به نام خدا

برنامه درسی

دوره دکتری مهندسی مواد

Materials Engineering

تهیه کنندگان:

اعضای هیات علمی دانشکده مهندسی مواد

مهر ماه ۱۴۰۱

فهرست برنامه دوره دکتری مهندسی مواد

شرح	صفحه
۱- مقدمه	۲
۲- مشخصات کلی، تعریف و اهداف	۲
۳- ضرورت و اهمیت دوره	۳
۴- شرایط انتخاب دانشجو	۳
۵- طول دوره و شکل نظام	۳
۶- مرحله آموزشی	۴
۷- آزمون جامع دکتری	۶
۸- مرحله پژوهشی	۶
۹- مشخصات دروس	۶

۱- مقدمه

صاحب‌نظران و اندیشمندان آموزش عالی بر این باور هستند که دوره دکتری تخصصی از دو بعد اهمیت به سزایی دارد. نخست آن که این دوره نقشی کلیدی در نوسازی بنای علم ایفا می‌کند و دوم آن که گذراندن این مقطع اثری بنیادین در گسترش نوآوری، رشد جوامع امروزی و تربیت نیروی کار ماهر مورد نیاز برای اقتصادهای دانش‌بنیان دارد. افزون بر این، فعالیت دانشجویان دکتری بخش مهمی از تلاش پژوهشی دانشگاه‌ها را تشکیل می‌دهد و سهم قابل ملاحظه‌ای در برونداد پژوهشی این مراکز علمی دارد. از آن جا که این فعالیت‌ها به طور عمده بایستی در مرز دانش و در سایه نیاز کشور صورت گیرند، الزام به بازبینی دوره‌ای سرفصل دروسی که در این دوره تدریس می‌شوند نیز امری اجتناب‌ناپذیر است.

علم و مهندسی مواد اهمیت بسزایی در صنعت جهانی داشته و نقش محوری در پیشرفت تمدن بشری ایفا می‌کند. معرفی مواد نو و هدفمند و پیشرفت‌های شگرف این علم در سالیان اخیر اهمیت این شاخه علمی را بیش از پیش عیان کرده است. رشته مهندسی مواد از جمله عرصه‌های علمی است که در گستره وسیعی از نیازهای کشور هم اعم از حمل و نقل، انرژی‌های نو، دفاعی- نظامی، هوا- فضا، عمران، پزشکی و داروسازی، صنایع غذایی، شیمیایی و پتروشی، نیروگاهی و نفتی جایگاه ویژه و بی‌بدیلی دارد. امروزه در صنایع یاد شده می‌توان نقش انکارناپذیر علم مواد در تعریف، طراحی و تولید مواد پایدار و با بهره‌وری بالا را واکاوی نمود؛ موضوعی که با توجه به رشد نمایی دانش این حوزه در دنیا از یک سو و اهتمام به تربیت دانش‌آموختگان دوره دکتری مهندسی مواد متناسب با مرز دانش در این حوزه از سوی دیگر، بازنگری سرفصل‌های جاری دوره دکتری مهندسی مواد را به موضوعی الزامی، ضروری، مهم و مورد نیاز بدل نموده است. از این رو، در راستای طرح تحول آموزش عالی و برنامه راهبردی تحول در حوزه آموزش وزارت عتف، دانشکده مهندسی مواد دانشگاه صنعتی سهند پس از مطالعه برنامه‌های دکتری مهندسی مواد دانشگاه‌های داخل و خارج کشور، اقدام به تدوین برنامه درسی حاضر نموده است. امید آن که اجرای این دوره دکتری مهندسی مواد گامی موثر در جهت پیشرفت، ترقی و تعالی نظام جمهوری اسلامی ایران باشد.

۲- مشخصات کلی، تعریف و اهداف

دوره آموزشی – پژوهشی دکتری مهندسی مواد بالاترین مقطع تحصیلی دانشگاهی در این رشته است که به اعطای مدرک دکتری تخصصی (Ph.D.) در پایان دوره پس از احراز شرایط لازم می‌انجامد. دوره شامل دروس تخصصی الزامی و اختیاری، سمینار، آزمون جامع و پژوهش اصیل در قالب موضوع رساله است. دروس تخصصی

و پژوهش تجربی بایستی در ارتباط با یک دیگر و هماهنگ با هم باشند به گونه‌ای که منجر به حصول تخصص در زمینه مربوطه شوند.

اهداف دوره دکتری مهندسی مهندسی مواد مشتمل بر موارد زیر هستند:

الف: اخذ تخصص در سطح عالی در یک زمینه خاص از مهندسی مواد و اشراف بر آثار علمی مربوطه در آن زمینه،

ب: آشنایی با روش‌های پیشرفته تحقیق و قابلیت نوآوری در زمینه تخصصی و پیشرفت و گسترش مرزهای دانش،

ج: دست‌یابی به آخرین و جدیدترین مبانی علمی و پژوهشی و تکنولوژی در حوزه مربوطه،

د: تسلط بر مبانی علمی زمینه تخصصی مربوطه در مهندسی مواد و قابلیت حل مسائل علمی و مهندسی و ارزیابی و تجزیه و تحلیل آن‌ها.

۳- ضرورت و اهمیت دوره

گستردگی کارکرد مهندسی مواد در حوزه‌های مختلف علمی و صنعتی نظیر انرژی‌های نو، آب، نظامی/دفاعی، عمرانی، پزشکی، الکترونیک، نفت و پتروشیمی مبین جایگاه این علم است. رفع چالش‌های موادی موجود در این حوزه‌ها صرفاً در گرو داشتن درک صحیحی از علم مواد است. اهمیت این موضوع با در نظر گرفتن موقعیت جغرافیایی کشور و غنی بودن آن از مواد اولیه معدنی و آلی دو چندان می‌شود. از این رو، تربیت نیروهای مجرب و متخصص در حوزه‌های مختلف مهندسی مواد می‌تواند به رشد و اعتلای صنایع یاد شده کمک شایانی کند.

۴- شرایط انتخاب دانشجو

شرایط ورود دانشجو به دوره دکتری مهندسی مواد طبق آیین‌نامه‌های مصوب وزارت علوم، تحقیقات و فناوری می‌باشد.

۵- طول دوره و شکل نظام

دوره دکتری مهندسی مواد مشتمل بر دو مرحله آموزشی و پژوهشی است. همان گونه که در جدول ۱ آمده است، دوره به صورت ۱۶ واحد آموزشی (شامل ۱۴ واحد درسی و ۲ واحد سمینار) و ۲۰ واحد پژوهشی (شامل رساله) است. طول دوره ۴ سال‌تحصیلی (۸ نیمسال) می‌باشد. هر نیمسال شامل ۱۶ هفته آموزشی کامل در نظر گرفته شده است. دروس نظری به ازای هر واحد ۱۶ ساعت (یک ساعت در هفته) تدریس می‌شوند.

تبصره ۱: دانشجو موظف است در نیمسال اول تحصیلی، استاد راهنمای خود را تعیین و زمینه تحقیقاتی خود را مشخص کند. دروس تخصصی اختیاری نیز با پیشنهاد استاد راهنما و تایید شورای تحصیلات تکمیلی دانشکده از میان دروس مصوب اخذ و گذرانده می‌شوند.

جدول ۱: توزیع واحدهای درسی دوره دکتری مهندسی مواد

نوع دروس	تعداد واحد
دروس جبرانی	-
دروس تخصصی الزامی	۶
دروس تخصصی اختیاری	۸
سمینار (الزامی)	۲
رساله دکتری	۲۰

۶- مرحله آموزشی

در این مرحله، دانشجو موظف به اخذ و گذراندن ۱۶ واحد آموزشی است. ۶ واحد از این دروس، دروس تخصصی الزامی مطابق جدول ۲ هستند که در اولین نیم‌سال ورود دانشجو به دوره دکتری، اخذ و گذرانده می‌شوند. بسته به نظر استاد راهنما و زمینه کاری دانشجو، ۸ واحد درس تخصصی اختیاری از دروس ذکر شده در جدول ۳ نیز بایستی اخذ و گذرانده شوند. درس سمینار نیز الزامی است و لازم است بعد از تعیین زمینه پژوهشی اخذ و قبل از دفاع از پیشنهاد رساله دکتری گذرانده شود.

جدول ۲: دروس تخصصی الزامی

ردیف	نام درس	تعداد واحد	تعداد ساعات
۱	خواص فیزیکی پیشرفته مواد	۳	۴۸
۲	خواص مکانیکی پیشرفته مواد	۳	۴۸
	جمع	۶	۹۶

جدول ۳: دروس تخصصی اختیاری

ردیف	نام درس	تعداد واحد	تعداد ساعات
۱	ترمودینامیک پیشرفته جامدات	۲	۳۲
۲	آلیاژهای دما بالا	۲	۳۲
۳	بازیابی و تبلور مجدد	۲	۳۲
۴	پراش پرتوهای الکترونی و ایکس	۲	۳۲
۵	روشهای پیشرفته آنالیز سطح	۲	۳۲
۶	مواد و آلیاژهای هوشمند	۲	۳۲
۷	فیزیک جوشکاری	۲	۳۲
۸	آلیاژهای نوین	۲	۳۲
۹	پیری در فلزات و آلیاژها	۲	۳۲
۱۰	مواد درجه بندی شده هدفمند	۲	۳۲
۱۱	مواد هدفمند	۲	۳۲
۱۲	تف جوشی	۲	۳۲
۱۳	خواص مکانیکی و رفتار سایشی قطعات متالورژی	۲	۳۲
۱۴	تولید، خواص و رفتار پودرها	۲	۳۲
۱۵	نانومواد و نانوفناوری	۲	۳۲
۱۶	روشهای دستگاهی در الکتروشیمی و خوردگی	۲	۳۲
۱۷	مباحث ویژه (با در نظر گرفتن تبصره ۱ این قسمت)	۲	۳۲
۱۸	اخذ هر درسی از دروس الزامی یا اختیاری گرایش‌های ارشد دایر دانشکده که قبلا توسط دانشجو در دوره‌های تحصیلی قبلی اخذ نشده باشد با پیشنهاد استاد راهنما و موافقت دانشکده	۲ یا ۳	۳۲ یا ۴۸

تبصره ۱: ارایه درس مباحث ویژه در موضوعات مورد تایید دانشکده با قید موضوع در عنوان درس ادامه عبارت "مباحث ویژه در ..."، منوط به تصویب سرفصل ارایه شده از طرف عضو یا اعضای هیات علمی درخواست کننده در شورای تحصیلات تکمیلی دانشکده و ارسال مصوبه آن به تحصیلات تکمیلی دانشگاه قبل از آغاز نیمسال تحصیلی (در جریان نیمسال قبل از ارایه درس) است.

تبصره ۲: دروس مباحث ویژه‌ای که پیش از این، تحت عناوین مباحث ویژه در خواص فیزیکی مواد، مباحث ویژه در خواص مکانیکی مواد، مباحث ویژه در مواد پیشرفته، مباحث ویژه در شکل دهی مواد، مباحث ویژه

در خوردگی و حفاظت از مواد، مباحث ویژه در مهندسی سطح که با ارایه سرفصل در دانشگاه مصوب و ارایه شده بود با بروزسانی سرفصل و طی مراحل مذکور در تبصره ۱ قابل ارایه خواهد بود.

