

اصول علم و مهندسی مواد

تالیف : ویلیام دی. کلیستر

ترجمه: پروفسور علی شکوه‌فر
استاد گروه مهندسی مواد
دانشکده مهندسی مکانیک
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

ویرایش چهارم

تابستان ۱۳۹۲



سرشناسه: کلیستر، ویلیام دی.، ۱۹۴۰ - م.

عنوان و نام پدیدآور: اصول و علم و مهندسی مواد/تألیف ویلیام دی. کلیستر، [ادیوید. جی. رتویش]؛ ترجمه علی شکوه‌فر.

مشخصات نشر: تهران: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، انتشارات، ۱۳۸۸.

مشخصات ظاهری: ۷۰۸ ص.

فروست: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی؛ ۲۱۷.

شابک: 978-964-81703-5-5

وضعیت فهرست‌نویسی: فیا

یادداشت: عنوان اصلی: Fundamentals of Materials Science and Engineering, 3rd ed, c2009

موضوع: مواد صنعتی

شناسه افزوده: رتویش، ادیوید جی.

شناسه افزوده: شکوه فرمغان، علی، مترجم

رده بندی کنگره: ۱۳۸۸ ۶۱۳/۳۰۳ TA

رده بندی دیویی: ۶۲۰/۱۱

شماره کتابشناسی ملی: ۴۵۴۴۱۸۱

<http://press.kntu.ac.ir>



ناشر: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

عنوان: اصول و علم و مهندسی مواد

مؤلف: ویلیام دی. کلیستر

مترجم: دکتر علی شکوه‌فر

نوبت چاپ: ششم

تاریخ انتشار: اردیبهشت ۱۳۹۷، تهران

شمارگان: ۵۰۰ نسخه

چاپ: پدیدرنگ

صحافی: گرنامی

بها: ۴۷۰۰۰ تومان

(تمام حقوق برای ناشر محفوظ است)

خیابان میرداماد غربی - پلاک ۴۷۰ - انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی - تلفن: ۸۸۸۸۱۰۵۲

میدان ونک - خیابان ولی عصر (ع) - بالاتر از چهارراه میرداماد - پلاک ۲۶۲۶ - مرکز پخش و فروش انتشارات

تلفن: ۸۸۷۷۲۲۷۷ رایانامه: press@kntu.ac.ir - تارنما (فروش آنلاین): www.press.kntu.ac.ir

با نگاهی اجمالی به زندگی انسان در دنیای صنعتی امروز و مقایسه آن با گذشته نه چندان دور این حقیقت مشخص می شود که در طول چند دهه گذشته توسعه همه جانبه ای در مسایل صنعتی و فناوری صورت گرفته است. پیشرفت در صنایع و فناوری های مختلف از جمله صنایع نوین، صنایع هوافضا، صنایع ارتباطات و فناوری اطلاعات، صنایع حمل و نقل، صنعت الکترونیک، مکانیک، مواد پیشرفته، رایانه و غیره، نمونه هایی از اینگونه پیشرفت ها می باشند.

مسئله "توسعه علم و مهندسی مواد یکی از عوامل بسیار موثر در پیشرفت صنعت و فناوری در دنیای صنعتی امروز می باشد. در راستای توسعه علم و مهندسی مواد لازم است که متخصصین و صاحب نظران علوم کاربردی نخست به شناسایی مواد و خواص آنها پرداخته و سپس همگام با تلاش برای دستیابی به فناوری های جدید، توسعه مواد پیشرفته را نیز در برنامه های کار خود قرار دهند. در این خصوص مطالعه خواص و ساختار مواد و ارتباط بین خواص و ساختار و نیز فرآیندها و کاربرد مواد لازم و ضروری می باشد. علاوه انتخاب مواد برای طرح های مختلف، بازایی مواد، نقش مواد در محیط زیست، عملکرد در سازه ها و سیستم های مختلف هم از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

