بسم الله الرحمن الرحیم

اَللّٰهُمَّ صَلِّ عَلٰی مُحَمَّدٍ وَ آلِ مُحَمَّدٍ وَ عَجِّلْ فَرَجَهُمْ

دانش فنی تخصصی

رشتهٔ متالورژی

گروه مواد و فراوری

شاخهٔ فنی و حرفه‌ای

پایهٔ دوازدهم دورهٔ دوم متوسطه

وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

نام کتاب: دانش فنی تخصصی (رشتهٔ متالورژی) ـ ۲۱۲۵۳۲
پدیدآورنده: سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی
مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف: دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش
شناسه افزوده برنامه‌ریزی و تألیف: حسن حامد، حسن طبیب‌زاده، حسن عبدالله‌زاده ، امیر ریاحی، اسدالله عابدی، محمد معتمدی، غلامرضا خلج و میثم بهربر (اعضای شورای برنامه‌ریزی)
حسن عبدالله‌زاده، حسن حامد، غلامرضا خلج، اسدالله عابدی کردکندی، میثم بهربر و محمد معتمدی (اعضای گروه تألیف)
مدیریت آماده‌سازی هنری: ادارهٔ کلّ نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی
شناسه افزوده آماده‌سازی: مجید ذاکری یونسی(مدیر هنری)ـ ایمان اوجیان (صفحه‌آرا) ـ مریم کیوان(طراح جلد) ـ سعید آقایی(رسام)
نشانی سازمان: تهران: خیابان ایرانشهر شمالی ـ ساختمان شمارهٔ ۴ آموزش و پرورش (شهید موسوی)
تلفن: ۹ـ۸۸۸۳۱۱۶۱، دورنگار: ۸۸۳۰۹۲۶۶ ، کد پستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹
وب سایت: www.chap.sch.ir و www.irtextbook.ir
ناشر : شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران: تـهران ـ کیلومتر ۱۷ جادهٔ مخصوص کرج ـ خیابان ۶۱ (دارو پخش)
تلفن :۵ ـ ۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار: ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی: ۱۳۹ـ ۳۷۵۱۵
چاپخانه: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»
سال انتشار و نوبت چاپ: چاپ دوم ۱۳۹۸

کلیه حقوق مادی و معنوی این کتاب متعلق به سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی وزارت آموزش و پرورش است و هرگونه استفاده از کتاب و اجزای آن به‌صورت چاپی و الکترونیکی و ارائه در پایگاه‌های مجازی، نمایش، اقتباس، تلخیص، تبدیل، ترجمه، عکس‌برداری، نقاشی، تهیه فیلم و تکثیر به هر شکل و نوع بدون کسب مجوز از این سازمان ممنوع است و متخلفان تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

شابک ۰ ـ ۳۰۷۴ ـ ۰۵ ـ ۹۶۴ ـ ۹۷۸ **ISBN 978 – 964 – 05 – 3074–0**

اگر یک ملتی نخواهد آسیب ببیند باید این ملت اوّلاً با هم متحد باشد، و ثانیاً در هر کاری که اشتغال دارد آن را خوب انجام بدهد. امروز کشور محتاج به کار است. باید کار کنیم تا خودکفا باشیم. بلکه ان‌شاءالله صادرات هم داشته باشیم. شما برادرها الان عبادت‌تان این است که کار بکنید. این عبادت است.

امام خمینی (قُدِّسَ سِرُّهُ)

فهرست

پودمان اوّل: استخراج آهن و فولادسازی ۹

مقدمه ۱۰
کانی‌ها (Ores) ۱۱
تولید آهن خام از سنگ آهن ۱۵
فولادسازی و مراحل آن ۲۴
تولید فولاد از آهن خام به روش زیمنس ـ مارتین (SM) ۳۰
تولید فولاد صنعتی از آهن خام به روش (L - D) ۳۱
تولید فولاد از آهن خام با استفاده از کورهٔ قوسی ۳۳
ارزشیابی ۳۵

پودمان دوم: انتخاب مواد در متالورژی ۳۷

انتقال حرارت ۳۸
سوخت‌ها ۵۰
فلزات و آلیاژهای زود ذوب ۵۵
ارزشیابی ۶۱

پودمان سوم: مدل‌سازی با استفاده از چاپگرهای سه بعدی ۶۳

مقدمه ۶۴
مدل‌سازی با نرم‌افزار Solidworks ۶۴
مدل‌سازی سه‌بعدی در نرم‌افزار سالیدورکز ۸۲

نحوهٔ نمایش مدل در محیط نرم‌افزار ۸۴
مدل‌سازی احجام دوار ۸۶
گردکردن لبه‌های مدل (Fillet) ۹۱
ایجاد تیغه‌های تقویتی (Rib) ۹۳
نماگیری از مدل ۹۴
چاپگر سه بعدی (3D Printer) ۹۸
ارزشیابی ۱۱۵

پودمان چهارم : روش‌های پیشرفتهٔ ریخته‌گری ۱۱۷

شمش‌ریزی ۱۱۸
ریخته گری کوبشی squeeze casting ۱۲۷
ارزشیابی ۱۳۲

پودمان پنجم : کسب اطلاعات فنی ۱۳۳

مهارت‌های سواد اطلاعاتی ۱۳۴
بسترهای دسترسی به اطلاعات ۱۳۷
ارزشیابی ۱۶۵

مراجع ۱۶۶

سخنی با هنرآموزان عزیز

در راستای تحقق اهداف سند تحول بنیادین آموزش‌وپرورش و برنامه درسی ملی جمهوری اسلامی ایران و تغییرات سریع عصر فناوری و نیازهای متغیر جامعه بشری و دنیای کار و مشاغل، برنامه درسی رشته متالورژی بازطراحی و براساس آن محتوای آموزشی نیز تألیف گردید. این کتاب و درس از خوشه دروس شایستگی‌های فنی می‌باشد که در سبد درسی هنرجویان برای سال دوازدهم تدوین و تألیف شده است. و مانند سایر دروس شایستگی و کارگاهی دارای ۵ پودمان می‌باشد. کتاب دانش فنی تخصصی مباحث نظری و تفکیک‌شده دروس کارگاهی و سایر شایستگی‌های رشته را تشکیل نمی‌دهد بلکه پیش‌نیازی برای شایستگی‌های لازم در سطوح بالاتر صلاحیت حرفه‌ای ـ تحصیلی می‌باشد. هدف کلی کتاب دانش فنی تخصصی آماده‌سازی هنرجویان برای ورود به مقاطع تحصیلی بالاتر و تأمین نیازهای آنان را در راستای محتوای دانش نظری است. یکی از پودمان‌های این کتاب با عنوان «کسب اطلاعات فنی» با هدف یادگیری مادام‌العمر و توسعه شایستگی‌های هنرجویان بعد از دنیای آموزش و ورود به بازار کار، سازماندهی محتوای شده است. این امر با آموزش چگونگی استخراج اطلاعات فنی موردنیاز از متون فنی غیر فارسی و جداول، راهنمای ماشین‌آلات و تجهیزات صنعتی، دستگاه‌های اداری، خانگی و تجاری و درک مطلب آنها در راستای توسعه شایستگی‌های حرفه‌ای محقق خواهد شد. تدریس کتاب در کلاس درس به صورت تعاملی و با محوریت هنرآموز و هنرجوی فعالی صورت می‌گیرد. به مانند سایر دروس هنرآموزان گرامی برای هر پودمان یک نمره در سامانه ثبت نمرات برای هنرجو ثبت کنند. نمره قبولی در هر پودمان حداقل ۱۲ می‌باشد و نمره هر پودمان از دو بخش ارزشیابی پایانی و مستمر تشکیل می‌شود. این کتاب مانند سایر کتاب‌ها جزئی از بسته آموزشی تدارک دیده شده برای هنرجویان است. شما می‌توانید برای آشنایی بیشتر با اجزای بسته، روش‌های تدریس کتاب، شیوه ارزشیابی مبتنی بر شایستگی، مشکلات رایج در یادگیری محتوای کتاب، بودجه‌بندی زمانی، نکات آموزشی شایستگی‌های غیرفنی، آموزش ایمنی و بهداشت و دریافت راهنما و پاسخ برخی از فعالیت‌های یادگیری و تمرین‌ها به کتاب راهنمای هنرآموز این درس مراجعه کنید. در هنگام ارزشیابی استاندارد عملکرد از ملزومات کسب شایستگی می‌باشند.

کتاب دانش فنی تخصصی شامل پودمان‌هایی به شرح زیر است:

پودمان اول: استخراج آهن و فولادسازی

پودمان دوم: انتخاب مواد در متالورژی

پودمان سوم: مدل‌سازی با استفاده از پرینترهای سه‌بعدی

پودمان چهارم: روش‌های پیشرفته ریخته‌گری

پودمان پنجم: کسب اطلاعات فنی

هنرآموزان گرامی در هنگام یادگیری و ارزشیابی، هنرجویان بایستی کتاب همراه هنرجو را با خود داشته باشند.

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش

سخنی با هنرجویان عزیز

شرایط در حال تغییر دنیای کار در مشاغل گوناگون، توسعه فناوری‌ها و تحقق توسعه پایدار، ما را بر آن داشت تا برنامه‌های درسی و محتوای کتاب‌های درسی را در ادامه تغییرات پایه‌های قبلی براساس نیاز کشور و مطابق با رویکرد سند تحول بنیادین آموزش و پرورش و برنامه درسی ملی جمهوری اسلامی ایران در نظام جدید آموزشی بازطراحی و تألیف کنیم. مهم‌ترین تغییر در کتاب‌ها درسی تغییر رویکرد آموزشی، آموزش و ارزشیابی مبتنی‌بر شایستگی است. شایستگی، توانایی انجام کار در محیط واقعی براساس استاندارد عملکرد تعریف شده است. توانایی شامل دانش، مهارت و نگرش می‌شود. در رشته تحصیلی ـ حرفه‌ای شما، چهار دسته شایستگی درنظر گرفته است:

۱ـ شایستگی‌های فنی برای جذب در بازار کار مانند قالب‌گیری ماسه‌ای، قالب‌گیری CO_2، ماهیچه‌گیری CO_2 و..

۲ـ شایستگی‌های غیرفنی برای پیشرفت و موفقیت در آینده مانند مسئولیت‌پذیری، نوآوری و مصرف بهینه انرژی

۳ـ شایستگی‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات مانند کار با نرم‌افزارها و انواع شبیه‌سازها

۴ـ شایستگی‌های مربوط به یادگیری مادام‌العمر مانند کسب اطلاعات از منابع دیگر

براین‌اساس دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی‌وحرفه‌ای و کاردانش مبتنی بر اسناد بالادستی و با مشارکت متخصصان برنامه‌ریزی درسی فنی‌وحرفه‌ای و خبرگان دنیای کار مجموعه اسناد برنامه درسی رشته‌های شاخه فنی‌وحرفه‌ای را تدوین نموده‌اند که مرجع اصلی و راهنمای تألیف برای هر یک از کتاب‌های درسی در هر رشته است.

درس دانش فنی تخصصی، از خوشه دروس شایستگی‌های فنی می‌باشد که ویژه رشته متالورژی برای پایهٔ ۱۲ تألیف شده است. کسب شایستگی‌های فنی و غیرفنی این کتاب برای موفقیت آینده شغلی و توسعه آن براساس جدول توسعه حرفه‌ای بسیار ضروری است. هنرجویان عزیز سعی نمایید؛ تمام شایستگی‌های آموزش داده شده در این کتاب را کسب و در فرایند ارزشیابی به اثبات رسانید.

این کتاب نیز شامل پنج پودمان است. هنرجویان عزیز پس از طی فرایند یاددهی ـ یادگیری هر پودمان می‌توانند شایستگی‌های مربوط به آن را کسب کنند. در پودمان «کسب اطلاعات فنی» هدف توسعه شایستگی‌های حرفه‌ای شما بعد از اتمام دوره تحصیلی در مقطع کنونی است تا بتوانید با درک مطالب از منابع غیرفارسی در راستای یادگیری در تمام طول عمر گام بردارید. و در دنیای متغیر و متحول کار و فناوری اطلاعات خود را به‌روزرسانی کنید. هنرآموز محترم شما مانند سایر دروس این خوشه برای هر پودمان یک نمره در سامانه ثبت نمرات منظور می‌نماید. نمره قبولی حداقل ۱۲ می‌باشد. درصورت احراز نشدن شایستگی پس از ارزشیابی اول، فهرست جبران و ارزشیابی مجدد تا آخر سال تحصیلی وجود دارد. در کارنامه شما این درس شامل ۵ پودمان درج شده که هر پودمان از دو بخش نمره مستمر و نمره شایستگی تشکیل می‌شود. و چنانچه در یکی از پودمان‌ها نمره قبولی را کسب نکردید، لازم است همان

پودمان‌ها مورد ارزشیابی قرار گیرید. همچنین این درس دارای ضریب ۴ بوده و در معدل کل شما تأثیر می‌گذارد.

همچنین در کتاب همراه هنرجو واژگان پرکاربرد تخصصی در رشته تحصیلی ـ حرفه‌ای شما آورده شده است. کتاب همراه هنرجوی خود را هنگام یادگیری آزمون و ارزشیابی حتماً همراه داشته باشید. در این درس نیز مانند سایر دروس اجزایی دیگر از بسته آموزشی درنظر گرفته شده است و شما می‌توانید با مراجعه به وبگاه رشته خود با نشانی www.tvoccd.oerp.ir از عناوین آنها مطلع شوید.

فعالیت‌های یادگیری در ارتباط با شایستگی‌های غیرفنی مانند مدیریت منابع، اخلاق حرفه‌ای، حفاظت از محیط‌زیست و شایستگی‌های یادگیری مادام‌العمر و فناوری اطلاعات همراه با شایستگی‌های فنی طراحی و در کتاب درسی و بسته آموزشی ارائه شده است. شما هنرجویان عزیز کوشش نمایید این شایستگی‌ها را در کنار شایستگی‌های فنی آموزش ببینید، تجربه کنید و آنها را در انجام فعالیت‌های یادگیری به‌کار گیرید.

امیدواریم با تلاش و کوشش شما هنرجویان عزیز و هدایت هنرآموزان گرامی، گام‌های مؤثری در جهت سربلندی و استقلال کشور و پیشرفت اجتماعی و اقتصادی و تربیت مؤثری شایسته جوانان برومند میهن اسلامی برداشته شود.

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش

پودمان اوّل

استخراج آهن و فولادسازی

مقدمه

کلیهٔ موادی که کرهٔ زمین و جو را تشکیل می‌دهند، ترکیبی از عناصر مختلف با یکدیگر هستند. این عناصر می‌توانند فلزات (Metals)، شبه فلزات (Metalloid) و غیر فلزات (Non Metals) باشند. از بین عناصر کشف شده که از صد عنصر هم تجاوز می‌کند، فقط حدود ۴۰ عنصر در زندگی روزمره و صنایع به‌طور وسیع مورد استفاده بوده و نیاز انسان‌ها را به‌صورت‌های مختلف تأمین می‌کند.

این عناصر به‌طور خالص و یا به‌صورت ترکیب و یا مخلوطی از آنها در صنعت و زندگی روزمره به‌کار می‌روند. متوسط چگالی کره زمین حدود gr/cm^3 ۵/۶ـ۵/۳ است. به این ترتیب که سبک‌ترین مواد تشکیل‌دهنده آن روی پوسته سطحی زمین و سنگین‌ترین مواد، مرکز زمین را تشکیل می‌دهند. در مرکز زمین مواد به‌صورت گداز (مذاب) با درجهٔ حرارت بالا وجود دارند، به‌طوری‌که متوسط چگالی پوستهٔ زمین حدود gr/cm^3 ۲/۷۶ است. عناصر تشکیل‌دهنده مواد معدنی که تا به امروز کشف شده در جدول ۱ همراه با درصد نسبی آنها در کرهٔ زمین آورده شده است.

جدول ۱

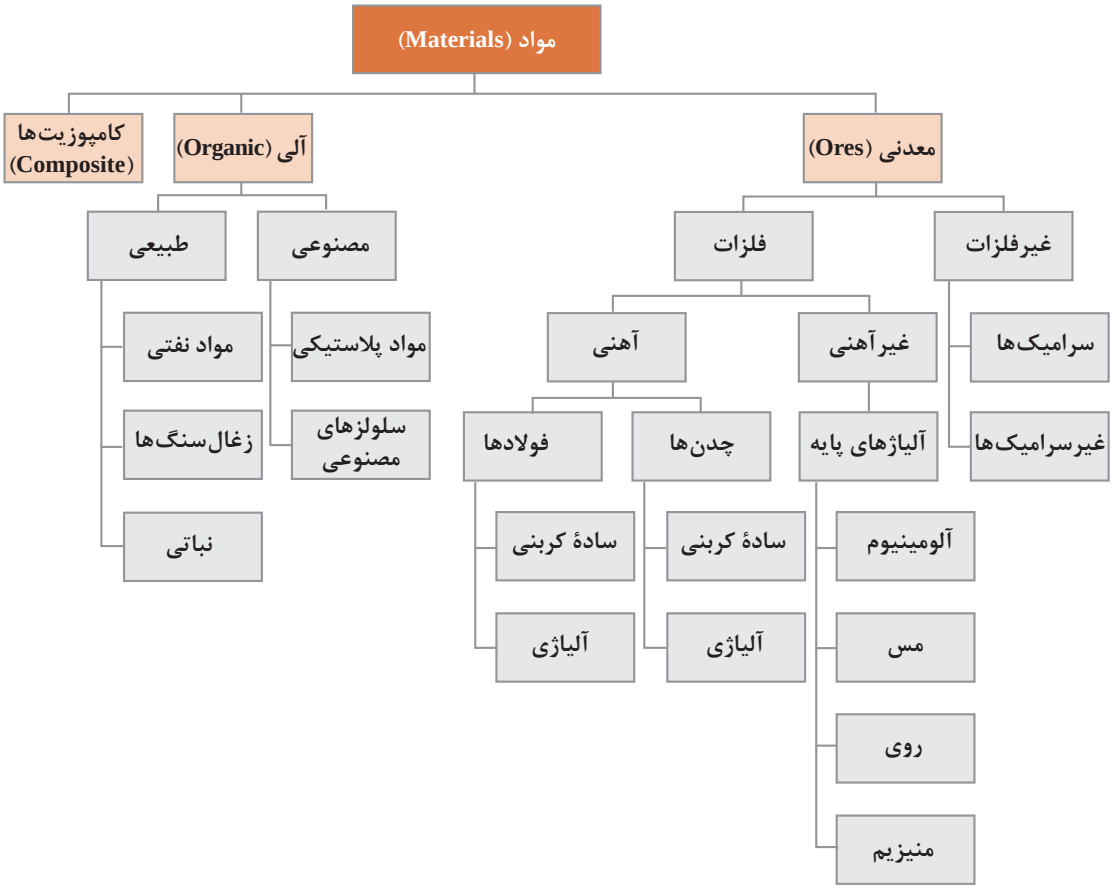
نام عنصر	علامت اختصاری	درصد فراوانی در کره زمین	نام عنصر	علامت اختصاری	درصد فراوانی در کره زمین
اکسیژن	O	۴۶/۴۶	هیدروژن	H	۰/۱۴
سیلیسیم	Si	۲۷/۶۷	فسفر	P	۰/۱۲
آلومینیوم	Al	۸/۰۷	کربن	C	۰/۰۹
آهن	Fe	۵/۰۶	منگنز	Mn	۰/۰۹
کلسیم	Ca	۳/۶۴	گوگرد	S	۰/۰۶
سدیم	Na	۲/۷۵	کلر	Cl	۰/۰۵
پتاسیم	K	۲/۵۸	فلوئور	F	۰/۰۲
منیزیم	Mg	۲/۰۷	استرانسیم	Sr	۰/۰۲
تیتانیم	Ti	۰/۶۲	بقیه عناصر		۰/۵

همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌کنید، ۱۷ عنصر حدود ۹۹/۵ درصد کل کره زمین را تشکیل داده است، درحالی‌که ۸۷ عنصر دیگر در مجموع ۰/۵ درصد کل کره زمین را تشکیل می‌دهند. کربن که منشأ انرژی سوختی است، کمتر از ۰/۱ درصد کل کره زمین را تشکیل می‌دهد.

تحقیق کنید

تحقیق کنید ترتیب قرار گرفتن ترکیبات آلومینیوم، آهن، روی، منگنز، طلا، پلاتین و منیزیم از پوستهٔ زمین به مرکز چگونه است.

به‌طور کلی می‌توان مواد را به شکل زیر دسته‌بندی کرد:



به غیر از طلا و پلاتین که فلزات نجیب نامیده می‌شوند، بقیهٔ فلزات به علت میل ترکیبی شدید با اکسیژن و سایر عناصر، در طبیعت به‌صورت آزاد و خالص یافت نمی‌شوند.

کانی‌ها (Ores)

به‌طور کلی کانی‌ها، ترکیب یا محلول یا مخلوطی از فلزات، شبه فلزات و غیرفلزات هستند که کل کرهٔ زمین را تشکیل می‌دهند. بیشتر کانی‌های مورد استفاده در صنایع در پوستهٔ بیرونی زمین قرار دارند.
کانی‌ها به دو دسته تقسیم می‌شوند:

- **کانی‌های آلی یا اُرگانیک (Organic):** بیشتر ترکیب آنها مواد کربنی و هیدروژنی است.
- **کانی‌های معدنی یا غیراُرگانیک:** بیشتر کرهٔ زمین را تشکیل می‌دهند، معمولاً به‌صورت‌های اکسیدی، کربناتی، سولفاتی، سولفیدی، سیلیکاتی و گاهی خالص وجود دارند. به عنوان مثال کانی‌های آهن که به‌صورت‌های اکسیدی، کربناتی و سولفاتی وجود دارند.

کانی‌های قابل استخراج، کانی‌هایی هستند که در زمان استخراج، صرفه اقتصادی داشته باشند.

سنگ‌های معدن آهن

فلز آهن در طبیعت به‌صورت ترکیبات مختلف یافت می‌شود. این فلز در صورتی قابل بهره‌برداری است که مقدار آهن آن در ترکیبات مختلف حداقل ۳۰ درصد باشد. ترکیبات مختلف سنگ‌های معدن آهن همراه با درصد خلوص آنها در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲

سنگ معدن	ترکیب شیمیایی	نام شیمیایی	درصد خلوص
اکسیدها			
ماگنتیت Magnetite	Fe_3O_4	آهن اکسید مغناطیسی	۷۲
هماتیت Hematite	Fe_2O_3	فریک اکسید	۷۰
لیمونیت Limonite	$FeO(OH) . nH_2O$	آهن اکسید هیدراته	۶۰
کربنات‌ها			
سیدریت Ciderite	$FeCO_3$	آهن کربنات	۴۸
سولفیدها			
پیریت Pyrite	FeS_2	آهن سولفید	۳۰

مراحل استخراج سنگ معدن

مراحل استخراج سنگ معدن به شرح زیر است:

۱ به اندازه‌ای که قابل حمل باشد، شکسته یا خرد می‌شود.

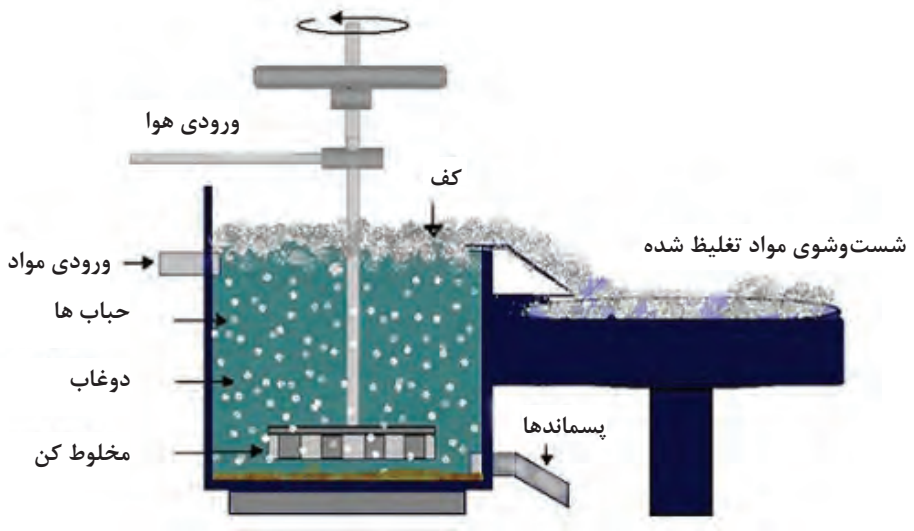
۲ برحسب مورد و امکانات موجود، هدایت آنها تا محل سنگ‌شکن‌ها، به‌وسیلهٔ نوار نقاله، ریل راه‌آهن و کامیون انجام می‌شود.

۳ خرد کردن سنگ‌ها به‌وسیله سنگ‌شکن‌های مخصوص و آسیاب‌های گلوله‌ای، از تکه‌های به اندازهٔ ۳۰سانتی‌متر تا پودر به اندازهٔ ذرات ۰/۰۰۵ میلی‌متر یا ۵ میکرون در چهار اندازهٔ مختلف انجام می‌گیرد. این مراحل شامل شکستن، خرد کردن اولیه، ثانویه و آسیاب کردن تا اندازهٔ ۵ میکرون است.

دانه‌بندی یا کانه‌آرایی

دانه‌بندی یا کانه‌آرایی به دو شکل انجام می‌شود: روش خشک و روش آبی.

- در روش خشک از غربال‌های مختلف استفاده می‌شود.
- روش آبی بر این اساس است که در آب، دانه‌های درشت زودتر از دانه‌های ریز ته‌نشین شده و قابل جداشدن هستند. در این روش از جداکننده‌های مخروطی و گردابی استفاده می‌شود.



شکل ۱

پر عیار (تغلیظ) سنگ معدن

عملیاتی که به منظور جدا کردن مواد اضافهٔ ناخواسته از سنگ معدن انجام شده و باعث افزایش خلوص سنگ معدن می‌شود، را پر عیار کردن می‌گویند.

مهم‌ترین روش‌های پر عیار کردن سنگ معدن (آهن) عبارت‌اند از:

۱ **روش تفکیک مغناطیسی:** در این روش سنگ آهن خرد شده را از کنار یک حوزهٔ مغناطیسی قوی عبور می‌دهند، تا آهن اکسید از سایر اکسیدها و ناخالصی‌های دیگر موجود در سنگ معدن جدا شود.

۲ **روش تفکیک وزنی:** در این روش از تفاوت چگالی ذرات سنگ معدن آهن نسبت به سایر ذرات سنگ‌های معدن دیگر که چگالی بیشتری دارند و زودتر ته‌نشین می‌شوند، استفاده می‌گردد.

۳ **روش شناورسازی (فلوتاسیون):** در این روش سنگ معدن پودر شده و در حوضچه‌های مخصوص شامل مایع (عموماً آب) ریخته شده و به هم زده می‌شود. سپس هوا یا گاز دیگری از ته حوضچه در مایع کلوئیدی دمیده می‌شود. در این شرایط ذرات سنگ آهن با حباب هوا یا گاز در سطح مایع شناور می‌شوند. با جدا کردن کف‌های شناور و خشک کردن آن، پودر سنگ معدن تغلیظ شده به‌دست می‌آید.

۴ **تکلیس کردن:** در این روش سنگ معدن (مثلاً آهن کربنات) را تا $900^{\circ}C$ حرارت داده و به این ترتیب گاز CO_2 جدا شده و آهن اکسید (فایالیت) ($2FeO \cdot SiO_2$) به‌دست می‌آید.

$$\text{(سیدریت)}\ FeO_3 \xrightarrow{900^{\circ}C} FeO + O_2$$

۵ **روش شست‌وشو دادن:** با چند بار شست‌وشو دادن، ذرات ریز خاکستر سیلیس و آهن از سنگ معدن جدا شده و سنگ معدن آهن قابل استفاده در تولید فولاد به‌دست می‌آید.

آگلومراسیون (Aglomeration)

سنگ معدن پس از استخراج، دانه‌بندی و تغلیظ باید ذوب شود. برای ذوب کردن سنگ معدن تغلیظ شده، باید هوای داغ حاصل از سوخت کوره از بین لایه‌های سنگ معدن عبور داده شود. در این صورت پودر سنگ معدن حفره‌های خروج هوا را مسدود می‌کند، بنابراین ذوب آن به شکل پودر غیرممکن می‌شود. برای رفع این نقص، پودر سنگ معدن را به هم چسبانده و به‌صورت آجر متخلخل (briquette)، فندقه (Granular)، گندله (Conglomerate)، گلوله (Ball) در می‌آورند تا در داخل کورهٔ ذوب، هوای داغ حاصل از سوخت کک بتواند در بین و داخل تکه‌های شارژ حرکت کرده و آنها را ذوب کند. به عملیات ساخت بریکت، فندقه و یا گندله‌سازی از پودر سنگ معدن تغلیظ شده، آگلومراسیون می‌گویند.

آگلومراسیون به دو روش عمده انجام می‌شود:

روش اول: اتصال پودر سنگ معدن تغلیظ شده در قالب از طریق حرارت و یا تفجوشی (Sintering) صورت می‌گیرد. در این روش دانه‌های ریزتر شارژ و یا مواد افزودنی با نقطه ذوب پایین‌تر ذوب شده و دانه‌های درشت‌تر شارژ و سایر مواد را به هم می‌چسباند. در نتیجه شارژ یکپارچه و به‌صورت آجر (بریکت) یا گندله خواهد شد. این روش آگلومره، به روش حرارتی (گرم) معروف است. در روش حرارتی، درجهٔ حرارت در حدود $1200^{\circ}C$ است که در حین فرایند، احتمال تغییرات شیمیایی وجود دارد.

روش دوم: در این روش، دانه‌ها را با استفاده از رطوبت به‌صورت خمیری یکپارچه درآورده و سپس در قالب‌های آجری شکل خشک می‌کنند. در این روش به دلیل عدم استفاده از حرارت بالا در خودگیری، احتمال تغییرات شیمیایی وجود ندارد.

مواد اولیه جهت آگلومراسیون برای عیار کردن عبارت‌اند از:

۱ پودر کانی آهن ۲ آهک پخته ۳ دولومیت ($CaMg(CO_3)_2$)

۴ پودر کک ۵ فرومنگنز خرد شده ۶ رطوبت

$$CaCO_3 \xrightarrow{1000^{\circ}C} CaO + CO_2$$

مخلوط مواد فوق باید به‌وسیلهٔ یک مخلوط‌کن کاملاً یکنواخت شوند.

نکته

عموماً به دلیل نیاز به وجود تخلخل در آگلومره (بریکت یا گندله) برای جذب حرارت بهتر، لازم است نسبت درصد اکسیدهای ترکیبات قلیایی به اکسیدهای اسیدی یعنی $\frac{CaO + MgO + \cdots}{SiO_2 + Fe_2O_3 + \cdots}$ بیشتر بوده و به حدود ۱/۳ تا ۱/۴ برسد.

واکنش دولومیت و سنگ آهک گرماگیر است و باعث پایین آوردن راندمان حرارتی کوره می‌شود. به همین دلیل به‌جای سنگ آهک و دولومیت، از آهک پخته (CaO) استفاده می‌شود.

با افزایش مقدار دولومیت و سنگ آهک، به همان نسبت مقدار کک سوختنی نیز افزایش می‌یابد. در ذوب آهن اصفهان مقدار آهک مصرفی به‌صورت ۱۲۳Kg سنگ آهک و ۸Kg آهک پخته (CaO) برای ذوب هر تن آگلومراسیون در نظر گرفته می‌شود. کک مصرفی نیز بستگی به مقدار درصد آهک مصرفی دارد و کلاً

برای تولید یک تن آهن خام حدود ۵۰۰ Kg کک با حدود ٪۸۵ کربن خالص نیاز است.
روش آگلومراسیون پیوسته یا مداوم به نام روش «دواید لوید» معروف است. در این روش یک سیستم زنجیره‌ای در حال حرکت به نام «کانوایر» وجود دارد. که روی آن محفظه‌های قالب بریکت به‌صورت شبکه شبکه نصب شده است. در مرحلهٔ اول درون محفظهٔ قالب با مادهٔ محافظ پودر سنگ آهک پوشانده می‌شود. در مرحلهٔ دوم مواد عیار شده جهت آگلومره وارد محفظه قالب می‌شود. در مرحلهٔ سوم حرارت توسط مشعل روی مواد عیار شده درون قالب‌ها دمیده می‌شود و هم‌زمان در زیر نوار نقاله و قالب‌های پر شده، دمنده‌هایی نصب شده تا گرمای حاصل از شعله را (تا ۱۲۰۰°C) به‌صورت یکنواخت، به سطح و عمق سنگ آهن تغلیظ شده، برساند و در نتیجه سنگ آهن تغلیظ شده، پخته و زینتر شود.

شکل ۲

تحقیق کنید

تحقیق کنید کدام یک از روش‌های آگلومراسیون (روش گرم یا سرد) با کیفیت و اقتصادی‌تر است؟ چرا؟

نکته

ترکیب فایالیت به فرمول ($2FeO \cdot SiO_2$) مادهٔ اصلی برای زینتر ذرات در آگلومره است، که با کاهش مقدار آهک استحکام خوبی به آگلومره می‌دهد.

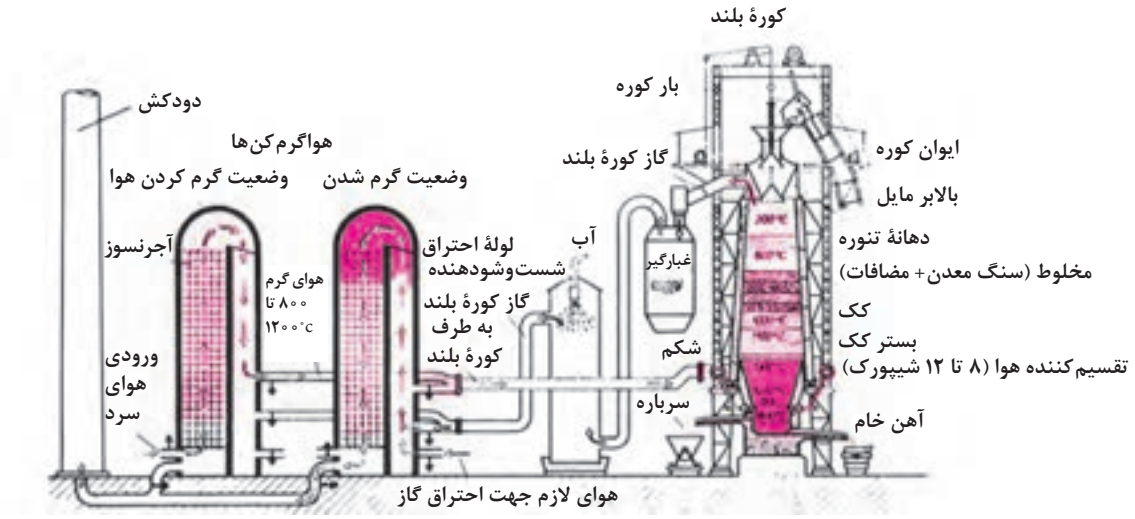
تولید آهن خام از سنگ آهن

آهن خام به تنهایی در صنعت به عنوان یک آلیاژ استاندارد مورد استفاده قرار نمی‌گیرد، بلکه پس از تصفیه و کنترل ترکیب شیمیایی با استفاده از کوره‌های دیگر به‌صورت فولاد یا چدن، در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرد.
تولید آهن خام توسط کوره‌های خاص و با روش‌های مختلف انجام می‌گیرد که عموماً دو روش آن کاربرد بیشتری دارد. این دو روش عبارت‌اند از:

الف) روش احیای غیرمستقیم آهن از سنگ معدن
ب) روش احیای مستقیم آهن از سنگ معدن

تولید آهن خام به روش احیای غیرمستقیم: برای احیای غیرمستقیم فلز آهن از سنگ معدن تغلیظ شده و در نتیجه تولید آهن خام، از کوره بلند استفاده می‌شود. کورهٔ بلند اولین و صنعتی‌ترین کوره‌ای است که به‌صورت فراگیر و گسترده برای تولید آهن خام از سنگ‌های معدن تغلیظ شده آهن مورد استفاده قرار گرفته

و هنوز هم به‌عنوان مهم‌ترین کوره برای تولید انبوه آلیاژهای آهنی خام کاربرد دارد. به عبارت دیگر می‌توان گفت که کوره بلند پایه اصلی ذوب آهن است.



شکل ۳

کورهٔ بلند از قسمت‌های مختلف اصلی و جانبی تشکیل شده است.

● قسمت اصلی کوره که وظیفهٔ ذوب را به عهده دارد منطقهٔ ذوب و کربونیزه است. که از دو مخروط ناقص تشکیل شده که روی یک استوانه به نام بوته سوار شده است. وظیفهٔ بوته جمع‌آوری مذاب است. بوتهٔ کوره به تنهایی نمی‌تواند مجموعه منطقه ذوب و کربونیزه را تحمل کند، بنابراین برای اطمینان از سلامت کوره در هنگام کار، مجموعهٔ منطقه ذوب، کربونیزه و بوته کوره به‌وسیله پایه‌ای به نام فونداسیون نگهداری می‌شود.

● بدنهٔ کوره به‌وسیله پایه‌ای مدور نگهداری می‌شود. این رینگ یا پایهٔ مدور نیز روی پایه جداگانه‌ای قرار می‌گیرد که فونداسیون بدنهٔ کوره را تشکیل می‌دهد. شکم کوره بین منطقه «کربونیزه و ذوب» و بدنهٔ کوره است.

قسمت بالای مخروط فوقانی، برای شارژ یا باردهی به کوره در نظر گرفته شده است. در قسمت انتهایی مخروط ناقص دهانه قیفی شکل قرار دارد که هنگام شارژ کوره (ریختن مواد ذوبی یا باردهی) دهانهٔ قیفی شکل باز می‌شود و پس از پایان باردهی (شارژ) کوره، دهانه آن بسته می‌شود. در کنار کورهٔ بلند، بالابر (کانوایر شیب‌دار) یا نوار نقاله قرار دارد که توسط آن واگن‌ها یا پالت‌های مخصوص محتوی مواد شارژ به بالای سکو جهت شارژ کوره هدایت می‌شود.

نکته

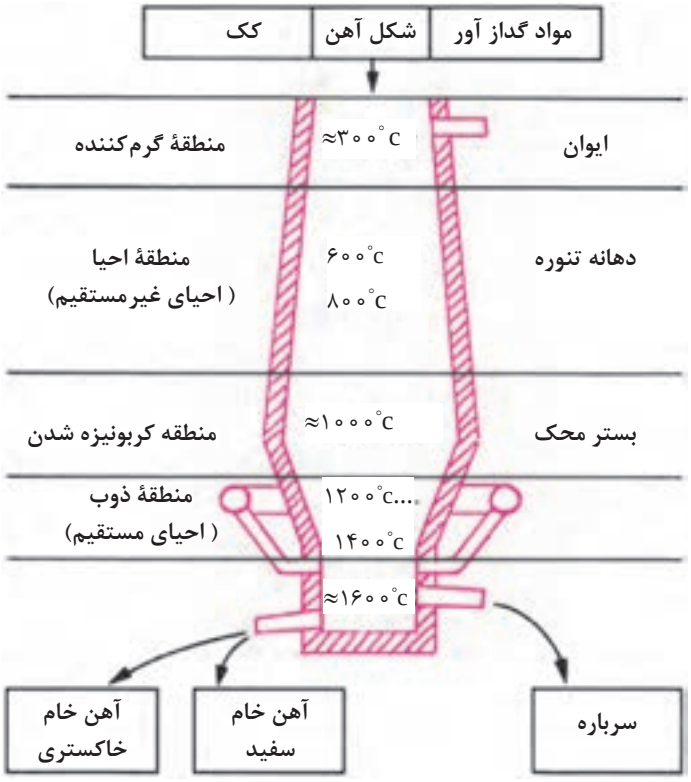
کلیهٔ مواد ورودی به کوره بلند جهت ذوب و کمک ذوب را شارژ کوره بلند می‌نامند.

پس از راه‌اندازی (تغذیه کردن کک بستر و روشن کردن کوره بلند) و رساندن حرارت کک بستر تا $1400^{\circ}C$، شارژ کوره شروع می‌شود. کک بستر از نوع کک‌های مرغوب و درشت است که استحکامی بالاتر از کک سوختنی دارد.

ترتیب شارژ کوره از پایین به بالا به شرح زیر است:

۱ـ مواد سوختی مانند کک، با راندمان حرارتی بالا.

۲ـ مواد سیاله یا کمک ذوب مثل آهک (CaO)، سنگ آهک $CaCO_3$ یا دولومیت ($CaMg(CO_3)_2$) یا کلسیم فلوئورید (CaF_2).
۳ـ مواد ذوبی مانند سنگ معدن تغلیظ شده آهن.



شکل ۴

که موارد فوق به ترتیب به‌وسیلهٔ نوار نقاله به داخل کوره هدایت می‌شود و روی کک بستر قرار می‌گیرند.
علت در نظر گرفتن ترتیب مواد ورودی شارژ کوره این است که:
عموماً شارژ مواد ذوبی و کمک ذوب از بالای کوره به طرف پایین صورت می‌گیرد، درحالی‌که گرمایش و حرارت‌دهی مواد شارژ در جهت عکس یعنی از پایین به بالا انجام می‌شود. به این ترتیب حرارت حاصل از سوخت به طرف دهانهٔ خروجی کوره حرکت می‌کند و در نزدیکی دهانه، شارژ کوره، رطوبت‌زدایی، اکسیدزدایی و پیش‌گرم می‌شود. در پایین‌تر از شکم کوره، عمل کربونیزه شدن صورت می‌گیرد و در پایین‌تر شارژ ذوب می‌شود. در تمام مراحل قطره‌های ذوب شده مواد ذوبی خام با آهک تماس پیدا می‌کند و پس از تصفیه، اکسیژن‌زدایی و گوگردزدایی، سیال تر شده و به بوتهٔ کوره راه پیدا می‌کند.
پوستهٔ خارجی کوره بلند از ورق‌های ضخیم فولادی تشکیل شده است که گاهی بدنه، شکم و قسمت کربونیزه یکپارچه است. گاهی نیز به دلیل سنگینی بیش از حد بوته و مذاب داخل آن، شکم کوره را از قسمت منطقه ذوب و کربونیزه به بالا جدا می‌کنند و با استفاده از طوقی به شکل رینگ با پایه‌های جوش داده شده به آن، فونداسیونی جدا برای آن قسمت تهیه می‌کنند.

شکل ۵

جدارهٔ داخلی کوره از آجرهای دیرگداز یا مواد دیرگداز کوبیدنی تشکیل شده که براساس ظرفیت کوره، ضخامت جداره نیز تغییر می‌کند. ضخامت جداره حدود ۵۰ سانتی‌متر است.
در کوره‌های بلند، حد فاصل بین بوته و اتالاژ، چندین فن یا دمنده (تویر)، دورتادور منطقه ذوب و اتالاژ را احاطه کرده است. هوای پیش‌گرم در اطاق‌های با آجر چینی خاص (Cheke works) ایجاد می‌شود. که سطوح آجرها توسط هوای گرم خروجی از دهانهٔ کوره داغ شده و سپس هوای آزاد از کنار آنها عبور کرده و گرم می‌شود. هوای گرم توسط دمنده به داخل کوره روی کک بستر دمیده می‌شود. این تأسیسات رژنراتور نام دارد که حداقل دو اطاق بزرگ دارد که به نوبت هوای گرم را به کوره می‌رسانند.

پس از روشن کردن کوره و دمش هوا، درجهٔ حرارت در این منطقه به حدود ۱۲۰۰ تا ۱۴۰۰°C می‌رسد. هوای گرم پس از کربونیزه و ذوب کردن شارژ به طرف مناطق بالای کوره حرکت کرده و در حین حرکت احیای غیرمستقیم شارژ را انجام می‌دهد.
کربن میل ترکیبی زیادی با آهن دارد. درجهٔ حرارت هم بالا است. با این شرایط کربن در آهن حل شده یا با آن ترکیب می‌شود و تولید آهن کاربید (Fe_3C) می‌کند و می‌تواند چدن یا فولاد خام تولید کند.

تحقیق کنید

۱ تحقیق کنید چرا قطر داخلی کورهٔ بلند از قسمت ذوب به سمت بالا کاهش می‌یابد؟
۲ در منطقهٔ احیا (تنوره کوره بلند)، احیای کامل و تولید فولاد و چدن خام انجام می‌شود؟ چرا؟
۳ تحقیق کنید چرا در منطقه کربونیزه کردن بیشترین مشکلات در آلیاژسازی ایجاد شده و ورود عناصر مضر در فولاد انجام می‌شود؟

در مراحل بعدی روی چدن خام تولید شده با استفاده از کنورتور یا کوره‌های دیگر عملیات خروج عناصر مضر و اضافی، گاز زدایی و نیتروژن زدایی انجام شده و فولاد استاندارد تولید می‌شود.

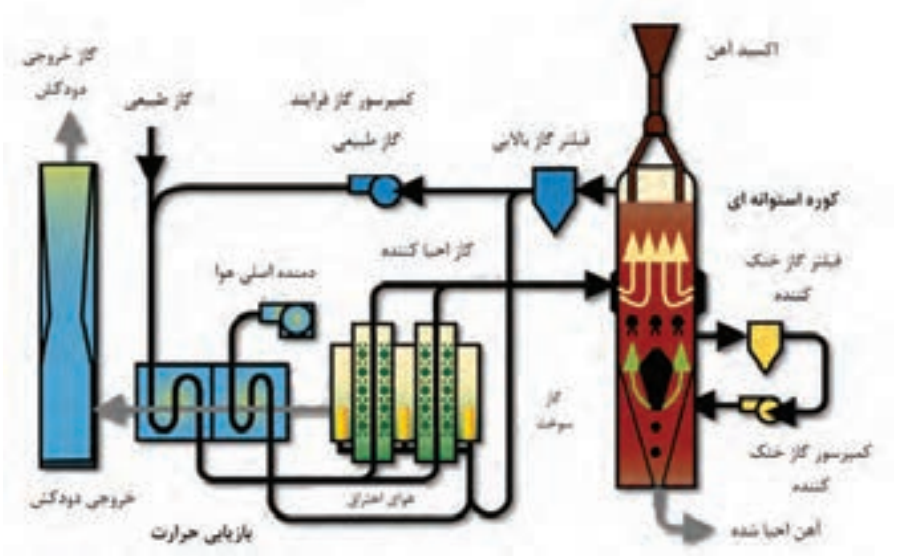
مناطق مختلف داخلی کورهٔ بلند و فعل و انفعالات هر منطقه

عملیات مقدماتی و نهایی در کورهٔ بلند در چهار منطقهٔ داخل کوره به شرح زیر انجام می‌شود:
۱ **منطقهٔ خشک کردن:** قسمت بالا و ورودی شارژ کوره، منطقهٔ شارژکردن است. دمای این منطقه حدود ۳۰۰°C است. عبور گازهای گرم از این منطقه باعث گرم شدن شارژ و در نتیجه از بین رفتن رطوبت آن می‌شود.
۲ **منطقهٔ احیای غیرمستقیم:** در این منطقه که دمایی حدود ۸۰۰°C دارد، کربن‌منواکسید حاصل، با شارژ که عموماً آهن اکسید است تماس حاصل کرده و آن را تا درجهٔ خلوص بالا (۷۰ تا ۹۰ درصد) طبق واکنش‌های صفحهٔ بعد احیا می‌کند:

$$3Fe_2O_3 + CO \longrightarrow 2Fe_3O_4 + CO_2 \uparrow$$ گاز بی‌رنگ

$$Fe_3O_4 + CO \longrightarrow 3FeO + CO_2 \uparrow$$ گاز بی‌رنگ

$$FeO + CO \longrightarrow Fe + CO_2 \uparrow$$ گاز بی‌رنگ



شکل ۶

۳ **منطقهٔ کربونیزه کردن:** در این منطقه که درجهٔ حرارت به بالای $1200^{\circ}C$ می‌رسد، آهن خالصی که از بالا ذوب شده و در تماس با کک گداخته قرار گرفته با کربن ترکیب می‌شود و آهن کاربید ($3Fe + C \rightarrow Fe_3C$) را به‌وجود می‌آورد که ترکیب اصلی چدن سفید خام است.

در این مرحله به همراه مذاب آهن عناصری مثل گوگرد، فسفر، منگنز و سیلیسیم وجود دارد که بیشتر اوقات به‌صورت ناخواسته با آهن ترکیب می‌شوند که باید در مرحله تصفیه از آلیاژ خارج گردند.

۴ **منطقه ذوب:** درجهٔ حرارت این منطقه حدود $1400^{\circ}C$ است، که می‌تواند اکسیدهای آهنی که در مناطق دیگر ذوب نشده‌اند را ذوب کرده و با کربن موجود در کک گداخته بستر احیا کند.

$$FeO + C \longrightarrow Fe + CO \uparrow$$

$$3Fe + C \longrightarrow Fe_3C$$

۵ **منطقهٔ بوته:** درجه حرارت منطقهٔ بوته حدود $1600^{\circ}C$ است، در این قسمت کلیهٔ آهن خام احیا شده جمع شده و آمادهٔ خروج از کوره است. بوتهٔ کوره دو راه خروج دارد. اولی در سطح مذاب و بالای بوته قرار دارد که محل خروج سرباره یا مواد سبک‌تر از مذاب است. عموماً سرباره به‌صورت سیالی با گرانروی بالاتر نسبت به مذاب است. سرباره، ترکیب ناخالصی‌های مضر موجود در سنگ آهن و مذاب است. با باز کردن دریچهٔ (توپی) سرباره، مواد سرباره به خارج سرازیر و به محل مناسبی هدایت می‌شود تا بتوان در صورت نیاز از آنها در راه‌سازی و زیرسازی جاده‌ها یا خاک‌های دیرگداز استفاده کرد. دومین راه خروجی در ته بوته است که با باز کردن توپی آن، مذاب به‌وسیله پاتیل‌های مخصوص یا ناودانی‌های پوشش شده با مواد دیرگداز، به محل تصفیه و تولید فولاد ساده یا آلیاژی هدایت می‌شود.

نکته

۱ کورهٔ بلند یک کوره مداوم است. به این معنی که به‌طور پیوسته در حال باردهی و شارژ است یعنی هم‌زمان با خروج مذاب، بارگیری نیز انجام می‌شود.
۲ محصول نهایی کورهٔ بلند، آهن خام است.

سربارهٔ کوره بلند و موارد استفاده آنها

سرباره از اکسیدها، ناخالصی‌ها، مواد کمک ذوب و خاکستر کک سوختنی تشکیل شده است، که معمولاً سبک‌تر از مذاب بوده و به‌صورت جامد یا مایع با گرانروی بالا است. به‌طور معمول مقدار حجم سربارهٔ تولید شده در کورهٔ بلند گاهی دو یا سه برابر مذاب آلیاژ خام است. از سرباره‌های کورهٔ بلند می‌توان برای تهیهٔ عایق حرارتی (پشم شیشه)، سیمان، خاک دیرگداز کوره‌ها، آجر و زیرسازی جاده‌ها استفاده کرد.

گازهای خروجی از دهانه کوره بلند و کاربرد آنها

مهم‌ترین گازهای خروجی از دهانهٔ کوره بلند، متان، هیدروژن، ازت، کربن منواکسید (CO) و کربن دی‌اکسید (CO_2) است که در هنگام خروج، ذرات بار کوره را به همراه دارد.
گاز کورهٔ بلند پس از غبارگیری، شست‌وشو و فیلتراسیون می‌تواند برای گرم کردن هوا، گرم کردن دستگاه‌های گرم‌کن کوره بلند، کک‌سازی، کلوخه‌سازی، توربین‌های گازی، دیگ‌های بخار و مصارف خانگی و آب‌گرم‌کن مورد استفاده قرار گیرد.

سوخت کورهٔ بلند

سوخت کورهٔ بلند به عنوان مادهٔ اصلی تولید حرارت جهت ذوب اهمیت بسزایی دارد. سوخت کوره بلند علاوه بر تولید حرارت جهت ذوب سنگ آهن و تولید آهن خام، باید مقدار کربن مورد نیاز برای احیای آهن اکسید را نیز تأمین کند. سوخت با کیفیت باید دارای شرایط زیر باشد:

۱ بیشترین ارزش حرارتی را دارا باشد. (ارزش حرارتی یک سوخت مقدار گرمایی است که از سوختن یک گرم از آن ماده سوختنی بر حسب کالری به‌دست می‌آید).
۲ استحکام مکانیکی، سایشی و مقاومت به ضربه لازم را داشته باشد.
۳ تخلخل لازم برای عبور گاز گرم را دارا باشد تا عمل سوختن به خوبی انجام شود.
۴ کمترین خاکستر را پس از سوختن برجا بگذارد.
۵ ناخالصی مضر مثل گوگرد و فسفر نداشته باشد یا مقدار آنها کم باشد (کمتر از ۱۰ درصد خاک).

کک مصرفی کارخانه ذوب آهن مرغوبیت کمی دارد به‌طوری که دارای ۱ درصد گوگرد، ۵ درصد خاکستر و ۳ درصد رطوبت است. کک مورد استفاده در ذوب آهن اصفهان از معادن سنگرود، زیراب، شاهرود و کرمان استخراج و به استهبان حمل می‌شود. میزان کربن موجود در کک مصرفی ذوب آهن حدود ۸۰ درصد است.

مواد گدازآور و سیاله

برای کمک به جریان مذاب و خروج ناخالصی‌های فلز مذاب حاصل از کورهٔ بلند، از مواد سیاله یا گدازآور استفاده

می‌شود. سیالهٔ مورد استفاده معمولاً آهک است. آهک با ناخالصی‌های مضر موجود در شارژ سنگ آهن کوره بلند مثل گوگرد، منگنز و سیلیسیم ترکیب شده و آنها را به سرباره تبدیل می‌کند. یکی دیگر از مواد مهم گدازآور کوره بلند، کلسیم فلوئورید یا فلدسپار (CaF_2) است.

واحدهای پیش‌گرم هوا

کوره‌های بلند حداقل دو واحد جداگانه گرم‌کن هوا به‌صورت جنبی و ضمیمه به نام رژنراتور دارند. که قسمت‌های داخلی آن از آجرهای دیرگداز پوشیده شده است به‌طوری که حداکثر سطحِ دیواره‌هایِ داخلی را داشته باشند. مانند آجر چینی که برای عایق کردن دیوار در برابر صوت انجام می‌شود و همچنین می‌توان از سقف مساجد نام برد که به دلیل دارا بودن بیشترین سطح، گرما را ذخیره می‌کنند. پس از چرخش هوای سرد در داخل رژنراتور و دمش آن به کوره، هوای ورودی به داخل کوره بلند حداکثر مقدار گرما را دارد. این رژنراتورها به‌صورت متناوب هوای دهانه خروجی کوره بلند (که گاه به $1200^{\circ}C$ نیز می‌رسد) را گرفته و آجرهای داخلی آن که دارای حداکثر سطح هستند، گرمای بیشتری در خود ذخیره می‌کنند. پس از گرم شدن آجرهای واحد اول، هوای گرم برای گرم کردن دیواره واحد دوم به آن واحد هدایت می‌شود. با عبور هوای محیط از واحد اول، گرم شده و سپس از طریق فن یا تویرها به قسمت کک بستر و کربونیزه هدایت می‌شود. پس از تماس هوای گرم با کربنِ کک متخلخل، بیشتر گرم شده و از داخل کوره به‌طور صعودی حرکت کرده و وظایف دیگر مثل احیای غیرمستقیم در شکم کوره، خشک کردن و رطوبت‌زدایی در بالای کوره را انجام می‌دهد. در نهایت هوای گرم تصفیه شده به داخل رژنراتور یا گرم‌کن هوا برمی‌گردد.

تولید آهن خام به روش احیای مستقیم (Direct Reduction Iron)

منظور از آهن خام، فلزی است که به‌طور مستقیم قابلیت استفاده ندارد. پس از تولید آهن خام باید آن را با دستگاه‌های مختلف از جمله کنورتورها، تصفیه و آنالیز آن را کنترل کرد. سپس برای ساخت قطعات آهنی صنعتی مورد استفاده قرار داد. یکی دیگر از روش‌های تولید آهن خام، روش احیای مستقیم است. برخلاف روش احیای غیرمستقیم، در این روش عملیات ذوب انجام نمی‌شود. به‌طوری که سنگ معدن تغلیظ شده آهن را پس از گندله‌سازی و آماده شدن با استفاده از سوخت‌های جامد مثل کک یا گاز تصفیه شده، حرارت می‌دهند. در نتیجه مواد ناخالصی آن از بین می‌رود و به‌صورت تکه‌های گندله متخلخل در می‌آید.

در این روش ساخت و تهیه گندله از سنگ معدن آهن بسیار مهم است. زیرا شکل و اندازهٔ گندله و تخلخل آن در تولید آهن خام متخلخل (اسفنجی)، می‌تواند به تولید آهن صنعتی کمک کند. به عنوان مثال با افزایش درصد تخلخل آهن خَام، مدول سطحی (نسبت سطح به حجم) گندله‌ها زیاد شده و جذب حرارت توسط آنها بیشتر می‌شود. در نتیجه راندمان ذوب و تصفیه افزایش می‌یابد.

نکته

منظور از سنگ آهن همان سنگ معدن آهن پس از تغلیظ است.

گفت‌وگو کنید

در مورد نحوهٔ ایجاد تخلخل در سنگ معدن تغلیظ شده (پس از انجام فرایند گندله‌سازی) بحث و گفت‌وگو کنید و نتیجه را در کلاس ارائه دهید.

احیای مستقیم به روش‌های مختلف انجام می‌شود. دو روش آن متداول‌تر از سایر روش‌های معمول است، که عبارت‌اند از: ۱ـ روش میدرکس (Midrex) ۲ـ روش پوروفر (Purofer)

در روش میدرکس جهت تولید حرارت از گاز طبیعی مثل گاز متان استفاده می‌شود. در اکثر کارخانجات دنیا از جمله ایران به علت وجود گاز طبیعی فراوان و مقرون‌به‌صرفه بودن، تولید آهن به روش میدرکس انجام می‌شود. تولید آهن خام اسفنجی به روش میدرکس از سال ۱۹۶۶ توسط دونالد بِگز (Beggs) مطرح شد. در این روش از گاز طبیعی به عنوان عامل احیاکننده استفاده می‌شود. البته قبل از استفاده از گاز طبیعی روی آن عملیاتی انجام می‌شود. در روش احیای مستقیم، تغلیظ سنگ معدن با شرایطی صورت می‌گیرد که در انجام فرایند مشکلی ایجاد نشود. برای این کار پس از خرد کردن سنگ معدن، سنگ آهن استخراج شده با استفاده از دستگاه خردکن مجهز به گلوله‌های فولادی، ساییده شده و به‌صورت پودر تا حدود ۰/۰۵ میلی‌متر در می‌آید. سنگ آهن پودر شده که تا ۷۰ درصد آهن دارد (با مقدار قابل قبول گوگرد و فسفر بسیار کم) با مقدار مناسب پودر آهک مخلوط می‌شود. سپس آن را به همراه مقداری بنتونیت به عنوان عامل چسبنده روی دیسک‌های چرخان می ریزند. و دیسک را به حالت چرخش در می‌آورند تا گندله‌هایی با قطر حدود ۲۰ میلی‌متر تولید شود. گندله‌های خام تولید شده روی دیسک را به کوره پخت با دمای حدود $1300^{\circ}C$ وارد می‌کنند. تا در این درجه حرارت واکنش‌های بین آهن، سیلیس، آهک و سایر ترکیبات، باعث استحکام گندله شود.

