

عنوان: تریبولوژی و مکانیسم های سایش

تهیه و تنظیم: پولاد تجارت سایا

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 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 فاجعه آمیز 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 سبب شده است که در طی دو دهه گذشته تحقیقات گسترده تری در این زمینه صورت پذیرد.

تریبولوژی یک علم چند رشته ای است و پدیده های تریبولوژیکی امروزه از چند نقطه نظر بطور گسترده در زمینه های مواد، متالورژی، فیزیک، شیمی و ریاضی مورد بحث قرار گرفته اند. در مهندسی مواد، تاثیر ساختار میکروسکوپی بر رفتار سایشی مواد اهمیت ویژه ای دارد. نظریه اینکه ساختار میکروسکوپی دقیقاً با ترکیب شیمیایی رابطه ای ندارد و با عملیات ترمومکانیک و حرارتی میتوان گستره وسیعی از ساختار را در مواد بدست آورد در نتیجه تحقیقات تریبولوژیکی، عمدتاً تاثیر فرآیند های تولید و متالورژیکی بر رفتار سایشی مواد را در بر میگیرد.

www.Steel-Goods.com

تریبولوژی از کلمه یونانی TRIBOS به معنی "مالش و کندگی" گرفته شده است و گرایشی جدید در علوم بشمار میرود ولی قدمت آن به آفرینش بشر میرسد. انسانهای نخستین از اصطکاک بین دو سطح چوبی و یا سنگ چخماق بمنظور بدست آوردن آتش استفاده نمودند. در عصر حجر اولین لولاها یا یاتاقانها در ساخت ستون های درب مورد استفاده قرار گرفت. سورتمه ها و وسایل نقلیه چرخدار برای جا به جایی بارهای سنگین از ویژگی های تمدن های سومریان و مصریان بشمار میرود که شاخص های ویژه تریبولوژیکی دارند.

در عهد رنسانس، لئوناردو داوینچی نیروهای اصطکاک اجسام در حال لغزش در صفحات افقی و شیب دار را اندازه گیری 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. بنظر میرسد که او بود که برای اولین بار ضریب اصطکاک را نسبت نیروی اصطکاک به نیروی اعمالی تعریف نمود.

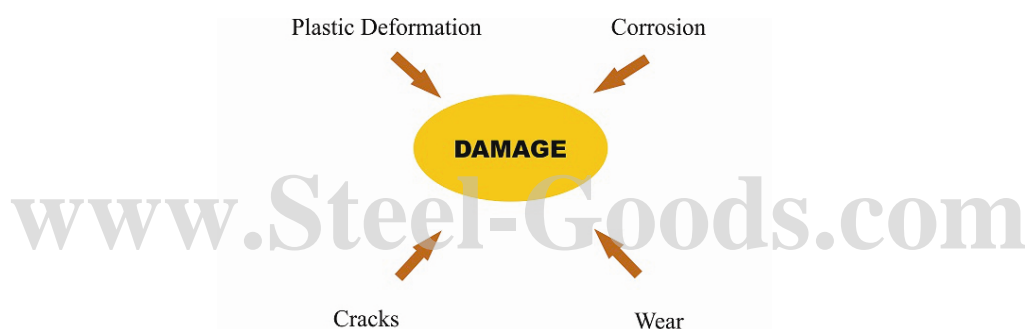
دو قرن بعد آمونتنوس، نتایج لئوناردو داوینچی مربوط به نیروی اصطکاک را بطور مستقل مورد تایید قرار داد، هر دو دانشمند اعدادی ثابت را برای ضریب اصطکاک مواد پیدا کردند (به ترتیب $\frac{1}{3}$ ، $\frac{1}{4}$) که مستقل از جنس مواد اجسام در حال لغزش بود. بدین ترتیب که ضریب اصطکاک یکسانی را برای چوب، مس، سرب، و غیره بدست آوردند. علت این امر آن بود که هر دو از

مواد چرب یکسان به عنوان روانکاری استفاده نموده بودند و بهمین خاطر ضریب اصطکاک مستقل از مواد سطوح در گیر محاسبه گردیده بود.

