

استفاده از روش نشر اکوستیک برای مطالعه خرابی سطح در فرایند اصطکاک

مهدی احمدی¹

* نویسنده مسئول: ahmadinajafabadi@iaud.ac.ir

چکیده

در این مقاله با استفاده از پایش سیگنال الکتریکی یک سامانه نشر اکوستیک، تغییر شرایط در سطح مالش مورد بررسی تجربی قرار گرفته است. اصطکاک با لغزش یک حلقه فولادی بر سطح یک ورق فلزی شبیه سازی شده است. در اثر حرکت حلقه، آشوب مکانیکی در سطح فلز ایجاد می شود که به صورت امواج تنشی در سطح منتشر می شود. با استفاده از یک حسگر پیزوالکتریک، جابه جایی ناشی از گذر موج تنش به صورت سیگنال الکتریکی دریافت می شود که از آن برای تحلیل وضعیت اصطکاک استفاده می شود. نتایج به دست آمده نشان می دهد که میزان تأثیر عوامل مختلف مثل نیروی عمودی، جنس مواد و استفاده از روانکار بر خرابی سطح را می توان با تحلیل سیگنال الکتریکی مشاهده کرد. به عنوان مثال، مطالعه سیگنال حاصل از مالش دو سطح نشان می دهد که با مضمحل شدن لایه نازک روانکار بین دو سطح، سیگنال های مربوط به تشکیل خرابی های میکروسکوپی با دامنه و فرکانس معین ظاهر می شوند. حساسیت روش مورد استفاده برای تشخیص خرابی نسبت به روش پایش اصطکاک به مراتب بیشتر بوده و از این روش می توان برای پایش وضعیت سطح در فرایند اصطکاکی استفاده کرد.

واژه های کلیدی: اصطکاک، نشر اکوستیک، سایش، پایش خرابی.

1- مقدمه

می‌شود. این محدودیت سبب شده است که بررسی مکانیزم سایش در حین کار ماشین یا ابزار به طور درجا¹ مورد توجه قرار گیرد. به همین دلیل روش‌های نگهداری پیشگیرانه²، که مبتنی بر پایش³ عملکرد ماشین بوده و هشدار خرابی را به طور آنی⁴ صادر می‌کند، توجه زیادی را به خود معطوف داشته است. تعبیه ابزارهای داده‌برداری که به روش‌های مختلف از جمله حرارتی و ارتعاشی کار می‌کنند، در مناطق حساس به اصطکاک و سایش شرایط پایش دائمی ماشین را فراهم می‌کند. با این حال این ابزارها عموماً از حساسیت کافی برخوردار نبوده و سایش را زمانی گزارش می‌کنند که مقدار خرابی از حد مجاز گذر کرده و دیگر انجام اقدامات پیشگیرانه مفید نخواهد بود.

اخیراً محققین توجه خود را به روش‌های نشرکننده⁵ که دارای حساسیت بیشتری هستند معطوف داشته‌اند. این روش‌ها مبتنی بر ثبت نشر ناشی از وقوع پدیده‌های فیزیکی گوناگون در ماده می‌باشند. روش‌های نشرکننده بر اساس نشر الکترون، میدان الکترومغناطیس و نشر اکوستیک⁶ [۱] کار می‌کنند. وقوع پدیده‌های همراه با اصطکاک و سایش نیز نشر اکوستیک تولید می‌کند. با توجه به توسعه روش نشر اکوستیک در جنبه‌های سخت افزاری و نرم افزاری و نتایج امیدوار کننده آن، محققین به استفاده از این روش در عیب‌یابی مجموعه‌های تریبولوژیکی نظر مساعد نشان داده‌اند.

امواج نشر اکوستیکی در اثر جابه‌جایی کوچک در سطح ماده تولید می‌شوند. چنین جابه‌جایی‌هایی خود در اثر آزاد شدن سریع انرژی در ماده و متعاقب آن تشکیل امواج تنشی به وجود می‌آیند. برای شناسایی منبع آزاد شدن انرژی (مثلاً مالش دو سطح به یکدیگر)، جابه‌جایی در سطح توسط حسگر پیزوالکتریک به ولتاژ متناسب با آن تبدیل می‌شود. به این ترتیب، روش نشر اکوستیکی مبتنی بر ثبت و تحلیل

پدیده سایش یکی از پدیده‌های رایج در مبحث خرابی یا تاقان‌ها در ماشین آلات صنعتی، ابزارهای شکل‌دهی و براده‌برداری است. در نگهداری پیشگیرانه با استفاده از داده‌هایی که توسط سامانه‌های پایش به دست می‌آید چگونگی وقوع خرابی را در سطوح مالش ارزیابی می‌کنند. سامانه‌های داده‌برداری سایش با اصول فیزیکی مختلفی مانند اندازه‌گیری دما و ارتعاش کار می‌کنند. با افزایش خرابی و کاهش کیفیت سطوح مالش، اصطکاک بین دو سطح زیاد شده و این امر بخشی از انرژی حرکتی را به حرارت تبدیل می‌کند، یا با تغییر هندسی سطح سبب تولید ارتعاش می‌شود. هر یک از این روش‌ها دارای حساسیت محدودی بوده و عملاً تا خرابی از حد معینی بیشتر نشود قابل شناسایی نیست. در روش نشر اکوستیک، امواج الاستیک داخل قطعه موقعی که به حسگر نصب شده بر روی سطح می‌رسند، سیگنال الکتریکی متناسب با موج الاستیک تولید می‌کنند. از آنجا که مالش دو سطح، امواج تنشی در ماده تولید می‌کند می‌توان با استفاده از این روش خصوصیات این امواج را اندازه‌گیری کرده و با تحلیل آنها عامل بروز امواج، یعنی پدیده اصطکاک را مورد بررسی قرار داد.

