

# MSRPP group

## سایتس

[WWW.MSRPCO.com](http://WWW.MSRPCO.com)

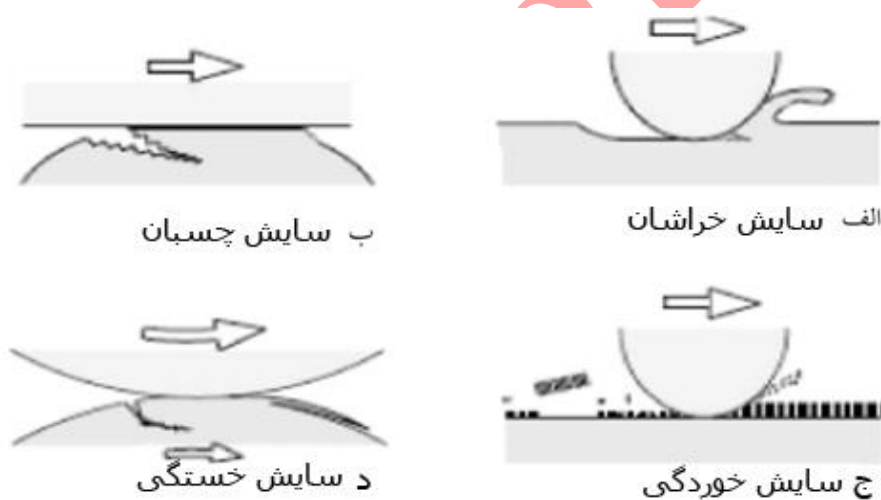
Email: [Info@msrpco.com](mailto:Info@msrpco.com)

شرکت دانش بنیان مهندسی مشاور میراب صنعت راستین پردیس

تلفن: بوشهر ۰۷۷-۳۳۴۴۳۶۸۰، شیراز ۰۳-۳۶۳۱۲۱۰۳-۰۷۱ همراه: ۰۹۱۷۱۱۳۴۱۶۳

سایش به مکانیزمی گفته می‌شود که در حین آن به دلیل ارتباط دو سطح، ماده از سطح جسم کنده شود. به دلیل آنکه تمام سیستم‌هایی که تحت سایش قرار می‌گیرند کارایی و عمر مفید خود را تا حدودی از دست می‌دهند و از سویی امکان تولید ماشین‌های پیچیده تر به دلیل مشکلات سایشی، کم است. کنترل سایش جزو موارد ضروری برای تکنولوژی‌های پیشرفته و کارا تر آینده است. نرخ سایش بسته به شرایط کاری و جنس مواد در گیر در محدوده  $10^{-15}$  -  $10^{-1}$  mm<sup>3</sup>/N.m متغیر است. این بدان معنی است که انتخاب مواد و تعیین شرایط کاری کلید اصلی در کنترل نرخ سایش است. سایش نتیجه جدا شدن ماده به وسیله میکرو شکست و به شکل جدایش فیزیکی حاصل انحلال و تغییرات شیمیایی و یا حاصل ذوب در سطح تماس است. در یک تقسیم بندی مرسوم چهار دسته بندی (شکل ۲-۱۴) برای سایش مطرح است:

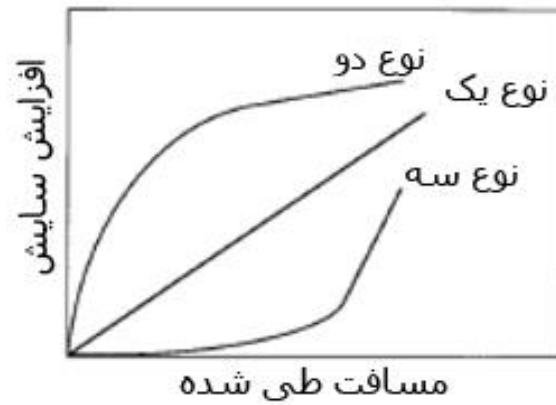
(۱) سایش چسبان (۲) سایش خراشان (۳) سایش خستگی (۴) سایش خوردگی  
 به دلیل ایجاد تغییرات در سطح به دلیل اصطکاک، گرما، تولید فیلم شیمیایی و سایش، امکان تغییر در مکانیزم سایش وجود دارد [۵۵].