در قرن نوزدهم تصور بر این بود که اصطکاک ناشی از حرکت سطوح ناهموار و در گیر است که از یک موضع در گیر به موضع دیگر انتقال میابد در این رابط نیز سایش صرفاً شکست ناهمگونی های سطحی در نظر گرفته می شد.

سایش و اصطکاک در صنعت: اصطکاک فرآیند استهلاک انرژی و سایش یکی از فرآیند های استهلاک ماده در سطح است. سایش از مهمترین عوامل استهلاک قطعات مهندسی است (شکل ۱) و پدیده ای معمول در صنعت است. طبق گزارش های 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 باعث 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 بوجود آورد. ترکها میتوانند بصورت بحرانی و یا زیر بحرانی اشاعه یافته و نهایتاً به شکست قطعه از جمله شکست ترد و یا شکست خستگی بیانجامد.



شکل ۱: مکانیسم هایی که منجر به تخریب قطعات می گردند.

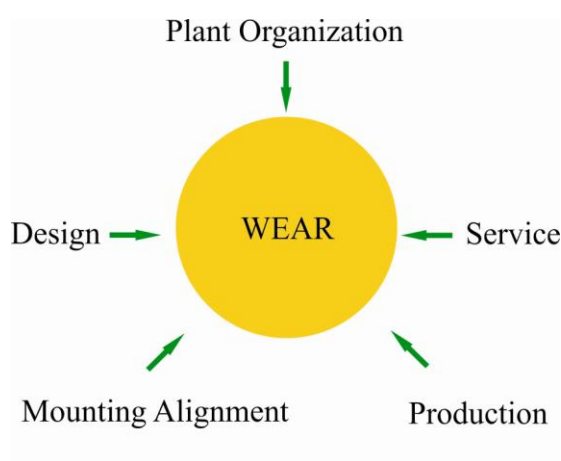
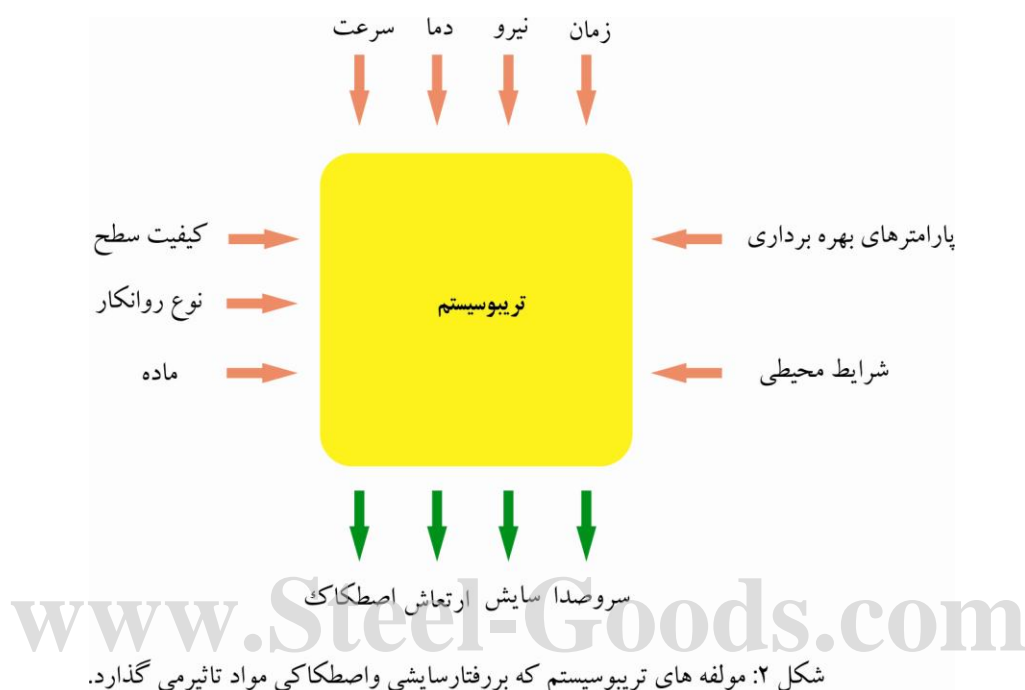
سایش و خوردگی در مراحل اولیه تخریب های سطحی هستند ولی در مراحل بعدی میتواند موجب پیدایش اصطکاک، سرو صدا، گرمای ناخواسته و تغییرات ابعادی در قطعات گردند. پدیده های مزبور موجب اختلال در کارایی قطعات شده و ممکن است نهایتاً به شکست فاجعه آمیز آنها بیانجامد.