اصطکاک بین دو سطح جامد و حتی گاهی سطوح روانکاری شده به وجود می‌آید. در مطالعه موضوعات تریبولوژیکی، دانستن تغییراتی که به واسطه اصطکاک در سطوح به وجود می‌آید از اهمیت زیادی برخوردار است. یکی از عمده‌ترین عواملی که مستقیماً یا به طور غیرمستقیم در عملکرد غیرصحیح یا تاقان‌ها و ابزارهای تغییر شکل فلزات دخالت دارد پدیده سایش ناشی از اصطکاک است. این پدیده در سطوح بخش‌های متحرک اجزای ماشین آلات و ابزارها سبب اتلاف مقدار قابل توجهی از انرژی و در نتیجه کاهش بازدهی می‌شود. از نظر دسته بندی علوم مهندسی، موضوع سایش در حوزه تریبولوژی، یا علم مربوط به اصطکاک قرار می‌گیرد. به همین دلیل بسیاری از متخصصین در این زمینه تحقیق خود را به شناخت جنبه‌های مختلف این موضوع اختصاص داده‌اند.

بررسی دقیق مکانیزم ایجاد سایش معمولاً با بررسی سطوح قطعات ساییده شده، پس از توقف ماشین، انجام

1- In-situ

2- Preventing maintenance

3- Monitoring

۴- Online

5- Emission

6- Acoustic emission

فرایند خرابی سطح دخالت داشته باشند.

سابقه استفاده از نشر آکوستیک در مطالعه فرایندهای اصطکاکی اگرچه به صورت بنیادی اطلاعات اندکی در مورد منابع تولید نشر آکوستیک ناشی از اصطکاک لغزشی انتشار یافته است [۱-۳] با این حال، گزارش‌های امیدوار کننده‌ای در مورد پتانسیل این روش در بررسی پدیده اصطکاک و سایش وجود دارد [۳]. بلی و همکارانش [۴] از روش‌های نشر آکوستیک برای مطالعه اصطکاک و سایش در یک سیستم تریبولوژیک فلز-پلیمر استفاده کردند. دیوی [۵] نتایج به دست آمده از کارهای دیگران را [6-7] با اندازه‌گیری‌های نشر آکوستیک در حین آزمون‌های لغزش پین-روی-دیسک [۸] مورد مقایسه قرار داد و نشان داد که رابطه نزدیکی بین سیگنال نشر آکوستیک و کار انجام شده توسط اصطکاک بین دو سطح وجود دارد. این ارتباط در قالب تابع توانی بین ولتاژ rms نشر آکوستیک و نرخ اتلاف انرژی اصطکاکی مطرح گردید. ماساکی [۹] رابطه بین نشر آکوستیک و صافی سطح اولیه را با استفاده از آزمون پین-روی-دیسک مورد تحقیق قرار داد و معیار rms نشر آکوستیک را برای شناسایی تغییر در مکانیزم‌های سایش معتبر دانست. رانگ والا و دورنفلد [۱۰] از آنالیز سیگنال نشر آکوستیک برای مطالعه ویژگی‌های سطوح در تماس با هم استفاده کردند. لینگارد و انجی [۱۱] با یک مدل، رابطه بین شمارش^۱ سیگنال نشر آکوستیک و کار حاصل از اصطکاک را پیشنهاد نمودند. هیساکادو و وراشینا [۱۲] آزمون‌های اصطکاک را در یاتاقان تحت شرایط روغنکاری و صافی سطوح مختلف انجام دادند و نرخ اتفاقات نشر آکوستیک^۲ و نرخ سایش و ضریب اصطکاک را در رابطه با یکدیگر بررسی کردند.

3- روش تحقیق

برای انجام آزمایش اصطکاک نیاز به طراحی یک مجموعه آزمایش می‌باشد تا اولاً شرایط اصطکاک را شبیه‌سازی کند و ثانیاً امکان اندازه‌گیری نیروها و سیگنال‌های نشر آکوستیک در آن وجود داشته باشد. برای این منظور مجموعه‌ای برای انجام آزمایش اصطکاک آماده گردید. در شکل (1-الف) تصویر

امواج نشر ناشی از جابه‌جایی‌های الاستیکی با فرکانس بالا در سطح مواد است [۲].