در یک جامعه پویا، هم باید از اطلاعات دقیق و کافی در زمینه های مختلف صنعت و فناوری و عوامل موثر در توسعه آنها برخوردار باشند که لزوم به روز بودن این اطلاعات نیز اجتناب ناپذیر است. مخصوصا توجه به پیشرفت های شگرفی که در زمینه ریزفناوری (Nanotechnology) که به صورت انفجار فناوری نوین در دنیای کنونی در حال وقوع است نه تنها باید در برنامه آموزشی و پژوهشی مراکز علمی و دانشگاهی قرار گیرد، بلکه باید دانش پژوهان، دانشجویان، محققین، مهندسیین، اساتید کلمپ ارگانهای ذیربط را تشویق به مطالعه دقیق و عمیق تر اینگونه پیشرفت ها نماید. در این راستا صرف منابع و ارائه تالیف و ترجمه کتبی که بتواند راه را برای رسیدن به اهداف فوق هموارتر نماید به نوبه خود از اهمیت است.

کتاب حاضر یکی از کتب جامع دانشگاهی در زمینه علم و مهندسی مواد می باشد که مطالب آن برای مطالعه دانشجویان رشته های علوم کاربردی از جمله مهندسی مواد، مهندسی مکانیک، مهندسی صنایع، مهندسی شیمی، مهندسی برق و الکترونیک و ... بسیار مفید بوده و مرجع مناسبی برای مدرسین دروس علم و مهندسی مواد در این رشته ها می باشد. علاوه کلیه محققین و علاقمندان به مباحث علم و مهندسی مواد می توانند به مقتضای کاری، از مباحث این کتاب استفاده نمایند.

در زمینه استفاده بهینه از کتاب، لوح فشرده نیز ضمیمه گردیده که مباحث تکمیلی با جزئیات بیشتر در آن توضیح داده شده است.

دکتر علی شکوه فر

استاد گروه مهندسی مواد

تابستان ۱۳۸۸

صفحه	عنوان
۳	فصل اول : مقدمه
۳	۱-۱ دورنمای تاریخی
۴	۱-۲ علم و مهندسی مواد
۷	۱-۳ چرا علم و مهندسی مواد را مطالعه و بررسی می‌نماییم؟
۸	۱-۴ گروه‌بندی مواد
۸	فلزات
۸	سامیکها
۹	پلیمرها
۹	مواد مرکب
۹	نیمه‌هادها
۹	مواد زیستی
۱۰	۱-۵ مواد پیشرفته
۱۰	۱-۶ نیاز به مواد مدرن
۱۲	مراجع
۱۵	فصل دوم: ساختمان اتمی و پیوندی بین اتمی
۱۵	۲-۱ مقدمه
۱۵	ساختمان اتمی
۱۵	۲-۲ مفاهیم بنیادی
۱۷	۲-۳ الکترون‌ها در اتمها
۱۷	مدل‌های اتمی
۲۰	اعداد کوانتم
۲۱	آرایش الکترونی
۲۴	۲-۴ جدول تناوبی
۲۷	پیوندهای اتمی در جامدات
۲۷	۲-۵ نیروها و انرژی‌های پیوندی
۳۳	۲-۶ پیوندهای بین اتمی اولیه یا پیوندهای قوی
۳۳	پیوند یونی
۳۶	پیوندهای اشتراکی یا کووالانسی

۴۰	 پیوندهای ثانوی یا پیوندهای واندوالس
۴۱	 تغییرات پیوندهای دو قطبی تحریک شده (لحظه‌ای)
۴۲	 مولکولهای دوقطبی- پیوندهای دو قطبی تحریک شده
۴۳	 پیوندهای دو قطبی دائمی
۴۴	 مولکولها
۴۵	 مراجع
۴۶	 مسائل فصل دوم

