سایش، تریبولوژی و راه‌های مقابله با آن

بخش دوم

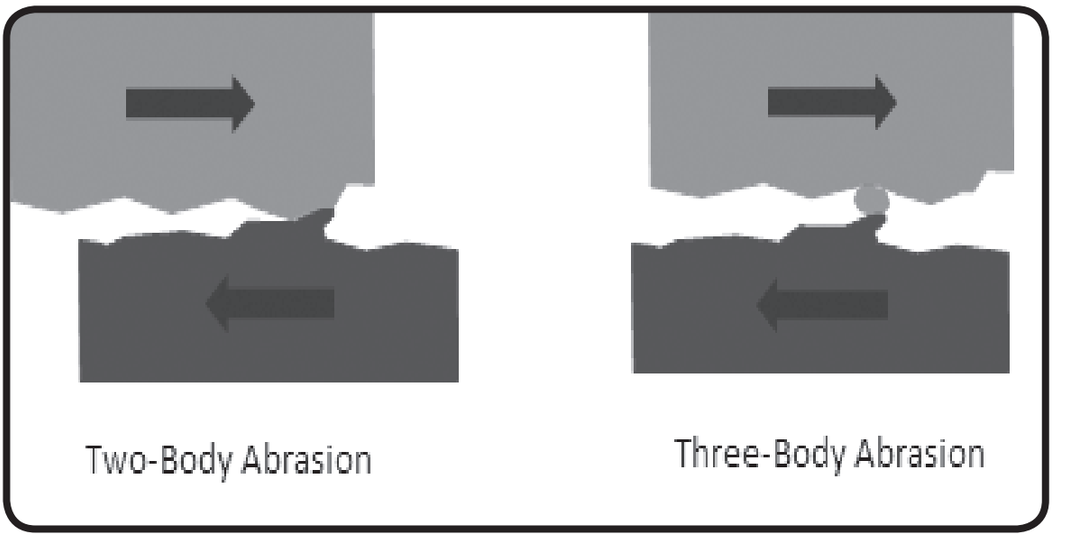
فربد سعید ارشادی
مدیرعامل شرکت پولاد تجارت سایا

تریبولوژی، علم و تکنولوژی سطوحی است که در حال تماس با یکدیگر بوده و نسبت به یکدیگر حرکت دارند و شامل تحقیقاتی در زمینه سایش، اصطکاک و روانکاری می‌گردد. سایش، کاهش تصاعدی ماده از سطح یک جسم می‌باشد که در نتیجه حرکت نسبی بطن آنها به یکدیگر پدید آمده است. سایش به ندرت فاجعه‌آمیز بوده، اما می‌تواند راندمان را به مقدار زیادی کاهش داده و موجب افزایش افت انرژی، مصرف روغن و همچنین افزایش نرخ تعویض قطعات گردد. در نتیجه اهمیت اقتصادی تریبولوژی، این موضوع سبب شده است که در طی دو دهه گذشته تحقیقات گسترده‌تری در این زمینه صورت پذیرد.

سایش خراشان (Abrasive Wear)

سایش خراشان زمانی پدید می‌آید که سطح سخت و زبر در مقابل یک سطح نرم‌تر، حرکتی لغزشی داشته و در آن فرو رفته و یکسری شیارهایی را به وجود آورد. ذرات سایشی که بر اثر مکانیزم مزبور حاصل شده‌اند، می‌توانند به صورت تراشه‌ای کشیده درآیند. در این حالت سایش خراشان از نوع دو جسمی (Tow – body) می‌باشد. سایش خراشان می‌تواند در موقعیت‌های متفاوت دیگری نیز پدید آید، برای مثال وقتی ذرات ساینده در فصل مشترک دو سطح در حالت لغزش قرار گرفته و از هر سطح ذراتی را جدا می‌سازد، سایش خراشان در این صورت سه جسمی (Three-body) نامیده می‌شود.

سایش خراشان دو جسمی در صورتی که سطح لغزنده ماده سخت‌تر،صاف و صیقلی باشد، پدید نمی‌آید. به همین ترتیب سایش خراشان سه جسمی وقتی که ذرات



سایش خراشان دو جسمی و سه جسمی

ساینده کوچک بوده و نرم‌تر از مواد در حال لغزش باشد، مشاهده نگردیده است. بنابراین موقعیت‌هایی در سیستم لغزشی وجود دارد که تحت هر نرخی که می‌توان تصور نمود، سایش خراشان پدید نخواهد آمد.

مقاومت سایشی خراشان عموماً با سختی سطح بیان می‌گردد، در صورتی که می‌بایست تاثیر پدیده کار سختی و یا سختی سطوح ساییده شده نیز در نظر گرفته شود. در این صورت بهتر است برای ارزیابی مقاومت سایشی مواد مختلف، سختی فازهای موجود در زمینه و تاثیر دما بر خواص ماده نیز مورد توجه قرار گیرد.

در مورد آلیاژهای آهنی، زمینه‌های مارتنزیتی با توزیع یکنواخت کاربیدها مقاومت سایشی خراشان بهتری نشان می‌دهند. افزایش سختی کاربیدها با آلیاژی نمودن فولاد مقاومت سایشی را بهبود می‌بخشد، ولی درجه بهبودی آن بستگی به ذرات ساینده درتریبوسیستم دارد. در مواردی که قطعات تحت نیروهای دینامیکی قرار می‌گیرند و امکان استفاده از زمینه سخت مارتنزیتی وجود ندارد، یک ساختار آستنیتی ناپایدار توصیه می‌شود. این امر موجب پیدایش کار سختی و استحاله فازی و یا هر دو در طول فرآیند سایش شده و مقاومت سایشی افزایش می‌یابد.

سایش خراشان می‌تواند به خاطر حضور ذرات سایشی باشد که توسط دیگر مکانیزم‌های سایش بوجود آمده است و در سیستم باقیمانده و پس از اکسید شدن سخت می‌شوند. در حالت‌های دیگر ذرات آلاینده در محیط نیز می‌توانند در یک سیستم لغزش قرار بگیرند.

طبق نتایج به دست آمده از تحقیقات انجام گرفته در زمینه سایش خراشان، شدت و ضعف سایش خراشان بستگی به نسبت سختی ماده ساینده به سختی سطح در حال سایش دارد. تحقیقات نشان می‌دهند سطوحی در مقابل سایش خراشان مقاوم هستند که سختی بیش از نصف سختی ماده ساینده داشته باشد. در عمل عدد ۰/۷ یا بیشتر ایده‌آل می‌باشد، ولی به دست آوردن آن برای فلزات و آلیاژها بسیار مشکل می‌باشد. امروزه فرآیندهای مهندسی سطح قادرند تا سطوح سرامیکی و بین فلزی نسبتاً سختی را تولید نموده و به همین دلیل کاربرد آنها یک راه‌حل منطقی و عملی به شمار می‌آید.