اولین کاربرد عملی نشر آکوستیک در پایش مجموعه‌های تریبولوژیکی در اواخر دهه 1970 میلادی صورت گرفته است و تاکنون پیشرفت زیادی در استفاده از این روش به وجود آمده است و در سالهای اخیر نیز در پایش وضعیت ماده و تشخیص از کارافتادگی قطعات مهندسی با موفقیت به کار گرفته شده است. هدف از این تحقیق مشخص کردن چگونگی ارتباط سیگنال نشر آکوستیک با پدیده اصطکاک تحت شرایط متفاوت است. علاوه بر این، بررسی امکان استفاده از داده‌های نشر آکوستیک به منظور تشخیص خرابی‌های ناشی از اصطکاک در اتصالات متحرک و یاتاقان‌ها نیز مورد نظر است.

2- زمینه تئوری

در ادامه مقاله به زمینه تئوری بحث پرداخته می‌شود.

اصطکاک و سایش

جابه‌جایی نسبی سطوح دو ماده در تماس با یکدیگر به پدیده سایش منجر می‌شود. در فرایند سایش، سطوح به طور تدریجی در سه مرحله زیر دچار تغییر شکل پلاستیک شده و نهایتاً مواد جدا می‌شوند:

مرحله اول: در این مرحله پستی و بلندی‌های سطوح در تماس با یکدیگر تغییر شکل می‌دهند. در این مرحله برجستگی‌های روی سطح تا حدی کوتاه شده و سبب کاهش نیروی اصطکاک و حرارت ناشی از آن شده و نرخ سایش کم می‌شود.

مرحله پایدار: در این مرحله نیروی اصطکاک و نرخ سایش ثابت باقی می‌مانند.

مرحله نهایی: در این مرحله در اثر وقایعی چون آسیب دیدگی سطوح، افزایش بار، بالا رفتن دمای تماس، فقدان روانکاری مناسب، تشکیل ذرات خارجی در محل تماس و آسیب دیدن لایه‌های سطحی، اصطکاک و نرخ سایش افزایش می‌یابند.

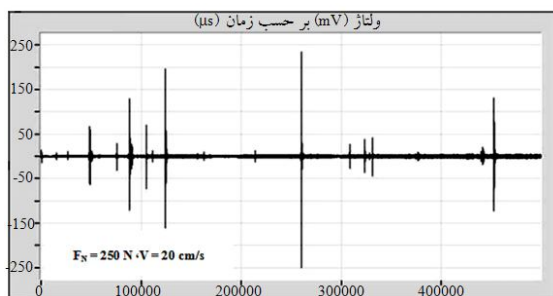
به طور کلی در اثر اصطکاک دو مکانیزم عمده خرابی در سطوح به وجود می‌آید. یکی ایجاد اتصال بین دو سطح در اثر فشار و دیگری تغییر شکل رانشی به علت تنش برشی. علاوه بر این‌ها، مکانیزم‌های خرابی دیگری مثل خستگی، کاویتاسیون و خوردگی نیز ممکن است (در مواردی) در

1-Count

2-Acoustic emission event rate

مجموعه آزمایش ارائه شده است.

نیوتن، در شکل (2) نشان داده شده است.



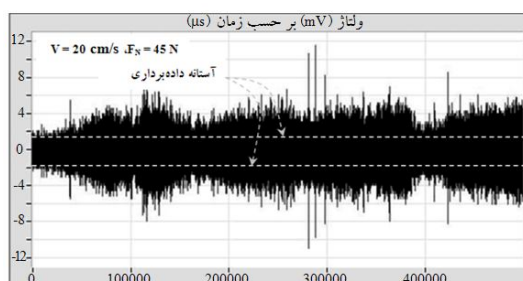
شکل (2) شکل موج (ولتاژ- زمان) در آزمایش بر روی فولاد زنگ نزن 304.

لازم به ذکر است که دامنه سیگنالی که در نمودار شکل موج توسط دستگاه نشان داده می شود بر حسب میلی ولت است که به مشخصه های مربوط به تنظیم دستگاه (ولتاژ آستانه تحریک و بهره پیش تقویت کننده)² بستگی دارد و ارتباط بین آنها با رابطه زیر بیان می شود:

$$V_{display} (mV) = 10^{-3} \times V_{ref} (\mu V) \times 10^{\frac{dB_{pre} + dB_{thr}}{20}} \quad (1)$$

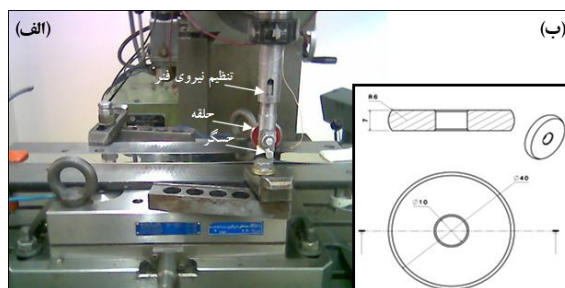
که در آن $V_{display}$ ولتاژ نشان داده شده در نمودار صفحه نمایش بر حسب میلی ولت و V_{ref} ولتاژ مرجع است که در اینجا یک میکروولت در نظر گرفته می شود. اندیس های pre و thr به ترتیب بیانگر حد آستانه و پیش تقویت کننده می باشند.

