



جمهوری اسلامی ایران
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
شورای عالی برنامه‌ریزی

مشخصات کلی برنامه و سرفصل دروس
دوره کارشناسی ارشد مهندسی مواد - ریخته‌گری



گروه فنی و مهندسی

مصوب سبصد و نود و هفتمین جلسه شورای عالی برنامه‌ریزی

مورخ ۱۳۷۹/۴/۱۹



بسم الله الرحمن الرحيم

برنامه آموزشی دوره کارشناسی ارشد مهندسی مواد - ریخته‌گری

گروه: فنی و مهندسی
رشته: مهندسی مواد - ریخته‌گری
دوره: کارشناسی ارشد

کمیته تخصصی:
گرایش:
کد رشته:

شورای عالی برنامه‌ریزی در سبصد و نود و هفتمین جلسه مورخ ۱۳۷۹/۴/۱۹ براساس طرح دوره کارشناسی ارشد مهندسی مواد - ریخته‌گری که توسط گروه فنی و مهندسی تهیه شده و به تأیید رسیده است، برنامه آموزشی این دوره را در سه فصل (مشخصات کلی، برنامه و سرفصل دروس) به شرح پیوست تصویب کرده، و مقرر می‌دارد:

ماده ۱) برنامه آموزشی دوره کارشناسی ارشد مهندسی مواد - ریخته‌گری از تاریخ تصویب برای کلیه دانشگاهها و مؤسسات آموزش عالی کشور که مشخصات زیر را دارند لازم‌الاجرا است.
الف: دانشگاهها و مؤسسات آموزش عالی که زیر نظر وزارت علوم، تحقیقات و فناوری اداره می‌شوند.

ب: مؤسساتی که با اجازه رسمی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری و براساس قوانین، تأسیس می‌شوند و بنابراین تابع مصوبات شورای عالی برنامه‌ریزی می‌باشند.
ج: مؤسسات آموزش عالی دیگر که مطابق قوانین خاص تشکیل می‌شوند و باید تابع ضوابط دانشگاهی جمهوری اسلامی ایران باشند.

ماده ۲) این برنامه از تاریخ ۱۳۷۹/۴/۱۹ برای دانشجویانی که از این تاریخ به بعد وارد دانشگاه می‌شوند لازم‌الاجرا است. و با ابلاغ آن برنامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی مواد - ریخته‌گری مصوب جلسه ۴۳ مورخ ۱۳۶۵/۲/۱۳ برای این گروه از دانشجویان منسوخ می‌شود و دانشگاهها و مؤسسات آموزش عالی مشمول ماده ۱ می‌توانند این دوره را دایر و برنامه جدید را اجرا نمایند.

ماده ۳) مشخصات کلی، برنامه درسی و سرفصل دروس دوره کارشناسی ارشد مهندسی مواد - ریخته‌گری در سه فصل مشخصات کلی، برنامه و سرفصل دروس برای اجرا به معاونت آموزشی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری ابلاغ می‌شود.

رأی صادره سیصد و نود و هفتمین جلسه شورای عالی برنامه ریزی
مورخ ۱۳۷۹/۴/۱۹
در خصوص برنامه آموزشی دوره کارشناسی ارشد مهندسی ریخته گری

۱) برنامه آموزشی دوره کارشناسی ارشد مهندسی ریخته گری که از طرف گروه فنی
و مهندسی پیشنهاد شده بود، با اکثریت آراء به تصویب رسید.

۲) این برنامه از تاریخ تصویب قابل اجرا است

رأی صادره سیصد و نود و هفتمین جلسه شورای عالی برنامه ریزی مورخ ۱۳۷۹/۴/۱۹ در مورد
برنامه آموزشی دوره کارشناسی ارشد مهندسی ریخته گری صحیح است، به مورد اجرا گذاشته شود.

دکتر مصطفی معین

وزیر علوم، تحقیقات و فناوری



دکتر علی رضا رهایی
رئیس گروه فنی و مهندسی

رونوشت : به معاونت محترم آموزشی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
خواهشمند است به واحدهای مجری ابلاغ فرمایید.

دکتر سید محمد کاظم نائینی

دبیر شورای عالی برنامه ریزی

بسم الله الرحمن الرحيم

فصل اول

مشخصات کلی برنامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی مواد - ریخته‌گری

۱ - تعریف و هدف

در این مجموعه مطالب و مباحث علمی و تکنیکی مربوط به روشهای مختلف ریخته‌گری بعنوان بخشی از روشهای شکل‌دهی قطعات فلزی مورد بحث و بررسی قرار گرفته و عوامل مؤثر در چگونگی طراحی و ساخت قطعات و نیز بهینه‌سازی خواص آنها مورد تجزیه و تحلیل قرار خواهد گرفت. هدف از آموزش این مجموعه تربیت نیروی انسانی مشخص مورد نیاز مراکز صنعتی، تحقیقاتی و آموزشی می‌باشد.

۲ - طول دوره و نظام آموزشی

مدت زمان لازم برای گذراندن این دوره ۲ سال می‌باشد. نظام آموزشی آن واحدی و دروس در ۴ نیمسال ارائه خواهد گردید، مدت هر نیمسال ۱۶ هفته بوده و زمان تدریس یک واحد نظری ۱۶ ساعت و یک واحد عملی ۳۲ ساعت می‌باشد.
حداقل و حداکثر مدت مجاز برای گذراندن این دوره مطابق آیین‌نامه دوره کارشناسی ارشد می‌باشد.

۳ - شرایط داوطلبان ورود به این دوره

داوطلبانی که دارای حداقل مدرک کارشناسی در رشته مهندسی متالورژی و مواد در همه گرایش‌ها، مهندسی مکانیک و مهندسی شیمی و مهندسی صنایع گرایش تولید صنعتی می‌باشند می‌توانند در آزمون ورودی این دوره شرکت نمایند.

تعداد واحدها :

تعداد کل واحدهای این دوره ۳۲ واحد و به تفکیک ذیل می‌باشد :

دروس اجباری	۱۴ واحد
دروس اختیاری	۸ واحد
پایان‌نامه	۸ واحد
سمینار	۲ واحد

دروس جبرانی :

دانشجویانی که دروس زیر را در دوره کارشناسی نگذرانده‌اند لازم است که به صورت جبرانی این دروس را

اخذ نمایند.