مکانیزم‌های سایش خراشان

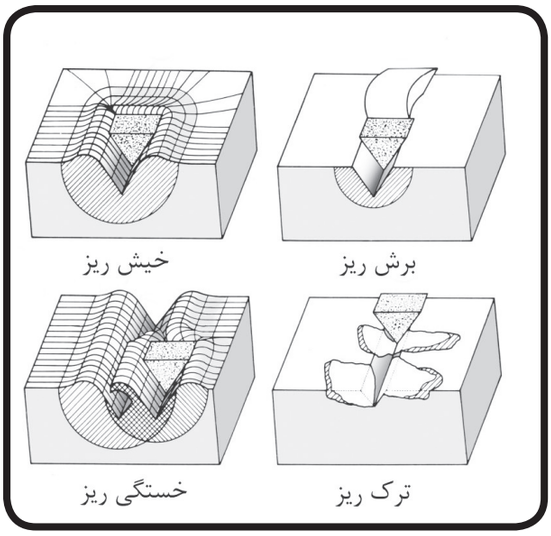
سایش خراشان توسط مکانیزم‌های متفاوتی پدید می‌آید:

خیش ریز (Microploughing): در این حالت، خراش سطوح نرم موجب کنده شدن ماده نمی‌گردد و تنها ماده در سطح جابجا شده و به طور مرتب به صورت برآمدگی‌هایی در دو طرف شیار ایجاد شده، انباشته می‌گردد و معمولاً دماغه‌ای را نیز در جلوی ماده ساینده تشکیل می‌دهد. مکانیزم مزبور شباهت زیادی با خیش زدن زمین‌های کشاورزی دارد و معمولاً به خاطر جابجایی مواد در سطح، میزان مواد جدا شده کمتر از حجم شیار ایجاد شده است. پدیده خیش ریز عمدتاً بر روی سطوح بسیار نرم ملاحظه گردیده است. از شاخص‌های مهم این مکانیزم پیدایش کرنش در یک محدوده نسبتاً وسیع در اطراف شیارهای سطحی می‌باشد.

برش ریز (Microcutting): دراین حالت عمل برش توسط ماده ساینده موجب ایجاد ذره سایشی طویل می‌گردد. انتقال مکانیزم خیش ریز به برش ریز زمانی صورت می‌پذیرد که سختی ماده نسبت به حالت قبل افزایش یافته باشد. میزان حجم ذرات جداشده برابر حجم شیارهای ایجاد شده است. انتقال خیش ریز به برش ریز همچنین به زاویه تماس ماده ساینده و ضریب اصطحکاک نیز بستگی دارد.

ترک ریز (Microcracking): چنانچه سختی سطح لغزش افزایش یابد سایش خراشان می‌تواند تحت مکانیزم ترک ریز پدید آید. در این حالت تغییر شکل پلاستیکی در اطراف شیار ناچیز بوده و میزان یا حجم ذرات سایش به مراتب بیش از حجم شیارهای ایجاد شده در سطح است. در این مکانیزم، کنده شدن ذرات سایش در اثر پدیده تشکیل و اشاعه ترک در اطراف شیارهای تعبیه شده است. با افزایش سختی سطح، مکانیزم سایش از برش ریز به ترک ریز انتقال می‌یابد.

خستگی ریز (Microfatigue): ذرات انباشته شده در اطراف شیارهای سطحی به طور مداوم توسط مواد ساینده جابجا شده و همین امر می‌تواند پدیده خستگی ریز را پدید آورد.



مکانیزم‌های متفاوت سایش خراشان

شرکت پـــولاد تجارت سایا
پخش انحصاری محصولات فولادی ضدسایش و استحکام بالای DILLINGER HUTTE آلمان

سایش چسبان (Adhesive Wear)

سطوح قطعات مهندسی که توسط فرآیندهای مختلف تولید شده‌اند، کاملاً صاف نبوده و ناهمگونی متعددی را دارا می‌باشند. در نتیجه درگیری قطعات مهندسی در سطح در چند نقطه پراکنده صورت می‌پذیرد و تنش‌های زیادی را در این نقاط پدید می‌آورد. این امر موجب تغییر شکل پلاستیکی و اتصالات موضعی در سطح می‌شود. سایش چسبان در صورتی پدید می‌آید که لغزش موضعی بین دوسطح درگیر موجب گسیختگی اتصالات مزبور و نهایتاً انتقال ماده از یک سطح به سطح دیگر شود. گسیختگی اتصالات در فصل مشترک (Adhesive failure) یا در حالت حادتر در عمقی از محل اتصال (cohesive failure) به طور مداوم صورت می‌پذیرد. اگر گسیختگی در سطح تماس اولیه باشد، استحکام برشی محل اتصال کمتر از استحکام هر دو ماده درگیراست و انتقال ماده از یک سطح به سطح صورت نمی‌پذیرد.

اما اگر گسیختگی در لایه زیرین صورت پذیرد استحکام برشی محل اتصال بیشتر است و در این حالت انتقال ماده از یک سطح به سطح دیگر وجود دارد. به طور کلی تغییرات در لایه سطحی می‌تواند بر روی نوع گسیختگی اثرگذار باشد.

تغییرات در لایه سطحی	نوع گسیختگی
تشکیل تعدادی جاخالی اضافی، ناپایداری کریستال‌ها در سطح و جریان یافتن در آن‌ها	گسیختگی در فصل مشترک
تشکیل نابجایی‌ها، کار سختی سطوح اصطحکاک	گسیختگی در عمق
تشکیل فیلم‌های محافظ با استحکام کم	گسیختگی در فصل مشترک
افزایش حرارت محدوده تماس – نرم شدن	گسیختگی در فصل مشترک

مکانیزم‌های سایش چسبان

مکانیزم‌های متعددی به منظور توجیه چسبندگی و اتصال ناهمگونی سطحی وجود دارد:

الف) **درگیری مکانیکی ناهمگونی‌های سطحی:** بر اثر تغییر شکل موضعی ناهمگونی‌های سطحی اتصلات نسبتاً قوی بین دوسطح پدید می‌آید.

ب) **تئوری نفوذ:** انتقال و نفوذ اتم‌ها در فصل مشترک سطوح درگیر موجب اتصال چسبان قوی می‌شود.

ج) **تئوری الکترونی:** انتقال الکترون موجب تشکیل لایه‌های باردار در دو طرف فصل مشترک شده و اتصال به خاطر نیروهای الکترواستاتیک موثر لایه‌ها صورت می‌پذیرد.

د) **تئوری جذب سطحی:** نیروهای ثانویه بین مولکولی سطوح در تماس کامل موجب اتصالات قوی و چسبان می‌گردد.