در آزمایش ورق فولاد زنگ نزن 304 تحت نیروی بالاتر از 250 نیوتن، همراه با روانکار، اصطکاک شبیه سازی و شکل موج ایجاد شده توسط حسگر نشر اکوستیک ثبت شد، شکل (3) را ببینید.



شکل (3) شکل موج سیگنال در آزمایش حلقه روی ورق فولاد زنگ نزن 304.

همانطور که در شکل دیده می شود مجموعه آزمایش شامل یک حلقه ثابت و یک سطح متحرک است. جنس حلقه از فولاد 1/2436 و دارای سختی 58 HRC است. مشخصات هندسی حلقه در شکل (1-ب) نشان داده شده است. حلقه به کمک نیروی فنر روی ورق فشرده می شود. جهت ایجاد حرکت نسبی بین ورق و ابزار از میز دستگاه سنگ استفاده شده است. پس از رسیدن حلقه به انتهای ورق حرکت میز متوقف شده و میز دستگاه به طور عرضی قدری جابه جا می شود و مجدداً در جهت عکس حرکت قبلی حرکت کرده و به این ترتیب به صورت منقطع می توان مسیرهای تا چند ده متر را تا مرحله ایجاد سایش تامین نمود. در آزمایش، امکان اعمال سرعت های حرکت زیاد تا 20cm/s وجود دارد. ارتعاشات ناشی از اصطکاک توسط حسگری که روی حلقه نصب شده است دریافت می شود. نیروی اصطکاک و نیروی عمودی به وسیله یک دینامومتر که روی میز نصب شده است اندازه گیری می شود.



شکل (1) مجموعه آزمایش شبیه سازی اصطکاک (الف) و ابعاد حلقه (ب).

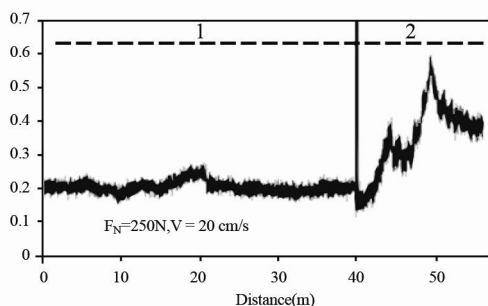
در آزمایش، از ورق های فولاد زنگ نزن 304، آلومینیوم 1000 و ورق مسی (99/9%) با عرض 40 میلیمتر استفاده شده است. این آزمایش یکبار تحت شرایط خشک (سطوح خشک و چربی زدایی شده) و یکبار تحت شرایط استفاده از روانکار (روغن شماره 10) انجام گرفت.

4- نتایج آزمایش و بحث

در ادامه در مورد نتایج به دست آمده بحث شده است.

مقایسه روش نشر اکوستیک با روش پایش اصطکاک خروجی حسگر (سیگنال نشر اکوستیک) حاصل از فرایند اصطکاک به صورت شکل موج¹ ذخیره می شود. شکل موج سیگنال به دست آمده از آزمایش روی ورق فولاد زنگ نزن 304، برای مدت 0/5 s تحت بار عمودی 45

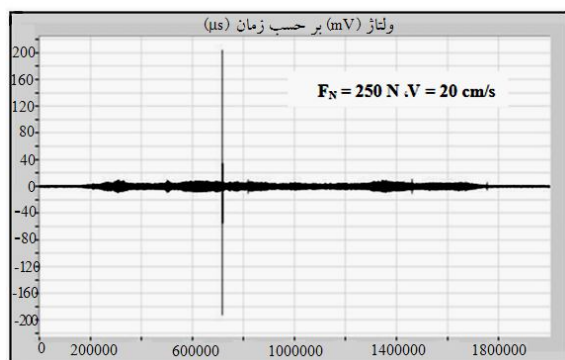
ضریب اصطکاک بر حسب مسافت طی شده توسط حلقه، بر گرفته از نتایج آزمایش 3، رسم شده است.



شکل (5) ضریب اصطکاک بر حسب مسافت طی شده در آزمایش شکل (3).

در شکل (5) ملاحظه می شود که در قسمتی که با شماره 1 مشخص شده است ضریب اصطکاک تقریباً ثابت و دارای مقدار متوسط 0/2 است ولی بعد از طی مسافت 40 متر سایش حلقه روی ورق، ضریب اصطکاک ناپایدار می شود، ناحیه 2 شکل (5) را ببینید. شکی نیست که افزایش و ناپایداری در اصطکاک به دلیل خرابی سطوح اتفاق می افتد ولی با پایش اصطکاک به تنهایی نمی توان به طور دقیق مشخص کرد که اولین خرابی ها در چه زمان به وجود آمده اند.

شکل (6) نمودار تغییرات دامنه سیگنال نشر آکوستیک مربوط به آزمایش شکل (3) را در مدت 1/8 ثانیه (معادل با حدود 36 cm لغزش حلقه روی سطح ورق) نشان می دهد. نمودار در ثانیه 0/72 وجود قله منفردی با دامنه بسیار بالاتر از دامنه سیگنال پیوسته را نشان می دهد. وجود این قله به منزله ایجاد خرابی در سطح تلقی شد. به همین دلیل، در آزمایش های بعدی هر بار پس از مشاهده چنین قله ای بلافاصله آزمایش قطع و سطوح مورد بررسی قرار گرفت. نتیجه بررسی تشکیل خرابی در سطح را تأیید می کرد.