مراحل مختلف جهت پخت گندله به شرح زیر است:

۱ خشک کردن

در این مرحله که به آرامی انجام می‌گیرد، خروج رطوبت از گندله خام باعث استحکام و تغلیظ نسبی آن می‌شود. درجه حرارت خشک کردن به حدود $400^{\circ}C$ می‌رسد.

۲ پیش‌گرم کردن

این عملیات نیز به آرامی صورت می‌گیرد. درجه حرارت پیش‌گرم به $1000^{\circ}C$ می‌رسد. در این عملیات خروج مواد فرار از جمله رطوبت باقی مانده موجود در گندله‌ها، سبب ایجاد تخلخل در آن می‌گردد. همچنین استحکام گندله‌ها نیز افزایش می‌یابد.

۳ تغلیظ آهن و استحکام بخشی گندله (کلسیناسیون)

در این مرحله درجه حرارت کوره پخت به حدود $1300^{\circ}C$ می‌رسد. اکسیدهای آهن مقدار زیادی از اکسیژن خود را از دست داده و تغلیظ می‌شوند. به این ترتیب تخلخل گندله نیز افزایش می‌یابد.

$$3Fe_2O_3 + CO \longrightarrow 2Fe_3O_4 + CO_2 \uparrow$$

$$Fe_3O_4 + CO \longrightarrow 3FeO + CO_2 \uparrow$$

۴ خنک کردن (Cooling)

پس از پختن، استحکام بخشی و افزایش تخلخل گندله‌های تغلیظ شده، باید آنها را خنک کرد تا مراحل تولید به تعویق نیفتد. برای این کار بایستی گندله‌ها در مجاورت هوای سرد قرار گیرند تا هوای سرد به راحتی از بین تخلخل گندله‌ها عبور کرده و با سرعت بیشتری آنها را خنک کند. پس از انجام فرایند گندله‌سازی مقدار آهن تغلیظ شده حدود ۷۰ درصد است.

فرایند تولید آهن اسفنجی به روش میدرکس

در این روش با استفاده از گاز متان، آهن اسفنجی تولید می‌کنند. به این صورت که ابتدا به‌وسیله مبدل کوره میدرکس، گاز متان در درجه حرارتی معادل ۱۲۰۰°C با استفاده از کربن‌دی‌اکسید (CO_2)، به گازهای کربن‌منواکسید و هیدروژن تبدیل می‌شود:

$$CH_4 + CO_2 \longrightarrow 2CO + 2H_2 \uparrow$$

از گازهای تولید شده، در مراحل بعدی به عنوان سوخت در تولید فولاد خام استفاده می‌شود.
مراحل انجام فرایند به شرح زیر است:

۱ ابتدا سوخت گازی متان پس از واکنش با گاز CO_2 به گازهای کربن منواکسید و هیدروژن تبدیل شده و سپس وارد تنوره کوره می‌شود. این واکنش گرما زا است.

۲ گازهای کربن منواکسید و هیدروژن با دمای ۸۰۰°C حاصل از واکنش در تنوره کوره به طرف بالا حرکت کرده و با شارژ داخل تنورهٔ کوره (گندله) تماس پیدا کرده و شارژ را احیا می‌کند.

به‌طور کلی واکنش‌های زیر در تنورهٔ کوره به ترتیب انجام می‌شود:

۱ $CH_4 + CO_2 \longrightarrow 2CO + 2H_2 \uparrow$

۲ $3Fe_2O_3 + CO \longrightarrow 2Fe_3O_4 + CO_2 \uparrow$

۳ $3Fe_2O_3 + H_2 \longrightarrow 2Fe_3O_4 + H_2O$

۴ $Fe_3O_4 + CO \longrightarrow 3FeO + CO_2 \uparrow$

۵ $Fe_3O_4 + H_2 \longrightarrow 3FeO + H_2O$

۶ $FeO + CO \longrightarrow Fe + CO_2 \uparrow$

۷ $FeO + H_2 \longrightarrow Fe + H_2O$

۸ $3Fe + C \longrightarrow Fe_3C$

گفت‌وگو کنید

در ارتباط با روش میدرکس که در ایران برای تولید فولاد خام استفاده می‌شود بحث و گفت‌وگو کرده و نتایج را در کلاس ارائه دهید.

آهن اسفنجی خام تولید شده به روش میدرکس و پوروفر می‌تواند تا ۹۲ درصد خلوص داشته باشد.
دلایل عمدهٔ تولید فولاد و چدن خام اسفنجی عبارت‌اند از:

۱ کاهش مقدار ضایعات فولاد و چدن.

۲ کاهش قیمت تمام شدهٔ قطعات تولیدی.

۳ جلوگیری از بروز مشکلات زیست محیطی ناشی از ذوب قراضه.

آهن اسفنجی جایگزین مناسبی برای ضایعات آهنی (چدن و فولاد) است که در تولید فولاد کاربرد دارد. بنابراین می‌توان درصد بالایی از مواد اولیه جهت ذوب در واحدهای ریخته‌گری خودروسازی را از آهن اسفنجی به‌جای قراضه و دم قیچی تأمین کرد. مقدار مصرف آهن اسفنجی حداقل حدود ۵۰ درصد قراضه و دم قیچی مصرفی است. در حال حاضر در تعدادی از کارخانجات ایران مثل فولاد مبارکه اصفهان از روش میدرکس جهت تولید آهن خام اسفنجی برای جایگزینی قراضه مصرفی کارخانجات تولید فولاد استفاده می‌کنند.

۱ـ برای احیای مستقیم سنگ آهن تغلیظ شده و تولید آهن خام از گاز طبیعی و زغال‌سنگ کک نشو می‌توان استفاده کرد. کک نشو نوعی زغال سنگ است که حداقل ۶ درصد گوگرد و فسفر دارد.
۲ـ روش‌های احیای مستقیم در تولید آهن خام اسفنجی با استفاده از گاز طبیعی عبارت‌اند از: روش میدرکس (Midrex)، روش پوروفر (Purofer) و هیل (Hyl)
روش‌های تولید آهن خام به روش احیای مستقیم با استفاده از زغال‌سنگ کک نشو عبارت‌اند از: روش جیندال (Jindal)، DRC و SI/RN

پرسش

۱ـ علت تولید آهن خام اسفنجی را توضیح دهید.
۲ـ علل استفاده از آهن خام نسبت به قراضه و دم قیچی چیست؟

مزایای تولید آهن خام اسفنجی به روش میدرکس:

۱ به دلیل کاربرد زیاد این روش در دنیا، شرکت‌های زیادی از این روش پشتیبانی می‌کنند. از طرف دیگر دانش استفاده از این روش آسان‌تر به‌دست می‌آید.
۲ هزینه‌های سرمایه‌گذاری، تعمیرات و تولید کمتر است.
۳ این روش نسبت به دیگر روش‌های احیای مستقیم ، پیشرفته‌تر و ساده‌تر است. از طرفی راندمان آن بالاتر بوده و ترکیب شیمیایی محصولات تولیدی آن یکنواخت‌تر است.

معایب روش میدرکس:

۱ ذوب گندله‌هایی که به این روش تولید می‌شوند به دلیل تخلخل کمتر، مشکل‌تر است. یعنی برای ذوب به انرژی و گرمای بیشتری نیاز دارند تا به فولاد صنعتی تبدیل شوند. بنابراین تلفات گرمایی بیشتر است.
۲ در هنگام تولید فولاد صنعتی، قراضه با گندله با هم شارژ شده و در مذاب فرو می‌روند. بنابراین عملیات فسفرزدایی به خوبی انجام نمی‌شود. این مسئله سبب فرسایش پوشش دیرگداز کوره می‌شود.

فولادسازی و مراحل آن

امروزه آلیاژهای آهنی کاربرد فراوانی در صنایع و زندگی روزمره دارند. از جمله سازه‌های تجاری، صنایع خودروسازی و صنایع دریایی.
آلیاژهای پایهٔ آهن به‌خصوص فولادها در مقایسه با سایر آلیاژهای فلزات حدود ۷۰ درصد کل نیازها را

در صنایع مختلف تأمین می‌کنند. بعد از آلیاژهای پایه آهن، آلیاژهای پایه آلومینیوم و آلیاژهای پایه مس به ترتیب در صنایع مختلف کاربرد دارند. بنابراین تولید آلیاژهای آهنی و به‌خصوص فولادها در پیشبرد اهداف صنعتی اهمیت بیشتری دارند.

نکته

آلیاژهای آهنی به دو دستهٔ چدن‌ها و فولادها تقسیم می‌شوند. فولادها دسته‌ای از آلیاژهای آهنی هستند که تحت هیچ شرایطی کربن آزاد (گرافیت) تولید نمی‌کنند. در چدن‌ها به‌طور مستقیم یا با عملیات حرارتی، کربن آزاد یا گرافیت در قطعات تشکیل می‌شود.

فولادها به سه دستهٔ عمده تقسیم می‌شوند:

۱ **فولاد سادهٔ کربنی:** که علاوه بر آهن (فلز پایه)، دارای مقادیر کمی کربن و سیلیسیم است.

۲ **فولادهای آلیاژی:** علاوه بر آهن، کربن و سیلیسیم، عناصر دیگری مانند کروم، نیکل، مس، وانادیم و منگنز به مقدار تأثیرگذار در آلیاژ وجود دارند.

۳ **فولادهای مخصوص:** علاوه بر دارا بودن استحکام و مقاومت مکانیکی خواصی مانند مقاومت در برابر حرارت، خستگی، خوردگی، مقاومت الکتریکی، بهبود هدایت الکتریکی و مغناطیسی دارند.

از فولادهایی که نام برده شد، فولادهای ساده کربنی علاوه بر کاربرد زیاد در صنایع مختلف، در تولید فولادهای آلیاژی و مخصوص نیز به‌کار می‌روند.

فعالیت کلاسی

با استفاده از کلمات زیاد، متوسط و کم جدول زیر را تکمیل کنید.

استفاده از انواع فولادها / گروه کشورها	ساده کربنی	آلیاژی	مخصوص
پیشرفتهٔ صنعتی			
در حال توسعه			
جهان سوم			

تولید فولادهای ساده کربنی به دلیل استفاده وسیع، اهمیت زیادی دارد. برای تولید فولادهای ساده کربنی مواد و تجهیزات زیر باید در نظر گرفته شوند:

۱ مواد شارژ جهت ذوب شامل آهن خام (فولاد و چدن)، قراضه (قطعات مستعمل غیر قابل استفاده)، برگشتی (قطعات معیوب تولیدی)، دورریز (براده و دورریز قطعات تولیدی مانند تغذیه و راهگاه)، آلیاژسازها و فلزات قابل استفاده برای آلیاژسازی مانند فرو کروم و نیکل.

۲ مواد اضافی و افزودنی (Auxiliaries) مثل گاززداها، فلاکس‌ها، سرباره‌گیرها، مواد تلقیحی، گوگردزداها و فسفرزداها.

۳ دیرگدازهای مورد استفاده در جدارهٔ کوره (اسیدی، بازی یا خنثی).

۴ کوره یا کنورتورهای مورد نیاز با ظرفیت یا تناژ معین جهت تولید.

۵ گازهای خنثی یا بی‌اثر لازم برای استفاده در گاززدایی و آخال زدایی.

گفت‌وگو کنید

۱ در مورد مواد تلقیحی و موارد استفادهٔ آنها در کلاس بحث کنید و نتیجه را ارائه دهید.
۲ در ارتباط با انواع مواد افزودنی به مذاب فولاد و دلیل استفاده هر کدام، در کلاس بحث کنید و نتیجه را ارائه دهید.

پرسش

آیا کلیهٔ مواد افزودنی به کوره و مذاب از اجزای شارژ به حساب می‌آیند؟

تولید فولاد از آهن خام

چدن و فولاد خام به‌دست آمده از دو روش غیرمستقیم (کوره بلند) و روش مستقیم، در صنعت قابل استفاده نیست زیرا ترکیب شیمیایی آنها تغییرات زیادی دارد. به این ترتیب که بعضی از عناصر مثل کربن باید به دقت تنظیم شود تا خواص فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی آن به اندازه‌ای باشد که در صنعت به عنوان فولاد قابل استفاده باشد. بنابراین باید با استفاده از دستگاه‌ها و ابزارهای مختلف، عملیات لازم روی آنها انجام شود تا به حد مطلوب برسند.

برای مثال کاهش درصد عناصر مثل کربن و یا خروج بعضی عناصر نامطلوب نظیر گوگرد، فسفر و عناصر ناخواسته دیگر، هر یک به عملیات جداگانه‌ای نیاز دارد. جهت تولید فولاد صنعتی، روش‌های مختلفی وجود دارند که در تمام این روش‌ها سعی می‌شود عناصر غیرضروری کاهش یافته و یا به‌طور کلی خارج شوند. یا عناصر لازم به مذاب اضافه شود تا ترکیب به حد مطلوب برسد. محصولی که از کورهٔ بلند و یا روش تولید آهن اسفنجی به‌دست می‌آید، شامل عناصر مضری مانند گوگرد و فسفر است که به راحتی نمی‌توان آنها را از محصول خارج کرد. گاهی درصد این عناصر کم هستند و خروج آنها ضرورتی ندارد، بنابراین در این شرایط برای دستیابی به آنالیز صحیح لازم است روش‌های مختلفی جهت تولید انتخاب شود. در این خصوص گاهی نوع دیگر از جدارهٔ کوره جهت کنترل عناصر مفید داخل مذاب و یا برای جلوگیری از خروج یا ترکیب با جدارهٔ دیرگداز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

روش‌های مختلف تصفیهٔ فولاد خام و تولید فولاد صنعتی با توجه به ترکیب شارژ

مواد ذوبی و افزودنی‌ها در مذاب و شارژ می‌توانند ترکیبات مضر و مفید با خواص معین (اسیدی یا بازی) داشته باشند. در این صورت برای خروج و یا ماندن آنها در مذاب باید مواد افزودنی جهت بهبود خواص مذاب و نیز دیرگداز جداره در تماس با مذاب (کنورتور)، طوری انتخاب گردد که موارد زیر در آنها در نظر گرفته شود:

۱ عناصر مضر موجود در شارژ یا مذاب حداقل به مقدار تعیین شده از آن خارج گردد.
۲ عناصر مفید موجود در مذاب حداقل به مقدار مورد نیاز از ترکیب مواد ذوبی خارج نشود.
۳ فعل و انفعال حاصل در حین فرایند تولید طوری باشد که ترکیبات مضر موجود در مذاب به راحتی بتواند از مجموعه و تا قبل از انجماد خارج گردد.
۴ تاحد ممکن، فعل و انفعالات هنگام عملیات تصفیهٔ مذاب حاصل گرمازا بوده و احتیاج به افزایش انرژی و حرارت مستمر نداشته باشد.

با توجه به موارد فوق جنس مواد دیرگداز جداره‌ها که باید با توجه به ترکیب مذاب و عناصر مضر

خروجی موجود در مذاب انتخاب شود به سه دسته تقسیم می‌شود:

۱ مواد و دیرگدازهای اسیدی که ترکیب اکسید آنها از عناصر فلزی و غیر فلزی که پایهٔ آنها غیر از عناصر قلیایی باشد انتخاب می‌گردند. به عنوان مثال سیلیس (SiO_2)، کرومیت (FeO، Cr_2O_3)، آهن اکسید (Fe_2O_3).

۲ مواد دیرگداز بازی که پایهٔ ترکیبی اکسید آنها از عناصر قلیایی و قلیایی خاکی تشکیل شده است. نمونهٔ این نوع مواد دیرگداز آهک (CaO)، منیزیم اکسید (MgO) یا مگنزیت و ترکیبی از آنها مثل دولومیت ($CaMg(CO_3)_2$) است.

۳ مواد دیرگداز خنثی که در رأس آنها ترکیبات دیرگداز کربن (گرافیت) قرار دارد.

نکته

آلومینیوم اکسید (آلومینا Al_2O_3)،ترکیبی آمفوتراست که در هر دو محیط (اسیدی یا بازی) می‌تواند به عنوان ترکیبی مضر یا مفید عمل کند. بنابراین در انتخاب آن به عنوان مواد دیرگداز باید نهایت دقت را انجام داد. فقط می‌توان گفت که این ترکیب به عنوان یک ماده دیرگداز با درجه حرارت ذوب حدود ۲۰۰۰ درجهٔ سلسیوس انتخاب خوبی است.

تحقیق کنید

تحقیق کنید هریک از مواد دیرگداز اسیدی، بازی و خنثی را چگونه می‌توان در طبیعت یافت و در چه مواردی کاربرد دارند؟

چرا انتخاب دیرگداز جدارهٔ کوره و مواد سیاله (گدازآور) در ذوب فلزات و به‌خصوص تولید فولاد از اهمیت خاصی برخوردار است؟

روش توماس (Thomas) در تولید فولاد از آهن خام و چدن:

شکل ۷

این روش در مواردی انتخاب می‌شود که شارژ (مواد ذوبی) کوره از گوگرد و فسفر بالایی برخوردار باشد و بخواهیم آنها را از مذاب خارج کنیم. در این صورت ترکیبات پایهٔ گوگرد (H_2S) و فسفر (P_2O_5، P_2O_3) اسیدی هستند.

بنابراین پوستهٔ خارجی کنورتر از ورق فولادی است که افزایش ضخامت این پوسته فولادی متناسب با افزایش ظرفیت کنورتر و دوام آن انتخاب می‌شود. به عنوان مثال برای کنورتر با ظرفیت تولید یک تن فولاد، ضخامت پوستهٔ خارجی حدود 5mm در نظر گرفته می‌شود. شکل خارجی کنورتر توماس ـ بسمر شبیه گلابی است. جدارهٔ داخلی کوره دارای ترکیب بازی بوده و از دولومیت به فرمول شیمیایی ($CaMg(CO_3)_2$) تشکیل شده است.

این ماده دیرگداز بوده و از مخلوط کربنات منیزیم و کلسیم تشکیل شده است. کنورتر توماس ـ بسمر

می‌توانـد در امتـداد محـور افقـی حرکت کند و به‌صـورت افقی و عمودی قابل چرخش اسـت. ایـن کنورترها در کـف دارای چنـد سـوراخ می‌باشـند. کـه از ایـن سـوراخ‌ها اکسـیژن خالـص و یا هـوا دمیده می‌شـود که شـامل $\frac{۱}{۵}$ اکسـیژن و $\frac{۴}{۵}$ ازت اسـت. ناخالصی هوا نیز بیشـتر شـامل هیدروژن و گازهای کربن‌اکسـید ناقص و کامـل اسـت. شـارژ کنورتـر به‌صـورت مـذاب اسـت کـه بایـد تصفیـه و کنتـرل و آنالیز شـود تا مـذاب آن مورد اسـتفاده قـرار گیرد.

بااین حال فرایند تولید آن به شرح زیر است:

۱ ابتـدا کنورتـر را پیش‌گـرم می‌کننـد تـا در هنـگام شـارژ مذاب، تحـت تنش گرمایـی قرار نگیـرد. (دمای پیـش گرم حدود ۸۰۰ درجهٔ سلسـیوس اسـت).

۲ کنورتـر را بـه حـال افقـی (شـارژ یا بارگیـری) قـرار داده و آن را بـه اندازهٔ ظرفیت کوره شـارژ کـرده و به آن آهـک (CaO) اضافـه می‌کنند.

نکته

- عملیات خارج کردن عناصرمضر موجود در مذاب فولاد را تصفیه کردن می‌گویند.
- هـرگاه مـواد ذوبـی (شـارژ) درون کنورتـر دارای سیلیسـیم زیـاد ولـی گوگرد و فسـفر کم باشـد در این صـورت از کنورتـر بسـمر جهـت تولید فولاد اسـتفاده می‌شـود. کنورتر بسـمر کاملاً شـبیه کنورتر توماس اسـت بـا ایـن تفـاوت کـه پوشـش دیرگـداز داخلـی آن از آجرها و جرم‌هـای دیرگـداز اسـیدی (آجرهای سیلیسـی یاکرومیتـی و یـا زیرکنـی) تشـکیل شـده تـا بتـوان از آن بـرای خارج کـردن سیلیسـیم بالای موجـود در مـذاب اسـتفاده کرد.
- افزایـش آهـک بـه مـذاب بـرای خارج کردن فسـفر و گوگـرد موجود در مذاب اسـت. کـه به‌صورت‌های کلسـیم سـولفید (CaS) و کلسـیم فسـفات ($CaPO_۴$) در سـرباره جمع می‌شـود. این سـرباره در تنظیم آنالیـز مـذاب قبل از سـرباره‌گیری مؤثر اسـت.

۳ سـپس کنورتـر را بـه حالـت قائـم درآورده و از سـوراخ‌های کـف کـوره، هـوا و یا اکسـیژن خالـص همراه بـا گاز بی‌اثـر بـا فشـار حـدود ۲ اتمسـفر دمیـده می‌شـود (در مواقعـی که مـذاب فولاد بـا آنالیـز دقیق‌تری مدنظـر باشـد). در شـروع دمـش اکسـیژن به مـذاب کنورتر، درجـهٔ حرارت حـدود ۱۳۰۰ درجهٔ سلسـیوس اسـت کـه در ادامـه بـه ۱۶۰۰ درجـهٔ سلسـیوس می‌رسـد. در ایـن درجـه حـرارت سـرعت فعـل و انفعـال افزایـش می‌یابـد. افزایـش درجـه حـرارت بـه دلیـل فعل و انفعـال گرمـازای حاصل از سـوختن مـواد اضافی بـا اکسـیژن اسـت. دمـش هـوای آزاد به داخـل کنورتر بـه دلیل وجـود گاز ازت امـکان تولید آهـن نیترید را بـه وجـود مـی‌آورد کـه باعث کاهـش بعضی خـواص مهـم مکانیکـی در قطعات فـولادی تولیدی می‌شـود و در نتیجـه فولادهـای پالایش شـده بـا هـوای آزاد نامرغوب‌تر اسـت.

۴ در اثـر دمـش هـوا یـا اکسـیژن خالـص بـه درون مـذاب داخـل کنورتـر، اکسـیژن بـا عناصـری کـه میل ترکیبـی بیشـتری دارنـد مثـل کربـن ترکیـب شـده و به‌صورت گاز کربـن دی اکسـید ($CO_۲$) درآمـده که با غَلَیَـان از داخـل مـذاب خـارج می‌شـود. بدیـن ترتیـب فـولاد نـاآرام دارای اکسـیژن و کربن به فـولاد آرام یا کشـته تبدیـل می‌شـود. بـا دمـش اکسـیژن بـه داخل مـذاب، ابتدا اکسـیژن بـا کربـن موجـود در آهن خام ترکیـب شـده و تولیـد گاز کربـن منوکسـید (CO) می‌کنـد. سـپس کربن منوکسـید با اکسـیژن موجود در

شارژ (اکسیدهای Fe_2O_3) و اکسیژن حل شده در مذاب ترکیب می‌شود. به این ترتیب اکسیژن‌زدایی فولاد نیز انجام شده و مذاب از غَلَیان می‌افتد و آرام (کشته) می‌شود و گاز کربن‌دی‌اکسید از مذاب خارج می‌گردد.

به فولاد اکسیژن‌زدایی نشده فولاد ناآرام و فولاد اکسیژن‌زدایی شده فولاد آرام (کشته) می‌گویند.

با دمش اکسیژن به داخل مذاب کنورتر، سیلیسیم و منگنز نیز اکسید شده (SiO_2، MnO) و چون هردو سبک‌تر از مذاب هستند به روی مذاب داخل کنورتر آمده و سرباره می‌شوند.

زمان دمش هوا به داخل مذاب کنورتر به مدت ۲۰ تا ۳۰ دقیقه طول می‌کشد.

فعالیت کلاسی

فولاد ناآرام و فولاد آرام چیست؟ فولاد ناآرام را چگونه آرام می‌کنند؟ درمورد روش‌های آن در کلاس بحث کرده و نتیجه را یادداشت کنید.

پرسش

در مورد انواع دیرگدازهای جدارهٔ کوره توماس بحث کرده و بهترین دیرگداز را در هر مورد اسیدی یا قلیایی انتخاب و یادداشت کنید.

۵ کنترل ترکیب شیمیایی و اندازه گیری عناصر موجود در مذاب و تعیین درصد عناصر مورد نیاز در ترکیب در صورت عدم تأیید و کنترل درجه حرارت لازم برای انجام فرایندهای بعدی.

۶ سرباره‌گیری، مواد ناخالص جامد موجود در مذاب را بر روی سطح مذاب آورده و سپس آن را تخلیه می‌کنند. برای این کار کنورتر را طوری می‌چرخانند که امکان سرباره‌گیری و تخلیهٔ آسان مذاب وجود داشته باشد. سپس مواد سرباره‌گیری به‌صورت پودر روی سطح مذاب ریخته شده و به نحوی (الکتریکی، مغناطیسی یا با ابزار) مذاب را به‌هم می‌زنند تا پودر سرباره‌گیر در همه‌جای مذاب و سرباره پخش شده و آنها را به هم نزدیک کنند تا در صورت ریز بودن، درشت شوند و اگر یکپارچه هستند، منعقد و ریز شوند.

نکته

وظیفهٔ سرباره‌گیر روی سطح مذاب، منعقد کردن سرباره و در درون مذاب درشت کردن ذرات ریز، در نتیجه سبک کردن و آوردن آن به روی سطح (Slag) و یا سنگین‌تر کردن ذرات (Sludge یا لجن)، در نتیجه ته‌نشین‌کننده آن است تا به این صورت از مذاب خارج شوند.

۷ گاززدایی مذاب نیز یکی از فرایندهای بسیار مهم در فولادسازی است. پس از انجام فرایند سرباره‌گیری باید مذاب فولاد درون کنورتر، گاززدایی شود. اکسیژن مهم‌ترین گاز حل شده در مذاب فولاد است. بنابراین طبق خواص ترکیبی عناصر با یکدیگر، باید عناصری را پیدا کنیم که میل ترکیبی یا انحلالی آن با اکسیژن، بیشتر از آهن باشد. این عناصر می‌توانند کربن، منگنز و گاهی برادهٔ آلومینیوم باشند که برحسب مورد می‌توان یکی از آنها را انتخاب کرد که از عناصر دیگر در دسترس‌تر باشند.

نکته

منگنـز عـلاوه بـر اکسـیژن‌زدایی، گوگردزدایـی را نیـز بـه خوبـی از مـذاب فـولاد انجـام می‌دهـد. پـس از کنتـرل درجـهٔ حـرارت مـذاب فـولاد درون کنورتـر، هنـگام افزایـش آمیژان‌هـا بـرای آلیاژسـازی، مواد گاززدا را به‌طـور حسـاب شـده بـه مـذاب اضافـه می‌کننـد. پس از انجـام کامـل عملیـات گاززدایی مذاب کنتـرل نهایـی شـده و سـپس مـذاب را بدون تلاطـم بـه درون پاتیل‌های پیش‌گرم شـده ریختـه و حمل می‌کننـد تـا فراینـد بعـدی را روی آن انجـام دهند.

فولادهـای تولیـدی بـا ایـن روش، عموماً کم کربن و یا کربن متوسـط هسـتند. کـه آنها را می‌توان مسـتقیماً بـه عنـوان فولادهای ریختگی، جوشـکاری و سـاختمانی یا تولیـد فولادهای آلیاژی اسـتفاده کرد.

تحقیق کنید

تحقیـق کنیـد در چـه مـواردی نمی‌تـوان از عناصـری ماننـد آلومینیـوم، منگنـز، یـا کربن به عنـوان مواد گاززدا (اکسـیژن‌زدا) در مـذاب فـولاد بسـمر یـا توماس اسـتفاده کرد.

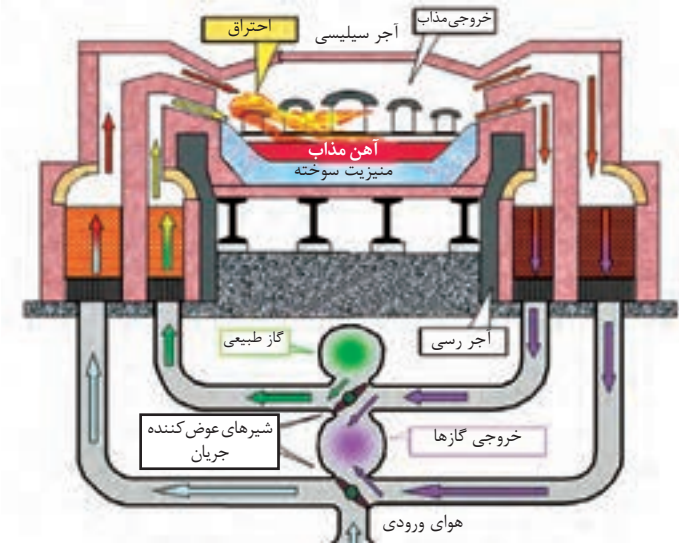
پرسش

۱ چـرا نبایـد پـس از گاززدایـی مـذاب فلـزات به‌خصـوص فـولاد، در هنـگام حمـل و نقل تلاطـم ایجاد شود؟

۲ آخال چیست و چه تأثیری بر خواص فلز دارد؟ چگونه می‌توان آخال را از مذاب خارج کرد؟

تولید فولاد از آهن خام به روش زیمنس ـ مارتین (SM)

کورهٔ زیمنس ـ مارتین شبیه گهواره‌ای اسـت که محفظـهٔ داخلـی آن بیضوی و نیم‌گـرد اسـت. روی جداره‌هـای جانبـی آن، محـل ورود شـارژ جامـد، مـذاب و افزودنی‌هـا در نظـر گرفتـه شـده اسـت. از نـوع کوره‌هـای روبـاز (Open ـ Heart) اسـت که از طرفین آن هـوای پیش‌گـرم شـده و گازهـای سـوختنی وارد کـوره می‌شـود.



شکل ۸ـ کوره زیمنس ـ مارتین

در هرکـدام از دو طرف کـوره، گرم‌خانهٔ هـوا (رژنراتـور) به‌طـور جداگانـه نصب شـده کـه در آنهـا هواگـرم شـده و بـه نوبـت هـوای پیـش گـرم شـده همـراه گازهـای سـوختنی بـه داخـل کـوره هدایـت می‌شـود تـا در آنجا مشـتعل شـده و شـارژ داخلـی کـوره را ذوب کند. جـدارهٔ داخلی اطاقـک گرم خانه بـا طراحـی خاصـی آجرچینی شـده تـا توانایی گرم کردن هوای بیشـتری را داشـته و زمان دمش بیشـتر شـود.

وقتی یکی از رژنراتورها در حال دمش هوای گرم به داخل کوره است، رژنراتور دیگر در حال جذب و ذخیرهٔ هوای سرد و سپس گرم کردن آن است تا در نوبت بعدی دمش هوای گرم به کوره را انجام دهد.

این عمل به‌طور متناوب تکرار می‌شود. گرمای جدارهٔ داخلی اطاقک‌های رژنراتورها توسط هوای داغ خروجی از دهانهٔ کوره تأمین می‌شود.

در کنار ورودی هوای پیش گرم به داخل کوره، مجرای ورود گاز طبیعی تعبیه شده است. پس از مخلوط شدن گاز طبیعی با هوای پیش‌گرم شده مشتعل می‌شود و گرمای لازم برای ذوب شارژ داخل کوره را تأمین می‌کند. عملیات هم‌زمان دمش گاز سوختنی و هوا به داخل کوره، گاهی دمای محفظهٔ کوره را به حدود ۲۰۰۰°C می‌رساند. همچنین هنگام شارژ کردن کوره، مقداری آهک نیز جهت تصفیهٔ عناصر مضر مذاب، به داخل کوره ریخته می‌شود تا عمل خروج عناصر مضر و اضافی از مذاب را انجام می‌دهند. عمل خروج عناصر مضر و اضافی دراین روش طولانی بوده و حدود ۸ ساعت طول می‌کشد.

نکته

سقف و کف کوره به‌صورت مدور (قوسی) ساخته می‌شود تا هم گرمای بیشتری ذخیره شود و هم خروج مذاب از داخل کوره آسان‌تر شود.

شارژ کورهٔ زیمنس ـ مارتین می‌تواند چدن خام، قراضهٔ فولاد و آهن اسفنجی باشد. دیرگداز (آجر نسوز یا جرم‌های کوبیدنی) این نوع کوره‌ها نیز می‌تواند اسیدی، قلیایی یا خنثی باشد که برحسب مورد می‌توان از آنها استفاده قرار کرد. با این نوع کوره‌ها نیز می‌توان انواع فولادهای ساده کربنی و آلیاژی مورد استفاده در صنایع را تولید کرد.

متوسط مقدار کربن موجود دراین نوع فولادها حدود ۰/۵ درصد یا بیشتر است.

نکته

۱ به‌جز کورهٔ ذوب، کلیهٔ تأسیسات مربوط به کارخانه ذوب به روش‌های مختلف به‌خصوص کوره بسمر ـ توماس می‌تواند در طبقهٔ پایین کورهٔ ذوب قرار گیرد.

۲ کوره‌های زیمنس ـ مارتین بیشتر برای شارژهایی کاربرد دارد که ضمن دارا بودن سیلیسیم بالا، مقدار گوگرد و فسفر آنها پایین است و در آنها حذف سیلیسیم اضافی مورد نظر است.

فعالیت کلاسی

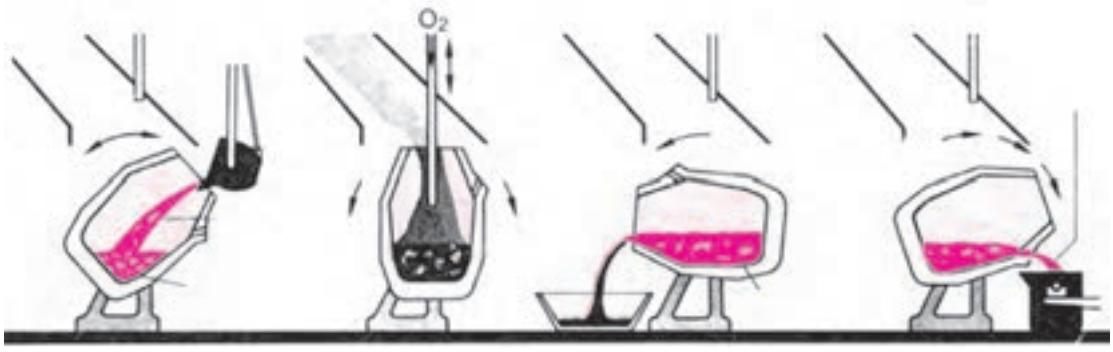
در مورد تفاوت‌ها و شباهت‌های دو روش تولید فولاد، بسمر ـ توماس و زیمنس ـ مارتین به‌صورت گروهی بحث و نتیجه را در کلاس ارائه کنید.

تولید فولاد صنعتی از آهن خام به روش (L_D)

یکی از مشکلات دمیدن هوای محیط به کوره و یا کنورتر جهت تولید فولاد، ورود نیتروژن (ازت) به همراه اکسیژن به داخل کوره است.

با دمیده شدن ازت به همراه اکسیژن به داخل کورهٔ حاوی مذاب فولاد ، ازت با آهن ترکیب شده و

تولیـد آهـن نیتریـد می‌کنـد. آهـن نیتریـد در مرزدانه‌هـا رسـوب کـرده و باعـث افزایش شـکنندگی قطعات فـولادی می‌شـود. روش جلوگیـری از ایـن عیب در قطعـات فولادی، دمیدن اکسـیژن خالص بـه داخل کوره اسـت. در روش (L-D) بـرای تولیـد فـولاد از آهـن خام از اکسـیژن خالص جهـت دمش به کـوره یا کنورتر اسـتفاده می‌شـود. (شکل ۹)



شکل ۹

نکته

شکل پوستهٔ خارجی کورهٔ (L-D) استوانه‌ای سر جمع است.

با دمیدن اکسیژن خالص به درون مذاب داخل کنورتر:

۱ اکسـیژن خالـص سـبب سـوختن مواد اضافـی موجود در مذاب از جمله کربن و سیلیسـیم شـده و سـبب تنظیـم درصـد ترکیب آنها می‌شـود.

۲ بـا سـوختن کربـن و سیلیسـیم اضافـی و سـوختن عناصـر مضـر گرمـازا، درجه حـرارت مورد نیـاز برای حـذف ذوب و تصفیـهٔ مـذاب تأمیـن شـده و درجـه حـرارت حاصل بـه ۲۰۰۰°C می‌رسـد.

۳ بـا اسـتفاده از اکسـیژن خالـص بـرای تصفیـهٔ مـذاب، عمـل خـروج عناصـر اضافی و مضـر سـاده‌تر انجام شـده و مـدت زمـان خـروج عناصـر مضـر و اضافـی حـدود نیم سـاعت طول می‌کشـد.

۴ دمـش اکسـیژن خالـص بـه داخل کنورتر موجـب جلوگیـری از ورود ناخالص‌هـای مضر به داخـل کنورتر و تشـکیل اکسـیدهای مضر درون مذاب می‌شـود.

۵ دمـش اکسـیژن خالـص در مـذاب موجـب کاهش درجهٔ حـرارت مـذاب و در نتیجه کنتـرل درجهٔ حرارت و نیـز جلوگیـری از سـوختن بقیـهٔ عناصر داخل مذاب می‌شـود.

نکته

در ایـن روش بـه دلیل اسـتفاده از اکسـیژن خالـص روی مذاب کنورتر، قیمت تمام شـده قطعـات تولیدی در شـرایط مسـاوی نسـبت بـه بقیـه روش‌هـای تولید فـولاد بالا اسـت. امـا از آنجا کـه کیفیت قطعـات تولیدی نسـبت بـه بقیـه روش‌های تولید بالاتر اسـت، بنابراین محدودیتی بـرای این روش در تولید بـه وجود نمی‌آید.

در ایـن روش اکسـیژن خالـص به‌وسـیلهٔ لولـهٔ مخصـوص (Lance) که با آب خنک می‌شـود، با فشـار حدود ۸ اتمسـفر بـه سـطح مـذاب دمیده می‌شـود. شـارژ کورهٔ مـذاب فولاد خام اسـت کـه از مواد قراضـه، دورریز و آهـن اسـفنجی به‌دسـت می‌آید.

فرایند تولید فولاد با استفاده از کنورتر (L-D)

۱ کنورتر را تا حدی روی محور افقی خم کرده و مذاب آهن (چدن و فولاد) خام پیش گرم شده تا ۱۰۰۰°C را به تدریج و با استفاده از پاتیل به داخل کنورتر می‌ریزند. با افزایش حجم مذاب، کنورتر به‌صورت عمودی قرار گرفته تا به اندازهٔ لازم پر شود. سپس روی سطح مذاب به اندازه کافی آهک (حدود ۲ تا ۴ درصد) می‌ریزند.

۲ لولهٔ سرامیکی دیرگداز (Lance) انتقال اکسیژن را که با آب خنک می‌گردد روی سطح مذاب قرار داده شده و اکسیژن خالص با فشار حدود ۸ اتمسفر (تنظیم فشار دمش برحسب نیاز) روی مذاب دمیده می‌شود. این عمل را تا حدود ۳۰ دقیقه ادامه می‌دهند تا مذاب شروع به سرد شدن کند. در این هنگام عملیات خارج کردن عناصر اضافی سوختنی انجام می‌شود.

۳ پس از خروج عناصر اضافی (مضر)، کنورتر را در امتداد محور افقی تا حدی خم می‌کنند که سطح مذاب به سطح دهانهٔ کنورتر، نزدیک شود سپس سرباره گیری در همین حالت انجام می‌شود.

۴ کنورتر را از سمت دهانه بارریز خم می‌کنند و پاتیل پیش گرم شده مذاب را که تا حدود ۸۰۰°C گرم شده، زیر دهانهٔ بارریز کنورتر و روی کانوایر قرار می‌دهند. سپس دهانهٔ بارریز را باز کرده و مذاب را به آهستگی به داخل پاتیل می‌ریزند و پاتیل محتوی مذاب را برای عملیات بعدی به‌جایگاه مشخص انتقال می‌دهند.

فولادی که با این فرایند تولید شده، فولاد سادهٔ کربنی است و بر حسب کنترل درصد کربن، عناصر دیگر بین ۰/۱ تا ۰/۸ درصد است. این فولاد می‌تواند مستقیماً در صنایع مختلف و یا برحسب نیاز جهت تهیه فولادهای آلیاژی مورد استفاده قرار گیرد.

به دلیل ترکیب شیمیایی دقیق به خصوص عدم وجود ترکیبات نیتروژن ، فولاد تولید شده به روش (L-D) از مرغوب‌ترین فولادها است.

تولید فولاد از آهن خام با استفاده از کورهٔ قوسی

کوره‌های قوسی کوره‌هایی هستند که در آنها حرارت لازم جهت ذوب و تصفیهٔ مذاب از طریق ایجاد قوس الکتریکی بین دو الکترود (که معمولاً گرافیتی و مصرفی هستند) تأمین می‌شود. این کوره‌ها در دو نوع وجود دارند که عبارت‌اند از:

۱ـ کوره‌های قوسی غیرمستقیم

که در آنها قوس بین دو الکترود به وجود می‌آید. قوس از طریق برق تک فاز نیز قابل تولید است. حرارت ایجاد شده از این طریق ایجاد قوس بین الکترودها، باعث ایجاد تشعشع شده و به‌صورت غیرمستقیم شارژ را از طریق تشعشع ذوب می‌کند. مقدار حرارت تولید شده توسط کوره‌های قوسی غیرمستقیم کم بوده و برای ذوب و آلیاژسازی فلزات غیر آهنی با نقطه ذوب پایین مثل آلیاژهای آلومینیوم یا روی کاربرد دارد.

۲ـ کوره‌های قوسی مستقیم

در این کوره‌ها مستقیماً بین الکترود و شارژ کوره (جامد یا مذاب) قوس ایجاد می‌شود. در این روش حرارت تولید شده چند برابر کوره‌های قوسی غیرمستقیم است. تعداد الکترودهای مورد استفاده در

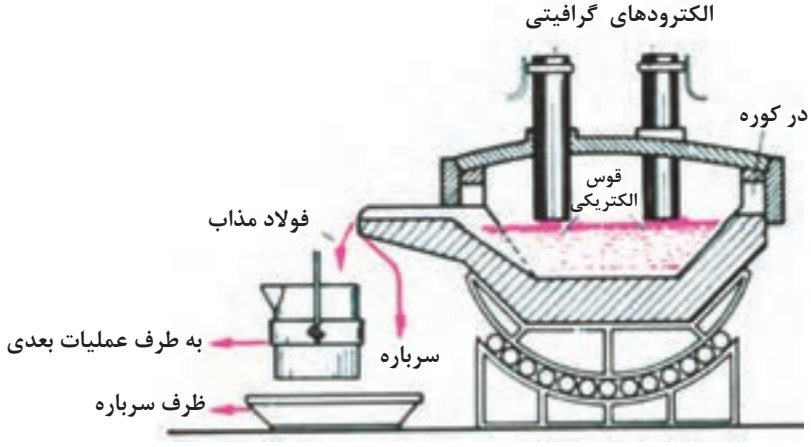
این نوع کوره‌ها، حداقل ۳ عدد است. برای کوره‌های با ظرفیت بیشتر به تناسب افزایش ظرفیت تعداد الکترودها ضریبی از ۳ مانند ۳، ۶ و ۹ انتخاب می‌شود. این نوع کوره‌ها به برق سه فاز نیاز دارند. این کوره‌ها برای ذوب و آلیاژسازی فلزات آهنی و برای تولید فولادهای آلیاژی و سوپر آلیاژی کاربرد فراوان دارند.

قوسی که بین الکترودها و شارژ کوره تشکیل می‌شود دمایی بیشتر از ۳۰۰۰ درجهٔ سلسیوس تولید می‌کند که می‌تواند فلزات با نقطهٔ ذوب بالا نظیر تنگستن، وانادیم و کروم را ذوب کرده و آلیاژهایی با نقطه ذوب بالا را تولید کند. فولادهای با نقطهٔ ذوب بالا نسبت به آلیاژهای با نقطهٔ ذوب پایین ارزش بالاتری داشته و هدف استراتژیک در تولید این نوع آلیاژها پیشبرد اهداف صنایع مهم کشور است.

کلیهٔ فولادهای سوپر آلیاژ مانند فولادهای ابزار شامل فولادهای تندبر (HSS) و دیرگداز را می‌توان با این نوع کوره‌ها تولید کرد. فولادهای مقاوم به حرارت و خوردگی و فولادهای فنر را نیز می‌توان با استفاده از این نوع کوره‌ها تولید کرد.

شارژ این نوع کوره‌ها، فولادهای تولید شده با استفاده از روش‌های بسمر ـ توماس، زیمنس ـ مارتین، L.D و قراضه است. البته در کوره‌های قوسی برای تصفیهٔ ناخالصی‌های مضر، باید به مذاب کوره آهک اضافه شود.

در شکل ۱۰ کورهٔ قوسی با قسمت‌های مختلف و موقعیت الکترودها نشان داده شده است.



شکل ۱۰

نکته

۱ الکترودهای مورد استفاده درکورهٔ قوسی از جنس گرافیت بوده و مصرفی هستند و باید هرچند وقت یک‌بار تعویض شوند.

۲ کنترل درجهٔ حرارت کوره و مذاب توسط تغییر فاصلهٔ الکترودها با شارژ کوره انجام می‌گیرد.

فعالیت کلاسی

انواع فولادهای مختلف تولید شده توسط کورهٔ قوسی مستقیم را با فولادهای تولید شده در کوره L.D مقایسه کرده و پس از بحث گروهی، نتیجه را در کلاس ارائه کنید.

ارزشیابی

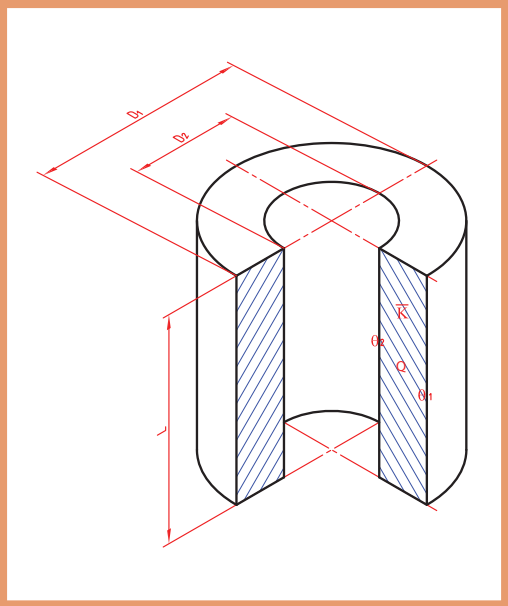
ارزشیابی در این درس براساس شایستگی است. برای هر پودمان یک نمرهٔ مستمر (از ۵ نمره) و یک نمرهٔ شایستگی پودمان (نمرات ۱، ۲ یا ۳) با توجه به استانداردهای عملکرد جداول ذیل برای هر هنرجو ثبت می‌گردد. امکان جبران پودمان‌ها در طول سال تحصیلی برای هنرجویان و براساس برنامه‌ریزی هنرستان وجود دارد.

الگوی ارزشیابی پودمان استخراج آهن و فولادسازی

تکالیف عملکردی (شایستگی‌ها)	استاندارد عملکرد	نتایج	استاندارد (شاخص‌ها، داوری، نمره دهی)	نمره
استخراج آهن و فولادسازی	ـ انواع سنگ معدن آهن و مراحل استخراج سنگ معدن و تغلیظ آن ـ روش‌های تولید آهن خام ـ روش‌های مختلف تولید فولادهای صنعتی	بالاتر از حد انتظار	ـ تعیین و تشخیص انواع سنگ معدن و مراحل استخراج و تغلیظ آن ـ تعیین و تشخیص روش‌های تولید آهن خام و ویژگی‌های آنها ـ تعیین و تشخیص روش‌های فولادسازی و ویژگی‌های آنها	۳
		در حد انتظار (کسب شایستگی)	ـ تعیین و تشخیص روش‌های تولید آهن خام و ویژگی‌های آنها ـ تعیین و تشخیص روش‌های فولادسازی و ویژگی‌های آنها	۲
		پایین‌تر از حد انتظار (عدم احراز شایستگی)	ـ ویژگی‌های روش‌های تولید آهن خام ـ ویژگی‌های روش‌های فولادسازی	۱
نمره مستمر از ۵				
نمره شایستگی پودمان از ۳				
نمره پودمان از ۲۰				

پودمان دوم

انتخاب مواد در متالورژی



انتقال حرارت

هـرگاه دو جسـم بـا درجـهٔ حرارت‌هـای مختلـف در کنـار هم قرار گیرند، گرما از جسـم گرم به جسـم سـرد منتقـل می‌شـود. بنابرایـن بین دو جسـم تبـادل گرما صـورت می‌گیرد.

تحقیق کنید

تحقیـق کنیـد میلـه‌ای به طول ۵۰ سـانتی‌متر در مجـاورت گرما قـرار گرفته، چه میزان زمان لازم اسـت تـا گرما به سـر دیگر (سـرد) میله برسـد.

وقتـی دو جسـم بـا دماهـای مختلـف در کنـار هـم قـرار گیرنـد بـه دلیـل تبـادل گرمـا پـس از مـدت زمان مشـخص هم‌دمـا شـده و بـه تعـادل دمایـی می‌رسـند.
این تبادل گرما همواره از جسم گرم به سمت جسم سرد بوده تا زمانی‌که هم‌دما شوند.
انتقـال حـرارت، قوانیـن نحـوهٔ پخـش و انتشـار گرما بین دو جسـم یا دو محیـط، بر اثر تفـاوت درجهٔ حرارت بیـن آنها را بیـان می‌کند.
مطالعـه و دانسـتن ایـن قوانیـن در تمـام صنایـع حرارتی، متالـورژی و همچنین دسـتگاه‌ها و تأسیسـاتی که بـه شـکلی با گرمـا در ارتباط هسـتند ضروری اسـت.
در صنعـت ریخته‌گـری و ذوب فلـزات، دانسـتن قوانیـن انتقـال حـرارت بـرای تهیـه قطعـهٔ مطلـوب و بدون عیـب و بـا صرفـه اقتصـادی مناسـب، اهمیت زیـاد دارد.

انواع انتقال حرارت

انتقال حرارت در ارتباط با اجسام و محیط‌ها به سه روش صورت می‌گیرد.
۱ انتقال حرارت از طریق هدایت (Condutction)
۲ انتقال حرارت از طریق جابه‌جایی (Convection)
۳ انتقال حرارت از طریق تشعشع (Radiation)

۱ انتقال حرارت از طریق هدایت

اگـر ابتـدای یـک میلـهٔ آلومینیومـی را در آب جـوش فـرو ببریـم، مشـاهده می‌کنیـم کـه به‌تدریـج نقـاط مختلـف ایـن میلـه گـرم می‌شـود، به‌طوری‌کـه پـس از مدتـی، تمـام میلـه گـرم می‌شـود و انـرژی گرمایی به‌وسـیلهٔ ذرات آلومینیـوم (اتم‌هـا) از ابتـدای میلـه، بـه انتهـای میلـه می‌رسـد. این‌گونـه انتقال حـرارت را هدایـت یـا رسـانایی می‌نامنـد. هـر قدر قابلیت هدایت جسـم بیشـتر باشـد، انتقال حـرارت سـریع‌تر خواهد بـود. مثـلاً قابلیـت هدایـت اجسـامی نظیر چوب یا شیشـه به مراتـب کمتر از آلومینیوم و سـایر فلزات اسـت و انتقـال حـرارت در آنهـا بـه کنـدی انجـام می‌گیرد.

تئوری مولکولی انتقال حرارت

اگـر انـرژی حرارتـی از هـر مولکـول یـا اتم بـه مولکول مجـاور خود، طـوری منتقل شـود که هیـچ مولکولی از جـای خـود حرکـت انتقالـی نکنـد و بـه عبارتـی دیگـر، محل مولکول‌هـا ثابت باشـد و فقط انـرژی حاصل از ارتعـاش (گرمـا) از مولکولـی بـه مولکـول دیگـر منتقل شـود، در این صورت ایـن انتقال را هدایـت گویند.

۲ انتقال حرارت به طریق جابه‌جایی

در ایـن روش مولکول‌هـای قسـمت گرم و قسـمت سـرد جـای خود را عوض کـرده و این عمل تـا موقعی که تمـام محیـط (قسـمت‌های سـرد و گـرم) به یک درجـه حرارت (درجـه حرارت تعادل) برسـند ادامـه خواهد داشـت. در حقیقـت انتقـال حـرارت بـه طریقه جابه‌جایـی فقط برای مایعـات و گازها امکان‌پذیر اسـت.

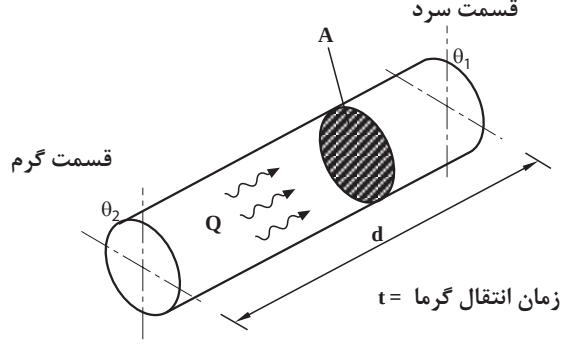
بـرای مثـال وقتـی در اتـاق بخـاری یـا شـوفاژ روشـن می‌کنیم هـوای گرم اطـراف بخـاری یا شـوفاژ به علت سـبک شـدن و کاهـش چگالـی بـه سـمت بـالا حرکت کـرده و هوای سـرد که سـنگین‌تر اسـت در جای آن قـرار می‌گیـرد. ایـن عمـل چرخـش هـوای گرم و سـرد آن قـدر ادامـه پیـدا می‌کند، تـا درجه حـرارت اتاق بـه تعـادل برسـد. در ریخته‌گـری، مهم‌تریـن موضـوع در کوره‌هـا، انتقال حـرارت به طریق جابه‌جایی اسـت کـه در دهانـه کـوره بـا گرم شـدن هـوای محیط، حـرارت به خـارج انتقـال یافته کـه درنتیجه باعـث کاهش راندمـان حرارتی کوره می‌شـود.

۳ انتقال حرارت به طریق تشعشع

در ایـن نـوع انتقـال، انـرژی حرارتـی به‌صـورت امـواج بـا ماهیتـی نظیـر امـواج نورانـی منتقـل می‌شـوند. بنابرایـن انـرژی حرارتـی ماننـد انـرژی نورانـی برای انتشـار احتیاجی بـه محیط مـادی نـدارد و در خلأ بهتر و سـریع‌تر منتشـر می‌شـود. به‌طـور کلـی هـر جسـمی کـه درجه حـرارت آن بیشـتر از صفر مطلـق (۲۷۳ـ درجـهٔ سلسـیوس) باشـد، از خـود انـرژی حرارتـی پخش می‌کنـد و هرچه درجه حـرارت جسـم افزایش یابد ایـن انـرژی نیـز بیشـتر خواهد شـد. در درجـه حرارت‌هـای بالاتر انرژی تشعشـعی، بـا انرژی نورانـی همراه خواهـد بـود. به‌طوری‌کـه از روی رنـگ جسـم گداختـه می‌تـوان بـه درجـه حـرارت آن پـی برد. مثـلاً فولاد معمولـی بیـن ۷۷۰ تـا ۸۳۰ درجـهٔ سلسـیوس قرمـز رنـگ بـوده و بیـن ۸۳۰ تـا ۱۵۰۵ درجـهٔ سلسـیوس بـه رنـگ نارنجـی نمایـان می‌شـود. در دمـای بیـن ۱۰۵۰ تـا ۱۱۵۰ درجهٔ سلسـیوس به رنـگ زرد لیمویی درمی‌آیـد. در بعضـی از کوره‌هـای ذوب فلـز، عمـل ذوب بیشـتر توسـط انـرژی تشعشـعی حاصـل از احتراق سـوخت انجـام می‌گیـرد. مثـلاً در کوره‌های شـعله‌ای (دوار) مقداری از انرژی تشعشـعی مسـتقیماً و مقداری پـس از انعـکاس توسـط سـقف و دیواره‌هـای کـوره بـه سـطح فلـز تابـش می‌کنـد و باعـث افزایـش درجـه حـرارت و ذوب آن می‌گـردد.

محاسبات انتقال حرارت

رابطـهٔ انتقـال حـرارت از طریـق هدایـت بـرای سـطوح تـک لایـه بـا توجـه بـه شـکل ۱ به‌دسـت می‌آیـد و حـرارت منتقـل شـده (Q) بـه نسـبت فاکتورهـای زیـر افزایـش یـا کاهـش پیـدا می‌کند.



شکل ۱

سطح انتقال A

مقدار حرارت انتقال یافته با سطح نسبت مستقیم دارد. یعنی اگر سطح بیشتر شود، حرارت منتقل شده نیز افزایش می‌یابد. $Q \propto A$

اختلاف درجه حرارت $\Delta\theta$: هرچه اختلاف درجه حرارت دو سر جسم بیشتر باشد، مقدار حرارت انتقالی نیز افزایش می‌یابد.

$$Q \propto \Delta\theta \qquad \Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$$

ضخامت جسم یا دیواره d: با افزایش ضخامت جسم مقدار حرارت انتقال یافته از طریق هدایت، کاهش یافته و با کاهش ضخامت، انتقال حرارت افزایش می‌یابد. یعنی انتقال حرارت با ضخامت جسم رابطه عکس دارد.

$$Q \propto \frac{1}{d}$$

زمان انتقال حرارت t: مقدار حرارت منتقل شده با زمان، نسبت مستقیم دارد. یعنی هرچه زمان بیشتر باشد گرمای بیشتری از میله منتقل می‌شود.

$$Q \propto t$$

جنس جسم یا دیواره: نوع جنس و ماهیت جسم بر انتقال حرارت تأثیر داشته و باعث افزایش و یا کاهش آن می‌گردد. با توجه به مطالب بالا می‌توان بیان کرد حرارت منتقل شده به‌صورت رابطه زیر می‌باشد:

$$Q \propto \frac{A(\theta_2 - \theta_1)t}{d}$$

برای تبدیل تناسب به تساوی به ضریب نیاز است که به آن ضریب تناسب گویند و آن را به شکل K نشان می‌دهند. بنابراین رابطه انتقال حرارت به‌صورت زیر است:

$$Q = K\frac{A(\theta_2 - \theta_1)t}{d}$$

K ضریب تناسبی است که مقدار آن برای هر جسمی ثابت است و به جنس جسم بستگی دارد.
این ضریب، ضریب هدایت حرارتی نامیده می‌شود.