سایش، برخلاف مدوال الاستیسیته و سختی یک خاصیت ذاتی ماده نیست و بستگی به مولفه های تریبوسیستم دارد (شکل ۲). تریبوسیستم یک سیستم مهندسی است که سایش در آن رخ میدهد. از طرف دیگر عواملی از جمله ساختمان کریستالی، دانسیته ناهنجاری ها، 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 مولفه های مهم یک تریبوسیستم است که عمدتاً به آماده سازی و نوع و کیفیت تولید بستگی دارد.

امروزه تریبولوژی نقش بسیار پر اهمیتی در مهندسی سطح دارد. بدین ترتیب که مکانیزم های سایش در قطعات مهندسی و تریبوسیستم دقیقاً شناسایی و با استفاده صحیح از فرایند های مهندسی سطح با پدیده مقابله میگردد.

از طرف دیگر ، ضایعات اقتصادی بعلت سایش با بهینه سازی در مدیریت ، طراحی صحیح ، تولید مناسب و تعمیر و نگهداری 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 بهینه سازی انتقال نیرو و حرکت کاهش دهد بنحوی که تنش های کمتری را اعمال کرده و از مواد صحیح روانکار با توجه به نیرو ، دما و شرایط محیط نیز استفاده نماید.



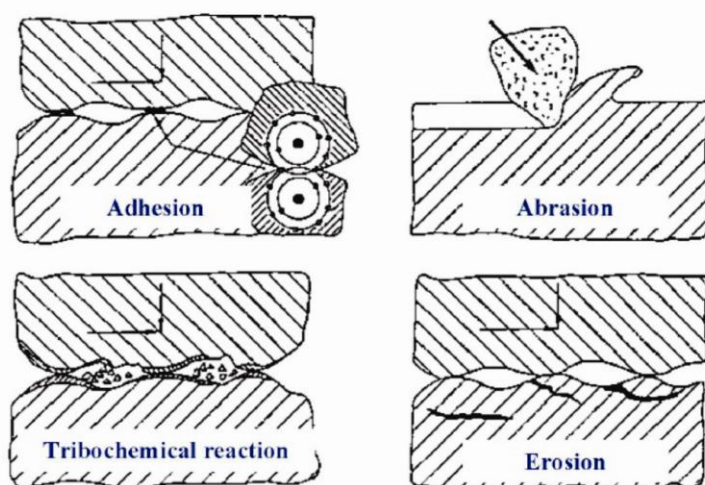
شکل ۳: عوامل تأثیر گذار بر سایش سازه های مهندسی

مکانیزم و فرآیندهای سایش

سایش کاهش مداوم و نامطلوب از سطوح قطعات در گیر است که در نتیجه حرکت نسبی بین آنها پدید آمده است . سایش میتواند باعث جدا شدن ماده بواسطه 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 بواسطه نیروهای عمودی و مماسی (اصطکاک) حاصل شده است .

نوع سایش بستگی به کینماتیک سیستم دارد و در نتیجه نوع حرکت نسبی تعیین کننده فرآیند سایش میباشد (شکل ۴) . در صورتی که مکانیزم‌هایی که توسط آنها سایش اتفاق می افتد بستگی به فعل و انفعالات انرژی و ماده بین مولفه های تریبوسیستم دارد.

فرآیندهای سایشی	مکانیزم های سایش
لغزشی	خراشان
چرخشی	چسبان
ضربه ای	ورقه ای
نوسانی	تریبوشیمی
فرسایشی	نوسانی
	فرسایشی

