

به نام آنکه جان را فکرت آموخت

سایش و فرسایش فلزات و آلیاژهای مهندسی

www.ketab.ir

نویسنده:

دکتر رضا تقی آبادی

دانشیار گروه مهندسی مواد و متالورژی-دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)

سرشناسه	: تقی آبادی، رضا، ۱۳۵۴ -
عنوان و نام پدیدآور	: سایش و فرسایش فلزات و آلیاژهای مهندسی / تالیف رضا تقی آبادی.
مشخصات نشر	: قزوین: دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، انتشارات، ۱۴۰۰.
مشخصات ظاهری	: ۳۵۰ص. : مصور، جدول.
شابک	: ۹۷۸-۶۲۲-۶۸۹۸-۹۲-۸
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
یادداشت	: کتابنامه.
موضوع	: فلزها -- فرسایش Metals -- Erosion آلیاژها Alloys
شناسه افزوده	: دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره). انتشارات
رده بندی کنگره	: ۴۶۰.TA
رده بندی دیویی	: ۵۴۱/۱۵۰.۲۰۶
شماره کتابشناسی ملی	: ۸۷۶-۳۷۸
اطلاعات رکورد کتابشناسی	: فیپا

عنوان	: سایش و فرسایش فلزات و آلیاژهای مهندسی
نویسنده	: رضا تقی آبادی
ناظر فنی	: حمید کلهر
شابک	: ۹۷۸-۶۲۲-۶۸۹۸-۹۲-۸
نوبت چاپ	: اول ۱۴۰۰
قیمت	: ۹۰ هزار تومان
شمارگان	: ۵۰۰ جلد
ناشر	: انتشارات دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)

قزوین، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، تلفن ۰۲۸ - ۳۳۹۰۱۴۲۶

کلیه حقوق برای ناشر محفوظ است.
مسئولیت حقوقی و قانونی محتوای کتاب بر عهده صاحبان اثر است.