واحدهای انتقال حرارت

واحدها در رابطه انتقال حرارت از طریق هدایت به قرار زیر می‌باشد.

Q	مقدار حرارت منتقل شده	کالری (cal) کیلو کالری (Kcal) ژول (J) کیلو ژول (KJ)
A	سطح انتقال حرارت برحسب	سانتی‌متر مربع (cm^2) متر مربع (m^2)
d	ضخامت لایهٔ انتقال حرارت	سانتی‌متر (cm) متر (m)
t	زمان انتقال حرارت	ثانیه (s) دقیقه (min) ساعت (h)
$\Delta\theta$	اختلاف دمای دو سر جسم	درجهٔ سلسیوس (°C) درجهٔ کلوین (K)

تعیین مقدار K از رابطهٔ انتقال حرارت:

$$K=\frac{Qd}{A(\theta_2-\theta_1)t}$$

تعیین واحد K

$$K\ \text{واحد}=\frac{cal\times cm}{cm^2\times{}^\circ C\times s}=\frac{cal}{cm^\circ C\,s}=\frac{\text{کالری}}{\text{ثانیه}\times\text{سانتی‌متر}\times\text{درجهٔ سلسیوس}}$$

و در سیستم SI واحد K به قرار زیر می‌باشد:

$$K=\frac{J\times m}{m^2\times K\times s}=\frac{J/s}{mK}$$

از طرفی چون ژول بر ثانیه (J/s) برابر است با وات W لذا:

$$K\ \text{واحد}=\frac{W}{mK}=\frac{\text{وات}}{\text{متر}\times\text{درجهٔ کلوین}}$$

$$1Cal=4/1868J\approx4/2J$$

هر کالری تقریباً معادل ۴/۲ ژول می‌باشد.

$$1\frac{cal}{cm^\circ C\,s}=1\times\frac{4/2J}{\frac{1}{100}m\times{}^\circ C\times s}=420\frac{W}{m^\circ C}$$

جدول ۱ـ جدول ضریب هدایت حرارتی اجسام

جسم	K		جسم	K	
	W/mk	cal/cm.°C.s		W/mk	cal/cm.°C.s
آلومینیوم	۲۰۵/۳	۰/۴۹	آجر نسوز	۰/۶۳	۰/۰۰۱۵
سرب	۳۴/۸	۰/۰۸۳	خاک رُس	۰/۷۹۶	۰/۰۰۱۹
مس	۳۸۵/۵	۰/۹۲	آجر ساختمانی	۰/۷۵۴	۰/۰۰۱۸
آهن	۷۵/۴	۰/۱۸	سربارهٔ کوره	۰/۷۹۶	۰/۰۰۱۹
جیوه	۸/۴	۰/۰۲۰	ماسهٔ مرطوب	۱/۵۹۲	۰/۰۰۳۸
نقره	۴۰۶/۴	۰/۹۷	مخلوط آهک و ماسه	۰/۸۴	۰/۰۰۲
طلا	۳۱۴/۲	۰/۷۵	بتُن	۲/۱	۰/۰۰۵
برنج	۱۰۹	۰/۲۶	شیشه	۰/۸۴	۰/۰۰۲
چدن	۶۳	۰/۱۵	آب	۰/۶۳۷	۰/۰۰۱۵۲
فولاد	۵۰/۳	۰/۱۲	بنزین	۰/۱۳۴	۰/۰۰۰۳۲
مقوای نسوز (آزبست)	۰/۱۵۵	۰/۰۰۰۳۷	هوا	۰/۰۲۳۹	۰/۰۰۰۰۵۷
ورق پنبه‌نسوز	۰/۰۱۵۱	۰/۰۰۰۳۶	گاز طبیعی	۰/۰۲۹۳	۰/۰۰۰۰۷

مثـال: یـک دیـواره از آجر نسـوز بـه ابعـاد ۵۰ × ۴۰ سـانتی‌متر، در مجاورت یـک منبع حرارتی قـرار دارد. چنانچـه درجـهٔ حـرارت سـطح گـرم و سـطح سـرد این دیـواره بـه ترتیـب ۱۲۰۰ و ۵۰ درجهٔ سلسـیوس و ضریـب هدایـت حرارتـی آجر نسـوز به‌طور متوسـط $K = ۰/۰۰۱۴ \ cal/cm^{\circ}C\,s$ باشـد، حـرارت انتقال یافته در هـر دقیقـه را بـرای ایـن دیواره بـا ضخامت ۱۳ cm برحسـب cal محاسـبه کنید.

حـل: بـا توجـه به اطلاعـات مثال، ابتدا مقدار سـطح انتقال را محاسـبه می‌کنیم. سـپس مقادیـر را در رابطه اصلی انتقـال حرارت قـرار می‌دهیم.

مقـدار زمـان برحسـب دقیقـه در اطلاعـات مثال داده شـده کـه با توجه بـه اینکه واحد K، $\frac{cal}{cm^{\circ}Cs}$ اسـت بایـد مقـدار زمان بـه ثانیه تبدیـل گردد.

$$A = ۴۰ \times ۵۰ = ۲۰۰۰ cm^{۲}$$

$$Q = \frac{K A \Delta\theta t}{d} = \frac{۰/۰۰۱۴ \times ۲۰۰۰ \times (۱۲۰۰ - ۵۰) \times (۱ \times ۶۰)}{۱۳}$$

$$Q = ۱۴۸۶۱/۵۳ cal$$

نکته

در صورت مشخص بودن K و واحد آن، می‌تواند واحد بقیه پارامترها را مشخص کند.

$$K = \frac{cal}{cm^{\circ}Cs}$$

واحد Q ← صورت

واحد A و d ← مخرج

واحد $\Delta\theta$ ← مخرج

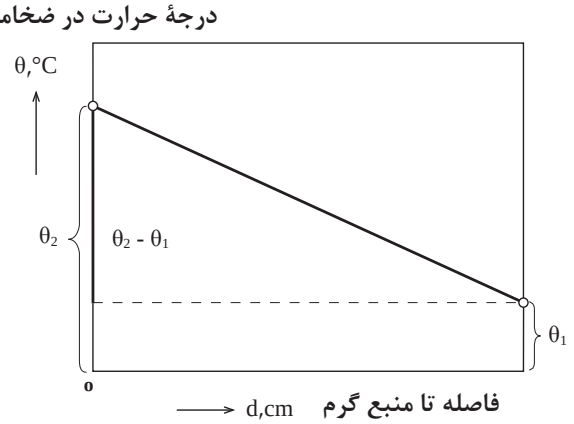
واحد t ← مخرج

فعالیت کلاسی

- اگـر ضریـب هدایـت حرارتـی یک جسـم $۸۰ \frac{cal}{cm.^{\circ}C.s}$ باشـد،مقدار آن را برحسـب $\frac{W}{m.K}$ به‌دسـت آورید.
- میلـه‌ای بـه طـول $۰/۴ m$ و سـطح مقطـع $۸ cm^{۲}$ در مجـاورت یـک منبـع حرارتـی به مـدت ۱۵ دقیقه قـرار دارد، اگـر درجـه حـرارت یـک سـر میلـه $۲۵۰^{\circ}C$ و سـر دیگـر آن $۵۰^{\circ}C$ باشـد، چـه مقـدار گرمـا برحسـب کیلـو کالـری از آن عبـور خواهـد کـرد. ضریـب هدایـت حرارتـی میله $۰/۲۶ \frac{cal}{cm.^{\circ}C.s}$ اسـت.
- میلـه‌ای بـه طـول ۲۰۰ cm در مجـاورت منبع حرارتی به مـدت ۳۰ دقیقه قرار می‌گیرد، اگـر درجه حرارت یـک سـر میلـه $۵۰۰^{\circ}C$ و سـر دیگر آن $۱۵۰^{\circ}C$ باشـد و مقـدار گرمای انتقال یافته ۵۰۰ Kcal باشـد، سـطح مقطـع میلـه چنـد سـانتی‌متر مربع خواهد بـود. ضریب هدایـت حرارتی میله $۴۰۰ \frac{Kcal}{m.^{\circ}C.hr}$ اسـت.

رسم دیاگرام توزیع درجهٔ حرارت در ضخامت دیواره

دیاگرام تغییرات دما در یک دیواره مطابق شکل ۲ به‌صورت یک خط مستقیم است. این خط، درواقع توزیع درجه حرارت در ضخامت دیواره را نشان می‌دهد که در اصطلاح به آن «شیب حرارتی» می‌گویند. از روی این نمودار به سهولت می‌توان در ضخامت دیواره، در فاصله‌های مختلف از منبع حرارتی، درجه حرارت را تعیین کرد. هرچه شیب خط تندتر باشد، هدایت حرارتی بیشتر خواهد بود. اگر شیب ملایم باشد انتقال حرارت کمتر است.



شکل ۲

با توجه به نمودار بالا اندازه شیب حرارتی چنین خواهد بود:

$$\text{شیب حرارتی} = \frac{\Delta\theta}{d} = \frac{\theta_2 - \theta_1}{d}$$

مثال: درجه حرارت سطح داخلی و خارجی دیوارهٔ یک کوره به ضخامت ۳۰cm به ترتیب ۵۰۰°C و ۵۰°C است. میزان شیب حرارتی را برحسب درجهٔ سلسیوس بر سانتی‌متر به‌دست آورید.

$$\text{شیب حرارتی} = \frac{\Delta\theta}{d} \rightarrow \frac{(\theta_2 - \theta_1)}{d} \Rightarrow \frac{500 - 50}{30} = 15 \frac{^\circ C}{cm}$$

نکته

با مشخص بودن شیب حرارتی می‌توان درجهٔ حرارت در ضخامت‌های داخلی دیواره را مشخص کرد.

مثال: با توجه به مثال قبل، دما در عمق ۸cm از سطح گرم آن دیواره را به‌دست آورید.

$$\text{شیب حرارتی} = \frac{\Delta\theta}{d}$$

$$\text{شیب حرارتی} = \frac{\theta_2 - \theta_x}{d}$$

$$15 = \frac{500 - \theta_x}{8}$$

$$\theta_x = 500 - (15 \times 8)$$

$$\theta_x = 380^\circ C$$

فعالیت کلاسی

یک دیوارهٔ عایق به ضخامت $0/4\,m$ در مجاورت یک منبع حرارتی قرار دارد. در صورتیکه دمای دو طرف دیواره به‌ترتیب $450^{\circ}C$ و $70^{\circ}C$ باشد، ابتدا شیب حرارتی سپس دما در عمق $0/25\,m$ از سطح سرد این دیواره را محاسبه کنید.

شدت جریان حرارتی (q)

اگر حرارت انتقال یافته در واحد زمان در نظر گرفته شود مقدار به‌دست آمده را شدت جریان حرارتی می‌گویند.

$$q = \frac{Q}{t} \qquad \text{و} \qquad q = \frac{K A \Delta\theta}{d}$$

در صورتی‌که گرمای انتقال یافته در واحد زمان و همچنین واحد سطح در نظر گرفته شود. مقدار به‌دست آمده را شدت جریان حرارتی مخصوص می‌گویند.

$$q_e = \frac{Q}{A\,t} = \frac{k\Delta\theta}{d}$$

واحد شدت جریان حرارتی برابر است با $\frac{J}{s}$ یا وات (W)

واحد شدت جریان حرارتی مخصوص برابر است با $\frac{cal}{cm^2.s}$

واحد q_e در سیستم SI برابر است با $\frac{W}{m^2}$ $= \frac{J}{m^2 \times s}$ $=$ واحد q_e

هدایت حرارتی و مقاومت حرارتی

هدایت حرارتی یک دیواره به جنس دیواره و عکس مقدار ضخامت آن $(\frac{1}{d})$ بستگی دارد.

$$\delta = \frac{K}{d}$$

مقاومت حرارتی یک دیواره عکس هدایت حرارتی آن خواهد بود.

$$R = \frac{1}{\delta} \Rightarrow R = \frac{d}{K}$$

مثال: دیوارهٔ مسطح تک لایه به ضخامت $30\,cm$ و مساحت $3500\,cm^2$ در مجاورت یک منبع حرارتی قرار دارد. اگر درجه حرارت سطح داخلی این دیواره $1200^{\circ}C$ و درجه حرارت پشت دیواره $200^{\circ}C$ باشد و ضریب هدایت حرارتی متوسط دیواره $0/001\ \frac{cal}{cm.^{\circ}C.s}$ باشد، مطلوب است محاسبه و تعیین شدت جریان حرارتی دیواره برحسب $\frac{cal}{s}$ و W.

حل: ابتدا رابطه اصلی انتقال حرارت را بنویسید.

$$q = \frac{Q}{t} = \frac{K A \Delta\theta}{d}$$

سپس جاگذاری مقادیر داده را انجام دهید.

$$q = \frac{۰/۰۰۱ \times ۳۵۰۰(۱۲۰۰ - ۲۰۰)}{۳۰}$$

$$q = ۱۱۶/۷ \frac{cal}{s}$$

$$۱ \frac{cal}{s} = ۴/۱۸۶۸ W$$

$$q = ۱۱۶/۷ \times ۴/۱۰۶۰ = ۴۰۰/۶ W$$

فعالیت کلاسی

با توجه به مثال قبل مقدار شدت جریان حرارتی مخصوص، مقدار هدایت حرارتی و مقاومت حرارتی را به‌دست آورید.

انتقال حرارت برای دیوارهٔ سطح چند لایه

در اکثر کاربردهای صنعتی دیواره‌ها چند لایه هستند. مانند شیشه‌های دوجداره که از دو لایه شیشه تشکیل شده‌اند و بین دو لایه گاز آرگون وجود دارد. یا جداره کوره‌ها که معمولاً چند لایه است. برای محاسبهٔ مقدار حرارت انتقال یافته از دیواره‌های چند لایه ابتدا ضریب هدایت حرارتی معادل برای چند لایه به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$K_{eq} = \frac{d}{\frac{d_۱}{k_۱} + \frac{d_۱}{k_۲} + \frac{d_۳}{k_۲}}$$

سپس مقدار ضریب هدایت حرارتی معادل(K_{eq}) در رابطهٔ اصلی انتقال حرارت قرار داده می‌شود.

$$Q = \frac{K_{eq} A \Delta\theta t}{d}$$

فعالیت کلاسی

مشخصات و ابعاد یک جدارهٔ مسطح دو لایه عبارت است از:

$$\begin{cases} d_۱ = ۱۲cm \\ d_۲ = ۸cm \\ A = ۱۰۰۰cm^۲ \\ t = ۱۰min \end{cases} \qquad \begin{cases} K_۱ = ۰/۰۰۵ \frac{cal}{cm.^\circ C.s} \\ K_۲ = ۰/۰۰۴ \frac{cal}{cm.^\circ C.s} \\ \theta_۱ = ۴۰^\circ C \\ \theta_۳ = ۱۰۰۰^\circ C \end{cases}$$

چنانچه ضریب هدایت حرارتی هر لایه ثابت باشد مطلوب است محاسبه و تعیین:
الف) ضریب هدایت حرارتی معادل جداره
ب) مقدار حرارتی انتقال یافته از جداره در مدت زمان ۱۰ دقیقه برحسب J

$(1cal = 4/2J)$

انتقال حرارت دیواره‌های استوانه‌ای تک لایه

در کاربردهای صنعتی مانند کوره‌های ریخته‌گری معمولاً از دیواره‌های استوانه‌ای شکلِ یک یا چند لایه استفاده می‌شود. به این دلیل که کوره‌های استوانه‌ای دارای سطح کمتری نسبت به کوره‌های با جداره مسطح می‌باشند، در نتیجه با توجه به اینکه مقدار حرارت انتقال یافته نسبت مستقیم با سطح دارد، اتلاف حرارت از طریق انتقال حرارت به روش هدایت در کوره‌های استوانه‌ای شکل، کمتر از کوره‌های با جداره مسطح است. بنابراین باید مقدار حرارت انتقال یافته به روش هدایت را در کوره‌های استوانه‌ای شکل محاسبه کرد.

در دیواره‌های استوانه‌ای مطابق شکل ۳ مقدار حرارت انتقال یافته از دیواره مطابق رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$Q = \frac{\pi \bar{K} L t}{\frac{D_1 - D_2}{D_1 + D_2}} (\theta_2 - \theta_1)$$

که در رابطه بالا:

Q = مقدار حرارت انتقال یافته از جداره استوانه‌ای برحسب cal یا J

$\bar{K}$ = ضریب هدایت حرارتی متوسط دیواره برحسب $\frac{cal}{cm.^\circ C.s}$ یا $\frac{W}{m.^\circ C}$

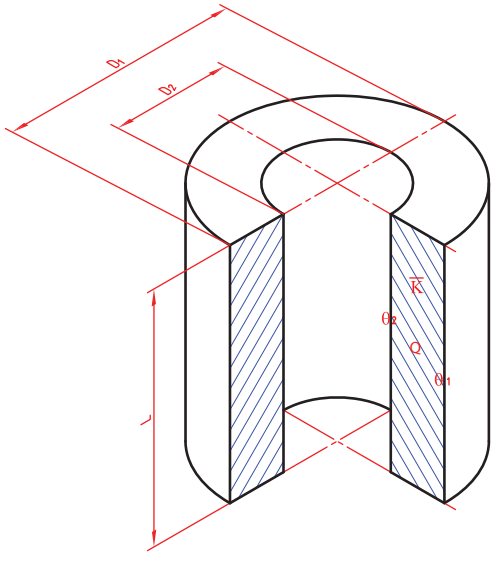
L = ارتفاع دیواره استوانه‌ای برحسب cm یا m

D_1 = قطر خارجی دیواره استوانه‌ای برحسب cm یا m

D_2 = قطر داخلی دیواره استوانه‌ای برحسب cm یا m

θ_1 = دمای خارجی دیواره استوانه‌ای برحسب °C یا K

θ_2 = دمای داخلی دیواره استوانه‌ای برحسب °C یا K



شکل ۳

نکته

رابطهٔ انتقال حرارت به روش هدایت در دیواره‌های استوانه‌ای زمانی قابل استفاده است که قطر داخلی استوانه برابر یا بزرگ‌تر از نصف قطر خارجی آن باشد.

مثال: درجه حرارت سطح داخلی و خارجی جداره یک لایه کوره استوانه‌ای شکل به ترتیب عبارت‌اند از:

$\theta_2 = 800°C$ و $\theta_1 = 100°C$ و ارتفاع کوره $80\,cm$ و قطر داخلی $D_2 = 80cm$ و قطر خارجی $D_1 = 120cm$ و ضریب هدایت حرارتی متوسط $0/0015\ \frac{cal}{cm.°C.s}$ است.

مقدار حرارت انتقال یافته از این جداره برحسب کیلو کالری در مدت ۲ ساعت را محاسبه کنید.

حل: باتوجه به داده‌ها، ابتدا تبدیل واحد را انجام می‌دهیم.

$t = 2\ hr$

$t = 2 \times 3600\ s$

$t = 7200\ s$

رابطه اصلی را نوشته و حل را کامل می‌کنیم

$$Q = \frac{\pi \bar{K} L t}{\frac{D_1 - D_2}{D_1 + D_2}}(\theta_2 - \theta_1) \Rightarrow \frac{3/14 \times 0/0015 \times 80 \times 7200}{\frac{120-80}{120+80}}(800-100)$$

$$Q = \frac{18990/72}{0/2}$$

$$Q = \frac{9495360}{1000}cal$$

$Q = 9495/36Kcal$

فعالیت کلاسی

دیواره‌ای استوانه‌ای شکل از جنس نسوز با ابعاد و مشخصات زیر مفروض است:

$D_1 = 80cm$

$D_2 = 60cm$

$L = 1m$

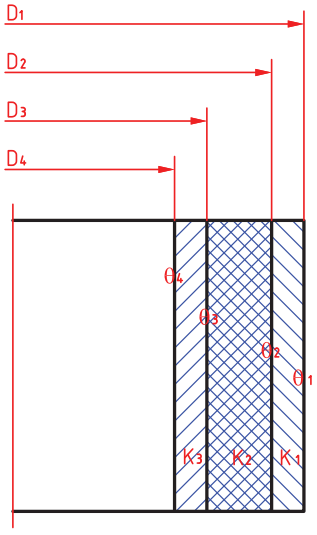
$\bar{K} = 1/5 \times 10^{-3}\ \frac{cal}{cm.°C.s}$

در صورتی‌که دمای داخل و خارج این دیواره به ترتیب $500°C$ و $150°C$ باشد، مطلوب است:

الف) محاسبهٔ میزان گرمای انتقال یافته در ۳۰ دقیقه

ب) شدت جریان حرارتی مخصوص برحسب $\frac{W}{m^2}$

انتقال حرارت از دیواره‌های چند لایهٔ استوانه‌ای شکل



شکل ۴

در دیواره‌های استوانه‌ای شکل چند لایه نیز مانند دیواره‌های مسطح چند لایه، برای محاسبهٔ حرارت انتقال یافته، ضریب هدایت حرارتی معادل لازم است.

با توجه به شکل زیر یک کورهٔ زمینی با سه لایه مفروض است، رابطهٔ ضریب هدایت حرارتی آن از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$K_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{K}\times\frac{D_1 - D_2}{D_1 + D_2} + \frac{1}{K_2}\times\frac{D_2 - D_3}{D_2 + D_3} + \frac{1}{K_3}\times\frac{D_3 - D_4}{D_3 + D_4}}$$

ضریب هدایت حرارتی هر لایه (K_1، K_2 و K_3) ثابت فرض شده است.

با مشخص شدن ضریب هدایت حرارتی معادل، به آسانی می‌توان مقدار حرارت انتقالی برای این نوع دیواره‌های استوانه‌ای چند لایه را محاسبه و تعیین کرد.

$$Q = \pi K_{eq} L t (\theta_4 - \theta_1)$$

نکته

در رابطهٔ فوق با توجه به ($\theta_4 - \theta_1$) می‌توان مشخص کرد رابطهٔ فوق مربوط به جدارهٔ استوانه‌ای سه لایه است. به عبارت دیگر اختلاف پرانتز مشخص‌کنندهٔ تعداد لایه‌ها است.

مثال: درجهٔ حرارت سطح داخلی و خارجی جدارهٔ دو لایه یک کورهٔ استوانه‌ای شکل به ترتیب عبارت‌اند از: $\theta_4 = 100°C$، $\theta_1 = 50°C$ و ابعاد این کوره برابر است با:

ارتفاع کوره $L = 150cm$ و قطر داخلی $D_2 = 120cm$ و قطر میانی $D_3 = 140cm$ و قطر خارجی $D_1 = 160cm$. لایهٔ خارجی از خاک رُس به ضریب هدایت حرارتی متوسط $K_1 = 0/004 \frac{cal}{cm.^\circ C.s}$ و لایهٔ داخلی از آجر نسوز به ضریب هدایت حرارتی متوسط $K_2 = 0/002 \frac{cal}{cm.^\circ C.s}$ تشکیل شده است. مطلوب است محاسبهٔ:

الف) ضریب هدایت حرارتی معادل این جدارهٔ دو لایه

ب) مقدار حرارت انتقال یافته از این جداره برحسب کیلو کالری در مدت زمان ۵۰ دقیقه

حل: با توجه به داده‌های مثال ابتدا تبدیل واحد زمان را انجام داده سپس ضریب هدایت حرارتی معادل را محاسبه می‌کنیم.

$t = 50\ min$

$t = 50 \times 60\ s$

$t = 3000\ s$

$$K_{eq} = \frac{۱}{\frac{۱}{K_۱} \times \frac{D_۱ - D_۲}{D_۱ + D_۲} + \frac{۱}{K_۲} \times \frac{D_۲ - D_۳}{D_۲ + D_۳}}$$

$$K_{eq} = \frac{۱}{\frac{۱}{۰/۰۰۴} \times \frac{۱۶۰ - ۱۴۰}{۱۶۰ + ۱۴۰} + \frac{۱}{۰/۰۰۲} \times \frac{۱۴۰ - ۱۲۰}{۱۴۰ + ۱۲۰}}$$

$$K_{eq} = \frac{۱}{۱۶/۷ + ۳۸/۵} = ۰/۰۱۸ \frac{cal}{cm.^{\circ}C.s}$$

سپس مقدار حرارت منتقل شده را با توجه به رابطه زیر به‌دست می آوریم:

$$Q = \pi K_{eq} L t (\theta_۳ - \theta_۱)$$

$$Q = ۳/۱۴ \times ۰/۰۱۸ \times ۱۵۰ \times ۳۰۰۰ (۱۰۰۰ - ۵۰)$$

$$Q = ۲۴۱۶۲۳۰۰ cal$$

$$Q = \frac{۲۴۱۶۲۳۰۰}{۱۰۰۰} = ۲۴۱۶۲/۳ Kcal$$

فعالیت کلاسی

درجهٔ حرارت سطح داخلی و خارجی دیوارهٔ دو لایهٔ یک کورهٔ استوانه‌ای شکل به ترتیب $\theta_۳ = ۹۵۰^{\circ}C$ و $\theta_۱ = ۱۱۰^{\circ}C$ است.

ابعاد این کوره:

ارتفاع داخلی کوره $L = ۱۳۰cm$ ، قطر داخلی $D_۳ = ۱۵۰cm$، قطر میانی $D_۲ = ۱۶۰cm$ و قطر خارجی $D_۱ = ۱۸۰cm$

لایهٔ خارجی از خاک رس به ضریب هدایت حرارتی متوسط $K_۱ = ۰/۰۰۳ \frac{cal}{cm.^{\circ}C.s}$ و لایه داخلی از آجر نسوز به ضریب هدایت حرارتی متوسط $K_۲ = ۰/۰۰۱۸ \frac{cal}{cm.^{\circ}C.s}$ تشکیل شده است.

مطلوب است محاسبه:

الف) ضریب هدایت حرارتی معادل برای این جدارهٔ دو لایه

ب) مقدار حرارت منتقل شده برحسب کیلو کالری در مدت دو ساعت

انتقال حرارت از طریق جابه‌جایی

اگر سیالی (مایع یا گاز) با دمای (θ_F) از کنار دیوارهٔ با دمای (θ_W) و سطح انتقال (A) و در مدت زمان (t) عبور کند، گرما از سیال به دیواره منتقل می‌شود.

بنابراین گرمای انتقال یافته از سیال به دیواره نسبت مستقیم با اختلاف درجهٔ حرارت سیال و دیواره ($\theta_F - \theta_W$)، سطح دیواره (A) و زمان تماس (t) دارد.

در نتیجه رابطهٔ انتقال حرارت با پارامترهای متناسب با آن به‌صورت زیر خواهد بود:

$$Q \propto A (\theta_F - \theta_W) t$$

برای تبدیل این تناسب به تساوی نیاز به یک ضریب است که با a_C نشان داده می‌شود.
این ضریب متناسب با جنس سیال، شکل و ابعاد دیواره است.
a_C را ضریب جابه‌جایی یا (Convection) می‌نامند. بنابراین رابطه انتقال حرارت از طریق جابه‌جایی به‌صورت زیر خواهد بود:

$$Q = a_c\ A\ (\theta_F - \theta_W)\ t$$

واحد Q: حرارت انتقال یافته برحسب J یا cal.
t: زمان برحسب s
A: سطح مشترک سیال و دیواره برحسب cm^2 یا m^2.
$(\theta_F - \theta_W)$: اختلاف درجهٔ حرارت برحسب °C یا K.
بنابراین با جای گذاری این واحدها (سیستم SI) در رابطهٔ انتقال حرارت به طریق جابه‌جایی خواهیم داشت:

$$\frac{Q}{t} = a_c\ A(\theta_F - \theta_W)$$

$$\frac{J}{s} = a_c \times m^2 \times (^\circ C)$$

$$W = a_c \times m^2 \times {}^\circ C \Rightarrow a_c = \frac{W}{m^2.{}^\circ C}$$

نکته

رابطهٔ $\frac{Q}{t} = a_c\ A(\theta_F - \theta_W)$ برای زمانی است که حرارت از سیال با درجهٔ حرارت بالاتر به دیوارهٔ جامد با درجه حرارت پایین‌تر منتقل می‌شود. در صورتی‌که انتقال حرارت از دیوارهٔ گرم به سیال سرد صورت پذیرد رابطهٔ انتقال حرارت به روش جابه‌جایی به‌صورت زیر خواهد بود:

$$\frac{Q}{t} = a_c\ A(\theta_W - \theta_F)$$

سوخت‌ها

برای تأمین حرارت مورد نیاز جهت ذوب فلزات و آلیاژها و همچنین عملیات حرارتی قطعات، نیاز به گرما است که از طریق الکتریسیته و سوخت‌های فسیلی تأمین می‌شود. امروزه از سوخت‌ها و انرژی‌های هسته‌ای نیز استفاده می‌شود. هر ماده‌ای که در اثر سوختن یا تحول شیمیایی حرارت تولید کند یا گرمازا باشد را سوخت می‌گویند.
اجزای اصلی تشکیل‌دهندهٔ سوخت عبارت‌اند از کربن، هیدروژن و عناصری چون اکسیژن، گوگرد و فسفر به دلیل واکنش با محیط، ارزش سوخت را پایین می‌آورند. انتخاب هر یک از انواع سوخت‌ها و بررسی قوانین کمی و شرایط کیفی احتراق آنها (ترکیب با اکسیژن و هوا) در صنعت ذوب فلزات و ریخته‌گری از اهمیت زیادی برخوردار است. زیرا با توجه به شرایط اقتصادی و اصول طراحی و تولید قطعات می‌توان از اتلاف حرارتی آنها در حد امکان جلوگیری کرد.

مفاهیم اصلی سوخت

احتـراق: در یـک واکنـش شـیمیایی عامل سـوختن و اکسـیژن با هـم ترکیب شـده و مقادیر زیـادی انرژی گرمایـی تولیـد می‌شـود که بـه آن احتـراق می‌گویند.

احتراق کامل: در صورت سوختن کامل عامل سوخت، احتراق کامل است.

$$C + O_2 \Rightarrow CO_2 + \text{حرارت}$$

کربن دی اکسید اکسیژن عامل سوخت

احتـراق ناقـص: در صـورت کافی نبودن اکسـیژن یا هـوا تمامی عامل سـوخت (کربن) می‌سـوزد و احتراق ناقص ایجـاد می‌گردد.

$$CO_2 + C \Rightarrow 2CO - \text{حرارت}$$

مدول سطحی: نسبت سطح کل سوخت به حجم سوخت را مدول سطحی می‌گویند.

$$M_a = \frac{A}{V} \Rightarrow \frac{\text{سطح کل}}{\text{حجم}}$$

درجـه حـرارت احتـراق: حداقـل دمایی کـه نیاز اسـت تا واکنـش سـوختن انجام شـود را درجـه حرارت احتـراق می‌گویند.

ضریـب تخلخـل: نسـبت حجـم فضای خالی سـوخت بـه حجم کل یک سـوخت جامـد را ضریـب تخلخل گوینـد و بـا علامـت e مشـخص می‌کنند.

$$e = \frac{V'}{V + V'} = 1 - \frac{P'}{P}$$

e= ضریب تخلخل

P′= چگالی ظاهری

P= چگالی واقعی

V′= حجم حفره

V= حجم سوخت

شرایط احتراق کامل سوخت

احتراق و واکنش شـیمیایی بین عناصر سـوخت و اکسـیژن، همراه با نور و حرارت اسـت. لازم به ذکر اسـت بـرای ایجـاد احتـراق و تولید حرارت باید شـرایط خاصی ایجاد شـود کـه عبارت‌اند از:

۱ـ تماس کامل سوخت با هوا

۲ـ اکسیژن کافی

۳ـ درجه حرارت احتراق

تماس کامل سوخت با هوا

تأثیـر انـدازه و شـکل مـواد سـوخت در احتـراق و اشـتعال و فعـل و انفعـالات شـیمیایی روی اکسـید شـدن فلـزات و آلیاژهـا در جریـان ذوب شـدن، بسـیار اهمیـت دارد و باعـث افزایـش ایـن واکنش‌هـا می‌شـود.

بنابراین هر چقدر سطح تماس سوخت با هوا بیشتر باشد، احتراق سریع‌تر و بهتر انجام می‌گیرد.

نکته

افزایش سطح تماس سوخت حد معینی دارد و افزایش بیشتر سطح باعث ممانعت از نفوذ اکسیژن شده و احتراق به‌صورت ناقص انجام می‌شود.

مدول سطحی: اندازهٔ ذرات سوخت با روش مدول سطحی اندازه گیری می‌شود که مطابق رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$M_a = \frac{A}{V}$$

$$\text{مدول سطحی} = \frac{\text{سطح کل سوخت}}{\text{حجم کل سوخت}}$$

مثال: مدول سطحی یک مکعب به ضلع $a = ۱۰$ سانتی‌متر را به‌صورت زیر محاسبه می‌کنند.

$$M_a = \frac{A}{V} = \frac{۶a^۲}{a^۳} = \frac{۶\times ۱۰^۲}{۱۰^۳} = ۰/۶$$

فعالیت کلاسی

۱ مدول سطحی یک مکعب به ضلع ۲۵ cm را محاسبه کنید.
۲ مدول سطحی ۲ کره به قطر ۲۰ سانتی‌متر و ۱۰ سانتی‌متر را مقایسه کنید.
۳ در صورتی که مدول سطحی برابر با ۱/۲ باشد. طول ضلع مکعب سوخت چند سانتی‌متر است؟

کافی بودن اکسیژن و هوا

احتراق سوخت، هنگامی کامل است که عناصر قابل احتراق آن کاملاً سوخته و تولید حرارت کند. برای مثال در احتراق کربن، در صورتی که مقدار اکسیژن کافی باشد واکنش زیر انجام گرفته و حداکثر حرارت تولید می‌شود.

$$C + O_۲ \Rightarrow CO_۲ + \text{حرارت}$$

در احتراقی که مقدار اکسیژن کافی نباشد، سوخت به‌صورت ناقص سوخته و مقداری کربن باقی می‌ماند که منجر به واکنش کربن باقی مانده با کربن دی اکسید تولیدی مطابق واکنش زیر می‌گردد.

$$CO_۲ + C \Rightarrow ۲CO - \text{حرارت}$$

در واکنش بالا محصول واکنش گاز کربن منو اکسید بوده که علاوه بر سمی و خطرناک بودن، حرارت تولید شده را کاهش می‌دهد.

مثال: برای احتراق کامل ۲۰ کیلوگرم کربن چه مقدار اکسیژن مورد نیاز است؟

$$C + O_۲ \Rightarrow CO_۲$$

۲۲/۴ متر مکعب کربن دی اکسید ۲۲/۴ متر مکعب اکسیژن ۱۲ مولکول گرم کربن

(مقدار اکسیژن مورد نیاز برای سوختن کامل ۱۲ کیلوگرم کربن)

۲۰ کیلوگرم کربن

$$XO_۲ \Rightarrow XO_۲ = \frac{۲۰\times ۲۲/۴}{۱۲} = ۳۷/۳m^۳$$

فعالیت کلاسی

در احتـراق ۱۵ کیلوگـرم کربـن مقـدار اکسـیژن موجـود ۱۸ متـر مکعـب اسـت. حجم کربن دی اکسـید تولیـدی را برحسـب مترمکعـب محاسـبه کنیـد.

پرسش

در مثال بالا احتراق از نوع کامل است یا ناقص؟

فعالیت کلاسی

با توجه به فعالیت قبل نسبت کربن منواکسید به کربن دی اکسید را به‌دست آورید.

نکته

سـوخت‌ها شـامل سـه عنصـر قابل احتـراق کربن، هیـدروژن و گوگرد هسـتند. در صورت مشـخص بودن درصـد ایـن سـه عنصـر می‌تـوان میـزان حجـم اکسـیژن لازم بـرای احتـراقِ یک کیلوگـرم از سـوخت را به‌دسـت آورد.

فعالیت کلاسی

حجم اکسیژن لازم برای احتراق ۲۰ کیلوگرم زغال کک با درصد عناصر زیر را محاسبه کنید.

٪C = ۸۵ ٪ H = ۵ ٪ S = ۴

نکته

در صورت وجود اکسـیژن در سـوخت باید مقدار آن از مقدار اکسـیژن محاسـبه شـده برای احتراق کسـر گردد.

جدول ۲ـ مولکول گرم عناصر

عنصر	مولکول گرم
C	۱۲
H	۱
O	۱۶
S	۳۲

درجه حرارت احتراق

هـر سـوخت بـرای احتـراق بـه یـک حداقـل درجـه حـرارت نیـاز دارد کـه آن را درجـه حـرارت احتـراق یـا درجـه حـرارت اشـتعال می‌نامنـد. بـرای مثـال در شـرایط محیط، نفـت سـفید در درجه حـرارت ۱۵ درجهٔ سلسـیوس مشـتعل می‌شـود. سـوخت‌هایی بـا درجـه حـرارت اشـتعال پاییـن از نظـر ایمنـی نمی‌توانند در ریخته‌گـری اسـتفاده شـوند. (بـرای مثـال بنزین)

بعضی از مواد حتی در درجه حرارت محیط نیز به سرعت مشتعل می‌شوند. به‌عنوان مثال فسفر قرمز باید دور از هوا نگهداری شود و در آب یا روغن قرار گیرد.

نکته ایمنی

افزایش فشار محیط باعث کاهش نقطهٔ اشتعال می‌شود. به‌همین دلیل در اثر تراکم شدید سوخت، احتمال احتراق و انفجار سوخت وجود خواهد داشت.

احتراقِ سوخت‌های مایع و گاز

ترکیب شیمیایی سوخت‌های مایع و گاز معمولاً ترکیبی ازکربن و هیدروژن است. بنابراین حجم اکسیژن مورد نیاز برای احتراق به سهولت از واکنش زیر محاسبه می‌گردد.

$$C_mH_n + (m + \frac{n}{۴})O_۲ \Rightarrow m\,CO_۲ + \frac{n}{۲}H_۲O$$

با توجه به واکنش فوق، محصول واکنش کربن دی اکسید و بخار آب است. در این رابطه ضرایب m و n به ترتیب مربوط به کربن و هیدروژن است. در صورت مشخص شدن این ضرایب، مطابق فرمول سادهٔ سوخت، واکنش فوق موازنه شده و می‌توان میزان اکسیژن مورد نیاز برای احتراق گاز را محاسبه کرد.

مثال:

حجم اکسیژن مورد نیاز برای سوختن ۸ کیلوگرم از گاز متان با ترکیب شیمیایی $CH_۴$ را محاسبه کنید .

حل: با توجه به فرمول ساده سوخت $m=۱$ و $n=۴$ بوده و بنابراین واکنش احتراق گاز به‌صورت زیر نوشته می‌شود.

$$C_mH_n + (m + \frac{n}{۴})O_۲ \Rightarrow m\,CO_۲ + \frac{n}{۲}H_۲O$$

$$CH_۴ + (۱ + \frac{۴}{۴})O_۲ \Rightarrow CO_۲ + \frac{۴}{۲}H_۲O$$

جرم کربن — حجم اکسیژن

جرم هیدروژن

$$۱۲ \times ۱ \quad + \quad ۱ \times ۴ \qquad ۲ \times ۲۲/۴ m^۳$$

$$۸ \qquad\qquad XO_۲$$

حجم اکسیژن مورد نیاز برای سوختن ۸Kg گازمتان

$$XO_۲ = \frac{۸ \times ۲ \times ۲۲/۴}{۱۲ + ۴} = ۲۲/۴ m^۲$$

محاسبهٔ حجم هوا در شرایط متعارفی و غیرمتعارفی

برای محاسبهٔ حجم هوا در شرایط متعارفی ابتدا میزان اکسیژن برای هریک از عناصر قابل احتراق محاسبه شده، سپس مجموع اکسیژن مورد نیاز را به‌دست آورده و با توجه به ترکیب هوا که از اکسیژن، نیتروژن و گازهای دیگر است می‌توان حجم هوا را تعیین کرد. در جدول صفحه بعد ترکیب هوا در شرایط متعارفی با درصد وزنی و حجمی مشخص شده است.

جدول ۳ـ ترکیب هوای جوّ در شرایط متعارفی

نام گاز و ترکیب شیمیایی آن		مقدار		نام گاز و ترکیب شیمیایی آن		مقدار	
		درصد جرمی	درصد حجمی			درصد جرمی	درصد حجمی
نیتروژن	N_2	۷۵/۵	۷۸/۰۹	کریپتون	Kr	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۱۰۸
اکسیژن	O_2	۲۳/۱۰	۲۰/۹۵	زنون	Xe	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۰۰۸
آرگون	Ar	۱/۲۸۶	۰/۹۳۲۵	رادون	Rn	—	۶×۱۰^{-۱۸}
نئون	Ne	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۱۸	کربن دی‌اکسید	CO_2	۰/۰۴۶	۰/۰۳۰
هلیم	He	۰/۰۰۰۰۷	۰/۰۰۰۵	هیدروژن	H_2	—	۰/۰۰۰۵

فلزات و آلیاژهای زود ذوب

عناصر روی، سرب، قلع و کادمیم به مقدار بسیار کمی تولید می‌شوند و در ساخت آلیاژهای آلومینیوم، مس و آهن، هم به عنوان عناصر آلیاژی مثل آلیاژهای برنج و دور آلومین و هم به عنوان مواد پوششی فلزات (گالوانیزه کردن) به‌کار می‌روند. کاربرد آنها به عنوان عنصر اول در ساخت قطعات و ابزارهای مختلف مانند حروف چاپ، آلیاژهای یاتاقان، لحیم‌کاری و کم و بیش در سایر قطعات ماشینی نسبت به مس و آلومینیوم کمتر گسترش یافته است.

روی و آلیاژهای آن

مشخصات عمومی روی: روی از فلزات با دانه‌بندی درشت بوده که در درجه حرارت محیط بسیار شکننده است. در درجه حرارت‌های ۱۰۰ تا ۲۰۰ درجهٔ سلسیوس قابلیت تغییر شکل مکانیکی دارد و شبکهٔ کریستالی آن به‌صورت منشور یا هگزاگونال شش وجهی است.

روی دارای وزن مخصوص ۷/۱۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب بوده و نقطه ذوب آن ۴۱۹/۴ درجهٔ سلسیوس است. روی از فشار بخار بسیار زیادی برخوردار است و عملاً در حالت مذاب خاصیت جذب و انحلال گازهای اطراف را ندارد و در ۹۰۶ درجهٔ سلسیوس تبخیر می‌شود.

لایهٔ سطحی روی اکسید (ZnO)، در کمتر از ۲۰۰ درجهٔ سلسیوس از فشردگی زیادی برخوردار است و مقاومت روی در مقابل اکسیژن و خوردگی آب و املاح دریایی را تضمین می‌کند. این خاصیت در بالای ۲۰۰ درجهٔ سلسیوس از بین رفته و اکسیدهای جدید، متخلخل و غیر فشرده بوده، که باعث تسریع در اکسید شدن آلیاژ مذاب خواهد شد.

تأثیر عناصر آلیاژی

آلومینیوم: مقدار آلومینیوم در آلیاژهای روی ۳/۵ تا ۴/۳ درصد است که مقدار بیش از ۴/۳ درصد باعث کاهش استحکام و افزایش شکنندگی آلیاژ می‌شود.

مس: مقدار مس مصرفی در آلیاژهای روی عموماً ۱/۲۵ درصد است که تا این مقدار مس، خواص مکانیکی و استحکام آلیاژ افزایش می‌یابد و مقدار بیشتر مس، منجر به کاهش خواص مکانیکی، افزایش تردی و شکنندگی خواهد شد.

منیزیم: این عنصر برای افزایش مقاومت به خوردگی آلیاژ و همچنین به‌عنوان اکسیژن زدا در ریخته‌گری روی استفاده می‌شود. تا حدود ۰/۰۳ درصد مناسب است و افزایش مقدار آن، مقاومت و خواص مکانیکی آلیاژ را در حالت گرم کاهش می‌دهد.

آهن: عنصر آهن تا حدود ۰/۰۲ درصد، باعث افزایش خواص مکانیکی می‌شود و در مقادیر بیشتر با آلومینیوم موجود درمذاب ترکیب شده و فاز FeAl را تشکیل خواهد داد که منجر به کاهش خواص مکانیکی خواهد شد.

قلع و سرب: این دو عنصر باعث تشدید خوردگی آلیاژ و همچنین باعث خوردگی قالب می‌شوند.

نیکل ـ منگنز ـ سیلیسیم ـ کروم: به مقدار جزئی باعث افزایش خواص مکانیکی شده و حلالیت بیش‌ازحد، باعث افزایش تلفات مذاب و همچنین کاهش قابلیت ماشین‌کاری خواهد شد.

آلیاژهای روی

آلیاژهای روی به دو دستهٔ آلیاژهای نوردی و ریختگی تقسیم می‌شوند. آلیاژهای ریختگی از طریق ریخته‌گری تحت فشار تولید می‌شوند. آلیاژهای ریختگی روی حاوی آلومینیوم، مس و مقدار کمی منیزیم هستند، که از نقطه ذوب پایین، درجه حرارت ریخته‌گری ۴۷۰ ـ ۴۳۵ درجهٔ سلسیوس و سیالیت ایده‌آل برخوردارند و در تهیهٔ قسمت‌های مختلف وسایل و لوازم دقیق به‌کار می‌روند.
آلیاژهای روی ـ آلومینیوم و روی ـ آلومینیوم ـ مس، در دستهٔ آلیاژهای ریختگی تحت فشار از اهمیت زیادی برخوردارند که با افزایش مقدار آلومینیوم در ریخته‌گری قطعات مجوف (توخالی) نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند و عموماً تحت نام تجاری زاماک شناخته شده‌اند.

انواع زاماک

آلیاژهای روی تحت عنوان زاماک به سه دستهٔ اصلی زاماک ۱، ۲ و ۳ تقسیم می‌شوند که در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۴

شمارهٔ تحت نام زاماک	درصد عناصر آلیاژی						
	آلومینیوم	مس	منیزیم	آهن	سرب	کادمیم	قلع
۱	۳/۵ـ۴/۵	۲/۵ ـ۳/۵	۰/۰۲ـ۰/۱	مقدار بسیار کم	مقدار بسیار کم	مقدار بسیار کم	مقدار بسیار کم
۲	۳/۵ـ۴/۵	۰/۱	۰/۰۳ـ۰/۰۸	مقدار بسیار کم	مقدار بسیار کم	مقدار بسیار کم	مقدار بسیار کم
۳	۳/۵ـ۴/۵	۰/۷۵ـ۱/۲۵	۰/۰۳ـ۰/۰۸	مقدار بسیار کم	مقدار بسیار کم	مقدار بسیار کم	مقدار بسیار کم

تفـاوت انـواع زامـاک در میـزان مس موجود در آن اسـت، به‌طوری‌که سـایر عناصـر آلیاژی، ترکیبات نسـبتاً ثابتـی دارند.

نکته

زامـاک در بـازار ایـران بـه اشـتباه بـه نام سـرب خشـک نیز مصطلح شـده اسـت، بـه گونه ای کـه ارتباط ایـن آلیـاژ را بـا سـرب القـا می‌کنـد. در واقع سـرب خشـک آلیاژی اسـت از سـرب و آنتیمـوان، در حالی کـه آلیـاژ زامـاک هیـچ ارتباطی با سـرب نداشـته و پایـهٔ اصلی آن روی اسـت.

ذوب و ریخته‌گری آلیاژهای روی

ذوب و ریخته‌گـری آلیاژهـای روی در کوره‌هـای رُوِربـر، الکتریکـی و بوتـه‌ای انجـام می‌شـود. بوتـهٔ مـورد اسـتفاده عمومـاً از جنـس چـدن و فـولاد بـا پوشـش مناسـب اسـت. مـذاب روی در درجـه حـرارت ذوب به سـرعت اکسـید شـده و باعـث افزایـش تلفـات روی در سـرباره می‌گـردد. معمـولاً از منیزیـم و لیتیـم جهت اکسـیژن‌زدایی مـذاب روی اسـتفاده می‌شـود. وجـود آلومینیـوم در مـذاب روی باعث تشـکیل Al_2O_3 شـده کـه به‌دلیـل غیـر متخلخـل بـودن اکسـید آن و همچنیـن سـبکی، در سـطح مـذاب قـرار گرفتـه و به‌عنوان پوشـش، مانـع اکسیداسـیون مـذاب روی می‌گـردد. عمـل ذوب معمـولاً تحـت فلاکس‌هـای پوششـی انجام می‌گیـرد و پـس از تهیـهٔ مـذاب، عناصـر آلیـاژی به‌صـورت خالـص یـا آمیـژان بـه مـذاب اضافـه می‌گردد.

درمورد ذوب آلیاژهای روی می‌توان دو روش ذوب را براساس ترکیبات شارژ در نظر گرفت:
روش اول: هنگامـی کـه شـارژ از عناصـر آلیـاژی مورد نیاز تشـکیل شـده و فقـط کنترل ترکیبـی و افزایش یـا کاهـش یـک یـا چند عنصر مـورد نیاز اسـت. در این حالـت بعـد از ذوب آلیـاژ، افزایش عناصر با اسـتفاده از شـمش‌های خالـص تجـاری آنهـا و یا آمیژان‌های مناسـب انجام می‌شـود و تقلیـل عناصر به‌وسـیلهٔ تلقیح مـواد ترکیب‌کننـده (ماننـد کلـر بـرای منیزیـم) و یا با افزایـش شـمش‌های خالص روی انجام می‌شـود.
روش دوم: تهیهٔ آلیاژ با ترکیب معین از شمش‌های خالص تجاری که شامل موارد زیر است:

آلیاژ روی ـ آلومینیوم

معمولاً در ابتدای کار $\frac{1}{3}$ روی مورد نیاز درون بوته یا کوره ذوب شـده و سـپس ورقه‌های آلومینیوم (شـمش‌های شکسـته و در قطعـات کوچـک) در درجـه حـرارت ۵۰۰ درجهٔ سلسـیوس به مذاب افزوده می‌شـود. بعـد از ذوب کامـل آلومینیـوم، باقی ماندهٔ روی شـارژ می‌گردد. سـرباره‌گیری و افـزودن مقداری منیزیم جهت اکسـیژن‌زدایی و سـرباره‌گیری مجـدد آخریـن مراحلی اسـت که قبـل از بار ریزی انجـام می‌گیرد.

نکته

عمومـاً بـرای کاهـش تلفـات روی ابتـدا بوته را تـا حدود ۵۰۰ درجهٔ سلسـیوس پیش گرم کرده و سـپس عنصـر روی را بـه بوتـه اضافه می‌کنند تا سـرعت ذوب، بیشـتر و تلفات کمتر شـود.

سرب و آلیاژهای آن

مشخصات عمومی سرب: سرب، فلزی نرم با قابلیت تغییر شکل و به رنگ آبی خاکستری است. دارای نقطهٔ ذوب و جوش به ترتیب ۳۲۷/۴ و ۱۷۴۰درجهٔ سلسیوس است. وزن مخصوص سرب ۱۱/۳۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب در دمای محیط است. فشار بخار و سرعت تبخیر سرب در درجه حرارت‌های بیش از ۱۰۰۰ درجهٔ سلسیوس زیاد است. سرب در ساخت انواع برنزها استفاده می‌شود. سرب فقط در ترکیبات اسیدی غلیظ قابل حل است، از این رو مقاومت به خوردگی آن در مقابل املاح و حتی اسیدها زیاد است. همین امر یکی از مهم‌ترین موارد کاربرد سرب در صنعت است.

سرب یکی از شش عنصر تاریخی و قدیمی مورد استفادهٔ بشر است. در مصر و ایران باستان در لعاب ظروف گِلی، نقاشی و اتصالات سنگ‌های ساختمانی به‌کار گرفته شده است. سرب در صنایع شیمیایی و برای محافظت از مواد مختلف، باطری‌سازی، ساخت گلوله و برای جلوگیری از عبور اشعه گاما در صنایع هسته‌ای استفاده می‌شود. همچنین سرب فلز اصلی آلیاژهای یاتاقان و لحیم بوده و برای تهیهٔ پوشش ضد پرتو و حروف چاپ به‌کار می‌رود.

آلیاژهای یاتاقان سرب: برای جلوگیری از خوردگی و تعویض قسمت‌هایی از ماشین که در اثر حرکت‌های دورانی یا انتقالی بر روی هم ساییده شده (و اصولاً هزینه گزافی را تحمیل می‌کنند) و همچنین ایجاد محفظه‌های لازم برای روانکاری و حفظ مواد روغنی در سطح تماس که افزایش عمر قطعه را در بر دارد از آلیاژ یاتاقان استفاده می‌شود.

خواص آلیاژ یاتاقان

۱ مقاومت در مقابل فشار، ضربه و خستگی.
۲ ضریب اصطکاک و سایشی کم و حفظ مواد روان‌کننده.
۳ هدایت حرارتی بالا و انتقال حرارت ناشی از حرکت شفت‌ها.
۴ مقاومت به خوردگی شیمیایی و مکانیکی.
۵ مقاومت در مقابل حرارت.

آلیاژ سرب، قلع، کادمیم، روی و بعضی از برنزها دارای بخشی از مشخصات مذکور بوده که تحت عنوان آلیاژهای یاتاقان (بابیت) از اهمیت صنعتی زیادی برخوردار هستند.
آلیاژهای یاتاقان سرب به سه دستهٔ اصلی تقسیم می‌شوند که در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۵

	آلیاژ	کاربرد	درصد عناصر آلیاژی
۱	سرب ـ آنتیموان	مصارف عادی و استحکام کم	۱۵ـ۱۰ درصد آنتیموان
۲	سرب ـ فلزات قلیایی خاکی (سرب و کلسیم) یا سرب و منیزیم	استحکام و دوام بالا	۲/۵ درصد کلسیم و منیزیم
۳	سرب ـ قلع ـ آرسنیک	استحکام و دوام بالا	۱۵٪ آنتیموان، ۱٪ قلع، ۱٪ آرسنیک ۵٪ مس

آلیاژ لحیم

خـواص عمـدهٔ آلیـاژ لحیم اسـتحکام، قابلیـت چسـبندگی و نقطهٔ ذوب کم اسـت. آلیاژهای مختلف سـرب و قلـع از ۹۵٪ سـرب تـا ۷۰٪ قلـع مهم‌ترین آلیاژهای شـناخته شـده لحیم هسـتند.
قلـع خاصیـت چسـبندگی را افزایـش می‌دهـد کـه ایـن عمـل اتصـال کامـل دو قطعـه را تحت پوشـش یک شـبکهٔ متصـل لحیـم امکان‌پذیر می‌سـازد.

ریخته‌گری آلیاژهای سرب

قابلیـت ریخته‌گـری آلیاژهـای سـرب بسـیار عالـی اسـت. سـیالیت زیـاد و انقبـاض کـم ایـن آلیاژ همـراه با غیرقابـل حـل بـودن گازهـا در آن و واکنش ضعیف در مقابل اکسیداسـیون باعث شـده که اشـکالات عمومی ریخته‌گـری در سـرب تـا حـدود زیادی کاهـش یابد.

نکته

۱ـ آلیاژهـای سـرب تمایـل شـدید بـه جدایـش و رسـوب دارنـد بـرای جلوگیـری از این مشـکل، ذوب سـرب همـواره بـا به‌هـم زدن آلیـاژ همراه اسـت.
۲ـ در سـاخت آلیـاژ ابتـدا $\frac{۱}{۳}$ سـرب مورد نیـاز را ذوب کرده سـپس کادمیم، آنتیموان، قلع و آرسـنیک را بـه آن اضافـه می‌کننـد. افزایـش عناصـری ماننـد مـس و روی نیـز با اسـتفاده از آمیژان‌هـای موجود انجام می‌شـود.
۳ـ بـه دلیـل چگالـی بـالای مـذاب آلیاژهـای سـرب، ریخته‌گـری در قالب‌هـای ماسـه‌ای بـرای آنهـا متداول نیسـت.

نکته زیست‌محیطی

ترکیبات سـرب فوق العاده سـمی هسـتند. بـه همین دلیل بایـد در هنگام کار با آنها دسـتورالعمل‌های بهداشـتی و ایمنـی را کـه در این مـورد وجود دارند با نهایـت دقت مورد توجه و اسـتفاده قرار داد.

قلع و آلیاژهای آن

مشخصات عمومی قلع

قلـع فلزی نقـره‌ای رنگ با نقطـهٔ ذوب ۲۳۱/۹ درجهٔ سلسـیوس و چگالی ۷/۲۸ گرم بر سـانتی‌متر مکعب اسـت. قلع سـفید دارای شبکهٔ کریسـتالی تتراگونال بـوده و نـوع تجـاری آن دارای درجـهٔ خلـوص بیـن ۹۹ـ ۹۶ درصـد اسـت. قلـع خاصیـت چکش‌خـواری خوبی دارد و به سـادگی اکسـید نمی‌شـود همچنین در برابـر خوردگی مقاوم اسـت.
قلـع در بسـیاری از آلیاژهـا مـورد اسـتفاده قـرار می‌گیـرد. مقاومـت خـوب ایـن فلـز نسـبت بـه خوردگـی و فرسـایش باعث شـده تـا از آن به عنوان روکـش بـرای فلـزات دیگـر اسـتفاده شـود. قلع در انـدود کـردن ظـروف مسـی به خاطـر جلوگیـری از خوردگـی مس و ورود اکسـید سـمی مـس در غذا از قدیـم رواج داشـته اسـت. آلیاژهای قلـع کاربردهای زیـادی دارنـد از ایـن آلیاژهـا بـرای لحیـم‌کاری، فلز چـاپ، فلـز زود گـداز، آلیاژهـای پیوتـر (pewter)، مفرغ و آلیاژهای یاتاقان اسـتفاده می‌شـود. همچنین

آلیـاژ قلـع ـ نیوبیـم در درجـه حرارت‌هـای پاییـن فوق رسـانا اسـت. این ترکیب برای سـاخت رساناهای مغناطیسـی و تولیـد میدان‌هـای مغناطیسـی بـزرگ اسـتفاده می‌شـود. آلیاژهـای قلـع دارای نقطـه ذوب بسـیار پایینی هسـتند از ایـن رو در انتخـاب نوع قالب و کـورهٔ ذوب محدودیتـی وجود نـدارد. از طرفی وجود هیـدروژن در محیط ذوب، باعث کاهش اکسیداسـیون قلـع می‌گـردد. در مجمـوع می‌تـوان گفـت اصـولاً ریخته‌گـری قلـع و آلیاژهـای آن، تـا حـدود زیـادی مسـائل و مشـکلات عمـدهٔ ریخته‌گـری را ندارنـد.