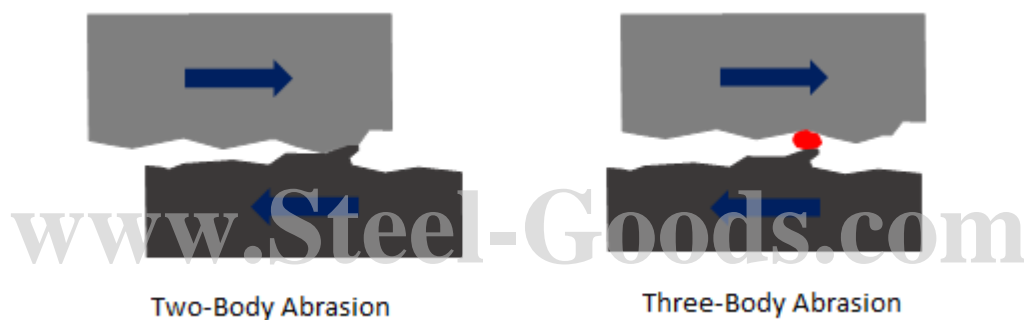


شکل ۴: طبقه بندی فرآیندهای سایش براساس نوع حرکت

سایش خراشان (Abrasive Wear):

سایش خراشان زمانی پدید می آید که سطح سخت و زبر در مقابل یک سطح نرمتر حرکتی لغزشی داشته و در آن فرو رفته و یک سری شیارهایی را بوجود آورد. ذرات سایشی که بر اثر مکانیزم مزبور حاصل شده اند میتوانند بصورت تراشه ای کشیده در آیند. در این حالت سایش خراشان از نوع دو جسمی (Tow – body) میباشد. سایش خراشان میتواند در موقعیت های 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 سخت تر، صاف و صیقلی باشد پدید نمی آید. به همین ترتیب سایش خراشان سه جسمی وقتی که ذرات ساینده کوچک بوده و نرمتر از مواد در حال لغزش باشد مشاهده نگردیده است. بنابراین موقعیت هایی در سیستم لغزشی وجود دارد که تحت هر نرخي که میتوان تصور نمود سایش خراشان پدید نخواهد آمد.



سایش خراشان دو جسمی و سه جسمی

مقاومت سایشی خراشان عموماً با سختی سطح بیان میگردد در صورتی که می بایست 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، زمینه های مارتنزیتی با توزیع یکتواخت کار بیدها 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 در تریبوسیستم 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 می یابد.

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

طبق نتایج بدست 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 0.7 یا بیشتر ایده آل میباشد ولی بدست آوردن آن برای فلزات و آلیاژها بسیار مشکل میباشد. امروزه فرآورده های مهندسی سطح قادرند تا سطوح سرامیکی و بین فلزی نسبتاً سختی را تولید نموده و بهمین دلیل کاربرد آنها یک راه حل منطقی و عملی بشمار می آید.

مکانیزم های سایش خراشان

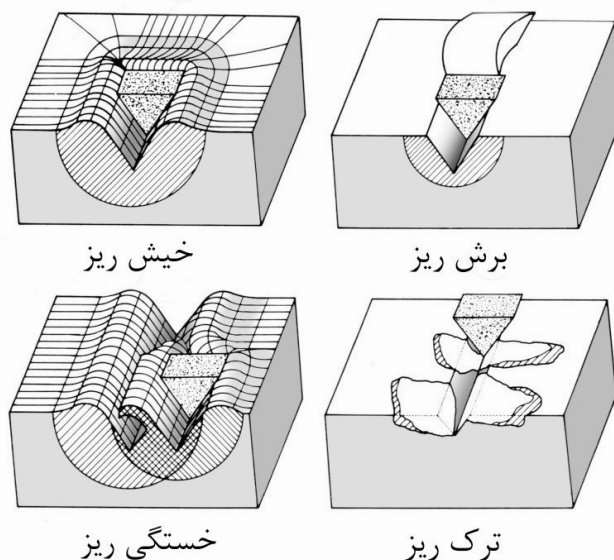
سایش خراشان توسط مکانیزم های متفاوتی پدید می آید:

خیش ریز (Microploughing): در این حالت، خراش سطوح نرم موجب کنده شدن ماده نمیگردد و تنها ماده در سطح جابجا شده و بطور مرتب بصورت برآمدگی هایی در دو طرف شیار ایجاد شده انباشته میگردد و معمولاً دماغه ای را نیز در جلوی ماده ساینده تشکیل میدهد. مکانیزم مزبور شباهت زیادی با خیش زدن زمینهای کشاورزی دارد و معمولاً بخاطر 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 شاخص های مهم این مکانیزم پیدایش کرنش در یک محدوده نسبتاً وسیع در اطراف شیارهای سطحی میباشد.