فهرست

فصل اول: مقدمه

۴

مراجع

فصل دوم: طبقه‌بندی فرآیندهای سایش فلزات و آلیاژهای مهندسی

۱۳

مراجع

فصل سوم: سایش خراشان

۱۵

۱-۳- مقدمه

۱۶

۲-۳- فرآیندهای سایش خراشان

۱۶

۱-۲-۳- سایش خراشان تنش بالا و تنش پایین

۲۲

۲-۲-۳- سایش خراشان دو جسمه و سه جسمه

۲۵

۳-۳- مکانیزم‌های سایش خراشان

۲۶

۱-۳-۳- برش میکروسکوپی

۲۸

۲-۳-۳- خستگی

۲۹

۳-۳-۳- شکست ترد

۳۴

۴-۳-۳- خروج/شکست ذرات فاز دوم

۳۵

۴-۳- تاثیر عوامل مختلف بر سایش خراشان

۳۵

۱-۴-۳- سایندهای ذرات

۳۵

۱-۱-۴-۳- تاثیر سختی، تردی و چقرمگی ذرات

۳۸

۲-۱-۴-۳- تاثیر اندازه ذرات

۴۰

۳-۱-۴-۳- تاثیر شکل ذرات

- ۴۵ ۳-۴-۲- تاثیر قید ذرات
- ۴۷ ۳-۴-۳- تاثیر دما
- ۴۸ ۳-۴-۴- تاثیر رطوبت
- ۵۰ ۳-۴-۵- تاثیر مشخصات آلیاژ
- ۵۰ ۳-۴-۵-۱- تاثیر سختی زمینه
- ۵۴ ۳-۴-۵-۲- تاثیر چقرمگی شکست زمینه
- ۵۶ ۳-۴-۵-۳- تاثیر نرمی یا انعطاف پذیری زمینه
- ۵۷ ۳-۴-۵-۴- تاثیر کارسختی زمینه
- ۵۸ ۳-۴-۵-۵- تاثیر رسوب گذاری
- ۵۹ ۳-۴-۵-۶- تاثیر اجزای ریزساختاری
- ۶۰ ۳-۴-۵-۷- تاثیر اندازه دانه
- ۶۱ ۳-۴-۵-۸- تاثیر عناصر آلیاژی
- ۶۳ ۲-۵-۵- روش های سنجش مقاومت به سایش خراشان فلزات و آلیاژهای مهندسی
- ۶۳ ۳-۵-۱- آزمایش سایش گوجینگ (روش آزمون ASTM G81)
- ۶۶ ۳-۵-۲- آزمایش های سایش خراشان تنش پایین
- ۶۶ ۳-۵-۲-۱- آزمایش سایش خراشان تابر (روش آزمون ASTM D4060)
- ۶۷ ۳-۵-۲-۲- آزمایش سایش ماسه خشک-چرخ لاستیکی (روش آزمون ASTM G65)
- ۷۲ ۳-۵-۲-۳- آزمایش پین-روی-دیسک (نوع سایش خراشان)
- ۷۴ ۳-۵-۲-۴- آزمایش سایش خراشان نواری (روش آزمون ASTM G174)
- ۷۶ ۳-۵-۲-۵- آزمایش سایش خراشان استوانه (روش آزمون ASTM G132)
- ۷۸ ۳-۵-۲-۶- آزمایش سایش خراشان کمر بند ساینده
- ۷۸ ۳-۵-۲-۷- آزمایش خراش (روش آزمون ASTM G171)
- ۸۰ ۳-۵-۲-۸- آزمایش های استاندارد نشده
- ۸۲ ۳-۵-۳- آزمایش سایش خراشان تنش بالا
- ۸۴ ۳-۵-۴- آزمایش صیقل کاری

۸۷	۳-۵-۵- آزمایش خراش میکروسکوپی
۸۹	مراجع

فصل چهارم: سایش فرسایشی

۹۱	۴-۱- مقدمه
۹۳	۴-۲- مکانیزم‌های سایش فرسایشی
۹۴	۴-۲-۱- مکانیزم فرسایش مواد نرم و شکل‌پذیر
۹۵	۴-۲-۲- مکانیزم فرسایش مواد ترد
۹۵	۴-۳- تأثیر عوامل مختلف بر سایش فرسایشی
۹۵	۴-۳-۱- تأثیر زاویه برخورد و سرعت ضربه ذرات ساینده بر میزان سایش فرسایشی
۹۹	۴-۳-۲- تأثیر شکل، سختی، اندازه و میزان شار ذرات بر نرخ سایش فرسایشی
۱۰۱	۴-۳-۳- تأثیر دما بر سایش فرسایشی
۱۰۳	۴-۳-۴- تأثیر محیط فرسایش بر سایش فرسایشی
۱۰۶	۴-۴- سایش فرسایشی توسط قطرات مایعات
۱۰۹	۴-۵- فرسایش کاویتاسیونی
۱۱۰	۴-۵-۱- مکانیزم فرسایش کاویتاسیونی
۱۱۶	۴-۶- آزمایش‌های تعیین مقاومت به سایش فرسایشی
۱۱۶	۴-۶-۱- مقاومت به سایش فرسایشی در برابر ذرات جامد
۱۱۷	۴-۶-۱-۱- آزمایش پرتاب ذره
۱۱۸	۴-۶-۱-۲- آزمایش بازوی چرخان
۱۱۹	۴-۶-۱-۳- آزمایش ریزش ماسه یا آزمایش مقاومت "مار"
۱۱۹	۴-۶-۱-۴- آزمایش فرسایش جت گاز
۱۲۳	۴-۶-۲- آزمایش‌های فرسایش دوغابی
۱۲۵	۴-۶-۲-۱- آزمایش ساینده دوغاب
۱۲۹	۴-۶-۲-۲- آزمایش ماسه مرطوب-چرخ لاستیکی (روش آزمون ASTM G105) و آزمایش سایش کاربرد (روش آزمون ASTM B611)

۱۳۲	۴-۶-۳- آزمایش پروانه
۱۳۳	۴-۶-۴- آزمایش سایش خراشان میکروسکپی
۱۳۴	۴-۶-۵- آزمایش مخزن دوغاب (روش آزمون ASTM G119)
۱۳۵	۴-۶-۶- آزمایش سنجش بزرگ شدن روزنه
۱۳۶	۴-۶-۳- آزمایش‌های فرسایش خوردگی
۱۳۷	۴-۶-۴- آزمایش فرسایش ناشی از برخورد قطرات مایع (روش آزمون ASTM G73)
۱۴۱	۴-۶-۵- آزمایش‌های فرسایش کاویتاسیونی
۱۴۱	۴-۶-۵-۱- آزمایش کاویتاسیون با شیپوره فراصوتی (روش آزمون ASTM G32)
۱۴۴	۴-۶-۵-۲- آزمایش کاویتاسیون جت آب غوطه‌ور (روش آزمون ASTM G134)
۱۴۶	مراجع