تمایل به تشکیل اتصالات چسبان بستگی به خواص شیمیایی و فیزیکی مواد درگیر، نحوه و میزان بارگذاری و خواص سطحی از قبیل آلودگی و زبری دارد. از آنجایی که نیروی چسبان بستگی به سطح تماس واقعی دارد، مقاومت در برابر تغییر شکل پلاستیکی بستگی به شکل ساختمان کریستالی، تعداد سیستم‌های لغزشی و انرژی نقص چیدن (Stacking Fault Energy) دارد.

در برخی موارد، تمایل بین دو سطح فلزی توسط یک فصل مشترک غیر فلزی صورت می‌پذیرد، در این حالت سطوح به واسطه جذب سطحی با یک فیلم اکسیدی پوشیده شده است. لایه جذب سطحی و یا اکسیدی به علت تغییر شکل الاستیک به راحتی شکسته می‌شود و در نتیجه چسبندگی عمدتاً به موجب پیوندهای فلزی صورت می‌پذیرد.

سایش ورقه‌ای (Delamination Wear)

در سایش ورقه‌ای سطح ماده به صورت لایه لایه‌ای تصور می‌شود که بر اثر فرآیند سایش در تریبوسیستم همانند جداسازی پوسته پوسته‌ای پیاز از سطح جدا می‌شود. بر طبق تئوری ورقه‌ای شدن، تغییر شکل پلاستیکی برشی، جوانه‌زنی ترک و اشاعه آن در عمقی کوتاه از سطح پدید آمده که نهایتاً به جداسازی ورقه‌ای ذرات سایش می‌انجامد. انتقال ماده در این مکانیزم بر خلاف سایش چسبان به واسطه چسبندگی در سطح پدید نمی‌آید. تئوری ارائه شده ورقه‌ای شدن بر مبنای یکی از دو دلیل عمده ذیل استوار است:

۱- **تئوری تجمع نابجایی در زیر سطح:** (الف) هنگام سایش، ماده در نزدیکی سطح از دانسیته بالای نابجایی برخوردار نیست، زیرا لایه‌های اتمی در سطح تنها در یک طرف پیوند دارند، بنابراین ماده در سطح و نزدیکی سطح نسبتاً کار سختی کمتری بر روی آن صورت گرفته است.

(ب) با افزایش مسافت لغزش، نابجایی‌ها در فاصله‌ای کوتاه از سطح تجمع می‌کنند. این مساله، موجب تشکیل حفره‌هایی می‌گردد. تشکیل حفره‌ها با حضور فازهای ثانویه به ویژه فازهای سخت ثانویه که منجر به تجمع بیشتر نابجایی‌ها می‌شود، افزایش می‌یابد. حفره‌ها با تغییر شکل پلاستیکی زمینه در اطراف ذرات سخت شکل می‌گیرند.

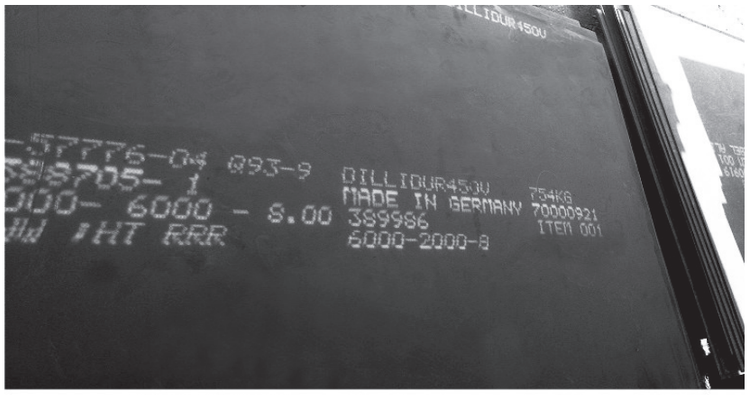
(ج) با گذشت زمان، حفره‌ها بهم می‌پیوندند و نهایتاً یک ترک به موازات سطح شکل می‌گیرد.
(د) وقتی طول ترک به حد بحرانی می‌رسد (بسته به جنس ماده)، ماده بین ترک و سطح به صورت یک ذره ورقه‌ای شکل جدا می‌شود.
(ه) شکل ذره بستگی به طول آن و تنش‌های داخلی دارد.

۲- تئوری توزیع تنش‌های فشاری در سطح:

(الف) هنگامی که دو سطح لغزش در تماس با یکدیگر قرار می‌گیرند، به واسطه بارگذاری مکرر، ناهمگونی‌های سطح نرم‌تر به راحتی تغییر شکل یافته و برخی از آنها شکسته می‌گردند. هنگامی‌که این ناهمگونی‌ها تغییر یافته از سطح جدا می‌گردند، سطح نسبتاً صاف می‌شوند. در این حالت، تماس دیگر بین ناهمگونی دوسطح درگیر نبوده، بلکه ناهمگونی‌های سطح سخت‌تر در سطح نرم‌تر فرو رفته و شیارهایی را ایجاد می‌نماید.
(ب) به واسطه بارگذاری متناوب ناهمگونی‌های سخت‌تر روی سطح نرم‌تر، تغییر شکل برشی پلاستیکی تجمع یافته و نقاطی در سطح و زیر سطح کشیده می‌شود.
(ج) همچنان که تغییر شکل پلاستیکی و کشیدگی در زیر سطح ادامه می‌یابد، ترک‌هایی در زیر سطح جوانه می‌زنند. در صورتی که جوانه‌زنی ترک در سطح و نزدیک به سطح میسر نمی‌باشد، زیرا در ناحیه تماس یک تنش فشاری بالا به صورت سه بعدی وجود دارد.
(د) اشاعه ترک و تغییر شکل پلاستیکی بیشتر باعث گسترش و اشاعه آن شده و ترک به ترک‌ها و حفره‌های مجاور می‌پیوندد. در این صورت ترک‌ها تمایل دارند به موازات سطح و در یک عمقی که بستگی به خواص ماده و ضریب اصطکاک دارد، اشاعه یابند.
(ه) در مکان‌های ضعیف و معینی این ترک‌ها سطح را از عمق برش داده و ذرات سایش به صورت ورقه نازک و طویل پدید می‌آید. ضخامت ذره سایش ورقه‌ای بستگی به موقعیت رشد ترک در زیر سطح دارد و توسط نیروهای عمودی و مماسی (اصطکاک) کنترل می‌گردد.