تبصره ۳: دانشجو می‌تواند صرفاً یک درس مباحث ویژه را با استاد راهنمای رساله خود اخذ نماید.

۷- آزمون جامع دکتری

دانشجویانی که دروس مرحله آموزشی خود را با موفقیت گذرانده‌اند، لازم است طبق شرایط آیین نامه‌های مصوب وزارت عتف و شیوه نامه‌های مصوب دانشگاه در آزمون جامع شرکت نمایند.

۸- مرحله پژوهشی

مقدمات این مرحله در اولین نیم‌سال تحصیلی و با تعیین استاد راهنما و زمینه تحقیقاتی مشخص می‌شود. با این حال، این مرحله به طور رسمی پس از گذراندن درس سمینار و آزمون جامع دکتری، آغاز می‌شود. موضوع رساله دکتری پس از دفاع دانشجو از پیشنهاد عنوان رساله دکتری و در حضور تیم داوران داخل و خارج از دانشگاه تصویب و نهایی می‌شود. داوران مد نظر بایستی زمینه پژوهشی مشابهی با عنوان رساله داشته باشند. داوران پیشنهادی باید با رعایت شیوه‌نامه مربوطه توسط استاد/اساتید راهنما به شورای تحصیلات تکمیلی دانشکده معرفی شوند. اسامی داوران پس از تایید و تصویب در شورای تحصیلات تکمیلی دانشکده، برای اقدام لازم به شورای تحصیلات تکمیلی دانشگاه معرفی می‌شوند. تدوین رساله دکتری نیز توسط دانشجو پس از اتمام پروژه تحقیقاتی و تایید و تشخیص استاد/اساتید راهنما صورت می‌گیرد. ارزیابی رساله و قبولی در مرحله پژوهشی مطابق آیین‌نامه دکتری انجام می‌شود.

تبصره ۱: تغییر استاد راهنما یا موضوع رساله، تنها یک بار به طور مستدل و با تصویب شورای دانشکده امکان‌پذیر است. بدیهی است، سنوات تحصیلی دانشجو نباید از سقف مجاز در آیین‌نامه دکتری تجاوز کند.

۹- مشخصات دروس

در ادامه، مشخصات دروس تخصصی الزامی و اختیاری به تفکیک ذکر شده است.

عنوان درس به فارسی: خواص فیزیکی پیشرفته مواد

عنوان درس به انگلیسی: Advanced physical properties of materials

تعداد ساعت: ۴۸	**تعداد واحد: ۳**	**نوع واحد: نظری**	**نوع درس: تخصصی الزامی**
درس/ دروس پیش‌نیاز	**ندارد**		
آموزش تکمیلی □	**سمینار □**	**آزمایشگاه □**	**کلاس تمرین □**	**انجام تکالیف ■**

روش ارزشیابی:

ارزشیابی مستمر □ میان نیم‌سال ■ آزمون نهایی ■ آزمون نوشتاری □ عمل‌کردی □

(سایر مواد مشخص نشده به اختیار استاد می باشد)

اهداف کلی درس:

تکمیل دانش پایه‌ای دانشجویان در خصوص اصول و مبانی فیزیکی شکل گیری نظم ساختاری در جامدات و انواع عیوب و بی نظمی و تأثیر آنها بر انواع خواص فیزیکی جامدات (مثل: خواص الکترونی، مغناطیسی و اپتیکی).

سرفصل درس:

مروری اجمالی بر شکل‌گیری ساختارهای بلوری و انرژی پتانسیل داخلی آن‌ها

تغییر حجم متوسط اتمی (مولکولی) و مدول بالک با ترکیب شیمیایی

منظم شدن (ordering) در آلیاژها/ترکیبات و شکل‌گیری ابر شبکه‌ها (superlattice) (ساختارهای منظم و نحوه شکل‌گیری، نظم در محلول های جامد، انواع ابر شبکه‌ها، نظم بلند دامنه و کوتاه دامنه، ابرشبکه‌های با نظم بلند دامنه، تشخیص و شناسایی و تاثیر آنها روی خواص مواد)

ترمودینامیک نواقص/عیوب بلوری (انواع عیوب بلوری شامل عیوب نقطه‌ای، خطی و صفحه‌ای و رابطه آنها با خواص بالک مواد، نقص چیده شدن، ساختارهای شبه پایدار، ساختارهای با آنتروپی بالا، شکل گیری و خواص آنها و شیشه‌های فلزی (Metallic glasses))

ترمودینامیک و خواص فصل مشترک ها، مرزدانه ها، مرزهای دوقلویی و مرزهای ضد فازی (APB) و تاثیر آنها بر خواص مواد

خواص الکترونی مواد (دوگانگی موج-ذره، مدل الکترون آزاد و تقریبا آزاد، تئوری نواری جامدات، رسانایی الکتریکی، گاف انرژی، نیمه رساناها و عایق ها،مواد دی الکتریک، مواد پیزوالکتریک)

خواص مغناطیسی و ابررسانایی (تئوری تبادل هایزنبرگ، رفتارهای مغناطیسی ضعیف و منظم، مواد فرو مغناطیس، دیا مغناطیس، پارامغناطیس، آنتی فرومغناطیس، حوزه‌های مغناطیسی، مکانیزم مغناطش، آنیزوتروپی مغناطیسی، ابررسانایی و جفت کوپر، ابررساناهای نوع ۱و۲)

خواص اپتیکی مواد (جذب و انتشار، انتقال مستقیم و غیرمستقیم، مدل کوبلکا-مانک، گاف انرژی نوری ولبه جذب).

فهرست منابع پیشنهادی:

[1] R.E. Smallman, R.J. Bishop, Modern physical metallurgy and materials engineering, Butterworth-Heinemann, 1999.
[2] R.W. Cahn, P. Haasen, Physical metallurgy, Elsevier, 1996.
[3] P.A. Varotsos, K.D. Alexopoulos, Thermodynamics of point defects and their relation with bulk properties, Elsevier, 2013.
[4] R.E. Reed-Hill, R. Abbaschian, L. Abbaschian, Physical metallurgy principles, Van Nostrand New York, 1973.
[5] R.A. Swalin, J. Arents, Thermodynamics of solids, J. Electrochem. Soc. 109 (1962) 308C.
[6] C. Kittel, P. McEuen, Introduction to solid state physics, John Wiley & Sons, 2018.
[7] M.A. Omar, Elementary solid state physics: principles and applications, Pearson Education India, 1975.
[8] H.P. Meyers, H.P. Myers, Introductory solid state physics, CRC press, 1997.

عنوان درس به فارسی: خواص مکانیکی پیشرفته مواد **عنوان درس به انگلیسی: Advanced Mechanical Properties of Materials**			
تعداد ساعت: ۴۸	**تعداد واحد: ۳ واحد**	**نوع واحد: نظری**	**نوع درس: تخصصی الزامی**
درس یا دروس پیش نیاز		**ندارد**	
آموزش تکمیلی □	**سمینار □**	**آزمایشگاه □**	**کلاس تمرین □**	**انجام تکالیف ■**
روش ارزیابی: **ارزشیابی مستمر □** **میان نیم‌سال ■** **آزمون نهایی ■** **آزمون نوشتاری □** **عمل‌کردی □** **(سایر مواد مشخص نشده به اختیار استاد می باشد)**			

اهداف کلی درس:

مباحث تکمیلی در تغییرشکل الاستیک و پلاستیک، انجام آزمون‌های خواص مکانیکی و آشنایی با مبانی خواص مکانیکی مواد فوق ریزدانه، نانوبلوری و آمورف و سازوکارهای تغییرشکل پلاستیک آن‌ها.

سرفصل درس:

پدیده‌های تغییرشکل کشسانی: ابرکشسانی-ویسکوالاستیک -غیرکشسانی (Anelasticity)، خاصیت دمپینگ مواد- اصطکاک ذاتی شبکه-آزمون آنالیز مکانیک دینامیکی (DMA)، آزمایش پاندول چرخشی (Torsional Pendulum).

پدیده‌های تغییرشکل مومسان: تغییرشکل مومسان، ابرمومسانی و رهائی تنش، تغییرشکل غیر همگن و پدیده نقطه تسلیم، ناهمسانگردی و تشکیل بافت، گوشواره‌ای شدن (Earing)، اثر پوست پرتقالی (Orange Peel)، سطح تسلیم، سخت شدن همسانگرد و سینماتیک از طریق آزمون باوشینگر، خواص مکانیکی تحت نرخ کرنش‌های بالا، آزمون هاپکینسون.

خواص مکانیکی مواد فوق ریزدانه، نانوبلوری و آمورف: خواص مکانیکی مواد فوق ریزدانه حاصل از تغییر شکل پلاستیک شدید و مواد نانوبلوری، مکانیزم‌های تغییر شکل پلاستیک در تک‌کریستال‌ها و پلی‌کریستال‌ها، مکانیزم‌های تغییر شکل پلاستیک در نانوکریستال‌ها با تکیه بر نتایج شبیه سازی های دینامیک مولکولی، اثر اندازه دانه از تک‌کریستال تا نانوکریستال، رابطه هال –پچ و هال–پچ معکوس، ساختار مرزدانه در نانومواد (Grain Boundaries in Nanocrystalline Materials)، مدل‌های تولید و تکثیر نابجایی کامل و پاره‌ای از مرزدلنه‌ها، مدل‌های جولنه زنی و رشد دوقلویی از پاره‌های نابجایی از مرزدلنه‌ها در نانوبلورها، استحکام بخشی در مواد نانوساختار، تئوری طراحی ساختارهای لایه‌ای ابرشبکه و نانوکامپوزیتی، مکانیزم‌های تغییر شکل پلاستیک در مواد آمورف، روش‌های افزایش چقرمگی در مواد آمورف، شکست و خستگی مواد نانوبلوری.

آزمون‌های خواص مکانیکی: آزمون کشش، استانداردهای آزمون کشش و نمونه سازی، روش‌های بدست آوردن منحنی تنش-کرنش شامل سنجه کرنش، اکستنسیومتری، همبستگی تصویر دیجیتال (DIC)، پدیده

فتوالاستیسیته، آزمون‌های مکانیکی درجا، آزمون‌های سختی سنجی در مقیاس ماکرو و میکرو، اندازه‌گیری خواص مکانیکی در مقیاس نانو (نانوسختی سنجی: مبانی نانوسختی سنجی، اثر اندازه (Indentation size effect)، کالیبراسیون و طرز به دست آوردن تابع شکل)، آزمون فشار و منحنی جذب انرژی برای مواد فوم و متالورژی پودر، تعیین چقرمگی شکست با آزمون فرورونده، آزمون‌های پیچش سرد و داغ، نمونه‌های مینیاتوری آزمون‌های مکانیکی، آزمون ضربه با نمونه های مقیاس بزرگ، احتمالات در مکانیک شکست: توزیع ویبول در شکست مواد ترد.

فهرست منابع پیشنهادی:

[1] T.H. Courtney, Mechanical behavior of materials, Waveland Press, 2005.

[2] K.P. Menard, N.R. Menard, Dynamic mechanical analysis, CRC press, 2020.

[3] H.J. Bunge, K. Pöhlandt, A.E. Tekkaya, Formability of metallic materials, Springer Science & Business Media, 2000.