برش ریز (Microcutting): در این حالت عمل برش توسط ماده ساینده موجب ایجاد ذره سایشی طولی میگردد. انتقال مکانیزم خیش ریز به برش ریز زمانی صورت میپذیرد که سختی ماده نسبت به حالت قبل افزایش یافته باشد. میزان حجم ذرات جدا شده برابر حجم شیارهای ایجاد شده است. انتقال خیش ریز به برش ریز همچنین به زاویه تماس ماده ساینده و ضریب اصطکاک 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 می یابد.

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



سایش چسبان (Adhesive Wear):

سطوح قطعات مهندسی که توسط فرآیند های مختلف تولید شده اند کاملاً صاف نبوده و ناهمگونی متعددی را دارا میباشند . در نتیجه درگیری قطعات مهندسی در سطح در چند نقطه پراکنده صورت میپذیرد و تنش های زیادی را در این نقاط پدید می آورد . این امر موجب تغییر شکل پلاستیکی و اتصالات موضعی در سطح میشود .سایش چسبان در صورتی پدید می آید که لغزش موضعی بین دو سطح 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) بطور مداوم صورت میپذیرد . اگر گسیختگی در سطح تماس اولیه باشد استحکام برشی محل اتصال کمتر از استحکام هر دو ماده درگیر است 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 . بطور کلی تغییرات در لایه سطحی می تواند بر روی نوع گسیختگی اثر گذار باشد .

نوع گسیختگی	تغییرات در لایه سطحی
گسیختگی در فصل مشترک	تشکیل تعدادی جاخلالی اضافی ، ناپایداری کریستالها در سطح و جریان یافتن در آنها
گسیختگی در عمق	تشکیل نابجایی ها ، کار سختی سطوح اصطحکاک
گسیختگی در فصل مشترک	تشکیل فیلم های محافظ با استحکام کم
گسیختگی در فصل مشترک	افزایش حرارت محدوده تماس - نرم شدن

مکانیزم های سایش چسبان

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

الف) درگیری مکانیکی ناهمگونی های سطحی: بر اثر تغییر شکل موضعی ناهمگونی های سطحی اتصالات نسبتاً قوی بین دو سطح پدید می آید.

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

ج) تئوری الکترونی: انتقال الکترون موجب تشکیل لایه های باردار در دو طرف فصل مشترک شده و اتصال بخاطر نیروهای الکترواستاتیک موثر لایه ها صورت می پذیرد.

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 در گیر ، 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 سیستم های لغزشی و انرژی نقص چین (Stacking Fault Energy) دارد. در برخی موارد ، تمایل بین دو سطح فلزی توسط یک فصل مشترک غیر فلزی صورت میپذیرد ، در این حالت سطوح بواسطه جذب سطحی با یک فیلم اکسیدی پوشیده شده است . لایه جذب سطحی و یا اکسیدی بعلت تغییر شکل الاستیک به راحتی شکسته میشود و در نتیجه چسبندگی عمدتاً به موجب پیوند های فلزی صورت میپذیرد .

سایش ورقه ای (Delamination Wear)

در سایش ورقه ای سطح ماده بصورت لایه لایه ای تصور میشود که بر اثر فرآیند سایش در تریبوسیستم همانند جداسازی پوسته پوسته ای پیاز از سطح جدا میشود . بر طبق تئوری ورقه ای شدن ، تغییر شکل پلاستیکی برشی ، جوانه زنی ترک و اشاعه آن در عمقی کوتاه از سطح پدید آمده که نهایتاً به جداسازی ورقه ای ذرات سایش می انجامد. انتقال ماده در این مکانیزم بر خلاف سایش چسبان بواسطه چسبندگی در سطح پدید نمی آید. تئوری ارائه شده ورقه ای 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 لایه های اتمی در سطح تنها در یک طرف پیوند دارند بنابراین ماده در سطح و نزدیکی سطح نسبتاً کارسختی کمتری بر روی آن صورت گرفته است .