نکته

پیوتـر آلیـاژی اسـت از قلـع و مـس کـه بـه طـور معمـول حـدود ۹۹ـ۸۵ درصـد آن قلـع و بقیـه را مس تشـکیل می‌دهـد. نقـش مـس در ایـن آلیـاژ افزایش اسـتحکام اسـت.

ارزشیابی

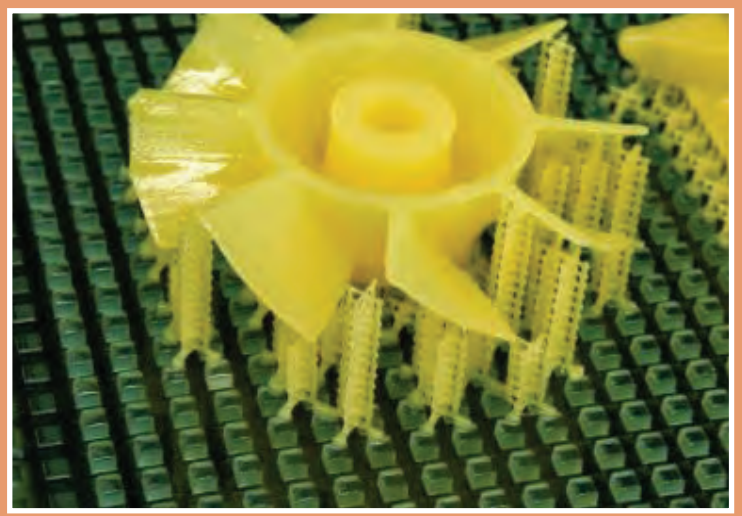
ارزشیابی در این درس براساس شایستگی است. برای هر پودمان یک نمره مستمر (از ۵ نمره) و یک نمره شایستگی پودمان (نمرات ۱، ۲ یا ۳) با توجه به استانداردهای عملکرد جداول ذیل برای هر هنرجو ثبت می‌گردد. امکان جبران پودمان‌ها در طول سال تحصیلی برای هنرجویان و براساس برنامه‌ریزی هنرستان وجود دارد.

الگوی ارزشیابی پودمان انتخاب مواد در متالورژی

تکالیف عملکردی (شایستگی‌ها)	استاندارد عملکرد	نتایج	استاندارد (شاخص‌ها، داوری، نمره دهی)	نمره
انتقال حرارت سوخت	ـ محاسبهٔ انتقال حرارت در کوره از طریق دیوارهٔ کوره و جابه‌جایی. ـ محاسبهٔ حجم هوا و اکسیژن مورد نیاز برای احتراق کامل سوخت. ـ انواع و خواص آلیاژهای زود ذوب	بالاتر از حد انتظار	ـ محاسبهٔ دقیق انتقال حرارت کوره از طریق دیواره و جابه‌جایی ـ محاسبهٔ حجم هوا و اکسیژن مورد نیاز برای احتراق کامل سوخت ـ تعیین نوع آلیاژ زود ذوب با توجه به قطعه	۳
آلیاژهای زود ذوب		در حد انتظار (کسب شایستگی)	ـ محاسبهٔ حجم هوا و اکسیژن مورد نیاز برای احتراق کامل سوخت ـ تعیین نوع آلیاژ زود ذوب با توجه به قطعه	۲
		پایین‌تر از حد انتظار (عدم احراز شایستگی)	ـ تعیین نوع آلیاژ زود ذوب با توجه به قطعه	۱
نمرهٔ مستمر از ۵				
نمرهٔ شایستگی پودمان از ۳				
نمرهٔ پودمان از ۲۰				

پودمان سوم

مدل‌سازی با استفاده از چاپگرهای سه بعدی



مقدمه

امروزه استفاده از فناوری‌های جدید در صنعت بسیار گسترش یافته است، به طوری که می‌توان گفت در تمامی عرصه‌های صنعت دسترسی به نتیجهٔ مطلوب بدون استفاده از فناوری تقریباً غیرممکن است، زیرا بدون استفاده از فناوری‌های نوین امکان کاهش زمان و هزینه‌های تولید وجود ندارد.

ساخت مدل‌های ریخته‌گری امروزه دچار تغییرات زیادی شده است. همان‌گونه که در پایه یازدهم فراگرفته‌اید استفاده از مدل‌های فومی به جای مدل‌های چوبی در حال گسترش است. چرا که هزینه‌های ساخت این مدل‌ها بسیار پایین بوده و باعث می‌شود که هزینه‌های تولید کاهش یابد.

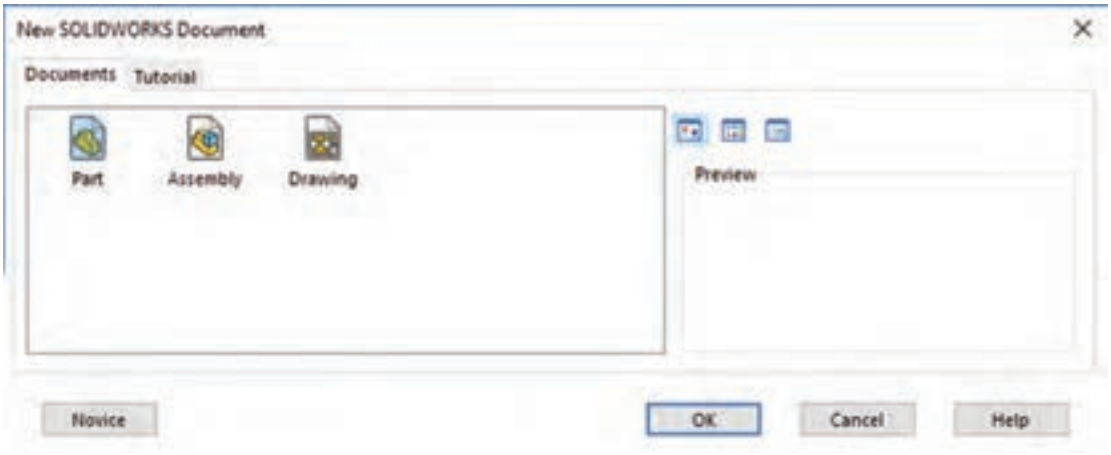
یکی دیگر از روش‌های مدل‌سازی که امروزه استفاده از آنها با اقبال فراوانی روبه‌رو شده است ساخت مدل از جنس مواد پلیمری است. ساخت این مدل‌ها با استفاده از فناوری‌های نوین امکان‌پذیر است. در این روش ابتدا با استفاده از نرم‌افزارهای طراحی و نقشه‌کشی، مدل سه‌بعدی آن طراحی شده و سپس با استفاده از چاپگرهای سه‌بعدی به‌صورت مدل واقعی ساخته می‌شود. سرعت ساخت در این روش باعث شده که قیمت تمام شده مدل‌ها کاهش یافته و از طرفی دقّت آنها در حد قابل قبولی باشد به‌طوری‌که می‌توانند به جای بسیاری از مدل‌ها به‌کار گرفته شوند. یکی از نرم‌افزارهایی که در ساخت این مدل‌ها استفاده می‌شود نرم‌افزار سالیدورکز است. با استفاده از این نرم‌افزار می‌توان یک مدل پیچیده را طراحی کرد و سپس توسط دستگاهی به نام چاپگر سه بعدی آن را تولید کرد.

مدل‌سازی با نرم‌افزار (Solidworks)

نرم‌افزار سالیدورکز (Solidworks) یکی از نرم‌افزارهای مطرح در زمینه مدل‌سازی رایانه‌ای است که تقریباً تمامی نیازهای یک طراح را پاسخ می‌دهد و استفاده از آن در مقایسه با سایر نرم‌افزارهای مدل‌سازی آسان‌تر است.

محیط‌های نرم‌افزار سالیدورکز

این نرم‌افزار همانند سایر نرم‌افزارهای کَد (CAD) دارای محیط‌های مختلف است (شکل ۱).

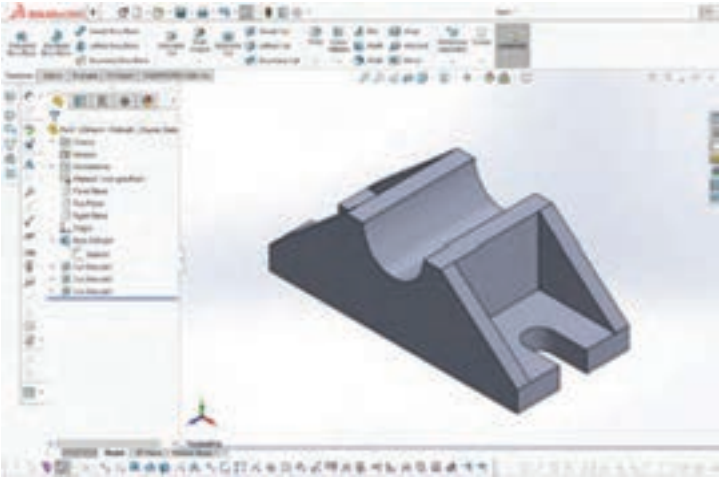


شکل ۱ــ پنجرهٔ انتخاب محیط

۱ محیط مدل‌سازی قطعه (part)
۲ محیط نقشه‌کشی (drawing)
۳ محیط مونتاژ (assembly)

محیط مدل‌سازی قطعه

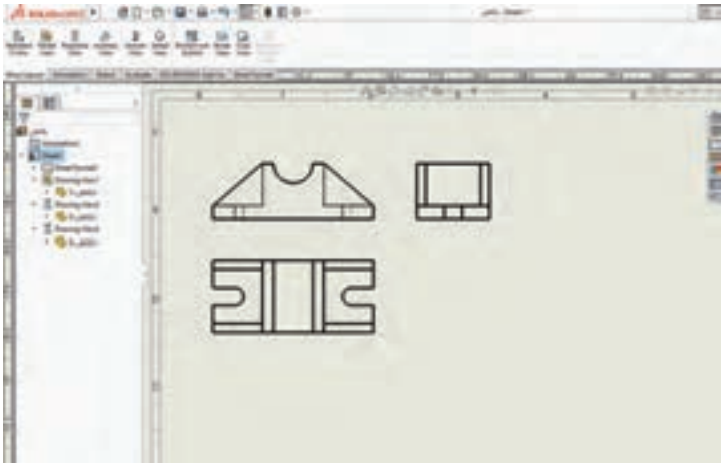
در این محیط می‌توان با استفاده از روش‌های مختلف هر یک از مدل‌ها را به‌صورت سه‌بعدی ایجاد کرد (شکل ۲).



شکل۲

محیط نقشه‌کشی

در این محیط می‌توان از مدل‌های ایجاد شده نقشه‌های اجرایی تهیه کرد. یعنی می‌توان با توجه به نیاز از مدل مورد نظر سه نما تهیه کرد. (شکل ۳)



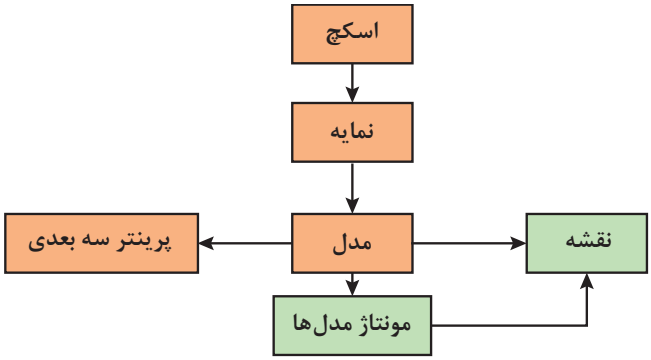
شکل۳

محیط مونتاژ

در این محیط می‌توان مدل‌های چندتکه را روی هم سوار کرده و تبدیل به یک مدل مرکب کرد. باتوجه به اینکه بیشتر مدل‌های مورد استفاده در این قسمت مدل‌های یک تکه هستند به این محیط پرداخته نخواهد شد.

فرایند مدل‌سازی در نرم‌افزارهای سالیدورکز

اساس کار در نرم‌افزار، تبدیل سطح به حجم است. در این فرایند ابتدا یک طرح اولیه که یک سطح مشخص است را به‌وسیله اسکچ ترسیم نموده، سپس با نمایه‌ها (features) به مدل تبدیل می‌شود. در نمایه‌ها روش‌هایی مانند برجسته‌سازی، دوران و حرکت‌دادن سطح در یک مسیر مشخص وجود دارد که امکان تبدیل یک سطح به حجم را امکان‌پذیر می‌کند. نمودار زیر فرایند ساخت مدل در نرم‌افزار سالیدورکز نمایش می‌دهد:

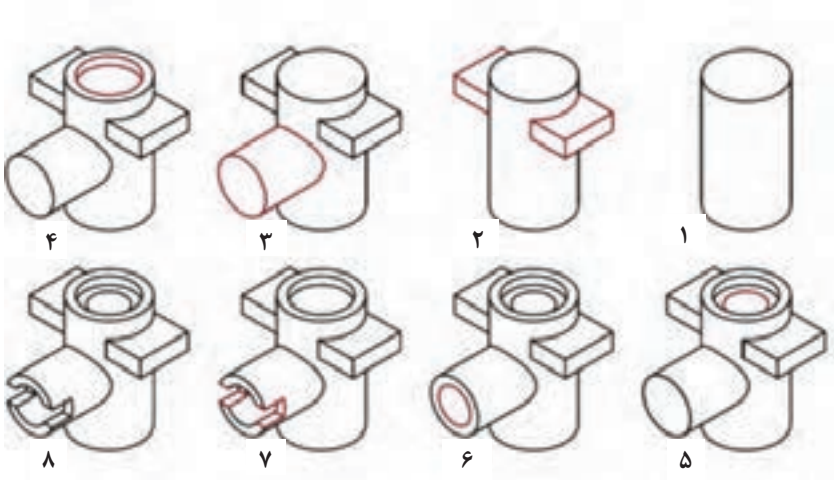


روند کلی مدل‌سازی قطعات در نرم‌افزارهای CAD و به‌خصوص سالیدورکز به شرح زیر می‌باشد:

۱ـ انتخاب صفحه طراحی ۲ـ ترسیم اسکچ ۳ـ قیدگذاری و اندازه‌گذاری اسکچ
۴ـ ایجاد نمایه اصلی ۵ـ ایجاد نمایه‌های تکمیلی (تکرار مراحل ۱ تا ۴)

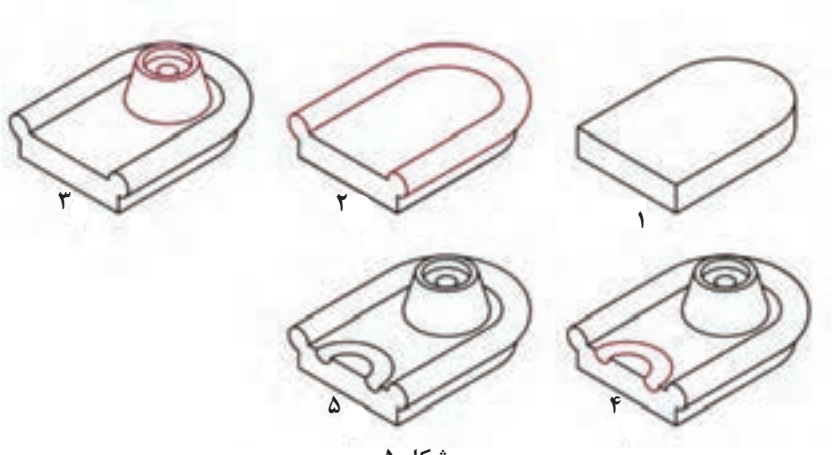
احجام مرکب

معمولاً مدل‌ها از احجام ساده تشکیل شده‌اند. برای ایجاد این مدل‌ها در نرم‌افزارهای کَد (CAD) باید احجامی که در مدل به‌کار رفته است را به‌طور کامل مورد بررسی قرار داد. یعنی قبل از مدل‌سازی باید به‌خوبی آن را تجزیه و تحلیل نمود که از چه احجامی تشکیل شده‌اند. به شکل زیر توجه کنید.



شکل ۴ـ مدل و احجام تشکیل‌دهندهٔ آن

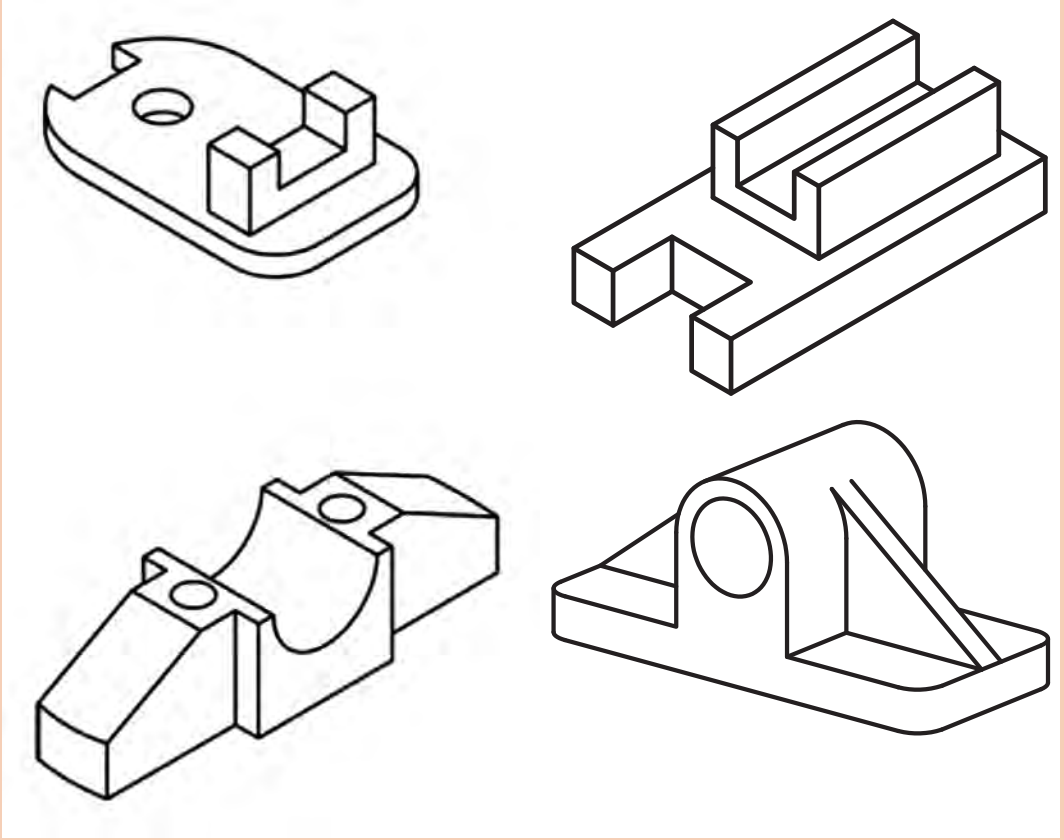
احجـام سـاده و تشـکیل‌دهندهٔ یـک حجـم مرکـب علاوه بـر احجام سـادهٔ هندسـی، می‌تواند احجامی باشـد کـه بـا روش‌هـای اصلـی مدل‌سـازی ایجاد می‌شـوند. در شـکل زیر حجـم نهایـی ترکیبی اسـت از احجامی کـه بـا روش‌های متـداول ایجاد شـده‌اند.



شکل ۵

فعالیت کلاسی

احجام به‌کار رفته در مدل‌های زیر را با دست آزاد رسم کنید.



نصب نرم‌افزار سالیدورکز

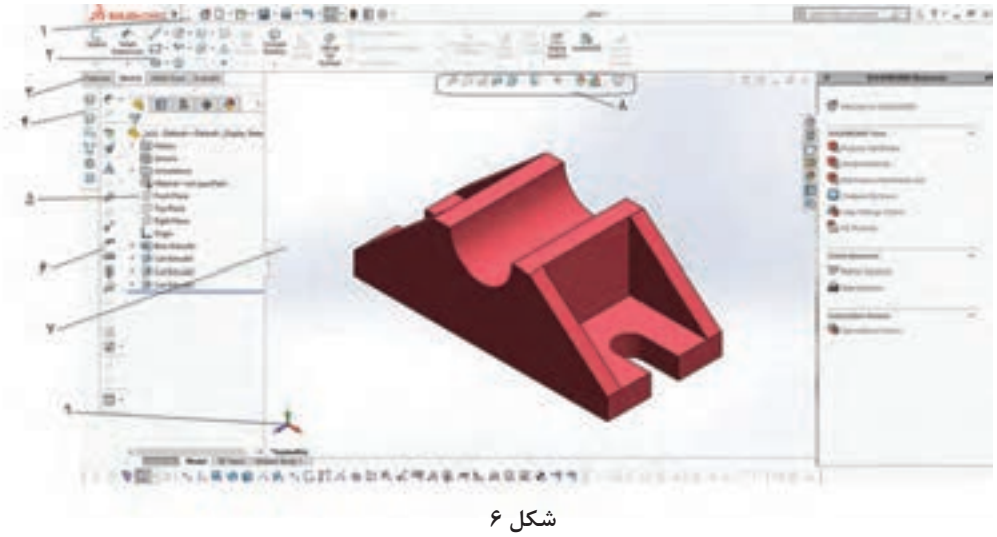
معمولاً شرکت‌های فروشنده نرم‌افزار، فیلم مراحل نصب را در پوشه اصلی نرم‌افزار قرار می‌دهند. قبل از نصب ابتدا راهنمای نصب را به دقّت مشاهده کنید و سپس مرحله به مرحله انجام دهید.

نکته

در نسخه‌های جدید علاوه بر نرم‌افزار اصلی نرم‌افزارهای جانبی هم قرار داده شده که در فرایند نصب انتخابی هستند. برای رشتهٔ متالورژی نیازی به نصب کامل این نرم‌افزارهای جانبی نیست فقط نصب نرم‌افزار اصلی کافی است.

فضای نرم‌افزار سالیدورکز

با اجرای اغلب نرم‌افزارها با یک نمای ظاهری از نرم‌افزار مواجه می‌شویم که ابزارها و دستورهای مختلف در بخش‌های مختلف به‌صورت گرافیکی تعبیه شده است. برای تسلط بر نرم‌افزار باید به‌خوبی با این بخش‌ها آشنا شد. تصاویر زیر محیط نرم‌افزار سالیدورکز را در محیط مدل‌سازی قطعه (part) نشان می‌دهد.



شکل ۶

۱ **نوار منو Menu Bar:** شامل ابزارهایی که بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند و منوهای استاندارد سالیدورکز.

۲ **مدیریت فرمان Command Manager:** این بخش که مانند ریبون در اتوکد عمل می‌کند، دارای ابزارهایی است که نسبت به عملیات جاری حساس است و به صورت خودکار متناسب با آن عوض می‌شود.

۳ **زبانهٔ انتخاب ابزار:** با انتخاب هریک از این زبانه‌ها ابزار موردنیاز برای ترسیم یا ایجاد مدل ظاهر می‌شود.

۴ **نوار ابزار Toolbars:** در نسخه‌های جدید از آنجایی که اغلب ابزارها و فرمان‌ها در مدیریت فرمان موجود است نوارهای ابزار به‌صورت پیش‌فرض پنهان هستند.

۵ **درخت طراحی Design Tree:** هر عملیاتی (نمایه، اسکچ و...) که در محیط قطعه، مونتاژ یا نقشه‌کشی اجرا شود به‌ترتیب در این بخش نمایش داده می‌شود. با مشاهدهٔ این درخت طراحی می‌توان به‌آسانی نحوه مدل‌سازی قطعه را مشاهده و درک کرد.

۶ **فضای ترسیمی** : این فضا همانند محیط ترسیم در نرم‌افزار اتوکد است که تمام شکل‌های ترسیمی را نشان می‌دهد.

۷ **نوار ابزار دید View Toolbar**: کلیهٔ ابزارهای موردنیاز برای تغییر حالت دید و مشاهده مدل در این نوار شفاف قرار دارد.

کار با نرم‌افزار سالیدورکز

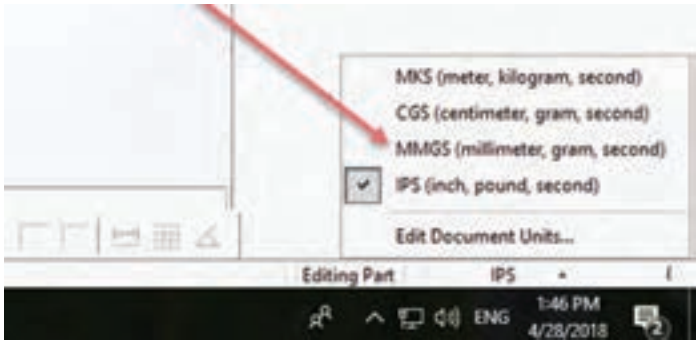
برای شروع به کار با نرم‌افزار همانند سایر نرم‌افزارها آن را اجرا کنید و مراحل زیر را انجام دهید.

۱ پس از بازشدن نرم‌افزار از پنجرهٔ باز شده گزینه part را انتخاب و روی Ok کلیک کنید.

نکته

می‌توانید با دوبار کلیک‌کردن روی part به همین نتیجه برسید.

۲ در ابتدای کار از گوشهٔ سمت راست پایین واحد اندازه‌گیری را انتخاب کنید. واحد باید میلی‌متری انتخاب شود. توجه کنید که ممکن است پیش‌فرض نرم‌افزار روی اینچ تنظیم شده باشد.

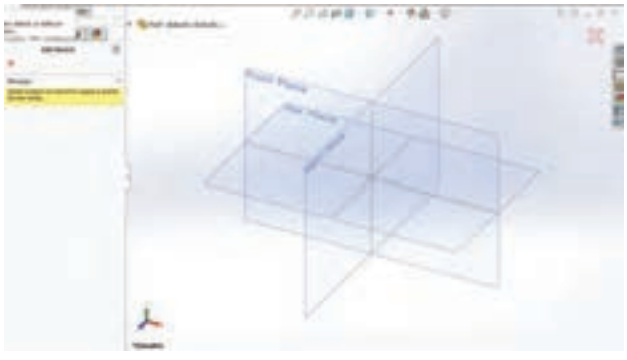


شکل ۷

نکته

در سالیدورکز اگر در ابتدای مدل‌سازی واحد را میلی‌متر انتخاب نکنید باید در تمام مراحلی که نیاز به اندازه‌گذاری دارید از واحد میلی‌متر استفاده کنید. این کار زمان‌بر است و احتمال خطا را زیاد می‌کند.

۳ با انتخاب ابزار Sketch شکلی ظاهر خواهد شد که امکان انتخاب نما یا صفحه ترسیمی را به شما می‌دهد. پس از انتخاب صفحه ترسیم، با استفاده از ابزار اسکچ می‌توان شکل موردنظر را ترسیم کرد.



شکل ۸

نکته

سه صفحه ترسیمی Front_Top_Right به‌صورت پیش‌فرض وجود دارد. انتخاب این صفحات در درخت طراحی نیز مقدور است.

ترسیم اسکچ

اسکچ می‌تواند یک شکل ساده مانند یک دایره و یا یک شکل پیچیده و پر از خط و کمان باشد. هرچه اسکچ‌ها ساده‌تر باشند تعداد عملیات مدل‌سازی بیشتر می‌شود. به‌طور کلی توصیه می‌شود به‌جای اسکچ‌های پیچیده از اسکچ‌های ساده‌تر استفاده کنید. زیرا یک اسکچ ساده را می‌توان به‌راحتی ترسیم و قیدگذاری کرد.

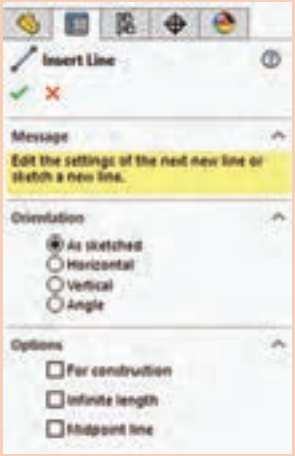
ابزارهای ترسیمی

شکل ۹

ابزارهای ترسیم در نرم‌افزارهای نقشه‌کشی و طراحی یکسان است اما ممکن است نحوه اجرای برخی ابزارها در یک نرم‌افزار با نرم‌افزارهای دیگر کمی متفاوت باشد. در نرم‌افزار سالیدورکز ابزارهای ترسیمی مشابه دستورات ترسیمی در محیط اتوکد است. با این تفاوت که ترسیم در این نرم‌افزار مبتنی بر شیء است ولی در اتوکد مبتنی بر اطلاعات ورودی است. به‌طور مثال در اتوکد شما برای ترسیم یک خط مختصات نقاط ابتدا و انتها را معرفی می‌کنید و خط ترسیم می‌شود ولی در سالیدورکز می‌توانید خط را به‌صورت حدودی رسم کنید سپس با اندازه‌گذاری طول آن را تغییر دهید.

Line: برای ترسیم این اسکچ ابزار Line را که با کلید میانبر (L) نیز قابل اجراست فعال کنید؛ نشانگر ماوس به شکل یک مداد ( ) تبدیل می‌شود.

نکته

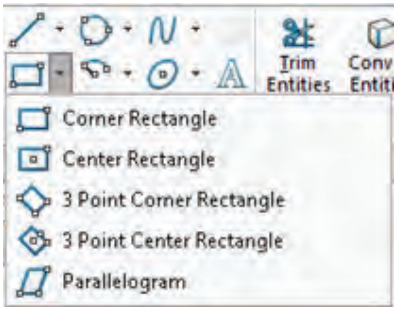


شکل ۱۰

- با اجرای هر ابزاری از جمله ابزار Line پنجرهٔ مدیریت ویژگی‌ها در سمت چپ صفحه نمایش داده می‌شود. درمورد ابزار Line می‌توان ویژگی‌های خط ترسیمی از جمله افقی یا عمودی‌بودن، زاویه، اندازه، نوع خط از نظر اصلی یا ساختاری‌بودن، و تعیین نقطهٔ شروع خط در وسط آن را تعیین کرد.
- پس از رسم خط برای خروج روی علامت تیک سبز رنگ کلیک کنید تا از دستور خط خارج شود.

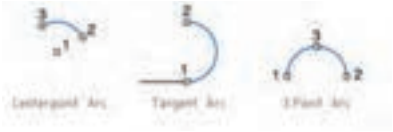
Circle: در سالیدورکز دو روش برای رسم دایره در نظر گرفته شده است: روش معمول با تعیین نقطه مرکز و شعاع و دایره سه نقطه‌ای با تعیین سه نقطه روی دایره.

Rectangle: این ابزار برای ترسیم چهارضلعی به‌کار می‌رود. این ابزار دارای حالت‌های مختلفی است که با انتخاب هریک می‌توان چهارضلعی را به روش‌های مختلف ترسیم نمود.



شکل ۱۱

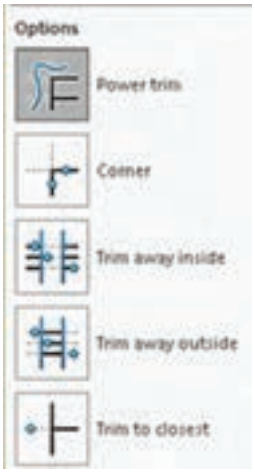
Arc: در سالیدورکز برای ترسیم کمان سه روش تعبیه شده است که ترتیب تعیین نقاط در شکل زیر نمایش داده شده است.



شکل ۱۲

Polygon: به‌صورت پیش‌فرض می‌توان با استفاده از این ابزار و با تعیین مرکز و یک گوشه، یک شش‌ضلعی ترسیم کرد. می‌توان تعداد اضلاع را در بخش Parameters در پنجره مدیریت ویژگی‌ها تعیین کرد.

Trim: در سالیدورکز Trim حالت‌های مختلفی دارد که می‌توان با استفاده از آنها، خطوط و کمان‌ها یا بخشی از آنها را حذف کرد یا امتداد داد.



شکل ۱۳

الف) Power Trim: می‌توان به سادگی روی آن بخش‌هایی از اسکچ که می‌خواهید حذف شوند درگ کنید. در شکل زیر این عملکرد نشان داده شده است.

شکل ۱۴

نکته

در این حالت با کلیک‌کردن روی یک موضوع می‌توان آن را تا یک موضوع دیگر امتداد داد؛ بخشی از آن را که با یک موضوع دیگر برخورد دارد حذف کرد و یا با کلیک در یک فضای خالی طول آن را تغییر داد.

ب) Corner: با انتخاب دو موضوع می‌توان آنها را به هم رساند و یا بخش‌های اضافی آنها را حذف کرد.

ج) **Trim Away Inside:** با انتخاب دو موضوع می‌توان موضوعات بین آنها یا بخش داخلی موضوعاتی که دو موضوع مرزی را قطع کرده باشند، حذف کرد.

د) **Trim Away Outside:** با انتخاب دو موضوع می‌توان موضوعات بیرون آنها یا بخش بیرونی موضوعاتی که دو موضوع مرزی را قطع کرده باشند، حذف کرد.

ه) **Trim to Closest:** با این ابزار می‌توان هر موضوع یا بخشی از آن را تا نزدیک‌ترین مرز حذف کرد. این حالت مانند عملکرد Trim در اتوکد است.

Extend: با این ابزار می‌توان موضوعات انتخابی را تا نزدیک‌ترین مرز امتداد داد.

فعالیت کلاسی

اسکچ یاتاقان مطابق شکل را جهت رسم مدل سه‌بعدی در محیط سالیدورکز ترسیم کنید.

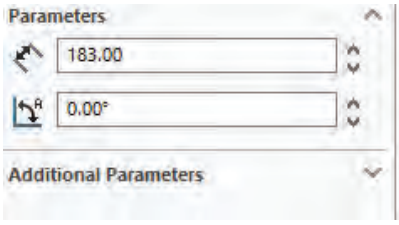
شکل ۱۵

نکته

بهترین نما برای رسم اسکچ نمایی است که بتوان بیشترین جزئیات را در سه‌بعدی برای مدل نمایش داد و در این شکل نمای سمت چپ بهترین نماست.

برای رسم اسکچ مانند مراحل زیر عمل کنید:

۱ پس از انتخاب صفحه کاری Front روی ابزار خط کلیک کنید و از مبدأ مختصات، خطی به طول ۱۸۳ میلی‌متر ترسیم کنید.

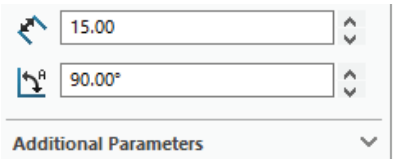


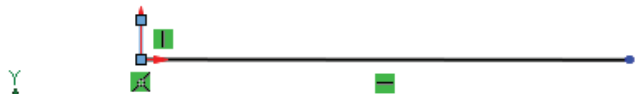
شکل ۱۶

نکته

بعد از انتخاب نقطه به‌صورت حدودی با کلیک‌کردن روی خط می‌توان در کادر اندازه در پنجرهٔ ویژگی‌ها، عدد ۱۸۳ را وارد کنید.

۲ خط عمودی سمت چپ را از مبدأ مختصات به اندازه ۱۵ میلی‌متر رسم کنید.



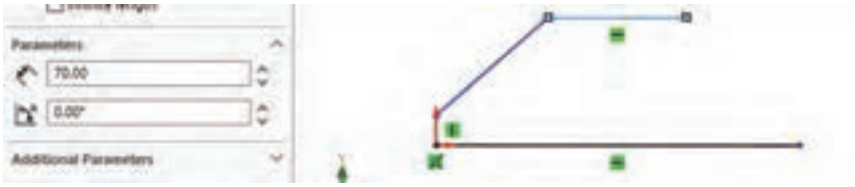


شکل ۱۷

۳ خط بعدی را به طول ۷۴/۹و با زاویه ۴۱/۰۳درجه ترسیم کنید.

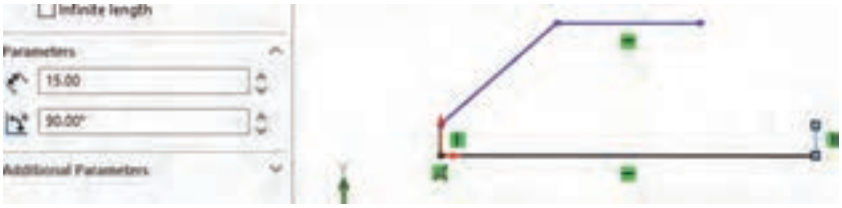
شکل ۱۸

۴ از نقطهٔ انتهایی خط قبلی خطی افقی به طول ۷۰ میلی‌متر ترسیم کنید.



شکل ۱۹

۵ از انتهای خط اولی که به طول ۱۸۳ میلی‌متر رسم کرده بودید خطی عمودی به اندازهٔ ۱۵میلی‌متر ترسیم کنید.

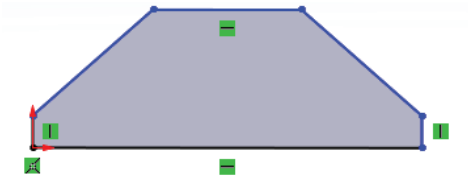


شکل ۲۰

۶ به‌وسیلهٔ خطی، انتهای خط را به انتهای خط افقی متصل کنید.

نکته

با اتصال انتهای دو خط به یکدیگر خطوط ترسیم شده به سطح تبدیل می‌شود.

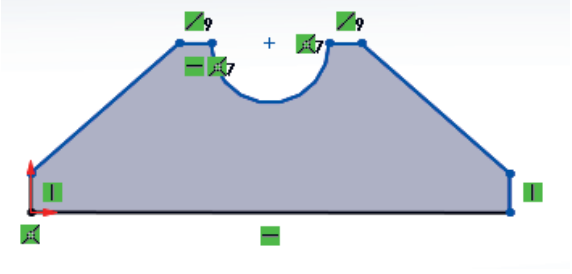


شکل ۲۱

۷ با استفاده از ابزار دایره دایره‌ای به شعاع ۲۲/۵ میلی‌متر در مرکز خط افقی بالایی ترسیم کنید.

شکل ۲۲

۸ با استفاده از ابزار trim قسمت بالایی دایره و خط قطری آن را قطع کنید.



شکل ۲۳

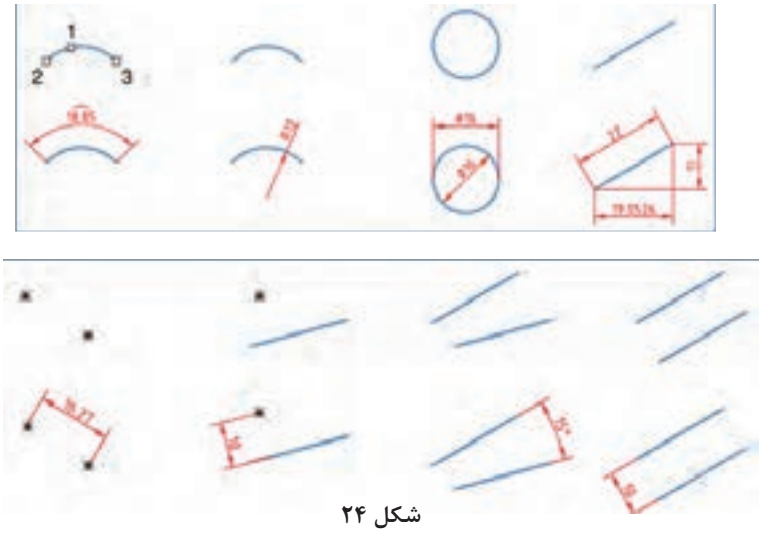
۹ فایل را به‌نام یاتاقان ۱ ذخیره کنید.

اندازه‌گذاری اسکچ

با انجام فعالیت کلاسی متوجه شدید که رسم اسکچ با این شیوه بسیار دشوار است. اگر در زمان رسم از ابزار اندازه‌گذاری استفاده کنید رسم اسکچ بیش از حد ساده خواهد شد. می‌توان ابتدا اسکچ را به‌طور حدودی رسم کرد و سپس با ابزار اندازه‌گذاری آن‌را به اندازهٔ اصلی تغییر داد.

ابزار اندازه‌گذاری

ابزار اصلی اندازه‌گذاری در محیط اسکچ، Smart Dimension است. با این ابزار می‌توان تمام قسمت‌های یک اسکچ را اندازه‌گذاری کرد. موضوع انتخابی نوع اندازه‌گذاری را تعیین می‌کند. مثلاً با انتخاب دو خط، چنانچه خطوط با هم موازی باشند، فاصلهٔ بین آنها و چنانچه متقاطع باشند، زاویهٔ بین آنها اندازه‌گذاری می‌شود. در زیر نوع اندازه‌گذاری در ارتباط با انتخاب موضوع نشان داده شده است.



شکل ۲۴

بعد از انتخاب موضوع و تعیین محل درج متن اندازه، پنجرهٔ کوچکی نمایش داده می‌شود که می‌توان عدد اندازهٔ موردنظر را در آن وارد کرد. با کلیک‌کردن روی عدد اندازه‌های درج شده نیز می‌توان اندازهٔ آنها را ویرایش کرد.

شکل ۲۵

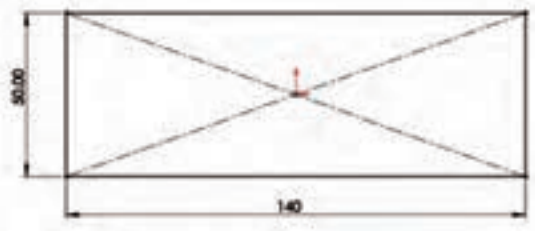
نکته

اگر بعد از درج اندازه، پنجرهٔ Modify نمایش داده نشد باید از مسیر Options > System Options > General گزینهٔ Input Dimension Value را تیک بزنید.

اندازه‌گذاری در اتوکد، ابعاد موضوعات ترسیمی را نمایش می‌دهد اما در سالیدورکز، اندازه‌گذاری، ابعاد موضوعات را تعیین می‌کند. به عبارت دیگر می‌توان گفت شکل، تابع اندازه‌گذاری است.

نکته

برای حذف صفرهای بعد از ممیز در اندازه‌های طولی گزینه Remove را در مسیر Options> DocumentProperties>Dimension>Zeroes>TrailingZeroes>Dimensions انتخاب کنید.



شکل ۲۶

بسیاری از کاربران اتوکد تمایل دارند که همزمان با رسم اسکچ، اندازه‌های آن را وارد کنند. این ویژگی که در اتوکد به آن ورود فعال اطلاعات (Dynamic Input) می‌گویند، در سالیدورکز به‌صورت پیش‌فرض غیر فعال است. برای فعال‌کردن آن باید گزینه Enable on screen numeric را در مسیر Tools > Options > System Options > Sketch فعال کنید. انتخاب گزینه Sketch Numeric Input از منوی راست کلیک نیز همین عملکرد را دارد. با فعال‌کردن این عملکرد موقع رسم موضوعات ترسیمی مانند خط، کادری عددی در کنار نشانگر ماوس ظاهر می‌شود که می‌توان طول خط را در آن وارد کرد. برای درج اندازه همزمان با رسم اسکچ نیز باید گزینهٔ Create Dimension only when value is entered را در همان مسیر فعال کرد.

فعالیت کلاسی

اسکچ یاتاقان را اندازه‌گذاری کنید.

۱ـ فایل یاتاقان ۱ را بازکنید.

۲ـ با استفاده از ابزار اندازه‌گذاری اسکچ را اندازه‌گذاری کنید.

۳ـ فایل را ذخیره کنید.

شکل ۲۷

پرسش

چرا پس از اندازه‌گذاری رنگ نیم‌دایره تغییری نکرد؟

برخی دیگر از ابزار ترسیم

Offset

با این ابزار می‌توان یک جزء ترسیمی از اسکچ یا مدل ترسیم شده را به‌صورت موازی با فاصله‌ای معین کپی کرد. تأثیر انتخاب گزینه‌های مختلف این ابزار در شکل زیر نمایش داده شده است.

شکل ۲۸

Mirror

با این ابزار می‌توان قرینهٔ اجزا انتخابی را ایجاد کرد ابتدا موضوعات موردنظر را انتخاب کنید سپس با کلیک‌کردن در بخش Mirror about و فعال‌کردن آن خط تقارن را انتخاب کنید. برای خط تقارن می‌توان از لبه‌های مدل یا صفحات مرجع استفاده کرد.

شکل ۲۹

فعالیت کلاسی

با مشورت با همکلاسی‌های خود و اجرای ابزار Dynamic Mirror از منوی Tools > Sketch Tools سعی کنید عملکرد آن را درک کنید سپس آن را برای هنرآموز خود توضیح دهید.

الگوها یا آرایه‌ها

الگوی خطی (Linear Pattern): الگوی خطی می‌تواند در یک یا دو جهت دارای تعدادی عضو با فاصله‌های معین باشد. هر کدام از جهت‌ها می‌تواند زاویهٔ مشخصی داشته باشد.

الگوی دایره‌ای (Circular Pattern): مرکز الگوی دایره‌ای به‌صورت پیش‌فرض مبدأ مختصات است اما می‌توان مختصات X و Y آن را وارد کرد و یا نقطه‌ای که با ابزار Point ایجاد شده است را انتخاب کرد.

فعالیت کلاسی

با اجرای ابزارهای Scale, Rotate, Copy, Move و Stretch، روش اجرای آنها را توضیح دهید. تفاوت و شباهت این ابزارها با دستورهای مشابه در اتوکد را بنویسید.

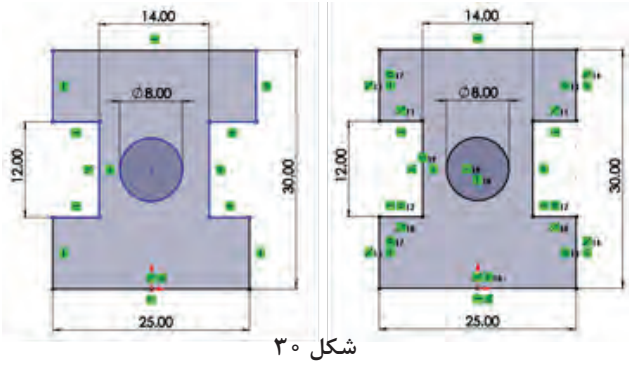
قیدگذاری اسکچ

قیدها ابزارهایی هستند که یک جزء را وادار می‌کنند تا حالت، موقعیت، راستا، ارتباط یا اندازهٔ خود را حفظ کند. قیدها از درجات آزادی اجزا می‌کاهند. به عبارت دیگر برای اینکه مدل در مراحل مدل‌سازی دچار تغییرات ناخواسته نشود باید اسکچ آن را کاملاً مقید کرد.

نکته

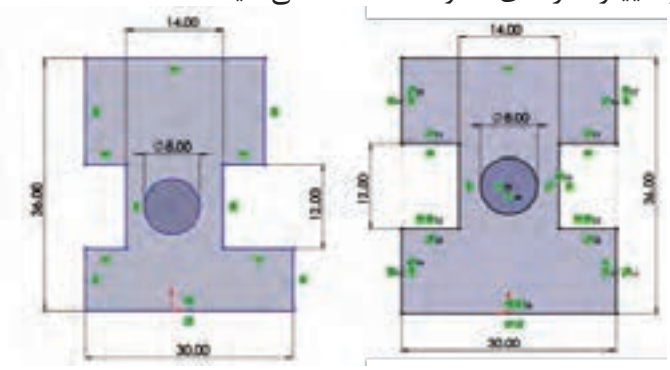
در سالیدورکز از اسکچ‌هایی که مقید نشده باشند نیز می‌توان در مراحل مدل‌سازی استفاده کرد امّا به هیچ عنوان توصیه نمی‌شود.

شاید این سؤال به ذهن خطور کند که چرا باید اسکچ کاملاً مقید و تعریف شده باشد. به دو شکل زیر که ابعاد و هندسهٔ یکسانی دارد نگاه کنید. شکل سمت راست به صورت کامل قیدگذاری شده است اما شکل سمت چپ فقط دارای قیدهای ابعادی و برخی قیدهای هندسی که نرم‌افزار به صورت خودکار اعمال کرده است، می‌باشد.



شکل ۳۰

حال اگر به دلایلی مجبور به تغییر برخی اندازه‌ها شویم هندسهٔ اسکچ چه تغییری می‌کند؟ در شکل زیر این اسکچ‌ها را بعد از تغییر اندازه‌های ۲۵ و ۳۰ مشاهده می‌کنید.



شکل ۳۱

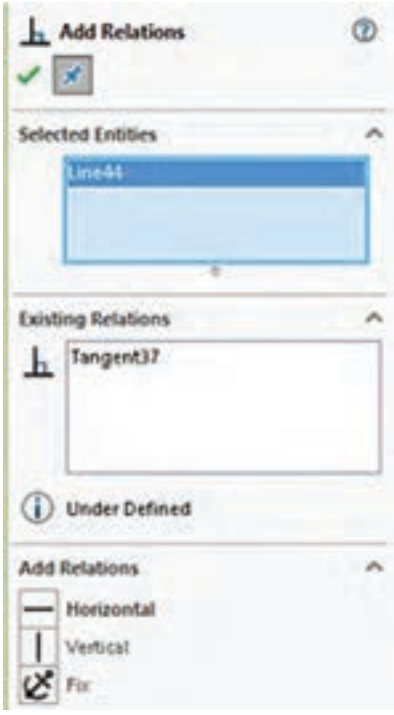
افزایش ارتفاع در شکل سمت چپ موجب شده است که دایره و شیارها پایین‌تر از وسط جسم قرار بگیرد. افزایش طول نیز در این شکل موجب شده است که طول اسکچ در بالا و پایین با هم متفاوت شود.

پرسش

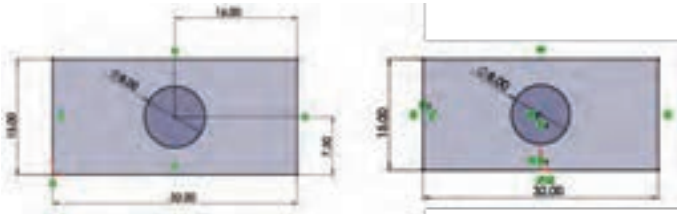
به‌نظر شما چه عامل یا قیدی موجب شده است که شکل ۳۱ سمت راست بعد از تغییر اندازه، هندسهٔ خود را حفظ کند؟

قیدگذاری دستی

بسیاری از قیدها زمان رسم اسکچ به صورت خودکار اعمال می‌شود. با تمرین بیشتر می‌توانید اسکچ‌هایی را رسم کنید که نیاز کمتری به قیدگذاری دستی داشته باشد. با اعمال هر قید به یکی از اجزا علامت کوچکی روی آن ظاهر می‌شود که نشان‌دهنده نوع قید اعمالی است. اندازه نیز نوعی قید است. ممکن است گفته شود چرا به جای قیدگذاری هندسی، اسکچ را با اندازه‌گذاری به‌صورت کامل تعریف نکنیم؟ باز هم به شکل زیر نگاه کنید. شکل سمت راست به صورت صحیح قیدگذاری شده است اما در شکل سمت چپ موقعیت سوراخ با استفاده از اندازه‌گذاری در وسط مستطیل تعریف شده است.



شکل ۳۲



شکل ۳۳

در شکل بالا با تغییر ابعاد مستطیل برای اسکچ سمت چپ باید موقعیت سوراخ را مجدداً تعریف کرد. (چرا؟) اما در اسکچ سمت راست نیازی به این کار نیست.

نکته

همیشه اسکچ را از نقطه مبدأ شروع کنید. اگر شکل متقارن است، بهتر است نقطه مبدأ را در وسط شکل قرار دهید.

شکل ۳۴

برای اعمال قید بر موضوعات، می‌توان ابتدا موضوعات موردنظر را انتخاب کرد و یا ابتدا ابزار Add Relation را اجرا و سپس موضوعات را انتخاب کرد. با استفاده از ابزار Add Relation و انتخاب موضوعات در مدیریت ویژگی‌ها، قیدهای موجود و قیدهای قابل اعمال بر موضوع انتخابی نمایش داده می‌شود.

یادآوری

برای انتخاب بیش از یک موضوع باید دکمه کنترل (Ctrl) در صفحه کلید را بگیرید.

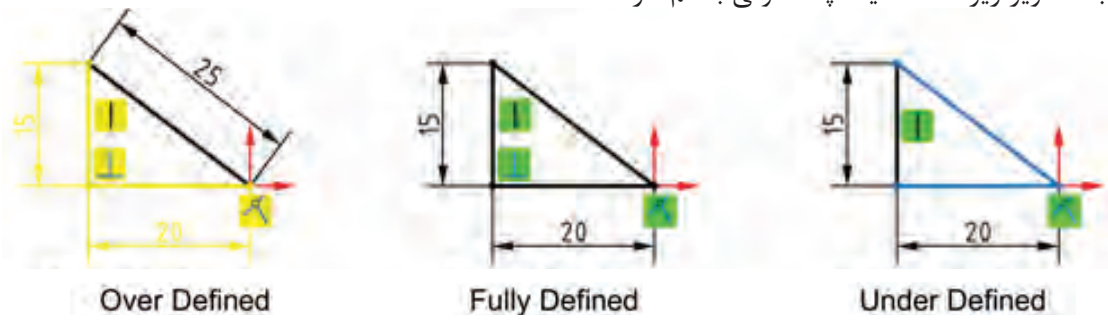
انواع قیدهای هندسی

قیدهای هندسی را می‌توان بر یک یا چند موضوع ترسیمی یا اجزای مدل اعمال کرد.

نام قید	علامت	عملکرد
قید افقی (Horizontal)		این قید را می‌توان بر یک یا چند خط اعمال کرد. با انتخاب دو نقطه نیز می‌توان قید افقی‌بودن بر آنها اعمال کرد. علاوه بر نقاط معمولی از نقطه مبدأ مختصات، نقاط مرکز و انتها یا میانی نیز می‌توان استفاده کرد.
قید عمودی (Vertical)		این قید را نیز می‌توان مانند قید افقی بر خطوط و نقاط اعمال کرد.
قید همراستایی (Collinear)		با این قید می‌توان دو خط را همراستا کرد.
قید تعامد (Perpendicular)		با این قید می‌توان دو خط را نسبت به هم عمود کرد.
قید توازی (Parallel)		با این قید می‌توان دو خط را با هم موازی کرد.
قید مماس (Tangent)		با این قید می‌توان یک منحنی (دایره، کمان، بیضی و کثیرالمنحنی) را با یک خط یا منحنی دیگر مماس کرد.
قید هم‌مرکزی (Concentric)		با این قید می‌توان دو دایره یا کمان را هم‌مرکز کرد. از نقطه، گوشه‌های مدل و لبه‌های گرد نیز می‌توان برای هم‌مرکزی استفاده کرد.
قید تساوی (Equal)		با این قید می‌توان طول دو خط را برابر کرد. اگر این قید را روی دایره یا کمان اعمال کنیم، آنها هم‌شعاع می‌شوند.
قید انطباق (Coincident)		با این قید می‌توان یک نقطه را بر یک خط یا منحنی منطبق کرد.
قید انطباق نقطه میانی (Midpoint)		با این قید می‌توان یک نقطه را با نقطه وسط یک خط منطبق کرد.
قید تقارن (Symmetric)		با این قید می‌توان دو موضوع را نسبت به یک خط محور متقارن کرد.
قید تثبیت (Fix)		می‌توان موقعیت یک نقطه، خط یا کمان را با این قید تثبیت کرد. طول خط یا کمانی که ثابت شده باشد را می‌توان تغییر داد.
قید تساوی طول کمان (Equal Curve Length)		با این قید می‌توان طول کمان‌های مختلف را با هم یکسان کرد.

حالت‌های مختلف اسکچ

به تصاویر زیر دقّت کنید. چه تفاوتی با هم دارند؟



شکل ۳۵

حالت‌های مختلف اسکچ در نوار وضعیت نمایش داده می‌شود. این حالت‌ها عبارت‌اند از:

Fully Defined: اگر اسکچ کاملاً تعریف شده یا مقید باشد آن را Fully Defined می‌نامند. چنین اسکچی هیچ درجه آزادی ندارد و با تغییر یک اندازه، اندازه‌های دیگر و هندسه آن به‌صورت ناخواسته تغییر نمی‌کند. در سالیدورکز رنگ اسکچ Fully Defined سیاه است.

نکته

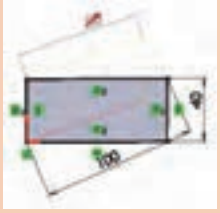
با انتخاب ابزار Fully Define Sketch می‌توان بررسی و محاسبهٔ اسکچ یا بخشی از آن را به نرم‌افزار سپرد و قیدها و اندازه‌های موردنیاز را به‌صورت خودکار درج نمود.

Under Defined: اگر اسکچ کاملاً تعریف و مقید نشده باشد و دارای یک یا چند درجه آزادی باشد به آن Under Defined می‌گویند. با افزودن اندازه یا قیدهای هندسی باید این اسکچ را Fully Defined کرد. رنگ اسکچ یا بخشی از آن که Under Defined باشد آبی است.

Over Defined: اگر اسکچ بیش از حد موردنیاز قید یا اندازه داشته باشد به آن Over Defined گفته می‌شود. قیدهای اضافی و یا قیدهایی که ناسازگار هستند را باید حذف کرد. اسکچ Over Defined به رنگ زرد دیده می‌شود. قیدهای غیرقابل حل قرمز هستند.