فصل پنجم: سایش چسبان

۱۴۷	۵-۱- مقدمه
۱۴۸	۵-۲- بررسی حالات مختلف سایش چسبان
۱۴۸	۵-۲-۱- اسکافینگ
۱۴۹	۵-۲-۲- اسکورینگ
۱۵۰	۵-۲-۳- گالینگ اولیه
۱۵۲	۵-۲-۴- گالینگ
۱۵۲	۵-۲-۵- قفل شدن
۱۵۴	۵-۳- مکانیزم چسبندگی
۱۵۸	۵-۴- عوامل موثر بر سایش چسبان
۱۶۶	۵-۵- لایه انتقالی/لایه تریبولوژیکی
۱۷۶	۵-۵-۱- بررسی ویژگی‌های سطحی و ذرات ناشی از سایش در دو رژیم سایش خفیف و شدید
۱۷۶	۵-۵-۱-۱- سطح سایش
۱۷۸	۵-۵-۱-۲- ذرات سایشی

۱۷۹	۵-۱-۳- لایه‌های زیرسطحی
۱۸۰	۵-۶- کنترل سایش چسبان
۱۸۱	۵-۷- ترکیبات مطلوب مواد لغزشی
۱۸۲	۵-۸- آزمایش‌های سایش چسبنده
۱۸۳	۵-۸-۱- آزمایش گالینگ (روش آزمون ASTM G98)
۱۸۶	۵-۸-۲- آزمایش پین-روی-دیسک (روش آزمون ASTM G99)
۱۹۰	۵-۸-۳- آزمایش سایش رفت و برگشتی گلوله-روی-سطح تخت (روش آزمون ASTM G133)
۱۹۲	۵-۸-۴- آزمایش بلوک-روی-حلقه (روش آزمون ASTM G77)
۱۹۷	۵-۸-۵- آزمایش سایش واشرهای کف گرد
۱۹۸	۵-۸-۶- آزمایش پین-درون-پوش
۱۹۸	۵-۸-۷- آزمایش بلوک‌های تخت-روی-استوانه دوار (بارگذاری لبه‌ای)
۱۹۹	۵-۸-۸- آزمایش سایش استوانه‌های متقاطع (روش آزمون ASTM G83)
۲۰۰	۵-۸-۹- آزمایش اسکافینگ/اسکورینگ
۲۰۴	مراجع

فصل ششم: سایش خورنده و اکسیداسیونی

۲۰۹	۶-۱- مقدمه
۲۱۲	۶-۲- مکانیزم‌های سایش خورنده (خوردگی تریبولوژیکی)
۲۱۵	۶-۳- انواع فرآیندهای سایش خورنده
۲۱۵	۶-۳-۱- خوردگی فرسایشی
۲۱۶	۶-۳-۲- خوردگی کاویتاسیونی
۲۱۶	۶-۳-۳- خوردگی خراشان
۲۱۶	۶-۳-۴- خوردگی خستگی
۲۱۷	۶-۳-۵- خوردگی نوسانی
۲۲۰	۶-۴- سایش اکسیداسیونی

- ۲۲۱ ۱-۴-۶- سینتیک رشد لایه اکسیدی روی فلزات در دماهای بالا و پایین
- ۲۲۲ ۲-۴-۶- سایش اکسیداسیونی در سرعت‌های لغزش بالا
- ۲۲۴ ۳-۴-۶- سایش اکسیداسیونی در سرعت لغزش کم
- ۲۲۶ ۴-۴-۶- سایش اکسیداسیونی در دما و تنش بالا
- ۲۲۸ ۵-۴-۶- سایش اکسیداسیونی در کاربردهای دما پایین
- ۲۲۸ ۶-۴-۶- سایش اکسیداسیونی در شرایط روانکاری
- ۲۲۹ ۵-۶- روش‌های کنترل سایش خورنده و اکسیداسیونی
- ۲۳۱ ۶-۶- آزمایش‌های تعیین مقاومت به سایش خورنده/خوردگی تریبولوژیکی
- ۲۳۱ ۱-۶-۶- آزمایش خوردگی تریبولوژیکی لغزشی
- ۲۳۶ ۲-۶-۶- آزمایش خوردگی نوسانی
- ۲۳۷ ۳-۶-۶- آزمایش خوردگی میکروخرایشان
- ۲۳۹ ۴-۶-۶- آزمایش‌های فرسایش خوردگی
- ۲۴۲ ۷-۶- آزمایش‌های تعیین مقاومت به سایش اکسیداسیونی
- ۲۴۴ مراجع