[4] W.W. Chen, B. Song, Split Hopkinson (Kolsky) bar, design, testing and applications, Springer Science & Business Media, 2010.

[5] M.A. Meyers, K.K. Chawla, Mechanical behavior of materials, Cambridge university press, 2008.

[6] J.C.M. Li, Grain boundaries in nanocrystalline materials, Jenny Standford, 2011.

[7] M.A. Meyers, A. Mishra, D.J. Benson, Mechanical properties of nanocrystalline materials, Prog. Mater. Sci. 51 (2006) 427–556.

[8] K.S. Kumar, H. Van Swygenhoven, S. Suresh, Mechanical behavior of nanocrystalline metals and alloys, Acta Mater. 51 (2003) 5743–5774.

[9] Y.T. Zhu, X.Z. Liao, X.L. Wu, Deformation twinning in nanocrystalline, Prog. Mat. Sci. 57 (2012) 1–62.

عنوان درس به فارسی: ترمودینامیک پیشرفته جامدات **عنوان درس به انگلیسی: Advanced Thermodynamics of Solids**			
تعداد ساعت: ۳۲	**تعداد واحد: ۲ واحد**	**نوع واحد: نظری**	**نوع درس: تخصصی اختیاری**
درس یا دروس پیش نیاز	**ندارد**		
آموزش تکمیلی □	**سمینار □**	**آزمایشگاه □**	**کلاس تمرین □**	**انجام تکالیف ■**
روش ارزیابی: **ارزشیابی مستمر □**	**میان نیم‌سال ■**	**آزمون نهایی ■**	**آزمون نوشتاری □**	**عمل‌کردی □** **(سایر مواد مشخص نشده به اختیار استاد می باشد)**			

اهداف کلی درس:

اغلب ترکیبات یونی، سولفیدی، اکسیدی، نیتریدی، کاربیدی و همچنین طیف وسیعی از مواد نیمه هادی، اسپینل‌ها، پروسکایت‌های بلوری انواع الکترولیت‌های حالت جامد نظیر ناسیکون‌ها، لیسیکون‌ها، گارنت‌ها و نظایر آن اعم از استوکیومتری و غیراستوکیومتری دارای انواع عیوب نقطه‌ای ساده و ترکیبی هستند که تعیین کننده خواص ترمودینامیکی، فیزیکی (اعم از نوری، هدایت یونی) و شیمیایی نظیر پایداری شیمیایی و واکنش پذیری و حراراتی آن‌ها است. هدف از این درس آشنایی با تاثیر این عیوب بر خواص و پایداری ترکیبات و محاسبات ترمودینامیکی مربوطه است.

سرفصل درس:

خواص ترمودینامیکی در دمای صفر مطلق: قانون سوم ترمودینامیک و نتایج آن، تغییرات ظرفیت حرارتی با دما، تخمین و محاسبه تئوری ظرفیت حرارتی در جامدات، محاسبه تئوری گرمای تشکیل جامدات یونی، محاسبه تئوری گرمای تشکیل ترکیبات

طبقه بندی عیوب بلوری: انواع عیوب نقطه ای، سایر انواع عیوب، پایداری عیوب بلوری

ترمودینامیک عیوب بلوری در فلزات: محاسبه غلظت تعادلی جاهای‌خالی و بین نشین‌ها و عیوب ترکیبی (جاهای خالی دوگانه، جفت جای‌خالی-اتم ناخالصی و توده‌های اتمی اتمهای غیرمشابه و اتمهای حل شونده با نابجایی‌ها) در فلزات تغییرات غلظت تعادلی جاهای‌خالی و بین نشین‌ها با دما، رابطه بین غلظت عیوب فوق با خواص حرارتی و پارامتر شبکه

ترمودینامیک عیوب بلوری در نیمه‌هادی‌های عنصری: عیوب الکترونی، محاسبه پتانسیل شیمیایی الکترون، محاسبه غلظت عیوب اتمی شامل جاهای‌خالی و عیوب ترکیبی شامل جفت جای‌خالی-اتم ناخالصی (عنصر افزودنی (دوپ)) وتغییرات آن با دما در نیمه‌هادی‌ها، بر برهم‌کنش بین عیوب اتمی و الکترونی

ترمودینامیک عیوب در ترکیبات استوکیومتری:

آنتالپی و ثابت تعادل تشکیل انواع عیوب اتمی اولیه شامل جاهای خالی، عیب فرنکل، عیب شاتکی، ضدساختار

آنتالپی و ثابت تعادل تشـکیل عیوب اولیه الکترونی شـامل الکترون اضـافی در لایه هدایت، حفره الکترونی در لایه ظرفیت

محاسبات ترمودینامیکی تشکیل عیوب ثانویه شامل زوج ناخالصی-جای خالی، زوج جای خالی M-جای خالی X

محاسبات ترمودینامیکی برای الکترونهای بدام افتاده در عیوب، عیوب عمل کننده به عنوان دهنده الکترون

ثوابت تعادل واکنش‌های بین عیوب،

مثال‌های کاربردی از ترمودینامیک عیوب در ترکیبات استوکیومتری: ZnO و $Li_7La_3Zr_2O_{12}$.

ترمودینامیک عیوب در ترکیبات غیراستوکیومتری:

علل ایجاد عیوب غیراستوکیومتری، آنتالپی و ثابت تعادل برهم کنش بین عیوب

فهرست منابع پیشنهادی:

[1] R.A. Swalin, Thermodynamics of solids, John Wiley & Sons, 1972.

[2] P.A. Varotsos, K.D. Alexopoulos, Thermodynamics of point defects and their relation with bulk properties, Elsevier, 2013.

[3] P.A. Varotsos, N. V Sarlis, E.S. Skordas, Thermodynamics of Point Defects in Solids and Relation with the Bulk Properties: Recent Results, Crystals. 12 (2022) 686.

[4] J. Maier, Point-defect thermodynamics and size effects, Sol. Stat. Ion. 131 (2000) 13–22.

[5] S.T. Hartman, G. Pilania, Defect thermodynamics in spinel oxides leading to plasmonic behavior, J. Phys. Chem. Solids. 168 (2022) 110822.

[6] T. Sinno, Atomistic Calculation of Defect Thermodynamics in Crystalline Silicon, Handb. Cryst. Growth. 168 (2015) 137–173.

[7] M. Hagen, M.W. Finnis, Point defects and chemical potentials in ordered alloys, Philos. Mag. A. 77 (1998) 447–464.

[8] S. Korte-Kerzel, T. Hickel, L. Huber, D. Raabe, S. Sandlöbes-Haut, M. Todorova, J. Neugebauer, Defect phases–thermodynamics and impact on material properties, Int. Mater. Rev. 67 (2022) 89–117.

عنوان درس به فارسی: آلیاژهای دمای بالا

عنوان درس به انگلیسی: High Temperature Alloys

تعداد ساعت: ۳۲	تعداد واحد: ۲	نوع واحد: نظری	نوع درس: تخصصی اختیاری
درس/دروس پیش نیاز:	ندارد		

آموزش تکمیلی □ سمینار □ آزمایشگاه □ کلاس تمرین □ انجام تکالیف ■

روش ارزیابی:

ارزشیابی مستمر □ میان نیم‌سال □ آزمون نهایی ■ آزمون نوشتاری ■ عمل‌کردی □

(سایر موارد مشخص نشده دراختیار استاد درس می باشد)

اهداف کلی درس:

آشـــنایی دانشـــجویان با دغدغه‌ها، چالش‌ها و شـــرایط خاص حاکم بر کارکرد دمای بالای قطعات فلزی/ آلیاژها و ویژگی‌های خاص خانواده مختلف آلیاژها و پوشش‌های قابل کاربرد در دماهای بالا و راه‌های مقابله با این چالش‌ها

سرفصل درس:

چالش‌ها و شرایط خاص کارکرد دمای بالا برای قطعات صنعتی

خزش و راه‌های مقابله با آن

اکسیداسیون و خوردگی داغ و راه های مقابله با آن

ناپایداری ریزساختار، اجزا و فازهای ریزساختاری و افت خواص مرتبط با آن و راه‌های مقابله با آن

ویژگی‌های کارکرد دمای بالا برای آلیاژها

تقسیم بندی آلیاژهای دمای بالا

سوپرآلیاژهای پایه نیکل و پایه کبالت و پایه نیکل-آهن و ریزساختار و خواص آن‌ها

آلیاژهای پایه تیتانیم و ریزساختار و خواص آن‌ها

ترکیبات بین فلزی پایدار دمای بالا و ریزساختار و خواص آن‌ها

آلیاژهای و سوپرآلیاژهای جدید با آنتروپی بالای دمای بالا و ویژگی‌های آن‌ها

فولادهای زنگ نزن و مقاوم به حرارت

آلیاژها و کامپوزیت‌های جدید

پوشش های دمای بالا (پوشش های مقاوم به اکسیداسیون و خوردگی داغ)

کاربردهای مختلف آلیاژهای دمای بالا.

فهرست منابع پیشنهادی:

[1] G.Y. Lai, High-temperature corrosion and materials applications, ASM international, 2007.

[2] I.L. Shabalin, Ultra-high temperature materials II, Springer, 2019.

[3] J.B. Marriott, M. Merz, J. Nihoul, I.M. Ward, High temperature alloys: their exploitable potential, Springer Science & Business Media, 2012.

[4] C.T. Simms, N.S. Stoloff, W.C. Hagel, Superalloys II, John Wiley & Sons,1987.

[5] R.C. Reed, The Superalloys: Fundamentals and Applications, Cambridge University Press, 2006.

[6] M.J. Donachie Jr, Relationship of properties to microstructure in superalloys, Am. Soc. Met. Superalloys-Source Book, 1 (1984) 102–111.

[7] E.F. Bradley, Superalloys: a technical guide, ASM international, 1988.