۱ - ریاضیات مهندسی	۳ واحد	۴ - آزمایشگاه انجماد	۱ واحد
۲ - انتخاب مواد فلزی	۲ واحد	۵ - روشهای انتقال مطالب علمی	۱ واحد
۳ - خواص مکانیکی مواد	۲ واحد		



الف - ضرورت و اهمیت تشکیل دوره کارشناسی ارشد ریخته‌گری

دانش و فنی ریخته‌گری با آنکه در کشور ما قدرت چند هزارساله دارد ولی متأسفانه بنابه علمی، ایران، از لحاظ سطح علمی و تکنولوژی در این رشته، در زمره کشورهای رده پایین قرار دارد. امروزه با توجه به اینکه کشورهای پیشرفته صنعتی در زمینه ارتقاء این فن و علم تا حدود زیادی خود را بی‌نیاز حس می‌کنند و درصدد تأمین محصولات ریخته‌گری مورد نیاز خود را از طریق سرمایه‌گذاری برای احداث واحدهای مربوطه در کشورهای درحال رشد می‌باشند اولاً فرصت خوبی برای تقویت بنیه‌های علمی و فنی ریخته‌گری در کشور فراهم شده است ثانیاً جذب تکنولوژی‌های پیشرفته در ریخته‌گری نیازمند آمادگی تخصصی در این زمینه می‌باشد و ثالثاً برای کشور ما که سابقه دیرینه در این رشته از صنایع مادر را دارد فرصت مغتنم است تا با ابداع و تکامل روشها، مواد و ماشین‌آلات ریخته‌گری، خود را در این زمینه در دنیای صنعتی مطرح ساخته و از حیثیت گذشته خود بدرستی دفاع کند، لذا ارائه این دوره بنحو مطلوب در مراکز آموزش عالی می‌تواند نیروی انسانی و بستر مورد نیاز برای نیل به اهداف فوق را فراهم کرده و نقش مهمی در نیل به خودکفایی علمی و صنعتی که از اهداف نظام مقدس جمهوری اسلامی ایران است داشته باشد.

ب - نقش و توانایی‌های فارغ‌التحصیلان دوره گرایش کارشناسی ارشد ریخته‌گری

فارغ‌التحصیلان کارشناسی ارشد ریخته‌گری می‌توانند در زمینه‌های ذیل فعالیت داشته باشند:



- ۱ - ابداع و تکامل روشهای ریخته‌گری بر مبنای استانداردهای بین‌المللی کیفیت
- ۲ - افزایش بهره‌وری واحدهای صنعتی ریخته‌گری در کشور
- ۳ - برنامه‌ریزی و زمینه‌سازی جهت انتقال تکنولوژی‌های پیشرفته ریخته‌گری به کشور
- ۴ - ترویج استفاده از کامپیوتر در مراکز علمی، پژوهشی و صنعتی کشور فعال در زمینه ریخته‌گری
- ۵ - طراحی قطعات ریخته‌گری و انتخاب مواد و روش ریخته‌گری مناسب برای تولید آنها
- ۶ - بررسی علل ایجاد عیوب در قطعات ریخته‌گری و ارائه راههای مناسب برای رفع آنها
- ۷ - تشکیل، هدایت و ارتقاء سطح علمی فنی آزمایشگاههای ریخته‌گری در صنایع و مراکز آموزشی و پژوهشی
- ۸ - طراحی و برنامه‌ریزی ذوب و ریخته‌گری آلیاژهای پیشرفته و جدید مهندسی
- ۹ - برنامه‌ریزی در جهت تقویت سطح علمی واحدهای صنعتی ریخته‌گری در کشور
- ۱۰ - طراحی واحدهای صنعتی ریخته‌گری
- ۱۱ - تشکیل و ارتقاء سطح واحدهای خدمات مهندسی و مراکز تحقیقاتی ریخته‌گری
- ۱۲ - انجام فعالیت‌های آموزشی و تحقیقاتی در مراکز آموزش عالی و مؤسسات تحقیقاتی کشور
- ۱۳ - تشکیل و هدایت واحدهای تحقیق و توسعه در صنایع ریخته‌گری
- ۱۴ - طراحی و محاسبات سیستم‌های راهگاهی و تهیه‌گذاری برای تولید قطعات ریخته‌گری بر مبنای اصول علمی جدید
- ۱۵ - ترویج استفاده از دانش و فن ریخته‌گری در صنایع ریخته‌گری بمنظور افزایش اتوماسیون و مکانیزاسیون در جهت ارتقاء بهره‌وری واحدهای تولیدی

ضرایب آزمون رشته کارشناسی ارشد ریخته‌گری

- | | | |
|------------------------|-------------------------|--|
| - ریاضی مهندسی (۲) | - زبان عمومی تخصصی (۲) | - شیمی فیزیک و ترمودینامیک مواد (۳) |
| - خواص فیزیکی مواد (۴) | - خواص مکانیکی مواد (۳) | - استحاله فازها و نمودارهای تعاونی (۲) |
| - تخصصی کارشناسی (۴) | | |

جدول دروس اجباری رشته کارشناسی ارشد ریخته گری

کد درس	نام درس	تعداد واحد	ساعات		پیشنیاز یا زمان ارائه درس
			نظری	عملی	
۱	پدیده‌های انتقال پیشرفته	۲	۳۲	-	
۲	ریخته‌گری پیشرفته	۲	۳۲	-	فرآیند انجماد پیشرفته
۳	فرآیند انجماد پیشرفته	۳	۴۸	-	
۴	تغییر حالت‌های متالورژیکی	۲	۳۲	-	ترمودینامیک پیشرفته
۵	ترمودینامیک پیشرفته	۲	۳۲	-	
۶	روشهای پیشرفته مطالعه مواد	۲	۳۲	-	
۷	آزمایشگاه روشهای مطالعه مواد	۱	۳۲	۳۲	
جمع		۱۴			