شرکت پولاد تجارت سایا

پخش انحصاری محصولات فولادی ضدسایش و استحکام بالای DILLINGER HUTTE آلمان



ورق فولادی ضدسایش عملیات حرارتی شده DILLIDUR450V

سایش تریبوشیمی (Tribochemichal Wear)

سایش تریبوشیمی از شاخص‌های دو سطح در حال تماس است که با محیط مجاور خود واکنش انجام می‌دهند. محیط مجاور می‌تواند گاز یا مایع باشد. فرآیند سایش با جداسازی مداوم لایه‌های واکنش در سطح تماس ادامه می‌یابد. در حضور اکسیژن این لایه‌ها شامل مقادیر زیادی اکسید هستند که در سطح تشکیل شده و سپس به صورت ذرات سایش جدا شده‌اند.

مکانیزم سایش تریبوشیمی را می‌توان به چهار دسته تقسیم‌بندی نمود:
۱- تماس‌های فلزی بین ناهمگونی‌های سطحی که به جدا شدن فلز به علت چسبندگی می‌انجامد. ذرات سایشی فلزی ریز، ممکن است اکسید شوند.
۲- واکنش شیمیای فلزات با محیط به تشکیل لایه‌های سطحی

محافظ می‌انجامد که می‌تواند تماس فلزی را کاهش دهد.
۳- ترک برداشتن لایه‌های سطحی محافظ به علت فشار موضعی بالا و یا بر اثر میکرو خستگی به تشکیل ذرات سایش غیر فلزی می‌انجامد.
۴- ذرات سایش فلزی و یا غیرفلزی ممکن است به صورت ذرات ساینده عمل کرده و سطوح تماس را زبر نمایند، تشکیل متعاقب لایه‌های سطحی محافظ به صاف‌تر شدن دوباره سطوح می‌انجامد. تخریب و کاهش وزن سطوح یا تکرار این گونه فرآیندها صورت می‌پذیرد.

سایش تریبوشیمی به شدت متاثر از کینتیک تشکیل لایه‌های سطحی و خواص آنها است که مقاومت به جدا شدن را تعیین می‌نماید، این خواص عبارتند از انعطاف‌پذیری، استحکام و چسبندگی آنها به زیر لایه. مقاومت به ترک برداشتن لایه‌های تریبوشیمی با افزایش ماده زیرین بیشتر می‌شود. سایش کم، زمانی پدید می‌آید که سختی لایه تریبوشیمی برابر لایه زیرین باشد که این امر موجب کاهش حملات ذرات سخت به لایه زیرین نیز می‌شود.
لایه‌های محافظ سطحی در سیستم‌های روانکاری شده توسط واکنش‌های شیمیایی فلز و ماده روانکار پدید می‌آید. مواد افزودنی روانکارها که به عنوان مواد ضدسایش کاربرد دارند، می‌توانند از یک طرف، تماس فلزی را کمتر کرده و در نتیجه سایش چسبندگی راکاهش دهند، ولی از طرف دیگر مصرف این گونه مواد به تشکیل لایه‌های سطحی می‌انجامد. در نتیجه کاربرد روانکار با مواد افزودنی، انتخابی بین جلوگیری از سایش شدید به علت چسبندگی و خطر افزایش سایش تریبوشیمی است.
میزان فعالیت شیمیایی برای به حداقل رساندن میزان سایش بستگی به شدت لغزش، فشار تماس، دما و کیفیت سطح دارد. لایه‌های سطحی سخت‌تر می‌تواند سایش تریبوشیمی را کاهش دهند، ولی از طرف دیگر سایش خراشان افزایش می‌یابد. خطر سایش خراشان بستگی به حالت بارگذاری و خواص لایه سطحی مانند سختی، تردی و چسبندگی آن به زیر لایه و خواص ماده زیر لایه دارد.

شرکت پـــولاد تجارت سایا

ورق ضدسایش دی لیدور (DILLIDUR)، محصول بزرگ‌ترین و معتبرترین تولیدکننده فولاد اروپا «دیلینگرهوته» آلمان محصولی است که در سال‌های اخیر توانسته به واسطه کیفیت بسیار بالا، تکنولوژی ساخت منحصربفرد و نیز طیف مناسب تولید از نظر ضخامت و سختی، جایگاهی مناسب در عرصه بین‌المللی در خصوص تامین قطعات سایشی فولادی در صنایع فولادسازی، سیمان، معدن و راه‌سازی به دست آورد.

سایش نوسانی (Fretting Wear)

سایش نوسانی هنگامی به وقوع می‌پیوندد که دو سطح در حال تماس تحت بارهای اعمالی حرکت مماسی و نوسانی با دامنه کم نسبت به یکدیگر داشته باشند و لغزش به واسطه تنش‌های ارتعاشی یا سیکلی ایجاد گردد. دامنه نوسان در عمل بین ۲ الی ۲۰ میکرون می‌باشد. این پدیده گاهی با خوردگی و اکسیداسیون همراه می‌باشد، ولی در فلزات غیراکسید شونده نظیر طلا و پلاتین نیز دیده شده است.

مکانیزم سایش نوسانی

مطالعات انجام شده توسط میکروسکوپ الکترونی مکانیزم سایش نوسانی را در چهار مرحله آشکار نموده است:
۱- چسبندگی و تولید ذرات سایش فلزی (سایش چسبان)
۲- ایجاد ذرات سایش به وسیله اثر مکانیکی شیمیایی. در این مرحله عمل مکانیکی باعث شکسته شدن فیلم‌های اکسیدی و تمیز نمودن روی سطح و کرنش فلز می‌شود که به دلیل اکتیو بودن، در نیم سیکل بعد، حضور اتمسفر باعث اکسید شدن مجدد سطح می‌گردد. (سایش تریبوشیمی)
۳- تولید یکنواخت ذرات سایش توسط خستگی (سایش خستگی سطحی)
۴- ذرات سایش اکسیدی حاصل از فرآیندهای فوق، نقش یک پودر ساینده را بازی می‌کند و باعث انهدام مداوم سطح می‌گردد. (سایش خراشان)
همان‌طور که ملاحظه می‌شود هر یک از مراحل سایش نوسانی توسط یکی دیگر از مکانیزم‌های سایش کنترل می‌شود، در نتیجه می‌توان بیان نمود که عوامل متعددی بر سایش نوسانی اثر می‌گذارد.