فصل سوم: ساختار کریستالی جامدات

۵۱	 ۳-۱ مقدمه
۵۱	 ساختارهای بلوری
۵۱	 ۳-۲ مفاهیم اولیه
۵۲	 ۳-۳ سلول واحد
۵۴	 ۳-۴ ساختارهای بلورین فلزی
۵۵	 ساختار بلوری مکعبی با بزرگترین فاصله
۵۶	 ساختار بلوری مکعبی مرکزدار
۵۷	 ساختار بلوری منشور با قاعده شش ضلعی فشرده (HCP)
۶۰	 ۳-۵ محاسبه چگالی فلزات
۶۱	 ۳-۶ ساختارهای کریستالی سرامیکها
۶۶	 ساختارهای کریستالی نوع AX
۶۷	 ساختار سنگ نمک
۶۸	 ساختار کلرید سزیم
۶۸	 ساختار اسفالریت یا بلندروی
۶۹	 ساختار کریستالی نوع $A_{III}X_{II}$
۷۰	 ساختار کریستالی نوع $A_{III}B_{II}X_{II}$
۷۲	 ۳-۷ محاسبه چگالی ترکیبات سرامیکی
۷۴	 ۳-۸ سرامیک‌های سیلیکاتی
۷۵	 سیلیکا
۷۶	 سیلیکاتها
۷۶	 ۳-۹ کربن
۷۷	 الماس
۷۷	 گرافیت

۷۸	فالرن
۷۸	۳-۱۰ چندشکلی و دگروارگی
۷۹	۳-۱۱ سیستمهای بلوری
۸۰	جهات و صفحات بلوری
۸۰	۳-۱۲ جهات بلوری
۸۵	بلورهای شش وجهی (هگزاگونال)
۸۷	۳-۱۳ صفحات بلوری
۹۱	آرایش اتمی
۹۳	بلورهای هگزاگونال
۹۳	۳-۱۴ دانسته اتمی خطی و صفحه‌ای
۹۳	۳-۱۵ ساختارهای بلوری فشرده
۹۶	سرامیک
۹۸	مواد بلورین و غیربلورین
۹۸	۳-۱۶ تک بلوریه‌ها
۹۹	۳-۱۷ مواد چند بلوری
۱۰۰	۳-۱۸ غیرهمسانگردی
۱۰۱	۳-۱۹ پراش اشعه X: تعیین ساختاری
۱۰۱	۳-۲۰ جامدات غیربلوری
۱۰۲	شیشه‌های سیلیکاتی
۱۰۴	مراجع
۱۰۶	مسائل فصل سوم
۱۲۳	فصل چهارم: ساختار پلیمرها
۱۲۳	۴-۱ مقدمه
۱۲۳	۴-۲ مولکولهای هیدروکربنی
۱۲۷	۴-۳ مولکولهای پلیمر
۱۲۷	۴-۴ شیمی مولکولهای پلیمر
۱۳۲	۴-۵ وزن مولکولی
۱۳۶	۴-۶ شکل مولکولی
۱۳۸	۴-۷ ساختمان مولکولی
۱۳۸	پلیمرهای خطی
۱۳۸	پلیمرهای شاخه‌ای
۱۳۹	پلیمرهای متقاطع

۳۹	پلیمرهای شبکه‌ای
۳۹	۴-۸ وضعیت‌های مولکولی
۴۱	۴-۹ ترموپلاست و ترموستها
۴۲	۴-۱۰ کوپلیمرها
۴۴	۴-۱۱ بلوری شدن پلیمرها
۴۷	۴-۱۲ کریستالهای پلیمری
۵۱	مراجع
۵۲	مسائل فصل چهارم
۵۹	فصل پنجم: نقائص در جامدات
۵۹	۵-۱ مقدمه
۶۰	نقصهای نقطه‌ای
۶۰	۵-۲ نقائص در فلزات
۶۲	۵-۳ عیوب سطحی - سرامیکها
۶۵	۵-۴ ناخالصیها در جامدات
۶۶	محلولهای جامد
۶۷	۱- عامل اندازه اتمی
۶۷	۲- ساختار بلوری
۶۷	۳- الکترون‌گاتیویته
۶۷	۴- ظرفیت‌های شیمیایی
۶۸	ناخالصی در سرامیکها
۷۰	۵-۵ عیوب نقطه‌ای در پلیمرها
۷۰	۵-۶ مشخصات ترکیب
۷۱	تبدیل ترکیبها
۷۱	انواع مختلف نقصهای بلوری
۷۱	۵-۷ نابجاییها، نقصهای خطی
۷۳	۵-۸ نقصهای فصل مشترکی
۷۳	سطوح خارجی
۷۷	مرزدانه‌ها
۷۹	مرزهای دوقلو
۸۰	سایر نقصهای سطحی یا فصل مشترکی
۸۱	۵-۹ نقصهای حجمی یا توده‌ای
۸۱	۵-۱۰ ارتعاشات اتمی