همانطور که در شکل (3) مشاهده می شود یک شکل موج پیوسته و با دامنه کم به همراه تعدادی شکل انفجاری از داده های خروجی حسگر ثبت شده است. موج پیوسته با دامنه کم مربوط به صدای ناشی از مالش حلقه روی ورق است در حالی که قله های انفجاری به وقایع گذرا و پر انرژی مثل شکست مربوط اند. با مطالعه سطح حلقه بعد از آزمایش مطابق شکل (4) خرابی ناشی از جوش سرد بر آن مشاهده می شود که می توان دلیل ظهور قله های انفجاری در شکل (3) را به بریده شدن این جوش ها نسبت داد.



شکل (4) سطح حلقه مربوط به آزمایش شکل (3)

بر این اساس به رغم استفاده از روانکار بین ورق و حلقه، خرابی های جوش سرد به وجود آمده است که علت آن را می توان به فاز فولاد 304 که آستنیتی است نسبت داد. فاز آستنیت در این فولاد دارای ضریب انتقال حرارت پائین است که شرایط مناسبی برای تشکیل جوش سرد بین دو سطح ایجاد می نماید. البته فشار بالا نیز می تواند به پاره شدن فیلم روغن و تماس مستقیم سطوح کمک نماید.

مکانیزم های خرابی که منجر به ناصافی سطح می شوند می توانند ضریب اصطکاک را تغییر دهند. واندرهاید و ولد [۱۳] و گاید و همکارانش [۱۴] نیز به تغییرات در ضریب اصطکاک در سطح به دلیل وقوع خرابی ناشی از جوش سرد و پاره شدن محل اتصال اشاره کرده اند.

برای بررسی تأثیر خرابی سطح در تغییر ضریب اصطکاک در این آزمایش، با استفاده از نسبت نیروی عمود بر سطح و نیروی کشش حلقه روی ورق، ضریب اصطکاک برای آزمایش شکل (3) در هر زمان قابل محاسبه است. از طرف دیگر با توجه به سرعت ثابت لغزش حلقه بر سطح ورق (20 cm/s) مسافت پیموده شده توسط حلقه در هر زمان مشخص است. در نمودار شکل (5)

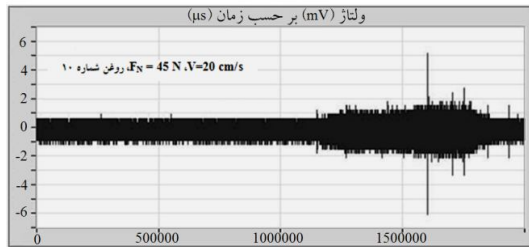
شکل (6) سیگنال نشر اکوستیک مربوط به آزمایش شکل (3).

شکل (7) توان موج بر حسب فرکانس.

با مقایسه روش پایش ضریب اصطکاک، شکل (5)، با روش نشر اکوستیک، شکل (6) مشاهده می شود که اگر چه روش نشر اکوستیک تشخیص خرابی را در ثانیه $0/72$ یعنی پس از $14/4$ m لغزش حلقه نشان می دهد ولی در روش پایش اصطکاک آثار خرابی پس از حدود 40 m لغزش ظاهر می شود که این بیان کننده حساسیت کم این روش است. به این معنا که در این روش تا خرابی به اندازه کافی بزرگ نشود نمی توان آن را تشخیص دهد. بنابراین در روش نشر اکوستیک تشخیص خرابی در زمان خیلی کوتاه تر حاصل می شود.

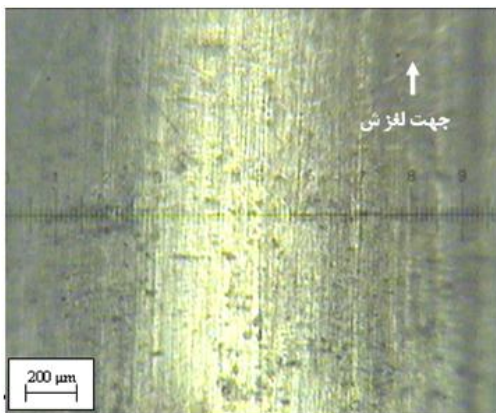
تأثیر جنس ورق بر سیگنال اصطکاک برای بررسی تأثیر جنس ورق، علاوه بر فولاد زنگ نزن، آزمایش اصطکاک روی ورق هایی از جنس مس و آلومینیم نیز انجام گرفت. هر دو آزمایش در نیروی 45 نیوتن و در حضور روانکار (روغن شماره 10) انجام گرفت.

شکل (8) شکل موج مربوط به آزمایش روی ورق مسی را برای مدت 2 ثانیه، که تقریباً معادل 40 cm مسافت لغزش حلقه می باشد، نشان می دهد.



شکل (8) شکل موج (ولتاژ - زمان) در آزمایش حلقه روی ورق مسی در مدت 2 ثانیه.