جدول دروس اختیاری رشته کارشناسی ارشد ریخته‌گری

کد درس	نام درس	تعداد واحد	ساعات		بیشترین یا زمان ارائه درس
			نظری	عملی	
۱	سینتیک پیشرفته مواد	۲	۳۲	—	—
۲	متالورژی سطح پیشرفته	۲	۳۲	—	کامپوزیتها
۳	کامپوزیت‌های ریخته‌گری	۲	۳۲	—	—
۴	متالورژی پودر پیشرفته	۲	۳۲	—	—
۵	طراحی مهندسی در ریخته‌گری	۳	۴۸	—	ریخته‌گری پیشرفته
۶	بررسی‌های فنی و اقتصادی در ریخته‌گری	۲	۳۲	—	—
۷	نفوذ در جامدات	۲	۳۲	—	—
۸	شبیه‌سازی فرآیندهای ریخته‌گری و انجماد	۲	۳۲	—	انجماد پیشرفته
۹	مطالب ویژه در ریخته‌گری و انجماد	۲	۳۲	—	هم‌نیاز با ریخته‌گری پیشرفته
۱۰	شمش‌ریزی	۲	۳۲	—	انجماد پیشرفته
۱۱	خطاهای اندازه‌گیری در تحقیق مواد	۱	۱۶	—	—
۱۲	اجزاء محدود	۲	۳۲	—	—
۱۳	ریاضیات مهندسی پیشرفته	۳	۴۸	—	—
۱۴	مکانیک سیالات در ریخته‌گری	۳	۴۸	—	—
۱۵	متالورژی پودر تزریقی (PIM)	۲	۳۲	—	—
۱۶	مهندسی سطح پیشرفته	۲	۳۲	—	—
		جمع	۳۴		

دانشجویان این دوره کارشناسی ارشد از مجموعه دروس جدول فوق هشت واحد اختیار کرده و می‌گذرانند.



سینتیک پیشرفته مواد

تعداد واحد : ۲

نوع واحد :

پیشنیاز : سینتیک مواد

سرفصل درس

مرور قوانین سینتیک شیمیایی و انتقال، پیدا کردن مکانیزم واکنشهای همگن، انتقال ماده در حضور جریان سیال، مدل‌های انتقال ماده در سیال، واکنش در مرز فازها، در فصل مشترک، سینتیک واکنشهای الکترودی، مهاجرت الکتریکی در محلولها، الگوهای سینتیکی برای واکنشهای غیر همگن، سینتیک فرآیند تبخیر، سینتیک جذب سطحی، حل کامپیوتری تحولات سینتیکی همگن و غیر همگن.



کامپوزیتهای ریختگی



تعداد واحد: ۲

نوع واحد: نظری

پیشنیاز: کامپوزیتهای

سرفصل درس

- ۱- کلیات: معرفی انواع روشهای ریخته‌گری کامپوزیتهای زمینه فلزی ذره‌ای و رشته‌ای و مقایسه آنها با سایر روشهای تولید کامپوزیتهای زمینه فلزی
- ۲- کامپوزیتهای زمینه فلزی ذره‌ای ریخته‌گری
 - الف- عوامل مؤثر در انتخاب مواد اولیه (آلیاژ و ذرات فاز دوم)
 - ب- مخلوط‌سازی ذرات فاز دوم در مذابهای فلزی - معرفی روشهای مختلف رفتار ذرات سرامیکی در مذابهای فلزی قبل از انجماد (ترشوندگی ذرات و روشهای کاهش زاویه‌ترشوندگی - کنترل واکنشهای شیمیایی بین سرامیک و فلز)، سیالیت دوغابهای کامپوزیتی و عوامل مؤثر بر آن، قابلیت ریخته‌گری دوغابهای کامپوزیتی
 - ج- انواع روشهای ریخته‌گری دوغابهای کامپوزیتی شامل ریخته‌گری ثقلی (در قالب ماسه‌ای و فلزی) ریخته‌گری تحت فشار، ریخته‌گری کوشی، ریخته‌گری در حالت نیمه جامد - نیمه مایع و ریخته‌گری گریز از مرکز. توضیح در مورد قابلیت ریخته‌گری، فرآیند انجماد، چگونگی مهاجرت ذرات در حین انجماد، کنترل واکنش شیمیایی بین زمینه و فاز دوم و کنترل فصل مشترک بین آنها، چگونگی پیدایش عیوب ریخته‌گری (جدایش، حفرات انقباضی و تنشهای پس مانده در هر کدام از روشهای مذکور)
 - د- روش پاشش همزمان، عوامل مؤثر در ریز ساختار کامپوزیت و چگونگی کنترل پدیده انجماد جهت دست‌یابی به خواص مطلوب در کامپوزیت
 - ه- کامپوزیتهای در جا (In - situ) زمینه فلزی ذره‌ای، چگونگی کنترل فرآیند و عوامل مؤثر در تشکیل ریز ساختار و کسر حجمی مطلوب از ذرات فاز دوم در این کامپوزیتهای از دیدگاه ترمودینامیکی
- ۳- کامپوزیتهای زمینه فلزی رشته‌ای ریخته‌گری: معرفی روشها و عوامل مؤثر در تولید فرآیند انجماد این کامپوزیتهای، عوامل مؤثر در تشکیل ریز ساختار و چگونگی کنترل آنها جهت پرهیز از عیوب ریخته‌گری (شامل تلقیح ناقص، جدایش، واکنشهای مخرب شیمیایی، تغییر شکل پیش ساخته‌های سرامیکی و ...)
- ۴- کامپوزیتهای درجا (In - situ) لوتکتیکی، ریز ساختار، خواص، روشهای مؤثر در کنترل پارامترهای ماده و انجمادی جهت حصول خواص مطلوب

متالورژی پودر پیشرفته

تعداد واحد : ۲

نوع واحد : نظری

پیشنیاز : متالورژی پودر - تنوری نابجایی‌ها

سرفصل درس

- روشهای پیشرفته اندازه‌گیری ذرات پودر
- اندازه‌گیری سطح ویژه پودر
- اصطکاک بین ذرات پودر
- تولید پودر : اتمیزاسیون آبی و گازی - گریز از مرکز
- کنترل میکرو ساختار پودر هنگام اتمیزاسیون
- ضریب اختلاط و راندمان اختلاط - رابطه ساندریکا
- روانسازها و کاربرد آنها در متالورژی پودر - استارات روی - استارات لیتیم - روغنهای

فشار قوی

- مکانیزم فشرده شدن پودر - تئوریهای مقطر و فیش کمایستر
- تجزیه و تحلیل نیروهای وارد بر پودر در قالبهای صلب و ارتباط آن با توزیع چگالی
- رابطه جیمز برای مطالعه و تخلخل - روشهای اندازه‌گیری تخلخل
- فشردن ایزواستاتیکی پودر
- بررسی مدل‌های تف جوشی و مکانیزمهای هر یک از آنها و مکانیزمهای انتقال جرم
- تف جوشی در حضور فاز مایع
- تف جوشی فعال شده
- متالورژی پودر آلیاژهای مس و آلومینیوم



تف جوشی در حضور مایع را می‌توان به بخش‌های زیر تقسیم کرد.
این بخش بصورت تخصصی و مفصل باید تدریس شود.