۱۸۲	آزمایشهای میکروسکوپی
۱۸۲	۵-۱۱ مطالب کلی
۱۸۲	۵-۱۲ تکنیکهای میکروسکوپی
۱۸۳	۵-۱۳ محاسبه اندازه دانه ها
۱۸۵	مراجع
۱۸۶	مسائل فصل پنجم
۱۹۳	فصل ششم: نفوذ
۱۹۳	۶-۱ مقدمه
۱۹۵	۶-۲ سازوکارهای نفوذ اتمی
۳۹۶	نفوذ جای خالی
۱۹۷	نفوذ اتمی بین نشینی
۱۹۷	۶-۳ نفوذ پایدار
۲۰۰	۶-۴ نفوذ ناپایدار
۲۰۵	۶-۵ عوامل موثر بر نفوذ
۲۰۵	نوع نفوذ
۲۰۵	درجه حرارت
۲۱۲	۶-۶ راههای دیگر نفوذ
۲۱۲	۶-۷ نفوذ در مواد یونی و پلیمری
۲۱۳	مواد یونی
۲۱۳	مواد پلیمری
۲۱۵	مراجع
۲۱۶	مسائل فصل ششم
۲۲۵	فصل هفتم: خواص مکانیکی
۲۲۵	۷-۱ مقدمه
۲۲۷	۷-۲ مفهوم تنش و کرنش
۲۲۸	آزمایش کشش
۲۳۰	آزمایش فشار
۲۳۱	آزمایشات پیچشی و برشی
۲۳۱	بررسیهای هندسی حالت تنش
۲۳۲	تغییر شکل کشسان
۲۳۲	۷-۳ رفتار تنش-کرنش

۲۳۷	۷-۴ خاصیت بدون کشائی
۲۳۹	۷-۵ خواص کشسان مواد
۲۴۲	رفتار مکانیکی فلزات
۲۴۲	۷-۶ خواص کششی
۲۴۲	تسلیم و استحکام تسلیم
۲۴۴	استحکام کششی
۲۴۷	انعطاف پذیری
۲۵۰	خاصیت ارتجاعی با کشسانی
۲۵۳	چقرمگی
۲۵۴	۷-۷ تنش کرنش حقیقی
۲۵۷	۷-۸ بازگشت الاستیک در حین تغییر شکل پلاستیک
۲۵۷	۷-۹ تغییر شکل پیمشی، برشی و فشاری
۲۵۸	رفتار مکانیکی سرامیکها
۲۵۸	۷-۱۰ استحکام خمشی
۲۶۱	۷-۱۱ رفتار الاستیک
۲۶۱	۷-۱۲ تأثیر تخلخل روی خواص مکانیکی سرامیکها
۲۶۲	رفتار مکانیکی پلیمرها
۲۶۲	۷-۱۳ رفتار تنش کرنش
۲۶۴	۷-۱۴ تغییر شکل ماکروسکوپی
۲۶۵	۷-۱۵ ویسکوالاستیسیت
۲۶۵	سختی و خواص مکانیکی دیگر
۲۶۵	۷-۱۶ سختی
۲۶۶	آزمایشهای سختی راکول
۲۶۹	آزمایشهای سختی برینل
۲۷۰	آزمایشهای سختی توپ و ویکرز
۲۷۰	تبدیل سختی در مقیاسهای مختلف
۲۷۲	رابطه بین سختی و مقاومت کشش
۲۷۲	۷-۱۷ سختی مواد سرامیکی
۲۷۲	۷-۱۸ استحکام پارگی و سختی پلیمرها
۲۷۳	تغییر پذیری خواص و ضریب اطمینان
۲۷۳	۷-۱۹ تغییر پذیری خواص ماده
۲۷۴	محاسبه مقادیر میانگین و انحراف استاندارد