شکل ۳۶

نکته

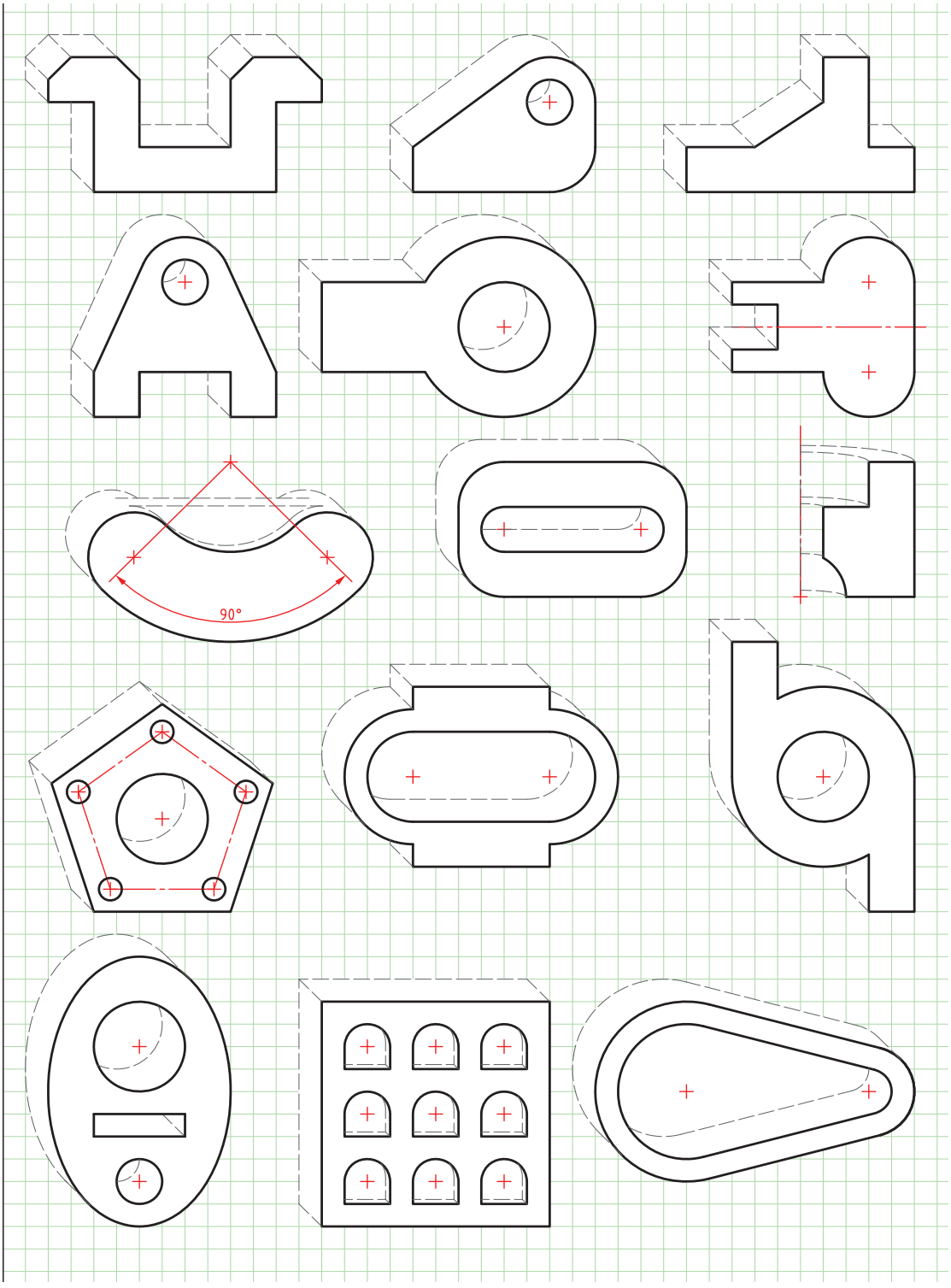


برای اصلاح خودکار این اسکچ باید روی ابزار Over Defined در نوار وضعیت دابل کلیک کرد. در پنجره سمت چپ روی Diagnose کلیک کنید تا اسکچ را اصلاح کرده و اصلاحات را نمایش دهد. برای پذیرش اصلاحات روی Accept کلیک کنید.

شکل ۳۷

فعالیت کلاسی

اسکچ شکل‌های زیر که هر کدام نمای اصلی یک قطعه هستند را ترسیم کنید و بعد از اندازه‌گذاری و قیدگذاری به‌صورت مجزا ذخیره نمایید.



مدل‌سازی سه‌بعدی در نرم‌افزار سالیدورکز

ایجاد مدل‌های سه‌بعدی در نرم‌افزار سالیدورکز با روش‌های مختلف انجام می‌شود:

۱ برجسته‌سازی سطح

۲ دوران‌دادن سطح حول یک محور

۳ حرکت‌دادن سطح در یک مسیر مشخص

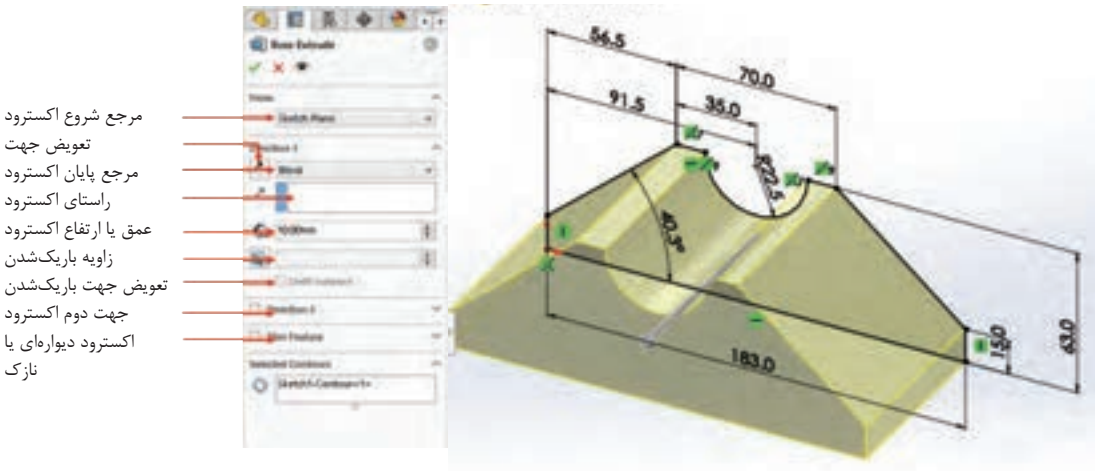
نکته

ابزارهای مدل‌سازی در زبانه نمایه (Features) قرار دارند.

اکسترود (Extrude)

از این ابزار برای ایجاد مدل به روش بعددادن یا برجسته‌سازی استفاده می‌شود.

در این روش ابتدا اسکچ را رسم کرده و سپس با انتخاب ابزار اکسترود اسکچ حالت سه‌بعدی به خودش می‌گیرد و به‌صورت مدل ظاهر می‌شود. با مشخص‌کردن مقادیر اندازه در پنجره ویژگی‌ها و تأیید آنها مدل ایجاد می‌شود.

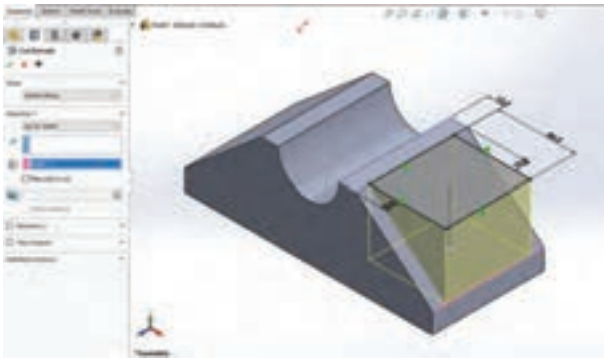


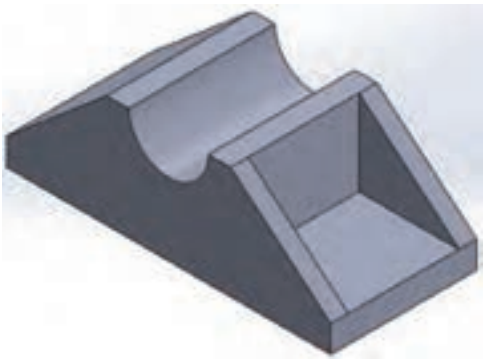
شکل ۳۸

ابزار ایجاد حفره (cut extrude)

با این ابزار می‌توان قسمت‌های تو خالی مدل را ایجاد کرد.

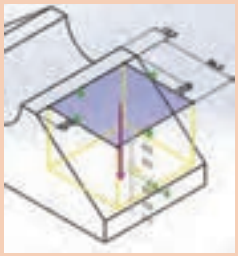
ابتدا سطح حفره موردنظر در صفحه کاری با اسکچ رسم می‌شود و پس از قیدگذاری (تثبیت موقعیت) ابزار انتخاب می‌شود. بعد از اجرای ابزار، پنجره ویژگی‌ها در سمت چپ ظاهر می‌شود و درخواست ورود اطلاعات را می‌کند. به‌صورت پیش‌فرض و در حالت ساده با واردکردن عددی به‌عنوان عمق حفره در بخش Direction ۱ می‌توان اسکچ را اکسترود و حفره را ایجاد کرد.





شکل ۳۹

نکته



شکل ۴۰

- در ابزارهـای ایجـاد حفره و اکسـترود می‌تـوان با دِرگ‌کردن میلـه راهنما در مـدل نیز عمـق یا ارتفاع اکسـترود و جهـت آن را تعیین کرد.
- بـرای اعمـال شـیب روی مدل پس از محاسـبهٔ مقدار شـیب برحسـب درجه، آن را درقسـمت زاویـهٔ باریک‌شـدن

در پنجـره ویژگی‌هـا وارد کنید .

فعالیت کلاسی

پایه یاتاقان را با استفاده از ابزار اکسترود مدل‌سازی کنید.

۱ اسـکچ ترسـیمی در فعّالیـت کلاسـی قبلـی کـه بـا نـام یاتاقـان ۱ ذخیـره کـرده بودیـد را بـاز کنیـد.

۲ ابـزار اکسـترود را اجـرا نماییـد و انـدازهٔ اکسـترود را ۸۳ میلی‌متـر وارد نمـوده و تأییـد کنیـد.

۳ صفحـهٔ بالایـی مـدل را انتخـاب نموده و اسـکچ‌هایی مطابق شـکل ترسـیم نمـوده و آن را همـراه بـا اندازه‌گـذاری مقیـد نمایید.

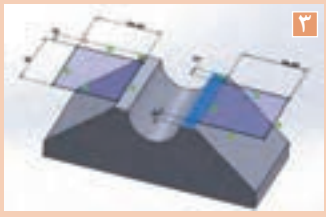
۴ ابـزار Cut Extrude را اجـرا کنیـد و لبه ۱۰میلی‌متـری را انتخاب کنید و سـپس تأییـد کنید.

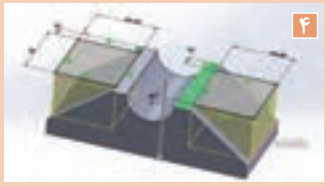
۵ صفحـهٔ میـان دو تیغـه را انتخـاب نمـوده و اسـکچی مطابـق شـکل ترسـیم و مقیـد نمایید.

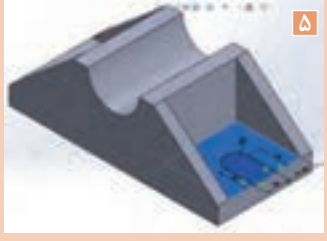
۶ بـا دِرگ‌کـردن چـرخ مـاوس مـدل را چرخانده و هم‌زمـان در طرف دیگر اسـکچ را ترسـیم نمایید.

۷ با ابزار Cut Extrude شیار را ایجاد کنید.

۸ فایل را ذخیره کنید.







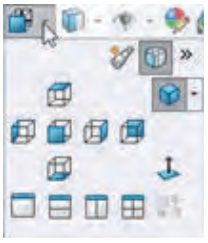
نحوهٔ نمایش مدل در محیط نرم‌افزار

برای تغییر نما و نحوهٔ نمایش مدل در پنجرهٔ گرافیکی روش‌های مختلفی وجود دارد. هر کاربر به سلیقهٔ خود می‌تواند از هر کدام از روش‌ها استفاده کند.
در سالیدورکز بسیاری از ابزارهای تغییر نما و نمایش مدل در نوار ابزار View بالای پنجره گرافیکی در دسترس هستند.

شکل ۴۱

در جدول زیر ابزارهای تغییر نما به‌طور اختصار آورده شده است.

نام ابزار	نماد(آیکن)	عملکرد
Zoom to Fit		مدل را متناسب با ابعاد صفحه نمایشگر بزرگ یا کوچک می‌کند.
Zoom to Area		مدل را به اندازهٔ کادری که کاربر ترسیم می‌کند بزرگ می‌کند.
Previous View		نمای قبلی را برمی‌گرداند.
Section View		نمایش مدل به صورت برش‌خورده با یک یا چند صفحه اصلی.
View Orientation		با اجرای این ابزار پنجره‌ای باز می‌شود که امکان انتخاب جهت‌های مختلف و نماهای استاندارد را امکان‌پذیر می‌سازد. نکته: با فشردن کلید space این پنجره ظاهر می‌شود.
Display Style		سبک نمایش مدل با این ابزار قابل انتخاب است. می‌توان مدل را به‌صورت سیمی (وایرفریم) یا رنگی، با خطوط ندید و یا بدون آن نمایش داد.



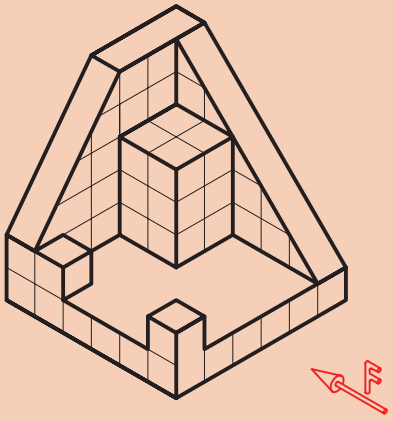
شکل ۴۲

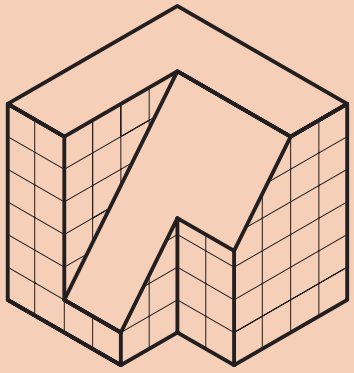
نکته

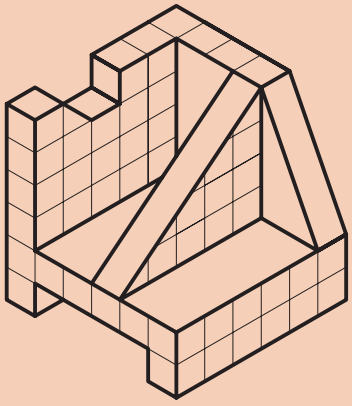
- با کلیک بر روی مثلث تیرهٔ کنار این آیکن پنجره کوچکی نمایش داده می‌شود که می‌توان در آن نماهای استاندارد را انتخاب کرد. در این پنجره علاوه بر نماهای استاندارد سه نوع تصویر مجسم ایزومتریک، دیمتریک و تریمتریک قابل انتخاب است. چهار آیکن ردیف پایین نیز تعداد دریچه‌های دید را تعیین می‌کند. یعنی می‌توان هم‌زمان نماهای روبه‌رو، جانبی، افقی و تصویر مجسم مدل را نمایش داد.
- چرخش چرخ (اسکرول) ماوس باعث زوم به داخل یا زوم به خارج می‌شود.

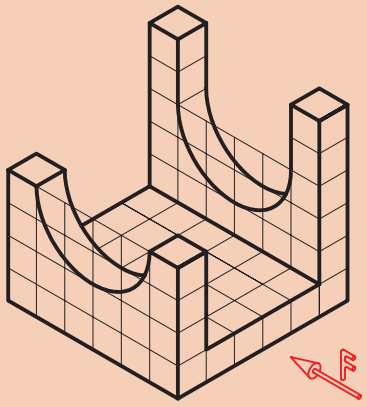
فعالیت کلاسی

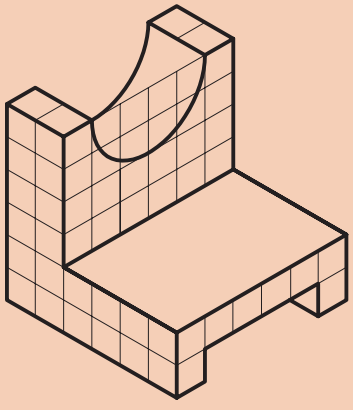
احجام زیر را با استفاده از ابزارهای اکسترود مدل‌سازی کنید.

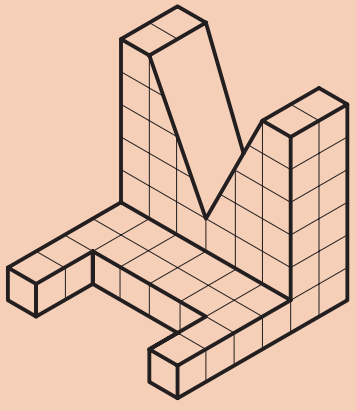








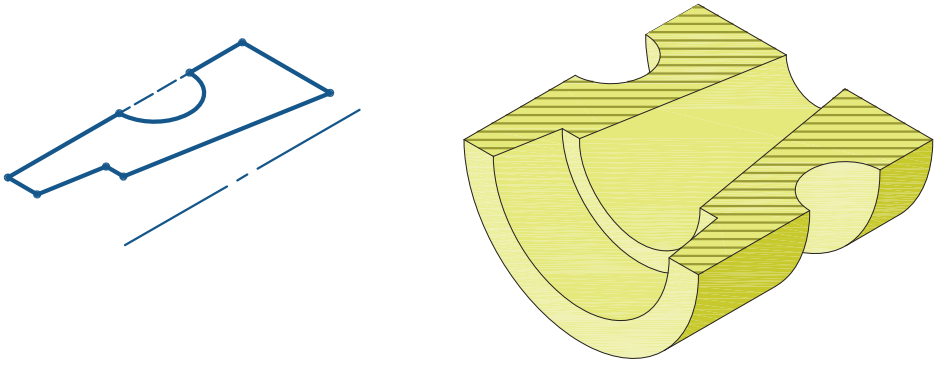




مدل‌سازی احجام دوار

ابزار دوران Revolve

یکی دیگر از روش‌های ایجاد مدل‌های سه بعدی، دوران سطح حول یک محور است. در این روش ابتدا سطحی که باید دوران داده شود توسط ابزارهای اسکچ ترسیم می‌شود و سپس با انتخاب ابزار دوران سطح انتخاب شده حول محور انتخابی دوران داده می‌شود. حاصل این حرکت ایجاد مدل سه‌بعدی است.



شکل ۴۳

نکته

علاوه بر خط محور از لبه‌های مدل و خطوط اسکچ نیز می‌توان به‌عنوان محور دوران استفاده کرد.

اغلب گزینه‌های Revolve با گزینه‌های اکسترود یکسان است و نیازی به توضیح دوباره ندارد.

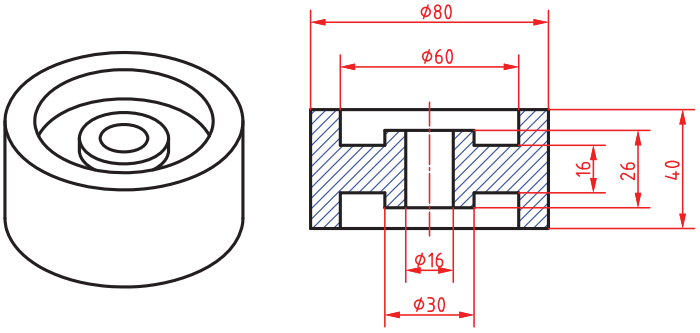
شکل ۴۴

نکته کلیدی

چنانچه مدل‌های دوار به‌صورت عمودی قالب‌گیری می‌شوند میزان شیب مدل را در هنگام ترسیم اسکچ اعمال نمایید.

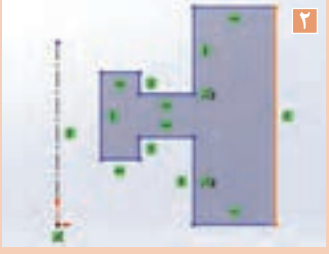
فعالیت کلاسی

برای قطعه مطابق شکل مدلی از جنس آلومینیوم ترسیم کنید.

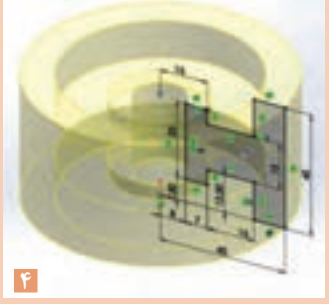


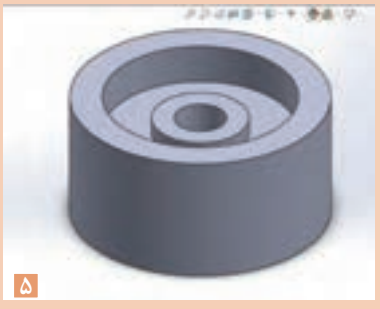
۱ـ خط محوری مطابق شکل رسم کنید. برای ترسیم خط محور کافی است که روی مثلث تیره کنار ابزار ترسیم خط کلیک نموده و خط محور را انتخاب کنید.
۲ـ اسکچ را مطابق شکل ترسیم کنید.
۳ـ اسکچ را اندازه‌گذاری و مقید نمایید.
۴ـ با استفاده از ابزار Revolved اسکچ را به مدل تبدیل نمایید.
۵ـ پس از تأیید مدل ترسیم‌شده آن را با نام دلخواه ذخیره نمایید.

۱

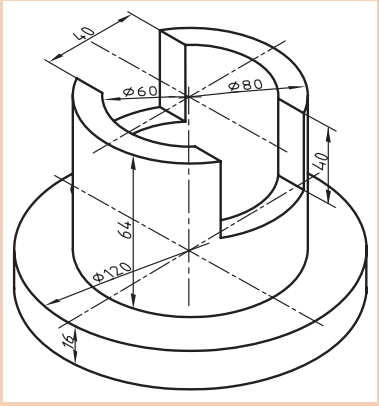

۲

۳


۴

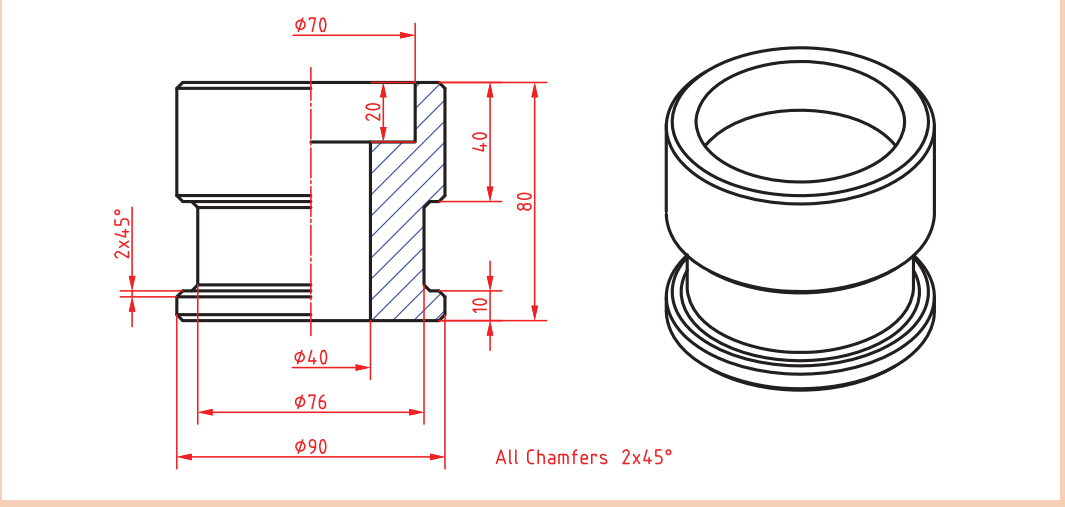

۵

فعالیت کلاسی

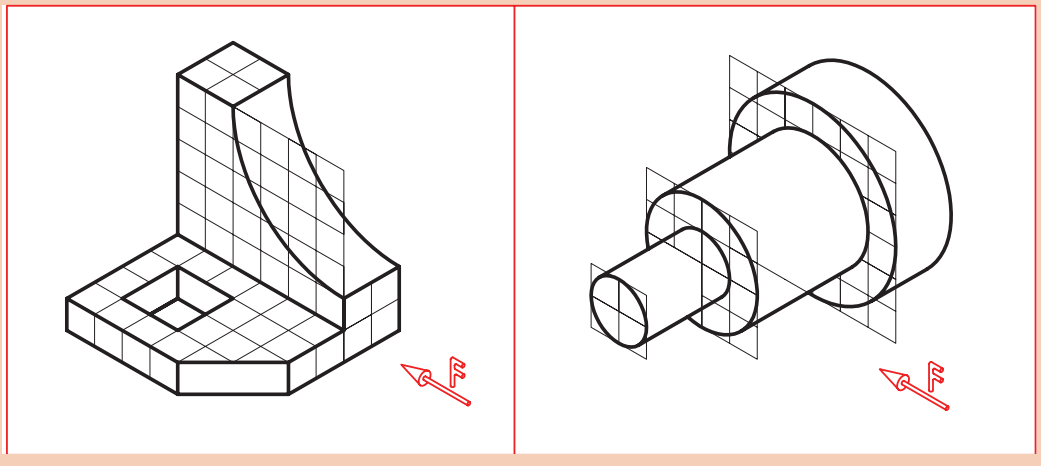


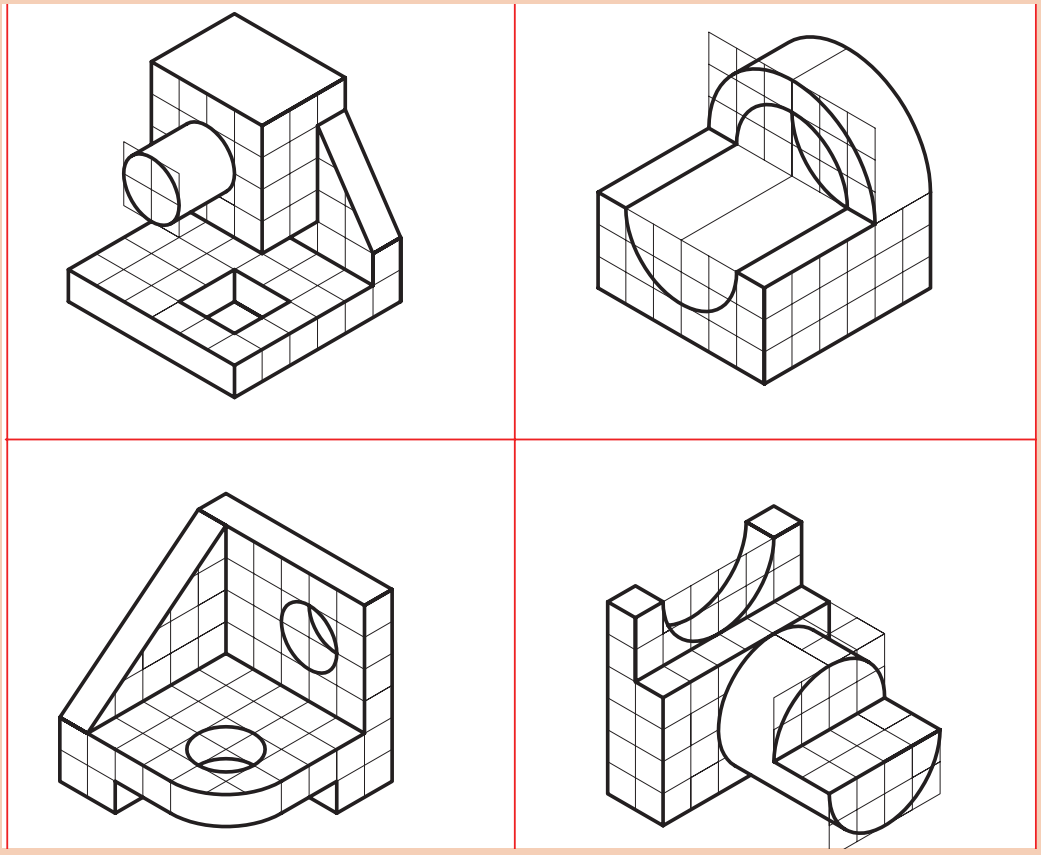
● پس از محاسبهٔ اضافات مجاز مدل ریخته‌گری قطعهٔ روبه‌رو را با استفاده از ابزارهای دوران و اکسترود مدل‌سازی کنید.

● مدل زیر را با استفاده از ابزارهای دوران مدل‌سازی کنید.



● احجام زیر را با استفاده از ابزارهای اکسترود و/یا دوران مدل‌سازی کنید.





فعالیت

یک حجم دوار مانند گلدان را به سلیقهٔ خود طراحی و مدل‌سازی کنید.

مدل‌سازی L با استفاده از اکسترود پروفیل در یک مسیر (sweep)

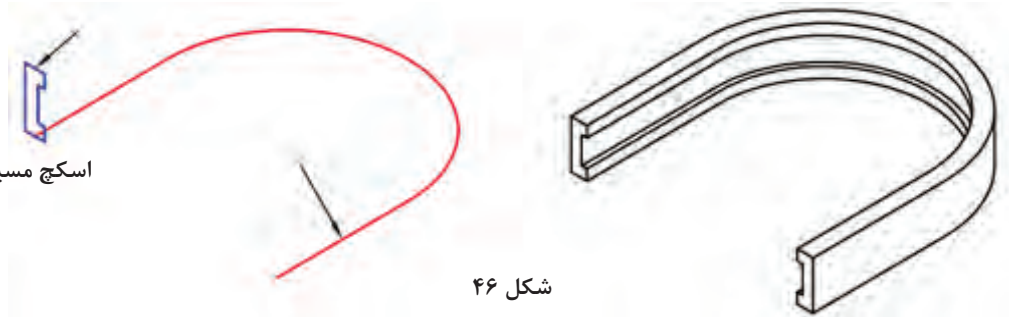
با استفاده از این ابزار می‌توان یک سطح را در مسیر مشخص حرکت داد. حجم حاصل از این روش حجمی با شکل مسیر و مقطع ترسیم شده است. مدل سازی با این ابزار نیاز به دو اسکچ مختلف دارد که اسکچ پروفیل باید عمود بر مسیر باشد.

شکل ۴۵

نکته

چنانچه از حالت Circular Profile استفاده کنید، دیگر نیازی به ترسیم اسکچ پروفیل نیست و تنها باید قطر دایره پروفیل را تعیین کنید.

مسیر می‌تواند یک اسکچ باز یا بسته باشد. پروفیل باید یک اسکچ بسته باشد اما از لبه‌های مدل می‌توان به عنوان مسیر استفاده کرد.



شکل ۴۶

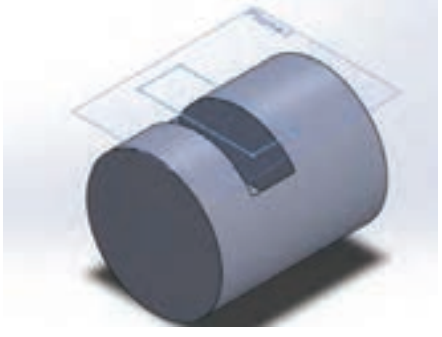
نکته

لازم نیست پروفیل با مسیر تماس داشته باشد اما باید در صفحه عمود بر آن باشد. در مسیر باز، صفحهٔ ترسیم پروفیل باید در نقطهٔ شروع یا پایان مسیر باشد. چنانچه مسیر در دو طرف پروفیل ادامه داشته باشد، سه گزینهٔ تصویری در پنجرهٔ سمت چپ افزوده می‌شود که می‌توان یک سمت مسیر یا دو طرف آن را انتخاب کرد.

شکل ۴۷

ایجاد صفحه کاری موازی با یک صفحه

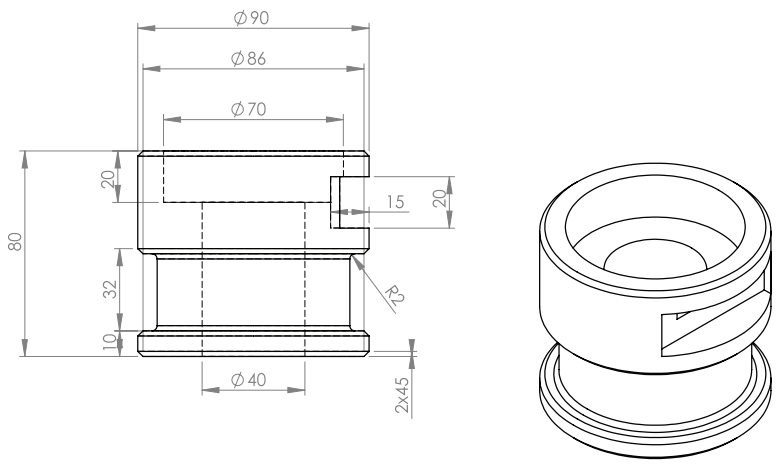
در برخی از مدل‌ها مانند مدل‌های مدور نمی‌توان سطح قوس‌دار را به‌عنوان صفحه کاری انتخاب نمود برای ایجاد تغییرات روی این سطوح باید از صفحه کاری موازی استفاده نمود. با استفاده از ابزار Plane می‌توان صفحه‌ای موازی با صفحهٔ موجود و با فاصله‌ای معین تعریف کرد. برای این کار بعد از اجرای ابزار Plane ابتدا در درخت طراحی Top Plane را انتخاب کنید سپس در بخش Offset distance فاصله موردنظر را وارد کنید.



شکل ۴۸

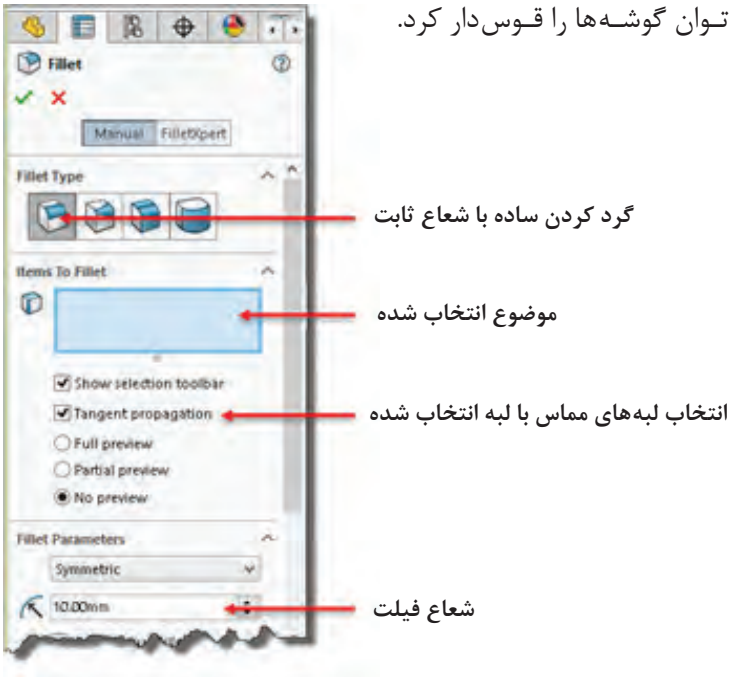
فعالیت کلاسی

پس از محاسبهٔ اضافات مجاز مدل ریخته‌گری قطعهٔ زیر را مدل‌سازی کنید.



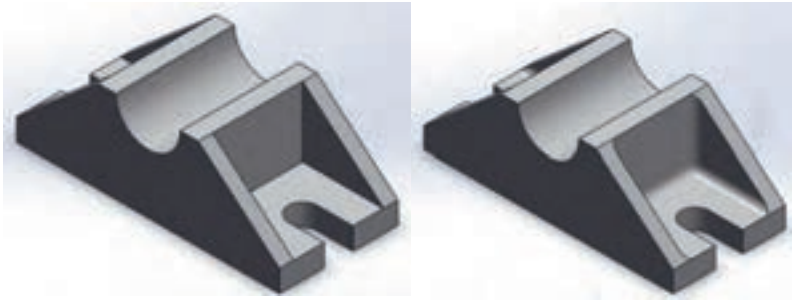
گردکردن لبه‌های مدل (Fillet)

همان‌طوری که در کتاب‌های قبلی به آن اشاره شد گوشه‌های تیز در مدل‌های ریخته‌گری باعث آسیب‌رسیدن به قطعه می‌شود. برای جلوگیری از این آسیب در فرایند مدل‌سازی گوشه‌های تیز مدل را حذف نموده و آنها را به قوس یا پخ تبدیل می‌کنند. در نرم‌افزار سالیدورکز ابزاری وجود دارد که می‌توان گوشه‌ها را قوس‌دار کرد.



شکل ۴۹

با استفاده از ابزار Fillet می‌توان گوشه‌ها را گرد یا قوس‌دار نمود بعد از اجرای این ابزار باید لبه‌ها یا سطوح موردنظر را انتخاب کنید و شعاع فیلت را نیز در بخش Radius تعیین نمایید.



بعد از اجرای فیلت　　قبل از اجرای فیلت

شکل ۵۰

پخ‌زدن لبه‌های مدل (Chamfer)

یکی دیگر از راه‌های از بین‌بردن لبه‌های تیز در مدل‌ها پخ‌زدن است. این کار با ابزاری به‌نام Chamfer امکان‌پذیر است. با اجرای ابزار Chamfer پنجره ویژگی‌ها در سمت چپ ظاهر می‌شود این پنجره دارای نوع پخ و اندازهٔ پخ است که با انتخاب هریک از گزینه‌های پخ این پارامترها تغییر می‌کند.

پخ متقارن ۴۵ درجه : پخ متقارن علاوه بر انتخاب گزینهٔ Symmetric تنها یک پارامتر دارد. بعد از انتخاب لبه باید طول پخ را مشخص کنید.

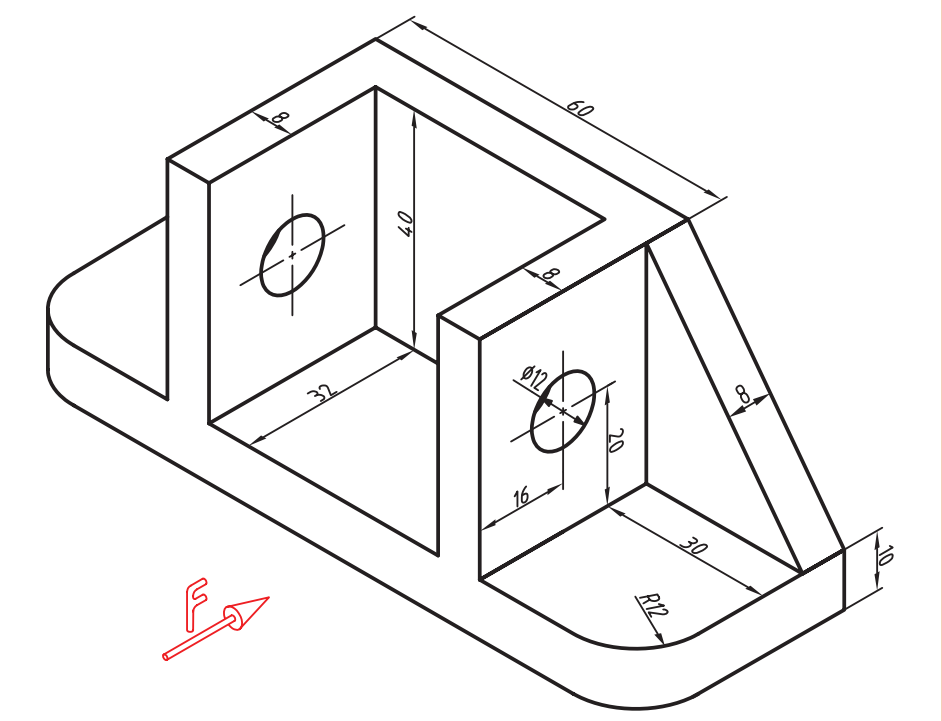
شکل ۵۱

پخ نامتقارن با دو طول مختلف (DistanceDistance)
در این نوع پخ باید گزینهٔ Asymmetric را انتخاب کنید و دو پارامتر طولی برای لبه‌های پخ تعیین نمایید.

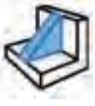
پخ با تعیین طول و زاویه (Angle Distance)
در این نوع پخ باید پارامترهای طول و زاویهٔ پخ را تعیین نمایید.

فعالیت کلاسی

پس از محاسبهٔ اضافات مجاز مدل ریخته‌گری قطعه زیر را مدل‌سازی کنید.



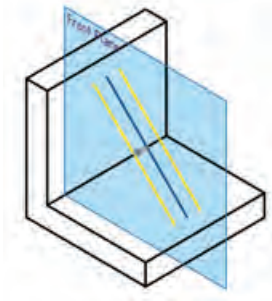
ایجاد تیغه‌های تقویتی (Rib)



با استفاده از اسکچ‌های باز (یا بسته) می‌توان تیغه‌های نازک تقویتی در مدل ایجاد کرد. معمولاً اسکچ باید در صفحهٔ وسط تیغه ترسیم شود اما می‌توان ضخامت تیغه را در یک سمت صفحه درنظر گرفت.

هشدار

اسکچ تیغه باید طوری ترسیم شود که تیغه به صفحات مدل برخورد کند.



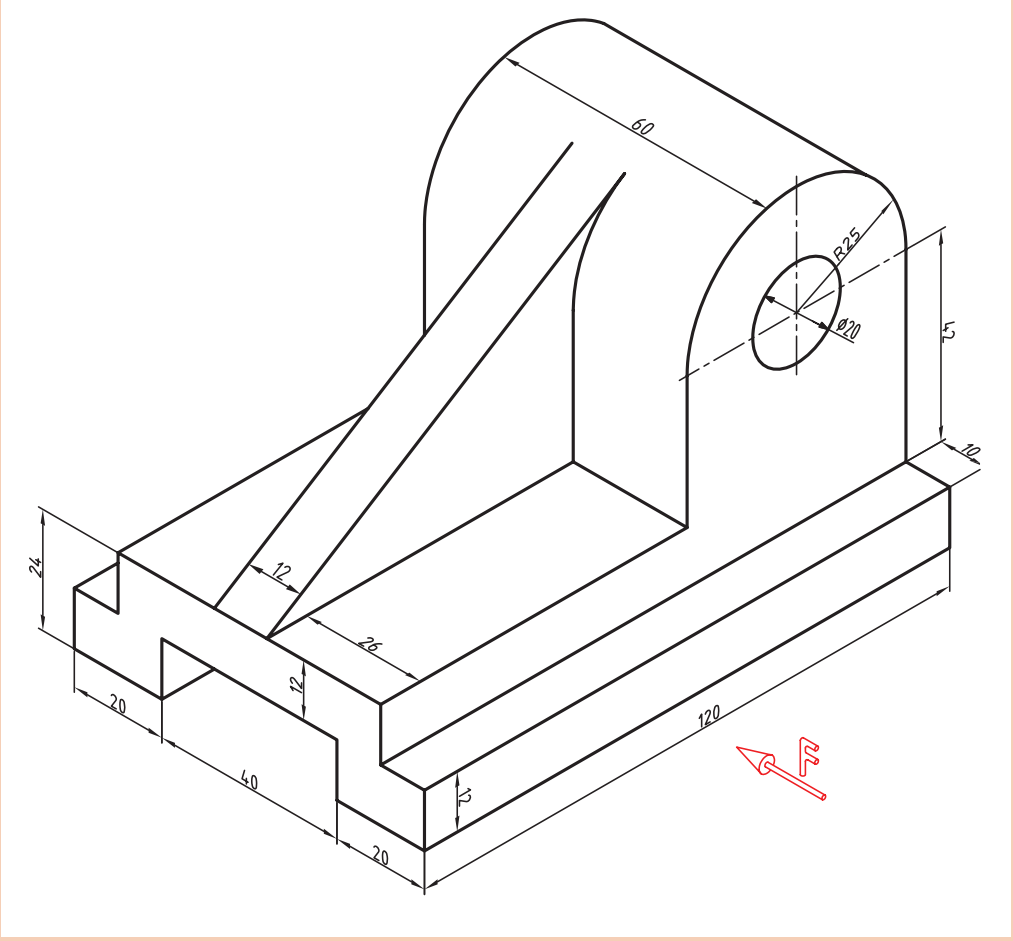
شکل ۵۲

نکته

در صفحهٔ گرافیکی به فلش تعیین سمت ایجاد تیغه دقّت کنید که به سمت قطعه باشد.

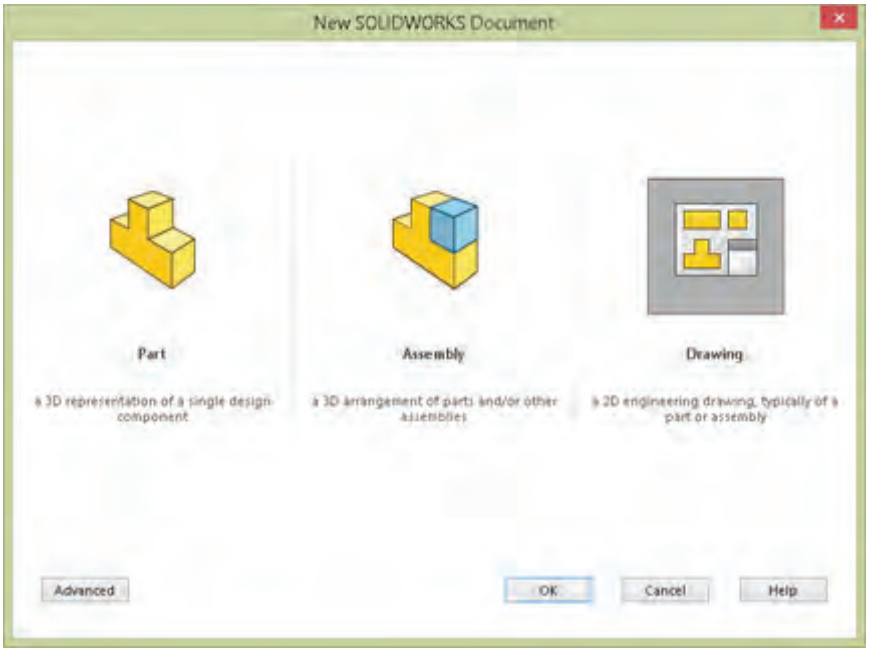
فعالیت کلاسی

پس از محاسبهٔ اضافات مجاز مدل ریخته‌گری قطعهٔ زیر را مدل‌سازی کنید.



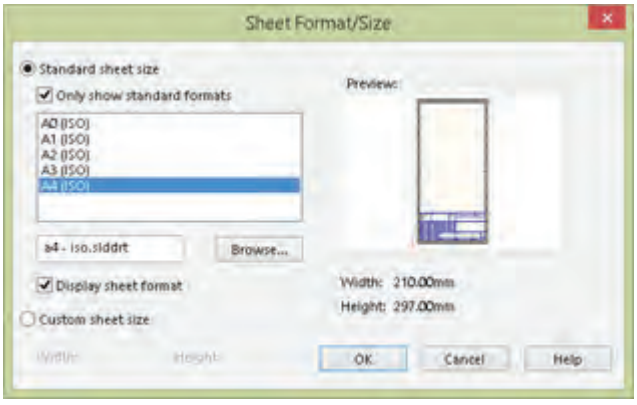
نماگیری از مدل

منظـور از نماگیـری یا نقشـه، نمایش مهندسـی مدل بر روی کاغذ اسـت. در سـالیدورکز نماگیری در محیط Drawing انجـام می‌شـود. بـرای رفتـن بـه محیـط Drawing بایـد در فرمـان New الگـوی Drawing را انتخـاب کنید.



شکل ۵۳

با فعال‌شدن محیط Drawing باید قطع کاغذ نقشه‌کشی و نوع استاندارد را تعیین کنید. بسته به انتخاب شما یک فایل الگو انتخاب می‌شود.



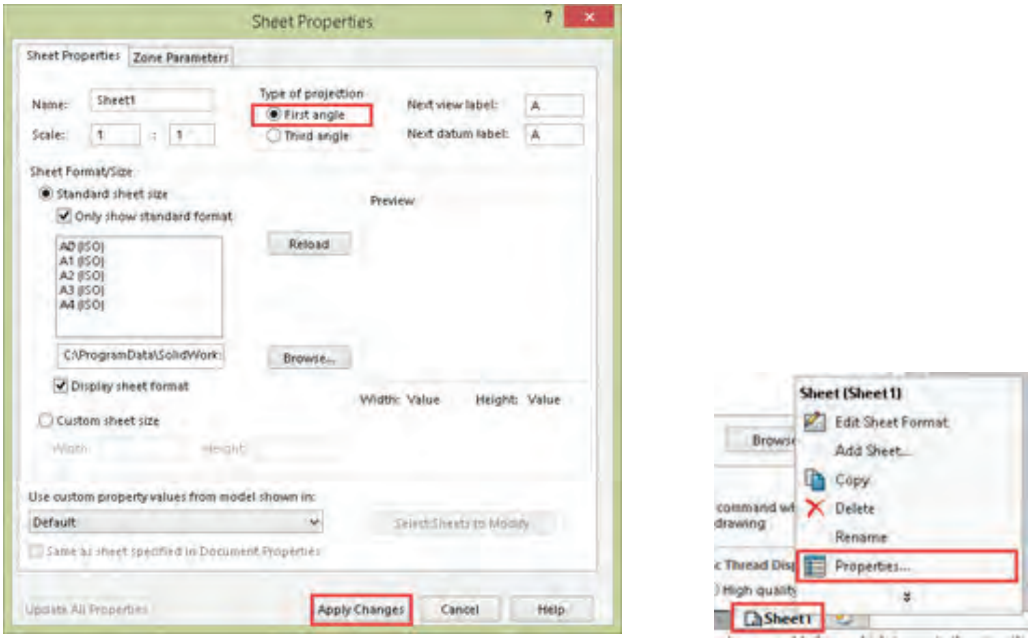
شکل ۵۴

نکته

اگر گزینهٔ Only show standard formats تیک نداشته باشد، تمامی استانداردهای نصب شده قابل انتخاب است.

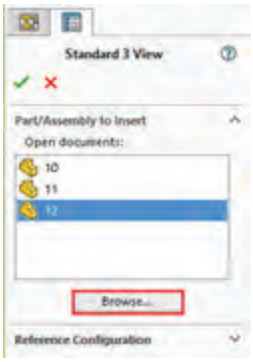
تعیین فرجه و روش نماگیری

در سالیدورکز به‌صورت پیش‌فرض نماگیری در فرجهٔ سوم انجام می‌شود. نماگیری در فرجهٔ سوم به روش آمریکایی معروف است. نماگیری در فرجهٔ اول که به روش اروپایی شناخته می‌شود در ایران استفاده می‌شود. برای تعیین فرجهٔ اول روی Sheet ۱ در نوار وضعیت راست‌کلیک و Properties را انتخاب کنید. در پنجرهٔ Sheet Properties گزینهٔ First angle را انتخاب کنید و برای اعمال این تغییر روی Apply changes کلیک نمایید.



شکل ۵۵

نماگیری با استفاده از ابزار Standard 3View



شکل ۵۶

با این ابزار و مشخص‌کردن فایل مدل می‌توان سه نمای روبه‌رو، جانبی و افقی را به‌صورت هم‌زمان درج کرد. فایل‌هایی که باز باشد در بخش Open documents قابل انتخاب هستند. برای نماگیری باید روی فایل موردنظر دابل‌کلیک کنید. برای نماگیری از فایل‌های دیگر باید روی دکمه Browse کلیک کنید و آدرس فایل موردنظر را تعیین کنید. بعد از تعیین فایل سه نمای استاندارد روبه‌رو، جانبی و افقی به‌صورت خودکار درج می‌شود.

نکته

سه نمای درج شده هم‌تراز هستند و با جابه‌جایی یکی، بقیه نیز جابه‌جا می‌شوند. ممکن است موقعیت نماها در صفحه از نظر جانمایی مناسب نباشد، برای جابه‌جایی هر نما کافی است آن را انتخاب و دِرگ کرد.

نماگیری با استفاده از ابزار Model View

از این ابزار برای درج نمای اصلی و نماهای وابسته به آن استفاده می‌شود. بعد از اجرای آن باید روی فایل نقشه دابل کلیک کنید سپس موقعیت نمای اصلی که معمولاً نمای روبه‌روست را در صفحه مشخص نمایید. با این کار نمای اصلی درج می‌شود اما ابزار همچنان فعال است. با حرکت نشانگر به سمت راست نمای روبه‌رو می‌توان نمای جانبی را درج کرد. بعد از اینکه نمای جانبی در موقعیت موردنظر قرار گرفت باید کلیک کنید تا درج آن نهایی شود.

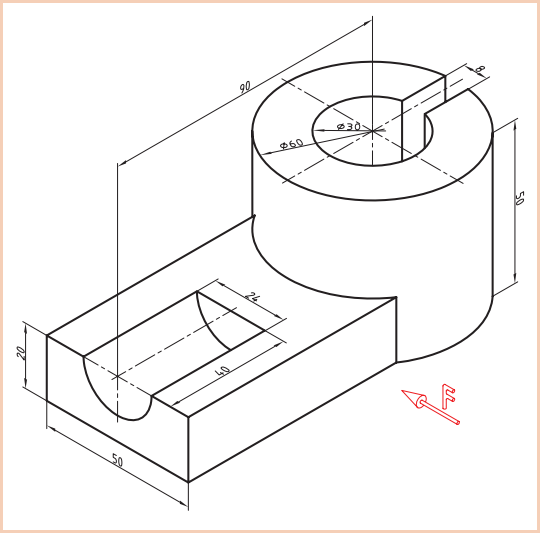
همین مراحل را برای نمای بالا و یا هر نمای ارتوگرافیک دیگر تکرار کنید. برای درج نمای ایزومتریک نشانگر را به سمت گوشه‌های نمای روبه‌رو ببرید و تصویر مجسم ایزومتریک را درج کنید.

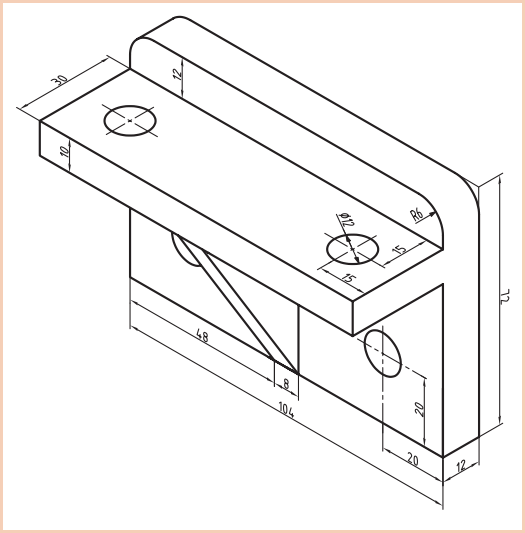
نکته

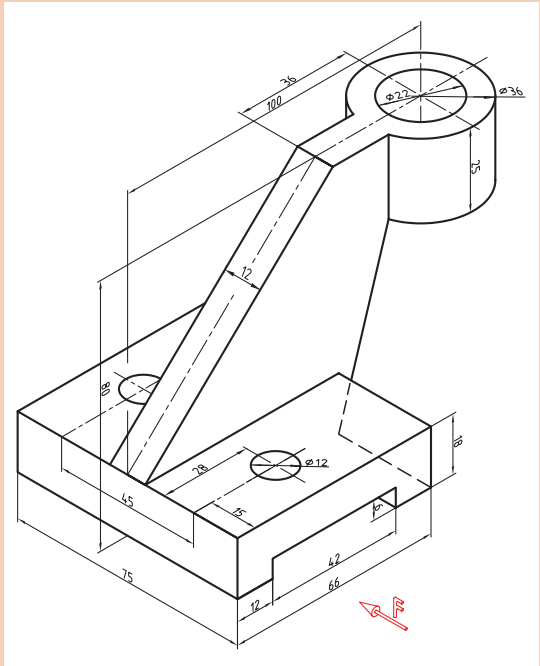
برای درج تصویر مجسم ایزومتریک دید از جنوب شرقی که ایزومتریک مناسب‌تری است باید نشانگر را به سمت گوشهٔ بالا سمت چپ ببرید و تصویر مجسم را درج کنید.

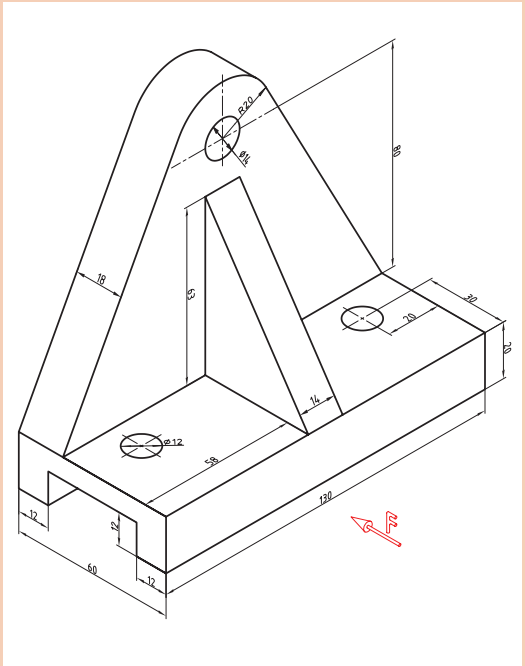
فعالیت کلاسی

پس از محاسبهٔ اضافات مجاز مدل ریخته‌گری قطعات زیر را مدل‌سازی نموده و نماگیری کنید.

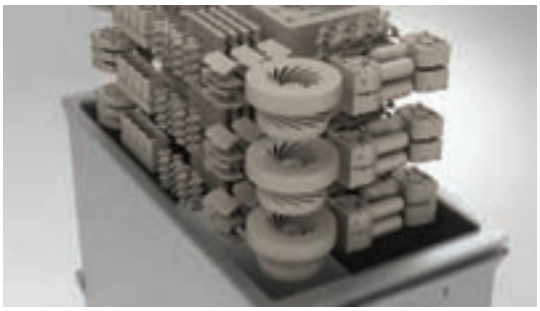








چاپگر سه بعدی (3D Printer)



شکل ۵۷

چاپ سه بعدی یکی از روش‌های نمونه‌سازی سریع به شمار می‌آید که در مقایسه با «روش‌های تولید معمول» از سرعت بیشتر، دقت بالاتر و هزینه کمتر در نمونه‌سازی قطعات برخوردار است از جمله محاسن آن می‌توان به کاهش زمان، کاهش هزینه، افزایش سرعت طراحی محصول جدید، اعمال سریع اصلاحات و عرضه سریع محصولات جدید به بازار اشاره نمود.

محدودیت‌های عمده نمونه‌سازی سریع از قبیل خواص مکانیکی نسبتاً ضعیف قطعات تولیدی، هزینه بالای نگهداری دستگاه و کاهش کیفیت سطح را می‌توان بر شمرد.

کاربردهای چاپگر سه بعدی

امروزه مدل‌سازی سه بعدی در رشته‌های گوناگونی همچون قطعه‌سازی، معماری، طراحی صنعتی، روباتیک، صنایع هوافضا و... رایج شده است. این مدل‌سازی‌ها تا پیش از این به شکل تصاویر دو بعدی روی صفحه‌های نمایشگر یا روی کاغذ ارائه می‌شدند تا افراد با دیدن آنها درکی از آنچه طراحان در ذهنشان دارند را به‌دست آورند. اما با این روش ایده‌های طراحان در زمان بسیار کوتاهی به واقعیت تبدیل می‌شوند.

صنایع نظامی		انیمیشن	
صنایع فضایی		خودرو	
طلا و جواهر		پزشکی	
معماری		کفش	

شکل ۵۸

مراحل کار چاپگر سه بعدی

برای انجام عملیات پرینت سه بعدی سه گام زیر باید طی شود.