- میکروساختار
- عوامل ترمودینامیکی
- مراحل جابجایی، محلول‌سازی و رسوب، مرحله پایانی تغییر ساختار
- پر شدن تخلخل
- مراحل تشکیل ناحیه‌های گلوبی و رشد گلوبی
- کاربردهای تف جوشی در حضور فاز مایع

طراحی مهندسی در ریخته‌گری



تعداد واحد : ۳

نوع واحد :

سرفصل درس

- ۱- طراحی قطعه ریختگی و انتخاب مواد و روش ریخته‌گری شامل طبقه‌بندی روشهای ریخته‌گری، امتیازات و محدودیت‌های روشهای مختلف ریخته‌گری، اصول طراحی قطعه، دقت ابعادی، انتخاب مواد، اصول انتخاب روش ریخته‌گری
- ۲- طراحی و محاسبات سیستم‌های راهگامی شامل واکنش‌های مذاب - گاز، تشکیل اکسیدهای سطحی و ورود آنها بداخل مذاب، تأثیرات فیلم‌های اکسیدی وارد شده بر خواص مذاب و قطعه ریختگی حاصل، پر کردن قطعه دراز کشش سطحی، تئوری سرعت بحرانی، اجزاء سیستم راهگامی، آفای‌گیری و فیلتراسیون مذاب، اصول طراحی سیستم‌های راهگامی، محاسبات سیستم‌های راهگامی
- ۳- طراحی و محاسبات سیستم‌های تغذیه‌گذاری شامل رفتار عمومی انقباض مایعات و جامدات، انقباض فلزات و آلیاژها حین انجماد، مدول سطحی، تشکیل و رشد تخلخل‌های انقباضی، قوانین تغذیه‌گذاری، مکانیزمهای تغذیه قطعات ریختگی، انواع سیستم‌های تغذیه‌گذاری، اجزاء کمکی در تغذیه‌گذاری، محاسبات تغذیه‌گذاری
- ۴- مکانیزاسیون و اتوماسیون در ریخته‌گری شامل ماشین‌آلات قالب‌گیری، ماشین‌آلات ماهیچه‌سازی، خطوط ماسه‌سازی و بازیابی ماسه، خطوط قالب‌گیری، روشهای مکانیزه گاززدایی و آفال‌زدایی متالورژی پاتیلی، ماشین‌آلات بارریزی، روشهای انتقال مذاب، تجهیزات تخلیه قالب، تجهیزات تمیزکاری و تمام‌کاری قطعات ریختگی، اتوماسیون مهمترین روشهای ریخته‌گری، استفاده از روباتها و مانیپولاسیون در ریخته‌گری
- ۵- بازرسی و کنترل کیفیت شامل فرآیند ریخته‌گری، کنترل مواد قالب‌گیری و ماهیچه‌سازی، کنترل آلیاژ و مراحل تهیه و ذوب آن، بررسی‌های آزمایشگاهی و کارگاهی، شناسایی عیوب سطحی و زیر سطحی، شناسایی جریانهای داخلی مذاب، نشست‌یابی، دسته‌بندی و کارآیی روشهای مخرب و نیز مخرب در شناسایی عیوب ریخته‌گری
- ۶- کاربرد کامپیوتر در ریخته‌گری شامل شبیه‌سازی جریان مذاب در سیستم‌های راهگامی و قالب، شبیه‌سازی انجماد و انتقال حرارت در قالب و سیستم راهگامی، شبیه‌سازی توأم جریان سیال و انتقال جرم و حرارت در قالب و سیستم راهگامی، شبیه‌سازی تشکیل ساختار میکروسکوپی قطعه ریختگی حین انجماد، کنترل فرآیندهای ریخته‌گری با استفاده از مدل‌های ریاضی فرآیند، طراحی سیستم‌های راهگامی و تغذیه‌گذاری به کمک کامپیوتر، طراحی قطعه و انتخاب مواد و روش ریخته‌گری با استفاده از کامپیوتر، پیش‌بینی عیوب ریخته‌گری با کامپیوتر، کنترل و طراحی‌های اقتصادی - فنی با استفاده از کامپیوتر، کاربردهای آینده کامپیوتر برای اتوماسیون کامل ریخته‌گری

بررسی فنی و اقتصادی در ریخته‌گری

تعداد واحد : ۲

پیشنیاز : ندارد

سرفصل درس

مروری به اقتصاد مهندسی "ارزش زمانی پول، نرخ برگشت سرمایه، ارزش فعلی تجهیزات، ارزش آینده تجهیزات، تورم در بررسی‌های اقتصادی، طبقه‌بندی هزینه‌های تولید، تجزیه و تحلیل نقطه سر به سر تولید و..."

تجزیه و تحلیل قیمت تمام شده مواد اولیه با توجه به کیفیت آنها، تجزیه و تحلیل قیمت تمام شده محصولات فرآیند تولید قطعات بروشهای مختلف ریخته‌گری و سایر روش‌ها نظیر آهنگری و متالورژی پودر و تراشکاری

بررسی فنی و اقتصادی روشهای تولید قطعات بروشهای ریخته‌گری و مقایسه آنها با یکدیگر (از نظر کمیت مواد اولیه، انرژی مورد نیاز، کیفیت محصولات تولیدی، قیمت تمام شده محصولات، سرمایه در گردش مورد نیاز، سرمایه ثابت مورد نیاز، حداقل و حداکثر ظرفیت ممکن، آلودگی محیط زیست، کمیت و کیفیت نیروهای انسانی مورد نیاز و...)

تهیه ترازنامه مالی، بیلان مواد اولیه و جنسی، محاسبه سود و زیان محاسن فنی و اقتصادی جایگزینی یک نوع انرژی به جای نوع دیگر آن در فرآیند تولید فلزات با توجه به عوامل طبیعی موجود.

اصول فنی و اقتصادی که باید در ارائه طرح تأسیس یک واحد ریخته‌گری در نظر گرفته شود.