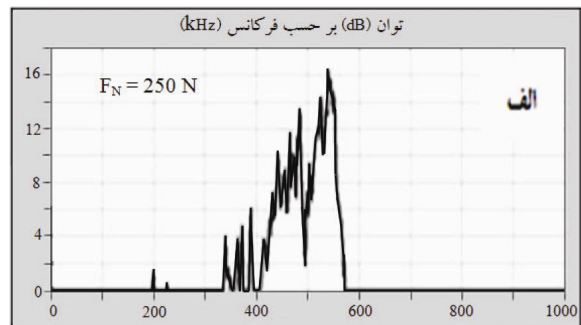
در شکل (9) تصویری از سطح حلقه بعد از طی مسافت 40 cm نشان داده شده است که در آن اثر تغییر شکل پلاستیک ناشی از کشیده شدن حلقه روی ورق مشاهده می شود ولی اثری از خرابی ناشی از جوش سرد وجود ندارد.



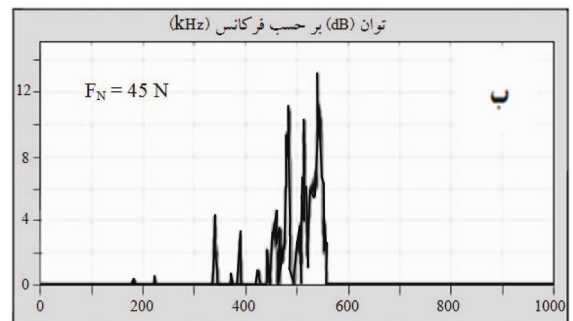
شکل (9) سطح حلقه بعد از طی مسافت 40 cm روی ورق

تأثیر نیروی عمودی در شکل (7) نمودارهای توزیع توان سیگنال بر حسب فرکانس از داده های شکل موج سیگنال استخراج و برای دو آزمایش، با نیروی عمودی 45 نیوتن در شکل 2 و 250 نیوتن در شکل (3) نشان داده شده است.

اگر چه دو نمودار از نظر ظاهری تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند ولی محتوای فرکانسی 400 تا 600 کیلوهرتز در آزمایش با نیروی بالاتر (7-الف) به طور چشمگیری نسبت به آزمایش با نیروی کمتر (7-ب) بیشتر است.

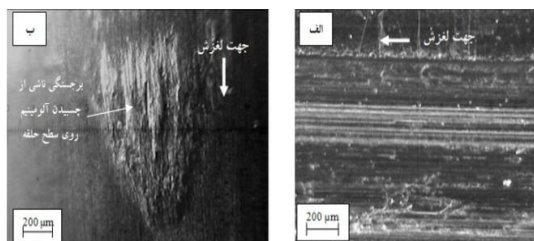


الف - تحت نیروی عمودی 250 N.



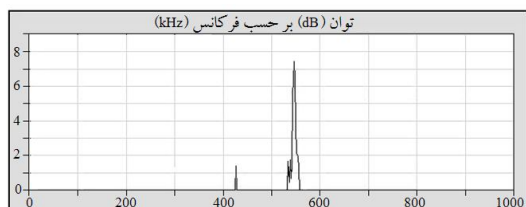
ب - تحت نیروی عمودی 45 N.

مسی روغن شماره 10.



شکل (11) تصویر سطح ورق (الف) و سطح حلقه (ب) پس از آزمایش تحت $F_N = 45 \text{ N}$ ، $V = 20 \text{ cm/s}$ ، روغن شماره 10.

در شکل (12) توزیع توان موج بر حسب فرکانس مربوط به آزمایش حلقه روی آلومینوم نشان داده شده است. قله‌های توان در فرکانس 540 kHz دیده می‌شود که مشابه فرکانس قله در آزمایش فولاد زنگ نزن 304 است.



شکل (12) توان موج بر حسب فرکانس مربوط به آزمایش شکل (10).

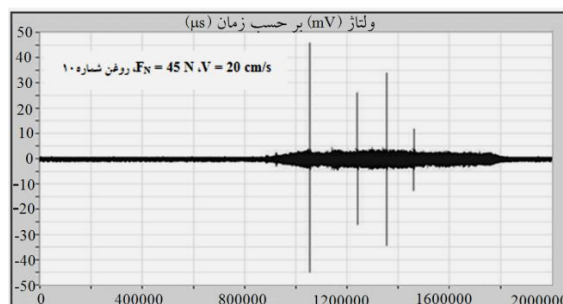
از مقایسه نتایج آزمایش روی ورق‌های مسی و آلومینیومی و با استناد به شکل موج نشر آکوستیک می‌توان این‌طور نتیجه‌گیری نمود که تحت شرایط یکسان اصطکاکی، در آلومینیم کرد که نسبت به مس زودتر اتفاق می‌افتد که با توجه به ضریب چسبندگی بیشتر آلومینوم نسبت به مس قابل توجیه است [15].

