علم تریبولوژی

حمیدرضا باقری[۱]، حمیدرضا مسیحا[۱]، مرتضی قیطانی[۱]، محمود علی‌اف خضرایی[۲]، علیرضا صبور روح اقدم[۳]، تقی شهرابی فراهانی[۴]

چکیده

این مقاله به بررسی علم تریبولوژی و خسارات ناشی از سایش مواد و همچنین مواد مورد استفاده برای غلبه بر مشکلات تریبولوژیکی می‌پردازد. سایش و اصطکاک میان قطعات مشکلی جدی و اجتناب‌ناپذیر است و سالیانه باعث خسارات هنگفتی در صنایع و سازه‌های مختلف می‌شود. با به‌کارگیری علم تریبولوژی می‌توان از خسارات ناشی از سایش به طرق مختلف جلوگیری کرد.

کلیدواژه‌ها: سایش، تریبولوژی، اصطکاک، تخریب، فلز، سرامیک، پلیمر.

مقدمه

امروزه تریبولوژی عمدتاً به عنوان دانش سطوح متقاطع در حرکت نسبی و تکنیک‌های وابسته تعریف می‌شود. تریبولوژی مقدمه بررسی اصطکاک، سایش و روان‌سازی است و دربرگیرنده چند زمینه مختلف علمی است و به خاطر داشتن تأثیر در عرصه مهندسی و دانش دامنه وسیع‌تری نیز پیدا می‌کند. کلمه تریبولوژی از کلمه یونانی «تریبو»[۵] به معنی مالش است. جالب است بدانیم از دیدگاه تریبولوژیکی با اینکه این علم، علمی نوپا به نظر می‌رسد اما بنا به پتانسیل‌های بزرگ تحقیقات بنیادی، تاریخچه این شاخه مهم علمی ریشه در دوران اولیه بشری دارد(Enomoto, 1995: 1)(Racolta, 1995: 663).

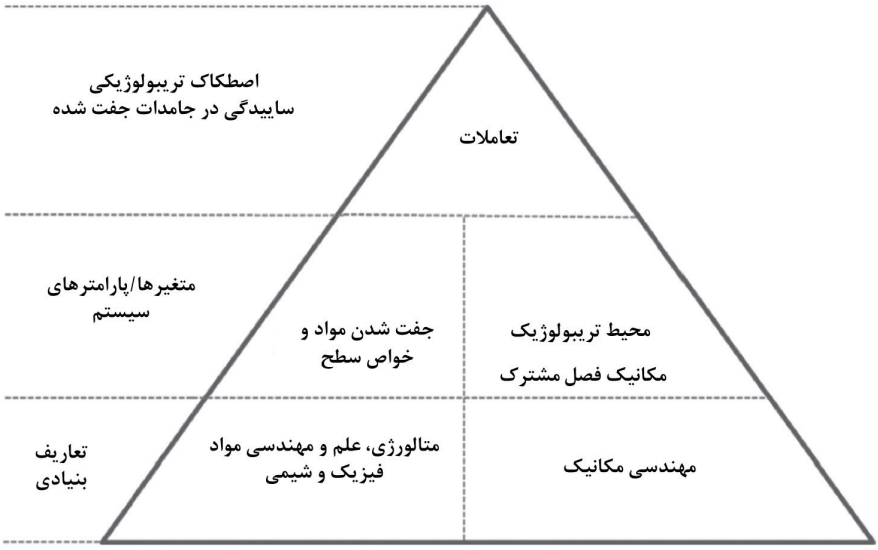
۱ دانشجوی کارشناسی ارشد خوردگی و حفاظت از مواد، دانشگاه تربیت مدرس

۲ نویسنده مسوول، استادیار خوردگی و حفاظت از مواد، پل گیشا، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده فنی و مهندسی، بخش مهندسی مواد، گروه خوردگی و حفاظت از مواد، تلفکس: ۸۲۸۸۴۹۶۹، ایمیل: khazraei@modares.ac.ir

۳ دانشیار خوردگی و حفاظت از مواد، دانشگاه تربیت مدرس

۴ استاد خوردگی و حفاظت از مواد، دانشگاه تربیت مدرس

5 Tribo



شکل ۱) مثلث مفاهیم موجود در تریبولوژی که نشانگر تعامل عرصه‌های علوم پایه و مهندسی و متغیرهای چندگانه موجود در علم تریبولوژی است.