فصل هفتم: سایش خستگی

- ۲۴۵ ۱-۷- مقدمه
- ۲۴۶ ۲-۷- سایش خستگی ناشی از لغزش
- ۲۴۷ ۱-۲-۷- سایش خستگی ناشی از ترک‌های سطحی
- ۲۵۲ ۲-۲-۷- سایش خستگی ناشی از ترک‌های زیر سطحی
- ۲۵۳ ۳-۲-۷- تأثیر روانکاری بر سایش خستگی ناشی از لغزش
- ۲۵۴ ۳-۷- سایش خستگی ناشی از غلتش
- ۲۵۵ ۱-۳-۷- بررسی پدیدار شناختی مکانیزم‌های حاکم بر سایش خستگی غلتشی
- ۲۶۲ ۲-۳-۷- مبانی خستگی تماسی در غلتش
- ۲۶۳ ۳-۳-۷- دلایل خستگی تماسی

۲۷۳	۴-۳-۷- لغزش در سیستم‌های تریبولوژیکی غلتشی
۲۷۴	۴-۷- سایش ضربه‌ای
۲۷۴	۴-۷- ۱- مقدمه
۲۷۶	۴-۷- ۲- مکانیزم سایش ضربه‌ای
۲۷۸	۴-۷- ۳- سایش خراشان ضربه‌ای
۲۸۰	۴-۷- ۴- بررسی موردی سایش ضربه‌ای در سیستم‌های صنعتی
۲۸۰	۴-۷- ۱- سایش ضربه‌ای در فلزکاری
۲۸۲	۴-۷- ۲- سایش ضربه‌ای در فرآیندهای پرعیارسازی مواد معدنی
۲۸۳	۴-۷- ۳- بررسی سایش ضربه‌ای در نشیمنگاه سوپاپ موتور خودرو
۲۸۴	۵-۷- آزمایش‌های ارزیابی مقاومت به سایش غلتشی، سایش ضربه‌ای و خستگی سطحی
۲۸۴	۵-۷- ۱- آزمایش سایش غلتشی
۲۸۷	۵-۷- ۲- آزمایش دیسک روی دیسک
۲۸۸	۵-۷- ۳- آزمایش چهار گلوله (روش آزمون ASTM D4172-94)
۲۸۹	۵-۷- ۴- آزمایش پنج گلوله
۲۹۰	۵-۷- ۵- آزمایش گلوله-روی-میله
۲۹۱	۵-۷- ۶- آزمایش دیسک-روی-میله
۲۹۲	۵-۷- ۷- آزمایش خستگی چرخ دنده
۲۹۳	۵-۷- ۸- آزمایش‌های خستگی سطوح در معرض غلتش
۲۹۵	۵-۷- ۹- آزمایش سایش ضربه‌ای
۲۹۷	مراجع

فصل هشتم: سایش نوسانی

۲۹۹	۸-۱- مقدمه
۳۰۱	۸-۲- رژیم‌های سایش نوسانی
۳۰۵	۸-۳- تاثیر عوامل مختلف بر سایش نوسانی

