغییرات آن نباید در مراحل بازیابی اول و دوم، سایش و مبنای دوم بیشتر از ۱۰ درصد و در مراحل حرارتی اول و دوم بیشتر از ۱۵ درصد باشد [۱۲]. در شکل ۷، درصد تغییرات ضریب اصطکاک هر مرحله نسبت به مبنای اولیه نشان داده‌شده است.



شکل ۷. مقایسه تغییرات ضریب اصطکاک هر مرحله نسبت به مرحله مبنای اولیه (شلتوک برنج P و پسماند کاغذ C)

چنانچه مشاهده می‌شود، درصد تغییرات ضریب اصطکاک لنت‌های ساخته شده با سلولز کاغذ در مراحل مختلف نسبت به مبنای اولیه در مقایسه با لنت‌های ساخته شده با شلتوک برنج بیشتر است و مقدار آن در مراحل حرارتی اول و دوم و همچنین مراحل سایش و بازیابی دوم، بیشتر از حد مجاز است، اما در مورد نمونه‌های ساخته شده با شلتوک برنج درصد تغییرات در تمام مراحل در حدود مجاز استاندارد است. ویژگی دیگری که در آزمون سایش و اصطکاک موردبررسی قرار می‌گیرد، نرخ سایش ویژه (Sw) لنت‌های ساخته شده است. طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۵۸۶، حداکثر نرخ سایش لنت ترمز دیسکی در آزمون سایش و ضریب اصطکاک باید ۲/۲ گرم بر نیوتن متر باشد [۱۲]. نتایج حاصل از آزمون در شکل ۸ نشان می‌دهد که نرخ سایش لنت‌های ساخته شده با پسماند کاغذ بیشتر از سایش نمونه‌های ساخته شده با شلتوک برنج است و نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نیز نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌ها در سطح ۱ درصد است.



شکل ۸. مقایسه میانگین نرخ سایش لنت‌های ساخته شده با پسماند کاغذ C و شلتوک برنج P

www.SID.ir

Archive of SID

درمجموع، مطابق نتایج حاصل از آزمون سایش و ضریب اصطکاک می‌توان گفت، کلیه ویژگی‌های تریبولوژی لنت‌های ساخته شده با شلتوک برنج (ضریب اصطکاک و نرخ سایش) در مقایسه با نمونه‌های ساخته شده با پسماند کاغذ مطلوب‌تر است، برای این مسئله دو علت اصلی را می‌توان برشمرد: الف) وجود سیلیکا و لیگنین در ترکیب شیمیایی شلتوک برنج که موجب بهبود ویژگی‌های سایشی می‌شود. شلتوک برنج دارای ۱۵ تا ۲۲ درصد سیلیکا است و به علت وجود لیگنین و سیلیکا این ماده دارای ویژگی‌های تریبولوژیک[1] (سایش و اصطکاک) مطلوبی است [۱۰] [۱۵]، [۱۶]. ب) ایجاد لایه سایشی در طی آزمون سایش و اصطکاک در نمونه‌های ساخته شده با شلتوک برنج، این لایه در اثر ذوب فلزات و ترکیب شدن آن‌ها با سایر مواد در اثر اصطکاک و دمای بالا ایجاد می شود. هر چه الیاف سبک‌تر باشند احتمال ایجاد نوار سایشی بیشتر می‌شود و ضریب اصطکاک بالاتر می‌رود [۱۷]، [۱۸].

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که کلیه ویژگی‌های بررسی‌شده برای لنت‌های ساخته شده از شلتوک برنج در حدود مجاز ازنظر استاندارد است و لنت ساخته‌شده باوجوداینکه فاقد مس است، ویژگی‌های بسیار مطلوبی دارد؛ اما ویژگی‌های لنت-های ساخته‌شده با پسماند کاغذ که به‌طورمعمول در صنعت لنت سازی تا حدود ۵ درصد استفاده می‌شود، در برخی از آزمون‌ها مطابق با استاندارد نیست. علت این مسئله کیفیت پایین این نوع سلولز می‌باشد؛ بنابراین می-توان نتیجه گرفت که استفاده از شلتوک برنج در فرمولاسیون فاقد مس و آزبست سبب بهبود ویژگی‌های لنت ترمز می‌شود و استفاده از آن در ترکیب مواد اصطکاکی برای ساخت فرمولاسیون دوستدار محیط‌زیست و مطلوب ازنظر ویژگی‌های عملکردی، برای ساخت لنت ترمز توصیه می‌شود.

منابع

[1] Blau, P., 2001. Composition, functions and testing of friction brake materials and their additives. Journal of OAK RIDGE NATIONAL LABORATORY, 64:1-23.