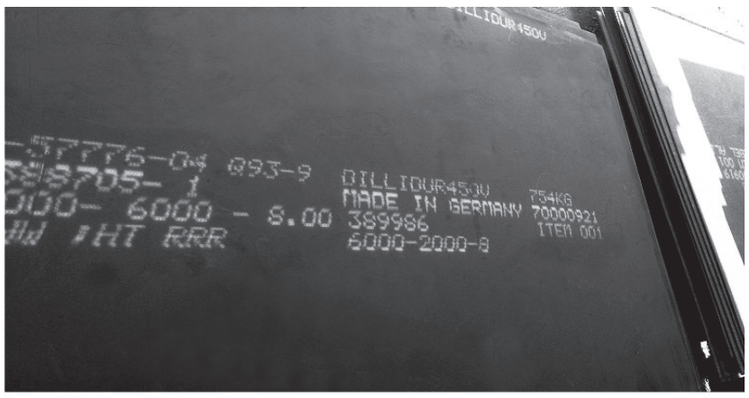
عوامل موثر بر سایش نوسانی

الف: متغیرهای مکانیکی
- تعداد سیکل
- دامنه جابجایی
- نیروی اعمالی
- فرکانس

ب: متغیرهای فیزیکی
- دما
- سختی
- پرداخت نهایی سطح

ج: متغیرهای محیطی
- روانکار
- اتمسفر

شرکت پـــولاد تجارت سایا
پخش انحصاری محصولات فولادی ضدسایش و استحکام بالای DILLINGER HUTTE آلمان



ورق فولادی ضدسایش عملیات حرارتی شده DILLIDUR450V

سایش خستگی سطح (Surface Fatigue Wear)

سایش خستگی سطحی را می‌توان با تشکیل ترک و جدا شدن ماده از سطح به علت اعمال نیروهای متناوب تکراری در سطوح شاخص نمود. تماس چرخشی و یا لغزشی / چرخشی و همچنین ضربه‌ای متناوب می‌تواند تنش‌های سیکلی را در سطح پدید آورد. خستگی موضعی ممکن است دریک مقیاس میکروسکوپی به علت تماس لغزشی ناهمگونی‌های سطحی ظاهر شود.
در اجزای یاتاقان‌هایی که در حال چرخش هستند، لغزش کمی بین اجزای درگیر وجود دارد. مخصوصاً با وجود روانکار بدون آلودگی، سایش چسباندن و خراشان پدید نمی‌آید. تحت این شرایط، عمر اجزای یاتاقان زیاد بوده ولی به واسطه بارگذاری متناوب که ناشی از عکس‌العمل اجزا بر هم می‌باشد، خستگی سطحی باعث تخریب قطعات می‌گردد. در برخی موارد، تخریب از یک ترک سطحی شروع می‌شود که محتملاً این ترک‌ها و نقص‌ها در خلال مراحل اولیه چرخش ایجاد شده‌اند.

انتخاب مواد برای قطعات سایشی

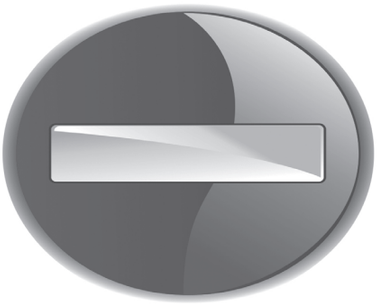
هر گروه از مواد دارای خواص تریبولوژیکی ویژه خود بوده و در شرایط عمل برای یک نوع سایش مناسب‌تر است. شناخت خصوصیات این مواد و آگاهی از محدودیت آنها هنگام انتخاب مواد برای ساخت یک قطعه، امری ضروری به شمار می‌آید. در این بخش فولادها، از نظر رفتار تریبولوژیکی به طور خلاصه بررسی می‌گردند.
فولادهای ساده آلیاژی: فولادهای کم آلیاژ با قیمت مناسب و امکان تهیه آسان برای برخی مصارف سایشی انتخاب می‌شوند و تا درجه حرارت‌های ۱۵۰- ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قابل استفاده می‌باشند، مضافاً با انجام عملیات حرارتی می‌توان سختی و چقرمگی مورد نظر را در آنها به دست آورد، به علاوه، عملیات سطحی مانند کربوره کردن و نیتریده کردن و پوشش‌هایی مانند کروم سخت، پاشش پلاسمایی، فسفاته کردن و امثال آن را برای بهبود خواص سایشی این گونه فولادها می‌توان انجام داد. برخی از فولادها در مصارف خاصی کاربرد دارند. فولاد AISI 52100 و فولادهای کربوره شده به عنوان مثال برای بلبرینگ و رولبرینگ استفاده می‌شود و مقاومت سایشی و عمر خستگی بالایی دارند. فولاد منگنزدار به طور گسترده‌ای در ابزار و تجهیزات معدنی که ضربه‌پذیری و مقاومت سایش مطرح است، بکار گرفته می‌شوند. این آلیاژ همچنین در سوییچ‌های اتصال خطوط راه آهن مصرف دارد. فولادهای زنگ‌نزن در درجه حرارت‌های بالا و محیط‌های خورنده برای ساخت قطعات مناسب است. اما فولادهای زنگ

نزن آستنیتی در شرایط خشک تمایل به چسبندگی و جوش سرد دارد و به این دلیل از فولادهای مارتنزیتی و یا رسوب سخت‌شونده استفاده می‌گردد، هر چند این فولادها، مقاومت خوردگی پایین‌تری دارند. فولادهای زنگ‌نزن از این نوع در برخی یاتاقان‌ها، در محور پمپ‌ها و ابزارهای برش بکار می‌روند.

فولادهای ابزار حاوی عناصرکروم، تنگستن و مولیبدن با عملیات حرارتی ویژه به سختی زیاد و مقاومت سایشی بالا می‌رسد که فرآیندهای ماشینکاری با سرعت بالا را میسر می‌سازد. این قبیل فولادهای ابزار در ساخت بلبرینگ‌هایی که در شرایط سخت یا درجه حرارت بالا مانند موتورهای جت مصرف می‌گردد. این فولادها در حدود 70 RC سختی دارند و به علاوه گاهی نیز با لایه نازکی از نیترید تیتانیوم و یا کار بید تیتانیوم پوشش داده می‌شود. استفاده از این پوشش‌های جدید تاثیر قابل ملاحظه‌ای در افزایش عمر ابزار و عملکرد آن دارد.

فولادهای ضدسایش عملیات حرارتی شده (Water Quenched Wear Resistant steel)

این فولادها، نسلی جدید از فولادهای مدرن ضدسایش و کم آلیاژ محسوب می‌شوند.عملیات حرارتی سختکاری با پاشش آب (Spray Water Quench) و در برخی موارد عملیات تمپر ثانویه، ساختاری عمدتاً مارتنزیتی و با مقاومت به ضربه و سایش بالایی را در این فولادها موجب شده است، درعین حال وجود عناصر آلیاژی حداقلی و نیز کربن معادل پایین، باعث شده تا انجام کلیه کارهای مکانیکی اعم از برشکاری، جوشکاری، سوراخکاری، خمکاری و غیره به راحتی میسر و مقدور باشد.



سایش ممنوع!