۲۲۴	۷-۲۰ ضریب اطمینان / طراحی
۲۲۷	مراجع
۲۲۹	مسائل فصل هفتم
۲۹۷	فصل هشتم: مکانیزمهای تغییر شکل و استحکام‌دهی
۲۹۷	۸-۱ مقدمه
۲۹۷	ساز و کارهای تغییر شکل فلزات
۲۹۸	۸-۲ تاریخچه
۲۹۸	۸-۳ مفاهیم و جنبه‌های اساسی نابجاییها
۳۰۱	۸-۴ خصوصیات نابجاییها
۳۰۳	۸-۵ سیستم‌های انرش
۳۰۵	۸-۶ لغزش تک بلورها
۳۰۵	۸-۷ تغییر شکل همسان را چنان لوری
۳۰۶	۸-۸ تغییر شکل توسط دوقلوب
۳۰۶	ساز و کارهای تقویت کننده
۳۰۸	۸-۹ استحکام بخشی توسط کاهش اندازه دانه
۳۱۰	۸-۱۰ استحکام بخشی توسط محلول جامد
۳۱۳	۸-۱۱ کرنش سختی
۳۱۷	بازبایی، تبلور مجدد و رشد دانه
۳۱۷	۸-۱۲ بازبایی
۳۱۸	۸-۱۳ تبلور مجدد
۳۲۱	۸-۱۴ رشد دانه
۳۲۴	ساز و کارهای شکست مواد سرامیکی
۳۲۴	۸-۱۵ سرامیکهای کریستالی
۳۲۵	۸-۱۶ سرامیکهای غیر کریستالی
۳۲۶	ساز و کارهای تغییر شکل و استحکام‌دهی پلیمرها
۳۲۶	۸-۱۷ تغییر شکل پلیمرهای نیمه کریستالی
۳۲۷	ساز و کار تغییر شکل الاستیک
۳۲۷	ساز و کار تغییر شکل پلاستیک
۳۲۸	الف ۸-۱۸ پارامترهای مؤثر بر خواص مکانیکی پلیمرهای نیمه کریستالی
۳۲۹	ب ۸-۱۸ پارامترهای مؤثر بر خواص مکانیکی پلیمرهای نیمه کریستالی
۳۳۰	۸-۱۹ تغییر شکل الاستومرها
۳۳۲	ولکانیزاسیون