سیگنال آزمایش لغزش حلقه روی ورق‌های آلومینیومی، مسی و فولاد زنگ نزن، در زمانی که اولین قله‌های انفجاری تشکیل شد، انتخاب و مورد بررسی قرار گرفت. نتیجه نشان داد که زمان استمرار¹ که یکی از مشخصه‌های سیگنال انفجاری محسوب می‌شود در مورد این سه فلز با یکدیگر متفاوت است.

در جدول (1) مقادیر زمان استمرار بر حسب میلی‌ثانیه برای مس، آلومینیم و فولاد زنگ نزن با یکدیگر مقایسه شده است. مشخص است که زمان استمرار مس نسبت به دو فلز دیگر بسیار کمتر است.

از نتایج شکل‌های (8) و (9) می‌توان این‌طور استنباط کرد که در طی 40 cm مسافت لغزش تحت نیروی کم (45 نیوتن) امواج نشر آکوستیک منحصراً در اثر برخورد برجستگی‌های میکروسکوپی مربوط به هر دو سطح حلقه و ورق مسی و تغییر شکل پلاستیک این برجستگی‌ها در سطح ورق مسی تولید شده است. این موضوع در کار سایر محققین نیز گزارش شده است [1].

شکل (10) سیگنال نشر آکوستیک در آزمایش کشیده شدن حلقه روی ورق آلومینیم 1000 را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که بر خلاف سیگنال مربوط به ورق مسی، شکل (8)، با وجود نیروی کم، علاوه بر سیگنال پیوسته مربوط به تغییر شکل پلاستیک، قله‌های انفجاری بسیار بزرگ نیز دیده می‌شوند. مطابق آنچه که قبلاً گفته شد این قله‌ها مربوط به پدیده‌های لحظه‌ای مثل تشکیل جوش سرد و بریده شدن آن است. این رفتار شبیه رفتار فولاد زنگ نزن 304 تحت بار زیاد است.



شکل (10) شکل موج (ولتاژ - زمان) در آزمایش حلقه روی ورق آلومینیم.

پس از انجام آزمایش، سطح ورق آلومینیومی و حلقه مورد بررسی قرار گرفت که آثار جوش سرد بر هر دو سطح ملاحظه شد. مقداری آلومینیم از سطح ورق جدا شده و به سطح حلقه چسبیده بود. در شکل (11) تصاویر سطح ورق آلومینیومی و سطح حلقه پس از آزمایش نشان داده شده است.

5- نتیجه گیری

این تحقیق برای شناسایی مکانیزم‌های اثرگذار در تولید سیگنال نشر اکوستیک در یک دستگاه شبیه سازی اصطکاک انجام شده است. با وجود اختلاف بین شرایط واقعی و شرایط شبیه سازی شده در این آزمایش، نتایج به دست آمده می تواند در ارزیابی توانایی روش نشر اکوستیک برای شناخت بهتر پدیده اصطکاک مورد استفاده قرار گیرد. نتایج به دست آمده در این تحقیق را می توان به شرح ذیل خلاصه کرد:

1- سیگنال نشر اکوستیک در فرایند اصطکاک تحت تأثیر عوامل مختلفی مثل نیروی عمودی، جنس مواد و استفاده از روانکار قرار دارد و تغییر هر یک سبب تغییراتی در شکل موج سیگنال می شود.

2- روش نشر اکوستیک در مقایسه با روش پایش اصطکاک حساسیت بیشتری در تشکیل خرابی در سطح از خود نشان می دهد.

3- افزایش نیروی عمودی باعث افزایش توان سیگنال نشر اکوستیک می گردد ولی محدوده فرکانسی آنرا به طور محسوس تغییر نمی دهد.

4- جنس فلز از جهات مختلف بر تولید سیگنال اصطکاک تأثیر می گذارد. هر چه حساسیت به تشکیل خرابی، که به دو عامل استحکام و هدایت حرارتی بستگی دارد، بیشتر شود توان سیگنال نشر بیشتر می شود. در فلزی که تمایل بیشتری به تشکیل جوش سرد از خود نشان می دهد سیگنال قوی تری ایجاد می شود. در مورد فولاد زنگ نزن، سیگنال های تولید شده در اثر جوش سرد بسیار قوی تر از سیگنال های مربوط به تغییر شکل پلاستیک ناشی از مالش سطح خارجی می باشد.

5- حضور روانکار سبب می شود تا دامنه سیگنال نشر اکوستیک نسبت به اصطکاک خشک به طور محسوس کاهش پیدا کند. با این وجود، تحت نیروی های عمودی زیاد ممکن است فیلم روانکار ناپایدار شده و در نتیجه این کاهش ملاحظه نشود.

مراجع

[1] Baranov V.M., Kudryavtsev E.M., Sarychev G.A. and Schavelin V.M., *Acoustic Emission in Friction*, 1st ed. London, Elsevier Pub., 2007.