(ب) با افزایش مسافت لغزش ، نابجایی ها در فاصله ای کوتاه از سطح تجمع میکنند . این مسئله موجب تشکیل حفره هایی میگردد . تشکیل حفره ها با حضور فازهای ثانویه بویژه فازهای سخت ثانویه که منجر به تجمع بیشتر نابجایی ها میشود افزایش می یابد . حفره ها با تغییر شکل پلاستیکی زمینه در اطراف ذرات سخت شکل میگیرند .

(ج) با گذشت زمان ، حفره ها 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 بصورت یک ذره ورقه ای شکل جدا میشود .

(ه) شکل ذره بستگی به طول آن و تنش های داخلی دارد.

۲- **تئوری توزیع تنش های فشاری در سطح:** (الف) هنگامی که دو سطح لغزش در تماس با یکدیگر قرار میگیرند ، بواسطه بارگذاری مکرر ، ناهمگونی های سطح نرمتر براحثی تغییر شکل یافته و برخی از آنها شکسته میگردند . هنگامی که

این ناهمگونی ها تغییر یافته از سطح جدا میگردند ، سطح نسبتاً صاف میشوند . در این حالت ، تماس دیگر بین ناهمگونی دوسطح در گیر نبوده بلکه ناهمگونی های سطح سخت تر در سطح نرمتر فرو رفته و شیارهایی را ایجاد مینماید .

(ب) : بواسطه بار گذاری متناوب ناهمگونی های سخت تر روی سطح نرمتر، تغییر شکل برشی پلاستیکی تجمع یافته و نقاطی در سطح و زیر سطح کشیده میشود .

(ج) همچنانکه تغییر شکل پلاستیکی و کشیدگی در زیر سطح ادامه می یابد ، ترک هایی در زیرسطح جوانه میزنند . در صورتیکه جوانه زنی ترک در سطح و نزدیک به سطح میسر نمیشد زیرا در ناحیه تماس یک تنش فشاری بالا بصورت سه بعدی وجود دارد .

(د) اشاعه ترک و تغییر شکل پلاستیکی بیشتر باعث گسترش و اشاعه آن شده و ترک به ترک ها و حفره های مجاور میپیوندد . در این صورت ترکها تمایل دارند بموازات سطح و در یک عمقی که بستگی به خواص ماده و ضریب اصطکاک دارد اشاعه یابند .

(ه) در مکانهای ضعیف و معینی این ترک ها سطح را از عمق برش داده و ذرات سایش بصورت ورقه نازک و طویل پدید می آید . ضخامت ذره سایش ورقه ای بستگی به موقعیت رشد ترک در زیر سطح دارد و توسط نیروهای عمودی و مماسی (اصطکاک) کنترل میگردد .

سایش تریبوشیمی (Tribiochemical Wear)

سایش تریبوشیمی از شاخص های دوسطح در حال تماس است که بامحیط مجاور خود واکنش انجام میدهند . محیط مجاور میتواند گاز یا مایع باشد . فرآیند سایش با جداسازی مداوم لایه های واکنش درسطح تماس ادامه می یابد. در حضور اکسیژن این لایه ها شامل مقادیر زیادی اکسید هستند که در سطح تشکیل شده و سپس بصورت ذرات سایش جدا شده اند.

مکانیزم سایش تریبوشیمی را میتوان به چهار دسته تقسیم بندی نمود :

۱- تماسهای فلزی بین ناهمگونی های سطحی که به جدا شدن فلز بعلت چسبندگی می انجامد . ذرات سایشی فلزی ریز ممکن است اکسید شوند .

۲- واکنش شیمیای فلزات با محیط به تشکیل لایه های سطحی محافظ می انجامد که میتواند تماس فلزی را کاهش دهد .

۳- ترک برداشتن لایه های سطحی محافظ بعلت فشار موضعی بالا و یا بر اثر میکرو خستگی به تشکیل ذرات سایش غیر فلزی می انجامد .

۴- ذرات سایش فلزی و یا غیر فلزی ممکن است بصورت ذرات ساینده عمل کرده و سطوح تماس را زیر نمایند ، تشکیل متعاقب لایه های سطحی محافظ به صافتر شدن دوباره سطوح می انجامد . تخریب و کاهش وزن سطوح یا تکرار این گونه فرآیند ها صورت می پذیرد .