شکل ۲-۱۴- مکانیزم‌های مختلف سایش: (الف) خراشان، (ب) چسبان، (ج) خوردگی و (د) خستگی [۵۵].

## ۲-۱۱ انواع نمودارهای سایش

در سایش، زبری سطح سایش و حجم سائیده شده در تعیین مکانیزم سایش اطلاعات بسیار مهمی برای مطالعه فراهم می‌کنند. در شکل ۲-۱۵ سه حالت ممکن در حجم سائیده شده به شکل شماتیک رسم شده است. حالت I سایش ثابت در کل فرآیند را نشان می‌دهد. حالت II تغییر نرخ سایش از مقدار زیاد به کم را نشان می‌دهد که در فلزات دیده می‌شود و حالت III که تغییر نرخ سایش از کم به زیاد است در سرامیک‌ها دیده می‌شود. در این حالت در مراحل ابتدایی، ترک تولید و در مراحل بعدی رشد می‌کند [۵۵].



شکل ۱۲-۲- سه حالت ممکن برای منحنی‌های ساییش [۵۵].

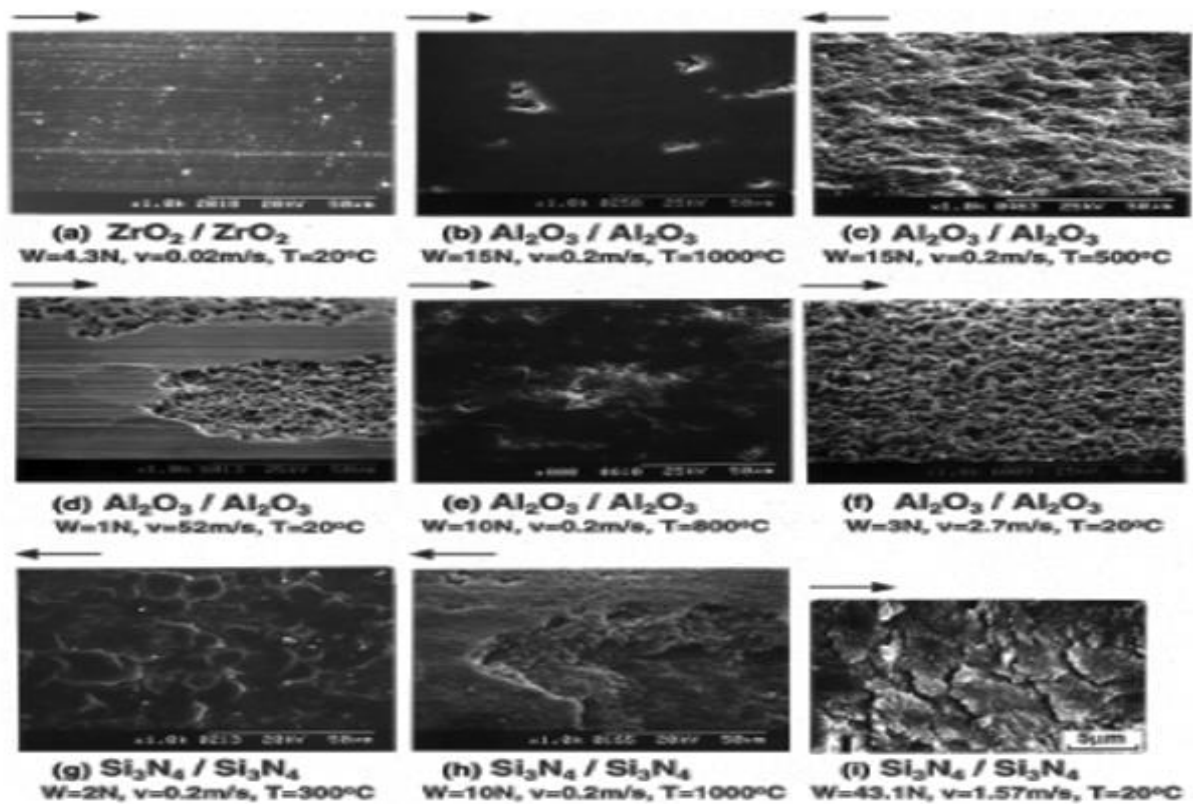
## ۱۲-۲ نرخ ساییش

ساییش به وسیله میزان حجم کاهش یافته و شرایط سطح معین می‌شود. میزان ساییش با نرخ ساییش تعیین می‌شود. نرخ ساییش بصورت حجم سائیده شده بر حسب مسافت طی شده