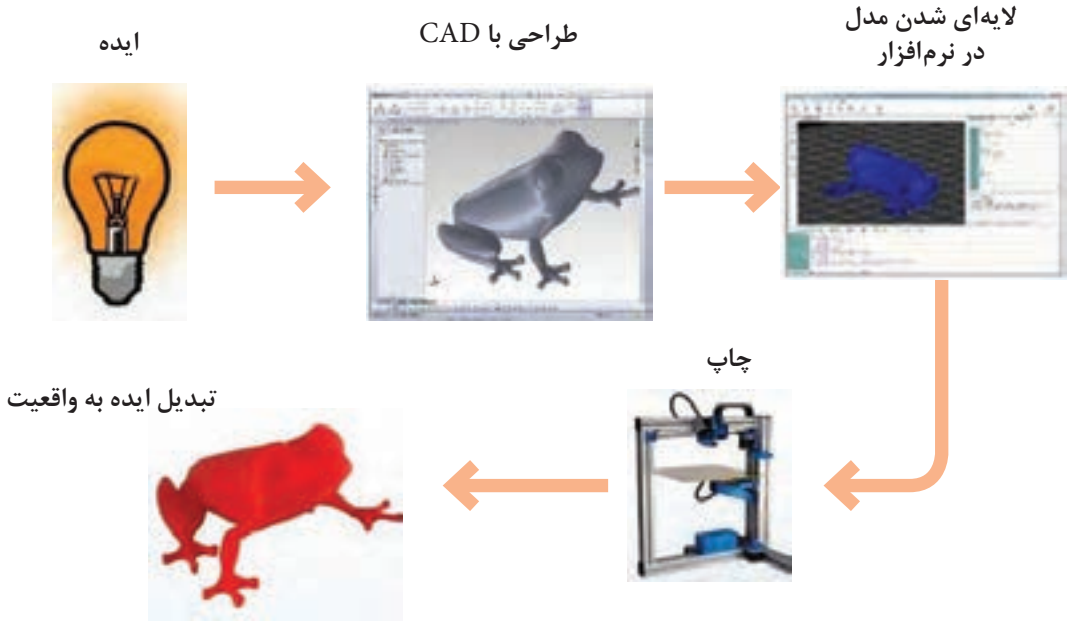
گام اول: خلق ایده یا گرفتن سفارش از مشتری است. در این مرحله طراح ایده‌ای را که در ذهن خلق کرده است را روی کاغذ آورده و آن را بررسی می‌کند. چنانچه نمونه‌ای را سفارش گرفته باشد آن نمونه را به‌طور کامل بررسی می‌کند.

گام دوم: مدل طراحی شده با استفاده از نرم‌افزارهای CAD به‌صورت سه‌بعدی مدل‌سازی می‌شود.

گام سوم: استفاده از نرم‌افزارهای برش دهنده (Slicer) است. وظیفه این نرم‌افزارها تبدیل مدل سه بعدی به برش‌های عرضی است که با قرار دادن این برش‌ها بر روی هم هندسه قطعه کار کامل می‌شود. هر کدام از این برش‌ها جهت عملیات به دستگاه چاپگر سه بعدی فرمان حرکت ترکیبی طولی و عرضی مناسب نازل را می‌دهد.

گام چهارم: فرایند تزریق مواد خام به‌صورت صفحه به صفحه روی هم که در دستگاه چاپگر سه بعدی انجام می‌شود.

در شکل ۵۹ می‌توان فرایند تولید به‌وسیله چاپگر سه بعدی را مشاهده نمود:



شکل ۵۹

موارد استفاده از چاپ سه بعدی

- نمونه‌سازی
- قطعات خاص مانند قطعات مورد استفاده در صنایع فضایی، نظامی، پزشکی، دندان پزشکی و ورزشی
- وسایل سرگرمی مانند انواع اسباب بازی و وسایل مورد استفاده در منزل مانند قاب کنترل تلویزیون، مجسمه و ...

روش کار دستگاه چاپ سه بعدی

چاپ سه بعدی از نرم‌افزاری استفاده می‌کند که مدل سه بعدی را به لایه‌های متعددی تقسیم کرده (در اغلب موارد این لایه‌ها ضخامت ۰/۰۱ میلی‌متر و یا کمتر دارند) سپس هر لایه بر روی صفحه ساخت چاپگر لایه نشانی می‌شود و پس از تکمیل لایه اول، صفحه ساخت پایین رفته و لایه بعدی روی لایه زیرین اضافه می‌شود تا جسم سه بعدی مورد نظر تولید گردد.

در حال حاضر با وجود چاپگرهای سه بعدی تولید محصول به روش سنتی به عنوان تولید با بازدهی ضعیف شناخته می‌شود چرا که در این فرایندها جسم سه بعدی اغلب از یک بلوک پیش ساخته با حذف مواد از روی آن ساخته می‌شود.

فرایندهایی مانند فرزکاری و برش اگرچه کم هزینه هستند ولی باعث اتلاف در مواد می‌شوند. در حقیقت این روش‌ها با حذف مواد از بلوک پیش ساخته آنها را به ضایعات تبدیل می‌کنند.

چاپ سه بعدی با حذف این ضایعات و تولید اجسام سبک (با حفره‌های توخالی در درون) فرایندی بسیار مقرون به صرفه در استفاده از مواد جهت ساخت است.

مزایا و محدودیت‌های چاپ سه بعدی

مزایا

- تولید لایه به لایه اجازه می‌دهد تا انعطاف‌پذیری و خلاقیت بیشتری در فرایند طراحی ایجاد شود. طراحان می‌توانند با ایجاد یک طراحی مناسب، قطعات سبک تر و مستحکم‌تری ایجاد نمایند.
- چاپ سه بعدی به طرز چشمگیری سرعت فرایند طراحی و نمونه‌سازی را افزایش داده است. هیچ مشکلی سر راه طراحان برای ایجاد اشکال مختلف وجود ندارد و در هر زمان می‌توانند طراحی را تغییر دهند. در مقایسه با روش تولید به‌صورت سنتی که در آن محصولات از چند هفته تا چندماه تولید می‌شدند هم اکنون به کمک تکنولوژی چاپ سه بعدی این فرایند در عرض چند ساعت انجام می‌گیرد. همچنین از آنجا که قیمت چاپگرهای سه بعدی در طول سال‌ها کاهش یافته است، هم اکنون مراکز آموزشی و صنایع کوچک به راحتی و با پرداخت هزینه‌ای اندک می‌توانند نسبت به تهیه انواع مختلفی از این چاپگرها اقدام نمایند.

محدودیت‌ها

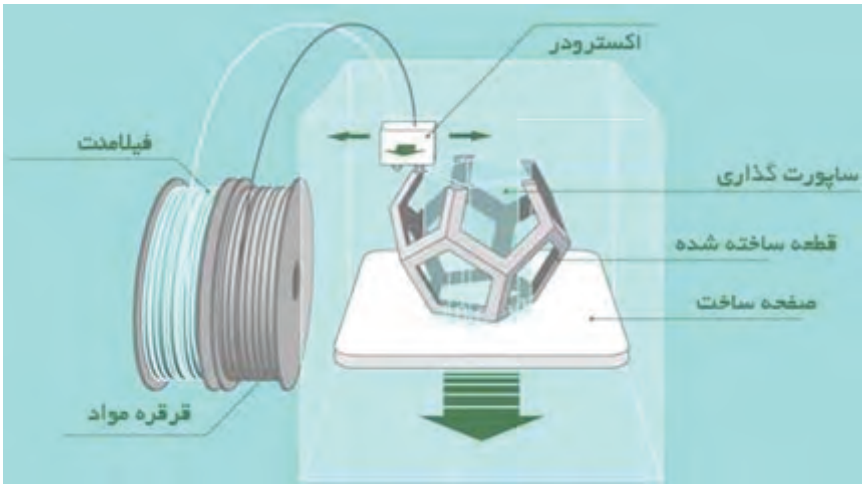
- محدودیت‌های چاپ سه بعدی به‌طور کلی شامل سخت‌افزار و مواد گران قیمت است (در چاپگرهایی که دقت و کیفیت بسیار بالایی دارند) که منجر به تولید قطعات گران قیمت می‌شود و از لحاظ سرعت و قیمت نیز نمی‌تواند با تولید به‌صورت انبوه رقابت کند. همچنین نیاز به یک طراح برای

ایجـاد آنچـه مشـتری در ذهـن دارد می‌توانـد باعـث افزایـش هزینه‌هـا گردد.
در حـال حاضـر می‌تـوان تأثیـر چاپ سـه بعـدی را در بسـیاری از صنایع مشـاهده کـرد، به‌طـوری که چاپ سـه بعـدی در آینـده انقـلاب صنعتی بعـدی را به وجـود خواهد آورد.

به‌طور کلی در چاپگرهای سه بعدی از تکنولوژی‌های زیر استفاده می‌شود:
۱ تکنولوژی جاگذاری (Fused Deposition Modeling)FDM
۲ تکنولوژی جامدسازی (Digital Light Projection), DLP(Stereo Lithography)SLA
۳ تکنولوژی ذوبی (Selective Laser Sintering)SLS

۱ـ چاپگر سه بعدی بر اساس تکنولوژی جاگذاری (FDM)

ایـن چاپگرهـا مـواد را در جاهایـی از قبل تعیین شـده توسـط رایانه قـرار می‌دهند، منظور از مـواد، رول‌های پلاسـتیکی بـه نـام فیلامنت هسـتند که اغلب در پشـت دسـتگاه قرار گرفته و رشـته‌ای نـازک از این رول‌ها بـه نـوک نـازل چاپگـر متصـل می‌شـود، بـا گـرم شـدن نـوک نـازل رشـته فیلامنـت ذوب شـده و به‌صورت لایه‌لایـه بـر روی صفحـه سـاخت قـرار می‌گیرد تا در نهایـت قطعه‌ای با دقـت تقریباً ۱۰۰ تـا ۳۰۰ میکرون تولید گردد. (شـکل ۶۰)



شکل ۶۰

روش کار

یـک رول از فیلامنـت ترموپلاسـتیک اولیـن بـار در چاپگـر بارگـذاری می‌شـود. هنگامی‌کـه نـازل بـه دمای مورد نظر رسـید، فیلامنت به سـر اکسـترود و نازل که در آن ذوب می‌شـود تغذیه می‌شـود. سـر اکسـترود بـه یک سیسـتم سـه محوره متصل شـده اسـت که اجـازه حرکت در جهـت محورهـای X،Yو Z را می‌دهد. مـواد ذوب شـده در رشـته‌های نـازک اکسـترود شـده و در لایـه‌ای در مکان‌هـای از پیـش تعیین شـده قرار می‌گیرنـد، تـا جامـد شـوند. گاهـی اوقـات فن‌هـای خنک‌کننـده به سـر اکسـترود متصل هسـتند که جهت خنک‌کـردن مواد ذوب شـده اسـتفاده می‌شـوند.
بـرای پـر کـردن یـک منطقه، لازم اسـت نـازل در چند جهـت حرکت کند (مثـل رنگ‌آمیزی یک مسـتطیل

با نشانگر). هنگامی که یک لایه به پایان رسید، صفحه ساخت حرکت می‌کند (یا در سایر تنظیمات ماشین، سر اکسترود حرکت می‌کند) و یک لایه جدید ساخته می‌شود. این روند تا زمانی که قطعه کامل شود تکرار می‌شود.

مزایای روش FDM

۱ ارزان‌ترین روش ساخت قطعات و نمونه‌های ترموپلاستیک سفارشی است.
۲ زمان ساخت مدل به علت قابلیت دسترسی بالای این تکنولوژی کوتاه است.
۳ به دلیل چسبندگی بالای لایه‌ها به یکدیگر قطعات دارای استحکام مناسبی هستند.

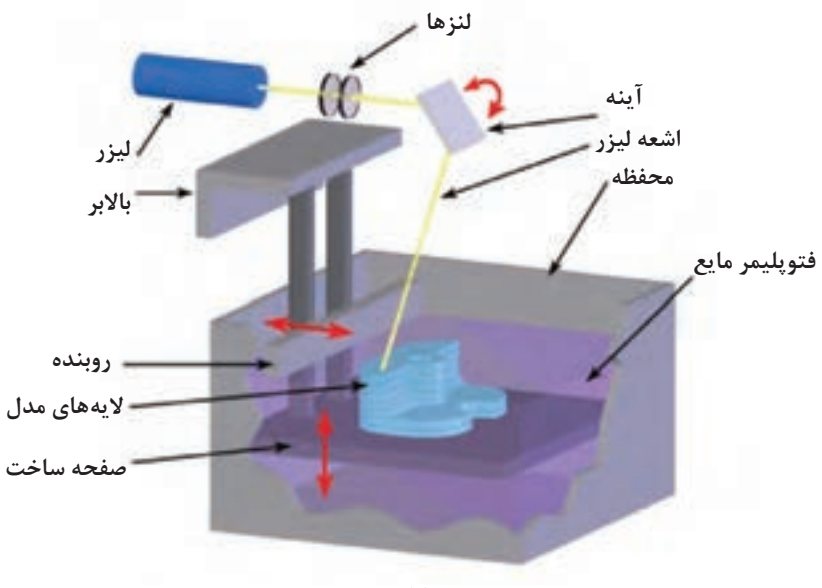
محدودیت‌های روش FDM

۱ دارای کمترین دقت ابعاد نسبت به سایر تکنولوژی‌های چاپ سه بعدی است، بنابراین برای قطعات با جزئیات پیچیده مناسب نیست.
۲ قطعات به احتمال زیاد دارای خطوط لایه قابل مشاهده هستند، بنابراین پس از اتمام نیاز به صاف‌کردن دارند.
۳ قسمت‌هایی از قطعات نیاز به نگهدارنده دارند که پس از اتمام پرینت و جدا کردن پایه‌ها باید آن سطوح پرداخت شده و کیفیت سطح آن بهبود بخشیده شود.

۲ـ چاپگر سه بعدی بر اساس تکنولوژی جامدسازی (SLA)

چاپگرهای استریولیتوگرافی به عنوان اولین تکنولوژی‌های پرینت سه بعدی شناخته می‌شوند. این نوع از این چاپگرها یک فناوری بر پایه لیزر می‌باشد که با رزین‌های فوتو پلیمر کار می‌کند که با پرتو لیزر واکنش داده و شکل جامد به‌صورت دقیقی ایجاد می‌شود. در نتیجه از این تکنولوژی بیشتر در ساخت قطعات بسیار دقیق بهره می‌برند. در این فرایند یک نور ماورای بنفش یا اشعه مادون قرمز و یا لیزر به‌صورت کنترل شده بر ظرفی از مایع (رزین فوتو پلیمر) که بر روی یک صفحه متحرک قرار دارد تابانده می‌شود که بر اثر این تابش لایه‌ای بسیار نازک از رزین سفت شده و بعد از تکمیل شدن یک لایه مخزن به سمت پایین حرکت کرده تا لایه‌های بعدی ایجاد شوند. در این روش قسمت‌هایی از مدل نیاز به نگهدارنده (Support) دارند تا وزن آن لایه باعث تغییر شکل قطعه نگردد.
این نگهدارنده که به‌صورت متخلخل ایجاد می‌شود در نهایت پس از چاپ نمونه از محل جدا می‌شود.
چاپگر سه بعدی SLA، ایده آل برای نمونه‌سازی و ریخته‌گری جواهرات با جزئیات پیچیده است. در حال حاضر رزین‌هایی ساخته شده‌اند که به جواهرسازان و ریخته‌گران اجازه می‌دهد مدل چاپ شده را به‌صورت مستقیم در ریخته‌گری استفاده کنند. ارتفاع لایه محور Z معمولاً برای تعیین وضوح یک چاپگر سه بعدی استفاده می‌شود.
در چاپگرهای SLA محور Z می‌تواند بین ۲۵ تا ۱۰۰ میکرون تنظیم شود. در مقایسه، چاپگرهای سه بعدی FDM و SLS معمولاً محور Z را از ۱۰۰ تا ۳۰۰ میکرون محاسبه می‌کنند. بااین‌حال، بخشی که در ۱۰۰ میکرون بر روی یک چاپگر سه بعدی FDM یا SLS چاپ شده است متفاوت از یک بخش چاپ شده در ۱۰۰ میکرون بر روی یک چاپگر سه بعدی SLA می‌باشد.

چاپگر سه بعدی SLA مشخصاً محصولاتی باسطح صاف‌تر از دیگر چاپگرها تولید می‌کند زیرا لایه تازه تولید شده با لایه قبلی تعامل دارد و اثر پله‌ای را هموار می‌کند. در چاپگرهای سه بعدی FDM لایه‌ها واضح و قابل مشاهده هستند، درحالی که چاپگرهای سه بعدی SLS دانه‌هایی از پودر ذوب شده را نمایان می‌کند. (شکل ۶۱)

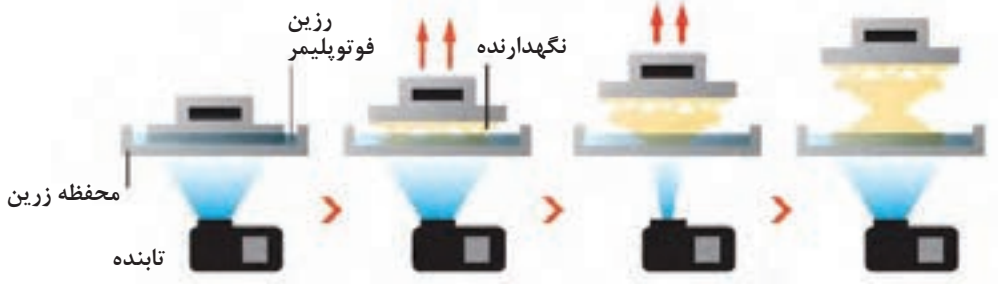


شکل ۶۱

۳ـ چاپگر سه بعدی بر اساس تکنولوژی جامدسازی (DLP)

این فرایند بسیار شبیه به فرایند SLA در پرینت سه بعدی است با این تفاوت که در روش DLP با استفاده از یک منبع نور معمولی به همراه یک صفحه LCD تمام سطح مخزن حاوی رزین فوتوپلیمر را در یک لحظه تحت تأثیر قرار می‌دهد، در واقع هر لایه را در یک لحظه می‌سازد و بدین ترتیب از تکنولوژی SLA سریع‌تر است.

یکی از مزیت‌های این روش نسبت به روش SLA استفاده از یک مخزن رزین با عمق بسیار کم است که باعث کاهش هزینه و صرفه‌جویی در اتلاف مواد می‌شود، از معایب این روش می‌توان نیاز به نگهدارنده برای قسمت‌هایی از قطعات و نیاز به پرداخت پس از اتمام چاپ را نام برد. (شکل ۶۲)



شکل ۶۲

۴ـ پرینت سه بعدی بر اساس تکنولوژی ذوبی (SLS)

در ایـن تکنولـوژی قطعات با اسـتفاده از مواد پودری اولیـه (پـودر فلـز و پـودر پلاسـتیک) و ذوب ایـن مـواد بـه کمـک لیـزر و سـپس جامدکـردن لایه‌هـا بـر روی صفحـه سـاخت ایجاد می‌شـوند. پـس از آن صفحـهٔ سـاخت به انـدازهٔ ضخامـت لایـهٔ دوم پایین رفتـه و دوباره لایـه‌ای از پودر ایجاد شـده و عملیات ذوب تکـرار می‌گـردد و لایـهٔ دوم بـه لایـهٔ اول بـا لیـزر متصـل می‌شـود. از ایـن چاپگرهـا بیشـتر در صنعـت اسـتفاده می‌شـود. بزرگ‌تریـن مزیـت ایـن روش آزادی در طراحـی اسـت زیرا پودر ذوب نشـده اضافـی بـه عنـوان یـک نگهدارنـده عمـل می‌کنـد کـه باعـث می‌شـود اشـکال پیچیـده بـدون نیـاز به نگهدارنـده طراحـی و ایجـاد شـوند. (شـکل ۶۳)

شکل ۶۳

طراحی برای پرینت با چاپگر سه بعدی

تمـام قطعـات ایجـاد شـده بـا اسـتفاده از چاپگر سـه بعدی بایـد بـا اسـتفاده از نرم‌افزارهـای CAD طراحی شـوند. در تولیـد بـه روش پرینـت سـه بعـدی کیفیت قطعات تولید شـده بسـتگی بـه کیفیـت طراحی مدل و همچنیـن دقـت چاپگـر دارد. انـواع مختلفـی از نرم‌افزارهـای CAD مانند کتیا و سـالیدورکز وجـود دارند کـه بـه راحتـی می‌تـوان از آنهـا در طراحی بهـره برد.

نکات قابل توجه جهت طراحی برای چاپ سه بعدی:

- مـدل سـه بعـدی طراحی شـده بایـد جامد باشـد، یعنی نه فقط یک سـطح بلکـه باید حجم واقعی داشـته باشد.

- طراحی قسمت‌های بسیار ظریف و کوچک و پیچیده ممکن است به درستی چاپ نشود و این مورد کاملاً وابسته به دقت و مشخصات چاپگر سه بعدی می‌باشد.
- در چاپگرهایی که با استفاده از پس قالب (support) قسمت‌های با شیب منفی را ایجاد می‌کنند باید توجه شود مدل به نحوی روی صفحه ساخت قرار گیرد که قسمت‌های ایجاد شده بر روی پس‌قالب دارای حساسیت بالا از لحاظ کیفیت سطحی نباشد زیرا پس از برداشتن پس قالب، سطح مورد نظر کیفیت مناسبی در قیاس با سطوح دیگر نخواهد داشت.
- قبل از استفاده از چاپ سه بعدی باید آن را کالیبره نمود، برای این کار لازم است اطمینان حاصل شود که لایه اول به درستی بر روی صفحه ساخت بچسبد و این نیازمند تراز بودن صفحه ساخت و اعمال چسب بر روی صفحه به‌صورت یکنواخت است زیرا در غیر این‌صورت ممکن است مدل شکسته و کار چاپ ناتمام بماند.
- با توجه به‌اینکه چاپگرها ممکن است در محورهای مختصات کیفیت متفاوتی بر روی هر محور داشته باشند باید قسمت‌هایی از قطعه که لازم است دارای کیفیت بالا باشد در راستای محور موردنظر طراحی شود.

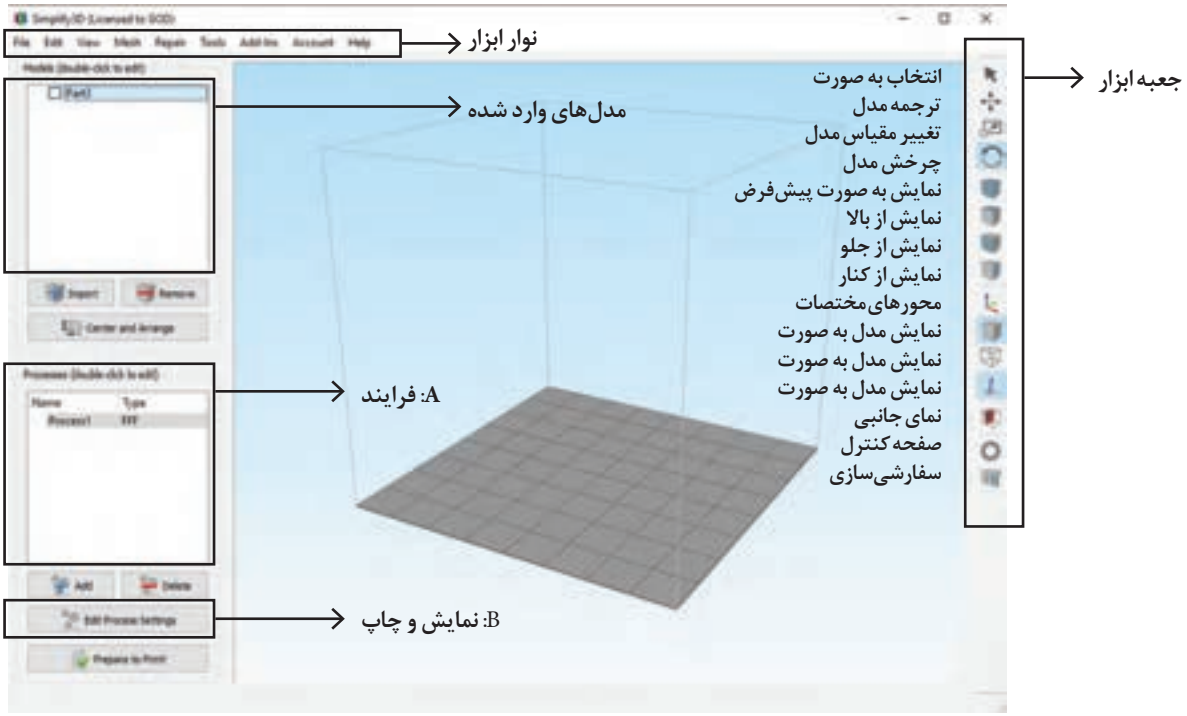
فناوری چاپ سه بعدی می‌تواند جهان را متحول و دوباره شکل دهد. پیشرفت در فناوری چاپ سه بعدی می‌تواند به‌طور قابل توجهی تغییر و بهبود روش تولید محصولات ما و تولید محصولات در سراسر دنیا را تغییر دهد. یک شی اسکن شده یا طراحی شده با نرم‌افزار، به لایه‌های نازک تقسیم می‌شود، که پس از آن می‌تواند به یک محصول جامد سه بعدی تبدیل شود.

همان‌طور که نشان داده شده است، چاپ سه‌بعدی می‌تواند تقریباً در همه دسته‌ها نیازهای انسانی را برآورده کند. یکی از مزایای اصلی انقلاب صنعتی‌سازی این است که قطعات را می‌توان تقریباً یکسان ساخت و به‌این معنی است که آنها می‌توانند به راحتی جایگزین شوند. از سوی دیگر، چاپ سه بعدی می‌تواند ابزارهای سریع، قابل اطمینان و قابل تکرار برای تولید محصولات سفارشی را ایجاد کند که هنوز هم می‌تواند به علت اتوماسیون و فرایندها و توزیع نیازهای تولیدی ارزان شوند.

اگر آخرین انقلاب صنعتی به ما تولید انبوه و ظهور اقتصاد را داد، انقلاب چاپ دیجیتال سه‌بعدی می‌تواند تولید انبوه را به کمال برساند، به دوران شخصی‌سازی و بازگشت به ساخت و ساز فردی.

نرم‌افزار Simplify 3D

پس از نصب نرم‌افزار صفحه اصلی را مشاهده خواهید کرد که اجزای آن در شکل (۶۴) نشان داده شده است.

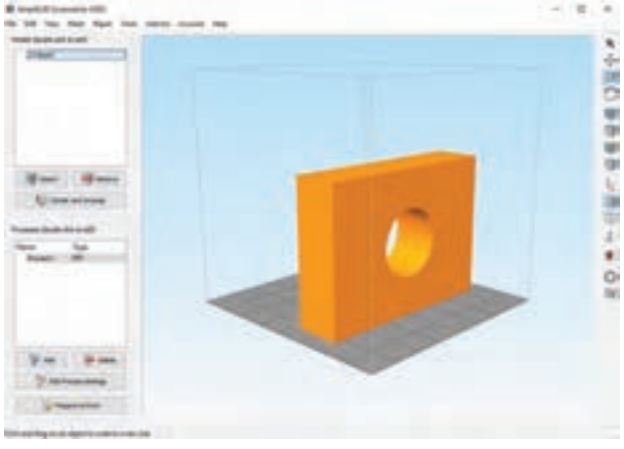


شکل ۶۴

مراحلی که باید جهت انجام فرایند چاپ سه بعدی انجام دهید به‌صورت زیر است:

۱ وارد کردن مدل

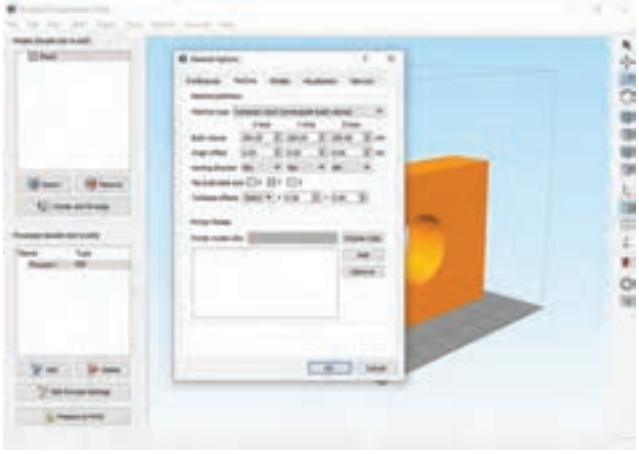
اولین قدم واردکردن مدلی است که در نرم‌افزارهای CAD قبلاً طراحی و با پسوندهای Stl, Obj و یا سایر پسوندهایی که مورد قبول نرم‌افزار است ذخیره کرده‌اید و می‌خواهید آن را بر روی صفحه ساخت و در قسمت مدل‌ها وارد کنید. می‌توان با کلیک بر روی گزینه import از منوی file و با انتخاب فایل با پسوند قابل قبول مدل را بر روی صفحه ساخت مشاهده کرد.



شکل ۶۵

۲ تعریف ابعاد چاپ سه بعدی

با استفاده از نوار ابزار وارد منوی Tools شوید و گزینه اول یعنی Option را انتخاب نمایید و سپس وارد منوی Machine شوید، در اینجا می‌توانید مقادیر وارد شده بر روی محورهای مختصات x,y,z را به دلخواه تغییر دهید. (شکل ۶۶)



شکل ۶۶

۳ تعریف چگونگی فرایند ساخته شدن مدل

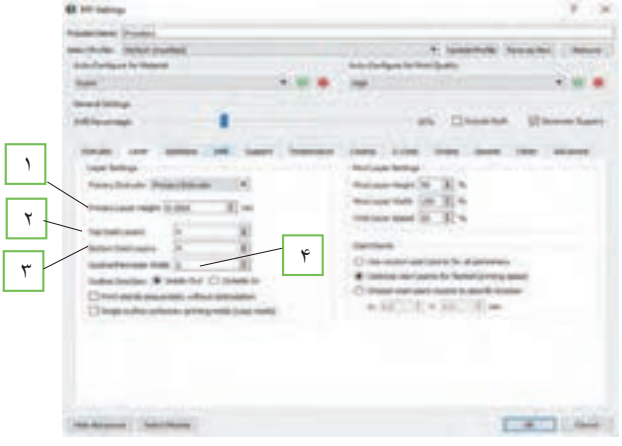
برای ساخت اکثر مدل‌ها از یک فرایند استفاده می‌شود در حالی که برای ساخت مدل‌های پیچیده می‌توان از چندین فرایند استفاده کرد. می‌توان تنظیمات دلخواه را در قسمت Edit Process Setting (قسمت A در شکل ۶۴) انجام داد و یا از تنظیمات پیش فرض نرم‌افزار استفاده نمود. جهت وارد کردن تنظیمات به‌صورت دستی می‌توان با دو بار کلیک بر روی process (قسمت B در شکل ۶۴) وارد تنظیمات دستی شد و یا می‌توان از گزینه Edit Process Setting استفاده نمود. در اینجا با دوبار کلیک بر روی Process پنجره FFF Setting را باز کنید. (شکل ۶۷)

شکل ۶۷

۱ انتخاب مشخصات و تنظیماتی که قبلاً ذخیره کرده‌ایم به جهت اینکه در هر بار پرینت نیاز به اعمال تنظیمات نداشته باشیم.
۲ در این قسمت می‌توانیم با انتخاب هر یک از مواد جهت چاپ تنظیمات مربوط به هر یک را اعمال نماییم.
۳ تنظیمات مربوط به کیفیت چاپ از قبیل تنظیم ارتفاع لایه‌ها و میزان چگالی
۴ در این قسمت می‌توان استحکام داخلی مدل را تعیین کرد عدد صفر بیانگر مدل توخالی و عدد ۱۰۰ بیانگر مدل کاملاً توپر می‌باشد.
۵ در اینجا اگر گزینه raft را تیک بزنیم دستگاه به‌صورت خودکار ساختاری زیر مدل و روی صفحه ساخت ایجاد می‌کند که باعث استحکام بالای مدل ساخته شده جهت جلوگیری از تاب خوردن و شکستن حین ساخت می‌گردد و بیشتر برای مدل‌های بزرگ و سنگین کاربرد دارد.
۶ با روشن کردن ابزار ساپورت دستگاه ساختاری زیر قسمت‌هایی که مدل در آنجا شیب منفی دارد را ایجاد می‌کند تا مدل بتواند حین ساخت به آن تکیه کرده و همچنین مواد بتوانند روی این سطوح لایه نشانی شوند.
۷ این قسمت زمانی استفاده می‌شود که فرایند ساخت چند مرحله‌ای باشد بدین منظور با انتخاب اکسترود مربوطه به‌صورت خودکار کار با همان اکسترود آغاز می‌شود.
۸ در این قسمت می‌توان مواردی از قبیل ارتفاع لایه‌گذاری، درصد ساپورت‌گذاری، طول فیلامنت و... را تنظیم کرد.
۹ تنظیم قطر نازل متناسب با دستگاه چاپ سه بعدی

منوی Layer (تنظیمات مربوط به لایه‌گذاری)

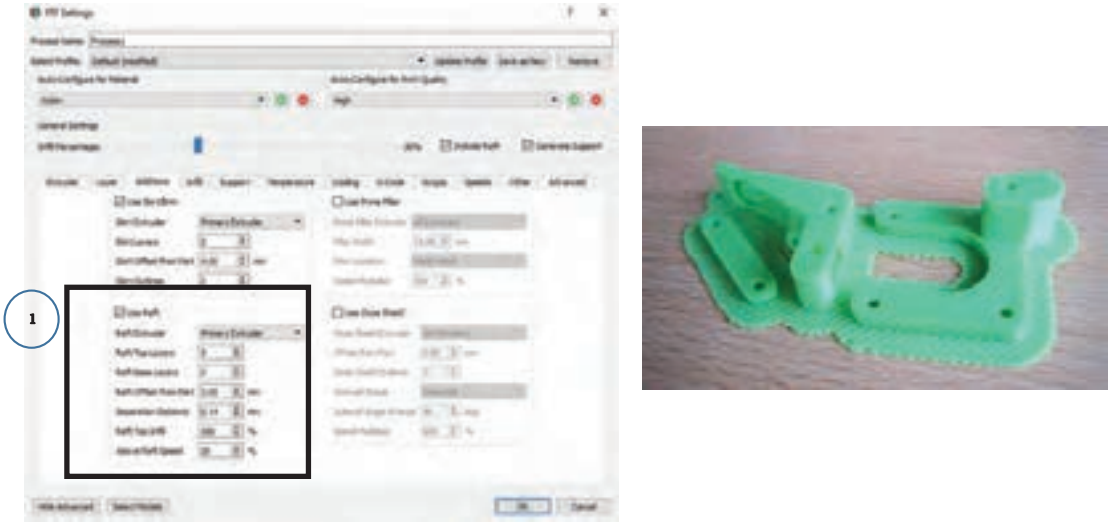
۱ برای تنظیم ارتفاع لایه‌گذاری روی گزینه primary layer hight (قسمت ۱) کلیک کنید.
۲ برای مشخص نمودن تعداد لایه‌ها بر روی سطح مدل روی گزینه top solid layers (قسمت ۲) کلیک کنید.
۳ برای مشخص نمودن تعداد لایه‌های کف مدل روی گزینه bottom solid layers (قسمت ۳) کلیک کنید.
۴ برای مشخص نمودن تعداد لایه‌ها بر روی سطح مدل روی گزینه outline/perimeter shells (قسمت ۴) کلیک کنید. (شکل ۶۸)



شکل ۶۸ـ منوی Addtions

منوی Additions (تنظیمات مربوط به مستحکم‌سازی مدل) (شکل ۶۹)

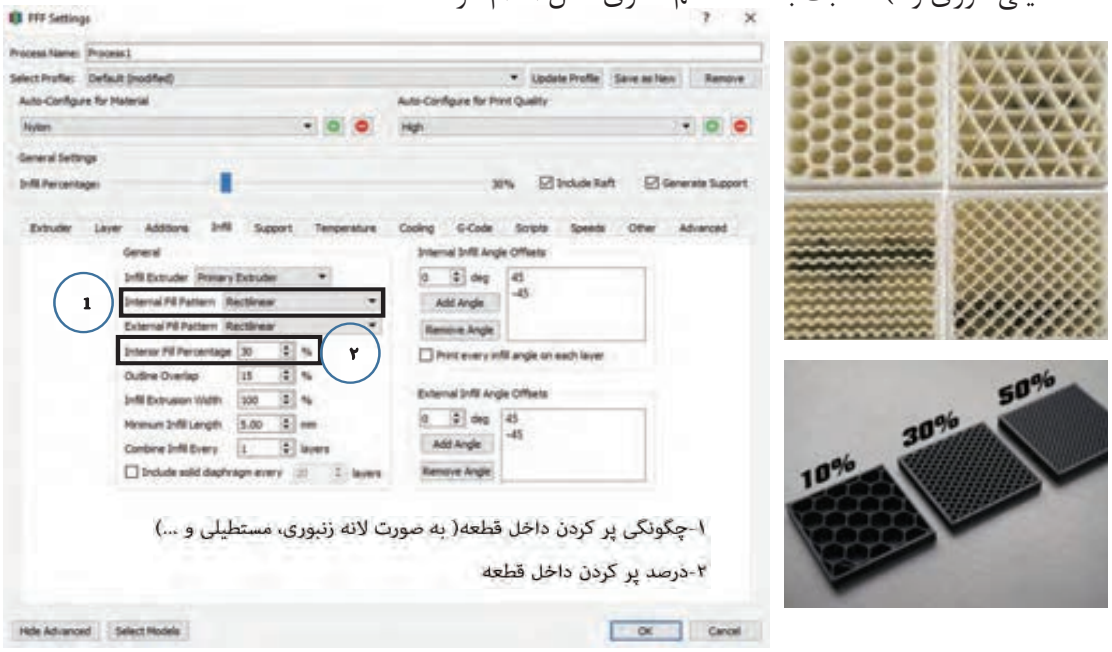
در ایـن قسـمت می‌تـوان تعییـن کـرد که با کـدام نازل اقـدام به‌ایجـاد raft کـرد، همچنین تعـداد لایه‌های بالایـی و پایینـی، فاصلـه از مـدل اصلـی، تراکـم و... را تنظیـم نمـود، در شـکل زیـر می‌توانیـد یـک نمونه از raft را مشـاهده نمایید.



شکل ۶۹

منوی Infill (تنظیم استحکام داخلی مدل) (شکل ۷۰)

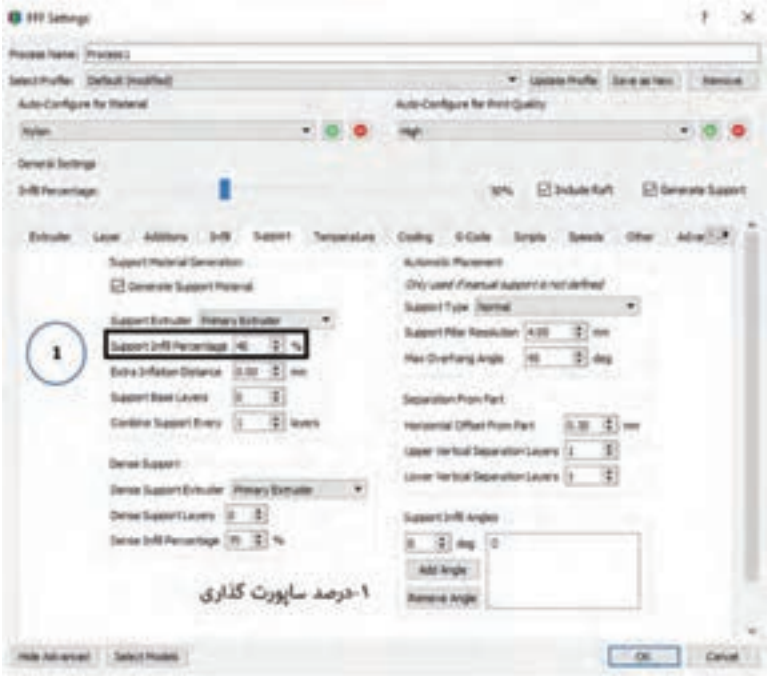
بـا اسـتفاده از ایـن منـو می‌توان بـا افزایش تراکم داخل مـدل و همچنین طـرح تراکم داخلی (لانـه زنبوری، مسـتطیلی، لوزی و...) نسـبت به مستحکم‌سـازی مدل اقدام کرد.

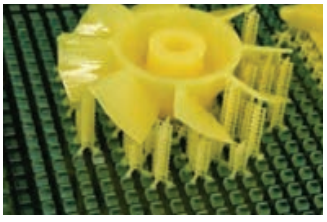


شکل ۷۰

منوی ساپورت (تنظیمات مربوط به ساختار داخلی نگهدارنده یا ساپورت) (شکل ۷۱)

همان‌طور کـه قبـلاً ذکر شـد بـرای مدل‌هایی که شـیب منفـی دارنـد در این گونـه چاپگرها نیاز اسـت یک نگهدارنـده در زیـر قسـمت‌های بـا شـیب منفـی ایجـاد شـود تـا طـرح بتواند بـر روی ایـن نگهدارنـده چاپ گـردد، در ایـن قسـمت می‌تـوان مقـدار تراکـم درون نگهدارنـده را تعیین کرد.



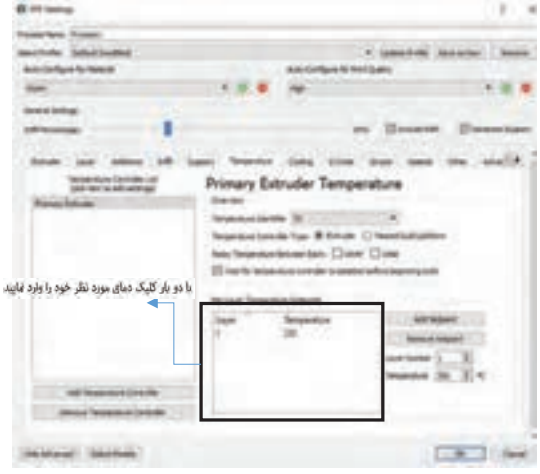


شکل ۷۱

منوی Temperature

(تنظیمات مربوط به دما) (شکل ۷۲)

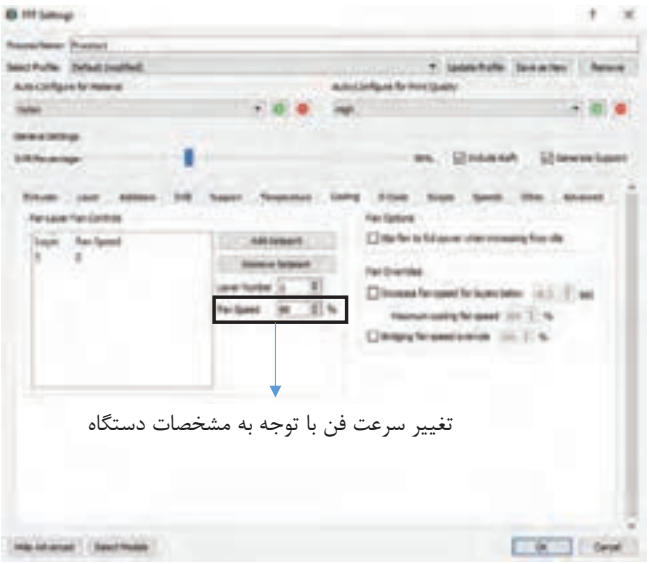
در ایـن قسـمت می‌تـوان تنظیمـات مربـوط بـه دمـای نـازل را انجـام داد بدیـن ترتیـب که بـا دوبار کلیـک بـر روی پنجـره نمایـش داده شـده می‌توان دمـای مـورد نظـر را وارد کـرد، دمـای اکسـترودر باعـث ذوب‌شـدن فیلامنـت می‌گـردد و فیلامنـت ذوب شـده از نـازل عبـور کـرده و بـه روی صفحـه سـاخت منتقـل می‌شـود، لازم بـه ذکر اسـت دمای اکسـترودر بـا جنس مـواد بـه‌کار رفته در چاپ سـه بعـدی نسـبت مسـتقیم دارد.



شکل ۷۲

منوی Cooling (تنظیمات مربوط به فن دستگاه) (شکل ۷۳)

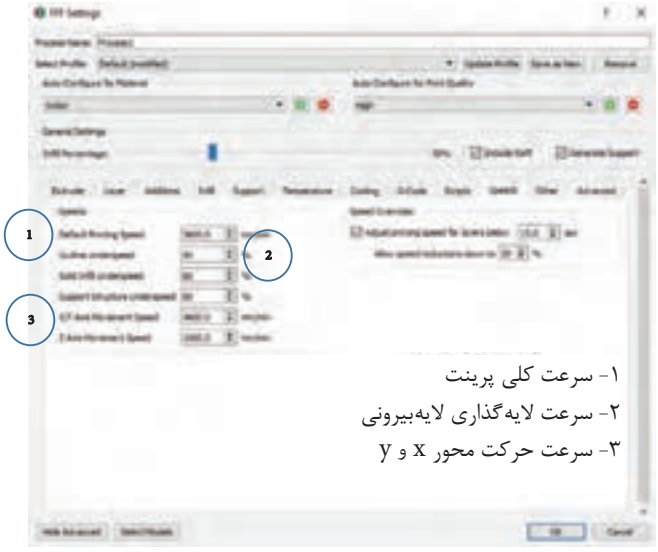
فن خنک‌کننده بلافاصله بعد از اینکه پلاستیک از نازل خارج شد و در جای خودش قرار گرفت، شروع به سردکردن آن می‌کند. این فرایند به قطعه کمک می‌کند که شکل خودش را حفظ کند. این قطعه با فن مختص به سینک حرارتی متفاوت است. فن سینک حرارتی تنها انتهای داغ اکسترودر را خنک می‌کند در حالی که فن خنک‌کننده لایه کل قطعه پرینت‌شده را خنک می‌کند.



شکل ۷۳

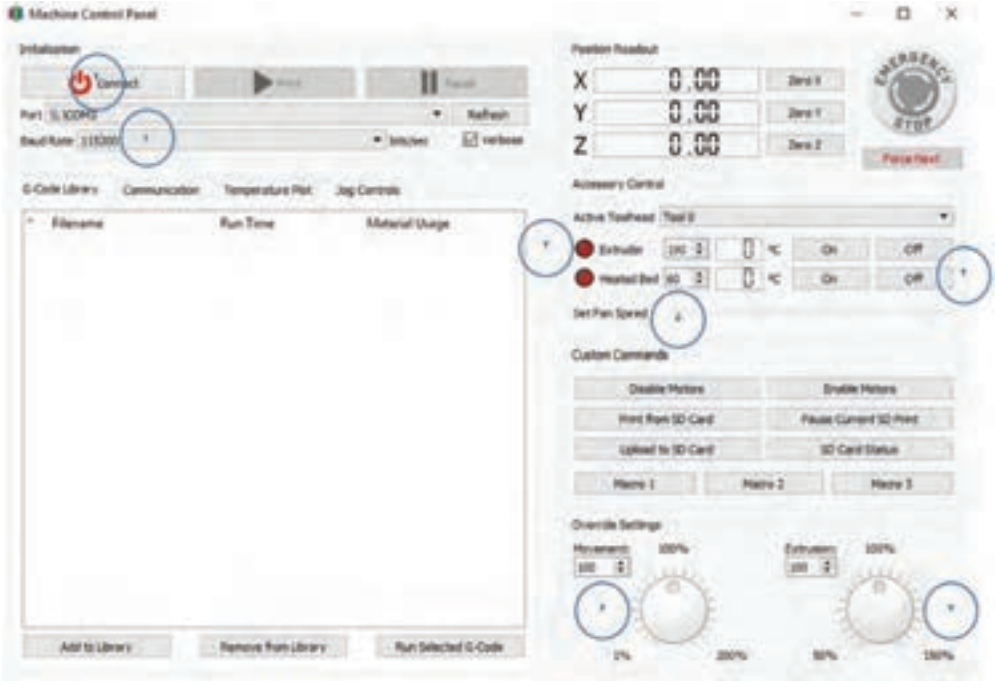
منوی Speed (تنظیمات مربوط به سرعت چاپ) (شکل ۷۴)

به‌طور معمول سه نرخ سرعت پرینت با مواد فیلامنت وجود دارد؛ اولین گروه در مقادر ۴۰ تا ۵۰ میلی‌متر بر ثانیه، دومین گروه سرعت ۸۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر بر ثانیه می‌باشد. در حالی که بالاترین رنج سرعتی حدود ۱۵۰ میلی‌متر بر ثانیه می‌باشد. برخی چاپگرها در سرعت‌های بالاتر هم وجود دارد فراموش نکنید هرچه سرعت بالاتر رود به همان میزان از دقت چاپ کاسته می‌شود، مخصوصاً در سرعت‌های بالاتر از ۱۵۰ میلی‌متر بر ثانیه، این افت کیفیت بیشتر هم به چشم می‌آید و حتی ممکن است مشکلات تزریق فیلامنت نیز پیش بیاید.



شکل ۷۴

پـس از انجـام تنظیمـات بـه منـوی Tools رفتـه و بـر روی machine control panel (صفحـه‌ای کـه در آن می‌تـوان تنظیمـات نهایـی جهـت انجـام چـاپ سـه بعـدی را انجـام داد) کلیـک کنیـد، صفحـه زیـر باز می‌شـود. (شـکل ۷۵)



شکل ۷۵

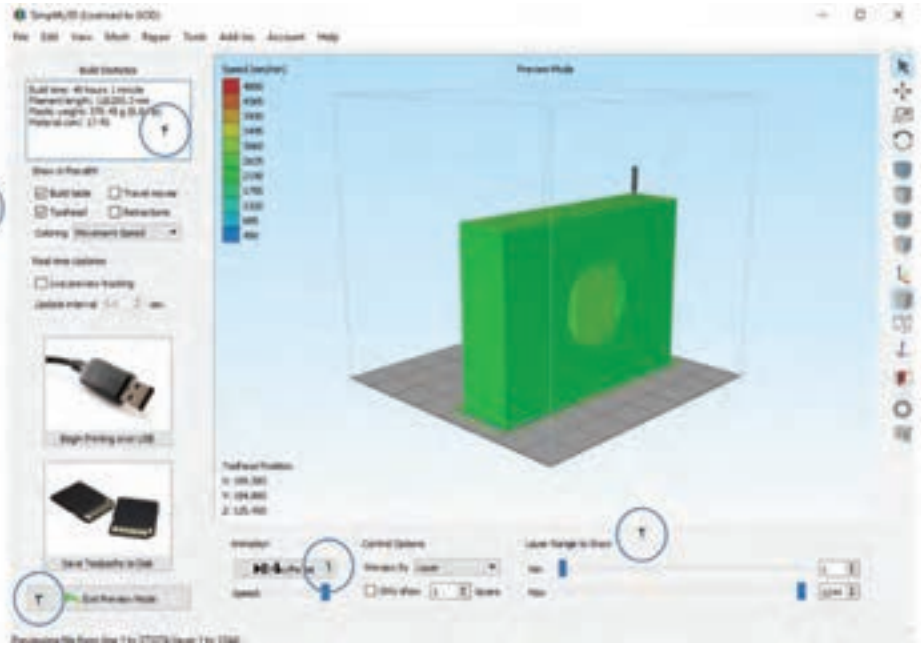
۱ در ابتدا این گزینه را روی ۲۵۰۰۰ قرار دهید. (سرعت انتقال اطلاعات)
۲ با فشار این دکمه رایانه را به دستگاه چاپ سه بعدی متصل کنید.
۳ دمای نازل را با فشردن دکمه on افزایش دهید.
۴ با فشردن این دکمه(On) دمای صفحه ساخت را بالا ببرید.

نکته

قبل از بالا بردن دمای صفحه ساخت نسبت به اعمال چسب بر روی آن اقدام نمایید.

۵ سرعت فن را با توجه به کاتالوگ دستگاه بالا ببرید.
۶ سرعت پرینت مدل را می‌توان افزایش داد.
۷ با این گزینه میزان اکسترود کردن فیلامنت را می‌توانید تغییر دهید.

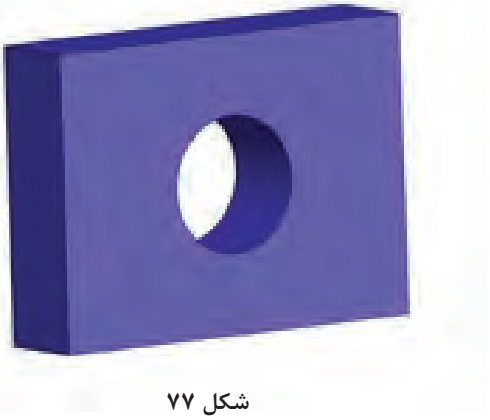
اگـر در صفحـه اصلـی نرم‌افـزار بـر روی prepare to print کلیـک نماییـد، نرم‌افزار به شـما اجـازه می‌دهد کـه بتوانیـد نماهـا و جنبه‌هـای مختلف مـدل را قبـل از پرینت نهایی بررسـی نمایید. (شـکل ۷۶)



شکل ۷۶

۱ نمایش انیمیشن مدل در حال پرینت به‌صورت لایه لایه
۲ در این قسمت به‌صورت دستی می‌توانید فرایند پرینت را بررسی نمایید.
۳ در صورت نیاز به تغییر مدل این گزینه را کلیک کنید تا از حالت پیش نمایش خارج شوید.
۴ در این قسمت اطلاعاتی از قبیل زمان لازم برای چاپ، طول فیلامنت، وزن مدل ساخته شده و هزینه ساخت مدل به نمایش درآمده است.
۵ با استفاده از usb و اتصال آن به چاپگر می‌توانید عملیات چاپ را آغاز کرده و با استفاده از real time در شماره ۵ و زدن تیک live preview می‌توانید عملیات ساخت را از طریق رایانه مشاهده و پیگیری نمایید.

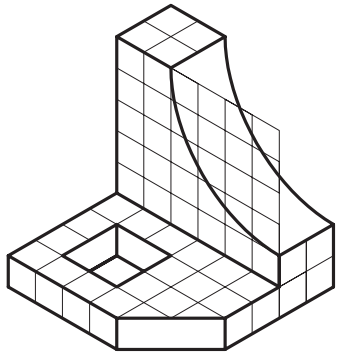
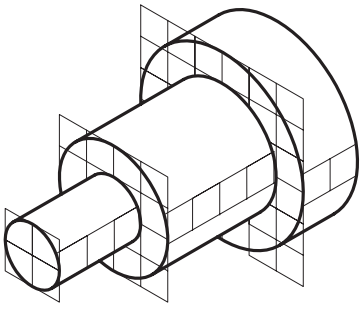
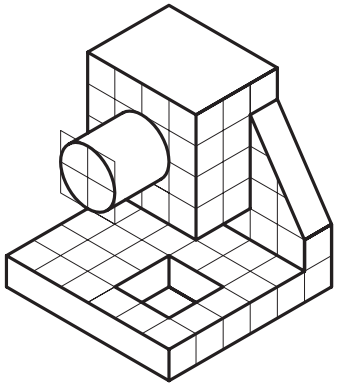
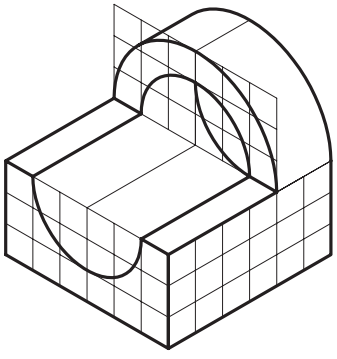
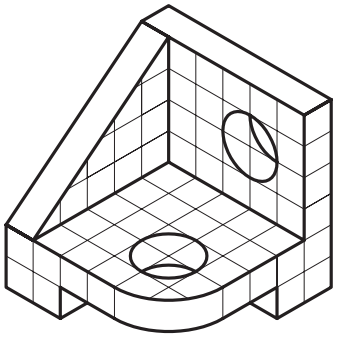
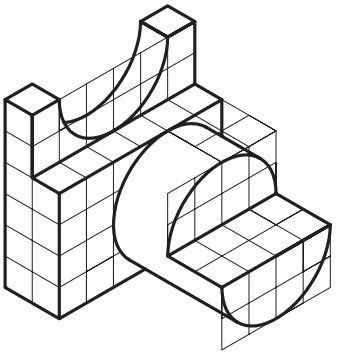
محصول نهایی به‌صورت شکل ۷۷ است.



شکل ۷۷

فعالیت پایانی

مدل‌های زیر را که در نرم‌افزار سالیدورکز مدل‌سازی کرده‌اید، با استفاده از چاپگر سه‌بعدی تولید کنید.

فعالیت پایانی

تعـدادی از مدل‌هـای نسـبتاً پیچیـده موجـود در کارگاه مدل‌سـازی را پـس از مدل‌سـازی در فضـای نرم‌افـزار بـا اسـتفاده از چاپگـر سـه بعـدی مدل‌سـازی کنیـد.

ارزشیابی

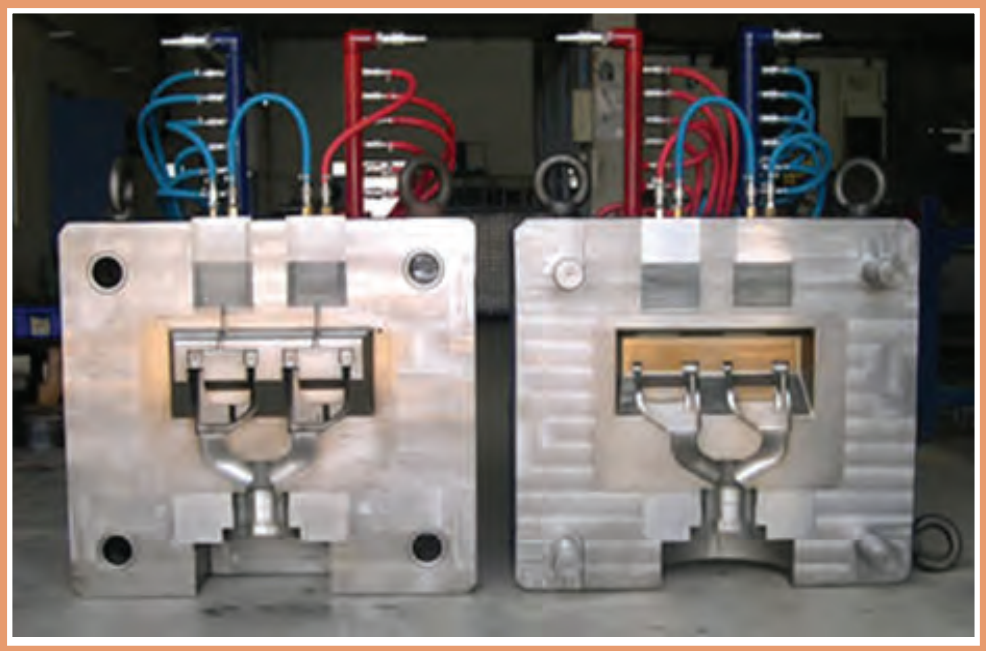
ارزشیابی در این درس براساس شایستگی است. برای هر پودمان یک نمره مستمر (از ۵ نمره) و یک نمره شایستگی پودمان (نمرات ۱، ۲ یا ۳) با توجه به استانداردهای عملکرد جداول ذیل برای هر هنرجو ثبت می‌گردد. امکان جبران پودمان‌ها در طول سال تحصیلی برای هنرجویان و بر اساس برنامه‌ریزی هنرستان وجود دارد.