سایش تریبوشیمی به شدت متاثر از کینتیک تشکیل لایه های سطحی و خواص آنها است که مقاومت به جدا شدن را تعیین مینماید ، این خواص عبارتند از انعطاف پذیری ، استحکام و چسبندگی آنها به زیر لایه . مقاومت به ترک برداشتن لایه های

تریوشیمی با افزایش ماده زیرین بیشتر می شود. سایش کم زمانی پدید می آید که سختی لایه تریوشیمی برابر لایه زیرین باشد که این امر موجب کاهش حملات ذرات سخت به لایه زیرین نیز میشود.

لایه های محافظ سطحی در سیستم های روانکاری شده توسط واکنش های شیمیایی فلز و ماده روانکار پدید می آید. مواد افزودنی روانکارها که بعنوان مواد ضد سایش کار برد دارند میتوانند از یک طرف تماس فلزی را کمتر کرده و در نتیجه سایش چسبندگی را کاهش دهند، ولی از طرف دیگر مصرف اینگونه مواد به تشکیل لایه های سطحی می انجامد. در نتیجه کاربرد روانکار با مواد افزودنی، انتخابی بین جلوگیری از سایش شدید بعلت چسبندگی و خطر افزایش سایش تریوشیمی است.

میزان فعالیت شیمیایی برای به حداقل رساندن میزان سایش بستگی به شدت لغزش، فشار تماس، دما و کیفیت سطح دارد. لایه های سطحی سخت تر میتواند سایش تریوشیمی را کاهش دهند ولی از طرف دیگر سایش خراشان افزایش می یابد. 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.

سایش نوسانی (Fretting Wear)

سایش نوسانی هنگامی بوقوع می پیوندد که دوسطح در حال تماس تحت بارهای اعمالی حرکت مماسی و نوسانی بادامنه کم نسبت به یکدیگر داشته باشند و لغزش بواسطه تنش های 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 غیر اکسید 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 بوسیله اثر مکانیکی شیمیایی. در این مرحله عمل مکانیکی باعث شکسته شدن فیلم های 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 تریوشیمی).
 - ۳- تولید یکنواخت ذرات سایش توسط خستگی (سایش خستگی سطحی).
 - ۴- ذرات سایش اکسیدی حاصل از فرآیند های 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 مکانیزم های سایش کنترل میشود در نتیجه میتوان بیان نمود که عوامل متعددی بر سایش نوسانی اثر می گذارد.

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

سایش خستگی سطح (Surface Fatigue Wear):

سایش خستگی سطحی را میتوان با تشکیل ترک و جدا شدن ماده از سطح بعثت اعمال نیروهای متناوب تکراری در سطوح شاخص نمود. تماس چرخشی و یا لغزشی / چرخشی و همچنین ضربه ای متناوب میتواند تنش های سیکلی را در سطح پدید آورد. خستگی موضعی ممکن است در یک مقیاس میکروسکوپی بعثت تماس لغزشی ناهمگونی های سطحی ظاهر شود. در اجزای اتاقانهایی که در حال چرخش هستند لغزش کمی بین اجزا در گیر وجود دارد. مخصوصاً با وجود روانکار بدون آلودگی، سایش چسباندن و خراشان پدید نمی آید. تحت این شرایط عمر اجزای اتاقان زیاد بوده ولی بواسطه بار گذاری متناوب که ناشی از عکس العمل 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 نقص ها در خلال مراحل اولیه چرخش ایجاد شده اند.

انتخاب مواد برای قطعات سایشی

هر گروه از مواد دارای خواص تریبولوژیکی ویژه خود بوده و در شرایط عمل برای یک نوع سایش مناسب تر است. شناخت خصوصیات این مواد و آگاهی از محدودیت آنها هنگام انتخاب مواد برای ساخت یک قطعه امری ضروری بشمار می آید. در این بخش فولاد ها، از نظر رفتار تریبولوژیکی بطور خلاصه بررسی میگردند.