استفاده از اصطکاک بین چوب یا سنگ در اختراع آتش به عنوان اولین کاربرد مفهوم تریبولوژی مطرح و به عصر حجر مربوط می‌شود. نمونه مهم دیگر تریبولوژی در عصر قدیم ساختن دریل‌ها، یاتاقان، چکش‌های آهنگری و سورتمه‌ها برای انتقال بارهای سنگین و غیره است. تمدن مصری در فهم اهمیت اصطکاک و سایش و همچنین روان‌سازی سند مهمی دارد و آن ساخت اهرام بزرگ است.

مطابق با شکل ۱ علم تریبولوژی بر پایه فعل و انفعالات متقابل بین مفاهیم، عقاید و نظرهای طراحی شده از فیزیک و شیمی بنیادی و همچنین علم مواد و مهندسی مکانیک می‌تواند توصیف شود. باید توجه داشت که اصول مهندسی متالورژی رایج معمولاً در سازمان دادن خواص سطحی به‌کار می‌روند، به‌عنوان مثال: در عملیات سخت‌سازی و نیتروژن‌دهی فولاد برای بهبود خواص پوشش آن. از طرف دیگر مواد جدید متنوع (سرامیک‌ها و پلیمرها به علاوه دیگر ترکیبات‌شان) در چند دهه گذشته به خاطر همبستگی فرآوری-ساختار-خاصیت با استفاده از نظر بنیادی کاربردی در مهندسی مواد گسترش یافته‌اند. بسیاری از این مواد به عنوان جانشین مواد فلزی سنتی مطرح می‌شوند. در مهندسی مکانیک گروه‌های تحقیقاتی متعددی به صورت فعال در جنبه روان‌سازی تریبولوژی همکاری کرده‌اند. این موضوع رابطه مهمی با توپ یاتاقان‌ها واتصالات و تکیه‌گاه‌های مکانیکی روغن‌کاری شده دارد. تعداد بیشتری از کتب درسی عمدتاً با جنبه روان‌سازی و روغن‌کاری سر و کار داشته‌اند. در مجموع جواب هر «زوج تریبو» به خواص سطحی دو ماده جفت شونده و همچنین عکس‌العمل متقابل با محیط بستگی دارد. چنین عکس‌العمل‌هایی به شدت به مکانیک در سطح میانجی تریبولوژیکی بستگی دارد. این در اصطکاک و آسیب‌خوردگی هر دو جامد جفت شده نتیجه خواهد داد. بنابراین دانستن حرکت نسبی دو ماده جفت شده به صورت مکانیکی در تماس تحت بار، مسئله مهمی است. اهمیت بین موضوع بیشتر در واکنش متقابل محیط و روغن‌کاری با دو ماده جفت شده است- Sa) (Khurshudov, 2001: 1124 .hoo, 2011: 1760) (Sullivan, 1996: 312

اصطکاک و سایش

اصطکاک در شرایط بدون روغن‌کاری، مقاومت حرکتی است که در عکس‌العمل متقابل سطح جامد در مساحت واقعی برخورد ایجاد می‌شود. از طرف دیگر، با حضور روغن‌ها، آنها اجزا را پر و واکنش‌های متقابل جامد-مایع نقشی

مهم و کلیدی را ایفا می‌کنند. داشتن اصطکاک پایین در کاربردهای خاصی مانند: لولاها، میخ‌های پرچ، یاتاقان‌ها و استخوان ران انسان مهم است. اما در مواردی مانند ترمزها، کلاچ‌ها و لاستیک‌ها روی جاده در عوض به اصطکاک بالا نیاز است. در موارد زیادی توانایی کنترل اصطکاک مطلوب برای کاربرد ویژه هدف هر طراح است. این توانایی به پارامترهای مذکور و مهم‌تر اینکه به شناختن و کارایی مواد و همچنین به خواص سطحی آنها بستگی دارد(Tung, 2004: 517-536) (Neale, 1995: 17).