عنوان درس به فارسی: بازیابی و تبلور مجدد در فلزات و آلیاژها **عنوان درس به انگلیسی: Recovery and Recrystallization in Metals and Alloys**			
تعداد ساعت: ۳۲	**تعداد واحد: ۲**	**نوع واحد: نظری**	**نوع درس: تخصصی اختیاری**
درس/دروس پیش نیاز:	**ندارد**		
آموزش تکمیلی□	**سمینار ■**	**آزمایشگاه □**	**کلاس تمرین □**	**انجام تکالیف □**
روش ارزیابی: **ارزشیابی مستمر □** **میان نیم‌سال □** **آزمون نهایی ■** **آزمون نوشتاری ■** **عمل‌کردی □** **(سایر موارد مشخص نشده دراختیار استاد درس می باشد)**			
اهداف کلی درس: مروری بر مشخصه‌های ریزساختاری فلزات تغییر شکل یافته. **سرفصل درس:** ساختار و انرژی مرز دانه: ساختار مرزها، انرژی مرز دانه، توپولوژی مرز و دانه ها، بر هم کنش ذرات با مرزها تحرک و مهاجرت مرزها: سازوکارهای مهاجرت مرز دانه، اندازه گیری تحرک مرز، تحرک مرزهای کم زاویه، تحرک مرزهای بزرگ زاویه و عوامل موثر بر آن، تئوریهای تحرک مرزهای بزرگ زاویه مروری بر بازیابی بعد از تغییر شکل: نقش نابجاییها در بازیابی، سنتیک بازیابی، تشکیل دانه های فرعی و عوامل موثر بر رشد آنها، بر هم کنش بین ذرات ثانویه با بازیابی تبلور مجدد در آلیاژهای تک فاز و مواد منظم: عوامل موثر بر سنتیک تبلور مجدد، مشخصه های ریزساختار حاصل از تبلور مجدد، مکانیزمهای جولنه زنی تبلور مجدد، مهاجرت مرز دلنه متاثر از کرنش، دو قلوها: انواع و مکانیزم تشکیل، ساختارهای منظم، تبلور مجدد در مواد منظم. تبلور مجدد در آلیاژهای دو فازی: انواع اثرات ذرات بر تبلور مجدد، تاثیر ذرات در جولنه زنی تبلور مجدد، اثر زنر، تبلور مجدد در کامپوزیت های زمینه فلزی، بر هم کنش رسوب با تبلور مجدد رشد بعد از تبلور مجدد: عوامل موثر، تئوریها و مدلهای رشد، اثر بافت بر رشد، اثر ذرات ثانویه، عوامل موثر بر رشد غیر عادی. بافت تبلور مجدد: ماهیت و انواع بافتهای تبلور مجدد در فلزات با ساختار کریستالی مختلف، تئوری بافت های تبلور مجدد، بافت حین آنیل. کنترل و روشهای اندازه گیری بازیابی و تبلور مجدد: کنترل تبلور مجدد در انواع آلیاژهای آهنی و غیر آهنی، اندازه گیری تبلور مجدد توسط میکروسکوپ‌های OM، SEM، TEM و توسط پراش EBSD و پراش XRD و از روی خواص مکانیکی.			
فهرست منابع پیشنهادی: [1] F.J. Humphreys, M. Hatherly, Recrystallization and related annealing phenomena,			

Elsevier, 2012.
[2] R.D. Doherty, D.A. Hughes, F.J. Humphreys, J.J. Jonas, D.J. Jensen, M.E. Kassner, W.E. King, T.R. McNelley, H.J. McQueen, A.D. Rollett, Current issues in recrystallization: a review, Mater. Sci. Eng. A. 238 (1997) 219–274.
[3] F.C. Campbell, Elements of metallurgy and engineering alloys, ASM International, 2008.
[4] A.I. Zubair, A.Q. Khan, Recovery, Recrystallization, and Grain-Growth, J. Chem. Soc. Pak. 41 (2019) 1–19.

عنوان درس به فارسی: پراش پرتوهای الکترونی و ایکس

عنوان درس به انگلیسی: X-Ray and Electron Beam Diffraction

تعداد ساعت: ۳۲	**تعداد واحد: ۲**	**نوع واحد: نظری**	**نوع درس: تخصصی اختیاری**
درس/دروس پیش نیاز:	**ندارد**		
آموزش تکمیلی □	**سمینار □**	**آزمایشگاه □**	**کلاس تمرین □**	**انجام تکالیف □**

روش ارزیابی:

ارزشیابی مستمر □ میان نیم‌سال ■ آزمون نهایی ■ آزمون نوشتاری □ عمل‌کردی ■

(سایر مواد مشخص نشده به اختیار استاد می باشد)

اهداف کلی درس:

تجمیع مبانی علمی و روش‌های تحلیل در هندسه پراش پراش سنجی و میکروسکوپ الکترونی عبوری

سرفصل درس:

مبانی پراش پرتوهای الکترونی و اشعه ایکس: پراش کلاسیک (معادله تامسون)، پراش از یک اتم و مکانیک موج، بردار پراش، صورت برداری قانون براگ، بردارها و شبکه معکوس، کره ایوالد، فاکتور ساختاری، پراش از یک بلور کوچک، شرایط لاوه، توزیع شدت پراش، تجمیع شدت پراش

پروفایل خطوط پراش اشعه ایکس: اثر اندازه (رابطه شرر)، روش استوکس و ویلسون، پهنای دستگاهی و روش های حذف استوکس و راشینگر، تعیین اندازه بلورک ها و مقدار کرنش شبکه (روش وارن-آورباخ)، تعیین احتمال نقص چینش ودوقلویی در بلورهای مکعبی سطوح مرکزدار و هگزاگونال

پراش الکترون در میکروسکوپ الکترونی عبوری: هندسه پراش، اثر ضخامت نازک در توزیع شدت، انواع الگوهای پراش: نقطه ای، حلقوی و کیکوچی، روش های اندیس گذاری، الگوهای ساده و مرکب، روش های تقریبی و دقیق در تعیین محور ناحیه، ابهام اندیس گذاری، تعیین ارتباط جهت گیری، تعیین صفحه رابط، پراش مضاعف، پراش اقماری و الگوهای کشیده، پراش از فازهای منظم.

تعیین جهات بلوری با الگوهای کیکوچی: مکانیزم تشکیل الگوهای کیکوچی، اندیس گذاری و نقشه های کیکوچی، تعیین محور ناحیه و جهت گیری بلورها، الگوهای همگرا، پراش از نواحی صفر و اول لاوه، تعیین ضخامت نمونه، تعیین تقارن شبکه، کرنش و پارامتر شبکه، تصاویر جهت گیری.

فهرست منابع پیشنهادی:

[1] B.E. Warren, X-ray Diffraction, Dover Publications, 1990.

[2] K.W. Andrews, D.J. Dyson, S.R. Keown, Interpretation of electron diffraction patterns, Springer, 1971.

[3] J.W. Edington, Electron diffraction in the electron microscope, in: J.W Edington, Electron Diffraction Electron Microscope, Springer, 1975.

[4] B. Fultz, J.M. Howe, Inelastic Electron Scattering and Spectroscopy. In: Transmission Electron Microscopy and Diffractometry of Materials, Springer, 2008.
[5] C.B. Carter, D.B. Williams, Transmission electron microscopy: Diffraction, imaging, and spectrometry, Springer, 2016.

عنوان درس به فارسی: روش‌های پیشرفته آنالیز سطح

عنوان درس به انگلیسی: Advanced Surface Analysis Techniques

تعداد ساعت: ۳۲	**تعداد واحد: ۲ واحد**	**نوع واحد: نظری**	**نوع درس: تخصصی اختیاری**
درس/دروس پیش نیاز:	**ندارد**		
آموزش تکمیلی □	**سمینار ■**	**آزمایشگاه □**	**کلاس تمرین □**	**انجام تکالیف ■**

روش ارزیابی:

ارزشیابی مستمر □ میان نیم‌سال ■ آزمون نهایی ■ آزمون نوشتاری □ عمل‌کردی □

(سایر مواد مشخص نشده به اختیار استاد می‌باشد)

اهداف کلی درس:

آشنایی با مبانی فیزیکی، اصول و نحوه انجام آنالیز ترکیب شیمیایی سطح با روشهای و نحوه تعیین حالت شیمیایی عناصر با تعیین پروفیل پیک و تفکیک اثر پدیده های مختلف و مقدار کمی عناصر

سرفصل درس:

مقدمه و مفاهیم پایه: نتایج تئوری جنبشی گازها، مسافت پویش آزاد میانگین، شار برخورد گاز به سطح ، خلا، زمان تشکیل تک لایه اتمی، علم و تکنولوژی خلا مورد نیاز برای آنالیزهای پیشرفته سطح

برهم کنش پرتوهای الکترونی و یونی با سطح

روش اوژه: اساس فیزیکی و اصول دستگاهی آنالیز AES، آماده سازی نمونه، طیف الکترونهای اوژه، بهره الکترون های اوژه، شیفت (جابجایی) شیمیایی پیک های اوژه، حد آشکارسازی، کالیبراسون، قدرت تفکیک عمقی، آنالیز کمی، آنالیزهای پروفیل غلظت در عمق

روش XPS: اساس فیزیکی و اصول دستگاهی آنالیز XPS، منبع پرتو X، انرژی پیوند و شیفت شیمیایی، اثرات حالت اولیه، اثرات حالت نهایی، مرجع انرژی پیوند، شکل پیک های XPS، طیف لایه ظرفیت، پیک های اقماری (satellite peaks)، اثرات پلازمونهای سطحی و حجمی، پهنای پیک، برازش پیک، روشهای آنالیز کمی، استانداردهای آنالیز کمی، پروفیل غلظت در عمق.

روش RBS: اساس فیزیکی و اصول دستگاهی آنالیز RBS،

مفاهیم فیزیکی: ضریب سینماتیکی، سطح مقطع برخورد، سطح مقطع توقف، کاهش انرژی، قابلیت تفکیک جرمی

تعیین پروفیل پیک، محاسبه غلظت عناصر، محاسبه ضخامت لایه

روش SIMS: اساس فیزیکی، معادله اساسی، اصول دستگاهی آنالیز SIMS، انواع آنالیز شامل آنالیز طیفی، آنالیز روبشی، آنالیز عمقی

روش GDOES: اصول فیزیکی و دستگاهی آنالیز GDOES، حد آشکارسازی و حساسیت روش، آنالیز کمی پروفیل غلظت در عمق.

فهرست منابع پیشنهادی:

[1] J.F. Watts, J. Wolstenholme, An introduction to surface analysis by XPS and AES, John Wiley & Sons, 2019.

[2] J.C. Vickerman, I.S. Gilmore, Surface analysis: the principal techniques, John Wiley & Sons, 2011.

[3] S. Hofmann, Auger-and X-ray photoelectron spectroscopy in materials science: a user-oriented guide, Springer Science & Business Media, 2012.

[4] S. Hünfner, Photoelectron spectroscopy (principles and applications), Springer Series in Solid-State Science, 1995.

[5] L.C. Feldman, J.W. Mayer, Fundamentals of surface and thin film analysis, Elsevier, 1986.

عنوان درس به فارسی: فیزیک جوشکاری

عنوان درس به انگلیسی: Physics of Welding

تعداد ساعت: ۳۲	**تعداد واحد: ۲ واحد**	**نوع واحد: نظری**	**نوع درس: تخصصی اختیاری**
درس/دروس پیش نیاز:	**ندارد**		

آموزش تکمیلی □ سمینار ■ آزمایشگاه □ کلاس تمرین □ انجام تکالیف ■

روش ارزیابی:

ارزشیابی مستمر □ میان نیم‌سال ■ آزمون نهایی ■ آزمون نوشتاری □ عمل‌کردی □

(سایر مواد مشخص نشده به اختیار استاد می‌باشد)

اهداف کلی درس:

مباحث پایه و تکمیلی در خصوص فیزیک جوشکاری، الکتریسیته و مغناطیس، معادلات حاکم بر انتقال حرارت و دینامیک سیالات در جوشکاری

سرفصل درس:

منابع انرژی در جوشکاری: مفاهیم پایه انرژی، چگالی توان و توزیع آن، حرارت ورودی

خواص فیزیکی سیالات در دماهای بالا: گازها (تجزیه و یونیزاسیون، معادله حالت گازها در دماهای بالا، پدیده های انتقال، گرانروی، حرارت ویژه)، فلزات مذاب (سیالیت، گرانروی، کشش سطحی، فشار بخار)

الکترومغناطیس: الکترونها و یون ها، قانون گاوس، نیروی مغناطیسی، القای مغناطیسی، نیروی ماکسول وارد بر جسم هادی، قانون اهم و چگالی جریان، ناپایداری مذاب ویسکوز دارای بار الکتریکی سطحی

دینامیک سیالات در جوشکاری: معادله پیوستگی، معادله مومنتوم، نیروی لورنتز، نیروی مارانگونی، نیروی جت پلاسما، معادلات ناویر استوکس، معادلات برنولی، مطالعات موردی و کاربردی انواع جریان سیال(آرام و اغتشاشی) در جوشکاری، شکل حوضچه مذاب و گرده جوش.