نفوذ در جامدات

تعداد واحد : ۲

نوع واحد : نظری

پیشنیاز : تغییر حالت‌های متالورژیکی

سرفصل درس : (۳۳ ساعت)

معادلات نفوذ اتم : قانون اول فیک، قانون دوم فیک، حل معادلات دیفرانسیل نفوذ در حالات مختلف با ضریب ثابت نفوذ (D)، سرعت و رشد رسوب و کاربرد معادلات نفوذ، تأثیر تنش در سرعت نفوذ، حل معادله فیک با ضریب متغیر نفوذ (D)، سرعت نفوذ در سیستم‌های غیر مکعب - تئوری اتمی جابجا شدن اتمها : حرکت بی ترتیب، **effect correlation**، مکانیزم نفوذ، محاسبه ضریب نفوذ - تئوری **Zener**، قوانین تجربی محاسبه ΔH و D و ΔS ، روشهای تجربی محاسبه ΔH_v و ΔH_m ، بوجود آمدن جای خالی دو تایی - نفوذ در محلول با آلیاژهای رقیق : رفتار ناولاستیک بر اثر نفوذ سرعت، نفوذ اتم محلول در فلز خالص، اثر جهت پرش مرجع، نفوذ در آلیاژهای دو تایی - جابجا شدن با وجود اختلاف غلظت : اترکندال، تجزیه و تحلیل **Darken**، رابطه بین ضریب نفوذ شیمیایی و ضریب نفوذ خودبخودی و بررسی فرضیات **Darken** سیستم‌های سه تایی، مسیرهای سریع نفوذ : تجزیه و تحلیل، نفوذ - مرزخانه‌ها، تأثیر نابجایی در سرعت جابجا شدن، معادلات - نفوذ از طریق عیوب (نابجایی، مرزخانه‌ها)

مراجع

Diffusion in Solids, P.G. Shewman, 1990.



مطالب ویژه در انجماد و ریخته‌گری

تعداد واحد :

نوع واحد :

سرفصل درس

در این درس مباحث ویژه و پیشرفته در فرآیند انجماد مورد بحث قرار خواهد گرفت این مباحث می‌تواند در برگیرنده مطالبی از جمله انجماد سریع و عوامل مؤثر بر آن، چگونگی تولید و ساخت فلزات و آلیاژهای بی‌شکل، تحلیل مسائل در فرآیند انجماد در جاذبه صفر، تکنیکهای شناوری مذاب، انجماد در فوق تبریدهای بسیار زیاد، تحلیل مسائل در فرآیند انجماد معمولی و جهت‌دار مواد مخصوص مثل مواد ابررسانی



شمش ریزی

تعداد واحد : ۲

نوع واحد :

سرفصل درس

- ۱- کلیات شامل تعاریف، دسته بندی، انواع شمش ها، تفاوت های شمش و شوشه
- ۲- شمش ریزی تکباری فلزات غیر آهنی شامل انواع قالب ها، روش های بار ریزی و روش های تولید شمش
- ۳- شمش ریزی تکباری فولادها شامل قالب ها، روش های بار ریزی، فولادهای آرام و نا آرام، تغذیه شمش های فولادی و روش های تولید شمش
- ۴- شمش ریزی مداوم در قالب های ساکن باز شامل تاریخچه تحولات و انواع روشها برای فولاد و فلزات آهنی
- ۵- شمش ریزی مداوم در قالب های ساکن بسته شامل تاریخچه تحولات و انواع روشها برای فولاد و فلزات غیر آهنی
- ۶- عیوب در شمش ریزی شامل عیوب ساختاری، ترکها، مک های گازی، مک های انقباضی، آخالها و عیوب سطحی



خطاهای اندازه گیری در تحقیق مواد

تعداد واحد : ۱

نوع واحد : نظری

پیشنیاز : ندارد

هم‌نیاز : ندارد

سرفصل دروس نظری ۱ واحد ۱۷ ساعت

مقدمه

آنالیز نتایج، ثبت نتایج آزمایش، دقت در اندازه گیری، مواد غیر ممکن بودن اندازه گیری مقدار حقیقی و روند کردن مقادیر تجربی، تقریب، خطاهای مقدمه‌ای بر احتمالات - نمودار همبسته : تطابق منحنی - خطاها و عدم اطمینان ن : خطاهای سیستماتیک در اندام، توزیع متعادل، خطاها و عدم اطمینان : تحقیقات تئوری و تحقیقات تجربی، برنامه ریزی آزمایش، برنامه ریزی کلاسیک و پارامترهای مختلف مؤثر، برنامه ریزی تحقیق، مثالهای برنامه ریزی - روشهای اندازه گیری : خطاهای دستگاههای اندازه گیری، اندازه گیری فشار و سرعت، اندازه گیری جریان الکتریکی و اندازه گیری مقدار انرژی حرارتی، اندازه گیری درجه حرارت، صوت - اندازه گیری های استاتیک : اندازه گیری تغییر مکان، اندازه گیری نیرو و خطاهای اندازه گیری مربوطه کنترل کیفی و خطاهای مربوطه.



اجزاء محدود



تعداد واحد : ۲

نوع واحد : نظری

پیشنیاز : ریاضیات مهندسی پیشرفته

سرفصل درس :

مقدمه‌ای بر تانسور تنش و کرنش قانون تبدیل، میدان جابجایی و کرنش، معادلات سازگاری، قانون عمومی الاستیسیته، یادآوری بردارها، تانسورها، ماتریسها و کاربرد آنها. مروری بر متغیرها (Variational Formulation)، انرژی پتانسیل کل، روش Rayleigh - Ritz، روش Least Squares، المان بندی سازه در شرایط یک بعدی و دوبعدی و سه بعدی، معرفی المان‌های سه وجهی و چهار وجهی، شماره گذاری المان‌ها و گره‌ها و مفهوم درجات آزادی، معرفی و روش بدست آوردن ماتریس چفرمگی (Stiffness)، یک المان، چگونگی بدست آوردن چفرمکی کل سازه، فرموله کردن اجزاء محدود به روش میدان جابجایی، مقایسه بین روشهای اجزاء محدود (Finite Element)، اختلاف محدود (Finite Difference)، و مرزهای محدود (Boundary Element)، معرفی و کاربرد توابع شکل (Shape Functions)، معرفی المان‌های Isoparametric در شرایط خطی و صفحه‌ای، انتگرال گیری عددی به روش Gauss، معرفی مختصات طبیعی و عام (Global) حل عددی و کامپیوتری کردن این روابط.