بیان می‌شود که در واقع شیب نمودار شکل ۱۲-۲ است. نرخ ساییش مخصوص بصورت حجم سائیده شده بر مسافت بر نیرو تعریف می‌شود. تغییرات نرخ ساییش در سطوح فلزی در شرایط مختلف روغن کاری در شکل ۱۶-۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۶-۲- تغییر نرخ ساییش ویژه در مواد فلزی در شرایط روغن کاری متفاوت [۵۶].

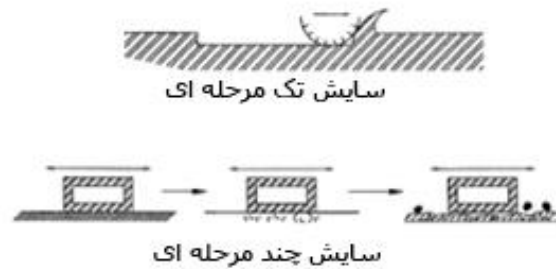
شکل ۱۷-۲ تغییرات سطح ساییش را برای سرامیک‌ها در نیروها، سرعت لغزش و دماهای مختلف نشان می‌دهد. سطوح ساییش بسته به ماده و شرایط اصطکاک بسیار متفاوت است. این شکل به خوبی نشان می‌دهد که با ایجاد تغییرات کم در سطوح، تغییرات بسیار شدید در ساییش بوجود می‌آید. این شکل‌ها نشان می‌دهند که ساییش خصوصیت ذاتی ماده نیست بلکه پاسخ ماده به محیط است [۵۶].



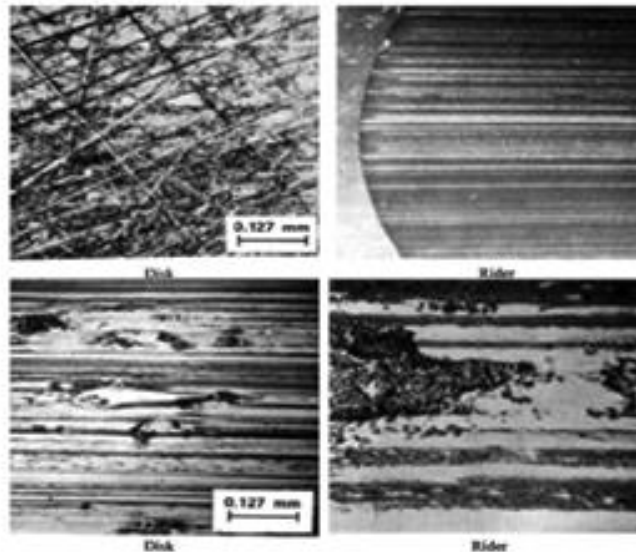
شکل ۲-۱۷- تغییرات مورفولوژی سطح در سه نوع سرامیک در حالات کاری مختلف (فلش جهت لغزش را نشان می دهد) [۵۶].