قوس الکتریکی: توصیف قوس و تخلیه تابشی، افت ولتاژ در ستون قوس الکتریکی، تمایز کاتدهای ترمویونی و غیر ترمویونی، آند و ستون قوس، توازن انرژی(تسهیم انرژی) در آند و کاتد، بازده قوس، شار انرژی و جرم در ستون قوس، سفتی و وزش قوس، دمای قوس، تابش قوس.

فیزیک پرتوهای الکترونی: تولید و کنترل پرتوی الکترونی، اندرکنش های ماده و پرتو الکترونی، تولید، کنترل و انتقال حرارت در جوشکاری لیزر.

انتقال جرم در حوضچه مذاب: تاثیر نیروهای ایستایی بر جدا شدن قطره مذاب، نرخ Burn-off، دمای قطره مذاب، نرخ انتقال قطره، انتقال قطرات در ستون قوس.

انتقال حرارت در جوش: معادلات انتقال حرارت و آنالیز حرارت روزنتال و اصلاحات آن، سیکل دمایی جوش، تاثیر پارامترهای جوشکاری بر توزیع حرارت در قطعه جوش، دمای بیشینه، نرخ سرمایش و نرخ انجماد.

فهرست منابع پیشنهادی:

[1] J.F. Lancaster, The physics of welding, Phys. Technol. 15 (1984) 73.

[2] R.W. Messler Jr, Principles of welding: processes, physics, chemistry, and metallurgy, John Wiley & Sons, 2008.

[3] L.P. Connor, Welding Handbook. Vol. I: Welding Technology, American Welding Society, 1987.

[4] K. Weman, Welding processes handbook, Elsevier, 2011.

عنوان درس به فارسی: پیری در فلزات و آلیاژها

عنوان درس به انگلیسی: Aging in Metals and Alloys

تعداد ساعت: ۳۲	تعداد واحد: ۲	نوع واحد: نظری	نوع درسی: تخصصی اختیاری
درس/دروس پیش‌نیاز:		ندارد	

آموزش تکمیلی □ سمینار ■ آزمایشگاه □ کلاس تمرین □ انجام تکالیف ■

روش ارزیابی:

ارزشیابی مستمر □ میان نیم‌سال ■ آزمون نهایی ■ آزمون نوشتاری □ عمل‌کردی □

(سایر مواد مشخص نشده به اختیار استاد می باشد)

اهداف کلی درس:

آشنائی با مفاهیم و بررسی عوامل مختلف تغییر رفتار تنش-کرنش فلزات و آلیاژها در اثر پدیده پیری

سرفصل درس:

پدیده نقطه تسلیم: اثر سفتی (Stiffness) نمونه و دستگاه کشش در مضرّس شدن منحنی تنش-کرنش-انواع پدیده نقطه تسلیمتنش تسلیم بالائی- تعیین تنش تسلیم بالائی- میکروکرنش- اثر تنش هیدرواستاتیک- تنش تسلیم پس از تشعشع، تئوری کاترل-بیلبی- اثر سوزوکی-قبل شدن نظم کوتاه برد-قفل شدن الکترونی- اثر رسوب بر نابجائی- اثر ترکیب شیمیائی، کرنش لودر-باندهای برشی در نوار های لودر-اثر اندازه دانه.

پیرکرنشی Strain-aging: انواع پیرکرنشی استاتیکی و دینامیکی- سینتیک پیرکرنشی و انرژی فعال سازی آن- سازوکارهای قفل‌شدن، پدیده پورتوین لوشاتلیه Potevin Le Chatleir– ویژگی‌های پدیده پورتوین لوشاتلیه، نقطه تسلیم ظاهری- نرم شدن هندسی- دوقلوئی و نرم شدن حرارتی، تاثیر پیش‌پیر سختی بر پیرکرنشی- تاثیر عناصر بین نشین و جانشین در پیرکرنشی- نقطه شبه تسلیم.

پیرکرنشی در سیستم آهن و آلیاژهای آهنی: نقش کربن، نیتروژن و عناصر دیگر در پدیده پیری-تاثیر تشکیل کاربید و نیترید-عناصر تشکیل دهنده نیترید-عناصر تشکیل دهنده کاربید- عناصر تشکیل دهنده همزمان کاربید و نیترید- تاثیر عناصر آلیاژی دیگر، Quench aging- دیاگرام های Fe-C و Fe-N سینتیک پیری- ساختار و خواص مکانیکی پس از Quench aging، رفتار تسلیم‌شدن- میکروکرنش- تنش تسلیم بالائی-تنش تسلیم پائینی- عوامل موثر بر تغییرات تنش تسلیم پائینی، سینتیک پیرکرنشی- اثر ما و زمان پیری- اثر تنش اعمالی و پیش‌کرنش- ساختار فولاد پیرکرنش شده- تئوری های مرتبط، پیرکرنشی در انواع فولاد- فولادهای کربنی ساده- فولادهای آلیاژی فریتی-فولادهای آستنیتی-قولادهای میکرو آلیاژی-فولادهای پیشرفته -Dual Phase-TRIP TWIP.

پیرکرنشی در سیستم های دیگر: آلومینیوم و آلیاژهای آن، دیگر فلزات با ساختار کریستالی FCC شامل مس و آلیاژهای آن- نقره و آلیاژهای آن-نیکل و آلیاژهای آن-آلیاژهای منظم.

پیر سختی در آلیاژها: مراحل پیرسختی، آلیاژهای قابل پیرسختی و نیازمندی های پیرسختی، انواع رسوبات و انواع واکنش رسوب و نابجائی، انواع سازوکارهای استحکام بخشی ناشی از حضور رسوب، حساسیت یک آلیاژ به سریع سرد شدن Quench Sensitivity و آزمایش جمینی، تحلیل خصوصیات در اثر سریع سرد شدن Quench Factor Analysis (QFA)، سریع سرد شدن در شکل دهی داغ Hot Form Quench (HFQ)

پیری تحت تنش Stress-aging: تفاوت پیر-کرنشی با پیری تحت تنش در سیستم های رسوب‌سخت، تشکیل رسوب با و بدون حضور تنش Constraint and Unconstraint Precipitation، تاثیر تنش بر جهت گیری و سینتیک رشد رسوب، شکل دهی همراه با پیرشدن حین خزش Creep Age Forming (CAF)

فهرست منابع پیشنهادی:

[1] E. Hall, Yield point phenomena in metals and alloys, Springer Science & Business Media, 2012.

[2] J.W. Martin, Precipitation hardening: theory and applications, Butterworth-Heinemann, 2012.

[3] A.J. Ardell, Precipitation hardening, Metall. Trans. A. 16 (1985) 2131–2165.

[4] F.C. Ribeiro, E.P. Marinho, D.J. Inforzato, P.R. Costa, G.F. Batalha, Creep age forming: a short review of fundaments and applications, J. Achiev. Mater. Manuf. Eng. 43 (2010) 353–361.

[5] G.P. Dolan, R.J. Flynn, D.A. Tanner, J.S. Robinson, Quench factor analysis of aluminium alloys using the Jominy end quench technique, Mater. Sci. Technol. 21 (2005) 687–692.

[6] I. Wróbel, A. Skowronek, A. Grajcar, A Review on Hot Stamping of Advanced High-Strength Steels: Technological-Metallurgical Aspects and Numerical Simulation, Symmetry (Basel). 14 (2022) 969.

[7] K. Zheng, Y. Dong, J.-H. Zheng, A. Foster, J. Lin, H. Dong, T.A. Dean, The effect of hot form quench (HFQ) conditions on precipitation and mechanical properties of aluminium alloys, Mater. Sci. Eng. A. 761 (2019) 138017.

[8] B. Skrotzki, J. Murken, On the Effect of Stress on Nucleation, Growth, and Coarsening of Precipitates in Age-Hardenable Aluminum Alloys, Light. Alloy. Aerosp. Appl. (2001) 51–61.

[9] W.C. Johnson, Precipitate shape evolution under applied stress—thermodynamics and kinetics, Metall. Mater. Trans. A. 18 (1987) 233–247.

[10] D.A. Porter, K.E. Easterling, Phase transformations in metals and alloys (revised reprint), CRC press, 2009.

[11] V. Raghavan, Materials Science and Engineering: A first course, PHI Learning, 2015.

عنوان درس به فارسی: پودرهای فلزی: تولید، خواص و رفتار			
عنوان درس به انگلیسی: Metal Powders: Production Methods, Properties and Behaviour			
تعداد ساعت: ۳۲	**تعداد واحد: ۲ واحد**	**نوع واحد: نظری**	**نوع درس: تخصصی اختیاری**
درس/دروس پیش نیاز:	**ندارد**		
آموزش تکمیلی □	**سمینار ■**	**آزمایشگاه □**	**کلاس تمرین □**	**انجام تکالیف ■**
روش ارزیابی:			
ارزشیابی مستمر □	**میان نیم‌سال ■**	**آزمون نهایی ■**	**آزمون نوشتاری □**	**عمل‌کردی □**
(سایر مواد مشخص نشده به اختیار استاد می‌باشد)			

اهداف کلی درس:

آشنایی با مباحث تخصصی متالورژی پودر، یادگیری روش های تولید پودر، روش های بررسی ویژگی‌های پودر

سرفصل درس:

مقدمه‌ای راجع به پودر فلزی و تعریف پودر مطابق استاندارد

روش‌های تولید پودرهای فلزی

ویژگی کلی روش های تولید پودر- روش شیمیایی: روش احیا ترکیبات اکسیدی، روش تجزیه حرارتی، روش ترسیب از فاز گازی و سایر روش ها، روش فیزیکی: روش الکترولیتی و روش اتمیزاسیون فلز مذاب، روش مکانیکی: روش آسیا کاری، روش ماشین کاری، روش جریان سرد (Cold Stream)، آلیاژسازی مکانیکی، مقایسه روش‌های مختلف تولید پودر.

ویژگی‌های پودرهای فلزی.

انواع روش‌های نمونه برداری از پودر مطابق استاندارد: نمونه برداری در حین تولید پودر، نمونه برداری از پودر بسته بندی شده.

ویژگی متالورژیکی، ویژگی هندسی و خواص مکانیکی ذرات پودری: ترکیب شیمیایی ذرات پودری، ریزساختار ذرات پودری، اندازه ذرات و شکل ذرات، توپوگرافی سطح ذرات، مساحت سطح ذرات، نسبت سطح به حجم ذرات، چگالی ظاهری پودر (Apparent density)، چگالی ضربه خورده (Tap Density)، سیالیت پودر، قابلیت تراکم، استحکام تر (Green Strength)، تغییر فرم الاستیک پس از فشردن (Spring Back) و سایر ویژگیها.

روش‌های آلیاژسازی پودر: پودر آلیاژی (completely alloyed powder)، مخلوط پودری (mixed powder)، پودر نسبتا آلیاژی (Partially alloyed powder)، پودر پوشش داده شده (coated powder)، تزریق فلزی یا فلز خورانی (Metal infiltration).