ورق های فولادی ضدسایش

دی لیـــدور

تکنولوژی
DILLINGER HUTTE GTS
آلمان

DILLIDUR400 DILLIDUR450 DILLIDUR500

سیمان تهران – سیمان سپاهان – سیمان آبیک – سیمان شرق – سیمان بجنورد – سیمان دشتستان – سیمان هگمتان – سیمان سبزوار – سیمان ممتازان
سیمان کاوان بوکان – سیمان خواف – سیمان مازندران – سیمان کردستان – سیمان اصفهان – سیمان دلیجان – سیمان کرمان – سیمان خاش

مشاوره فنی – تامین متریال – خدمات ساخت قطعه

پولاد سایا

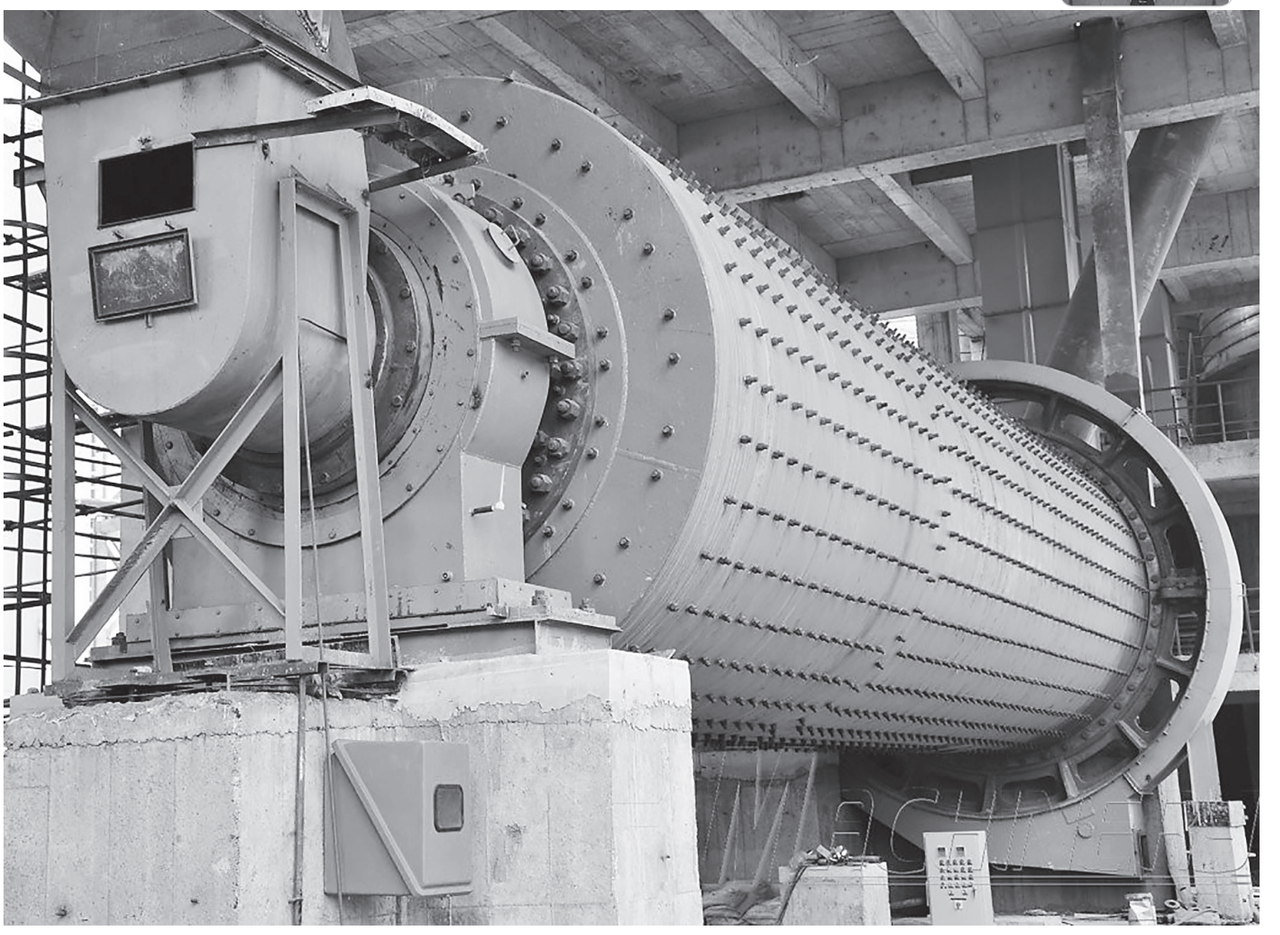
پخش انحصاری ورق های فولادی ضدسایش و استحکام بالای دیلینگرآلمان

۰۲۱ ۸۸۹۷۰۹۸۹
۰۲۱ ۸۸۹۷۰۹۹۰
Steel-Goods.com

سایش، تریبولوژی و راه‌های مقابله با آن

فربد سعید ارشادی
مدیرعامل شرکت فولاد تجارت سایا

بخش اول



مقدمه

تریبولوژی، علم و تکنولوژی سطوحی است که در حال تماس با یکدیگر بوده و نسبت به یکدیگر حرکت دارند و شامل تحقیقاتی در زمینه ســـایش، اصطکاک و روانکاری می‌گردد. سایش، کاهش تصاعدی ماده از سطح یک جسم می‌باشد که در نتیجه حرکت نسبی بطن آنها به یکدیگر پدید آمده است. سایش به ندرت فاجعه‌آمیز بوده، اما می‌تواند راندمان را به مقدار زیادی کاهش داده و موجب افزایش افت انرژی، مصرف روغن و همچنین افزایش نرخ تعویض قطعات گردد. در نتیجه اهمیت اقتصادی تریبولوژی، این موضوع سبب شده است که در طی دو دهه گذشته تحقیقات گسترده‌تری در این زمینه صورت پذیرد.

تریبولوژی یک علم چند رشته‌ای است. امروزه پدیده‌های تریبولوژیکی از چندین نقطه، نظر بطور گسترده در زمینه‌های مواد، متالورژی، فیزیک، شیمی و ریاضی مورد بحث قرار گرفته‌اند. در مهندسی مواد، تاثیر ساختار میکروسکوپی بر رفتار سایشی مواد، اهمیت ویژه‌ای دارد. نظر به اینکه ساختار میکروسکوپی دقیقاً با ترکیب شیمیایی رابطه‌ای ندارد و با عملیات ترمومکانیک و حرارتی می‌توان گستره وسیعی از ساختار را در مواد به دست آورد. در نتیجه تحقیقات تریبولوژیکی، عمدتاً تاثیر فرآیندهای تولید و متالورژیکی بر رفتار سایشی مواد را در برمی‌گیرد.