۳۳۵ مسائل فصل هشتم

۳۴۷ فصل نهم: انهدام مکانیکی

۳۴۷ ۹-۱ مقدمه

۳۴۸ شکست

۳۴۸ ۹-۲ اصول شکست

۳۴۹ ۹-۳ شکست نرم

۳۵۱ مطالعات شکست‌نگاری

۳۵۱ ۹-۴ شدت تدریجی

۳۵۳ الف ۹-۱۰ اصول مکانیک شکست

۳۵۳ ب ۹-۵ اصول مکانیک شکست

۳۵۳ تمرکز تنش

۳۵۷ چقرمگی شکست

۳۶۰ طراحی با استفاده از مکانیک شکست

۳۶۵ ۹-۶ شکست ترد سرامیکها

۳۶۶ خستگی استاتیکی

۳۶۶ ۹-۷ شکست مواد پلیمری

۳۶۸ ۹-۸ آزمایش شکست ضربه

۳۶۹ روشهای آزمایش ضربه

۳۷۱ تغییر حالت نرم به ترد

۳۷۴ خستگی

۳۷۴ ۹-۹ تنشهای سیکلی

۳۷۷ ۹-۱۰ منحنی S-N

۳۸۰ ۹-۱۱ خستگی در مواد پلیمری

۳۸۱ الف ۹-۱۲ جوانه‌زنی و انتشار ترک

۳۸۱ ب ۹-۱۲ جوانه‌زنی و انتشار ترک

۳۸۴ ۹-۱۳ نرخ انتشار ترک

۳۸۴ ۹-۱۴ عوامل مؤثر بر عمر خستگی

۳۸۵ تنش متوسط

۳۸۵ اثرات سطح

۳۸۶ عوامل طراحی

۳۸۶	 عملیات سطحی
۳۸۷	 سختی موضعی
۳۸۸	 ۹-۱۵ عوامل محیطی
۳۸۸	 خزش
۳۸۹	 ۹-۱۶ کلیات رفتار خزش
۳۹۰	 الف ۹-۱۷ اثرات تنش و دما
۳۹۰	 ب ۹-۱۷ اثرات تنش و دما
۳۹۱	 ۹-۱۸ روشهای بسط داده‌ها
۳۹۱	 ۹-۱۹ آلیاژها برای کاربرد دمای بالا
۳۹۳	 ۹-۲۰ خزش در مواد سرامیکی و پلیمری
۳۹۵	 مراجع
۳۹۷	 مسائل فصل نهم
۴۱۳	 فصل دهم: نمودارهای فاز
۴۱۳	 ۱۰-۱ مقدمه
۴۱۳	 تعاریف و مفاهیم اصلی
۴۱۴	 ۱۰-۲ حد حلالیت
۴۱۵	 ۱۰-۳ فازها
۴۱۶	 ۱۰-۴ ریزساختارها
۴۱۶	 ۱۰-۵ تعادل فاز
۴۱۸	 دیاگرامهای فاز تعادلی
۴۱۸	 ۱۰-۶ سیستمهای دوتایی که دارای ساختمان کریستالی مشابه هستند
۴۲۱	 ۱۰-۷ تفسیر دیاگرامهای فاز
۴۲۱	 وجود فازها
۴۲۱	 تعیین ترکیب فاز
۴۲۱	 تعیین مقدار فاز
۴۲۷	 ۱۰-۸ ریزساختار آلیاژهای ایزومورف
۴۲۷	 سردکردن تعادلی
۴۲۷	 سرد کردن غیرتعادلی
۴۲۷	 ۱۰-۹ خواص مکانیکی آلیاژهای ایزومورف
۴۲۸	 ۱۰-۱۰ سیستمهای اوتکتیکی دوتایی
۴۳۵	 ۱۰-۱۱ ریزساختار آلیاژهای اوتکتیک
۴۳۵	 ۱۰-۱۲ نمودارهای تعادلی با داشتن ترکیبات و فازهای میانی