[2] Shinde, D. and Mistry, K. N., 2017. Asbestos base and asbestos free brake lining materials: Comparative study. International Journal of scientific world. 47-50.

[3] Moezzipour, A., Layeghi, M., Ebrahimi, G. and Akbari, B., 2014. Investigation of Possibility of Using Lignocellulosic Materials and Nano Alominum Oxide in Manufacture of Brake Lining. Journal of Forest and Wood Product, 67: 283-294.

[4] Ertan, R. and Yavuz, N., 2010. An experimental study on the effects of manufacturing parameters on the tribological properties of brake lining materials. Journal of Wear, 268: 1524-1532.

[5] Barros, L. Y., Poletto, J. C., Neis, P. D., Ferreira, C. H. and Pereira, H. S., 2019. Influence of copper on automotive brake performance. Journal of Wear, 426: 741-749.

[6] Wei, L., Choy, Y. S., Cheung, C. S. and jin, D., 2020. Tribology performance, airborne particle emission and brake squeal noise of copper-free friction materials. Journal of Wear, 448: 203215.

[7] Zhang, J. Z., 2011. Copper-free friction material composition for brake pads, US Patent 8962711B2

[8] Aranganathan, N. and Bijwe, j., 2016. Development of copper-free eco-friendly brake-friction material using novel ingredients. Journal of Wear, 352: 79-91.

[9] Lee, P. W. and Filip, P., 2013. Friction and wear of Cu-free and Sb-free environmental friendly automotive brake materials. Journal of Wear, 302: 1404-1413.

www.SID.ir

Archive of SID

[10] Mutlu, I., 2009. Investigation of tribological properties of brake pad by using rice straw and rice husk dust. Journal of Applied Science, 9: 377-381.

[11] Standard Test method for Road Cars - Brake Pads - Method of Cutting Resistance Test Disc Brake Pad, ISIRI, 2798.2013.

[12] Standard Test Method for Brake pads - test features and methods, ISIRI, 586. 2010.

[13] Desouza, A. G., Kanoa, F. S., Bonventa, J. and Rosa, D. 2017. Cellulose Nanostructures Obtained from Waste Paper Industry: A Comparison of Acid and Mechanical Isolation Methods, Journal of Mterials Research, 20.

[14] Mansaray, K. G. and Ghaly, A. E., 1997. Thermogravimetric Analysis of Rice Husks in an Air Atmosphere, Journal of Energy Sources, 20: 653-663.

[15] Bharadwaj, A., Wang, Y., Sridhar, S. and Arunachalam, V. S., 2004. Pyrolysis of rice husk. Journal of Current Science, 87: 981-985.

[16] Shibata, K., Yamaguchi, T. and Hokkirigawa, K., 2014. Tribological behavior of RH ceramics made from rice husk sliding against stainless steel, alumina, silicon carbide, and silicon nitride. Journal of Tribology International, 73: 187-194.

[17] Satapaty, B. K. and Bijwe, J., 2004. Performance of friction material of organic fibers. Journal of Wear, 257: 573-584.

[18] Bagheri, S., 2003. Investigation of behavior of five various fibers in composition of brake lining. M. S. thesis. University of Science and Industry. 85pp.

www.SID.ir

Archive of SID

Investigation of using rice hask and paper waste to make free copper brake lining

Abstract

In this study, the properties of non-copper and non- asbestos friction materials were investigated using cellulose waste to make brake pads. Friction materials including 20% cellulose waste (rice husk and paper waste) were used to make industrial brake linings and the shear strength, wear rate and friction coefficient of the linings according to the relevant standards were tested. The results showed that the average of shear strength of brake pads made of rice husk in normal condition was 35% and after heating was 24% higher than the brake linings made of paper waste. Also, the average of friction coefficient of linings made of rice husk in the thermal stages of wear and friction test was 35% higher than that of the brake linings made of paper waste and the wear rate of linings made of rice paddy was 67% less than linings made of paper waste. Also, all the properties of brake linings made of rice husk met the standard requirements. Thus, it can be said that by utilization of rice husk without copper and asbestos, the desirable properties of the brake pads can be achieved, and this formulation can be used in the production of automobile brake linings.

Keywords: Cellulosic waste, Brake pads, Friction materials, Tribological properties.

B. Moezzipour[1*]
A. Moezzipour[2]

[1] Assistat Professor, Wood and paper science and technology, Faculty of agriculture and natural resources, University of Mohaghegh ardabili

[2] Ph. D graduated, Department of wood and paper science and technology, Faculty of natural resources, University of Tehran

Corresponding author:
b.moezzipour@uma.ac.ir

Received: 2020/04/17
Accepted: 2020/06/11

www.SID.ir