- ۳۰۵ ۱-۳-۸- دامنه نوسان
- ۳۰۶ ۲-۳-۸- بار اعمالی
- ۳۰۶ ۳-۳-۸- فرکانس نوسان
- ۳۰۷ ۴-۳-۸- تاثیر محیط بر سایش نوسانی
- ۳۱۰ ۵-۳-۸- اثر دما و روانکارها بر سایش نوسانی
- ۳۱۳ ۶-۳-۸- تاثیر خواص مواد و کیفیت سطح روی سایش نوسانی
- ۳۱۴ ۴-۸- آزمایش‌های سایش نوسانی
- ۳۱۴ ۱-۴-۸- مقدمه
- ۳۱۷ ۲-۴-۸- آزمایش سایش نوسانی
- ۳۱۸ ۳-۴-۸- آزمایش گلوله-روی-صفحه
- ۳۲۱ ۴-۴-۸- آزمایش‌های استاندارد: خستگی نوسانی
- ۳۲۱ ۵-۴-۸- آزمایش‌های تماس الکتریکی (روش آزمون ASTM B896)
- ۳۲۲ ۶-۴-۸- زوج‌های ایمپلنت مفصل ران (روش آزمون ASTM F1875)
- ۳۲۳ ۷-۴-۸- آزمایش گریس (روش آزمون ASTM D4170)
- ۳۲۳ ۸-۴-۸- آزمایش فافیر (روش آزمون ASTM D4170)
- ۳۲۵ مراجع

فصل نهم: سایر فرآیندهای سایش

- ۳۲۷ ۱-۹- سایش ذوبی
- ۳۳۱ ۲-۹- سایش به دلیل تخلیه الکتریکی و عبور جریان از طریق یک تماس
- ۳۳۵ ۳-۹- سایش نفوذی
- ۳۳۸ مراجع

خسارات و آسیب‌های ناشی از سایش و فرسایش سطوح فلزی، موجب افت کارایی و خراب شدن قطعات و ضرورت صرف زمان و هزینه قابل توجه برای اصلاح یا جبران آسیب‌ها یا تعویض قطعات می‌شود. بر اساس برآوردهای انجام شده، سالانه حدود ۲ الی ۷ درصد از تولید ناخالص داخلی اغلب کشورهای صنعتی صرف هزینه‌های مستقیم و غیر مستقیم ناشی از سایش، فرسایش و اصطکاک می‌شود. مجموع خسارات اقتصادی ناشی از تماس‌های تریبولوژیکی در جهان سالانه حدود ۲/۵ تریلیون یورو (بر مبنای یورو سال ۲۰۱۸) تخمین زده می‌شود که ۷۳ درصد آن ناشی از اصطکاک و ۲۷ درصد ناشی از سایش است. سایش و اصطکاک، به لحاظ افزایش مصرف انرژی و تولید ضایعات، دارای تبعات منفی زیست محیطی نیز هستند. بنابراین کنترل این پدیده‌ها از دو دیدگاه اقتصادی و زیست محیطی بسیار حائز اهمیت است و نقش مهمی در کاهش هدر رفت منابع دارد.

خوشبختانه، خسارات و هزینه‌های ناشی از فرآیندهای سایش غالباً اجتناب‌ناپذیر هستند و با انجام اقدامات مهندسی مناسب، امکان کاهش قابل توجه هزینه‌ها و تبعات زیست محیطی ناشی از سایش و فرسایش وجود دارد. بدیهی است که لازمه انجام اقدامات و اخذ تصمیمات صحیح مهندسی، شناخت کافی از فرآیندهای سایش، مکانیزم‌های حاکم بر این فرآیندها و آشنایی با روش‌های ارزیابی خواص سایشی مواد است. بر این اساس، هدف از تدوین کتاب حاضر، ارائه مرجعی مکتوب در زمینه سایش و فرسایش فلزات و آلیاژهای مهندسی به منظور افزایش سطح آگاهی و ارتقاء علمی دانشجویان و محققین و صنعتگران محترم است. نگارش کتاب حاضر با استفاده از اطلاعات گردآوری شده از منابع علمی و بهره‌گیری از تجارب نویسنده در دو حوزه دانشگاه و صنعت صورت پذیرفته و کوشش شده است ضمن بررسی مبانی نظری فرآیندهای سایش، جنبه‌های عملی این فرآیندها نیز با نگاهی ویژه مورد بررسی قرار گیرند. امید است که مطالب ارائه شده برای خوانندگان محترم سودمند باشد.

در پایان، از جناب آقای دکتر زارعی مدیر محترم مرکز چاپ و نشر دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) و جناب آقای کلهر مدیر مسئول محترم این مرکز که امکان چاپ کتاب را فراهم نمودند، کمال تشکر و قدردانی را دارم. از سرکار خانم مهندس چادرباف زاده که ویراستاری کتاب را متقبل شده‌اند، نیز سپاسگزاری می‌شود.

دکتر رضا تقی‌آبادی

گروه مهندسی مواد و متالورژی

دانشکده فنی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)