## ۲-۱۳ انواع تغییر فرم

در تغییر فرم تک پاس تغییرات حاصله در اثر یک بار تماس صورت می گیرد مانند تغییر فرم پلاستیک، شکست ترد و یا برش. در حالت چند پاس مکانیزم های سایش باز هم مکانیکی هستند اما در اثر چندین بار تماس بین سطوح تولید می شوند مانند خستگی (شکل ۲-۱۸) [۵۶]. رفتار سایشی به دو حالت شدید و متوسط نیز دسته بندی می شوند. سایش متوسط به حالتی گفته می شود که نرخ سایش در آن کم و تغییر سطحی بسیار کوچک است. سایش شدید از سویی دیگر به نرخ های سایش شدیدتر و تغییرات سطحی بزرگتر اطلاق می شود. برای مثال شکل ۲-۱۹ دو حالت شیارهای متوسط و شدید را نشان می دهد. در شرایطی که سایش شدید ایجاد شود، عمر قطعات بسیار محدود است [۵۶].



شکل ۲-۱۸- سایش تک پاس و چندپاس [۵۶].

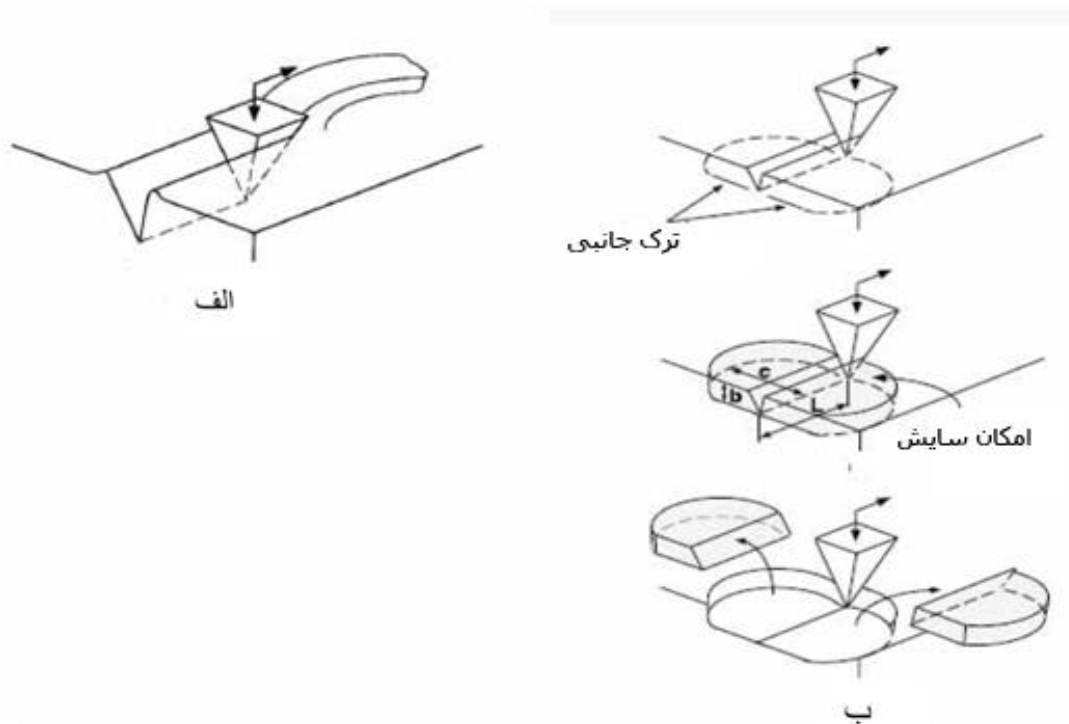


شکل ۲-۱۹- مورفولوژی سطح در دو حالت سایش شدید و متوسط. شکل سمت چپ حالت سایش متوسط و شکل سمت راست سایش شدید را نشان می دهد [۵۶].