فولادهای ساده آلیاژی: فولاد های کم آلیاژ با قیمت مناسب و امکان تهیه آسان برای برخی مصارف سایشی انتخاب میشوند و تا درجه حرارت های ۱۵۰-۱۰۰ درجه سانتیگراد قابل استفاده میباشند، مضافاً با انجام عملیات حرارتی میتوان سختی و چقرمگی مورد نظر را در آنها بدست آورد بعلاوه، عملیات سطحی مانند کربوره کردن و نیتride کردن و پوشش هایی مانند کروم سخت، پاشش پلاسمایی، فسفات کردن و امثال آنرا برای بهبود خواص سایشی اینگونه فولادها میتوان انجام داد. برخی از فولاد ها در مصارف خاصی کاربرد دارند. فولاد AISI 52100 و فولادهای کربوره شده بعنوان مثال برای بلبرینگ و رولبرینگ استفاده میشود و مقاومت سایشی و عمر خستگی بالایی دارند. فولاد منگنزدار بطور گسترده ای در ابزار و تجهیزات معدنی که ضربه پذیری و مقاومت سایش مطرح است بکار گرفته میشوند. این آلیاژ همچنین در سوپ های

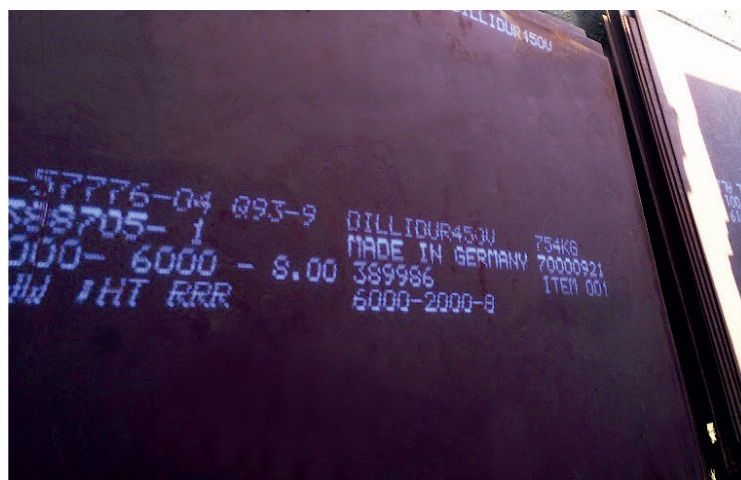
اتصال خطوط راه آهن مصرف دارد. فولادهای زنگ نزن در درجه حرارت های بالا و محیط های خورنده برای ساخت قطعات مناسب است. اما فولاد های زنگ نزن آستیتی در شرایط خشک تمایل به چسبندگی و جوش سرد دارد و به این دلیل از فولاد های مارتنزیتی و یا رسوب سخت شونده استفاده میگردد، هرچند این فولاد ها مقاومت خوردگی پایین تری دارند. فولادهای زنگ نزن از این نوع در برخی یاتاقانها، در محور پمپ ها و ابزارهای برش بکار میروند.

فولاد های ابزار حاوی عناصر کروم، تنگستن و مولیبدن با عملیات حرارتی ویژه به سختی زیاد و مقاومت سایشی بالا میرسد که فرآیند های ماشین کاری با سرعت بالا را میسر میسازد. این قیل فولاد های ابزار در ساخت بلبرینگ هایی که در شرایط سخت یا درجه حرارت بالا مانند موتورهای جت مصرف میگردد. این فولاد ها در حدود 70 RC سختی دارند و بعلاوه گاهی نیز با لایه نازکی از نیتريد تیتانیوم و یا کاربید تیتانیوم پوشش داده میشود. استفاده از این پوشش های جدید تاثیر قابل ملاحظه ای 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 می شوند. 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 بالائی 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.

ورق ضدسایش **دی لیدور (DILLIDUR)** محصول بزرگترین و معتبرترین تولیدکننده فولاد اروپا "دیلنگر هوته" آلمان محصولی است که در سالهای اخیر توانسته بواسطه کیفیت بسیار بالا، تکنولوژی ساخت منحصر بفرد و نیز طیف مناسب تولید از نظر ضخامت و سختی جایگاهی مناسب در عرصه بین المللی در خصوص تامین قطعات سایشی فولادی در صنایع فولادسازی، سیمان، معدن و راهسازی بدست آورد.



ورق فولادی ضدسایش عملیات حرارتی شده DILLIDUR450V

www.Steel-Goods.com