عملیات پس از تولید پودر: آنیل کردن، مخلوط کردن پودرها با همدیگر یا با روانساز و یا با گرافیت، کاهش اندازه ذرات پودری، گرانوله کردن، اعمال پوشش بر ذرات پودری (مثال ایجاد پوشش مس بر روی ذرات آهن، مثال دوم- فسفاته کاری ذرات پودر آهن)، بررسی قابلیت تراکم و قابلیت تف‌جوشی ذرات پودری.

کنترل کیفی قطعات متالورژی پودر: چگالی، سختی، استحکام پارگی عرضی، استحکام کششی، استحکام ضربه، هدایت الکتریکی (آزمون غیر مخرب تعیین سطع مقطع قابل تحمل بار)، متالوگرافی پودر (تعیین حفره در پودر و بررسی ریزساختار پودر)، متالوگرافی نمونه متالورژی پودر، کنترل کیفی پس ار تف جوشی (برای فیلترها، قطعات کاربردی، فلز سخت)

فهرست منابع پیشنهادی:

[1] L. Svarovsky, Powder testing guide, Published on behalf of the British Materials Handling Board ,1987.

[2] R.M. German, S.J. Park, Handbook of mathematical relations in particulate materials processing: ceramics, powder metals, cermets, carbides, hard materials, and minerals, John Wiley & Sons, 2009.

[3] K. Mills, Metals Handbook, Vol. 7. Powder Metallurgy, American Society Metals, 1984.

[4] G.S. Upadhyaya, Powder metallurgy technology, Cambridge Int Science Publishing, 1997.

[5] R. German, Powder Metallurgy Science, Metal Powder Industries Federation, 1994.

[6] W. Schatt, K. Wieters, Powder metallurgy-process and materials, European Powder Metallurgy Association, 1997.

[7] M. Strömgren, O. Andersson, Höganäs Handbook for Sintered Components, Vol. Design and Mechanical Properties ,1989.

عنوان درس به فارسی: خواص مکانیکی و رفتار سایشی قطعات متالورژی پودری			
عنوان درس به انگلیسی: Mechanical properties and wear behavior of powder metallurgy parts			
تعداد ساعت: ۳۲	**تعداد واحد: ۲ واحد**	**نوع واحد: نظری**	**نوع درس: تخصصی اختیاری**
درس/دروس پیش نیاز:	**ندارد**		
آموزش تکمیلی □	**سمینار ■**	**آزمایشگاه □**	**کلاس تمرین □**	**انجام تکالیف ■**
روش ارزیابی: **ارزشیابی مستمر □** **میان نیم‌سال ■** **آزمون نهایی ■** **آزمون نوشتاری □** **عمل‌کردی □** **(سایر مواد مشخص نشده به اختیار استاد می‌باشد)**			
اهداف کلی درس: آشنایی با مباحث تخصصی متالورژی پودر، یادگیری روش های تعیین خواص مکانیکی قطعات متالورژی پودر، تریبولوژی قطعات متالورژی پودر **سرفصل درس:** خواص مکانیکی ذرات پودری، خواص مکانیکی قطعات خام، خواص مکانیکی قطعات تفجوشی شده، اشاره‌ای به روش‌های استاندارد تعیین خواص مکانیکی قطعات متالورژی پودر، استحکام پارگی عرضی، استحکام کششی، استحکام فشاری، معادلات بنیادی نانوفروبری: ویژگی‌ها، اساس محاسبات، تعیین سختی، تعیین مدول یانگ خواص مکانیکی و ساختار حفره. بررسی وابستگی خواص مکانیکی به ریزساختار. مدل‌های فشردن پودر، تکنولوژی های فشرده سازی و چگالش پودر، فرآیند DPDS، فرایند فورج پودر، فرآیند اکستروژن پودر، روش MIM، اکستروژن پودر فلزی با کمک بایندر، نورد پودر (Roll Compacting of Metal Powders). بررسی رفتار خمشی نمونه های پودر در حین تفجوشی ، تکنیک تست خمش درجا در حین تفجوشی و مدلینگ آن. معادلات بنیادی جریان مواد با استفاده از تست فشار قطعات تفجوشی شده و تعیین قابلیت اطمینان، مدل جانسون کوک و سایر مدل‌ها. تریبولوژی (اصطکاک، روانکاری و سایش)، اشاره ای به انواع سایش و طبقه بندی آن، اصطکاک و سایش قطعات متالورژی پودر، بررسی انواع سایش در قطعات متالورژی پودر، تست های سایش، جزئیات روش پین بر روی دیسک و محاسبه ضریب سایش.			
فهرست منابع پیشنهادی: [1] R.M. German, S.J. Park, Handbook of mathematical relations in particulate materials processing: ceramics, powder metals, cermets, carbides, hard materials, and minerals, John			

Wiley & Sons, 2009.
[2] K. Mills, Metals Handbook, Vol. 7. Powder Metallurgy, American Society Metals, 1984.
[3] G.S. Upadhyaya, Powder metallurgy technology, Cambridge Int Science Publishing, 1997.
[4] R. German, Powder Metallurgy Science, Metal Powder Industries Federation, 1994.
[5] W. Schatt, K. Wieters, Powder metallurgy-process and materials, European Powder Metallurgy Association, 1997.
[6] M. Strömgren, O. Andersson, Höganäs Handbook for Sintered Components, Vol, Design and Mechanical Properties ,1989.
[7] G.E. Totten, ASM handbook, Volume 18: friction, lubrication, and wear technology, ASM International ,1992.
[8] R. German, Sintering: from empirical observations to scientific principles, Butterworth-Heinemann, 2014.

عنوان درس به فارسی: تف‌جوشی

عنوان درس به انگلیسی: Sintering

تعداد ساعت: ۳۲	تعداد واحد: ۲ واحد	نوع واحد: نظری	نوع درس: تخصصی اختیاری
درس/دروس پیش نیاز:	ندارد		

آموزش تکمیلی □ سمینار ■ آزمایشگاه □ کلاس تمرین □ انجام تکالیف ■

روش ارزیابی:

ارزشیابی مستمر □ میان نیم‌سال ■ آزمون نهایی ■ آزمون نوشتاری □ عمل‌کردی □

(سایر مواد مشخص نشده به اختیار استاد می‌باشد)

اهداف کلی درس:

آشنایی با مباحث تخصصی متالورژی پودر، شناخت دقیق فرآیند تف‌جوشی و تقسیم بندی آن، آشنایی با تحولات ریزساختاری و اتفاقاتی که در حین تف‌جوشی رخ می‌دهد، یادگیری انواع تف‌جوشی و تعیین مکانیزم تف‌جوشی

سرفصل درس:

اساس علم تف جوشی: فرآیندهای تف‌جوشی، تف جوشی چیست؟، تقسیم بندی زینترینگ، نیروی محرکه و پدیده‌های اساسی تف‌جوشی، متغیرهای تف جوشی

ترمودینامیک فصل مشترک (فازها): انرژی سطحی، انرژی سطحی و پتانسیل ترمودینامیکی، کشش سطحی و انرژی سطحی،ترمودینامیک سطوح منحنی‌وار و کاربرد آن در تف جوشی

مدل‌های تف جوشی حالت جامد و چگالش - مرحله اول تف‌جوشی:مدل دو ذره‌ای و روابط هندسی، نیروی محرکه و مکانیسم تف جوشی در مدل دو ذره‌ای،ویژگی های کلی مدل تف جوشی، سینتیک تف‌جوشی (شامل دیفوزیون در امتداد مرز دانه، جریان ویسکوز، دیفوزیون از سطح ذره، تبخیر و تراکم، دیفوزیون از فاز گازی)، تاثیر متغیرهای تف‌جوشی بر سینتیک تف‌جوشی (تاثیر اندازه ذره، دما، فشار و ترکیب شیمیایی)

مرحله میانی و پایانی تف‌جوشی: مدل مرحله میانی، مدل مرحله نهایی، چگالش پودر و در کنار هم قرار گرفتن آن ها

توسعه ریزساختار: رشد دانه و چگالش در مواد متخلخل، رشد دانه و مهاجرت حفره به داخل دانه، تف‌جوشی با فشار اعمالی خارجی

تاثیر فشار خارجی بر تف‌جوشی، نرم شدن حرارتی و تاثیر فشار، اشاره ای به انواع تف‌جوشی با فشار خارجی

تف‌جوشی فاز مایع

پدیده های اصلی تف‌جوشی فاز مایع: مرحله اول شامل انحلال و تغییر آرایش ذرات، مرحله میانی شامل انحلال و ته‌نشینی مجدد، مرحله نهایی شامل رشد

انواع تف‌جوشی فاز مایع: تف‌جوشی فراجامد، تف‌جوشی فاز مایع گذرا؛ تف‌جوشی فاز مایع پایدار، تف‌جوشی فعال شونده

اشاره‌ای به کاربردهای تف‌جوشی فاز مایع.

فهرست منابع پیشنهادی:

[1] G.S. Upadhyaya, Powder metallurgy technology, Cambridge Int Science Publishing, 1997.

[2] R. German, Sintering: from empirical observations to scientific principles, Butterworth-Heinemann, 2014.

[3] S. J.Kang, Sintering: densification, grain growth and microstructure, Elsevier, 2004.

[4] W.A. Kaysser, G. Petzow, Present state of liquid phase sintering, Powder Metall. 28 (1985) 145–150.

[5] R.M. German, P. Suri, S.J. Park, Liquid phase sintering, J. Mater. Sci. 44 (2009) 1–39.

عنوان درس به فارسی: آلیاژهای نوین

عنوان درس به انگلیسی: Emerging Alloys

تعداد ساعت: ۳۲	تعداد واحد: ۲ واحد	نوع واحد: نظری	نوع درس: تخصصی اختیاری
درس/دروس پیش نیاز:	ندارد		

آموزش تکمیلی □ سمینار ■ آزمایشگاه □ کلاس تمرین □ انجام تکالیف ■

روش ارزیابی:

ارزشیابی مستمر □ میان نیم‌سال ■ آزمون نهایی ■ آزمون نوشتاری □ عمل‌کردی □

(سایر مواد مشخص نشده به اختیار استاد می باشد)

اهداف کلی درس:

آشـــنایی با اصـــول طراحی، متالورژی فیزیکی، خواص مکانیکی، ســـازوکارهای تغییر شـــکل پلاســـتیک و کنترل ریزسـاختار و خواص آلیاژهای نوین شـامل آلیاژهای آنتروپی بالا، فلزات شـیشـه ای و فولادهای حاوی مقادیر بالای عناصر بین نشین

سرفصل درس:

آلیاژهای آنتروپی بالا: مبانی ترمودینامیکی آلیاژهای آنتروپی بالا، اثرات چهارگانه، پایداری سـاختاری و ملاک های آن، آلیاژهای آنتروپی بالا با ترکیب نابرابر عناصـر، آلیاژهای آنتروپی متوسـط - خواص مکانیکی آلیاژهای آنتروپی بالا، سازوکارهای تغییر شکل پلاستیک در آلیاژهای FCC و BCC، شرایط تشکیل دوقلویی و فازهای مارتنزیتی، اصـــول طراحی ترکیب شـــیمیایی آلیاژهای آنتروپی بالا برای کنترل انرژی نقص چینش، ســـازوکار تغییر شـــکل پلاسـتک، کارسـختی و خواص مکانیکی – روش‌های سـاخت و تولید: متالورژی پودر-پرس، ذوب و آلیاژسـازی تحت خلا VIM و VAR، لایه نشانی و ساخت افزایشی.