تریبولوژی از کلمه یونانی TRIBOS به معنی «مالش و کندگی» گرفته شده است و گرایشی نسبتاً جدید در علوم به شمار می‌رود، ولی قدمت آن به آفرینش بشر می‌رسد. انسان‌های نخستین از اصطکاک بین دو سطح چوبی و یا سنگ چخماق برای به دست آوردن آتش استفاده می‌کردند. در عصر حجر، اولین لولاها یا یاتاقان‌ها در ساخت ستون‌های درب مورد استفاده قرار گرفت. سورتمه‌ها و وسایل نقلیه چرخ‌دار برای جابجایی بارهای سنگین از ویژگی‌های تمدن‌های سومریان و مصریان به شمار می‌رود که شاخص‌های ویژه تریبولوژیکی دارند.

در عهد رنسانس، لئوناردو داوینچی نیروهای اصطکاک اجسام در حال لغزش در صفحات افقی و شیب‌دار را اندازه‌گیری نمود. او نتیجه گرفت که نیروی اصطکاک بستگی به نیروهای اعمالی بر جسم در حال لغزش دارد و مستقل از سطح تماس ظاهری است. داوینچی بین اصطکاک لغزشی و چرخشی تفاوت قائل شد و تاثیر مواد روانکار را در کاهش اصطکاک و سایش مورد توجه قرار داد. به نظر می‌رسد او برای اولین بار توانست ضریب اصطکاک را نسبت نیروی اصطکاک به نیروی اعمالی تعریف کند.

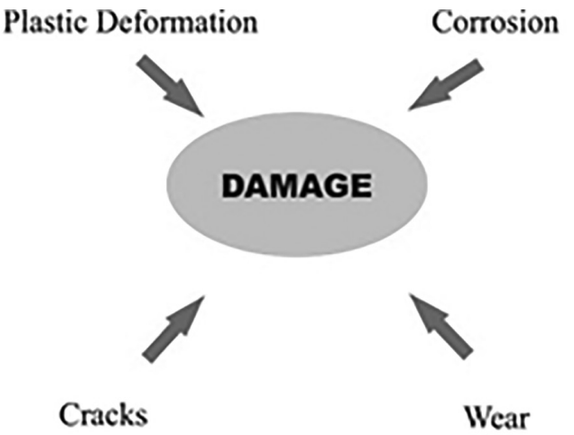
دو قرن بعد آمونتوس، نتایج لئوناردو داوینچی مربوط به نیروی اصطکاک را به طور مستقل مورد تایید قرار داد، هر دو دانشمند، اعدادی ثابت را برای ضریب اصطکاک مواد پیدا کردند (به ترتیب ۱/۴،۱/۳) که مستقل از جنس مواد اجسام در حال لغزش بود. بدین ترتیب که ضریب اصطکاک یکسانی را برای چوب، مس، سرب و غیره به دست آورند. علت این امر آن بود که هر دو از مواد چرب یکسان به عنوان روانکاری استفاده نموده بودند و به همین خاطر، ضریب اصطکاک، مستقل از مواد سطوح درگیر محاسبه گردیده بود.

در قرن نوزدهم، تصور بر این بود که اصطکاک ناشی از حرکت سطوح ناهموار و درگیر است که از یک موضع درگیر به موضع دیگر انتقال می‌یابد. در این رابطه نیز سایش، صرفاً شکست ناهمگونی‌های سطحی در نظر گرفته می‌شد.

سایش و اصطکاک در صنعت: اصطکاک، فرآیند استهلاک انرژی است و سایش یکی از فرآیندهای استهلاک ماده در سطح است. سایش از مهم‌ترین عوامل استهلاک قطعات مهندسی و پدیده‌ای معمول در صنعت است. طبق گزارش‌های موجود، خسارات ناشی از سایش ابزار و قطعات مهندسی در کشورهای انگلستان، آلمان و آمریکا به ترتیب ۱٪، ۲/۵٪ و ۱/۵٪ از تولید ناخالص ملی برآورده شده است.

عدم کارایی قطعات مهندسی می‌تواند به علت تغییر شکل پلاستیکی، تشکیل و اشاعه ترک، سایش و یا خوردگی پدید آید. شکل (۱) تغییر شکل پلاستیکی یک قطعه ممکن است موجب عدم تحمل نیروهای وارد شده و ناسازگاری قطعات مهندسی را در یک سیستم به وجود آورد. ترک‌ها می‌توانند به صورت بحرانی و یا زیر بحرانی اشاعه یافته و نهایتاً به شکست قطعه از جمله شکست ترد و یا شکست خستگی بیانجامد.

سایش و خوردگی در مراحل اولیه تخریب‌های سطحی هستند، ولی



شکل (۱): مکانیسم‌هایی که منجربه تخریب قطعات می‌گردند.

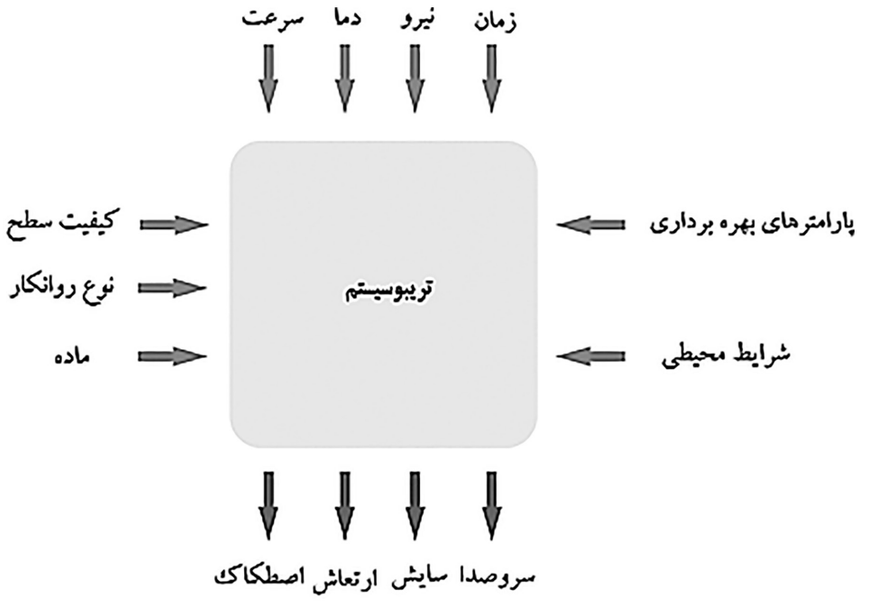
در مراحل بعدی می‌تواند موجب پیدایش اصطکاک، سرو صدا، گرمای ناخواسته و تغییرات ابعادی در قطعات گردند. پدیده‌های مزبور، موجب اختلال در کارآیی قطعات شده و ممکن است نهایتاً به شکست فاجعه‌آمیز آنها بیانجامد.