استهلاک پیشرونده مواد به علت واکنش‌های تریبولوژیکی در برخورد سطوح تحت حرکت نسبی منجر به فرسایش می‌شود. فرسایش ممکن است از برخورد و حرکت نسبی جسم سخت بر علیه جامد جفت شده بوجود آید، اما اغلب یک مایع یا گاز خورنده در این مسئله دخیل است. بنابراین شرایط فرسایش شامل چند قسم در شرایط جوی مختلف است: سرخوردگی، غلتیدن، فرسایش، ضربه زدن یا زیر فشار قرار دادن، خلازایی و غیره. سایش در کاربردهای مهندسی آثار مخربی دارد و منجر به شکست اجزا مختلف و در نهایت تعمیر و تعویض می‌شود. اگر یک سیستم فنی مانند ماشین یا وسیله دیگر را در نظر بگیریم که بخش عظیمی از اقتصاد را به حرکت در می‌آورد، متوجه می‌شویم اغلب مخارج تعمیر یا نگهداری و تعویض قطعات به علت موارد تریبولوژیکی و سایش می‌باشند. مثلا سایش لاستیک‌ها، ترمزها، اتصالات چرخ‌ها، یاتاقان‌ها، برف پاک‌کن‌ها، خراش در رنگ و شیشه و تعویض روغن و فیلتر روغن برای هر مصرف کننده و به دنبال آن برای کارخانه‌های سازنده نگرانی‌های بزرگی هستند. از طرف دیگر گاهی اوقات سایش مسئله مطلوبی است: در سطوح نهایی بعضی فرآیندها مانند صیقل دادن و سنباده کاری، سایش بالا نیاز است. به هرحال، همانند اصطکاک، نه تنها اندازه بلکه اصولاً کنترل و پیش‌بینی سایش مواد در هر کاربرد برای استفاده مناسب و حفاظت از اهمیت بالایی برخوردار و کلید موفقیت هر کاربرد تریبولوژیکی است (Tichy, 2000: 391) (Stuart, 1997: 111).

بدیهی‌است که اندازه و وسعت اصطکاک و سایش به سیستم اجزایی که مورد استفاده قرار می‌گیرد بستگی دارد. به علاوه اصطکاک و سایش خواص ذاتی مواد نیستند اما ویژگی‌های تریبولوژیکی لازم است به عنوان خواص وابسته سیستم مهندسی مطرح شوند. چنین کنترلی بر روی سایش و اصطکاک می‌تواند از طریق طراحی و ساخت و بارگذاری اجزا حاصل شود. درحالی‌که اصطکاک یک واکنش مستقیم و گذرای اجزای تریبولوژیکی تحت شرایط برخورد است، سایش شامل تاریخچه بارگذاری این ترکیبات می‌باشد. بنابراین دانستن و تفکر در مورد سرشت و طبیعت مواد خیلی حساس و مهم، برای به‌هم پیوستن و کنار هم قرار دادن خواص مواد و دستیابی به اصطکاک و سایش مطلوب است.

مواد تریبولوژیکی و خواص آنها

مواد در عرصه تکنولوژی پیشرفت‌های زیادی داشته‌اند و در کشورهای صنعتی اهمیت آنها شناخته شده است. نیروهای پیش‌برنده در پس گسترش مواد پیشرفته شامل نیازهای متعدد تکنولوژیکی، اقتصادی-اجتماعی و نیازمندی‌های محیط زیستی هستند که به شرح زیر می‌باشند:

۱. کارایی پیشرفته، بی نقص و سیستم مهندسی قابل اطمینان؛
۲. دوام بالای محصول؛
۳. بازده بالا و مصرف پایین انرژی مصرفی سیستم مهندسی؛
۴. وزن سبک و استحکام بالای ساختار