محاسبات اجزاء محدود مربوط به شرایط صفحه‌ای، تقارن محوری و پیچشی تنش و کرنش، یادآوری اصول پلاستیسیته و معیار تسلیم و الاستوپلاستیک، آنالیز اجزاء محدود در شرایط غیر خطی، روش تنش اولیه (initial stress) و چگونگی فرموله کردن اجزاء محدود جهت حل الاستوپلاستیک، ذکر چند مثال شناخته شده در مورد حل الاستوپلاستیک جامدات، روش اجزاء محدود برای تغییر شکلهای بزرگ، کاربرد روش اجزاء محدود در شکل دادن فلزات با ذکر مثال، ارائه یک سمینار کوچک توسط هر دانشجو (بصورت تهیه یک زیر برنامه جهت انجام یکی از جنبه‌های اجزاء محدود، یا آنالیز اجزاء محدود یک حالت خاص از بارگذاری، یا تهیه داده جهت یک شبکه با شرایط مرزی تعریف شده، یا بکارگیری یک برنامه آماده اجزاء محدود جهت حل یک مسأله مشخص و یا ...)

ریاضیات پیشرفته مهندسی

تعداد واحد: ۳

پیشنیاز: ندارد

سرفصل درس:

مشتقات جزئی در توابع چند متغیری - حل معادلات دیفرانسیل با مشتقات جزئی - سری فوریه - حل معادلات بوسیله سری فوریه - انتگرال و تبدیل فوریه پیشرفته - تبدیل لاپلاس پیشرفته - توابع مختلط - تئوری پیشرفته توابع مختلف، قضایای کوشی - انتگرال کوشی - سری مک لورن - توابع اولرین - توابع و قضایای ترانسفورماسیون و کنولاسیون - تساویهای بسل - پارسوال - احتمالات - متغیرهای تصادفی - فرآیندهای تصادفی



مهندسی سطح پیشرفته

تعداد واحد : ۲

نوع واحد : تئوری

پیشنیاز : متالورژی سطح و پوشش ها - تئوری نابجایی ها

سرفصل درس :

اهداف اصلاح ساختار سطوح، مروری بر خوردگی، آشنایی با انواع مکانیزم های سایش، استفاده از پلاσμα در فرآیندهای عملیات سطحی، پلاσμα چیست؟، روش های تولید پلاσμα، پلاσμα در حضور میدان مغناطیسی، اندر تنش های پلاσμα و سطح نمونه. آشنایی با وسایل بکار رفته در سیستم های مدرن مهندسی سطح، انواع پمپ های خلأ، فشار سنج ها، شیرها، محفظه ها.

نیترژن دهی (کربن دهی) پلاسمایی، تشکیل لایه، اثر عناصر آلیاژی، وسایل و تجهیزات، ساختار لایه و زیر لایه، کاربردها.

کاشت یون، پوشش دادن با استفاده از یون، مکانیزم تشکیل لایه، فرآیندها، کاربردها، وسایل و تجهیزات، جنبه های اقتصادی.

فرآیندهای تبخیری، اصول تبخیر فلزات و آلیاژها، انواع فرآیندهای تبخیری، یکنواختی و توزیع ضخامت پوشش، کاربردها.

لایه نشانی کند و پاشی (Sputtering)، اصول کند و پاش، انواع روش های کند و پاش، کنترل فرآیند کند و پاش، کاربردها.

لایه نشانی بخار شیمیایی (CVD)، اصول (CVD)، (CVD) به کمک پلاσμα، طراحی فرآیندها، مکانیزم لایه نشانی، ساختار و شکل لایه، کاربردها، وسایل و تجهیزات.

پاشش حرارتی، انواع روش های پاشش، آماده سازی زیر لایه، خواص پوشش، کاربردها، عملیات سطحی با استفاده از لیزر، جنبه های عملی فرآیند لیزری، انواع لیزر، کاربردها.

روشهای ارزیابی و بررسی لایه های سطحی اصلاح شده، زبری، ضخامت، چسبندگی، مقاومت خوردگی، مقاومت سایش، سختی، تخلخل، آنالیز شیمیایی، مورفولوژی سطح، ارتباط خواص پوشش و کارکرد قطعه.



پدیده‌های انتقال پیشرفته

تعداد واحد : ۲

پیشنیاز : ندارد

سرفصل درس :

مروری بر تعریف ویسکوزیته، سیالات نیوتنی و غیر نیوتنی، جریان آرام و جریان متلاطم، موازنه‌های انرژی در حرکت سیال، هدایت حرارتی، هدایت حرارتی در حالت ثبات و در غیر حالت ثبات، جابجایی اجباری و طبیعی. مروری بر مکانیک سیالات، انتقال حرارت و انتقال جرم، حل معادلات انتقال برای فرآیندهای تولید فلزات، اصول الگوسازی، الگوهای ریاضی و فیزیکی برای فرآیندهای تولید فلز، اعمال معیار تشابه در ساختن مدل‌های فیزیکی و ریاضی، روش تجزیه و تحلیل الگو برای یافتن فرآیند بهینه، مثالهایی از الگوهای ریاضی، الگوهای فیزیکی و طرح نیمه صنعتی