فلزات شیشه‌ای و آمورف: اصول ترمودینامیکی حاکم بر فلزات و آلیاژهای شیشه‌ای و آمورف، شرایط تولید فلزات و آلیاژهای شیشه‌ای - خواص فیزیکی و مکانیکی فلزات و آلیاژهای شیشه‌ای و آمورف.

فولادهای حاوی مقادیر بالای عناصر بین‌نشین: تاثیر نیتروژن و کربن بر نمودارهای فازی، کنترل ریزساختار، خواص مکانیکی، سازوکارهای تغییر شکل پلاستیک، استحکام بخشی محلول جامد و استحاله مارتنزیتی، طراحی ترکیب شیمیایی فولاد برای بهینه کردن استحکام و چقرمگی در فولادهای حاوی مقادیر بالای عناصر بین‌نشین روشهای ساخت و تولید، و کاربردها.

مطالعات موردی: سایر آلیاژهای نوین.

فهرست منابع پیشنهادی:

[1] B.S. Murty, J.W. Yeh, S. Ranganathan, P.P. Bhattacharjee, High-entropy alloys, Elsevier, 2019.

[2] T.S. Srivatsan, M. Gupta, High entropy alloys: innovations, advances, and applications,

CRC Press, 2020.
[3] Z.H. Stachurski, G. Wang, An Introduction to Metallic Glasses and Amorphous Metals, Elsevier, 2021.
[4] C. Suryanarayana, A. Inoue, Bulk metallic glasses, CRC press, 2017.
[5] U.K. Mudali, B. Raj, High nitrogen steels and stainless steels: manufacturing, properties and applications, ASM International, 2004.
[6] H. Berns, V. Gavriljuk, S. Riedner, High interstitial stainless austenitic steels, Springer Science & Business Media, 2012.

عنوان درس به فارسی: روش‌های دستگاهی در الکتروشیمی و خوردگی **عنوان درس به انگلیسی: Instrumental methods in electrochemistry and corrosion**			
تعداد ساعت: ۳۲	**تعداد واحد: ۲ واحد**	**نوع واحد: نظری**	**نوع درس: تخصصی اختیاری**
درس/دروس پیش نیاز:	**ندارد**		
آموزش تکمیلی □	**سمینار ■**	**آزمایشگاه □**	**کلاس تمرین □**	**انجام تکالیف ■**
روش ارزیابی: **ارزشیابی مستمر □** **میان نیم‌سال ■** **آزمون نهایی ■** **آزمون نوشتاری □** **عمل‌کردی □** **(سایر مواد مشخص نشده به اختیار استاد می باشد)**			
اهداف کلی درس: روش‌های DC مبتنی بر روبش پتانسیل، روش‌های امپدانس و نویز الکتروشیمیایی در مطالعات خوردگی، روش‌های الکتروشیمیایی مطالعه فیلم سطحی، رویکرد میکروالکترود در مطالعات خوردگی **سرفصل درس:** مقدمه: مقدمه، مرور تکنیک‌های الکتروشیمیایی بررسی خوردگی، جایگاه روش‌های الکترورشیمیاییِ AC و DC روش‌های مبتنی بر روبش پتانسیل: مقدمه، مدهای پتانسیواستاتیک و گالوانواستاتیک، پلاریزاسیون خطی، پلاریزاسیون پتانسیودینامیک، پلاریزاسیون چرخه‌ای. طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی: مقدمه، روابط بنیادی و تبدیل‌های کرامرز-کرونیگ، نمایش داده‌های امپدانس، مدارهای معادل، مولفه فاز ثابت، برنامه‌های رایانه‌ای رایج برای مدل‌سازی داده‌ها، مدل رندلز، امپدانس واربرگ، نفوذ نیم‌کروی نیمه بی‌نهایت برای فرآیندهای فارادیک و غیرفارادیک. نویز الکتروشیمیایی: مقدمه، منابع نویز الکتروشیمیایی، سل الکتروشیمیایی، بررسی‌های نویز در حوزه‌های مختلف خوردگی، تفسیر داده‌ها. مشخصه‌یابی الکتروشیمیایی سطح در واکنش‌های خوردگی: مقدمه، تحلیل مات-شاتکی، روش‌های تحلیل درجا (بازتاب نوری، الیپسومتری). رویکرد میکروالکترود در مطالعات خوردگی: مقدمه، روش روبش الکترود مرجع (SRET)، روش امپدانس الکتروشیمیاییِ موضعی (LEIS)، روش روبش الکترود ارتعاشی (SVET)، میکروسکوپی روبشیِ الکتروشیمیایی (SECM).			
فهرست منابع پیشنهادی: [1] T. Ohtsuka, A. Nishikata, M. Sakairi, K. Fushimi, Electrochemistry for corrosion fundamentals, Springer, 2018. [2] R.G. Kelly, J.R. Scully, D. Shoesmith, R.G. Buchheit, Electrochemical techniques in corrosion science and engineering, CRC Press, 2002. [3] G.S. Frankel, Electrochemical techniques in corrosion: Status, limitations, and needs, J.			

ASTM Int. 5 (2008) 1–27.
[4] D. Pletcher, R. Greff, R. Peat, L.M. Peter, J. Robinson, Instrumental methods in electrochemistry, Elsevier, 2001.
[5] F. Scholz, Thermodynamics of electrochemical reactions, in: Electroanalytical Methods, Springer, 2010.
[6] A.J. Bard, L.R. Faulkner, H.S. White, Electrochemical methods: fundamentals and applications, John Wiley & Sons, 2022.
[7] M.R. de Rooij, Electrochemical methods: fundamentals and applications, Anti-Corrosion Methods Mater, (2003).
[8] R. Holze, Electrochemical Methods. Fundamentals and Applications, CRS press, 2002.

عنوان درس به فارسی: مواد درجه بندی شده هدفمند **عنوان درس به انگلیسی: Functionally Graded Materials**			
تعداد ساعت: ۳۲	**تعداد واحد: ۲**	**نوع واحد: نظری**	**نوع درس: تخصصی اختیاری**
درس/دروس پیش نیاز:	**ندارد**		
آموزش تکمیلی □ **سمینار □** **آزمایشگاه □** **کلاس تمرین □** **انجام تکالیف ■**			
روش ارزیابی: **ارزشیابی مستمر □** **میان نیم‌سال □** **آزمون نهایی ■** **آزمون نوشتاری □** **عمل‌کردی □** **(سایر مواد مشخص نشده به اختیار استاد می باشد)**			
اهداف کلی درس: آشـنایی با مفهوم هدفمندی درجه بندی شـده در ریزسـاختار مواد و ارتباط آن با هدفمندی رفتار و خواص مواد، انواع مواد هدفمند و روش‌های فرآوری و تولید آنها و مدل‌های موجود در خصوص پیش بینی و تحلیل رفتار آنها **سرفصل درس:** تاریخچه توسعه و به کارگیری مواد هدفمند، تعریف، تقسیم بندی آن‌ها و خواص ویژه مدل‌سازی خواص ماده موثر (مدل قاعده مخلوط‌ها، مدل Mori-Tanaka، مدل خود سازگار (self- consistent model)) مدل‌های ریاضی (تحلیلی و محاسباتی) مواد کامپوزیتی هدفمند مبانی و اصول فرآوری و ساخت مواد هدفمند با روش‌های مختلف (مفاهیم، مزایا و معایب هر روش) تنش/ کرنش‌های پسماند در مواد هدفمند در حین فرآوری/ حین سرویس آن‌ها مثال‌های ویژه عملی و موردی از مفهوم هدفمندی در کنترل رشد ترک و یا ارتقای مقاومت تریبولوژیکی کاربردهای عمومی مواد هدفمند (سـازه‌های هوافضـا، صـنایع تولید برق، قطعات ماشـین ها و ابزارآلات صـنعتی، ایمپلنت های داخل بدن، دندان و ارتوپدی و ...) آینده مواد هدفمند و مسیر پژوهش و توسعه آن‌ها.			
فهرست منابع پیشنهادی: [1] M.M. Rasheedat, E.T. Akinlabi, Functionally graded materials, Springer, (2017). [2] S. Suresh, A. Mortensen, Fundamentals of Functionally Graded Materials, IOM Communications Ltd, 1998. [3] I.E. Elishakoff, D. Pentaras, C. Gentilini, Mechanics of functionally graded material structures, World Scientific, 2015. [4] S.K. Bohidar, R. Sharma, P.R. Mishra, Functionally graded materials: A critical review, Int. J. Res. 1 (2014) 289–301. [5] M. Naebe, K. Shirvanimoghaddam, Functionally graded materials: A review of			

fabrication and properties, Appl. Mater. Today. 5 (2016) 223–245.
[6] K. Ichikawa, Functionally graded materials in the 21st century: a workshop on trends and forecasts, Springer Science & Business Media, 2001.
[7] I. Shiota, Y. Miyamoto, Functionally graded materials 1996, Elsevier, 1997.

عنوان درس به فارسی: مواد هدفمند

عنوان درس به انگلیسی: Functional materials

تعداد ساعت: ۳۲	**تعداد واحد: ۲**	**نوع واحد: نظری**	**نوع درس: تخصصی اختیاری**
درس/دروس پیش نیاز:	**ندارد**		

آموزش تکمیلی □ سمینار ■ آزمایشگاه □ کلاس تمرین □ انجام تکالیف ■

روش ارزیابی:

ارزشیابی مستمر □ میان نیم‌سال □ آزمون نهایی ■ آزمون نوشتاری □ عمل‌کردی □

(سایر مواد مشخص نشده به اختیار استاد می باشد)

اهداف کلی درس:

مواد هدفمند (functional materials) عموماً به عنوان موادی شناخته می‌شوند که دارای خواص و عملکردهای ذاتی خاص خود هستند. به عنوان مثال، فروالکتریک، پیزوالکتریک، مغناطیس یا مواد انرژی. مواد هدفمند در همه انواع مواد شامل سرامیک‌ها، فلزات، پلیمرها و مولکول‌های آلی ساخت می‌شوند و در کاربردهای پیشرفته اهمیت ویژه‌ای دارند. در این درس سعی خواهد شد تا به تعریف و کاربرد مواد هدفمند با گروه بندی اولیه، هدف و کاربرد مواد و خواص و کاربردهای آن‌ها به صورت پیشرفته پرداخته شود.

سرفصل درس:

مقدمه‌ای بر فیزیک و خواص فیزیک مواد (پیوندهای شیمیایی و اساس کوانتمی فیزیکی، تئوری نواری جامدات برای نانومواد فلزی، نیمه رساناها و عایق‌ها و غیره).

مواد مغناطیسی و ابررسانایی (اصول الکترومغناطیس، تقسیم بندی ذاتی مواد مغناطیسی، مفهوم گشتاور مغناطیسی اتمی، تشریح کوانتمی، تئوری تبادلی هایزنبرگ، پارامغناطیس پائولی و مدل‌های تئوری فرومغناطیس، مگنتواستاتیک و حوزه‌های مغناطیسی، آنیزوتروپی مغناطیسی، مواد مغناطیسی نرم و دایم، اثر مگنتوکالریک، جفت کوپرو اصول ابررسانایی، اثر جزفسون، انواع ابررسانایی نوع اول و دومو دما بابالا).