۴۳۹	۱۰-۱۳ واکنشهای یوتکتوئید و پریتکتیک
۴۴۰	۱۰-۱۴ تبدیل فازهای متجانس
۴۴۱	۱۰-۱۵ دیاگرامهای فازي سرامیکها
۴۴۲	۱۰-۱۶ دیاگرامهای فازي سه تایی
۴۴۲	۱۰-۱۷ قانون فاز گیسی
۴۴۲	سیستم آهن-کربن
۴۴۲	۱۰-۱۸ دیاگرام فاز آهن- کاربید آهن $Fe-Fe_3C$
۴۴۶	۱۰-۱۹ ریزساختارهای مختلف در آلیاژهای آهن- کربن
۴۵۰	آلیاژهای هیپوئوتکتوئید
۴۵۴	آلیاژهای هایپروئوتکتوئید
۴۵۸	سرد کردن غیرتعادلی
۴۵۸	۱۰-۲۰ تاثیر سایر عناصر آلیاژی
۴۵۹	مراجع
۴۶۰	مسائل فصل دهم
۴۷۵	فصل یازدهم: دگرگونی فازها
۴۷۵	۱۱-۱ مقدمه
۴۷۵	دگرگونی فازها در فلزات
۴۷۶	۱۱-۲ مفاهیم بنیادی
۴۷۶	۱۱-۳ سینتیک واکنشهای حالت جامد
۴۷۹	۱۱-۴ تغییر حالات چندفازی
۴۸۰	تغییر خواص و ساختار میکروسکوپی در آلیاژهای آهن- کربن
۴۸۰	۱۱-۵ دیاگرامهای تغییر حالت ایزوترم (هم دما)
۴۸۰	پرلیت
۴۸۶	بینیت
۴۸۸	ساختار کروی
۴۹۰	مارتنزیت
۴۹۶	۱۱-۶ دیاگرامهای تغییر حالت در اثر سرد کردن ممتد (مداوم)
۴۹۶	۱۱-۷ رفتار مکانیکی آلیاژهای آهن- کربن
۴۹۷	پرلیت
۵۰۱	ساختار کروی
۵۰۱	بینیت
۵۰۲	مارتنزیت

۵۰۶	تردی حرارتی
۵۰۷	۱۱-۹ مرووری بر تغییر حالت فازی آلیاهای آهن - کربن
۵۰۸	سختی رسوبی
۵۰۹	۱۱-۱۰ عملیات حرارتی
۵۱۰	عملیات حرارتی محلول سازی
۵۱۰	عملیات حرارتی رسوبی
۵۱۲	۱۱-۱۱ مکانیزم سخت شدن
۵۱۵	۱۱-۱۲ نکات متفرقه
۵۱۶	فرایند متلور شدن، ذوب شدن و انتقال شیشه‌ای در پلیمرها
۵۱۶	۱۱-۱۳ متبلار شدن
۵۱۸	۱۱-۱۴ ذوب شدن
۵۱۹	۱۱-۱۵ انتقال شیشه‌ای
۵۱۹	۱۱-۱۶ دماهای ذوب شدن و انتقال شیشه‌ای
۵۲۲	مراجع
۵۲۳	مسائل فصل یازدهم

فصل دوازدهم: خواص الکتریکی ۵۳۵

۵۳۵	۱۲-۱ مقدمه
۵۳۵	هدایت الکتریکی
۵۳۵	۱۲-۲ قانون اهم
۵۳۷	۱۲-۳ هدایت الکتریکی
۵۳۸	۱۲-۴ هدایت یونی و الکتریکی
۵۳۸	۱۲-۵ ساختار لایه انرژی در مواد جامد
۵۴۲	۱۲-۶ هدایت الکتریکی در قالب مدل لایه‌ها و پیوندهای اتمی
۵۴۳	فلزات
۵۴۴	عایقها و نیمه رساناها
۵۴۵	۱۲-۷ جابجایی الکترون ها
۵۴۷	۱۲-۸ مقاومت الکتریکی فلزات
۵۴۹	تأثیر دما
۵۴۹	تأثیر ناخالصیها
۵۵۰	تأثیر تغییر شکل پلاستیک
۵۵۰	۱۲-۹ خصوصیات الکتریکی آلیاژهای تجاری