ریخته‌گری پیشرفته

تعداد واحد : ۲

نوع واحد : تئوری

سرفصل درس

- ۱- ریخته‌گری در قالب ویژه شامل کلیات، مزایا و محدودیت‌ها، آلیاژهای مناسب، ماشین‌ها، ماهیچه‌ها، جنس قالب، پوشش قالب، دمای قالب، ذوب‌ریزی، خارج کردن قطعه از قالب، عیوب
- ۲- ریخته‌گری تحت فشار شامل معرفی، مزایا و محدودیت‌ها، ماشین‌ها، انتخاب دستگاه دایکاست، تجهیزات جنبی، قالب‌ها، انواع قالب، جنس و طراحی قالب، سیستم راهگاهی، دمای قالب، پرداخت قالب، فرسایش قالب، سرعت و فشار تزریق، انتقال مذاب از کوره نگهدارنده به محفظه تزریق، روانکاری قالب، زمان - تناوب ریخته‌گری، عیوب حاصل در ریخته‌گری تحت فشار
- ۳- ریخته‌گری گریز از مرکز حقیقی شامل کلیات، آلیاژهای مناسب، شرح روش، انواع روشها، ماشین‌های گریز از مرکز حقیقی، قالب‌های ریخته‌گری گریز از مرکز حقیقی، تکنولوژی ریخته‌گری گریز از مرکز حقیقی، خنک - کردن قالب‌ها، دما و روش بار ریزی، سرعت چرخش قالب، انجماد قطعات، مزایا و محدودیت‌ها، عیوب
- ۴- ریخته‌گری کوبشی (فشاری) شامل کلیات، مراحل انجام فرآیند، پارامترهای فرآیند، جنس قالب و روانکاری آن، انجماد و ساختار قطعات ریخته‌گی، نوع قطعات مناسب، عیوب قطعات تولیدی، مزایا و محدودیت‌ها، مقایسه ریخته‌گری کوبشی با روشهای ریخته‌گری تحت فشار، ریخته‌گری در قالب ماسه‌ای و آهنگری
- ۵- روشهای ریخته‌گری ضد جاذبه شامل کلیات، بارریزی از پایین به بالا، روشهای ضد جاذبه در قالب‌های فلزی شامل با فشار پایین و با فشار متوسط، روشهای ضد جاذبه در قالب‌های ماسه‌ای شامل نیروی مغناطیسی نیروی خلأ و فشار مثبت
- ۶- ریخته‌گری تک بلور و با انجماد جهت‌دار شامل کلیات، تعریف و خواص تک بلورها، ریخته‌گری با انجماد جهت‌دار، ریخته‌گری صنعتی بلور، روشهای تهیه تک بلورها: چالموز، بویمن و چکوالسکی، مسائل تهیه تک کریستالها
- ۷- ریخته‌گری مداوم شامل کلیات، انواع مقاطع، پاتیل‌ها، تاریخچه تحولات، اجزاء عمومی، دسته‌بندی روشها، مداوم‌ریزی در قالبهای متحرک و دوار، اشاره‌ای به مداوم‌ریزی در قالب‌های ساکن باز و بسته، مداوم‌ریزی بدون قالب

فرآیند انجماد پیشرفته



تعداد واحد: ۳

نوع واحد: نظری

پیشنیاز: تغییر حالت‌های متالورژیکی

هم‌نیاز: ندارد

سرفصل درس: (ساعت)

مقدمه‌ای بر فرآیند انجماد، جوانه‌زنی و سینتیک فصل مشترک، انجماد فلزات خالص و آلیاژهای تک فازی، انجماد تعادلی، اختلاط کامل در مذاب و عدم نفوذ در جامد. اختلاط کامل در مذاب و نفوذ در جامد، انجماد در حالتی که توزیع عنصر حل شده در مذاب تنها توسط نفوذ صورت گرفته و از نفوذ در جامد صرف‌نظر می‌شود. انجماد با اختلاط جزئی در مذاب و عدم اختلاط در جامد، جدایش ریز (Microsegregation) و عوامل مؤثر بر آن فواصل بین دندریتی انجماد ریختگی و شمش‌ها، رشد محوری و ستونی و عوامل مؤثر بر آنها.

جدایش درشت (Macrosegregation)، انواع و عوامل مؤثر در آن بررسی برخی از عیوب ریختگی در رابطه با فرآیند انجماد از جمله ترک گرم، تنش‌های پس ماند، تخلخل‌های گازی و انقباضی و ...

مرجع:

1. Solidification Processing M.C. Flemings.
2. Fundamentals of Solidification. W.Kurz, D.J. Fisher.

تغییر حالت‌های متالورژیکی

تعداد واحد : ۲

نوع درس : نظری

پیشنیاز : ترمودینامیک پیشرفته مواد

هم نیاز : ندارد



سرفصل درس : نظری ۳ واحد ۵۱ ساعت

تعریف تغییر حالت، انواع تغییر حالت - تئوری تغییر حالت براساس ترمودینامیک اصول تعادل پایدار و نیمه پایدار، طبقه‌بندی تغییر حالت، تعریف سرعت تغییر حالت، نیروی محرکه برای تغییر حالت، قوانین تعادل ترمودینامیک، انرژی آزاد محرکه و انرژی آزاد تغییر حالت، سرعت تغییر حالت شامل انرژی محرکه حرارتی برای حالتی که فقط یک نوع تغییر اتمی انجام می‌گیرد (تغییر حرارت مدنی)، تغییر حالت اتمی که شامل چند نوع تغییر اتمی هستند (تغییر حالت‌های ناهمگن)، اصول ماکزیمم سرعت تغییر حالت‌های تجربی تعریف سرعت تغییر حالت، روش‌های اندازه‌گیری سرعت تغییر حالت، معادلات سرعت تغییر حالت، معادلات سرعت - برای تغییر حالت غیر همگن، انرژی محرکه تجربی و پارامتری مؤثر، منحنی‌های تغییرات زمان، درجه حرارت و تغییر حالت اسپیندودالی بازیابی و تبلور مجدد: محاسبه سایر پارامترهای ترمودینامیکی، بازیابی، تغییر حالت توأم با جوانه‌زنی و بازیابی، قوانین تبلور مجدد، جوانه‌زنی در تبلور مجدد، حرکت مرز دانه‌ها، سرعت رشد دانه‌ها، تأثیر ناخالصی و فاز دوم در سرعت رشد دانه‌ها، ساختمان میکروسکوپی حاصل - تغییر حالت تعادل: جوانه‌زنی همزمان دو فاز (تغییر حالت پرلیتی) رشد همزمان دو فاز (پرلیت)، مکانیزم و مشخصات کریستالوگرافی فاز بینایت تغییر حالت دسته جمعی **Massive Trans** - تغییر حالت منظم به غیر منظم و قوانین سرعت تغییر حالت - پیر سختی: مناطق **G.P.** جوانه‌زنی و رشد مناطق، بزرگ شدن رسوبات، تأثیر جاهای خالی اضافی در تغییر حالت (فازهای اولیه، میانی و ثانویه)، تغییر حالت‌های بدون نفوذ و جابجا شدن اتمها: مشخصات تغییر حالت بدون نفوذ اتمها، ترمودینامیک تغییر حالت، جوانه‌زنی تغییر حالت‌های مارتنزیتی، خصوصیات سرعت تغییر حالت‌های مارتنزیتی، کریستالوگرافی تغییر حالت، مارتنزیت در فولاد.

مراجع

Kinetics of phase transformation, Buike.

Theory of phase transformation, Christian.