مواد الکترونیک و اسپینترونیک (ترابری الکترونی مواد جامد، مدل های رسانایی مانند Drude، نیمه رسانایی ذاتی و غیر ذاتی، اتصال شاتکی، ترانزیستور، اتصالات P-N، اثر هال، مگنتورزیستیویته (عادی و غیرعادی)، آنیزوتروپی الکترونی، جفت شدن تبادلی، RKKY، CIP و CPP)، اثر جزفسون، مواد دی الکتریک، فروالکتریسیته، پیزوالکتریسیته و مواد پیزوالکتریک).

مواد نوری و اپتیکی (فلزات و اکسیدها انتقال مستقیم و غیر مستقیم، روش طیف سنجی جذب و انتشار نفوذی و UV-vis، مدل کوبلکا-مانک، گاف انرژی نوری ولبه جذب).

مواد انرژی (تولید انرژی خورشیدی، ذخیره سازی انرژی، هیدروژن، ابرخازن، باتری های یون لیتیم و سدیم، الکتورلایزهای آب، شکافت آب).

فهرست منابع پیشنهادی:

[1] C. Kittel, P. McEuen, Introduction to solid state physics, John Wiley & Sons, 2018.

[2] R.C. O'handley, Modern magnetic materials: principles and applications, Wiley, 2000.

[3] S. Banerjee, A. Tyagi, Functional materials: preparation, processing and applications, Elsevier, 2011.

[4] D.D.L. Chung, Functional materials: Electrical, dielectric, electromagnetic, optical and magnetic applications, Solution Manula Edition, World scientific, 2021.

[5] A. Tiwari, L. Uzun, Advanced functional materials, John Wiley & Sons, 2015.

[6] M.S. Vijaya, Piezoelectric materials and devices: Applications in engineering and medical sciences, CRC Press, 2013.

[7] M.J. Weber, Handbook of optical materials, CRC press, 2018.

[8] E. Klodzinski, Functional Materials: Properties, Performance and Evaluation, CRC Press, 2015.

[9] D.W. Bruce, D. O'Hare, R.I. Walton, Molecular materials, John Wiley & Sons, 2011.

[10] S.J. Dhoble, N.T. Kalyani, B. Vengadaesvaran, A.K. Arof, Energy Materials: Fundamentals to Applications, Elsevier, 2021.

عنوان درس به فارسی: مواد هوشمند **عنوان درس به انگلیسی: Smart Materials**			
تعداد ساعت: ۳۲	**تعداد واحد: ۲**	**نوع واحد: نظری**	**نوع درس: تخصصی اختیاری**
درس/دروس پیش نیاز:	**ندارد**		
آموزش تکمیلی □ **سمینار ■** **آزمایشگاه □** **کلاس تمرین □** **انجام تکالیف □**			
روش ارزیابی: **ارزشیابی مستمر □** **میان نیم‌سال ■** **آزمون نهایی ■** **آزمون نوشتاری □** **عمل‌کردی □** **(سایر مواد مشخص نشده به اختیار استاد می باشد)**			
اهداف کلی درس: آشنایی با آلیاژهای حافظه دار، پلیمرهای حافظه دار، سرامیک های حافظه دار، مواد کرومیک، مواد فتو ولتائیک، مواد نورتاب یا لومینانس، مواد خود ترمیم شونده و سایر مواد و سازه های هوشمند **سرفصل درس:** تقسیم بندی و معرفی انواع مواد هوشمند آلیاژهای حافظه دار: معرفی خاصیت حافظه‌داری و رفتار سوپرالاستیسیته، ساختار و تغییر حالت های آلیاژ Ti-Ni، مکانیزم خاصیت حافظه داری و رفتار سوپرالاستیسیته، رفتار مکانیکی آلیاژهای Ti-Ni، روش‌های ساخت و فرآوری آلیاژهای حافظه‌دار، کاربردهای کلی آلیاژها حافظه‌دار و مواد هوشمند، کاربردهای پزشکی و دندانپزشکی آلیاژهای حافظه دار، آشنایی با آلیاژهای حافظه دار پایه مس، آشنایی با آلیاژهای حافظه دار پایه آهن، آلیاژهای حافظه دار دما بالا، آلیاژهای حافظه دار فرو مگنتیک سرامیک های حافظه دار: مواد پیزو الکتریک، مواد نیمه رسانا پلیمرهای حافظه دار: خاصیت حافظه داری مواد پلیمری، خاصیت حافظه داری شکلی حساس به حرارت، خاصیت حافظه داری شکلی حساس به نور، ژل های پلیمری، خاصیت حافظه داری شکلی حساس به مواد شیمیایی مواد کرومیک: مواد فتوکرومیک، مواد ترمو کرومیک، مواد مکانوکرومیک، مواد کموکرومیک، مواد الکتروکرومیک، مواد هالوکرومیک، آشنایی با مواد فتو ولتائیک، مواد نورتاب یا لومینانس، مواد خود ترمیم شونده و سایر مواد و کامپوزیتهای هوشمند.			

فهرست منابع پیشنهادی:

[1] K. Otsuka, CM Wayman, Shape Memory Alloys, Cambridge University Press, 1999

[2] C. Wischke, A. Lendlein, Shape-memory polymers as drug carriers—A multifunctional system, Pharm. Res. 27 (2010) 527–529.

[3] M. Shahinpoor, H.-J. Schneider, Intelligent materials, Royal Society of Chemistry, 2007.

[4] G. Wypych, Self-healing materials: principles and technology, Elsevier, 2022.

[5] T.W. Duerig, K.N. Melton, D. Stöckel, Engineering aspects of shape memory alloys, Butterworth-heinemann, 2013.

[6] T. Owen, Shape Memory Alloys, Cambridge University Press, 1988.

[7]V. Brailovski, S. Prokoshkin, P. Terriault, F. Trochu, Shape memory alloys: fundamentals, modeling and applications, Espace publications, 2003.

[8] M. Kohl, Shape memory microactuators, Springer Science & Business Media, 2004.

[9] L. Yahia, Bioperformance of shape memory alloys, in: Shape Mem. Implants, Springer 2000.

عنوان درس به فارسی: نانوفناوری- نانومواد **عنوان درس به انگلیسی: Nanotechnology-Nanomaterials**			
تعداد ساعت: ۳۲	**تعداد واحد: ۲**	**نوع واحد: نظری**	**نوع درس: تخصصی اختیاری**
درس/دروس پیش نیاز:	**ندارد**		
آموزش تکمیلی □ **سمینار ■** **آزمایشگاه □** **کلاس تمرین □** **انجام تکالیف ■**			
روش ارزیابی: **ارزشیابی مستمر □** **میان نیم‌سال ■** **آزمون نهایی ■** **آزمون نوشتاری □** **عمل‌کردی □** **(سایر مواد مشخص نشده به اختیار استاد می باشد)**			

اهداف کلی درس:

در این درس سعی خواهد شد تا اصول نانوفناوری با تکیه بر مباحث نانومواد با معرفی گروه بندی اولیه، فیزیک نانومواد، روش های سنتز و تهیه نانو مواد و کاربردهای آن‌ها به صورت پیشرفته صورت گیرد.

سرفصل درس:

مقدمه‌ای بر نانوتکنولوژی: نانومتر، میکرومتر، میلی متر، تعاریف استاندارد نانوتکنولوژی، تقسیم بندی نانوساختارها (نانوساختارهای بدون بعد، نانوساختارهای یک بعدی، نانوساختارهای دو بعدی، کاربردهای نانوتکنولوژی).

فیزیک نانومواد: تعریف مقیاس اندازه فیزیکی، فیزیک کلاسیک، مزوفیزیک و نانوفیزیک، مقدمه‌ای بر نانوفیزیک و پدیده های شناخته شده نانوفیزیک، نانوتقارن، دواتمی ها و فرومغناطیس، پیوندهای شیمیایی و اساس کوانتمی نانوفیزیکی، تشکیل ساختار اتمی و کریستالی، نیروهای نانوفیزیکی و اثر تبادل کوانتمی، واندروالس، کازیمیر.قانون مور، باور کردن نانوفناوری با زیست شناسی، نانوسنسور مغناطیسی GMR، شتاب سنج های خودرو، صافی نانومتری، نانوساختارها با تعریف نانوفیزیک و معادلات شرودینگر.

سنتز و ساخت نانومواد: مقدمه‌ای بر ساخت و سنتز نانومواد، روش های بالا به پایین، پایین به بالا، سنتز فیزیکی و شمیایی، نانوساختارها، سنتزساختارهای بدون بعد، اصول و تئوری های جوانه زنی همگن، سنتز نانو ذرات فلزی، سنتز نانوذرات نیمه رسانا، سنتز نانوذرات اکسیدی، سل- ژل، واکنش فاز بخار، جدایش فازی حالت جامد، اصول و تئوری های جوانه زنی غیرهمگن، سنتز نانوذرات فلزی و اکسیدی، سنتز نانوذرات با محدود سازی سینتیکی، آیروسل، اتمام رشد، پیرولیز حرارتی، اپیتاکسی مغز-پوسته، سنتز ساختارهای تک بعدی، رشد ذاتی یا خودبخود (اصول انحلال-چگالش)، روش های VS و VLS، روش های بر پایه تمپلیت، نانو ساخت ، طبقه بندی و تجهیزات اتاق تمیز، لیتوگرافی، فتولیتوگرافی، لیتوگرافی باریکه الکترونی، فیزیک، پراکنش، اثر همجواری.

کاربردهای نانومواد: نظریه های بنیادی ساختارها، ترکیبات و خواص فیزیکی مواد در محدوده نانومتری، تئوری نواری جامدات برای نانومواد فلزی، نیمه رسانا ها و عایق ها،آشنایی با خواص رسانایی الکتریکی، حرارتی، نوری و فوتونیک و مغناطیسی نانومواد.

فهرست منابع پیشنهادی:

[1] C. Kittel, P. McEuen, Introduction to solid state physics, John Wiley & Sons, 2018.

[2] R.C. O'handley, Modern magnetic materials: principles and applications, Wiley, 2000.

[3] E. Wolf Nanophysics and Nanotechnology: An Introduction to Modern Concepts in Nanoscience, Wiley, 2005.

[4] T. Tsurumi, H. Hirayama, M. Vacha, T. Taniyama, Nanoscale physics for materials science, CRC Press, 2009.

[5] F.J. Owens, C.P. Poole Jr, The physics and chemistry of nanosolids, John Wiley & Sons, 2008.

[6] D. Natelson, Nanostructures and nanotechnology, Cambridge University Press, 2015.

[7] M. V Fischetti, W.G. Vandenberghe, Advanced physics of electron transport in semiconductors and nanostructures, Springer, 2016.

[8] V. V Mitin, D.I. Sementsov, N.Z. Vagidov, Quantum mechanics for nanostructures, Cambridge University Press, 2010.

[9] F. Nasirpouri, A. Nogaret, Nanomagnetism and spintronics: fabrication, materials, characterization and applications, World Scientific, 2010.