۵۵۱	نیمه رسانایی
۵۵۱	۱۲-۱۰ نیمه رسانایی ذاتی
۵۵۲	مفهوم کلی یک حفره
۵۵۴	رسانایی حقیقی یا ذاتی
۵۵۵	۱۲-۱۱ نیمه رساناهای غیرذاتی
۵۵۵	نیمه رساناهای غیرذاتی نوع n
۵۵۸	نیمه رساناهای غیرذاتی نوع p
۵۶۱	۱۲-۱۲ تغییرات دمایی هدایت الکتریکی و تراکم حاملها
۵۶۹	۱۲-۱۳ اثر هال
۵۶۹	۱۲-۱۴ دستگاه های نیمه هادی
۲۶۹	۱۲-۱۵ هدایت الکتریکی در سرامیکهای یونی و پلیمرها
۵۶۹	۱۲-۱۶ خواص الکتریکی پلیمرها
۵۷۱	پلیمرهای هادی
۵۷۲	رفتار دی الکتریک
۵۷۲	۱۲-۱۷ ظرفیت
۵۷۲	۱۲-۱۸ بردارهای میدان و پلاریزاسیون
۵۷۲	۱۲-۱۹ انواع پلاریزاسیون
۵۷۲	۱۲-۲۰ وابستگی ثابت دی الکتریک به فرکانس
۵۷۲	۱۲-۲۱ استحکام دی الکتریک
۵۷۲	مشخصات الکتریکی دیگر مواد
۵۷۲	۱۲-۲۳ فروالکتریسته
۵۷۲	۱۲-۲۴ پیزوالکتریسته
۵۷۳	مراجع
۵۷۵	مسائل فصل دوازدهم

۵۸۷	فصل سیزدهم: انواع مواد و کاربرد آنها
۵۸۷	۱۳-۱ مقدمه
۵۸۷	انواع آلیاژهای فلزی
۵۸۷	۱۳-۲ آلیاژهای آهنی
۵۸۸	فولادها
۵۸۹	فولادهای کم کربن
۵۹۰	فولادهای با کربن متوسط

۵۹۴	فولادهای ضدزنگ
۵۹۶	چدن‌ها
۵۹۸	چدن خاکستری
۶۰۲	چدن داکتیل (کروی)
۶۰۲	چدن سفید و مالیل
۶۰۳	۱۳-۳ آلیاژهای غیرفلزی
۶۰۳	مس و آلیاژهای آن
۶۰۶	آلومینیوم آلیاژهای آن
۶۰۸	منیزیم و آلیاژهای آن
۶۰۹	تیتانیم و آلیاژهای آن
۶۱۰	فلزات دیرگداز
۶۱۲	سوپر آلیاژها
۶۱۲	فلزات نجیب
۶۱۲	آلیاژهای غیرآهنی متفرقه
۶۱۴	انواع سرامیکها
۶۱۴	۱۳-۴ شیشه‌ها
۶۱۴	۱۳-۵ شیشه سرامیکها
۶۱۶	۱۳-۶ محصولات رس
۶۱۶	۱۳-۷ دیرگدازها
۶۱۷	Fireclay دیرگدازهای
۶۱۷	دیرگدازهای سیلیکا
۶۱۷	دیرگدازهای بازی
۶۱۸	دیرگدازهای مخصوص
۶۱۸	۱۳-۸ ساینده‌ها
۶۱۹	۱۳-۹ سیمان‌ها
۶۲۰	۱۳-۱۰ سرامیکهای پیشرفته
۶۲۰	۱۳-۱۱ الماس و گرافیت
۶۲۰	الماس
۶۲۱	گرافیت
۶۲۲	انواع پلیمرها
۶۲۲	۱۳-۱۲ پلاستیکها

۶۲۷	۱۳-۱۳ الاستومرها
۶۲۷	۱۳-۱۴ فیبرها
۶۲۷	۱۳-۱۵ کاربردهای متفرقه
۶۲۷	پوشش ها
۶۲۸	چسبها
۶۲۸	لایه ها
۶۲۹	فوم ها
۶۲۹	۱۳-۱۶ مواد پلیمری پیشرفته
۶۳۰	مراجع
۶۳۱	مسائل فصل سیزدهم
۶۳۶	ضمیمه A
۶۳۸	ضمیمه B
۶۶۷	ضمیمه C
۶۷۴	ضمیمه D
۶۷۸	ضمیمه E
۶۷۹	واژه نامه