با توافق نظر عمومی می‌توان مواد مهندسی را به سه گروه اولیه تقسیم کرد: ۱) فلزات و آلیاژها، ۲) سرامیک و شیشه‌ها ۳) پلیمرها. به‌خاطر ساختار و کاربردهای مهندسی از میان این سه گروه اولیه، فلزات، آلیاژهای فلزی و پلیمرها به مراتب از شیشه و سرامیک استفاده‌های بیشتری دارند. استفاده گسترده از مواد فلزی اغلب به خاطر استحکام کششی بالا، سختی بالا (مقاومت گسترش ترک) و قابلیت ساخت در اندازه و اشکال مختلف در روش‌های تولید و ساخت مجدد است. به همین ترتیب، پلیمرها مزایای متمایزی برحسب چگالی پایین‌شان، انعطاف‌پذیری بالا و قابلیت دسترسی در شکل و اندازه‌های مختلف دارند. با این حال مواد پلیمری نقطه ذوب پایینی (کمتر از ۴۰۰ درجه سانتیگراد) و همچنین استحکام و ضریب کشسانی خیلی پایینی دارند. در مقایسه با سرامیک‌ها، فلزات سختی کمی دارند و خیلی از مواد فلزی پرکاربرد نقطه ذوبشان پایین است. از این نظر، سرامیک‌ها و شیشه‌ها خواص مفید شامل نسوز بودن (قابلیت مقاومت در دمای بالا)، حفظ استحکام در دمای بالا، نقطه ذوب بالا و خواص مکانیکی خوب (سختی، ضریب کشسانی و مقاومت تراکمی) دارند. با در نظر گرفتن چنین ترکیب جالبی از خواص، سرامیک‌ها به عنوان مواد بالقوه برای کاربردهای

ساختاری دما بالا و کاربردهای تریبولوژیکی مختلفی که نیاز به سختی و مقاومت فرسایشی بالا دارند، مطرح می‌شوند (Stuart, 1998: 687) (Kimura, 1997: 63).

با جمع‌بندی خواص مفید سه گروه اولیه مواد، یک گروه دیگر مواد (یعنی کامپوزیت‌ها) ایجاد می‌شوند. کامپوزیت در کل به‌عنوان گروهی از مواد معرفی می‌شوند که شامل حداقل دو پیوند بلاواسطه فاز ریز ساختار هستند که هدف آن اختصاصی کردن ویژگی‌ها (ضریب کشسانی، استحکام سختی) برای کاربردهای خاص است؛ انتظار می‌رود که خواص ویژه یک ترکیب باید از خواص ماده حاصل از ترکیب فازهای تشکیل دهنده بالاتر باشد. هر فلز یا سرامیک و یا کامپوزیت پلیمری با حجم ترکیب بالای ۵۰٪ می‌تواند مجدداً به عنوان ترکیب زمینه فلز، ترکیب زمینه سرامیک یا یک ترکیب زمینه پلیمر طبقه بندی شود. از نقطه نظر ریزساختاری یک ترکیب شامل یک زمینه (فلز، سرامیک یا پلیمر) و فاز تقویت‌کننده می‌باشد (Affatato, 2008: 1305) (Donnet, 1998: 180).

پس از فلزات و پلیمرها، سرامیک‌ها خواص مفید زیادی مانند سختی بالا، سفتی، ضریب کشسانی، مقاومت سایش بالا، حفظ استحکام بالا در دمای بالا و مقاومت خوردگی یا بی اثر بودن شیمیایی دارند. بسیاری از سرامیک‌های مهندسی سختی و ضریب کشسانی بهتری از فولاد دارند و بنابراین انتظار می‌رود که پوشش آنها مقاومت ساییدگی و چسبندگی بهتری داشته باشد. همچنین مشخص شده است که سرامیک‌ها می‌توانند در دماهای خیلی بالا (بالای ۱۰۰۰ درجه سلسیوس) استفاده شوند درحالی‌که دیگر مواد قابل مصرف نیستند. تا جایی که به بالاترین درجه حرارت عملیات مرتبط می‌شود، سوپرآلیاژهای نیکلی به‌طور نمونه در دمای ۱۰۰۰ درجه مصرف می‌شوند. در مقابل بعضی سرامیک‌های اکسید و نیتریدی را می‌توان در دمای نزدیک به ۱۵۰۰ درجه استفاده کرد. علاوه بر نقطه ذوب بالا، از لحاظ مقاومت در دماهای بالا سرامیک‌ها برتر از فلزات هستند. نقطه ذوب بالا می‌تواند از دو لحاظ مفید باشد: (۱) دماهای برخورد بالا که در تماس تریبولوژیکی تولید می‌شوند؛ (۲) دماهای بالای کاربرد ماشینی و تریبولوژیکی((Priest, 2000: 193) (Savenko, 1996: 86) (Briscoe, 1998: 121)). معلوم شده است که خواص کششی سرامیک‌ها پایین است؛ مقاومت فشاری آنها هشت برابر بزرگتر از استحکام کششی آنها است. خیلی از صفات ممتاز سرامیک‌ها همانطور که قبلا توضیح داده شد در خیلی از کاربردهای تکنولوژیکی کلیدی سرامیک‌ها که شامل بخش‌های موتور، افشانه نازل‌های موشک، بایوسرامیک‌های کاشت پزشکی، کاشی‌های مقاوم در برابر حرارت در شاتل‌های فضایی، مواد هسته‌ای و وسایل ذخیره و تجدید انرژی استفاده می‌شوند (Sullivan, 1998: 457) (Grill, 1997: 507).