[2] *ASM Handbook, Vol. 14, Nondestructive*

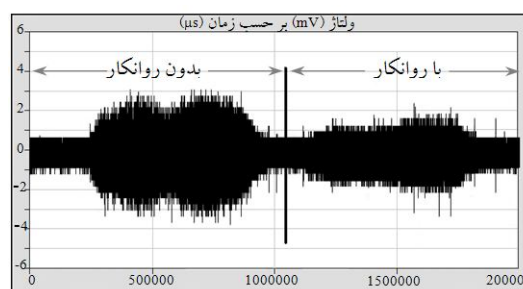
جدول (1) مقایسه میانگین استمرار موج ورق مسی با آلومینیم و فولاد زنگ نزن ($F_N = 45 \text{ N}, v = 20 \text{ cm/s}$)

جنس	میانگین استمرار موج در 9 مسیر حرکت حلقه
Cu (99/9)	1/2
Al 1000	190
SS 304	121

تأثیر روانکار روی سیگنال نشر اکوستیک

برای بررسی تأثیر استفاده از روغن روانکار روی سیگنال اصطکاک، ابتدا بدون استفاده از روانکار حلقه روی ورق تحت نیروی عمودی 12 نیوتن لغزنده شد و پس از 1 ثانیه در محل لغزش حلقه روغن اضافه شد.

در شکل (13) تأثیر اضافه شدن روانکار روی سیگنال نشر اکوستیک در آزمایش روی ورق مسی نشان داده شده است. مشاهده می شود که پس از افزودن روانکار دامنه سیگنال کاهش پیدا می کند. کاهش دامنه سیگنال می تواند به دلیل کاهش تعداد تماس برجستگی های میکروسکوپی در اثر قرار گرفتن فیلم روغن بین حلقه و ورق و میرا شدن سیگنال های نشر اکوستیک در حضور روغن باشد.



شکل (13) دامنه سیگنال قبل (سمت چپ خط) و بعد از (سمت راست خط) افزودن روغن شماره 10، سرعت لغزش حلقه 20 سانتی متر بر ثانیه، نیروی عمودی 12 نیوتن و جنس ورق: مس 99/9%.

همین آزمایش به ترتیبی که ذکر آن رفت تحت نیروی عمودی زیاد نیز انجام گرفت. نتایج نشان داد که با اضافه شدن روغن تفاوت محسوسی در دامنه سیگنال ایجاد نمی شود. این امر را می توان به ناپایدار شدن قشر روانکار در نیروی عمودی زیاد نسبت داد.

- lubricant selection on galling in a model wear test*, Wear ۲۵۱, ۲۰۰۱, ۹۷۳-۹۷۹.
- [14] Gaard, A., Krakhmalev P.V., Bergstrom, J. , Hallback N., *Galling resistance and wear mechanisms-cold work tool materials against carbon steel sheets*, Tribology Letters ۲۶, ۲۰۰۷, ۶۷-۷۲.
- [15] Stachowiak G. ,Batchelor A., Engineering Tribology, ۲th ed. Butterworth-Heinemann, ۲۰۰۱.
- Evaluation*, American Society for Testing and Materials (ASM International), ۱۹۹۴, pp. ۶۶۱-۷۰۲.
- [3] Jiaa C.L. and Dornfeld D.A., *Experimental Studies of Sliding Friction and Wear via Acoustic Emission Signal Analysis*, Wear ۱۳۹, ۱۹۹۰, pp. ۴۰۳-۴۲۴.
- [4] Belyi V.A., Kholodilov O.V. ,Syirdylnik A.L., *Acoustic spectrometry as used for the evaluation of tribological systems*, Wear ۶۹, ۱۹۸۱, pp. ۳۰۹-۳۱۹.
- [5] Diei E.N., Investigation of the milling process using acoustic emission signal analysis, Ph.D. Thesis, Department of Mechanical Engineering, University of California, Los Angeles, ۱۹۷۹.
- [6] Dornfeld D. A., *Acoustic emission monitoring and analysis of manufacturing processes*, ۱۲th National Science Foundation Conf. On Production Research and Technology (May ۱۹۸۵), Presented at the proceedings, University of Wisconsin, Madison, WI, ۱۹۸۵, pp. ۳۲۹-۳۳۴.
- [7] Liang S.Y. , Dornfeld D.A., *Punch stretching processes monitoring using acoustic emission signal analysis, Part ۱, Basic characteristics*, J. of Acoustic Emission ۶(۱), ۱۹۸۷, pp. ۲۹-۳۶.
- [8] Diei E.N. and Dornfeld D.A. *Acoustic emission sensing of tool wear in face milling*, J. Eng. Ind. ۱۰۴, ۱۹۸۷, pp. ۲۳۴-۲۴۰.
- [9] Masaki T., Use of acoustic emission for the study of wear, S.B. Thesis, Department of Mechanical Engineering, MIT, Cambridge, MA, ۱۹۸۶.
- [10] Rangwala, S. and Dornfeld D.A., Application of acoustic emission sensing to the analysis of contact between rough metallic surfaces, ESRC Rep, ۱۹۸۸.
- [11] Lingard S., *An investigation of acoustic emission in sliding friction and wear of metals*, Wear ۱۳۰, ۱۹۸۹, ۳۶۷.
- [12] Hisakado, T. ,Warashina, T., *Relationship between friction and wear properties and acoustic emission characteristics: iron pin on hardened bearing steel disk*, Wear ۲۱۶, ۱۹۹۷, pp. ۱-۷.
- [13] Van der Heide E., Huis Veld A.J., *The effect of*