## ۲-۱۴ سایش خراشان

در ارتباط بین یک سطح سخت و سطحی که نرم تر است ماده سخت تر به درون ماده نرم تر نفوذ می کند. در این حالت میکرو برش در ماده نرم تر اتفاق می افتد و به این نوع سایش، سایش خراشان گفته می شود. در این نوع سایش حجمی از ماده سائیده شده برداشته می شود و حفرات سایش خراشان در سطح ضعیف تر تولید می شوند. در مواد نرم حالتی شبیه به ریبون و ذرات بزرگ سایش توسط میکرو برش تولید می شوند. اما در مواد ترد ذرات سایش با رشد ترک تولید می شوند (شکل ۲-۲۰) [۵۵]. در تمام حالات سایش خراشان، به دلیل تولید ذرات سایش و تغییر فرم پلاستیک، حفرات سایش تولید می شوند. از سویی دیگر ذرات حاصل از سایش فقط در پاس های زیاد و به دلیل تجمع تغییر فرم های پلاستیک ایجاد می شوند [۵۶]. از سویی دیگر وجود ذرات ریز و سخت نیز باعث تولید سایش

خراشان در ماده می شوند. خراشیدن<sup>۱</sup> و ساییدن<sup>۲</sup> که دو حالت مرسوم در تولید این مکانیزم هستند در شکل ۲-۲۱ نشان داده شده است [۵۶].



شکل ۲-۲۰-الف) سایش خراشان در ماده نرم که تغییر فرم پلاستیک در آن غالب است و ب) حالت تود که شکست تود در آن غالب است [۵۵].

<sup>۱</sup>- Abrasion

<sup>۲</sup>- Erosion



سایش دو جسمی



سایش سه جسمی



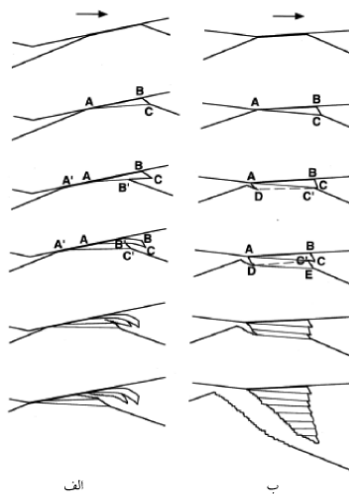
سایش

شکل ۲-۲۱- حالات مختلف سایش خراشان [۵۶].

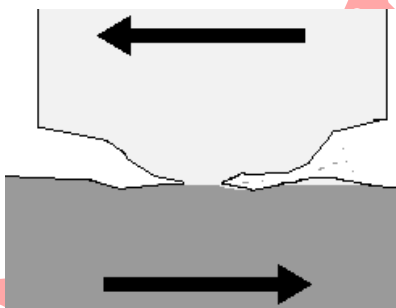
## ۲-۱۵ سایش چسبان

این حالت در زمانی که دو سطح چسبندگی قدرتمندی در نقطه تماس دارند اتفاق می‌افتد. در این حالت تغییر فرم پلاستیک بزرگی به دلیل تولید نابجایی در سطح تماس و در زیر منطقه تنش فشاری و برشی بوجود می‌آید. امکان کنده شدن ماده فقط از ماده نرم تر مطرح نیست و از هر دو ماده کنده می‌شود. برش سطحی در منطقه فشار و در محدوده نیروی چسبان باعث تولید لغزش صفحات در نواحی تماس می‌شود. در اثر لغزش، زبانه‌هایی شبیه به پوسته تولید می‌شوند (شکل ۲-۲۲ الف). در اثر اجماع نیروهای برشی و کششی ترک‌های زیادی تولید و رشد می‌کنند. تغییر فرم پلاستیک بزرگتر در منطقه تماس در برخی حالات، تولید اشکال لبه دار می‌کند (شکل ۲-۲۳ ب) [۵۵].

سطوح قطعات مهندسی که توسط فرایندهای مختلف تولید شده‌اند معمولاً صاف نبوده و ناهمگونی‌های متعددی دارند. 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 دو سطح درگیر موجب گسیختگی اتصالات مزبور و نهایتاً انتقال ماده از یک سطح به سطح دیگر شود (شکل ۲-۲۳) [۵۶]. اگر بین دو سطح در نورد، لغزش باشد سایش چسبان بسیار محتمل است. از سویی هر چه سطوح چسبندگی ضعیف‌تری داشته باشند و یا انرژی سطحی کمتری داشته باشند، سایش چسبان کاهش خواهد یافت [۵۶].