نتیجه‌گیری

باید تأکید شود که پاسخ و موفقیت هر ماده (بدون توجه به نحوه طراحی آن) در نهایت به سیستم تریبولوژیکی بستگی دارد و بنابراین این نکته باید در مراحل اولیه سیستم و مواد لحاظ شود. در این مقاله به ارائه خواص کلیدی مواد قابل دسترس برای ساخت قطعات که تاثیر شدید روی رفتار تریبولوژیکی ماده دارد، پرداخته شد. همچنین در مورد اساس تریبولوژی و پارامترهای کلیدی مربوطه بحث شد. علم به طبیعت مواد خیلی حساس، برای کنار هم قرار دادن خواص مواد و دستیابی به حد بهینه اصطکاک و سایش مورد نیاز است و علم تریبولوژی در این زمینه مفید است.

مراجع

Affatato, S. and M. Spinelli, et al. (2008). "Tribology and total hip joint replacement: Current concepts in mechanical simulation." Medical Engineering & Physics, 30(10): 1305–1317.

Briscoe, B. J. (1998). "Isolated contact stress deformations of polymers: the basis for interpreting polymer tribology." Tribology International, 31(13): 121–126.

Donnet, C. (1998). "Recent progress on the tribology of doped diamond–like and carbon alloy coatings: a review." Surface and Coatings Technology, 100.–101(0): 180–186.

Enomoto, Y. (1995). "Ceramic tribology in Japan." Tribology International, 28(1): 1–6.

Grill, A. (1997). "Tribology of diamondlike carbon and related materials: an updated review." Surface and Coatings Technology, 94.–95(0): 507–513.

Khurshudov, A. and R. J. Waltman (2001). "Tribology challenges of modern magnetic hard disk drives." Wear 251(112): 1124–1132.

Kimura, Y. (1997). "Maintenance tribology: its significance and activity in Japan." Wear 207(12): 63–66.

Neale, "Twenty–five years of tribology – M. J. (1995). A review of progress." Tribology International, 28(1): 17–18.

Priest "Automobile engine tribology – , M. and C. M. Taylor (2000). approaching the surface." Wear 241(2): 193–203.

Racolta, P. M. (1995). "Nuclear methods for tribology." Applied Radiation and Isotopes, 46(67): 663–672.

Sahoo, P. and S. K. Das (2011). "Tribology of electroless nickel coatings – A review." Materials & Design, 32(4): 1760–1775.

Savenko, V. I. and E. D. Shchukin (1996). "New applications of the Rehbinder effect in tribology. A review." Wear 194(12): 86–94.

Stuart, B. H. (1997). "The application of Fourier transform Raman spectroscopy to polymer tribology." Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 53(1): 111–118.

Stuart, B. H. (1998). "The application of Raman spectroscopy to the tribology of polymers." Tribology International, 31(11): 687–693.

Sullivan, J. L. (1996). "The tribology of flexible magnetic recording media." Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 155(13): 312–317.

"The tribology of flexible magnetic recording media – the influence of J. L. Sullivan (1998). wear on signal performance", Tribology International, 31(8): 457–464.

Tichy, J. A. and D. M. Meyer (2000). "Review of solid mechanics in tribology." International Journal of Solids and Structures, 37(12): 391–400.

Tung, S. C. and M. L. McMillan (2004). "Automotive tribology overview of current advances and challenges for the future." Tribology International, 37(7): 517–536.