سایش، بر خلاف مدول الاستیسیته و سختی، یک خاصیت ذاتی ماده نیست و بستگی به مولفه‌های تریبوسیستم دارد. شکل (۲) تریبوسیستم، یک سیستم مهندسی است که سایش در آن رخ می‌دهد. از طرف دیگر، عواملی از جمله ساختمان کریستالی، دانسیته نابجایی‌ها، جای خالی، اندازه دانه و حضور و توزیع فازهای ثانویه می‌توانند بر رفتار سایشی و میزان اصطکاک مواد اثر بگذارند. طبق شکل (۲) کیفیت سطوح از دیگر مولفه‌های مهم یک تریبوسیستم است که عمدتاً به آماده‌سازی و نوع و کیفیت تولید بستگی دارد.

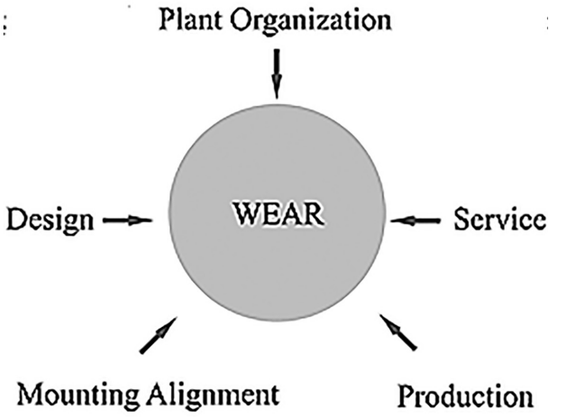
امروزه، تریبولوژی نقش بسیار پراهمیتی در مهندسی سطح دارد. بدین ترتیب که مکانیزم‌های سایش در قطعات مهندسی و تریبوسیستم دقیقاً شناسایی و با استفاده صحیح از فرایندهای مندسی سطح با پدیده مقابله می‌گردد.

از طرف دیگر، ضایعات اقتصادی ناشی از سایش را می‌توان با بهینه‌سازی در مدیریت، طراحی صحیح، تولید مناسب و نگهداری و تعمیرات به موقع کاهش داد. شکل (۳) خسارت‌های ناشی از سایش با فرآیند صحیح تولید برای یک محصول خاص کنترل می‌شود و شامل انتخاب دستگاه و محل مناسب نصب نیز می‌گردد.

یک طراح می‌تواند سایش قطعات را با بهینه‌سازی انتقال نیرو و حرکت کاهش دهد، به نحوی که تنش‌های کمتری را اعمال کرده و از مواد صحیح روانکار با توجه به نیرو، دما و شرایط محیط نیز استفاده نماید.



شکل (۲): مولفه‌های تریبوسیستم که بر رفتار سایشی و اصطکاکی مواد تاثیر می‌گذارد.



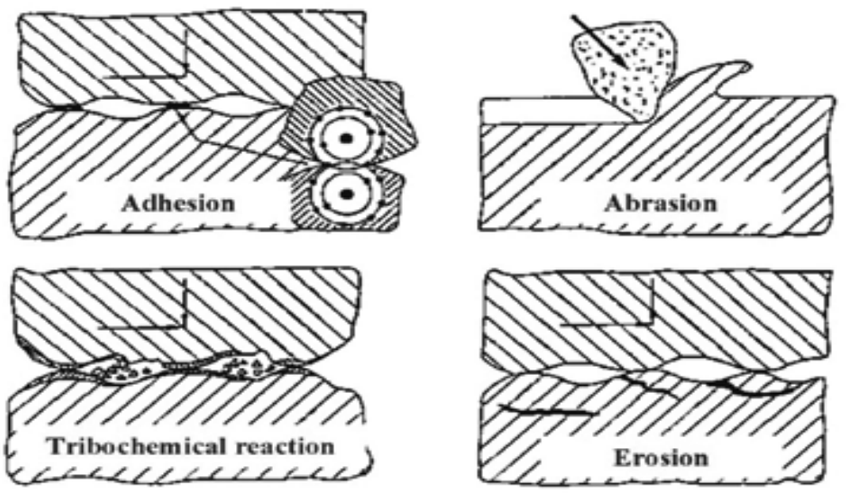
شکل (۳): عوامل تاثیرگذار بر سایش سازه‌های مهندسی

مکانیزم و فرآیندهای سایش

سایش کاهش مداوم و نامطلوب از سطوح قطعات درگیر است که در نتیجه حرکت نسبی بین آنها پدید آمده است. سایش می‌تواند به علت جدا شدن ماده به واسطه گرم شدن اصطکاکی و ناشی از جدا شدن پیوسته محصولات واکنش در سطح باشد. در حالت‌های متعارف، سایش نتیجه تمرکز تنش بیش از حد در بین دو قطعه در حال تماس بوده که به واسطه نیروهای عمودی و مماسی (اصطکاک) حاصل شده است.

نوع سایش بستگی به کینماتیک سیستم دارد و در نتیجه نوع حرکت نسبی تعیین‌کننده فرآیند سایش می‌باشد. شکل (۴) در صورتی که مکانیزم‌هایی که توسط آنها سایش اتفاق می‌افتد، بستگی به فعل و انفعلات انرژی و ماده بین مولفه‌های تریبوسیستم دارد.

فرایندهای سایشی	مکانیزم‌های سایش
لغزشی	خراشان
چرخشی	چسبان
ضربه‌ای	ورقه‌ای
نوسانی	تریبوشیمی
فرسایشی	نوسانی
	فرسایشی



شکل (۴): طبقه‌بندی فرایندهای سایش بر اساس نوع حرکت

در قسمت دوم به تفصیل درخصوص انواع مکانیزم‌های سایش و برهم‌کنش آنها با فرآیندهای سایشی بحث خواهد شد.

منابع:

1. H.P.Jost “Tribology: Origin and Future”, Wear
2. W.O.Winer “future Trends in Tribology” ,Wear
3. F.T Barwell "Theories of Wear and their Significance for Engineering Practice", Treatise on Mat. Sci. Technology, Edited by D.Scott, Academic Press, 13(1979)1.
4. M. Godet: third-body in tribology", wear, 136(1990)29.
5. B. Pugh: Friction and Wear, Calculation Methods Pergumon Press (1977)
7. T.S Eyre "wear Resistance of Metals ", Treatise on Mat. Sci. and Technology, Wear Edited by D.scot, Academic Press, 13(1979)363.
8. A.W.j.Gee" Friction and Wear as Related to the Composition, Structure and properties of metals" , international Metals Review , 2(1979)57.
9. J Halling "Tribology in Manufacturing Engineering ", Industrial Lubrication Tribology, 30(1978)154.
10. K. I. Johnson and D.v.Keller" Effect of contamination on the Adhesion of Metallic Couples in Ultra-high Vacuum", J.Apll.Phys., 38(1967)1896