شکل ۲-۲۲- شماتیک انتقال اجزاء چسبان در سایش چسبان (الف) انتقال چسبان ذرات شبیه به پوسته و (ب) ذرات سایشی لبه ای شکل [۵۵].



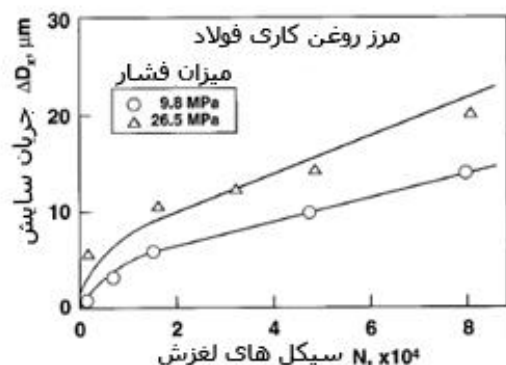
شکل ۲-۲۳- سایش چسبان در محل اتصال موضعی سطوح در گیر [۵۶].

## ۲-۱۶ سایش خستگی

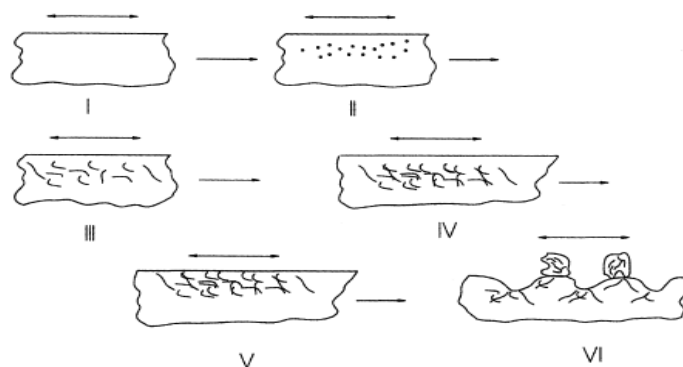
در این حالت از سایش، شکست خستگی بعد از سیکل‌های اصطکاکی مداوم انجام می‌شود. در این حالت ذرات سایش در یک پاس تولید نمی‌شوند. این نوع سایش بعد از تعداد بحرانی سیکل ( $N_f$ ) و تحت کرنش پلاستیک سیکلی اتفاق می‌افتد. در شرایطی که تنش زیر تنش تسلیم ماده است به دلیل وجود میکرو عیوب در برخی از مناطق تماس، تنش بالاتر از تنش تسلیم ماده می‌شود. یک ماده پلی کریستال دارای مرزخانه‌ها، عیوب و تخلخل می‌باشد. به دلیل این ناهمسانگردی‌ها، تنش منطقه ای در منطقه تماس زیاد شده و در سیکل‌های زیاد افزایش می‌یابد. شکل ۲-۲۴ تغییر فرم پلاستیک لایه سطحی را به عنوان تابعی از تعداد سیکل‌ها برای دو تنش متفاوت نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است، میزان تغییر فرم پلاستیک در  $10^4$  سیکل اول در حد چند میکرومتر است [۵۶]. در سایش خستگی تولید و رشد



ترک جزو موارد اصلی در تولید این نوع سایش است. در خستگی زمان نهفتگی<sup>۱</sup>، زمان تولید ترک می‌باشد. در حالی که در سایش خستگی این زمان بیشتر از زمان فوق است. در حالت خستگی زمان نهفتگی شامل رشد ترک به سطح نیز می‌شود (شکل ۲-۲۵) [۵۶].



شکل ۲-۲۴- جریان سایش لایه سطحی به عنوان تابعی از سیکل های لغزش [۵۶].