ترمودینامیک پیشرفته

تعداد واحد : ۲

نوع واحد : نظری

مروری به ترمودینامیک مواد: روابط بین توابع ترمودینامیکی - ترمودینامیک محلولها - محاسبه کمیت‌های مولی و اکتیویته محلولهای ایده‌آل - محلول‌های با قاعده - توابع اضافی - محلولهای رقیق: معادله گیبس دو هم در سیستم دوتایی - معادله گیبس دو هم در سیستم سه تایی - تغییر دادن حالت استاندارد - ضرایب تأثیر متقابل و پارامترهای تأثیر متقابل - نمودارهای منطقه پایداری ترکیبات - نمودارهای انرژی آزاد مولی نسبی با غلظت و ارتباط آنها با سیستم‌های دوتایی - حلالیت و عدم حلالیت، تعادل بین فازها با ترکیب متغیر - محاسبات نمودارهای فاز - نمودارهای اکتیویته - مولی جزئی.

ترمودینامیک آماری - انتروپی و احتمالات - معادله بولتزمن - انتروپی و ضمیمی و انتروپی حرارتی.

مدل شبه شیمیایی و سایر مدلها برای محلولها - تئوری مولکولی و تئوری یونی سرپاره‌ها - محلولهای منظم (Ordered) - نظم پر دامنه در محلولها و نظم کم دامنه، ترمودینامیک سطوح و مرز بین سطوح - انرژی سطحی و کشش سطحی - ناهم‌سویی انرژی سطوح - انرژی سطحی فلزات و ترکیبات - مرز داخلی و انفصال شیمیایی - انفصال ساختاری در مرزها - انرژی نابجایی‌ها - ترمودینامیک عیوب کریستالی عیوب در فلزات و مواد. الکتروشیمی - ترمودینامیک محلولهای آبی - رابطه انرژی شیمیایی و الکتریکی تأثیر غلظت بر نیروی الکتروموتیو - تشکیل پیل‌ها - پیل‌های غلظتی - ضریب درجه حرارت پیل - اثرات حرارتی - نمودارهای پوریه.

مراجع

1. Introduction to thermodynamics, of Materials, D.R. Gaskell.
2. Thermodynamics of solid, R.A. Swalin.
3. Physical chemistry of melts in Metallurgy vol. 1 & 2 F.D. Richardson
4. Chemical thermodynamics of Materials, C.H. Lopis.
- 5 - Thermodynamics of Material, D.Rangonc.

روشهای پیشرفته مطالعه مواد



تعداد واحد : ۲

نوع واحد : نظری

پیشنیاز : روشهای مطالعه مواد

سرفصل درس : (ساعت)

ویژگیهای اشعه X و تولید اشعه X: شبکه معکوس، پروژکسیون استرنوگرافی
دیفراکسیون اشعه X: قانون براگ، اسپکتروسکوپی اشعه X، محاسبه فاکتور لورنتز
(Lorentz)، فاکتور جذب، فاکتور حرارتی، محاسبه شدت پرتوهای دیفراکته در روش
پودر - تعیین جهت تک بلورها به روشهای فتوگرافی لایه برگشتی، روش فیلم متحرک،
دوقلوها، وضعیت نسبی رسوب و زمینه - بررسی بافت ورقهای نازک توسط فتوگرافی با اشعه
X و با روش دیفراکتورمتری، بررسی اثر تغییر شکل پلاستیک - تعیین ساختمان بلوری:
اندکس کردن بلورها، فاز منظم، غیر منظم - روشهای تجزیه شیمیایی: روشهای اندازه گیری
تنش.

میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM): اصول تشکیل تصویر و کنتراست، قدرت
وضوح و عمق میدان، عمق کانون، تکنیکهای آماده کردن نمونه: نقایص حاصله در موقع
تهیه نمونه و در هنگام مطالعه آنها - اجزاء میکروسکوپ الکترونی: میکروآنالیز - تئوری
سینماتیک، دیفراکسیون الکترونی: ساخت شبکه معکوس، رسم و اندکس کردن نقاط
مربوط به یک تک بلور، طرحهای حاصله از چند بلورهای بافت دار، اثر دیفراکسیون دوپل،
خطوط کیکوشی، تئوری سینتیکی، تئوری دینامیک کنتراست، کاربرد تئوری دینامیک برای
نابجاییها - دیفراکسیون و کنتراست در مواد دو فازه: سطوح مشترک بین دو فازه و
دیفراکسیون الکترونی توسط ذرات یک فاز ثانوی در حالتها پیوسته، ناپیوسته، و نیمه
پیوسته - کسب اطلاعات کمی بوسیله میکروسکوپ الکترونی، تعیین مشخصات نابجاییها،
میکروسکوپ الکترونی رویدنی (Scanning) - انواع مختلف و محاسن و کاربرد آنها،
نوع میکروسکوپی یونی، ساختمان میکروسکوپ رویدنی، بوجود آمدن تصویر، تصویر
مستقیم عیوب کریستالی در سطح SEM تولید اشعه ایکس و کاربرد آن در SEM،
اندازه گیری کمی و کیفی، کاربرد SEM در مطالعات مواد.

آزمایشگاه روشهای پیشرفته مطالعه مواد



تعداد واحد : ۱

نوع درس : عملی

پیشنیاز : روشهای مطالعه مواد

هم‌نیاز : روشهای پیشرفته مواد اولیه

سرفصل درس : (۳۲ ساعت)

مطالعه سطوح شکست (شکست نگاری) : بکمک SEM، روشهای تجربی مطالعه نایجایی‌ها (تقاطعی که نایجایی‌ها در سطح فلز آمده، نایجایی‌ها که توسط رسوب‌ها دکوراسیون شده‌اند، به روش توپوگرافی با اشعه ایکس، توسط میکروسکوپ الکترونی)، ویژگی‌های عمومی سطوح شکست (کلیواژ، آثار ریز میکروسکوپی) - بررسی رینکای تهیه شده از سطح شکست، روابط کلی موجود بین منظره شکستهای میکروسکوپی و ماکروسکوپی، اشکال ساختمانی شکست، اثر درجه حرارت و اثر عناصر آلیاژی، بر روی ویژگی‌های سطح شکست، بررسی مثالهایی از سطوح شکست فلزات و آلیاژها در شرایط مختلف.

روش لاوی انعکاسی جهت تعیین جهات کریستالی - روش لاوی عبوری جهت تعیین جهات کریستالی روش پودر جهت تشخیص ساختمان کریستالی - روش پودر جهت اندازه‌گیری پارامتر شبکه - روش پودر در مطالعه تغییر حالات منظم و غیر منظم.