الگوی ارزشیابی پودمان مدل‌سازی با استفاده از چاپگرهای سه بعدی

تکالیف عملکردی (شایستگی‌ها)	استاندارد عملکرد	نتایج	استاندارد (شاخص‌ها، داوری، نمره‌دهی)	نمره
مدل‌سازی سه‌بعدی با استفاده از نرم‌افزار سالیدورکز	ـ ساخت مدل‌های ریخته‌گری، با درنظر گرفتن اضافات مجاز با استفاده از پرینتر سه‌بعدی	بالاتر از حد انتظار	ـ مدل‌سازی مدل‌های ریخته‌گری پیچیده در محیط سالیدورکز ـ تهیّه نقشه دوبعدی از مدل‌های ریخته‌گری‌در محیط سالیدورکز ـ ساخت مدل‌های ریخته‌گری پیچیده، استفاده از پرینتر سه‌بعدی	۳
ساخت مدل‌های ریخته‌گری با استفاده از پرینتر سه بعدی		در حد انتظار (کسب شایستگی)	ـ مدل‌سازی مدل‌های ریخته‌گری ساده در محیط سالیدورکز ـ تهیّه نقشه دوبعدی مدل‌های ساده در محیط سالیدورکز ـ ساخت مدل‌های ریخته‌گری ساده با استفاده از پرینتر سه‌بعدی	۲
		پایین‌تر از حد انتظار (عدم احراز شایستگی)	ـ مدل‌سازی مدل‌های ساده ریخته‌گری در محیط سالیدورکز	۱
نمره مستمر از ۵				
نمره شایستگی پودمان از ۳				
نمره پودمان از ۲۰				

پودمان چهارم

روش‌های پیشرفتهٔ ریخته‌گری



شمش‌ریزی

به تصاویر زیر دقت کنید.

الف

ب

ج

د

با توجه به تصاویر، نام هر قطعه را در جدول زیر نوشته و مشخص کنید از چه جنسی هستند؟			
الف	ب	ج	د

همان‌طور که مشاهده می‌کنید هر یک از شکل‌های بالا معرف شمش فلزات هستند.

بنابراین شمش‌ها، قطعاتی با اشکال هندسی ساده هستند که به منظور شکل‌دهی از طریق عملیات مکانیکی یا ریخته‌گری مورد استفاده قرار می‌گیرند. شمش‌ها از نظر کاربرد به دو گروه تقسیم می‌شوند.

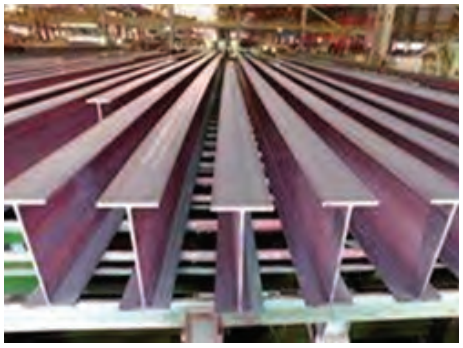
الف) شمش‌های ریختگی یا شوشه‌ها

ب) شمش‌های نوردی

شکل ۱

بحث گروهی

در مورد روش تولید و کاربرد هریک از قطعات نشان داده شده در جدول، بحث و تبادل نظر کنید؟



شمش‌های ریختگی

شمش‌های ریختگی معمولاً از بارریزی مذاب فلز درون قالب‌های افقی رو باز با شکل هندسی ساده ساخته می‌شوند.

شکل ۲

قسمت‌های میانی اغلب شمش‌های ریختگی، یک یا دو منطقه باریک دارد تا بریدن و یا شکستن آنها و دستیابی به تکه‌های کوچک‌تر به سهولت ممکن شود.

شکل ۳

شمش‌های چدن مستقیماً از محصول کورهٔ بلند ذوب آهن تهیه می‌شوند. همچنین تعداد زیادی از کارخانجات چدن ریزی که از کوره‌های الکتریکی استفاده می‌کنند، مواد اولیهٔ لازم را از قراضه آهن و فولاد تأمین کرده و عناصر لازم مانند کربن و سیلیسیم را در جریان ذوب به مذاب اضافه می‌کنند. این کارخانجات اغلب مذاب مازاد بر مصرف روزانهٔ خود را به‌صورت شمش عرضه می‌کنند.

روش‌های تولید شمش‌های ریخته‌گری

۱ـ روش قالب ماسه‌ای رو باز: شمش‌های ریختگی و بخصوص شمش‌های چدنی معمولاً در قالب ماسه‌ای رو باز ریخته‌گری می‌شوند. در تهیهٔ شمش‌های چدنی، فلز مذاب از طریق کانال رابط بین کوره بلند و یا کورهٔ نگهدارنده، وارد محفظه‌های قالب می‌گردد، که یک روش قدیمی محسوب می‌شود. رطوبت ماسه در این روش نسبت به ماسهٔ ریخته‌گری کمتر بوده و از ۳ درصد تجاوز نمی‌کند. تولید شمش به‌این روش، دارای عیوبی از جمله چسبندگی ماسه به شمش و دقت ابعادی کم است.

شکل ۴

۲ـ شمش‌ریزی در قالب‌های فلزی: شمش‌ریزی در قالب‌های فلزی با استفاده از ماشین‌های شمش‌ریزی برای چدن و فلزات غیرآهنی متداول است. جنس قالب‌ها در این روش از چدن و یا مس انتخاب می‌شوند.
در ماشین‌های شمش‌ریزی، تعدادی قالب بر روی نوار نقاله مستقر می‌شوند. حرکت نوار نقاله به‌گونه‌ای است که همواره یک یا چند قالب در حال بارگیری مذاب و یک قالب نیز در حال تخلیه شمش منجمد شده از قالب بوده و سایر قالب‌ها در حال کاهش دما و آماده شدن برای بارگیری مجدد هستند.

شکل ۵

مکانیسم ماشین‌های شمش‌ریزی عبارت است از:

الف) انتخاب نوار نقاله و تنظیم سرعت حرکت از نظر زمان لازم برای دورهٔ بارگیری، انجماد قطعه از محل بارگیری تا تخلیه و کاهش دمای قالب و آمادگی دوباره برای بارریزی.

ب) تعبیهٔ سیستم باردهی مداوم از کوره یا از نگهدارنده که باردهی با سرعت مناسب انجام گیرد و حداقل هزینه حمل و نقل برآورده شود.

ج) تعبیهٔ سیستم خنک‌کننده قالب به منظور تسریع در انجماد مذاب و آمادگی مجدد قالب برای بارگیری

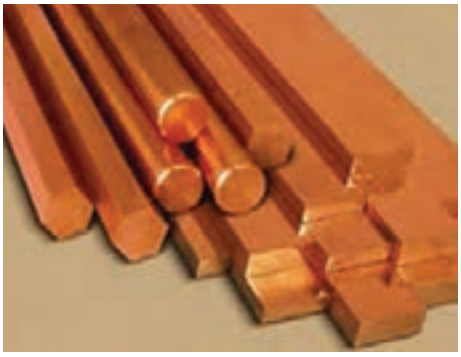
د) تعبیهٔ سیستم انتقال شمش از محل تخلیه به انبار با استفاده از نوار نقاله و تأمین حداقل نیروی انسانی لازم.

شکل ۶

نکته

- در طراحی و اندازهٔ شمش‌های ریختگی، به‌این نکته باید توجه شود که وزن و ابعاد آنها از حدود متعارف و لازم برای حمل و نقل، انبارداری و باردهی به کوره تجاوز نکند.
- وزن شمش باید در حدی باشد که نیروی انسانی بتواند به راحتی آن را حمل کند و در صورت لزوم آن را خُرد کرده و درکوره شارژ کند.
- وزن شمش‌های چدنی معمولاً در حدود ۲۵ کیلوگرم، شمش مسی ۱۰ کیلوگرم و شمش آلومینیومی کمتر از ۱۵ کیلوگرم است.

شمش‌های نوردی



همان‌طور کـه در تصاویـر بـالا مشـاهده می‌کنید هـر یک از تصاویـر معرف یک نوع شـمش نـوردی (مکانیکی) هسـتند. بنابرایـن شـمش‌های نـوردی نوعـی قطعات ریخته شـده هسـتند کـه برای تهیـه و تولید قطعـات کار شـده و نوردی از طریق انجام کار و عملیات مکانیکی مانند نورد، فشـار کاری و مفتول کشـی مورد اسـتفاده قرار می‌گیرنـد. کـه عبارت‌انـد از شمشـال، شمشـه و اسـلب. به‌طـور مثال بـرای تهیهٔ میل‌گـرد یا تیر آهـن به کمک نـورد (بـه عنـوان عملیـات مکانیکی) باید سـطح مقطع شـمش مربع یا دایره باشـد. برای شـناخت و آشـنایی هر چـه بیشـتر، تعریـف تعـدادی از انواع شـمش‌های نـوردی به‌صورت زیر ارائه شـده اسـت :

بیلت یا شمشال (Billet):

بیلت یا شمشـال بر خلاف شـمش، طویل بوده و سـطح مقطع آن دایره یـا مربعـی بـا عرض کمتـر از ۱۵سـانتی‌متر (یا سـطح مقطـع کوچک‌تر از ۲۳۰ سـانتی‌متر مربـع) اسـت. بیلـت از طریـق ریخته‌گری مسـتقیم، اکسـتروژن (فشـارکاری) و یـا از طریـق نورد شـمش به‌دسـت می‌آید. از بیلـت بیشـتر برای تولید میل‌گرد و سـیم اسـتفاده می‌شـود.

شکل ۷

شمشه یا بلوم (Bloom):

اگـر عـرض بیلت (شمشـال) بیش از ۱۵سـانتی‌متر (یا سـطح مقطع آن بیش از ۲۳۰سـانتی‌متر مربع) باشـد آن را شمشـه یـا بلـوم می‌نامنـد و بـه همیـن دلیـل معمـولاً ایـن دو شـمش را در یک دسـته (بلـوم و بیلت) جـای می‌دهنـد. از بلـوم برای سـاخت ریـل، تیرآهن، قوطی، ناودانی و سـپری اسـتفاده می‌شـود.

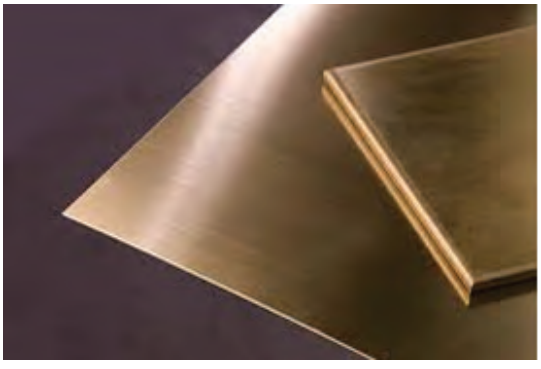
اسلب یا تختال(Slab):

سطح مقطع اسلب بر خلاف بلوم و بیلت مربعی نبوده و به‌صورت مستطیل است (معمولاً به ضخامت ۲۳۰ میلی‌متر و عرض ۱/۲۵ متر و طول ۱۲متر) از اسلب برای ساخت ورق‌های فولادی و صفحه استفاده می‌شود.

شکل ۸

ورق:

بـه شـکلی از فلـزات گفته می‌شـود کـه دارای سـطوح گسـترده و در حالت‌های بریـده و رول (پیچیده‌شـده) تولیـد می‌شـوند و در صنعـت کاربرد زیـادی دارند.



شکل ۹

شمش‌ریزی مداوم یا پیوسته

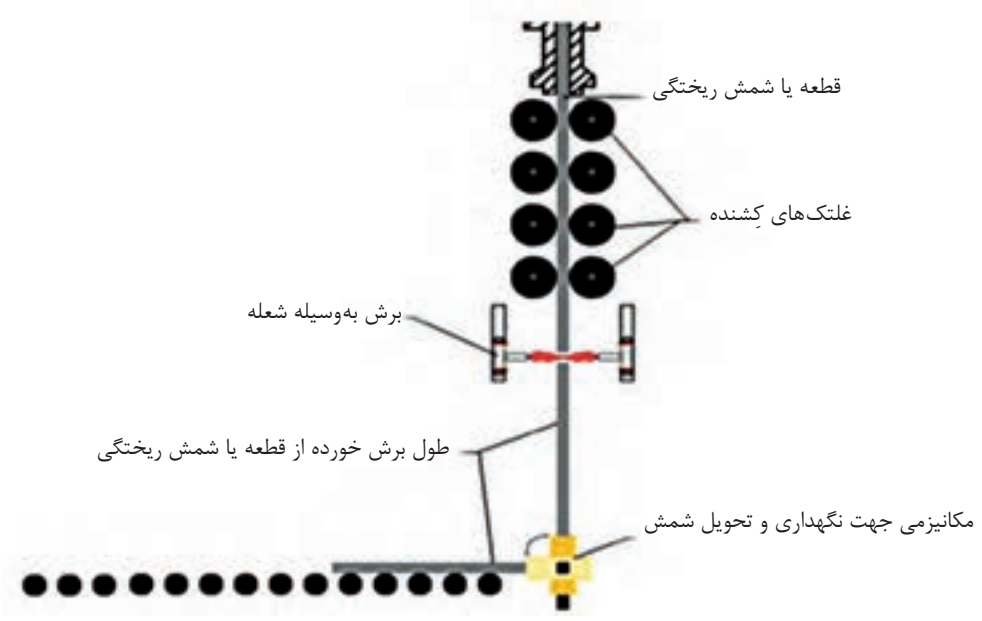
ریخته‌گری مداوم شمش (continuous casting)، یکی از راه‌های تولید شمش و نخستین گام در تولید محصولات نورد است. استفاده از روش ریخته‌گری پیوسته یک پدیدهٔ بسیار مهم و پیشرفتهٔ متالورژیکی است که در آن سرعت تولید شمش افزایش می‌یابد و کیفیت شمش‌های تولید شده به دلیل یکنواختی در تولید

بهبود می‌یابد. این امر سبب شده است که ضایعات تولیدی در هنگام نورد کمتر شود. ریخته‌گری پیوسته روشی است که در آن مذاب از انتهای پاتیل میانی (Tundish) به قالب به‌طور مداوم ریخته می‌شود. مراحل انجماد و خروج محصول پیوسته بوده و ابعاد قالب تعیین‌کنندهٔ ابعاد بیلت تولیدی است.

شمش بیشتر فلزات غیر آهنی، فولادهای کربنی و آلیاژی را می‌توان به وسیله ریخته‌گری پیوسته تولید کرد.

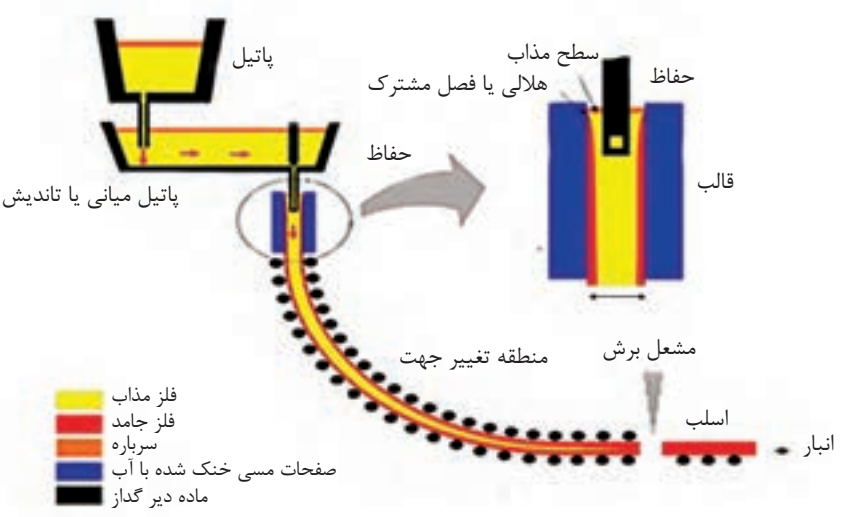
امروزه ماشین‌های ریخته‌گری پیوسته، به سه روش به‌کار گرفته می‌شوند. این روش‌ها عبارت‌اند از:

۱ ریخته‌گری پیوسته عمودی با ناحیهٔ انجماد ثانویه عمودی و برش شمش در وضعیت عمودی.



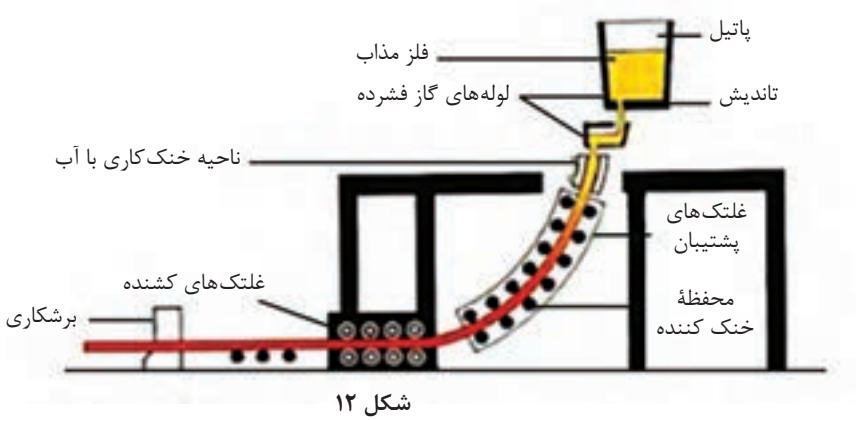
شکل ۱۰

۲ ریخته‌گری پیوسته عمودی با ناحیهٔ انجماد ثانویه عمودی، خمش شمش از حالت عمودی به افقی و برش آن در وضعیت افقی.



شکل ۱۱

۳ ریخته‌گری پیوستهٔ خمیده با ناحیهٔ انجماد ثانویهٔ خمیده با شعاع خمیدگی ثابت و یا متغیر و برش شمش در وضعیت افقی.



شکل ۱۲

اصول ریخته‌گری پیوسته

اصول کار ریخته‌گری پیوسته در همه روش‌ها، تقریباً یکسان است. در ریخته‌گری مداوم یا پیوسته فولادها مطابق با شکل ۱۳، فرایند کار شامل مراحل زیر است:

۱ انتقال مذاب از کوره به تاندیش

ابتدا مذاب از درون پاتیل به درون تاندیش که پیش از این تا دمای ۱۲۰۰ الی ۱۳۰۰ درجهٔ سلسیوس حرارت داده شده است، ریخته می‌شود.

۲ انتقال مذاب از تاندیش به قالب

هنگامی که سطح فولاد مذاب در درون تاندیش به حد معینی رسید، فلز مذاب به‌صورت پیوسته از درون تاندیش به درون یک قالب مسی که با آب خنک می‌شود، ریخته می‌شود.

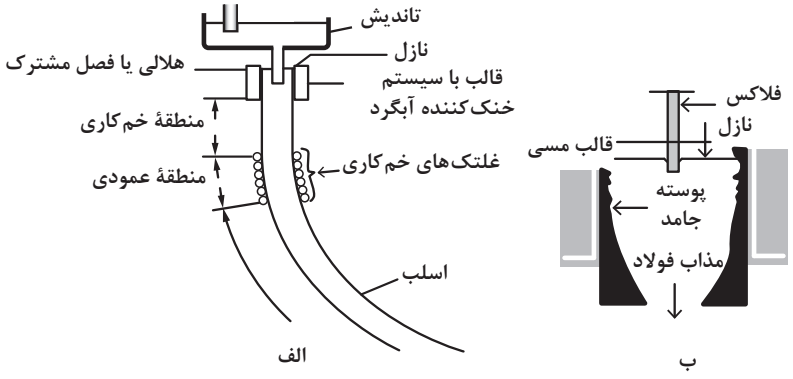
۳ شکل‌گیری بیلت توسط قالب مسی

انجماد شمش از دیواره و کف قالب آغاز و به سوی مرکز آن پیشروی می‌کند. اندازه و شکل قالب به اندازه و شکل شمش بستگی دارد.

۴ انتقال بیلت با کشاننده هلالی

۵ هدایت بیلت توسط غلتک‌های هیدرولیکی

۶ انتقال بیلت به سیستم خنک‌کننده و پاشش آب به آن توسط افشانک‌های آب پاش



شکل ۱۳

شکل ۱۴

نـازل تاندیـش: قطعـهٔ نسـوزی اسـت کـه کـف تاندیـش قـرار می‌گیـرد و وظیفـهٔ آن هدایـت مذاب از تاندیـش بـه قالـب ماشـین ریخته‌گـری مـداوم اسـت. نازل‌های تاندیـش انـواع مختلفـی دارنـد کـه بسـته بـه مدت زمـان ریخته‌گـری متفاوت هسـتند. به‌طـور کلـی می‌تـوان گفـت دو نـوع کلـی نـازل تاندیـش وجـود دارد:

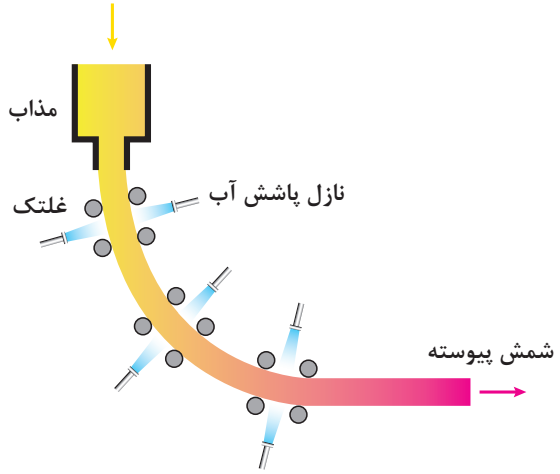
نازل تاندیش‌هایی که نیاز به تعویض هنگام ریخته‌گری دارند.

نـازل تاندیش‌هایـی که هنـگام ریخته‌گـری تعویض نمی‌شـوند و پـس از پایـان عملیـات ریخته‌گـری، تعویـض تاندیـش انجـام می‌شـود.

خنک‌کردن شمش در ریخته‌گری پیوسته

بـرای خنک‌کـردن شـمش معمـولاً ۵ تـا ۲۰ متـر مکعـب آب بـا فشـار ۰/۶ مگاپاسـکال بـه ازای هر تـن فولاد لازم اسـت. تـا انجمـاد با شـرایط مناسـب در درون قالب انجـام پذیرد. در هنـگام ریخته‌گری بـرای جلوگیری از چسـبندگی شـمش بـه دیواره قالب، حرکت نوسـانی عمـودی با دامنه نوسـان ۱۵ تا ۳۰ میلی‌متر بـه قالب داده می‌شـود. هنگامـی کـه سـطح فلـز در داخل قالب بـه ارتفاع معینی رسـید، کف قالب همراه با شـمش به‌وسـیلهٔ یـک ماشـین کشـیده می‌شـود و بـه سـوی پایین به حرکـت در می‌آیـد. در ایـن مرحله، شـمش گداختـه وارد ناحیـهٔ خنک‌کننـده ثانویـه کـه در زیر قالـب قرار دارد، می‌شـود.

در ایـن ناحیـه شـمش به‌وسـیله آب به‌گونـه‌ای خنک می‌شـود که فرایند انجماد تا مرکز شـمش پیشـروی کند و پـس از خـارج شـدن از ایـن ناحیـه به‌طـور کامـل جامد شـده باشـد. ناحیـهٔ خنک‌کننـدهٔ ثانویه (شـکل ۱۵) به‌گونـه‌ای طراحـی شـده اسـت کـه در آن آب به وسـیلهٔ نازل‌هایی با فشـار نزدیک بـه ۰/۲ تا ۰/۳ مگاپاسـکال به‌صـورت پـودر بـه همه سـطوح شـمش پاشـیده می‌شـود و آن را به‌صورت یکنواخـت خنک کنـد. مصرف آب در ایـن ناحیـه، معمـولاً نزدیـک بـه ۰/۵ تـا ۰/۸ متر مکعب بـه ازای هر تن فولاد اسـت.



شکل ۱۵ـ فرایند تولید شمش پیوسته

باید توجه داشت که زمان لازم برای اینکه شمش مسیر قالب و ناحیهٔ خنک‌کنندهٔ ثانویه را طی کند، نباید از زمان لازم برای انجماد کامل شمش در همهٔ نقاط سطح مقطع آن کمتر باشد. این کار سبب جلوگیری از پیدایش ترک‌های داخلی در شمش می‌شود. پس از انجماد کامل، شمش به طول‌های معین و از پیش طراحی شده برش داده شده و از خط ریخته‌گری پیوسته جدا می‌شود.

مزایای به‌کارگیری ریخته‌گری پیوسته

۱ **راندمان بالا**: راندمان ریخته‌گری غیرپیوسته جهت تبدیل مذاب فولاد به محصول نیمه نهایی بین ۸۲ تا ۸۴ درصد است. ولی راندمان در ریخته‌گری پیوسته که فولاد مذاب به محصول نیمه نهایی تبدیل می‌شود بین ۹۵ تا ۹۷ درصد است.
۲ **کاهش انرژی**: فرایند ریخته‌گری پیوسته در مقایسه با ریخته‌گری غیرپیوسته ۲۰ درصد کاهش مصرف انرژی دارد.
۳ **افزایش سرعت**: با حذف فرایند نورد در واحدهای نورد اولیه که در ریخته‌گری غیرپیوسته ضروری است، فرایند ریخته‌گری پیوسته از صرف زمان و هزینه اضافی می‌کاهد.
۴ **شرایط کار** :کاهش نیروی کار در فرایند ریخته‌گری پیوسته بهره‌وری را افزایش داده و از هزینهٔ تولید می‌کاهد.

مشخصات کیفی محصولات ریخته‌گری پیوسته

از جنبه‌های کیفی محصولات ریخته‌گری پیوسته می‌توان به تمیز بودن، نداشتن ترک سطحی و ناخالصی‌ها اشاره کرد:
معایب فولاد در ریخته‌گری پیوسته: فولاد در ریخته‌گری پیوسته می‌تواند در ترکیب معایب زیر را داشته باشد:
۱ محصولات ریخته‌گری پیوسته با محتوای کربن بالا مستعد ترک‌خوردن هستند.
۲ اگر نسبت درصد منگنز به سولفور کمتر از ۲۰ باشد ترک به وجود می‌آید.
۳ میزان فسفر بالا قابلیت شکل‌پذیری بدون ایجاد ترک یا شکستگی (ductility) و استحکام فولاد را کاهش داده بنابراین درصد آن در اسلب فولادی باید کمتر از ۰/۰۲۵درصد باشد.

ریخته گری کوبشی squeeze casting

یکی از مشکلات قطعات تولیدی به روش ریخته‌گری سنتی، وجود درصدی تخلخل گازی و انقباضی در قطعات تولید شده است. برای کاهش این عیوب روش‌های جدیدی ابداع شده است که یکی از آنها ریخته‌گری کوبشی است. که این روش، ترکیبی از ریخته‌گری و آهنگری است. به‌طوری که قسمت اصلی آن را ریخته‌گری تشکیل داده و آهنگری پس از بارریزی به‌صورت اعمال فشار به مذاب در حال انجماد و شکل دادن به آن ظاهر می‌شود.
آلیاژهای آلومینیوم، مس و منیزیم از بیشترین تولیدات این روش محسوب می‌شوند. برخی قطعات آهنی با شکل‌های ساده نیز با این روش تولید می‌شوند.

مراحل انجام فرایند ریخته‌گری کوبشی:

این مراحل در شکل ۱۶ نشان داده شده است.

شکل ۱۶

۱ این مرحله نشان‌دهندهٔ عملیات ریخته‌گری است که نیمه بالایی، سنبه و نیمه پایینی آن قالب است. که مقدار معینی از فلز مذاب به درون قالب پیش گرم شده ریخته می‌شود و از سنبه برای بستن محفظه قالب و وارد آوردن فشار بر فلز مایع استفاده می‌گردد.

۲ اعمال فشار تا کامل شدن انجماد ادامه می‌یابد.

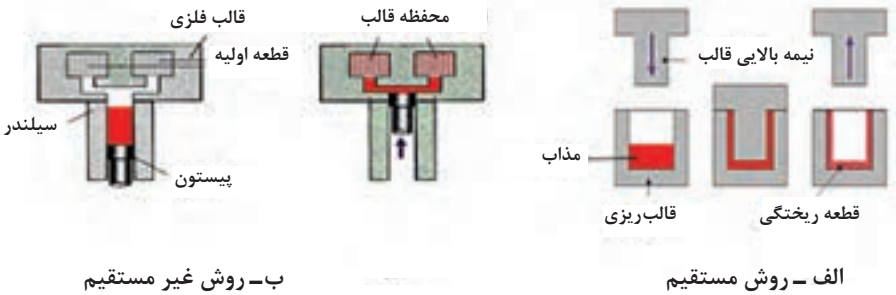
۳ پس از انجماد مذاب، سنبه (نیمه بالایی قالب) کنار کشیده شده و قطعه بیرون آورده می‌شود.

۴ در پایان قطعه خارج شده، تحت عملیات تمیز کاری قرار می‌گیرد.

دستگاه‌های فرایند ریخته‌گری کوبشی :

۱ـ قالب: یکی از عوامل مهم در فرایند ریخته‌گری کوبشی، قالب است و مهم‌تر از آن طراحی قالب است، که شامل انتخاب مواد مناسب، روش تولید و عملیات حرارتی مناسب بر روی آن است. قالب‌ها در این روش تحت تأثیر نیروهای مکانیکی متناوب و انبساط و انقباض‌های متعدد قرار می‌گیرند که این مسئله می‌تواند منجر به ترک خوردن و تغییر شکل قالب شود. در حال حاضر فولاد ابزار(H۱۳)، مناسب‌ترین ماده برای تولید قالب‌های این فرایند است. اما به‌طور کلی قالب‌های فولادی باید در دمای بالا مقاوم بوده و از سختی بالا، استحکام، ضربه‌پذیری خوب و عدم تغییر شکل قالب در درجه حرارت بالا برخوردار باشند.

۲ـ ماشین ریخته‌گری: در فرایند ریخته‌گری کوبشی دو نوع ماشین ریخته‌گری وجود دارد. با توجه به‌اینکه فشار توسط سنبه روی محصول نهایی در حال انجماد و یا بر روی سیستم تغذیهٔ میانی وارد می‌شود. که روش اول، ریخته‌گری کوبشی مستقیم و روش دوم، ریخته‌گری کوبشی غیر مستقیم نام دارد که می‌توان این دو روش را در شکل ۱۷ کنار هم مشاهده کرد.



الف ـ روش مستقیم

ب ـ روش غیر مستقیم

شکل ۱۷

عوامل مؤثر در فرایند ریخته‌گری کوبشی

۱ **حجم مذاب:** کنترل دقیق حجم مذاب به هنگام پر کردن محفظه قالب ضروری است.
۲ **دمـای بارریـزی:** دمـای بارریـزی به نـوع آلیاژ و شـکل قطعه بسـتگی دارد و بایـد کمی بالاتـر از دمای ذوب آلیاژ باشـد.
۳ **روان کاری:** بـرای آلیاژهـای آلومینیـوم، منیزیـم و مـس قبل از ریخته‌گـری، روان کننـدهٔ کلوئیدی گرافیتی، بـرروی قالب‌های گرم شـده به‌صورت پاششـی اعمال می‌شـود. همچنین بـرای ریخته‌گری فلزات آهنی اسـتفاده از پوشـش سـرامیکی بـرای جلوگیـری از جوش خـوردن بین فلز ریختگـی و دیوارهٔ قالب ضروری اسـت.

مزایای روش ریخته‌گری کوبشی

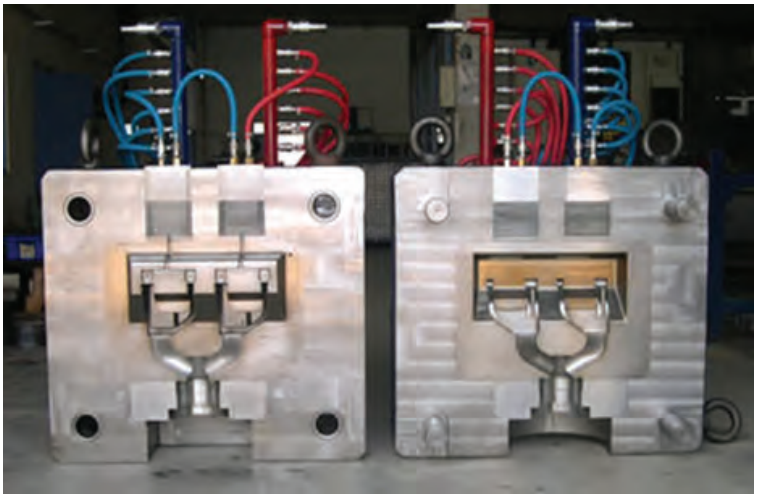
۱ وجود زمان کافی برای خروج گازها به دلیل اعمال فشار برروی مذاب درون قالب.
۲ جلوگیری از تشکیل حفره‌های احتمالی درقطعه در اثر اعمال فشار.
۳ نبود یا کاهش چشم‌گیر هرگونه انقباضات داخلی و مک‌های گازی در قطعه.
۴ بالا بودن دقت ابعادی و کیفیت سطحی قطعه.
۵ با وارد کردن فشار، هنگام انجماد مذاب فلزات، می‌توان شکل نهایی قطعه را با چگالی تقریباً کامل به‌دست آورد.
۶ ریزدانگـی و کـم بـودن عیـوب قطعـات تولیـدی در ایـن روش، امـکان اسـتفاده از قطعـات تولیـد شـده درکاربردهـای خـاص را می‌دهـد.

عیوب احتمالی قطعه در روش ریخته‌گری کوبشی

۱ **ناخالصی‌هـای اکسـیدی:** در صـورت عدم دسـتیابی به مـذاب تمیز عیـب ناخالصی اکسـیدی در قطعه ایجـاد می‌شـود. بـرای کاهـش ایـن نـوع ناخالصـی بایـد در سیسـتم انتقال مـذاب فیلتر قـرار داد و یـا اینکه حداقـل از تلاطـم مـذاب به هنـگام ذوب‌ریزی جلوگیـری کرد.
۲ **سـرد جوشـی:** ایـن عمـل زمانـی اتفـاق می‌افتـد که فلـز مـذاب بـر روی لایه‌هـای منجمد شـده قبلی قرارگیـرد بـدون اینکـه کامـلاً بـه آن متصـل گـردد. بـرای کاهش این عیب لازم اسـت کـه دمـای بارریزی و یـا دمای قالـب افزایـش یابد.
۳ **چسـبندگی :** ایـن عمـل در صورتـی اتفـاق می‌افتد که لایـهٔ نازکی از فلز منجمد شـده به علت سـرعت بـالای فراینـد و یـا عدم روان کاری مناسـب و یا سـرد شـدن قالـب، به دیواره قالب بچسـبد. بـرای جلوگیری از ایـن عیـب کاهـش دمـای بارریزی یا دمای قالب پیشـنهاد می‌شـود.

شکل قطعات در روش ریخته‌گری کوبشی

قطعات کاسه‌ای شکل به عنوان مناسب‌ترین قطعات برای این روش پیشنهاد می‌شود.
از کاربردهای آن می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:
پیسـتون آلومینیومـی ماشـین، دیسـک ترمز چرخ خـودرو، چرخ کامیـون، بوش‌هـا و دنده‌های برنجـی و برنزی، اجـزای فـولادی موشـک‌ها، چـرخ دنده‌های دیفرانسـیل، قسـمت‌های چدنی و پوسـته چدن نشـکن خمپاره.
نمونه‌ای از قالب در شکل ۱۸ نشان داده شده است.



شکل ۱۸

مقایسهٔ روش‌های ریخته‌گری کوبشی با سایر روش‌های ریخته‌گری

الف) ماسه‌ای‌تر

۱ راندمان ریخته‌گری در روش کوبشی بالاتر است.
۲ میزان چگالی قطعه در ریخته‌گری کوبشی بیشتر از روش ماسه‌ای‌تر است.
۳ سرعت تولید در روش ریخته‌گری کوبشی بالاتر است.

ب) فورج (آهنگری)

۱ در ریخته‌گری کوبشی مادهٔ اولیه مذاب است اما در فورج مادهٔ اولیه جامد است.
۲ عمر قالب در ریخته‌گری کوبشی کمتر است.
۳ صرفه‌جویی در مواد مصرفی نسبت به روش فورج بیشتر است.

ج) تفاوت با ریخته‌گری تحت فشار

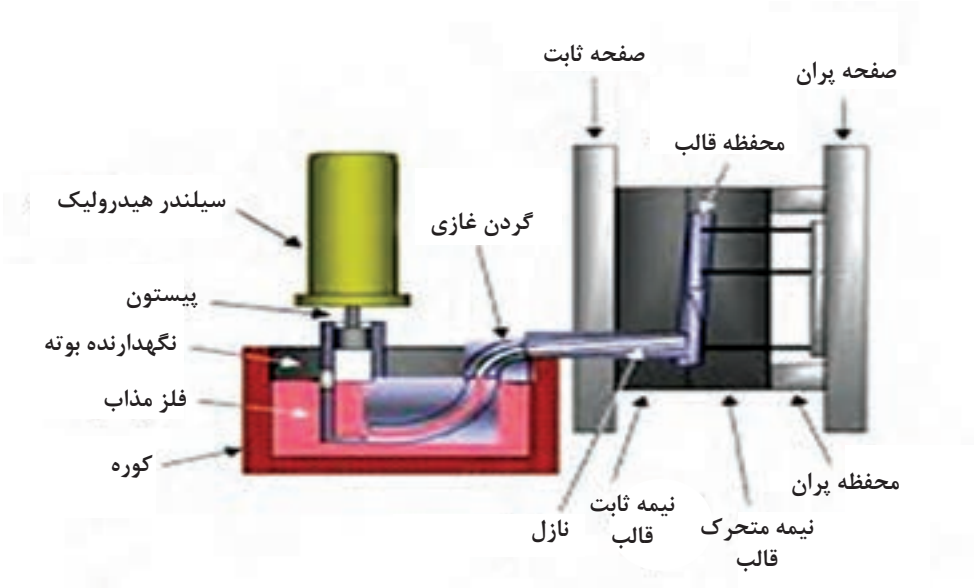
ریخته‌گری کوبشی فرایندی است که به منظور ساخت قطعاتی با کمترین حفره و تخلخل طراحی شده است. تفاوت عمدهٔ این روش ریخته‌گری با دایکست در طراحی مسیرهای ورودی مذاب، سرعت تزریق و افزایش فشار است. از آنجا که بخش زیادی از تخلخل‌های ایجاد شده به علت آشفتگی جریان مذاب تزریق شده به درون قالب است، ریخته‌گری کوبشی با ایجاد مسیرهای ورودی بزرگ‌تر سبب ورود جریان آرام مذاب به درون قالب و منافذ ایجاد شده می‌شود تا از ایجاد تخلخل جلوگیری کند.

روند پیشرفت ریخته‌گری کوبشی

اولین روش ریخته‌گری کوبشی، روش مستقیم بوده که معمولاً برای تولید قطعات ساده و متقارن استفاده شده است. ریخته‌گری کوبشی عمودی غیرمستقیم کاربردهای این روش ریخته‌گری را گسترش داد، به‌طوری که در این روش تولید قطعات با اشکال پیچیده و بدون عیب مثل رینگ چرخ اتومبیل را امکان‌پذیر کرد. تحول بعدی در فرایند ریخته‌گری کوبشی ترکیب آن با فرایند ریخته‌گری تحت فشار کم است که یک پمپ مغناطیسی تزریق مذاب دارد و امکان تولید قطعات بیشتر با کاربردهای صنعتی را محقق می‌کند (شکل ۱۹).

این فرایند دارای مشخصات زیر است:

- کاهش زمان تولید مذاب و تزریق آن که در نتیجه می‌توان قطعاتی با استحکام بالا تولید کرد.
- چون مذاب فلز در تماس با هوا قرار نمی‌گیرد قطعاتی بدون آخال‌های اکسیدی را می‌توان به سهولت در این روش تولید کرد.
- فلز مذاب در پایین‌ترین میزان دمای فوق ذوب نگهداری می‌شود چون افت دما در این روش حداقل است.



شکل ۱۹

ارزشیابی

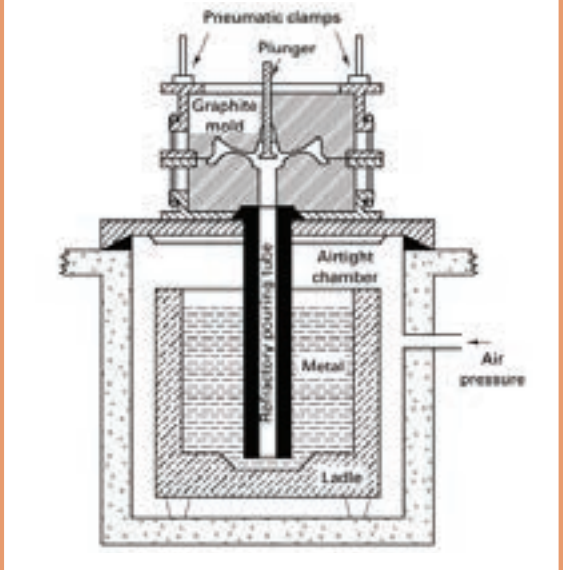
ارزشیابی در این درس براساس شایستگی است. برای هر پودمان یک نمره مستمر (از ۵ نمره) و یک نمره شایستگی پودمان (نمرات ۱، ۲ یا ۳) با توجه به استانداردهای عملکرد جداول ذیل برای هر هنرجو ثبت می‌گردد. امکان جبران پودمان‌ها در طول سال تحصیلی برای هنرجویان و بر اساس برنامه‌ریزی هنرستان وجود دارد.

الگوی ارزشیابی پودمان روش‌های پیشرفتهٔ ریخته‌گری

تکالیف عملکردی (شایستگی‌ها)	استاندارد عملکرد	نتایج	استاندارد (شاخص‌ها، داوری، نمره‌دهی)	نمره
شمش‌های ریختگی ریخته‌گری کوبشی	ـ روش‌های ریخته‌گری قطعات ـ نوع ریخته‌گری قطعات ـ ویژگی‌های انواع روش‌های ریخته‌گری	بالاتر از حد انتظار	ـ تعیین روش ریخته‌گری برای قطعات ـ تشخیص نوع ریخته‌گری از روی قطعه تولیدی ـ لیست کردن ویژگی‌های انواع روش‌های ریخته‌گری	۳
		در حد انتظار (کسب شایستگی)	ـ تشخیص نوع ریخته‌گری از روی قطعه تولیدی ـ لیست کردن ویژگی‌های انواع روش‌های ریخته‌گری	۲
		پایین‌تر از حد انتظار (عدم‌احراز شایستگی)	ـ لیست کردن ویژگی‌های انواع روش‌های ریخته‌گری	۱
نمرهٔ مستمر از ۵				
نمرهٔ شایستگی پودمان از ۳				
نمرهٔ پودمان از ۲۰				

پودمان پنجم

کسب اطلاعات فنی



مهارت‌های سواد اطلاعاتی

ارتقای سطح سواد ملی، یکی از اهداف فرهنگی تمام کشورهای جهان است. واژه «سواد»، قدمتی بسیار طولانی داشته و از تکامل تدریجی برخوردار بوده است. «سواد» در برگیرنده مهارت‌های مورد نیاز برای هر شخص است تا بتواند نقش مناسبی را در جامعه ایفا کند. ساده ترین حالت سواد، مشتمل بر توانمندی‌های کاربرد زبان است، بدین معنا که فرد با سواد، قادر به خواندن، نوشتن و درک زبان بومی خود باشد.

اما امروزه، با توجه به تغییرات و تحولات عصر حاضر، حجم وسیع اطلاعات و گستردگی، پراکندگی و تولید غیر قابل تصور دانش در حوزه‌های مختلف علم، هر فرد، نیازمند فراگیری مهارت‌ها و توانمندی‌هایی فراتر از سواد سنتی است تا وی را در همگامی با این تغییرات و تحولات و به ویژه در بهره‌گیری از اطلاعات، یاری رساند. شرط موفقیت در این عصر، برخورداری از قابلیت‌هایی است که فرد بتواند به واسطه آنها به تشخیص نیاز اطلاعاتی بپردازد؛ از میان انبوه اطلاعات، مناسب‌ترین منبع اطلاعات را برای نیاز اطلاعاتی خاص خود انتخاب کند؛ اطلاعات مورد نیاز خود را مکان‌یابی و ارزیابی کند و در نهایت مورد استفاده قرار دهد. اینگونه مهارت‌ها و توانایی‌ها در عبارت «سواد اطلاعاتی» خلاصه می‌شود.

هفت مرحله انجام هر پژوهش عبارت‌اند از:

۱ نیاز اطلاعاتی خود را مشخص کنید؛
۲ یک موضوع خاص را مشخص کرده و آن را گسترش/ بسط دهید؛
۳ در زمینه موضوع خاصی که انتخاب کرده‌اید، اطلاعات اولیه‌ای به‌دست آورید؛
۴ راهبرد جست‌وجوی خود را توسعه دهید؛
۵ اطلاعات را بیابید، جمع‌آوری کنید، و سپس ارزیابی نمایید؛
۶ به منابعی که برای نوشتن مطلب خود به کار برده‌اید، استناد دهید؛
۷ مطلب خود را بنویسید، بازخوانی کنید و ارائه دهید.

منابع

برای بیان و تعیین نیاز اطلاعاتی لازم است به منابع معتبر مراجعه شود. منابع را از نظر نوع دسترسی می‌توان به دو صورت چاپی و دیجیتالی طبقه‌بندی نمود. منابع دیجیتالی نیز به دو صورت برخط (On line) و برون خط (off line) تقسیم می‌شوند. تفاوت منابع برخط و برون خط در این است که در نسخه‌های برخط اطلاعات هرلحظه بروزرسانی می‌شوند ولی در نسخه‌های برون خط بروزرسانی با تاخیر و در نسخه‌ای جداگانه در اختیار کاربران قرار می‌گیرد. منابع را می‌توان از نظر ماهیت ارائه اطلاعات به‌صورت زیر تقسیم‌بندی نمود.

واژه‌نامه‌ها : واژه‌نامه‌ها را می‌توان بر اساس نوع اطلاعات قابل عرضه به دو گروه عمومی و تخصصی تقسیم‌بندی کرد. امروزه با توسعه فناوری اطلاعات، واژه‌نامه‌های اینترنتی به کمک کاربران آمده و مشکلات زیادی را از کاربران برطرف می‌کنند. یکی از واژه‌نامه‌های اینترنتی که با اقبال زیادی روبه‌رو شده است. واژه‌نامه برخط عمومی مترجم گوگل (Google translate) است. این واژه‌نامه علاوه بر ارائه معنی کلمات به ۱۰۴ زبان قابلیت ترجمه متون را نیز دارد.

فعالیت

با جست‌وجو در منابع معتبر ۳ واژه‌نامهٔ عمومی و ۳ واژه‌نامهٔ تخصصی را معرفی کنید.

واژه‌نامهٔ عمومی	واژه‌نامهٔ تخصصی

دایرةالمعارف‌ها، شامل دانشنامه‌ها و منابعی هستند که توضیحاتی پیرامون کلمه یا مفهوم مورد جست‌وجو ارائه می‌دهد. دانشنامه رشد یک دایرةالمعارف تخصصی برخط به زبان فارسی است. Wikipedia یک دایرةالمعارف عمومی برخط بین‌المللی است. AZOM یک دایرةالمعارف تخصصی برخط است.

نکته

- در دایرةالمعارف‌های عمومی بر خط که دارای عبارت Wiki هستند ویرایش اطلاعات توسط کاربران امکان‌پذیر است بنابراین ممکن است اطلاعات بدون پشتوانهٔ علمی ویرایش شوند، این دایرةالمعارف‌ها نمی‌توانند مورد استناد باشند و در استفاده از آنها باید ملاحظاتی را رعایت کرد.
- برای ترجمه و درک مفاهیم تخصصی، به واژه‌نامه‌ها و دایرةالمعارف‌های تخصصی مراجعه کنید.

فعالیت

برای ترجمهٔ کلمه "casting" یا «ماسهٔ خشک» از مترجم گوگل یا سایر نرم‌افزارهای ترجمهٔ برون خط استفاده کنید و نتایج را با واژه‌نامه‌های تخصصی مقایسه کنید.

واژه	مترجم گوگل(google translate)	واژه‌نامهٔ برون خط(offline)
casting		
ماسه خشک		

منابع مرجع

برخی از منابع به دلیل گستردگی و تنوع اطلاعات تخصصی و اعتبار علمی نویسنده، ناشر، تعدد چاپ یا ویرایش آن به عنوان کتاب‌های مرجع در بین متخصصین و دانشجویان شناخته می‌شوند در ادامه برخی از این منابع اشاره شده است.

دستینه (handbook)

این کتاب‌ها شامل اطلاعات گسترده و به روز در رشته تخصصی توسط مؤسسات و انجمن‌ها تهیه و مرتب به روزرسانی می‌شوند. به عنوان مثال کتاب دستینه انجمن متالورژی امریکا (ASM Handbook) مرجع تخصصی برای رشته متالورژی است که شامل ۲۳ جلد است و جلد ۱۵ به ریخته‌گری (casting) اختصاص یافته است.

فعالیت

با جست‌وجو در منابع نام ۱۰ کتاب تخصصی در زمینه ریخته‌گری را پیدا کنید. چند عنوان از این کتاب‌ها از منابع مرجع هستند؟

مجلات تخصصی

نشریه‌های ادواری، نشریه‌های تخصصی هستند که توسط دانشگاه‌ها و مؤسسه‌های معتبر داخلی به زبان فارسی و یا انگلیسی چاپ می‌شوند از نظر اعتبارسنجی به علمی ـ پژوهشی و علمی ـ ترویجی تقسیم‌بندی می‌شوند که در پایگاه‌های وزارت علوم (msrt.ir) و پایگاه استنادی علوم جهان اسلام (ISC.gov.ir) معرفی می‌شوند.

فعالیت

نام ۵ مجله که در موضوع متالورژی چاپ می‌شوند را پیدا کنید. درجه علمی‌مجلات را بیان کنید.

جداول و استانداردها

دستورالعمل‌های اجرایی که توسط موسسات استاندارد بین‌المللی و داخلی منتشر می‌شوند می‌توانند به‌عنوان منابع معتبر اطلاعات تخصصی در مجامع علمی و صنعتی استفاده شوند. در بسیاری از فرایندهای متالورژی برای حصول نتیجه قابل قبول باید از استانداردها استفاده نمود. به عنوان مثال برای تعیین اندازه دانه یا تعیین شکل و اندازه گرافیت‌ها در چدن یا انجام آزمایش کشش به استانداردها رجوع می‌شود. سازمان ملی استاندارد ایران، متصدی تصویب و ارائه‌دهنده استانداردها در ایران است.

فعالیت

با جست‌وجو در منابع، چند استاندارد به زبان فارسی یا انگلیسی در زمینه متالورژی را پیدا کنید.

پایان نامه‌ها

تحقیقات دانشگاهی در زمینه‌های تخصصی (معمولاً در سطح کارشناسی ارشد و دکتری) است که توسط دانشجویان زیر نظر اساتید مجرب تهیه می‌شوند با توجه به نحوه و فرایند تهیه پایان‌نامه می‌توانند به عنوان منبع معتبر استفاده شوند. برای جست‌وجو و مطالعه چکیده و صفحات اولیه پایان‌نامه‌ها می‌توان به سایت پایگاه اطلاعات علمی ایران به نشانی ganj.irandoc.ac.ir مراجعه کرد. دستیابی به متن کامل پایان‌نامه‌های فارسی معمولاً با مراجعه حضوری به محل کتابخانه دانشگاه امکان‌پذیر است.

بسترهای دسترسی به اطلاعات

موتور جست‌وجو

برای جست‌وجوی عمومی و یا در مورد مطالب خاص می‌توان به موتورهای جست‌وجو مراجعه کرد. از موتورهای جست‌وجوی عمومی‌می‌توان به Yahoo و Google و از موتورهای جست‌وجوی تخصصی مقالات انگلیسی می‌توان به Scirus و Scopus و Scholar Google اشاره کرد. از موتورهای جست‌وجو برای استانداردها iso.org را می‌توان نام برد.

پایگاه‌های اطلاعاتی فارسی، که بستر مناسبی برای جست‌وجوی تخصصی است، شامل موارد زیراست:

- پایگاه پژوهشگاه اطلاعات و مدارک علمی (irandoc.ac.ir)
- پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (sid.ir)
- بانک اطلاعات نشریات کشور (magiran.com)
- آدرس وبگاه کتابخانه ملی nlai.ir
- پایگاه اطلاع‌رسانی کتابخانه‌های ایران Lib.ir

چگونگی جست‌وجو

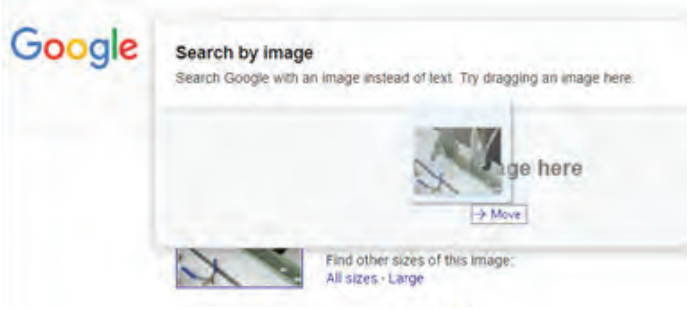
در بسیاری از مواقع حجم زیادی از اطلاعات ارائه شده به عنوان نتایج جست‌وجو همانی نیستند که یک جست‌وجوگر به دنبال آنهاست. برای جلوگیری از اتلاف وقت ترفندهایی وجود دارد که می‌توان با استفاده از آنها، این نقص‌ها را بر طرف نمود. در ادامه به برخی از آنها اشاره می‌شود.

- برای جست‌وجوی یک واژه یا عبارت مشخص از گیومه استفاده می‌شود به‌این شیوه جست‌وجوی عبارتی نیز می‌گویند. این جست‌وجو زمانی به‌کار می‌رود که مورد جست‌وجو یک عبارت مشخص مانند: "Investment casting" باشد. گیومه موجب می‌شود تا نرم‌افزار جست‌وجو در پایگاه‌های موتورهای جست‌وجو به دنبال مجموعه واژه‌های داخل گیومه با همان شکل درج شده، باشد.
- برای جست‌وجوی دو واژه یا عبارت مرتبط از عملگر «و» (**AND**) استفاده می‌شود. AND یا "و" عملگری است که اشتراک مفاهیم را در نظر می‌گیرد، به عبارتی هر واژه و یا عبارت به تنهایی مورد نظر نیست بلکه در رابطه با هم مورد توجه قرار می‌گیرد. به‌طور مثال: در جست‌وجوی واژه ماسه در ریخته‌گری برای جلوگیری از ارائه اطلاعات ماسه به‌طور عمومی‌یا غیر مرتبط با ریخته‌گری باید عبارت Casting and Sand جست‌وجو شود.
- زمانی که در جست‌وجو مترادف‌های یک واژه و عبارت نیز مورد نظر باشد از عملگر «یا» (OR) استفاده شود. این عملگر اجتماع مفاهیم را مورد توجه قرار می‌دهد. به‌طور مثال در جست‌وجوی واژه ریخته‌گری می‌توان علاوه بر واژه Casting واژه Founding را جست‌وجو نمود در این مواقع باید عبارت جست‌وجو، به‌صورت Casting OR Founding وارد شود.
- زمانی که جست‌وجو در مورد یک واژه خاص است و هیچ اشتراکی با سایر واژه‌ها مد نظر نباشد از عملگر "بدون" (**NOT**) استفاده می‌شود. به‌طور مثال چنان چه عبارت Casting NOT Sand وارد شود نتایج حاصله فقط در مورد ریخته‌گری خواهد بود و بخشی از مجموعه را که مورد نظر نیست از نتایج حذف می‌کند.

جست‌وجوی تصویری

برخی مواقع نیاز است که یک تصویر را در موتورهای جست‌وجو دوباره جست‌وجو کنید برای این کار می‌توان فایل تصویر را در محل جست‌وجو به روش کشیدن و رها کردن کپی کنید پس از رها کردن عبارت بارگذاری

تصویـر (uploading image) ظاهر می‌شـود سـپس تمـام نمونه‌های موجود از تصویر مورد نظـر و تصاویر مرتبط با آن ظاهـر می‌شـود. همان‌گونـه کـه می‌دانید بیشـتر منابع مورد اسـتفاده در مباحـث تخصصی به زبان لاتین اسـت. بـرای جسـت‌وجو و تحقیـق در ایـن منابع باید با زبان تخصصی آشـنایی داشـته باشـید. در مباحث تخصصی ترجمه کلمـه بـه کلمـه و یـا تحت الفظـی کاربردی نـدارد بلکه باید با اسـتفاده از دانـش تخصصی بهترین مفهـوم برای یک جملـه انتخـاب شـود البته باید توجه داشـت کـه در ترجمه مفاهیم نباید مضمـون اصلی جمله دچار تغییر شـود.



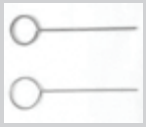
نکته

برای ترجمه متون می‌توانید از واژه‌نامه‌های چاپی و دیجیتالی استفاده نمایید.

فعالیت

معنـای کلمـات را بـه فارسـی بنویسـید. آیا کلمات متـرادف (هم معنی) فارسـی یا انگلیسـی دیگری برای ابزارهـا وجود دارد؟

rammer.....	**Bottom board, pattern board, moulding board.....**	**Flask .....**
Soft brush.....	**Straight edge, strike-off bar.....**	**Swab, bosh, water brush.....**
Hand sieve, hand screen, hand riddle.....	**Cleaner, lifter.....**	**Spoon tool, scoop, slick, sleeker .....**

		
Vent wire, vent rod.....	**Moulder's shovel.....**	**Hand bellows.....**
Moulding bench.....	**trowel.....**	**Dust (ing) bag.....**
Rapping bar, rapper.....	**sprinkler.....**	**Rapping pin, Lifting screw, draw srcew.....**

فعالیت

متن زیر را ترجمه کنید. فلوچارت را به فارسی ترجمه و جای‌گذاری کنید.

Casting Processes

Figure 1 shows a simplified flow diagram of the basic operations for producing a sand casting.