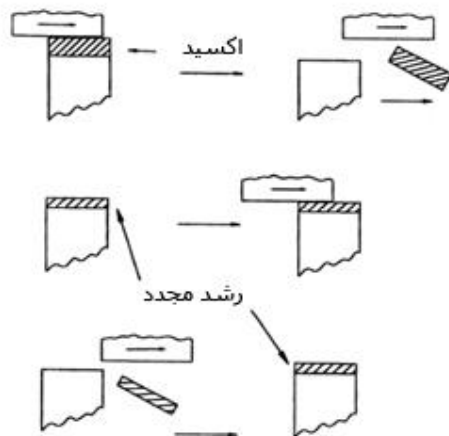


شکل ۲-۲۵- حالت های مرسوم در سایش خستگی سطحی: مرحله I: سیکل تنش در سطح، مرحله II: جوانه زنی ترک در نزدیک سطح، مرحله III: رشد ترک، مرحله IV: پیوستگی ترک، مرحله V: رسیدن ترک به سطح و VI: مرحله تولید ذرات سایش [۵۶].

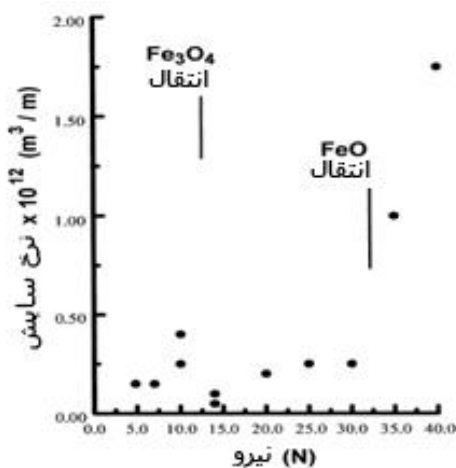
## ۲-۱۷ سایش خوردگی

در تماس بین دو سطح در محیط خورنده، واکنش های سطحی افزایش می‌یابد. در شرایطی که محیط خورنده باعث تغییر در میزان ماده منتقل شده از سطح شود، سایش اصطلاحاً سایش خوردگی بیان می‌شود. در هوا، مرسوم ترین محیط خورنده اکسیژن است و به سایش در این محیط سایش اکسید کننده می‌گویند. در این حالت از سایش، واکنش های تریبوشیمیایی باعث تولید لایه ای جدید در سطح می‌شوند. در همین زمان، این لایه توسط اصطکاک کننده می‌شود. در عمل نرخ تولید و برداشته شدن این لایه میزان نرخ سایش را تعیین می‌کند (شکل ۲-۲۶). در برخی از حالات، تغییر نیرو نوع اکسید را تغییر می‌دهد که باعث ایجاد تغییر در میزان نرخ سایش است (شکل ۲-۲۷) [۵۷].

<sup>۱</sup>- Incubation time



شکل ۲-۲۶- مدل سایش اکسیدی [۵۷].

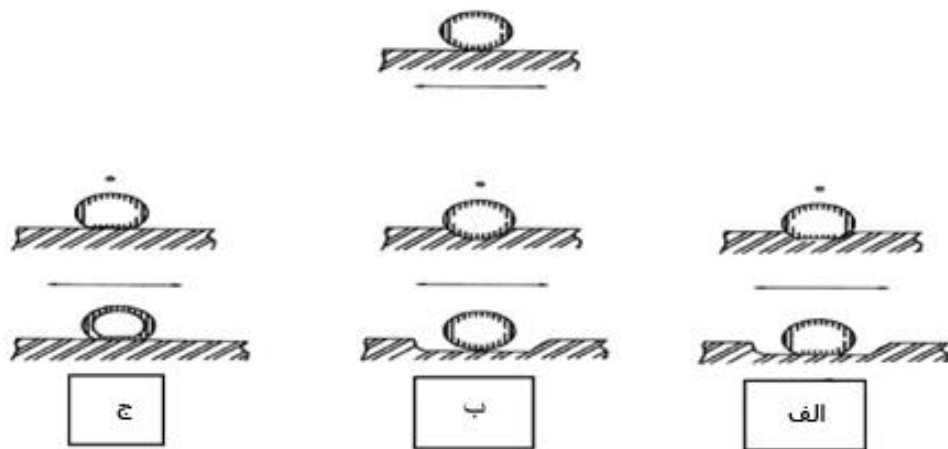


شکل ۲-۲۷- نرخ سایش به عنوان تابعی از نیرو در فولاد [۵۷].

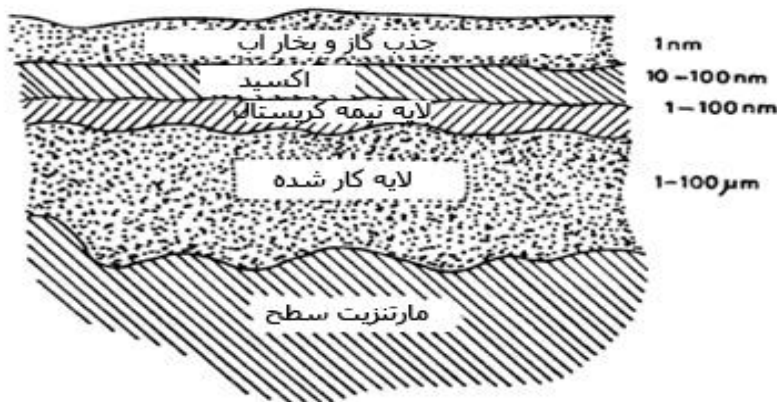
## ۲-۱۸ آزمون پین روی دیسک

در حالت عمومی در اثر تماس پین و سطح سه حالت ممکن است بوجود آید (شکل ۲-۲۸). در شکل ۲-۲۸ در حالت الف) فقط پین و در حالت ب) فقط سطح و در حالت ج) هم سطح و هم پین هردو سائیده می‌شوند. در حالت ب در (شکل ۲-۲۸) سطح تماس از حالت نقطه‌ای و به صورت خطی در می‌آید. در اثر سایش سطح، زیر لایه‌های آن تغییر می‌کنند و شامل به ترتیب لایه‌های اکسیدی، لایه بیلبی (لایه ای است نیمه کریستالی و در اثر ذوب موضعی تولید می‌شود) و لایه کار سخت شده و بالک است (شکل ۲-۲۹) [۵۸].

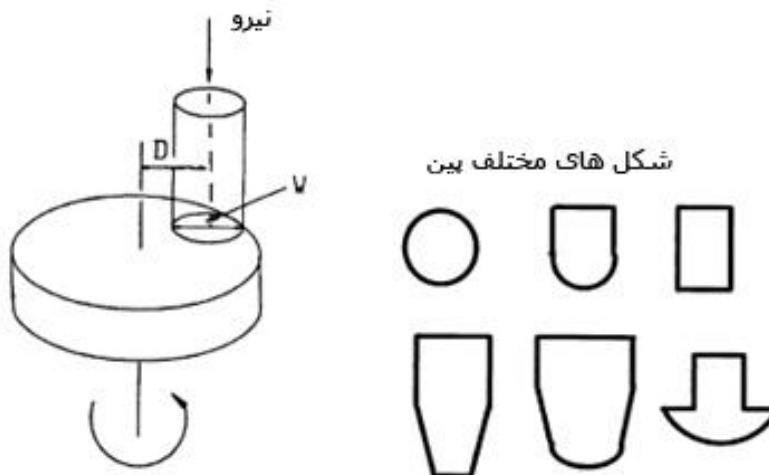
در آزمون سایش، پین و یا دیسک می‌توانند حرکت کنند. در این آزمون شکل و ابعاد پین، نیرو-سرعت و جنس پین و یا دیسک می‌تواند تغییر کند (شکل ۲-۳۰) [۵۸].



شکل ۲-۲۸- تأثیر پین بر سطح نمونه [۵۸].



شکل ۲-۲۹- لایه‌های سطحی در یک فلز غیر روانکار [۵۸].



شکل ۲-۳۰- اشکال مختلف پین [۵۹].