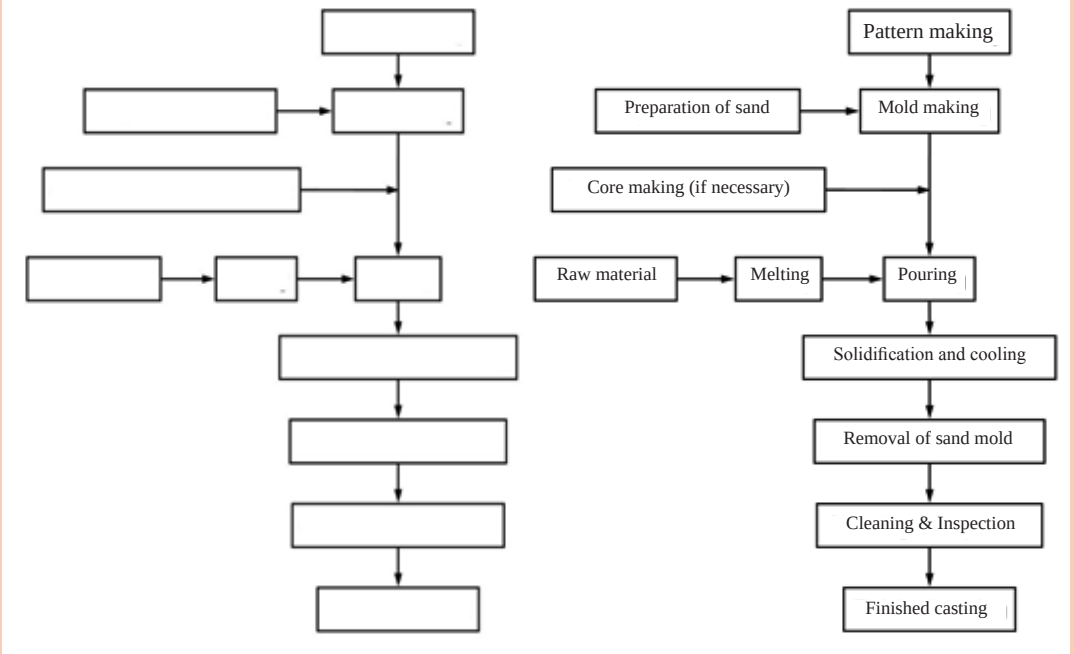


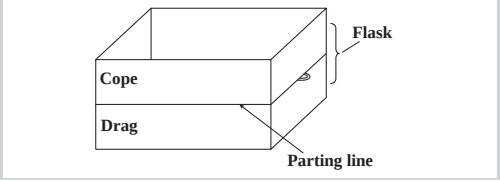
Figure 1 _ Casting Processes.

تحقیق

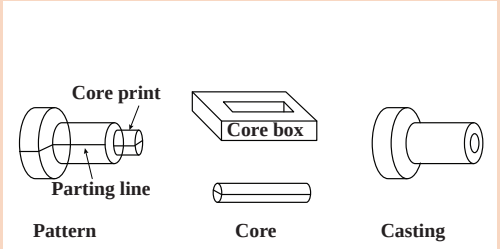
شـکل‌های دیگـری کـه در موضـوع مراحـل فراینـد ریخته‌گـری در منابـع ارائـه شـده‌اند را جسـت‌وجو کنیـد و در کلاس ارائـه دهیـد.

فعالیت

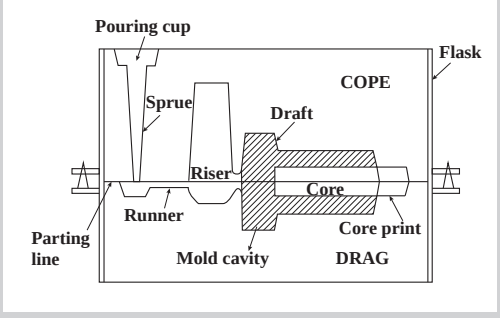
کلمـات نشـان داده شـده در شـکل‌های سـمت چـپ را معنی کنیـد و با اسـتفاده از توضیحات ارائه شـده در سـمت راسـت در مـورد مفهـوم و تعریف کلمـات، توضیحاتـی ارائه دهید.



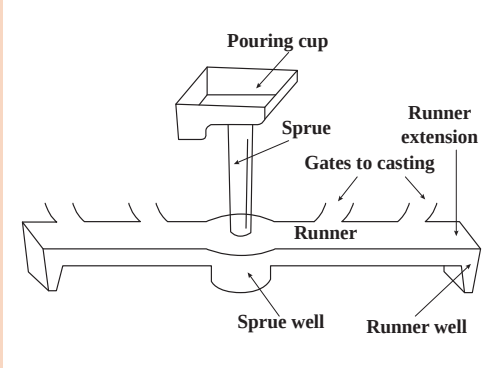
The rigid metal or wood frame that holds the molding aggregate is called a flask. In a horizontally parted two-part mold, the top half of the pattern, flask, mold, or core is called the cope.The bottom half of any of these features is called the drag.



A core is a sand (or metal) shape that is inserted into a mold to produce the internal features of a casting, such as holes or passages for water cooling. Cores are produced in wood, metal,or plastic tooling, known as core boxes.A core print is a feature that is added to a pattern, core, or mold and is used to locate and support a core within the mold.



Molding material will be packed around the pattern and the pattern is removed to create all or part of the mold cavity. The mold material and the cores then combine to produce a completed mold cavity, a shaped hole into which the molten metal is poured and solidified to produce the desired casting. A riser is an additional void in the mold that also fills with molten metal.



The network of connected channels used to deliver the molten metal to the mold cavity is known as the gating system. The pouring cup (or pouring basin) is the portion of the gating system that receives the molten metal from the pouring vessel and controls its delivery to the rest of the mold. From the pouring cup, the metal travels down a sprue (the vertical portion of the gating system), then along horizontal channels, called runners, and finally through controlled entrances, or gates, into the mold cavity

فعالیت

با توجه به متن صفحه قبل خواسته‌های زیر را انجام دهید.

۱ـ اجزای یک سیستم راه‌گاهی را نام ببرید. و قسمت‌ها را در متن لاتین سمت راست مشخص کنید .

۲ـ با توجه به متن بالا draft چیست و چرا استفاده می‌شود؟

۳ـ خط جدایش یا سطح جدایش چیست؟

جملات درست و غلط را مشخص کنید.

۱ـ pouring cup بخشی از core print است.

۲ـ riser فضای خالی اضافه‌ای در قالب است که توسط مذاب پر می‌شود.

۳ـ در یک قالب دو تکه، نیمه بالایی مدل یا قالب، core نامیده می‌شود.

۴ـ بخش عمودی سیستم راه‌گاهی sprue نامیده می‌شود.

یکی از چهار گزینه را به عنوان بهترین پاسخ انتخاب کنید.

۱ـ کانال‌های اضافی، که ممکن است در قالب یا ماهیچه برای خروج گازهای (موجود در قالب یا گازهای تولید شده در حین مذاب‌ریزی) تعبیه شده باشند، ..... نامیده می‌شوند.

a) vents b) sprue c) runner d) riser

۲ـ قالب صلب فلزی یا چوبی که مخلوط قالب‌گیری را نگهداری می‌کند، ..... نامیده می‌شود.

a) flask b) pattern c) mold cavity d) Molding material

جاهای خالی درمتن را با کلمات مناسب پر کنید.

parting line, parting surface, Draft, casting, mold

The ……. or …… is the interface that separates the cope and drag halves of a mold, flask, or pattern, and also the halves of a core in some core_making processes. ……. is the term used to describe the taper on a pattern or casting that permits it to be withdrawn from the mold. The draft usually expands toward the parting line. Finally, the term …… is used to describe both the process and the product when molten metal is poured and solidified in a…… .

فعالیت

کلمات در ستون اول را با معادل مناسب آنها در ستون دوم ارتباط دهید.

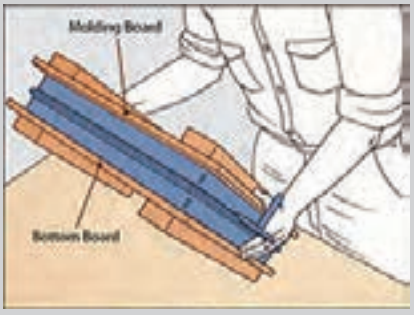
gating system		The network of connected channels used to deliver the molten metal to the mold cavity
pouring cup		an additional void in the mold that also fills with molten metal

runner		the taper on a pattern or casting that permits it to be withdrawn from the mold
gate		controlled entrance into the mold cavity
parting line or parting surface		a sand shape that is inserted into a mold to produce the internal holes in a casting
Draft		the interface that separates the cope and drag halves of a mold, flask, or pattern , and also the halves of a core in some core-making processes
core		The bottom half of the pattern, flask, mold, or core
riser		The horizontal channel of the gating system
drag		is the portion of the gating system that receives the molten metal from the pouring vessel and controls its delivery to the rest of the mold

فعالیت

زیرنویس شکل‌های زیر را ترجمه کنید. شکل‌ها را بر اساس مراحل آماده‌سازی قالب و مذاب‌ریزی مرتب کنید.

Position the Pattern .....

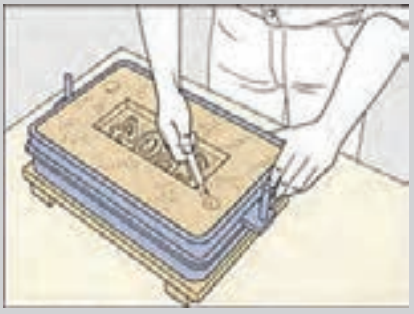


Roll the Drag .....

Riddle Sand Over the Pattern .....

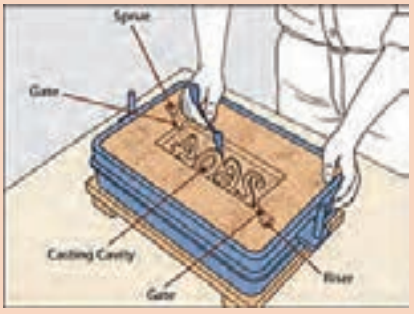
Removing the Pattern .....

Ram the Sand .....

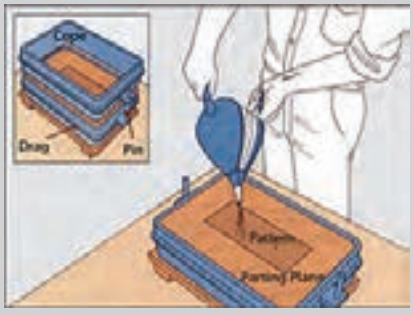


Cutting the Gates .....

Level the Sand in the Drag .....

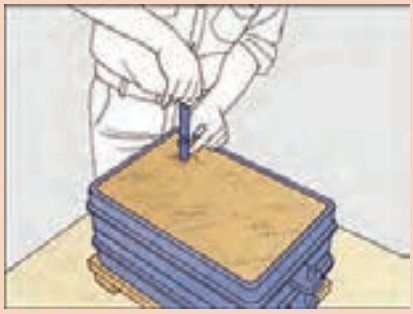


Refining the Mold .....



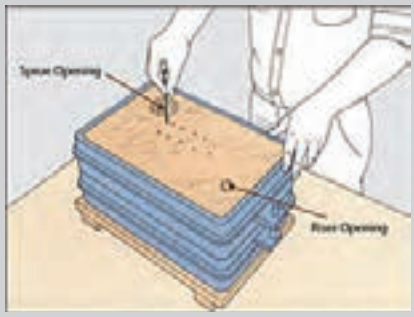
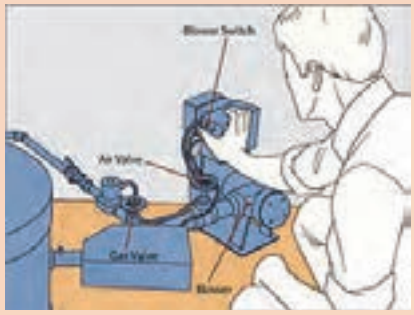
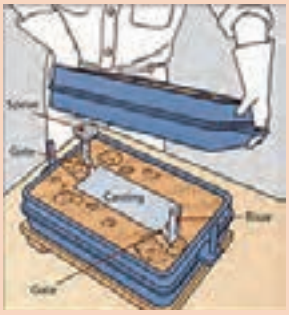
Perfect the Parting Plane
.....

Removing a Crucible from a Furnace
.....



Cutting the Sprue and the Riser
.....

Skimming Slag from Molten Metal
.....

		
Venting the Mold		**Pouring Molten Metal .....**
		
Lighting the furnace		**Removing a Metal Casting .....**

فعالیت

معنای کلمات را به فارسی بنویسید.

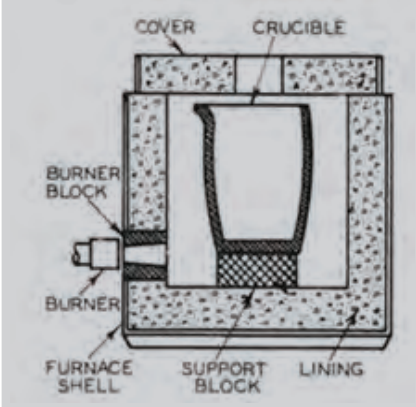
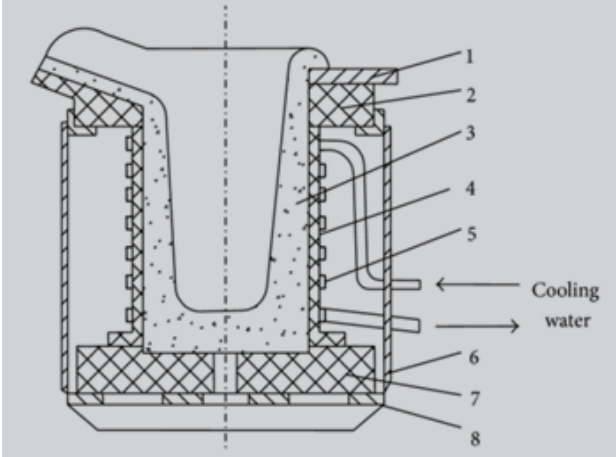
آیا کلمات مترادف (هم معنی) فارسی یا انگلیسی دیگری برای ابزارها وجود دارد؟

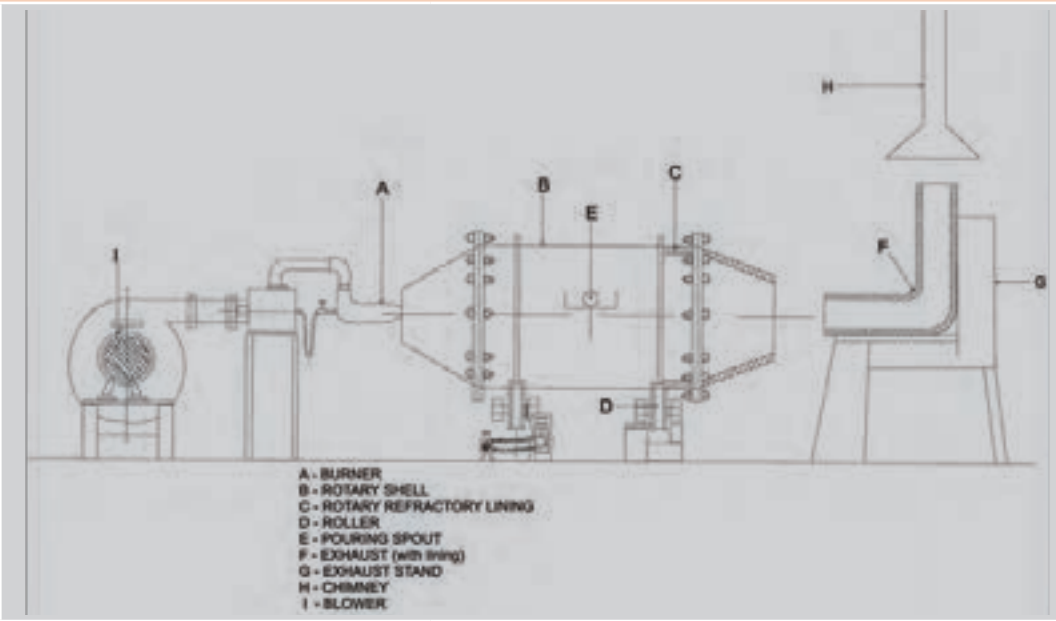
Crucible tongs, Crucible lifter	**hand ladle, ladle shank, shank**	**Pig tongs .....**
Scoop, pouring spoon	**Skimmer spoon .....**	**Plunger,plunging bell, ... immersion bell**
Slag, cinder	**Crucible .....**	**Ladle .....**

Mobile gantry crane	**charging scales, bascule .....**	**Crane, hoist .....**
Scrap (metal)	**(Foundry) returns , return scrap , remelt .....**	**(foundry) pig, notch bar.....**

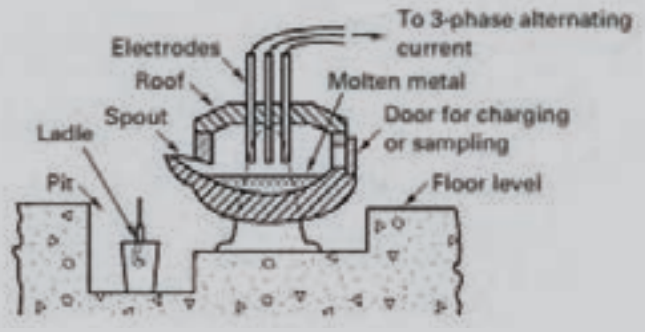
فعالیت

اجزای کوره‌های نشان داده در شکل‌های زیر را به فارسی ترجمه کنید.

	 (1) Cover with cement and asbestos; (2) upper frame with firebricks; (3) crucible; (4) insulation cloth; (5) induction coil; (6) protection plate; (7) pedestal with firebricks; (8) Aluminum frame
Crucible furnace	Induction furnace .....



rotary furnace .....



Three - phase electric - arc furnace .....

فعالیت

در بخش زیر فرایندهای مختلف قالب‌گیری ارائه شده است. با ترجمه توضیحات و زیرنویس شکل‌ها، ارتباط بین مراحل مختلف قالب‌گیری را به فارسی بنویسید.

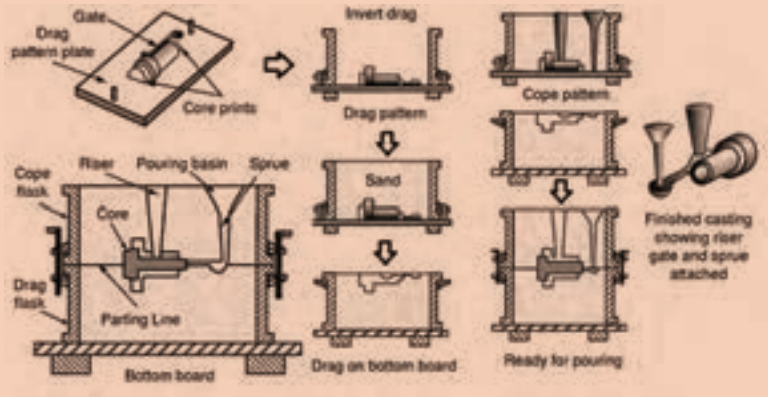
Green-Sand Casting

Process: Sand, bonded with clay and water, is packed around a wood or metal pattern. The pattern is removed, and molten metal is poured into the cavity. When the metal has solidified, the mold is broken and the casting is removed.

ترجمه: .....

.....

.....



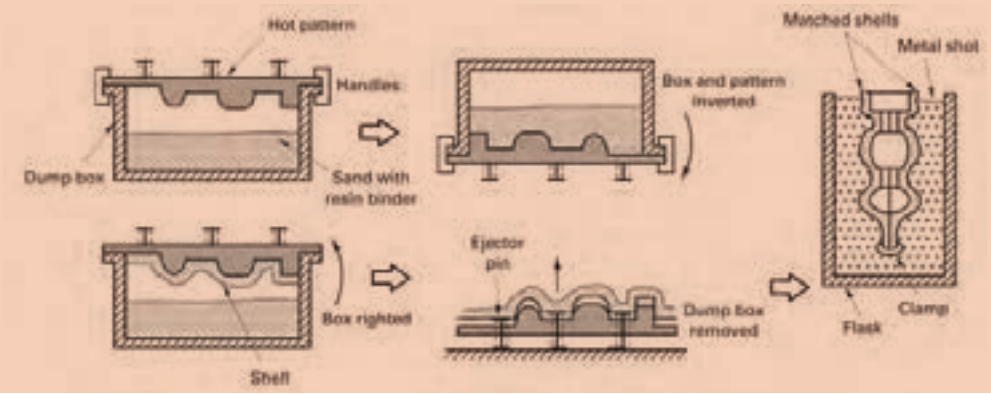
Shell-Mold Casting

Process: Sand coated with a thermosetting plastic resin is dropped onto a heated metal pattern, which cures the resin. The shell segments are stripped from the pattern and assembled. When the poured metal solidifies, the shell is broken away from the finished casting.

ترجمه: .....

.....

.....



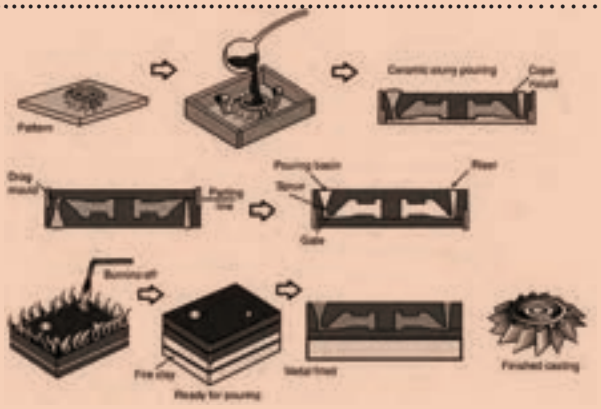
Ceramic Mold Casting

Process: Stable ceramic powders are combined with binders and gelling agents to produce the mold material.

ترجمـه: .....

.....

.....



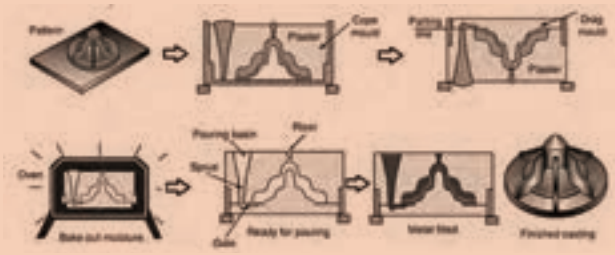
Plaster Casting

Process: A slurry of plaster, water, and various additives is poured over a pattern and allowed to set.The pattern is removed, and the mold is baked to remove excess water. After pouring and solidification, the mold is broken and the casting is removed.

ترجمـه: .....

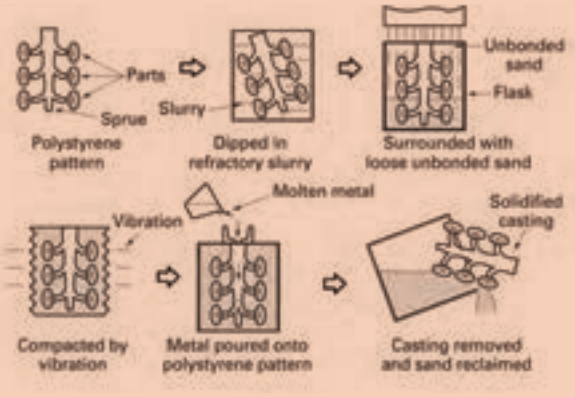
.....

.....



Lost-Foam Casting

Process: A pattern containing a sprue, runners, and risers is made from single or multiple pieces of foamed plastic, such as polystyrene. It is dipped in a ceramic material, dried, and positioned in a flask, where it is surrounded by loose sand. Molten metal is poured directly onto the pattern, which vaporizes and is vented through the sand.



ترجمـه: .....

.....

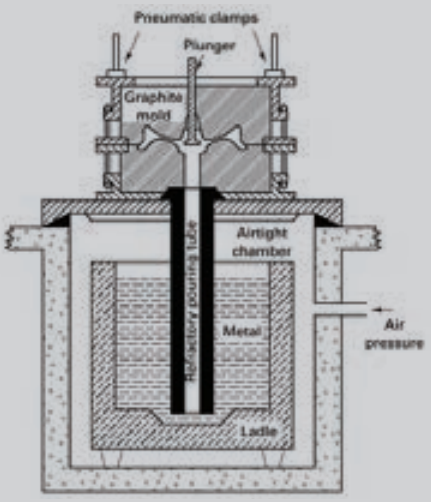
.....

Permanent-Mold Casting
Process: Mold cavities are machined into mating metal die blocks, which are then preheated and clamped together. Molten metal is then poured into the mold and enters the cavity by gravity flow. After solidification, the mold is opened and the casting is removed.

ترجمه کنید:

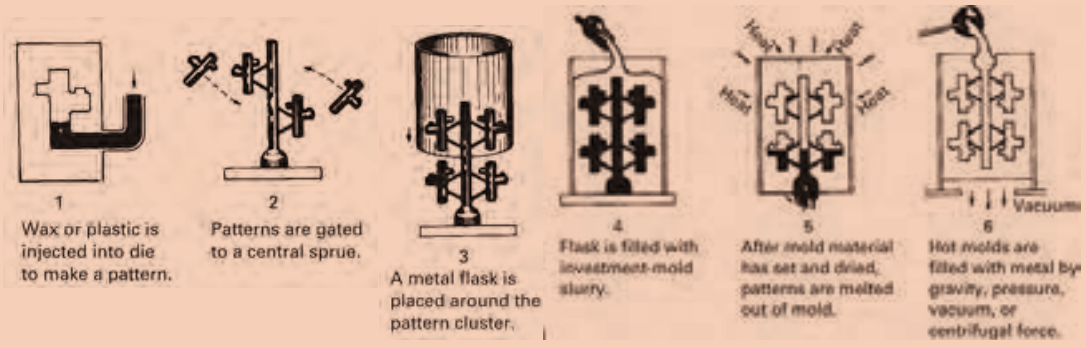
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

low-pressure permanent mold



Investment Casting
Process: A refractory slurry is formed around a wax or plastic pattern and allowed to harden. The pattern is then melted out and the mold is baked. Molten metal is poured into the mold and solidifies. The mold is then broken away from the casting.

ترجمـه: .....
.....
.....
.....
.....
.....



پرسش

با توجه به متن فوق به سؤالات زیر پاسخ دهید.

۱ چرا قالب‌های ریخته‌گری دقیق معمولاً قبل از مذاب‌ریزی، پیش‌گرم می‌شوند؟

۲ مواد مرسوم برای ساخت قالب در ریخته‌گری قالب دائمی کدام هستند؟ چه فلزاتی بیشتر با این روش‌ها ریخته‌گری می‌شوند؟

۳ تشابه و تفاوت فرایند Ceramic Mold Casting را با فرایند Plaster Casting بحث کنید.

جملات درست و غلط را مشخص کنید.

۱ در ریخته‌گری فومی، باید مدل را قبل از ریختن مذاب از درون قالب خارج کرد.

۲ قطعات ریخته‌گری قالب دائمی، سطوح پایانی و دقت ابعادی خوبی ندارند.

۳ تولرانس و سطح پایانی قطعات ریخته‌گری در قالب ماسه‌ای‌تر، ضعیف‌تر از سایر روش‌های ریخته‌گری است.

۴ قالب‌گیری در ماسه، نرخ تولید سریع تری از ریخته‌گری در قالب پوسته‌ای دارد.

یکی از چهار گزینه را به عنوان بهترین پاسخ انتخاب کنید.

۱ کدام یک از گزینه‌های زیر جزو محدودیت‌های ریخته‌گری دقیق است؟

الف) سطح پایانی عالی
ب) دقت ابعادی بالا
ج) زمان تولید
د)مدل‌ها و قالب‌های گران قیمت

۲ کدام یک از گزینه‌های زیر جزو مزایای ریخته‌گری در قالب ماسه‌ای‌تر است؟

الف) نرخ تولید نسبتاً پایین
ب) مقداری ماشین‌کاری مورد نیاز است
ج) تولرانس و سطح نهایی ضعیف
د) قیمت پایین

فعالیت

جاهای خالی درمتن را با کلمات زیر پر کنید.

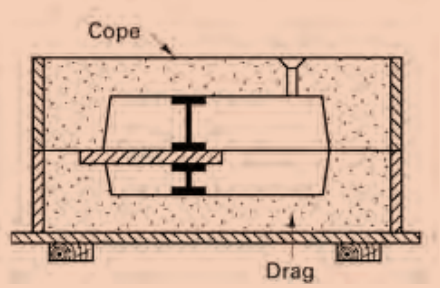
CORES AND CORE MAKING

hot_box, cold_box, no_bake, chaplets, core print

Casting processes are unique in their ability to easily incorporate complex internal cavities or reentrant sections. To produce these features, however, it is often necessary to use cores as part of the mold. In the ……. method, sand blended with a liquid thermosetting binder and catalyst is packed into a core box that has been heated. In the …… process, binder_coated sand is first blown into a room_temperature core box, which can now be made from wood, metal, or even plastic. The box is sealed, and a gas or vaporized catalyst is then passed through the permeable sand to polymerize the resin. Room_temperature cores can also be made with the air_set or …… sands.

If the cores do not pass completely through the casting, where they can be supported on

both ends, a single ……. may not be able to provide sufficient support. Additional measures may also be necessary to support the weight of large cores or keep lighter ones from becoming buoyant as the molten metal fills the cavity. Small metal supports, called …….. , can be placed between cores and the surfaces of a mold cavity.



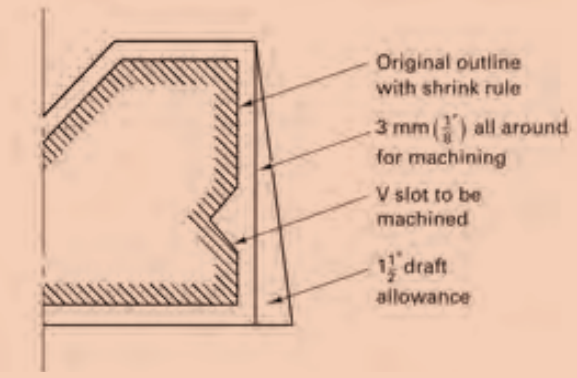
فعالیت

متن زیر را ترجمه کنید.

Patterns

Patterns can be made from wood, metal, foam, or plastic.The dimensional modifications that are incorporated into a pattern are called allowances, and the most important of these is the shrinkage allowance. Following solidification, a casting continues to contract as it cools to room temperature, the amount of this contraction being as much as 2%.To produce the desired final dimensions, the pattern (which sets the dimensions upon solidification) must be slightly larger than the room-temperature casting.

Draft is seldom less than 1°. Since draft allowances increase the size of a pattern (and thus the size and weight of a casting), it is generally desirable to keep them to the minimum that will permit satisfactory pattern removal. Molding procedures that produce higherstrength molds and the use of mechanical pattern withdrawal can often enable reductions in draft allowances.



When smooth machined surfaces are required, it may be necessary to add an additional machining allowance, or finish allowance, to the pattern.The amount of this allowance depends to a great extent on the casting process and the mold material. Ordinary sand castings have rougher surfaces than those of shell-mold castings. Die castings have smooth surfaces that may require little or no metal removal, and the surfaces of investment castings are even smoother. It is also important to consider the location of the desired machining and the presence of other allowances, since the draft allowance may provide part or all of the extra metal needed for machining.

Various allowances incorporated into a casting pattern

ترجمـه: .....

.....

.....

.....

.....

.....

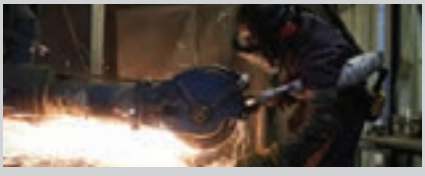
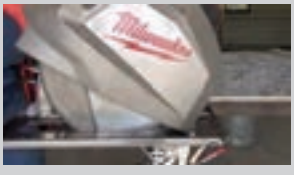
با توجه به متن فوق به سوالات زیر پاسخ دهید.

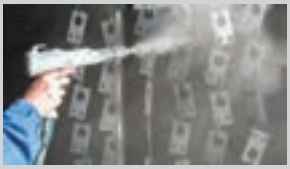
۱ـ چه نوع اصلاحات یا اضافه مجاز معمولاً در یک مدل ریخته‌گری در نظر گرفته می‌شوند؟

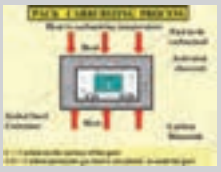
۲ـ چرا کم‌کردن اضافه مجاز تا حد امکان مطلوب است؟

فعالیت

معادل فارسی زیر نویس شکل‌ها را بنویسید.

Shake-out, knock- out.....	**Vibratory knock-out grid.....**
	
Vertical band saw.....	**Fettling, dressing.....**
	
Circular saw.....	**Cutting wheel, cut-off wheel, slitting disk.....**

Grinding.....	**Sand blasting.....**
	
Shot blasting.....	**Wire brush, scratch brush.....**

	
Carburization, cementation, carburizing, carburising.....	**Quenching, quench hardening.....**
Case hardening.....	**Flame hardening, torch hardening.....**
Tensile test	**Impact test .....**
Hardness test	**Salt bath Furnace .....**

فعالیت

متن زیر را ترجمه کنید.

Heat treatments for steels

annealing, normalizing, and spheroidizing are commonly used for steels. These heat treatments are used to accomplish one of three purposes: (1) eliminating the effects of cold work, (2) controlling strength, or (3) improving machinability.

Annealing and Normalizing

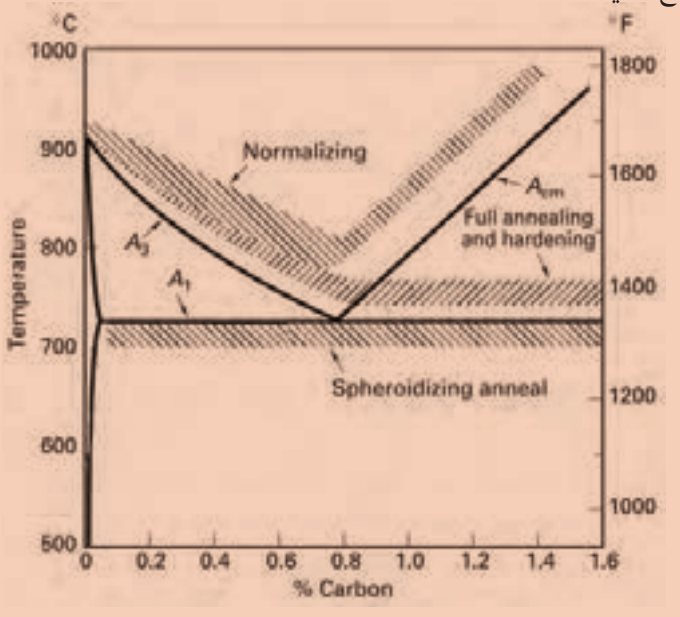
Steels can be strengthened by controlling the fineness of pearlite. The steel is initially heated to produce homogeneous austenite (FCC phase), a step called austenitizing. Annealing, or a full anneal, allows the steel to cool slowly in a furnace, producing coarse pearlite. Normalizing allows the steel to cool more rapidly, in air, producing fine pearlite.

Spheroidizing

Steels that contain a large concentration of Fe_3C have poor machining characteristics. It is possible to transform the morphology of Fe_3C using spheroidizing. During the spheroidizing treatment, which requires several hours at about 30°C below the A_1 the Fe_3C phase morphology changes into large, spherical particles in order to reduce boundary area. The microstructure, known as spheroidite, has a continuous matrix of soft, machinable ferrite.

Figure 2 showed Graphical summary of the process heat treatments for steels on an equilibrium diagram

با توجه به متن فوق به سوالات زیر پاسخ دهید.



۱ محدوده‌های دمایی مناسب برای آنیل و نرماله کردن را با توجه به نمودار و درصد کربن فولاد تعیین کنید.
برای فولاد با ۰/۴ درصد کربن چه دماهایی را برای آنیل و نرماله پیشنهاد می دهید؟

۲ هدف از کروی‌کردن چیست؟ ساختار حاصل از کروی کردن چگونه است؟

فعالیت

پس از مطالعه متن زیر به پرسش‌های انتهای متن پاسخ دهید.

Surface Treatments

Selectively Heating the Surface

We could begin by rapidly heating the surface of a medium-carbon steel above the A_3 temperature (the center remains below the A_1). After the steel is quenched, the center is still a soft mixture of ferrite and pearlite, while the surface is martensite (Figure 3(a)). The depth of the martensite layer is the case depth. Tempering produces the desired hardness at the surface. We can provide local heating of the surface by using a gas flame, an induction coil, a laser beam, or an electron beam. We can, if we wish, harden only selected areas of the surface that are most subject to failure by fatigue or wear.

Carburizing and Nitriding

These techniques involve controlled diffusion of carbon and nitrogen, respectively. For best toughness, we start with a low-carbon steel. In carburizing, carbon is diffused into the surface of the steel at a temperature above the A_3 (Figure 3(b)). A high carbon content is produced at the surface due to rapid diffusion and the high solubility of carbon in austenite. When the steel is then quenched and tempered, the surface becomes a high-carbon tempered martensite, while the ferritic center remains soft and ductile. The thickness of the hardened surface, again called the case depth, is much smaller in carburized steels than in flame- or induction hardened steels. Nitrogen provides a hardening effect similar to that of carbon.

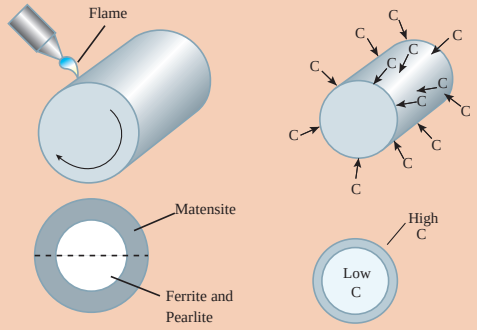


Figure 3(a) Surface hardening by localized heating
(b) Carburizing of a low-carbon steel to produce a high-carbon

با توجه به متن فوق به سوالات زیر پاسخ دهید.

۱ سخت‌کاری سطحی (موضعی) برای چه فولادهایی مناسب است؟ آیا شما می‌توانید تغییرات دمای سطح و عمق قطعه را با زمان رسم کنید؟

۲ کربن دهی بر روی چه فولادهایی صورت می‌گیرد؟ عمق سخت شونده در این روش در مقایسه با سخت‌کاری شعله‌ای چگونه است؟

فعالیت

متن زیر را ترجمه کنید.

HARDNESS

Hardness tests are performed more frequently than any other mechanical test for several reasons:

1- They are simple and inexpensive — typically, no special specimen need be prepared, and the testing apparatus is relatively inexpensive.

2- The test is nondestructive—the specimen is neither fractured nor excessively deformed; a small indentation is the only deformation.

3- Other mechanical properties often may be estimated from hardness data, such as tensile strength.

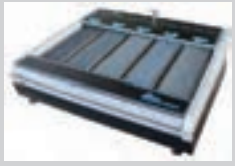
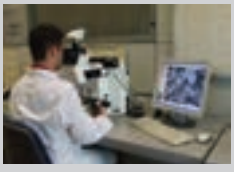
با توجه به متن فوق به سوالات زیر پاسخ دهید.

۱ مزایای سختی سنجی را بنویسید.

۲ در مورد تبدیل نتایج سختی سنجی به خواص کششی در منابع جست‌وجو کنید و روابط را در کلاس ارائه دهید.

فعالیت

معنای کلمات را به فارسی بنویسید. آیا کلمات مترادف (هم معنی) فارسی یا انگلیسی دیگری برای آنها وجود دارد؟

Sectioning	**Mounting** .....
	
Grinding	**Polishing** .....
	
Etching	**Microscopy** .....

macrostructure	microstructure .....

فعالیت

در شکل زیر طبقه‌بندی آلیاژهای آهنی مشاهده می‌شود. بخش‌های مختلف را ترجمه کنید.

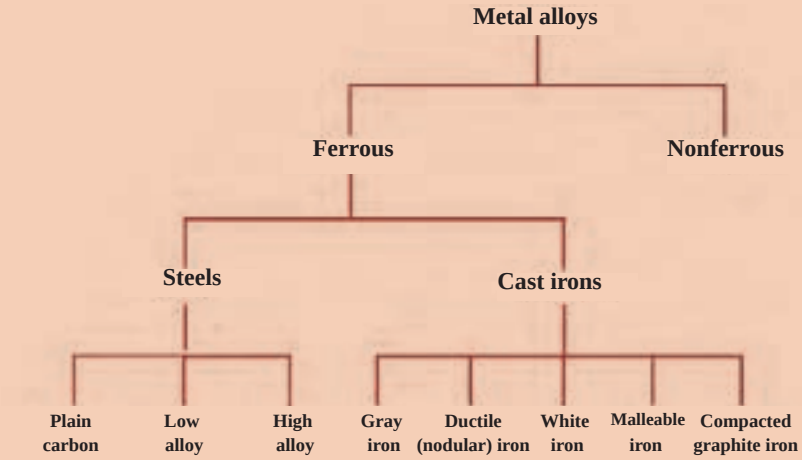


Figure 4 ـ Classification scheme for the various ferrous alloys.

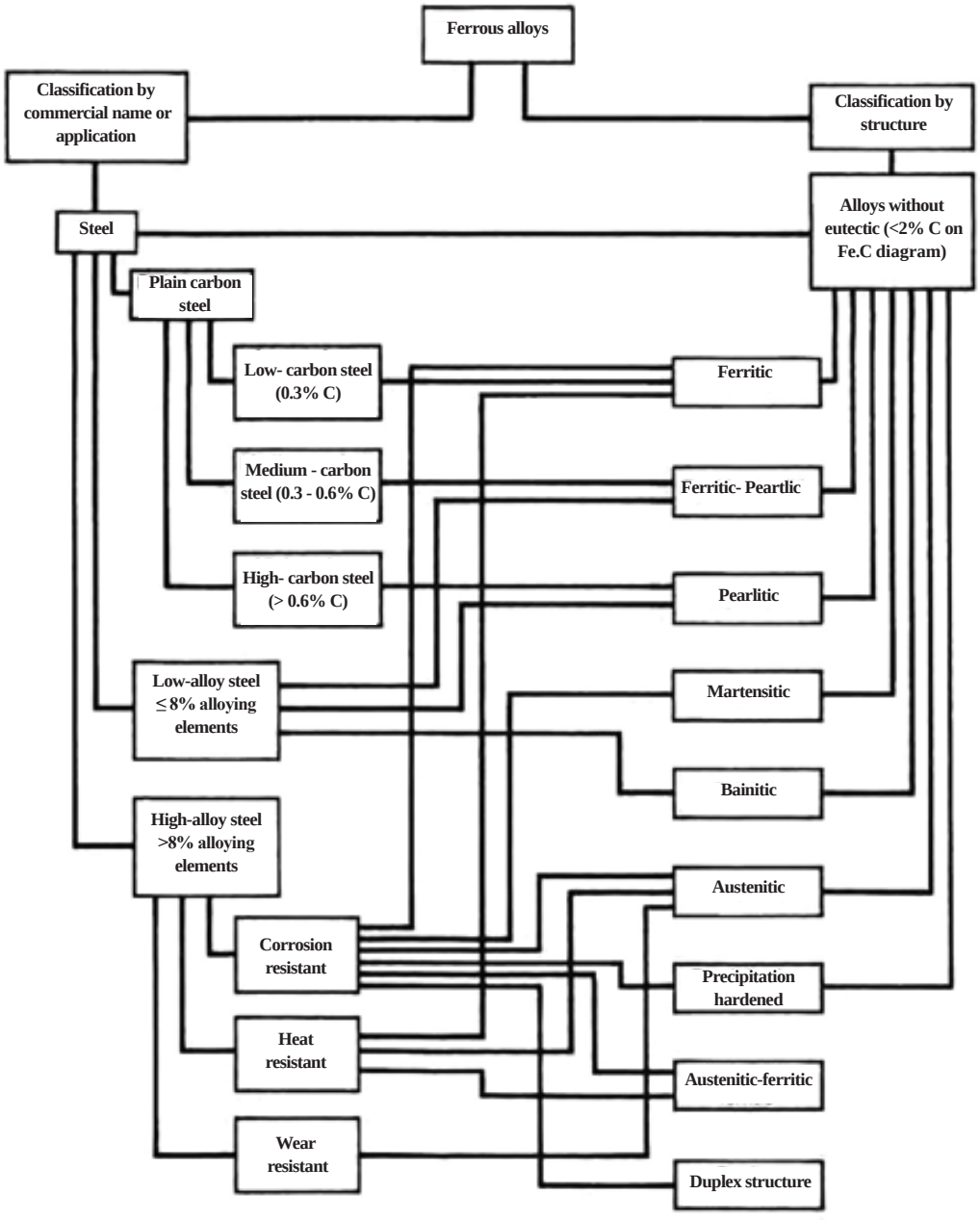
Steels form one of the most complex group of alloys in common use, and there are many ways to classify steel. Classification of steels based on chemical composition is a widely used method. There are three very broad‌based categories of steel based on composition (Figure 4): plain carbon steels, low‌alloy steels, and high‌alloy steels (which include stainless steels).

فعالیت

با توجه به نمودارهای زیر به سؤالات پاسخ دهید.

۱ بر اساس شکل زیر فولادهای ساده کربنی، دارای چه ساختارهایی هستند؟

۲ چه فولادهایی ساختار مارتنزیتی دارند؟ چه فولادهایی ساختار بینیتی دارند؟

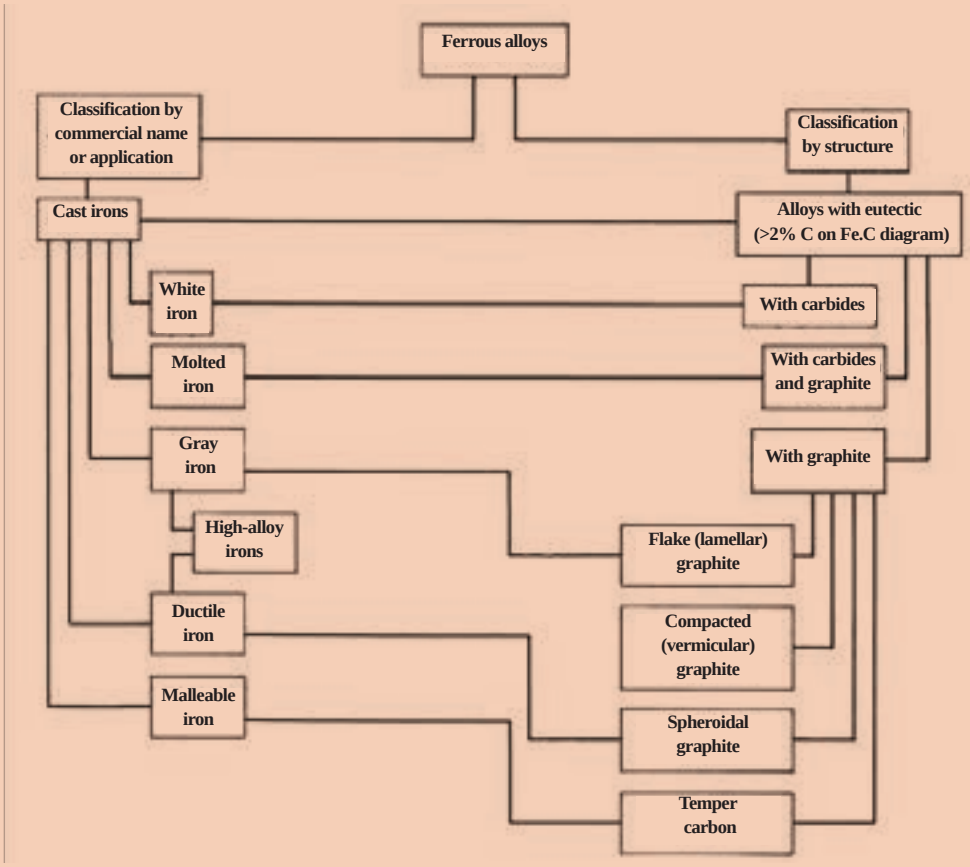


فعالیت

با توجه به نمودارهای زیر به سؤالات پاسخ دهید.

۱ چه چدن‌هایی دارای گرافیت هستند؟

۲ چه چدن‌هایی دارای کاربید هستند؟



فعالیت

یکی از راه‌های سریع شناسایی نوع فولاد بر اساس شکل جرقه‌های حاصل از سنگ‌زنی است. با ترجمه شکل زیر در کلاس بحث کنید.

(a) Sparks from 1015 steel (0.15% C). **(b) Sparks from 1045 steel (0.45% C).** **(c) Sparks from 1095 steel (1.0% C)**

Figure 7 - Spark patterns used to identify low-, medium-, and high-carbon steels. (a) Sparks from 1015 steel (0.15% C). (b) Sparks from 1045 steel (0.45% C). (c) Sparks from 1095 steel (1.0% C)

Spark patterns can be used to identify low_, medium_, and high_carbon steels

Keywords

Air lock, air hole, entrapted air	حفره هوا، مک هوا
annealing	بازپخت، تاباندن، تافتن
bench	میزکار
Bottom board, pattern board, moulding board	صفحه زیر درجه، صفحه زیرمدل
brittle fracture [rupture]	شکست (گسیختگی) ترد
Carburization, cementation, carburizing, carburising	کربوره‌کردن، کربن‌دهی، کربن‌دادن
Case hardening	سخت‌کاری پوسته‌ای
Casting defect	عیب ریخته‌گری، عیب قطعه ریختگی
charging scales, bascule	باسکول
Circular saw	اره گرد
Cleaner, lifter	ابزار پاشنه، سر کج
Cold crack, cold tear	ترک سرد
compass	پرگار
cope and drag pattern, two-piece pattern	مدل دو نیمه
Crane, hoist	جرثقیل، بالاکش
Crucible	بوته
Crucible furnace	کوره بوته‌ای
Crucible tongs, Crucible lifter	بوته‌گیر، انبر طوق
Cutting wheel, cut-off wheel, slitting disk	سنگ برش
Distortion, warpage	تاب برداشتن
Double-sided pattern plate, split pattern plate, match plate	مدل صفحه‌ای دو رو
Drill	مته

ductile fracture (rupture)	شکست (گسیختگی) نرم
Dust (ing) bag	کیسه پودر
Etching	اچ، حکاکی، ظاهرکردن
External Thread Cutting, (screw) threading die	حدیده
Fash, Flash	پلیسه
feeler ga(u)ge	گِیج
Fettling, dressing	تمیزکاری
file	سوهان
Fillet	گوشه
Flame hardening, torch hardening	سخت‌کردن شعله‌ای، سخت‌کردن با مشعل
Flask	درجه
(foundry) pig, notch bar	شمش ذوبی، شمش ریخته‌گری، شوشه
(Foundry) returns, return scrap,remelt	قراضه داخلی، برگشتی
Grinding	سنگ‌زدن، سنگ‌زنی، سنباده‌زدن
Hacksaw	اره دستی
Hand bellows	فوتک
hand ladle, ladle shank, shank	کمچه
Hand sieve, hand screen, hand riddle	الک دستی
Hardening	سخت‌کاری، سخت‌کردن
Hardness test	آزمایش سختی
Impact test	آزمایش ضربه
Inclusion	آخال
Induction furnace	کوره القایی

Internal Thread Cutting,Tapping	برقو
Ladle	پاتیل
loose –Piece pattern	مدل با قطعهٔ آزاد
Micrometer	میکرومتر
Microscopy	میکروسکوپی
Mismatch, core joint, shift	دویدگی
misrun	نیامد
Mobile gantry crane	جرثقیل دروازه‌ای سیار
Moulder’s shovel	بیل قالب‌گیری
Moulding bench	میز قالب‌گیری
Mounting	مانت‌کردن
Pattern layout	طرح مدل
Pig tongs	انبر
Plunger,plunging bell, immersion bell	فرو کن، فرو بر، کلاهک خوراک‌دهنده
Polishing	پولیش‌کردن
porosity	تخلخل
Protractor	زاویه سنج
Punch	سنبه
Quenching, quench hardening	آبدادن
rammer	کوبه
Rapping bar, rapper	مدل لق‌کن
Rapping pin, Lifting screw, draw srcew	میله و پیچ مدل درآور
rotary furnace	کوره دوار

Roughness, rough surface	زبری
rule	خط‌کش
Salt bath furnace	کوره حمام نمک
Sand blasting	ماسه پاشی
Scoop, pouring spoon	ملاقه (ذوب‌ریزی)، چمچه
Scrap (metal)	قراضه
Scriber	سوزن خط‌کش
Sectioning	مقطع‌زدن
Shake-out, knock- out	تخلیه (درجه)
Shot blasting	ساچمه پاشی
Shrinkage crack, solidification crack, hot rupture, hot tear, pull	پارگی ضمن انجماد
Shrinkage depression, sink mark, suck-in draw	کشیدگی، چال
Skimmer spoon	کف‌گیر، رویه‌گیر، شلاکه‌گیر
Slag, cinder	سرباره، شلاکه، روباره
Soft brush	برس نرم
Soft wood	چوب نرم
Spoon tool, scoop, slick, sleeker	قاشقک
sprinkler	آب پاش
Step bar, steped test bar	نمونه پله‌ای
Straight edge, strike-off bar	کارد تسمه
Swab, bosh, water brush	قلم آب
Temper, tempering, drawing back	برگشت‌دادن
Tensile test	آزمایش کشش

three-phase electric-arc furnace	کوره قوس الکتریکی سه فاز
trowel	ماله
Vent wire, vent rod	سیخ هواکش
vernier caliper	کولیس ورنیه
Vertical band saw	اره نواری، اره فلکه
Vibratory knock-out grid	لرزانک ارتعاشی
Wedge test piece, chill wedge	نمونه آزمایش گوه
Wire brush, scratch brush	برس سیمی

ارزشیابی

ارزشیابی در این درس براساس شایستگی است. برای هر پودمان یک نمره مستمر (از ۵ نمره) و یک نمره شایستگی پودمان (نمرات ۱، ۲ یا ۳) با توجه به استانداردهای عملکرد جداول ذیل برای هر هنرجو ثبت می‌گردد. امکان جبران پودمان‌ها در طول سال تحصیلی برای هنرجویان و بر اساس برنامه‌ریزی هنرستان وجود دارد.

الگوی ارزشیابی پودمان کسب اطلاعات فنی

تکالیف عملکردی (شایستگی‌ها)	استاندارد عملکرد	نتایج	استاندارد (شاخص‌ها، داوری، نمره‌دهی)	نمره
کسب اطلاعات فنی	ـ جست‌وجوی مطالب و محتوای تخصصی به زبان اصلی و ترجمه آن	بالاتر از حد انتظار	ـ جست‌وجوی مطالب از منابع مختلف و معتبر ـ ترجمه دقیق و روان متون تخصصی	۳
		در حد انتظار (کسب شایستگی)	ـ جست‌وجوی مطالب از منابع مختلف و معتبر ـ ترجمه تحت‌اللفظی متون تخصصی	۲
		پایین‌تر از انتظار (عدم احراز شایستگی)	ـ جست‌وجوی مطالب بدون ترجمه	۱
نمره مستمر از ۵				
نمره شایستگی پودمان از ۳				
نمره پودمان از ۲۰				

مراجع

۱ راهنمای برنامه درسی رشته متالورژی، دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش، سال ۱۳۹۳.

۲ برنامه درسی درس دانش فنی تخصصی، دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش، سال ۱۳۹۵.

۳ اکبری، محسن، شناخت و خواص مواد ـ کد ۳۵۹/۵۵، شرکت چاپ‌ونشر کتاب‌های درسی ایران، سال ۱۳۸۶.

۴ J. T. Black, Ronald A. Kohser, DeGarmo's Materials and Processes in Manufacturing, Wiley, ۲۰۱۱.

۵ Mikell P. Groover, Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems, Wiley, ۲۰۱۲.

۶ William D. Callister, David G. Rethwisch, Materials Science and Engineering, Wiley ۲۰۱۴.

۷ Donald R. Askeland, Pradeep P. Fulay, Wendelin J. Wrigh, The Science and Engineering of Materials, Cengage Learning, ۲۰۱۱.

۸ ASM Handbook, Vol. ۱۵: Casting, ASM International, ۱۹۹۱.

سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی جهت ایفای نقش خطیر خود در اجرای سند تحول بنیادین در آموزش و پرورش و برنامه درسی ملی جمهوری اسلامی ایران، مشارکت معلمان را به‌عنوان یک سیاست اجرایی مهم دنبال می‌کند. برای تحقق این امر در اقدامی نوآورانه سامانه تعاملی بر خط اعتبارسنجی کتاب‌های درسی راه‌اندازی شد تا با دریافت نظرات معلمان دربارهٔ کتاب‌های درسی نونگاشت، کتاب‌های درسی را در اولین سال چاپ، با کمترین اشکال به دانش‌آموزان و معلمان ارجمند تقدیم نماید. در انجام مطلوب این فرایند، همکاران گروه تحلیل محتوای آموزشی و پرورشی استان‌ها، گروه‌های آموزشی و دبیرخانهٔ راهبری دروس و مدیریت محترم پروژه آقای محسن باهو نقش سازنده‌ای را بر عهده داشتند. ضمن ارج نهادن به تلاش تمامی این همکاران، اسامی دبیران و هنرآموزانی که تلاش مضاعفی را در این زمینه داشته و با ارائهٔ نظرات خود سازمان را در بهبود محتوای این کتاب یاری کرده‌اند به شرح زیر اعلام می‌شود.

اسامی دبیران و هنرآموزان شرکت کننده در اعتبارسنجی کتاب دانش فنی تخصصی رشته متالورژی کد ۲۱۲۵۳۲

ردیف	نام و نام خانوادگی	استان محل خدمت	ردیف	نام و نام خانوادگی	استان محل خدمت
۱	قاسم حسین زاده	خراسان شمالی	۸	نصراله سلیمانی	اصفهان
۲	موسی بابازاده	آذربایجان شرقی	۹	مجید بلالی پور	چهارمحال وبختیاری
۳	علیرضا آزمند	خوزستان	۱۰	حسین حسن نژاد	خراسان جنوبی
۴	علی رضا میرشکاری	فارس	۱۱	مهدی اکبری فر	شهر تهران
۵	محمدرضا محمدی	مرکزی	۱۲	محسن نظامی	خراسان رضوی
۶	مجید بختیاری	شهرستانهای تهران	۱۳	سهیل شاتوتی	کرمانشاه
۷	موسی امیری	کرمان	۱۴	غلامرضا دهقان	خراسان جنوبی

هنرآموزان محترم، هنرجویان عزیز و اولیای آنان می‌توانند نظرهای اصلاحی خود را دربارهٔ مطالب این کتاب از طریق نامه به نشانی تهران- صندوق پستی ۴۸۷۴ / ۱۵۸۷۵- گروه درسی مربوط و یا پیام نگار tvoccd@roshd.ir ارسال نمایند.

وب گاه: tvoccd.oerp.ir

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش