

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

کتاب معلم  
(راهنمای تدریس)

# اصول متالورژی ریخته‌گری

رشته متالورژی

زمینه صنعت

شاخه آموزش فنی و حرفه‌ای

شماره درس ۲۳۴۰

۱۳۹۴

جمهوری اسلامی ایران  
وزارت آموزش و پرورش  
سازمان پژوهش و برنامه ریزی آموزشی

همکاران محترم و دانش آموزان عزیز:  
پیشنهادات و نظرات خود را درباره محتوای این کتاب به نشانی  
تهران- صندوق پستی شماره ۴۸۷۴/۱۵ دفتر تألیف کتاب‌های  
درسی فنی و حرفه ای و کاردانش، ارسال فرمایند.  
پیام نگار (ایمیل) tvoccd@roshd.ir  
وب گاه (وب سایت) www.tvoccd.medu.ir

محتوای این کتاب در کمیسیون تخصصی رشته متالورژی دفتر تألیف  
کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش تایید شده است.

برنامه ریزی محتوا و نظارت بر تألیف: دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه ای و کاردانش

نام کتاب: کتاب معلم اصول متالورژی ریخته‌گری - ۵۵۱/۸

مولفان: امیر ریاحی، جمشید علی محمدی

نظارت بر چاپ و توزیع: اداره کل نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی

تهران - خیابان ایرانشهر شمالی - ساختمان شماره ۴ آموزش و پرورش (شهید موسوی)

تلفن: ۹- ۸۸۸۳۱۱۶۱ دورنگار: ۸۸۳۰۹۲۶۶، کدپستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹

وب سایت: www.chap.sch.ir

طراح جلد: مریم کیوان

ناشر: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران - تهران - کیلومتر ۱۷ جاده مخصوص کرج - خیابان ۶۱ (داروپخش)

تلفن: ۵- ۴۴۹۸۵۱۶۱ - دورنگار: ۴۴۹۸۵۱۶۰ - صندوق پستی ۱۳۹-۳۷۵۱۵

چاپخانه: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»

سال انتشار و نوبت چاپ: چاپ اول ۱۳۹۴

حق چاپ محفوظ است.

ISBN: 978-964-05-1950-9

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۰۵-۱۹۵۰-۹



شما عزیزان کوشش کنید که از این وابستگی بیرون آید و احتیاجات کشور خودتان را برآورده سازید، از نیروی انسانی ایمانی خودتان غافل نباشید و از اتکای به اجانب پرهیزید.

امام خمینی «قدّس سرّه الشّریف»

# فهرست مطالب

صفحه

۱	پیشگفتار
۱۲	مقدمه
۱۴	فصل اول: مشخصات حالت مایع
۱۸	جلسه ۱-۱
۱۸	- حالات سه‌گانه ماده
۲۱	- نقطه ذوب و گرمای نهان ذوب
۲۶	- گرمای ویژه
۲۸	جلسه ۱-۲
۲۸	- انبساط حرارتی
۲۹	- تغییرات ابعادی در ذوب و انجماد
۳۷	- چگالی (جرم حجمی)
۳۸	- انتقال گرما
۴۰	جلسه ۱-۳
۴۰	- گرانروی (ویسکوزیته)
۴۱	- کشش سطحی
۴۲	- فشار بخار
۴۳	- سیالیت
۴۵	- عوامل مؤثر در سیالیت
۴۷	جلسه ۱-۴ - ارزشیابی (۱)
۴۸	فصل دوم: عملیات کیفی
۵۳	جلسه ۲-۵
۵۴	- گاز و عملیات گاززدایی
۵۴	- واکنش گاز در مذاب
۵۵	- منابع تولید گاز در مذاب
۵۹	- انحلال گازها در مذاب
۶۲	جلسه ۲-۶

۶۲	چگونگی ایجاد مک‌های گازی
۶۵	عوامل مؤثر در میزان مک‌های گازی
۶۷	روش‌های اندازه‌گیری گاز در مذاب
۷۱	<b>جلسه ۷-۲</b>
۷۱	روش‌های جلوگیری از مک‌های گاز
۷۳	روش‌های گاززدایی
۷۸	<b>جلسه ۸-۲</b>
۷۸	آخال و آخال‌زدایی
۷۹	انواع آخال‌ها
۸۰	اکسیداسیون و اکسیدها
۸۱	منابع ایجاد آخال‌ها و پیشگیری از آن
۸۳	آخال‌زدایی
۸۷	<b>جلسه ۹-۲</b>
۸۷	روش‌های ترکیبی آخال‌زدایی
۸۸	عملیات فیلتر کردن مذاب
۸۹	تلقیح (جوانه‌زایی ۰۰۰)
۹۵	<b>جلسه ۱۰-۲</b> - ارزشیابی (۲)
۹۶	<b>فصل سوم: انجماد فلزات</b>
۱۰۳	<b>جلسه ۱۱-۳</b> - طبیعت و ساختمان فلزات
۱۱۰	<b>جلسه ۱۲-۳</b>
۱۱۰	رفتار فلزات خالص در هنگام انجماد
۱۱۷	مشخصات آلیاژها و رفتار آن‌ها در هنگام انجماد
۱۲۰	<b>جلسه ۱۳-۳</b> - آلیاژهای محلول جامد
۱۲۷	<b>جلسه ۱۴-۳</b>
۱۲۷	آلیاژهای یوتکتیک
۱۳۳	ترکیبات بین فلزی
۱۳۴	نمودارهای فازی
۱۳۵	<b>جلسه ۱۵-۳</b>

۱۳۵	- چگونگی انجماد فلز در قطعات ریختگی
۱۳۶	- انقباض حجمی در قطعات ریختگی
۱۴۰	- چگونگی انجماد فلزات خالص
۱۴۴	- جلسه ۱۶-۳- سرعت انجماد در قطعات ریختگی
۱۵۴	- جلسه ۱۷-۳
۱۵۴	- چگونگی انجماد فلز در گوشه‌ها
۱۵۷	- چگونگی انجماد در آلیاژها
۱۶۳	- جلسه ۱۸-۳- ارزشیابی (۳)
۱۶۵	<b>فصل چهارم: اصول تغذیه گذاری در قطعه‌های ریختگی</b>
۱۷۲	- جلسه ۱۹-۴
۱۷۲	- انقباض فلزات و لزوم استفاده از تغذیه
۱۷۴	- تغذیه در قطعه‌های ریختگی
۱۷۵	- انجماد و اصول تغذیه
۱۷۸	- جلسه ۲۰-۴
۱۷۸	- فلزات و آلیاژهای با دامنه انجماد کوتاه (انجماد پوسته‌ای)
۱۸۲	- فلزات و آلیاژهای با دامنه انجماد طولانی (انجماد خمیری)
۱۸۹	- جلسه ۲۱-۴
۱۸۹	- فلزات و آلیاژهای با دامنه انجماد متوسط (انجماد میانی)
۱۹۴	- محل تغذیه و انجماد جهت‌دار
۱۹۴	- جهت انجماد
۱۹۷	- جلسه ۲۲-۴
۱۹۷	- محل تغذیه در قطعات ریختگی با سطوح غیر یکنواخت
۲۰۰	- اجزای تغذیه
۲۰۰	- منبع تغذیه
۲۰۱	- گلوئی تغذیه
۲۰۵	- جلسه ۲۳-۴
۲۰۵	- انواع تغذیه
۲۰۶	- انواع تغذیه براساس محل قرار گرفتن تغذیه، قبل یا بعد از محفظه قالب

- ۲۱۰..... انواع تغذیه براساس موقعیت قرار گرفتن تغذیه نسبت به قطعه
- ۲۱۲..... انواع تغذیه براساس ارتباط تغذیه با اتمسفر محیط
- جلسه ۲۴-۴..... ۲۱۸
- ۲۱۸..... روش‌های افزایش راندمان تغذیه (کمک تغذیه)
- ۲۱۹..... استفاده از مواد عایق و گرمازا
- ۲۲۲..... استفاده از مبرد
- ۲۲۷..... طراحی سیستم راهگامی و بارریزی
- جلسه ۲۵-۴..... ارزشیابی (۴) ۲۲۹
- فصل پنجم: سیستم راهگامی ۲۳۲
- جلسه ۲۶-۵..... ۲۳۷
- ۲۳۷..... سیستم راهگامی
- ۲۳۸..... اجزای یک سیستم راهگامی
- ۲۳۹..... حوضچه (قیف) بالای راهگام بارریز
- ۲۴۲..... راهگام بارریز (لوله راهگام)
- جلسه ۲۷-۵..... ۲۴۵
- ۲۴۵..... حوضچه پای راهگام بارریز
- ۲۴۶..... کانال‌های اصلی (راهبار) و فرعی (راهباره)
- ۲۴۷..... طرح مناسب برای اتصال اجزای سیستم راهگامی
- ۲۴۹..... انواع سیستم راهگامی
- جلسه ۲۸-۵..... ۲۵۳
- ۲۵۳..... روش‌های راهگام گذاری (روش‌های تعبیه سیستم راهگامی)
- ۲۵۴..... روش راهگام گذاری از بالا
- ۲۵۷..... روش راهگام گذاری از پایین
- ۲۵۹..... روش راهگام گذاری در سطح جدایش
- جلسه ۲۹-۵..... ۲۶۱
- ۲۶۱..... سیستم‌های راهگامی مرکب (چندتایی)
- ۲۶۵..... روش‌های آخال‌گیری در سیستم‌های راهگامی
- ۲۶۵..... روش‌های جداسازی مواد ناخواسته براساس اختلاف در وزن مخصوص

- ۲۶۵..... استفاده از کانال ممتد
- ۲۶۶..... استفاده از موانع و گلویی در سیستم راهگاهی
- ۲۶۷..... استفاده از راهگاه‌های گردابی
- ۲۶۸..... استفاده از صافی (فیلتر)
- ۲۷۰..... جلسه ۳۰-۵- ارزشیابی نهایی
- ۲۷۲..... منابع و مآخذ



## بخش اول: طرح درس

### پیش‌گفتار

آموزش اثربخش، مستلزم برنامه‌ریزی و طراحی است. طراحی برنامه‌ی درسی که نمود آن را در طرح درس نیز می‌توان مشاهده کرد، شامل تصمیم‌گیری در مورد عناصر برنامه و ارتباط آن‌ها با یکدیگر است. طرح درس اساس آموزش را تشکیل می‌دهد، زیرا طرح درس، طرح آموزش است و در شکل بخشیدن به یادگیری نقش اساسی دارد، اگر قرار است آموزش مبتنی بر اصول علمی باشد، لازم است از طرحی دقیق که براساس اصول علمی تنظیم شده، برخوردار باشد. اهمیت و ضرورت طرح درس و یا طرح آموزش را مشابه نقشه‌ی ساختمانی دانسته‌اند. شاید بتوان گفت آموزش به منزله‌ی یک فرایند تدریس هدفدار از پیش طراحی شده تعریف می‌شود، درست همانطور که یک مهندس ساختمان پیش از ساختن یک بنا به تهیه نقشه‌ی آن می‌پردازد، شما (تهیه‌کننده‌ی آموزش) نیز باید یک نقشه‌ی آموزشی طراحی کنید. این نقشه طی فرایندی تعاملی تجزیه و تحلیل و طراحی می‌شود که در آن محتوا، راهبردهای آموزشی و رسانه‌های مناسب، انتخاب، مرتب و استفاده می‌شود.

### دلایل استفاده از طرح درس در آموزش

تفکر و تصمیم‌گیری در مورد هریک از عناصر برنامه‌ی درسی و آموزش و ارتباط آن‌ها با یکدیگر و تنظیم نقشه‌ای سنجیده مبتنی بر اصول و فنون بیان شده مرتبط با عناصر برنامه درسی می‌تواند فواید و مزیت‌هایی را به دنبال داشته باشد. عمده‌ترین محاسن تنظیم طرح درس قبل از اقدام به آموزش عبارتند از:

۱- نگارش طرح درس باعث ایجاد و بالا بردن روحیه‌ی مثبت در بین معلمان می‌شود. این روحیه مثبت از طریق ایجاد اعتماد به نفس در معلم به دلیل آمادگی قبلی و در نتیجه تأثیر مستقیمی که در روند یادگیری دانش‌آموزان از خود به‌جامی‌گذارد، خود را نشان می‌دهد، به‌ویژه معلمان تازه کار که نمی‌توانند تمام مراحل تدریس و جزئیات آن را به‌خاطر بسپارند، با تدوین طرح درس احاطه کامل و تسلط لازم را بر درس پیدا می‌کنند.

۲- تدوین طرح درس فرصت تحقیق در روش‌های تدریس و راهبردهای یاددهی — یادگیری را به‌وسیله‌ی ارزشیابی‌های متعدد ایجاد می‌کند.

۳- استفاده از ابزار نرم‌افزاری طرح درس باعث می‌شود معلم نقاط ضعف و قوت خود را دریابد.

- ۴- طرح درس توجه معلم را به انتخاب روش‌ها و فنون مناسب تدریس برای درس‌های مختلف جلب می‌کند.
- ۵- در جریان تهیه طرح درس معلم فرصت خواهد داشت تا مشکلات احتمالی تدریس را پیش بینی کند.
- ۶- وجود طرح درس، ارزشیابی تدریس معلم توسط معلمان راهنما، بازرسان ارزشیابی و کارشناسان آموزشی را تسهیل می‌کند.
- ۷- طرح درس به معلم کمک می‌کند که در انتخاب و تنظیم مطالب مورد تدریس به گونه‌ای اقدام کند که موجب درک مفاهیم توسط دانش‌آموزان و ایجاد توانایی در آن‌ها شود.
- ۸- داشتن طرح درس موجب می‌شود که معلم به تنظیم اوقات کلاس خود بپردازد و از ایجاد بی‌نظمی جلوگیری کند.
- ۹- طرح درس به معلم کمک می‌کند تا پیش‌بینی‌های لازم را برای تهیه وسایل آموزشی و رسانه‌ها به عمل آورد.
- ۱۰- طرح درس در کار آموزشی معلم ایجاد ذوق، رغبت و نوآوری می‌کند.
- ۱۱- نگارش و تدوین طرح درس معلم را یاری می‌دهد تا نوع و مقدار تکالیف و سایر فعالیت‌های تکمیلی را از پیش تعیین کند.
- ۱۲- طرح درس موجب می‌شود که معلم فعالیت‌های ضروری آموزشی را به ترتیب و یکی پس از دیگری در مراحل و زمان‌های مشخص و به شیوه‌ای منطقی پیش ببرد و نتایج حاصل از آن را برای تدریس در مراحل بعدی آموزش مورد استفاده قرار دهد.

## مراحل مختلف تدوین طرح درس

تنظیم طرح درس در هر یک از انواع درازمدت، کوتاه مدت، طرح درس واحد و روزانه را می‌توان در شکل و قالب خاصی ارائه داد. هیچگاه شکل کاملاً استاندارد و یکنواختی را نمی‌توان برای طرح درس در نظر گرفت. به‌طور کلی در هر طرح درس، سوالات مختلفی مطرح می‌شود که پاسخ مناسب هر یک از آن‌ها مرحله‌ای از مراحل تدریس را دربر می‌گیرد. این سوالات عبارتند از:

- ۱- به چه منظوری می‌خواهم تدریس کنم؟ (القای هدف‌های درسی)
- ۲- به چه کسانی می‌خواهم تدریس کنم؟ (در نظر گرفتن پایه معلومات هنرجویان، اطلاعات یا پیش‌نیازها).

- ۳- چه موضوعی را می‌خواهم تدریس کنم؟ (موضوع درس)

- ۴- با چه وسایلی می‌خواهم تدریس کنم؟ (وسایل کمک آموزشی)
  - ۵- با چه روشی می‌خواهم تدریس کنم؟ (راهبردهای یاددهی - یادگیری)
  - ۶- در چه زمانی می‌خواهم تدریس کنم؟ (جدول زمان‌بندی)
  - ۷- آیا در کار تدریس خود موفق خواهم بود؟ (ارزشیابی از کلاس و روش تدریس)
- سپس براساس سوالات هفت‌گانه مذکور، مراحل مختلف تدوین طرح درس با هفت مرحله به شرح زیر شناسایی می‌شود:
- ۱- تعیین هدف درس
  - ۲- تعیین پیش‌نیازهای درس
  - ۳- تلفیق متن درس با پیش‌نیازها
  - ۴- تعیین مواد آموزشی و وسایل کمک آموزشی موردنیاز
  - ۵- انتخاب تکنیک تدریس از بین راهبردهای یاددهی - یادگیری
  - ۶- تنظیم جدول زمانی
  - ۷- تعیین شیوه ارزشیابی

### طرح درس سالانه (طرح کلی)<sup>۱</sup>

تفکر، تصمیم‌گیری و تنظیم طرح مناسب قبل از آموزش و تدریس، در وهله اول کل درس را در یک دوره و زمان مورد نظر دربر می‌گیرد. در این خصوص لازم است تصمیم‌گیری به صورت زمان‌بندی یک درس برای یک سال تحصیلی و یک دوره انجام شود و فراتر از زمان‌بندی، دیگر جنبه‌های طراحی برنامه را نیز شامل گردد، از قبیل روش‌ها و فعالیت‌های یادگیری، مواد و وسایل آموزشی، محیط و یا محل آموزش، در نظر گرفتن این موارد می‌توان برنامه را از استحکام و اثربخشی هرچه بیشتری برخوردار سازد. البته تصمیم‌گیری در مورد عناصر مورد اشاره برای طرح درس سالانه در حد کلی است و در طرح درس روزانه همین عناصر با جزئیات بیشتری مشخص می‌گردد.

برای زمان‌بندی درس در طول یک سال، یک نیمسال تحصیلی و یا طی یک دوره آموزشی، معمولاً حجم محتوای کتاب و تعداد صفحات در نظر گرفته می‌شود. در این صورت اقدام زیر لازم است:

- مشخص ساختن تعداد جلسات و یا ساعاتی که در طول سال تحصیلی، نیمسال و یا دوره آموزشی، برای آموزش درس در نظر گرفته شده است و کسر جلسات (ساعات) تعطیل رسمی با استفاده از تقویم و در نظر گرفتن ساعات واقعی.

۱- رجوع شود به جدول شماره ۱ صفحه ۸

- تصمیم‌گیری در مورد اختصاص دادن مقدار زمان به حجم مشخصی از درس و یا تعداد صفحات مشخص کتاب درسی، در این صورت لازم است اهمیت مطالب و میزان پیچیدگی و یا ساده بودن آن نیز مورد نظر قرار گیرد.

علاوه بر مطالب فوق، در تخصیص زمان لازم برای آموزش درس، لازم است دیگر نکات زیر را نیز در نظر گرفت:

- توجه به روش مورد استفاده در تدریس: کاربرد برخی از روش‌های فعال از قبیل روش حل مسأله، اکتشافی و بحث گروهی، به‌ویژه گردش علمی، در مقایسه با روش سخنرانی وقت بیشتری می‌طلبد.

- آموزش اثربخشی که جنبه‌های مختلف یادگیری را مورد توجه قرار می‌دهد و به رشد واقعی نظر دارد، به‌جای محور قرار دادن کتاب و صفحات کتاب اساس تصمیم‌گیری را بر هدف‌های آموزشی قرار می‌دهد. در این صورت لازم است تخصیص زمان برحسب هریک از هدف‌ها و مدت زمان لازم برای دستیابی به هر هدف انجام شود.

به‌طور کلی یک طرح درس سالانه با در نظر گرفتن مراحل و نکات زیر تهیه می‌شود:

**مرحله ۱- نوشتن هدف کلی از تدریس آن ماده درسی:** این هدف را با توجه به محتوای کلی درس و با رعایت نکاتی که در مباحث تدوین هدف‌ها و همچنین الگوی طراحی آموزشی مطرح شده است می‌نویسیم.

**مرحله ۲- تهیه تقویم طرح کلی:** این تقویم برای یک سال تحصیلی با محاسبه تعداد هفته‌ها، روزها و ساعاتی که در طول سال تحصیلی برای تدریس در برنامه هفتگی وجود دارد تهیه می‌شود.

**مرحله ۳- تقسیم محتوای درسی:** برای تقسیم محتوای درسی قدم اول تعیین سه دوره سه ماهه با احتساب فرصت لازم برای دوره کردن دروس و جبران عقب ماندن از برنامه به دلیل تعطیلات غیرقابل پیش‌بینی است و قدم دوم تقسیم محتوای فصل‌ها و مباحث و دیگر فعالیت‌ها به واحدهای کوچکتر درسی یا محتوای متناسب با تک‌تک جلسات می‌باشد.

**مرحله ۴- هماهنگی هدف و سایر فعالیت‌های طرح کلی:** در آخرین مرحله از تنظیم طرح کلی، باید موضوعی را که برای تدریس در هر جلسه درس در نظر گرفته شده است تعیین و هدف کلی از تدوین آن موضوع را مشخص کرد و با سایر فعالیت‌های لازم و قابل پیش‌بینی در آن جلسه هماهنگ کنیم.

**مزایای تنظیم طرح درس سالانه (طرح کلی)**

یک مزیت این نوع طرح درس این است که معلم می‌تواند به‌صورت کامل‌تری تصمیمات مربوط به هر جلسه را با جلسات دیگر هماهنگ سازد. مثلاً اگر او به اهمیت روش‌های فعال، از جمله بحث گروهی و گردش علمی معتقد است، طرح دوره آموزشی یا سالانه خود را طوری در نظر می‌گیرد که علیرغم وجود محدودیت‌های زمانی و محدودیت شرایط و امکانات، لاقلاً چند جلسه در طی یکسال یا یک دوره از روش‌های فعال استفاده کند. همچنین اگر تنوع در مواد، وسایل و رسانه‌های مختلف را ضروری می‌داند لاقلاً چند جلسه از تدریس خود را با رسانه‌های متنوع، به‌ویژه رسانه‌های دیداری و شنیداری همراه سازد. تنظیم طرح درس سالیانه، به صورتی که حتی‌الامکان تمامی عناصر اصلی برنامه درسی را برداشته باشد باعث می‌شود که همه آن‌چه ضروری است، در چهارچوب امکانات، مورد توجه قرار گیرد و چنین تصمیم‌گیری قبل از آغاز دوره گرفته می‌شود نه در طول آن.

از مزیت‌های دیگر این نوع طرح درس می‌توان به دو مورد زیر اشاره کرد:

- پیش‌بینی شرایط و امکانات لازم، جهت اجرای روش‌های فعال، از قبیل بحث گروهی و گردش علمی همچنین تمهیدات لازم و هماهنگی با مسئولین ذیربط قبل از آغاز سال تحصیلی و دوره آموزشی.

- درخواست مواد و وسایل آموزشی از جمله رسانه‌های دیداری، شنیداری، طی جدول زمان بندی شده در آغاز سال تحصیلی که در این صورت، امکان هماهنگی در تهیه مواد و وسایل و همچنین امکان هماهنگی به منظور استفاده سایر همکاران مرکز از وسایل نیز افزایش می‌یابد.

## طرح درس روزانه<sup>۱</sup>

طرح درس روزانه شامل مجموعه فعالیت‌ها و برنامه‌هایی است که معلم از پیش برای رسیدن به یک یا چند هدف آموزشی ویژه برای یک درس یا یک جلسه درس سازمان می‌دهد.

طرح درس روزانه موجب می‌شود که معلم فعالیت‌های ضروری آموزشی را به ترتیب و یکی پس از دیگری در مراحل و زمان‌های مشخص و به شیوه‌های منطقی پیش ببرد و نتایج حاصل از آن را برای تدریس در مراحل بعدی آموزش مورد استفاده قرار دهد. در واقع این عمل، اعمال ارزیابی دائمی فعالیت‌های آموزشی را دربرخواهد داشت که نتیجه آن بهبود مستمر کیفیت آموزشی است.

## روش تهیه طرح درس روزانه

به‌طور کلی برای تهیه یک طرح درس روزانه مراحل و نکات زیر را به ترتیب دنبال می‌کنیم.

۱- جدول شماره ۲ صفحه ۹

هریک از مراحل و قدم‌های تهیه طرح درس باید متناسب، هماهنگ، همراه و در ارتباط با دیگر مراحل و فعالیت‌ها تهیه و تنظیم شود.

**۱- تعیین موضوع درس:** ابتدا باید موضوع درس به روشنی در بالای صفحه کاربرد طرح درس نوشته شود.

**۲- مشخص کردن هدف کلی درس:** این هدف را می‌توان با توجه به موضوع و محتوای درس مورد نظر تعیین کرد.

**مثال:** مواد معدنی چیست؟ با مطالعه محتوای آن می‌توان هدف کلی زیر را نوشت:

**هدف کلی:** آشنا شدن هنرجویان با موادمعدنی و چگونگی تشکیل آن‌ها.

**۳- نوشتن رئوس مطالب و مفاهیم به عنوان راهنمای تهیه هدف‌های جزئی**

**۴- تهیه هدف‌های جزئی تر درس برای رسیدن به هدف‌های کلی:** منظور مهارت‌ها و توانایی‌هایی است که انتظار داریم دانش‌آموزان در جریان آموزش به آن‌ها برسند.

**۵- بررسی رفتار ورودی و دانسته‌های قبلی دانش‌آموزان**

**۶- تهیه آزمون مناسب برای ارزشیابی تشخیصی و اجرای آن به منظور تعیین توانایی‌های واقعی هنرجویان در ارتباط با آن‌چه آموخته‌اند، باید بیاموزند و تعیین نقطه شروع آموزش براساس رفتار ورودی و توانایی‌های بعدی آنان.**

**۷- تعیین درصدی یا عملکردی نتایج ارزشیابی تشخیصی:** با استخراج نتایج ارزشیابی تشخیصی با توجه به مطالبی که هنرجویان بعداً باید بیاموزند می‌توان تصمیم‌گیری کرد و اقدام لازم در تهیه هدف‌های رفتاری مناسب را به عمل آورد.

**۸- تهیه هدف‌های رفتاری:** این اهداف را با توجه به ضوابط و شرایط اساسی و متناسب با سطوح مختلف حیطه‌های یادگیری نوشته آن‌ها را از ساده به مشکل و برای رسیدن به هدف‌های کلی تر و کلان آموزشی تنظیم می‌کنیم.

**۹- تعیین مراحل تدریس و انتخاب و تنظیم محتوای درس:** در این مورد مراحل مختلف تدریس و قدم به قدم همراه با مطالب و محتوای هر یک از قدم‌ها می‌نویسیم. این قسمت دربرگیرنده مراحل کلی زیر است:

**قدم اول:** آمادگی و ایجاد انگیزه و بررسی تکالیف گذشته هنرجویان

**قدم دوم:** معرفی دقیق موضوع درس و بیان هدف‌های آموزشی

**قدم سوم:** ارائه مطالب با توجه به روش‌ها و فعالیت‌های پیش‌بینی شده

**قدم چهارم:** خلاصه کردن درس، نتیجه‌گیری و کاربرد آن

**قدم پنجم:** ارزشیابی بعد از تدریس

**قدم ششم:** تعیین تکالیف و فعالیت‌های فردی یا جمعی هنرجویان و اختتام درس

**۱۰- تعیین روش‌های تدریس:** برای رسیدن به هر یک از هدف‌های رفتاری و آموزشی تعیین شده در ارائه مطالب باید روش‌ها و فنون خاص آن را پیش بینی کرده و به کار بست، لذا با استفاده از آنچه تاکنون در مورد روش‌ها و راهبردهای یاددهی – یادگیری آگاهی پیدا کرده‌اید، متناسب با هدف‌های هر قسمت و نوع مطلب و بحث، روشی را که راه وصول به هدف‌ها را تدریس برای شما آسان می‌کند انتخاب کنید.

**۱۱- انتخاب مواد آموزشی مناسب**

**۱۲- مشخص کردن فعالیت‌های دانش‌آموزان:** پیش‌بینی فعالیت‌ها و تلاش‌های یادگیرنده در موقعیت تدریس و در مقابل فعالیت‌های معلم، برای درک و یادگیری بیشتر است و هرچه بیشتر بر این فعالیت‌ها تأکید شود، نتایج بهتری خواهیم یافت.

**۱۳- تعیین فرصت‌های لازم برای تدریس**

**۱۴- تعیین نظام و نحوه ارزشیابی:** برای کسب آگاهی از نتایج فعالیت‌های آموزشی خود براساس هدف‌های تعیین شده ابتدا نحوه و نوع ارزشیابی را مشخص کنید و سپس به تنظیم سوالات و دیگر فعالیت‌های مربوط به ارزشیابی بپردازید.

جدول شماره ۱

طرح کلی و سالانه درس ..... در سه ماهه اول

سال تحصیلی ۱۳	کلاس: :	درس: :	طرح کلی درس (طرح سالانه)				
			فصلها	روز و تاریخ برنامه	هفتهها	ماهها	
فعالیت‌های دیگر و مواد لازم	هدف‌های کلی درس	موضوعات و عنوان‌های دروس			۱- جلسه اول	اول	
					۲- جلسه دوم		
					۱- جلسه اول	دوم	
					۲- جلسه دوم		
					۱- جلسه اول	سوم	
					۲- جلسه دوم		
					۱- جلسه اول	چهارم	
					۲- جلسه دوم		



جدول شماره ۲  
طرح درس روزانه

کلاس: _____ موضوع درس: _____ مدت جلسه: _____ تاریخ: _____ هدف کلی درس: _____ تهیه کننده: _____					
رئوس مطالب و مفاهیم درس	هدف‌های جزئی	رفتار ورودی دانش آموزان	ارزشیابی تشخیصی	نتیجه	هدف‌های رفتاری
مراحل تدریس و انتخاب یا تنظیم محتوا	روش‌های تدریس	مواد آموزشی لازم	فعالیت‌های دانش آموزان	فرصت لازم	نحوه ارزشیابی

## حوزه شناختی<sup>۱</sup>

یکی از طبقه‌بندی‌های معروف هدف‌های آموزشی دربرگیرنده سه حوزه یا حیطه به نام‌های شناختی<sup>۲</sup>، عاطفی<sup>۳</sup>، روانی - حرکتی<sup>۴</sup> است. بلوم<sup>۵</sup>، انگلهارت<sup>۶</sup>، فرست<sup>۷</sup>، هیل<sup>۸</sup>، و کراتول (۱۹۵۶)، ترجمه سیف و علی‌آبادی، (۱۳۶۸) این طبقه‌بندی حوزه‌های سه‌گانه را به‌وجود آورده و برای حوزه شناختی یک طبقه‌بندی تهیه کرده‌اند. در زیر هم طبقه‌بندی حوزه شناختی و هم طبقه‌بندی‌های دو حوزه دیگر را توضیح می‌دهیم.

### طبقه‌بندی حوزه شناختی

طبقه‌بندی حوزه شناختی به جریان‌هایی که با شناخت و اندیشه انسان سروکار دارند مربوط است. این حوزه از شش طبقه اصلی به شرح زیر درست شده است.

۱- دانش<sup>۹</sup> یادآوری امور جزئی و کلی، روش‌ها و فرایندها، الگوها، ساخت‌ها، یا موقعیت‌ها، این طبقه شامل حفظ و نگهداری موضوع‌های قبلاً آموخته شده است.

هدف نمونه: یادگیرنده بتواند انواع آزمون‌های عینی مورد استفاده معلم را در سنجش پیشرفت تحصیلی دانش‌آموزان و دانشجویان از حفظ نام ببرد.

۲- فهمیدن<sup>۱۰</sup> درک مطلب آموخته شده، فهمیدن یک مرحله بالاتر از دانش است، زیرا در طبقه دانش فقط از یادگیرنده خواسته می‌شود تا مطالبی را که خوانده یا شنیده است، بدون تغییر زیاد، به یاد آورد. اما در طبقه فهمیدن، علاوه بر حفظ مطالب، باید آن‌ها را بفهمد.

هدف نمونه: یادگیرنده بتواند با ذکر مثال مفهوم همبستگی مثبت و منفی بین دو متغیر را توضیح دهد.

۳- کار بستن<sup>۱۱</sup> استفاده از مطالب انتزاعی (اندیشه‌های کلی، قواعد اجرایی، روش‌های کلی) در موقعیت‌های ویژه و عینی، اصطلاح معمول آموزشی برای این طبقه حل مسئله است.

هدف نمونه: یادگیرنده بتواند با استفاده از اصول علم تغذیه که در آموزشگاه یاد گرفته است

۱- سنجش فرایند و فرآورده یادگیری، دکتر علی‌اکبر سیف، نشر دوران ۱۳۸۷

۲ - cognitive

۳ - affective

۴ - psychomotor

۵ - bloom

۶ - englehart

۷ - furst

۸ - hill

۹ - knowledge

۱۰ - comorehension

۱۱ - application

یک رژیم غذایی مناسب برای خودش تهیه نماید.

۴- تحلیل<sup>۱</sup> شکستن یک موضوع به اجزای تشکیل دهنده آن. این طبقه شامل یافتن عناصر و ارتباط میان عناصر یک کل پیچیده، مانند یک نظریه علمی، یک مقاله تحقیقی، یک داستان یا یک فیلم است.

هدف نمونه: یادگیرنده بتواند علت‌های رفتار قابل پیش‌بینی شخصیت مهم یک داستان یا یک فیلم را توضیح دهد.

۵- ترکیب<sup>۲</sup> پهلوی هم گذاشتن عناصر و اجزا برای ایجاد یک اثر یا یک فرآورده تازه. ترکیب همان خلاقیت یا آفرینندگی است.

هدف نمونه: یادگیرنده بتواند برای یک موقعیت جدید آموزشی یک طرح درس ابتکاری بنویسد.

۶- ارزشیابی<sup>۳</sup> داوری یا قضاوت درباره ارزش یا اعتبار موضوع‌های مختلف، اصطلاح دیگر مورد استفاده برای این طبقه تفکر انتقادی<sup>۴</sup> است. منظور از تفکر انتقادی این است که دانش‌آموز یا دانشجو یاد بگیرد که گفته‌ها، شنیده‌ها، و دیده‌ها را صرفاً با توجه به اعتبار ظاهری آن‌ها نپذیرد، بلکه پس از تفکر دقیق و تیزبینانه و واریسی درستی و نادرستی آن‌ها تصمیم بگیرد که آن‌ها را بپذیرد یا رد کند.

هدف نمونه: یادگیرنده بتواند پس از شنیدن بیانات یک شخص یا خواندن یک مقاله دلایل غیرمنطقی و سفسطه‌آمیز و نتیجه‌گیری نامربوط آن را مشخص کند.

ویژگی مهم طبقه‌های حوزه شناختی این است که به صورت سلسله‌مراتبی درست شده و هدف‌های آن بنابه اصل پیچیدگی سازمان یافته‌اند. یعنی هدف‌های طبقه دانش در پایین‌ترین سطح واقع‌اند، بعد از آن هدف‌های طبقه فهمیدن، و بالاتر از همه هدف‌های طبقه ارزشیابی قرار دارند.

---

۱ - analysis

۲ - synthesis

۳ - evaluation

۴ - critical thinling

## مقدمه

کتاب راهنمای معلم از جمله مؤلفه‌های مهم در بسته آموزشی است که در پیشبرد و ارتقای اهداف برنامه درسی نقش به‌سزایی ایفا می‌کند؛ از این‌رو، در نظام‌های آموزشی به عنوان راهنما عملی معلمان در کلاس درس دارای اهمیت ویژه‌ای است.

کتاب راهنمای معلم (روش تدریس) درس اصول متالورژی ریخته‌گری براساس برنامه درسی دوره متوسطه شاخه فنی و حرفه‌ای و به منظور آشنا ساختن هنرآموزان با رویکرد و اهداف، محتوا و شیوه‌های آموزشی طراحی و تدوین شده است.

در شروع هر فصل سعی شده است ابتدا هدف‌ها و مفاهیم کلی و اساسی آن فصل آورده شود. همچنین پس از آن، انتظارات آموزشی در حیطه‌های یادگیری مختلف شامل سطح‌های بازشناسی و یادآوری، درک و فهم، کاربرد معلومات، تجزیه و تحلیل، ترکیب و نوآوری و ارزشیابی آورده شده است. البته لازم به ذکر است که موارد ذکر شده در سطوح یادگیری را نباید به عنوان سوال برای هنرجویان مطرح نمود.

این کتاب در پنج فصل و سی جلسه تنظیم شده است و هر جلسه با دو عدد AB مشخص شده است که عدد سمت چپ نشان‌دهنده شماره فصل و عدد سمت راست نشان‌دهنده جلسه می‌باشد. مثلاً ۱۶-۳ نشانگر فصل سوم، جلسه شانزدهم است.

برای شروع مطالب هر فصل، ابتدا باید تعداد جلسات و زمان تدریس مشخص گردد و هر جلسه نیز باید شامل مراحل زیر باشد:

۱- حضور و غیاب

۲- پیش‌آزمون (به‌صورت پرسش و پاسخ، امتحان کوتاه و غیره) جهت مشخص نمودن سطح

علمی هنرجویان

۳- بررسی تکالیف انجام شده و رفع اشکال‌ها

۴- یادآوری مطالب درس جلسه‌های قبل و ارتباط آن با شروع هر جلسه

۵- مشخص نمودن موضوع بحث هر جلسه

۶- شروع موضوع با مثال‌های مختلف همراه بوده و نتیجه‌گیری و ارزشیابی در پایان جلسه و

اختصاص یک جلسه به ارزشیابی از کل فصل تدریس شده در پایان هر فصل .

۷- ارائه نمونه سوال‌های امتحانی در پایان هر فصل.

۸- به هنرآموزان پیشنهاد می‌شود که هر جلسه درسی ۱۰۰ دقیقه‌ای شامل مراحل زیر

باشد:

الف) حضور و غیاب، پیش‌آزمون، نظارت بر انجام تکالیف و رفع اشکال.  
ب) یادآوری مطالب درس جلسه‌های قبل و ارتباط آن‌ها با موضوع جلسه، مشخص نمودن موضوع جلسه، شروع بحث با موضوع مشخص شده.  
ج) طرح سوال از درس داده شده در پایان جلسه توسط هنرآموز و رفع اشکال‌های احتمالی هنرجویان.  
در تألیف کتاب راهنمای تدریس اصول متالورژیکی ریخته‌گری، اهداف زیر در نظر گرفته شده است.

- ۱- آشنایی با اهداف کلی و جزئی هر درس به همراه تحلیل فصل‌های کتاب.
- ۲- رایجه راهکارها و پیشنهادها برای بهبود روش تدریس.
- ۳- افزایش توانایی علمی هنرآموزان در زمینه اصول متالورژیکی ریخته‌گری.
- ۴- استفاده از تجربه‌های مؤلفان و هنرآموزان مجرب جهت معرفی و انتخاب شیوه‌های تدریس.

در پایان، یادآوری می‌شود که روش تدریس رایجه شده در کتاب حاضر، به صورت پیشنهادی است و هنرآموزان محترم می‌توانند از روش‌های نوین دیگر نیز جهت بالا بردن کیفیت آموزشی بهره‌برند.

مؤلفان

### مشخصات حالت مایع

#### هدف

- ۱- آشنایی با حالت‌های سه‌گانه ماده
- ۲- آشنایی با خواص ماده
- ۳- آشنایی با خواص مایعات (گران‌روی (ویسکوزیته) کشش سطحی - فشار بخار - سیالیت)

#### مفاهیم کلی

- ۱- حالات سه‌گانه ماده
- ۲- ذوب و انجماد فلزهای خالص و آلیاژ
- ۳- تغییرات ایجاد شده در حالت ذوب و انجماد
- ۴- خواص مواد جامد و مایع
- ۵- خواص مذاب فلزات

#### مفاهیم اساسی

- ۱- اجسام از نظر فیزیکی به سه حالت جامد، مایع و گاز در طبیعت وجود دارند.
- ۲- اجسام جامد دارای شکل و حجم معینی هستند.
- ۳- مایعات حجم ثابت دارند، ولی شکل معینی ندارند و شکل ظرف را به خود می‌گیرند.
- ۴- گازها، دارای حجم و شکل ثابتی نیستند.
- ۵- کالری، مقدار حرارتی است که درجه حرارت یک گرم آب را به مقدار یک درجه سانتی‌گراد بالا ببرد.
- ۶- درجه حرارتی که در آن جسم جامد به مایع تبدیل می‌شود، نقطه ذوب جسم می‌نامند.
- ۷- کیلوکالری برابر هزار کالری می‌باشد.
- ۸ - BTU، مقدار حرارتی است که درجه حرارت یک پوند<sup>۱</sup> آب را به میزان یک درجه فارنهایت افزایش دهد.

<sup>۱</sup>- lb = ۴۵۳ gr

- ۹- درجه حرارتی که مایع به جامد تبدیل می‌شود، نقطه انجماد می‌نامند.
- ۱۰- مقدار حرارتی را که واحد جرم جسم خالص لازم دارد تا پس از رسیدن به درجه حرارت ذوب بدون تغییر دما به مایع تبدیل گردد، گرمای نهان ذوب یا نهان‌گداز می‌نامند.
- ۱۱- درجه حرارت اجسام خالص در هنگام ذوب ثابت است (نقطه ذوب) که به این درجه حرارت، نقطه ذوب می‌گویند.
- ۱۲- آلیاژ به مخلوطی از عناصر فلزی یا غیرفلزی در زمینه فلزی گفته می‌شود که دارای خواص فلزی (چکش‌خواری، جلائی فلزی و غیره) است.
- ۱۳- درجه حرارت آلیاژها، در هنگام ذوب شدن ثابت نیست و افزایش می‌یابد. آلیاژها نقطه ذوب مشخصی ندارند و ذوب در محدوده دمایی خاصی رخ می‌دهد.
- ۱۴- محدوده دمایی ذوب و انجماد آلیاژها را فاصله انجماد یا دامنه انجماد می‌نامند.
- ۱۵- مقدار حرارتی که دمای واحد جرم جسم را یک درجه سانتی‌گراد بالا ببرد، گرمای ویژه نامیده می‌شود.

۱۶- واحدهای گرمای ویژه عبارتند از:  $\text{BTU/Lb.}^\circ\text{F}$  ،  $\text{J/Kg.K}$  ،  $\text{Cal/g}^\circ\text{C}$

- ۱۷- معمولاً مواد در هنگام ذوب انبساط پیدا می‌کنند. به جز بیسموت، آنتیموان چدن خاکستری و یخ.

- ۱۸- فلزات مذاب در هنگام انجماد منقبض می‌شوند (به جز مذاب بیسموت).
- ۱۹- جرم واحد حجم را چگالی جسم می‌نامند.
- ۲۰- اجسام در حالت طبیعی گرمای خود را به محیط اطراف یا جسم دیگر منتقل می‌کنند.
- ۲۱- اجسامی که می‌توانند گرمای خود را به سایر قسمت‌ها و یا اجسام دیگر منتقل کنند، هادی نامیده می‌شوند.

- ۲۲- اجسامی که نمی‌توانند گرما را از خود انتقال دهند، عایق نامیده می‌شوند.
- ۲۳- رفتار انتقال حرارت اجسام نیمه‌هادی در حد فاصل اجسام عایق و هادی قرار می‌گیرند.
- ۲۴- اصطکاک درونی سیال را ویسکوزیته یا گرانروی می‌گویند.
- ۲۵- در یک لایه مایع، نسبت نیروی سطحی به طول مؤثر که نیرو در آن اثر می‌کند را کشش سطحی می‌نامند.

۲۶- واحد کشش سطحی، نیوتن بر متر ( $\text{N/m}$ ) می‌باشد.

- ۲۷- فشار بخار فلزات با نقطه ذوب پایین‌تر نسبت به سایر فلزات بیشتر است.
- ۲۸- قابلیت پر کردن تمام قسمت‌های قالب توسط آلیاژ مذاب، سیالیت نامیده می‌شوند.

۲۹- سیالیت یک عامل فیزیکی نیست، بلکه نشان‌دهنده کیفیت مذاب است و یک عامل ریخته‌گری است.

## انتظارات آموزشی

### الف) در سطح دانش

- ۱- حالات سه‌گانه ماده را نام ببرد.
- ۲- واحدهای حرارت را نام برده و تعریف کند.
- ۳- نقطه ذوب را تعریف کند.
- ۴- نقطه انجماد را تعریف کند.
- ۵- گرمای نهان ذوب را تعریف کند.
- ۶- گرمای نهان ویژه را تعریف کند و واحدهای آن را نام ببرد.
- ۷- انبساط حرارتی را تعریف کند.
- ۸- چگالی را تعریف کند.
- ۹- انتقال حرارت را تعریف کند و انواع آن را نام ببرد.
- ۱۰- گرانروی (ویسکوزیته) را تعریف کند.
- ۱۱- تنش سطحی در مایعات را تعریف کند.
- ۱۲- فشار بخار را تعریف کند.
- ۱۳- سیالیت را تعریف کند و عوامل مؤثر بر سیالیت را نام ببرد.

### ب) در سطح درک و فهم مطالب

- ۱- نحوه ذوب اجسام را توضیح دهد.
- ۲- تأثیر حرارت بر روی ساختار جامد و یا فلز را شرح دهد.
- ۳- منحنی ذوب و انجماد فلز خالص را شرح دهد.
- ۴- منحنی ذوب و انجماد آلیاژ را شرح دهد.
- ۵- نحوه ذوب آلیاژها را شرح دهد.
- ۶- تغییرات حجمی فلز خالص را هنگام ذوب توضیح دهد.
- ۷- تغییرات حجمی فلز مذاب را هنگام انجماد توضیح دهد.
- ۸- تأثیر فشار بر روی نقطه ذوب اجسام را توضیح دهد.
- ۹- عوامل مؤثر بر سیالیت مذاب را توضیح دهد.



۱۰- روش‌های تعیین میزان سیالیت مذاب را توضیح دهد.

### ج) در سطح کاربرد معلومات

۱- نحوه انتقال حرارت در کوره را توضیح دهد.

۲- رفتار فلز خالص را در حین تبخیر توضیح دهد.

۳- رفتار آلیاژ را در حین تبخیر توضیح دهد.

### د) در سطح تجزیه و تحلیل

۱- نحوه ذوب و انجماد فلزات خالص و آلیاژها را با یکدیگر با ذکر علت مقایسه کند.

۲- عوامل مؤثر در سیالیت فلز مذاب را مورد بررسی قرار دهد.

۳- تغییرات ابعادی در هنگام ذوب و انجماد را بررسی کند.

### ه) در سطح ترکیب و نوآوری

۱- رفتار فلزات را هنگام انجماد و ذوب مورد بررسی قرار دهد.

۲- سیالیت مذاب را در دو قالب فلزی و ماسه‌ای مورد بررسی قرار دهد.

### و) سطح ارزشیابی

۱- رفتار فلز مذاب را از نظر سیالیت در قالب‌های با جنس مختلف مقایسه کند.

۲- انواع روش‌های انتقال حرارت در کوره‌ها را مورد بررسی قرار دهد.

زمان پیش‌بینی شده برای تدریس این فصل، ۳ جلسه ۱۰۰ دقیقه‌ای برای تدریس و ۱ جلسه

۱۰۰ دقیقه‌ای برای ارزشیابی است.

- ۱- معرفی هنرآموز به هنرجویان
- ۲- حضور و غیاب هنرجویان توسط هنرآموز محترم و آشنایی با آنها
- ۳- معرفی اجمالی اهداف کتاب و فصل‌های آن و روند تدریس توسط هنرآموز
- ۴- بیان نحوه ارزشیابی در طی جلسات درسی (روزانه، هفتگی، ماهانه، میانی و پایانی) توسط هنرآموز

### موضوع:

#### - حالات سه‌گانه ماده

#### - نقطه ذوب و گرمای نهان ذوب

#### - گرمای ویژه

برای شروع درس، بهتر است روش تعاملی بین هنرجویان و هنرآموز مورد استفاده قرار گیرد و خود هنرجویان در موضوعات جلسه درسی مشارکت داشته باشند. این کار ضمن آمادگی هنرجویان از لحاظ ذهنی موجب درک بهتر مطالب تخصصی می‌شود. بنابراین در ابتدای جلسه درس، سوالاتی توسط هنرآموز مطرح و به صورت تعاملی با هنرجویان بحث شود. به عنوان مثال:

۱- اجسام از نظر فیزیکی به چند حالت وجود دارند؟

۲- یخ در چه دمایی ذوب می‌شود؟

۳- آیا در هنگام ذوب یخ دمای آن ثابت است؟

۴- آیا یخ در هنگام ذوب به حرارت نیاز دارد؟ آیا این حرارت صرف افزایش درجه حرارت یخ می‌شود؟

۵- مفهوم نقطه ذوب چیست؟

۶- گرمای نهان ذوب و گرمای ویژه را بیان کنید.

پس از شنیدن جواب هنرجویان و مشخص شدن سطح علمی کلاس، با پاسخ به سوالات فوق، وارد بحث موضوع این جلسه شوید.

#### ۱-۱- حالات سه‌گانه ماده

مواد در طبیعت به سه حالت جامد، مایع و گاز وجود دارد.

**مواد جامد:** این مواد در دمای محیط دارای شکل و حجم ثابتی هستند، نمونه این مواد عبارت است از

سنگ، چوب، شیشه، فلزات.

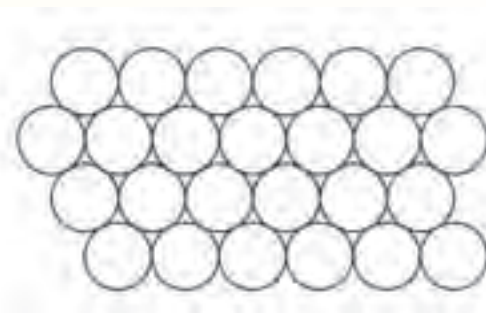
**مواد مایع:** این مواد در دمای محیط دارای حجم ثابت می‌باشند ولی شکل معینی ندارند و شکل آن به ظرف بستگی دارد، نمونه‌هایی از این مواد عبارتند از: آب، نفت، روغن.

**مواد گازی:** این مواد در دمای محیط شکل و حجم معینی ندارند، نمونه‌هایی از این مواد عبارتند از: اکسیژن و نیتروژن.

حال به‌طور خلاصه راجع به علت خواص هر کدام از مواد جامد، مایع و گاز بحث می‌شود.

در مورد جامدات که شکل و حجم ثابت دارند، دامنه ارتعاشات و جابه‌جایی اتم‌ها بسیار ناچیز است و از حد معینی افزایش نمی‌یابد. بنابراین در جامدات، اتم‌ها به‌طور کامل باهم در ارتباط هستند. مواد جامد معمولاً دارای پایداری و استحکام بالایی هستند به‌طوری که برای لغزاندن اتم‌های آن بر روی یکدیگر، نیروی بسیار زیادی لازم است و ممکن است این نیرو سبب تغییر شکل در ماده جامد شود.

جامدات از نظر شکل ظاهری و ساختمان داخلی به دو دسته تقسیم می‌شوند؛ جامد متبلور یا کریستالی، جامد غیرمتبلور یا آمورف در جامد آمورف اتم‌ها دارای نظم مشخص و خاصی نمی‌باشند و در تمام جهات خواص آن‌ها یکسان است. در جامد کریستالی، اتم‌ها دارای نظم خاصی بوده و برای خارج کردن آن‌ها از محل خود احتیاج به نیروی زیادی می‌باشد.



شکل ۱-۱- اتم‌های مواد جامد

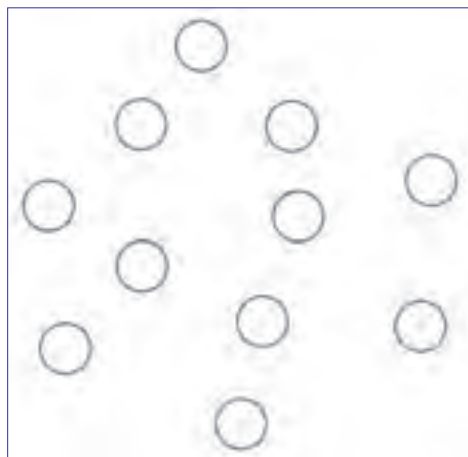
**مواد مایع:** در این نوع مواد، اتم‌ها به راحتی و با صرف انرژی بسیار کم بر روی هم می‌لغزند تا شکل ظرف را به خود بگیرند. معمولاً انرژی لازم برای لغزاندن اتم‌ها در حالت جامد  $10^{20}$  برابر انرژی لازم برای لغزاندن اتم‌ها در حالت مایع است. در حالت مایع، فاصله اتم‌ها (مولکول‌ها) بیشتر از حالت جامد می‌باشد. در این حالت نیروی جاذبه بین اتم‌ها از جامدات بسیار کم‌تر است به‌طوری که از خود شکل خاصی نداشته و معمولاً شکل ظرف را به خود می‌گیرند.

اگر مایعات تحت فشار قرار گیرند، فاصله بین اتم‌ها کم نخواهد شد، به عبارت دیگر متراکم نمی‌شوند و نیروی وارد بر سطح مایع را به تمام دیواره‌های ظرف حاوی مایع منتقل می‌کند. بنابراین مایعات تراکم‌پذیر نیستند.



شکل ۱-۲- اتم‌های موجود در یک ظرف

**مواد گازی:** در این نوع مواد، ارتباط بین اتم‌های گازی بسیار کم است، به طوری که نیروی جاذبه بین اتم‌ها بسیار ناچیز است و به راحتی از یکدیگر فاصله می‌گیرند. به همین دلیل، شکل و حجم خاصی ندارند و اگر تحت فشار قرار گیرند، فاصله بین اتم‌ها کاهش یافته و به هم نزدیک می‌شوند؛ به عبارت دیگر، متراکم می‌شوند. گازها در هر ظرفی که وارد می‌شوند، در تمام حجم ظرف پخش می‌شوند. این مطلب را می‌توان با یک مثال مشخصی نمود؛ اگر گاز معطری در یک اتاق رها شود در مدت بسیار کمی بوی آن در تمام اتاق حس می‌شود.



شکل ۱-۳- اتم‌های گاز موجود در یک محفظه

با توجه به مطالب ذکر شده، مشخص می‌شود که ارتعاشات اتم‌ها در جامدات و مایعات نسبتاً کم می‌باشد، اما نحوه قرار گرفتن آن‌ها متفاوت است. خواص فیزیکی جامدات و مایعات تا حدودی با یکدیگر تشابه دارد. ولی از آن‌جا که در گازها حرکت اتم‌ها زیاد و محل قرار گرفتن آن‌ها نامشخص است، خواص آن‌ها نسبت به جامدات و مایعات بسیار متفاوت است.

معمولاً سه حالت جامد، مایع و گاز قابل تبدیل به یکدیگر هستند به عنوان مثال جامد به مایع، مایع به گاز، گاز به مایع و مایع به جامد. برای تبدیل جامد به مایع و مایع به گاز نیاز به صرف انرژی می‌باشد، این انرژی معمولاً از نوع حرارتی است. مثلاً در فلزات برای تبدیل فلز از حالت جامد به مایع، از حرارت دادن استفاده می‌شود و برای

تبدیل مذاب فلز به جامد، از سرد کردن (خارج کردن انرژی حرارتی) استفاده می‌شود. بنابراین در ذوب و انجماد فلزات، حرارت مهم‌ترین عامل فیزیکی است، حرارت نوعی از انرژی است که قابل لمس نمی‌باشد و نمی‌توان برای آن مانند کمیت‌های فیزیکی دیگر (طول، جرم و ...) واحدی تهیه نمود و در موزه قرار داد.

به‌طور کلی می‌توان گفت واحد گرما، مقدار گرمایی است که درجه حرارت (دما) جسم یا یک سیستم را یک واحد تغییر دهد. گرما در علم ترمودینامیک که به روابط بین کار و گرما می‌پردازد، مطالعه می‌شود. واحدهایی که معمولاً در صنعت استفاده می‌شوند، عبارتند از: کالری، کیلوکالری، BTU و ژول.

**تعریف کالری:** مقدار است که دمای یک گرم آب را به میزان یک درجه سلسیوس افزایش می‌دهد. به عبارت دیگر دمای آن را از  $14/5$  به  $15/5$  درجه سلسیوس برساند. کالری معمولاً با نماد Cal نمایش داده می‌شود. همان‌طور که می‌دانیم، هر کیلو برابر با ۱۰۰۰ واحد است. بنابراین یک کیلوکالری برابر ۱۰۰۰ کالری است.

**تعریف BTU:** BTU واحدی است که برای نشان دادن مقدار گرما در سیستم بریتانیایی استفاده می‌شود و به‌صورت زیر تعریف می‌شود.

مقدار حرارتی است که دمای یک پوند آب (معادل ۴۵۳ گرم) را به میزان یک درجه فارنهایت (واحد درجه حرارت در سیستم بریتانیایی،  $^{\circ}F$ ) افزایش می‌دهد.

واحد دیگر گرما در سیستم SI، ژول (J) می‌باشد که برابر  $\frac{1}{4/189}$  کالری می‌باشد. به عبارت دیگر هر کالری، برابر  $4/189$  ژول می‌باشد.

## ۱-۲- نقطه ذوب و گرمای نهان‌گداز

همان‌طور که می‌دانیم در جامدات، اتم‌ها در محل‌های مشخصی قرار می‌گیرند و مقدار ارتعاشات اتم‌ها بسیار کم است. به‌طوری که اتم‌ها نمی‌توانند به‌طور آزادانه حرکت کنند.

حال اگر یک جسم جامد (فلز) حرارت داده شود، این گرما سبب می‌شود که انرژی اتم‌ها افزایش یابد و در نتیجه ارتعاشات اتم‌ها بیشتر شود. در اثر افزایش ارتعاشات، فاصله بین اتم‌ها کمی افزایش می‌یابد، در صورتی که درجه حرارت جسم با افزایش حرارت، زیاد شود، ارتعاشات اتم‌ها به حدی افزایش می‌یابد که فاصله بین اتم‌ها در حالت جامد به بیشترین مقدار خود برسد که به آن، حد نهایی ارتعاشات و فاصله اتمی در حالت جامد گفته می‌شود.

در صورتی که حرارت بیشتر شود، ارتعاشات و فاصله اتم‌ها به حدی افزایش می‌یابد که اتم‌ها از محل خود در حالت جامد خارج شده و به شکل اتم‌ها در حالت مایع درمی‌آیند. در این صورت، جامد به مایع تبدیل می‌شود. دمایی را که ساختمان حالت جامد به حالت مایع تبدیل می‌شود نقطه ذوب می‌نامند.

نقطه ذوب عناصر در فشار اتمسفر مقدار ثابتی است که در جدول ۱-۱ برخی از آن‌ها آورده شده است.

جدول ۱-۱- نقطه ذوب برخی از عناصر صنعتی (درجه سانتی‌گراد)

نقطه ذوب	نماد شیمیایی	نام عنصر	نقطه ذوب	نماد شیمیایی	نام عنصر
۹۷/۵	Na	سدیم	۶۶۰	Al	آلومینیوم
۳۲۷	Pb	سرب	۶۳۰	Sb	آنتیموان
۲۱۷	Se	سلنیوم	۱۵۳۹	Fe	آهن
۱۴۱۰	Si	سیلیسیم	۱۵۴۰	Sr	استرانسیم
۱۰۶۳	Au	طلا	۱۱۳۲	U	اورانیوم
۲۳۲	Sn	قلع	۲۴۵۵	Ir	ایریدیم
۳۲۱	Cd	کادمیوم	۱۵۶	In	ایندیوم
۱۴۹۵	Co	کبالت	۷۱۴	Ba	باریم
۳۷۰۰	C	کربن	(۲۱۰۰)	B	بر
۱۸۷۵	Cr	کرم	۱۲۷۷	Be	برلیوم
۸۳۹	Ca	کلسیم	۲۷۱	Bi	بیسموت
۳۰	Ga	گالیوم	۶۳/۷	K	پتاسیم
۱۸۰	Li	لیتیوم	۱۷۶۹	Pt	پلاتین
۱۰۸۳	Cu	مس	۲۵۰	Pu	پلونیوم
۱۲۴۵	Mn	منگنز	۳۴۱۰	W	تنگستن
۶۵۱	Mg	منیزیم	۱۷۵۰	Th	توریم
۲۶۱۰	Mo	مولیبدن	۱۶۷۰	Ti	تیتانیوم
۹۶۰	Ag	نقره	(-۳۹)	Hg	جیوه
۱۴۵۳	Ni	نیکل	۷۰۰	Ra	رادیوم
۲۴۷۰	Nb	نیوبیوم	۴۱۹	Zn	روی
۱۸۶۰	V	وانادیم	۱۸۵۲	Zr	زیرکنیوم
			۹۳۷	Ge	ژرمنیوم

ادامه یافتن عملیات ذوب نیاز به صرف انرژی حرارتی دارد. در حقیقت، این انرژی باید به حدی باشد که بتواند اتم‌های موجود در حالت جامد را از یکدیگر به اندازه کافی دور کند تا ساختمان جامد به مایع تبدیل شود. این انرژی حرارتی را که صرف تبدیل حالت جامد به مایع می‌شود گرمای نهان ذوب یا گرمای نهان‌گداز می‌نامند. به‌طور کلی می‌توان گفت، گرمای نهان‌گداز (ذوب) مقدار گرمایی است که به واحد جرم جسم یا فلز خالص در نقطه ذوب داده می‌شود تا بدون تغییر دما، به مایع تبدیل شود.

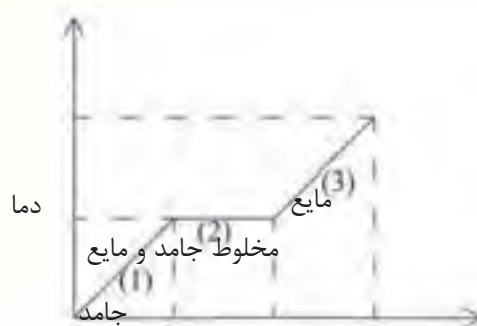
عکس این مطلب نیز صادق است به‌طوری که مایع پس از رسیدن به درجه حرارت انجماد، مقداری گرما را از دست می‌دهد تا بدون تغییر دما از حالت مایع به جامد تبدیل شود. این گرما، گرمای نهان انجماد نامیده می‌شود.

شود به طور کلی منحنی دما بر حسب زمان یا مقدار گرما را برای ذوب یا انجماد یک فلز خالص به صورت زیر رسم می شود.



شکل ۱-۴- منحنی ذوب و انجماد فلز خالص

- منحنی ذوب از سه ناحیه تشکیل شده است، که به شرح زیر می باشند.



شکل ۱-۵- زمان

**ناحیه ۱:** در این ناحیه افزایش گرما و زمان سبب بالا رفتن دمای جسم تا نقطه ذوب می شود.

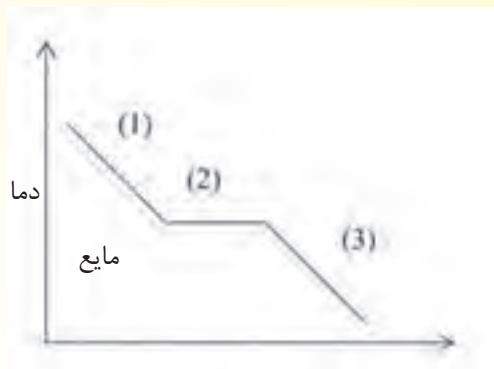
**ناحیه ۲:** همان طوری که در نمودار مشاهده می شود، با افزایش زمان، دما ثابت باقی می ماند و گرما صرف

ذوب شدن جسم جامد می شود.

**ناحیه ۳:** در ابتدای این ناحیه جسم جامد کاملاً به مایع تبدیل شده است که با گذشت زمان و افزایش

گرما دمای جسم مایع افزایش می یابد.

- منحنی انجماد (فلز خالص) جسم جامد نیز از سه ناحیه مطابق شکل زیر تشکیل شده است:



شکل ۱-۶  
زمان

**ناحیه ۱:** در این ناحیه جسم (فلز خالص) کاملاً به صورت مذاب می‌باشد که با از دست دادن گرما، دمای آن، با افزایش زمان کاهش می‌یابد (ناحیه مایع)

**ناحیه ۲:** در این ناحیه مذاب فلز خالص شروع به انجماد می‌شود همان‌طور که مشاهده می‌شود با از دست دادن گرما در این ناحیه، دمای جسم تغییری نخواهد کرد تا زمانی که جسم کاملاً به جامد تبدیل شود.

**ناحیه ۳:** در این ناحیه با گذشت زمان جسم جامد ایجاد شده گرمای خود را از دست می‌دهد. این کاهش گرما باعث کاهش دما جسم جامد می‌شود. (مطابق شکل ۱-۶).

اطلاعات جدول ۱-۱، نقطه ذوب فلزات در فشار است یک اتمسفر (فشار محیط) است. تغییرات فشار سبب تغییر نقطه ذوب فلزات و جامدات می‌شود. آزمایش‌های تجربی نشان داده است که حجم فلزات معمول در اثر ذوب شدن افزایش می‌یابد. در این فلزات، افزایش فشار سبب افزایش نقطه ذوب می‌شود؛ اما در بعضی مواد جامدی مانند یخ و بیسموت، حجم در اثر ذوب شدن حجمشان کاهش می‌یابد. در این نوع مواد افزایش فشار، سبب کاهش نقطه ذوب می‌شود. به عنوان مثال یخ در فشار یک اتمسفر (فشار محیط) دارای نقطه ذوب صفر درجه سلسیوس است؛ حال اگر فشار به اندازه دو اتمسفر اعمال شود، نقطه ذوب یخ به میزان  $0.075$  درجه سلسیوس کاهش می‌یابد. کاهش نقطه ذوب، به ساختمان کریستالی یخ مربوط می‌شود.

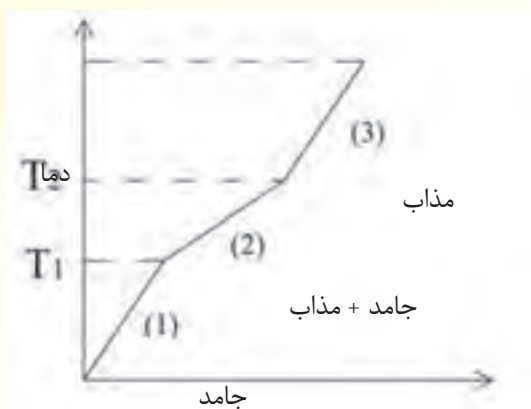
در این جا لازم است، به این نکته اشاره شود که رفتار غیرطبیعی یخ، یعنی کاهش نقطه ذوب با افزایش فشار، تا فشار ۳۲۰۰ اتمسفر ادامه دارد. و در فشار بیش از ۳۲۰۰ اتمسفر، رفتار یخ تغییر کرده و نقطه ذوب آن با افزایش فشار، زیاد می‌شود. به طوری که، در فشار ۲۰۰۰۰ اتمسفر نقطه ذوب یخ به ۸۰ درجه سلسیوس می‌رسد که در اصطلاح به این نوع یخ، یخ داغ گفته می‌شود.

رفتار فلزات آلیاژی، که از مخلوط کردن یا محلول کردن فلز با چند عنصر دیگر به وجود می‌آید در هنگام ذوب یا انجماد متفاوت از فلزات خالص است. نقطه ذوب و انجماد آن‌ها یکسان نیست؛ یعنی هنگامی که به یک آلیاژ تا شروع ذوب شدن گرما داده می‌شود با افزایش گرما، دما مانند فلز خالص ثابت نمی‌ماند و زمانی که آلیاژ



کاملاً ذوب شود، پس از آن، افزایش گرما سبب افزایش دمای مذاب خواهد شد. که این حالت را می‌توان به صورت منحنی زیر نمایش داد (شکل ۱-۷)

منحنی زیر تغییرات دما با زمان و گرما را برای ذوب آلیاژ نشان می‌دهد.



زماشکل ۱-۷

همان‌طور که مشاهده می‌شود، منحنی از سه ناحیه تشکیل شده است:

**ناحیه ۱:** ناحیه جامد، در این ناحیه، با افزایش میزان گرما، دمای جامد افزایش می‌یابد.

**ناحیه ۲:** جامد + مذاب: در این ناحیه، با افزایش میزان گرما علاوه بر ذوب شدن جامد، دما نیز با شیب کم

تری نسبت به ناحیه اول افزایش می‌یابد.

**ناحیه ۳:** ناحیه مذاب: در این ناحیه، با افزایش میزان گرما، دمای مذاب با شیب بیشتری نسبت به ناحیه

۲ افزایش می‌یابد.

بنابراین، نقطه ذوب آلیاژ، دمایی است که اولین قطرات مذاب ایجاد می‌شود که در منحنی با  $T_1$  نمایش

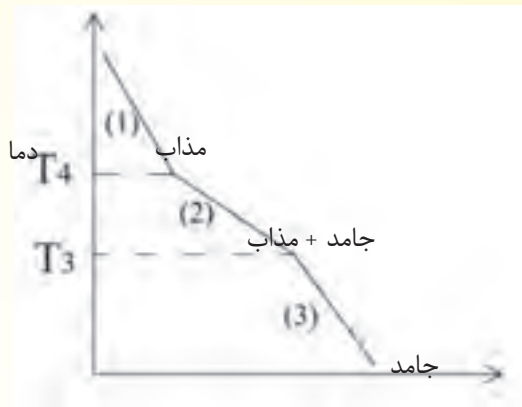
داده شده است. دمایی که کل آلیاژ تبدیل به مذاب می‌شود در منحنی با  $T_2$  نشان داده شده است. اما در مورد

انجماد آلیاژ با از دست دادن گرما، آلیاژ به دمایی می‌رسد که اولین ذرات جامد در آن تشکیل می‌شود. از دست

دادن گرمای بیشتر، علاوه بر افزایش مقدار جامد، دما مانند فلز خالص ثابت نمی‌ماند و کاهش می‌یابد. این حالت

تا زمانی ادامه می‌یابد که تمام مذاب تبدیل به جامد شود. پس از آن با از دست دادن حرارت، درجه حرارت آلیاژ

جامد کاهش می‌یابد که این حالت به صورت شکل زیر نمایش داده می‌شود (شکل ۱-۸)



شکل ۱-۸ زمان

همان طور که مشاهده می‌شود منحنی از سه ناحیه تشکیل شده است.

**ناحیه ۱:** ناحیه مذاب که با از دست دادن گرما، دمای مذاب کاهش می‌یابد تا به نقطه شروع انجماد برسد.

**ناحیه ۲:** ناحیه جامد + مذاب که با از دست دادن گرما، علاوه بر افزایش مقدار جامد دما نیز کاهش می‌یابد

تا مذاب به‌طور کامل به جامد تبدیل شود.

**ناحیه ۳:** ناحیه جامد که با از دست دادن گرما، دما جامد کاهش می‌یابد تا به دمای محیط برسد.

در این حالت، نقطه انجماد آلیاژ دمایی است که اولین ذرات جامد در مذاب تشکیل می‌شود که با  $T_f$  نشان

داده شده است. و دمایی که مذاب به‌طور کامل به جامد تبدیل می‌شود با  $T_p$  نشان داده شده است (نقطه ذوب).

همان طوری که ملاحظه می‌شود؛ نقطه ذوب و انجماد در آلیاژ، مانند فلز خالص، یکسان نمی‌باشند، که

براساس قرارداد، فاصله دمایی بین ذوب و انجماد را دامنه انجماد یا فاصله انجماد می‌نامند. (فاصله بین  $T_p$  و  $T_f$ )

در فلزات خالص، با توجه به این که نقطه ذوب و انجماد یکی است دانه انجماد صفر می‌باشد؛ به عبارت دیگر

مذاب در یک دمای ثابت به جامد تبدیل می‌شود.

## ۱-۲- گرمای ویژه

برای بهتر فهمیدن مفهوم گرمای ویژه ابتدا به ذکر یک مثال می‌پردازیم.

اگر داخل یک ظرف مسی با دمای ۲۵ درجه سلسیوس، مقداری آب با دمای ۹۰ درجه سلسیوس ریخته

شود، پس از مدتی دمای ظرف مسی و آب، هردو، به حدود ۵۰ درجه سلسیوس می‌رسد که نشان‌دهنده تعادل

گرمایی بین آب و ظرف مسی است.

همان طوری که ملاحظه می‌شود آب مقداری از گرمای خود را از دست می‌دهد تا دمایش به میزان ۴۰

درجه سلسیوس کاهش یابد؛ همین مقدار گرما را به ظرف مسی می‌دهد تا دمای آن ۲۵ درجه سلسیوس افزایش

یابد؛ بنابراین با یک مقدار گرمای ثابت، میزان کاهش دمای آب با میزان افزایش دمای ظرف مسی یکسان نبوده

و متفاوت است. این مثال نشان‌دهنده این واقعیت است که میزان افزایش دما در مواد با جنس‌های متفاوت با

مقدار انرژی گرمایی یکسان، متفاوت است ارتباط تغییر دما در مواد با جنس‌های مختلف با مقدار مساوی از انرژی گرمایی، با ظرفیت گرمایی بیان می‌شود.

گرمای ویژه، مقدار گرمایی است که به واحد جرم جسم داده می‌شود تا دمای آن را به اندازه یک درجه سلسیوس افزایش دهد. همان‌گونه که از اسم گرمای ویژه برمی‌آید، مقدار گرمای ویژه برای هر ماده‌ای، مخصوص است. واحدهای گرمای ویژه عبارتند از:  $\text{BTU/lb.}^\circ\text{F}$  ،  $\text{j/kg.K}$  ،  $\text{cal/g}^\circ\text{C}$

معمولاً در محاسبه و طراحی ساختمان کوره‌ها، از نقطه ذوب گرمای نهان گداز و گرمای ویژه اجسام در حالت مایع و جامد استفاده می‌شود به عنوان مثال برای قسمت‌های عایق کوره باید از موادی استفاده شود که نقطه ذوب بالایی داشته باشند. از طرف دیگر این مواد برای عدم انتقال به بدنه خارجی کوره باید از گرمای ویژه بسیار بالایی برخوردار باشند. از همین استدلال می‌توان برای طراحی و محاسبه قطعات دیگر صنعتی نیز استفاده کرد.

#### در پایان جلسه:

- جمع بندی مطالب این جلسه توسط هنرآموز
- تکالیف برای منزل هنرجویان: مطالعه متن درس و آمادگی برای آزمون جلسه آینده.

۱- حضور و غیاب

۲- آزمون (به صورت پرسش و پاسخ شفاهی، امتحان کوتاه و غیره)

۳- یادآوری مطالب درس جلسه قبل و ارتباط آن با موضوع این جلسه

موضوع درس:

- ضریب انبساط حرارتی

- تغییرات ابعادی در ذرات و انجماد،

- چگالی (جرم حجمی)

- انتقال حرارت

ابتدا هنرآموز برای شروع بحث و آماده سازی ذهن هنرجو، چند سوال مطرح کند.

۱- اگر به یک جسم جامد گرما داده شود، طول سطح و جسم آن چه تغییری می کند؟

۲- اگر به مایعات و گازها گرما داده شود، حجم آن ها چه تغییری می کند؟

۳- هنگامی که فلز آلومینیوم را ذوب می کنیم، حجم آن چگونه تغییر می کند، در مورد فلزات دیگر نظرتان

را بگویید (مثل آهن، مس).

۴- هنگامی که مذاب یک فلز درون قالب ریخته می شود، با شروع انجماد چه تغییراتی در حجم ایجاد خواهد

شد؟

۵- اگر حجم مساوی از دو فلز سرب و آلومینیوم را داشته باشیم، جرم کدام یک بیشتر است؟

۶- بخاری، چگونه سبب گرم شدن هوا در یک اتاق می شود؟

۷- انرژی گرمایی خورشید به چه طریقی به زمین منتقل می شود؟

۸ - چرا با گرما دادن به یک قسمت از فلز جامد، پس از گذشت زمان، دما در تمام قسمت های فلز یکسان

خواهد شد؟

۴-۱- انبساط گرمایی

زمانی که به مواد گرما داده می شوند، گرما سبب افزایش انرژی اتم های مواد شده و ارتعاش آن ها را افزایش

می دهد. این پدیده سبب افزایش فاصله بین اتم ها و در نتیجه تغییرات ابعادی، هر چند کوچک، در مواد می شود.

این تغییرات ابعادی را، انبساط می نامند و به صورت طولی (یک بعدی) سطحی (دو بعدی) و حجمی (سه بعدی)

دیده می شود.

معمولاً انبساط اجسام جامد بسیار کم می‌باشد به دلیل این که در اثر حرارت دادن افزایش فاصله بین اتم‌ها در محل‌های مشخصی قرار گرفته‌اند، ناچیز می‌باشد که در مجموع مقدار تغییرات ابعاد جسم در اثر حرارت دادن بسیار کم خواهد بود.

چون اتم‌ها در جسم جامد در محل‌های مشخصی قرار گرفته‌اند و با دادن گرما به جسم جامد، فاصله بین اتم‌ها به مقدار خیلی کم افزایش می‌یابند که موجب تغییرات ابعادی ناچیزی در جسم جامد می‌شود. در مایعات و گازها چون اتم‌ها نسبت به حالت جامد، آزادانه در اطراف یکدیگر حرکت می‌کنند، تغییرات ابعادی، که معمولاً به صورت حجمی می‌باشد، با افزایش دما، بیشتر خواهد بود؛ در نتیجه، مقدار انبساط آن‌ها از اجسام جامد بیشتر است.

در مورد اجسام جامد، چون ابعاد آن‌ها قابل اندازه‌گیری است، می‌توان انبساط طولی، سطحی و حجمی آن‌ها را اندازه‌گیری و محاسبه نمود، اما در اجسام مایع و گاز، به دلیل نداشتن شکل مشخص معمولاً انبساط حجمی تعریف می‌شود.

با توجه به موارد ذکرشده، می‌توان مقدار انبساط و انقباض را در حالت ذوب فلزات و انجماد قطعات ریخته‌گری شده مشخص نمود که از پارامترهای مهم در طراحی قطعات، مدل و قالب ریخته‌گری می‌باشد.

## ۵-۱- تغییرات ابعادی در ذوب و انجماد

میزان انبساط مواد جامد و مایع را می‌توان از روابط تجربی به دست آورد.

$$\Delta L = L_1 (1 + \alpha(\theta_p - \theta_1))$$

انبساط طولی مواد جامد از رابطه زیر به دست می‌آید. که در آن:

$L_1$ : طول اولیه جسم

$\theta_1$ : دمای اولیه جسم

$\theta_p$ : درجه حرارت بعد از حرارت دادن جسم

$\alpha$ : ضریب انبساط گرمایی طولی جسم که به جنس ماده بستگی دارد.

$\Delta L$ : میزان تغییرات طول در اثر تغییر دما

رابطه فوق را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\Delta L = L_1 + L_1 \alpha (\theta_p - \theta_1)$$

که در آن:

$L_1$  و  $L_1 \alpha$ : مقادیر ثابتی هستند و می‌توان با  $a$  و  $b$  نشان داد.

$\Delta L$ : میزان انبساط است که مجهول رابطه است و می‌توان با  $X$  نشان داد.

$(\theta_r - \theta_1)$ : تغییرات دما است که می‌توان با  $T$ ، که متغیر است، نشان داد.

پس به‌طور کلی رابطه انبساط طولی اجسام جامد را می‌توان به‌شکل عمومی زیر نوشت:

$$X = a + bT$$

که در آن:

$X$ : تغییرات طولی

$a, b$ : ضرایب ثابت

$T$ : دما

در نتیجه، رابطه انبساط طولی با دما در اجسام جامد به‌صورت خطی می‌باشد.

- انبساط سطحی جامدات از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$\Delta A = A_0 (1 + \beta(\theta_r - \theta_1))$$

که در آن:

$A_0$ : سطح اولیه جسم

$\theta_1$ : دمای اولیه جسم

$\theta_r$ : دمای نهایی جسم جامد

$\beta$ : ضریب انبساط گرمایی سطحی جسم جامد که دو برابر ضریب انبساط طولی ( $\beta = 2\alpha$ ) می‌باشد.

$\Delta A$ : تغییرات سطح جسم در اثر تغییرات دما

این رابطه را نیز می‌توان به‌صورت کلی  $X = a + bT$  مانند انبساط طولی جامدات نشان داد.

- انبساط حجمی جامدات از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$\Delta V = V_0 (1 + \gamma (\theta_r - \theta_1))$$

که در آن:

$V_0$ : حجم اولیه جسم

$\theta_1$ : دمای اولیه جسم جامد

$\theta_r$ : دمای نهایی جسم جامد

$\gamma$ : ضریب انبساط گرمایی حجمی جسم جامد که سه برابر ضریب انبساط طولی آن ( $\gamma = 3\alpha$ )

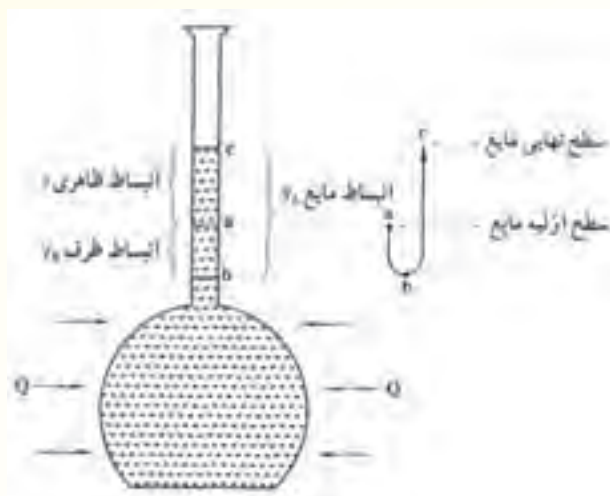
می‌باشد.

$\Delta V$ : تغییرات حجم در اثر تغییرات دما

این رابطه را نیز می‌توان مانند روابط قبل به‌صورت کلی  $X = a + bT$  نشان داد.

در نتیجه رابطه انبساط سطحی و حجمی با دما در اجسام جامد به‌صورت خطی می‌باشد.

- در مورد مایعات نیز می‌توان گفت به‌طور کلی انبساط حجمی مایعات از رابطه تقریبی  $X = a + bT$  به دست می‌آید. البته ذکر این نکته لازم است که چون مایعات، شکل ظرف را به خود می‌گیرند در اثر گرما دادن، ظرف نیز منبسط می‌شود. این موضوع سبب به‌وجود آمدن دو نوع انبساط در مایع می‌شود، انبساط ظاهری مایع و انبساط حقیقی مایع، انبساط ظاهری به علت انبساط ظرف ایجاد می‌شود ابتدا سطح مایع در ظرف کمی پایین آمده و سپس با انبساط مایع، مجدداً سطح مایع در ظرف بالا می‌رود. فاصله بین سطح نهایی مایع و سطح اولیه مایع قبل از انبساط، انبساط ظاهری مایع است و باید برای به‌دست آوردن انبساط حقیقی مایع، مقدار انبساط ظرف را به انبساط ظاهری مایع اضافه نمود.



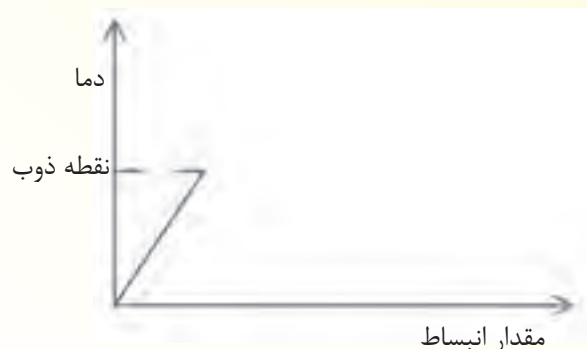
شکل ۹-۱- تعیین انبساط حقیقی مایع

اجسام در نقطه ذوب، با افزایش دما جسم جامد به مایع تبدیل می‌شود و برعکس. با کاهش دما جسم مایع به جامد تبدیل می‌شود؛ به عبارت دیگر با افزایش دما انرژی اتم‌ها و در نتیجه ارتعاش آن‌ها بیشتر می‌شود؛ به طوری که اتم‌ها از محل‌های خود در حالت جامد خارج شده و به شکل مایع درمی‌آیند. عکس این حالت با کاهش دما در نقطه ذوب، اتفاق می‌افتد؛ یعنی ارتعاش اتم‌ها در نتیجه فاصله بین اتم‌ها کم شده و اتم‌ها در موقعیت مشخصی کنار هم قرار می‌گیرند که در مجموع به شکل جامد درمی‌آیند. انبساط یا انقباض حجمی این حالت از نقطه ذوب یا انجماد از روابط ذکر شده در صفحات قبل تبعیت نمی‌کنند و حالت پیچیده‌تری دارند که علت آن تغییرات ساختمان اتمی فلز می‌باشد.

به‌طور کلی فلزات یا آلیاژها، در حین ذوب منبسط می‌شوند و حجم آن‌ها افزایش می‌یابد. معمولاً تغییرات حجمی ایجاد شده در حین ذوب فلزات در سه منطقه مورد بررسی قرار می‌گیرد؛ منطقه جامد، منطقه جامد و مایع و منطقه مایع.

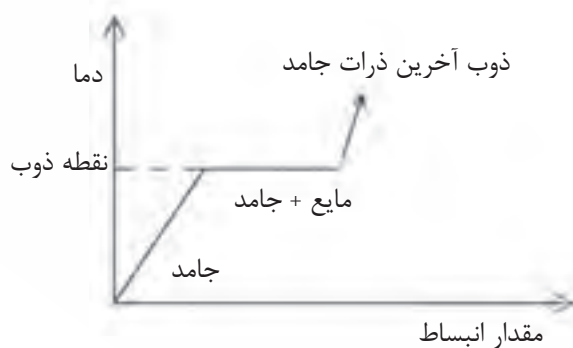
**منطقه اول (منطقه جامد):** هنگامی که به فلز گرما داده می‌شود، تا قبل از رسیدن به نقطه ذوب، با افزایش

دما فلز انبساط پیدا می کند که این انبساط، همان طور که گفته شد، از روابط فیزیک انبساط پیروی می کند و به راحتی می توان آن را، با توجه به این که جسم جامد است شکل و حجم مشخصی دارد محاسبه نمود. برای این منظور می توان دما را برحسب مقدار انبساط فلز جامد تا نقطه ذوب به صورت زیر نمایش داد.



شکل ۱-۱۰

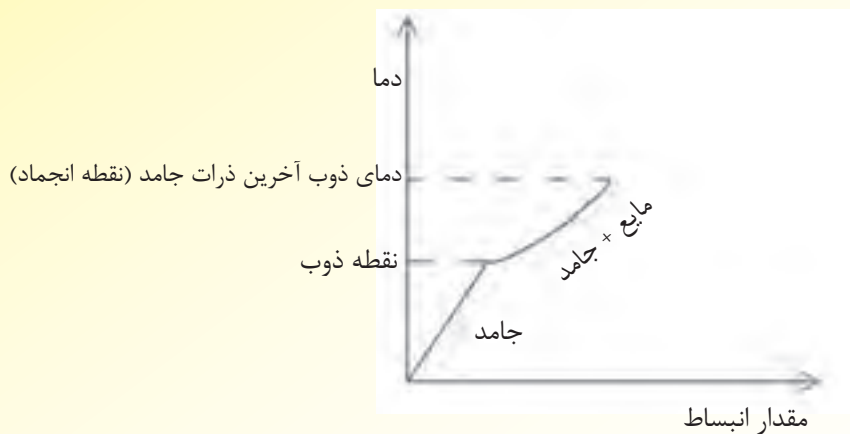
**منطقه دوم (منطقه جامد و مایع):** با توجه به توضیحات قبل مقدار انبساط ایجاد شده، در هنگام ذوب به شکل ساختمان اتمی در حالت جامد و مایع بستگی دارد و از روابط معمول فیزیک انبساط پیروی نمی کند. آزمایش های تجربی نشان داده است که معمولاً فلزات و آلیاژها در این منطقه ۲ تا ۸ درصد انبساط می یابند. البته در مورد فلزات خالص، این انبساط، به دلیل ثابت ماندن دمای فلز خالص در حین ذوب و انجماد، در دمای ثابت انجام می گیرد که منحنی دما برحسب مقدار انبساط در مورد فلز خالص تا ذوب آخرین ذرات جامد به شکل زیر خواهد بود.



شکل ۱-۱۱

در مورد آلیاژها، چون دما در حین ذوب افزایش می یابد، انبساط نیز در حین ذوب با افزایش دما همراه است و در دما ثابت انجام نمی گیرد؛ بنابراین، منحنی دما برحسب انبساط آلیاژها در منطقه دوم به صورت زیر خواهد بود.



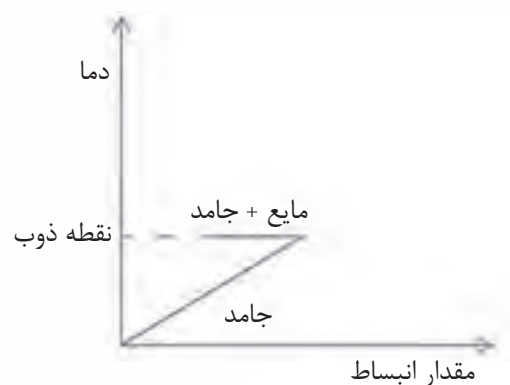


شکل ۱-۱۲

در تعداد کمی از فلزات و آلیاژها به دلیل ساختمان اتمی آن‌ها در حین ذوب، در منطقه جامد و مایع، به جای انبساط، انقباض می‌یابند.

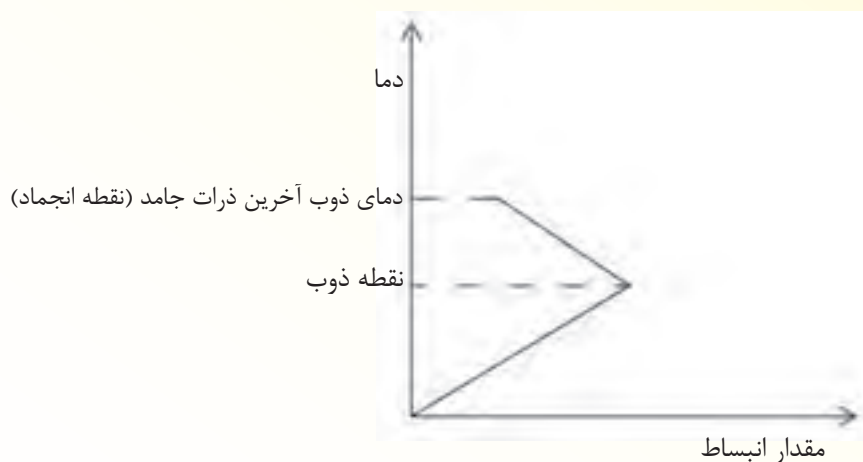
از جمله این مواد می‌توان به بیسموت، آنتیموان، چدن خاکستری و یخ اشاره نمود که در حین ذوب به جای انبساط، منقبض می‌شوند. به عنوان مثال اتم‌های یخ در حین ذوب، از محل‌های خود در ساختار کریستال یخ خارج شده، به شکل مایع درآمده و در فضای خالی بین ساختار کریستالی یخ تجمع می‌یابند که همین پدیده، سبب کاهش حجم در حین ذوب یخ می‌شود. چدن خاکستری در حین ذوب، اتم‌های کربن موجود در گرافیت از ساختار کریستالی گرافیت خارج شده و در آهن مذاب حل می‌شوند. چون گرافیت در حالت جامد به دلیل ساختار لایه‌لایه‌ای، دارای حجم زیاد است در حین ذوب چدن خاکستری، مقدار انبساطی که آهن مذاب پیدا می‌کند با کاهش حجم ناشی از بین رفتن ساختار کریستالی گرافیت جبران شده و در مجموع در حین ذوب انقباض حجمی را از خود نشان می‌دهد.

در مورد فلزات خالص، که در حین انجماد منقبض می‌شوند، منحنی دما برحسب انبساط به صورت زیر خواهد بود. ذکر این نکته لازم است که چون فلزات خالص در دمای ثابت ذوب می‌شوند، انقباض در فلز خالص نیز در دمای ثابت صورت می‌گیرد.



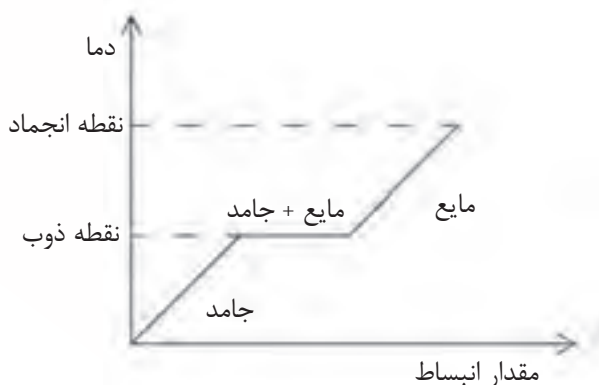
شکل ۱-۱۳

در مورد آلیاژهایی که در حین ذوب، منقبض می‌شوند منحنی دما برحسب انبساط به صورت زیر خواهد بود. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در انقباض، دما ثابت نبوده و افزایش می‌یابد.



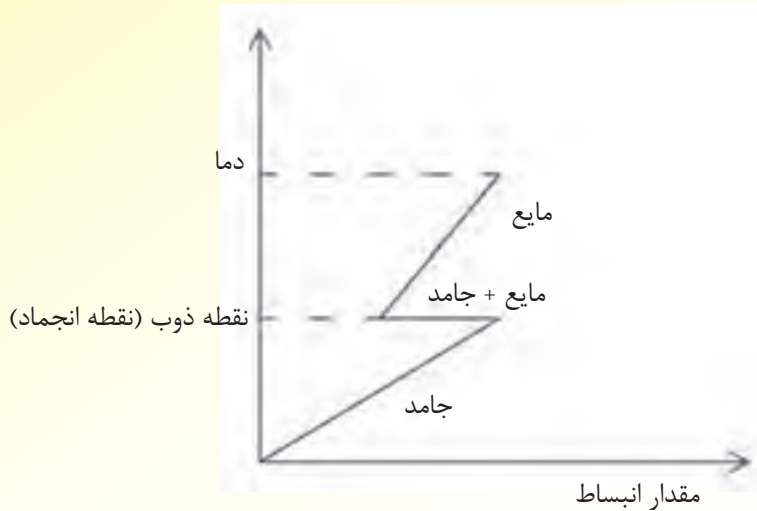
شکل ۱-۱۴

**منطقه سوم (منطقه مایع):** در این منطقه با افزایش دما، همان‌طور که در قبل گفته شد، حجم مذاب افزایش می‌یابد که این انبساط (افزایش حجم) از روابط فیزیکی انبساط پیروی می‌کند؛ بنابراین در منطقه مایع منحنی دما برحسب مقدار انبساط برای فلزات خالص معمولی به صورت زیر خواهد بود.



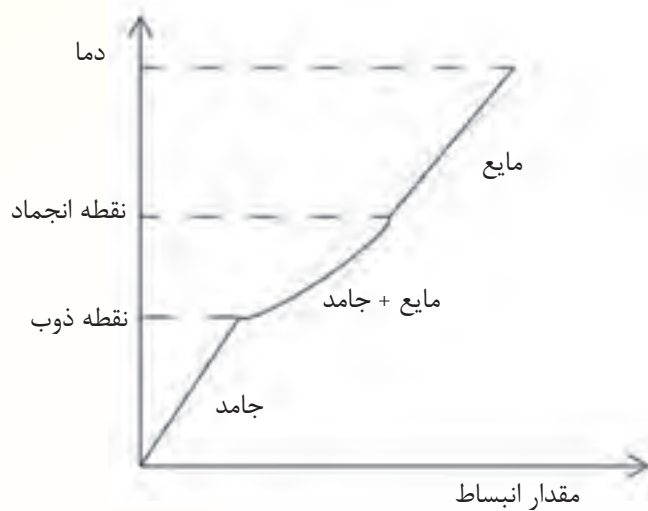
شکل ۱-۱۵

در مورد فلزات خالصی که در حین ذوب منقبض می‌شوند؛ در منطقه مایع منحنی دما برحسب مقدار انبساط، به صورت زیر خواهد بود، در این منحنی مشخص است که با افزایش دما در حالت مایع حجم مایع افزایش می‌یابد و به عبارت دیگر منبسط می‌شود.



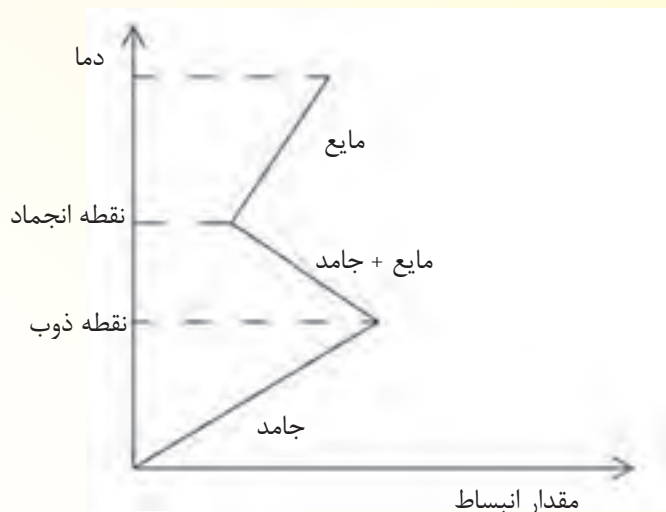
شکل ۱-۱۶

در مورد آلیاژهای معمول منحنی دما برحسب مقدار انبساط در منطقه مایع به شکل زیر خواهد بود، در این منحنی مشخص است که حجم مایع با افزایش دما افزایش می‌یابد یا به عبارت دیگر منبسط می‌شود.



شکل ۱-۱۷

در مورد آلیاژهایی که در حین ذوب منقبض می‌شوند، منحنی دما برحسب مقدار انبساط در منطقه مایع به شکل زیر خواهد بود. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در منطقه مایع با افزایش دما، مقدار انبساط افزایش می‌یابد.



شکل ۱-۱۸

معمولاً در هنگام ریخته‌گری قطعات لازم است، پس از ذوب کامل جامد، دمای مذاب را افزایش داد تا مذاب در حین حمل و نقل و جابه‌جایی منجمد نشود. از طرف دیگر، باید مذاب در هنگام ریختن به داخل قالب از روانی خوبی برخوردار باشد. که به این دمای مذاب که بالاتر از نقطه ذوب می‌باشد دمای فوق ذوب می‌گویند. که در ریخته‌گری بسیار مهم است.

معمولاً در ریخته‌گری قطعات، مسائل مربوط به انقباض فلز و مذاب آن در مراحل ذوب اهمیت چندانی ندارد و فقط برای جبران نمودن فضاهای خالی بوته‌ی ریخته‌گری و کوره می‌باشد. اما، مهم‌ترین موضوع در ریخته‌گری قطعات، مقدار انقباض یا تغییرات حجمی قطعه در مراحل مختلف سرد شدن مذاب می‌باشد در صورت عدم توجه به این مهم، قطعه تولید شده، معیوب و یا خارج از محدوده ابعادی موردنظر خواهد بود. معمولاً محفظه قالب که مذاب در آن شکل قطعه را به خود می‌گیرد، حجم ثابتی دارد. که با گذشت زمان مذاب ریخته شده در قالب با دمای فوق ذوب، گرمای خود را از دست می‌دهد و شروع به سرد شدن می‌کند. این کاهش دما یا انقباض در مراحل مختلف مذاب، مذاب + جامد و جامد همراه خواهد بود. در صورتی که این انقباضات جبران نشود، قطعه تولید شده معیوب خواهد بود. بنابراین، مهم‌ترین کار ریخته‌گران، جبران انقباضات در حین ریخته‌گری می‌باشد. به همین منظور، در این قسمت به بررسی چگونگی انقباضها در مراحل انجماد قطعه ریخته‌گری پرداخته می‌شود. معمولاً، انجماد قطعه ریخته‌گری مانند مراحل ذوب فلز از سه منطقه تشکیل شده است که عبارتند از منطقه مایع، منطقه جامد و مایع و منطقه جامد.

**۱-۵-۱- منطقه مایع:** اگر مذاب فلزی با دمای فوق ذوب داخل قالبی ریخته شود، پس از گذشت مدت

زمانی (بسته به جنس قالب)، مذاب به تدریج گرمای خود را از دست می‌دهد. از دست دادن گرما یا همان سرد

شدن مذاب، سبب کاهش دمای مذاب و در نتیجه کاهش حجم مذاب یا انقباض مذاب خواهد شد. این انقباض در حالت مایع تا دمای انجماد اتفاق می‌افتد. حال اگر این انقباض به طریقی جبران نشود، سبب به‌وجود آمدن قطعه‌ای معیوب و خارج از محدوده ابعادی مورد نیاز می‌شود.

چون این انقباض در حالت مذاب یا مایع است، بهترین راه جبران این انقباض، اضافه نمودن مجدد مذاب به قالب است. این کار را می‌توان با تنظیم سرعت بارریزی به قالب، به‌طوری که افت دمای مذاب متناسب با پرشدن قالب باشد، انجام داد. به همین منظور، باید سیستم راهگامی متناسب، طراحی شود.

**۲-۵-۱- منطقه جامد و مایع:** پس از این که مذاب به دمای انجماد رسید، اولین ذرات جامد شروع به تشکیل شدن می‌کنند. سپس این ذرات، شروع به رشد می‌کنند. این عمل، تا زمانی که آخرین قطره مذاب به جامد تبدیل شود ادامه می‌یابد. در این مرحله، ذرات جامد و مایع در حال تعادل هستند و نمی‌توان به آن‌ها مذاب اضافه نمود. تبدیل ساختار مایع به ساختار جامد، انقباضی به‌وجود می‌آید که در یک نقطه متمرکز نمی‌شود، بلکه در سراسر قطعه پراکنده می‌گردد همان‌طوری که گفته شد این انقباض را نمی‌توان با اضافه نمودن مذاب، به‌طور مستقیم جبران نمود، باید از روش‌های دیگری بهره برد. با توجه به تجربیات گذشته، برای جبران این نوع انقباض، ابتدا باید نحوه انجماد آن آلیاژ مشخص شود و سپس متناسب با قطعه و قالب، سیستم تغذیه‌گذاری مناسب برای قالب طراحی شود.

**۳-۵-۱- منطقه جامد:** پس از این که، آخرین قطرات مذاب منجمد شد با گذشت زمان، دمای قطعه جامد شروع به کاهش می‌کند. با کاهش دما، انقباض در حالت جامد به‌وجود می‌آید که این انقباض، متناسب با روابط فیزیکی است و تا دمای محیط ادامه می‌یابد، این انقباض سبب کاهش ابعاد قطعه می‌گردد و در صورت عدم جبران، ابعاد قطعه حاصله، خارج از این خواسته شده خواهد بود. کاهش ابعاد این مرحله را نمی‌توان با اضافه نمودن مذاب جبران نمود. چون قطعه کاملاً جامد است و نمی‌توان به آن مذاب اضافه نمود. برای جبران این انقباض، باید مدل قطعه را متناسب با جنس قطعه، بزرگتر از اندازه واقعی آن در نظر گرفت تا در حین سرد شدن و منقبض شدن، ابعاد قطعه برابر ابعاد واقعی مورد نیاز گردد.

حال، با توجه به مطالب ذکر شده، مشخص می‌شود که برای تولید یک قطعه‌ی سالم با استفاده از روش ریخته‌گری باید به انقباض در کلیه مراحل ریخته‌گری، طراحی و مدلسازی، تکنولوژی قالب و نحوه انجماد مذاب فلز موردنظر، توجه ویژه داشت و اثر دمای فوق ذوب، ترکیب شیمیایی آلیاژ و نحوه انجماد آن را بر میزان انقباض و اشکالاتی که از آن ناشی می‌شود، در نظر گرفت.

## ۶-۱- چگالی (جرم حجمی)

جرم واحد حجم جسم را چگالی می‌نامند. واحدهای چگالی عبارتند از گرم بر سانتی‌متر مکعب و کیلوگرم

بر متر مکعب. معمولاً چگالی هر ماده خالص مقدار ثابتی است که به ساختمان (ساختار) داخلی آن ماده و شکل هندسی آن ارتباط می‌یابد. بنابراین، تأثیر عوامل فیزیکی مانند دما، فشار و عوامل شیمیایی مانند ترکیب شیمیایی آلیاژ در تغییرات چگالی مشخص است.

افزایش دما، سبب انبساط اجسام (مایع و جامد) و در نتیجه افزایش حجم آن‌ها می‌شود. با توجه به این که جرم اجسام (مایع و جامد) ثابت می‌باشد، چگالی، که حاصل تقسیم جرم بر حجم جسم می‌باشد، کاهش می‌یابد. از طرف دیگر، کاهش دما، سبب کاهش حجم جسم و در نتیجه افزایش چگالی خواهد شد. این پدیده در اکثر اجسام به غیر از چند مورد خاص اتفاق می‌افتد.

## ۷-۱- انتقال گرما

اجسام به‌طور کلی، در طبیعت در حالت تعادل گرمایی با محیط اطراف خود هستند؛ به عبارت دیگر، اجسامی که دمای بالاتری نسبت به محیط اطراف خود دارند، گرمای خود را از دست می‌دهند تا با محیط اطراف خود هم‌دما شوند. همین‌طور اگر دمای جسم کمتر از محیط اطراف باشد. از محیط اطراف خود گرما می‌گیرد تا دمای آن به دمای محیط برسد. به عنوان مثال، اگر یخ صفر درجه سلسیوس در دمای محیط قرار گیرد، از محیط اطراف خود گرما می‌گیرد تا ذوب شود و به آب صفر درجه تبدیل شود؛ سپس دمای آن افزایش می‌یابد تا به دمای محیط برسد. این عمل انتقال گرما نامیده می‌شود. لازم به ذکر است که انتقال گرما، فقط بین جسم و طبیعت نیست، بلکه اگر دو جسم با دماهای مختلف کنار هم قرار گیرند یا دمای یک قسمت از جسم با سایر قسمت‌ها متفاوت باشد، انتقال گرما صورت می‌پذیرد.

اجسام از نظر انتقال گرما به سه دسته تقسیم می‌شوند؛ اجسامی که حرارت خود را به سایر قسمت‌ها و یا اجسام دیگر انتقال می‌دهند، اجسام هادی نامیده می‌شوند مانند فلزات. اجسامی نظیر چوب و پلیمرها که نمی‌توانند حرارت را انتقال دهند اجسام عایق نامیده می‌شوند. مواد و ترکیبات بسیاری وجود دارند که نه هادی هستند و نه کاملاً عایق؛ بلکه در حد فاصل جسم هادی و عایق قرار می‌گیرند و بخشی از گرمای خود را منتقل می‌کنند. این اجسام نیمه‌هادی نامیده می‌شوند سیلیسیم و ژرمانیوم نمونه‌هایی از این مواد هستند.

گرما معمولاً به سه طریق از یک جسم به جسم دیگر منتقل می‌شود. این سه طریق عبارتند از: هدایت، جابه‌جایی و تشعشع. با ذکر یک مثال هدایت را توضیح می‌دهیم.

اگر ابتدای یک میله آلومینیومی را روی شعله قرار دهیم، مشاهده می‌شود که به تدریج تمام قسمت‌های این میله گرم می‌شود؛ به طوری که پس از مدتی تمام میله گرم خواهد شد. می‌توان گفت انرژی گرمایی توسط اتم‌های آلومینیوم از ابتدای میله منتقل شده و به انتهای میله می‌رسد. این انتقال گرما به‌گونه‌ای است که اتم‌ها از جای خود حرکت نمی‌کنند، بلکه فقط در اثر انرژی گرمایی، ارتعاشات آن‌ها افزایش می‌یابد و این ارتعاشات را

به اتم‌های کناری خود منتقل می‌کند؛ این نوع انتقال گرما را هدایت می‌نامند.

در روش انتقال گرما به‌روش جابه‌جایی، قسمت گرم (گرمای بیشتر) و قسمت سرد (گرمای کمتر) جای خود را تعویض می‌کنند. این جابه‌جایی تا زمانی که تمام قسمت‌های جسم به یک دما (دمای تعادل) برسند ادامه می‌یابد. در حقیقت انتقال گرما به روش جابه‌جایی، همراه با انتقال ذرات جسم است که بیشتر برای مایعات و گازها امکان‌پذیر است.

به عنوان مثال نحوه گرم شدن اتاق توسط بخاری را می‌توان نمونه‌ای از انتقال گرما به روش جابه‌جایی در نظر گرفت.

در روش انتقال گرما به روش تشعشع، انرژی گرمایی به‌صورت امواجی با ماهیتی نظیر ماهیت امواج نورانی منتقل می‌شود. در این روش، انرژی گرمایی مانند انرژی نورانی برای نشر، نیازی به محیط مادی ندارد و در خلاء بهتر و سریع‌تر منتشر می‌شود. به عنوان مثال، می‌توان گرم شدن زمین در اثر تابش نور خورشید را نام برد. در کوره‌های ذوب و ریخته‌گری پدیده‌ی انتقال گرما از سه طریق فوق انجام می‌پذیرد؛ انتقال گرما از طریق امواج نورانی شعله، انتقال گرما از طریق هدایت درون شارژ کوره و انتقال گرما از طریق جابه‌جایی در داخل مذاب، هنگامی که بوت‌ه حرارت داده می‌شود، اما در حالت انجماد قطعات درون قالب، تنها روش انتقال گرما برای خارج کردن گرمای مذاب، هدایت از طریق دیواره‌های قالب می‌باشد.

### در پایان جلسه:

- جمع بندی مطالب این جلسه توسط هنرآموز
- تکالیف برای منزل هنرجویان: مطالعه متن درس و آمادگی برای آزمون جلسه آینده.

۱- حضور و غیاب

۲- آزمون (به صورت تشریحی، پاسخ کوتاه و ...)

۳- یادآوری مطالب درس جلسه قبل و ذکر ارتباط آن با موضوع این جلسه

موضوع:

- گران روی (ویسکوزیته)

- کشش سطحی

- فشار بخار

- سیالیت و عوامل مؤثر بر آن

ابتدا چند سوال جهت آمادگی ذهنی هنرجو توسط هنرآموز مطرح می‌شود؛ به طور مثال:

۱- اگر دوظرف به ترتیب یکسان حاوی آب و روغن باشد، و بخواهیم آن‌ها را تخلیه نماییم کدام ظرف

سریع تر تخلیه می‌شود.

۲- اگر دوظرف حاوی روغن و چسب مایع داشته باشیم، کدام یک سریع تر تخلیه می‌شود؟ چرا؟

۳- اگر سوزن را به آهستگی روی آب قرار دهیم آیا در آب فرو می‌رود و یا در روی سطح آب باقی می‌ماند

چرا؟

۴- اگر یک ظرف حاوی آب در اتاقی با دمای محیط قرار گیرد، پس از چند روز سطح آب پایین می‌رود اما

اگر همین ظرف در دمای  $100^{\circ}\text{C}$  قرار گیرد بعد از مدت کوتاهی سطح آب در ظرف پایین می‌رود. علت چیست؟

۵- اگر یک قالب را بخواهیم با فلز مذاب، آب یا روغن پر کنیم، به نظر شما به ترتیب کدام یک از مواد ذکر

شده بهتر قالب را پرمی‌کند. علت چیست؟

۸-۱- گران روی (ویسکوزیته)

در مورد سوال اول، تخلیه آب از ظرف نسبت به تخلیه روغن از ظرف، راحت تر و سریع تر انجام می‌شود.

این رفتار به ماهیت درونی سیال ارتباط پیدا می‌کند. به عبارت دیگر، هرچه قدر چسبندگی اجزای یک سیال

(مولکول‌ها یا اتم‌ها) بیشتر باشد، تخلیه آن سیال از ظرف مشکل تر است. بنابراین، از آن جا که چسبندگی اجزای

درونی روغن نسبت به آب بیشتر است، تخلیه روغن سخت تر از آب صورت می‌گیرد. به همین ترتیب تخلیه چسب

از ظرف، نسبت به روغن، مشکل تر است. این خاصیت سیال را گران روی یا ویسکوزیته می‌نامند. به عبارت دیگر،

اصطکاک درونی سیال را ویسکوزیته یا گران روی می‌نامند.



در فرایند ریخته‌گری، پرشدن قالب توسط مذاب اهمیت بسیاری دارد. با توجه به مطالب فوق، هرچه ویسکوزیته مذاب کم‌تر باشد، قالب راحت‌تر پر خواهد شد؛ و برعکس، هرچه قدر ویسکوزیته مذاب بیشتر باشد، پرشدن قالب طولانی‌تر و مشکل‌تر خواهد بود. به همین دلیل ویسکوزیته مذاب در طراحی سیستم راهگامی قالب اهمیت بسیار زیادی دارد. در کاربردهای عملی ریخته‌گری به‌جای ویسکوزیته، که یک ویژگی فیزیکی است، از ویژگی دیگری به نام سیالیت یا روانی مذاب استفاده می‌شود.

## ۹-۱- کشش سطحی

اگر یک جسم با وزن بسیار ناچیز، مانند سوزن یا پر، به آرامی روی آب قرار داده شود، در آب فرو نمی‌رود و روی سطح آب باقی می‌ماند. علت این پدیده، نیروهای چسبندگی بین مولکول‌های سطحی آب می‌باشد. این نیروهای چسبندگی برون سوزن یا پُر غلبه کرده و از ورود آن به داخل آب جلوگیری می‌کند. عاملی که سبب می‌شود سطح یک قطره آب روی سطحی آغشته به روغن به‌صورت محدب باقی بماند، همین نیروی چسبندگی بین مولکول‌های آب است. به‌طور کلی، کشش سطحی در یک لایه از مایع را می‌توان نسبت نیروی سطحی ( $F$ ) به طول مؤثر ( $L$ ) تعریف نمود طول مؤثر، طولی است که نیرو در آن طول اثر می‌کند؛ مانند طول سوزنی که روی آب قرار گرفته است. به عبارت دیگر کشش سطحی برابر است با:

$$\gamma = \frac{F}{L}$$

که در آن:

$\gamma$ : کشش سطحی برحسب نیوتن بر متر ( $N/m$ )

$F$ : نیرو بر حسب نیوتن ( $N$ )

$L$ : طول برحسب متر ( $m$ )

در فلزات در حالت مذاب اندازه کشش سطحی به ترکیب شیمیایی فلز مذاب بستگی دارد و متناسب با آن تغییر می‌کند. معمولاً سطح فلز مذاب در مجاورت هوا اکسید می‌شود و یک لایه اکسیدی با دمای ذوب بالاتر از دمای مذاب، سطح مذاب را می‌پوشاند. این لایه اکسیدی، معمولاً جامد است، در نتیجه، موجب افزایش کشش سطح مذاب می‌شود. این پدیده در هنگام انجماد مذاب در قالب، سبب ایجاد عیوبی در سطح بالایی قطعه و هم‌چنین پرنشیدن کامل گوشه‌های تیز در محفظه قالب می‌شود و در نهایت، منجر به تولید قطعه نامرغوب می‌گردد. بنابراین، در هنگام طراحی مدل و قالب و تهیه مذاب باید به این عامل توجه شود تا از به وجود آمدن قطعه معیوب جلوگیری گردد.

## ۱۰-۱- فشار بخار



در پاسخ به سوال چهار می‌توان گفت که ظرف آب در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس، انرژی حرارتی بیشتری نسبت به ظرف آب در دمای محیط دریافت می‌کند. بنابراین، ارتعاش مولکول‌های آب در آن به مراتب بیشتر خواهد شد این مسأله سبب می‌شود، مولکول‌هایی که در سطح قرار دارند، به راحتی از مایع خارج شده و به گاز یا بخار بروند. پس، از حالت مایع خارج شده و به حالت بخار درمی‌آیند، در ظرف آبی که در دمای  $100^{\circ}\text{C}$  قرار دارد، بیشتر از تعداد مولکول‌ها در ظرف آبی است که در دمای محیط قرار دارد. در نتیجه، پس از مدت کوتاهی، سطح آب در ظرف با دمای  $100^{\circ}\text{C}$  کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، می‌توان گفت که فشار بخار در ظرف آب در دمای  $100^{\circ}\text{C}$ ، بیشتر از این فشار در ظرف آب در دمای محیط است. بنابراین، مقدار بیشتری از آب ظرف  $100^{\circ}\text{C}$  نسبت به ظرف با دمای محیط، به بخار تبدیل می‌شود. همین مسأله در مورد فلزات مذاب نیز صادق است؛ فلزات مذاب نیز مانند آب، حاوی اتم‌هایی هستند که می‌توانند از مایع به گاز بروند. تعداد این اتم‌ها در نقطه ذوب و کمی بالاتر از آن بسیار کم است. یعنی فشار بخار مذاب بسیار پایین است؛ به طوری که اتم‌ها تمایل دارند در داخل مذاب به حالت مایع باقی بمانند.

حال اگر دمای مذاب بیشتر شود، انرژی تمام اتم‌ها از جمله اتم‌های سطحی افزایش می‌یابد، تا جایی که انرژی اتم‌های مذاب که در سطح قرار دارند، به حدی می‌رسد که می‌توانند تبدیل به بخار شوند؛ یعنی با افزایش دما، فشار بخار فلزات مذاب افزایش می‌یابد؛ به طوری که در نزدیک نقطه جوش، فشار بخار به حدود ۱ اتمسفر، که برابر فشار محیط است، می‌رسد و اتم‌های فلز مذاب می‌توانند به راحتی به بخار تبدیل شوند. تعداد کمی از فلزات در شرایط ذوب و در حالت مایع، دارای فشار بخار زیادی هستند؛ مانند منیزیم، روی، جیوه، کادمیم و آنتیموان. به طوری که در شرایط ذوب مقداری از مذاب این فلزات به راحتی تبدیل به بخار می‌شود.

با توجه به این ویژگی، اگر این فلزات به عنوان عنصر اصلی یا به عنوان عنصر آلیاژی در مذاب فلزی وجود داشته باشند، در هنگام ریخته‌گری بخشی از آن‌ها از مذاب به صورت بخار خارج شده و سبب تغییر ترکیب شیمیایی مذاب و یا معیوب شدن قطعه ریخته‌گری می‌شود. بنابراین، در مورد فلزات با فشار بخار زیاد، بهتر است که حتی‌الامکان از اضافه نمودن آن‌ها به مذاب به صورت خالص اجتناب شود و حتماً آلیاژهای آن‌ها به مذاب اضافه شود.

به عنوان مثال، برای ساخت قطعات منیزیمی به روش ریخته‌گری، مشکلات زیادی وجود دارد. مهم‌ترین مشکل، ذوب کردن منیزیم می‌باشد؛ با توجه به فشار بخار زیاد منیزیم قسمت زیادی از آن بخار می‌شود. از طرف دیگر، میل ترکیبی شدید منیزیم با اکسیژن، امکان انفجار و آتش‌سوزی را افزایش می‌دهد در نتیجه، برای ساخت آلیاژهای منیزیمی، ذوب منیزیم باید در کوره‌های خلاء یا با اتمسفر محافظ و در نظر گرفتن تمهیدات خاصی صورت گیرد. همچنین برای ساخت چدن با گرافیت کروی، منیزیم باید با تمهیدات خاصی به مذاب چدن اضافه

شود. موارد مشابه دیگر عبارتند از:

استفاده از فسفر جهت تصفیه مس و استفاده از روی در ساخت آلیاژهای برنج. در این فرایندها، برای رسیدن به ترکیب شیمیایی موردنظر در آلیاژ، باید به فشار بخار بالای فسفر و روی توجه شود. به علاوه، بسیاری از فلزات و عناصر سمی بوده و باعث آلودگی محیط کار و بروز بیماری‌های خطرناک می‌شوند. بنابراین، در ریخته‌گری باید به فشار بخار فلزات مورد استفاده بسیار توجه نمود.

### ۱۱-۱ سیالیت (رو یا قابلیت پرکردن قالب)

همان‌طور که در بحث گران‌روی یا ویسکوزیته گفته شد، هرچه ویسکوزیته سیال کمتر باشد، قابلیت تخلیه ظرف توسط آن سیال بیشتر است و به همین ترتیب، پرکردن ظرف توسط آن سیال نیز بسیار بهتر صورت می‌گیرد. بنابراین، در پاسخ سؤال ۵ می‌توان گفت که با توجه به ویسکوزیته کم‌تر آب نسبت به روغن، آب راحت‌تر محفظه قالب را پر می‌کند. همچنین ویسکوزیته روغن از فلزات مذاب کمتر است، در نتیجه، روغن نسبت به فلز مذاب، راحت‌تر محفظه قالب را پر می‌کند. بنابراین ابتدا آب، سپس روغن و در نهایت فلز مذاب، قالب را راحت‌تر پر می‌کنند.

با توجه به مطالب ذکر شده می‌توان گفت، پرکردن قالب توسط مذاب در ریخته‌گری اهمیت فراوانی دارد؛ یعنی هرچه قالب توسط مذاب راحت‌تر پر شود، امکان تولید قطعه با کیفیت بالا بیشتر است. سیالیت را می‌توان به صورت «قابلیت پرکردن تمام قسمت‌های قالب توسط آلیاژ مذاب» تعریف نمود. با توجه به این تعریف، مشخص می‌شود که سیالیت یک ویژگی کیفی و نشان دهنده کیفیت مذاب می‌باشد و مانند گران‌روی با ویسکوزیته یک ویژگی فیزیکی نیست. سیالیت با شرایط مختلف ریخته‌گری و قالب تغییر می‌کند. و از آن به عنوان سیالیت ریخته‌گری یاد می‌شود.

سیالیت با گران‌روی آلیاژها و فلزات ارتباط دارد و برای تعیین سیالیت آلیاژها از اندازه‌گیری گران‌روی استفاده می‌شود زیرا گران‌روی بر سرعت حرکت مذاب تأثیر فراوانی دارد. اما با توجه به نتایج آزمایش‌های تجربی، پرشدن قالب تنها به گران‌روی مذاب بستگی ندارد و عامل‌های متفاوتی مانند انجماد سریع مذاب در اثر انتقال حرارت سریع از قالب، شرایط حرارتی مذاب، نوع انجماد مذاب، سرعت حرکت مذاب و نیروی چسبندگی مذاب به جداره قالب، اهمیت بیشتری در پرکردن قالب دارند. بنابراین این مشخص می‌شود که سیالیت یک عامل فیزیکی نیست، بلکه یک عامل ریخته‌گری و نشان‌دهنده کیفیت مذاب می‌باشد.

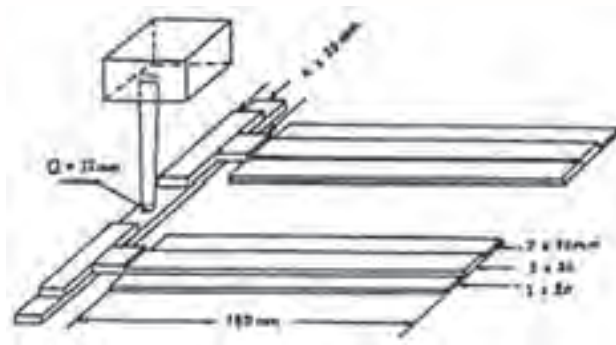
برای تعیین سیالیت آزمایش‌های متفاوتی انجام می‌شود تا بتوان شرایط ریخته‌گری قطعات را مشخص نمود. آزمایش صفحه و آزمایش مارپیچ نمونه‌هایی از آزمایش‌های رایج برای اندازه‌گیری سیالیت مذاب در شرایط خاصی کارگاه می‌باشد.

**آزمایش مارپیچ:** در این روش، مدلی به شکل مارپیچ مانند شکل ۱۹-۱، توسط موادی که برای قالب‌گیری در تولید قطعه موردنظر به کار می‌رود، قالب‌گیری می‌شود. سپس مذابی که قرار است برای تولید قطعه به کار رود، با سرعت و ارتفاع معین در داخل قالب مارپیچ ریخته می‌شود. پس از انجماد مذاب در مارپیچ طولی که مذاب در قالب مارپیچ طی کرده است، سیالیت نسبی مذاب را در شرایط کارگاهی آزمایش شده تعیین می‌کند.



شکل ۱۹-۱- آزمایش مارپیچ برای تعیین سیالیت

**آزمایش صفحه:** در این روش، مدلی به شکل صفحه مطابق شکل ۲۰-۱، توسط موادی که برای قالب‌گیری در تولید قطعه موردنظر به کار می‌رود، قالب‌گیری می‌شود. سپس مذابی که قرار است برای تولید قطعه به کار می‌رود، با سرعت تا ارتفاع معین در داخل قالب صفحه ریخته می‌شود. پس از انجماد، سطح پر شده در قالب صفحه، سیالیت نسبی مذاب را در شرایط کارگاهی تعیین می‌کند. به عبارت دیگر، هرچه مذاب بتواند صفحات نازک‌تر را پر نماید، سیالیت آن بیشتر است.



شکل ۲۰-۱- آزمایش صفحه برای تعیین سیالیت

### ۱-۱۱-۱- عوامل مؤثر بر سیالیت

**الف) دما:** هرچه دمای مذاب افزایش یابد، حرکت اتم‌های فلز در آن افزایش یافته و در نتیجه نیروی چسبندگی بین اتم‌های مذاب کاهش می‌یابد، به عبارت دیگر، ویسکوزیته مذاب کاهش می‌یابد. بنابراین، مذاب راحت‌تر می‌تواند قالب را پر نماید. نتیجه می‌گیریم که افزایش دمای مذاب سبب افزایش سیالیت مذاب خواهد شد. اما نمی‌توان برای افزایش سیالیت مذاب، دمای آن را تا هر اندازه‌ی دلخواه افزایش داد. زیرا افزایش دمای مذاب سبب به وجود آمدن مشکلات دیگری مانند اکسید شدن مذاب، افزایش جذب گاز توسط مذاب و افزایش میزان انقباض مذاب در حین سرد شدن و انجماد خواهد شد، که این عوامل در نهایت منجر به تولید قطعه معیوب خواهد شد.

**ب) ترکیب شیمیایی:** برخی عناصر تشکیل‌دهنده آلیاژ، به دلیل تأثیر بر ساختمان داخلی مذاب، سبب تأثیر بر گرانروی آلیاژ و در نهایت تأثیر بر سیالیت فلز می‌شود. رفتار عناصر تشکیل‌دهنده یک آلیاژ نسبت به یکدیگر، نشان‌دهنده تأثیر آن عناصر بر تغییرات سیالیت آن آلیاژ می‌باشد. به عنوان مثال، اگر دو عنصر در یک ترکیب شیمیایی خاص، تشکیل آلیاژ یوتکتیک (با دامنه انجماد صفر، مشابه فلز خالص) بدهند، بیشترین سیالیت را خواهند داشت و هرچه از این ترتیب شیمیایی دور شویم، سیالیت کمتر می‌شود.

**ج) کشش سطحی:** در قطعاتی که دارای کانال‌ها و گوشه‌هایی با ضخامت‌های کمتر از ۵ میلی‌متر هستند، کشش سطحی آلیاژ مذاب سبب جلوگیری از ورود مذاب به داخل کانال‌ها می‌شود. به عبارت دیگر، نیروهای چسبندگی اتم‌های روی سطح مذاب به قدری زیاد است که مانع جاری شدن مذاب در آن کانال‌ها می‌شود. بنابراین، کشش سطحی مذاب تأثیر زیادی بر سیالیت آلیاژ دارد؛ هرچه کشش سطحی مذاب کمتر باشد، بهتر می‌تواند کانال‌ها و گوشه‌های با ضخامت‌های کم (نازک‌تر) را در قالب پر نماید.

**د) مواد قالب:** هرچه هدایت حرارتی مواد قالب بیشتر باشد، یعنی حرارت قالب و مذاب را سریع‌تر به خارج منتقل نماید، مذاب سریع‌تر منجمد شده و از ادامه مسیر باز می‌ماند. بنابراین، جنس قالب (خواص فیزیکی آن مانند گرمای ویژه، ضریب هدایت حرارتی مواد قالب) اثر بسیار زیادی بر سیالیت مذاب دارد.

به علاوه، هرچه مواد قالب فشرده‌تر باشد، مذاب با اصطکاک کمتری روی آن حرکت می‌کند؛ بنابراین، سیالیت آن بیشتر است. هم‌چنین، اگر سطح قالب با مواد مناسب پوشش داده شود، به طوری که اصطکاک مذاب با دیواره قالب را به حداقل برساند؛ مذاب مسیر بیشتری را در قالب طی کرده و سیالیت آن افزایش می‌یابد.

عوامل دیگری نظیر تغییر سطح مقطع کانال‌ها و شکل قالب، سیستم راهگامی قالب و ابعاد و ارتفاع اجزای آن نیز بر سیالیت مذاب اثرگذار می‌باشند.

**ه) اثرات سطحی قالب:** هرچه سطح قالب یکنواخت‌تر باشد و زبری کمتری داشته باشد، نیروی اصطکاک بین مذاب و قالب، کاهش می‌یابد و مذاب مسیر بیشتری درون قالب طی می‌کند؛ بنابراین، سیالیت مذاب افزایش می‌یابد. عکس این موضوع نیز درست است.

به همین دلیل، برای افزایش سیالیت مذاب سعی می‌شود در قالب‌های ماسه‌ای، از ماسه‌های دانه‌ریز در سطح داخلی محفظه قالب استفاده می‌شود، تا پس از فشرده شدن، سطح، زبری کمتری را پدید آورد و اصطکاک بین مذاب با سطح قالب را کاهش دهد. همچنین، می‌توان از مواد پوششی مناسب، برای پوشش دادن سطوح قالب استفاده نمود. اصطکاک بین مذاب و دیواره قالب را کاهش و در نتیجه، سیالیت مذاب را افزایش داد. در حقیقت، مواد پوششی، با به وجود آوردن سطح صیقلی و کاهش ترشوندگی سطح قالب توسط مذاب در فصل مشترک مذاب - قالب، سبب کاهش اصطکاک و تماس مذاب و قالب می‌شود. از طرف دیگر، مواد پوشش انتقال حرارت مذاب توسط مواد قالب را کاهش می‌دهند. در نتیجه، مذاب دیرتر منجمد شده و مسیر بیشتری را درون قالب طی می‌کند.

**(و) اثرات فشار هوا:** معمولاً، درون قالب خالی از مذاب، پر از هوا است. هنگامی که مذاب در داخل قالب ریخته می‌شود، در اثر حرارت مذاب، هوای داخل قالب به سرعت منبسط شده، فشار آن افزایش یافته و از قالب خارج می‌شود. حال اگر این هوا نتواند از قالب خارج شود، فشار هوا سبب کندشدن جریان مذاب در داخل قالب و در نهایت توقف مذاب می‌شود. این پدیده سبب کاهش سیالیت مذاب می‌شود. بنابراین، برای افزایش سیالیت مذاب، منافذ خروج هوا باید به گونه‌ای در قالب طراحی شوند که هوا به سرعت از قالب خارج شده و مانع حرکت مذاب نشود.

علاوه بر عوامل ذکر شده، دبی بارریزی و زمان بارریزی نیز بر سیالیت مذاب مؤثر است. اگر دبی بارریزی کم باشد، زمان بارریزی افزایش خواهد یافت؛ یعنی زمان بیشتری طول خواهد کشید تا مذاب به همه نقاط قالب برسد. در طی زمان بارریزی طولانی، در اثر انتقال حرارت مذاب از طریق دیواره‌های قالب، مذاب منجمد شده و در نهایت، سیالیت مذاب به طور وسیعی کاهش می‌یابد. بنابراین، کنترل دبی جریان مذاب و زمان بارریزی تأثیر زیادی بر میزان سیالیت مذاب دارد.

### در پایان جلسه:

- جمع بندی مطالب این جلسه توسط هنرآموز
- تکالیف برای منزل هنرجویان: مطالعه متن درس و آمادگی برای آزمون جلسه آینده.

## ارزشیابی

- ۱- خواص فیزیکی زیر را تعریف کنید.
  - الف) نقطه ذوب
  - ب) گرمای نهان گداز
  - ج) گرمای نهان ذوب (ویسکوزیته)
  - د) سیالیت
- ۲- گرمای نهان گداز را تعریف کنید.
- ۳- گرمای ویژه را تعریف کنید.
- ۴- حرارت فوق ذوب را تعریف کنید.
- ۵- سیالیت را تعریف کنید و عوامل مؤثر بر سیالیت را نام ببرید.
- ۶- توانایی و قابلیت پرکردن تمام قسمت‌های قالب تحت سرعت بارریزی معین توسط فلز مذاب را ..... می‌نامند.

## فصل دوم



## عملیات کیفی

### هدف

- ۱- آشنایی با منابع تولید گاز در مذاب
- ۲- آشنایی با عملیات گاززدایی
- ۳- آشنایی با آخال و منابع تولید آخال
- ۴- آشنایی با روش های آخال زدایی
- ۵- آشنایی با عملیات تلقیح (جوانه زایی)

### مفاهیم کلی

- ۱- منابع تولید گاز و عملیات گاززدایی مذاب
- ۲- آخال و منابع تولید آخال در مذاب
- ۳- روش های آخال زدایی مذاب
- ۴- تلقیح (جوانه زایی)

### مفاهیم اساسی

- ۱- مک های گازی از مهم ترین عیوب در قطعات ریختگی از آلیاژهای مختلف می باشد.
- ۲- واکنش گازها با مذاب به سه حالت می باشند.  
الف) برخی گازها با مذاب واکنش شیمیایی می دهند که این واکنش ها منجر به تشکیل ترکیبات شیمیایی مانند اکسیدها، نیتrideها، سولفیدها و غیره می شود.  
ب) بعضی از گازها در مذاب حل می شوند؛ مانند هیدروژن در مذاب آلومینیوم.  
ج) بعضی از گازها نه با مذاب واکنش شیمیایی می دهند و نه در آن حل می شوند؛ مانند گازهای خنثی.
- ۳- منابع تولید گاز در مذاب عبارتند از: هوای محیط، سوخت و محصولات احتراق، مواد نسوز، وسایل و ابزارهای ذوب، مواد شارژ و مواد قالب و ماهیچه.
- ۴- مهم ترین گازهای محلول در مذاب عبارتند از:  $N_2$ ،  $O_2$ ،  $H_2$ ،  $SO_2$ ،  $CO_2$ ،  $CO$ ،  $H_2O$  ...
- ۵- گازها برای انحلال در مذاب باید از حالت مولکولی خارج شوند و به حالت اتمی درآیند.



- ۶- عوامل مؤثر بر انحلال گازها در مذاب عبارتند از: درجه حرارت، فشار و عناصر آلیاژی.
- ۷- در هنگام انجماد مذاب، گازهای محلول از حالت اتمی خارج و به صورت مولکولی درمی آیند. چون حلالیت گازها در حالت جامد نسبت به حالت مذاب کمتر است.
- ۸- با شروع انجماد مذاب، دو عامل در تشکیل حباب‌های گازی مهم هستند. این عوامل عبارتند از: خروج گازها از حلالیت و محبوس شدن حباب‌ها.
- ۹- میزان مک‌های ایجاد شده در قطعه‌های ریختگی به عوامل مختلفی بستگی دارد؛ مانند مقدار اختلاط حلالیت گاز در حالت جامد و مذاب، نوع انجماد، سرعت سرد کردن مذاب، آخال‌ها، عناصر آلیاژی، سیستم راهگامی، شکل، اندازه و وزن قطعه.
- ۱۰- روش‌های اندازه‌گیری گاز در مذاب عبارتند از: رادیوگرافی قطعات ریخته‌گری شده با اشعه X، مشاهده سطح نمونه قطعه ریخته شده، انجماد نمونه تحت شرایط خلاء، آزمایش وزن مخصوص، روش آلتراسونیک
- ۱۱- روش‌های جلوگیری از ایجاد مک‌های گازی عبارتند از: استفاده از شارژ تمیز، کنترل احتراق، جلوگیری از طولانی شدن زمان ذوب و نگهداری مذاب، کاهش سطح مذاب، استفاده از مواد پوششی در سرباره، کنترل درجه حرارت مذاب، جلوگیری از تلاطم مذاب، طراحی سیستم راهگامی مناسب.
- ۱۲- روش‌های گاززدایی مذاب عبارتند از: استفاده از کاهش فشار خارجی، استفاده از افزایش فشار داخلی در مذاب.
- ۱۳- روش‌های گاززدایی با استفاده از افزایش فشار داخلی در مذاب عبارتند از؛ استفاده از گازهای بی‌اثر و استفاده از گازهای فعال.
- ۱۴- به تمام ناخالصی‌های ترکیبی فلزی و غیرفلزی که در فلز مذاب به‌وجود می‌آیند، آخال گفته می‌شود.
- ۱۵- انواع آخال‌ها عبارتند از: آخال‌های ایجاد شده در اثر عوامل خارجی مانند سرباره‌ها، ذرات مواد قالب و غیره و آخال‌های ایجاد شده در اثر واکنش شیمیایی در داخل مذاب مانند سولفیدها، نیتريد‌ها، اکسیدها و غیره.
- ۱۶- کلیه فلزات و آلیاژها با گازهای اکسید کننده، به ویژه اکسیژن، ترکیب می‌شوند و اکسید تولید می‌کنند. که مهم‌ترین آخال در کلیه آلیاژهای صنعتی می‌باشند.
- ۱۷- منابع ایجاد آخال عبارتند از: مواد شارژ، اندازه مواد شارژ، ترتیب باردهی، هم زدن و آشفته کردن مذاب، محیط اطراف کوره، دمای ذوب، زمان نگهداری مذاب، نوع کوره، وسایل و تجهیزات در

ذوب، بارریزی، قالب، سیستم راهگاهی، دمای بارریزی.

۱۸- به کلیه عملیاتی که برای جلوگیری، حذف یا کاهش اثرات نامطلوب آخال‌ها به کار می‌رود، آخال‌زدایی گفته می‌شود.

۱۹- برای آخال‌زدایی از فلاکس استفاده می‌شود و معمولاً دو نوع می‌باشد: فلاکس‌های پوششی و فلاکس‌های تمیزکننده.

۲۰- فلاکس‌های پوششی به منظور ایجاد سدی در برابر نفوذ اکسیژن به داخل مذاب طراحی شده‌اند.

۲۱- فلاکس‌های تمیزکننده به منظور جداسازی ذرات آخال معلق و خارج کردن آن‌ها از مذاب به کار می‌روند.

۲۲- مهم‌ترین وظایف فلاکس‌های تمیزکننده عبارتند از: کاهش وزن مخصوص آخال، کاهش آغشتگی آخال به مذاب، افزایش نقطه ذوب آخال.

۲۳- در روش‌های ترکیبی آخال‌زدایی، حذف آخال با عناصری صورت می‌گیرد که نسبت به فلز مذاب میل ترکیبی بیشتری با اکسیژن، نیتروژن و غیره دارند.

۲۴- برای حذف کامل آخال‌ها در آلیاژهایی که وجود مقدار جزئی آخال‌های ریز میکروسکوپی سبب کاهش خواص قطعه می‌شود، از عملیات فیلتر کردن مذاب استفاده می‌شود.

۲۵- اضافه کردن بعضی عناصر به مذاب در مقادیر جزئی می‌تواند موجب بهبود ریخته‌گری، مکانیکی و فیزیکی قطعات ریخته‌گری شود. به این عمل تلقیح گفته می‌شود.

۲۶- جوانه‌زایی یکی از موارد عملیات تلقیح می‌باشد.

۲۷- مواد جوانه‌زا باید دارای خواصی مانند دیرگدازی، قابلیت آغشتگی به مذاب باشد. ساختار کریستالی آن نزدیک به ساختار فلز مذاب باشد.

۲۸- جوانه‌زاها در آخرین مرحله به مذاب اضافه می‌شوند.

۲۹- در صورتی که دما، بالا و یا زمان جوانه‌زایی طولانی باشد. راندمان جوانه‌زایی به شدت کاهش می‌یابد.

۳۰- اندازه جوانه‌زاها نباید بسیار بزرگ باشد چون سبب غیریکنواختی در قطعات ریخته‌گری می‌شود و خواص قطعه ریخته‌گری را کاهش می‌دهد از طرفی نباید آن قدر ریز باشد که در مذاب به سادگی حل شود.

۳۱- جوانه را باید به‌طور یکنواخت و در مقدار معینی به مذاب اضافه کرد.

## انتظارات آموزشی

### الف) در سطح دانش

- ۱- عملیات کیفی را تعریف کند و روش‌های مهم آن را نام ببرد.
- ۲- مک‌گازی را تعریف کند.
- ۳- منابع تولید گاز در مذاب را توضیح دهد.
- ۴- عوامل مؤثر در انحلال گاز را نام ببرد.
- ۵- پدیده‌های مؤثر در تشکیل حباب‌های گازی در حین انجماد را نام ببرد.
- ۶- عوامل مؤثر در میزان مک‌های گازی را توضیح دهد.
- ۷- روش‌های جلوگیری از مک‌های گازی را شرح دهد.
- ۸- انواع روش‌های گاززدایی را نام ببرد.
- ۹- آخال را تعریف کند و انواع آن را شرح دهد.
- ۱۰- اکسیداسیون را توضیح دهد.
- ۱۱- منابع ایجاد آخال را نام برده و توضیح دهد.
- ۱۲- روش‌های آخال زدایی را نام ببرد.
- ۱۳- تلقیح را توضیح دهد.
- ۱۴- مزایا و معایب جوانه‌زایی را توضیح دهد.

### ب) در سطح درک و فهم مطالب

- ۱- واکنش گازهای مذاب را توضیح دهد.
- ۲- نحوه انحلال گازها در مذاب و عوامل مؤثر بر آن را شرح دهد.
- ۳- چگونگی ایجاد مک‌های گازی را توضیح دهد.
- ۴- روش گاززدایی با استفاده از کاهش فشار خارجی را توضیح دهد.
- ۵- روش گاززدایی با استفاده از افزایش فشار داخلی در مذاب را توضیح دهد.
- ۶- فلاکس‌های پوششی را شرح دهد.
- ۷- فلاکس‌های تمیزکننده را توضیح دهد.
- ۸- روش‌های ترکیبی آخال‌زدایی را توضیح دهد.
- ۹- عملیات فیلتر کردن مذاب را شرح دهد.
- ۱۰- شرایط و ویژگی‌های مواد جوانه‌زا را توضیح دهد.

### ج) در سطح کاربرد معلومات

- ۱- روش‌های اندازه‌گیری گاز در مذاب را توضیح دهد.
- ۲- ترتیب استفاده از مواد شارژ را توضیح دهد.
- ۳- نحوه محبوس شدن گازها در حین انجماد را توضیح دهد.

#### د) تجزیه و تحلیل

- ۱- مهم‌ترین عوامل مؤثر در افزایش راندمان گاززدایی با استفاده از گازها را توضیح دهد.
- ۲- تأثیر زمان جوانه‌زدایی، دما و زمان (میرایی) را بر مواد جوانه‌زا توضیح دهد.
- ۳- تأثیر اندازه و مقدار جوانه‌زاها را بر عملیات جوانه‌زایی توضیح دهد.
- ۴- روش‌های مختلف گاززدایی را با یکدیگر مقایسه نماید.
- ۵- روش‌های مختلف آخال‌زدایی را با یکدیگر مقایسه نماید.

#### ه) در سطح ترکیب و نوآوری

- ۱- میزان حلالیت هیدروژن در فلزات آهن و نیکل را در دماهای مختلف با یکدیگر مقایسه نماید.
- ۲- نحوه اکسیداسیون و نوع اکسید آهن با آلومینیوم را با یکدیگر مقایسه کند.

زمان پیش‌بینی شده برای تدریس این فصل، ۵ جلسه‌ی ۱۰۰ دقیقه‌ای برای تدریس و ۱ جلسه‌ی ۱۰۰ دقیقه‌ای برای ارزشیابی است.

جلسه ۵-۲

۱- حضور و غیاب

۲- پیش‌آزمون (به صورت شفاهی، کتبی، پاسخ کوتاه و ...)

۳- یادآوری از مطالب فصل قبل (اول)

## موضوع

- گاز و عملیات گاززدایی،

- واکنش گاز در مذاب،

- منابع تولید گاز در مذاب

- انحلال گازها در مذاب

برای درک بهتر مفاهیم این جلسه، چند سوال جهت آماده‌سازی ذهن هنرجو توسط هنرآموز ارائه شود.

۱- یک قطعه ریختگی را برش زده‌ایم، در سطح مقطع آن حفره‌هایی خالی مشاهده می‌شود، به نظر شما علت چه می‌تواند باشد.

۲- هنگامی که فلزات را ذوب می‌کنیم، معمولاً یک لایه جامد روی آن تشکیل می‌شود، علت چیست؟

۳- اگر ظرف آبی را برای مدتی ساکن نگه داریم در کف ظرف حباب‌هایی تشکیل می‌شود، علت چیست؟

۴- به نظر شما، آیا گازها در مذاب فلزات حل می‌شوند؟

۵- چگونه می‌توان از تولید گاز در مذاب جلوگیری نمود.

هنگامی که یک فلز را برای تولید یک قطعه ریختگی ذوب می‌کنیم، معمولاً در اثر عوامل محیطی و

آلودگی‌هایی که همراه با مواد شارژ اولیه وجود دارد، ناخواسته‌ای داخل مذاب می‌شود که اگر این مذاب به همراه

مواد ناخواسته، در قالب ریخته‌گری شود قطعه تولید شده دارای عیوب متفاوت خواهد بود و طبیعتاً کیفیت لازم

را نخواهد داشت به همین منظور، یک سری عملیات در حین ذوب و ریخته‌گری انجام می‌شود که علاوه بر

جلوگیری از ورود مواد ناخواسته به داخل مذاب و قطعه در حین منجمد شدن، بر قطعه ریختگی تأثیر گذاشته و

خواص متالورژیکی، مکانیکی، فیزیکی و ریخته‌گری آن را بهبود دهد. مهم‌ترین این عملیات عبارتند از:

الف) عملیات گاززدایی

ب) عملیات آخال‌زدایی

ج) عملیات تلقیح (جوانه‌زایی)

که در این فصل و دروس مربوط به آن، هرکدام از موارد فوق، به تفصیل مورد بحث و بررسی قرار خواهد

گرفت.

۱-۲- گاز و عملیات گاززدایی

معمولاً پس از ریخته‌گری در سطح مقطع قطعات ریختگی، حفره‌های توخالی مشاهده می‌شود. این حفره‌ها،

می‌توانند بسیار ریز (در حد میکروسکوپی) و یا به حدی بزرگ باشند که با چشم غیر مسلح دیده شوند، معمولاً این حفره‌ها، در اثر وجود گاز در مذاب ایجاد می‌شود که اصطلاحاً در ریخته‌گری، به آن‌ها مک گفته می‌شود. عموماً مک‌ها در نتیجه محبوس شدن گاز در مذاب و قطعه ریخته‌گری در حین عملیات ریخته‌گری و انجماد به وجود می‌آیند. مک‌های گازی، از مهم‌ترین عیوب در قطعات ریخته‌گری به‌شمار می‌روند. برای درک بهتر نحوه ایجاد مک‌های گازی، در قطعات ریخته‌گری، ابتدا باید اثرات گاز در مذاب و منابع تولید گاز در مذاب مشخص شود.

### ۱-۱-۲- واکنش گاز در مذاب: گازها با مذاب فلزات واکنش‌های متفاوتی دارند، که با توجه به تأثیر آن‌ها

بر فلز مذاب به سه دسته‌ی زیر تقسیم می‌شوند:

#### الف) اثر شیمیایی: بعضی از گازها، هنگام تماس با مذاب به صورت شیمیایی با مذاب واکنش می‌دهند که

منجر به تشکیل ترکیبات شیمیایی، نظر اکسیدها، سولفیدها، نیتروورها، کربورها و غیره، می‌شود. البته این نوع گازها، میل ترکیبی زیادی با فلزات دارند؛ مانند اکسیژن.

معمولاً ترکیبات ایجاد شده در اثر واکنش شیمیایی گاز و مذاب، نقطه ذوب نسبتاً بالایی دارند که در مذاب

فلز به صورت ذرات ریز جامد دیده می‌شوند. البته گاهی، نقطه ذوب این ترکیبات به گونه‌ای است که در مذاب فلز به صورت مایع ظاهر می‌شوند؛ به عنوان مثال، می‌توان اکسید فلزات را نام برد.

معمولاً در هنگام ذوب فلزات، به علت دمای بالای فلز و حرکت آزادانه اتم‌های فلز در سطح مذاب، اتم‌های

فلز با اکسیژن واکنش داده و اکسید فلز را به وجود می‌آورد. تشکیل اکسید آلومینیوم ( $Al_2O_3$ ) در سطح مذاب آلومینیوم مثالی از این حالت است.

#### ب) اثر فیزیکی (انحلال): بعضی از گازها میل ترکیب شیمیایی با مذاب فلزات ندارند؛ اما، هنگام تماس

با فلز مذاب از حالت مولکولی خارج شده، به صورت اتمی درمی‌آیند و در مذاب حل می‌شوند. به عنوان مثال،

هنگام تهیه مذاب آلومینیوم، گاز هیدروژن موجود در محیط که در تماس با آلومینیوم مذاب قرار دارد، از حالت

مولکولی خارج شده و به صورت اتم هیدروژن درمی‌آید و در نهایت به علت بالا بودن دمای مذاب به راحتی در

مذاب آلومینیوم حل می‌شود. به همین ترتیب می‌توان بخار آب را مثال زد؛ بخار آب موجود در هوا، هنگام تماس

با مذاب آلومینیوم، به هیدروژن و اکسیژن تجزیه شده و اکسیژن آن، که میل ترکیبی زیادی با آلومینیوم دارد،

با فلز آلومینیوم ترکیب شده اکسید آلومینیوم ( $Al_2O_3$ ) را تولید می‌کند. اما، اتم‌های هیدروژن که میل ترکیب

شدن با آلومینیوم را ندارد، به علت قطر اتمی کوچک، در مذاب آلومینیوم حل می‌شود.

البته لازم به ذکر است که گازهایی که در مذاب حل می‌شوند، اثر شیمی فیزیکی بر مذاب دارند؛ اما گازهایی

که با مذاب ترکیب می‌شوند، اثر شیمیایی بر مذاب دارند.

#### ج) خنثی: برخی از گازهای موجود در محیط، میل ترکیب شدن با مذاب (ترکیب شیمیایی) و انحلال در

مذاب (اثر شیمی، فیزیکی) را ندارند، این گروه از گازها را گازهای خنثی یا بی اثر می نامند. به عنوان مثال، گازهای هلیوم (He) و آرگون (Ar) نسبت به مذاب فلزات مختلف خنثی می باشند. اما گاز نیتروژن نسبت به بسیاری از مذاب فلزات مختلف مانند آلومینیوم خنثی می باشد، اما در مذاب چدن حل می شوند.

## ۲-۱-۲- منابع تولید گاز در مذاب

منابع تولید گاز در مذاب عبارتند از:

(الف) هوای محیط

(ب) سوخت و محصولات احتراق

(ج) مواد نسوز

(د) وسایل و ابزارهای ذوب

(ه) مواد شارژ

(و) مواد قالب و ماهیچه

**الف) هوای محیط:** هوای محیط، شامل گازهایی مانند هیدروژن، اکسیژن، ازت و بخار آب و غیره می باشد. که گازهای دیگر از لحاظ مقدار نسبت به این گازها کمتر است. این گازها، به علت میل ترکیبی زیاد آنها با مذاب فلز، واکنش های شیمیایی و فیزیکی می دهند این واکنش ها، موجب از بین رفتن فلز مذاب و عناصر آلیاژی و تشکیل ترکیبات ناخواسته مانند اکسیدها و غیره می شود. این ترکیبات ناخواسته، در مذاب باقی مانده و حین ریخته گری وارد محفظه قالب گشته و سبب بروز عیب در قطعه ریخته گری می شود.

به طور کلی شکل کلی این واکنش ها به صورت زیر است:

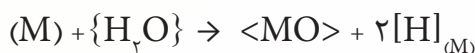
۱- واکنش ترکیب فلز جامد با اکسیژن هوا و تشکیل اکسید فلز جامد



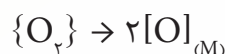
۲- واکنش ترکیب فلز مذاب با اکسیژن هوا و تشکیل اکسید فلز جامد



۳- واکنش ترکیب فلز مذاب با بخار آب، تجزیه بخار آب به اکسیژن و هیدروژن، تشکیل اکسید فلز جامد و انحلال هیدروژن به صورت اتمی در فلز مذاب.



۴- انحلال گاز اکسیژن به صورت اتمی در فلز مذاب



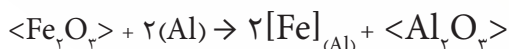
(ب) سوخت و محصولات احتراق: معمولاً سوخت کوره های ریخته گری شامل ترکیبات هیدروکربوره

( $C_mH_n$ )، رطوبت، مقادیر کمی گوگرد، خاکستر (بیشتر در مورد سوخت‌های جامد) و ترکیبات هیدروژن سولفور می‌باشد. این سوخت‌ها، در حین احتراق، گازهایی مانند  $CO$ ،  $H_2O$ ،  $CO_2$  و  $SO_2$  از خود متصاعد می‌کنند که ممکن است بر مذاب تأثیر گذاشته، با آن واکنش دهند. که موجب اتلاف مذاب و یا ایجاد ترکیبات ناخواسته در مذاب شده که در نهایت بر روی خواص قطعه ریختگی تأثیر نامطلوب گذاشته و سبب بروز عیب در قطعه می‌شود.

**ج) نسوزها:** معمولاً، دیواره کوره‌ها، نگهدارنده‌های مذاب، پاتیل‌ها و بوت‌ها را با یک لایه ماده دیرگداز، که نقطه ذوب بالایی دارد و نسبت به مذاب و سرباره بی‌اثر باشد، می‌پوشانند. اگر در این مواد دیرگداز، ناخالصی وجود داشته باشد این ناخالصی‌ها باعث کاهش نقطه ذوب و دیرگدازی مواد پوشش شده و در نتیجه موجب ورود این مواد به داخل مذاب و واکنش شیمیایی آن‌ها با مذاب می‌شود.

از طرف دیگر، برخورد مذاب با دیواره دیرگداز و همچنین ضربات ناشی از قرار دادن مواد شارژ در بوت‌ها یا پاتیل سبب صدمه دیدن دیواره پاتیل و در نهایت خرد شدن لایه پوششی و وارد شدن آن‌ها به داخل مذاب می‌شود. ورود این مواد به مذاب، سبب آلودگی مذاب و در نتیجه، کاهش کیفیت قطعه ریختگی خواهد شد.

**د) وسایل و ابزار ذوب:** هنگام ذوب و ریخته‌گری قطعات فلزی، از وسایل و ابزار مخصوص جهت اضافه نمودن عناصر آلیاژی‌سازی، به هم‌زدن و یکنواخت کردن مذاب، نمونه‌برداری از مذاب و غیره استفاده می‌شوند. اغلب، این وسایل فلزی بوده و در هنگام ورود به مذاب ممکن است مقداری از عناصر آن وارد مذاب فلز گشته و موجب آلودگی مذاب یا واکنش با آن بشود. به عنوان مثال، در هنگام ذوب آلومینیوم در بوت‌ها از ابزار آهنی استفاده می‌شود که اکسیدهای آهن از ابزار جدا شده و وارد مذاب می‌شوند. این اکسیدها با آلومینیوم واکنش داده و سبب تشکیل اکسید آلومینیوم جامد در مذاب آلومینیوم و آهن محلول در مذاب آلومینیوم می‌شود. واکنش آن‌ها به صورت زیر می‌باشد:



**ه) مواد بار (شارژ):** مواد بار یا شارژ یک کوره، معمولاً از نظر اقتصادی و متالورژیکی به چند دسته تقسیم می‌شوند که عبارتند از: شمش‌های اولیه، شمش‌های ثانویه، برگشتی‌ها و قراضه‌ها. هر کدام از این مواد، به نحوی سبب آلودگی مذاب و تشکیل گاز می‌گردند.

شمش‌های اولیه، شمش‌هایی هستند که مستقیماً از کوره‌های ذوب فلز اصلی یا مادر، مانند چدن، و یا از طریق الکترولیز، مانند مس، تولید می‌شوند. معمولاً شمش‌های اولیه، خلوصی بیشتر از ۹۹/۹ درصد دارند. همچنین، در این مواد مقدار کمی ناخالصی وجود دارد که ممکن است سبب ایجاد محدودیت از نظر ترکیب شیمیایی مذاب نهایی و عیب در قطعه ریختگی می‌شوند.

به عنوان مثال، می‌توان به شمش‌های محصول کوره بلند که به آهن خام معروف می‌باشد، اشاره کرد. این



شمش‌ها، علاوه بر داشتن عناصری مانند کربن، سیلیسیم و منگنز، دارای مقادیر کمی گوگرد و فسفر می‌باشند؛ گوگرد و فسفر سبب کاهش خواص مکانیکی قطعه ریختگی می‌شود. به همین منظور، باید قبل از ریخته‌گری مذاب آهن خام، فسفر و گوگرد آن تا حد امکان حذف شوند.

شمش‌های ثانویه، یا آلیاژی معمولاً از قبل با عملیات الکترولیز مجدد و یا تصفیه، به صورت موادی با درجه خلوص بالاتر و یا با ترکیب شیمیایی آلیاژهای متداول در صنعت، تهیه می‌شوند. مثلاً شمش آلیاژ آلومینیوم ۸ درصد سیلیسیم برای ریخته‌گری قطعات با همین جنس به طور مستقیم استفاده می‌شود و نیاز به آلیاژسازی ندارد. بنابراین، این شمش‌ها براساس ترکیب شیمیایی قطعه ریختگی موردنظر، به مصرف می‌رسند و نیاز به عملیات تصفیه مجدد و یا آلیاژسازی ندارند.

قراضه‌های فلزی، معمولاً شامل قطعات فرسوده فلزی، اضافات (دورریز) و مواد زاید فلزی می‌باشند که به دلیل قیمت پایین در ذوب و ریخته‌گری قطعات به کار می‌رود. برای استفاده از این مواد، لازم است که ترکیب شیمیایی آن‌ها مشخص شود؛ زیرا آن‌ها از بقایای وسایل و تجهیزات فلزی مختلف می‌باشند و از ترکیب شیمیایی آن‌ها اطلاع دقیقی در دست نمی‌باشد. بنابراین، در هنگام استفاده از آن‌ها باید از عناصر آلیاژی موجود در آن‌ها آگاهی حاصل نمود و در صورت نیاز، از مذاب حاصل، نمونه‌برداری انجام داد تا بتوان به ترکیب شیمیایی موردنظر رسید. معمولاً، همراه قراضه‌ها ترکیبات و مواد ناخواسته‌ای مانند مواد اکسیدی یا قطعات زنگ زده، رطوبت، مواد روغنی مانند گریس و غیره وجود دارد. به همین دلیل، برای استفاده از این مواد برای ذوب و ریخته‌گری قطعات، ابتدا باید این مواد و ترکیبات ناخواسته را از آن‌ها جدا کرد که سبب آلودگی مذاب نشود. به عنوان مثال، می‌توان اضافات قطعات ریختگی از قبیل راهگاه، تغذیه و قطعات معیوب در یک واحد ریخته‌گری را نام برد که به برگشتی موسوم می‌باشند. این مواد، در صورتی که مربوط به یک واحد تولیدی ریخته‌گری باشند، ترکیب شیمیایی و نحوه تولید آن‌ها در آن واحد مشخص است. بنابراین، این اضافات با قراضه‌ها متفاوت‌اند و در صورتی که در اندازه و شکل‌های مناسبی وجود داشته باشند، می‌توان آن‌ها را مانند شمش‌های آلیاژی مورد استفاده قرار داد، اما، اگر این برگشتی‌ها مربوط به یک واحد تولیدی دیگر باشند و ترکیب شیمیایی و نحوه تولید آن‌ها مشخص نباشد، نمی‌توان آن‌ها را مانند شمش‌های آلیاژی مورد استفاده قرار داد، بلکه باید مانند قراضه‌ها از آن‌ها استفاده نمود تا سبب اشکال در ترکیب شیمیایی مذاب نشوند. از طرف دیگر، با توجه به اینکه برگشتی‌ها با خود مقداری ماسه و ترکیبات ناخواسته دیگر به همراه دارند و موجب آلودگی مذاب می‌شوند، باید آن‌ها را برطرف کرد. بنابراین، استفاده از آن‌ها مستلزم آگاهی و دقت بسیار است. سوفاژه‌ها یا براده‌ها یکی دیگر از انواع قراضه‌ها می‌باشند که در اثر براده‌برداری یا تراشکاری از قطعات ریختگی یا قطعات شکل داده شده برای رسیدن به ابعاد مورد نظر به دست می‌آید. این مواد، بسیار ارزان می‌باشند و لذا در صنایع ریخته‌گری و ذوب فلزات از آن‌ها استفاده می‌شود. مشکل عمده این مواد، بالا بودن میزان نسبت سطح به حجم آن‌ها است. بنابراین، در هنگام ذوب، سطح زیادی از این

مواد در تماس با اکسیژن قرار می‌گیرد و با توجه به دمای بالای ذوب، با اکسیژن ترکیب شده و مواد ناخواسته اکسیدی ایجاد می‌کند که سبب آلوده شدن مذاب می‌شوند؛ همچنین این مواد، همراه خود رطوبت و ترکیبات روغنی داشته که برای استفاده مطلوب از آن‌ها، باید قبل از ذوب، حتماً با محلول رقیق سود شسته شود و پس از خشک کردن، به صورت خسته (بریکت)، فشرده شوند. البته لازم به ذکر است که بهتر است این خسته‌ها به عنوان بار جامد اولیه در کوره استفاده نشوند؛ بلکه روش درست استفاده از آن‌ها، غوطه‌ور کردن آن‌ها در زیر لایه‌های مذاب می‌باشد که از تماس مستقیم آن‌ها با اکسیژن هوا جلوگیری شود و مذاب حاصل با مواد اکسیدی آلوده نشود. با توجه به موارد ذکر شده، کنترل ترکیب شیمیایی مذاب بسیار مهم می‌باشد. بنابراین می‌توان با کنترل دقیق شرایط مذاب، مواد شارژ مناسب، وسایل و تجهیزات ذوب، ترکیب شیمیایی مذاب را کنترل نمود و از آلودگی آن جلوگیری کرد.

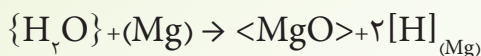
در جدول ۱-۲ درصد اتلاف عناصر مختلف تحت شرایط نوع شارژ و کوره ارائه شده است؛ همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، درصد اتلاف عناصر در برگشتی‌ها و قراضه‌ها نسبت به شمش‌های اولیه در کوره‌های مختلف بیشتر است. از طرف دیگر، درصد اتلاف عناصر در کوره‌های شعله‌ای، که به طور مستقیم شعله در تماس با مذاب است، نسبت به کوره بوت‌های، که شعله در تماس با مذاب نمی‌باشد، بیشتر است. همچنین، درصد اتلاف عناصر در کوره‌های الکتریکی، که فاقد شعله می‌باشند، نسبت به کوره‌های شعله‌ای و بوت‌های به مراتب کمتر می‌باشد.

جدول ۱-۲- درصد تلفات عناصر مختلف تحت شرایط نوع شارژ و کوره

عناصر	شمش‌های اولیه			برگشتی‌ها و قراضه		
	کوره الکتریکی	کوره شعله‌ای	کوره بوت‌های	کوره الکتریکی	کوره شعله‌ای	کوره بوت‌های
آلومینیوم	۱-۱/۲	۱-۲	۱-۱/۵	۱-۲	۲/۵-۳	۱/۵-۲
منیزیم	۲-۳	۳-۵	۲/۵-۳/۵	۳-۵	۳-۱۰	۳-۶
برلیوم	۲-۳	۳-۵	۲/۵-۳/۵	۳-۵	۵-۱۰	۳-۶
سدیم	۲-۳	۳-۵	۲/۵-۳/۵	۳-۵	۵-۱۰	۴-۷
روی	۱-۳	۲-۴	۱-۳	۲-۳	۳-۵	۲-۴
منگنز	۰/۵	۱-۲	۰/۵-۱	۱-۲	۲-۳	۱-۲
قلع	۰/۵	۱-۱/۵	۰/۵-۱	۱-۱/۵	۱/۵-۲	۱/۵-۲
آهن	۰/۵	۰/۵-۱	۰/۵	۰/۵	۰/۵-۱	۰/۵
نیکل	۰/۵	۰/۵-۱	۰/۵	۰/۵	۰/۵-۱	۰/۵
سیلیسیم	۰/۵	۱-۱/۵	۰/۵-۱	۱-۱/۵	۱/۵-۲	۱-۲
مس	۰/۵	۱-۲	۰/۵-۱	۱-۲	۲-۳	۱-۲
سرب	۰/۵-۲	۱-۲	۱-۲	۱-۲	۱/۵-۲/۵	۱-۲

**(و قالب:** مواد قالب نیز می‌تواند موجب آلوده شدن مذاب شود. به این طریق که در اثر برخورد مذاب با مواد قالب، تکه‌هایی از آن جدا شده و وارد مذاب می‌گردد. این مواد، ممکن است در مذاب سبب انجام واکنش‌های

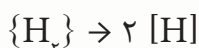
شیمیایی و شیمی – فیزیکی (حل شدن) شوند و در نتیجه، مواد و ترکیبات ناخواسته‌ای ایجاد کنند و سبب کاهش کیفیت و بروز نقص در قطعه ریخته‌گری شوند. به عنوان مثال، وجود رطوبت در مواد قالب، می‌تواند سبب واکنش شیمیایی ترکیب فلز با اکسیژن و واکنش شیمی – فیزیکی حل شدن هیدروژن به صورت اتمی در مذاب شود که در نهایت منجر به ایجاد عیوب سطحی و یا درونی در قطعه ریخته‌گری می‌شود. به عنوان مثال، رطوبت موجود در قالب، با مذاب منیزیم واکنش داده و سبب تشکیل اکسید منیزیم جامد و انحلال هیدروژن در مذاب منیزیم می‌شود. واکنش آن به صورت زیر است:



در هنگام انجماد مذاب، با توجه به کاهش حلالیت هیدروژن در مذاب، هیدروژن محلول از حالت انحلال (اتمی) خارج شده و به صورت مولکول هیدروژن (حباب گاز هیدروژن) در می‌آید. با توجه به اینکه سرعت خروج گاز از سرعت انجماد مذاب پایین‌تر است، گاز در لایه‌های سطحی و یا درون قطعه محبوس شده و باعث ایجاد حفره در قطعه می‌گردد. همچنین مواد قابل تبخیر دیگری مانند رطوبت در قالب وجود دارد که می‌تواند سبب تشکیل حفره در قطعه شود. به عنوان مثال، اکسید آهن موجود در مذاب فولاد یا چدن، با سیلیس قالب واکنش داده موجب کاهش نقطه ذوب سیلیس و چسبیدن مذاب به سیلیس و در نتیجه، ماسه جوش شدن سطح قطعه ریخته‌گری می‌گردد.

### ۳-۱-۲- انحلال گازها در مذاب

مهم‌ترین گازهایی که می‌توانند در مذاب حل شوند، عبارتند از:  $N_2$ ،  $O_2$ ،  $H_2$ ،  $CO$ ،  $CO_2$ ،  $H_2O$ ،  $SO_2$  و غیره. در بین این گازها، گاز هیدروژن، به دلیل دارا بودن کوچک‌ترین قطر اتمی، در بیشتر فلزات و آلیاژها حل می‌شود و به همین دلیل، تحقیقات بسیاری روی انحلال گاز هیدروژن در مذاب انجام شده است. به‌طور کلی، گازها برای انحلال در مذاب، باید ابتدا از حالت مولکولی خارج شده و به حالت اتمی درآیند. به عنوان مثال، برای گاز هیدروژن داریم:



اتمی  $\rightarrow$  مولکولی

انحلال گازها در فلزات به عوامل مختلفی بستگی دارد که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از:

**الف) دما:** هرچه دمای فلز افزایش یابد، میزان انحلال گازها در فلز بیشتر خواهد بود. علت این پدیده، این است که با افزایش دما، ارتعاش اتم‌های فلز افزایش پیدا می‌کند. در اثر افزایش ارتعاش، اتم‌ها فاصله بین اتم‌های فلزی زیاد می‌شود و در نتیجه، مقدار گاز بیشتری به صورت اتمی در فلز حل خواهد شد. به طوری که در دماهای بالا، که فلز به صورت مذاب در می‌آید، میزان انحلال اتم‌های گازی بیشتر خواهد شد.

جدول ۲-۲- ارتباط بین انحلال گاز هیدروژن و دمای فلزات را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود،

با بالا رفتن دمای فلز، مقدار هیدروژن حل شده در ۱۰۰ گرم از آن فلز، افزایش می‌یابد.

جدول ۲-۲- اثر درجه حرارت بر انحلال هیدروژن در آلومینیوم

مقدار هیدروژن حل شده CC / ۱۰۰gr	درجه حرارت بر حسب سانتی‌گراد	حالت
$1 \times 10^{-7}$	۰	حالت جامد
$1 \times 10^{-3}$	۳۰۰	حالت جامد
$5 \times 10^{-3}$	۴۰۰	حالت جامد
$12 \times 10^{-3}$	۵۰۰	حالت جامد
$26 \times 10^{-3}$	۶۰۰	حالت جامد
$36 \times 10^{-3}$	۶۶۰	حالت جامد
$69 \times 10^{-2}$	۶۶۰	حالت مذاب
$92 \times 10^{-2}$	۷۰۰	حالت مذاب
۱/۰۷	۷۲۵	حالت مذاب
۱/۲۳	۷۵۰	حالت مذاب
۱/۶۷	۸۰۰	حالت مذاب
۲/۱۵	۸۵۰	حالت مذاب

**ب) فشار:** هرچه فشار محیط اطراف فلز مذاب افزایش یابد، انحلال گاز در مذاب بیشتر خواهد شد. علت این پدیده این است که با افزایش فشار محیط اطراف، گازها با نیروی بیشتری به سطح فلز مذاب رانده می‌شوند؛ بنابراین گاز در تماس با مذاب به حالت اتمی درآمد و در آن حل می‌شود.

**ج) عناصر آلیاژی:** عناصر آلیاژی، تأثیر متفاوتی بر روی انحلال گاز در فلزات دارند. به طوری که برخی از آن‌ها، انحلال گاز را افزایش می‌دهند و برخی دیگر کاهش می‌دهند. به عنوان مثال جدول ۳-۲- تأثیر عناصر آلیاژی مختلف را بر روی انحلال هیدروژن در آلومینیوم نشان می‌دهد.

جدول ۳-۲- قابلیت انحلال هیدروژن در آلومینیوم و چند آلیاژ آن

قابلیت انحلال PPM	آلیاژ
۱/۲	آلومینیوم خالص
۰/۸۱	آلیاژ آلومینیوم با ۷ درصد سیلیسیم و ۳ درصد منیزیم
۰/۸۸	آلیاژ آلومینیوم با ۴/۵ درصد مس
۰/۶۷	آلیاژ آلومینیوم با ۱۶ درصد سیلیسیم و ۳/۵ درصد مس
۱/۱۵	آلیاژ آلومینیوم با ۴ درصد منیزیم و ۲ درصد سیلیسیم

### در پایان جلسه:

- جمع بندی مطالب این جلسه توسط هنرآموز
- تکالیف برای منزل هنرجویان: مطالعه متن درس و آمادگی برای آزمون جلسه آینده.

۱- حضور و غیاب

۲- پیش آزمون

۳- یادآوری از مطالب جلسه قبل

### موضوع:

- چگونگی ایجاد مک‌های گازی

- عوامل مؤثر در میزان مک‌های گازی

- روش‌های اندازه‌گیری گاز در مذاب

ابتدا هنرآموز محترم چند سؤال در جهت آمادگی ذهنی هنرجو بیان نماید.

۱- به نظر شما، مک‌های گازی چگونه در قطعات ریختگی ایجاد می‌شود؟

۲- آیا حلالیت گاز در فلز در حالت‌های جامد و مایع یکسان است؟

۳- به نظر شما، با چه روشی می‌توان وجود مک در قطعات ریختگی را تشخیص داد؟

### ۴-۱-۲- چگونگی ایجاد مک‌های گازی

با توجه به جدول ۲-۲ مشاهده می‌شود که هرچه دمای فلز بالا رود، میزان حلالیت گازها در آن بیشتر خواهد بود. در نتیجه، در هنگام ذوب میزان حلالیت نسبت به حالت جامد بیشتر خواهد بود. بنابراین، هنگامی که به یک فلز گرما داده می‌شود تا ذوب شود و به دمای فوق‌گداز برسد، مقداری گاز در آن حل خواهد شد که نسبت به حالت جامد فلز، میزان گاز حل شده، بیشتر خواهد بود. حال هنگامی که این مذاب به داخل قالب ریخته می‌شود، با گذشت زمان، دمای مذاب کاهش یافته و میزان حلالیت گازها در مذاب نیز، در نتیجه آن، کاهش خواهد یافت. در چنین حالتی اتم‌های گازهای مازاد بر حد حلالیت مذاب به تدریج از حالت اتمی در مذاب خارج شده و به صورت مولکولی یا حباب در می‌آید. این گازها (حباب‌ها) به تدریج به سمت سطح مذاب حرکت کرده و آرام‌آرام از سطح مذاب خارج می‌شوند. سرعت خروج حباب‌های گازی از مذاب به عوامل مختلفی مانند گران روی مذاب، اندازه حباب، شکل و عمق پاتیل بستگی دارد؛ به عبارت دیگر، هرچه گران روی مذاب بیشتر باشد، چسبندگی بین اتم‌های مذاب بیشتر است. بنابراین، حرکت این حباب‌ها کند می‌شود و در نتیجه، سرعت خروج آن‌ها کمتر خواهد شد. هرچه حباب گازی ریزتر باشد، سرعت خروج آن‌ها از مذاب کمتر خواهد بود؛ چون باید بر نیروی وزن

مذاب بالای حباب گازی غلبه نماید. بنابراین، هرچه حباب کوچک تر باشد، سرعت حرکت آن در مذاب به سمت بالا کمتر خواهد بود. هرچه عمق پاتیل بیشتر باشد، حباب‌های کف پاتیل باید بر نیروی وزن مذاب بیشتری که بالای آن‌ها وجود دارد؛ غلبه کند. بنابراین، سرعت خروج آن‌ها کمتر خواهد بود.

گران روی مذاب با کاهش دما، افزایش می‌یابد. بنابراین، با افزایش گران روی مذاب، چسبندگی اتم‌های مذاب به یکدیگر بیشتر شده و حباب‌های گازی به سختی می‌توانند بر نیروی چسبندگی پیوند اتم‌ها غلبه کنند تا از مذاب خارج شوند. در نتیجه، سرعت خروج حباب‌های گازی با کاهش دمای مذاب به تدریج کاهش می‌یابد. همچنین با شروع انجماد، به علت به وجود آمدن ذرات جامد در مذاب که خود مانعی بر سر راه حباب‌های گازی هستند، سرعت حرکت حباب‌های گازی افت بیشتری می‌یابد. در این حالت، دو پدیده مهم در تشکیل حباب‌های گازی مؤثرند که عبارتند از:

**الف) خروج گازها از حلالیت:** در بسیاری از فلزات و آلیاژها، میزان حلالیت گازها در حالت جامد و مذاب بسیار زیاد است به طوری که معمولاً حلالیت گازها در مذاب فلزات بسیار بیشتر از حالت جامد فلز است. به عنوان مثال، حلالیت هیدروژن در چند فلز در حالت جامد و مذاب در شکل ۱-۲ نشان داده شده است. با افزایش دما، حلالیت هیدروژن به صورت یکنواخت در حالت جامد یا در حالت مذاب افزایش می‌یابد؛ اما در دمای ذوب، در بعضی از فلزات مانند آلومینیوم، نیکل و آهن، حلالیت گاز در مذاب به مقدار بسیار زیادی نسبت به فلز جامد افزایش یافته است، اما در بعضی از فلزات مانند مس مقدار این افزایش کمتر است.

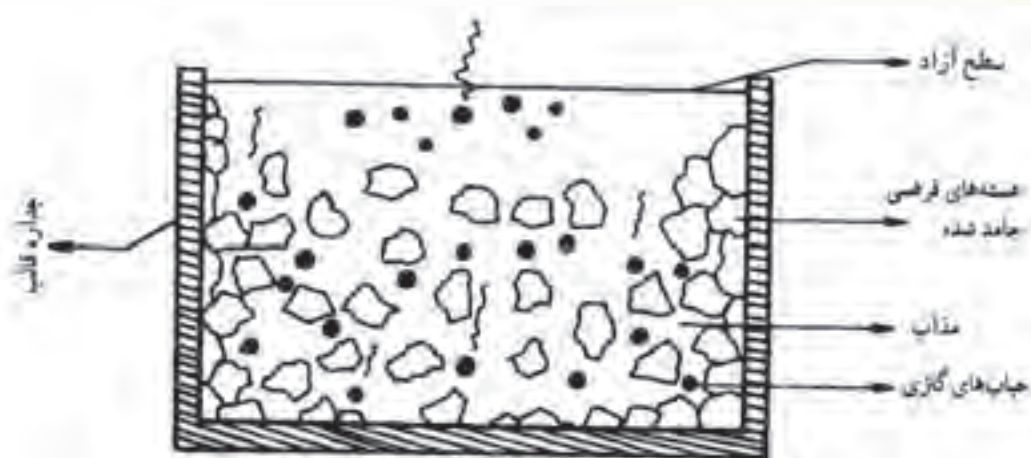


شکل ۱-۲- تأثیر درجه حرارت در حلالیت هیدروژن

با توجه به نمودار می بینیم که در زمان انجماد، مقدار زیادی گاز محلول در مذاب از حالت اتمی یا انحلال خارج شده و به حالت مولکولی تبدیل می شود. به طوری که در دمای انجماد، تشکیل حباب گازی ناگهان چند برابر افزایش می یابد؛ به عبارت دیگر، مقدار زیادی از گازهای حل شده در مدت زمان کوتاهی، به دلیل تبدیل ساختار مذاب به جامد و کاهش فاصله بین اتم های فلز در حالت جامد، از حالت اتمی خارج شده و به صورت حباب های گازی در می آیند. به عنوان مثال، می توان نقطه انجماد نیکل را در شکل ۲-۱ مشاهده نمود.

**ب) محبوس شدن حباب ها:** همان طور که گفته شد، مقدار زیادی حباب گازی در هنگام انجماد در مدت زمان کوتاهی تشکیل می شود. اگر بتوان به گونه ای این حباب های گازی را از مذاب خارج نمود، پس از انجماد در قطعه ریخته گری هیچ گونه مک و تخلخل گازی وجود نخواهد داشت. اما در عمل اینگونه نیست! زیرا با کاهش دما، گران روی مذاب افزایش می یابد؛ از طرف دیگر، در حین انجماد، هسته های جامد به طور پراکنده در مذاب به وجود می آیند که خود به عنوان مانع، در برابر حرکت حباب های گازی عمل می کنند. بنابراین، سرعت خروج حباب های گازی در هنگام انجماد بسیار کاهش می یابد، به طوری که حباب های گازی در لابه لای ذرات جامد محبوس می شوند و پس از انجماد، مک یا تخلخل گازی در قطعه ایجاد می نماید.

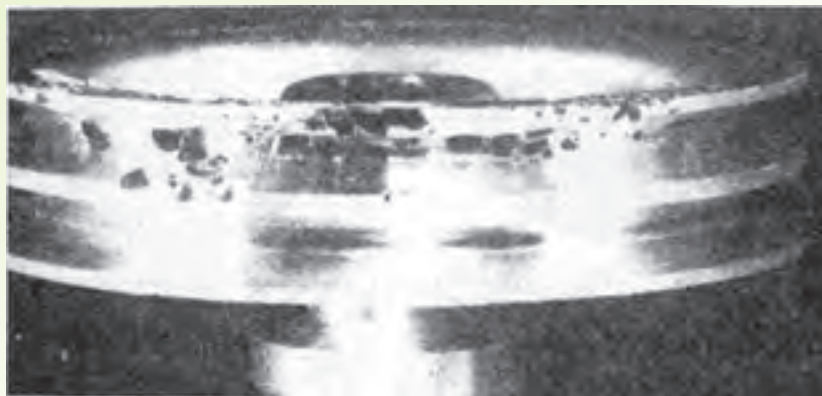
این موضوع، به طور شماتیک در شکل ۲-۲ نشان داده شده است.



شکل ۲-۲- نمای شماتیک از محبوس شدن حباب های گازی در لابه لای ذرات جامد ایجاد شده

به عبارت دیگر، حجم زیاد گازهای تولید شده در یک مدت زمان کوتاه در هنگام انجماد و وجود موانع، مانند هسته های جامد، افزایش گران روی مذاب، در مسیر خروج حباب های گازی علت اصلی ایجاد مک های گازی در قطعات ریخته گری می باشد. به عنوان مثال، شکل ۲-۳ نمونه ای از مک های ایجاد شده ناشی از محبوس شدن حباب های گازی را در یک قطعه ریخته گری نشان می دهد.





شکل ۳-۲- آلیاژ آلومینیوم قالب ماسه‌ای تر

### ۵-۱-۲- عوامل مؤثر در میزان مک‌های گازی:

عوامل زیادی در ایجاد مک‌های گازی در قطعه ریختگی وجود دارد که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از:  
**الف) مقدار اختلاف حلالیت گاز در حالت جامد و مذاب:** با توجه به موارد ذکر شده، واضح است که هرچه میزان حلالیت گاز در مذاب نسبت به جامد بیشتر باشد مذاب مقدار گاز بیشتری را در خود حل می‌کند. در نتیجه، در هنگام انجماد، حجم حباب‌های گازی نسبتاً زیادی در مدت زمان کوتاهی ایجاد می‌شود که خروج آن‌ها به‌طور کامل امکان‌پذیر نیست (با توجه به مطالب ذکر شده در قبل). بنابراین، مقدار زیادی از این حباب‌های گازی در قطعه محبوس می‌شود. به عنوان مثال، چون مقدار اختلاف حلالیت هیدروژن در حالت جامد و مذاب فلز آلومینیوم از فلز مس بیشتر است (مطابق شکل ۱-۲)، پس مقدار مک‌های گازی ناشی از گاز هیدروژن در آلیاژهای آلومینیوم به مراتب بیشتر از آلیاژهای مس است.

**ب) نوع انجماد:** همانطور که در فصل چهارم توضیح داده خواهد شد، آلیاژها معمولاً به دو صورت پوسته‌ای و خمیری منجمد می‌شوند. آلیاژهایی که دامنه انجماد آن‌ها بسیار زیاد است، یا به عبارت دیگر، فاصله بین دمای شروع و پایان انجماد آن‌ها زیاد است، به صورت خمیری که مخلوطی از مذاب و ذرات جامد می‌باشد، منجمد می‌شود. آمار آلیاژهایی که دامنه انجماد آن‌ها کوتاه است و به صورت لایه‌لایه منجمد می‌شوند به انجماد پوسته‌ای معروف است. با توجه به این مطالب در می‌یابیم که در آلیاژهایی که دارای انجماد خمیری هستند، چون جبهه انجماد شامل مذاب به همراه ذرات جامد می‌باشد، مقدار حباب‌های گازی محبوس شده نسبت به حالتی که جبهه انجماد پوسته‌ای است یا مذاب به صورت لایه‌لایه منجمد می‌شود، بیشتر خواهد بود. بنابراین، میزان مک‌های گازی در آلیاژهای با جبهه انجماد خمیری بیشتر خواهد بود.

**ج) سرعت سرد کردن مذاب:** همان‌طور که ذکر شد، اگر تمام حباب‌های گازی ایجاد شده در مذاب در

هنگام انجماد از مذاب خارج شوند، در قطعه هیچ گونه مک و تخلخل گازی ایجاد نخواهد شد. بنابراین اگر به مذاب فرصت کافی داده شود، یا به عبارت دیگر سرعت سرد شدن مذاب بسیار کم باشد، حباب‌های گازی امکان خروج از مذاب را پیدا می‌کنند؛ در نتیجه، مقدار مک‌های گازی در قطعه کمتر خواهد شد. از سرعت سرد کردن بسیار آهسته در شرایط معمول ریخته‌گری غیر عملی است و مذاب با سرعت بیشتری سرد خواهد شد. اما اگر مذاب با سرعت بالایی سرد شود، به طوری که اتم‌های گازی محلول در مذاب، فرصت خارج شدن از حالت اتمی و تشکیل حباب گازی را نداشته باشند، دیگر هیچ‌گونه حباب گازی در مذاب ایجاد نخواهد شد. در این صورت گازها در مذاب به صورت محلول فوق اشباع باقی می‌مانند و از خروج آن‌ها از حلالیت، جلوگیری می‌شود. به این ترتیب، قطعه ریختگی حاصل، فاقد مک و تخلخل گازی خواهد بود. برای مثال، در روش‌های ریخته‌گری ویژه و آب‌گرد، با توجه به سرعت بالای انجماد، حباب‌های گازی در مذاب تشکیل نشده و قطعه ریختگی فاقد مک گازی خواهد بود.

**د) آخال‌ها (ناخالصی‌ها):** معمولاً مذاب فلزات با مقادیری ناخالصی‌های جامد مانند اکسیدها و غیره همراه می‌باشد که در مراحل مختلف ذوب وارد مذاب شده‌اند. این آخال‌ها (ناخالصی‌ها) معمولاً به دلیل شکل غیرهندسی خود، مقدار زیادی ریز مک‌های گازی در مذاب وارد می‌کنند. بنابراین، میزان حباب‌های گازی در مذاب افزایش یافته و موجب افزایش مک‌های گازی در قطعه ریختگی خواهد شد. بنابراین حضور آخال‌ها و ناخالصی‌ها در مذاب، در تشکیل حباب‌های گازی بسیار مؤثر است.

به طور کلی، برای تولید قطعات ریختگی سالم و عاری از مک گازی ابتدا باید آخال‌ها را از مذاب به طریقی جدا نمود.

**ه) عناصر آلیاژی:** همان‌طور که در جلسه قبل ذکر شد، عناصر آلیاژی بر میزان حلالیت گاز در مذاب تأثیر دارد. بنابر این، اگر عنصر آلیاژی سبب افزایش حلالیت گاز در مذاب شود، در هنگام انجماد مذاب مقدار زیادی حباب گازی ایجاد خواهد شد که منجر به افزایش مک‌های گازی در قطعه ریختگی خواهد شد. از طرف دیگر، عناصر آلیاژی سبب افزایش دامنه انجماد شده که سبب ایجاد جبهه انجماد خمیری می‌شود که خود باعث محبوس شدن بیشتر حباب‌های گازی ایجاد شده در حین انجماد و در نتیجه افزایش مک‌های گازی در قطعه ریختگی می‌شود.

**و) سیستم راهگامی:** اگر سیستم راهگامی به گونه‌ای طراحی شود که هوا در قالب حبس شود، قطعه ریختگی حاصل، پر از مک‌های درشت خواهد بود. بنابراین، سیستم راهگامی باید طوری طراحی شود که از حبس هوا در قالب جلوگیری کند و حباب‌های گازی ایجاد شده در مذاب را به خارج انتقال دهد تا میزان مک‌های گازی در قطعه ریختگی کاهش یابد.

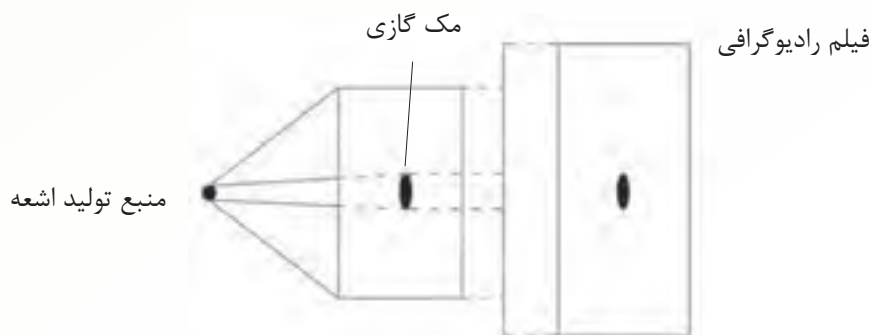
**ز) شکل، اندازه و وزن قطعه:** مشخص است که هرچه اندازه قطعات ریختگی کوچک باشند چون مقدار

مذاب موردنیاز کم می‌باشد اولاً مقدار حباب گازی کمتری در مذاب ایجاد می‌شود ثانیاً حباب‌های ایجاد شده در مذاب، مسافت کمتری را برای خارج شدن از سطح مذاب طی خواهند کرد. بنابراین، مقدار مک‌های گازی کمتر خواهد بود. اما در قطعات بزرگ و پیچیده با توجه به حجم زیاد مذاب، مقدار حباب‌های ایجاد شده بیشتر می‌شود و باید مسافت بیشتری را برای خروج از مذاب طی کنند. بنابراین، مقدار مک‌های گازی در قطعات بزرگتر نسبت به قطعات کوچک‌تر بیشتر می‌باشد.

### ۶-۱-۲- روش‌های اندازه‌گیری گاز در مذاب

مک‌های گازی در قطعه ریختگی باعث کاهش خواص مکانیکی قطعه می‌شوند. به همین منظور برای اطمینان از میزان گاز موجود در مذاب، روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری گاز در مذاب وجود دارد که این روش‌ها عبارتند از:

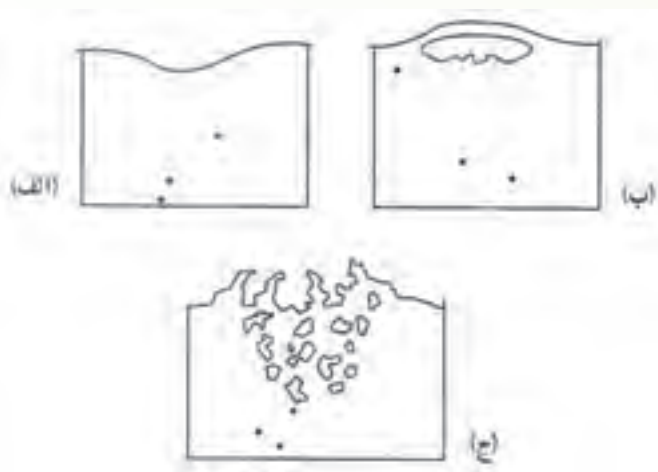
**الف) رادیوگرافی قطعات ریخته‌گری شده با اشعه ایکس (X):** این روش با استفاده از اشعه X برای نشان دادن حفرات، مک‌ها و فضاهای خالی در قطعات ریختگی به کار می‌رود. روش کار به این صورت است که در یک سمت قطعه، منبع تولید اشعه X قرار داده می‌شود و در سمت دیگر قطعه، فیلم رادیوگرافی قرار می‌گیرد. سپس اشعه X از منبع آن ساطع شده و از درون قطعه می‌گذرد تا به فیلم رادیوگرافی برسد. در صورتی که قطعه فاقد فضای خالی یا مک گازی باشد، فیلم رادیوگرافی در تمام نقاط به رنگ روشن درخواهد آمد. چون از تمام قسمت‌های قطعه که از جنس فلز می‌باشند با سرعت یکسان عبور می‌نماید. اما اگر درون قطعه فضای خالی، مانند حفره یا مک وجود داشته باشد، با توجه به اینکه اشعه از فلز وارد مک یا فضای خالی می‌شود، بنابراین میزان جذب اشعه توسط فلز کاهش یافته و در قسمتی که حفره یا مک گازی وجود داشته باشد اشعه بیشتری به این فیلم رادیوگرافی رسیده و سبب تیره شدن آن قسمت از فیلم می‌شود. بنابراین، در قطعاتی که مک گازی وجود دارد، مک‌های گازی در روی فیلم به صورت نقاط تیره دیده می‌شوند.



شکل ۲-۴

ب) مشاهده سطح نمونه قطعه ریخته شده: این روش یک روش کارگاهی می‌باشد که می‌توان با

استفاده از آن، به خصوص در مورد مذاب آلومینیوم، میزان گاز موجود در مذاب را به صورت کیفی مشخص نمود. برای این منظور، قالب‌های استوانه‌ای از جنس ماسه خشک به قطر و ارتفاع ۷/۵ تا ۹ سانتی‌متر تهیه می‌شود. سپس از مذاب فلزی که آماده ریخته‌گری است، مقداری مذاب داخل قالب‌های استوانه‌ای بار ریزی می‌شود تا پس از مدتی کاملاً منجمد شود؛ نمونه‌های منجمد شده را از قالب خارج نموده و سطح آن‌ها را مورد بررسی قرار می‌دهند، در صورتی که سطح نمونه فرو رفته، صاف و براق باشد، نشان دهنده عدم وجود گاز در مذاب می‌باشد اما در صورتی که سطح نمونه بدون فرورفتگی و برآمدگی باشد، نشان دهنده وجود مقداری گاز در مذاب است که هنگام انجماد در لایه‌های سطحی نمونه محبوس شده است. همچنین، اگر سطح نمونه برآمده و خشن باشد نشان دهنده وجود مقدار زیادی گاز در مذاب می‌باشد که در حین انجماد مقداری از آن خارج شده و خروج آن تا انجماد کامل ادامه یافته است. این عمل موجب انجماد مجراهای خروج گاز به همان شکل شده و خشن شدن سطح نمونه گردیده است. شکل ۲-۵ الف، ب و ج به ترتیب سطح نمونه‌های فاقد گاز، دارای مقداری گاز، و دارای گاز زیاد را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۵- شماتیک نمونه‌های استوانه‌ای برای آزمایش وجود گاز

**ج) انجماد نمونه تحت شرایط خلأ:** در این روش، مقدار کمی مذاب در حد چند صد گرم در شرایط خلأ منجمد می‌شود. با توجه به وجود خلأ و کاهش فشار محیط خارجی، نمونه گازهای ایجاد شده در مذاب در هنگام انجماد، به سرعت از قطعه خارج می‌شود و خشن شدن سطح قطعه در اثر شکسته شدن حباب‌های گازی می‌شود. تعداد و اندازه حباب‌های شکسته شده در سطح و مک‌های تشکیل شده در نمونه منجمد، نشان دهنده مقدار تقریبی گاز است که هرچه قدر این مک‌ها بیشتر باشد، مقدار گاز مذاب بیشتر خواهد بود. شکل ۲-۶ نمای از دستگاه اندازه‌گیری گاز در خلأ و شکل شماتیک انجماد در شرایط خلأ را نشان می‌دهد.



شکل ۶-۲- اندازه‌گیری گاز تحت شرایط خلأ

(د) **آزمایش وزن مخصوص:** در این روش، جرم حجمی قطعه دارای مک اندازه‌گیری می‌شود و با جرم حجمی واقعی آلیاژ مقایسه می‌شود. به این ترتیب که جرم قطعه با استفاده از ترازو اندازه‌گیری می‌شود و حجم قطعه با استفاده از غوطه‌ور نمودن آن در ظرفی که حاوی مقدار معینی مایع است (با استفاده از اختلاف حجم ایجاد شده در مایع) اندازه‌گیری می‌شود. نسبت جرم قطعه به حجم آن، نشان دهنده جرم حجمی قطعه می‌باشد. از مقایسه جرم حجمی قطعه دارای مک، با جرم حجمی واقعی آلیاژ مشخص می‌شود که جرم حجمی قطعه دارای مک کمتر از جرم حجمی آلیاژ می‌باشد. از طرف دیگر می‌توان با استفاده از رابطه ساده زیر، درصد حجمی تخلخل یا مک موجود در قطعه را مشخص نمود.

$$\% V = \frac{\rho_0 - \rho}{\rho} \times 100$$

که در آن :

$\rho_0$ : جرم حجمی آلیاژ سالم

$\rho$ : جرم حجمی نمونه یا قطعه ریخته‌گری

$V$ : درصد مک یا تخلخل

(ه) **روش التراسونیک:** با استفاده از امواج صوتی، می‌توان به وجود عیوب داخلی در قطعه پی‌برد؛ به طوری که اگر به یک قطعه سالم با چکش ضربه زده شود، در تمام قسمت‌های قطعه صدای ضربه یکنواخت خواهد بود. اما اگر در یک قسمت قطعه، عیبی وجود داشته باشد در آن قسمت صدای ضربه متناسب با ابعاد عیب متفاوت خواهد بود. دلیل این پدیده، اختلاف سرعت صوت در محیط‌های مختلف می‌باشد؛ به طوری که سرعت صوت در فلز با سرعت صوت در هوا یا مواد دیگر متفاوت است.

در روش التراسونیک، از همین پدیده استفاده می‌شود؛ اما به جای امواج صوتی معمولی از امواج ماوراء صوت با فرکانس ۱ تا ۵ میلیون هرتز استفاده می‌شود که قابل شنیدن نمی‌باشد. این امواج، امواج التراسونیک نامیده می‌شود. در این روش، امواج التراسونیک توسط پراب‌های مخصوص که از جنس مواد پیزوالکتریک می‌باشد (این مواد جریان الکتریکی را به امواج صوتی تبدیل می‌کنند و برعکس) به سطح قطعه فلزی ساطع می‌شود. سرعت این امواج در هر فلزی متناسب با جنس آن می‌باشد. اگر قطعه فاقد حفره باشد، زمان رفت و برگشت این امواج در قسمت‌های مختلف قطعه با ضخامت یکسان، ثابت خواهد بود. اما اگر در قسمتی از قطعه، مک‌گازی وجود داشته باشد، چون سرعت این امواج در گاز با هوا صفر است، زمان رفت و برگشت امواج در این قسمت قطعه نسبت به سایر قسمت‌های آن با ضخامت یکسان، کمتر خواهد بود. این کاهش زمان رفت و برگشت به صورت قله‌هایی (پیک‌هایی) در صفحه نمایش دستگاه التراسونیک دیده می‌شود و به کمک آن، می‌توان محل و اندازه تقریبی مک‌گازی در قطعه را مشخص نمود. این روش، امروزه در بسیاری از صنایع برای شناسایی و تعیین اندازه عیوب قطعات فلزی به کار می‌رود. لازم به ذکر است که در این روش به قطعه هیچ گونه آسیبی وارد نمی‌شود و پس از انجام آن، می‌توان از قطعه در محل خود استفاده نمود. به همین دلیل این روش یکی از روش‌های تست و آزمایش غیر مخرب سریع می‌باشد.

#### در پایان جلسه:

- جمع بندی مطالب این جلسه توسط هنرآموز
- تکالیف برای منزل هنرجویان: مطالعه متن درس و آمادگی برای آزمون جلسه آینده.

- ۱- حضور و غیاب
- ۲-پیش آزمون
- ۳- یادآوری از مطالب جلسه قبل

### موضوع:

## - روش‌های جلوگیری از مک‌های گازی - روش‌های گاززدایی.

برای درک بهتر مفاهیم و آماده‌سازی ذهنی هنرجویان، هنرآموز محترم سؤالاتی را طرح و بحث نماید.

- ۱- به نظر شما، چه روش‌هایی جهت جلوگیری از تشکیل مک‌های گازی در قطعه وجود دارد؟
- ۲- آیا استفاده از مواد بار آغشته به روغن و دیگر ترکیبات تأثیری بر تشکیل مک‌های گازی در قطعه ریختگی می‌گذارد؟
- ۳- جهت کاهش تأثیر اتمسفر کوره ذوب بر مذاب و تشکیل مک‌های گازی قطعه ریختگی چه باید کرد؟
- ۴- به نظر شما، خارج کردن گاز از مذاب بهتر است در چه مرحله از ذوب یا انجماد قطعه ریختگی صورت پذیرد؟
- ۵- چه روش‌هایی را برای گاززدایی مذاب پیشنهاد می‌کنید. آیا می‌توان از گازهای دیگر برای گاززدایی مذاب استفاده کرد؟

### ۷-۱-۲- روش‌های جلوگیری از مک‌های گازی

برای تولید قطعات ریختگی فاقد مک‌های گازی، منطقی‌ترین روش، کاهش مقدار گاز حل شده در مذاب می‌باشد زیرا هر چه میزان گاز حل شده در مذاب کم‌تر باشد، در نتیجه پس از ریخته‌گری در قالب و انجماد مذاب، مقدار حباب گاز کم‌تری ایجاد و در قطعه محبوس می‌شود و در نهایت مقدار مک‌های گازی در قطعه کم خواهد شد. بهترین روش برای جلوگیری از تشکیل مک‌های گازی در قطعه ریختگی، جلوگیری از ورود گاز به داخل مذاب می‌باشد. به همین منظور، باید عوامل ورود گاز به مذاب شناسایی شود و از ورود آن‌ها به داخل مذاب جلوگیری شود. برای پیش‌گیری از ورود گاز به مذاب، روش‌های مختلفی وجود دارد که عبارتند از:

**الف) مواد بار و کمک ذوب:** با توجه به مواردی که در جلسات قبل ذکر شد، اگر مواد بار کوره آلوده به

روغن، ترکیبات اکسیدی و دیگر ترکیبات ناخواسته باشد، هنگام ذوب، این ترکیبات ناخواسته بر اثر گرما، از خود

گاز متصاعد می‌کنند که موجب افزایش میزان گاز حل شده به صورت اتمی در مذاب خواهد شد. بنابراین، اولین راه برای جلوگیری از ورود گاز به داخل مذاب، استفاده از مواد شارژ و کمک ذوب تمیز و عاری از رطوبت است. چون معمولاً مواد بار کوره شامل قراضه‌ها، مواد برگشتی و سوفاره‌ها است و این مواد معمولاً به همراه خود رطوبت، مواد روغنی، ترکیبات اکسیدی و غیره دارند، بهتر است قبل از استفاده شست‌وشو و کاملاً خشک شوند تا در حین عملیات ذوب، سبب ورود گاز به داخل مذاب نشوند.

**ب) اتمسفره کوره ذوب:** معمولاً در کوره‌هایی که با سوخت‌های فسیلی کار می‌کنند، اتمسفر کوره شامل گازهایی نظیر هیدروژن، منواکسید کربن، دی‌اکسید کربن، بخار آب و دی‌اکسید گوگرد، می‌باشند. معمولاً این گازها در تماس با مذاب هستند و سبب ورود گاز به داخل مذاب می‌شوند. در صورتی که احتراق کوره به صورت ناقص انجام شود، درصد این گازها بیشتر شده و احتمال ورود گاز به مذاب افزایش می‌یابد. بنابراین در کوره‌های شعله‌ای بهتر است احتراق کوره به صورت کنترل شده باشد تا از ایجاد گازهای اضافی جلوگیری کند و میزان گاز کمتری وارد مذاب گردد.

**ج) زمان ذوب و نگهداری:** هر چه زمان ذوب بار کوره افزایش یابد، زمان تماس گازهای موجود در محیط اطراف مذاب با مذاب افزایش می‌یابد و با توجه به دمای بالای ذوب، گازهای بیشتری تمایل می‌یابند که به حالت اتمی در مذاب حل شوند. بنابراین، میزان گاز موجود در مذاب به صورت حل شده افزایش می‌یابد. همچنین نگهداری طولانی مذاب نیز سبب افزایش زمان تماس مذاب با گازهای محیط اطراف مذاب می‌شود که موجب افزایش میزان گاز حل شده در مذاب خواهد شد. بنابراین از طولانی شدن زمان ذوب و نگهداری مذاب باید جلوگیری شود.

**د) سطح مذاب:** هر چه بوته و یا پاتیل نگهداری مذاب بزرگ‌تر باشد، سطح مذاب درون آن بیشتر خواهد بود. بنابر این، مقدار مذاب بیشتری در تماس با گازهای محیط اطراف مذاب خواهد بود و این فرصت را خواهند داشت که به حالت اتمی در مذاب حل شوند. پس بهتر است که سطح مذاب کاهش داده شود تا گاز کمتری در تماس با سطح مذاب قرار گیرد و در نهایت انحلال گاز در مذاب کمتر شود.

**ه) استفاده از مواد پوششی:** برای جلوگیری از تماس گازهای محیط اطراف مناسب با سطح مذاب، می‌توان از موادی استفاده نمود که ارتباط بین محیط اطراف مذاب با سطح مذاب را قطع کنند و در نتیجه میزان گاز حل شده در مذاب را کمتر خواهد کرد. این مواد به مواد پوششی معروف بوده که در سر باره مذاب قرار می‌گیرد.

**و) دمای ذرات مذاب:** همان‌طور که در جلسات قبل گفته شد هر چه دمای مذاب افزایش یابد، میزان حلالیت گاز در مذاب بیشتر خواهد شد. بنابراین، برای کاهش مقدار گاز حل شده در مذاب بهتر است دمای مذاب کنترل شود و از افزایش بی‌رویه دمای مذاب جلوگیری شود.



ز) **تلاطم مذاب:** در صورتی که مذاب ساکن و بدون تلاطم باشد، میزان گاز جذب شده در آن مقدار مشخصی خواهد بود. چون سطح خارجی مذاب ثابت است، اما اگر مذاب دارای تلاطم باشد، از یک سو سطح در تماس مذاب با گازهای محیط اطراف آن بیشتر شده و در نتیجه میزان انحلال آن افزایش خواهد یافت. از طرف دیگر، ممکن است در اثر تلاطم مذاب، ناگهان مقداری از گازهای موجود در محیط اطراف مذاب، در مذاب محبوس شده و موجب افزایش میزان انحلال آن را در مذاب و یا حذف گاز در حین بارریزی قطعه ریختگی گردد.

ح) **سیستم راهگامی:** سیستم راهگامی باید به گونه‌ای طراحی گردد که از تلاطم مذاب در حین بارریزی و در نتیجه محبوس شدن گاز در مذاب جلوگیری نماید. و گازهای ایجاد شده در مذاب را از قالب به طور مطلوبی به خارج هدایت کند و از ایجاد مک گازی در قطعه جلوگیری شود.

### ۸-۱-۲- روش‌های گاز زدایی

الف) **روش‌های گاز زدایی با استفاده از کاهش فشار خارجی:** همان طوری که در جلسات قبل گفته شد میزان فشار خارجی محیط اطراف مذاب در حلالیت گاز در مذاب مؤثر است. به عبارت دیگر، هرچه فشار خارجی محیط اطراف مذاب بیشتر باشد. میزان گاز بیشتری در مذاب حل خواهد شد. از طرف دیگر هرچه فشار محیط خارجی مذاب کاهش یابد، مقدار گاز کمتری در مذاب حل می‌شود. این پدیده به قانون **سیورت** معروف است. با توجه به این قانون، می‌توان نتیجه گرفت که اگر فشار خارجی محیط اطراف مذاب کاهش یابد، گازهای حل شده از حالت اتمی خارج شده و به حالت مولکولی و یا حباب گازی در می‌آیند. به عبارت دیگر حلالیت گاز در مذاب کاهش می‌یابد. با توجه به این موضوع، اگر مذاب تحت شرایط خلأ قرار گیرد، چون فشار محیط اطراف مذاب به شدت کاهش یافته، گازهای حل شده در مذاب، مانند هیدروژن، به شکل مولکولی و حباب در آمده که این حباب‌ها به سطح مذاب صعود کرده و از مذاب خارج می‌شوند.

با این روش، امکان تولید قطعه‌هایی با کیفیت بالا مورد استفاده در صنایع با تکنولوژی بالا میسر شده است. روش گاززدایی در خلأ بیشتر برای آلیاژهای با نقطه ذوب پایین کاربرد دارد؛ زیرا در دماهای بالا، برای ایجاد خلأ به نیاز تجهیزات بسیار گران قیمت است که از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست. همچنین آلیاژهایی که دارای فشار بخار زیاد هستند، با این روش امکان پذیر نیست. چون، در اثر ایجاد خلأ مقدار زیادی از مذاب فلز به صورت بخار درآمده که موجب اتلاف مقدار زیادی مذاب فلز خواهد شد.

از محدودیت‌های دیگر این روش، می‌توان به طولانی شدن زمان گاز زدایی اشاره کرد، که موجب کاهش دمای مذاب خواهد شد و خود ممکن است سبب بروز عیب‌های دیگری در قطعه ریختگی، مانند نیامد مذاب شود.

### ب) روش‌های گاز زدایی با استفاده از افزایش فشار داخلی در مذاب

۱- با افزایش فشار داخلی مذاب، گازهای حل شده در مذاب از حالت اتمی خارج شده و به صورت مولکولی

یا حباب گازی در می‌آیند علت، این است که در اثر افزایش فشار درونی مذاب، حرکت اتم‌های مذاب افزایش پیدا کرده و در نتیجه، امکان حرکت اتم‌های گاز در مذاب و تجمع آن‌ها در نقاطی از مذاب، افزایش می‌یابد. این پدیده، موجب تشکیل راحت‌تر مولکول یا حباب‌های گازی می‌شود.

۲- با افزایش فشار درونی مذاب، سرعت حرکت اتم‌های گازی در مذاب افزایش می‌یابد که در صورت تزریق گازهای دیگر در مذاب، اتم‌های گازی حل شده در مذاب این امکان را پیدا می‌کنند که خود را به حباب‌های گاز تزریق شده برسانند و به راحتی جذب آن‌ها شوند.

۳- جذب اتم‌های گازی حل شده در مذاب توسط حباب‌های گازی تزریق شده، سبب افزایش سرعت ورود گازهای حل شده در مذاب خواهد شد.

افزایش فشار درونی مذاب، یکی از مهم‌ترین و پرمصرف‌ترین روش‌های گاززدایی باشد که خود به چند روش مختلف تقسیم می‌شود.

### **- استفاده از گازهای بی‌اثر**

در این روش گازهای بی‌اثری مانند هلیم، یا آرگون که میل ترکیب شدن با مذاب یا حل شدن در مذاب را ندارند، به مذاب تزریق می‌شود. این تزریق، از پایین‌ترین نقطه مذاب، یعنی پایین بوتله یا پاتیل، صورت می‌گیرد. در ابتدای عملیات تزریق گاز بی‌اثر به مذاب، فشار جزئی گازهای محلول در داخل حباب گاز بی‌اثر، صفر است؛ ولی در مسیر حرکت حباب‌های گاز بی‌اثر از انتهای پاتیل به سمت سطح بالای مذاب و با افزایش فشار درونی مذاب، مقدار جذب گاز محلول در مذاب، افزایش می‌یابد. با ادامه تزریق گاز بی‌اثر و ایجاد حباب‌های زیاد گاز بی‌اثر و حرکت آن‌ها به سمت سطح مذاب، مقدار بیشتری گاز محلول در مذاب، جذب حباب‌های گاز بی‌اثر شده که موجب کاهش میزان گاز حل شده در مذاب می‌شود. لازم به ذکر است که با این روش، نمی‌توان تمام گازهای محلول در مذاب را خارج نمود ولی مقدار زیادی از گازهای محلول در مذاب خارج خواهد شد.

گازهای بی‌اثر مورد استفاده در این فرآیند، گازهایی نظیر آرگون و هلیم می‌باشد که هیچ‌گونه تأثیری روی فلزات و آلیاژها ندارند. اما هزینه استفاده از این گازها بسیار زیاد است. به همین منظور، می‌توان برای گاززدایی هر مذابی، از یک گاز ارزان قیمت که نسبت به آن مذاب بی‌اثر می‌باشد، استفاده نمود به عنوان مثال، گاز نیتروژن برای آلومینیوم و آلیاژهای آن بی‌اثر محسوب می‌شود. بنابراین، می‌توان از گاز نیتروژن برای گاززدایی آلومینیوم و اکثر آلیاژهای آن استفاده نمود. اما گاز نیتروژن برای چدن بی‌اثر نبوده و در آن حل می‌شود. گاز نیتروژن سبب افزایش میزان گازهای محلول در مذاب چدن می‌شود. پس نمی‌توان از گاز نیتروژن برای گاززدایی مذاب چدن استفاده نمود در جدول ۴-۲ فلزات و آلیاژهای مختلف به همراه گازها و ترکیباتی که نسبت به آن فلز و یا آلیاژ بی‌اثر محسوب می‌شوند و می‌توان از آن‌ها برای گاززدایی آن آلیاژ استفاده نمود، آمده است.

جدول ۴-۲- چگونگی گاززدایی و تصفیه مذاب از گازها و آخال‌ها

نوع فلز اصلی	گاز	نوع واکنش	نام عملیات	مواد مؤثر بر عملیات کیفی
آلومینیوم	H <sub>۲</sub>	انحلالی [H] <sub>(Al)</sub>	گاززدایی	ازت، کلر، مخلوط ۳۰-۷۰ و با ۱۰-۹۰ ازت و کلر مواد قابل تبخیر نظیر CCl <sub>۴</sub> ، C <sub>۲</sub> Cl <sub>۶</sub> انواع کلرورها و فلئورهای چندگانه
	O <sub>۲</sub>	ترکیبی <Al <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub> >	آخال زدایی	کلرورها و فلئورهای سدیم، پتاسیم و گاه کلسیم
فولاد	H <sub>۲</sub>	انحلالی [H] <sub>(Fe)</sub>	گاززدایی	گاز CO در ضمن تصفیه مقدار هیدروژن را کاهش می‌دهد.
	O <sub>۲</sub>	انحلالی [O] <sub>(Fe)</sub> ترکیبی انواع اکسیدها	اکسیژن زدایی فلاکس زنی	منیزیم، آلومینیوم، تیتانیوم، سیلیسیم و آلیاژهای آن‌ها استفاده از فلاکس‌های حاوی کلسیم و سدیم عموماً براساس ترکیبات کربناتی و کاربیدی
	S	انحلالی [S] <sub>(Fe)</sub>	گوگرد زدایی	مواد حاوی منیزیم، منگنز، کلسیم، کاربید کلسیم
مس	N <sub>۲</sub>	انحلالی [N] <sub>(Fe)</sub> ترکیبی نیترورها	گاززدایی	نظیر هیدروژن در آهن Al، Ti نیز می‌توانند نیترورها را خارج سازند، فلاکس‌های کلسیم و منیزیم
	H <sub>۲</sub>	انحلالی [H] <sub>(Cu)</sub>	گاززدایی	ازت، گاز کربنیک و مواد قابل تبخیر، و در بسیاری موارد اکسیژن زدایی کافی است.
	O <sub>۲</sub>	انحلالی [O] <sub>(Cu)</sub> ترکیبی Cu <sub>۲</sub> O	اکسیژن زدایی فلاکس زدایی	فسفر، کربن، لیتیم، کلسیم فلاکس‌های حاوی سیلیس، براکس و ...
	S	انحلالی [S] <sub>(Cu)</sub> ترکیبی Cu <sub>۲</sub> O	فلاکس زنی فلاکس زنی	کنترل در مواد شارژ فلاکس‌های حاوی سیلیسیم، براکس و بُر
منیزیم	H <sub>۲</sub>	انحلالی [H] <sub>(Mg)</sub>	گاززدایی	مانند آلومینیوم ازت بیشتر و کلر کمتر استفاده می‌شود.
	O <sub>۲</sub>	ترکیبی <MgO> ترکیبی (Mg <sub>۲</sub> N <sub>۳</sub> )	آخال زدایی آخال زدایی	مواد کلروره، کلور منیزیم، اسیدبوریک فلوربات آمونیم، ترکیبات حاوی گوگرد نظیر فوق

از این جدول در می‌یابیم که ازت، برای آلومینیوم و بعضی آلیاژهای آن گاز بی‌اثر بوده و برای گاززدایی از مذاب آلومینیوم استفاده می‌شود.

در مورد مس و آلیاژهای آن، ازت و گاز کربنیک، گازهای بی‌اثر محسوب شده که برای گاززدایی مذاب مس استفاده می‌شود.

برای گاززدایی مذاب فولاد از گاز کربنیک و اکسید کربن که گازهای بی‌اثر نسبت به فولاد هستند، استفاده

می‌شود.

عوامل مختلفی برای افزایش راندمان گاززدایی با استفاده از گازهای بی اثر مؤثر می باشد که عبارت اند از:

### ۱- اندازه حباب های گاز تزریق شده: هرچه حباب های گاز تزریق شده، کوچک تر باشند، در نقاط بیشتری

از مذاب پراکنده می شوند و می توانند گاز محلول بیشتری در مذاب را جذب کنند همچنین سرعت آن ها، در مذاب کمتر خواهد شد و زمان بیشتری را در تماس با اتم های محلول در مذاب خواهند بود تا به سطح مذاب برسند. بنابراین گاز محلول بیشتری در مذاب را در خود جذب کرده و با خود از مذاب خارج می کنند. اما اگر حباب های گاز، درشت باشند با سرعت بیشتری به طرف سطح مذاب حرکت می کنند؛ در نتیجه، زمان تماس آن ها با گازهای محلول در مذاب کمتر خواهد شد و مقدار گاز محلول کمتری در مذاب را به خود جذب کرده و از مذاب خارج می کنند.

### ۲- پخش یکنواخت: هرچه حباب های گاز تزریق شده به طور یکنواخت تری در تمام مذاب پخش شوند،

امکان تماس آن ها با اتم های گازی محلول در مذاب بیشتر خواهد بود. در نتیجه گازهای محلول بیشتری در مذاب را به خود جذب می کنند و سرعت راندمان گاززدایی را افزایش می دهند.

### ۳- عمق مذاب: هرچه عمق ظرف حاوی مذاب (بوته یا پاتیل) بیشتر باشد، مدت زمان تماس حباب های

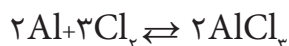
گاز با مذاب بیشتر خواهد بود. بنابراین می توانند گازهای محلول بیشتری در مذاب را در خود جذب نمایند و سبب افزایش بازدهی گاززدایی مذاب شوند.

### ۴- عدم وجود رطوبت در گاز تزریقی: اگر گاز بی اثر تزریق شده، حاوی رطوبت باشد، خود موجب

افزایش گاز حل شده در مذاب می شود که راندمان گاززدایی را کاهش خواهد داد. بنابراین، باید گاز مورد استفاده برای گاززدایی مذاب حاوی از هرگونه رطوبت باشد.

### ب) استفاده از گازهای فعال

در برخی موارد، می توان به جای گازهای بی اثر در گاززدایی مذاب از گازهای فعال نسبت به مذاب، که با مذاب وارد واکنش شیمیایی می شوند، استفاده نمود. هنگامی که این گازها، وارد مذاب می شوند با مذاب ترکیب شده و یک گاز جدید را در مذاب تولید می کنند. گاز تولید شده، نسبت به مذاب بی اثر یا خنثی است و مانند گازهای بی اثر، گاززدایی مذاب را انجام می دهد. به عنوان مثال، گاز کلر نسبت به مذاب آلومینیوم فعال می باشد اگر به گاز کلر مذاب آلومینیوم تزریق شود، با مذاب آلومینیوم وارد واکنش شده کلرید آلومینیوم را تشکیل می دهد.



کلرید آلومینیوم در دمای محیط به صورت جامد است، ولی در دمای ذوب آلومینیوم به حالت گاز در می آید

که نسبت به مذاب آلومینیوم بی اثر است و در حین حرکت خود در داخل مذاب آلومینیوم، گازهای محلول در آن را، مانند هیدروژن، در خود جذب نموده و از مذاب خارج می نماید.

البته در بسیاری از موارد، می‌توان به‌جای استفاده مستقیم از گاز فعال از ترکیبات آن‌ها استفاده نمود. معمولاً این ترکیبات، به‌صورت جامد یا مایع بوده و در اثر تماس با مذاب، تجزیه می‌شوند. گازهای مورد نیاز برای گاززدایی مذاب را فراهم می‌کنند. به‌عنوان مثال، می‌توان به‌جای استفاده مستقیم از گاز کلر در مذاب آلومینیوم، از ترکیبات کلر مانند هگزا کلرور اتان، تتراکلرورکربن و نمک‌های کلر استفاده نمود. این ترکیبات، در مذاب آلومینیوم تجزیه می‌شوند، کلر آن‌ها با آلومینیوم ترکیب می‌شود و گاز کلرید آلومینیوم را تولید می‌کند که از آن می‌توان برای گاززدایی مذاب آلومینیوم استفاده نمود.

### در پایان جلسه:

- جمع بندی مطالب این جلسه توسط هنرآموز
- تکالیف برای منزل هنرجویان: مطالعه متن درس و آمادگی برای آزمون جلسه آینده.

- ۱- حضور و غیاب
- ۲- پیش آزمون
- ۳- یادآوری از مطالب جلسات قبل

### موضوع:

- آخال و آخال زدایی
- انواع آخال ها
- اکسیداسیون و اکسیدها
- منابع ایجاد آخال ها و پیشگیری از آن ها
- آخال زدایی

- بهتر است ابتدا، جهت آماده کردن ذهن هنرجویان سؤالاتی در رابطه با درس، مانند زیر، مطرح شود.
- ۱- آیا مذاب فلزات همواره تمیز بوده و فاقد مواد و ناخالصی های دیگر می باشد؟
  - ۲- به نظر شما، چه نوع ناخالصی هایی ممکن است وارد مذاب فلز شوند؟
  - ۳- به نظر شما ورود ناخالصی ها در فلز مذاب بر روی خواص مکانیکی قطعه ریختگی چه تأثیر می گذارد؟
  - ۴- چه روش هایی برای جدا کردن ناخالصی های جامد از مذاب پیشنهاد می کنید.

### ۲-۲- آخال و آخال زدایی

به کلیه ناخالصی ها شامل ترکیبات فلزی و غیرفلزی، که در فلز مذاب به وجود می آیند، آخال گفته می شود. آخال ها، می توانند در اثر واکنش فلز مذاب با محیط اطراف خود به وجود آیند؛ مانند سولفیدها، اکسیدها، نیتريد ها، کلرورها و غیره. از طرف دیگر، ممکن است آخال ها در اثر عوامل خارجی به وجود آیند و وارد مذاب شوند. آخال ها، موجب کاهش خواص مکانیکی، متالورژیکی، فیزیکی و ریخته گری فلزات می شوند. وقتی در قسمت هایی از فلز، آخال به وجود می آید، پیوستگی ماده فلزی از بین می رود و موجب ضعف فلز در آن محل می شود. به طوری که، اگر فلز تحت تأثیر بارهای مکانیکی قرار گیرد، معمولاً ترک از همان محل های وجود آخال شروع شده و منجر به شکست فلز می شود.

## ۱-۲-۲- انواع آخال‌ها: معمولاً دو گروه آخال در مذاب وجود دارد:

**الف) آخال‌هایی که منشأ آن‌ها به غیر از خود فلز مذاب می‌باشد؛** به عبارت دیگر، در اثر عوامل خارجی به وجود آمده و وارد مذاب می‌شود. سرباره‌ها، ذرات مواد قالب، مواد نسوز از جمله آخال‌های خارجی می‌باشند. مثلاً سرباره همراه مذاب وارد قالب می‌شود و پس از انجماد به صورت ناخالصی درون قطعه می‌ماند. همچنین، مواد قالب در اثر عبور مذاب و سایش، به صورت ذرات ریز می‌آید و وارد محفظه قالب می‌شود که پس از انجماد به صورت آخال در قطعه ریختگی باقی می‌ماند.

این نوع آخال‌ها، ماکروسکوپی هستند و با چشم غیرمسلح قابل رویت می‌باشند. در صورتی که قطعه دچار شکست شود، معمولاً در سطح مقطع شکست قطعه این نوع آخال‌ها دیده می‌شوند که در بیشتر اوقات منشأ ایجاد ترک بوده و سبب شکست قطعه می‌شود. این نوع آخال‌ها را نیز می‌توان در سطح قطعات نیز مشاهده کرد که نمونه آن در شکل ۲-۷ نشان داده شده است.



شکل ۲-۷- نمونه از قطعه با عیوب آخال و مک‌های میکروسکوپی

**ب) آخال‌هایی که منشأ ایجاد آن‌ها، خود فلز مذاب می‌باشند:** به این صورت که فلز مذاب با محیط اطراف یا مواد دیگر واکنش داده و در اثر این واکنش، ترکیباتی در مذاب ایجاد نماید. این ترکیبات، به عنوان ناخالصی یا آخال در قطعه شناخته می‌شوند. اکسیدها، که در اثر ترکیب فلز مذاب با اکسیژن به وجود می‌آیند، سولفیدها، نیتريد‌ها، کلرورها نمونه‌هایی از این نوع آخال هستند.

این نوع آخال‌ها بسیار کوچک هستند، به طوری که با چشم غیر مسلح نمی‌توان آن‌ها را دید؛ بلکه باید سطح مقطع نمونه را آماده‌سازی نمود و سپس با میکروسکوپ مشاهده نمود. سولفید منگنز در فولاد، مثالی از این نوع آخال است. معمولاً برای کاهش اثرات گوگرد در مذاب فولاد، منگنز به مذاب اضافه می‌کنند. منگنز با گوگرد

واکنش می دهد و تبدیل به سولفید منگنز می شود. به این ترتیب با کاهش مقدار گوگرد مذاب فولاد اثرات مضرّ گوگرد در فولاد کم می شود. در هنگام مطالعه ساختمان میکروسکوپی فولاد به وسیله میکروسکوپ سولفید منگنز، به صورت ذرات ریز خاکستری رنگ در ساختار فولاد دیده می شود.

شکل ۸-۲ آخال ها سولفیدی را در ساختار فولاد نشان می دهد.

لازم به ذکر است که معمولاً این نوع آخال ها، به طور یکنواخت در کل ساختار قطعه پراکنده می شوند.



شکل ۸-۲- آخال های سولفیدی در فولاد ۰/۲۵٪ کربن اچ شده در محلول نیتال ۲۰٪ بزرگنمایی ۵۰۰

### ۲-۲-۲- اکسیداسیون و اکسیدها

معمولاً فلزات در طبیعت، به صورت سنگ های اکسید فلز موجود می باشند و پس از طی مراحل استخراج به فلز تبدیل می شوند. بنابراین می توان نتیجه گرفت که فلزات در برابر گازهای اکسیدکننده، به خصوص اکسیژن، مقاوم نیستند و همواره لایه ای از اکسید فلز روی سطح فلز و یا در مذاب فلز وجود دارد پس می توان اکسید فلز را به عنوان مهم ترین آخال در فلزات نام برد.

واکنش پذیری فلزات مختلف با اکسیژن متفاوت است. مثلاً فلزی مانند منیزیم به سرعت با اکسیژن ترکیب می شود و فلزی مانند طلا واکنش پذیری کمی با اکسیژن هوا دارد. همچنین، نحوه تشکیل لایه اکسید روی سطح فلز در سرعت اکسیدشدن بسیار مؤثر است. به عنوان مثال، فلز آلومینیوم میل ترکیبی شدیدتری در مقایسه با آهن با اکسیژن دارد، اما هنگامی که لایه اکسید روی سطح تشکیل شد، به دلیل یکنواختی و غیرمتخلخل بودن آن از نفوذ اکسیژن به قسمت های داخلی فلز آلومینیوم جلوگیری می کند؛ در نتیجه، سرعت اکسیدشدن به شدت کاهش یافته و اکسیداسیون متوقف می شود. اما لایه اکسیدی تشکیل شده روی سطح فلز آهن، که میل ترکیبی کمتری با اکسیژن دارد، غیریکنواخت و متخلخل است؛ به طوری که اکسیژن به راحتی می تواند از لایه اکسیدی عبور کرده، به قسمت های داخلی فلز نفوذ کند و با آهن ترکیب شود. بنابراین، اکسیداسیون ادامه می یابد و متوقف نمی شود.



معمولاً اکسیدهایی که در اثر ترکیب فلز با اکسیژن به وجود می آیند، ساده و یا ترکیبی از چند اکسید می باشند که بستگی به میزان خلوصی فلز و درصد عناصر آلیاژی موجود در آن دارد. همچنین اکسیدها به علت داشتن نقطه ذوب بالا، به صورت ذرات جامد و غیرمحلول در مذاب می باشند. بنابراین احتمال محلول شدن اکسید فلز یا اکسیژن در مذاب بسیار کم است و معمولاً اکسید فلز به صورت ذرات ریز جامد در فلز مذاب شناور می باشد که اگر از مذاب خارج نشود، به صورت آخال در قطعه ریختگی باقی می ماند.

### ۳-۲-۲- منابع ایجاد آخال و پیشگیری از آن

**۱- مواد شارژ (بار):** این مواد، اولین و مهم ترین منابع ایجاد آخال در مذاب می باشند؛ چون همراه این مواد، رطوبت، اکسیدها و ناخالصی های دیگر وارد مذاب می شود، موجب ایجاد آخال می شود. به این دلیل بهتر است مواد شارژ، قبل از ذوب کاملاً خشک باشد و اکسیدها و دیگر ناخالصی ها از آن ها جدا شده باشد تا از به وجود آمدن آخال در مذاب جلوگیری شود.

**۲- اندازه مواد شارژ (بار):** مواد بار ریز، مانند براده ها و سوفاره ها، به علت داشتن سطح زیاد به راحتی با اکسیژن هوا ترکیب می شوند و مقدار زیادی اکسید در مذاب ایجاد می کنند که در نهایت، سبب افزایش آخال در مذاب می شود. به این ترتیب بهتر است از مواد شارژ ریز در تهیه مذاب کمتر استفاده شود و در صورت استفاده، در مراحل آخر ذوب فلز اضافه شوند تا زمان تماس آن ها با اکسیژن کمتر شود.

**۳- ترتیب باردهی:** مواد شارژی که میزان اکسیداسیون زیاد دارند نباید در ابتدای عملیات ذوب شارژ شوند؛ زیرا سبب افزایش آخال در مذاب می شوند. بهتر است ابتدا مواد شارژ عاری از اکسید استفاده شود و از مواد با اکسیداسیون بالاتر، مانند براده ها، در مراحل نهایی ذوب استفاده شود.

**۴- هم زدن و آشفته ساختن مذاب:** معمولاً برای دستیابی به آلیاژ همگن، مذاب تحت عملیات هم زدن قرار می گیرد. اما در بعضی فلزات که دارای لایه اکسیدی یکنواخت روی سطح مذاب می باشند، هم زدن مذاب سبب بهم خوردن لایه اکسید شده و موجب افزایش مقدار آخال در مذاب می شود. به عنوان نمونه، می توان فلز آلومینیوم را نام برد. آلومینیوم دارای لایه اکسیدی یکنواخت روی سطح مذاب می باشد که در صورت هم زدن مذاب این لایه بهم خورده و وارد مذاب می شود.

**۵- محیط اطراف کوره:** محیط اطراف کوره می تواند اکسیدی، خنثی و احیایی باشد که هر کدام می تواند سبب ایجاد واکنش های شیمیایی در مذاب گشته و مقدار آخال را افزایش دهد. به طور مثال در صورتی که محیط کوره اکسیدی باشد، مذاب به شدت با اکسیژن ترکیب شده و اکسیدهای ایجاد شده به صورت آخال وارد مذاب می شوند. میزان اکسیدهای تشکیل شده، به ترتیب، در محیط های خنثی و احیایی کمتر می باشد. به همین دلیل، بهتر است محیط اطراف کوره احیایی باشد تا آخال کمتری در مذاب به وجود آید.

**۶- دمای ذوب:** هر چه دمای فوق ذوب افزایش یابد، احتمال ترکیب فلز مذاب با اکسیژن هوا بیشتر می شود و مقدار آخال بیشتری وارد مذاب می شود. بنابراین بهتر است دمای فوق ذوب در یک حد معینی افزایش داده شود تا از افزایش آخال ها در مذاب جلوگیری شود.

**۷- زمان نگهداری مذاب:** هرچه مدت زمان نگهداری مذاب در دمای فوق ذوب افزایش یابد، احتمال ترکیب شدن فلز مذاب با اکسیژن افزایش می یابد و مقدار آخال ها در مذاب زیاد می شود، بنابراین بهتر است زمان نگهداری مذاب در دمای فوق ذوب را کاهش داد تا از ایجاد آخال در مذاب جلوگیری شود.

**۸- نوع کوره:** در کوره هایی که مذاب فلز به طور مستقیم در تماس با سوخت کوره یا محصولات احتراق، مانند گازهای  $CO$ ،  $CO_2$ ،  $SO_2$  و غیره، می باشد مقدار آخال بیشتری در مذاب ایجاد خواهد شد به عنوان مثال، مذاب در کوره دوار به طور مستقیم در تماس با شعله و محصولات احتراق می باشد؛ در نتیجه مقدار آخال در مذاب نسبت به کوره بوته ای بیشتر خواهد بود. از طرف دیگر مواد نسوز کوره باید از استحکام بالایی برخوردار باشند که به راحتی خراب نشده و وارد مذاب نشوند. همچنین، بوته و آجر نسوز نیز نباید به گونه ای باشند که سبب ورود ذرات ریز نسوز در مذاب و در نتیجه افزایش آخال در مذاب شوند.

**۹- وسایل و تجهیزات در ذوب:** در صورتی که ابزار و تجهیزات مورد استفاده در تهیه مذاب تمیز نبوده و فاقد پوششی باشند، موجب افزایش مقدار آخال مذاب می شوند. به همین دلیل بهتر است قبل از تهیه مذاب، ابزار مورد استفاده تمیز شده و با مواد مناسب پوشش داد شود. به عنوان مثال، اگر برای تهیه مذاب آلومینیوم از ابزار آهنی بدون پوشش استفاده شود، در اثر تماس مستقیم مذاب آلومینیوم با ابزار، آهن توسط آلومینیوم خورده می شود و باعث ایجاد آخال های میکروسکوپی در قطعه ریختگی می شود.

**۱۰- بارریزی:** اگر نحوه ریختن مذاب به داخل قالب به گونه ای باشد که مذاب در تماس با محیط اطراف قرار گیرد، واکنش مذاب با محیط اطراف افزایش می یابد و مقدار آخال بیشتری در مذاب ایجاد می شود. در نتیجه، بهتر است در هنگام بارریزی تا حد امکان، تماس فلز مذاب با محیط اطراف محدود شود.

**۱۱- قالب:** اگر مواد قالب نامناسب و فاقد پوشش باشند، در اثر حرکت مذاب ساییده می شوند و ذرات مواد قالب وارد مذاب می شوند. از طرف دیگر، در صورت مرطوب بودن مواد قالب، اکسیژن ناشی از تجزیه بخار آب به علت دمای بالا با مذاب ترکیب شده و مقدار آخال های مذاب را افزایش می دهد. بنابراین، بهتر است مواد قالب دارای استحکام کافی و فاقد رطوبت باشد تا از ایجاد آخال در مذاب جلوگیری شود.

**۱۲- سیستم راهگاهی:** اگر سیستم راهگاهی، دارای گوشه های تیز باشد در اثر حرکت مذاب، مواد قالب دچار سایش شدید در آن محل ها می شود و مقدار زیادی آخال وارد مذاب می کنند. بنابراین باید از ایجاد گوشه های تیز در سیستم راهگاهی اجتناب شود. از طرف دیگر، سیستم راهگاهی باید به گونه ای طراحی شود که از ورود آخال ها به داخل محفظه قالب جلوگیری نماید. به این صورت که ذرات آخال موجود در مذاب در حوضچه پای راهگاه و یا

کانال‌های جریان مذاب به داخل قالب، گیرکرده و نتواند وارد محفظه قالب شود. همچنین نوع آخال و چگالی آن نسبت به مذاب نیز در طراحی سیستم راهگامی مناسب جهت جلوگیری از آخال‌ها بسیار مهم می‌باشد.

**۱۳- دمای بارریزی:** در صورتی که دمای ریختن مذاب به داخل قالب افزایش یابد، احتمال واکنش شیمیایی مذاب با مواد قالب و مواد نسوز افزایش می‌یابد؛ به طوری که مقدار زیادی آخال در مذاب تولید می‌کند. به همین دلیل، باید از افزایش دمای بارریزی اجتناب نمود.

## ۴-۲-۲- آخال زدایی

به مجموعه عملیاتی که برای جلوگیری از ورود آخال‌ها به مذاب و حذف یا کاهش اثرات نامطلوب آن‌ها در مذاب، به کار می‌رود، آخال‌زدایی گفته می‌شود.

معمولاً برای آخال‌زدایی مذاب، از فلاکس استفاده می‌شود. فلاکس‌ها، ترکیباتی هستند که برای جلوگیری اکسیدشدن مذاب، احیا اکسیدهای موجود در مذاب و جدا کردن آخال‌های موجود در مذاب، استفاده می‌شود. فلاکس‌هایی که برای آخال‌زدایی استفاده می‌شوند عبارت‌اند از:

**۱- فلاکس‌های پوششی:** وقتی این فلاکس‌ها به مذاب اضافه می‌شوند لایه‌ای روی سطح مذاب ایجاد می‌کنند که از نفوذ اکسیژن به داخل مذاب جلوگیری می‌کند. بنابراین مقدار آخال در مذاب افزایش نمی‌یابد. معمولاً این فلاکس‌ها، به صورت جامد خشک و یا به صورت مذاب در سطح فلز مذاب قرار می‌گیرند. بعضی از فلاکس‌های پوششی، آغشتگی سرباره به مذاب را کاهش می‌دهند. بنابراین، در هنگام سرباره‌گیری از خروج مذاب فلز به همراه سرباره جلوگیری می‌شود. اگر سرباره، قابلیت آغشتگی به مذاب را داشته باشد، در هنگام سرباره‌گیری، مقدار زیادی از مذاب خارج می‌شود. به این ترتیب، با افزودن فلاکس پوششی، آغشتگی سرباره به مذاب کاهش یافته، سرباره به راحتی از مذاب خارج می‌شود و اتلاف مذاب کاهش می‌یابد. در شکل ۹-۲ تصویر سرباره مذاب قبل و بعد از فلاکس‌زنی نشان داده شده است؛ همان‌طور که مشاهده می‌شود قبل از فلاکس‌زنی، سرباره آغشتگی زیادی به مذاب داشته و در هنگام سرباره‌گیری، مقداری مذاب همراه سرباره خارج شده است که پس از انجماد مذاب، سرباره به صورت توده‌ای چسبنده دیده می‌شود (شکل ۹-۲-الف)

اما پس از فلاکس‌زنی، آغشتگی سرباره به مذاب کاهش یافته و موجب کاهش خروج مذاب در هنگام سرباره‌گیری شده است و سرباره به صورت توده‌شن و ماسه خشک دیده می‌شود (شکل ۹-۲-ب).



شکل ۹-۲- عکس سرباره آلومینیوم (الف) قبل از فلاکس زنی (ب) بعد از فلاکس زنی

آزمایش‌های انجام شده بر روی عملکرد فلاکس‌های پوششی، نشان داده که استفاده از آن‌ها مقدار تلفات مذاب را تا ۵۰ درصد کاهش داده و به همین نسبت، میزان آخال‌های موجود در مذاب کمتر می‌شود، البته لازم به ذکر این نکته است که فلاکس‌های پوششی برای تمیز کردن مذاب کاربرد ندارند، بلکه به عنوان مانع، در برابر ورود اکسیژن به مذاب استفاده می‌شوند.

## ۲- فلاکس‌های تمیزکننده: وظیفه این نوع فلاکس‌ها، جدا کردن ذرات آخال معلق در مذاب و خارج

نمودن آن‌ها می‌باشد. مهم‌ترین وظایف فلاکس‌های تمیزکننده عبارتند از:

**الف) کاهش وزن مخصوص:** آخال در مذاب به سه حالت می‌توانند وجود داشته باشد:

۱- در سرباره مذاب قرار گیرد.

۲- به صورت شناور در مذاب وجود داشته باشد.

۳- به صورت لجن کف بوته (کوره) ته‌نشین شود.

حال اگر بتوان به طریقی وزن مخصوص آخال‌ها را کاهش داد، آخال‌ها به سطح مذاب خواهند آمد و

می‌توان آن‌ها را به راحتی از مذاب جدا نمود. به همین منظور، از فلاکس‌هایی که سبب کاهش وزن مخصوص

آخال می‌شوند استفاده می‌شود. در جدول ۵-۲ وزن مخصوص ترکیبات مختلف در مقایسه با فلز مذاب نشان داده

شده است.

جدول ۵-۲- وزن مخصوص چند ترکیب در مقایسه با فلز مذاب

فلزات	وزن مخصوص در حالت مایع $g/cm^3$	ترکیبات	وزن مخصوص ترکیبات $g/cm^3$
Cu	۸/۲۲	CuCl <sub>۲</sub>	۳/۰۵
		CuO	۵/۶
Al	۲/۳	Al <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub>	۴
		AlCl <sub>۳</sub>	۱/۵۲
		سرباره‌های اکسیدی	۱/۸
Fe	۶/۹	Feo	
		Fe <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub>	
		Fe <sub>۲</sub> O <sub>۴</sub>	۵/۱
		FeCl <sub>۲</sub>	۲/۵۲
		FeCl <sub>۳</sub>	۲/۸۰
		سرباره آهنی	۳-۴/۲
Mg	۱/۵	MgO	۳/۶
		MgCl <sub>۲</sub>	۲/۳
Zn	۶/۵	ZnS	۳/۹
		ZnCl <sub>۲</sub>	۲/۷۵
		ZnO	۵/۶
		خاک نسوز و SiO <sub>۲</sub>	۲

ب) کاهش آغشتگی به مذاب: معمولاً آخال‌هایی که در مذاب شناورند، آغشتگی زیادی به مذاب دارند و نمی‌توان آن‌ها را به راحتی از مذاب خارج نمود و یا در صورت خارج نمودن آن‌ها، مقدار زیادی مذاب همراه آن‌ها خارج می‌شود و اتلافات مذاب افزایش می‌یابد، با استفاده از فلاکس‌های تمیزکننده، می‌توان آغشتگی آخال به مذاب را کاهش داد و آخال را به راحتی از مذاب خارج نمود. این فلاکس‌ها در فصل مشترک مذاب و آخال، یک لایه نازک ایجاد می‌کند و آغشتگی آخال به مذاب را کاهش می‌دهد. بنابراین خروج آخال‌ها از مذاب راحت‌تر انجام می‌گیرد. از طرف دیگر، می‌توان از برخی گازها، مانند روش گاززدایی، استفاده کرد که با تزریق آن‌ها به مذاب، لایه نازکی از گاز بین آخال و مذاب ایجاد شود که علاوه بر کاهش آغشتگی آخال به مذاب، وزن مخصوص

آخال را نیز کاهش می‌دهد، و موجب تجمع آخال‌ها در سطح مذاب می‌شود.  
**ج) افزایش نقطه گداز:** بعضی از آخال‌ها در شرایط ذوب فلز، به صورت مایع هستند؛ یعنی نقطه ذوب آن‌ها پایین و در حد نقطه ذوب فلز می‌باشد. لذا جدا کردن آن‌ها از فلز مذاب منجر به اتلاف مقدار زیادی مذاب می‌شود. به همین دلیل برای خارج کردن این نوع آخال‌ها، از نوعی فلاکس تمیزکننده استفاده می‌شود که نقطه ذوب آخال را افزایش می‌دهد و آخال در شرایط ذوب فلز، جامد می‌گردد که با سرباره‌گیری به راحتی از مذاب خارج می‌شود.

### در پایان جلسه:

- جمع بندی مطالب این جلسه توسط هنرآموز
- تکالیف برای منزل هنرجویان: مطالعه متن درس و آمادگی برای آزمون جلسه آینده.

- ۱- حضور و غیاب
- ۲- پیش آزمون
- ۳- یادآوری از مطالب جلسات قبل

موضوع:

- روش های ترکیبی آخال زدایی،
- عملیات فیلتر کردن مذاب،
- تلقیح (جوانه زایی و ...)

در ابتدا بهتر است برای درک عمیق تر مفاهیم درسی، آماده سازی ذهن هنرجویان سؤالاتی پرسیده شود.

۱- به نظر شما، آیا برای جلوگیری از ورود آخال به داخل قالب ریختگی، می توان مذاب را فیلتر نمود؟

چگونه؟

۲- آیا می توان با افزودن عناصری به مذاب، اندازه دانه ها را در ساختار میکروسکوپی قطعه ریختگی تغییر

داد؟

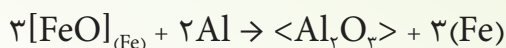
۳- به نظر شما عناصری که برای بهبود خواص قطعه ریختگی به مذاب اضافه می شود، باید چه شرایطی

داشته باشد؟

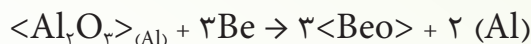
### ۵-۲-۲- روش های ترکیبی آخال زدایی

در این روش، از عناصری که نسبت به فلز میل ترکیبی بیشتری با اکسیژن، نیتروژن و غیره دارند، استفاده می شود. این عناصر، ترکیباتی که شامل مذاب و اکسیژن، نیتروژن و غیره باشند را احیاء نموده، عنصر فلزی را آزاد کرده و به فلز مذاب هدایت می کند. سپس خود این عناصر اضافه شونده با اکسیژن، نیتروژن و غیره ترکیب می شوند. به عنوان مثال، اکسیژن زدایی در بعضی فلزات به این روش انجام می شود. نمونه هایی از این روش اکسیژن زدایی به صورت زیر می باشد.

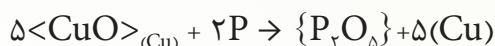
برای اکسیژن زدایی مذاب آهن از فلز آلومینیوم استفاده می شود. آلومینیوم به علت میل ترکیبی بیشتر، با اکسیژن موجود، در اکسید آهن حل شده، در مذاب آهن ترکیب شده، یون آهن را به آهن احیاء کرده و اکسید آلومینیوم تولید می نماید که به صورت سرباره در سطح مذاب جمع می شود و می توان به راحتی آن را از مذاب جدا کرد. واکنش آلومینیوم با اکسید آهن به صورت زیر می باشد.



- نمونه دیگر، اکسیژن زدایی مذاب آلومینیوم به وسیله بریلیم می باشد. در این جا، بریلیم با اکسیژن موجود در اکسید آلومینیوم موجود در آلومینیوم مذاب ترکیب شده و یون آلومینیوم را به آلومینیوم تبدیل می کند جدا کردن اکسید بریلیم از مذاب ساده تر از اکسید آلومینیوم می باشد واکنش بریلیم با اکسید آلومینیوم به صورت زیر می باشد.



- اکسیژن زدایی مذاب مس با استفاده از فسفر مثالی دیگر می باشد که در آن، فسفر با اکسید مس موجود در مس مذاب ترکیب شده و سبب احیاء یون مس می گردد. در این صورت، جدا نمودن اکسید فسفر از مذاب مس نسبت به اکسید مس راحت تر می باشد. رابطه این واکنش به صورت زیر می باشد.



هر عنصری را نمی توان به عنوان اکسیژن زدا در مذاب اضافه نمود بنابراین، برای اکسیژن زدایی مذاب توسط یک عنصر شرایط مهمی وجود دارد که عبارتند از:

۱- عنصر اضافه شده باید میل ترکیبی بیشتری با اکسیژن نسبت به فلز مذاب داشته باشد تا بتواند اکسید فلز مذاب را احیاء نماید و با اکسیژن موجود در اکسید ترکیب شود. در غیر این صورت، مذاب با اکسیژن ترکیب می شود و اکسید در مذاب ایجاد می شود.

۲- عنصر اضافه شده، نباید باعث تغییر ترکیب شیمیایی مذاب شود و از طرف دیگر، نباید آخال در مذاب ایجاد کند.

۳- چگالی اکسید عنصر اکسیژن زدا باید کمتر از چگالی اکسید اصلی باشد. تا بتواند به راحتی به سطح مذاب بیاید.

۴- اکسید تشکیل شده در اثر اضافه نمودن عنصر اکسیژن زدا، نباید قابلیت آغشتگی به مذاب داشته باشد تا بتوان آن را به راحتی از مذاب خارج کرد. در غیر این صورت، خارج نمودن اکسید سبب اتلاف زیاد فلز مذاب خواهد شد.

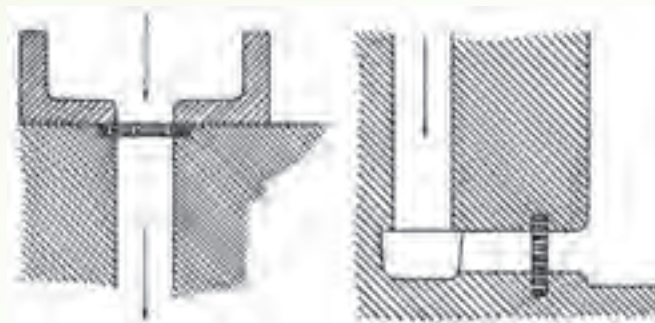
۵- از جهت عملی، اضافه نمودن عنصر اکسیژن زدا به داخل مذاب به راحتی صورت می گیرد و نیاز به تمهیدات خاصی نداشته باشد.

## ۶-۲-۲- عملیات فیلتر کردن مذاب: برای خارج کردن بیشتر آخال ها از مذاب، می توان از فیلتر کردن

مذاب استفاده کرد. فیلتر کردن باعث خروج آخال هایی از مذاب می شود که با روش های دیگر خارج نشده اند و دارای اندازه قابل ملاحظه ای هستند. برای این منظور، مذاب را از داخل فیلترهای مخصوص، که معمولاً از جنس



سرامیک و دیرگداز هستند و دارای منافذی با ابعاد مشخص می‌باشند، عبور داده تا آخال‌های بزرگتر نتوانند از ابعاد منافذ فیلتر عبور کنند و پشت فیلتر باقی بمانند و مذاب با درصد آخال پایین‌تر از آن عبور کند و وارد قالب قطعه ریختگی شود. عملیات فیلتر کردن می‌تواند در خود پاتیل و یا حتی در سیستم راهگامی انجام شود. لازم به ذکر این نکته است که با فیلتر کردن، نمی‌توان تمام آخال‌ها را از مذاب خارج کرد؛ زیرا آخال‌های میکروسکوپی می‌توانند از منافذ فیلتر عبور کنند. در شکل ۱۰-۲ محل‌های پیشنهادی برای قرار دادن فیلتر در سیستم راهگامی برای مذاب آلومینیوم نشان داده شده است. در شکل سمت راست فیلتر در کانال انتقال مذاب به قطعه (راهبار) قرار داده شده است و در شکل سمت چپ فیلتر در ابتدای لوله راهگام و بعد از حوضچه بالای راهگام بار ریز تعبیه شده است.



شکل ۱۰-۲- شماتیک روش‌های فیلتر کردن برای آلومینیوم در سیستم راهگامی

### ۲-۳- تلقیح (جوانه زایی)

برای بهبود خواص قطعات ریختگی، از جمله خواص مکانیکی، فیزیکی و ریخته‌گری، روش‌های مختلفی وجود دارد که بیشتر آن‌ها در حالت جامد روی قطعه ریختگی انجام می‌شود؛ مانند عملیات حرارتی و کارهای مکانیکی که سبب تغییر ساختار میکروسکوپی قطعه ریختگی می‌شود. اما در حالت مذاب نیز می‌توان خواص قطعه ریختگی را با اضافه نمودن مقدار جزئی از عناصر معین افزایش داد. معمولاً این عناصر را در آخرین مرحله تهیه مذاب و قبل از ریختن مذاب به داخل قالب، اضافه می‌کنند. به‌طور کلی، این عناصر سبب ریز شدن دانه‌ها در ساختار میکروسکوپی قطعه ریختگی می‌شود. همچنین، موجب تولید فازهایی می‌شود، که در حالت عادی در اثر انجماد مذاب تشکیل نمی‌شوند. ریز دانه شدن یا ایجاد فازهای جدید سبب افزایش خواص فیزیکی، مکانیکی و ریخته‌گری قطعات ریختگی می‌شود. به عنوان مثال اضافه کردن ۰/۲ درصد تیتانیوم یا ۰/۰۲ درصد بُر به مذاب آلومینیوم، باعث می‌شود که پس از ریختن مذاب به داخل قالب و انجماد دانه‌های تشکیل شده در آلومینیوم و آلیاژهای آن از ۲/۵ میلی‌متر به ۰/۱ میلی‌متر کاهش یابد. همچنین با اضافه نمودن حدود ۰/۰۲ درصد سدیم و یا ۰/۰۳ درصد استرانسیم به مذاب آلیاژهای آلومینیوم - سیلیسیم، اندازه دانه‌های تشکیل شده در حین انجماد به

مقدار بسیار زیادی کاهش می‌یابد. اضافه نمودن مقدار کمی سیلیسیم به مذاب چون، موجب تشکیل گرافیت آزاد در ساختار میکروسکوپی چدن می‌شود و از به‌وجود آمدن چدن سفید، که سخت و ترد می‌باشد، در قطعات نازک جلوگیری می‌نماید و خواص مکانیکی قطعه، مانند چقرمگی و مقاومت به ضربه، را افزایش می‌دهد. همچنین، با افزودن مقدار بسیار کمی منیزیم در حد ۰/۰۵ درصد) به مذاب با ترکیب شیمیایی چدن، می‌توان از به‌وجود آمدن گرافیت آزاد ورقه‌ای در ساختار میکروسکوپی جلوگیری کرد و به‌جای آن گرافیت کروی در ساختار چدن ایجاد نمود که سبب افزایش خواص مکانیکی چدن به مقدار قابل ملاحظه‌ای می‌شود. با توجه به مثال‌های ذکر شده، مشخص می‌شود که عمل جوانه‌زایی در مذاب (تشکیل اولین کریستال‌های جامد در مذاب در حین انجماد) یکی از روش‌های تلقیح می‌باشد. در این روش، با اضافه نمودن موادی با ترکیبات مشخص به مذاب، که در دمای مذاب به‌طور جامد می‌باشند، می‌توان تعداد محل‌هایی را که کریستال‌های جامد از مذاب تشکیل شود را افزایش داد. در نتیجه، تعداد دانه‌های تشکیل شده در حین انجماد بیشتر می‌شود و دانه‌ها، ریزتر خواهد شد. موادی که برای جوانه‌زایی در مذاب فلز استفاده می‌شوند، دارای شرایط مشخص می‌باشند که عبارتند از:

– **دیرگدازی:** نقطه ذوب مواد جوانه‌زا باید از دمای مذاب بیشتر باشد در غیر این صورت، قبل از انجام

وظیفه جوانه‌زایی در مذاب، از حالت جامد خارج شده و به حالت مذاب در می‌آید.

– **قابلیت آغشتگی به مذاب:** مواد جوانه‌زا باید بتوانند در تمام قسمت‌های مذاب پراکنده شوند تا به

عنوان هسته جوانه‌زایی عمل نمایند. به‌همین منظور، باید قابلیت آغشتگی به مذاب خوبی داشته باشند. در غیراین صورت، بسته به میزان چگالی آن‌ها نسبت به مذاب یا در سطح مذاب (چگالی کمتر) و یا در کف مذاب (چگالی بیشتر) جمع می‌شوند و نمی‌توانند وظیفه جوانه‌زایی خود را در تمام قسمت‌های مذاب انجام دهند.

**ساختار کریستالی:** ساختار کریستالی مواد جوانه‌زا باید نزدیک به ساختار کریستالی فلز مذاب باشد تا

در حین انجماد، اتم‌های مذاب به سمت آن‌ها حرکت کنند و در محل‌های مشخص شده کریستالی، روی مواد جوانه‌زا قرار گیرند و سبب رشد کریستال جامد شوند. اما اگر ساختار کریستالی مواد جوانه‌زا متفاوت با فلز مذاب باشد، مواد جوانه‌زا نمی‌توانند به عنوان محل‌هایی برای تشکیل کریستال جامد در مذاب (هسته) عمل کنند و خود سبب به‌وجود آمدن عیوبی در ساختار کریستالی فلز جامد می‌شوند. برای این منظور، برای هر آلیاژ مواد جوانه‌زای مشخصی وجود دارد که تعدادی از آن‌ها در جدول ۶-۲ ارائه شده است.

جدول ۵-۲- مشخصات اصلی مواد جوانه‌زا

سیستم آلیاژی درصد عنصر دوم	فاز اصلی که کنترل می‌شود	ریزکننده‌ها درصد وزنی	تأثیر در ساختمان	ترکیب احتمالی حاصل برای ریزکردن
Mg ۷-۱۰ Al	Mg <sub>α</sub>	C <sub>۲</sub> Cl <sub>۶</sub> ۰/۰۵ FeCl <sub>۲</sub> ۱-۲ فوق ذوب تا ۸۴۰ °C	تقلیل اندازه شبکه به ۰/۰۳ تا ۰/۱ میلی‌متر	ترکیب حاصل Al <sub>۲</sub> C <sub>۳</sub> یا تشکیل (Fe-Mg)Al <sub>۲</sub>
Mg ۴-۵ Zn	Mg <sub>α</sub>	Zr ۰/۰۷	مانند فوق	هسته‌های Zr و یا MgZr
۴Cu Al(Mg) Zn	Al <sub>α</sub>	Ti ۰/۰۵ - ۰/۱ B ۰/۰۰۵ - ۰/۰۰۱	تقلیل تا ۰/۱ میلی‌متر	TiC - AIB - TiB <sub>۲</sub> و خاصیت محدود کردن رشد توسط B.Ti
Al ۵ - ۱۲ - Si	اوتکتیکی Si	Na ۰/۰۱	تقلیل دانه‌های سیلیسیم به ۰/۰۰۱ mm	Na هسته AIP
Al ۱۶ - ۲۰ Si	فاز اولیه Si	P ۰/۰۰۵	تقلیل دانه‌های سیلیسیم به ۰/۰۰۱ mm	
Cu ۳۵-۴۵ Zn	αCu کریستال β	Fe ۱-۲ ZrB ۰/۰۵	تقلیل به ۰/۱ - ۰/۲ میلی‌متر	فعل و انفعال پریکتیکی با Fe و وجود هسته ZrB <sub>۲</sub>
Fe <sub>۳</sub> - ۴C برای چدن خاکستر	Fe <sub>۲</sub> C اوتکتیک یا C	FeSi ۰/۵ CoSi ۰/۲ SiMnZr ۰/۲ SiC ۰/۲	تعویض سمانتیت به گرافیت لایه‌ای	قابلیت‌های گرافیت‌زایی
Fe ۴ - ۴/۵ C	چدن لایه‌ای	Mg ۰/۰۴ - ۰/۰۶ Ce ۰/۰۰۵ - ۰/۱ همراه با فروسیلیسیم ۷۵٪	تغییر لایه گرافیت به گرافیت کروی	کاملاً مشخص نیست احتمال ترکیب MgO و آزاد شدن C از CO
Fe ۳ - ۳/۷ C چدن چکش‌خوار	در انجماد Fe <sub>۲</sub> C	B ۰/۰۰۲ AL ۰/۰۰۴ B ۰/۰۰۲ Te ۰/۰۰۲	توسعه گرافیت شدن جلوگیری از تشکیل	مشخص نیست مشخص نیست

## نکاتی چند در مورد عملیات جوانه‌زایی

**۱- زمان جوانه‌زایی:** زمان افزودن مواد جوانه‌زا در مذاب، اهمیت بسیار زیادی دارد، به‌صورتی که اگر زمان برای اضافه نمودن جوانه‌زا، مناسب در نظر گرفته نشود، عمل جوانه‌زایی به‌صورت کامل انجام نخواهد شد. به‌عنوان مثال، اگر مواد جوانه‌زا قبل از عملیات گاززدایی و آخال‌زدایی به مذاب اضافه شوند، بسیاری از جوانه‌زها در حین گاززدایی و آخال‌زدایی از مذاب خارج می‌شوند و عمل جوانه‌زایی به‌طور کامل در مذاب انجام نخواهد شد. به همین منظور، بهترین زمان برای اضافه نمودن مواد جوانه‌زا، در آخرین مرحله تهیه مذاب و قبل از ریختن مذاب به داخل قالب است. حتی در برخی موارد، مواد جوانه‌زا در سیستم راهگامی به مذاب اضافه می‌شوند؛ چون در صورت طولانی شدن زمان حضور جوانه‌زا در مذاب، امکان از بین رفتن جوانه‌زها وجود دارد.

**۲- دما و زمان (میرایی):** در صورتی که دمای مذاب بالا باشد، امکان ذوب شدن و حل شدن مواد جوانه‌زا در مذاب زیاد می‌شود. به همین ترتیب اگر زمان نگهداری مذاب پس از اضافه نمودن مواد جوانه‌زا طولانی شود، امکان ذوب شدن و حل شدن مواد جوانه‌زا در مذاب افزایش می‌یابد که موجب کاهش زیاد راندمان یا بازدهی جوانه‌زایی می‌شود. بنابراین، دما و زمان در اضافه نمودن مواد جوانه‌زا به مذاب و عملکرد آن‌ها، بسیار مهم هستند.

**۳- اندازه جوانه‌زها:** اندازه جوانه‌زها باید مناسب باشند تا ساختار میکروسکوپی قطعه‌ریختگی ریزدانه شود و خواصی آن بهبود یابد. اگر اندازه ذرات جوانه‌زا، خیلی بزرگ باشد، سبب به‌وجود آمدن دانه‌های درشت در قطعه‌ریختگی شده و خواص قطعه را کاهش می‌دهد؛ برعکس، اگر جوانه‌زها خیلی ریز باشند، پس از اضافه شدن به مذاب، در مدت زمان کوتاهی حل شده و سبب می‌شود که ساختار دانه‌بندی موردنظر ایجاد نشود، چون تعداد زیادی از جوانه‌زها کارایی خود را از دست داده‌اند. لازم به ذکر این نکته است که اندازه مناسب جوانه‌زا برای آلیاژهای مختلف از روی تجربه انجام آزمایش‌های عملی به‌دست می‌آید.

**۴- پخش یکنواخت:** اگر مواد جوانه‌زا، به‌طور یکنواخت در تمام قسمت‌های مذاب پخش شوند ساختار میکروسکوپی دانه‌های ریز با ابعاد تقریبی یکسان حاصل، خواهد شد که خواص مکانیکی و فیزیکی در تمام جهات آن تقریباً یکسان خواهد بود. اما، اگر مواد جوانه‌زا به‌طور یکنواخت در مذاب پخش نشوند در محل‌هایی که تعداد جوانه‌زها بیشتر است، دانه‌ها ریزتر و در سایر قسمت‌های قطعه دانه‌ها درشت‌تر خواهد شد. عدم یکنواختی در اندازه دانه، کاهش خواص قطعه (مکانیکی و فیزیکی) را در پی دارد.

**۵- مقدار جوانه‌زا:** اگر مقدار جوانه‌زا کمتر از حد معین باشد ساختار دانه‌بندی ریزدانه به‌وجود نخواهد آمد؛ چون تعداد جوانه‌زها کم بوده و محل‌های تشکیل کریستال دانه در مذاب کم خواهد بود. بنابراین، اندازه دانه‌ها، به حد لازم، ریز نخواهد شد. در صورتی که تعداد جوانه‌زها بسیار زیاد باشد، به دلیل حذف اثرات یکدیگر در حین انجماد، دانه‌ها در حد لازم ریز نخواهد شد. این موضوع، عدم یکنواختی اندازه دانه‌ها در قطعه و درشت

شدن دانه‌ها را در پی دارد که موجب کاهش خواص مکانیکی و فیزیکی قطعه خواهد شد.

### ۱-۳-۲- مزایا و عیوب جوانه‌زایی

#### الف) مزیت‌ها

۱- **خواص مکانیکی:** استفاده از جوانه‌زا سبب به وجود آمدن ساختار میکروسکوپی دانه‌ریز در قطعه ریختگی

می‌شود. ریز شدن دانه‌ها سبب افزایش مرزدانه‌ها در ساختار میکروسکوپی می‌شود از آن‌جا که خواص مکانیکی قطعه متأثر از ابعاد دانه‌ها و تعداد مرزدانه‌ها است، هرچه دانه‌ها ریزتر و تعداد مرزدانه‌ها بیشتر باشد، خواص مکانیکی از قبیل سختی، استحکام و مقاومت به ضربه افزایش می‌یابد.

۲- **مک‌های گازی و انقباضی:** استفاده از مواد جوانه‌زا و ریزدانه شدن دانه موجب می‌شود که گازهایی که

به حالت مولکولی در حین انجماد به وجود می‌آیند در قطعه محبوس شوند. همچنین مک‌های گازی و انقباضی کوچک‌تر شده و در برخی مواد، حذف می‌شوند.

۳- استفاده از جوانه‌زاها به مقدار مناسب سبب ایجاد دانه‌های ریز و با ابعاد تقریباً یکسان در ساختار قطعه

ریختگی می‌شوند که یکنواخت شدن خواص در تمام جهات قطعه را در پی دارد.

۴- استفاده از جوانه‌زاها سبب ریز شدن دانه‌ها در ساختار میکروسکوپی فلز می‌شود. ریز شدن دانه در

آلیاژهایی که احتمال ترک در حین انجماد آن‌ها وجود دارد موجب می‌شود ترک‌های تشکیل شده به ابعاد دانه محدود شود. در نتیجه طول ترک‌ها کم‌تر خواهد شد و در اغلب اوقات قابل چشم‌پوشی هستند. بنابراین استفاده از جوانه‌زا، حساسیت به ایجاد ترک‌های حین انجماد در ریخته‌گری را کاهش می‌دهد.

۵- ریز شدن دانه‌های فلز در اثر استفاده از مواد جوانه‌زا موجب جلوگیری از براده‌های با طول زیاد در حین

ماشین‌کاری می‌شود و براده‌ها کوچک می‌شوند. کوچک شدن براده‌ها، نشان‌دهنده افزایش خاصیت ماشین‌کاری فلز می‌باشد. زیرا فشار کمتری به دستگاه ماشین‌کاری وارد شده و از طرف دیگر سطح ایجاد شده در فلز بسیار پرداخت شده و صیقلی خواهد بود.

۶- ریزدانه شدن فلز در اثر استفاده از مواد جوانه‌زا سبب افزایش مرزهای دانه (که خود دارای انرژی نهفته

می‌باشند) می‌شود. بنابراین قابلیت پولیش‌کاری و آبکاری قطعه افزایش می‌یابد. چون مرز دانه‌ها، محل‌های مناسبی برای قرار گرفتن اتم‌های فلز دیگر برای آبکاری می‌باشد.

۷- با توجه به اینکه استفاده از مواد جوانه‌زا سبب افزایش مرزدانه در ساختار قطعه ریختگی می‌شود

مرزدانه، خود به علت ناقص بودن ساختار کریستالی دارای انرژی می‌باشد، بنابراین، فلز دارای مقداری انرژی در حالت عادی می‌شود. پس عملیات حرارتی با اعمال انرژی حرارتی کمتر نسبت به ساختار میکروسکوپی با دانه‌بندی درشت، میسر می‌شود.

## ب) عیب‌ها

۱- اضافه نمودن مواد جوانه‌زا در مذاب که معمولاً به صورت جامد می‌باشد، سبب افزایش گران روی (ویسکوزیته)

مذاب می‌شود؛ در نتیجه، سیالیت مذاب کاهش می‌یابد.

۲- ممکن است در هنگام اضافه نمودن جوانه‌زا، مقداری ترکیبات ناخواسته یا رطوبت وارد مذاب شود که

موجب افزایش ناخالصی‌ها در مذاب و در قطعه می‌شود.

### در پایان جلسه:

- جمع بندی مطالب این جلسه توسط هنرآموز

- تکالیف برای منزل هنرجویان: مطالعه متن درس و آمادگی برای آزمون جلسه آینده.

## ارزشیابی (۲)

- ۱- واکنش گاز با مذاب را دسته‌بندی نموده، برای هر یک مثالی بیاورید.
- ۲- عوامل مؤثر در میزان مک‌های گازی را نام ببرید.
- ۳- گاززدایی در خلاء جزو کدام دسته از روش‌های گاززدایی است، محدودیت‌های استفاده از این روش را بنویسید.
- ۴- مهم‌ترین وظایف فلاکس‌های تمیزکننده را به اختصار توضیح دهید.
- ۵- چه عواملی در افزایش راندمان گاززدایی با استفاده از گاز مؤثرند؟ به اختصار توضیح دهید.
- ۶- الف) آخال را توضیح دهید.  
ب) انواع آخال‌ها را بنویسید.
- ۷- انحلال گازها در مذاب چگونه انجام می‌شود؟ و عوامل مؤثر بر انحلال گاز در مذاب را نام ببرید.
- ۸- تلقیح (جوانه‌زایی) چیست؟ و شرایط جوانه‌زها را نام ببرید.
- ۹- گازها برای انحلال در مذاب باید از حالت ..... خارج شوند و به حالت ..... تبدیل شوند.
- ۱۰- گاززدایی با استفاده از گازهای بی‌اثر را توضیح دهید.
- ۱۱- به چه منظور از فلاکس‌های تمیزکننده استفاده می‌شود؟ مهم‌ترین وظایف آن‌ها را بنویسید.
- ۱۲- جهت گاززدایی مذاب آلومینیوم با روش استفاده از گازهای فعال، می‌توان گاز ..... را به داخل مذاب تزریق کرد.
- ۱۳- طبق رابطه استوک آخال‌های ریز نسبت به آخال‌های درشت با سرعت ..... به سطح مذاب آمده و به سرباره می‌پیوند.
- ۱۴- هنگام گاززدایی با گازهای بی‌اثر، عمق حمام مذاب چه اثری در راندمان گاززدایی دارد؟ چگونه؟
- ۱۵- هم‌زدن و آشفته ساختن مذاب آلومینیوم چه تأثیری در ایجاد آخال دارد؟ توضیح دهید.

### انجماد فلزات

#### هدف

- ۱- آشنایی با ساختمان فلزات
- ۲- آشنایی با رفتار فلزات خالص و آلیاژها در هنگام انجماد.
- ۳- آشنایی چگونگی انجماد در قطعات ریختگی و عیوب ایجاد شده در حین انجماد.

#### مفاهیم کلی

- ۱- ساختمان کریستالی فلزات
- ۲- رفتار فلزات خالص در هنگام انجماد
- ۳- رفتار آلیاژها در هنگام انجماد
- ۴- آلیاژهای محلول جامد
- ۵- آلیاژهای یوتکتیک
- ۶- نمودارهای فازی
- ۷- انقباض حجمی در قطعات ریختگی
- ۸- نحوه انجماد فلزات خالص در قالب
- ۹- نحوه انجماد فلز در گوشه‌های قالب
- ۱۰- نحوه انجماد آلیاژها در قالب

#### مفاهیم اساسی

- ۱- اتم‌ها در فلز جامد نسبت به یکدیگر در موقعیت مشخص و معینی قرار گرفته‌اند که به آن شبکه کریستالی گفته می‌شود.
- ۲- انتقال و حرکت اتم‌ها از یک فلز به فلز دیگر را دیفوزیون (نفوذ) می‌گویند.
- ۳- شبکه کریستالی فلزات جامد بر سه نوع است که عبارتند از: سیستم مکعبی اتم در مرکز (B.C.C)، سیستم مکعبی با اتم در مرکز سطوح (F.C.C) و سیستم بلوری شش‌وجهی متراکم (h.c.p)
- ۴- فلزات خالص مذاب در یک دمای معین منجمد می‌شوند.



- ۵- هنگام سرد کردن فلز مذاب خالص، کریستال‌های جامد اولیه‌ای که در مذاب تشکیل می‌شوند می‌توانند به آسانی در تمام جهات رشد کنند که به آن رشد دندریتی می‌گویند.
- ۶- آلیاژهای مذاب، که عنصر آلیاژی در آن به‌طور کامل محلول است، در دمای معینی منجمد نمی‌شود؛ بلکه در یک فاصله حرارتی به‌نام دامنه انجماد، منجمد می‌شود.
- ۷- عناصر آلیاژی سبب اصلاح و بهبود استحکام فلز در دماهای بالا، قابلیت ماشین‌کاری، مقاومت در برابر خوردگی، حتی اصلاح مشخصات ریختگی آلیاژ مانند سیالیت و نقطه ذوب و همچنین افزایش استحکام آن می‌شود.
- ۸- دمای لیکوئیدوس، دمایی است که در بالای آن، آلیاژ به‌صورت مایع وجود دارد.
- ۹- دمای سالییدوس، دمایی است که در پایین آن، آلیاژ به‌صورت جامد باقی می‌ماند.
- ۱۰- سرعت سرد شدن مذاب، در حین انجماد آلیاژ به علت تشکیل جوانه‌های جامد در مذاب و آزاد شدن گرمای نهان انجماد کاهش می‌یابد.
- ۱۱- اگر سرعت سرد کردن مذاب در فلزات خالص به‌صورت تعادلی باشد، مذاب در دمایی نزدیک به نقطه انجماد فلز، منجمد می‌شود.
- ۱۲- در عمل، با توجه به بالا بودن سرعت سرد کردن مذاب فلز در دمایی پایین‌تر از نقطه انجماد، منجمد می‌شود که این فاصله حرارتی، مادون انجماد نامیده می‌شود.
- ۱۳- فلزات خالص در مقایسه با آلیاژها از قابلیت هدایت الکتریکی حرارتی و الکتریکی، نقطه ذوب بالا، قابلیت انعطاف‌پذیری بالاتری برخوردارند؛ اما تنش تسلیم و تنش نهایی آن‌ها کمتر است و در بعضی حالات، مقاومت در برابر خوردگی بهتری را از خود نشان می‌دهند.
- ۱۴- در آلیاژهای محلول جامد، دو فلز کاملاً در حالت مایع و در حالت جامد در یکدیگر محلول می‌باشند؛ مانند آلیاژ طلا و نقره یا مس و نیکل
- ۱۵- در ارتباط با ترکیب هر آلیاژ، خط سالییدوس نشان‌دهنده شروع ذوب آلیاژ و خط لیکوئیدوس نشان‌دهنده خاتمه ذوب می‌باشد.
- ۱۶- نمودارهای تعادلی فلزات، اطلاعات با ارزشی را در زمینه ساختمان قطعه و در نتیجه مشخصات فیزیکی و مکانیکی آن، شروع و خاتمه انجماد، رفتار انجماد و دمای ریختن مذاب در اختیار ما قرار می‌دهد.
- ۱۷- آلیاژهای یوتکتیک، آلیاژهایی هستند که در حالت مایع کاملاً محلول می‌باشند، اما در حالت جامد، با هر نسبتی در یکدیگر محلول نیستند، بلکه به‌صورت مخروط مکانیکی عمل می‌نماید. مانند آلیاژ آلومینیوم و مس.

- ۱۸- عدم یکنواختی توزیع عناصر آلیاژی در ساختمان فلزی جدایش نامیده می‌شود که پس از انجماد می‌توان با عملیات حرارتی این عدم یکنواختی را از بین برد.
- ۱۹- بعضی از فلزات در نسبت معینی با فلز دیگر، یک ترکیب شیمیایی تولید می‌نماید که به آن ترکیبات، بین فلزی می‌گویند. ویژگی این ترکیبات، سخت و شکننده بودن آنهاست.
- ۲۰- انقباض حجمی فلزات در هنگام انجماد فلز مذاب، سبب ایجاد حفره‌های انقباضی در قطعات ریختگی می‌شود.
- ۲۱- انقباض حجمی فلزات در سه مرحله متفاوت در حین انجماد اتفاق می‌افتد. انقباض در حالت مایع، انقباض حین انجماد و انقباض جامد.
- ۲۲- در چدن‌ها، به علت تشکیل کربن به صورت آزاد در حین انجماد، فلز به جای انقباض، انبساط می‌یابد.
- ۲۳- معمولاً برای جبران انقباض فلز مذاب تا زمان انجماد کامل، از یک کانال اضافی مذاب (تغذیه) استفاده می‌شود.
- ۲۴- انجماد فلز خالص در قالب به دو صورت انجماد همه جانبه و انجماد جهت‌دار یا کنترل شده انجام می‌شود.
- ۲۵- انجماد همه جانبه از جداره قالب شروع شده و تا مرکز قطعه ادامه می‌یابد.
- ۲۶- انجماد جهت‌دار از دورترین قسمت قالب نسبت به راهگاهی که مذاب وارد قالب می‌شود، شروع شده و به طرف راهگاه ادامه می‌یابد.
- ۲۷- معمولاً دو نوع حفره انقباضی منجمد شده به وجود می‌آید: حفره انقباضی بزرگ در قسمت فوقانی قطعه و حفره‌های انقباضی ریز در مرکز قطعه.
- ۲۸- سرعت زیاد انجماد موجب ریزش دانه‌ها در قطعات ریختگی و در نتیجه افزایش استحکام آنها می‌شود.
- ۲۹- سرعت کم انجماد موجب درشت شدن دانه‌ها و در نتیجه افزایش استحکام قطعات ریختگی در دمای بالا می‌شود.
- ۳۰- ریزش دانه‌ها سبب حذف حفره‌های انقباض در قطعات ریختگی شده و به یکنواخت شدن ساختمان قطعه ریختگی کمک می‌کند.
- ۳۱- ضخامت مذاب جامد شده ( $D$ ) با جذر زمان ( $t$ ) نسبت مستقیم دارد؛ یعنی  $D = \sqrt{t}$
- ۳۲- زمان لازم برای انجماد مذاب قالب با مجذور نسبت حجم به سطح آنها ارتباط دارد. به عبارت دیگر:

$$K \left( \frac{\text{حجم قطعه}}{\text{سطح قطعه}} \right)^2 = \text{زمان انجماد مذاب}$$

۳۳- در هنگام انجماد مذاب در قطعه ریختگی، سه منطقه وجود خواهد داشت که عبارت‌اند از: منطقه جامد در مجاورت جداره قالب، منطقه خمیری شامل مذاب و کریستال‌های جامد در مجاورت منطقه جامد و منطقه مذاب که پس از منطقه خمیری قرار دارد، می‌باشد.

۳۴- در مجاورت گوشه‌های خارجی قالب ماسه‌ای، انتقال حرارت بیشتر از گوشه‌های داخلی و قسمت‌های دیگر قالب می‌باشد. بنابراین مذاب در گوشه‌های خارجی سریعتر سرد و منجمد می‌شود.

۳۵- سرعت منجمد شدن مذاب به قابلیت هدایت حرارتی و ظرفیت حرارتی فلز و به‌ویژه قالب بستگی دارد.

۳۶- مذاب در قالب‌های فلزی و گرافیتی نسبت به قالب‌های ماسه‌ای سریعتر سرد شده و منجمد می‌شود.

۳۷- در جلوی جبهه انجماد آلیاژهایی که دامنه انجماد کمی دارند منطقه خمیری کوتاهی تشکیل می‌شود.

۳۸- هرچه شیب حرارتی قالب بیشتر گردد، عرض منطقه خمیری کاهش می‌یابد.

۳۹- در قطعات ال (L) شکل و تی (T) احتمال ایجاد حفره‌های انقباضی در محل تماس قسمت‌های افقی و عمودی قطعه که ضخمی‌ترین قسمت قطعه می‌باشد، بیشتر است.

۴۰- در قطعات L شکل و V شکل، برای جلوگیری از ایجاد مناطق تمرکز حرارت باید گوشه‌های تیز به‌طور مناسب قوس داده شوند.

۴۱- در قطعات به شکل +، احتمال به‌وجود آمدن حفره‌های انقباضی در مرکز قطعه نسبت به قطعات به اشکال L و V بیشتر است.

۴۲- در هنگام انجماد آلیاژ مذاب، عناصر آلیاژی از طرف پوسته جامد شده در فصل مشترک جامد و مایع به طرف مذاب رانده می‌شوند و سبب کاهش نقطه ذوب فلز پایه آلیاژ در این منطقه می‌شوند و در نتیجه مکانیزم انجماد فلز را تغییر می‌دهد.

۴۳- ساختمان میکروسکوپی یک قطعه ریختگی آلیاژی به ترتیب از سطح به مرکز قطعه، شامل دانه‌های تبرید شده، دانه‌های ستونی و دانه‌ها یا کریستال‌های هم محور می‌باشد.

۴۴- قطعات ریختگی با ساختمان دانه‌های ستونی دارای حفره‌های گازی و ناخالصی‌های

- کمتری در مقایسه با قطعات ریختگی با ساختمان دانه‌های هم محور می‌باشد.
- ۴۵- قطعات ریختگی، ساختمان کریستال‌های ستونی در جهت رشد کریستال‌ها دارای خواص مکانیکی بهتری نسبت به جهات دیگر می‌باشد.
- ۴۶- خواص مکانیکی در قطعات ریختگی با دانه‌های هم محور در تمام جهات قطعه تقریباً یکسان می‌باشد.
- ۴۷- قطعات ریختگی از جنس آلیاژهای با دامنه انجماد زیاد نسبت به آلیاژهای با دامنه انجماد کوتاه‌تر معایب انقباض و گازی بیشتری دارند.

## انتظارات آموزشی

هنگویان باید در پایان این فصل قادر باشند:

### الف) در سطح دانش

- ۱- حالات سه‌گانه ماده را بیان کند.
- ۲- شبکه کریستالی را تعریف کند.
- ۳- انواع شبکه کریستالی فلزات را نام ببرد.
- ۴- دانه و مرز دانه را تعریف کند.
- ۵- مشخصات فلزات خالص و آلیاژها را بیان کند.
- ۶- آلیاژهای محلول جامد را تعریف کند.
- ۷- ترکیبات بین فلزی را تعریف نماید.
- ۸- مراحل انقباض فلز مذاب در قالب را بیان کند.
- ۹- انجماد همه جانبه و جهت‌دار را تعریف کند.
- ۱۰- مناطق موجود در قطعه ریختگی را در حین انجماد بیان کند.
- ۱۱- مادون انجماد را تعریف کند.
- ۱۲- ساختار تشکیل بر اثر انجماد فلز مذاب در قالب را از سمت دیواره به طرف مرکز قالب نام ببرد.

۱۳- دیفوزیون (نفوذ) را تعریف کند.

### ب) در سطح درک و فهم مطالب

- ۱- ساختار جامد، مایع و گاز را توضیح دهد.
- ۲- نحوه قرار گرفتن اتم‌های فلز در شبکه‌های کریستالی را توضیح دهد.

- ۳- نحوه انجماد فلز ناخالص را توضیح دهد.
- ۴- رفتار آلیاژهای محلول جامد در هنگام انجماد را توضیح دهد.
- ۵- رفتار آلیاژهای یوتکتیک را در هنگام انجماد توضیح دهد.
- ۶- جدایش در ساختمان کریستالی فلزات را شرح دهد.
- ۷- انقباض حجمی در حین انجماد قطعات ریختگی توضیح دهد.
- ۸- انجماد همه جانبه را توضیح دهد.
- ۹- انجماد جهت دار را توضیح دهد.
- ۱۰- سرعت انجماد در قطعات ریختگی را شرح دهد.
- ۱۱- چگونگی انجماد فلز در گوشه‌ها را توضیح دهد.
- ۱۲- نحوه انجماد آلیاژها در قالب را شرح دهد.

### ج) در سطح کاربرد معلومات

- ۱- نحوه ایجاد ساختمان میکروسکوپی فلزات خالص را توضیح دهد.
- ۲- منحنی‌های سرد شدن و انجماد فلز مذاب را توضیح دهد.
- ۳- نمودارهای تعادلی آلیاژهای محلول جامد را شرح دهد.
- ۴- نمودار تعادلی آلیاژهای یوتکتیک را توضیح دهد.
- ۵- تأثیر سرعت انجماد در ساختار میکروسکوپی فلز را شرح دهد.
- ۶- علت ایجاد حفره‌های انقباضی در گوشه‌های قالب را توضیح دهد.
- ۷- تأثیر نوع قالب بر روی انجماد فلز مذاب را توضیح دهد.

### د) در سطح تجزیه و تحلیل

- ۱- ساختار جامد، مایع و گاز را با یکدیگر مقایسه نماید.
- ۲- شبکه‌های کریستالی فلزات را از لحاظ نحوه قرار گرفتن اتم و تراکم اتم‌ها در شبکه کریستالی را مقایسه نماید.
- ۳- نحوه انجماد فلز خالص در حالت تعادلی را نسبت به حالت غیرتعادلی در قالب ریخته‌گری مورد تجزیه و تحلیل قرار دهد.
- ۴- خواص فلزات و آلیاژها را با یکدیگر مقایسه نماید.
- ۵- تأثیر نحوه انجماد به صورت تعادلی و غیرتعادلی بر ساختار میکروسکوپی آلیاژ را مورد بررسی قرار دهد.
- ۶- نحوه ایجاد حفره‌های انقباضی را در حین انجماد توضیح دهد.

۷- تأثیر سرعت و نحوه انجماد بر روی میزان تشکیل حفره‌های انقباض را مورد تجزیه و تحلیل قرار دهد.

۸- نحوه انجماد آلیاژهای با دامنه انجماد کم را با آلیاژهای با دامنه انجماد زیاد مورد مقایسه و تجزیه و تحلیل قرار دهد.

### ه) در سطح ترکیب و نوآوری

۱- سرعت سرد شدن آلیاژ مذاب را در هنگام سردکردن مذاب تا هنگام کامل را بررسی نماید.

۲- ترکیب شیمیایی آلیاژ را در هر لحظه از انجماد با استفاده از نمودار تعادلی مشخص نماید.  
۳- میزان حفره‌های انقباضی که در حین انجماد یک آلیاژ ایجاد می‌شود، را با استفاده از دامنه انجماد آن آلیاژ پیشگویی کنند.

۴- نحوه جلوگیری از ایجاد حفره انقباض در قطعات ریختگی و به خصوص در گوشه‌ها و قسمت‌های ضخیم را توضیح دهد.

### و) در سطح ارزشیابی

۱- رفتار فلزات خالص و آلیاژها را در هنگام انجماد با یکدیگر مقایسه نماید.  
۲- نحوه انجماد آلیاژهای محلول و آلیاژهای یوتکتیک را با یکدیگر مقایسه کند.

زمان پیش‌بینی شده برای تدریس این فصل، ۷ جلسه ۱۰۰ دقیقه‌ای برای تدریس و ۱ جلسه ۱۰۰ دقیقه‌ای برای امتحان و بررسی سؤالات امتحانی است.

۱- حضور و غیاب

۲- پیش آزمون از جلسه‌های قبل (به صورت شفاهی، کتبی، پاسخ کوتاه، و غیره)

۳- یادآوری مطالب درس جلسات گذشته مرتبط با موضوع درس این جلسه

### موضوع: طبیعت و ساختمان فلزات

برای درک بهتر مفاهیم و آماده شدن ذهن هنرجویان ابتدا چندین سوال ساده، در ارتباط با موضوع درس

این جلسه به صورت پرسش و پاسخ مطرح گردد.

۱- مواد در طبیعت به چند حالت وجود دارند.

۲- نحوه قرار گرفتن اتم‌ها در حالت‌های جامد، مایع و گاز چگونه است.

۳- به نظر شما اتم‌ها در حالت جامد حرکت دارند؟ چگونه؟

۴- آیا نحوه قرار گرفتن اتم‌ها در فلزات منظم است؟

- پس از شنیدن جواب سؤالات ارائه شده توسط هنرجویان وارد موضوع بحث این جلسه شوید.

برای این که بتوان نحوه انجماد فلزات را مورد بررسی قرار داد، ابتدا باید آشنایی لازم در ارتباط با ساختار

اتمی در حالت‌های مایع و جامد فلزات به دست آورد و نحوه قرار گرفتن اتم‌ها در ساختمان فلزات جامد را مشخص

نمود. به این منظور در ابتدا به طبیعت و ساختمان فلزات پرداخته می‌شود.

### ۱-۳- طبیعت و ساختمان فلزات

برای آشنایی و فهم بهتر ساختمان فلزات، ابتدا بهتر است ساختار حالت‌های مختلف مواد را که شامل جامد،

مایع و گاز می‌باشد، بررسی نمود. بهترین مثال برای این مورد آب می‌باشد که در دماهای مختلف سه حالت جامد،

مایع و گاز را از خود نشان می‌دهد. به طوری که در دمای زیر صفر به صورت جامد یا یخ، در دمای بین صفر و صد

درجه سانتی‌گراد به صورت مایع یا آب و در دمای بالاتر از صد درجه سلسیوس به صورت گاز یا بخار می‌باشد.

یخ از لحاظ ظاهری دارای شکل و حجم مشخصی می‌باشد و استحکام (مقاومت در برابر نیرو) کمی دارد. اما

آب که به صورت مایع می‌باشد. شکل مشخصی از خود ندارد و معمولاً شکل ظرفی که در آن قرار دارد را به خود

می‌گیرد. هم‌چنین آب دارای حجم معینی است و استحکام آن نسبت به یخ پایین‌تر است. بخار آب که به شکل

گاز می‌باشد، شکل و حجم مشخصی ندارد. این رویه برای مواد دیگر نیز صادق می‌باشد.

به طور کلی، مواد به سه حالت جامد، مایع و گاز در طبیعت وجود دارند. مواد جامد دارای شکل و حجم مشخص می باشد. مواد مایع دارای حجم مشخصی می باشند اما شکل مشخصی ندارند. مواد گازی نه حجم مشخصی دارند و نه شکل مشخصی. علت این وضعیت مواد به ساختمان داخلی آن‌ها ارتباط می یابد؛ در حقیقت به نحوه قرار گرفتن اتم‌ها نسبت به یکدیگر در هر حالت ماده بستگی دارد.

مواد گازی دارای ساختمان داخلی نامنظم می باشند. به عبارت دیگر؛ در ساختمان اتمی مواد گازی، اتم‌ها جای مشخصی ندارند و به طور دائم در حال حرکت و فاصله گرفتن از یکدیگر می باشند که علت آن، نیروی جاذبه بسیار کم بین اتم‌های گاز می باشند. بنابراین اتم‌ها می توانند آزادانه به هر جهتی که بخواهند حرکت می کنند. با توجه به این پدیده اگر گازها تحت فشار قرار گیرند فاصله بین اتم‌های آن‌ها کاهش یافته و متراکم می شوند و در نتیجه شکل ظرف را می گیرند.

در ساختمان داخلی مایعات، فاصله بین اتم‌های مایع از گاز بسیار کمتر است. بنابراین هنگامی که مایع تحت فشار قرار می گیرد به دلیل فاصله کم بین اتم‌های آن متراکم نمی شود. با توجه به فاصله کم اتم‌ها در مایعات نیروی جاذبه بین اتم‌ها نسبت به گازها بیشتر است. در نتیجه، اتم‌ها و مولکول‌های مایعات در حین حرکت فاصله خود را حفظ نموده و همچنان شکل ظرف را به خود می گیرند. اما در جامدات، فاصله بین اتم‌ها مانند مایعات کم می باشد، ولی نیروی جاذبه بین اتم‌ها به قدری زیاد می باشد که اتم‌های جامد مانند اتم‌های مایع نمی توانند آزادانه حرکت کنند و معمولاً در فواصل مشخص و معینی قرار می گیرند. بنابراین جامدات علاوه بر حجم مشخصی، دارای شکل مشخصی می باشند.

بنابراین می توان این گونه تعریف کرد که گازها شکلی از ماده هستند که در آن‌ها اتم‌ها با فواصل زیاد نسبت به یکدیگر قرار گرفته و نیروی جاذبه بسیاری کمی بین آن‌ها وجود دارد در نتیجه دارای شکل و حجم مشخصی نمی باشند و می توان به سادگی شکل و حجم آن‌ها را تغییر داد. مایعات شکلی از ماده هستند که نیروی بین اتم‌های آن نسبت به گازها بیشتر بوده، اما فاصله بین اتم‌ها بسیار کمتر می باشد. بنابراین، مایعات دارای حجم معینی بوده اما شکل مشخصی از خود ندارند. در نتیجه نمی توان آن‌ها را متراکم نمود و حجم آن‌ها را به سادگی تغییر داد. شکلی از ماده که فاصله بین اتم‌ها در آن بسیار کم می باشد و نیروی جاذبه بسیار قوی بین اتم‌های آن وجود دارد. جامد می باشد که با توجه به فاصله کم و جاذبه بین اتم‌های آن جامدات دارای شکل و حجم معینی می باشند. بنابراین نمی توان آن‌ها را متراکم نمود و شکل و حجم آن‌ها را به سادگی تغییر داد.

به عنوان مثال، می توان حالات مختلف یخ، آب و بخار آب را در نظر گرفت که با تغییر عواملی مانند دما و فشار خارجی می توان تغییراتی در حرکت اتم‌ها و مولکول‌ها ایجاد کرد و سبب تغییر حالت در آن‌ها شد. به طور نمونه، با کاهش دما و افزایش فشار می توان گاز را به مایع تبدیل نمود؛ در حقیقت با افزایش فشار، فاصله بین اتم‌های گاز کاهش می یابد و با کاهش دما، حرکت اتم‌ها محدود می شود، در نتیجه نیروی جاذبه بین اتم‌ها افزایش



می‌یابد و حالت ماده از گاز به مایع تغییر می‌کند. اما از بین عوامل دما و فشار، دما اهمیت بیشتری دارد؛ زیرا می‌توان فقط با کاهش دما و بدون تغییر فشار، گاز را به مایع تبدیل کرد. به عنوان مثال، در مورد بخار آب می‌توان با کاهش جزئی دما، بخار آب را به مایع تبدیل کرد اما اگر بخواهیم با افزایش فشار بخار آب را تبدیل به آب نماییم بدون تغییر دما به فشار زیادی نیاز می‌باشد و برای این منظور، تجهیزات خاصی باید در نظر گرفته شود؛ اما با تغییر دما بدون نیاز به تجهیزات خاصی می‌توان بخار آب را به آب تبدیل نمود.

با کاهش دما، می‌توان مایع را به جامد تبدیل کرد؛ به‌طور مثال با کاهش دما و رساندن دما به زیر صفر درجه سلسیوس می‌توان آب را به یخ (جامد) تبدیل نمود؛ اما اگر بخواهیم آب را با افزایش فشار به یخ تبدیل نماییم نیاز به فشارهای بسیار زیادی می‌باشد که از نظر عملی با مشکلات بسیار زیادی همراه است بنابراین عامل دما نسبت به فشار از اهمیت و حساسیت بیشتری برخوردار است.

با توجه به مطالب گفته شده، هر اتم در ماده جامد دارای موقعیت مشخص و معینی نسبت به اتم‌های دیگر می‌باشد. بنابراین اتم‌ها در جامد به‌طور منظم در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند. به این نوع نحوه قرار گرفتن اتم‌ها در مواد جامد شبکه کریستالی گفته می‌شود. معمولاً اتم‌ها در فلزات به‌طور منظم در موقعیت‌های مشخص و معینی نسبت به یکدیگر قرار می‌گیرند. بنابراین فلزات دارای ساختار کریستالی می‌باشند. اما در بسیاری از غیرفلزات، اتم‌ها در حالت جامد نظم و ترتیب مشخصی نداشته و در موقعیت‌های مشخص و معین نسبت به اتم‌های دیگر قرار نگرفته‌اند. این نوع مواد جامد ساختار کریستالی ندارند و به اصطلاح به آن‌ها مواد آمورف یا بی‌شکل گفته می‌شود. شیشه‌ها و پلاستیک‌ها، مثال‌هایی از مواد آمورف می‌باشند.

برای تشخیص ماده آمورف از کریستالی، باید ساختمان اتمی ماده را مورد مطالعه قرار داد. مطالعه ساختمان اتمی مواد با استفاده از میکروسکوپ‌های با بزرگنمایی بسیار بالا؛ مانند میکروسکوپ‌های الکترونی، امکان‌پذیر است.

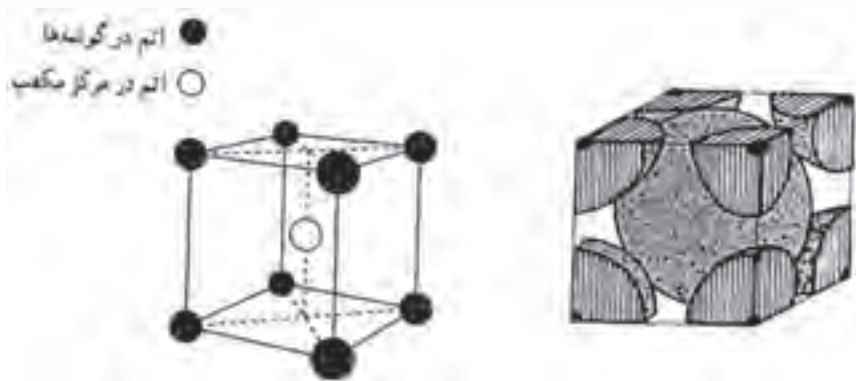
معمولاً اتم‌ها در ساختار کریستالی در محل‌های مشخصی نسبت به اتم‌های دیگر قرار گرفته‌اند و نیروی جاذبه زیادی بین آن‌ها وجود دارد. اما اتم‌ها در ساختار کریستالی فلز ثابت نمی‌باشند و دارای حرکت ارتعاشی زیادی هستند این ارتعاشات حول یک نقطه معین و ثابت انجام می‌شود. گرچه اتم‌های فلز در محل‌های خود دارای ارتعاش می‌باشد. اما در شرایط خاصی این اتم‌ها می‌توانند از یک فلز به فلز دیگر منتقل شوند. عواملی مانند دما و زمان مؤثر بر این شرایط هستند. به‌طوری که در دماهای بالا و زمان‌های طولانی امکان حرکت، اتم‌ها از یک فلز به فلز دیگر بیشتر خواهد بود. به‌طور کلی، به حرکت و انتقال اتم‌ها از یک فلز به فلز دیگر، دیفوزیون (نفوذ) گفته می‌شود.

برای نشان دادن پدیده نفوذ آزمایش‌های زیادی انجام شده است که به‌طور نمونه به یک مورد آن اشاره می‌شود. اگر دو قطعه فلزی غیرهم‌جنس مانند طلا و سرب را با گیره طوری به هم متصل کنیم که سطح اتصال

آن‌ها کاملاً تحت عملیات تمیزکاری قرار گرفته باشد و برای مدت زمان طولانی حدود چند سال در دمای محیط نگهداری کنیم و بعد از آن دو قطعه از هم جدا نماییم، با نمونه‌برداری از محل اتصال دو فلز و انجام آزمایش تجزیه شیمیایی روی آن، مشاهده خواهیم دید که اتم‌های هر فلز در فلز دیگری حرکت کرده و تا یک ضخامت مشخصی پیشروی نموده است. این مثال نشان‌دهنده حرکت اتم‌های یک فلز به سمت فلز دیگر است که مبین دیفوزیون (نفوذ) اتم‌های یک فلز می‌باشد.

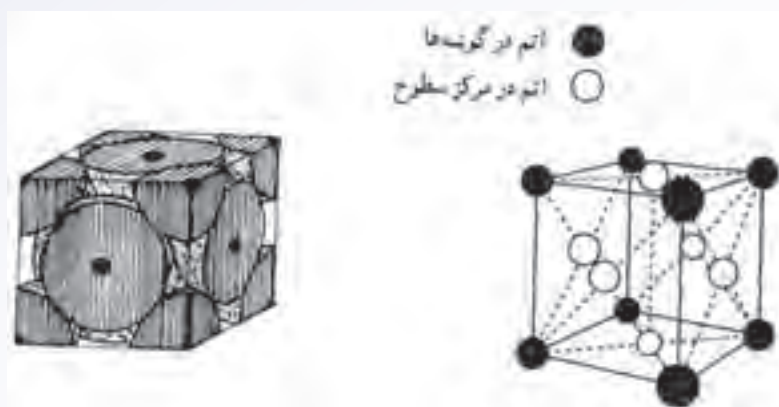
مولکول تمام فلزات موجود تک اتمی می‌باشد، به طوری که شبکه کریستالی فلزات از اتم‌های تکی فلزی تشکیل شده است، به عبارت دیگر، ساختار کریستالی فلزات از گردهم‌آیی اتم‌های تکی فلز به وجود آمده‌اند. اتم‌های مواد جامد می‌توانند در فضا و در جهت‌های  $X$ ،  $Y$  و  $Z$  انتقال یابند و یک ساختار سه‌بعدی ایجاد نمایند، طوری که این ساختمان (ساختار) متقارن باشد. به این ساختار، اصطلاحاً شبکه فضایی گفته می‌شود. البته این شبکه فضایی در فلزات و مواد کریستالی یکسان نمی‌باشد و معمولاً هر ماده شبکه مخصوصی به خود دارد. که از چهارده حالت خارج نمی‌باشد.

معمولاً در فلزات مورد استفاده سه نوع شبکه کریستالی وجود دارد. نوع اول، حالتی است که اتم‌ها طوری قرار می‌گیرند که یک مکعب را تشکیل دهند، به این صورت که چهار اتم در رئوس بالای مکعب و چهار اتم در رئوس پایین مکعب قرار می‌گیرند. همچنین در مرکز مکعب (محل تقاطع قطرهای مکعب) نیز یک اتم قرار می‌گیرد. البته این مکعب واحد شبکه فضایی یا شبکه کریستالی فلز بوده و در سه جهت در فضا ادامه یافته و شبکه کریستالی فلز را به وجود می‌آورند. این نوع شبکه کریستالی، سیستم مکعبی اتم در مرکز نامیده می‌شود و به صورت علامت اختصاری  $B.C.C^1$  نشان داده می‌شود که مخفف کلمه انگلیسی مکعب با اتم در مرکز می‌باشد. در شکل ۱-۳ الف واحد شبکه  $BCC$  به صورت شماتیک نشان داده شده است.



شکل ۱-۳- الف

فلزاتی که دارای این نوع شبکه کریستالی می‌باشند عبارتند از: آهن الف، کروم، وانادیم حالتی دوم نیز، اتم‌های فلز تشکیل شبکه فضایی (کریستالی) می‌دهند و مانند حالت اول، شبیه مکعب است؛ به طوری که هشت اتم فلز در گوشه‌های این مکعب قرار می‌گیرد. اما علاوه بر این هشت اتم، شش اتم دیگر به ترتیب در مرکز هر کدام از سطوح مکعب که شش عدد می‌باشند قرار می‌گیرد. به این نحوه چیده شدن اتم‌ها در واحد شبکه کریستالی، شبکه مکعبی با اتم در مرکز سطوح گفته می‌شود که با علامت اختصاری  $F.C.C$  نشان داده می‌شود،  $F.C.C$  مخفف کلمه انگلیسی مکعب با اتم در مرکز سطوح می‌باشد. شکل ۱-۳-ب شکل شماتیک قرار گرفتن اتم‌های فلز در واحد شبکه کریستالی  $F.C.C$  را نشان می‌دهد.

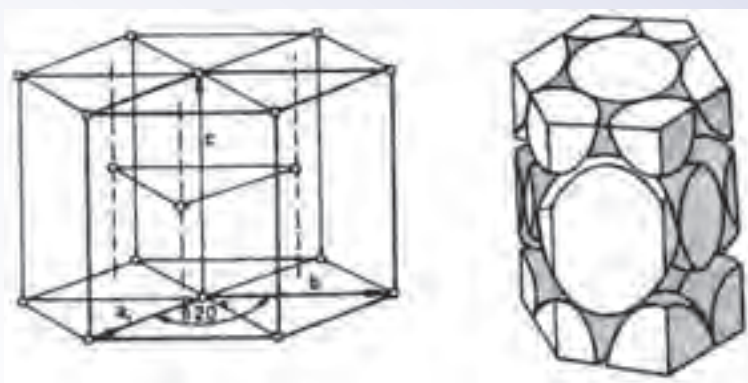


شکل ۱-۳-ب

همان طور که ملاحظه می‌شود تعداد اتم‌هایی که در واحد شبکه  $F.C.C$  وجود دارد، نسبت به تعداد اتم‌های موجود در واحد شبکه  $B.C.C$  بیشتر است. در نتیجه تراکم اتمی در واحد شبکه کریستالی  $F.C.C$  نسبت به واحد شبکه کریستالی  $B.C.C$  بیشتر است. فلزاتی که دارای شبکه  $F.C.C$  می‌باشند عبارتند از: آلومینیوم، مس، سرب، آهن گاما و غیره. سومین نوع قرار گرفتن اتم‌های فلزی در واحد شبکه کریستالی به صورت شش وجهی متراکم می‌باشد در این حالت، واحد شبکه (سلول واحد) به شکل هشت وجهی منتظم می‌باشد و شش اتم در رئوس سطح بالایی و شش اتم در رئوس سطح پایینی وجود دارد. البته در مرکز هر کدام از سطوح بالایی و پایینی یک اتم فلز وجود دارد. علاوه بر این‌ها، سه اتم نیز در داخل سلول واحد وجود دارد که مطابق شکل ۲-۳، این سه اتم در میانه سلول و در امتداد خطوط که از مراکز مثلث‌های موجود در سطوح بالایی و پایینی به صورت یک در میان می‌گذرند قرار دارند. به این نوع شبکه فضایی فلز، سیستم بلوری شش وجهی متراکم گفته می‌شود که با علامت اختصاری  $H.C.P$  که مخفف کلمه انگلیسی شش وجهی متراکم می‌باشد، نشان داده می‌شود.

۱- Face Centered cubic

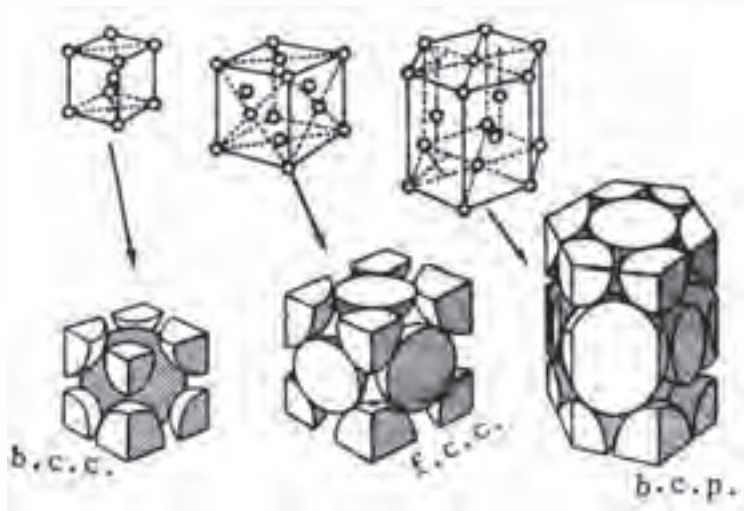
۲- Closed Packed Hexagonal



شکل ۲-۳- سلول واحد شبکه H.C.P

البته این هشت وجهی منظم واحد شبکه کریستالی H.C.P می باشد که در سه جهت  $x, y, z$  در فضا تکرار شده و شبکه کریستالی H.C.P را به وجود می آورد. که به اصطلاح به آن سلول واحد گفته می شود. در مورد شبکه های کریستالی B.C.C و F.C.C نیز واحد شبکه کریستالی به شکل مکعب بوده که به آنها نیز سلول واحد گفته می شود. در شکل ۳-۳ به طور شماتیک سلول واحد شبکه های کریستالی B.C.C، F.C.C و H.C.P که در اکثر فلزات دیده می شود، نشان داده شده است. ذکر این نکته لازم است که شبکه کریستالی هر کدام از تکرار سلول واحد در فضا به وجود می آید.

در شکل ۳-۳ انواع سه گانه مهم شبکه های کریستالی به طور شماتیک نشان داده شده اند.



شکل ۳-۳- اشکال سه گانه شبکه های فضایی فلزات

همان طور که ذکر شد شبکه های مواد کریستالی بر حسب نحوه قرار گرفتن اتم ها، چهارده نوع می باشد که

به شبکه‌های چهارده‌گانه براوه معروف هستند و با توجه به این که معمولاً فلزات دارای یکی از شبکه‌های F.C.C، B.C.C، و H.C.P می‌باشند از ذکر بقیه شبکه‌ها خودداری می‌شود.

در جدول ۱-۳ تعدادی از فلزاتی را که پس از انجماد شبکه کریستالی آن‌ها F.C.C، B.C.C، و H.C.P یا به عبارت دیگر با این سه نوع شبکه متبلور می‌شوند، نشان داده شده است.

جدول ۱-۳- شبکه کریستالی بعضی عناصر

H.C.P	B.C.C	F.C.C
Be برلیوم	Fe(α) آهن آلفا	Al آلومینیوم
Ti تیتانیوم	W تنگستن	Cu مس
Zn روی	Na سدیم	Fe(γ) آهن گاما
Zr زیرکنیم	Cr کرم	Pt پلاتین
Cd کادمیم	Li لیتیم	Pb سرب
Co کبالت	Mo مولیبدن	Au طلا
Mg منیزیم	Nb نئوبیم	Ni نیکل
	V وانادیم	Ag نقره
		Pd پالادیم

### در پایان جلسه:

- جمع بندی مطالب این جلسه توسط هنرآموز
- تکالیف برای منزل هنرجویان: مطالعه متن درس و آمادگی برای آزمون جلسه آینده.

۱- حضور و غیاب هنرجویان

۲- پیش‌آزمون (تشریحی، شفاهی، تستی و ...) از مطالب جلسه قبل

۳- یادآوری مطالب از جلسه قبل

### موضوع:

– رفتار فلزات خالص در هنگام انجماد،

– مشخصات آلیاژها و رفتار آنها در هنگام انجماد

برای درک بهتر مفاهیم بهتر است ابتدا چند سوال در رابطه با موضوع درس از هنرجویان پرسیده شود و ضمن تعامل و آماده‌سازی ذهنی هنرجویان بحث شروع شود.

۱- اگر فلز خالص به صورت مذاب درون قالب ریخته شود، انجماد از کدام قسمت قالب شروع می‌شود.

۲- انجماد فلز خالص با آلیاژ چه تفاوتی دارد.

۳- آیا سرعت انجماد در قالب برابر با سرعت انجماد تعادلی (بسیار آهسته) است.

۴- به نظر شما عناصر آلیاژی را به چه منظور به فلزات خالص اضافه می‌کنند.

### ۲-۳- رفتار فلزات خالص در هنگام انجماد

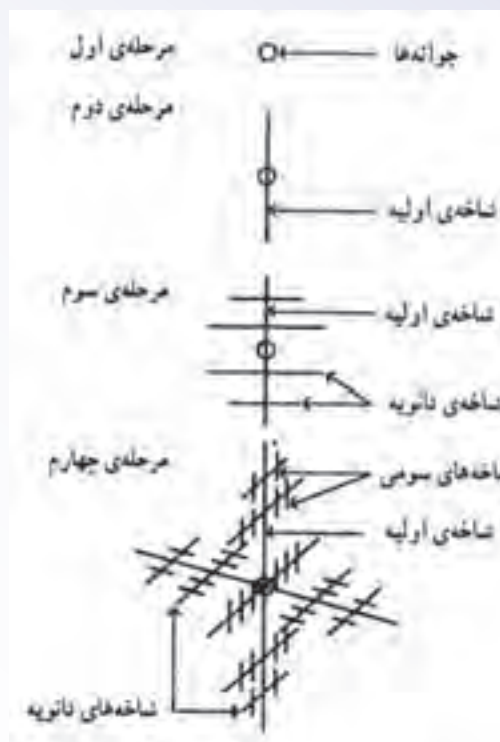
همان‌طور که قبلاً ذکر شد فلزات خالص مذاب در یک دمای معین منجمد می‌شوند و در حین انجماد، دمای آنها ثابت باقی می‌ماند برای درک بهتر این پدیده، می‌توان آب را مثال زد. آب در صفر درجه سلسیوس منجمد شده و به یخ تبدیل می‌شود. در حین انجماد آب، دمای آن (صفر درجه سلسیوس) ثابت می‌ماند تا آخرین قطره آب نیز منجمد شده و به یخ تبدیل شود.

هنگامی که فلز مذاب خالص درون قالب ریخته می‌شود، گرمای مذاب از طریق دیواره‌های قالب به بیرون انتقال می‌یابد. چون مذاب توسط دیواره‌های قالب محصور شده، مناسب‌ترین راه انتقال گرمای آن از طریق دیواره قالب می‌باشد. در بعضی از قالب‌ها، ممکن است سطح مذاب با هوا ارتباط داشته باشد که در آن صورت، انتقال

گرمای مذاب می‌تواند علاوه بر دیواره از طریق هوای اطراف سطح مذاب خارج شود. با توجه به این مطالب هرچه گرمای مذاب با سهولت بیشتری از دیواره‌های قالب خارج شود، دمای مذاب سریعتر کاهش یافته و مذاب سریعتر سرد می‌شود. از طرف دیگر، هرچه سطح تماس مذاب با هوا بیشتر باشد، به دلیل پایین بودن دمای هوای اطراف مذاب از مذاب سریعتر سرد می‌شود و دمای آن کاهش می‌یابد. ذکر این نکته لازم است که دیواره قالب و هوای اطراف سطح مذاب دمای پایین‌تری نسبت به مذاب دارند به همین دلیل دیواره قالب و هوای اطراف سطح مذاب سردتر از مذاب بوده و گرما می‌تواند از مذاب به دیواره قالب و هوای در تماس با مذاب انتقال یابد. پس نقاطی از مذاب که در تماس با دیواره قالب و هوای اطراف مذاب می‌باشند سریعتر از قسمت‌های دیگر قالب سرد شده و منجمد می‌گردد.

هنگامی که دمای مذاب کاهش می‌یابد، حرکت اتم‌های مذاب کاهش یافته و در نتیجه نیروهای دافعه بین اتم‌های فلز کاهش می‌یابد. هم‌چنین حرکات ارتعاش اتم‌ها نیز کاهش می‌یابد. علت این پدیده کاهش انرژی درونی مذاب در اثر سرد شدن می‌باشد. با کاهش حرکت اتم‌ها و نیروی دافعه بین آن‌ها اتم‌ها به یکدیگر نزدیک می‌شوند. با ادامه سرد شدن مذاب اتم‌ها در مواضعی از مذاب تجمع کرده و ساختاری شبیه به حالت جامد فلز در ابعاد بسیار کوچک ایجاد می‌کند. با ادامه سرد شدن، اتم‌های بیشتری به این تجمع اضافه می‌شود؛ به طوری که در نهایت اولین کریستال‌های جامد در مذاب تشکیل می‌شوند. با ادامه سرد شدن مذاب، اتم‌های بیشتری به سمت کریستال‌های جامد اولیه حرکت می‌کنند و با پیوستن به هم، سبب رشد آن‌ها می‌شود. با توجه به این که این ذرات جامد در داخل مذاب قرار دارند، با کاهش دما به آسانی می‌توانند در تمام جهات رشد نمایند.

شکل ۳-۴ نحوه رشد کریستال‌های جامد اولیه در مذاب را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود در مرحله اول جوانه‌های جامد، با کاهش دمای مذاب به وجود می‌آیند و با ادامه یافتن کاهش دما، این جوانه‌ها در جهت‌هایی که انتقال گرما بهتر صورت می‌گیرد، رشد می‌کنند، مانند مرحله دوم که جوانه در دو جهت، رشد نموده و شاخه‌های اولیه را ایجاد کرده است، با ادامه انجماد، شاخه‌های دیگری بر روی شاخه اولیه به وجود آمده و رشد کرده‌اند که به آن‌ها شاخه‌های ثانویه می‌گویند و معمولاً در جهت‌هایی رشد می‌کنند که انتقال گرما بهتر صورت گیرد، مانند مرحله سوم. در ادام، روی شاخه‌های ثانویه نیز شاخه‌های دیگری به وجود آمده و رشد کرده‌اند که شاخه‌های سومی نامیده می‌شود، مانند مرحله چهارم. علت به وجود آمدن این شاخه‌ها، جهت‌هایی است که در مذاب انتقال گرما بهتر و راحت‌تر صورت می‌گیرد. بنابراین در آن جهت‌ها، کریستال‌های جامد بهتر رشد می‌کنند. رشد شاخه‌ای کریستال‌های جامد در مذاب را رشد دندریتی می‌گویند.



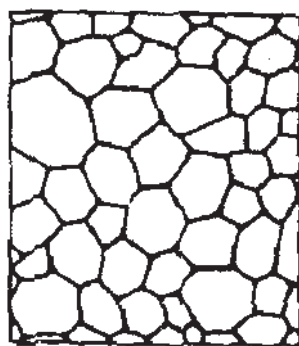
شکل ۳-۴- نمای رشد دندریتی در مذاب

با توجه به این که در هنگام انجماد مذاب، امکان تشکیل کریستال‌های جامد اولیه که به اصطلاح جوانه گفته می‌شوند، در تمام قسمت‌های مذاب وجود دارد، بنابراین تعداد قابل توجهی جوانه در شروع انجماد در قسمت‌های مختلف مذاب تشکیل می‌شود که با ادامه سرد شدن مذاب و پیوستن اتم‌ها به جوانه‌ها، این جوانه‌ها رشد کرده و بزرگ می‌شوند. بزرگ شدن این جوانه‌ها تا حدی ادامه می‌یابد که آن‌ها به هم برسند و انجماد خاتمه یابد. طوری که اگر سطح پولیش شده‌ای از این فلز جامد را در زیر میکروسکوپ مشاهده نماییم، تعداد زیادی کریستال‌های جامد دیده می‌شود که با یکدیگر برخورد کرده و مرز تشکیل داده‌اند، این کریستال‌ها به اصطلاح دانه و مرز بین آن‌ها که در اثر برخورد دانه‌ها با یکدیگر در اثر رشد آن‌ها به وجود می‌آید مرز دانه نامیده می‌شود. به عبارت دیگر، در حین انجماد تعداد زیادی دانه، جوانه زده و رشد می‌کنند و رشد آن‌ها تا حدی ادامه پیدا می‌کند که دانه‌ها به هم برسند و انجماد خاتمه یابد. به طور کلی می‌توان گفت هرچه تعداد جوانه‌هایی که در مذاب تشکیل می‌شود بیشتر باشد، تعداد دانه‌ها پس از رشد جوانه‌ها بیشتر خواهد بود. بنابراین با توجه به تعداد زیاد دانه‌ها، رشد آن‌ها محدود شده و دانه‌ها ریز خواهند شد و با توجه به تعداد زیاد دانه‌ها و محل‌های برخورد آن‌ها با یکدیگر مقدار مرز دانه‌ها نیز افزایش می‌یابد. از طرف دیگر، اگر تعداد جوانه‌های تشکیل شده در شروع انجماد کمتر باشد مقدار رشد دانه‌ها بیشتر خواهد شد تا زمانی که به یکدیگر برسند. در نتیجه دانه‌ها درشت خواهند شد و مقدار مرز دانه‌ها کم



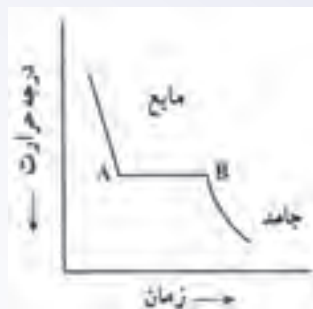
می شود.

هر کدام از ساختارهای میکروسکوپی دانه ریز و دانه درشت، با توجه به اندازه دانه‌ها و مقدار مرزدانه‌ها خواص مکانیکی متفاوتی خواهند داشت ساختمان میکروسکوپی فلزاتی که از دانه‌های ریز تشکیل شده، در دمای محیط بهترین خواص مکانیکی را دارند. بنابراین برای قطعاتی مانند قطعات اتومبیل، تراکتور که در دمای محیط استفاده می‌شوند، بهتر است. چون تعداد مرزدانه‌ها در آن‌ها زیاد خواهد بود و در مقابل، نیروهای وارد شده به آن‌ها مقاومت بهتری را از خود نشان می‌دهند. اما در مورد قطعاتی که در دماهای بالا استفاده می‌شوند مانند پره‌های توربین یا قطعات مختلف کوره، بهتر است ساختمان میکروسکوپی از دانه‌های درشت تشکیل شده باشد؛ زیرا در این ساختار تعداد مرزدانه‌ها کمتر است و در دماهای بالا هرچه تعداد مرزدانه‌ها بیشتر باشد مقاومت قطعه یا فلز در برابر نیروهای خارجی کاهش می‌یابد.



شکل ۳-۵- سطح مقطع میکروسکوپی با دانه‌های ریز و درشت

برای بررسی نحوه انجماد فلزات، معمولاً از منحنی‌های سرد شدن مذاب استفاده می‌شود. انجماد فلز فرایندی است که به کاهش دما و گذشت زمان نیاز دارد. بنابراین می‌توان گفت انجماد فلز تابعی از دما و زمان می‌باشد. به همین منظور برای درک بهتر نحوه انجماد فلز از نمودارهای دما بر حسب زمان استفاده می‌شود. یعنی دمای مذاب فلز را در هنگام سرد شدن بر حسب مقدار زمان از شروع سرد شدن مذاب رسم می‌کنند. در مورد فلزات خالص، نمودار دما بر حسب زمان به صورت شکل ۳-۶ الف می‌باشد و با توجه به این که در فلزات خالص دما در حین انجماد (تبدیل از حالت مایع به جامد) ثابت می‌باشد، در نمودار پاره‌خطی به موازات محور زمان دیده می‌شود که با AB مشخص شده است. این پاره‌خط نشان دهنده شروع و خاتمه انجماد در فلز خالص می‌باشد که در دمای ثابتی صورت گرفته است. به‌طور کلی در این نمودار با گذشت زمان، دمای مذاب کاهش یافته تا به نقطه انجماد (A) رسیده و پس از اتمام انجماد در دمای ثابت، یا ادامه سرد کردن دمای جامد از دمای انجماد (B) کمتر می‌شود تا به دمای محیط برسد.



شکل ۳-۶ الف

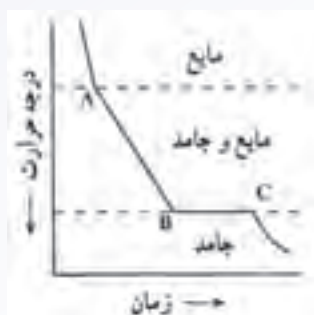
نمودار انجماد آلیاژهایی که عناصر تشکیل دهنده آن‌ها کاملاً در یکدیگر حل می‌شوند مانند شکل ۳-۶ ب می‌باشد. در ابتدا، با سرد کردن مذاب تا دمای شروع انجماد (نقطه A)، دمای مذاب با سرعت نسبتاً زیادی، کاهش می‌یابد که در نمودار، پاره‌خط ابتدایی دارای شیب زیادی می‌باشد. پس از آن با ادامه سرد شدن، مذاب آلیاژ شروع به انجماد می‌کند و در نقطه B انجماد خاتمه می‌یابد. با توجه به نمودار دمای نقاط A (شروع انجماد) با B (خاتمه انجماد) یکسان نیست و شیب پاره‌خط AB نسبت به شیب پاره‌خط ابتدایی نمودار کم‌تر است که نشان دهنده ثابت نبودن دما در حین انجماد (تبدیل مایع به جامد) در آلیاژ می‌باشند. چون تبدیل جامد به مایع در حال انجام شدن است سرعت سرد شدن مخلوط مذاب و جامد کاهش می‌یابد. بنابراین شیب پاره‌خط AB از پاره‌خط ابتدایی که مربوط به سرد شدن مذاب است کمتر خواهد بود. با ادامه سرد کردن از نقطه B، دمای جامد با سرعت بیشتری نسبت به هنگام انجماد کاهش می‌یابد، که شیب پاره‌خط انتهایی از شیب پاره‌خط AB بیشتر می‌باشد.



شکل ۳-۶ ب

در حالتی که عناصر تشکیل دهنده آلیاژ به‌طور کامل در یکدیگر محلول نباشند، یعنی حلالیت عنصر آلیاژی در فلز اصلی محدود باشد، نمودار سرد شدن انجماد مذاب به شکل ۳-۶ ج می‌باشد. با توجه به نمودار، با سرد کردن مذاب تا دمای شروع انجماد، دمای مذاب با سرعت نسبتاً زیادی کاهش می‌یابد، که در نمودار، شیب پاره‌خط قبل از نقطه A نسبتاً زیاد است در نقطه A انجماد آلیاژ شروع شده و تا نقطه B انجماد آلیاژ محلول خاتمه

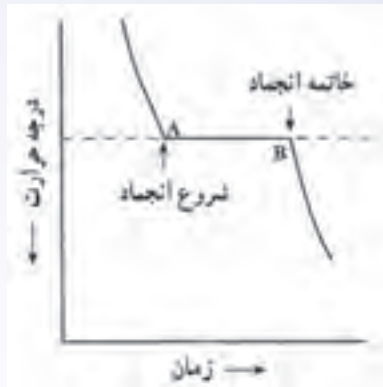
می‌یابد این مرحله سرعت سرد شدن با توجه به تبدیل حالت مایع به جامد و وجود مخلوط جامد و مایع (حالت خمیری) کاهش یافته است و شیب پاره‌خط AB در نمودار کمتر از شیب پاره‌خط قبل از نقطه A نشان داده شده است. در نقطه B انجماد آلیاژ محلول خاتمه می‌یابد؛ اما چون حلالیت عنصر آلیاژی در فلز اصلی محدود می‌باشد، باقیمانده مذاب از جنس یکی از فلزات تشکیل دهنده آلیاژ می‌باشد که به صورت خالص است. بنابراین انجماد آن در دمای ثابت صورت می‌گیرد که در نمودار به صورت پاره‌خط BC نشان داده شده است و موازی با محور زمان می‌باشد در نتیجه، دمای پاره‌خط BC ثابت است. در نقطه C انجماد خاتمه می‌یابد و با ادامه سرد کردن، دمای جامد با سرعت بیشتری نسبت به زمان انجماد تا دمای محیط کاهش می‌یابد.



شکل ۳-۶ ج

فلزات خالص نسبت به آلیاژها دارای خواص ویژه‌ای می‌باشند. مثلاً قابلیت هدایت حرارتی و الکتریکی آن‌ها نسبت به آلیاژها بیشتر است، نقطه ذوب آن‌ها بالاتر است، قابلیت انعطاف‌پذیری آن‌ها نسبت به آلیاژها بیشتر است. اما مقاومت در برابر نیروهای خارجی یا به عبارت دیگر تنش تسلیم و تنش نهایی آن‌ها کمتر است. در مواردی نیز دارای مقاومت در برابر خوردگی بهتری نسبت به آلیاژ می‌باشد، به همین منظور گاهی از فلزات خالص در صنعت استفاده می‌شود؛ مانند انتقال جریان الکتریسیته که برای این منظور از مس خالص استفاده می‌شود. بنابراین رفتار فلز خالص در حین ریخته‌گری و انجماد برای تولید قطعات با کیفیت بالا مهم است.

با توجه به مطالب ذکر شده معمولاً در فلز خالص، نقطه ذوب و انجماد یکی می‌باشد. چون در حین ذوب و یا انجماد فلز مذاب، دما ثابت باقی می‌ماند. اگر مذاب فلز خالص در قالب ریخته شود و سرعت سرد شدن مذاب بسیار آهسته و تقریباً ثابت باشد (سرد شدن تعادلی) مذاب گرمای خود را با سرعت تقریباً ثابتی به قالب منتقل می‌کند تا به دمای انجماد برسد (مطابق نقطه A در نمودار شکل ۳-۷ الف). به محض رسیدن دمای مذاب به نقطه A، انجماد مذاب شروع شده و دمای آن تا پایان انجماد (نقطه B) ثابت باقی می‌ماند، در نمودار شکل ۳-۷ الف به صورت پاره‌خط AB نشان داده شده است. در زمان بین شروع (نقطه A) و پایان انجماد (نقطه B) مراحل تشکیل جوانه، رشد جوانه (دندریت‌ها) و جامد شدن کامل مذاب انجام می‌شود. پس از پایان انجماد از نقطه B، دمای جامد ایجاد شده کاهش می‌یابد.



شکل ۷-۳-الف

معمولاً سرعت سرد شدن مذاب در قالب بسیار آهسته و ثابت نمی‌باشد؛ سرعت آن اختلاف دمای مذاب و قالب، که معمولاً برابر درجه حرارت محیط است، می‌باشد. بنابراین هنگامی که مذاب فلز خالص به داخل قالب ریخته می‌شود، دمای آن به سرعت کاهش یافته و دمای مذاب حتی از دمای انجماد نیز پایین‌تر خواهد رفت. این دما در نمودار شکل ۷-۳ ب به صورت  $T_1$  نمایش داده شده است. در این حالت هنوز مذاب منجمد نشده است و پیدایش جامدهای اولیه در مذاب به تأخیر افتاده است و جوانه‌ها به جای این که در دمای انجماد (نقطه A) به وجود آیند در دمایی پایین‌تر از نقطه انجماد ( $T_1$ ) تشکیل می‌گردند. اختلاف دمای بین  $T_1$  و دمای انجماد تعادلی (A) را مادون انجماد می‌نامند و با  $\Delta T$  نمایش می‌دهند در حقیقت در دمای  $T_1$  ناگهان، جوانه‌ها یا کریستال‌های جامد اولیه تشکیل شده و تعداد آن‌ها با سرعت زیادی افزایش می‌یابد. همچنین هنگامی که مذاب به جامد تبدیل می‌شود. گرمای نهان انجماد آن آزاد می‌شود، با تشکیل این جوانه‌ها گرمای نهان انجماد آن‌ها آزاد شده و دما افزایش می‌یابد تا به دمای انجماد تعادلی (دمای نقطه A) برسد. پس از آن، انجماد ادامه یافته تا در نقطه B خاتمه یابد و از نقطه B به بعد دمای جامد با سرعت زیاد کاهش می‌یابد.



شکل ۷-۳-ب

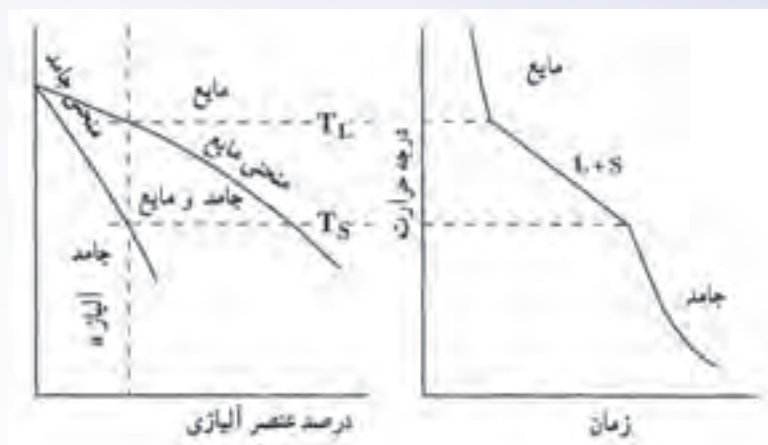
معمولاً انجماد آلیاژها به دلیل پایین بودن دمای قالب از دمای مذاب، تحت مادون انجماد انجام می‌شود. خواص و مشخصات فیزیکی - مکانیکی قطعات ریختگی تحت تأثیر مادون انجماد تغییر می‌کند؛ به عبارت دیگر با افزایش سرعت سرد کردن ساختمان میکروسکوپی فلز تغییر کرده و خواص مکانیکی قطعه یا فلز تغییر می‌کند. مثلاً افزایش سرعت سرد کردن مذاب، سبب به وجود آمدن ساختمان میکروسکوپی با دانه‌های ریز می‌شود که خواص مکانیکی بسیار خوبی در دمای محیط دارد.

### ۳-۳- مشخصات آلیاژها و رفتار آنها در هنگام انجماد

فلزات خالص در صنعت کاربرد زیادی دارند، اما برای بهبود خواص، مشخصات و ایجاد تغییرات مناسب در آنها، عناصر آلیاژی را به فلزات خالص اضافه می‌کنند و از آلیاژهای آنها در صنعت استفاده می‌کنند. به طور کلی آلیاژها دارای مقاومت بهتری در برابر نیروهای خارجی نسبت به فلزات خالص می‌باشند؛ به عبارت دیگر آلیاژها استحکام بالاتری نسبت به فلزات خالص دارند. به عنوان مثال با اضافه نمودن کربن به عنوان عنصر آلیاژی در آهن خالص می‌توان استحکام آهن را تا چند برابر افزایش داد.

عناصر آلیاژی برای اهداف مختلفی به فلزات خالص اضافه می‌شوند، که عبارتند از: افزایش استحکام فلزات در درجه حرارت‌های بالا، بهبود قابلیت ماشین کاری فلز، افزایش مقاومت در برابر خوردگی و غیره.

معمولاً اضافه نمودن عناصر آلیاژی به فلز خالص، سبب کاهش نقطه ذوب فلز می‌شود. همچنین رفتار فلز را در هنگام انجماد تغییر می‌دهد. به همین منظور گاهی عناصر آلیاژی را به خاطر اصلاح و بهبود خواص ریخته‌گری، فلز خالص به آن اضافه می‌کنند. چون ممکن است نقطه ذوب فلز خالص بالا باشد و مذاب فلز خالص دارای سیالیت مناسبی نباشد که با اضافه نمودن عناصر آلیاژی می‌توان نقطه ذوب فلز خالص را کاهش داد و سیالیت مذاب را بهبود بخشید. عناصر آلیاژی سبب می‌شوند که انجماد فلز به جای این که در یک دمای ثابت انجام شود، در یک فاصله دمایی صورت گیرد. همچنین، ذوب در یک فاصله دمایی یا گستره دمایی انجام می‌شود. به این ترتیب، برای هر آلیاژ معین دمایی وجود دارد که بالاتر از آن، آلیاژ کاملاً به صورت مذاب می‌باشد. به این دما، درجه حرارت لیکوئیدوس گفته می‌شود. همچنین دمای دیگری وجود دارد که پایین‌تر از آن، آلیاژ به صورت جامد است. به این دما، دمای سالیدوس می‌گویند. پس در بین این دو دما (دمای لیکوئیدوس و سالیدوس) آلیاژ نه به طور کامل مذاب بوده و نه جامد، بلکه به صورت مخلوطی از جامد و مذاب می‌باشد که به اصطلاح خمیری نامیده می‌شود. فاصله بین دمای لیکوئیدوس و سالیدوس را دامنه انجماد می‌گویند. و در این فاصله دمایی، مذاب به جامد تبدیل می‌شود. این پدیده در شکل ۳-۸ به صورت شماتیک نشان داده شده است.



شکل ۳-۸

در این شکل دو نمودار نشان داده شده است: نمودار سمت چپ، نمودار دما برحسب درصد عناصر آلیاژی می باشد که به نمودار تعادلی معروف است؛ زیرا این نمودار در حالت سرد کردن تعادلی آلیاژهای با درصدهای مختلف از دو فلز رسم شده است. در این نمودار، آلیاژی با ترکیب آلیاژ  $a$  در نظر گرفته شده است. اگر مذاب آلیاژ  $a$  در حال سرد شدن باشد، با کاهش دمای مذاب، در دمای  $T_L$  (دمای لیکوئیدوس) انجماد آلیاژ شروع شده و با ادامه سرد شدن در دمای  $T_S$  (دمای سالییدوس) انجماد تمام شده است.

در نمودار سمت راست شکل ۳-۸، منحنی دما برحسب زمان برای سرد شدن آلیاژ  $a$  رسم شده است. همان طور که ملاحظه می شود بالای دمای  $T_L$ ، آلیاژ کاملاً به صورت مذاب می باشد. بنابراین با سرد کردن مذاب دمای آن با سرعت نسبتاً زیادی کاهش می یابد. انجماد در دمای  $T_L$  شروع شده و با توجه به تشکیل جوانه های جامد، رشد و آزاد شدن گرمای نهان انجماد آن ها سرعت سرد شدن مذاب کاهش می یابد و در دمای  $T_S$  انجماد خاتمه می یابد. از دمای  $T_S$  با ادامه سرد کردن دمای جامد با سرعت بیشتری کاهش می یابد.

همان طور که مشاهده می شود، در فاصله بین  $T_L$  و  $T_S$  آلیاژ به صورت خمیری می باشد. البته ذکر این نکته لازم است که سرد کردن آلیاژ مذاب  $a$  به صورت تعادلی و با سرعت بسیار آهسته صورت گرفته است.

در صورتی که چند فلز در دما و فشار معین با یکدیگر مخلوط شوند و به صورت یکنواخت درآیند، یک سیستم آلیاژی را به وجود می آورند. به عنوان مثال، اگر طلا و نقره در یک بوتله قرار داده شوند، ذوب شوند و کاملاً به صورت یکنواخت درآیند، یک سیستم آلیاژی را به وجود آورده اند. آلیاژهایی که از دو عنصر تشکیل شده باشند مانند آلیاژ مس و نیکل، سیستم آلیاژی دوتایی و آلیاژهایی که از سه عنصر تشکیل شده باشند، مانند آلیاژ آلومینیوم، سیلیسیم و منیزیم، سیستم سه تایی نامیده می شود. همچنین آلیاژهایی که از چهار عنصر تشکیل شده باشند مانند آلیاژ آهن، کربن، کروم، نیکل، سیستم چهارتایی نامیده می شود.

### در پایان جلسه:

- جمع بندی مطالب این جلسه توسط هنرآموز
- تکالیف برای منزل هنرجویان: مطالعه متن درس و آمادگی برای آزمون جلسه آینده.

۱- حضور و غیاب هنرجویان

۲- پیش‌آزمون (کتبی، شفاهی، پاسخ کوتاه و ...) از مطالب جلسه قبل

۳- یادآوری مطالب از جلسه قبل

### موضوع: آلیاژهای محلول جامد

برای آمادگی هنرجویان با موضوع تدریس این جلسه، چند سؤال به صورت تعاملی مطرح شود.

۱- آیا فلزات در حالت مذاب در یکدیگر حل می‌شوند؟ در حالت جامد چه‌طور؟

۲- به نظر شما، رفتار یک آلیاژ دوتایی که در آن، دو فلز در حالت جامد و مایع کاملاً در یکدیگر حل می‌شوند،

در حین انجماد شبیه فلز خالص است یا خیر؟

۳- آیا می‌توان ساختمان میکروسکوپی آلیاژ را پس از انجماد پیش‌بینی کرد؟ خواص دیگر را چه‌طور؟

۱-۳-۳- آلیاژهای محلول جامد: اگر در یک ظرف آب، الکل بریزیم، الکل کاملاً در آب حل می‌شود به

عبارت دیگر مایع حاصله شبیه یک ماده واحد می‌باشند، به طوری که، تشخیص و جدا کردن آب و الکل از یکدیگر

به سادگی انجام‌پذیر نیست. در حقیقت مولکول‌های الکل به‌طور کاملاً یکنواخت بین مولکول‌های آب پخش می

شوند علت این امر، مشابه بودن مولکول‌های آب و الکل از نظر خواص فیزیکی و شیمیایی است. بعضی فلزات

نیز در حالت مذاب در یکدیگر به‌طور کامل حل می‌شوند؛ به طوری که، یک مذاب همگن به دست می‌آید. علت

این امر، یکسان بودن ساختار کریستالی دو فلز است. در بعضی از حالات، دو فلز در حالت جامد نیز کاملاً در

یکدیگر حل می‌شوند و محلول جامد تشکیل می‌دهند. طلا و نقره از جمله فلزاتی هستند که هم در حالت مذاب

و هم در حالت جامد در یکدیگر به‌طور کامل حل می‌شوند؛ به طوری که به صورت یک فلز یکنواخت و هموزن

درمی‌آیند. در حقیقت، اتم‌های طلا در شبکه کریستالی اتم‌های نقره به‌طور یکنواخت پخش می‌شود. لازمه این

انحلال، یکسان بودن شبکه کریستالی دو فلز، نزدیک بودن اندازه شعاع اتمی دو فلز، الکترونگاتیویته نزدیک به هم

و ظرفیت شیمیایی یکسان می‌باشد. طلا و نقره هر دو شبکه کریستالی یکسان (F.C.C) دارند، اندازه شعاع اتمی

آن‌ها نزدیک به هم است و هر دو دارای ظرفیت شیمیایی و الکترونگاتیویته یکسان می‌باشند. بنابراین، طلا و نقره

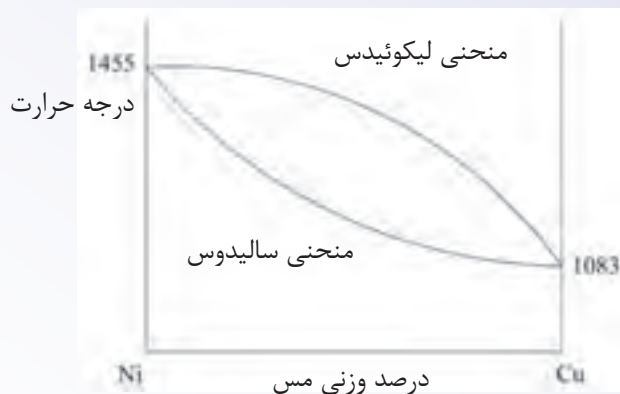
در هر دو حالت مایع و جامد کاملاً در یکدیگر محلول هستند. این چنین آلیاژهایی که هم در حالت مایع و هم در

حالت جامد به‌طور کامل در یکدیگر محلول هستند، آلیاژهای محلول جامد نامیده می‌شوند.



مثال دیگر از این نوع آلیاژها، آلیاژهای مسی و نیکل هستند که دارای شبکه کریستالی یکسان (F.C.C) می‌باشند. اختلاف بین شعاع اتمی آن‌ها ناچیز و الکترونگاتیویته و ظرفیت شیمیایی یکسان دارند. برای بررسی آلیاژ نیکل - مس، لازم است ابتدا نمودار تعادلی آلیاژ مطالعه شود. محور عمودی این نمودار، برحسب دما و محور افقی آن برحسب درصد عنصر آلیاژی می‌باشد. محور افقی به صورتی است که تمام آلیاژهای با درصد مختلف دو عنصر را در برمی‌گیرد. به طوری که هریک از محورهای عمودی، دمای مربوط به یک عنصر می‌باشد. مثلاً در نمودار تعادلی نیکل مس، روی محور عمودی سمت چپ نقطه ذوب نیکل و روی محور عمودی سمت راست، نقطه ذوب مس نشان داده شده است. البته ذکر این نکته لازم است که این نمودار در شرایط سرد کردن بسیار آهسته یا به عبارت دیگر، نزدیک به حالت سرد کردن تعادلی مذاب آلیاژهای مختلف دو فلز، رسم شده است. برای رسم نمودارهای تعادلی، آلیاژهای مختلف از دو فلز با درصدهای مختلف تهیه شده و پس از ذوب، با سرعت بسیار آهسته (تعادلی) سرد می‌شود در هنگام سرد شدن، دمای شروع و پایان انجماد را مشخص می‌نمایند. سپس نقاط شروع انجماد آلیاژهای مختلف دو عنصر را به یکدیگر وصل می‌کنند. همچنین نقاط پایان انجماد آلیاژهای مختلف دو عنصر را به یکدیگر متصل می‌نمایند تا نمودار تعادلی آلیاژ به دست آید. به عنوان مثال، در مورد نمودار تعادلی نیکل - مس ابتدا آلیاژهای مختلف از دو فلز را تهیه می‌کنند؛ مثلاً آلیاژی به صورت  $Ni_{100}$ ٪،  $Cu_{1} + Ni_{99}$ ٪،  $Cu_{2} + Ni_{98}$ ٪،  $Cu_{3} + Ni_{97}$ ٪، .....،  $Cu_{50} + Ni_{50}$ ٪، .....،  $Cu_{98} + Ni_{2}$ ٪،  $Cu_{99} + Ni_{1}$ ٪ و  $Cu_{100}$ ٪. سپس این آلیاژها را به طور کامل ذوب می‌کنند تا به صورت کاملاً مایع درآیند. بعد، آلیاژهای مذاب را با سرعت بسیار آهسته (تعادلی) سرد می‌کنند و درجه حرارت شروع و پایان انجماد هر آلیاژ را مشخص می‌نمایند. و در نمودار تعادلی آلیاژ نیکل و مس، این نقاط را ثبت می‌نمایند. این کار را برای کلیه آلیاژهای نیکل و مس انجام می‌دهند پس از آن کلیه نقاط شروع انجماد آلیاژهای مختلف نیکل، مس را با یک منحنی به یکدیگر وصل می‌نمایند.

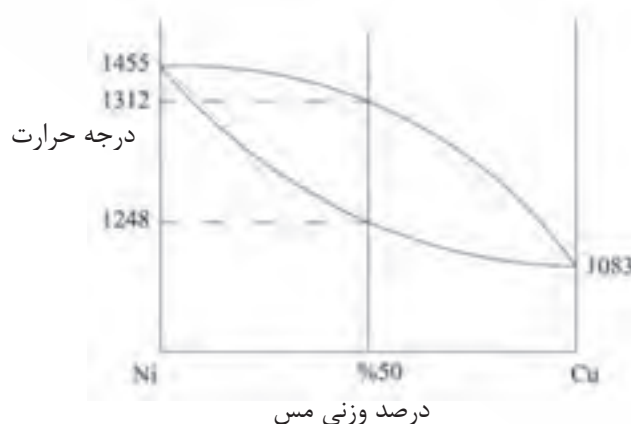
به همین ترتیب، کلیه نقاط پایان انجماد آلیاژهای مختلف نیکل و مس را نیز با منحنی دیگری به هم وصل می‌کنند. منحنی اول، منحنی لیکوئیدوس نامیده می‌شود، که تمام نقاط شروع انجماد آلیاژهای مختلف مس و نیکل روی آن قرار دارد. منحنی دوم، منحنی سالییدوس نامیده می‌شود، که تمام نقاط پایان انجماد آلیاژهای مختلف مس و نیکل روی آن قرار دارد. پس از رسم این دو منحنی، شکل نمودار تعادلی نیکل - مس به صورت شکل ۹-۳ خواهد شد.



شکل ۳-۹

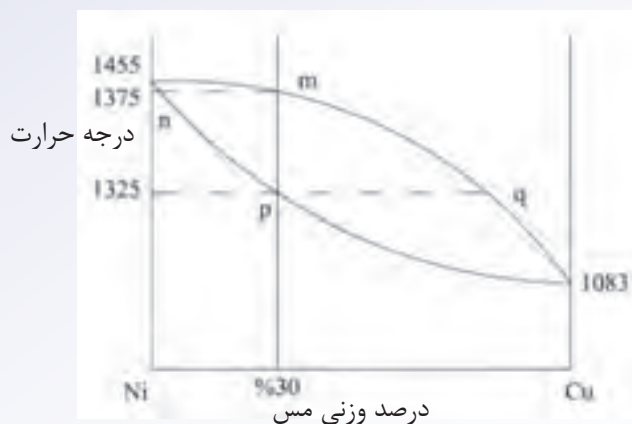
این نوع نمودار تعادلی، مربوط به آلیاژهای محلول جامد می‌باشد که در حالت مایع و جامد در هر نسبتی در یکدیگر حل می‌شوند. در نمودار شکل، در بالا منحنی لیکوئیدس، کلیه آلیاژهای مس و نیکل در هر نسبتی، به صورت محلول مذاب و در زیر منحنی سالییدوس، تمام آلیاژهای مس و نیکل با هر نسبتی، به صورت محلول جامد می‌باشند. بین دو منحنی لیکوئیدوس و سالییدوس، کلیه آلیاژهای مس و نیکل، به صورت مخلوطی از محلول جامد و محلول مذاب می‌باشد. به این ناحیه، منطقه خمیری می‌گویند.

معمولاً نمودار تعادلی آلیاژ به صورت تجربی به دست می‌آید. براساس قوانین ترمودینامیک نیز می‌توان معادلات منحنی‌های لیکوئیدوس، سالییدوس و خط‌های دیگر نمودار تعادل را به دست آورد، در حوصله این درس نمی‌باشد. با داشتن نمودار تعادلی دو عنصر، می‌توان به راحتی دمای شروع و پایان انجماد آلیاژهای با درصدهای مختلف آن دو عنصر را به دست آورد. برای این کار کافی است، خطی عمود بر محور افقی رسم نمود. این خط، منحنی‌های سالییدوس و لیکوئیدوس را به ترتیب در دماهای پایان و شروع انجماد قطع می‌کند. به عنوان مثال، با توجه به شکل ۳-۱۰ برای آلیاژ  $50\% \text{ Ni} + 50\% \text{ Cu}$ ، دماهای شروع پایان انجماد، به ترتیب ۱۳۱۲ و ۱۲۴۸ درجه سلسیوس خواهد بود.



شکل ۳-۱۰

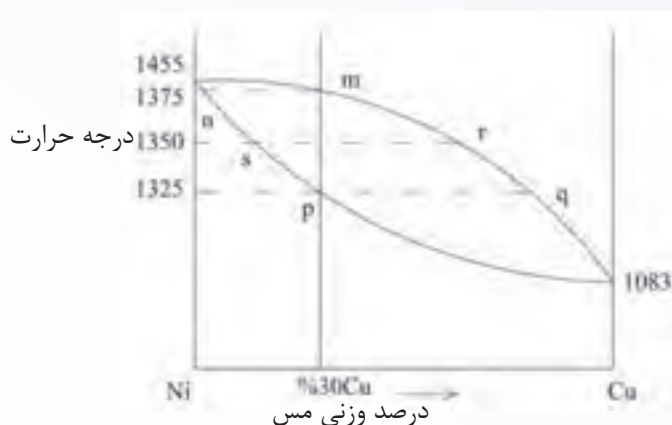
حال آلیاژ ۷۰ درصد نیکل و ۳۰ درصد مس (۷۰٪ Ni + ۳۰٪ Cu) را در نظر می‌گیریم. در نمودار تعادلی Ni-Cu، از نقطه ۳۰ درصد وزنی مس روی محور افقی، خطی عمودی رسم می‌کنیم تا منحنی‌های سالییدوس و لیکوئیدوس را در نقاط m و p قطع کند (مطابق شکل ۱۱-۳).



شکل ۱۱-۳

حال از نقاط m و p، دو خط افقی رسم می‌کنیم به طوری که منحنی‌های سالییدوس و لیکوئیدوس را به ترتیب در نقاط n و q قطع نمایند. با توجه به نمودار، مشخص است که نقاط شروع و پایان انجماد آلیاژ فوق، به ترتیب نقاط m و p با دماهای ۱۳۷۵ و ۱۳۲۵ درجه سلسیوس می‌باشد. در حقیقت، اگر این آلیاژ به طور کامل ذوب شده و به صورت بسیار آهسته (تعادلی) سرد شود، در دمای حدود ۱۳۷۵ درجه سلسیوس، اولین کریستال‌های جامد در آن تشکیل می‌شود و با ادامه سرد شدن، این کریستال‌های جامد رشد کرده و بزرگتر می‌شوند، تا زمانی که دما به ۱۳۲۵ درجه سلسیوس برسد و انجماد پایان یابد. در این حالت، کریستال‌های جامد به طور کامل رشد کرده و به هم رسیده‌اند. حال با توجه به نمودار شکل ... می‌توان ترکیب شیمیایی جامد تشکیل شده و مذاب باقی مانده در شروع انجماد را، به دست آورد. نقطه m که روی منحنی لیکوئیدوس قرار دارد و ترکیب شیمیایی آن  $70\% \text{ Ni} + 30\% \text{ Cu}$  است، بیانگر ترکیب شیمیایی مذاب در شروع انجماد است و نقطه n که روی منحنی سالییدوس قرار گرفته و ترکیب شیمیایی آن  $80\% \text{ Ni} + 20\% \text{ Cu}$  می‌باشد، ترکیب شیمیایی جامد را در شروع انجماد نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است، در شروع انجماد درصد نیکل جزء جامد، بیشتر از درصد نیکل مذاب است، یعنی، جزء جامد، غنی از نیکل می‌باشد. در پایان انجماد نیز می‌توان، ترکیب شیمیایی جامد و مذاب را به دست آورد. نقطه p که روی منحنی سالییدوس قرار دارد و ترکیب شیمیایی آن  $70\% \text{ Ni} + 30\% \text{ Cu}$  است، ترکیب شیمیایی جامد در پایان انجماد و نقطه q که روی منحنی لیکوئیدوس قرار دارد و ترکیب شیمیایی آن  $56\% \text{ Ni} + 44\% \text{ Cu}$  است، ترکیب شیمیایی مذاب را در پایان انجماد نشان می‌دهند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، ترکیب شیمیایی جامد در ابتدای انجماد  $80\% \text{ Ni} + 20\% \text{ Cu}$  است و در پایان انجماد به ترکیب شیمیایی  $70\% \text{ Ni} + 30\% \text{ Cu}$  می‌رسد این تغییر نشان می‌دهد که، از شروع تا پایان

انجماد، درصد عنصر نیکل در جزء مذاب به تدریج کاهش یافته است و ترکیب شیمیایی جامد در هر دما، بین شروع و پایان انجماد، روی منحنی سالییدوس در فاصله بین نقاط  $n$  و  $p$  تغییر کرده است. به همین ترتیب، ترکیب شیمیایی مذاب در ابتدای انجماد  $Cu\ 30\% + Ni\ 70\%$  است و در پایان انجماد، ترکیب شیمیایی مذاب  $Cu\ 44\% + Ni\ 56\%$  می‌شود. با توجه به این دو ترکیب شیمیایی مذاب درمی‌یابیم که درصد عنصر نیکل از ابتدا تا پایان انجماد، کاهش یافته است. ترکیب شیمیایی مذاب در هر دما، بین شروع و پایان انجماد، روی منحنی لیکوئیدوس در فاصله بین نقاط  $m$  و  $q$  تغییر کرده است. به عنوان مثال اگر در دمای  $1350$  درجه سلسیوس (بین دمای شروع و پایان انجماد) خطی افقی رسم نماییم، منحنی‌های لیکوئیدوس و سالییدوس را در نقاط  $r$  و  $s$  قطع می‌نماید. (مطابق شکل ...)

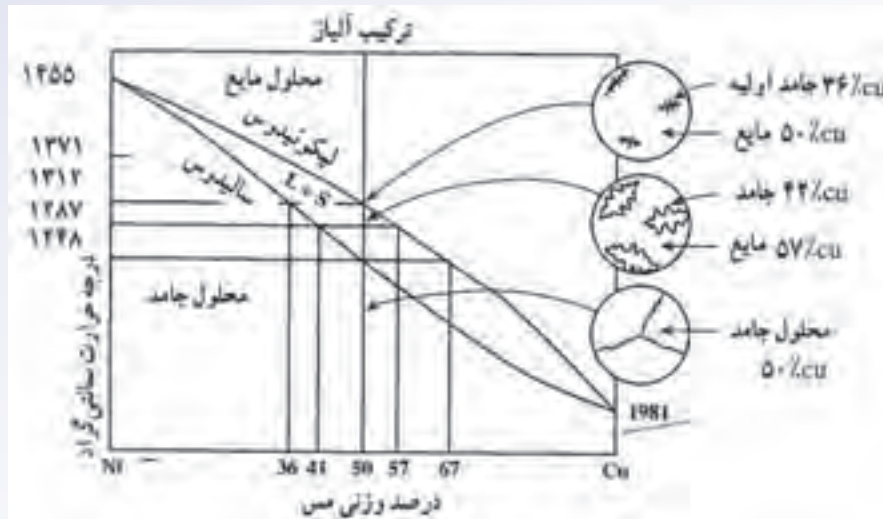


شکل ۱۲-۳

نقطه  $r$ ، که روی منحنی لیکوئیدوس قرار دارد، ترکیب شیمیایی مذاب در دمای  $1350$  درجه سلسیوس را نشان می‌دهد که معادل  $Cu\ 38\% + Ni\ 62\%$  است. نقطه  $s$  که روی منحنی سالییدوس قرار دارد و ترکیب شیمیایی آن برابر  $Cu\ 26\% + Ni\ 74\%$  است. ترکیب شیمیایی جامد در دمای  $1350$  درجه سلسیوس را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، درصد نیکل در هر دو جزء جامد و مذاب، با ادامه انجماد (با کاهش دما) در حال کاهش است.

در نمودار شکل ۱۳-۳، مراحل مختلف انجماد آلیاژ  $Cu\ 50\% + Ni\ 50\%$  از ابتدای انجماد مذاب تا پایان آن، به همراه ترکیب شیمیایی جزء جامد و مذاب در ابتدا، انتها و اواسط انجماد، نشان داده شده است. مذاب در دمای  $1312$  درجه سلسیوس، شروع به انجماد می‌نماید و جزء جامد مطابق شکل در آن ایجاد می‌شود. در این دما، جزء جامد دارای  $Cu\ 36\% + Ni\ 64\%$  و جزء مایع دارای  $Cu\ 50\% + Ni\ 50\%$  می‌باشد. در دمای  $1287$  درجه سلسیوس جزء جامد مطابق شکل رشد کرده و مقدار جزء مذاب کاهش یافته است. در این دما، ترکیب شیمیایی جزء جامد  $Cu\ 42\% + Ni\ 58\%$  و ترکیب شیمیایی جزء مایع  $Cu\ 57\% + Ni\ 43\%$  است. در دمای  $1248$  درجه سلسیوس، انجماد پایان می‌یابد، کریستال‌های جزء جامد مطابق شکل به‌طور کامل رشد کرده و به هم رسیده‌اند.

در پایان انجماد، ترکیب شیمیایی جزء جامد،  $Cu + 50\% Ni + 50\%$  و ترکیب شیمیایی جزء مایع،  $Cu + 67\%$  Ni  $33\%$  خواهد بود.



شکل ۱۳-۳. نمودار تعادل نیکل - مس

همان طور که ملاحظه می شود، ترکیب شیمیایی جزء جامد ایجاد شده در ابتدای انجماد ( $Cu + 36\% Ni + 64\%$ ) با ترکیب شیمیایی جزء جامد ایجاد شده در پایان انجماد ( $Cu + 50\% Ni + 50\%$ ) متفاوت است. بنابراین، در کریستال جامد تشکیل شده، ترکیب شیمیایی از مرکز کریستال به سمت خارج تغییر کرده است. این پدیده یک عیب محسوب شده و باعث کاهش خواص جامد می گردد. در حالتی که انجماد با سرعت سرد کردن بسیار آهسته (تعادلی) صورت می گیرد، اتم های دو عنصر فرصت کافی برای نفوذ (دیفوزیون) دارند؛ بنابراین، این تغییر ترکیب شیمیایی در ساختار جامد از بین رفته و جامد کاملاً یکنواخت خواهد شد. اما، در عمل، با توجه به این که انجماد در قالب انجام می گیرد و سرعت انجماد بسیار بالاتر از حالت تعادلی است، عیب غیریکنواختی ترکیب شیمیایی، در جامد باقی می ماند. برای برطرف کردن این عیب، از عملیات حرارتی استفاده می شود.

در هنگام انجماد مذاب، منحنی لیکوئیدوس نشان دهنده شروع انجماد آلیاژ دو منحنی سالییدوس نشان دهنده پایان انجماد آلیاژ می باشد. اما در عملیات ذوب، که عکس انجماد می باشد، منحنی سالییدوس نشان دهنده شروع ذوب آلیاژ و منحنی لیکوئیدوس نشان دهنده پایان ذوب آلیاژ می باشد.

به طور کلی، نمودارهای تعادلی آلیاژها اطلاعات بسیار مهمی در مورد ساختمان میکروسکوپی آلیاژ و در نتیجه مشخصات فیزیکی و مکانیکی آن ها ارائه می کند. از طرف دیگر، با استفاده از این نمودارها می توان برای هر آلیاژ، دمای شروع پایان انجماد، رفتار انجماد و دمای مناسب برای ریختن فلز مذاب در قالب به دست آورد. همچنین، نمودارهای تعادلی فاصله حرارتی انجماد آلیاژ (دامنه حرارتی انجماد) را مشخص می نماید، که به کمک

آن می‌توان، ویژگی‌های آلیاژ در هنگام ریخته‌گری، مانند میزان انقباض، مقدار حفره‌های انقباضی و گازی، امکان ایجاد ترک‌های حرارتی و میزان سیالیت مذاب را تعیین کرد. به عنوان مثال، اگر مادون انجماد آلیاژ زیاد باشد، آلیاژ ریزدانه شده و خواص مکانیکی (استحکام) بهتری خواهد داشت.

مشخصات آلیاژ تشکیل شده از دو فلز، به نحوه قرار گرفتن اتم‌های دو عنصر فلزی در کنار یکدیگر بستگی دارد. دو عنصر ممکن است نسبت به یکدیگر حالت‌های مختلفی داشته باشد؛ ممکن است در حالت مایع (مذاب) به صورت کاملاً محلول باشند و یا کاملاً غیرمحلول در حالت غیرمحلول، دو فلز به صورت دولایه مجزا روی هم قرار گیرند (مانند آب و روغن) و عناصر تشکیل‌دهنده آلیاژ، به صورت مجزا از یکدیگر قرار خواهند گرفت. به این نوع آلیاژ مخلوط مکانیکی عناصر می‌گویند. آلیاژ آهن و سرب نمونه‌ای از این نوع آلیاژ است که در آن آهن و سرب به صورت دولایه مجزا روی یکدیگر قرار می‌گیرند. قلع و کادمیم نیز در حالت جامد کاملاً غیرمحلول می‌باشند. اما آلیاژهایی دیگر وجود دارند که در حالت جامد، عناصر تشکیل‌دهنده آن‌ها در یکدیگر حلالیت محدود دارند، مانند آلیاژ آلومینیوم - مس.

#### در پایان جلسه:

- جمع بندی مطالب این جلسه توسط هنرآموز
- تکالیف برای منزل هنرجویان: مطالعه متن درس و آمادگی برای آزمون جلسه آینده.

- ۱- حضور و غیاب هنرجویان
- ۲- پیش‌آزمون (تشریحی، شفاهی، تستی و ...) از مطالب جلسه قبل
- ۳- یادآوری مطالب جلسه قبل

### موضوع:

- آلیاژهای یوتکتیک

- ترکیبات بین فلزی

- نمودارهای فازی

توصیه می‌شود که در ابتدای جلسه، جهت آمادگی ذهنی هنرجویان و تعامل بیشتر با آن‌ها سؤالاتی مطرح شود و پاسخ هنرجویان به سؤال‌ها شنیده شود.

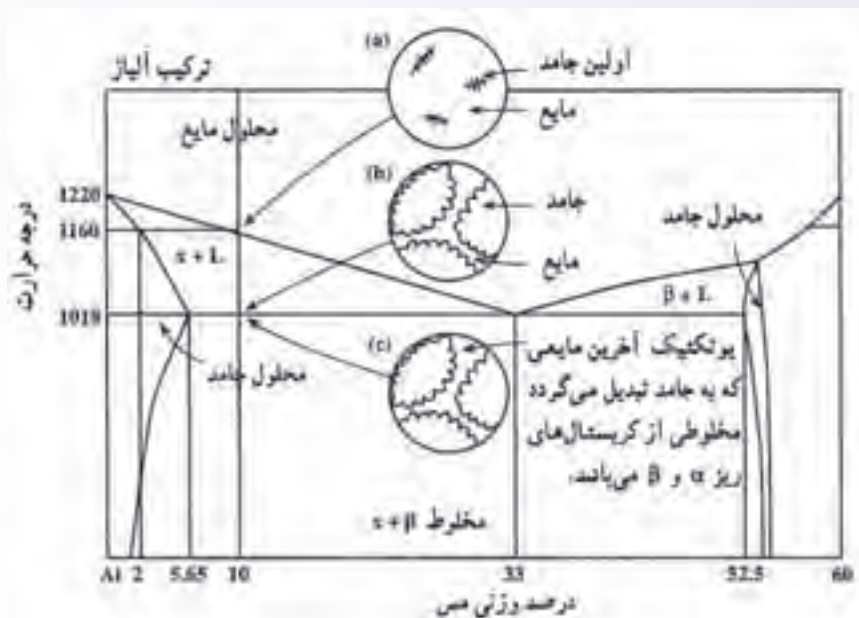
چند سؤال پیشنهادی برای شروع این جلسه عبارتند از:

- ۱- آیا فلزات با هر نسبتی در یکدیگر محلولند؟
- ۲- اگر سرعت سرد کردن مذاب زیاد باشد، ترکیب شیمیایی قسمت‌های مختلف قطعه پس از انجماد چگونه تغییر می‌کند؟ آیا ترکیب شیمیایی در تمام نقاط یکسان است؟
- ۳- آیا فلزات با یکدیگر ترکیب شیمیایی تولید می‌کنند.
- ۴- به نظر شما، از نمودارهای تعادلی چه اطلاعاتی می‌توان به دست آورد؟

۲-۲-۳- آلیاژهای یوتکتیک: آلیاژهای یوتکتیک آلیاژهایی هستند که در حالت جامد، عناصر تشکیل

دهنده آن با نسبتی در یکدیگر محلول نیستند در این صورت، عناصر تشکیل یک مخلوط جامد مکانیکی می‌دهند که اجزای آن به‌طور مجزا و لایه‌لایه روی هم قرار می‌گیرند. معمولاً این آلیاژها از دو جزء کریستالی متفاوت از نظر ترکیب شیمیایی و یا ساختمان میکروسکوپی تشکیل می‌شوند که این دو جزء به‌صورت مجزا و در ابعاد بسیار کوچک (ذره‌ای یا لایه‌ای) در کنار هم قرار می‌گیرند. بعضی از فلزات در حالت جامد کاملاً در یکدیگر غیرمحلول هستند. از این نوع فلزات می‌توان به آلیاژ قلع - کادمیم اشاره کرد که ساختمان میکروسکوپی آن شامل کریستال های بسیار ریز قلع خالص و کادمیم خالص خواهد بود. در حقیقت در چنین حالتی، عناصر یک مخلوط مکانیکی تشکیل می‌دهد. گروه دیگری از آلیاژها وجود دارند که فلزهای تشکیل دهنده آن‌ها در حالت جامد نه به‌طور کامل

محلول و نه به طور کامل نامحلول می‌باشند در این حالت، حلالیت محدودی بین فلزهای تشکیل دهنده وجود دارد. به عنوان مثال می‌توان آلیاژ آلومینیوم - مس را نام برد. نمودار تعادلی آلیاژ آلومینیوم - مس به صورت شکل ۱۴-۳ می‌باشد.



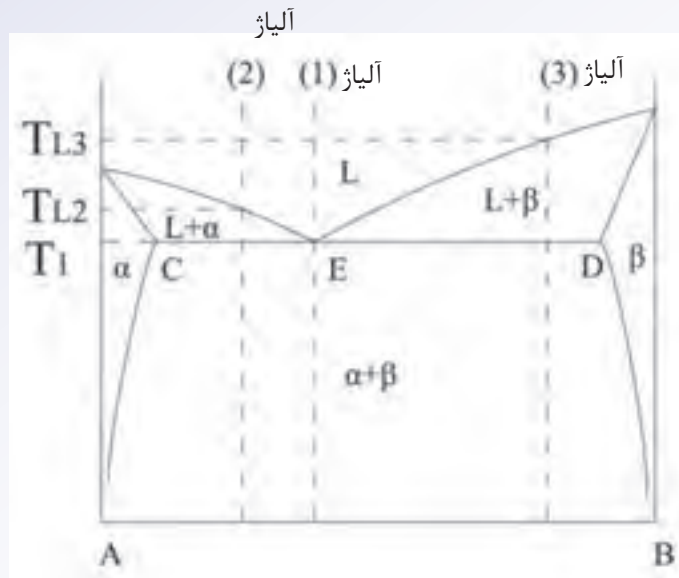
شکل ۱۴-۳. نمودار تعادلی آلومینیوم - مس

همان‌طور که از نمودار مشخص می‌شود، در حالت مذاب آلیاژهای آلومینیوم و مس در هر نسبتی در یکدیگر محلول می‌باشند. اما در حالت جامد حلالیت آلومینیوم در مس و مس در آلومینیوم بسیار کم است. بنابراین، ساختمان آلیاژ در حالت جامد، از دو جزء  $\alpha$  و  $\beta$  تشکیل شده است، جزء  $\alpha$  غنی از عنصر آلومینیوم است و در آن مقدار بسیار کمی اتم‌های مس به صورت محلول وجود دارند. جزء  $\beta$  غنی از عنصر مس است و در آن درصد کمی آلومینیوم وجود دارد.

همان‌طور که در سمت راست نمودار مشاهده می‌شود، در دمای  $1018^\circ\text{C}$  درجه فارنهایت  $(548^\circ\text{C})$ ، مقدار مس در جزء  $\alpha$  حدود  $5/65\%$  است با کاهش دما به تدریج مقدار اتم‌های مس محلول در آلومینیوم کاهش می‌یابد، و در دمای حدود  $600^\circ\text{C}$  درجه فارنهایت  $(315^\circ\text{C})$ ، مقدار عنصر مس محلول در آلومینیوم به  $2\%$  می‌رسد. با کاهش بیشتر دما، مقدار مس حل شده در آلومینیوم بسیار کمتر خواهد شد. بنابراین، حلالیت مس در آلومینیوم محدود بوده و با کاهش دما میزان حلالیت مس در آلومینیوم کاهش می‌یابد. به همین ترتیب حلالیت آلومینیوم در مس با کاهش دما کم می‌شود. بنابراین، این آلیاژ در دمای محیط مخلوطی از دو جزء  $\alpha$  (غنی از آلومینیوم) و  $\beta$  (غنی از مس) می‌باشد. به چنین آلیاژی، آلیاژ یوتکتیک گفته می‌شود.



به طور ساده در نمودار تعادلی آلیاژ یوتکتیک سه نوع آلیاژ مشاهده می‌شود که به صورت آلیاژهای ۱، ۲ و ۳ در شکل ۳-۱۵ مشخص شده است.

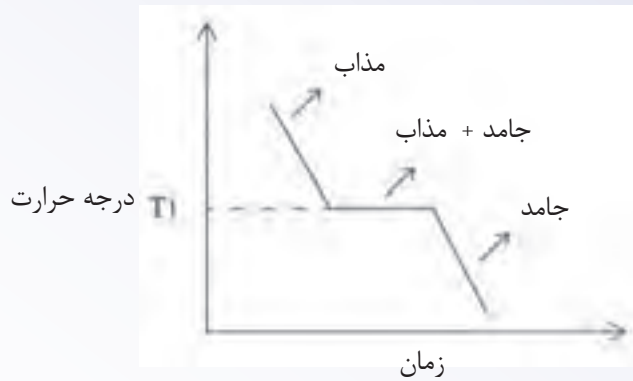


شکل ۳-۱۵

مطابق شکل ۳-۱۵، آلیاژ از دو عنصر A و B تشکیل شده است که با هر نسبتی در یکدیگر محلول نیستند و ساختار آلیاژ در حالت جامد از دو جزء  $\alpha$  (غنی از عنصر A) و  $\beta$  (غنی از عنصر B) تشکیل شده است همان طور که در نمودار مشاهده می‌شود، یک خط افقی (پاره خط CD) در نمودار وجود دارد که دما در هر نقطه روی آن ثابت است. دمای این خط که با  $T_1$  نشان داده شده است، دمای یوتکتیک نامیده می‌شود. نقطه E روی خط CD نشان دهنده ترکیب شیمیایی آلیاژی است که کمترین‌های ذوب را دارد. این آلیاژ، آلیاژ با ترکیب یوتکتیک می‌باشد. اگر آلیاژی با ترکیب نقطه یوتکتیک (نقطه E)، به عنوان مثال آلیاژ یا در شکل قبل را از حالت مذاب سرد کنیم، ابتدا دمای مذاب کاهش می‌یابد تا به دمای  $T_1$  برسد. در دمای  $T_1$ ، انجماد مذاب شروع شده و اولین ذرات جامد که شامل دو جزء  $\alpha$  و  $\beta$  است، تشکیل می‌شود، انجماد با رشد جامد در مذاب ادامه می‌یابد، تا کل مذاب تبدیل به جامد شود. لازم به ذکر است که تبدیل مذاب به جامد در آلیاژی با ترکیب نقطه یوتکتیک، مانند فلز خالص در دمای ثابت ( $T_1$ ) انجام می‌گیرد، پس از انجماد کامل مذاب، با کاهش دما، جامد سرد می‌شود تا به دمای محیط برسد.

نمودار دما - زمان برای آلیاژ با ترکیب نقطه یوتکتیک (نقطه E) مانند نمودار فلز خالص (مطابق شکل

۳-۱۶) خواهد بود.



شکل ۱۶-۳- نمودار دما برحسب زمان آلیاژ (۱) با ترکیب نقطه یوتکتیک (E)

ساختمان آلیاژ ۱ با ترکیب نقطه یوتکتیک (E) پس از انجماد کامل از لایه‌های بسیار ریز جزءهای جامد  $\alpha$  و  $\beta$ ، که روی هم قرار گرفته‌اند گاهی زیر میکروسکوپ به صورت اثر انگشت دیده می‌شود، تشکیل شده است.

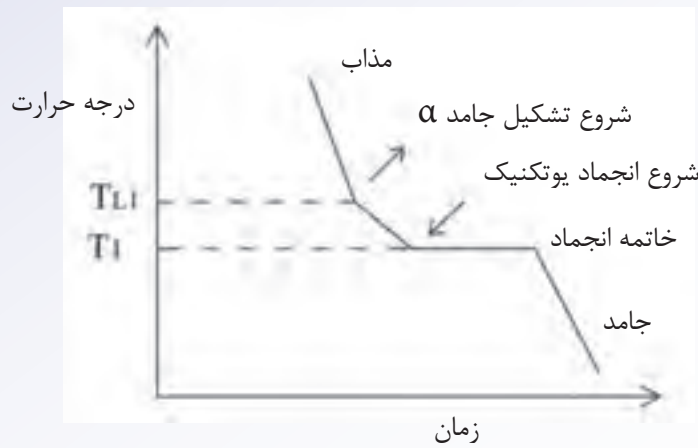


شکل ۱۷-۳

حال آلیاژی با ترکیب شیمیایی آلیاژ ۲ را در نظر می‌گیریم که سمت چپ نقطه یوتکتیک E روی خط CD قرار دارد. این آلیاژ را از حالت مذاب سرد می‌کنیم. با کاهش دما، دمای مذاب کاهش خواهد یافت تا به دمای لیکوئیدوس ( $T_{L2}$ ) برسد. در دمای  $T_{L2}$ ، اولین ذرات جامد شروع به تشکیل می‌کنند. با توجه به این که، ترکیب شیمیایی این آلیاژ قبل از نقطه یوتکتیک (E) و نزدیک به عنصر A می‌باشد، جامد تشکیل شده غنی از عنصر A است و با  $\alpha$  نمایش داده شده است. با کاهش بیشتر دما، مذاب بیشتری به جامد ( $\alpha$ ) تبدیل می‌شود تا آلیاژ به دمای  $T_1$  (درجه حرارت یوتکتیک) برسد. در دمای  $T_1$ ، مذاب باقی‌مانده دارای ترکیب شیمیایی نقطه یوتکتیک (E) خواهد بود، زیرا در حین انجماد از دمای  $T_{L2}$  تا  $T_1$ ، با تشکیل جامد  $\alpha$  (غنی از عنصر A) به تدریج مقدار عنصر A در مذاب باقیمانده کاهش یافته است. در دمای  $T_1$  ترکیب شیمیایی مذاب برابر با ترکیب شیمیایی نقطه یوتکتیک (E) شده است. در دمای  $T_1$ ، مذاب باقی‌مانده مانند آلیاژ (۱) به جامد تبدیل می‌شود. در این حالت، دمای آلیاژ در حین انجماد در دمای  $T_1$  ثابت می‌ماند. پس از انجماد کامل در دمای  $T_1$ ، با ادامه سرد کردن، دمای

جامد کاهش می‌یابد تا به دمای محیط برسد.

نمودار دما بر حسب زمان برای انجماد آلیاژ (۲) به صورت نمودار شکل ۱۸-۳ خواهد شد.



شکل ۱۸-۳- منحنی سرد شدن آلیاژ (۲)

با توجه به این منحنی، مشخص می‌شود که با کاهش دما، ابتدا دمای مذاب با شیب زیادی کاهش می‌یابد تا آلیاژ به دمای  $T_{L_1}$  برسد. در دمای  $T_{L_1}$ ، اولین جوانه‌های جامد تشکیل می‌شود. با ادامه کاهش دما، دمای مخلوط مذاب و جامد  $\alpha$  با شیب کمتری نسبت به شیب منطقه مذاب (به دلیل تشکیل مخلوط جامد و مذاب) کاهش می‌یابد تا به دمای  $T_1$  برسد. در دمای  $T_1$ ، مذاب باقی‌مانده تبدیل به جامد یوتکتیک ( $\alpha + \beta$ ) می‌شود. با ادامه سرد کردن از دمای  $T_1$  دمای جامد با شیب نسبتاً زیادی کاهش می‌یابد. ساختمان آلیاژ (۲) پس از انجماد شامل دانه‌های  $\alpha$  و دانه‌های آلیاژ یوتکتیک (لایه‌های ظریف  $\alpha$  و  $\beta$ ) می‌باشد.

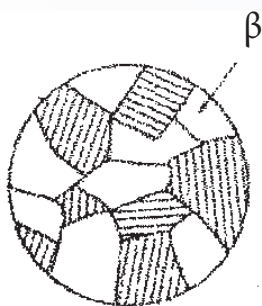


شکل ۱۹-۳

آلیاژ (۲) دارای ترکیب شیمیایی قبل از نقطه یوتکتیک است یا به عبارت دیگر، مقدار آلومینیوم آن کمتر از ۳۳٪ باشد. به این نوع آلیاژ ماقبل یوتکتیک یا هیپویوتکتیک می‌گویند.

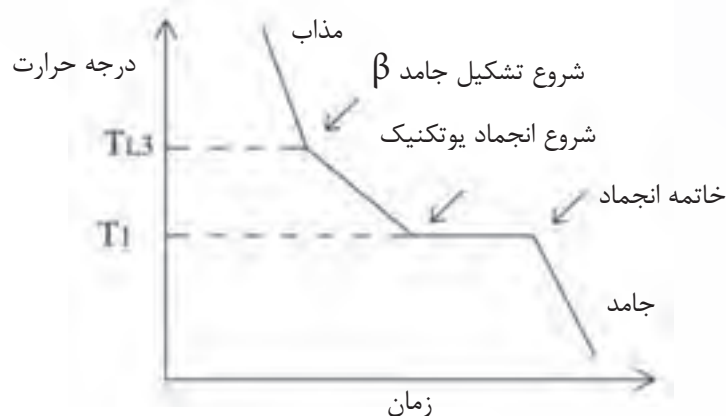
حال اگر آلیاژی مطابق با آلیاژ (۳) را، که ترکیب شیمیایی آن بعد از ترکیب شیمیایی نقطه یوتکتیک (E) است، از حالت مذاب سرد کنیم، ابتدا دمای مذاب با شیب نسبتاً زیادی کاهش می‌یابد تا به دمای لیکوئیدوس آلیاژ ( $T_{L3}$ ) برسد. در دمای  $T_{L3}$ ، اولین ذرات جامد تشکیل می‌شود و با ادامه سرد شدن، مقدار جزء جامد افزایش می‌یابد. با توجه به این که ترکیب شیمیایی آلیاژ (۳) بعد از نقطه یوتکتیک (E) و نزدیک به عنصر B است، جزء جامد به وجود آمده، غنی از عنصر B بوده و با  $\beta$  نمایش داده شده است. با ادامه سرد کردن، تا دمای  $T_1$  مقدار جامد  $\beta$  افزایش می‌یابد. در دمای  $T_1$ ، ترکیب شیمیایی مذاب باقی مانده برابر با ترکیب شیمیایی آلیاژ یوتکتیک (E) می‌باشد. زیرا در فاصله دمایی بین  $T_{L3}$  و  $T_1$ ، جامد  $\beta$  که غنی از عنصر B است، به تدریج تشکیل شده و در نتیجه مقدار عنصر B در مذاب باقی مانده کمتر از مقدار عنصر B در مذاب اولیه می‌شود. در دمای  $T_1$ ، مذاب باقی مانده تبدیل به جامد یوتکتیک ( $\alpha + \beta$ ) می‌شود. با ادامه سرد کردن از دمای  $T_1$ ، دمای جامد با شیب نسبتاً زیادی کاهش می‌یابد.

ساختمان آلیاژ (۳) پس از انجماد شامل دانه‌های  $\beta$  و دانه‌های آلیاژ یوتکتیک (لایه‌های ظریف  $\alpha$  و  $\beta$ ) می‌باشد.



شکل ۳-۲۰

نمودار سرد شدن آلیاژ (۳) به صورت نمودار ۳-۲۱ خواهد شد.



شکل ۳-۲۱- منحنی سرد شدن آلیاژ (۳)

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، با سرد کردن مذاب، دمای مذاب با شیب نسبتاً زیادی کاهش می‌یابد تا به دمای  $T_{L\beta}$  برسد. در دمای  $T_{L\beta}$ ، اولین ذرات جامد  $\beta$  در مذاب تشکیل شده و با ادامه سرد کردن مقدار جامد  $\beta$  افزایش می‌یابد. در این ناحیه، به دلیل تشکیل جزء جامد، دمای مخلوط مذاب و جامد  $\beta$ ، با شیب کمتری نسبت به شیب ناحیه مذاب کاهش می‌یابد. در دمای  $T_1$  (دمای یوتکتیک)، مذاب باقی‌مانده تبدیل به جامد یوتکتیک می‌شود که این تبدیل در دمای ثابت انجام می‌گیرد. پس از پایان انجماد، با ادامه سرد کردن، دمای جامد با شیب نسبتاً زیادی کاهش می‌یابد. آلیاژ (۳)، که ترکیب آن بعد از نقطه یوتکتیک (E) قرار دارد یا به عبارت دیگر، مقدار آلومینیوم آن بیش از ۳۳٪ است، آلیاژ ما بعد یوتکتیک یا هایپر یوتکتیک نامیده می‌شود.

حالت‌هایی که در مورد آلیاژهای یوتکتیک ذکر شد، زمانی رخ می‌دهند که سرعت سرد کردن بسیار پایین و یا به صورت تعادلی باشد، اما، در شرایط ریخته‌گری با توجه به انجماد مذاب در قالب ماسه‌ای یا فلزی، سرعت انجماد بسیار بالاتر از سرعت انجماد تعادلی است هنگامی که اولین ذرات فاز جامد در مذاب تشکیل می‌شود، ترکیب شیمیایی مذاب تغییر می‌کند و جامدی که در ادامه انجماد تشکیل می‌شود دارای ترکیب شیمیایی متفاوتی نسبت به جامد اولیه خواهد بود. در حالت سرد کردن تعادلی، اتم‌های عنصر آلیاژی فرصت جابه‌جایی و یا نفوذ (دیفوزیون) را پیدا می‌کنند و ترکیب جامد یکنواخت می‌شود. اما در سرعت‌های بالای انجماد، اتم‌های عنصر آلیاژی فرصت کافی برای نفوذ ندارند. بنابراین، جامدی که ابتدای انجماد تشکیل شد، نسبت به قسمت‌هایی که بعداً جامد می‌شوند، غنی‌تر یا فقیرتر از عنصر آلیاژی است. بنابراین، یک عدم یکنواختی در توزیع عنصر آلیاژی در ساختمان قطعه بوجود می‌آید که این پدیده را جدایش می‌نامند. جدایش سبب کاهش بسیاری از خواص قطعه از جمله، خواص مکانیکی نظیر استحکام و سختی می‌شود. بنابراین، برای بالا بردن کیفیت قطعه باید جدایش به طریقی از بین برود، به عبارت دیگر، توزیع عناصر آلیاژی در ساختمان قطعه یکنواخت شود. بهترین راه حذف جدایش، استفاده از عملیات حرارتی برای به دست آوردن ساختمانی هموزن (همگن) است، زیرا در اثر حرارت دادن طی عملیات حرارتی، اتم‌های عنصر آلیاژی فرصت کافی را برای نفوذ و جابه‌جایی پیدا می‌کنند. بنابراین، پس از مدتی، درصد عناصر آلیاژی در قطعه یکنواخت شده و جدایش کاهش یافته یا از بین می‌رود.

**۳-۳-۳- ترکیبات بین فلزی:** برخی از فلزات می‌توانند با فلزات دیگر در نسبت معین ترکیب شده و یک ترکیب شیمیایی تولید کنند. به ترکیب ایجاد شده، ترکیب بین فلزی می‌گویند؛ مثل  $Ni_3Al$ ، که در اثر ترکیب شدن نیکل با آلومینیوم به وجود می‌آید. این ترکیبات معمولاً سخت و شکننده هستند و نقطه ذوب بالا و مقاومت به خوردگی خوبی دارند. نیروهای اتصال اتم‌ها در ترکیبات بین فلزی از نوع پیوندهای فلزی خالص نیست و می‌تواند شامل پیوندهایی از نوع یونی و کووالانسی باشد. به‌طور کلی، خواص ترکیبات بین فلزی بسیار متفاوت از خواص فلزات تشکیل دهنده آن است.

وجود مقدار زیاد ترکیبات بین فلزی در آلیاژ، سبب کاهش خواص مکانیکی آلیاژ مانند استحکام و قابلیت

انعطاف‌پذیری آن می‌شود، زیرا این ترکیبات سخت و شکننده هستند؛ بنابراین، کاربرد آلیاژ را در صنعت محدود می‌کنند. اما اگر ترکیبات بین فلزی به مقدار کم و به‌طور یکنواخت در ساختمان آلیاژ پخش شوند، باعث افزایش خواصی مانند استحکام فلز می‌شوند؛ مانند وجود  $Fe_3C$  در فولاد.

ذکر این نکته لازم است که برخی ترکیبات مانند  $Fe_3C$  یا سمنتیت، که از ترکیب فلز و غیرفلز به‌وجود آمده است، خواصی مانند ترکیبات بین فلزی دارند و می‌توان آن‌ها را به عنوان ترکیب بین فلزی در نظر گرفت.

**۳-۳-۴- نمودارهای فازی:** نمودارهای تعادلی انجماد ابزارهای بسیار مهمی برای متالورژی‌ها می‌باشد زیرا

با استفاده از آن‌ها می‌توان اطلاعات مفیدی درباره ساختمان آلیاژ، خواص آن و نوع عملیات حرارتی مناسب برای افزایش کیفیت قطعه به‌دست آورد. از طرفی، می‌توان دمای ذوب و انجماد آلیاژهای مختلف چند عنصر را از نمودار تعادلی مربوطه به‌دست آورد و با استفاده از آن دمای مناسب مذاب برای ریخته‌گری آن آلیاژ را مشخص نمود.

با استفاده از نمودار تعادلی آلیاژ می‌توان، نحوه انجماد آلیاژ را مورد بررسی قرار داد، عیوبی نظیر حفره‌های

انقباضی، ترک خوردن قطعات در مراحل سرد شدن و میزان سیالیت مذاب را به‌دست آورد و در نتیجه روش‌های جلوگیری از ایجاد عیوب انقباضی و ترک خوردن قطعات را مشخص نمود.

#### در پایان جلسه:

- جمع بندی مطالب این جلسه توسط هنرآموز

- تکالیف برای منزل هنرجویان: مطالعه متن درس و آمادگی برای آزمون جلسه آینده.

- ۱- حضور و غیاب هنرجویان
- ۲- پیش‌آزمون (تشریحی، شفاهی، تستی و ...) از مطالب جلسه قبل
- ۳- یادآوری مطالب جلسه قبل

### موضوع:

- چگونگی انجماد فلز در قطعات ریختگی
- انقباض حجمی در قطعات ریختگی
- چگونگی انجماد فلزات خالص

برای درک بهتر مفاهیم و کلمه‌های اساسی این جلسه بهتر است سوالاتی درباره موضوع درس جهت آمادگی ذهنی هنرجویان پرسیده و بحث شود.

- ۱- به نظر شما، مهم‌ترین عامل در تهیه قطعات مرغوب به روش ریخته‌گری کدام است؟
- ۲- در هنگام انجماد فلز معمولاً چند نوع انقباض ایجاد می‌شود؟
- ۳- چگونه می‌توان انقباض‌هایی را که در حین انجماد فلز به وجود می‌آید جبران کرد؟
- ۴- انجماد فلزات خالص در قالب به چند صورت انجام می‌شود؟

### ۳-۴- چگونگی انجماد فلز در قطعات ریختگی

برای تهیه قطعات به روش ریخته‌گری، در کارگاه‌های خوب، تکنیک‌های مختلفی از لحاظ روش ریخته‌گری، نوع قالب، روش و انتقال مذاب، و غیره مشاهده می‌شود. به عنوان مثال در کارگاه‌های ریخته‌گری کوره‌های مختلفی برای ذوب فلزات استفاده می‌شود و تجهیزاتی مانند بوته، پاتیل، ملاقه برای نگهداری، انتقال و ریختن مذاب به کار گرفته می‌شود. به علاوه، قالب‌های مختلفی برای ریخته‌گری قطعات وجود دارد، مانند قالب‌های ماسه‌ای، فلزی، سرامیکی و غیره که هر کدام در کیفیت مذاب ایجاد شده و در نهایت در کیفیت قطعه تولیدی مؤثر است. هنگامی که مذاب به داخل قالب ریخته می‌شود با سرد شدن مذاب در داخل قالب انجماد آن شروع شده و پس از مدتی مذاب به طور کامل جامد می‌شود. چگونگی انجماد مذاب تأثیر بسیار مهمی بر کیفیت قطعات ریختگی دارد. بنابراین، دانستن چگونگی انجماد فلز برای تولید قطعه ریخته‌گری مرغوب بسیار مهم است. به همین منظور، محققان زیادی پدیده انجماد فلزات را مورد بررسی قرار داده و رفتار فلزات مختلف در حین انجماد را مطالعه کرده‌اند

تا براساس آن، راه‌های تولید قطعه ریختگی مرغوب را شناسایی کنند و در صورت نیاز تمهیدات لازم حین تولید قطعه به روش ریخته‌گری را پیش‌بینی کرده و در نظر گیرند. بنابراین، انجماد فلزات یکی از مهم‌ترین مباحث ریخته‌گری است که تأثیر مستقیم بر کیفیت قطعه ریختگی دارد.

ساده‌ترین روش برای مطالعه و بررسی نحوه انجماد مذاب فلزی در قالب، بررسی نحوه انتقال حرارت در قالب ریخته‌گری می‌باشد. شکل قطعه ریختگی و نوع قالب ریخته‌گری تأثیر بسزایی بر انتقال حرارت مذاب فلز دارد. نحوه انتقال حرارت مذاب فلز معمولاً از سه جنبه بررسی می‌شود که عبارتند از:

**الف) قوانین اولیه انتقال حرارت؛** که مشخص می‌شود در هنگام انجماد فلز مذاب در قالب، گرمای مذاب به کدام یک از روش‌های انتقال حرارت شامل هدایت، جابه‌جایی و تشعشع، به قالب و محیط خارج منتقل می‌شود.

**ب) متغیرهای مربوط به شکل و اندازه قطعه ریختگی؛** با توجه به ابعاد قطعه ریختگی، ضخامت قسمت‌های مختلف قطعه و فصل مشترک آن قسمت‌ها با جداره قالب می‌توان پیش‌گویی کرد که کدام قسمت قطعه سریع‌تر حرارت خود را از دست داده و منجمد می‌شود؛ مانند گوشه‌های خارجی قطعه و یا کدام قسمت قطعه دیرتر حرارت خود را از دست داده و منجمد می‌شود؛ مانند گوشه‌های داخلی قطعه.

**ج) متغیرهای مربوط به قالب و نوع فلز ریختگی؛** که نشان می‌دهد انتقال حرارت در کدام یک از قالب‌ها بهتر صورت می‌گیرد. بنابراین گرمای مذاب با سرعت بیشتری خارج شده و مذاب سریع‌تر منجمد می‌شود. به عنوان مثال، انتقال حرارت در قالب‌های فلزی نسبت به قالب‌های ماسه‌ای بهتر صورت می‌گیرد؛ بنابراین مذاب فلز سریع‌تر منجمد می‌شود. از طرف دیگر، نوع فلز مذاب نیز در انتقال حرارت مؤثر است؛ مثلاً انتقال حرارت در فلزاتی مانند آلومینیوم و مس به علت ضریب هدایت حرارتی بالاتر و نقطه ذوب کم‌تر، نسبت به فلزاتی مانند آهن، بهتر صورت می‌پذیرد.

با توجه به مطالب ذکر شده، می‌توان نتیجه گرفت که چگونگی انجماد فلز بر مرغوبیت قطعات ریختگی مؤثر است. سپس از آن‌جا که، ریخته‌گران همواره به دنبال کاهش تعداد قطعات نامرغوب برگشتی، به علت عیوب ایجاد شده در آن‌ها، می‌باشند، مطالعه و شناخت انجماد فلزات اهمیت بسیاری دارد.

### ۱-۴-۳- انقباض حجمی در قطعات ریختگی

هنگامی که فلز مذاب منجمد می‌شود، معمولاً حجم آن کاهش می‌یابد، به عبارت دیگر، در قطعه انقباض حجمی رخ می‌دهد. در اثر این کاهش حجم، ممکن است ابعاد قطعه ریختگی کوچکتر از ابعاد مورد نظر شود و یا این کاهش حجم سبب ایجاد حفرات و فضاهای توخالی در قطعه ریختگی شود که به حفره‌های انقباضی موسوم هستند. به همین دلیل، برای تولید یک قطعه ریختگی سالم و با کیفیت مناسب، باید کاهش حجم قطعه ریختگی را به طریقی جبران کرد.



هنگامی که مذاب به داخل قالب ریخته می‌شود، معمولاً انجماد از قسمت‌های نازک‌تر قطعه شروع می‌شود، زیرا انتقال حرارت در قسمت‌های نازک‌تر قطعه به دلیل حجم کم مذاب و سطح تماس زیاد آن قسمت با دیواره قالب، نسبت به انتقال حرارت در قسمت‌های ضخیم‌تر قطعه بهتر صورت می‌گیرد. انجماد قسمت‌های نازک قطعه معمولاً از مجاورت دیواره‌های قالب شروع می‌شود؛ به طوری که یک پوسته جامد در کنار دیواره قالب تشکیل می‌شود. تشکیل پوسته جامد با انقباض همراه است که این انقباض معمولاً با جابه‌جایی مذاب از قسمت‌های ضخیم‌تر قطعه به قسمت‌های نازک‌تر جبران می‌شود. جابه‌جایی مذاب در قسمت‌های مختلف قطعه در حال انجماد، جهت جبران انقباض قسمت‌های مختلف قطعه، تا پایان انجماد ادامه دارد و به این طریق، انقباض قسمت‌های نازک‌تر قطعه در هنگام انجماد، جبران می‌شود. در مرحله آخر انجماد، حجم مذاب باقی مانده نسبت به حجم محفظه قالب کاهش می‌یابد زیرا مذاب جهت جبران انقباض در مراحل اولیه انجماد مصرف شده است و در مراحل آخر، مذاب کافی برای جبران انقباضات ایجاد شده وجود ندارد. بنابراین، در آخرین قسمت قطعه که مذاب منجمد می‌شود، حفره‌ای به وجود می‌آید که اصطلاحاً به آن، حفره انقباضی می‌گویند با توجه به این که حفره انقباضی در آخرین مرحله انجماد به وجود می‌آید، می‌توان نتیجه گرفت که حفره انقباضی در ضخیم‌ترین قسمت قالب یا به عبارت دیگر، در گرم‌ترین نقطه قطعه تشکیل می‌شود. برای جلوگیری از به وجود آمدن حفره انقباض، باید به روشی مذاب اضافی به محفظه قالب وارد شود. به همین منظور، معمولاً در مجاورت قسمت‌های ضخیم یا گرم‌ترین نقاط قطعه، که در آخرین مرحله منجمد می‌شوند، کانالی اضافی از مذاب قرار داده می‌شود تا حفره انقباضی به وجود آمده در آخرین مرحله انجماد را پر کند. به این کانال‌ها، تغذیه می‌شود. به طور کلی می‌توان گفت، هنگامی که مذاب به داخل قالب ریخته می‌شود، سردترین قسمت قطعه ریختگی، قسمت‌های نازک قطعه و جداره خارجی قطعه است که در تماس با دیواره قالب می‌باشد و انتقال حرارت در آن قسمت‌ها سریع‌تر انجام می‌گیرد. از طرف دیگر، گرم‌ترین منطقه در قطعه ریختگی، تغذیه است که در آخرین مرحله انجماد، منجمد می‌شود.

معمولاً فلزات و آلیاژها در هنگام انجماد و سرد شدن قالب کاهش حجم یافته و منقبض می‌شوند؛ به جز فلزاتی مانند بیسموت و بعضی از آلیاژها مانند چدن‌های خاکستری و چدن‌های با گرافیت کروی که در حین انجماد منبسط می‌شود. هنگامی که مذاب فلز سرد می‌شود تا منجمد گردد، سه نوع انقباض در آن اتفاق می‌افتد؛ انقباض مایع، انقباض حین انجماد و انقباض جامد.

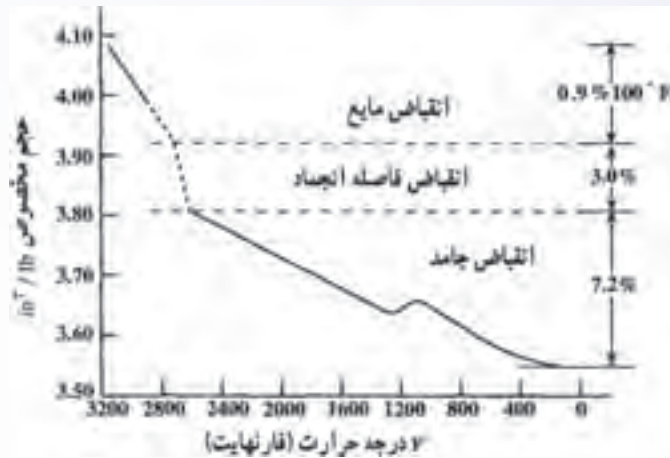
**انقباض مایع:** هنگامی که مذاب فلز سرد می‌شود، دمای آن کاهش می‌یابد و در نتیجه، حجم آن کاهش یافته و منقبض می‌شود. این انقباض در حالت مایع بوده و تا دمای انجماد ادامه می‌یابد.

**انقباض حین انجماد:** هنگامی که دمای مذاب فلز به نقطه انجماد می‌رسد، اولین ذرات جامد در آن تشکیل می‌شود و با ادامه سرد شدن، به تدریج مقدار جزء جامد افزایش می‌یابد. با توجه به این که حجم جامد ایجاد شده معمولاً از حجم مایع کمتر است، حجم مخلوط جامد و مذاب کاهش یافته و قطعه منقبض می‌شود. این انقباض

از شروع انجماد تا پایان آن ادامه می‌یابد.

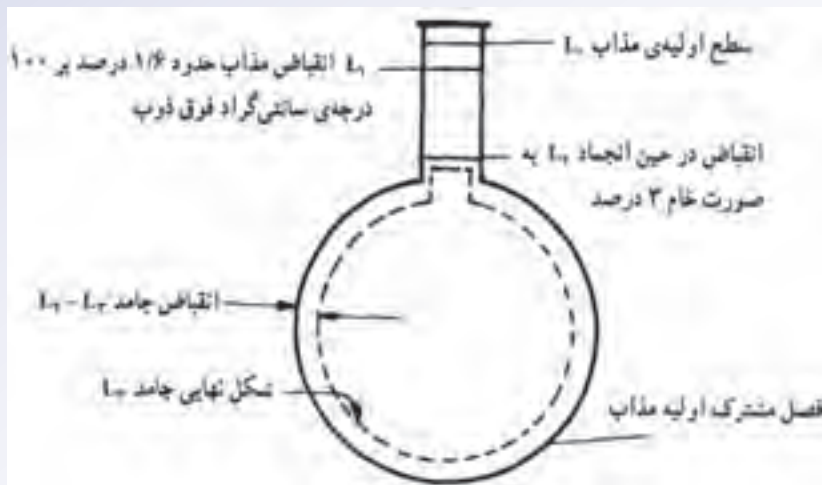
**انقباض جامد:** هنگامی که مذاب به طور کامل منجمد شد، با ادامه سرد کردن، دمای جامد کاهش می‌یابد و در نتیجه حجم جامد نیز کاهش یافته و منقبض می‌شود. این انقباض از پایان انجماد تا رسیدن دمای فلز به دمای محیط ادامه می‌یابد. به عنوان مثال، مراحل انقباض مذاب فولاد ساده کم کربن در هنگام سرد کردن تا انجماد کامل، در شکل ۳-۱۳ ص ۶۳ کتاب درسی نشان داده شده است.

در شکل ۳-۲۲ مراحل انقباض در یک فولاد ساده کم کربن نشان داده شده است.



شکل ۳-۲۲

همان طور که مشاهده می‌شود در شکل ۳-۲۲، نمودار حجم مخصوص برحسب درجه حرارت رسم شده است. حجم مخصوص کمیته عکس چگالی بوده و برابر با نسبت حجم به جرم قطعه است. در نمودار شکل ...، حجم مخصوص (حجم واحد جرم قطعه) معیار خوبی برای نشان دادن کاهش حجم قطعه در هنگام سرد شدن از حالت مذاب است. همان طور که در این نمودار مشاهده می‌شود، میزان انقباض (کاهش حجم) در حالت مذاب، حدود ۰/۹ درصد، در حین انجماد ۳ درصد و در حالت جامد ۷/۲ درصد می‌باشد. انقباض در حالت‌های مایع و جامد، به علت کاهش دما و در حین انجماد، به دلیل تغییر ساختمان اتمی هنگام تبدیل مایع به جامد رخ می‌دهد. برای درک بهتر رفتار انقباض فلز، اگر فلز مذاب به جای قالب در بالون شیشه‌ای ریخته شود و به صورت یکنواخت سرد شود، می‌توان سه نوع انقباض در اثر سرد کردن و انجماد مذاب را در آن مشاهده کرد. همان طور که در شکل ... ملاحظه می‌شود، سطح مذاب پس از ریختن در بالن شیشه‌ای، برابر  $L_1$  است. هنگامی که مذاب تا دمای انجماد سرد می‌شود، سطح مذاب از  $L_1$  به  $L_2$  می‌رسد که این کاهش سطح مذاب، نشان‌دهنده میزان انقباضی مذاب در اثر سرد شدن تا دمای انجماد است. بنابراین، میزان انقباض مذاب برابر است با اختلاف سطح  $L_1$  و  $L_2$  می‌باشد؛ یعنی  $L_1 - L_2$ . شکل ۳-۲۳ سه نوع انقباض فلز مذاب در حین سرد شدن برای انجماد را به طور شماتیک نشان می‌دهد و نشان‌دهنده میزان انقباض مذاب تا قبل از رسیدن به درجه حرارت انجماد است.



شکل ۲۳-۳. نمایش شماتیکی انقباض فولاد ساده کربنی

پس از این که مذاب به دمای انجماد رسید، اولین ذرات جامد به وجود می‌آید و با ادامه سرد شدن، میزان جامد افزایش می‌یابد تا فلز به طور کامل منجمد شود. در این حالت، سطح فلز از  $L_1$  به  $L_2$  می‌رسد. این کاهش سطح، یعنی اختلاف در سطح  $L_1$  و  $L_2$  ( $L_1 - L_2$ )، نشان‌دهنده انقباض حین انجماد می‌باشد. ذکر این نکته لازم است که در حین انجماد کاهش سطح سریع انجام می‌شود. پس از پایان انجماد با ادامه سرد شدن تا دمای محیط، جامد شکل گرفته شروع به منقبض شدن می‌کند. بنابراین، سطح فلز کاهش یافته و از  $L_2$  به  $L_3$  می‌رسد. به عبارت دیگر، قطعه با کاهش دما کوچک‌تر می‌شود. میزان انقباض در حالت جامد برابر با  $L_2 - L_3$  است.

به عنوان مثال، در مورد فولادهای ساده کم کربن، میزان انقباض در حالت مذاب حدود ۱/۶ درصد به ازای هر صد درجه سلسیوس فوق ذوب می‌باشد و انقباض حاصل از انجماد مذاب حدود ۳ درصد است که به علت تبدیل ساختمان اتمی مایع به جامد رخ می‌دهد.

در مورد چدن‌های خاکستری، انقباض در حالت مایع حدود ۲/۲ درصد برای هر صد درجه سلسیوس فوق ذوب می‌باشد. اما انقباض حین انجماد چدن خاکستری، به عوامل زیادی از جمله مقدار گرافیت، آزاد در چدن و مقدار تغییر شکل و افزایش حجم قالب در حین انجماد قطعه ریختگی بستگی دارد. چدن‌ها معمولاً در مراحل انجماد به جای منقبضی شدن، منبسط می‌شوند. علت این رفتار، هنگام تبدیل مذاب چدن به جامد، تشکیل کربن به صورت آزاد در چدن می‌باشد، که به این نوع کربن، در اصطلاح گرافیت می‌گویند. گرافیت در حالت جامد نسبت به حالت مایع، حجم بیشتری را اشغال می‌کند. بنابراین، با آزاد شدن کربن یا گرافیت در چدن، علاوه بر این که انقباض ناشی از انجماد چدن جبران می‌شود، حجم چدن نیز تا حدودی افزایش می‌یابد که در نهایت، منبسط شدن چدن در حین انجماد می‌شود. اما در فلزات دیگر مانند فولاد، در حین انجماد به علت تبدیل ساختمان اتمی مایع

به ساختمان اتمی جامد انقباض مشاهده خواهد شد.

بنابراین، انقباض‌های ایجاد شده در مراحل سرد شدن مذاب از دمای ریختن تا جامد شدن کامل قطعه، سبب کاهش حجم قطعه می‌شود. بنابراین، این کاهش حجم باید به طریقی جبران شود. همان‌طور که قبلاً گفته شد، در اکثر قطعات ریختگی، جهت جبران کمبود فلز مذاب در اثر انقباض‌های به‌وجود آمده در مراحل سرد شدن مذاب از دمای ریختن تا جامد شدن کامل قطعه، یک کانال اضافی حاوی مذاب به نام تغذیه به‌کار می‌رود. به عبارت دیگر، تغذیه در داخل خود، فلز را به صورت مذاب تا پایان انجماد قطعه، نگهداری می‌کند و می‌تواند کمبود فلز مذاب بر اثر انقباض در حال مایع فلز را جبران نماید. علاوه بر آن، تغذیه می‌تواند حفره‌های انقباضی ایجاد شده در مرحله انجماد را نیز پر نماید.

هنگام سرد کردن قطعه تا دمای محیط، انقباض در حالت جامد سبب کوچک‌تر شدن ابعاد قطعه از اندازه واقعی می‌شود، برای رفع این مشکل، بهتر است محفظه قالب بزرگ‌تر از ابعاد قطعه در نظر گرفته شود تا پس از انقباض قطعه در حالت جامد، قطعه به ابعاد واقعی خود برسد. به همین دلیل، مدل‌ساز باید مدل قطعه را بزرگ‌تر از اندازه واقعی آن بسازد تا قطع جامد ایجاد شده پس از انقباض به ابعاد مورد نظر برسد.

انقباض فلز همچنین ممکن است سبب بروز عیوبی مانند تابیدن قطعه و به‌وجود آمدن ترک‌های حرارتی، در قطعه ریختگی شود. برای جلوگیری از این عیوب، باید انقباض فلز به‌طور دقیق کنترل شود و از طراحی گوشه‌های تیز در قطعه تا حد امکان اجتناب گردد.

## ۲-۴-۳- چگونگی انجماد فلزات خالص

انجماد مذاب در قالب ریخته‌گری به دو شکل می‌تواند انجام شود؛ انجماد همه‌جانبه و انجماد جهت‌دار

**الف) انجماد همه‌جانبه:** در این حالت انجماد از دیواره قالب شروع می‌شود. پوسته جامد به تدریج ضخیم

تر شده و حرکت آن به سمت مرکز قطعه ادامه می‌یابد مطابق (شکل ۲۴-۳).

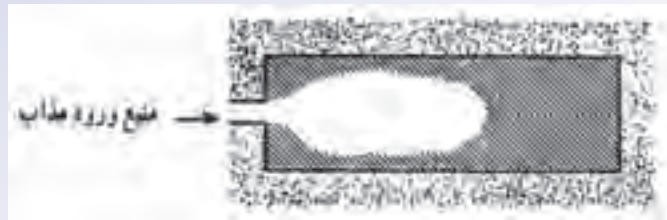


شکل ۲۴-۳- انجماد همه‌جانبه

**ب) انجماد جهت‌دار یا کنترل شده:** در این حالت، انجماد از دورترین قسمت قالب نسبت به محل ورود

مذاب به محفظه قالب، شروع شده و قشر منجمد شده با گذشت زمان به سمت محل ورود مذاب یا راهگاه پیشروی

می‌کند (مطابق شکل ۲۵-۳)



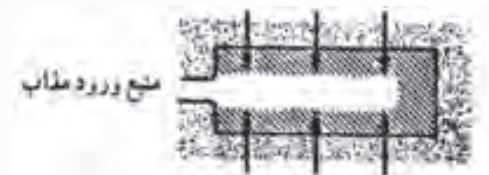
شکل ۳-۲۵- نمای انجماد جهت‌دار

در حالت واقعی، در یک قالب ریخته‌گری هر دو انجماد جهت‌دار و همه‌جانبه می‌تواند اتفاق بیافتد. مثلاً، در شکل ۳-۲۶، که جهت پیشروی جامد (جهت فلش‌ها) به سمت محل ورود مذاب به قالب می‌باشد، انجماد به صورت جهت‌دار است.



شکل ۳-۲۶

اما در شکل ۳-۲۷، که جهت پیشروی جامد در حین انجماد، به سمت مرکز قطعه می‌باشد، انجماد از نوع همه‌جانبه است.



شکل ۳-۲۷

در شکل ۳-۲۸، جامد بوجود آمده هم به سمت محل ورود مذاب به قالب حرکت می‌کند (انجماد جهت‌دار) و هم به سمت مرکز قطعه (انجماد همه‌جانبه). در این حالت، هر دو نوع انجماد همه‌جانبه و جهت‌دار، در قطعه ریختگی اتفاق می‌افتد (شکل ۳-۲۸).

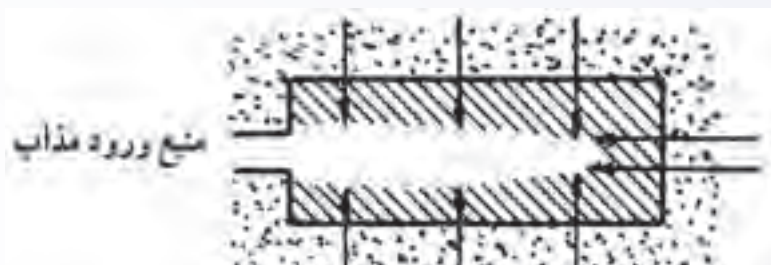


شکل ۳-۲۸

لازم به ذکر است که در سه شکل ۳-۲۵، ۳-۲۶ و ۳-۲۷، فلش‌ها جهت پیشروی فصل مشترک جامد - مذاب را نشان می‌دهند.

زمانی که انجماد به صورت جهت دار است، انجماد از دورترین نقطه نسبت به محل ورود مذاب به قالب شروع شده و فصل مشترک جامد - مذاب به سمت محل ورود مذاب حرکت می کند. در نتیجه، آخرین مذاب موجود در قالب در نزدیکی محل ورود مذاب یا راهگاه منجمد می شود. بنابراین، حفره انقباضی ایجاد شده در اثر انقباض مذاب در حالت مایع و در حین انجماد، در نزدیکی محل ورود مذاب به قالب بوجود می آید. با توجه به این که این حفره ها نزدیک به محل ورود مذاب به قالب است و هنوز در راهگاه مذاب وجود دارد، این حفره ها پُر می شوند و از به وجود آمدن عیب در قطعه جلوگیری می شود.

برای درک بهتر نحوه انجماد، انجماد فلز مذاب را در قالب فلزی به طور عمودی (انجماد شمش) در نظر می گیریم (شکل ۳-۲۹).



شکل ۳-۲۹- چگونگی ایجاد حفره های انقباضی در یک شمش ریخته‌گی

همانطور که ملاحظه می شود، هنگامی که مذاب به داخل قالب ریخته می شود، به علت سرد بودن دیواره قالب، مذاب اطراف دیواره شروع به منجمد شدن می کند با گذشت زمان، جامد تشکیل شده به طرف مرکز قالب، که گرم ترین نقطه قالب است، حرکت می کند. معمولاً دو نوع حفره انقباضی در قطعه به وجود می آید که عبارتند از: حفره انقباضی بزرگ در قسمت بالایی قطعه (انقباض مرکزی) و حفره های انقباضی ریز که در مرکز قطعه بوجود می آیند (انقباض ثانویه). این حفره های انقباضی در اثر انقباض ایجاد شده در مذاب و حین انجماد به وجود می آیند. اگر مذاب بتواند از قسمت های بالایی قطعه به سمت قسمت های پایین تر قطعه جریان پیدا کند، حفره های انقباضی ایجاد شده در مرکز قطعه از مذاب پُر شده و از بین می روند. جلوگیری از انقباض ثانویه به طراحی صحیح قطعه و قالب ریخته گری بستگی دارد؛ زیرا، در صورت طراحی نادرست، کریستال های جامد تشکیل شده در مذاب از دیواره به سمت مرکز قطعه به گونه ای پیشرفت می کنند که هنگام رسیدن آن ها به یکدیگر، ارتباط بین مذاب قسمت های بالایی قطعه و قسمت های مرکزی قطعه، قطع می شود، مذاب نمی تواند به قسمت های مرکزی قطعه برسد و حفره های انقباضی ایجاد شده را پُر کند و مرکز قطعه بدون رسیدن مذاب از قسمت های بالایی، که مانند تغذیه عمل می کند، جامد می شوند.

## در پایان جلسه:

- جمع بندی مطالب این جلسه توسط هنرآموز
- تکالیف برای منزل هنرجویان: مطالعه متن درس و آمادگی برای آزمون جلسه آینده.

۱- حضور و غیاب

۲- پیش‌آزمون (تشریحی، شفاهی، تستی) از مطالب جلسه قبل

۳- یادآوری مطالب جلسه قبل

### موضوع: سرعت انجماد در قطعات ریختگی

برای آمادگی ذهنی هنرجویان ابتدا چند سوال دربارهٔ موضوع مربوطه، به صورت تعاملی ارائه شود. سؤالاتی

مانند:

۱- اگر بتوان سرعت انجماد فلز مذاب را طوری افزایش داد که در کیفیت قطعه تغییر ایجاد نشود، چه

تأثیری بر تولید قطعهٔ ریختگی خواهد داشت؟

۲- به نظر شما افزایش سرعت انجماد چه تأثیری بر ساختار و خواص قطعه خواهد داشت؟

۳- آیا می‌توانید روشی برای اندازه‌گیری سرعت انجماد فلز مذاب پیشنهاد کنید؟

۴- مراحل انجماد مذاب در قطعهٔ ریختگی کدامند؟

۳-۴-۳- سرعت انجماد در قطعات ریختگی: اثر سرعت انجماد فلز مذاب در ریخته‌گری از جهات

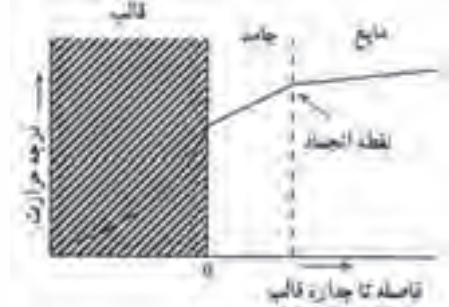
مختلفی مانند تأثیر در تولید قطعه، ساختار فلز، خواص مکانیکی و ..... مهم است. به طوری که افزایش سرعت انجماد سبب می‌شود که مذاب فلز درون قالب، در زمان کوتاه‌تری منجمد شود و در یک فاصلهٔ زمانی مشخص تعداد قطعهٔ بیشتری تولید گردد. بنابراین، اگر بتوان سرعت انجماد فلز مذاب در قالب را به گونه‌ای افزایش داد که در خواص قطعه تغییر نامطلوبی ایجاد نشود، می‌توان تعداد قطعهٔ تولیدی را افزایش داد و از لحاظ اقتصادی با هزینهٔ کمتری، تعداد قطعهٔ بیشتری را تولید نمود. از طرف دیگر، سرعت انجماد می‌تواند خواص و ساختار میکروسکوپی قطعه را تغییر دهد؛ به گونه‌ای که اگر سرعت انجماد یا به عبارت دیگر، سرعت سرد شدن مذاب افزایش یابد، تعداد بسیار زیادی جوانه جامد (هستهٔ جامد) در مذاب به وجود می‌آید که با ادامهٔ رشد آن‌ها، یک ساختار میکروسکوپی با دانه‌های ریز تشکیل می‌شود. این ساختار، دارای خواص مکانیکی نسبتاً خوبی می‌باشد. در چنین ساختاری، به علت ریز بودن دانه‌ها، تعداد مرز دانه‌ها افزایش می‌یابد؛ در نتیجه، برای تغییر شکل ساختار دانه ریز، نیاز به نیرو و تنش بیشتری خواهد بود بنابراین، قطعه استحکام بیشتری از خود نشان خواهد داد. از طرف دیگر، ساختار دانه ریز قابلیت انعطاف خوبی دارد. پس در ساختار ریز دانه، افزایش استحکام با افزایش انعطاف پذیری همراه خواهد بود و در دمای محیط قطعه مقاومت خوبی در برابر نیروهای مکانیکی خواهد داشت.



اگر سرعت انجماد، یا به عبارت دیگر، سرعت سرد کردن مذاب کم شود، تعداد جوانه‌ها (هسته‌های) جامد کم خواهد شد؛ بنابراین، با ادامه رشد جوانه‌ها به ساختار با دانه‌های درشت خواهیم رسید. در قطعات با ساختار میکروسکوپی قطعات با دانه‌های درشت، با توجه به کم بودن مقدار مرز دانه‌ها، استحکام نسبت به قطعات با ساختار دانه‌ریز کمتر است، اما در دماهای بالا قطعه با ساختار دانه درشت مقاومت بهتری در برابر اعمال نیرو نسبت به قطعه با ساختار دانه ریز، خواهد داشت. افزایش سرعت انجماد مذاب سبب می‌شود که سرعت سرد شدن مذاب افزایش یابد و شیب دمایی بیشتری بین قشر جامد شده و مذاب به وجود آید که موجب انجماد جهت‌دار مذاب می‌شود. به عبارت دیگر، با نزدیک شدن به پوسته جامد، دما کاهش خواهد یافت. در انجماد جهت‌دار، مذابی که در آخرین مرحله منجمد می‌شود، در قسمت تغذیه‌ی قالب قرار می‌گیرد. بنابراین، حفره‌ی انقباضی از درون قطعه به تغذیه منتقل می‌شود و قطعه فاقد حفره انقباضی خواهد بود. از طرف دیگر، ریزش دانه‌ها در اثر افزایش سرعت انجماد، از به وجود آمدن حفرات انقباضی بزرگ در قطعه جلوگیری می‌کند و در نتیجه، پس از انجماد جهت‌دار، یک ساختار یکنواخت و هموزن در قطعه ایجاد شود.

در مورد قطعاتی که پس از انجماد نیاز به عملیات حرارتی دارند، افزایش سرعت انجماد باعث می‌شود که مذاب در شرایط غیرتعادلی منجمد شود. در نتیجه، میزان تنش‌های باقیمانده در قطعه افزایش خواهد یافت و ترکیب شیمیایی قطعه، یکنواخت نخواهد بود. همچنین، ساختار قطعه دانه‌ریز خواهد شد و تعداد زیادی مرز دانه‌ها در قطعه وجود خواهد داشت که مراکز پرتنش در قطعه می‌باشند. این موارد نشان‌دهنده وجود انرژی نهفته‌ای در قطعه ریخته شده با سرعت انجماد بالا است. بنابراین، اگر چنین قطعه‌ای تحت عملیات حرارتی قرار گیرد، سیکل (دما یا زمان) عملیات حرارتی کاهش خواهد یافت زیرا، انرژی نهفته، سبب افزایش سرعت عملیات حرارتی خواهد شد.

در یک قالب ریخته‌گری، سرعت سرد شدن مذاب به میزان گرمای خارج شده از طریق دیواره قالب بستگی دارد. به عبارت دیگر، هرچه انتقال حرارت قالب بیشتر باشد، سرعت سرد شدن مذاب بیشتر خواهد بود و هرچه انتقال حرارت قالب کمتر باشد، سرعت سرد شدن مذاب کمتر خواهد بود. درحقیقت، توانایی دیواره قالب در جذب گرمای مذاب به خود، انتقال آن به محیط خارج بر سرعت انجماد مذاب تأثیر خواهد داشت. برای درک این مطلب، می‌توان دیواره یک قالب ماسه‌ای را در تماس با مذاب، مطابق شکل ۳-۳۰، در نظر گرفت.



شکل ۳-۳۰- نمایش شیب حرارتی در قالب، جامد، و فصل مشترک جامد و مایع

دمای دیواره قالب برابر دمای محیط است. بنابراین، هنگامی که مذاب به داخل قالب ریخته می‌شود و در مجاورت دیواره قالب قرار می‌گیرد، با توجه به این که، دمای مذاب بسیار بالاتر از دمای دیواره قالب است، اختلاف دمای زیادی بین مذاب و دیواره قالب وجود خواهد داشت. این مسأله، سبب انتقال حرارت از طرف مذاب به سمت دیواره خواهد شد. بنابراین، مذابی که در تماس با دیواره قالب مسطح است، به سرعت گرمای خود را به دیواره قالب منتقل می‌کند و سریع‌تر منجمد می‌شود. در نتیجه، یک پوسته جامد فلزی در مجاورت دیواره قالب تشکیل می‌شود. از این مرحله به بعد گرمای مذاب باقیمانده ابتدا به پوسته جامد و سپس به دیواره قالب منتقل می‌شود و با گذشت زمان، به تدریج مقدار مذاب بیشتری به جامد تبدیل شده و ضخامت پوسته جامد بیشتر می‌شود. اما به دلیل بالا بودن دمای پوسته جامد اولیه، که خود تازه منجمد شده است، سرعت انجماد مذاب باقیمانده نسبت به سرعت انجماد پوسته اولیه کمتر خواهد بود. در حقیقت، اختلاف دمای بین مذاب و پوسته اولیه کمتر از اختلاف دمای مذاب اولیه در تماس با دیواره قالب و دیواره قالب خواهد بود. بنابراین، انتقال حرارت در مذاب باقیمانده با سرعت کمتری انجام خواهد شد و در نتیجه، سرعت انجماد کاهش خواهد یافت.

در فصل مشترک بین مذاب و پوسته جامد تشکیل شده، دمای مذاب برابر دمای نقطه انجماد فلز می‌باشد و برای منجمد شدن مذاب، باید گرمای مذاب از فصل مشترک مذاب و پوسته جامد و به سمت دیواره قالب انتقال پیدا کند.

فرض کنیم مذاب روی یک دیواره بزرگ مسطح منجمد شود، در این حالت انتقال حرارت از مذاب به دیواره، در جهت عمود بر سطح دیواره صورت خواهد گرفت. در چنین حالتی، براساس نتایج آزمایش‌های انجام شده

ضخامت مذاب منجمد شده با جذر زمان انجماد نسبت مستقیم دارد. به عبارت دیگر:

$$D \propto \sqrt{t}$$

که در آن:

$D$ : ضخامت لایه منجمد شده برحسب میلی‌متر (mm)

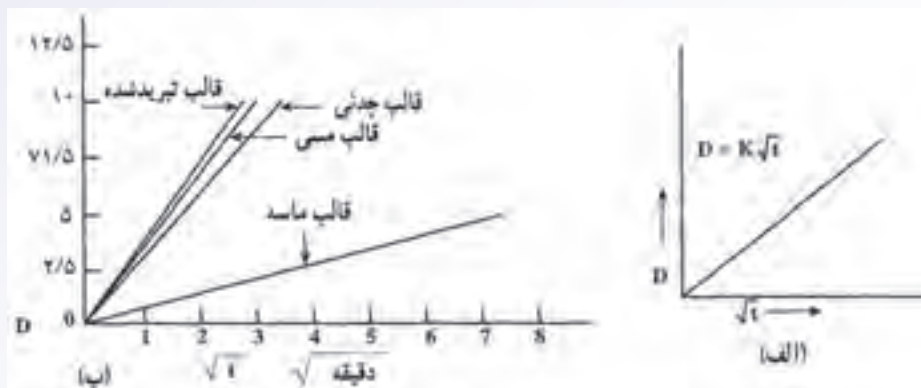
$t$ : زمان از ابتدای انجماد برحسب دقیقه (min) است.

برای این که این تناسب به تساوی تبدیل شود، به یک ضریب نیاز می‌باشد. اگر این ضریب را  $q$  بنامیم، خواهیم داشت:

$$D = q\sqrt{t}$$

که در آن،  $q$  ثابت انجماد است و واحد آن میلی‌متر بر مجذور دقیقه می‌باشد. مقدار این ثابت به جنس و شرایط انجماد فلز بستگی دارد و برای هر فلزی مقداری ثابت است. بنابراین، همان‌طور که در شکل ۳-۳۱ الف مشاهده می‌شود، نمودار ضخامت لایه منجمد شده ( $D$ ) برحسب جذر زمان به صورت خطی خواهد بود. یعنی، هرچه زمان افزایش یابد، جذر آن نیز افزایش یافته و متناسب با آن، ضخامت لایه منجمد شده افزایش می‌یابد. این نمودار برای ریخته‌گری شمش‌های فولادی ساده کربنی در قالب‌های مختلف شامل قالب ماسه‌ای،

چدنی، مسی و تبرید شده مطابق شکل ۳-۳۱ ب رسم شده است. همان طور که ملاحظه می‌شود، هرچه قدرت سردکنندگی قالب بیشتر باشد، شیب نمودار بیشتر خواهد بود. به عنوان مثال قدرت سردکنندگی قالب‌های ماسه‌ای از قالب‌های فلزی کمتر است؛ بنابراین، شیب نمودار سرعت انجماد فولاد مذاب در قالب ماسه‌ای نسبت به شیب خط مربوط به انجماد در قالب فلزی کمتر است. از طرف دیگر، شیب نمودار سرعت انجماد فولاد مذاب در قالب تبرید شده از شیب خطوط مربوط به انجماد در دیگر قالب‌ها بیشتر است. یعنی مذاب در قالب تبریدی در زمان کمتری نسبت به قالب‌های دیگر منجمد می‌شود.



شکل ۳-۳۱- سرعت انجماد تابعی از زمان برای یک قالب با سطوح مسطح

براساس مطالعات انجام شده، در صورتی که فولاد مذاب با فوق‌گداز ۵۰ درجه سلسیوس در قالب فلزی ریخته شود، رابطه بین ضخامت قشر جامد شده با زمان انجماد به صورت زیر خواهد بود:

$$D = 22 / 85 \sqrt{t - 3}$$

اگر با استفاده از یک نوع فلز مذاب چند قطعه ریخته‌گی با ابعاد و اشکال مختلف در قالب‌های با جنس مشابه ریخته‌گری شود، ملاحظه می‌شود که هرچه حجم قطعه بیشتر باشد، قطعه به زمان بیشتری برای انجماد نیاز دارد و هرچه حجم قطعه کمتر باشد، زمان انجماد کمتر خواهد بود. البته میزان سطح کل قطعه نیز در زمان انجماد تأثیرگذار است؛ هرچه سطح قطعه بیشتر باشد، انتقال حرارت از قطعه به خارج بهتر صورت گرفته و در نتیجه، قطعه سریع‌تر منجمد می‌شود. و به همین ترتیب، سطح کل قطعه کوچکتر باشد، انتقال حرارت از قطعه به خارج کمتر صورت گرفته و زمان انجماد طولانی‌تر است. با توجه به این مساله، چورنیف قانونی را به دست آورد که براساس آن زمان لازم برای انجماد کامل مذاب به مجذور نسبت حجم به سطح قطعه بستگی دارد. به عبارت دیگر، خواهیم داشت:

$$\text{زمان انجماد قطعه} = K \left( \frac{\text{حجم قطعه}}{\text{سطح قطعه}} \right)^2$$

که در آن ثابت  $K$  به نحوه انجماد فلز مذاب بستگی دارد.

با توجه به رابطه فوق، اگر بخواهیم مکعبی فولادی به ضلع ۵ سانتی متر را ریخته‌گری کنیم، زمان لازم برای انجماد آن حدود یک چهارم ( $\frac{1}{4}$ ) زمان لازم برای انجماد مکعب فولادی به ضلع ۱۰ سانتی متر خواهد بود. لازم به ذکر است که فرض می‌شود فولاد مذاب در دمای یکسان به داخل هر دو قالب مکعب ریخته شده است. برای محاسبه نسبت زمان‌های انجماد دو مکعب، ابتدا حجم و سطح دو مکعب را محاسبه می‌کنیم و سپس در رابطه چورنیف قرار می‌دهیم و زمان‌های انجماد بدست آمده را بر یکدیگر تقسیم می‌کنیم. به این ترتیب، زمان لازم برای انجماد مکعب فولادی به طول ۵ سانتی متر به شکل زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{حجم مکعب} = 5 \times 5 \times 5 = 125 \text{ cm}^3 \quad \text{سطح کل مکعب} = 6 \times 5 \times 5 = 150 \text{ cm}^2$$

$$\left( \begin{array}{l} \text{زمان لازم برای انجماد} \\ \text{مکعب به طول ۵ سانتی متر} \end{array} \right) t_1 = K \left( \frac{\text{حجم مکعب}}{\text{سطح مکعب}} \right)^2$$

$$t_1 = K \left( \frac{125}{150} \right)^2$$

$$t_1 = K \left( \frac{25}{36} \right)$$

و زمان انجماد برای مکعب به طول ۱۰ سانتی متر به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{حجم مکعب} = 10 \times 10 \times 10 = 1000 \text{ cm}^3 \quad \text{سطح مکعب} = 6 \times 10 \times 10 = 600 \text{ cm}^2$$

$$\left( \begin{array}{l} \text{زمان لازم برای انجماد مکعب} \\ \text{به طول ۱۰ سانتی متر} \end{array} \right) t_2 = K \left( \frac{\text{حجم مکعب}}{\text{سطح مکعب}} \right)^2$$

$$t_2 = K \left( \frac{1000}{600} \right)^2$$

$$t_2 = K \left( \frac{25}{9} \right)$$

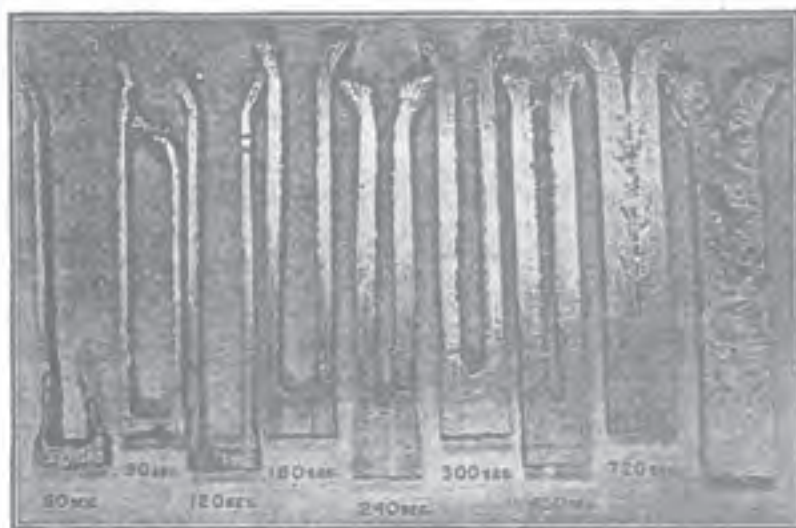
برای مقایسه زمان انجماد دو مکعب  $t_1$  را بر  $t_2$  تقسیم می‌کنیم.

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{K \left( \frac{25}{36} \right)}{K \left( \frac{25}{9} \right)} \Rightarrow \frac{t_1}{t_2} = \frac{9}{36} \Rightarrow \frac{t_1}{t_2} = \frac{1}{4}$$

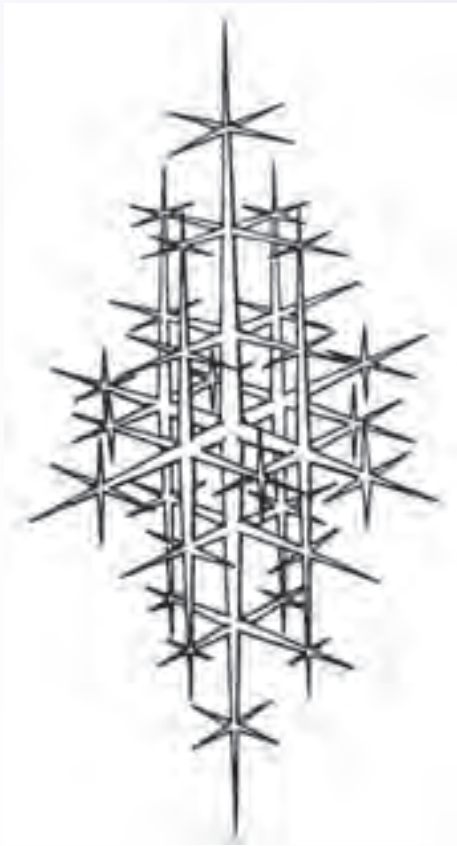
لازم به توضیح است که،  $K$  برای ریخته‌گری هر دو مکعب فولادی یکسان است. بنابراین زمان لازم برای انجماد مکعب به طول ۵ سانتی متر،  $\frac{1}{4}$  زمان لازم برای انجماد مکعب به طول ۱۰ سانتی متر است. رابطه چورنیف یک رابطه تقریبی است و تأثیر گوشه‌های قالب و عوامل مهم دیگر در آن در نظر گرفته نشده است. اما این رابطه به صورت الگویی در تخمین زمان انجماد مورد استفاده ریخته‌گران قرار می‌گیرد، ریخته‌گران با اندازه‌گیری زمان

انجماد قطعات ریخته‌گری و به کمک این رابطه مقدار  $K$  را به دست می‌آورند و از آن برای محاسبه زمان انجماد قطعات با اشکال دیگر از همان جنس فلز مذاب، استفاده می‌کنند.

همان‌طور که گفته شد، با استفاده از رابطه  $D = K\sqrt{t-c}$  می‌توان در هر لحظه انجماد، ضخامت لایه منجمد شده را به دست آورد. برای این منظور باید ضرایب ثابت  $K$  و  $C$  را با استفاده از روش‌های تجربی برای انجماد یک فلز مذاب مشخص در یک قالب معین به دست آورد. برای به دست آوردن این ثوابت به روش آزمایش، به عنوان مثال می‌توان چند قالب با ابعاد و جنس مشابه تهیه نمود و در آن‌ها به مقدار مساوی فلز مذاب با جنس یکسان ریخت، سپس در فواصل زمانی مختلف مذاب داخل قالب را تخلیه کرد و ضخامت لایه جامد شده را اندازه گرفت و در نهایت، باید زمان و ضخامت لایه منجمد شده را در رابطه  $D = K\sqrt{t-c}$  قرار داد و مقادیر  $K$  و  $C$  را به دست آورد. شکل ۳-۳۲، به طور شماتیک زمان انجماد و ضخامت لایه منجمد شده را در قالب‌های مشابه با فلز مذاب یکسان نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، هرچه زمان بیشتر شده، ضخامت قشر جامد شده نیز افزایش یافته است که با جای‌گذاری اندازه‌گیری ضخامت و پوسته منجمد شده و زمان انجماد آن در رابطه فوق، می‌توان مقادیر  $K$  و  $C$  را به دست آورد و از این رابطه برای ریخته‌گری قطعات مشابه استفاده کرد.



شکل ۳-۳۲



شکل ۳۳-۳. شکل شماتیک دندریت

هنگامی که مذاب داخل قالب ریخته می‌شود، به محض تماس با دیواره قالب یک لایه جامد در سطح دیواره قالب ایجاد می‌شود و در ادامه انجماد، این لایه به سمت مذاب پیشروی می‌کند تا قطعه به‌طور کامل منجمد شود. با توجه به نحوه خروج گرما از مذاب به خارج، این لایه جامد به صورت شاخ و برگ درخت کاج، که اصطلاحاً دندریت گفته می‌شود، در داخل مذاب رشد می‌کند و به طرف مرکز مذاب که گرم‌ترین منطقه قطعه ریخته‌گری است، پیش می‌رود و رشد آن تا انجماد کامل مذاب، ادامه می‌یابد. در شکل ۳۳-۳ نحوه رشد دندریتی به‌طور شماتیک نشان داده شده است؛ از لایه جامدشده ابتدایی در مجاورت دیواره قالب شاخ و برگ‌های جامد به‌وجود آمده، رشد این شاخ و برگ‌ها به سمت مرکز قطعه تا پایان انجماد مذاب ادامه می‌یابد.

هنگامی که مذاب در محفظه قالب در حال انجماد است، سه منطقه مختلف در قطعه ریختگی در حال انجماد قابل تشخیص است؛

۱- منطقه جامد (لایه جامد) که در مجاورت دیواره قالب بوده و از تماس مذاب با دیواره قالب ایجاد می‌شود.

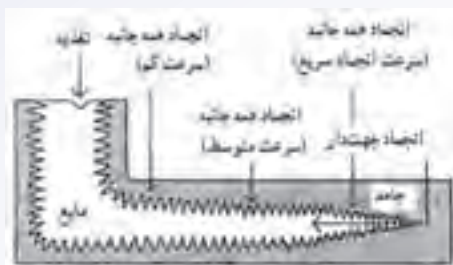
۲- منطقه خمیری که پس از منطقه جامد می‌باشد و از مخلوط مذاب و کریستال‌های جامد و دندریت تشکیل شده است.

۳- منطقه مذاب که پس از منطقه خمیری قرار دارد.

اندازه، شکل و ماهیت منطقه خمیری تأثیر زیادی بر کیفیت قطعه ریختگی دارد. به طوری که هرچه منطقه خمیری کوچکتر باشد، امکان به‌وجود آمدن مک‌های انقباض در قطعه کمتر است و در نتیجه، قطعه مرغوب‌تر خواهد بود.

به‌عنوان مثال، می‌توان انجماد یک قطعه ریختگی مطابق شکل ۳۴-۳ را نشان داد. در این حالت، قطعه دارای سه منطقه جامد، خمیری و مذاب می‌باشد. با توجه به شکل، مشخص می‌شود که در گوشه‌های خارجی جسم که از دو سطح گرما خارج می‌شود، مذاب سریع‌تر منجمد شده و در نتیجه، ضخامت لایه جامد بیشتر است

(مانند گوشه‌های سمت راست قطعه). اما در قسمت‌هایی که گوشه داخلی وجود دارد، به علت کم بودن انتقال حرارت از مذاب به خارج، ضخامت لایه منجمد شده کمتر است؛ در نتیجه، سرعت انجماد نیز در این نقاط کمتر است (مانند گوشه سمت چپ در قسمت بالای قطعه). همان‌طور که در شکل ۳-۳۴ ملاحظه می‌شود، در قسمت سمت چپ قطعه، از یک کانال اضافی مذاب یا تغذیه برای جبران و پر کردن حفره‌های انقباضی ایجاد شده در حین انجماد استفاده شده است.

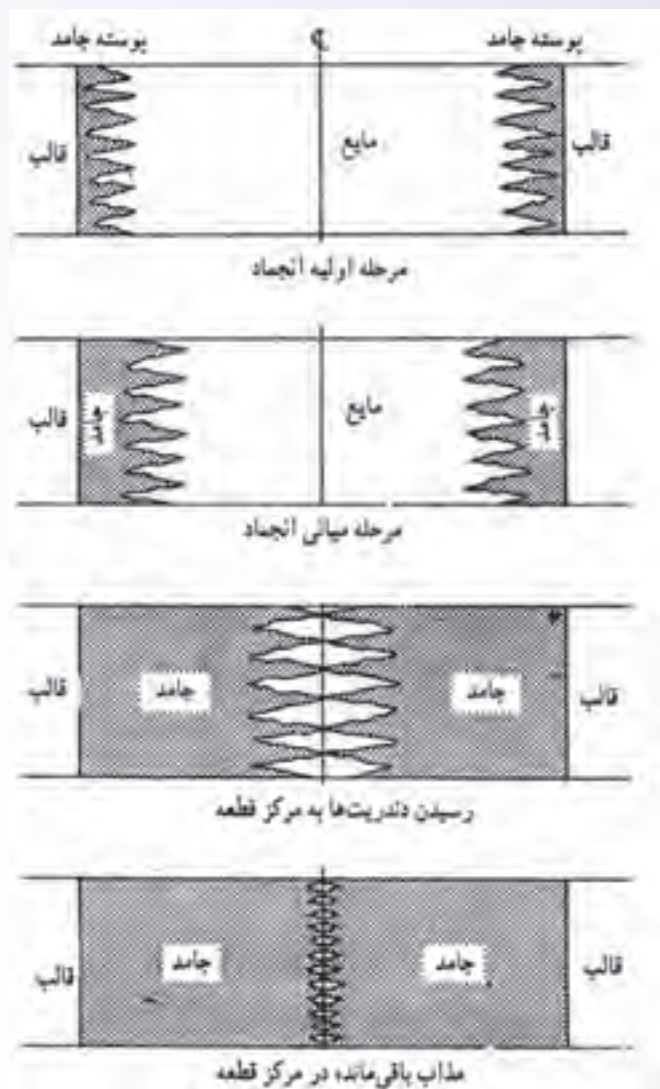


شکل ۳-۳۴- نحوه شماتیک رشد مذاب روی جداره قالب

با توجه به شکل ۳-۳۵، قسمت جامد در تماس با مذاب که در حال رشد می‌باشد و جبهه انجماد نامیده می‌شود، به صورت دندانانه دندانان و به شکل موجی به سمت مرکز قطعه پیشروی می‌کند. این دندانانها تا جایی رشد می‌کند که در مرکز قطعه از دو طرف به یکدیگر برسند. سپس، رشد آنها متوقف می‌شود و نمی‌توانند به حرکت خود ادامه دهند و در این حالت، مقداری مذاب بین این دندانانها باقی می‌ماند که در مرحله پایانی انجماد به جامد تبدیل می‌شوند. این مراحل انجماد در شکل ۳-۳۵ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، پس از رسیدن دندانانها به یکدیگر، مذاب باقی‌مانده در بین آنها در آخرین مرحله انجماد به جامد تبدیل می‌شود و در اثر انقباض در حین انجماد، حفره‌های انقباضی در مرکز قطعه به وجود می‌آید.

سرعت انجماد مذاب به هدایت حرارتی و ظرفیت حرارتی فلز مذاب و ماده قالب بستگی دارد. هرچه هدایت حرارتی و ظرفیت حرارتی فلز مذاب و ماده قالب بیشتر باشد، گرمای مذاب سریع‌تر به خارج منتقل شده و مذاب سریع‌تر منجمد می‌شود. به‌عنوان مثال، مذاب در قالب‌های فلزی و گرافیتی نسبت به مذاب در قالب ماسه‌ای سریع‌تر سرد شده و در نتیجه، سریع‌تر منجمد می‌شود.

همان‌طور که قبلاً گفته شد، بهترین نوع انجماد قطعه ریخته‌گری، انجماد جهت‌دار یا کنترل شده است که در آن انجماد مذاب از دورترین قسمت‌های قالب نسبت به تغذیه شروع شده و آخرین مرحله انجماد در تغذیه انجام می‌شود. در این حالت، حفرات و مک‌های انقباضی در تغذیه تشکیل می‌شوند. از طرف دیگر، گازها و ناخالصی‌های موجود در مذاب توسط جبهه انجماد به سمت تغذیه حرکت کرده و از قطعه رانده می‌شوند پس از انجماد، با جدا کردن تغذیه، به قطعه با کیفیت مناسب خواهیم رسید.



شکل ۳-۳۵- مراحل مختلف انجماد به طور شماتیکی

آلیاژهای با فاصله کم بین دمای لیکوئیدوس و سالییدوس، یا به عبارت دیگر دامنه انجماد کم، دارای منطقه خمیری کوتاهی در جبهه انجماد می‌باشد. از طرف دیگر، هرچه هدایت حرارتی قالب بیشتر باشد، شیب حرارتی مذاب و قالب بیشتر شده و در نتیجه، عرضی منطقه خمیری کمتر خواهد شد. کم شدن عرض منطقه خمیری سبب افزایش مرغوبیت قطعه ریختگی می‌شود. بنابراین، می‌توان با افزایش هدایت حرارتی قالب در دورترین قسمت‌های قالب نسبت به تغذیه، شیب حرارتی قالب را افزایش داد. برای این منظور، می‌توان قطعات فلزی از جنس مس و آلومینیم و چدن را در این مناطق قالب قرار داد تا شیب حرارتی قالب بیشتر شود. در نتیجه عرض منطقه خمیری کاهش یافته و مرغوبیت قطعه ریختگی افزایش می‌یابد.



## در پایان جلسه:

- جمع بندی مطالب این جلسه توسط هنرآموز
- تکالیف برای منزل هنرجویان: مطالعه متن درس و آمادگی برای آزمون جلسه آینده.

۱- حضور و غیاب

۲- پیش‌آزمون (به صورت کتبی، شفاهی، پاسخ کوتاه و ...)

۳- یادآوری مطالب جلسه قبل

### موضوع:

- چگونگی انجماد فلز در گوشه‌ها،

- چگونگی انجماد در آلیاژها.

برای تفهیم مطالب درسی و آمادگی ذهنی هنرجویان قبل از تدریس سؤالاتی که جنبه تفکر و مرور مطالب قبل دارد به صورت تعاملی با هنرجویان مطرح شود؛ سؤالاتی مانند:

۱- آیا انجماد فلز در قطعات مسطح با قطعات دارای گوشه، یکسان است؟

۲- به نظر شما نحوه انجماد مذاب در گوشه‌های قطعه چگونه است؟

۳- آیا امکان به وجود آمدن مک انقباضی در گوشه‌ها وجود دارد؟

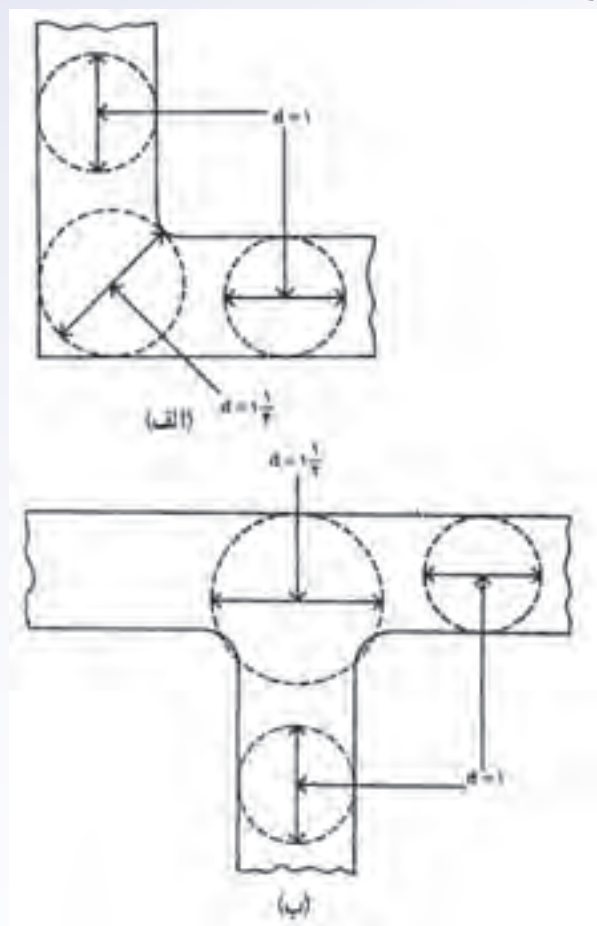
۴- آیا جبهه انجماد آلیاژها مانند فلزات خالص مسطح است؟

۵- آیا ساختار میکروسکوپی قطعه ریختگی از دانه‌های یکسان تشکیل شده است؟

۴-۳- چگونگی انجماد فلز در گوشه‌ها: تاکنون با چگونگی انجماد مذاب روی سطوح صاف قالب آشنا

شدیم. اما در گوشه‌های قطعه، نحوه انجماد مذاب با انجماد روی سطوح صاف متفاوت است معمولاً در گوشه‌های قالب، مانند گوشه‌های اتصال به شکل‌های T و L، مقدار مذاب بیشتر از سطوح صاف است، زیرا ضخامت قطعه در گوشه‌ها نسبت به ضخامت قطعه در سطوح صاف بیشتر است. بنابراین، انجماد مذاب در گوشه‌ها نسبت به سطوح صاف، آهسته‌تر صورت می‌گیرد. برای مشخص کردن اختلاف ضخامت قطعه در گوشه‌ها و قسمت‌های صاف قطعه کافی است دایره‌های محیطی در قسمت‌های صاف قطعه و گوشه‌های قطعه رسم کنیم و قطر آن‌ها را اندازه بگیریم. مشخص می‌شود که قطر دایره محیطی در گوشه‌های اتصال L شکل (مانند شکل ۳۶-۳ الف) و اتصال T شکل (مانند شکل ۳۶-۳ ب) از قطر دایره محیطی در قسمت‌های صاف قطعه بزرگتر است. حتی می‌توان

گفت دایره محیطی در محل اتصال T شکل از دایره محیطی در محل اتصال L شکل با ضخامت‌های یکسان در قسمت‌های صاف دو طرف بزرگتر است.



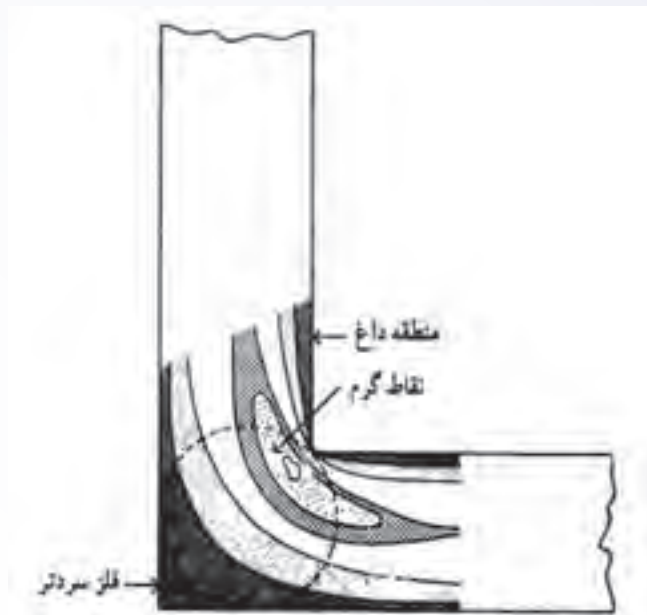
شکل ۳۶-۳. نحوه تعیین ضخیم ترین قسمت قطعه الف- اتصال L ب- اتصال T

با توجه به این که ضخامت در گوشه‌ها نسبت به قسمت‌های صاف بیشتر است، انجماد مذاب در آن‌ها آهسته‌تر بوده و در نتیجه، آخرین مرحله انجماد در گوشه‌ها صورت خواهد گرفت. یعنی، قسمت‌های صاف قطعه سریع‌تر منجمد شده و مذاب موجود در گوشه‌ها در آخرین مرحله انجماد، جامد می‌شوند. در نتیجه، امکان بوجود آمدن حفرات انقباضی در گوشه‌ها بسیار زیاد است. در قطعات L شکل، ضخیم‌ترین قسمت قطعه، محل اتصال قسمت‌های افقی و عمودی قطعه خواهد بود. بنابراین، در این نقاط امکان به وجود آمدن حفرات انقباضی وجود دارد. هم‌چنین در مورد قطعات T شکل، ضخیم‌ترین قسمت محل اتصال قسمت‌های افقی و عمودی قطعه است که در آن نقاط امکان تشکیل حفرات انقباضی نسبت به قسمت‌های دیگر بیشتر است، زیرا در آخرین مرحله انجماد، مذاب موجود در این قسمت به جامد تبدیل می‌شود.

اگر در هنگام انجماد قطعه L شکل، دما در نقاط مختلف در محل گوشه اندازه‌گیری شود و نقاطی که دارای

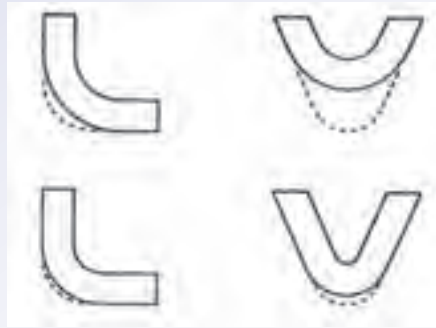
دمای یکسان هستند با یک خط به هم وصل شوند خطوطی به دست می‌آید که به نام خطوط ایزوترم یا همدمای معروف هستند (مطابق شکل ۳-۳۷) همان‌طور که در شکل نیز مشخص است، منطقه مشخص شده در گوشه، گرم‌ترین نقطه قطعه خواهد بود.

نحوه گسترش و ادامه انجماد یک قطعه L شکل توسط خطوط ایزوترم (هم‌دمای) در شکل ۳-۳۷ نشان داده شده است.



شکل ۳-۳۷- خطوط هم‌دمای در محل اتصال L شکل

بنابراین به دلیل ضخامت زیاد قطعه در گوشه‌ها، حفره انقباضی در این نقاط، که منطقه تمرکز حرارت در قطعه هستند، تشکیل خواهند شد. با توجه به این که، این گوشه‌ها دارای رأس تیز هستند، در قسمت داخلی آن‌ها انتقال حرارت نسبت به قسمت خارجی آن‌ها کمتر صورت می‌گیرد بنابراین، برای رفع این مشکل باید از گوشه‌های تیز اجتناب کرد و به جای آن‌ها از قوس‌های با شعاع مناسب استفاده کرد، تا انتقال حرارت از تمام نقاط در قسمت گوشه، چه داخلی و چه خارجی، به طور یکسان صورت گیرد. اگر قوس‌ها با شعاع مناسب انتخاب نشوند، منطقه تمرکز حرارتی در گوشه‌ها باقی خواهد ماند و در نتیجه، امکان تشکیل حفرات انقباضی افزایش خواهد یافت. برای رفع این مشکل باید قوس‌ها را، مطابق شکل ۳-۳۸، بزرگتر در نظر گرفت، تا از تمرکز حرارت در گوشه‌ها جلوگیری شود.



شکل ۳-۳۸

در قطعاتی که دارای شکل + (شکل ۳-۳۹ الف) هستند، معمولاً مرکز قطعه، به دلیل داشتن ضخامت بیشتر نسبت به قسمت‌های دیگر قطعه، دیرتر منجمد (در آخرین مرحله انجماد) می‌شود. بنابراین، احتمال به وجود آمدن حفره انقباضی در مرکز چنین قطعاتی بسیار زیاد است و حتی می‌توان گفت نسبت به قطعات با شکل‌های L یا V احتمال تشکیل حفره انقباضی بیشتر خواهد بود. بنابراین، باید به روشی از تمرکز حرارت در قسمت مرکزی قطعه جلوگیری کرد. به این منظور، در این قطعات از ماهیچه استفاده می‌شود تا قسمت مرکزی قطعه به صورت توخالی (شکل ۳-۳۹ ب) درآید. به این ترتیب، ضخامت قطعه در آن قسمت‌ها کاهش یافته، سریع‌تر منجمد شده و از به وجود آمدن حفرات انقباضی جلوگیری می‌شود. روش دیگر برای جلوگیری از تمرکز حرارتی در قسمت مرکزی قطعه، تغییر شکل قطعه به صورت شکل ۳-۳۹ ج است به شکلی که، قطعه دارای دو اتصال T شکل به جای شکل + می‌شود.



شکل ۳-۳۹

همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، با ایجاد حفره توخالی در قسمت مرکزی قطعه و یا تغییر شکل قطعه، تمرکز حرارتی از قسمت مرکزی قطعه برداشته شده است.

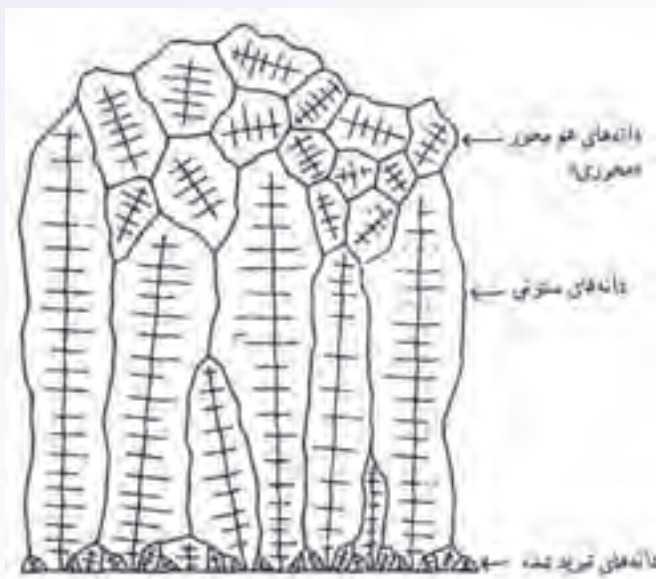
۳-۴-۵- چگونگی انجماد در آلیاژها: هنگامی که فلز خالص به داخل قالب ریخته می‌شود، ابتدا یک

پوسته جامد در مجاورت دیواره‌های قالب تشکیل می‌شود و با گذشت زمان ضخامت این لایه جامد افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر، فصل مشترک لایه جامد و مذاب تقریباً به صورت مسطح در داخل مذاب پیش می‌رود، تا زمانی که تمام مذاب به جامد تبدیل شود. اما در مورد آلیاژها، هنگامی که مذاب به داخل قالب ریخته می‌شود، به دلیل سرد بودن دیواره قالب ابتدا پوسته جامد در مجاورت دیواره قالب ایجاد می‌شود در اثر انجماد این پوسته، مقداری از عناصر آلیاژی موجود در آن، از طرف پوسته جامد در فصل مشترک جامد و مایع به داخل مذاب رانده می‌شود. این عناصر آلیاژی سبب می‌شوند که درصد عنصر آلیاژی در مذاب مجاور فصل مشترک جامد و مایع (جبهه انجماد) افزایش یابد این افزایش درصد عنصر آلیاژی سبب کاهش نقطه ذوب نسبت به فلز خالص شود. بنابراین، نحوه انجماد آلیاژ در این منطقه نسبت به فلز خالص متفاوت خواهد بود. در این حالت، جبهه انجماد مانند فلز خالص به صورت مسطح پیشروی نخواهد کرد، بلکه به صورت دندریتی در مذاب حرکت می‌کند؛ شاخ و برگ‌های متعددی در مذاب ایجاد کرده و به رشد خود ادامه می‌دهد. علت رشد دندریتی، به وجود آمدن مناطقی در مذاب است که نسبت به مناطق اطراف خود عنصر آلیاژی کمتری دارند. بنابراین، در آن مناطق، که اندازه آن‌ها کوچک است، جامدی به وجود می‌آید که در نهایت به شکل دندریت خواهد شد.

در این جا، ذکر این نکته لازم است که در فلزات خالص نیز با توجه به گرم‌تر بودن مرکز قطعه از قسمت‌های خارجی آن مذاب ممکن است به صورت دندریتی (دندانه دندانه) منجمد شود. اما به دلیل خالص بودن فلز، طول دندریت‌ها نسبت به طول دندریت در آلیاژ کوتاه‌تر خواهد بود. بدیهی است که، در صورت اضافه کردن عناصر آلیاژی در فلز خالص، طول دندریت‌ها افزایش خواهد یافت.

هنگامی که مذاب فلز به داخل قالب ریخته می‌شود به دلیل سرد بودن دیواره قالب و کاهش سریع دمای مذاب در ابتدا پوسته‌ای جامد در مجاورت دیواره قالب تشکیل می‌شود. از آن جا که مذاب در مجاورت دیواره قالب با سرعت زیاد منجمد می‌شود، پوسته جامد شامل کریستال‌های بسیار ریز خواهد بود، که به آن دانه‌های تبرید شده یا سریع سرد شده گفته می‌شود. علت تشکیل این لایه، ایجاد هسته‌های جامد بسیار زیاد در مذاب به علت کاهش سریع دمای مذاب می‌باشد. پس از تشکیل لایه جامد در مجاورت دیواره قالب، جبهه انجماد به صورت کریستال‌های دندریتی درشت رشد می‌کند، زیرا یک شیب حرارتی از لایه منجمد شده و دیواره قالب تا مرکز قطعه ایجاد می‌شود. در نتیجه، این کریستال‌ها به طرف مرکز قطعه، که دمای بالاتری نسبت به سایر نقاط دارد و منطقه تمرکز حرارتی قطعه است، با سرعت بیشتری رشد کرده و دانه‌های ستونی ایجاد می‌کند. جهت رشد کریستال‌های ستونی در جهت شیب حرارتی موجود در قالب است. به عبارت دیگر، جهت رشد ستون‌ها نشان‌دهنده جهت انجماد قطعه است. ذکر این نکته لازم است که سرعت سرد شدن مذاب و در نتیجه سرعت انجماد در این مرحله، کمتر از مرحله تشکیل پوسته جامد است. بنابراین کریستال‌های دندریتی ستونی به وجود آمده، درشت‌تر از دانه‌های تبرید شده در پوسته جامد اولیه است. رشد دانه‌های ستونی تا زمانی ادامه می‌یابد

که شیب حرارتی یا اختلاف دمای بین جامد و مذاب به شدت کاهش می‌یابد. در این صورت، رشد دانه‌های ستونی متوقف می‌شود و در مذاب باقی‌مانده در مرکز قطعه هسته‌های جامد به وجود می‌آید. این هسته‌ها می‌توانند در تمام جهات رشد کنند و برخلاف دانه‌های ستونی تنها در جهت انجماد رشد نمی‌کنند. در نتیجه، در این قسمت قطعه ریختگی، دانه‌ها یا کریستال‌های هم‌محور که در تمام جهات رشد کرده و به یکدیگر رسیده‌اند، به وجود می‌آید. در شکل ۴۰-۳، ساختمان ماکروسکوپی قسمتی از قطعه ریختگی نشان داده شده است.



شکل ۴۰-۳. نمای شماتیک مقطع جنبی یک قطعه ریختگی

همان‌طور که در شکل ملاحظه می‌شود، دانه‌های تبریدی که در سطح قالب ایجاد می‌شوند بسیار ریز هستند. بعد از تشکیل دانه‌های تبریدی، با توجه به جهت انجماد، دانه‌های ستونی به وجود آمده است و رشد آن‌ها تا زمانی ادامه یافته که در مذاب شیب حرارتی وجود داشته است. پس از دانه‌های ستونی، دانه‌های هم‌محور، که در تمام جهات رشد کرده‌اند، ایجاد شده است.

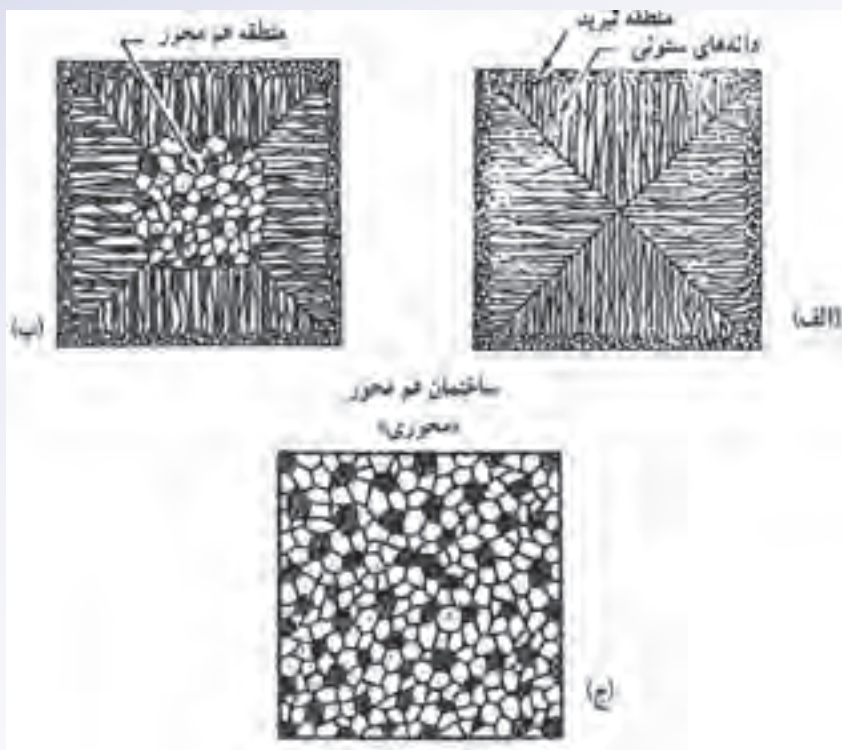
برای تعیین ساختار مناسب قطعه ریختگی لازم است که کاربرد آن قطعه مشخص شود. به عنوان مثال، در قطعاتی که با توجه به نوع استفاده آن‌ها نیاز به مقاومت به سایش و سختی بالای سطح دارند، بهتر است سطح قطعه از نوع دانه‌های تبرید شده باشد، زیرا این دانه‌ها ریز بوده و سختی و مقاومت به سایش بالاتری را نسبت به بقیه ساختارها از خود نشان می‌دهند. دانه‌های تبرید شده در شکل ۴۱-۳ الف نشان داده شده است. در این ساختار، سرعت انجماد به حدی بالا بوده است که ضخامت لایه شامل دانه‌های تبرید شده افزایش یافته است. پس از آن دانه‌های ستونی و در انتها، دانه‌های هم‌محور در مرکز قطعه ایجاد شده است. برای مثال اگر قطعه از آلومینیم یا آلیاژهای حاوی روی به روش ریخته‌گری تحت فشار در قالب‌های فلزی تولید شود، نسبت به قطعات

تولید شده به روش ریخته‌گری در قالب ماسه‌ای دارای سطوح با سختی زیادتری خواهند بود زیرا سرعت انجماد در روش تخت فشار نسبت به روش قالب ماسه‌ای بیشتر می‌باشد. بنابراین، برای تولید قطعاتی مانند دستگیره درب اتومبیل که در تماس مداوم با دست می‌باشند و احتمال سایش سطح آن‌ها زیاد است، بهتر است که مذاب در قالب فلزی ریخته شود، تا سطح قطعه از سختی و مقاومت به سایش بالاتری برخوردار باشد.

در شکل ۳-۴۱ ب، قطعه ریختگی با ساختمان کریستال‌های ستونی نشان داده شده است. در این قطعه، هنگامی که مذاب به داخل قالب ریخته شده، ابتدا دانه‌های تبرید شده در مجاورت دیواره قالب تشکیل شده است و سرعت انجماد به حدی بوده است که دانه‌های ستونی تا مرکز قطعه رشد کرده و دانه‌های هم‌محور در مرکز قطعه ایجاد نشده است. با توجه به این که رشد دانه‌های ستونی در جهت انجماد (خلاف جهت انتقال حرارت) می‌باشد و انجماد آن‌ها به صورت جهت‌دار است، حفره‌های گازی و ناخالصی‌ها در این ساختار بسیار کمتر از ساختمان دانه‌های هم‌محور به جود می‌آید. اما این قطعات در جهت رشد دانه‌های ستونی خواص مکانیکی بهتری نسبت به جهت عمود بر جهت رشد دانه‌ها نشان می‌دهند و مقاومت قطعه در جهت‌های دیگر مانند جهت عمود بر جهت رشد دانه‌ها بسیار کم است. بنابراین در هنگام استفاده از قطعات با ساختمان دانه‌های ستونی باید جهت نیروی اعمالی بر قطعه در جهت رشد دانه‌های ستونی باشد زیرا در غیر این صورت قطعه تنها مدت زمان کوتاهی در برابر نیروی اعمالی مقاومت می‌کند. به عنوان مثال، بهتر است پره‌های توربین دارای ساختمان کریستالی ستونی باشد چون، در جهت رشد دانه‌ها مقاومت بهتری در برابر نیروها از خود نشان می‌دهد. همچنین در مورد فلزات و آلیاژهای مغناطیسی، قطعات با ساختمان دانه‌های ستونی خواص مغناطیسی بهتری از خود نشان می‌دهند.

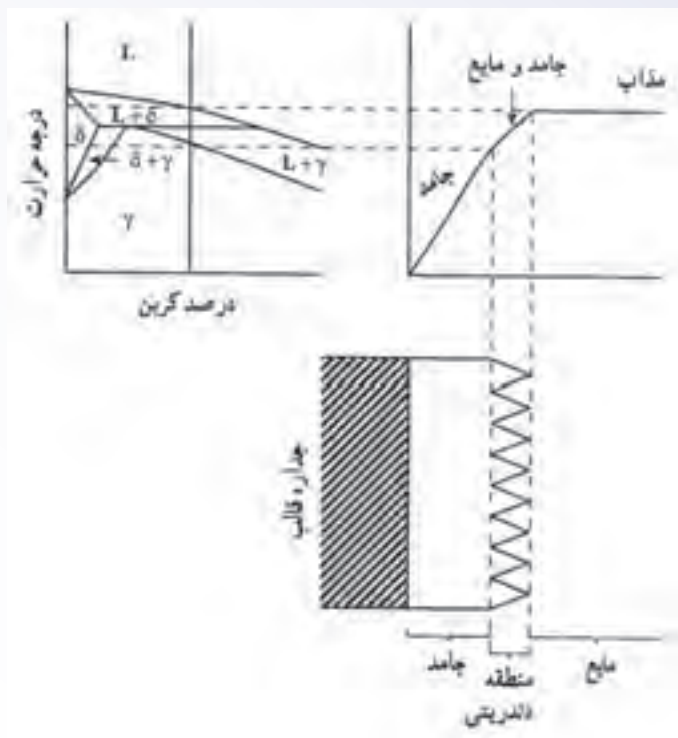
در شکل ۳-۴۱ ج - قطعه ریختگی با دانه‌ها هم‌محور نشان داده شده است. در این حالت، دانه‌ها در تمام جهات رشد یکسان دارند و انجماد آن‌ها جهت‌دار نیست. بنابراین خواص مکانیکی قطعه در تمام جهات تقریباً یکسان خواهد بود. به همین دلیل، ساختمان با دانه‌های هم‌محور بیشتر در طراحی قطعات مورد استفاده قرار می‌گیرد. می‌توان تقریباً در اکثر قطعات با کاربردهای معمول از فلز با دانه‌های هم‌محور استفاده کرد. برای ایجاد ساختمان هم‌محور در قطعه ریختگی در هنگام ریخته‌گری روش‌های مختلفی وجود دارد که مهم‌ترین آن‌ها، استفاده از مواد جوانه‌زا در مذاب است. به عنوان مثال، برای آلیاژهای آلومینیم از جوانه‌زاهای تیتانیم و بُر، برای آلیاژهای منیزیم، از کربن، برای چدن از سیلیسیم و برای فولاد از تیتانیم استفاده می‌شود.





شکل ۴۱-۳. نمونه دانه ها در فلز ریختگی

همان‌طور که توضیح داده شد عرض منطقه خمیری در جلوی جبهه انجماد تأثیر بسیار مهمی در کیفیت قطعات ریختگی دارد؛ به طوری که، هرچه عرض منطقه خمیری بیشتر باشد، احتمال ایجاد مک‌های انقباضی و گازی بیشتر است زیرا در هنگام انجماد در منطقه خمیری، به علت عرض زیاد این منطقه، امکان باقی ماندن و به تله افتادن گازها و ناخالصی‌ها در بین شاخه‌های دندریت ایجاد شده در آن منطقه بیشتر است. از طرف دیگر، در حین انجماد، مذاب باقی مانده بین شاخه‌های دندریت ارتباط خود را با مذاب قسمت‌های دیگر از دست می‌دهد. بنابراین هنگامی که این مذاب منجمد می‌شود، امکان مذاب‌رسانی از قسمت‌های دیگر قطعه به آن قسمت وجود ندارد و انقباض در حین انجماد سبب به وجود آمدن حفره‌های انقباضی در آن قسمت قطعه می‌شود زیرا این حالت در آلیاژهای با دامنه انجماد زیاد که منطقه خمیری با عرض زیادی دارند و وقتی سرعت انجماد به حدی کم است که شیب حرارتی بین مذاب و قالب کم می‌شود، به وجود می‌آید، اما، در آلیاژهای با دامنه انجماد کوتاه، عرض منطقه خمیری کمتر بوده و امکان به تله افتادن ناخالصی و مک‌های گازی در بین شاخه‌های دندریت و ایجاد مک‌های انقباضی کمتر است. بنابراین، قطعه مرغوب‌تر خواهد بود. شکل ۴۲-۳، ارتباط دامنه انجماد (فاصله دمایی بین دمای لیکوئیدوس و سالییدوس) و شیب حرارتی (اختلاف بین دمای مذاب و جامد تشکیل شده و قالب) با عرض منطقه خمیری را نشان می‌دهد.



شکل ۴۲-۳. رابطه بین نمودار تعادل آهن و کربن (برای فولاد با ۰/۳ درصد کربن) و رفتار انجماد آن

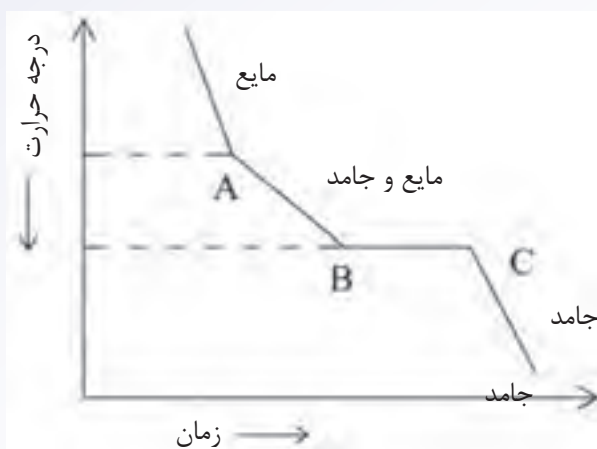
همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، هرچه دامنه انجماد یا فاصله دمایی بین دمای لیکوئیدوس و سالییدوس بیشتر باشد، عرض منطقه خمیری نیز بیشتر خواهد بود و برعکس. از طرف دیگر، هرچه شیب حرارتی در جبهه انجماد یا اختلاف دمای بین مذاب و جامد تشکیل شده و قالب بیشتر باشد، یعنی، انتقال حرارت از طریق جامد تشکیل شده و قالب بهتر صورت گیرد، عرض منطقه خمیری کمتر خواهد شد.

### در پایان جلسه:

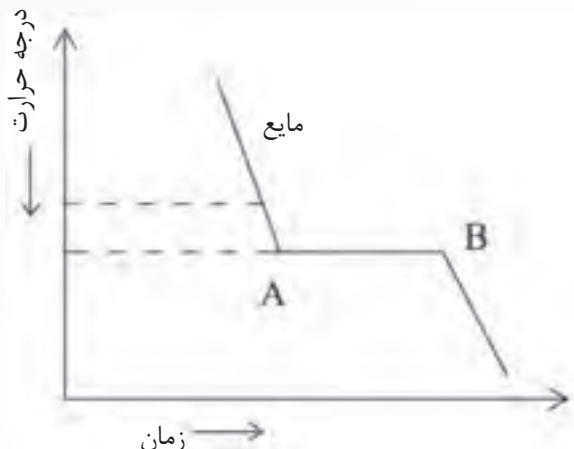
- جمع بندی مطالب این جلسه توسط هنرآموز
- تکالیف برای منزل هنرجویان: مطالعه متن درس و آمادگی برای آزمون جلسه آینده.

## ارزشیابی (۳)

- ۱- تأثیر افزودن عناصر آلیاژی به فلزات خالص از نظر ریخته‌گری چیست؟ نمودار سردشدن را برای فلز خالص و آلیاژ رسم نمایید.
- ۲- مراحل انقباض فلزات را هنگام انجماد شرح دهید.
- ۳- نمودارهای سردشدن مذاب (الف و ب) هر کدام مربوط به انجماد چه فلز و یا آلیاژی هستند؟ توضیح دهید.



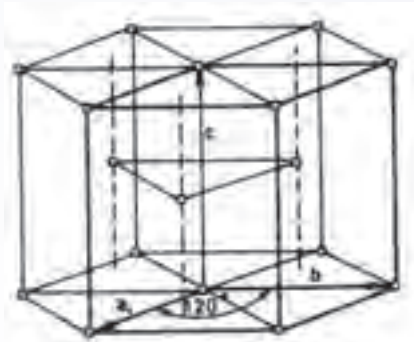
(ب)



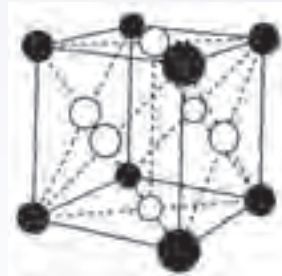
(الف)

- ۴- الف) آلیاژهای یوتکتیک را توضیح دهید.
- ب) ساختمان آلیاژهای یوتکتیک چگونه است؟
- ۵- انواع انجماد را نام ببرید.
- ۶- سه نوع شبکه کریستالی مهم در فلزات را نام ببرید. سلول واحد هر یک را با رسم شکل نشان دهید.
- ۷- انجماد همه‌جانبه را همراه با رسم شکل توضیح دهید.
- ۸- انواع دانه‌هایی را که در حین انجماد فلزات و آلیاژها به وجود می‌آیند نام ببرید.
- ۹- نمودار سردشدن مذاب آلیاژی را که عناصر تشکیل‌دهنده آن در یکدیگر حل شده‌اند رسم کنید.
- ۱۰- انجماد جهت‌دار یا کنترل‌شده را با رسم شکل توضیح دهید.
- ۱۱- مادون انجماد را تعریف کنید.

- ۱۲- جدایش را تعریف نموده و بگویید چگونه می‌توان آن را از بین برد.
- ۱۳- انجماد فلزات خالص به چند صورت انجام می‌شود؟ نام برده و توضیح دهید.
- ۱۴- چگونگی تشکیل دانه‌های تبریدی را شرح دهید. کاربرد این نوع دانه‌ها در چه نوع قطعاتی است؟
- ۱۵- نام هریک از شبکه‌های کریستالی (سیستم‌های بلوری) نشان داده شده در شکل الف و ب را بنویسید.

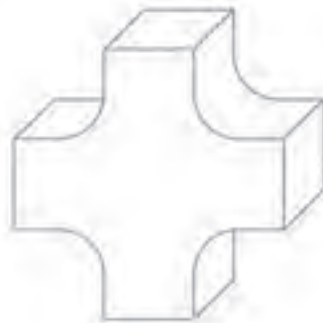


(ب)



(الف)

- ۱۶- خواص مکانیکی ساختارهای با دانه‌های ستونی و دانه‌های هم‌محور چه تفاوتی دارند؟
- ۱۷- نمودار سردشدن مذاب فلز خالص و آلیاژ (آلیاژی که عناصر آن در یکدیگر حل شده باشند) را جداگانه رسم نموده و تفاوت‌های بین آن نمودارها را با دلیل توضیح دهید.
- ۱۸- جامد شدن سریع مذاب در قالب چه اثری بر قطعات ریختگی دارد؟ توضیح دهید.
- ۱۹- در قطعه مطابق شکل زیر، که قالب آن به سرعت از مذاب پر شود، حفره انقباضی در کدام قسمت تشکیل خواهد شد؟ دلیل آن را توضیح دهید.



### اصول تغذیه‌گذاری در قطعه‌های ریختگی

#### هدف

- ۱- آشنایی با نحوه انجماد آلیاژهای با دامنه انجماد کوتاه، طولانی و میانی.
- ۲- آشنایی با اصول تغذیه در آلیاژهای با دامنه انجماد کوتاه، میانی و طولانی.
- ۳- آشنایی با محل تغذیه و انجماد جهت دار
- ۴- آشنایی با اجزای تغذیه
- ۵- آشنایی با انواع تغذیه
- ۶- آشنایی با روش‌های افزایش راندمان تغذیه.

#### مفاهیم کلی

- ۱- تغذیه‌گذاری و انقباض فلزات
- ۲- انجماد آلیاژهای مختلف با دامنه انجماد متفاوت و نحوه تغذیه‌گذاری در آن‌ها.
- ۳- تعیین عمل مناسب تغذیه
- ۴- اجزای تغذیه
- ۵- انواع تغذیه
- ۶- روش‌های افزایش کارایی تغذیه

#### مفاهیم اساسی

- ۱- تغذیه‌گذاری در ریخته‌گری عملی است برای جبران تغییرات حجمی فلز در حالت مایع و حین انجماد به منظور تولید قطعات ریختگی عاری از عیوب انقباضی
- ۲- هنگامی که مذاب سرد می‌شود، سه نوع انقباض در آن اتفاق می‌افتد، انقباض در حالت مایع، انقباض در حین انجماد و انقباض در حالت جامد.
- ۳- انقباض در حالت جامد در مدلسازی جبران می‌شود و اما انقباض در حالت مذاب و حین انجماد با مذاب اضافی یا تغذیه جبران می‌شود.
- ۴- وظیفه اصلی تغذیه، متمرکز کردن انقباض مذاب و فراهم آوردن امکان مذاب‌رسانی به

قسمت‌های در حال انجماد قطعه ریختگی است.

۵- آلیاژها از نظر نحوه انجماد به سه گروه، آلیاژهای با دامنه انجماد کوتاه (کمتر از  $50^{\circ}\text{C}$ )، آلیاژهای با دامنه انجماد متوسط (بین  $50^{\circ}\text{C}$  تا  $110^{\circ}\text{C}$ ) و آلیاژهای با دامنه انجماد طولانی (بیشتر از  $110^{\circ}\text{C}$ ) تقسیم می‌شوند.

۶- در آلیاژهای با دامنه انجماد کوتاه یا با انجماد پوسته‌ای، جبهه انجماد تقریباً صاف و هموار است.

۷- در آلیاژهای با دامنه انجماد طولانی یا با انجماد خمیری، انجماد در اطراف جداره قالب به صورت پوسته‌ای شروع می‌شود. اما پس از آن به صورت خمیری (مخلوط مذاب و جامد) ادامه می‌یابد.

۸- در آلیاژهای با دامنه انجماد کوتاه، معمولاً حفرات انقباضی در قسمت‌های ضخیم، یا به عبارت دیگر در گرم‌ترین قسمت قطعه، به وجود می‌آید.

۹- در آلیاژهای با دامنه انجماد طولانی، مک‌های انقباضی درشت در گرم‌ترین قسمت قطعه و مک‌های انقباضی ریز به صورت پراکنده در تمام قسمت‌های قطعه به وجود می‌آید.

۱۰- در آلیاژهای با دامنه انجماد متوسط یا انجماد میانی، انجماد به صورت پوسته‌ای از جداره قالب شروع شده و پس از آن به صورت ترکیبی از دو حالت پوسته‌ای و خمیری ادامه می‌یابد.

۱۱- افزایش سرعت سرد کردن در تغییر نحوه انجماد از حالت خمیری به پوسته‌ای بسیار مؤثر است.

۱۲- جهت انجماد در تعیین محل مناسب تغذیه مهم است به طوری که بهتر است انجماد از دورترین قسمت قطعه نسبت به تغذیه آغاز شود، به صورت جهت‌دار ادامه یابد و در تغذیه پایان یابد.

۱۳- عوامل مؤثر بر جهت انجماد عبارتند از: نوع آلیاژ و مدل انجماد آن، ابعاد محفظه قالب و نحوه طراحی قطعه ریختگی.

۱۴- تغذیه باید در مجاورت نقاطی از قطعه ریختگی قرار گیرد که از نقاط دیگر گرم‌تر باشند.

۱۵- نقاط گرم در یک قطعه ریختگی عبارتند از: نقاطی که حجم مذاب در آن‌ها بیشتر از قسمت‌های دیگر قطعه است و گوشه‌های داخلی که در مجاورت این نقاط باشد. زیرا انتقال حرارت در آن‌ها به کندی انجام می‌شود.

۱۶- تغذیه باید در محلی قرار داده شود که کمترین حجم مذاب در آن وجود داشته باشد و به کمک تغذیه، عمل مذاب‌رسانی به صورت کامل انجام گیرد.

۱۷- اجزای تغذیه عبارتند از: منبع تغذیه و گلوبی تغذیه

۱۸- منبع تغذیه به محلی گفته می‌شود که مذاب لازم را برای جبران انقباض حجمی مذاب و انقباض حین انجماد فراهم کند.

۱۹- منبع تغذیه باید: الف) اندازه مناسب داشته باشد.

ب) در محل مناسب قرار گیرد.

ج) در زمان مناسب منجمد شود.

۲۰- محل اتصال قطعه به تغذیه، گلوبی تغذیه گفته می‌شود.

۲۱- انجماد جهت‌دار از قطعه به تغذیه و مذاب‌رسانی صحیح از تغذیه به قطعه هنگامی امکان‌پذیر می‌شود که زمان انجماد گلوبی ( $t_n$ ) بین زمان انجماد قطعه ( $t_c$ ) و زمان انجماد تغذیه ( $t_r$ ) قرار گیرد. به عبارت دیگر مدول گلوبی ( $M_n$ ) بین مدول قطعه ( $M_c$ ) و مدول تغذیه ( $M_r$ ) قرار گیرد.

$$t_r > t_n > t_c$$
$$M_r > M_n > M_c$$

۲۲- رابطه عمومی برای مدول گلوبی برابر است با:

$$M_n = 1/2 M_c$$

۲۳- رابطه مدول گلوبی در مورد آلیاژهای با انجماد پوسته‌ای عبارت است از:

$$M_n = 1/1 M_c$$

۲۴- به منظور کاهش هزینه جدا کردن تغذیه از قطعه از ماهیچه برشی استفاده می‌شود.

۲۵- تغذیه براساس محل قرار گرفتن آن و ارتباط با سیستم راهگاهی، به سه روش تقسیم‌بندی

می‌شود:

- تقسیم‌بندی تغذیه براساس قرار گرفتن تغذیه قبل یا بعد از محفظه قالب.

- تقسیم بندی تغذیه براساس موقعیت قرار گرفتن تغذیه نسبت به قطعه ریختگی.

- تقسیم‌بندی تغذیه براساس ارتباط تغذیه با اتمسفر محیط.

۲۶- انواع تغذیه براساس محل قرار گرفتن تغذیه، قبل یا بعد از محفظه قالب عبارتند از: تغذیه

گرم و تغذیه سرد.

۲۷- در تغذیه گرم، تغذیه بین راهباره و قطعه قرار می‌گیرد و مذاب موجود در تغذیه گرم‌تر از مذاب موجود در قطعه است.

۲۸- در تغذیه سرد، قطعه بین راهباره و تغذیه قرار می‌گیرد و مذاب داخل تغذیه نسبت به

قطعه سردتر است.

۲۹- انواع تغذیه براساس موقعیت قرارگرفتن تغذیه نسبت به قطعه عبارتند از:

الف) تغذیه بالایی

ب) تغذیه کناری

ج) تغذیه لب به لب (گوشه بالا)

د) تغذیه از بالا که وظیفه راهگاه بارریز را نیز به عهده دارد.

ه) تغذیه از بالا که جزیی از قسمت بالایی قطعه به شمار می‌رود.

۳۰- انواع تغذیه براساس ارتباط تغذیه با اتمسفر محیط عبارتند از: تغذیه باز و تغذیه کور

۳۱- در تغذیه باز، قسمت بالای منبع تغذیه با هوای محیط در تماس است.

۳۲- در تغذیه کور، تمام اطراف تغذیه به جزء محل اتصال با قطعه ریختگی، با ماسه احاطه

شده است.

۳۳- کمک تغذیه روشی است که به منظور بهبود کیفیت قطعه ریختگی، بالابردن راندمان

ریخته‌گری و درنتیجه، کاهش قیمت تمام‌شده استفاده می‌شود. کمک تغذیه سبب افزایش شیب

دمایی از تغذیه به قطعه می‌شود.

۳۴- روش‌های کمک تغذیه عبارتند از:

- استفاده از مواد عایق و گرمازا

- استفاده از میرد

- تغییر در طراحی سیستم راهگاهی و بارریزی

- تغییر در طراحی قطعات و مدل

- کنترل دمای بارریزی

۳۵- استفاده از مواد عایق و گرمازا سبب ایجاد شیب دمایی مناسب از تغذیه به قطعه و کاهش

قابل توجه حجم تغذیه می‌شود.

۳۶- میردها از جنس موادی هستند که هدایت حرارتی بالایی دارند و به منظور افزایش شیب

دمایی از تغذیه به قالب استفاده می‌شوند.

۳۷- دو نوع میرد وجود دارد، که عبارتند از: ۱- میردهای خارجی ۲- میردهای داخلی

۳۸- اصلاح سیستم راهگاهی و بارریزی سبب کاهش مک‌های انقباضی و بهبود کیفیت قطعه

ریختگی می‌شود.

۳۹- تغییر در طراحی بعضی قطعات ریختگی می‌تواند موجب بهبود مذاب‌رسانی و درنتیجه،



تولید قطعه سالم شود.

- ۴۰- دمای بارریزی پایین، سبب کاهش اثر تغذیه خواهد شد.
- ۴۱- دمای بارریزی بالا، سبب افزایش حفره‌های انقباضی می‌شود.

## انتظارات آموزشی

### الف) در سطح دانش

- ۱- تغذیه‌گذاری را تعریف کند.
- ۲- انواع انقباض در هنگام سرد کردن مذاب تا رسیدن جامد به دمای محیط را نام ببرد.
- ۳- انواع آلیاژها را براساس دامنه انجماد تقسیم‌بندی کند.
- ۴- عوامل مؤثر بر جهت انجماد را نام ببرد.
- ۵- اجزای تغذیه را نام ببرد.
- ۶- منبع تغذیه را تعریف کند و سه شرط اصلی آن را نام ببرد.
- ۷- گلوئی تغذیه را تعریف کند.
- ۸- ماهیچه برشی را تعریف کند.
- ۹- انواع تغذیه را تقسیم‌بندی نماید.
- ۱۰- تغذیه گرم و تغذیه سرد را تعریف کند.
- ۱۱- انواع تغذیه را براساس موقعیت قرارگرفتن تغذیه نسبت به قطعه نام ببرد.
- ۱۲- تغذیه باز و تغذیه کور را تعریف کند.
- ۱۳- کمک تغذیه را تعریف کند.
- ۱۴- روش‌های کمک تغذیه را نام ببرد.
- ۱۵- مبرد را تعریف کند و انواع آن را نام ببرد.

### ب) در سطح درک و فهم مطالب

- ۱- انقباض فلزات را از حالت جامد به مایع توضیح دهد.
- ۲- وظیفه اصلی تغذیه را شرح دهد.
- ۳- نحوه انجماد فلزات و آلیاژهای با دامنه انجماد کوتاه، متوسط و طولانی را توضیح دهد.
- ۴- مراحل انجماد خمیری را شرح دهد.
- ۵- عوامل مؤثر در تعیین محل تغذیه را توضیح دهد.

- ۶- عوامل مؤثر بر جهت انجماد را شرح دهد.
- ۷- دلایل به وجود آمدن نقاط گرم در قطعات ریختگی را توضیح دهد.
- ۸- اثر گلوئی تغذیه بر نحوه انجماد قطعه تغذیه را توضیح دهد.
- ۹- نحوه مذاب‌رسانی در تغذیه‌های گرم و سرد را شرح دهد.
- ۱۰- نحوه عملکرد تغذیه باز را تشریح کند.
- ۱۱- نحوه عملکرد تغذیه کور را تشریح کند.
- ۱۲- تأثیر استفاده از عایق و گرمازا را بر راندمان تغذیه توضیح دهد.
- ۱۳- نحوه عملکرد مبردهای داخلی و خارجی را شرح دهد.
- ۱۴- اثر اصلاح سیستم راهگامی و بارریزی را بر افزایش راندمان تغذیه توضیح دهد.

### ج) سطح کاربرد معلومات

- ۱- نحوه جبران انقباض در هنگام انجماد فلزات را توضیح دهد.
- ۲- نحوه انجماد آلیاژهای با دامنه انجماد کوتاه، متوسط و طولانی را با یکدیگر مقایسه کند.
- ۳- نحوه تشکیل حفره انقباضی در آلیاژهای با دامنه انجماد کوتاه، متوسط و طولانی را توضیح دهد.
- ۴- ابعاد گلوئی تغذیه را مشخص کند.
- ۵- نحوه عملکرد تغذیه باز و کور را با یکدیگر مقایسه کرده و مورد بررسی قرار دهد.

### د) سطح تجزیه و تحلیل

- ۱- انقباض در مراحل مختلف سرد شدن مذاب تا رسیدن به جامد در دمای محیط رامقایسه کند.
- ۲- نحوه انجماد دو قطعه را، یکی با تغذیه و دیگری بدون تغذیه، مورد تجزیه و تحلیل قرار دهد.
- ۳- تغذیه‌گذاری در آلیاژهای با دامنه انجماد کوتاه، متوسط و طولانی را با یکدیگر مقایسه کند.
- ۴- اثر سرعت سرد کردن را بر نحوه انجماد آلیاژهای با دامنه انجماد متوسط، مورد بررسی قرار دهد.
- ۵- تغییرات شیب دمایی در تغذیه‌های گرم و سرد را مورد تجزیه و تحلیل قرار دهد.

### ه) در سطح ترکیب و نوآوری

- ۱- نحوه انجماد یک آلیاژ مذاب را در قالب ریخته‌گری پیش‌بینی نماید.
- ۲- نحوه انتقال حرارت از قسمت‌های مختلف قطعه را مشخص نماید.

- ۳- نحوه تغذیه گذاری در یک قطعه ریختگی داده شده را با ذکر علت توضیح دهد.
- ۴- نحوه انجماد یک آلیاژ را با توجه به دامنه انجماد پیش بینی نماید.
- ۵- محل تغذیه در یک قطعه داده شده را با توجه به نوع آلیاژ مشخص نماید.
- ۶- با استفاده از روش های کمک تغذیه در ریخته گری یک قطعه، راندمان تغذیه را افزایش دهد.

زمان پیش بینی شده برای تدریس این فصل، ۶ جلسه ۱۰۰ دقیقه ای برای تدریس و ۱ جلسه ۱۰۰ دقیقه ای برای ارزشیابی است.

۱- حضور و غیاب

۲- پیش‌آزمون از مطالب جلسه قبل (به‌صورت کتبی، شفاهی و پاسخ کوتاه و ...)

۳- یادآوری خلاصه‌ای از مطالب فصل قبل

## موضوع

– انقباض فلزات و لزوم استفاده از تغذیه،

– تغذیه در قطعه‌های ریختگی

– انجماد و اصول تغذیه

بهتر است هنرآموز در شروع هر جلسه درسی با انواع پرسش‌های مرتبط با موضوع درس، هنرجو را در زمینه یادگیری، فعال نماید و بحث‌سؤالات را به‌صورت تعاملی با هنرجویان ادامه دهد. سؤال‌هایی مانند:

۱- چه نوع انقباض‌هایی در هنگام انجماد مذاب از دمای فوق‌گداز تا دمای محیط اتفاق می‌افتد؟

۲- به چه روشی می‌توان انقباض‌های ایجاد شده در هنگام انجماد مذاب و دمای محیط را جبران کرد؟

۳- آیا نحوه انجماد همه آلیاژها یکسان است؟

۴- آیا می‌توان با استفاده از یک کانال اضافی مذاب در قالب، انقباض‌های ایجاد شده در قطعه را جبران کرد؟

### ۴-۱- انقباض فلزات و لزوم استفاده از تغذیه

هنگامی که مذاب آلیاژی به داخل قالب ریخته می‌شود، با گذشت زمان گرمای خود را به دیواره‌های قالب منتقل می‌کند و دمای مذاب کاهش می‌یابد تا به دمای لیکوئیدوس برسد. در این دما، اولین ذرات جامد از مذاب به‌وجود می‌آید. با ادامه سرد کردن مذاب، به تدریج جامد شکل گرفته رشد نموده تا در دمای سالییدوس مذاب به‌طور کامل به جامد تبدیل شود. سپس، با ادامه سرد کردن، دمای جامد شکل گرفته کاهش می‌یابد تا به دمای محیط برسد.

با توجه به این که دمای مذاب در حال کاهش است، حجم مذاب از دمای فوق‌گداز تا دمای لیکوئیدوس کاهش می‌یابد؛ که به اصطلاح منقبض می‌شود. انقباض ایجاد شده در این حالت را انقباض در حالت مایع یا مذاب می‌نامند. از دمای لیکوئیدوس تا دمای سالییدوس، که اولین ذرات جامد شکل گرفته و رشد می‌کنند تا قطعه به‌طور کامل جامد شود، حجم قطعه و مذاب به تدریج در حال کاهش است. این کاهش حجم، ناشی از تغییرات

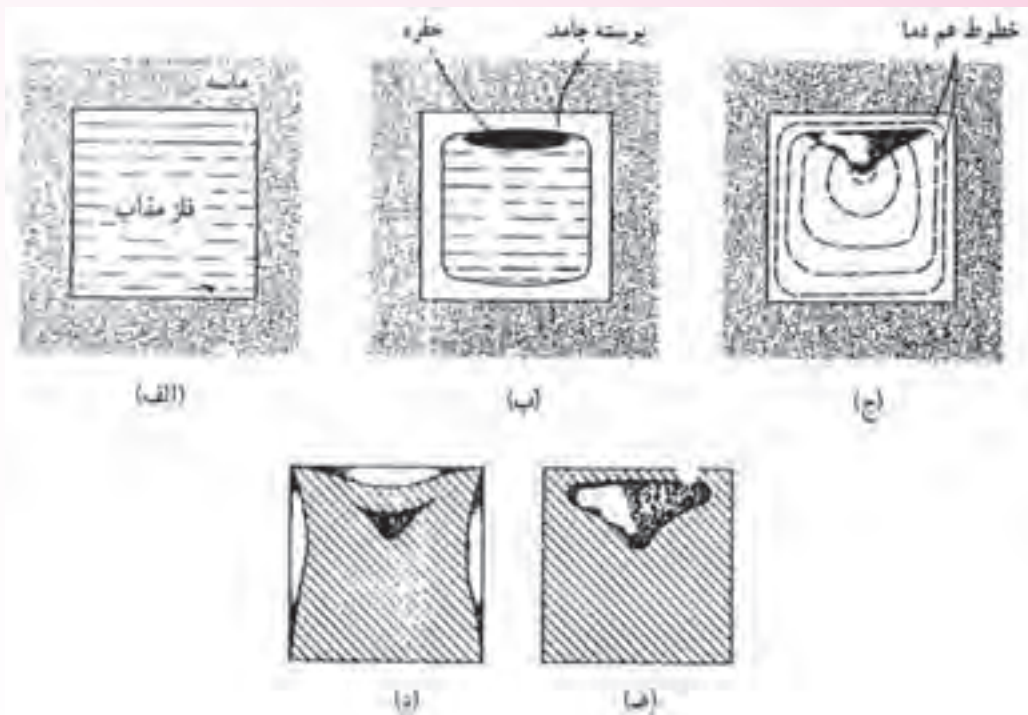
ساختاری در هنگام تبدیل از حالت مذاب به حالت جامد است، که به آن انقباض حین انجماد گفته می‌شود. از دمای سالیدوس تا دمای محیط، حجم جامد به مقدار کمی کاهش می‌یابد که به آن انقباض در حالت جامد گفته می‌شود.

بنابراین پس از ریختن مذاب به داخل قالب در خلال سرد شدن سه نوع انقباض در آن ایجاد می‌شود که عبارتند از: انقباض مذاب، انقباض حین انجماد و انقباض حالت جامد. در هر مرحله حجم قطعه در حال کاهش است. بنابراین، حجم نهایی قطعه جامد شده نسبت به حجم محفظه، قالب کمتر خواهد بود. کاهش حجم سبب کاهش ابعاد قطعه تولید شده نسبت به مدل اولیه و یا به وجود آمدن حفراتی تو خالی در قطعه، به نام حفرات انقباض، می‌شود. در هر دو صورت، قطعه قابل استفاده نخواهد بود و معیوب است. بنابراین، برای جلوگیری از معیوب شدن قطعات در حین ریخته‌گری، باید با استفاده از روش‌هایی، انقباض‌های ایجاد شده در خلال سرد شدن را جبران کرد تا بتوان به قطعه‌ای سالم و بدون عیب رسید.

انقباض در حالت مذاب را می‌توان با اضافه نمودن مقداری مذاب جبران کرد. همچنین، انقباض در حین انجماد را نیز می‌توان با در نظر گرفتن شرایطی با استفاده از اضافه کردن مذاب تقریباً جبران نمود. اما انقباض ایجاد شده در حالت جامد را نمی‌توان با مذاب اضافی جبران کرد. برای این منظور، بهتر است که در هنگام ساخت مدل مقدار انقباض ایجاد شده در حالت جامد را به ابعاد مدل اضافه نمود تا پس از انجماد مذاب و رسیدن به دمای محیط، ابعاد قطعه جامد برابر با ابعاد موردنظر گردد. به همین دلیل، انقباض حین انجماد در مرحله مدل‌سازی در نظر گرفته می‌شود و ابعاد بزرگتر از قطعه موردنظر در نظر گرفته می‌شود تا پس از ریخته‌گری و رسیدن به دمای محیط، به اندازه واقعی خود برسد.

در شکل ۱-۴، مراحل انجماد مذاب در یک قالب ریخته‌گری به همراه انقباض‌های ایجاد شده، نشان داده شده است.

همان‌طور که در شکل نشان داده شده است، پس از ریختن مذاب به داخل قالب، پوسته جامد در مجاورت دیواره قالب به وجود می‌آید و در اثر انقباض در حالت مذاب و انقباض ایجاد شده در اثر تشکیل پوسته جامد، حجم مذاب و جامد تشکیل شده کاهش یافته و حفره‌ای مطابق شکل ۱-۴-ب در قطعه ایجاد می‌شود. با ادامه سرد شدن قطعه، مذاب باقیمانده منجمد شده و در اثر انقباض در حین انجماد مذاب باقیمانده، حفره ایجاد شده بزرگتر شده است (مطابق شکل ۱-۴-ج). پس از انجماد کامل مذاب در ادامه سرد کردن دو حالت ممکن است اتفاق بیفتد؛ در حالت اول، انقباض در حالت جامد سبب کاهش ابعاد خارجی قطعه و مقعر شدن دیواره‌های قطعه می‌گردد (مانند شکل ۱-۴-د). در حالت دوم، انقباض در حالت جامد سبب شکسته شدن پوسته جامد اطراف حفره انقباض گشته و حفره با محیط اطراف ارتباط می‌یابد. در این حالت، ابعاد خارجی قطعه تغییر نمی‌کند و انقباض با بزرگتر شدن حفره انقباض همراه است.



شکل ۱-۴- شماتیک مراحل انقباض یک نمونه مکعبی (الف): فلز مذاب اولیه پس از بارریزی (ب): جامد شدن پوسته و شکل‌گیری حفره انقباضی (ج): انقباض داخلی (د): انقباض داخلی همراه با مقعر شدن (تغییر ابعادی) (ه): سوراخ شدن سطح و ارتباط حفره با محیط اطراف

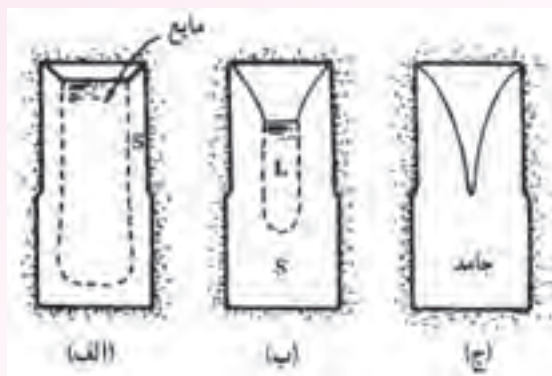
عیوب انقباضی در قطعه ریختگی به شکل عیوب انقباض داخلی به وجود می‌آید و به صورت حفره نمایان می‌شود انقباض داخلی حفره در اثر انقباض در حالت جامد به دو حالت در قطعه پدیدار می‌شود. که عبارتند از: مقعر شدن سطح قطعه و سوراخ شدن سطح قطعه. به وجود آمدن این حالت‌ها به جنس آلیاژ و نحوه انجماد آن بستگی دارد. به طوری که، اگر آلیاژ در حین انجماد تشکیل پوسته جامد ضخیم بدهد، عیوب انقباض (حفره) که درون قطعه ایجاد می‌شود، نمی‌تواند سبب تغییر فرم (مقعر شدن) سطح قطعه شود. اما اگر آلیاژ به گونه‌ای منجمد شود که پوسته جامد تشکیل شده در ابتدای انجماد نازک باشد، عیوب انقباضی (حفره) می‌تواند سبب تغییر فرم و سوراخ شدن سطح قطعه شوند.

#### ۱-۱-۴- تغذیه در قطعه‌های ریختگی: برای جبران انقباض و کاهش عیوب ناشی از آن در قطعه‌های

ریختگی از یک کانال اضافی مذاب به نام تغذیه استفاده می‌شود. همان‌طور که گفته شد، تغذیه انقباض‌های مایع و حین انجماد را جبران می‌کند. در حقیقت در صورت استفاده از تغذیه، انقباضی که در قطعه ایجاد شده توسط مذاب موجود در تغذیه جبران می‌شود و این انقباض به تغذیه منتقل می‌شود. بنابراین، وظیفه اصلی تغذیه، متمرکز کردن انقباض مذاب در حالت مایع و حین انجماد در تغذیه و فراهم آوردن امکان مذاب‌رسانی به

قسمت‌های در حال انجماد در داخل قالب یا قطعه ریخته شده می‌باشد به نحوی که از به وجود آمدن عیوبی مانند حفره انقباض در قطعه جلوگیری شود.

در شکل ۲-۴ نحوه انجماد یک قطعه مکعبی با یک تغذیه استوانه‌ای شکل روی آن نشان داده شده است. قطعه و تغذیه کاملاً درون ماسه قرار گرفته‌اند.



شکل ۲-۴- نحوه انجماد قطعه مکعبی از فلز خالص (الف): مراحل اولیه انجماد (ب): در خلال انجماد (ج): خاتمه انجماد

همان‌طور که در شکل الف نشان داده شده است در مراحل ابتدایی انجماد، پوسته جامد در قطعه و تغذیه تشکیل شده است و مذاب درون پوسته جامد قرار دارد. انقباضی که در اثر انجماد پوسته جامد به وجود آمده، در بالای تغذیه و به صورت فضای خالی نشان داده شده است. در شکل ب، بیش از نیمی از مذاب منجمد شده، ضخامت پوسته جامد افزایش یافته است و مقدار کمی مذاب در داخل قشر جامد وجود دارد. همان‌طوری که ملاحظه می‌شود، مقدار انقباض در قسمت فوقانی تغذیه نسبت به حالت الف افزایش یافته است، زیرا مقدار بیشتری مذاب به جامد تبدیل شده است در شکل ج، کل مذاب به جامد تبدیل شده و انقباض کاملاً درون تغذیه به صورت فضای خالی دره‌ای شکل ایجاد شده است. پس از خارج کردن قطعه از ماسه، با جدا کردن تغذیه از قطعه مکعبی شکل، حفره انقباضی ایجاد شده در تغذیه از قطعه جدا می‌شود. بنابراین، با به کار بردن تغذیه در این قطعه، حفره انقباضی از داخل قطعه به تغذیه منتقل شده و در آن متمرکز می‌شود. در نتیجه، قطعه فاقد حفره انقباضی خواهد بود.

## ۲-۴- انجماد و اصول تغذیه

همان‌طور که قبلاً گفته شد، نحوه انجماد آلیاژها با یکدیگر متفاوت است. بنابراین، نحوه انقباض آن‌ها و تشکیل عیوب انقباضی در آن‌ها متفاوت است. با توجه به این مطالب، برای جبران و جلوگیری از به وجود آمدن این عیوب نمی‌توان همواره از یک نوع تغذیه استفاده کرد و نحوه تغذیه‌گذاری برای هر آلیاژ متفاوت خواهد بود. بنابراین، بهتر

است قبل از ورود به بحث تغذیه‌گذاری، ابتدا انواع فلزات و آلیاژها را از لحاظ نحوه انجماد، تقسیم‌بندی کنیم.

به‌طور کلی آلیاژها از لحاظ نحوه انجماد و بحث تغذیه به سه گروه اصلی تقسیم می‌شوند:

### ۱- آلیاژهای با دامنه انجماد کوتاه: در این آلیاژها فاصله دمایی بین دمای لیکوئیدوس و سالییدوس کمتر

از  $50^{\circ}\text{C}$  است و نحوه انجماد در آنها به‌صورت پوسته‌ای یا لایه‌ای می‌باشد. زمانی که پوسته جامد اولیه شکل گرفت، با ادامه سرد کردن اتم‌های مذاب خود را به پوسته جامد رسانده و به‌طور یکنواخت به آن متصل می‌شوند، به‌طوری که، بعد از گذشت مدت زمانی، ضخامت پوسته جامد افزایش یافته و این عمل تا پایان انجماد ادامه می‌یابد.

### ۲- آلیاژهای با دامنه انجماد متوسط: در این آلیاژها فاصله دمایی بین دمای لیکوئیدوس و سالییدوس بین

$50^{\circ}\text{C}$  تا  $110^{\circ}\text{C}$  است. نحوه انجماد در آنها به‌صورت پوسته‌ای و خمیری می‌باشد؛ به‌طوری که اگر سرعت سرد کردن مذاب کم باشد، پس از تشکیل پوسته جامد و افزایش ضخامت آن تا حدی، ادامه انجماد به‌صورت تشکیل دندریت و رشد آن ادامه می‌یابد تا کل مذاب به جامد تبدیل شود. در این آلیاژها اگر سرعت انجماد افزایش یابد، نحوه انجماد به سمت انجماد پوسته‌ای و اگر سرعت انجماد کاهش یابد، نحوه انجماد به سمت انجماد خمیری پیش می‌رود.

### ۳- آلیاژهای با دامنه انجماد طولانی: در این آلیاژها، فاصله دمایی بین دمای لیکوئیدوس و سالییدوس

بیش از  $110^{\circ}\text{C}$  است و نحوه انجماد در آنها به‌صورت خمیری است، به‌طوری که، ابتدا یک پوسته جامد نازک در قالب ایجاد شده و سپس، ادامه انجماد با تشکیل و رشد دندریت‌ها در مذاب همراه است که تا پایان انجماد مذاب ادامه می‌یابد.

این نوع تقسیم‌بندی نحوه انجماد مذاب را نشان می‌دهد. اما در هر گروه نحوه انقباض‌های ایجاد شده تقریباً شبیه یکدیگر می‌باشند. بنابراین، می‌توان در هر گروه از روش تغذیه‌گذاری مشابهی استفاده کرد. اما؛ نحوه عملکرد تغذیه جهت مذاب رسانی و جبران انقباض در گروه‌های مختلف، متفاوت است. بنابراین، محل تغذیه، تعداد تغذیه، نوع تغذیه و ... برای هر گروه با گروه‌های دیگر متفاوت است. جدول ۱-۴ کتاب تقسیم‌بندی فلزات و آلیاژهای مختلف را برحسب نحوه انجماد (پوسته‌ای، خمیری، پوسته‌ای و خمیری) نشان می‌دهد.

با توجه به جدول مشخص می‌شود که فلزات خالص معمولاً دارای انجماد پوسته‌ای هستند. چون دامنه انجماد آنها تقریباً برابر صفر است.



جدول ۱-۴- تقسیم‌بندی فلزات و آلیاژها برحسب طریقهٔ انجماد

انجماد پسته‌ای	انجماد میانی (پسته‌ای - خمیری)	انجماد خمیری
فلزات خالص فولادهای کم کربن	مس - برلیوم برنز - سیلیسیم	آلیاژهای آلومینیوم (به جز آلومینیوم - سیلیسیم) آلیاژهای منیزیم
مس‌های تجاری آلومینیوم تجاری برنز - آلومینیوم آلومینیوم - سیلیسیم	مس - نیکل (۵۰ - ۵۰) فولادهای کم‌آلیاژ و کم کربن	برنزهای قلع برنج قرمز آلیاژهای توپ
آلیاژهای نزدیک نقطه یوتکتیک برنج‌های زرد (تعدادی) روی تجاری قلع تجاری برنج سیلیسیم‌دار مس - نیکل برنز - منگنز	مس - قلع با ۱ تا ۲ درصد قلع	برنزهای سرب‌دار نقره نیکل برنج‌های زرد (تعدادی) فولادهای پرکربن برخی از فولادهای آلیاژی

### در پایان جلسه:

- جمع بندی مطالب این جلسه توسط هنرآموز
- تکالیف برای منزل هنرجویان: مطالعه متن درس و آمادگی برای آزمون جلسه آینده.

۱- حضور و غیاب

۲- پیش‌آزمون (تشریحی - تستی - شفاهی ...)

۳- یادآوری مطالب جلسه قبل

### موضوع:

– فلزات و آلیاژهای با دامنه انجماد کوتاه (انجماد پوسته‌ای)

– فلزات و آلیاژهای با دامنه انجماد طولانی (انجماد خمیری)

برای آشنایی هنرجویان با موضوع فوق‌الذکر لازم است هنرآموزان محترم سؤال‌هایی در این زمینه جهت آمادگی ذهنی هنرجویان بپرسند و جواب‌ها به صورت تعاملی ارائه شود. سؤال‌هایی مانند:

۱- آلیاژها از لحاظ نحوه انجماد به چند گروه تقسیم می‌شوند؟

۲- آیا نحوه تغذیه‌گذاری برای گروه‌های ذکر شده یکسان است؟

۳- نحوه انجماد فلزات خالص در کدام گروه قرار می‌گیرد؟

۴- آیا سرعت سرد کردن مذاب تأثیری بر نحوه انجماد آلیاژهای گروه‌های یاد شده دارد؟

۵- به نظر شما در آلیاژهای پوسته‌ای امکان ایجاد عیوب انقباضی در کدام قسمت‌های قطعه وجود دارد؟

۶- به نظر شما در آلیاژهای خمیری امکان ایجاد عیوب انقباضی در کدام قسمت‌های قطعه وجود دارد؟

۱-۲-۴- فلزات و آلیاژهای با دامنه انجماد کوتاه (انجماد پوسته‌ای): این گروه از فلزات شامل فلزات

خالص و آلیاژهایی می‌باشد که دامنه انجماد آن‌ها کمتر از  $50^{\circ}\text{C}$  است؛ مانند فولادهای کم کربن، برنز آلومینیوم،

آلومینیوم - سیلیسیم، برنج سیلیسیم‌دار، مس‌های تجاری، آلومینیوم تجاری و ... (مطابق جدول ۱-۴)

هنگامی که مذاب این آلیاژها در داخل قالب ریخته می‌شود، به علت اختلاف زیاد بین دمای مذاب و

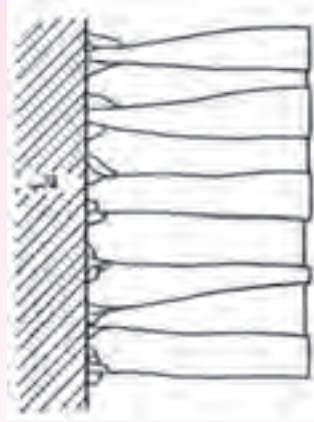
قالب، انجماد از دیواره قالب که سردترین نقطه قالب است با تشکیل پوسته جامد شروع می‌شود. در این حالت،

به دلیل دمای پایین دیواره قالب، تعداد زیادی هسته (جوانه) جامد در مذاب مجاور دیواره قالب به وجود می‌آید.

این هسته‌ها به سرعت رشد کرده، به هم می‌رسند و پوسته جامد را تشکیل می‌دهند. در این حالت، کریستال‌های

شکل گرفته در سطح قطعه با ادامه سرد کردن، رشد کرده و به طرف مرکز قالب پیش می‌روند. شکل ۳-۴ به طور

شماتیک نحوه انجماد یک فلز خالص را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۴- رشد کریستال‌ها در انجماد یک فلز خالص از دیواره قالب

همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، کریستال‌های جامد ابتدا در پوسته مجاور قالب تشکیل شده‌اند و در ادامه با گذشت زمان به طرف مرکز قالب رشد می‌کنند.

فلزات خالص که در گروه فلزات با انجماد پوسته‌ای می‌باشند، هنگام انجماد دارای جبهه انجماد تقریباً صاف و همواری هستند. یعنی، ابتدا لایه نازک جامد در مجاورت دیواره قالب شکل می‌گیرد، سپس این پوسته به طور یکنواخت رشد می‌کند؛ به طوری که، سطح آن تقریباً هموار و صاف است. شکل ۴-۴، به طور شماتیک نحوه انجماد یک فلز خالص از دیواره قالب به سمت مرکز قالب را نشان می‌دهد.

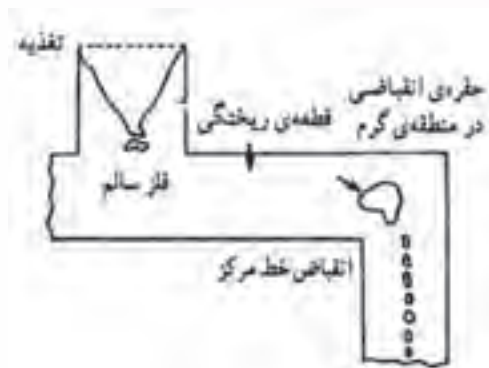


شکل ۴-۴- شماتیک مراحل انجماد یک فلز خالص (با دامنه انجماد صفر) انجماد از جداره قالب آغاز شده و به طرف مرکز ادامه یافته و جبهه انجماد به شکل صاف و همواره است

همان طور که در شکل نشان داده شده، ابتدا پوسته جامد در مجاورت دیواره قالب تشکیل شده و با گذشت زمان این پوسته به تدریج رشد می‌کند؛ به طوری که ضخامت پوسته جامد افزایش می‌یابد و جبهه انجماد آن به صورت صاف و هموار است. با گذشت زمان به تدریج ضخامت پوسته جامد افزایش می‌یابد تا در نهایت به مرکز قطعه می‌رسد. همان طور که در شکل دیده می‌شود، در مرکز قطعه پوسته جامد از دو طرف به یکدیگر می‌رسند در حالی که جبهه انجماد آن‌ها تقریباً صاف و یکنواخت است.

بنابراین در آلیاژهای با انجماد پوسته‌ای، قسمت خارجی قطعه که در ابتدای انجماد تشکیل می‌شود به طور یکنواخت منجمد می‌گردد و هرچه به قسمت داخل قطعه پیش می‌رویم زمان انجماد نواحی با ضخامت بیشتر طولانی‌تر می‌شود و در آن نواحی انقباضی نمایان می‌شود.

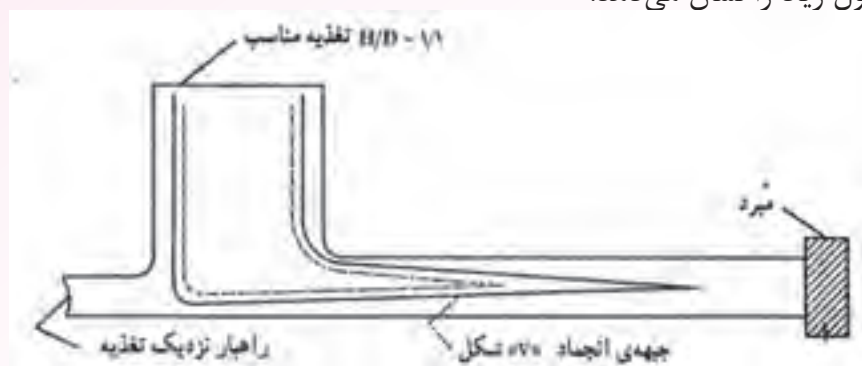
هنگامی که از تغذیه در فرآیند ریخته‌گری این آلیاژها استفاده می‌شود و انقباض آلیاژ در تغذیه (منبع تغذیه) متمرکز می‌شود، حفره انقباضی تشکیل شده حالت قیفی شکل و عمیق دارد. هرچه میزان خلوص فلز بالاتر باشد، سطح حفره انقباضی صاف‌تر خواهد بود و حفره انقباضی دارای شکل هندسی خواهد بود، مانند فلزات خالص که دامنه انجماد آن‌ها صفر است. اما هرچه میزان خلوص فلز کاهش یابد، حفره انقباضی تشکیل شده کمتر دارای شکل هندسی منظم است. می‌دانیم که هرچه درجه خلوص فلز کاهش یابد، جبهه انجماد آن از حالت صاف و هموار خارج خواهد شد. بنابراین، در این حالت، شکل حفره انقباضی نیز نامنظم‌تر می‌شود. در شکل ۴-۵ تصویر حفره‌های انقباضی ایجاد شده در یک قطعه ریخته‌گری نشان داده شده است.



شکل ۴-۵- شکل‌های مختلف انقباضی در آلیاژهای با دامنه انجماد کم

همان طور که در شکل ملاحظه می‌شود علاوه بر تغذیه، در قسمت‌های ضخیم قطعه نیز حفره انقباضی به وجود آمده است. علت این امر، عدم مذاب‌رسانی کافی تغذیه به نواحی مختلف قطعه است. از طرف دیگر، سطح حفره انقباضی تشکیل شده در منبع تغذیه تقریباً صاف است و حفره دارای شکل هندسی تقریباً منظمی می‌باشد که میزان خلوص فلز مذاب را نشان می‌دهد. بنابراین، در آلیاژهای با انجماد پوسته‌ای، حفره‌های انقباضی

معمولاً در قسمت‌های ضخیم و نقاط دور قطعه، که گرم‌ترین نقاط قطعه می‌باشند، به‌وجود می‌آید. تغذیه‌گذاری در آلیاژهای پوسته‌ای باید طوری طراحی شود که مذاب کافی برای جبران انقباض ناشی از انجماد در قسمت‌های ضخیم و دور دست قطعه و یا گرم‌ترین نقاط قطعه، وجود داشته باشد. در قطعه‌های با طول زیاد، برای افزایش سرعت انجماد در نقاط دور از تغذیه، می‌توان از قطعاتی به نام مبرد استفاده کرد. این قطعات حرارت مذاب را در نقاط دور نسبت به تغذیه جذب کرده و سبب می‌شود این نقاط سریع‌تر از بقیه قسمت‌های قطعه، به خصوص تغذیه، منجمد شوند. در حقیقت با استفاده از مبرد، روند انجماد به صورتی پیش می‌رود که انجماد از دورترین نقاط نسبت به تغذیه شروع شده و در منبع تغذیه پایان یابد و در نهایت، انقباض‌های ایجاد شده در هنگام انجماد در قسمت‌های مختلف قطعه، به منبع تغذیه منتقل شود. شکل ۴-۶ نمونه‌ای استفاده از مبرد در قطعات با طول زیاد را نشان می‌دهد.

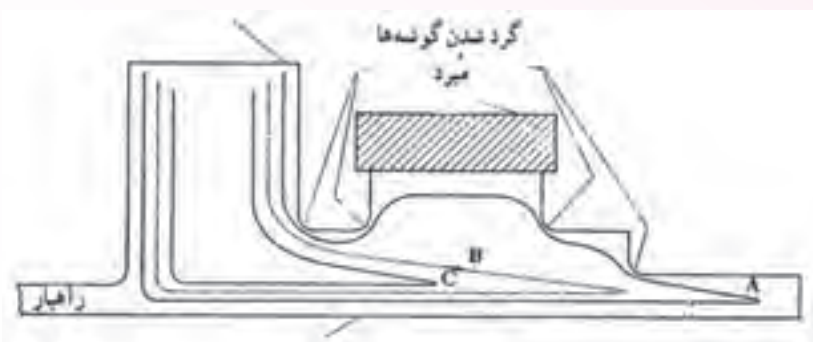


شکل ۴-۶- انجماد جهت‌دار در آلیاژهای با انجماد پوسته‌ای مُبرد

همان‌طور که در شکل نشان داده شده است، مبرد باعث شده که انجماد در دورترین نقطه نسبت به تغذیه شروع شود و در تغذیه پایان یابد. این روند انجماد، نشان دهنده انجماد جهت‌دار است. به‌علاوه، در این شکل جبهه انجماد  $\gamma$  شکل است. بنابراین، حفره انقباضی در تغذیه، در نهایت به شکل  $\gamma$  خواهد بود. انجماد یک آلیاژ پوسته‌ای در قالب دیگری در شکل ۴-۷ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، ضخامت در قسمت  $C$  نسبت به ضخامت قسمت‌های دیگر قطعه بیشتر است. پس، در قسمت  $C$  حجم مذاب بیشتر از قسمت‌های دیگر خواهد بود. بنابراین، در هنگام انجماد، آخرین مرحله انجماد در قسمت  $C$  اتفاق می‌افتد و در این قسمت احتمال به‌وجود آمدن حفره انقباضی زیاد خواهد شد. برای رفع این مشکل، باید به روشی سرعت انجماد در این قسمت را افزایش داد تا از به‌وجود آمدن نقطه گرم در این قسمت (قسمت  $C$ ) جلوگیری شود. بهترین راه، استفاده از مبرد در قسمت  $C$  قطعه است (مطابق شکل ۴-۸). مبرد سبب می‌شود که انجماد در منطقه  $C$  سریع‌تر انجام شود و آخرین مرحله انجماد به داخل تغذیه منتقل شود. بنابر این، در قسمت  $C$  حفره انقباضی تشکیل نخواهد شد.



شکل ۴-۷- اثر مراکز گرمایی منطقه‌ای در انقباض آلیاژهای پوسته‌ای



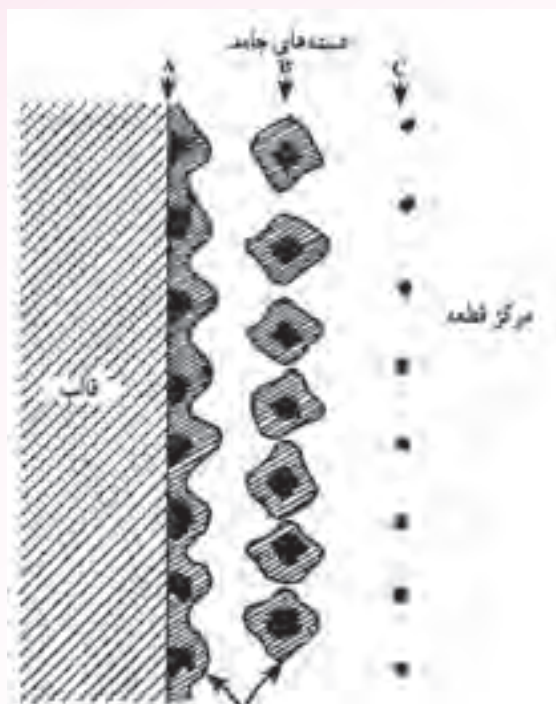
شکل ۴-۸- استفاده از میرد به منظور محدود کردن مراکز گرمایی منطقه‌ای

رأس گوشه‌های داخلی قطعه که در شکل ۴-۷ نشان داده شد، تیز است. پس در این مناطق احتمال انقباض و در نهایت تشکیل ترک انقباضی وجود دارد. این مشکل می‌توان با گرد کردن گوشه‌ها و کاهش سطح در گوشه‌ها، مطابق شکل ۴-۸، برطرف کرد.

#### ۴-۲-۲- فلزات و آلیاژهای با دامنه انجماد طولانی (انجماد خمیری): همان‌طور که در جدول ۴-۱

نشان داده شده، بیشتر آلیاژهای سبک و تعدادی از آلیاژهای مس و آهن دارای انجماد خمیری هستند، مانند آلیاژهای آلومینیوم، آلیاژهای منیزیم، برنزهای قلع، فولادهای پرکربن و ... بنابراین، مطالعه نحوه انجماد این آلیاژها اهمیت دارد. هنگامی که مذاب آلیاژهای با دامنه انجماد طولانی به داخل قالب ریخته می‌شود به علت اختلاف دما بین مذاب و قالب ابتدا یک پوسته جامد در مجاورت دیواره قالب تشکیل می‌شود. با گذشت زمان، دمای قالب افزایش یافته و رشد پوسته تشکیل شده، متوقف می‌شود. از این مرحله به بعد، نحوه انجماد آلیاژ با نحوه انجماد آلیاژهای پوسته‌ای تفاوت دارد. هنگامی که مذاب به داخل قالب ریخته می‌شود، اولین هسته‌های جامد در مجاورت دیواره قالب به وجود می‌آید و پس از مدتی رشد این هسته‌ها متوقف می‌شود و انجماد جهت‌دار به طرف مرکز قطعه صورت نمی‌گیرد. این موضوع در شکل ۴-۹ نشان داده شده است. هسته‌های جامد که با حرف

A مشخص شده ابتدا در مجاورت قالب تشکیل می‌شود. اما رشد آن‌ها متوقف می‌شود. و تنها به صورت یک لایه نازک باقی می‌ماند. به عبارت دیگر، انجماد به سمت مرکز قالب از این هسته‌های جامد ابتدایی ادامه نیافته زیرا شیب دمایی به اندازه‌ای نبوده است که رشد لایه نازک ابتدایی ادامه یابد. در این حالت، شرایط به گونه‌ای است که هسته‌های جامد دیگری در قسمت‌های مختلف قالب شروع به تشکیل می‌کنند انجماد با رشد آن‌ها ادامه می‌یابد، مانند هسته‌های جامد B و C (شکل ۹-۴).

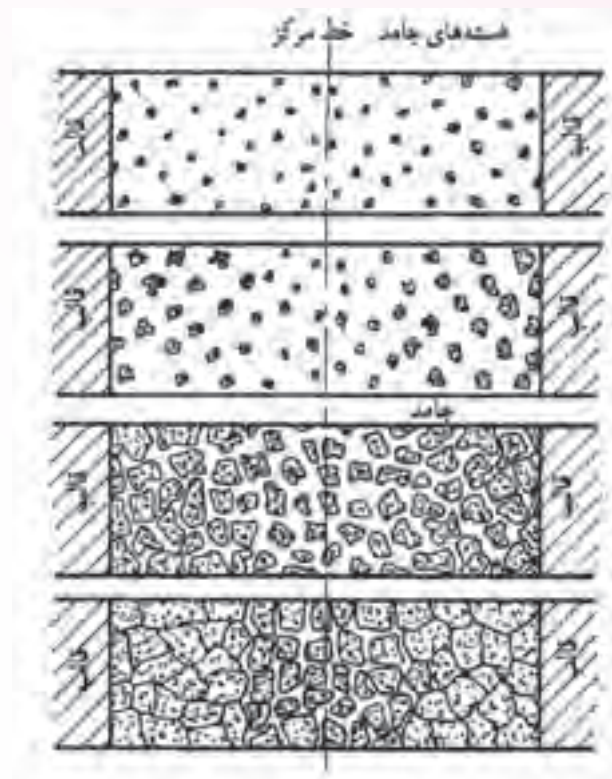


شکل ۹-۴- تأخیر در رشد کریستال‌ها در آلیاژهای با دامنه انجماد طولانی (خمیری)

پس از تشکیل پوسته جامد، با گذشت زمان و ادامه سرد شدن مذاب، هسته‌های جامد زیادی در همه‌جای محفظه قالب و مذاب به وجود می‌آید. این هسته‌ها به تدریج و با گذشت زمان در جهات مختلف رشد کرده، در نهایت به یکدیگر می‌رسند و رشد آن‌ها متوقف می‌شود. شکل ۱۰-۴ مراحل انجماد آلیاژهای با انجماد خمیری به‌طور شماتیک نشان می‌دهد.

همان‌طور که در شکل ۱۰-۴ مشاهده می‌شود، پس از تشکیل پوسته جامد در همه قسمت‌های قالب، هسته‌های جامد تشکیل شده است و با گذشت زمان و ادامه سرد شدن مذاب، به تدریج مذاب، به تدریج این هسته‌های جامد در تمام جهات رشد کرده و در نهایت به یکدیگر می‌رسند و رشد آن‌ها متوقف می‌شود. در انجماد آلیاژهای با انجماد خمیری، در تمام قسمت‌های قطعه هسته‌های جامد به وجود آمده، رشد می‌کنند و به دانه تبدیل می‌شوند. در مراحل آخر انجماد، مذاب در لابه‌لای دانه‌ها وجود دارد و در یک محل

مشخصی نمی‌باشد. بنابراین، امکان به وجود آمدن انقباض در لابه‌لای دانه و تشکیل حفرات انقباضی در سرتاسر قطعه وجود دارد. به همین دلیل، مذاب رسانی به لابه‌لای دانه‌های منجمد شده بسیار مهم است. در مراحل انتهایی انجماد، با توجه به کاهش دما و در نتیجه کم شدن سیالیت مذاب، مذاب‌رسانی در قسمت‌های مختلف قطعه مشکل خواهد بود. بنابراین، معمولاً انقباض مذاب در بین دانه‌های منجمد شده جبران نشده و در نهایت حفره‌های انقباضی ریز و پراکنده زیادی در قطعه، به خصوص در قسمت‌هایی که در آخرین مرحله منجمد می‌شوند (نقاط گرم قطعه)، ایجاد می‌شود.



شکل ۱۰-۴- شماتیک مراحل انجماد آلیاژهای با انجماد خمیری

با توجه به مطالب ذکر شده، مذاب‌رسانی در آلیاژهای با انجماد خمیری در سه مرحله انجام می‌شود:

**مرحله اول:** در این مرحله هسته‌ها جامد در تمام قسمت‌های مذاب به وجود آمده و مقدار کمی رشد می‌کنند؛ به طوری که، در مذاب شناورند و در یک نقطه ثابت نشده‌اند. بنابر این، مذاب به همراه هسته‌های جامد به راحتی حرکت می‌کنند. پس، انقباض‌های ایجاد شده در اثر تشکیل و رشد هسته‌های جامد به راحتی با اضافه نمودن مذاب جبران می‌شوند، مانند (شکل ۱۱-۴- الف).





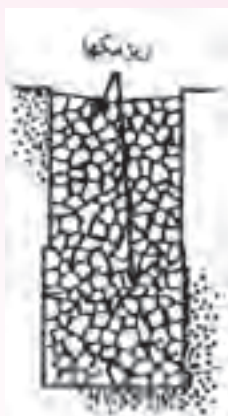
شکل ۱۱-۴-الف

**مرحله دوم:** در این مرحله ذرات جامد رشد کرده و بزرگتر می‌شوند؛ به طوری که، مذاب نمی‌تواند مانند مرحله اول به راحتی از میان آن‌ها عبور کند و حرکت مذاب محدود می‌شود. مذاب باید از مسیرهای خاصی حرکت کند تا به محل‌های در حال انقباض برسد و انقباض به وجود آمده را جبران کند، مانند (شکل ۱۱-۴-ب).



شکل ۱۱-۴-ب

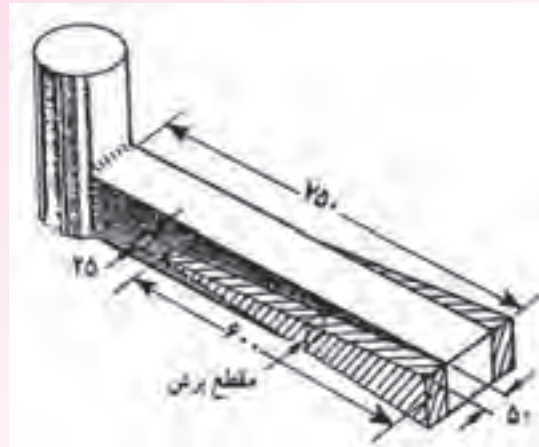
**مرحله سوم:** در این مرحله که تقریباً در انتهای انجماد است، ذرات جامد آنقدر رشد کرده‌اند که به هم رسیده‌اند. و ارتباط قسمت‌های جامد شده با مذاب باقیمانده قطع شده است. در این حالت قسمت‌هایی از مذاب که بین دانه‌های جامد باقیمانده و محصور شده‌اند، منجمد می‌شوند. در آن قسمت‌ها در حین انجماد، انقباض به وجود می‌آید و از آن جا که ارتباط آن‌ها با مذاب باقیمانده قطع شده، امکان جبران این انقباض‌ها وجود ندارد. بنابراین، در سراسر قطعه حفره‌های انقباضی ریز به صورت پراکنده به وجود آمده و باقی می‌ماند، مانند (شکل



شکل ۱۱-۴-ج

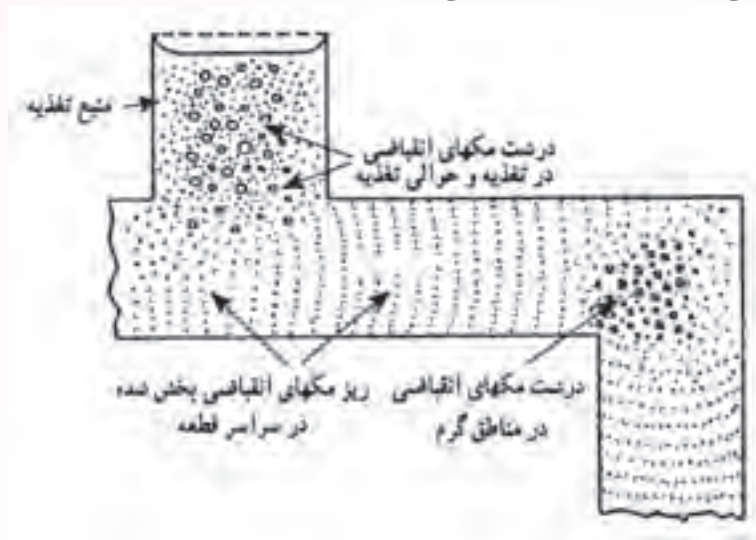
با توجه به مطالب ذکر شده، برای اینکه بتوان از آلیاژهای با انجماد خمیری قطعه‌سالمی تولید کرد، بهتر است شرایطی ایجاد نمود که انجماد در هر مرحله، به صورت جهت‌دار باشد. زیرا، انجماد جهت‌دار به طرف تغذیه، به تنهایی کافی نخواهد بود و مک‌های انقباضی پراکنده ایجاد شده در سراسر قطعه را جبران نخواهد کرد. اما اگر در هر مرحله انجماد، انجماد به صورت جهت‌دار باشد، می‌توان از به‌وجود آمدن مک‌های انقباضی در قطعه جلوگیری کرد. برای این منظور باید، هنگامی که دورترین نقطه قطعه ریختگی نسبت به تغذیه، منجمد می‌شود، مذاب نزدیک تغذیه در اولین مرحله انجماد باشد. یعنی، ابتدا در دورترین قسمت قطعه نسبت به تغذیه، انجماد جهت‌دار به‌وجود آید و آن قسمت به‌طور کامل منجمد شود، در حالی که انجماد جهت‌دار در مذاب نزدیک به تغذیه تازه شروع شده و آن قسمت در مرحله اول انجماد است. این حالت در شکل ۱۲-۴ نشان داده شده است. در این جا از مبرد گوه‌ای شکل در دو طرف قطعه استفاده شده است. مبرد گوه‌ای شکل به‌گونه‌ای است که در دورترین قسمت قطعه به تغذیه ضخامت زیادی دارد و شیب دمایی زیادی را ایجاد می‌کند. بنابراین، در دورترین قسمت قطعه، انجماد جهت‌دار سریع‌تر اتفاق افتاده و انجماد کامل می‌شود. اما هرچه به سمت تغذیه نزدیک می‌شویم، ضخامت مبرد گوه‌ای شکل کاهش پیدا کرده و انجماد جهت‌دار آن قسمت‌ها دیرتر شروع می‌شود. بنابراین می‌توان انجماد جهت‌دار مرحله‌ای را در این قطعه ملاحظه کرد. با این روش می‌توان مقدار مک‌های انقباضی پخش شده در قطعه را به حداقل رساند.

شکل ۱۲-۴- استفاده از مبرد گوه‌ای شکل شیب دمایی مناسب را فراهم می‌سازد.



شکل ۴-۱۲- استفاده از میزدهای گوه‌ای در آلیاژهای با دامنه انجماد طولانی

معمولاً مک‌های انقباضی، در آلیاژهای با دامنه انجماد طولانی (خمیری)، به صورت مک‌های ریز و مک‌های درشت‌تر دیده می‌شوند. مک‌های درشت‌تر معمولاً در قسمت‌های ضخیم‌تر، و به عبارت دیگر در گرم‌ترین قسمت قطعه، به وجود می‌آید. اما، مک‌های ریز به صورت پراکنده در تمام قسمت‌های قطعه مشاهده می‌شود. شکل ۴-۱۳ نمونه‌ای از مک‌های انقباضی ریز و درشت را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۳- شکل‌های مختلف مک‌های انقباضی در آلیاژهای با دامنه انجماد طولانی

همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود در قسمت‌های ضخیم مانند تغذیه و محل‌های تغییر جهت، که گرم‌ترین نقاط قطعه هستند، مک‌های انقباضی درشت‌تر به وجود آمده است. اما، در بقیه قسمت‌های قطعه، مک‌های انقباضی ریز به صورت پراکنده پخش شده است.

### در پایان جلسه:

- جمع بندی مطالب این جلسه توسط هنرآموز
- تکالیف برای منزل هنرجویان: مطالعه متن درس و آمادگی برای آزمون جلسه آینده.

- ۱- حضور و غیاب
- ۲- پیش‌آزمون از مطالب جلسه‌های قبل (به‌صورت کتبی، شفاهی و پاسخ کوتاه و ...)
- ۳- یادآوری مطالب جلسه قبل

### موضوع:

– فلزات و آلیاژهای با دامنه انجماد متوسط (انجماد میانی)

– محل تغذیه و انجماد جهت‌دار

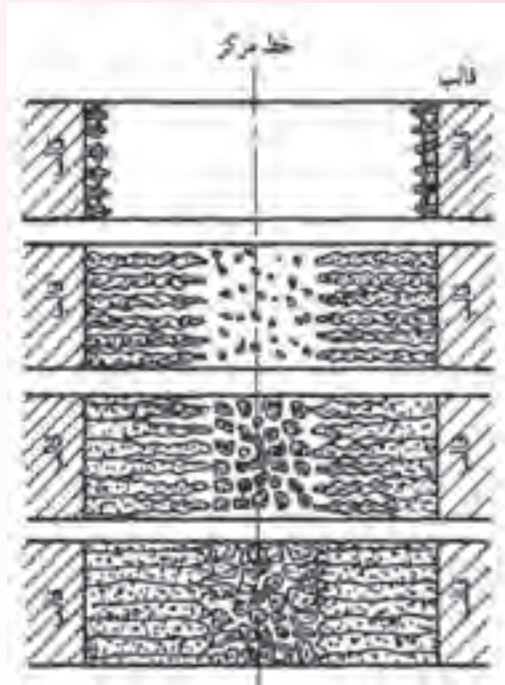
– جهت انجماد

برای درک بهتر مفاهیم اصول متالورژیکی ریخته‌گری و بحث این جلسه، پیشنهاد می‌شود که هنرآموزان محترم سؤال‌هایی در این زمینه از هنرجویان بپرسند و پاسخ به صورت بحث تعامل در کلاس ارائه شود. سؤال‌هایی مانند:

- ۱- با توجه به نحوه انجماد آلیاژهای با انجماد پوسته‌ای و آلیاژهای با انجماد خمیری، نحوه انجماد آلیاژهای با دامنه انجماد متوسط را چگونه پیش‌بینی می‌کنید؟
- ۲- به نظر شما محل مناسب برای قرار دادن تغذیه، کدام قسمت قطعه است؟ قسمت‌های ضخیم یا نازک؟
- ۳- در قطعاتی که انجماد آن‌ها به صورت جهت‌دار است، محل مناسب برای تغذیه کدام قسمت قطعه است؟

۳-۲-۴- فلزات و آلیاژهای با دامنه انجماد متوسط (انجماد میانی): با توجه به اینکه آلیاژهای با دامنه

انجماد متوسط، بین آلیاژهای با دامنه انجماد کوتاه و آلیاژهای با دامنه انجماد طولانی قرار گرفته‌اند، نحوه انجماد آلیاژهای با دامنه انجماد متوسط نیز ترکیبی از انجماد پوسته‌ای و خمیری است، که به آن انجماد میانی گفته می‌شود. در این حالت، هنگامی که مذاب به داخل قالب ریخته می‌شود، به دلیل اختلاف دمای مذاب و دیواره قالب، ابتدا پوسته جامد در مجاورت دیواره قالب به وجود می‌آید. با گذشت زمان و ادامه سرد شدن، هسته‌های جامد تشکیل شده در روی دیواره رشد کرده و مانند انجماد پوسته‌ای به سمت مرکز قالب (قطعه) پیش می‌رود. و رشد آن‌ها تا زمانی که شیب دمایی وجود داشته باشد، ادامه می‌یابد. پس از مدتی، رشد آن‌ها متوقف شده و باقیمانده مذاب به صورت خمیری منجمد می‌شود؛ یعنی، در تمام قسمت‌های مذاب هسته‌های جامد به وجود آمده و رشد می‌کنند تا به یکدیگر برسند. این حالت در شکل ۴-۱۴ نشان داده شده است.



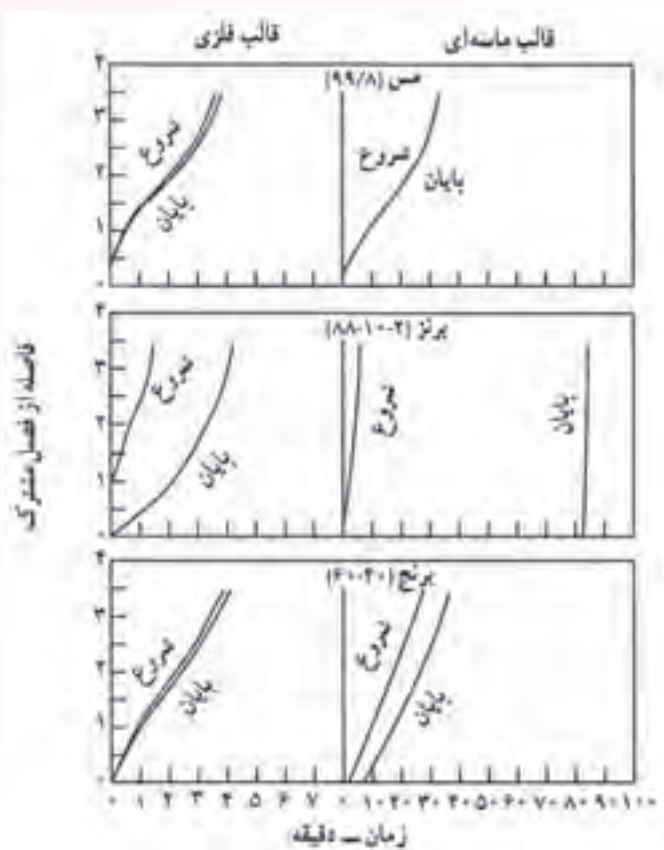
شکل ۱۴-۴. مراحل انجماد در آلیاژهای با دامنه انجماد متوسط

همان طور که در شکل نشان داده شده است در ابتدای انجماد، پوسته جامد تشکیل می شود. با ادامه سرد شدن مذاب کریستال های موجود در پوسته رشد کرده و به سمت مرکز قالب پیش می روند تا در محلی متوقف شوند. پس از آن، هسته های جامد در تمام قسمت های مذاب باقی مانده به وجود می آید و با ادامه سرد شدن مذاب این هسته ها رشد می کنند تا به یکدیگر برسند.

انجماد میانی تنها مختص آلیاژهای با دامنه متوسط نیست، بلکه این نوع انجماد می تواند در آلیاژهای با دامنه انجماد کوتاه و آلیاژهای با دامنه انجماد طولانی نیز رخ دهد. آلیاژهای با دامنه انجماد کوتاه، در قطعات ضخیم به علت حجم زیاد مذاب و کاهش سرعت سرد شدن مذاب، انجماد پوسته ای متوقف شده و مذاب باقیمانده به صورت خمیری منجمد می شود. عکس این حالت نیز صادق است به طوری که در آلیاژهای با دامنه انجماد متوسط، در قطعات با ضخامت کم و سرعت سرد کردن زیاد مذاب رخ می دهد. در این حالت، انجماد قطعه به صورت پوسته ای انجام شده و انجماد خمیری در آن صورت نخواهد گرفت. در آلیاژهای با دامنه انجماد طولانی، اگر ضخامت قطعه نازک و سرعت سرد شدن مذاب زیاد باشد، به جای انجماد خمیری، انجماد به صورت انجماد میانی، که ترکیبی از انجماد پوسته ای و خمیری است، انجام می شود. بنابراین می توان گفت در آلیاژهای با دامنه انجماد میانی مذاب در مجاورت دیواره قالب (فصل مشترک قالب و مذاب) به صورت پوسته ای و در مرکز قالب به حالت خمیری منجمد می شود. با توجه به مطالب فوق می توان گفت، آلیاژهای با دامنه انجماد متوسط نسبت به

سرعت سرد کردن مذاب و نحوه انتقال حرارت از قالب حساس می‌باشند. در این آلیاژها، اگر سرعت سرد شدن مذاب یا انتقال حرارت از قالب افزایش یابد، انجماد از حالت میانی به حالت پوسته‌ای تبدیل خواهد شد. به عنوان مثال انجماد آلیاژهایی که در قالب‌های ماسه‌ای به صورت میانی منجمد می‌شوند، ممکن است در قالب‌های فلزی مانند آلیاژهای با انجماد پوسته‌ای باشد.

به طور کلی، سه نوع انجماد پوسته‌ای، میانی و خمیری دارای مرز مشخص و جدا شده از یکدیگر نیستند و می‌توانند با توجه به شرایط سرد کردن مذاب، به یکدیگر تبدیل شوند. بنابراین، با افزایش دامنه انجماد از صفر به مقادیر بالاتر انجماد به تدریج از حالت پوسته‌ای به خمیری تبدیل می‌شود. به حالت بین انجماد پوسته‌ای و انجماد خمیری، انجماد میانی گفته می‌شود. این موضوع در شکل ۴-۱۵ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، منحنی‌های بالای مربوط به انجماد آلیاژها با دامنه انجماد کوتاه یا انجماد پوسته‌ای است. در این حالت، منحنی‌های شروع و پایان انجماد در قالب‌های فلزی و ماسه‌ای تقریباً بر یکدیگر منطبق هستند.

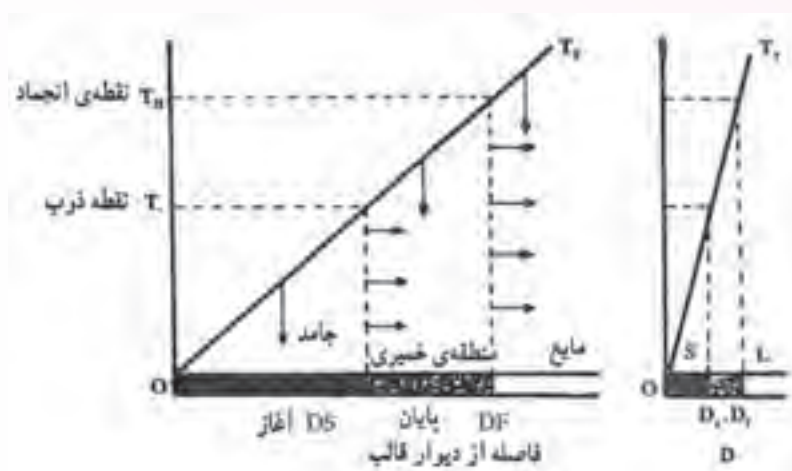


شکل ۴-۱۵- انجماد چند نوع آلیاژ غیر آهنی

منحنی‌های وسطی مربوط به آلیاژهای با دامنه انجماد طولانی است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود،

منحنی‌های شروع و پایان انجماد کاملاً از یکدیگر جدا و مجزا می‌باشند. در قالب ماسه‌ای به علت پایین بودن سرعت سرد شدن مذاب نسبت به قالب فلزی فاصله بین دو منحنی شروع و پایان که سرعت سرد شدن مذاب بالاتر است، بیشتر است. منحنی‌های پایینی مربوط به آلیاژ با دامنه انجماد متوسط است که در آن‌ها منحنی‌های شروع و پایان انجماد در قالب‌های ماسه‌ای و فلزی بین منحنی‌های شروع و پایان آلیاژهای با دامنه انجماد کوتاه و آلیاژهای با دامنه انجماد طولانی قرار گرفته است. البته فاصله بین منحنی‌های شروع و پایان انجماد در قالب فلزی نسبت به نمودار مربوط به قالب ماسه‌ای کمتر است. زیرا سرعت سرد شدن مذاب در قالب فلزی بالاتر می‌باشد.

همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، سرعت سرد کردن تأثیر بسیار زیادی بر نحوه انجماد و تبدیل انجماد خمیری به انجماد میانی و پوسته‌ای دارد. با افزایش سرعت سرد کردن، ضخامت منطقه پوسته‌ای افزایش می‌یابد. و در نتیجه، ضخامت منطقه خمیری کم می‌شود. در شکل ۴-۱۶ این روند در نشان داده شده است.

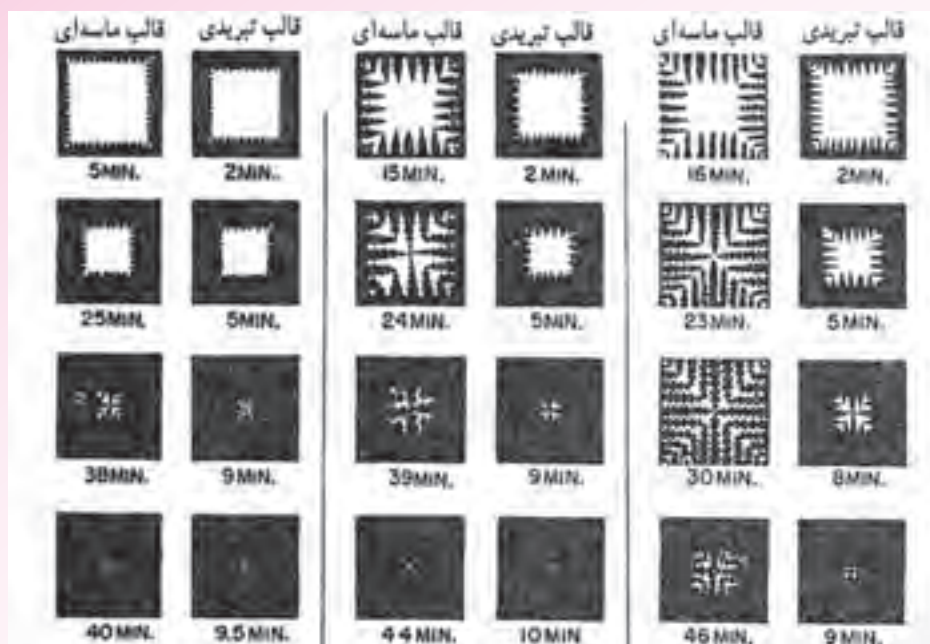


شکل ۴-۱۶- تأثیر سرعت سرد کردن در ضخامت منطقه خمیری و پوسته‌ای

همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود سرعت سرد کردن در نمودار سمت راست نسبت به نمودار سمت چپ بیشتر است. در نمودار سمت چپ، به علت کم بودن سرعت سرد شدن مذاب شیب منحنی دما بر حسب فاصله از دیواره قالب نسبت به شکل شیب منحنی سمت راست بیشتر است. در نتیجه ضخامت منطقه خمیری در نمودار سمت چپ نسبت به این ضخامت در نمودار سمت راست بیشتر است.

شکل ۴-۱۷ نقش سرعت سرد کردن در ضخامت منطقه خمیری را نشان می‌دهد.





فولادی با ۰/۶۰ - ۰/۵۵ درصد کربن فولادی با ۰/۳۰ - ۰/۲۵ درصد کربن فولادی با ۰/۱۰ - ۰/۰۵ درصد کربن

شکل ۱۷-۴ نقش وسعت منطقه خمیری تحت تأثیر سرعت سرد شدن بر روی ساختار قطعه ریختگی

در این شکل، نحوه انجماد سه نوع فولاد با درصد کربن متفاوت در قالب‌های ماسه‌ای و تبریدی (با سرعت سرد کردن بسیار زیاد) نشان داده شده است. فولاد سمت چپ دارای ترکیبات شیمیایی ۰/۱ - ۰/۰۵ درصد کربن می‌باشد. به دلیل مقدار کم کربن در این فولاد، انجماد آن به انجماد پوسته‌ای نزدیکتر است. بنابراین، ضخامت ناحیه خمیری در انجماد این آلیاژ در قالب ماسه‌ای نسبتاً کم و در قالب تبریدی که سرعت سرد شدن مذاب بسیار بالا است، بسیار کمتر است. مطابق شکل، انجماد این آلیاژ تقریباً به صورت پوسته‌ای است.

فولاد وسط ۰/۳۰ - ۰/۲۵ درصد کربن دارد. با توجه به شکل، در انجماد این آلیاژ منطقه پوسته‌ای و خمیری با ضخامت قابل توجه ایجاد می‌شود و نحوه انجماد آن نزدیک به انجماد میانی می‌باشد. با توجه به شکل، در قالب تبریدی، که سرعت سرد کردن مذاب بسیار زیاد است، ضخامت منطقه خمیری نسبت به انجماد در قالب ماسه‌ای، که سرعت سرد شدن مذاب در آن بسیار بالاتر است، کمتر بوده و انجماد از حالت میانی به حالت پوسته‌ای تبدیل شده است.

در فولاد سمت راست ترکیب شیمیایی ۰/۶۰ - ۰/۵۵ درصد کربن دارد. انجماد این فولاد در قالب ماسه‌ای نزدیک به انجماد آلیاژهای خمیری است. اما، در قالب تبریدی به دلیل افزایش سرعت سرد شدن مذاب انجماد از حالت خمیری به انجماد میانی تبدیل شده است. به طوری که، ضخامت منطقه خمیری در قالب تبریدی نسبت به این ضخامت در قالب ماسه‌ای، بسیار کمتر است.

### ۳-۴- محل تغذیه و انجماد جهت دار

در هنگام انجماد مذاب، وظیفه تغذیه، رساندن مذاب به مقدار کافی به قسمت‌های در حال انجماد می‌باشد. بنابراین، محل و موقعیت تغذیه برای مذاب‌رسانی به قسمت‌های در حال انجماد قطعه بسیار مهم است. برای عملکرد صحیح تغذیه لازم است که محل و موقعیت تغذیه به‌طور صحیح انتخاب شود. از طرف دیگر، جهت انجماد در مشخص کردن محل تغذیه بسیار اهمیت دارد. زیرا انجماد باید از دورترین قسمت نسبت به تغذیه شروع شده و به‌صورت جهت‌دار ادامه یابد تا در تغذیه پایان یابد. یعنی، آخرین مذاب باقیمانده، در تغذیه قرار گیرد. در این حالت می‌توان گفت که تغذیه وظیفه خود را به‌خوبی انجام داده و در مراحل مختلف انجماد، انقباضی‌های ایجاد شده توسط مذاب موجود در تغذیه جبران شده است.

#### ۱-۳-۴- جهت انجماد

مشخص کردن جهت انجماد در انجماد جهت‌دار یکی از عوامل مهم در طراحی تغذیه می‌باشد. بنابراین، طراح برای مشخص کردن محل مناسب تغذیه باید ابتدا جهت انجماد را مشخص کند. نحوه مشخص کردن جهت انجماد با استفاده از نرم‌افزارهای مربوطه و شبیه‌سازی فرایند انجماد مذاب در داخل قالب، امری بسیار مهم در طراحی تغذیه‌گذاری می‌باشد.

مهم‌ترین عواملی که بر جهت انجماد تأثیر می‌گذارند عبارتند از:

- نوع آلیاژ و مدل انجماد آن، ابعاد محفظه قالب و طراحی قطعه ریختگی

- **نوع آلیاژ و مدل انجماد:** در آلیاژهای با دامنه انجماد کوتاه یا پوسته‌ای، جهت انجماد مشخص است.

اما در آلیاژهای با دامنه انجماد طولانی، جهت انجماد به‌طور دقیق مشخص نمی‌باشد و دندریته‌های ایجاد شده ممکن است در هر جهتی رشد کنند. در آلیاژهای با انجماد پوسته‌ای، انجماد از دیواره قالب شروع شده و جبهه انجماد در جهت عکس انتقال حرارت حرکت می‌کند. بنابراین، در این نوع آلیاژها جهت انجماد جهت مشخص است و انجماد آن‌ها اصطلاحاً به‌صورت جهت‌دار می‌باشد.

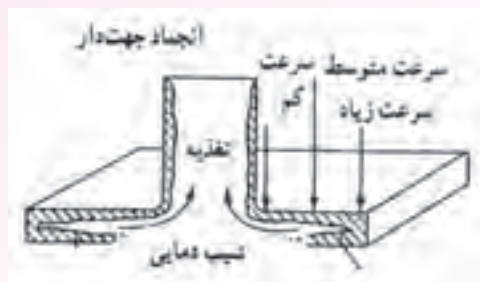
- **ابعاد محفظه قالب:** ابعاد و اندازه محفظه قالب یا به عبارت دیگر، ابعاد و اندازه قطعه ریختگی، بر جهت

انجماد مذاب اثر می‌گذارد. انجماد در قطعاتی که ضخامت یکنواخت دارند، در جهت مشخصی و به‌صورت جهت‌دار صورت می‌گیرد. اما، در قطعات ریختگی که دارای قسمت‌های با ضخامت‌های مختلف هستند، انجماد دارای جهت مشخصی نمی‌باشد و ممکن است چندین جهت انجماد مختلف در قطعه وجود داشته باشد.

- **طراحی قطعه ریختگی:** طراحی قطعه ریختگی در کاهش عیوب ریخته‌گری و رسیدن به انجماد جهت‌دار

بسیار مؤثر است به‌عنوان مثال، وجود گوشه‌های تیز در قطعه ممکن است سبب تمرکز حرارت و کاهش سرعت سرد شدن مذاب در آن نقطه‌ها شده و در نهایت، منجر به تشکیل عیوب انقباضی در گوشه‌های تیز گردد. برای رفع این مشکل می‌توان گوشه‌های تیز را در قطعه گرد طراحی کرد تا از تمرکز حرارت در آن نقطه‌ها جلوگیری

شود. همچنین، اگر طراحی به گونه‌ای باشد که حجم مذاب در یک قسمت قطعه نسبت به سایر قسمت‌ها بسیار بیشتر باشد، به علت کاهش سرعت سرد شدن در آن نقاط، امکان ایجاد عیوب انقباضی زیاد است. بنابراین، بهتر است طراحی قطعه به گونه‌ای تغییر یابد که ضخامت قطعه در تمام قسمت‌ها تقریباً یکنواخت باشد. در شکل ۴-۱۸، چگونگی انجماد جهت‌دار یک قطعه همراه با منبع تغذیه به‌طور شماتیک نشان داده شده است.

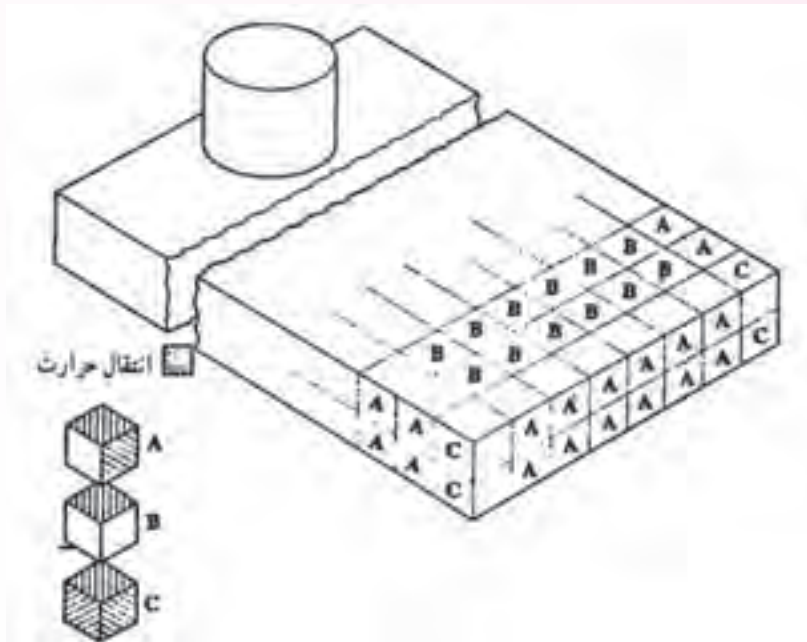


شکل ۴-۱۸- انجماد پیش‌رونده و جهت‌دار در یک قطعه همراه با منبع تغذیه

همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، هنگامی که مذاب به‌داخل قالب ریخته می‌شود، ابتدا یک پوسته جامد در فصل مشترک قالب و مذاب ایجاد می‌شود. با ادامه سرد شدن مذاب، پوسته جامد به طرف داخل قطعه، در جهت عکس انتقال حرارت از مذاب به سمت دیواره قالب و خارج قالب، پیشروی می‌کند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در لبه‌های قطعه، که سطح تماس مذاب با دیواره قالب زیاد است و انتقال حرارت بهتر صورت می‌گیرد، سرعت انجماد بیشتر از سایر قسمت‌های قالب است. با دور شدن از لبه‌های قطعه با توجه به کم شدن انتقال حرارت، سرعت انجماد کاهش می‌یابد. به‌طوری‌که، در نزدیکی منبع تغذیه، که مقدار زیادی مذاب وجود دارد و سطح کمتری برای انتقال حرارت و خارج شدن حرارت از قالب وجود دارد، سرعت انجماد کم می‌شود. در این حالت می‌توان گفت که انجماد جهت‌دار است؛ زیرا، از دورترین قسمت قالب نسبت به تغذیه شروع شده و به سمت تغذیه پیش می‌رود. در لبه‌ها قطعه و گوشه‌های خارجی، که نسبت به قسمت‌های تخت قطعه، سطح تماس بیشتری با قالب وجود دارد، خروج حرارت از قالب بهتر صورت می‌گیرد و در نتیجه، سرعت انجماد بیشتر است.

در شکل ۴-۱۹، چگونگی انتقال حرارت از قسمت‌های مختلف قطعه به‌طور شماتیک نشان داده شده است همان‌طور که در شکل ۴-۲۰ مشاهده می‌شود، قطعه به مکعب‌های کوچک با ابعاد یکسان تقسیم‌بندی شده است. مکعب‌هایی که در لبه قطعه قرار گرفته‌اند، با حرف A مشخص شده‌اند. این مکعب‌ها دارای دو سطح در تماس با دیواره قالب هستند. بنابراین، انتقال حرارت در آن‌ها از دو سطح صورت می‌گیرد. در نتیجه، مکعب‌های A سریع منجمد می‌شوند. مکعب‌هایی که در گوشه‌های خارجی قرار گرفته‌اند با حرف C نشان داده شده‌اند و دارای سه سطح در تماس با دیواره قالب می‌باشند. بنابراین، انتقال حرارت در آن‌ها از سه سطح صورت می‌گیرد. در

نتیجه، مکعب‌های C نسبت به مکعب‌های A، که انتقال حرارت در آن‌ها از دو سطح انجام می‌شود، سریع‌تر منجمد می‌شوند. مکعب‌هایی که در سطح قطعه قرار گرفته‌اند با حرف B مشخص شده‌اند، این مکعب‌ها دارای یک سطح در تماس با دیواره قالب هستند. در نتیجه، انتقال حرارت در آن‌ها تنها از یک سطح انجام می‌شود. بنابراین، نسبت به مکعب‌های A و C دیرتر منجمد می‌شوند. به عبارت دیگر، می‌توان گفت مکعب‌هایی که در گوشه و لبه قطعه قرار گرفته‌اند و نسبت به تغذیه فاصله بیشتری دارند، سریع‌تر منجمد می‌شوند. در این حالت، جبهه انجماد به سمت تغذیه پیش خواهد رفت و انجماد جهت‌دار صورت می‌گیرد.



شکل ۱۹-۴- انجماد در گوشه‌ها و لبه‌ها انتقال حرارت

### در پایان جلسه:

- جمع بندی مطالب این جلسه توسط هنرآموز
- تکالیف برای منزل هنرجویان: مطالعه متن درس و آمادگی برای آزمون جلسه آینده.

- ۱- حضور و غیاب
- ۲- پیش‌آزمون از مطالب جلسه‌های قبل (به صورت کتبی، شفاهی و پاسخ کوتاه و ...)
- ۳- یادآوری مطالب جلسه قبل

### موضوع:

## – محل تغذیه در قطعات ریختگی با سطح مقطع‌های غیریکنواخت – اجزای تغذیه، منبع تغذیه و گلوبی تغذیه

برای درک بهتر هنرجویان از مفاهیم کلیدی کتاب، سؤالاتی در رابطه با مباحث موردنظر به صورت تعاملی توسط هنرآموز مطرح می‌شود. سؤالاتی مانند:

- ۱- به نظر شما تغذیه در قطعات ریختگی با سطح مقطع‌های غیر یکنواخت در کدام قسمت قطعه قرار می‌گیرد؟
- ۲- تغذیه از چند جزء تشکیل شده است؟
- ۳- زمان انجماد تغذیه نسبت به زمان انجماد قطعه چگونه باید باشد؟

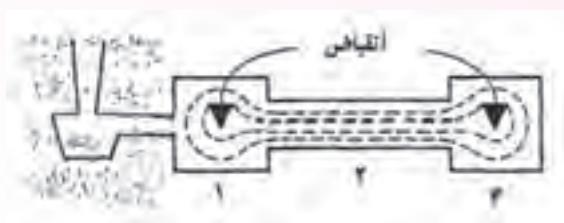
**۲-۳-۴- محل تغذیه در قطعات ریختگی با سطوح مقطع غیر یکنواخت:** در قطعات با سطح مقطع‌های غیریکنواخت بهتر است تغذیه در مجاورت قسمت‌هایی از قطعه قرار گیرد که گرم‌تر از نقاط دیگر بوده و دیرتر منجمد می‌شود. به‌طور کلی نقاط گرم، نقاطی از قطعه هستند که در جریان انجماد قطعه در آخرین مرحله انجماد، منجمد می‌شوند. می‌توان قسمت‌های ضخیم قطعه را، که حجم زیادی از مذاب دارند و دیرتر منجمد می‌شوند، به‌عنوان گرم‌ترین نقاط قطعه ریختگی در نظر گرفت.

نحوه طراحی قطعه می‌تواند در محل نقاط گرم قطعه مؤثر باشد. زیرا با استفاده از طراحی می‌توان چگونگی انتقال حرارت و انجماد قطعه را پیش‌بینی کرد.

دلایل به‌وجود آمدن نقاط گرم در قطعه ریختگی عبارتند از:

- ۱- وجود حجم زیاد مذاب در نقاط گرم نسبت به سایر قسمت‌های قطعه.
- ۲- وجود گوشه‌های داخلی در مجاورت نقاط گرم با توجه به کم بودن نسبی سرعت انتقال حرارت در گوشه‌های داخلی قطعه به‌عنوان مثال، در شکل ۲۰-۴، محل نقاط گرم در قطعه نشان داده شده است.

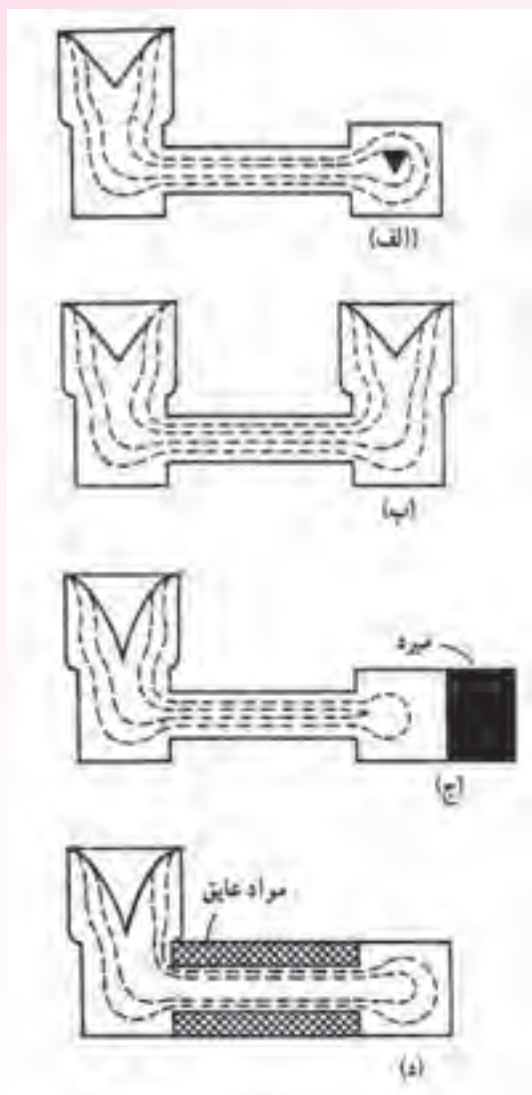
همان‌طور که مشاهده می‌شود، در قسمت‌های (۱) و (۳) قطعه، که حجم مذاب نسبت به بقیه قسمت‌های قطعه، بیشتر و در مجاورت گوشه‌های داخلی قرار دارند، نقاط گرم به‌وجود می‌آید. در شرایط معمول، بدون استفاده از تغذیه، قسمت (۲) قطعه که ضخامت کمتری دارد، نسبت به قسمت‌های (۱) و (۳) سریع‌تر منجمد می‌شود. اما، قسمت (۱) قطعه که در مجاورت راهگاه ورود مذاب قرار دارد و آخرین مذاب به آن وارد می‌شود، نسبت به سایر قسمت‌ها دیرتر منجمد می‌شود. به عبارت دیگر، ابتدا قسمت (۲)، سپس قسمت (۳)، و در نهایت قسمت (۱) قطعه منجمد می‌شود.



شکل ۴-۲۰

با توجه به دیرتر منجمد شدن قسمت‌های (۱) و (۳) قطعه نسبت به قسمت (۲)، قسمت‌های (۱) و (۳) به عنوان تغذیه برای قسمت (۲) قطعه عمل کرده و انقباض‌های ایجاد شده در حین انجماد در قسمت (۲) را جبران می‌کنند. در چنین حالتی، با توجه به این که مذاب اضافی وجود ندارد، انقباض‌های قسمت‌های (۱) و (۳) جبران نشده و حفرات انقباضی در قسمت‌های (۱) و (۳) به‌وجود می‌آید. برای اینکه بتوان این قطعه را بدون ایجاد حفرات انقباضی ریخته‌گری کرد، باید ابتدا قسمت (۳)، سپس قسمت (۲) و در نهایت قسمت (۱) قطعه جامد شود. در این صورت، با توجه به این که قسمت (۱) نسبت به بقیه قسمت‌ها دیرتر منجمد می‌شود، امکان به‌وجود آمدن حفره انقباضی در قسمت (۱) وجود دارد. اما، از آن جا که قسمت (۱) به راهگاه مذاب متصل است، حفره انقباضی ایجاد شده در این قسمت از طریق مذاب موجود در راهگاه جبران می‌شود. به عبارت دیگر، برای تهیه این قطعه به شکل صحیح و بدون عیب، باید انجماد در این قطعه به صورت جهت‌دار انجام شود. برای این منظور می‌توان در قسمت‌های (۱) و (۳) قطعه، که حفره انقباضی به‌وجود آمده، دو تغذیه در نظر گرفت تا مذاب موجود در تغذیه‌ها، حفرات انقباضی ایجاد شده را جبران کنند. اما استفاده از دو تغذیه، به علت اتلاف حجم زیاد مذاب در آن‌ها باعث کاهش راندمان ریخته‌گری قطعه می‌شود و بهتر است از این روش استفاده نشود. البته باید این نکته را در نظر داشت که در صورت عدم استفاده از تغذیه مناسب ابتدا قسمت (۲) قطعه منجمد می‌شود. بنابراین راه رساندن مذاب از قسمت (۱) به قسمت (۳) قطعه، قطع می‌شود و به‌وجود آمدن حفره انقباضی در قسمت (۳) اجتناب‌ناپذیر است.

در شکل ۴-۲۱، روش‌های مختلف تغذیه‌گذاری قطعه شکل ۴-۲۰ نشان داده شده است.



شکل ۴-۲۱- عمل تغذیه‌گذاری در یک قطعه با سطح مقطع غیریکنواخت (الف) تغذیه به یک قسمت قطعه اضافه شده است. (ب) تغذیه در دو قسمت قطعه اضافه شده است. (ج) از مبرد برای یک قسمت قطعه و از تغذیه برای قسمت دیگر استفاده شده است. (د) از تغذیه در یک قسمت قطعه استفاده شده و از مواد عایق برای مقاطع نازک قطعه

در شکل ۴-۲۱- الف، تغذیه فقط برای یک قسمت قطعه در نظر گرفته شده است. اما همان گونه که مشاهده می‌شود، در دیگر قسمت ضخیم قطعه حفره انقباضی به وجود آمده و هرچه تغذیه را بزرگتر کنیم. حفره انقباضی ایجاد شده از بین نخواهد رفت.

در شکل ۴-۲۱- ب از دو تغذیه در قسمت‌های ضخیم قطعه استفاده شده است. در این حالت، انجماد از مرکز قسمت میانی قطعه که نازک‌تر است، شروع شده و به سمت دو تغذیه پیش می‌رود. در نتیجه انجماد جهت‌دار از

مرکز قطعه به سمت تغذیه به وجود می‌آید و قطعه بدون حفره انقباضی منجمد می‌شود. اما، در این روش اتلاف مذاب به علت به کارگیری دو تغذیه زیاد خواهد بود و در نتیجه این روش از نظر اقتصادی مناسب نمی‌باشد. در شکل ۴-۲۱-ج، از یک تغذیه در یک قسمت ضخیم قطعه و یک مبرد در قسمت ضخیم دیگر قطعه استفاده شده است. در این حالت، انجماد از قسمت مجاور مبرد شروع شده و به سمت تغذیه پیش می‌رود. در این حالت نیز انجماد جهت‌دار در قطعه به وجود می‌آید و در نتیجه از تشکیل حفرات انقباضی جلوگیری می‌شود. به علاوه، اتلاف مذاب نیز کمتر از حالت قبل (ب) خواهد بود.

در شکل ۴-۲۱-د، در قسمت نازک قطعه از مواد عایق استفاده شده است. این مواد از انتقال حرارت مذاب به خارج جلوگیری کرده و انجماد قسمت نازک قطعه را به تعویق می‌اندازد. در نتیجه، انجماد از قسمت ضخیم سمت راست قطعه شروع شده و به سمت تغذیه در سمت چپ قطعه پیش می‌رود. بنابراین، مواد عایق سبب ایجاد انجماد جهت‌دار در این قطعه می‌شوند و به این ترتیب، از تشکیل حفره‌های انقباضی جلوگیری می‌شود. از طرف دیگر، به علت استفاده از یک تغذیه اتلاف مذاب نسبت به حالت (ب) کم خواهد بود.

#### ۴-۴- اجزای تغذیه

تغذیه از دو قسمت اصلی تشکیل می‌شود که عبارتند از: ۱- محلی برای نگهداری مذاب به نام منبع تغذیه ۲- کانالی جهت ورود مذاب از منبع تغذیه به محفظه قالب به نام گلوبی تغذیه

**۴-۱- منبع تغذیه:** منبع تغذیه محلی است که مذاب لازم جهت جبران انقباض‌های حجمی مذاب و حین انجماد در آن نگهداری می‌شود. مقدار مذاب در منبع تغذیه باید به اندازه‌ای باشد که مذاب موجود در تغذیه علاوه بر جبران انقباضات، نسبت به بقیه قسمت‌های قطعه گرم‌تر باشد و دیرتر منجمد شود. به عبارت دیگر، منبع تغذیه باید تا زمانی که قطعه ریختگی به‌طور کامل منجمد نشده مذاب را در خود به صورت گرم نگه‌دارد و آخرین مرحله انجماد باید در منبع تغذیه صورت گیرد. منبع تغذیه مناسب باید دارای سه شرط اصلی باشد، که عبارتند از:

الف) مقدار مذاب آن مناسب باشد؛ به طوری که، بتواند تمام انقباض‌های ایجاد شده در مذاب و حین انجماد را جبران کند.

ب) در محل مناسب قرار گیرد؛ به طوری که، آخرین مرحله انجماد مذاب در آن صورت گیرد.

ج) در زمان مناسب منجمد شود؛ به طوری که بعد از انجماد کامل قطعه، منبع تغذیه منجمد شود.

علاوه بر موارد فوق تعداد و اندازه منابع تغذیه باید در کمترین مقدار خود باشد. زیرا، در صورتی که تعداد و اندازه تغذیه زیاد در نظر گرفته شود، حجم مذاب اتلاف شده افزایش خواهد یافت و بازده ریختگی کاهش می‌یابد. در نتیجه، قیمت تمام شده قطعه افزایش می‌یابد. از طرف دیگر، محل تغذیه باید به گونه‌ای انتخاب شود که باعث به وجود آوردن عیوب دیگر در قطعه ریختگی نشود. به عنوان مثال باید به گونه‌ای باشد که کشیدگی و کبود شدن



قطعه ریختگی در محل قرار گرفتن تغذیه رخ ندهد. همچنین، نحوه اتصال منبع تغذیه به قطعه ریختگی باید به صورتی باشد که پس از انجماد قطعه بتوان آن را به راحتی جدا کرد و هزینه پرداخت کاری قطعه زیاد نشود.

## ۲-۴-۴- گلوبی تغذیه

منبع تغذیه از طریق کانالی به قطعه متصل می شود که گلوبی تغذیه نامیده می شود. گلوبی تغذیه وظیفه بسیار مهمی دارد زیرا در حالی که مذاب را از منبع به قسمت های در حال انجماد قطعه هدایت می کند، نباید سریع منجمد شود. در صورت انجماد گلوبی، ارتباط قطعه با منبع تغذیه قطع شده و جبران حفره های انقباض به وجود آمده امکان پذیر نخواهد بود. بنابراین، زمان انجماد گلوبی تغذیه باید بین قطعه و منبع تغذیه باشد؛ به طوری که انجماد جهت دار از قطعه به سمت تغذیه صورت گیرد. به عبارت دیگر:

$$(t_c > t_n > t_r) \text{ (زمان انجماد قطعه) } > \text{ (زمان انجماد گلوبی تغذیه) } > \text{ (زمان انجماد منبع تغذیه) } > t_r$$

یعنی، ابتدا قطعه، سپس گلوبی تغذیه و در نهایت، منبع تغذیه منجمد شود.

اگر گلوبی تغذیه زودتر از قطعه منجمد شود، ارتباط بین قطعه و منبع تغذیه قطع می شود. بنابراین، اندازه

گلوبی تغذیه بسیار مهم است. اندازه گلوبی باید به گونه ای باشد که مدول گلوبی ( $M_n$ ) بین مدول قطعه ( $M_c$ ) و

$$M_r > M_n > M_c \text{ (به عبارت دیگر: } M_r > M_n > M_c \text{)}$$

مدول عبارت است از نسبت حجم به سطح قطعه. با توجه به تعریف مدول، هرچه مدول قطعه ای بیشتر

باشد، حجم قطعه نسبت به سطح آن بیشتر خواهد بود. در صورتی که در قطعه ریختگی مدول قطعه افزایش یابد،

حجم بیشتری از مذاب باید حرارت خود را از سطح کوچکتری انتقال دهند. بنابراین، سرعت سرد شدن مذاب و در

نتیجه سرعت انجماد آن کاهش می یابد. با این توضیحات مشخص است برای این که منبع تغذیه دیرتر از گلوبی

تغذیه منجمد شود، باید مدول آن بیشتر از مدول گلوبی تغذیه باشد. همچنین مدول گلوبی تغذیه باید بزرگتر از

مدول قطعه باشد تا نسبت به قطعه دیرتر منجمد شود.

به طور کلی، رابطه مدول گلوبی تغذیه و مدول قطعه به صورت مقابل است:  $M_n = 1/2 M_c$ .

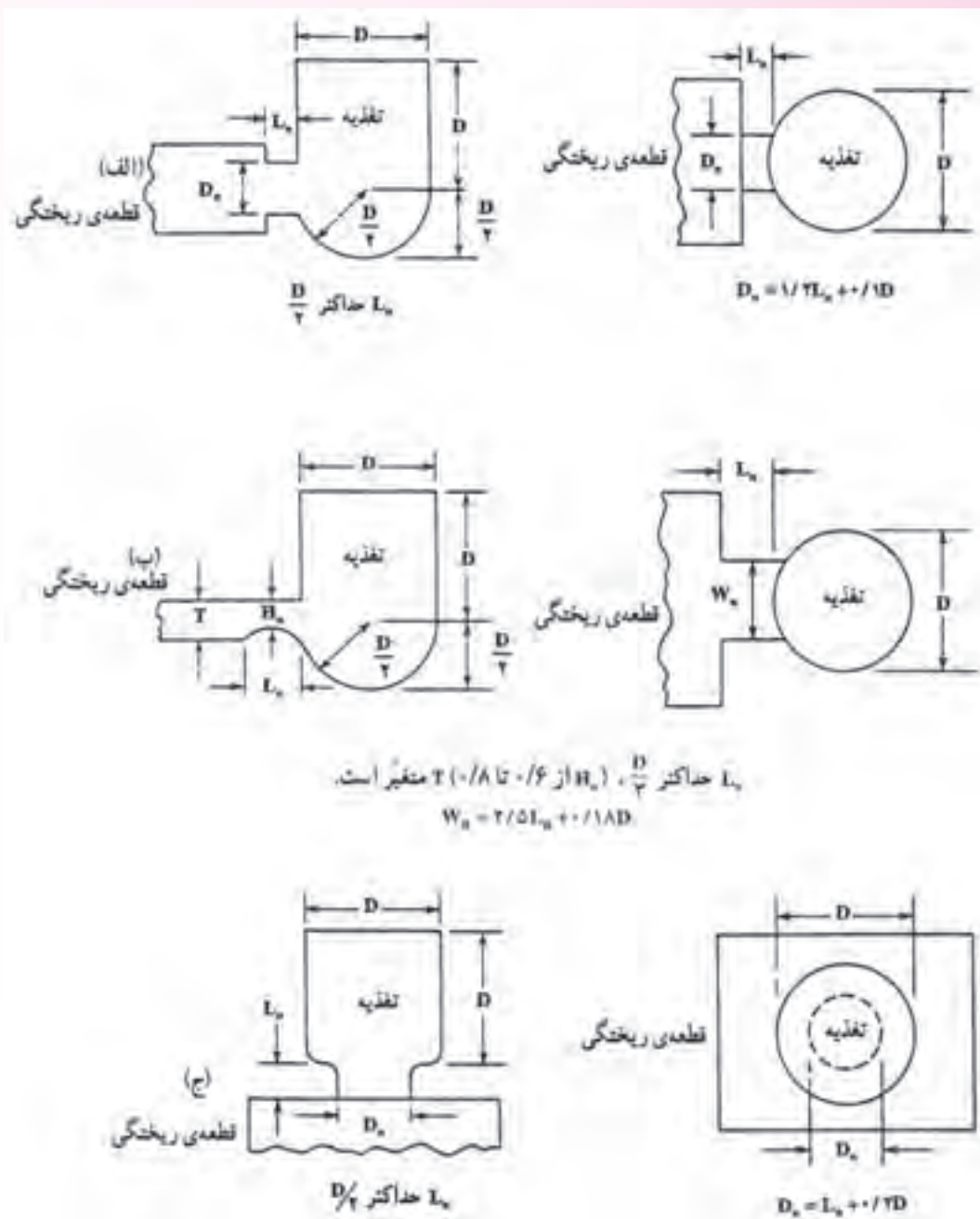
در مورد آلیاژهای با انجماد پوسته ای، به دلیل جهت دار بودن انجماد و دیرتر منجمد شدن گلوبی نسبت به

قطعه، رابطه مدول گلوبی و مدول قطعه به حداقل خود یعنی  $M_n = 1/1 M_c$  می رسد.

در شکل ۲۲-۴ روابط کلی در طراحی گلوبی برای آلیاژهای آهنی نشان داده شده است.

در این شکل، رابطه بین ابعاد گلوبی، شامل طول و قطر آن، با ابعاد تغذیه (قطر تغذیه و ...) در مورد تغذیه

جانبی، تغذیه جانبی برای صفحه و تغذیه از بالا نشان داده شده است.

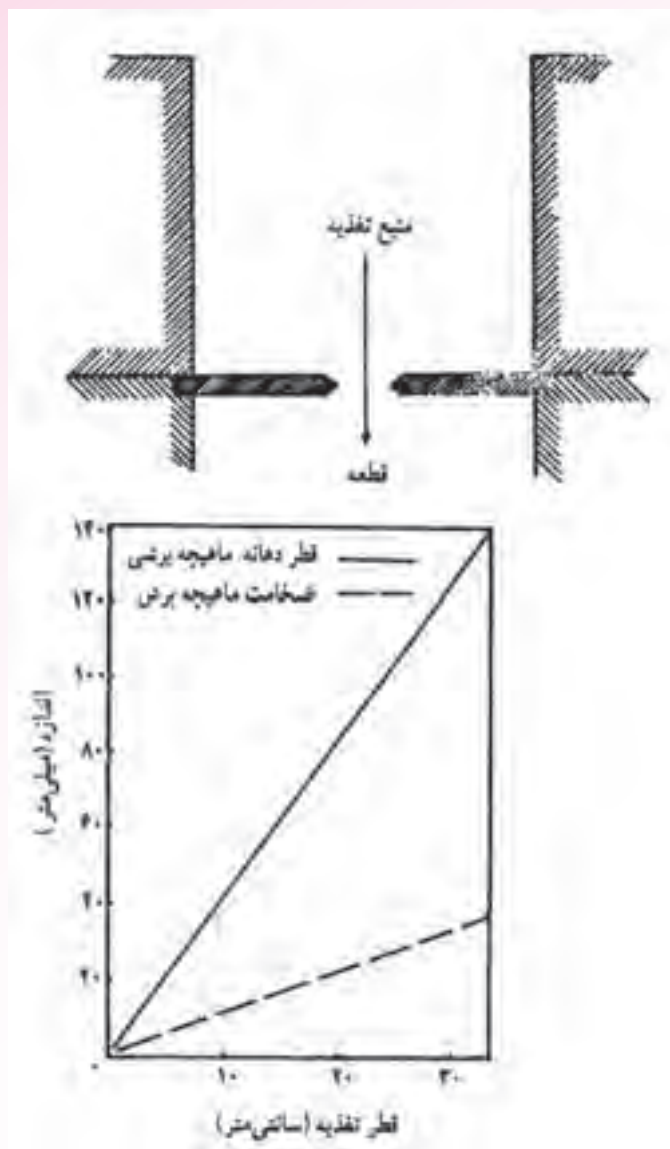


شکل ۲۲-۴- رابطه عمودی گلوبی - تغذیه مورد استفاده در آلیاژهای آهنی (نمای روبه رو و بالا)

الف) نوع تغذیه جانبی      ب) تغذیه جانبی برای صفحه ج) تغذیه از بالا      قطعه ریختگی      قطعه ریختگی

**ماهیچه برشی:** برای کاهش هزینه‌های جدا کردن تغذیه از قطعه از ماهیچه‌هایی از جنس ماسه، ماهیچه

یا مواد سرامیکی بین قطعه و تغذیه، مطابق شکل ۲۳-۴، استفاده می‌شود.



شکل ۲۳-۴- شکل ماهیچه برشی و نسبت اندازه‌های آن به قطر تغذیه قطر تغذیه (سانتی متر)

در نمودار شکل ۲۳-۴ اندازه قطر دهانه ماهیچه و ضخامت آن برحسب قطر تغذیه نشان داده شده است. قطر دهانه ماهیچه برشی نباید به حدی کوچک باشد که مذاب رسانی به قطعه خوب انجام نشود و آن قدر بزرگ باشد که جدا کردن تغذیه از قطعه به سختی انجام شود. مطابق نمودار، با افزایش قطر تغذیه، قطر دهانه و ضخامت ماهیچه افزایش می‌یابد.

### تعیین ابعاد گلویی تغذیه

برای تعیین ابعاد گلویی تغذیه چند نکته باید در نظر گرفته شود:

الف) انجماد باید به گونه‌ای باشد که ابتدا قطعه، سپس گلولی تغذیه و در نهایت تغذیه منجمد شود.  
 ب) رابطه بین مدول تغذیه، مدول گلولی و مدول قطعه به صورت  $M_r > M_n > M_c$  باید همواره برقرار باشد.  
 ج) برای محاسبه مدول گلولی باید از دو سطح متصل به قطعه و تغذیه صرف نظر شود. زیرا این سطوح تأثیری بر نحوه انجماد قطعه و تغذیه ندارند اگر این دو سطح در نظر گرفته شوند، مدول محاسبه شده به طریق هندسی ( $M'_n$ ) از مدول عملی، که پس از حذف سطوح مشترک محاسبه شده است، کمتر است. به عبارت دیگر؛

$$M_n/M'_n = 1/4 - 1/7$$

$$M'_n/M_n = 0/6 - 0/7$$

علت بزرگتر بودن  $M_n$  نسبت به  $M'_n$  در نظر گرفتن سطوح مشترک است.

### در پایان جلسه:

- جمع بندی مطالب این جلسه توسط هنرآموز
- تکالیف برای منزل هنرجویان: مطالعه متن درس و آمادگی برای آزمون جلسه آینده.

۱- حضور و غیاب

۲- پیش آزمون از جلسه‌های قبل (به صورت شفاهی، کتبی، پاسخ کوتاه، و غیره)

۳- یادآوری مطالب جلسه قبل

### موضوع:

#### - انواع تغذیه

- انواع تغذیه براساس محل قرار گرفتن تغذیه، قبل یا بعد از محفظه قالب

- انواع تغذیه براساس موقعیت قرار گرفتن تغذیه نسبت به قطعه

- انواع تغذیه براساس ارتباط تغذیه با اتمسفر محیط

برای درک بهتر متالورژی فیزیکی لازم است قبل از شروع بحث جدید، هنرآموزان محترم با هنرجویان تعاملی داشته باشند. بهتر است این تعامل به صورت سوال و جواب باشد که برای هنرجو قابل فهم باشد. سوالاتی مانند:

۱- به نظر شما چند نوع تغذیه داریم؟

۲- آیا محل قرار گرفتن تغذیه، قبل یا بعد از محفظه قالب، تأثیری بر نحوه مذاب‌رسانی به قالب دارد؟

۳- آیا تغذیه فقط در قسمت بالایی قطعه قرار می‌گیرد؟

۴- آیا تغذیه همیشه با محیط اطراف در تماس است؟

#### ۵-۴- انواع تغذیه

تغذیه انواع مختلفی دارد و در تمام قطعات همواره به یک شکل نیست و در محل مشخصی قرار نمی‌گیرد. عوامل مختلفی در تقسیم‌بندی تغذیه مؤثر است، مهم‌ترین عامل محل قرار گرفتن تغذیه‌ها در محفظه قالب نسبت به قطعه و نحوه ارتباط آن‌ها با سیستم راهگامی است. با توجه به این عوامل، تغذیه‌ها به سه روش کلی تقسیم می‌شوند. این سه تقسیم‌بندی عبارتند از:

۱- تقسیم‌بندی تغذیه براساس محل قرار گرفتن تغذیه نسبت به محفظه قالب، که تغذیه می‌تواند قبل یا

بعد از محفظه قالب قرار گیرد.

۲- تقسیم‌بندی براساس موقعیت قرار گرفتن تغذیه نسبت به قطعه ریختگی، که تغذیه می‌تواند در قسمت بالای قطعه، کنار قطعه و غیره، قرار گیرد.

۳- تقسیم‌بندی تغذیه براساس ارتباط تغذیه با اتمسفر محیط، که آیا تغذیه با محیط اطراف ارتباط دارد یا خیر.

۱-۵-۴- انواع تغذیه براساس محل قرار گرفتن تغذیه، قبل یا بعد از محفظه قالب: در این تقسیم بندی، تغذیه به دو نوع گرم و سرد تقسیم می‌شود. تغذیه گرم قبل از محفظه قالب قرار داده می‌شود. در این حالت، ابتدا مذاب از راه‌بار وارد تغذیه شده و سپس از تغذیه به داخل قطعه هدایت می‌شود. در این صورت، آخرین مذابی که در قالب ریخته می‌شود، در تغذیه قرار می‌گیرد. بنابراین، تغذیه تا آخرین مراحل انجماد قطعه به صورت مذاب باقی می‌ماند و نسبت به قطعه دمای بالاتری دارد. پس، به آن تغذیه گرم می‌گویند.

تغذیه سرد درست بعد از محفظه قالب قرار می‌گیرد. در این حالت، مذاب از راه‌بار ابتدا وارد محفظه قالب و از طریق محفظه قالب به داخل تغذیه هدایت می‌شود در حقیقت، اولین مذابی که در قالب ریخته می‌شود به تغذیه منتقل می‌شود و آخرین مذاب وارد قطعه می‌شود که دمای آن نسبت به تغذیه بیشتر است. این تغذیه، تغذیه سرد نامیده می‌شود، چون نسبت به قطعه ریخته شده، دمای کمتری دارد.

در شکل ۴-۲۴ الف، تغذیه گرم نشان داده شده است. همچنین در شکل ۴-۲۴ ب، تغذیه سرد نشان داده شده است.

همان‌طور که در شکل ۴-۲۴ الف مشاهده می‌شود، مذاب ابتدا از راه‌بار وارد تغذیه شده و سپس از تغذیه وارد محفظه قالب می‌شود. در نتیجه، آخرین مذابی که به قالب ریخته می‌شود در تغذیه باقی می‌ماند. همان‌طور که انتظار داریم، در منحنی دما برحسب فاصله از راه‌بار دمایی از طرف تغذیه به سمت قطعه به تدریج کاهش می‌یابد، یعنی تغذیه دارای بیشترین دما است.

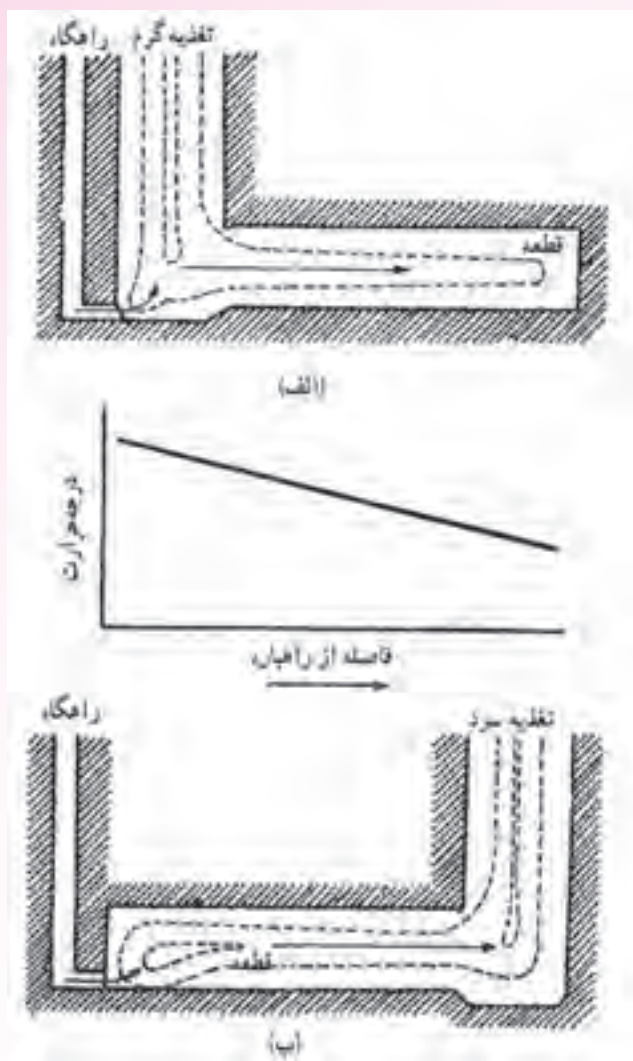
در شکل ۴-۲۴ ب، تغذیه درست بعد از محفظه قالب قرار گرفته است و در نتیجه، آخرین مذابی که وارد قالب می‌شود، در محفظه قالب باقی می‌ماند. مذاب موجود در محفظه قالب نسبت به مذاب موجود در تغذیه دارای دمای بالاتری است.

به‌طور خلاصه می‌توان گفت که در تغذیه گرم، ترتیب حرکت مذاب از راه‌بار به سمت تغذیه و از تغذیه به سمت قطعه می‌باشد می‌توان این مطلب را به‌طور خلاصه این‌طور بیان کرد:

راه‌بار ← تغذیه ← قطعه      تغذیه گرم

در تغذیه سرد، مذاب از طریق راه‌بار وارد محفظه قالب شده و از طریق محفظه به داخل تغذیه وارد می‌شود، این مطلب را نیز می‌توان به‌طور خلاصه به این شکل بیان کرد:

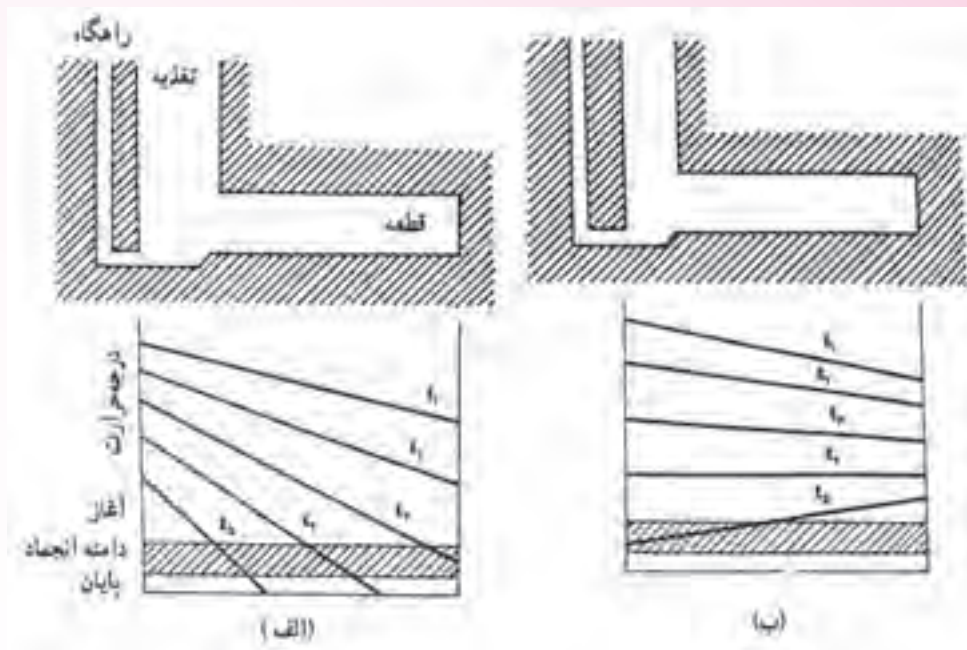
راه‌بار ← قطعه ← تغذیه      تغذیه سرد



شکل ۲۴-۴- تغذیه گرم و سرد و شیب دمایی نسبت به محل راهباره

معمولاً تغذیه گرم نسبت به تغذیه سرد از لحاظ ابعادی کوچکتر است. علت این امر این است که تغذیه گرم تا آخرین مراحل انجماد، نسبت به قطعه ریختگی دمایی بیشتری دارد. اما در تغذیه سرد، دمایی تغذیه نسبت به قطعه کمتر است. پس، برای این که در مراحل پایانی انجماد قطعه دمایی تغذیه از قطعه بیشتر باشد و تغذیه بتواند شیب دمایی لازم را در زمان معین ایجاد کند که قطعه سریعتر از تغذیه منجمد شود، باید حجم تغذیه سرد نسبت به تغذیه گرم بزرگتر باشد.

در شکل‌های ۲۵-۴ و ۲۶-۴، شیب دمایی برای تغذیه‌های گرم و سرد از ابتدای ریختن مذاب به داخل قالب تا انجماد کامل قطعه ریختگی نشان داده شده است.

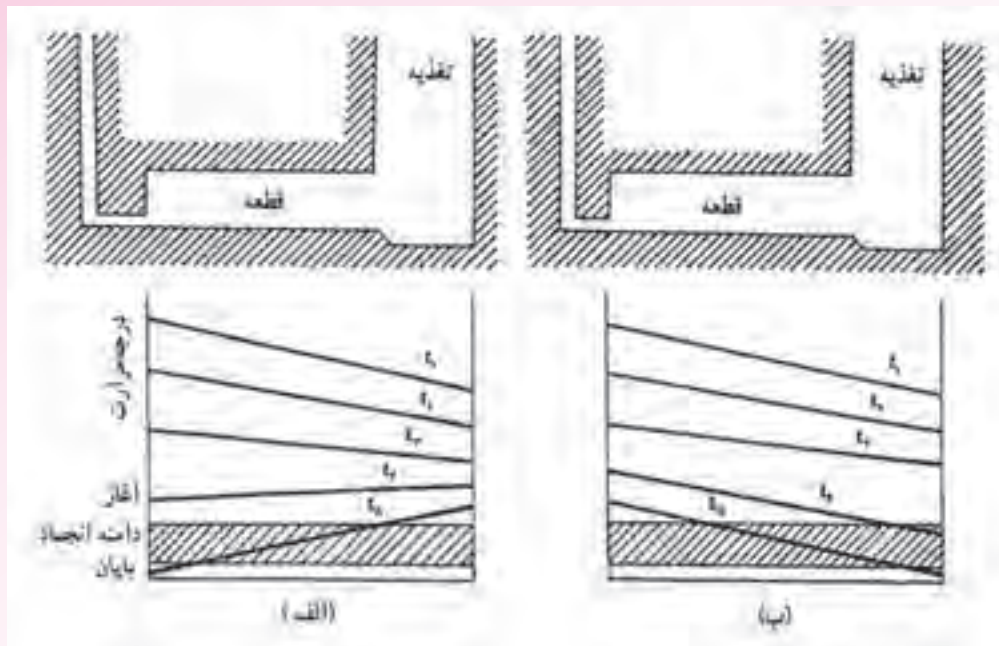


شکل ۲۵-۴- چگونگی تغییرات شیب دمایی در تغذیه گرم الف) تغذیه مناسب ب) تغذیه خیلی کوچک

همان طور که در شکل الف مشاهده می‌شود، تغذیه از نوع تغذیه گرم می‌باشد زیرا مذاب ابتدا وارد تغذیه و سپس وارد قطعه می‌شود. همان طور که در منحنی پایین شکل الف نشان داده شده است، در زمان  $t_1$  که مذاب به داخل قالب ریخته می‌شود و در حال پرکردن قالب است، دمای مذاب از تغذیه به سمت قطعه در حال کاهش است. به همین ترتیب با گذشت زمان و سرد شدن مذاب، شیب دما از تغذیه به سمت محفظه قالب است با شروع انجماد در قطعه تا پایان انجماد مانند زمان‌های  $t_2$ ،  $t_3$  و  $t_4$  نیز با توجه به این که مقدار قابل توجهی مذاب در تغذیه وجود دارد و درجه حرارت مذاب موجود در تغذیه نسبت به قطعه بالاتر است، شیب دمایی در زمان‌های  $t_2$ ،  $t_3$  و  $t_4$  از تغذیه به سمت قطعه ریختگی است. به عبارت دیگر تغذیه پس از انجماد کامل قطعه، منجمد می‌شود و وظیفه خود را به درستی انجام می‌دهد.

در شکل ب نیز تغذیه از نوع گرم است، اما حجم آن نسبت به حالت الف، کمتر است. همان طور که ملاحظه می‌شود، از هنگامی که مذاب به داخل قالب ریخته شد. (زمان  $t_1$ ) تا زمان  $t_2$ ، شیب دمایی از تغذیه به سمت محفظه قالب است. اما از زمان  $t_2$  به بعد، به علت کوچک بودن تغذیه و حجم کم مذاب موجود در آن، دمای تغذیه نسبت به قطعه سریع‌تر کاهش می‌یابد؛ به طوری که، در مراحل پایانی انجماد، ابتدا تغذیه و سپس قطعه منجمد می‌شود. یعنی، شیب دمایی در زمان  $t_2$  از طرف قطعه به سمت تغذیه و عکس شیب دمایی در زمان‌های  $t_1$  تا  $t_2$  می‌شود. در این شرایط، تغذیه وظیفه خود را به درستی انجام نداده است. به همین دلیل، باید حجم تغذیه بزرگتر در نظر گرفته شود.





شکل ۴-۲۶- چگونگی تغییرات شیب دمایی در تغذیه‌ی سرد الف) تغذیه مناسب (بزرگتر از حالت الف شکل ۴-۲۵ ب) تغذیه کوچک (برابر حالت الف شکل ۴-۲۵)

در شکل ۴-۲۶، در شکل‌های الف و ب، هر دو تغذیه، تغذیه سرد هستند، اما ابعاد تغذیه در حالت ۴-۲۶ الف بزرگتر از حالت ب می‌باشد. در شکل ۴-۲۶ الف، از زمان  $t_1$  زمان ریختن مذاب به داخل قالب تا زمان  $t_p$  سمت تغذیه می‌باشد. زیرا مذاب ابتدا وارد قطعه و سپس وارد تغذیه می‌شود و مذاب موجود در تغذیه نسبت به مذاب موجود در محفظه قالب سردتر است. با گذشت زمان از زمان  $t_p$  شیب دمایی تغییر کرده و از منبع تغذیه به سمت قطعه ریختگی خواهد شد. یعنی دمای مذاب در تغذیه بیشتر از دمای مذاب موجود در محفظه قالب می‌شود. زیرا حجم قابل توجهی از مذاب در تغذیه است که نسبت به مذاب موجود در محفظه قالب دیرتر سرد می‌شود. از زمان  $t_p$  تا پایان انجماد (زمان  $t_h$ )، شیب دمایی از طرف تغذیه به سمت قطعه خواهد بود. بنابراین، تغذیه وظیفه خود را، که مذاب‌رسانی می‌باشد، تا پایان انجماد به خوبی انجام داده است.

در شکل ۴-۲۶ ب، تغذیه سرد نسبت به شکل الف از لحاظ ابعاد و حجم مذاب کوچکتر است. در این حالت نیز در هنگام ریختن مذاب به داخل قالب (زمان  $t_1$ ) دمای مذاب در تغذیه نسبت به دمای مذاب در محفظه قالب کمتر است. بنابراین، شیب دمایی از قطعه به سمت تغذیه است. با گذشت زمان، با توجه به این که حجم مذاب موجود در تغذیه کافی نیست، تغذیه نسبت به قطعه سردتر خواهد بود. بنابراین همواره شیب دمایی از طرف قطعه به سمت تغذیه خواهد بود و تغییری در آن ایجاد نمی‌شود. در نتیجه، تغذیه نسبت به قطعه سریع‌تر منجمد شده و وظیفه مذاب‌رسانی را به درستی انجام نخواهد داد. با توجه به موارد ذکر شده، تغذیه گرم نسبت به تغذیه سرد

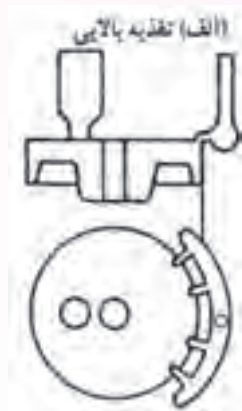
کارایی بهتری دارد. اما با توجه به محدودیت‌های طراحی و تکنولوژیکی نمی‌توان در همه قطعات از تغذیه گرم استفاده کرد. بنابراین، در این موارد باید از تغذیه سرد استفاده کرد. در چنین حالاتی، لازم است موارد ذکر شده در قسمت‌های قبل در نظر گرفته شود.

## ۲-۵-۴- انواع تغذیه براساس موقعیت قرار گرفتن تغذیه نسبت به قطعه

در این روش تقسیم‌بندی، نوع تغذیه براساس محل قرار گرفتن تغذیه نسبت به قطعه مشخص می‌شود، که عبارتند از:

**الف) تغذیه بالایی:** در این حالت تغذیه در قسمت بالایی قطعه قرار گرفته و از راهگاه بارریز جدا می‌باشد.

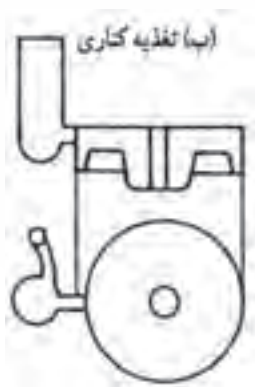
مانند شکل ۴-۲۷- الف.



شکل ۴-۲۷- الف - تغذیه بالایی

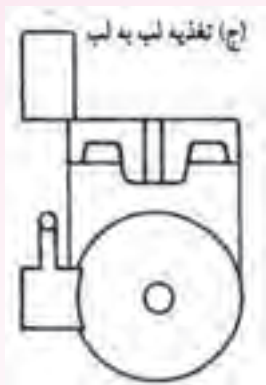
**ب) تغذیه کناری:** در این حالت تغذیه در کنار قطعه و با یک فاصله مشخص قرار می‌گیرد (مانند شکل

۴-۲۷- ب)



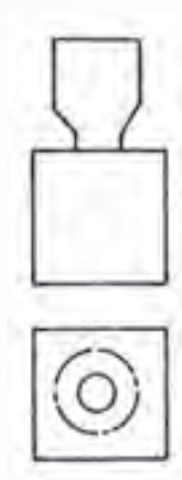
شکل ۴-۲۷- ب - تغذیه کناری

ج) تغذیه لب به لب (گوشه بالا): در این حالت تغذیه در کنار قطعه به صورت چسبیده به قطعه و در قسمت بالایی قطعه قرار می‌گیرد. (مانند شکل ۴-۲۷-ج)



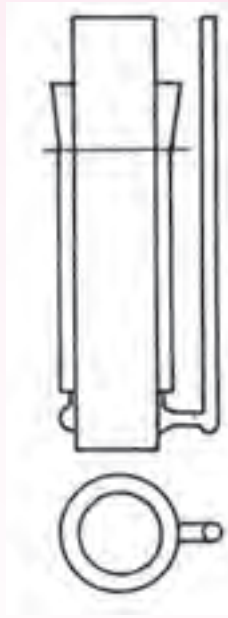
شکل ۴-۲۷-ج - تغذیه لب به لب

د) تغذیه از بالا که وظیفه راهگاه بارریز را نیز برعهده دارد: در این حالت تغذیه در قسمت بالایی قطعه قرار گرفته و همچنین مذاب از طریق تغذیه وارد قالب می‌شود (مانند شکل ۴-۲۷-د).



شکل ۴-۲۷-د - تغذیه بالایی که از آن به عنوان راهگاه بارریز استفاده می‌شود.

ه) تغذیه از بالا که جزیی از قسمت بالایی قطعه به‌شمار می‌رود: در این حالت تغذیه در قسمت بالایی قطعه قرار می‌گیرد. شکل این تغذیه مانند قسمت‌های دیگر قطعه بوده و از راهگاه ورود مذاب به قطعه جدا می‌باشد، مانند شکل ۴-۲۷-ه.

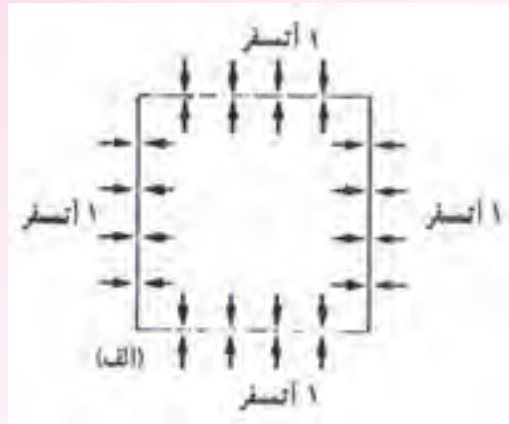


شکل ۴-۲۷ ه - تمام سطح بالایی قطعه به عنوان تغذیه

### ۳-۴-۵- انواع تغذیه براساس ارتباط تغذیه با اتمسفر محیط

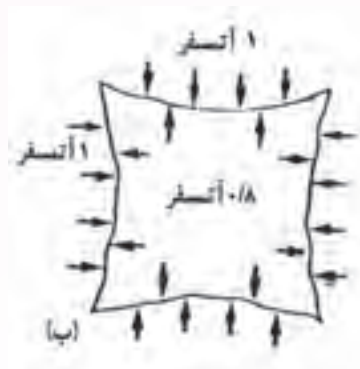
در این روش تقسیم‌بندی، دو نوع تغذیه وجود دارد که عبارتند از: الف) تغذیه باز ب) تغذیه کور  
**الف) تغذیه باز:** در این نوع تغذیه که در اکثر قالب‌های ریختگی استفاده می‌شود، قسمت بالایی منبع تغذیه با هوای محیط در تماس است. به عبارت دیگر، مذاب موجود در تغذیه با محیط اطراف، یعنی هوا، در تماس می‌باشد. در این حالت، فشار هوا به کمک وزن فلز مذاب در تغذیه می‌تواند سبب هدایت بهتر مذاب از تغذیه به سمت قطعه ریختگی شود.

در این قسمت ذکر این نکته لازم است که فشار هوا در سطح دریا، که پایین‌ترین سطح زمین در مناطق خشک را دارا می‌باشد، برابر یک اتمسفر است. در این سطح همه اجسام فشار یک اتمسفر هوا را تحمل می‌کنند. تحت این فشار، اجسام فشار داخلی یک اتمسفر دارند که با فشار خارجی ناشی از هوا خنثی می‌شود. در نتیجه، جسم بدون تغییر شکل باقی می‌ماند و در مقابل فشار هوا مقاومت می‌کند. به عنوان مثال، می‌توان قوطی آهنی خالی را در نظر گرفت که بر دیواره خارجی آن از طرف هوا فشار یک اتمسفر وارد می‌شود. اما به دلیل ارتباط بین هوای داخل و خارج قوطی، فشار داخل قوطی نیز یک اتمسفر است. بنابراین، فشار داخلی و خارجی قوطی با یکدیگر برابر بوده و با یکدیگر خنثی می‌شوند. در نتیجه، قوطی در اثر فشار هوا تغییر شکل نیافته و سالم باقی می‌ماند. این حالت در شکل ۴-۲۸- الف نشان داده شده است.



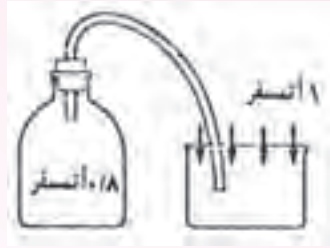
شکل ۲۸-۴-الف

اما اگر هوای داخل قوطی به وسیله یک پمپ تخلیه شود، فشار هوای داخل قوطی کمتر از یک اتمسفر خواهد شد. بنابراین با توجه به این که فشار هوا در خارج قوطی یک اتمسفر و بیشتر از فشار داخل قوطی است، قوطی تغییر شکل پیدا کرده و حجم آن کاهش می‌یابد. این حالت در شکل ۲۸-۴-ب نشان داده شده است.



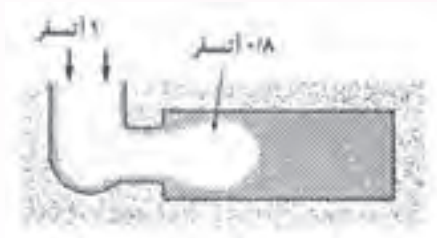
شکل ۲۸-۴-ب

مثال دیگر این است که اگر هوای داخل یک بطری تخلیه شود، فشار داخل بطری کاهش یافته و از یک اتمسفر کمتر خواهد شد. حال اگر بطری به وسیله لوله‌ای به ظرف مایع ارتباط یابد، به دلیل این که فشار هوای وارد بر سطح مایع یک اتمسفر و بیشتر از فشار داخلی بطری است، مایع از طریق لوله به سمت بطری جریان خواهد یافت. این حالت در شکل ۲۹-۴ نشان داده شده است.



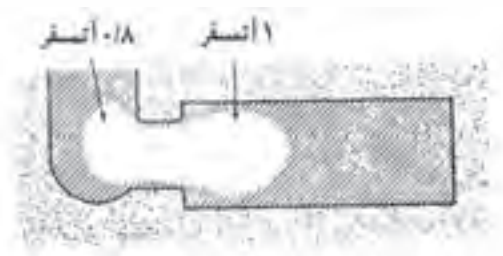
شکل ۲۹-۴- چگونگی حرکت مایع از طرف ظرف به بطری در اثر تغییر فشار

هنگامی که مذاب در داخل محفظه قالب در حال انجماد است، اگر در قطعه حفره‌ای ایجاد شود، فشار داخل حفره کمتر از یک اتمسفر می‌باشد. اما فشار هوا بر روی مذاب موجود در تغذیه برابر یک اتمسفر و بیشتر از فشار داخل حفره است، مذاب از طریق تغذیه به سمت قطعه جریان یافته و حفره ایجاد شده در قطعه را پرمی‌کند. شکل ۳۰-۴ این حالت را نشان می‌دهد.



شکل ۳۰-۴- چگونگی عمل مذاب‌رسانی یک تغذیه باز با استفاده از فشار اتمسفر

اگر سطح بالایی تغذیه، که در تماس با محیط اطراف است، سریع منجمد شود، فشار وارد بر مذاب موجود در تغذیه کمتر از یک اتمسفر خواهد شد. حال اگر در حین انجماد قطعه به طریقی هوا وارد حفره انقباضی شکل گرفته در قطعه شود، فشار داخلی حفره انقباضی حدود یک اتمسفر خواهد شد. بنابراین، فشار داخل حفره انقباضی قطعه بیشتر از فشار وارد شده بر مذاب داخل تغذیه خواهد بود. بنابراین، مذاب از طرف قطعه به سمت تغذیه جریان خواهد یافت در نتیجه، قطعه منجمد شده سالم نخواهد بود و دارای حفره انقباضی می‌شود. در این حالت، به دلیل منجمد شدن سریع مذاب سطح تغذیه، وظیفه خود را به درستی انجام نداده است. در شکل ۳۱-۴ این حالت نشان داده شده است.

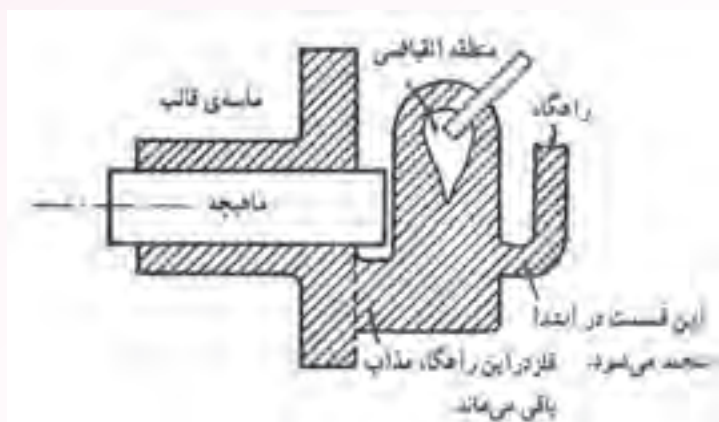


شکل ۳۱-۴- چگونگی کاهش فشار بر سطح تغذیه و جریان مذاب از قطعه به تغذیه

با توجه به مطالب ذکر شده، برای عملکرد صحیح تغذیه باز باید از منجمد شدن سطح تغذیه جلوگیری شود، تا فشار یک اتمسفر هوا همواره بر سطح مذاب موجود در تغذیه اعمال شود. در غیراین صورت، فشار مذاب موجود در تغذیه کمتر از یک اتمسفر خواهد شد و عمل مذاب‌رسانی تغذیه به درستی انجام نخواهد شد. برای بهبود عملکرد تغذیه باز می‌توان با استفاده از مواد عایق و گرمازا در سطح مذاب موجود در تغذیه، از انجماد آن جلوگیری کرد.

**ب) تغذیه کور:** در این نوع تغذیه، سطح بالایی تغذیه با محیط اطراف در تماس نیست و با ماسه قالب‌گیری پوشش داده شده است. به عبارت دیگر اطراف تغذیه به‌طور کامل با ماسه احاطه شده است و فقط محل اتصال تغذیه به قطعه با ماسه پوشانده نشده است.

شکل ۳۲-۴ تغذیه کور در قطعه ریختگی را نشان می‌دهد.

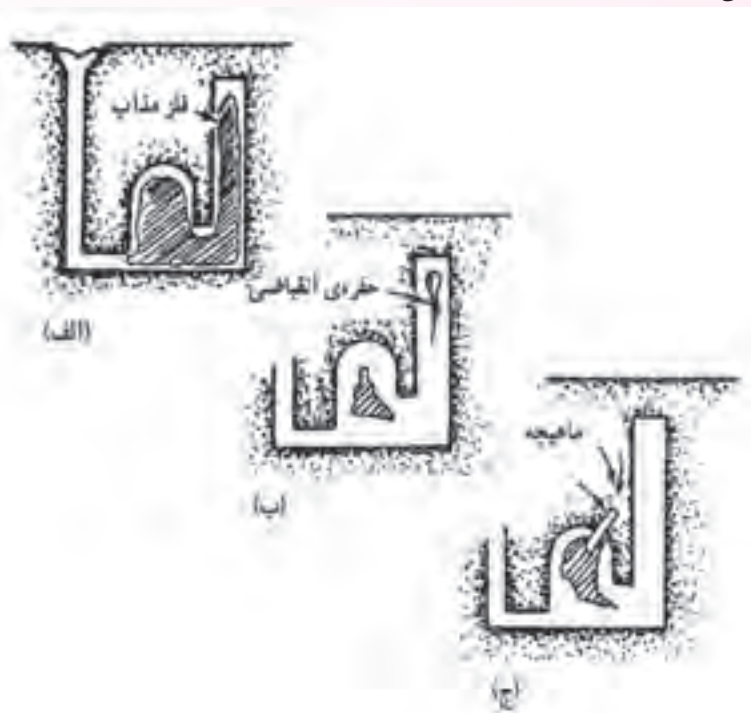


شکل ۳۲-۴- نمای برش یک محفظه قالب قطعه ریختگی با تغذیه کور

همان‌طور که در شکل نشان داده شده است کلیه قسمت‌های تغذیه به غیر از محل اتصال به قطعه و راهگاه با ماسه پوشش داده شده است.

اگر در هنگام بارریزی، مقداری هوا به همراه مذاب وارد محفظه قالب شود، در صورت تشکیل حفره انقباضی در قطعه و ورود هوا به آن، فشار داخل حفره انقباضی افزایش می‌یابد، به طوری که می‌تواند از عمل مذاب‌رسانی مناسب تغذیه جلوگیری کند و قطعه، با وجود حفره انقباضی منجمد شود. در این حالت، ورود هوا مضر خواهد بود. اما اگر هوا وارد منبع تغذیه شود، می‌تواند فشار موجود در منبع تغذیه را افزایش دهد. به طوری که این فشار سبب حرکت مذاب از تغذیه به حفره انقباضی داخل قطعه شده و سبب پرشدن آن شود. به همین دلیل برای افزایش فشار داخلی تغذیه کور بهتر است هوا به طریقی وارد تغذیه شود. برای این منظور، ماهیچه‌ای میله‌ای شکل از جنس ماسه داخل تغذیه قرار داده می‌شود تا در صورت جامد شدن پوسته خارجی تغذیه، هوای خارج از طریق

منافذ موجود در ماهیچه وارد مذاب موجود در تغذیه شود و فشار یک اتمسفر هوا بر سطح مذاب وارد شود. این حالت در شکل ۴-۳۲ نشان داده شده است. ذکر این نکته لازم است که تغذیه کور لزوماً نباید در ارتفاعی بالاتر از سطح مذاب موجود در قطعه ریختگی قرار گیرد. در صورتی که بتوان فشار یک اتمسفر هوا را روی مذاب موجود در تغذیه اعمال کرد، می توان تغذیه را در سطحی پایین تر از سطح بالایی قطعه قرار داد. زیرا فشار مذاب موجود در تغذیه بیشتر از فشار موجود در حفره انقباضی تشکیل شده در قطعه بوده و مذاب از تغذیه به سمت محفظه قالب جریان می یابد. در شکل ۴-۳۳ نحوه انجماد قطعه ریختگی با وجود تغذیه کور بدون ماهیچه ماسه ای و به همراه ماهیچه ماسه ای نشان داده شده است.



شکل ۴-۳۳- چگونگی افزایش قابلیت تغذیه با اعمال فشار اتمسفری

همان طور که در شکل ۴-۳۳ الف نشان داده شده است، پس از ریختن مذاب به داخل قالب انجماد از دیواره های قالب و تغذیه شروع شده و یک پوسته جامد اولیه در قطعه و تغذیه به وجود می آید. با گذشت زمان، پوسته جامد رشد کرده و به سمت داخل قطعه و تغذیه پیش می رود. اگر ماهیچه ماسه ای در تغذیه وجود نداشته باشد (شکل ب)، فشار مذاب موجود در تغذیه کمتر از فشار داخلی حفره انقباضی تشکیل شده در قطعه خواهد بود. بنابراین، مذاب از قطعه به سمت تغذیه جریان خواهد یافت. در نتیجه حفره انقباضی در قطعه باقی خواهد ماند و پس از انجماد کامل قطعه و تغذیه، حفره های انقباضی هم در قطعه و هم در تغذیه کور مطابق شکل ۴-۳۳- ب، دیده می شود.



در شکل ۴-۳۳ ج از یک ماهیچه ماسه‌ای در تغذیه کور استفاده شده است. این ماهیچه سبب می‌شود که هوا به داخل مذاب موجود در تغذیه وارد شده و فشار مذاب را در داخل تغذیه به یک اتمسفر می‌رساند. در این حالت، فشار مذاب موجود در تغذیه بیشتر از فشار داخلی حفره انقباضی تشکیل شده در قطعه می‌باشد. بنابراین، در حین انجماد قطعه، مذاب از تغذیه به سمت حفره انقباضی قطعه جریان یافته و حفره انقباضی موجود در قطعه را پر می‌کند. در این صورت، پس از انجماد، قطعه ریختگی فاقد حفره انقباضی است و حفره انقباضی از قطعه به تغذیه منتقل شده است.

برای درک بهتر تأثیر فشار اتمسفر در پرکردن حفره انقباضی می‌توان نحوه عملکرد فشارسنج را تشریح کرد. فضای داخل لوله فشارسنج کاملاً خلاء است. اگر این لوله درون ظرف محتوی جیوه قرار گیرد، در اثر فشار هوای اعمال شده بر سطح جیوه، جیوه از ظرف به داخل لوله جریان می‌یابد و به اندازه ۷۵ سانتی‌متر در داخل لوله بالا می‌رود. به این ترتیب، فولاد مذاب تا ارتفاع ۱۳۰ سانتی‌متر، آلومینیوم مذاب تا ارتفاع ۳۳۴ سانتی‌متر و مس مذاب تا ارتفاع ۱۱۵ سانتی‌متر در لوله فشارسنج بالا می‌رود. شکل ۴-۳۴ نحوه عملکرد فشارسنج ساده را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۳۴- تأثیر فشار اتمسفر روی جیوه و فولاد مذاب

تغذیه کور برای ریخته‌گری فلزات و آلیاژهایی به کار می‌رود که پوسته جامد اولیه تشکیل شده در آن‌ها آن قدر استحکام دارد که در اثر ورود هوا از ماهیچه ماسه‌ای به داخل تغذیه نشکند. در غیراین صورت، پوسته شکسته شده، وارد مذاب می‌شود و ممکن است سبب قطع ارتباط مذاب موجود در تغذیه با دیگر قسمت‌های قطعه شود. و در نتیجه، مذاب‌رسانی از تغذیه به خوبی انجام نخواهد شد. فولادها و چدن‌ها دارای پوسته جامد اولیه با استحکام کافی می‌باشند. در نتیجه، می‌توان از تغذیه کور در ریخته‌گری قطعات فولادی و چدنی استفاده کرد.

- ۱- حضور و غیاب
- ۲- پیش آزمون از مطالب جلسه قبل (به صورت شفاهی، کتبی، پاسخ کوتاه، ...)
- ۳- یادآوری مطالب جلسه قبل

### موضوع:

- روش‌های افزایش راندمان تغذیه (کمک تغذیه)
- استفاده از مواد عایق و گرمازا
- استفاده از مبرد
- مبردهای خارجی
- مبردهای داخلی
- طراحی سیستم راهگامی و بارریزی

به جهت فهم بهتر مطالب تخصصی کتاب و به جهت آمادگی ذهنی هنرجویان لازم است قبل از شروع درس هنرآموز سؤالاتی مطرح کند و هنرجویان به آن‌ها به صورت تعاملی جواب دهند. سؤالاتی مانند:

- ۱- آیا می‌توان با افزایش راندمان تغذیه، عیوب ایجاد شده در قطعه ریختگی را کاهش داد؟
- ۲- به نظر شما چه روش‌هایی برای افزایش راندمان تغذیه وجود دارد؟
- ۳- آیا می‌توان از مواد عایق و گرمازا جهت افزایش راندمان تغذیه استفاده کرد؟
- ۴- مبردها چه تأثیری می‌توانند در افزایش راندمان تغذیه داشته باشند؟
- ۵- به نظر شما طراحی سیستم راهگامی و بارریزی می‌تواند در عملکرد مناسب تغذیه مؤثر باشد؟

### ۴-۶- روش‌های افزایش راندمان تغذیه (کمک تغذیه)

در صورتی که بتوان تغذیه را تا پایان انجماد قطعه ریختگی به صورت مذاب نگهداری کرد، به طوری که عمل مذاب‌رسانی به قسمت‌های مختلف قطعه به‌طور کامل انجام شود و از به‌وجود آمدن عیوب انقباضی در قطعه ریختگی جلوگیری شود، می‌توان قطعه ریختگی با راندمان بالا و با کمترین دورریز و قطعه معیوب تولید نمود. برای این منظور، استفاده از روش‌هایی برای بالا بردن راندمان تغذیه مفید می‌باشد. به همین علت از روش‌های

کمک تغذیه استفاده می‌شود.

کمک تغذیه به روشی گفته می‌شود که سبب افزایش شیب دمایی از تغذیه به قطعه می‌شود. در نتیجه، تغذیه تا پایان انجماد قطعه منجمد نمی‌شود. بنابراین، مذاب‌رسانی از تغذیه به قطعه ریختگی در کل مراحل انجماد قطعه انجام شده و از به‌وجود آمدن عیوب انقباضی در قطعه جلوگیری می‌شود. استفاده از این روش بهبود کیفیت قطعه ریختگی و افزایش راندمان ریختگی و در نهایت، کاهش قیمت تمام شده قطعه است. زیرا، تعداد قطعات معیوب و برگشتی در حین تولید کاهش می‌یابد.

روش‌های کمک تغذیه عبارتند از:

- استفاده از مواد عایق و گرمازا

- استفاده از مبرد

- تغییر در طراحی سیستم راهگامی و بارریزی

- تغییر در طراحی قطعات و مدل

- کنترل دمای بارریزی

#### ۱-۶-۴- استفاده از مواد عایق و گرمازا

اگر تغذیه از مواد عایق ساخته شود و یا در تغذیه از مواد گرمازا استفاده شود، مدت زمانی که فلز به حالت مذاب در تغذیه باقی می‌ماند، افزایش می‌یابد. بنابراین، می‌توان با این روش تا انجماد کامل قطعه ریختگی فلز را به صورت مذاب در تغذیه نگهداری کرد. با استفاده از مواد عایق و گرمازا می‌توان شیب دمایی مناسبی از تغذیه به قطعه ایجاد کرد. از طرف دیگر، اگر بتوان مذاب داخل تغذیه را مدت زمان بیشتری نگهداری کرد، می‌توان حجم تغذیه را کاهش داد. در نتیجه، مقدار برگشتی کاهش یافته و راندمان ریختگی افزایش خواهد یافت. البته در قسمت‌هایی از محفظه قالب که سریع منجمد می‌شوند نیز می‌توان از مواد عایق استفاده کرد تا از انجماد سریع آن‌ها قسمت‌ها جلوگیری شود. اما به دلایل تکنولوژیکی و عملی، کمتر از مواد عایق در محفظه قالب استفاده می‌شود.

معمولاً سه نوع کمک تغذیه در طراحی تغذیه به کار می‌رود:

**۱- تغذیه کانالی:** در این روش، تغذیه قبل از ساخت قالب از مواد عایق و گرمازا، تهیه می‌شود. سپس به

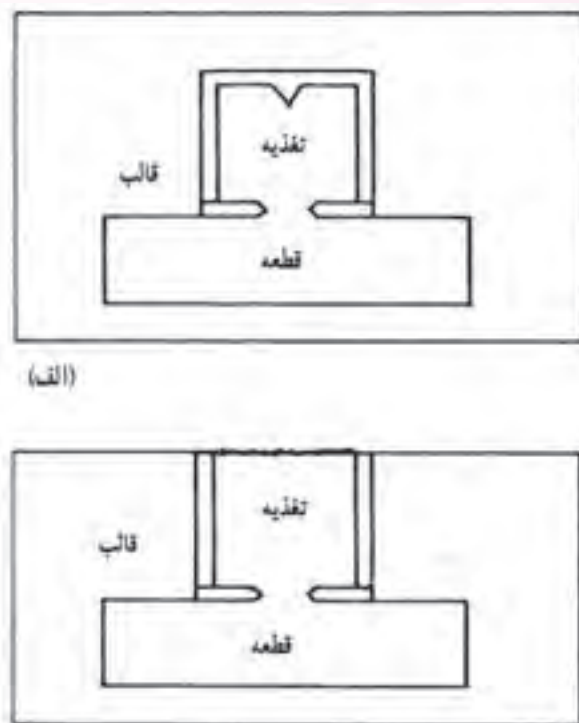
عنوان تغذیه در بالای محفظه قالب قرار می‌گیرد. در این حالت، ارتباط بین محفظه قالب و تغذیه از طریق کانال بین آن‌ها صورت می‌گیرد.

**۲- استفاده از مواد عایق و گرمازا در قسمت بالایی تغذیه‌های روباز:** در این روش سطح بالایی تغذیه،

که معمولاً باز می‌باشد، را با استفاده از مواد عایق می‌پوشانند، تا از انتقال حرارت مذاب داخل تغذیه به محیط اطراف از طریق تشعشع جلوگیری شود.

۳- استفاده از سیستم‌های حرارتی نظیر شعله، میله داغ، مقاومت الکتریکی و قوس الکتریکی در تغذیه: با استفاده از این ابزار می‌توان از انجماد زود هنگام تغذیه جلوگیری کرد و مذاب داخل تغذیه را تا پایان انجماد قطعه ریختگی نگه‌داری کرد.

در شکل ۴-۳۵ نمونه‌ای از کاربردهای کمک تغذیه نشان داده شده است.



شکل ۴-۳۵- نمایش شماتیکی از کاربرد کمک تغذیه‌ها برای الف یک تغذیه کور ب یک تغذیه روباز همراه با مواد گرمازا

همان‌طور که در شکل ۴-۳۵- الف مشاهده می‌شود، تغذیه از مواد عایق ساخته شده است. حتی سطح بالایی تغذیه نیز با مواد عایق پوشانده شده است. با این روش می‌توان تغذیه را تا مدت زمان زیادی به صورت مذاب نگهداری نمود.

در شکل ۴-۳۵- ب، تغذیه از مواد عایق ساخته شده و سطح بالایی آن توسط مواد گرمازا، جهت جلوگیری از کاهش دمای مذاب در سطح تغذیه، پوشانده شده است. این روش سبب افزایش مدت زمان نگهداری مذاب در تغذیه می‌شود.

در جدول ۴-۲- الف اثر کمک تغذیه‌های مختلف در به تأخیر انداختن انجماد تغذیه‌ای به قطر  $102\text{mm}$  و ارتفاع  $102\text{mm}$  برای سه آلیاژ مختلف نشان داده شده است. همچنین در جدول ۴-۲- ب، درصد تلفات حرارت به وسیله تشعشع از سطح تغذیه نشان داده شده است.



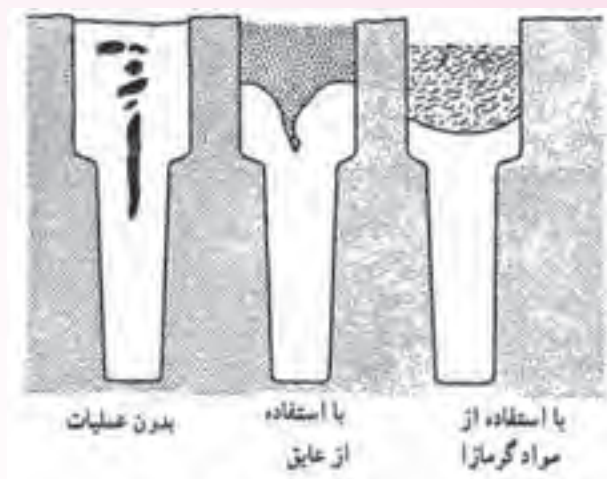
جدول ۴-۲ الف) اثر کمک تغذیه‌ها در زمان انجماد آلیاژهای مختلف (ب) درصد تلفات حرارت به وسیله تشعشع از سطح تغذیه

همان‌طور که در جدول ۴-۲ الف مشاهده می‌شود، استفاده از کمک تغذیه سبب افزایش زمان انجماد مذاب موجود در تغذیه برای سه فلز فولاد، مس و آلومینیوم می‌شود به طوری که با استفاده از تغذیه کانالی با عایق بندی در قسمت بالایی آن، زمان انجماد مذاب به بیشترین مقدار خود برای هر سه فلز می‌رسد.

در جدول ۴-۲ ب مشاهده می‌شود که در فلزاتی که نقطه ذوب بالاتری دارند، مانند فولاد و مس، درصد تلفات حرارت از طریق تشعشع بیشتر است.

مواد عایق و گرمازا سبب می‌شوند که تا آخرین لحظه انجماد قطعه، تغذیه به صورت مذاب باقی بماند. در نتیجه راندمان تغذیه افزایش می‌یابد. در شکل ۴-۳۶ اثر استفاده از مواد عایق و گرمازا در تغذیه را نشان می‌دهد.

همان‌طور که در شکل نشان داده شده است وقتی قطعه‌ای که در تغذیه قطعه از مواد عایق و گرمازا استفاده نشده، حفرات انقباضی به صورت پراکنده در قطعه و تغذیه ایجاد شده است. اما زمانی که در تغذیه از مواد عایق استفاده شده، در قطعه حفره انقباضی ایجاد نشده اما در تغذیه حفره انقباضی به صورت نشان داده شده ایجاد گردیده است. در حالتی که در تغذیه از مواد گرمازا استفاده شده است، تغذیه تا آخرین لحظات به صورت مذاب باقی مانده و در نتیجه، حفره انقباضی در قطعه ایجاد نشده است. از طرف دیگر، سطح تغذیه تقریباً یکنواخت باقی مانده و حفره انقباضی در آن ایجاد نشده است.



شکل ۳۶-۴. استفاده از مواد عایق و گرمازا در تغذیه

مواد گرمازا معمولاً به صورت مخلوطی از یک ماده سریع مشتعل شونده مانند پودر آلومینیوم، پودر کک یا زغال چوب و یک اکسید فلزی، به عنوان عامل اکسیژن دهنده، می باشد. این مخلوط در اثر حرارت ناشی از تماس با فلز مذاب محترق شده و گرمای بسیار زیادی تولید می کنند. این گرما صرف بالا بردن دمای مذاب در تغذیه و جلوگیری از انجماد مذاب می شود. به عنوان مثال، اگر مخلوطی از پودر آلومینیوم و اکسید آهن به عنوان ماده گرمازا استفاده شوند، آلومینیوم سبب احیای ترکیب اکسید آهن شده، با اکسیژن آزاد شده از احیا اکسید آهن ترکیب شده و سبب آزاد شدن گرما می شود. واکنش احیا به صورت زیر می باشد:



## ۲-۶-۴. استفاده از مبرد

مبردها موادی هستند که هدایت حرارتی بالایی دارند و در قسمت هایی از قطعه که دیرتر از سایر قسمت های قطعه منجمد می شوند، مورد استفاده قرار می گیرند. در اثر وجود مبرد انجماد آن قسمت ها تسریع شده و شیب دمایی از تغذیه به طرف قطعه افزایش می یابد. مهم ترین موادی که به عنوان مبرد در قالب استفاده می شوند عبارتند از: مس، آلومینیوم، چدن، گرافیت و غیره.

همان طور که ذکر شد، مبرد برای افزایش موضعی سرعت انجماد در یک قسمت قطعه در حال انجماد نسبت به سایر قسمت ها به کار می رود. بنابراین، قالب ریژه که فلزی می باشد را نمی توان مبرد در نظر گرفت، زیرا تمام قسمت های قالب ریژه فلزی است و سبب افزایش سرعت انجماد در یک قسمت قطعه نسبت به بقیه قسمت ها نمی شود. البته اگر در قالب های ریژه در بعضی قسمت ها مواد با هدایت حرارتی بالاتر، مانند مس به کار رود یا از عبور موضعی آب در آن قسمت ها استفاده شود و یا قسمت هایی از قالب نسبت به بقیه قسمت ها ضخیم تر شود،

می‌توان این موارد را به عنوان مبرد در نظر گرفت.

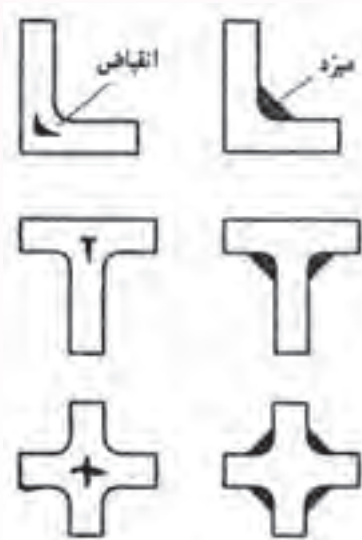
به‌طور کلی، دو نوع مبرد وجود دارد:

الف) مبرد خارجی که در دیوارهٔ قالب در فصل مشترک قالب و فلز مذاب قرار می‌گیرد.

ب) مبرد داخلی که در داخل محفظهٔ قالب جای‌گذاری می‌شود.

**الف) مبردهای خارجی:** مبردهای خارجی قطعاتی فلزی از جنس فولاد، چدن و یا مسی هستند. این

قطعات فلزی در قسمت‌هایی از قالب که قطعه در آن قسمت دیرتر از بقیهٔ قسمت‌ها منجمد می‌شود، قرار داده می‌شوند. به علت بالا بودن هدایت حرارتی این قطعات فلزی، مذاب در مجاورت این قطعات سریع‌تر منجمد می‌شود. معمولاً مبردهای خارجی دارای شکل استاندارد هستند و اما در حالت‌هایی که قطعه دارای شکل پیچیده است، می‌توان مبرد را متناسب با قطعه طراحی نمود و ساخت. ابعاد مبرد براساس میزان سرعت سرد شدن مورد نیاز تعیین می‌شود؛ به‌طوری که اگر بخواهیم سرعت سرد شدن مذاب زیاد باشد، باید از مبرد بزرگتری استفاده کنیم. در شکل ۴-۳۷ تأثیر استفاده از مبردهای خارجی بر نحوهٔ انقباض چند قطعه به‌طور ساده نشان داده شده است.



شکل ۴-۳۷- مبردهای خارجی با اندازه‌های مناسب به منظور حذف مک‌های انقباضی

همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، در حالتی که از مبرد استفاده نشده، در قسمت‌های ضخیم قطعه،

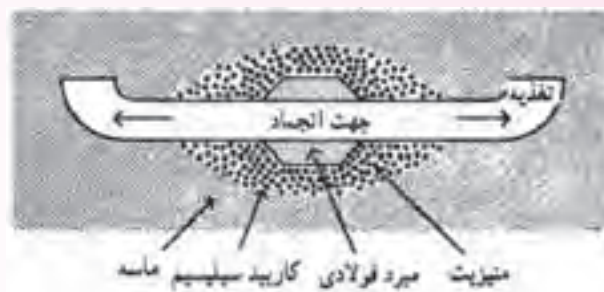
که سرعت انجماد در آن قسمت‌ها نسبت به بقیهٔ قسمت‌های قطعه کمتر است، حفرات انقباضی به‌وجود آمده است.

اما در قطعاتی که از مبرد استفاده شده، به دلیل افزایش سرعت انجماد در قسمت‌های ضخیم قطعه به‌خصوص

گوشه‌ها از به‌وجود آمدن حفرات انقباضی جلوگیری شده است.

برای تقویت اثر مبرد، یا به عبارت دیگر افزایش سرعت سردکنندگی مبرد، می‌توان همراه مبرد موادی مانند

ذرات خرد شده منیزیت و کاربید سیلسیم به کار برد. این مواد سبب افزایش شیب حرارتی از تغذیه به سمت قطعه می‌شوند. در شکل ۳۸-۴، تأثیر مواد استفاده شده به همراه مبرد بر نحوه‌ی انجماد نشان داده شده است.



شکل ۳۸-۴. انجماد جهت‌دار با استفاده از مواد مختلف به همراه مبرد

همان‌طور که در شکل ملاحظه می‌شود، با استفاده از ذرات منیزیت و کاربید سیلسیم در اطراف مبرد، انجماد از نواحی اطراف مبرد شروع شده و به تغذیه ختم می‌شود. به عبارت دیگر، انجماد به صورت جهت‌دار در قطعه انجام می‌شود.

تأثیر مبردهای خارجی بر انجماد قطعه به صورت خلاصه عبارت است از:

**۱- اصلاح شیب دمایی:** مبرد سبب می‌شود که قسمت‌های ضخیم قطعه سریع‌تر منجمد شده و شیب

دمایی از تغذیه به طرف قطعه باشد.

**۲- ایجاد انجماد جهت‌دار:** استفاده از مبرد سبب می‌شود که انجماد از نواحی اطراف مبرد شروع شده و

به تغذیه ختم گردد. در نتیجه، سبب ایجاد انجماد جهت‌دار می‌شود.

**۳- کاهش مک‌های میکروسکوپی و ماکروسکوپی:** استفاده از مبرد سبب می‌شود قسمت‌های ضخیم

قطعه، سریع‌تر از تغذیه منجمد شده و در صورت ایجاد حفرات انقباضی در آن قسمت‌ها، به دلیل مذاب‌رسانی تغذیه، حفرات انقباضی پُر شوند.

**۴- کاهش حجم و تعداد تغذیه:** مبرد سبب می‌شود که قسمت‌های ضخیم قطعه، که نسبت به بقیه

قسمت‌ها دیرتر منجمد می‌شوند، سریع‌تر منجمد شوند. بنابراین، نیازی به افزایش حجم تغذیه و تعداد تغذیه نخواهد بود.

**۵- کاهش میزان عیوب و دورریز قطعات:** مبرد سبب جلوگیری از تشکیل حفرات انقباضی در قسمت‌های

ضخیم می‌شود. بنابراین مقدار عیوب و قطعات برگشتی کاهش می‌یابد.

**۶- کاهش قابل توجه قیمت تمام شده قطعه:** استفاده از مبرد سبب کاهش حجم و تعداد تغذیه و

همچنین کاهش عیوب قطعه و قطعات برگشتی می‌شود. بنابراین استفاده از مبرد سبب افزایش راندمان ریخته‌گری



و در نهایت کاهش قیمت تمام شده قطعه می‌شود.

### نکاتی در مورد چگونگی استفاده از مبرد

۱- مبرد در هنگام استفاده باید کاملاً خشک شده باشند. زیرا، وجود رطوبت روی آن‌ها سبب ایجاد گاز در مذاب و در نهایت، منجر به ایجاد مک در قطعه ریختگی می‌شود.

۲- سطح مبردها معمولاً با یک ماده نسوز مانند سیلیسیم پوشش داده می‌شود تا از تماس مستقیم سطح مبرد با مذاب که موجب ذوب موضعی مبرد و ورود ناخالصی به مذاب می‌شود، جلوگیری شود. لازم به ذکر است که برای اعمال موفق لایه نسوز روی سطح مبرد، سطح باید کاملاً خشک باشد.

۳- اگر در قالب‌های ماسه‌ای تر، از مبرد استفاده شود، در صورتی که فاصله زمانی بین قالب‌گیری و بارریزی طولانی باشد، سطح مبرد مرطوب خواهد شد و در صورت ریختن مذاب به قالب ممکن است در قطعه مک ایجاد شود. به همین دلیل، قبل از جاگذاری مبرد در قالب، باید آن را پیش گرم کرد یا در صورت امکان، فاصله زمانی بین قالب‌گیری و بارریزی را کوتاه کرد. همچنین می‌توان قبل از قرار دادن مبردها در قالب چندین سوراخ در آن‌ها ایجاد کرد، تا گازهای ایجاد شده در اثر رطوبت از طریق آن سوراخ‌ها به قالب ماسه‌ای و خارج آن انتقال یابد.

۴- از مبردهای دارای ترک مویی نباید در سطح استفاده کرد، زیرا ممکن است مذاب وارد آن ترک‌ها شده و هنگام خارج کردن قطعه از قالب، مبرد به قطعه بچسبد و جدا کردن مبرد از قطعه سبب آسیب به قطعه شود.

۵- ضخامت مبردها باید متناسب با سرعت مورد نیاز سرد شدن مذاب و جنس قطعه انتخاب شود. در صورتی که ضخامت مبرد خیلی کم باشد، اثر سردکنندگی کافی را نخواهد داشت. در صورت استفاده از مبردهای ضخیم در قالب ممکن است تغییرات ناخواسته در ساختار قطعه رخ دهد. به عنوان مثال، در چدن‌های خاکستری و نشکن استفاده از مبرد ضخیم می‌تواند ساختار قطعه را به صورت موضعی سخت و خشن نماید. به طور کلی، در عمل ضخامت مبرد بین  $\frac{1}{3}$  تا  $\frac{2}{3}$  ضخامت قطعه ریختگی در نظر گرفته می‌شود.

### ب) مبردهای داخلی: مبردهای داخلی در داخل محفظه قالب، یا به عبارت دیگر داخل قطعه ریختگی،

در قسمت‌هایی که امکان استفاده از مبردهای خارجی وجود نداشته باشد، به کار برده می‌شوند. معمولاً مبردهای داخلی در قسمت‌هایی از قطعه که بعداً ماشین کاری شده و یا سوراخ می‌شوند استفاده می‌شوند. جنس مبردهای داخلی معمولاً از جنس خود قطعه ریختگی انتخاب می‌شوند. علت این امر، حفظ یکنواختی ترکیب شیمیایی در قطعه ریختگی و از طرف دیگر اتصال مناسب بین مبرد و قطعه از طریق ذوب سطحی مبرد است. اگر مبرد از جنس قطعه ریختگی انتخاب نشود، عدم یکنواختی در ترکیب شیمیایی قطعه و عدم اتصال مناسب بین مبرد و قطعه اتفاق می‌افتد. شکل ۳۹-۴ چند نوع مبرد داخلی مورد استفاده در قطعات ریختگی را نشان می‌دهد.



شکل ۳۹-۴- مثال‌هایی از مبردهای داخلی (a) مبرّد میخی مارپیچ (b) مبرّد میخی سرنخت (c) مبرّد فنری (d) مبرّد شبکه ای (e) مبرّد توپی (f) مبردهای میخی (g) مبرّد چندشاخه‌ای (h) مبرّد میله‌ای

- با توجه به این که مبردهای داخلی در قسمت‌های داخلی محفظه قالب و قطعه به کار می‌روند، شرایط استفاده از آن‌ها نسبت به مبردهای خارجی بحرانی‌تر است. بنابراین در استفاده از مبردهای داخلی علاوه بر رعایت نکات ذکر شده در مورد مبردهای خارجی، موارد زیر نیز باید مورد توجه قرار گیرد.
- ۱- ابعاد مبردها باید به گونه‌ای باشد که در هنگام ریختن مذاب به داخل قالب ذوب نشوند، زیرا در صورت ذوب شدن سبب ایجاد نقاط ضعف در قطعه و کاهش خواص قطعه ریختگی می‌شوند.
  - ۲- مبردها باید در محفظه قالب به گونه‌ای قرار داده شوند که در هنگام مذاب در قالب جابه‌جا نشوند. در غیراین صورت، وجود مبرد در افزایش سرعت سرد شدن مذاب نتیجه‌بخش نخواهد بود.
  - ۳- مبرد باید کاملاً تمیز و فاقد هرگونه زنگ و اکسید باشد، زیرا ممکن است آلودگی و اکسید سبب ایجاد گاز در فلز مذاب و در نتیجه مک در قطعه شود. به همین دلیل، بهتر است مبرد قبل از استفاده، پیش گرم شود تا سطح آن خشک شود و از آلودگی‌هایی نظیر روغن پاکسازی شود.
  - ۴- با توجه به این که ساختار مبرد نسبت به قطعه ریختگی متفاوت است، ممکن است سبب تغییر خواص مکانیکی در محل قرار دادن مبرد در قطعه شود.
  - ۵- مبرد باید از لحاظ ترکیب شیمیایی تقریباً معادل قطعه ریختگی باشد. در غیراین صورت ممکن است سبب تغییر خواص قطعه ریختگی در آن نقاط شود و اتصال موردنیاز بین قطعه و مبرد ایجاد نشود به عنوان مثال،

در ریخته‌گری فولاد یا فلزات غیرآهنی نمی‌توان از مبردهای داخلی چدنی استفاده کرد.

۶- در مورد فلزات با نقطه ذوب پایین استفاده از مبردهای داخلی محدود می‌شود. زیرا فلز مذاب قادر به

ذوب سطحی مبرد نیست و در نتیجه، پس از انجماد اتصال مناسبی بین قطعه و مبرد ایجاد نخواهد شد.

۳-۶-۴- طراحی سیستم راهگامی و بارریزی: طراحی صحیح یا اصلاح سیستم راهگامی و بارریزی

می‌تواند سبب کاهش مک‌های انقباضی و در نهایت، موجب بهبود کیفیت قطعه ریخته‌گری شود. مهم‌ترین روش های اصلاح سیستم راهگامی عبارتند از:

۱- استفاده از راهگام‌های پله‌ای و یا ارتباط تغذیه با راهگام که در این صورت مذاب نه تنها از طریق محفظه

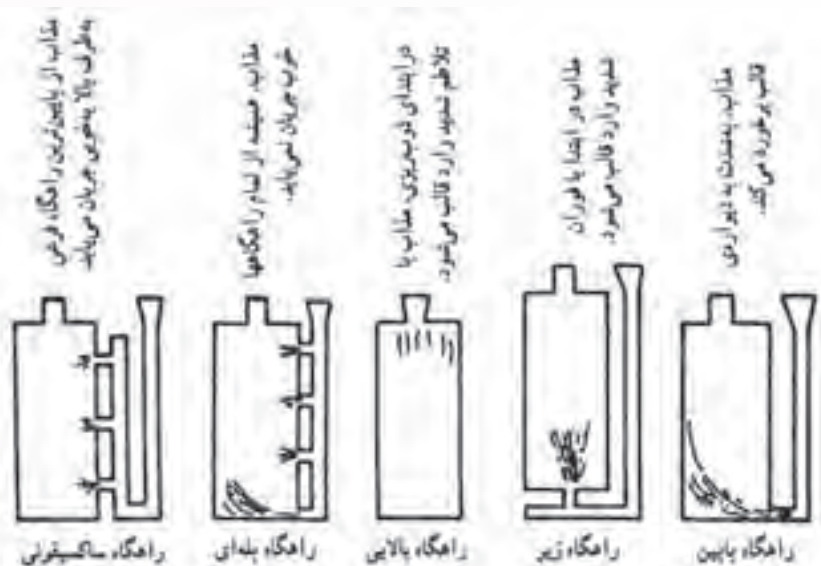
قالب، بلکه از طریق راهگام بارریز نیز به‌طور مستقیم وارد تغذیه خواهد شد. بنابراین، گرم‌ترین مذاب در تغذیه قرار می‌گیرد. در نتیجه، شیب حرارتی مناسب بین تغذیه و قطعه ایجاد شده و مک‌های انقباضی از قطعه به تغذیه انتقال می‌یابند.

۲- بارریزی و انجماد مذاب در قالب‌هایی که به صورت شیب‌دار نسبت به خط افق قرار می‌گیرند. در این

حالت به دلیل وجود شیب در قالب، مذاب سریع‌تر قسمت‌های دوردست قالب را پر کرده و در آن قسمت‌ها منجمد می‌شود. سپس، انجماد به سمت تغذیه ادامه می‌یابد.

۳- بارریزی مذاب به داخل قالب در مراحل اولیه ریختن مذاب به قالب از سیستم راهگامی پایینی این روش

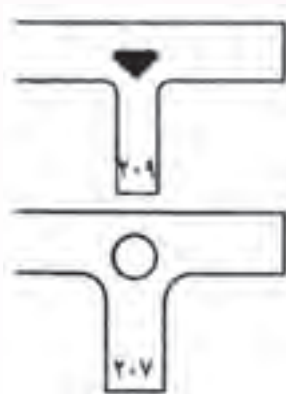
سبب می‌شود که مذاب بدون اغتشاش و تلاطم وارد قالب شده و پس از آن که محفظه قالب به اندازه کافی از مذاب پر شد، بقیه فلز مذاب از بالا به داخل محفظه قالب ریخته شود. شکل ۴-۴۰ چند نوع سیستم راهگامی در ارتباط با تغذیه را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۴۰- چند نوع سیستم راهگامی در ارتباط با تغذیه

همان طور که در شکل مشاهده می‌شود، در حالتی که راهگاه به صورت راهگاه پایین یا راهگاه زیر یا راهگاه بالایی است، مذاب با تلاطم و اغتشاش وارد محفظه قالب می‌شود که ممکن است سبب ایجاد عیوب بر قطعه ریخته‌گری شود. در حالتی که از راهگاه پله‌ای استفاده شده نیز جریان مذاب ورودی به محفظه از تمام راهگاه‌ها یکسان نبوده و در نتیجه، منجر به تلاطم مذاب خواهد شد. اما، در حالتی که از راهگاه ساکسیفونی استفاده شده، مذاب از پایین‌ترین راهگاه فرعی به طرف بالا به خوبی جریان می‌یابد و تلاطم مذاب در کمترین مقدار خود خواهد بود.

۴- تغییر در طراحی قطعات و مدل که در بعضی قطعات می‌توان با تغییر در طراحی قطعه بدون این که در عملکرد قطعه خللی ایجاد شود، می‌توان از بروز عیوب ایجاد شده در حین ریخته‌گری و انجماد جلوگیری کرد. به عنوان مثال، در قطعه شکل ۴-۴۱، با ایجاد سوراخی در قسمت ضخیم قطعه که مک انقباضی ایجاد خواهد شد، می‌توان از به وجود آمدن این عیب هنگام ریخته‌گری جلوگیری کرد.



شکل ۴-۴۱- تأثیر طراحی صحیح در سلامت قطعه

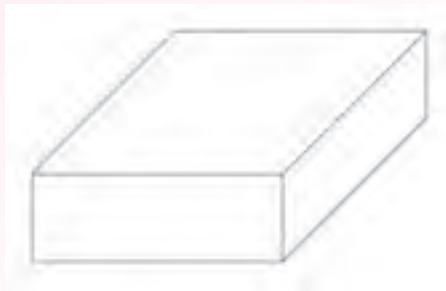
۵- دمای بارریزی مذاب باید به طور مناسب انتخاب شود. زیرا اگر دمای بارریزی کم باشد ممکن است تغذیه سریع منجمد شود و وظیفه خود را (مذاب‌رسانی) به درستی انجام ندهد و در نتیجه، در قطعه حفرات انقباضی ایجاد شود. در صورتی که دمای بارریزی بسیار زیاد باشد، انقباض ایجاد شده در هنگام انجماد مذاب زیاد خواهد بود و ممکن است سبب ایجاد مک‌های انقباضی در قطعه شود.

#### در پایان جلسه:

- جمع بندی مطالب این جلسه توسط هنرآموز
- تکالیف برای منزل هنرجویان: مطالعه متن درس و آمادگی برای آزمون جلسه آینده.

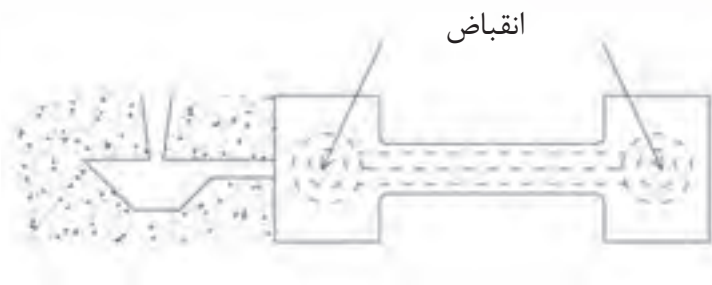
#### ارزشیابی (۴)

- ۱- رفتار یک تغذیه‌ای استوانه‌ای بر روی قطعه‌ای مکعبی شکل از فلز خالص که درون ماسه قالب‌گیری شده است را در سه مرحله زمانی جامد شدن ترسیم نمایند.
- ۲- دلیل تشکیل ریزمک‌های انقباضی را در آلیاژهای با انجماد خمیری بیان کنید.
- ۳- جهت انجماد چیست؟ عوامل مؤثر بر آن را نام ببرید.
- ۴- برای قطعه مکعب مستطیل شکل زیر یک تغذیه باز و یک تغذیه کور رسم کنید.



- ۵- در محل نقطه چین کلمه مناسب را بنویسید.
- الف) آلیاژهایی را که دامنه انجماد آنها کمتر از ۵۰ درجه سلسیوس باشد، آلیاژ با انجماد ..... گویند.
- ب) آلیاژهایی را که دامنه انجماد آنها بین ۵۰ تا ۱۱۰ درجه سلسیوس باشد، آلیاژهایی با انجماد ..... گویند.
- ج) آلیاژهایی را که دامنه انجماد آنها بیش از ۱۱۰ درجه سلسیوس باشد، آلیاژهایی با انجماد ..... گویند.
- ۶- جهت تولید قطعه سالم و بدون حفره‌های انقباضی، انجماد باید از ..... شروع شده و به صورت جهت‌دار ادامه یابد و در ..... ختم گردد، تا انقباضها به تغذیه منتقل شود.
- ۷- اجزای تغذیه را فقط نام ببرید و وظایف آنها را توضیح دهید.
- ۸- انواع تغذیه را براساس موقعیت قرارگرفتن تغذیه نسبت به قطعه نام ببرید.
- ۹- مبرد چیست و چه نقشی در تغذیه دارد؟ و انواع آن را نام ببرید.

- ۱۰- انواع آلیاژها را با توجه به مدل انجماد نام برده و به اختصار توضیح دهید.
- ۱۱- تغذیه گرم و سرد را تعریف کنید.
- ۱۲- انواع روش‌های افزایش راندمان تغذیه را نام ببرید.
- ۱۳- دلایل به وجود آمدن نقاط گرم در یک قطعه ریختگی را بنویسید.
- ۱۴- مهم‌ترین وظیفه منبع تغذیه را توضیح دهید و سه شرط اصلی یک منبع تغذیه مناسب را بنویسید.
- ۱۵- اگر قطعه بین راهگاه و تغذیه قرار گیرد، به چنین تغذیه‌ای، تغذیه ..... گفته می‌شود.
- ۱۶- مهم‌ترین روش‌های افزایش راندمان تغذیه (کمک تغذیه) را نام ببرید.
- ۱۷- قطعات ریختگی از جنس آلیاژهایی که دارای دامنه انجماد زیاد هستند، نسبت به آلیاژهایی با دامنه انجماد کوتاه‌تر، دارای معایب انقباضی و گازی ..... می‌باشند.
- ۱۸- وظیفه اصلی تغذیه در ریخته‌گری را تعریف کنید.
- ۱۹- انجماد فلزات خالص از لحاظ دامنه انجماد از کدام نوع می‌باشد؟ ویژگی مهم انجماد فلزات خالص را نیز بنویسید.
- ۲۰- منظور از انجماد جهت‌دار مرحله‌ای چیست؟ چگونه می‌توان در یک قالب این نوع انجماد را به وجود آورد؟
- ۲۱- با چه روش‌هایی می‌توان در قطعه زیر، حفره‌های انقباضی را از بین برد؟ (با رسم شکل نشان دهید)

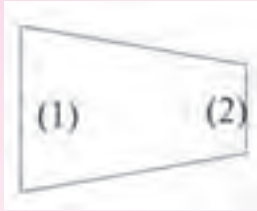


- ۲۲- شکل تغذیه سرد برای یک قالب را کشیده و نمودار تغییرات صحیح شیب دمایی آن را رسم کنید.
- ۲۳- مبرد را تعریف کنید. به چه منظوری از آن استفاده می‌شود؟
- ۲۴- تغذیه‌گذاری را تعریف کنید.

۲۵- الف) در قطعه‌ای مطابق شکل زیر مناسب‌تر است تغذیه در محل (۱) قرار داده شود یا در

محل (۲)؟

ب) به چه دلیل؟



۲۶- الف) انواع مبرد را نام ببرید.

ب) محل جاگذاری آن‌ها را در داخل قالب بنویسید.

۲۷- انواع آلیاژها را از لحاظ دامنه انجماد (با ذکر عدد دامنه انجماد) بنویسید.

۲۸- گلویی تغذیه چیست؟ در مورد زمان انجماد یک گلویی تغذیه مناسب توضیح دهید.

۲۹- مهم‌ترین روش‌های کمک تغذیه در ریخته‌گری را نام ببرید.

### سیستم راهگاہی

#### هدف

- ۱- آشنایی با سیستم راهگاہی
- ۲- آشنایی با اجزای سیستم راهگاہی
- ۳- آشنایی با انواع سیستم راهگاہی فشاری و غیرفشاری
- ۴- آشنایی با روش‌های راهگاہ‌گذاری
- ۵- آشنایی با روش‌های آخال‌گیری در سیستم راهگاہی

#### مفاهیم کلی

- ۱- سیستم راهگاہی و اجزای آن
- ۲- انواع سیستم‌های راهگاہی
- ۳- روش‌های راهگاہ‌گذاری
- ۴- روش‌های آخال‌گیری در سیستم راهگاہی

#### مفاهیم اساسی

- ۱- مجموعه راه‌هایی که مذاب برای ورود به محفظه قالب از آن‌ها عبور می‌کند، سیستم راهگاہی نامیده می‌شود.
- ۲- وظیفه سیستم راهگاہی عبارت است از تنظیم سرعت و جهت جریان مذاب، ایجاد جریان آرامی و یکنواخت با حداقل تلاطم و آشفستگی در قالب، ایجاد شیب دمایی مناسب از قطعه به تغذیه و مجرای ورود مذاب (در صورت نبود تغذیه)، جلوگیری از ورود آخال‌ها و غیره به محفظه قالب و اقتصادی بودن ریخته‌گری
- ۳- اجزای یک سیستم راهگاہی عبارتند از حوضچه بارریز، راهگاہ بارریز، حوضچه پای راهگاہ، راهبار، کانال ممتد و راهبار.
- ۴- حوضچه بارریز به صورت یک کاسه باریک شونده در بالای لوله راهگاہ بارریز قرار دارد که



وظیفه آن آسان کردن ریختن مذاب از بوتۀ یا پاتیل به داخل راهگاه بارریز است.

۵- حوضچه بارریز باید همواره در طول عمل بارریزی، پر از مذاب نگهداشته شود تا از ورود مواد ناخالصی به مذاب و جذب هوا بارگیری کند و جریان مناسبی از مذاب در داخل سیستم راهگاهی ایجاد کند.

۶- در ریخته‌گری فلزات و آلیاژهای غیرآهنی از حوضچه‌های بارریز گلابی یا لگنی استفاده می‌شود.

۷- مزایای حوضچه بارریز گلابی یا لگنی عبارت است از: تنظیم سرعت جریان مذاب، جلوگیری از ورود شلاکه و ناخالصی‌ها به داخل قالب، ایجاد جریان آرام با حداقل تلاطم، جلوگیری از آسیب رساندن مذاب به قالب.

۸- راهگاه بارریز مجرای عمودی است که سطح مقطع آن از بالا به پایین کاهش می‌یابد.

۹- علت کاهش سطح مقطع راهگاه بارریز جلوگیری از ایجاد تلاطم و آشفستگی در مذاب و جذب هوا می‌باشد.

۱۰- سطح مقطع راهگاه بارریز با قطر  $20\text{ mm}$  به شکل دایره و برای راهگاه‌های بزرگتر، سطح مقطع آن به شکل مستطیل است.

۱۱- برای جلوگیری از تلاطم و آشفستگی جریان مذاب در قسمت پایین راهگاه بارریز، حوضچه‌ای در پایین راهگاه تعبیه می‌شود که از تلاطم مذاب، جذب هوا و تخریب قالب جلوگیری می‌کند.

۱۲- کانال مستقیمی که از حوضچه‌های راهگاه بارریز جدا می‌شود، راهبار نام دارد.

۱۳- وظیفه راهبار، جلوگیری از ورود مذاب همراه با تلاطم و آشفستگی است که از انتهای راهگاه بارریز خارج می‌شود و همچنین جذب هوا و تخریب سطوح قالب توسط مذاب می‌باشد.

۱۴- کانال‌هایی که از راهبار منشعب شده و وارد محفظه قالب می‌شود، راهبار نام دارد.

۱۵- راهبار بعد از آخرین راهبار انشعابی، کمی امتداد می‌یابد که به این قسمت راهبار، کانال ممتد گفته می‌شود.

۱۶- وظیفه کانال ممتد جلوگیری از ورود مواد ناخواسته موجود در مذاب و سایر آشفستگی‌ها به داخل محفظه قالب است.

۱۷- برای جلوگیری از ایجاد تلاطم و آشفستگی در جریان مذاب در محل گوشه‌ها، بهتر است محل اتصال گوشه‌ها به صورت مدور در نظر گرفته شود.

۱۸- در یک سیستم راهگاهی سطوح مقاطع مربوط به راهگاه بارریز، راهبار و راهبارها دارای نسبت مشخصی می‌باشند که به آن نسبت راهگاهی می‌گویند.

- ۱۹- از لحاظ رابطه میان سطوح مقاطع اجرای سیستم راهگامی و نسبت راهگامی دو نوع سیستم راهگامی فشاری و غیرفشاری وجود دارد.
- ۲۰- در صورتی که در یک سیستم راهگامی مجموع سطوح مقاطع راهباره‌ها از سطح مقطع راهگاه بارریز کمتر باشد، سیستم از نوع فشاری و چنانچه عکس این حالت وجود داشته باشد، سیستم از نوع غیرفشاری است.
- ۲۱- سیستم‌های راهگامی فشاری برای فلزات آهنی بویژه چدن‌ها مناسب می‌باشد.
- ۲۲- در ریخته‌گری فلزات و آلیاژهای غیرآهنی مانند آلومینیوم و منیزیم، از سیستم راهگامی غیرفشاری استفاده می‌شود.
- ۲۳- در مورد برنج‌ها و برنرها از هر دو نوع سیستم راهگامی فشاری و غیرفشاری استفاده می‌شود.
- ۲۴- در روش راهگاه‌گذاری از بالای مذاب از بالاترین نقطه قالب وارد محفظه قالب می‌شود.
- ۲۵- روش‌های راهگاه‌گذاری عبارتند از: راهگاه‌گذاری از بالا، راهگاه‌گذاری از پایین، راهگاه‌گذاری در سطح جدایش و سیستم راهگامی مرکب.
- ۲۶- در روش راهگاه‌گذاری از بالا، امکان تخریب قالب و جذب هوا و گاز در اثر جریان آشفته و متلاطم مذاب وجود دارد.
- ۲۷- راهگاه‌گذاری از بالا برای ریخته‌گری قالب‌های کوچک و قالب‌های با استحکام بالا مانند قالب فلزی و غیره استفاده می‌شود.
- ۲۸- در روش راهگاه‌گذاری از پایین، مذاب از پایین‌ترین نقطه محفظه قالب وارد می‌شود.
- ۲۹- مهم‌ترین ویژگی روش راهگاه‌گذاری از پایین ایجاد جریانی آرام و با حداقل تلاطم و آشفتنگی در مذاب است.
- ۳۰- مهم‌ترین عیب روش راهگاه‌گذاری از پایین، قطع شدن جریان مذاب به علت انجماد قسمت‌های پایین قطعه و ناقص ماندن قسمت‌های فوقانی و فراهم نشدن شیب دمایی مناسب است.
- ۳۱- در روش راهگاه‌گذاری در سطح جدایش مذاب از کانالی واقع در سطح جدایش وارد محفظه قالب می‌شود.
- ۳۲- برای جلوگیری از گرما دیدن زیاد جداره راهباره در محل اتصال به قطعه و تخریب قالب در این محل، بهتر است از سیستم راهگامی مرکب که مذاب از طریق چندین راهباره مجزا به قسمت‌های مختلف قالب هدایت می‌شود، استفاده کرد.
- ۳۳- جداسازی مواد ناخواسته از مذاب در سیستم راهگامی براساس اختلاف وزن مخصوص این

مواد و فلز مذاب صورت می‌گیرد. همچنین از صافی نیز می‌توان استفاده نمود.  
۳۴- روش‌های جداسازی ناخواسته براساس اختلاف در وزن مخصوص عبارتند از: استفاده از کانال ممتد، استفاده از موانع و گلویی در سیستم راهگامی و استفاده از راهگام‌های گردابی.

## انتظارات آموزشی

### الف) در سطح دانش

- ۱- سیستم راهگامی را تعریف کند.
- ۲- اجزای سیستم راهگامی را نام ببرد.
- ۳- حوضچه بالای راهگام بارریز را تعریف کند.
- ۴- راهگام بارریز را تعریف کند.
- ۵- راهبار و راهباره را تعریف کند.
- ۶- انواع سیستم راهگامی را نام ببرد.
- ۷- روش‌های راهگام‌گذاری را نام ببرد.
- ۸- سیستم راهگامی مرکب را تعریف کند.
- ۹- روش‌های آخال‌گیری در سیستم راهگامی را نام ببرد.

### ب) سطح درک و فهم

- ۱- وظایف سیستم راهگامی را شرح دهد.
- ۲- وظیفه حوضچه بالای راهگام را توضیح دهد.
- ۳- وظیفه راهگام بارریز را شرح دهد.
- ۴- وظیفه حوضچه پای راهگام بارریز را توضیح دهد.
- ۵- وظیفه راهبار و راهباره را شرح دهد.
- ۶- سیستم‌های راهگامی فشاری و غیرفشاری را توضیح دهد.
- ۷- مزایا و محدودیت‌های سیستم راهگامی فشاری و غیرفشاری را تشریح کند.
- ۸- روش راهگام‌گذاری از بالا را به همراه مزایا و معایب توضیح دهد.
- ۹- روش راهگام‌گذاری از پایین را به همراه مزایا و معایب توضیح دهد.
- ۱۰- روش راهگام‌گذاری در سطح جدایش را به همراه مزایا و معایب شرح دهد.
- ۱۱- روش راهگامی گذاری مرکب (چندتایی) را به همراه مزایا و معایب توضیح دهد.
- ۱۲- روش‌های جداسازی مواد ناخواسته براساس اختلاف وزن مخصوص را توضیح دهد.

۱۳- روش جداسازی مواد ناخواسته با استفاده از صافی (فیلتر) را تشریح کند.

### ج) سطح کاربرد معلومات

۱- دلایل استفاده از حوضچه‌های بارریز گلابی یا لگنی را توضیح دهد.

۲- نحوه طراحی گوشه‌ها را در اتصالات سیستم راهگهی شرح دهد.

۳- موارد کاربرد سیستم‌های راهگهی فشار و غیرفشاری را بیان کند.

۴- موارد کاربرد روش‌های مختلف راهگه‌گذاری توضیح دهد.

### د) سطح تجزیه و تحلیل

۱- نحوه عملکرد انواع حوضچه بالای راهگه بارریز را با یکدیگر مقایسه کند.

۲- نحوه عملکرد راهگه بارریز با سطح مقطع دایره و مستطیل را با یکدیگر مقایسه و مورد

تجزیه و تحلیل قرار دهد.

۳- سیستم‌های راهگهی فشاری و غیرفشاری را با یکدیگر مقایسه کند.

۴- روش‌های مختلف راهگه‌گذاری را با یکدیگر مقایسه کند.

۵- روش‌های مختلف آخال‌گیری در سیستم راهگهی را با یکدیگر مقایسه کند.

### هـ) سطح ترکیب و نوآوری

۱- انواع سیستم راهگهی برای فلزات و آلیاژهای مختلف را پیش‌بینی کند.

۲- نحوه جداسازی آخال‌ها از فلزات و آلیاژهای مختلف را پیش‌بینی کند.

۳- با توجه به شکل قطعه و آلیاژ سیستم راهگهی را به صورت شماتیک طراحی کند.

زمان پیش‌بینی شده برای تدریس این فصل، ۴ جلسه ۱۰۰ دقیقه‌ای برای درس دادن و ۱ جلسه ۱۰۰

دقیقه‌ای برای ارزشیابی است.

۱- حضور و غیاب

۲- آزمون مطالب جلسات قبل (به صورت کتبی، شفاهی، پاسخ کوتاه و ...)

۳- یادآوری خلاصه‌ای از مطالب فصل قبل

### موضوع:

- اجرای یک سیستم راهگامی

- حوضچه بالای راهگام بارریز

- راهگام بارریز

به جهت ترغیب هنرجویان برای یادگیری و آمادگی ذهنی آن‌ها، بهتر است چند سوال مربوط به مباحث مقدماتی به صورت تعاملی به هنرجویان مطرح و بحث شود.

۱- سیستم راهگامی به چه منظوری در قالب استفاده می‌شود.

۲- سیستم راهگامی از چه اجزایی تشکیل شده است.

۳- وظیفه حوضچه بارریز چیست؟

۴- وظیفه راهگام بارریز چیست؟

### ۱-۵- سیستم راهگامی

هنگامی که مذاب به داخل قالب ریخته می‌شود؟ به علت دمای بالای آن ممکن است بین مذاب و محیط اطراف مانند گازهای موجود در هوا، و مواد قالب واکنش شیمیایی و فیزیکی به وجود آید. در اثر این واکنش‌ها، ممکن است مواد ناخواسته مانند اکسید فلز مذاب و محصولات واکنش مذاب با مواد قالب و غیره وارد مذاب شوند، که در نهایت منجر به کاهش خواص فیزیکی و مکانیکی قطعه ریختگی خواهد شد. از طرفی، تماس بیش از حد مذاب با دیواره قالب ممکن است سبب کاهش سیالیت مذاب و جدا شدن و شسته شدن ذرات مواد قالب توسط مذاب شود. در صورت کاهش سیالیت مذاب ممکن است قسمت‌های مختلف قالب به‌طور کامل پرنشوند و قطعه ریختگی معیوب ایجاد شود. همچنین ورود ذرات مواد قالب به داخل مذاب منجر به کاهش خواص فیزیکی و مکانیکی قطعه ریختگی خواهد شد. بنابراین لازم است مذاب طوری وارد محفظه قالب شود که کمترین تماس با محیط اطراف و مواد قالب را داشته و تا کامل شدن انجماد، با جریان مناسبی وارد محفظه قالب شود. به همین

دلیل نحوه ورود مذاب به محفظه قالب و مسیرهایی که در نهایت به محفظه قالب ختم می‌شوند، در ریخته‌گری قطعات بسیار مهم است پس می‌توان کلیه مسیرهایی که مذاب از آن عبور می‌کند تا وارد محفظه قالب شود را سیستم راهگامی نامید. سیستم راهگام صحیح و مناسب دارای چندین وظیفه می‌باشد که عبارتند از:

۱- سیستم راهگامی باید به گونه‌ای طراحی شود که پس از ریختن مذاب در آن، مذاب با سرعت مشخصی

در آن حرکت کرده و جریان مذاب در قالب به گونه‌ای باشد که قبل از انجماد کامل مذاب، قالب را پر نماید.

۲- اگر مذاب به صورت متلاطم و آشفته با سرعت زیاد وارد قالب شود، در آن صورت همراه آن، مقدار زیادی

هوا وارد قالب شده و با فلز مذاب واکنش داده و سبب تشکیل اکسید فلز می‌شود. از طرف دیگر جریان متلاطم مذاب سبب جدا شدن و شسته شدن ذرات مواد قالب شده که منجر به کاهش خواص فیزیکی و مکانیکی قطعه ریختگی خواهد شد. بنابراین، سیستم راهگامی باید به گونه‌ای طراحی شود که مذاب با جریانی آرام و یکنواخت با حداقل آشفستگی و تلاطم وارد قالب شود.

۳- سیستم راهگامی باید به گونه‌ای طراحی شود که پس از ورود مذاب به داخل قطعه شیب دمایی مناسبی

از قطعه به تغذیه، یا در صورت عدم وجود تغذیه شیب دمایی مناسب از قطعه به طرف مجرای ورود مذاب به قالب ایجاد کند تا آخرین مرحله انجماد در تغذیه یا مجرای ورود مذاب به قالب صورت گیرد.

۴- سیستم راهگامی باید طوری طراحی و اجرا شود که آخال‌ها، اکسیدهای سرباره‌ای، ذرات و مواد قالب و

غیره نتوانند وارد قالب شوند و یا در کمترین حد ممکن وارد محفظه قالب شوند. به همین منظور، سیستم راهگامی باید از تلاطم و آشفستگی مذاب در هنگام ورود به محفظه قالب جلوگیری کند. از طرفی می‌توان با استفاده از روش‌هایی مانند استفاده از صافی، سرباره‌گیری، کاهش فشار مذاب در قسمت‌های پرفشار و غیره از ورود مواد ناخواسته به محفظه قالب جلوگیری کند.

۵- سیستم راهگامی باید به گونه‌ای طراحی شود که اتلاف مذاب در تولید قطعه ریختگی در کمترین

حدممکن باشد. به عنوان مثال تعداد مذابی که در قسمت‌های مختلف سیستم راهگامی در آخرین مراحل انجماد، منجمد می‌شود، در بسیار کم باشد. در این صورت، راندمان ریختگی بالا رفته و هزینه تولید مقرون به صرفه و اقتصادی خواهد شد. از طرف دیگر، با کاهش حجم سیستم راهگامی هزینه‌های تمیزکاری قطعه پس از خروج از قالب کاهش می‌یابد.

۱-۱-۵- اجرای یک سیستم راهگامی: اجرای یک سیستم راهگامی عبارتند از:

۱- حوضچه بارریز: که مذاب در ابتدای ورود به قالب در آن ریخته می‌شود.

۲- راهگام بارریز، کانالی است که مذاب را از حوضچه بارریز به حوضچه پای راهگام انتقال می‌دهد.

۳- حوضچه پای راهگام: این حوضچه در انتهای لوله راهگام قرار گرفته و سبب کاهش تلاطم و آشفستگی

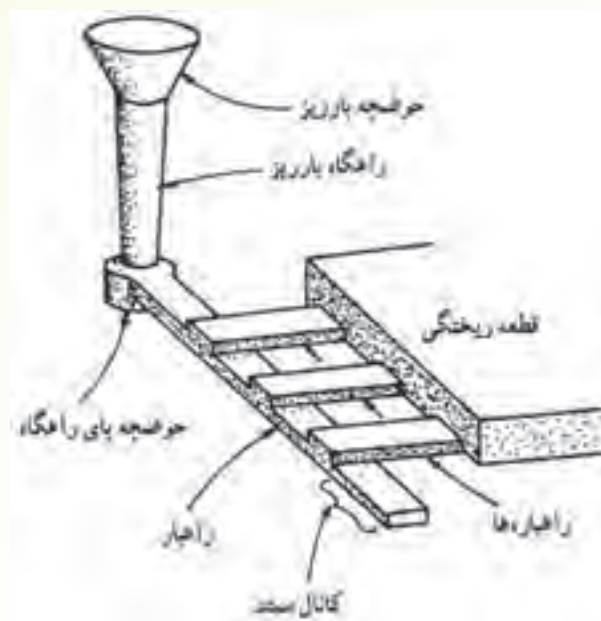
مذاب ورودی از راهگام بارریز می‌شود و سپس مذاب را با جریان آرام به راهبار هدایت می‌کند.

۴- راهبار: کانالی است که مذاب ورودی از حوضچه بارریز را به راهباره‌ها که متصل به محفظه قالب می‌باشند، منتقل می‌کند.

۵- کانال ممتد: ادامه راهبار پس از آخرین راهباره انشعابی، کانال ممتد نامیده می‌شود که از ورود ناخالصی‌ها به محفظه قالب جلوگیری می‌کند.

۶- راهباره: کانال‌هایی هستند که از یک سمت به راهبار و از سمت دیگر به محفظه متصل می‌شوند که مذاب را از راهبار به قسمت‌های مختلف قالب منتقل می‌کند.

شکل ۵-۱ به‌طور شماتیک سیستم راهگاهی را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۱- اجزای اصلی یک سیستم راهگاهی

۲-۱-۵- حوضچه (قیف) بالای راهگاه بارریز: حوضچه بارریز معمولاً در سطح بالایی درجه رویی در

بالای لوله راهگاه بارریز تعبیه می‌شود. شکل حوضچه بارریز به صورت کاسه‌ای است که مقطع آن به سمت پایین کاهش می‌یابد. برای اینکه بتوان مذاب را به‌سادگی از وسایل انتقال مذاب مانند بوته و پاتیل به داخل لوله راهگاه بارریز و محفظه قالب ریخت از حوضه بارریز استفاده می‌شود. مقطع حوضچه بارریز در سطح بالایی به حدی بزرگ است که در صورت ریختن مذاب از بوته و پاتیل سبب پاشیده شدن مذاب به اطراف نشود و سطح مقطع حوضچه از قسمت پایین برابر سطح مقطع راهگاه بارریز می‌باشد تا بتواند مذاب را به‌طور کامل به لوله راهگاه منتقل کند. در شکل ۵-۲ نمونه‌هایی از حوضچه بارریز قیفی شکل پیش‌ساخته نشان داده شده است. این حوضچه‌ها از مواد

دیرگداز ساخته شده و برای ریخته‌گری فلزات با نقطه ذوب بالا مانند چدن و فولاد استفاده می‌شود. با استفاده از این حوضچه‌ها از تماس مستقیم مذاب با بیشترین فوق ذوب با مواد قالب جلوگیری می‌شود و در نتیجه امکان ورود محصولات واکنشی مذاب و مواد قالب به داخل محفظه قالب کمتر می‌شود.



شکل ۲-۵- نمونه‌هایی از حوضچه (قیف)های پیش ساخته بالای راهگاه بارریز

برای جلوگیری از ورود مواد ناخالصی و هوا به داخل محفظه قالب بهتر است در طول عمل بارریزی حوضچه بارریز همواره پر از مذاب باشد. علت این است که اولاً در صورت پر بودن حوضچه بارریز ناخالصی‌ها و مواد ناخواسته سبک‌تر از مذاب در سطح مذاب موجود در حوضچه جمع شده و احتمال ورود آن‌ها به محفظه قالب کمتر می‌شود. ثانیاً اگر حوضچه همواره پر از مذاب نگهداری شود سبب می‌شود مذاب با فشار مشخصی وارد محفظه قالب شود زیرا ارتفاع سطح مذاب ثابت باقی می‌ماند. بنابراین فشار مذاب در کل مراحل بارریزی یکسان خواهد بود. در نتیجه آشفستگی و تلاطم مذاب در حال ورود به محفظه قالب کمتر خواهد شد. از طرف دیگر میزان هوای جذب شده در مذاب به دلیل کاهش تلاطم، کاهش خواهد یافت.

در مورد فلزات و آلیاژهای غیر آهنی از حوضچه‌های بارریز گلابی یا لگنی استفاده می‌شود این حوضچه‌ها نسبت به حوضچه‌های معمولی دارای مزایایی می‌باشند که عبارتند از:

۱- به دلیل شکل این حوضچه‌ها، مذاب از ابتدای ریختن وارد محفظه قالب نمی‌شود. زیرا باید ارتفاع در حوضچه به حد معینی برسد تا بتواند وارد راهگاه بارریز شود. بنابراین مذاب با سرعت مشخص و تنظیم شده‌ای وارد راهگاه بارریز و محفظه قالب خواهد شد.

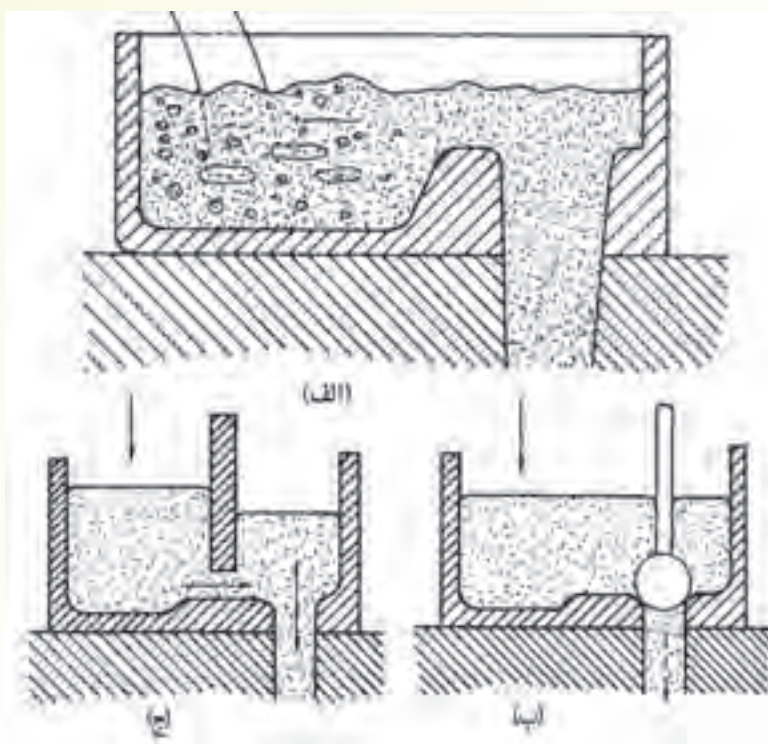
۲- با توجه به اینکه مذاب از ابتدای ریختن به داخل حوضچه، وارد راهگاه بارریز و محفظه قالب نمی‌شود و مدتی مذاب به صورت ساکن در حوضچه بارریز باقی می‌ماند مواد ناخواسته و آخال‌های موجود در مذاب بسته به جرم حجمی آن‌ها در کف حوضچه بارریز ته‌نشین شده و یا در سطح مذاب جمع می‌شوند و وارد محفظه قالب نمی‌شوند.

۳- هنگامی مذاب وارد راهگاه بارریز می‌شود که ارتفاع مذاب در حوضچه بارریز به حد معینی برسد؛ بنابراین مذاب به طور مستقیم وارد راهگاه بارریز نمی‌شود. بلکه پس از مدتی ساکن ماندن در حوضچه بارریز با جریانی آرام و با حداقل تلاطم وارد قالب می‌شود. بنابراین از ورود هوا به محفظه قالب جلوگیری می‌شود.



۴- چون مذاب به طور مستقیم وارد محفظه قالب نمی‌شود و پس از مدتی با جریانی آرام وارد محفظ قالب می‌شود از برخورد شدید مذاب با دیواره قالب جلوگیری شده و امکان ریزش قالب در اثر برخورد مستقیم مذاب به آن به کمترین حد خود می‌رسد.

شکل ۳-۵ نمونه‌هایی از حوضچه‌های بارریز گلابی و لگنی را نشان می‌دهد:



شکل ۳-۵- نمونه‌هایی از حوضچه‌های گلابی (لگنی)

همان‌طور که در شکل ۳-۵ الف دیده می‌شود، در حوضچه بارریز قبل از ورود مذاب به راهگاه بارریز مانعی تعبیه شده است. این مانع سبب می‌شود که مذاب مستقیم وارد محفظه قالب نشود و پس از رسیدن سطح مذاب، ارتفاع معینی مذاب با جریانی آرام و یکنواخت وارد راهگاه بارریز می‌شود.

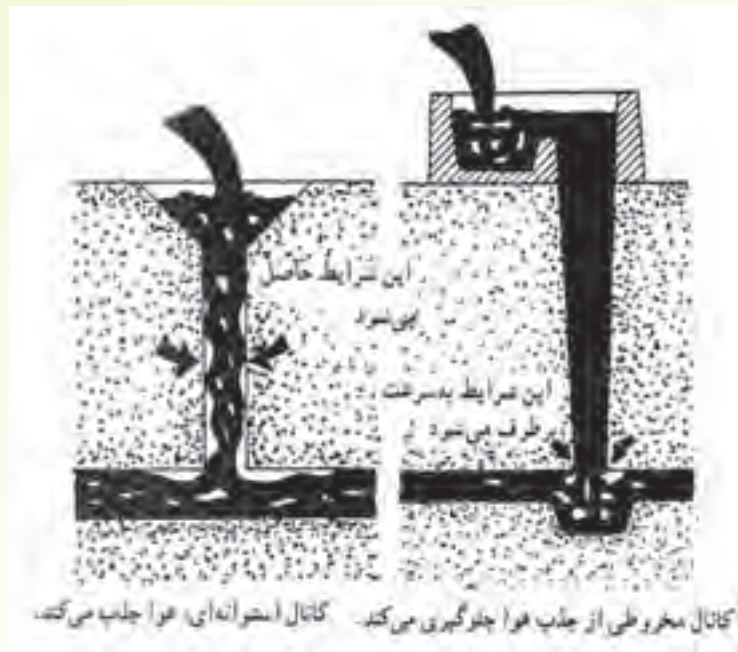
در شکل ۳-۵ ب در دهانه حوضچه بارریز گلوله‌ای قرار داده شده که دهانه راهگاه بارریز را مسدود کرده و از ورود مذاب به راهگاه بارریز جلوگیری می‌کند. این گلوله پس از پر شدن حوضچه بارریز به سمت بالا حرکت کرده و دهانه راهگاه بارریز را بازمی‌نماید تا مذاب با جریان آرام و یکنواخت وارد محفظه قالب شود. در شکل ۳-۵ ج در حوضچه بارریز تیغه‌ای تعبیه شده است که مانند سدی حوضچه بارریز را به دو قسمت تقسیم

می‌نماید. با وجود تیغه می‌توان مذاب را با هر سرعتی به داخل حوضچه بارریز ریخت. اما مذابی که وارد راهگاه بارریز می‌شود با جریانی آرام و یکنواخت و با کمترین مواد ناخواسته و سرباره وارد راهگاه بارریز می‌شود. با توجه به مطالب ذکر شده، واضح است که در این نوع حوضچه‌ها مذاب با جریانی یکنواخت و مداوم وارد راهگاه بارریز شده و تلاطم و آشفتگی آن به حداقل می‌رسد. در نتیجه امکان ورود هوا و محبوس شدن آن در محفظه قالب به کمترین مقدار می‌رسد. همچنین در صورتی که سطح حوضچه بزرگ باشد، ناخالصی‌های سبک بیشتری می‌تواند به سطح مذاب صعود کرده و در نتیجه مقدار کمتری از مواد ناخواسته و آخال‌ها وارد سیستم راهگاهی و محفظه قالب می‌شوند. از طرف دیگر، سرعت بارریزی با استفاده از این حوضچه‌ها بیشتر از ریختن مستقیم مذاب به داخل قالب خواهد بود زیرا مذاب با سرعت یکنواخت در طول بارریزی وارد قالب می‌شود. همچنین به علت بزرگ بودن این حوضچه‌های بارریزی می‌توانند پس از پایان بارریزی به‌عنوان تغذیه عمل کنند.

### ۳-۱-۵- راهگاه بارریز (لوله راهگاه): راهگاه بارریز، مجرای است عمودی که از بالا به حوضچه بارریز

و از پایین به حوضچه‌های راهگاه متصل است. سطح مقطع راهگاه بارریز از بالا به پایین کاهش می‌یابد به طوری که از طرف سطح بزرگتر به حوضچه بالای راهگاه بارریز و از طرف سطح کوچکتر به حوضچه‌های راهگاه بارریز متصل می‌شود. علت کاهش سطح مقطع راهگاه بارریز از بالا به پایین را می‌توان با مشاهده جریان آب از یک شیر باز به خوبی فهمید. به این صورت که سطح مقطع آن از بالا به پایین به علت افزایش سرعت آب کاهش می‌یابد. در هنگام مذاب‌ریزی نیز سطح مقطع مذاب از بالای راهگاه، بارریز تا پایین راهگاه به دلیل افزایش سرعت جریان مذاب کاهش می‌یابد. به همین منظور برای اینکه راهگاه بارریز به طور کامل پر باشد و مذاب در تمام قسمت‌های راهگاه در تماس با دیواره قالب باشد، راهگاه بارریز به صورت مخروطی تعبیه می‌شود تا از ورود هوا به مذاب و ایجاد تلاطم در مذاب جلوگیری شود. در شکل ۴-۵ ص ۱۲۵ کتاب دو نوع راهگاه بارریز مخروطی و استوانه‌ای نشان داده شده است.

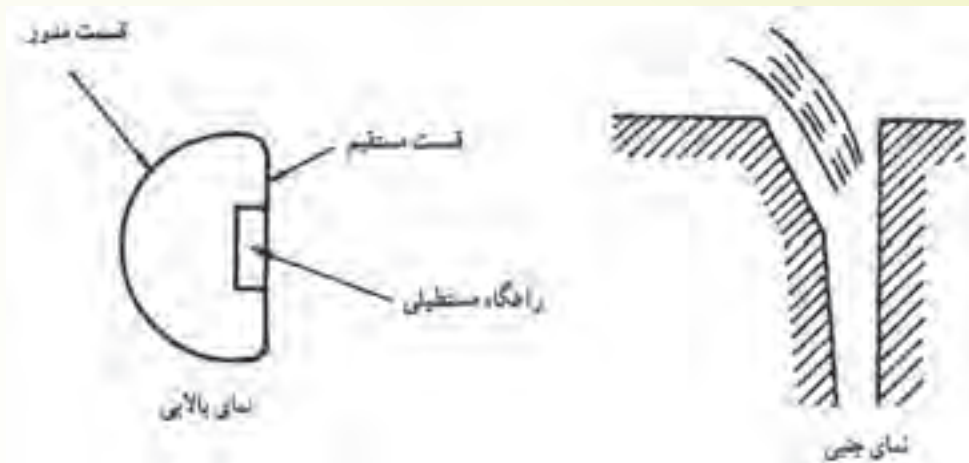
همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود در راهگاه مخروطی، به علت پر شدن کامل راهگاه از مذاب و تماس دائم مذاب با دیواره راهگاه جریان مذاب در راهگاه به صورت آرام و یکنواخت می‌باشد. بنابراین مقدار جذب هوا در مذاب به کمترین مقدار خود می‌رسد. در راهگاه استوانه‌ای به دلیل کاهش سطح مقطع مذاب از بالا به پایین، مذاب با جریانی متلاطم و آشفتگی در راهگاه بارریز حرکت کرده و در تماس دائم با دیواره راهگاه نمی‌باشد، مقدار جذب هوا در آن افزایش می‌یابد.



شکل ۴-۵- نحوه جریان مذاب در انواع راهگاه‌های استوانه‌ای و مخروطی

با توجه به تجربه‌های به دست آمده، بهتر است سطح مقطع راهگاه بارریز تا قطر  $20\text{ mm}$  به شکل دایره باشد، برای راهگاه‌های بزرگتر بهتر است از راهگاه‌های با سطح مقطع مستطیلی استفاده شود. به این علت که در راهگاه‌های با سطح مقطع بزرگ و میزان تلاطم و آشفته‌گی مذاب و در نتیجه میزان هوای حبس شده در مذاب در راهگاه‌های با سطح مقطع مستطیلی نسبت به راهگاه‌های با سطح مقطع دایره‌ای کم‌تر است، زیرا سطح تماس مذاب با دیواره راهگاه بیشتر است. از طرف دیگر در راهگاه‌های با سطح مقطع دایره‌ای شکل به علت کم‌بودن نسبت سطح به حجم آن نسبت به راهگاه‌های با سطح مقطع مستطیلی، انتقال گرما از آن‌ها کمتر است. بنابراین مذاب دیرتر سرد می‌شود. در نتیجه بهتر است سطح مقطع راهگاه‌های کوچک دایره‌ای شکل باشد.

در هنگام استفاده از راهگاه‌های بارریز با سطح مقطع مستطیلی برای جلوگیری از ایجاد تلاطم و آشفته‌گی در گوشه‌های تیز راهگاه و در نتیجه ورود هوا به مذاب بهتر است که شکل حوضچه بارریز به صورت مدور و فاقد گوشه و محل اتصال آن به راهگاه بارریز به‌طور مناسب طراحی گردد. شکل ۵-۵ نمونه‌ای از طراحی مناسب راهگاه بارریز با سطح مقطع مستطیلی را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۵- نوعی حوضچه ایده آل بر روی راهگاه بارریز

### در پایان جلسه:

- جمع بندی مطالب این جلسه توسط هنرآموز
- تکالیف برای منزل هنرجویان: مطالعه متن درس و آمادگی برای آزمون جلسه آینده.

۱- حضور و غیاب

۲- آزمون از مطالب جلسات قبل (به صورت کتبی، شفاهی و پاسخ کوتاه ...)

۳- یادآوری از مطالب جلسه قبل

### موضوع:

- حوضچه پای راهگاه بارریز

- کانال‌های اصلی (راهبار) و فرعی (راهباره)

- طرح متناسب برای اتصال اجزای سیستم راهگاهی

- انواع سیستم راهگاهی.

برای آمادگی ذهنی هنرجویان، بهتر است سوالات تعاملی بین هنرجویان و هنرآموزان مطرح شود.

۱- وظیفه حوضچه بارریز چیست؟

۲- راهبار و راهباره به چه منظور در سیستم راهگاهی تعبیه می‌شود؟

۳- آیا وجود گوشه‌های تیز در محل اتصال اجزای سیستم راهگاهی بر نحوه جریان مذاب و جذب هوا و

ناخالصی در مذاب تأثیر دارد.

۴- آیا اندازه سطح مقطع راهگاه بارریز، راهبار و راهباره و نسبت آن‌ها در نحوه جریان مذاب موثر است.

۴-۱-۵- حوضچه پای راهگاه بارریز: حوضچه پای راهگاه بارریز از یک سمت به راهگاه بارریز و از طرف

دیگر به راهبار متصل است. وظیفه آن، انتقال مذاب با جریان یکنواخت و آرام به راهبار می‌باشد. مذابی که از

راهگاه بارریز وارد راهبار می‌گردد به علت طی کردن ارتفاع راهگاه بارریز با سرعت نسبتاً زیادی به انتهای راهگاه

می‌رسد که اگر این مذاب با سرعت زیاد به‌طور مستقیم وارد راهبار شود، در مذاب موجب تلاطم و آشفته‌گی

زیادی می‌شود که این تلاطم سبب جذب هوا در مذاب و تخریب قالب در اثر تماس مذاب آشفته با دیواره‌های

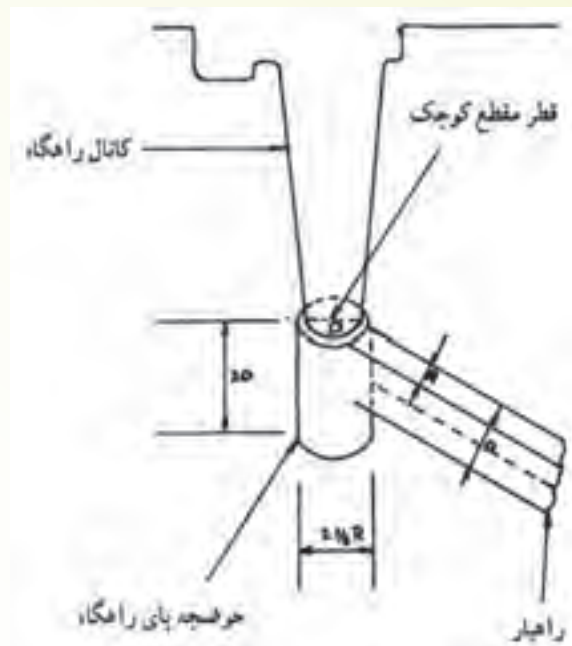
آن می‌شود. به همین منظور در انتهای راهگاه بارریز حوضچه‌های راهگاه تعبیه شده که مذاب با سرعت وارد این

حوضچه شده و به علت حجم نسبتاً کوچک حوضچه و ارتفاع قابل توجه آن، مذاب درون حوضچه جمع شده و

سرعت آن گرفته می‌شود. پس از رسیدن سطح مذاب به ارتفاع معینی در حوضچه‌های راهگاه، مذاب با سرعتی

مناسب وارد راهبار و در نهایت محفظه قالب می‌شود. شکل ۶-۵ نمونه‌ای از حوضچه‌های راهگاه بارریز و ابعاد

مناسب آن را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۶- ابعاد مناسب برای یک حوضچه پای راهگاه

همان‌طور که در شکل نشان داده شده است ابعاد حوضچه بارریز باید طوری باشد که بتواند تلاطم مذاب را کاهش دهد و مذاب با سرعت مناسب وارد راهبار و محفظه قالب شود، به طوری که اگر طول سطح مقطع راهبار با حرف  $D$  و عرض سطح مقطع آن با حرف  $R$  نشان داده شود باید قطر راهگاه بارریز در محل اتصال حوضچه بارریز برابر با مقدار  $D$ ، قطر سطح مقطع آن  $2/5$  برابر  $R$  و ارتفاع آن دو برابر  $D$  باشد. در این صورت می‌توان انتظار داشت که تلاطم و آشفتگی مذاب پس از ورود به حوضچه بارریز کاسته شده و با سرعت مناسب وارد راهبار و محفظه قالب می‌شود. البته لازم به ذکر است که این ابعاد به صورت تجربی به دست آمده است.

#### ۵-۱-۵- کانال اصلی (راهبار) و فرعی (راهباره): راهبار، کانالی است که از یک سمت به حوضچه

پای راهگاه و از طرف دیگر به راهباره متصل است و وظیفه آن، انتقال مذاب از حوضچه پای راهگاه به راهباره می‌باشد. با توجه به اینکه مذاب خارج شده از راهگاه بارریز، دارای سرعت نسبتاً زیاد، تلاطم و آشفتگی است، اگر به طور مستقیم وارد قالب شود سبب جذب گاز در مذاب و موجب تخریب قالب به علت برخورد مستقیم مذاب با دیواره‌های قالب می‌گردد. به همین منظور برای جلوگیری از جذب گاز در مذاب و تخریب قالب، مذاب قبل از ورود به محفظه قالب وارد یک کانال اصلی می‌شود که راهبار نام دارد. این کانال سبب می‌شود سرعت و تلاطم کاهش یافته و جریان مذاب یکنواخت شود. البته لازم به ذکر است که حوضچه پای راهگاه نیز باعث کاهش سرعت و تلاطم مذاب می‌شود و راهبار نیز تکمیل کننده وظیفه حوضچه پای راهگاه می‌باشد. علاوه بر راهبار، کانال‌های

دیگری تعبیه می‌شوند که از راهبار منشعب شده و بسته به بزرگی و کوچکی محفظه قالب مذاب را از راهبار به قسمت‌های مختلف محفظه قالب هدایت می‌کند. این کانال‌ها که از یک سمت به راهبار و از سمت دیگر به محفظه قالب متصل هستند، کانال‌هایی فرعی یا راهباره نامیده می‌شوند.

بعد از آخرین راهباره منشعب شده از راهباره راهبار کمی امتداد داده می‌شود که وظیفه این قسمت از راهبار، جلوگیری از ورود مواد ناخواسته موجود در مذاب اولیه به محفظه قالب و سایر آشفستگی‌ها و تلاطم‌های موجود در مذاب می‌باشد. ابتدا مذاب وارد این قسمت راهبار شده، متوقف می‌شود و باقی‌مانده آشفستگی و تلاطم آن از بین می‌رود. همچنین مواد ناخواسته‌ای که مذاب به همراه خود می‌آورد در این قسمت به دام می‌افتد. به این قسمت از راهبار، کانال ممتد گفته می‌شود. در شکل ۱-۵ ص ۱۲۲ به‌طور شماتیک راهبار، راهباره و کانال ممتد نشان داده شده است.

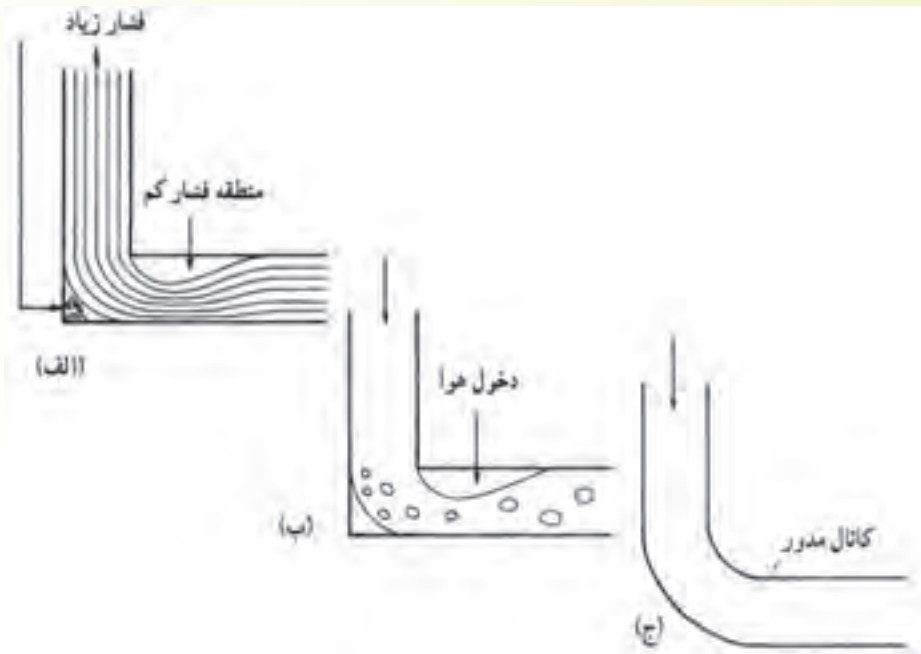
#### ۶-۱-۵- طرح مناسب برای اتصال اجزای سیستم راهگاهی: در صورتی که اجزای مختلف سیستم

راهگاهی مانند راهبار، راهباره و راهگاه با گوشه‌های تیز با یکدیگر اتصال داشته باشند مذاب در هنگام رسیدن به گوشه‌های تیز به‌طور ناگهانی تغییر مسیر می‌دهد و در نتیجه در آن تلاطم و آشفستگی زیادی بوجود می‌آید. به طوری که در قسمت پایینی گوشه، منطقه بدون حرکت از مذاب و در گوشه بالایی منطقه خالی با فشار کمتر از اتمسفر در اثر تغییر مسیر ناگهانی مذاب بوجود می‌آید. همین امر سبب می‌شود که در صورت ارتباط مذاب با هوا در این قسمت‌ها (گوشه‌های تیز) مقداری هوا و سایر گازهای ایجاد شده جذب مذاب شود و مک‌های گازی در قطعه ریختگی ایجاد شود. به همین دلیل بهتر است گوشه‌ها و محل‌های اتصال اجزای سیستم راهگاهی تیز نباشد. زیرا گوشه‌های تیز سبب کاهش تماس مذاب با دیواره در محل گوشه می‌شود که منجر به آشفستگی و تلاطم مذاب و در نهایت جذب گاز مذاب می‌شود. برای جلوگیری از بوجود آمدن این مشکل معمولاً محل‌های اتصال اجزای سیستم راهگاهی مدور طراحی می‌شوند تا مذاب همواره با دیواره اجزای سیستم راهگاهی در تماس باقی بماند و از بوجود آمدن مناطق کم‌فشار در گوشه‌ها که سبب جذب هوا در مذاب می‌شوند، جلوگیری شود. شکل ۷-۵ به‌طور شماتیک تأثیر گوشه‌های تیز در محل اتصال اجزای سیستم راهگاهی بر تلاطم مذاب را نشان می‌دهد.

همان‌طور که در شکل ۷-۵ الف نشان داده شده است مذاب با فشار زیاد وارد راهگاه بار ریز شده و به دلیل وجود گوشه تیز در محل اتصال راهگاه و راهبار، تغییر مسیر ناگهانی داده که به‌صورت خطوط موازی مشخص شده است. این تغییر مسیر ناگهانی سبب به‌وجود آمدن منطقه با مذاب ساکن در گوشه سمت چپ پایین و منطقه با فشار کمتر از فشار اتمسفر در گوشه بالایی شده است.

در شکل ۷-۵ ب نحوه وارد شدن هوا در مذاب به علت وجود منطقه با فشار کمتر از اتمسفر نشان داده شده است. در شکل ج به علت طراحی محل اتصال اجزای سیستم راهگاهی به‌صورت مدور از بوجود آمدن تلاطم و آشفستگی ایجاد شده در مذاب جلوگیری شده است و مذاب در تماس دائم با دیواره اجزای سیستم راهگاهی حرکت

کرده و دارای جریان یکنواخت و آرامی می باشد.



شکل ۷-۵- تأثیر گوشه‌های تیز در تلاطم مذاب

با توجه به موارد ذکر شده در صورت وجود گوشه‌های تیز در محل اتصال راهبار و راهبازه، در مذاب تلاطم و آشفته‌گی (به علت تغییر ناگهانی سرعت مذاب هنگام خروج از راهبار و ورود به راهبازه با اندازه سطح مقطع متفاوت از راهبار) بوجود می‌آید. به همین منظور باید در محل اتصال راهبار و راهبازه از در نظر گرفتن گوشه‌های تیز جلوگیری شود و اتصال آن‌ها با استفاده از کانالی با سطوح شیب‌دار که سطح مقطع آن از یک سمت برابر سطح مقطع راهبار و از طرف دیگر برابر با سطح مقطع راهبازه است، صورت پذیرد. شکل ۸-۵ نحوه طراحی صحیح و غلط محل اتصال اجزای سیستم راهگاهی (راهبار و راهبازه) را به طور شماتیک نشان می‌دهد.



شکل ۸-۵- طراحی محل اتصال اجزای سیستم راهگاهی (الف) طراحی نادرست (ب) طراحی درست



در شکل ۸-۵ الف همان طور که مشاهده می شود به علت وجود گوشه های تیز در محل اتصال دو کانال با اندازه سطوح مقاطع مختلف، در جریان مذاب آشفته ایجاد شده که این آشفته گی سبب بوجود آمدن مناطق کم فشار در گوشه ها گردیده که در نتیجه منجر به جذب هوا توسط مذاب می شود.

در شکل ۸-۵ ب، اتصال اجزای سیستم راهگامی (راهبار و راهباره) توسط کانالی با سطوح شیب دار انجام شده است و سرعت مذاب هنگام عبور از این کانال به علت تماس دائم با دیواره این کانال به آهستگی تغییر یافته و از بوجود آمدن مناطق کم فشار در محل اتصال و در نهایت جذب گاز در مذاب جلوگیری می شود.

## ۵-۲- انواع سیستم راهگامی

برای اینکه سیستم راهگامی مذاب رسانی به محفظه قالب را به درستی انجام دهد و بتواند حجم مذاب لازم را به طور مناسب به محفظه قالب انتقال دهد بین اندازه سطوح مقاطع مربوط به راهگاه بارریز، راهبار و راهباره ها باید نسبت مشخص و مناسبی بسته به نوع آلیاژ مذاب وجود داشته باشد. این نسبت را نسبت راهگامی می نامند که نشان دهنده نسبت سطح مقطع راهگاه بارریز به سطح مقطع راهبار به مجموع سطوح مقاطع راهباره ها می باشد و به صورت مقابل بیان می شود:

که در آن:

$$A_S : A_R : A_G$$

$A_S$ : اندازه سطح مقطع راهگاه بارریز

$A_R$ : اندازه سطح مقطع راهبار

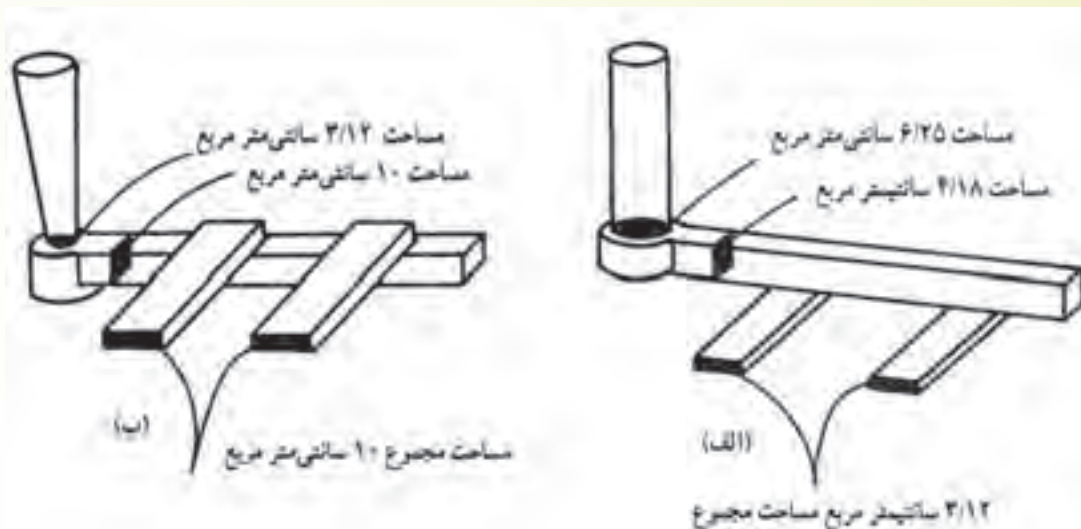
$A_G$ : مجموع اندازه سطوح مقاطع راهباره ها.

با توجه به اینکه در ریخته گری فلزات و آلیاژهای مختلف از سیستم های راهگامی با نسبت های مختلف استفاده می شود به طور معمول از لحاظ رابطه میان سطوح مقاطع راهگاه بارریز، راهبار و راهباره ها، دو نوع سیستم راهگامی وجود دارد که عبارتند از: سیستم راهگامی فشاری و سیستم راهگامی غیرفشاری.

در سیستم راهگامی فشاری مجموع سطوح مقاطع راهباره ها از اندازه سطح مقطع راهگاه بارریز کمتر است. بنابراین در سیستم راهگامی فشاری به علت کاهش سطح مقطعی که از راهگاه بارریز به سمت راهباره ها اتفاق می افتد ایجاد مانع بر سر راه مذاب، در آن فشاری بوجود می آید که این فشار در مذاب تا هنگام ورود به محفظه قالب وجود دارد.

در سیستم راهگامی غیرفشاری مجموع سطوح مقاطع راهباره ها از اندازه سطح مقطع راهگاه بارریز بزرگتر است. بنابراین هنگامی که مذاب از راهگاه بارریز به سمت راهباره ها حرکت می کند به علت افزایش مجموع اندازه سطوح مقاطع راهباره ها نسبت به سطح مقطع راهگاه بارریز، جلوی حرکت مذاب فضای بازتری بوجود می آید که سبب می شود مذاب بدون وجود فشار قابل توجهی از راهباره ها وارد محفظه قالب می شود. در شکل ۹-۵ به طور

شماتیک انواع سیستم راهگاهی فشاری و غیرفشاری نشان داده شده است.



شکل ۹-۵- انواع سیستم‌های راهگاهی. الف) سیستم فشاری ب) سیستم غیرفشاری

در شکل ۹-۵- الف مجموع اندازه سطوح مقاطع راهباره‌ها  $3/12 \text{ cm}^2$  است که از سطح مقطع راهگاه بارریز که برابر  $6/25 \text{ cm}^2$  است، کمتر می‌باشد. بنابراین سیستم راهگاه از نوع فشاری است.

در شکل ۹-۵- ب مجموع اندازه سطوح مقاطع راهباره‌ها  $10 \text{ cm}^2$  است که از سطح مقطع راهگاه بارریز که برابر  $3/12 \text{ cm}^2$  است، بیشتر می‌باشد بنابراین سیستم راهگاهی از نوع غیرفشاری است.

هر کدام از سیستم‌های راهگاهی فشاری و غیرفشاری دارای مزایا و محدودیت‌هایی می‌باشند. که این مزایا و محدودیت‌ها به صورت خلاصه در جدول ۱-۵ ارائه شده است.

همان‌طور که از مطالعه موارد ذکر شده در جدول مشخص می‌شود با توجه به ایجاد فشار در مذاب موجود در سیستم راهگاهی فشاری امکان ایجاد تلاطم و آشفتگی در مذاب به علت افزایش سرعت مذاب در اثر فشار وجود دارد که می‌تواند سبب جذب گاز در مذاب، تخریب قالب و عدم فرصت کافی برای جدا شدن آخال‌ها از مذاب شود. از طرف دیگر به علت سرعت زیاد مذاب در سیستم راهگاهی فشاری، سرعت حرکت مذاب افزایش یافته و زمان تماس مذاب با هوا کاهش یافته و محفظه قالب سریع‌تر پر می‌شود. از طرف دیگر جریان مذاب از راهباره‌ها به محفظه قالب با اندازه یکسان و یکنواخت صورت می‌گیرد و پس از انجماد به دلیل کاهش یافتن سطوح مقاطع راهباره‌ها، اجزای سیستم راهگاهی به راحتی از قطعه جدا می‌شود. همچنین به دلیل کاهش سطوح مقاطع راهباره‌ها نسبت به راهگاه، حجم مذاب کمتری در سیستم راهگاهی مصرف شده و در نتیجه راندمان ریختگی و تولید افزایش می‌یابد.

جدول ۱-۵- مزیت‌ها و محدودیت‌های سیستم‌های راهگای فشاری و غیرفشاری

سیستم راهگای غیرفشاری		سیستم راهگای فشاری	
محدودیت‌ها	مزیت‌ها	محدودیت‌ها	مزیت‌ها
۱- پر نبودن سیستم راهگای و در نتیجه امکان ورود هوا	۱- ایجاد جریان آرام و با حداقل آشفستگی و تلاطم و در نتیجه کاهش عیب‌هایی هم چون جذب گاز و هوا و شسته شدن قالب	۱- ایجاد تلاطم و آشفستگی در مذاب به دلیل افزایش سرعت خطی مذاب و در نتیجه امکان شسته شدن قالب و جذب گاز	۱- پر شدن سریع سیستم از مذاب و در نتیجه کاهش زمان تماس مذاب با هوای داخل سیستم
۲- یکسان نبودن مقدار جریان مذاب از راهبارها به داخل محفظه قالب	۲- فرصت کافی برای جدا شدن (بالا آمدن) آخال و مواد ناخواسته	۲- عدم فرصت جدا شدن (بالا آمدن) آخال و مواد ناخواسته موجود در مذاب	۲- جریان مذاب به یک اندازه از راهبارها وارد محفظه قالب می‌شود.
۳- کاهش راندمان ریختگی به دلیل مصرف حجم زیاد مذاب در سیستم راهگای			۳- سهولت در جداسازی اجزای سیستم راهگای از قطعه
			۴- افزایش راندمان تولید به دلیل حجم کم مذاب مصرفی در سیستم راهگای

در سیستم راهگای غیرفشاری به دلیل افزایش سطوح مقاطع راهبارها نسبت به سطح مقطع راهبار و عدم وجود فشار در مذاب، مذاب با جریانی آرام و با حداقل آشفستگی و تلاطم وارد محفظه قالب می‌شود و در نتیجه جذب گاز توسط مذاب و شسته شدن دیواره قالب توسط مذاب کمتر می‌شود. همچنین به دلیل عدم وجود فشار در مذاب آخال‌ها فرصت کافی برای جدا شدن از مذاب را می‌یابند. اما به دلیل افزایش سطوح مقاطع راهبارها نسبت به سطح مقطع راهگاه و عدم وجود فشار در مذاب، سیستم راهگای به طور کامل از مذاب پُر نشده و امکان ورود هوا به مذاب وجود دارد. از طرف دیگر جریان مذاب خروجی از راهبارها یکسان نخواهد بود و حجم مذاب مصرف شده در سیستم راهگای زیاد بوده و در نتیجه راندمان ریختگی کاهش خواهد یافت.

در فلزت آهنی بویژه چدن به دلیل بالا بودن نقطه ذوب و انتقال حرارت سریع مذاب سیستم‌های راهگای فشاری مناسب‌تر است زیرا در صورت استفاده از سیستم‌های غیرفشاری دمای مذاب افت بیشتری پیدا کرده و احتمال پرکردن قالب و معیوب شدن قطعه بیشتر است.

اما در ریخته‌گری فلزات و آلیاژهای غیرآهنی به دلیل تمایل زیاد این آلیاژها برای واکنش با هوا و گازهای

موجود در آن استفاده از سیستم‌های راهگای غیرفشاری مناسب‌تر است. در مورد برنج‌ها و برنژها می‌توان از هر

دو نوع سیستم راهگاهی فشاری و غیرفشاری استفاده کرد.

در مورد فلزات و آلیاژهای صنعتی نسبت‌های راهگاهی مختلفی بسته به ابعاد قطعه، روش و شرایط

ریخته‌گری استفاده می‌شود که در جدول ۲-۵ به تعدادی از آنها اشاره شده است.

جدول ۲-۵- نسبت‌های راهگاهی مربوط به فلزات و آلیاژهای صنعتی

نسبت راهگاهی متداول $A_S:A_R:A_G$	نوع سیستم	فلز یا آلیاژ
۱:۲:۱/۵ ۱:۳:۳ ۱:۱:۰/۷ ۱:۲:۲ ۱:۱:۱	غیرفشاری غیرفشاری فشاری غیرفشاری —	فولاد
۱:۴:۴ ۱:۱/۳:۱/۱	غیرفشاری فشاری	چدن خاکستری
۱۰:۹:۸ ۱:۲:۲ ۴:۸:۳ ۱/۲:۱:۲	فشاری غیرفشاری فشاری غیرفشاری	(ریخته‌گری در قالب ماسه‌ای خشک) چدن نشکن (ریخته‌گری در قالب پوسته‌ای به‌طور عمودی)
۱:۲:۴ ۱:۲:۱ ۱:۳:۳	غیرفشاری فشار غیرفشاری	آلومینیم
۱:۱:۱ ۱:۱:۳	— غیرفشاری	برنج (آلیاژ مس - روی)

### در پایان جلسه:

- جمع بندی مطالب این جلسه توسط هنرآموز
- تکالیف برای منزل هنرجویان: مطالعه متن درس و آمادگی برای آزمون جلسه آینده.

۱- حضور و غیاب

۲- آزمون از مطالب جلسات قبل (به صورت کتبی، شفاهی و پاسخ کوتاه و ...)

۳- یادآوری از مطالب جلسه قبل

### موضوع

- روش های راهگاه گذاری (روش های تعبیه سیستم های راهگاهی).

- روش راهگاه گذاری از بالا

- روش راهگاه گذاری از پایین

- روش راهگاه گذاری از سطح جدایش

از آن جایی که بحث تعاملی بین هنرجو با هنرآموز در یادگیری و آمادگی ذهنی هنرجویان بسیار مؤثر می باشد لذا بهتر است بحث را با طرح چندین سوال شروع کرد.

۱- به نظر شما چند روش راهگاه گذاری وجود دارد.

۲- در روش راهگاه گذاری از بالا، راهگاه در کدام قسمت قالب قرار داده می شود؟

۳- در روش راهگاه گذاری از پایین، راهگاه در کدام قسمت قالب قرار داده می شود؟

۴- آیا می توان راهگاه را طوری تعبیه کرد که مذاب از سطح جدایش قالب، وارد محفظه قالب شود؟

### ۳-۵- روش های راهگاه گذاری (روش های تعبیه سیستم های راهگاهی)

راهگاه را می توان در قسمت های مختلف قالب تعبیه کرد اما برای اینکه بتوان قطعه ریختگی سالم تولید نمود باید سیستم راهگاهی متناسب با نوع فلز آلیاژ از لحاظ خواص ریخته گری مانند سیالیت، شکل، ابعاد و وزن قطعه ریختگی و همچنین نوع مواد قالب از لحاظ استحکام و مقاومت در برابر نیروی حاصل از مذاب بر سطح قالب تعبیه شود. به عنوان مثال، اگر در قالب ماسه ای مذاب به طور مستقیم و با ضربه وارد محفظه قالب شود ممکن است سبب جدا شدن قسمت هایی از قالب و یا شستشو شدن مواد قالب توسط مذاب شود. با توجه به موارد ذکر شده سیستم راهگاهی معمولاً به سه روش کلی تعبیه می شوند که عبارتند از: راهگاه گذاری از بالا، راهگاه گذاری از پایین و راهگاه از سطح جدایش قالب.

در روش راهگاه گذاری از بالا مذاب از قسمت بالایی قالب وارد محفظه قالب می شود شکل ۱۰-۵- الف قالب

با سیستم راهگاهی از بالا را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۱۰-الف

در روش راهگاه‌گذاری از پایین، مذاب از پایین‌ترین قسمت قالب وارد محفظه قالب می‌شود. شکل ۵-۱۰-ب

ب قالب با سیستم راهگاهی از پایین را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۱۰-ب

در روش راهگاه‌گذاری از سطح جدایش، مذاب از فصل مشترک دو نیمه قالب وارد محفظه قالب می‌شود.

شکل ۵-۱۰-ج قالب با سیستم راهگاهی تعبیه شده در سطح جدایش را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۱۰-ج

۱-۳-۵- روش راهگاه‌گذاری از بالا: همان‌طور که در قسمت قبل ذکر شد، در این حالت سیستم

راهگاهی در قسمت بالایی قالب قرار گرفته و مذاب مستقیماً وارد محفظه قالب می‌شود. البته این روش دارای

انواع مختلفی است که در شکل ۵-۱۱ نشان داده شده است.



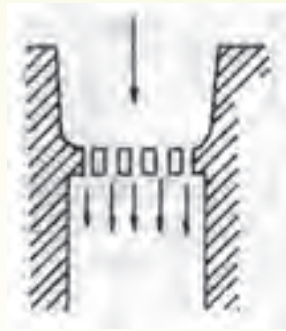
شکل ۱۱-۵- روش راهگاه گذاری از بالا

همان طور که در شکل مشاهده می شود، مذاب ممکن است به دو حالت از طریق راهگاه از بالا، وارد محفظه قالب شود، در حالت اول مذاب به طور مستقیم از بالا وارد محفظه قالب می شود (مانند شکل سمت چپ) در روش دوم مذاب از طریق یک کانال در قسمت بالایی قالب وارد محفظه قالب می شود (مطابق شکل سمت راست). در روش راهگاه گذاری از بالا ممکن است عیوبی در قالب و قطعه ریختگی ایجاد شود. بنابراین باید به موارد زیر توجه شود.

- چون مذاب در این روش بطور مستقیم وارد قالب می شود و با کف قالب برخورد می کند و در هنگام رسیدن به کف قالب سرعت نسبتاً بالایی دارد، امکان تخریب قالب در قسمت کف قالب وجود دارد. بنابراین باید کف قالب طوری ساخته شود که دارای استحکام کافی باشد و در اثر برخورد مذاب تخریب نشود.

- در این روش به دلیل ورود مستقیم مذاب به داخل قالب و عدم وجود قسمت های مختلف سیستم راهگاهی مانند راهبار، راهباره و غیره در مذاب تلاطم و آشفتگی بوجود می آید که در اثر آن ممکن است هوا و گازهای دیگر وارد مذاب شده و با آن واکنش دهد و در نتیجه مقداری از فلز مذاب را به صورت اکسید اتلاف نماید. برای جلوگیری از ایجاد اشکالات فوق و محافظت از سطوح قالب روش های اصلاحی مختلفی وجود دارد که علاوه بر جلوگیری از تخریب دیواره های قالب و شستشو شدن ماسه توسط مذاب، از ورود ناخالصی ها، شلاکه های مذاب و مواد ناخواسته به داخل مذاب جلوگیری می کند. یکی از این روش ها، استفاده از یک ماهیچه صافی در محل ورود مذاب به قالب است که اصطلاحاً راهباره مدادی نامیده می شود. این ماهیچه دارای منافذ مختلفی است که از ورود شلاکه به داخل مذاب جلوگیری می نماید. از طرف دیگر با کاهش سرعت مذاب و تقسیم آن به جریان های کوچکتر، مانع از تخریب دیواره های قالب و شسته شدن آن ها توسط مذاب می شود. اما به دلیل زیاد شدن جریان های مذاب و افزایش سطح تماس مذاب با هوا امکان جذب گاز و اکسید شدن مذاب افزایش می یابد. شکل

۱۲-۵ راهبار، مداری را نشان می دهد.



شکل ۱۲-۵- راهبار مدادی

در جدول ۳-۵ مزایا، محدودیت‌ها و کاربرد روش راهگاه‌گذاری از بالا توضیح داده شده است.

جدول ۳-۵- مزیت‌ها و محدودیت‌های روش راهگاه از بالا

مزیت‌ها	محدودیت‌ها	کاربرد
<ul style="list-style-type: none"> <li>— سادگی سیستم راهگاهی</li> <li>— راندمان ریختگی بالا</li> <li>— ایجاد انجماد جهت‌دار از قطعه به سوی راهگاه و در نتیجه آن، تجمع حفره‌های انقباضی و آخال‌ها در راهگاه</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— تخریب کف قالب در اثر ریزش مستقیم مذاب (مناسب نبودن برای ریخته‌گری آلیاژهای سنگین مانند چدن، فولاد و مس)</li> <li>— ایجاد ذرات اکسیدی در اثر برخورد مذاب با کف قالب و پرتاب شدن آن (نامناسب بودن برای ریخته‌گری فلزات و آلیاژهایی که تمایل زیادی به اکسایش دارند)</li> <li>— جذب گاز و هوا در اثر تلاطم زیاد مذاب</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— ریخته‌گری در قالب‌های کوچک با ارتفاع کم‌ریزش مذاب</li> <li>— ریخته‌گری در قالب‌های با استحکام بالا مانند قالب‌های فلزی و قالب‌های ماسه‌ای سخت (قالب‌های تهیه شده با چسب‌های سیلیکات سدیم، سیمان و...)</li> <li>— ریخته‌گری قطعات چدنی با شکل ساده</li> <li>— ریخته‌گری استوانه‌های توخالی به طریق عمودی به صورت راهبار مدادی</li> <li>— ریخته‌گری قطعاتی که دارای قسمت بزرگ و سنگینی در وسط خود هستند (مانند چرخ واگن‌های راه‌آهن)</li> </ul>

همان‌طور که در جدول ذکر شده روش راهگاه‌گذاری از بالا، روشی ساده است؛ از طرف دیگر به علت عدم نیاز به اجزای سیستم راهگاهی مذاب باقیمانده در سیستم راهگاهی بسیار کم است بنابراین راندمان ریختگی زیاد خواهد بود. از طرف دیگر در قطعه انجماد جهت‌دار از کف قالب به سمت راهگاه بوجود می‌آید و در نتیجه حفره‌های انقباضی و آخال‌ها در راهگاه جمع می‌شوند. اما در این روش امکان تخریب قالب، ایجاد ذرات اکسیدی در مذاب و جذب گاز و هوا در اثر تلاطم مذاب وجود دارد.



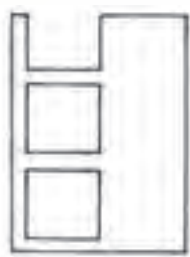
## ۲-۳-۵- روش راهگاه‌گذاری از پایین: در این روش همان‌طور که ذکر شد مذاب از پایین‌ترین نقطه

قالب وارد محفظه قالب می‌شود. در نتیجه سرعت مذاب هنگام عبور از راهگاه و اجزای سیستم راهگاهی کاهش یافته و مذاب با جریانی آرام و کمترین تلاطم و آشفتگی وارد محفظه قالب می‌شود. در شکل ۱۳-۵ دو نوع روش راهگاه‌گذاری از پایین نشان داده شده است.



شکل ۱۳-۵- دو نمونه از روش راهگاه‌گذاری از پایین (راهگاه شاخی)

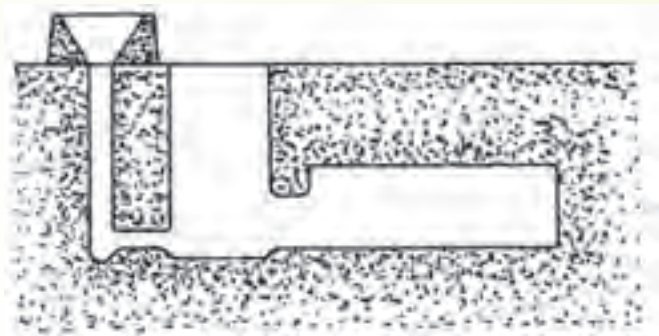
همان‌طور که در شکل نشان داده شده است مذابی که ابتدا وارد قالب می‌شود به سمت قسمت‌های بالایی قالب حرکت کرده و در نهایت در تغذیه قرار می‌گیرد. مذابی که در آخرین مرحله وارد قالب می‌شود و گرم‌ترین مذاب است، در قسمت پایینی قالب قرار می‌گیرد. در نتیجه مذاب سردتر در تغذیه و مذاب گرم‌تر در قطعه قرار می‌گیرد. بنابراین تغذیه نسبت به قطعه سریعتر منجمد می‌شود و در نهایت حفره‌های انقباضی در قطعه تشکیل خواهد شد. زیرا آخرین مذابی که منجمد می‌شود در محفظه قالب است. به همین دلیل در روش راهگاه‌گذاری از پایین شیب دمایی از تغذیه به قطعه مناسب نیست برای رفع این مشکل، از راهگاه پله‌ای استفاده می‌شود تا مذاب از قسمت‌های مختلف قطعه وارد محفظه قالب شود. در این روش، ابتدا مذابی از قسمت پایین قالب وارد می‌شود و پس از رسیدن سطح آن به حد معینی در قالب، مذاب از راهباره بالاتر وارد محفظه می‌شود. و در پایان، آخرین مذاب از بالاترین راهباره وارد محفظه قالب می‌شود. بنابراین مذاب گرم‌تر در بالاترین قسمت قطعه و تغذیه مذاب سردتر در قسمت پایینی قطعه قرار می‌گیرد. در نتیجه شیب دمایی از پایین‌ترین قسمت قطعه به سمت تغذیه می‌باشد. شکل ۱۴-۵ راهگاه پله‌ای را نشان می‌دهد.



شکل ۱۴-۵- راهگاه پله‌ای

در صورتی که در قالب از تغذیه جانبی استفاده شود، روش راهگاه‌گذاری از پایین بسیار مناسب خواهد بود

زیرا مذاب ابتدا وارد تغذیه شده و از طریق تغذیه به سمت محفظه قالب پیش می‌رود. در نتیجه مذاب سرد وارد قالب شده و آخرین مذاب که گرم‌ترین مذاب می‌باشد، در تغذیه باقی می‌ماند. بنابراین شیب دمایی مناسبی از تغذیه به سمت قطعه ایجاد می‌شود و انجماد به صورت جهت‌دار از دورترین قسمت قالب نسبت به تغذیه شروع شده و در تغذیه ختم می‌شود. شکل ۵-۱۵ استفاده از راهگاه پایینی متصل به تغذیه جانبی را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۱۵- راهگاه زیرزمین در اتصال به تغذیه جانبی

مزایا، محدودیت‌ها و کاربرد روش راهگاه‌گذاری از پایین در جدول ۴-۵ خلاصه شده است.

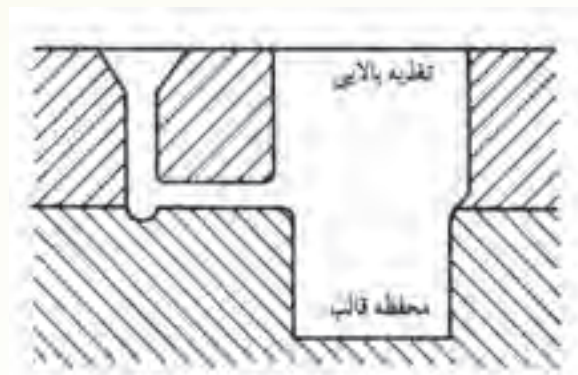
جدول ۴-۵- مزیت‌ها، محدودیت‌ها و کاربرد روش راهگاه از پایین

مزیت‌ها	محدودیت‌ها	کاربرد
<ul style="list-style-type: none"> <li>— کاهش اکسایش فلز و تخریب قالب</li> <li>— کاهش جذب هوا و گاز هنگام بارریزی</li> <li>— به دلیل ایجاد جریانی آرام و با حداقل تلاطم از مذاب</li> <li>— صافی سطوح قطعات ریختگی</li> <li>— ایجاد انجماد جهت‌دار در صورت استفاده از راهگاه پله‌ای و یا استفاده از مواد عایق در تغذیه</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— احتمال قطع شدن جریان و ناقص ماندن قسمت‌های فوقانی در صورت وقوع انجماد از پایین به طرف بالا.</li> <li>— ایجاد شیب دمایی نامناسب و فراهم نشدن شرایط برای ایجاد یک انجماد جهت‌دار (تشکیل حفره‌های انقباضی در قطعه)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— عموماً در ریخته‌گری قطعات فولادی</li> <li>— غالباً در ریخته‌گری قطعات بزرگ</li> <li>— در ریخته‌گری قطعات با استفاده از تغذیه جانبی</li> </ul>

با توجه به جدول در روش راهگاه‌گذاری از پایین به دلیل کاهش تلاطم و آشفستگی مذاب، میزان جذب هوا توسط مذاب کاهش یافته و در نتیجه امکان اکسیدشدن مذاب کمتر می‌شود. همچنین در این روش امکان

تخریب قالب کمتر است. بنابراین سطوح قطعۀ ریختگی از صافی و یکنواختی بالاتری نسبت به راهگاه گذاری از بالا برخوردار است. اما در این روش شیب دمایی نامناسبی در مذاب ایجاد می شود که سبب تشکیل عیوب انقباضی در قطعه می شود. از طرف دیگر در صورت قطع جریان مذاب امکان جامد شدن مذاب موجود در قالب وجود دارد که در این صورت ممکن است تمام قسمت های قالب پر نشود.

**۳-۳-۵- روش راهگاه گذاری در سطح جدایش:** در این روش مذاب از طریق فصل مشترک دو نیمه قالب، وارد محفظه قالب می شود. بنابراین نسبت به روش راهگاه گذاری از بالا مذاب از ارتفاع کمتری وارد قالب می شود در نتیجه امکان تخریب دیواره های قالب و شسته شدن آن ها توسط مذاب کمتر است. از طرف دیگر نسبت به روش راهگاه گذاری از پایین، شیب دمایی بهتری در مذاب بوجود می آید. زیرا آخرین مذاب (گرم ترین مذاب) وارد تغذیه می شود و آخرین مرحله انجماد در تغذیه اتفاق می افتد. شکل ۱۶-۵ روش راهگاه گذاری در سطح جدایش را نشان می دهد.



شکل ۱۶-۵- روش راهگاه گذاری در سطح جدایش

در جدول ۵-۵ مزایا، محدودیت ها و کاربرد روش راهگاه گذاری در سطح جدایش خلاصه شده است.

جدول ۵-۵- مزیت‌ها، محدودیت‌ها و کاربرد روش راهگاه‌گذاری در سطح جدایش

مزیت‌ها	محدودیت‌ها	کاربرد
<p>- سهولت تعیین سیستم راهگاهی به دلیل قرارگرفتن آن در سطح جدایش</p> <p>- مفید بودن این روش، به هنگامی که ارتفاع قسمت زیری قالب زیاد نباشد.</p>	<p>- ایجاد جریانی مذابی با تلاطم و آشفتنگی زیاد در صورتی که ارتفاع قسمت زیری قالب زیاد باشد. (تخریب قالب و جذب هوا و گاز)</p>	<p>- به دلیل ایجاد تلاطم در قسمت زیری قالب و در نتیجه باقی ماندن ذرات اکسیدی و ناخالصی‌های دیگر در مذاب، این روش برای ریخته‌گری آلیاژهای غیرآهنی مناسب نیست.</p>
<p>- سهولت اتصال راهگاه به تغذیه و در نتیجه انجماد جهت‌دار و تهیه قطعه‌ای با کیفیت مطلوب</p> <p>- صرفه‌جویی در فاز مصرفی در سیستم راهگاهی در اثر اتصال راهگاه به قطعه توسط تغذیه</p>		<p>- در ریخته‌گری قطعات چدنی و به ویژه در مواردی که ارتفاع قسمت زیری قالب کم باشد، این روش مناسب است.</p>

### در پایان جلسه:

- جمع بندی مطالب این جلسه توسط هنرآموز
- تکالیف برای منزل هنرجویان: مطالعه متن درس و آمادگی برای آزمون جلسه آینده.

۱- حضور و غیاب

۲- آزمون از مطالب جلسات قبل (به صورت کتبی، شفاهی و پاسخ کوتاه و ...)

۳- یادآوری از مطالب جلسه قبل

## موضوع

- سیستم‌های راهگامی مرکب (چندتایی)

- روش‌های آخال‌گیری در سیستم‌های راهگامی

- روش‌های جداسازی مواد ناخواسته براساس اختلاف در وزن مخصوص

استفاده از کانال ممتد و استفاده از صافی (فیلتر)

یکی از روش‌های یاددهی و یادگیری، تعاملی عمل کردن بین هنرجو و هنرآموز است؛ لذا برای آمادگی ذهنی هنرجویان بهتر است در ابتدای تدریس سوالاتی توسط هنرآموز مطرح شود تا هنرجویان در مورد آن‌ها بحث کنند و در پایان جلسه به پاسخ صحیح دست یابند.

۱- آیا می‌توان به جای استفاده تکی از سیستم‌های راهگامی معمول از سیستم راهگامی مرکب که ترکیبی از روش‌های معمول است استفاده کرد؟

۲- آیا می‌توان سیستم راهگامی را طوری طراحی نمود که از ورود مواد ناخواسته به داخل قالب جلوگیری کند؟

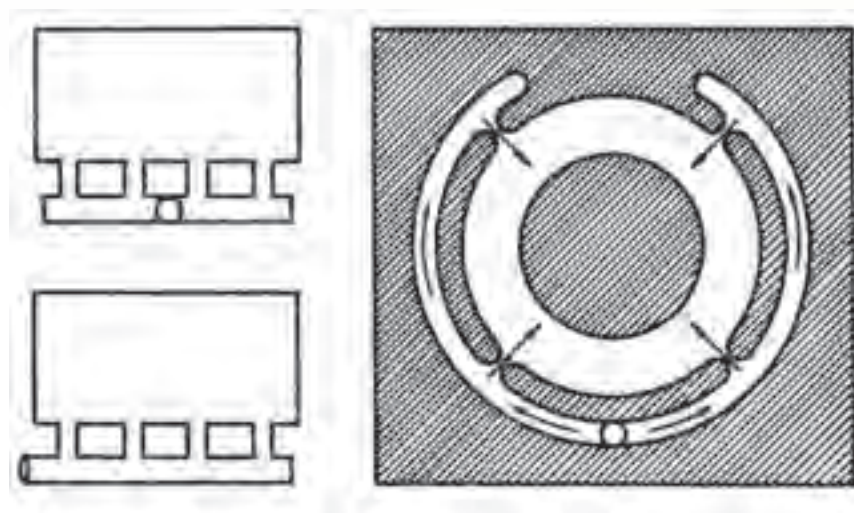
۳- به نظر شما روش‌هایی وجود دارد که با استفاده از اختلاف وزن مخصوص مواد ناخواسته و مذاب بتوان آن‌ها را از مذاب جدا نمود؟

۴-۳-۵- سیستم‌های راهگامی مرکب (چندتایی): همان‌طور که در جلسه قبل ذکر شد روش‌های راهگام‌گذاری از بالا، پایین و سطح جدایش در ریخته‌گری قطعات کوچک بسیار استفاده می‌شود. در این روش‌ها معمولاً مذاب از طریق یک کانال (راهبار یا راهباره) وارد محفظه قالب می‌شود و تمام قسمت‌های محفظه قالب را پر می‌کند. اما در ریخته‌گری قطعات بزرگ، با استفاده از یک کانال نمی‌توان تمام قسمت‌های محفظه قالب را از مذاب پر نمود. در نتیجه قطعه حاصل، کیفیت مطلوب را نخواهد داشت و ممکن است پر از عیوب و فضاهای خالی باشد. بنابراین برای تولید قطعات بزرگ با کیفیت مطلوب و سالم نیاز به سیستم راهگامی است که بتواند

مذاب را از چندین کانال وارد محفظه قالب کند و تمام قسمت‌های قطعه را به‌طور کامل از مذاب پر نماید. در غیر این صورت اگر مذاب تنها از یک کانال وارد محفظه قالب شود به دلیل حجم زیاد، مذاب گرمای زیادی را در حین عبور از این کانال در (راهباره) به قالب منتقل می‌کند. این گرما می‌تواند سبب سوختن چسب اتصال دهنده ذرات مواد قالب در آن نقاط و جداسدن ذرات مواد قالب و تخریب قالب در آن محل شود که در نتیجه با تخریب کانال ورودی مذاب، به دنبال آن، عمل مذاب‌رسانی به قطعه مختل می‌شود. از طرف دیگر به دلیل بزرگ بودن محفظه قالب و مسیر طولانی که مذاب باید جهت پرکردن قسمت‌های مختلف محفظه قالب طی کند، پرشدن محفظه قالب به‌طور مطلوب صورت نمی‌گیرد. برای این منظور بهتر است از سیستم راهگاه پیچیده‌تر که مذاب از چند کانال (راهباره مجزا) به قسمت‌های مختلف قالب ردیف می‌شود استفاده کرد. در این صورت اولاً گرمای زیادی به دیواره راهباره‌ها و قالب در محل ورود مذاب منتقل نمی‌شود، ثانیاً مذاب با طی مسیر کوتاهی، قسمت‌های مختلف محفظه قالب را پر می‌کند.

این سیستم راهگاهی و پیچیده می‌تواند از یکی از سیستم‌های راهگاهی ساده (راهگاه از بالا، راهگاه از پایین و راهگاه در سطح جدایش) تشکیل شده باشد، که مذاب از طریق چندین راهباره به داخل محفظه قالب وارد شود. به این نوع سیستم راهگاه، سیستم راهگاهی مرکب گفته می‌شود. سیستم‌های راهگاهی مرکب به دو صورت افقی و عمودی می‌باشد. در سیستم‌های راهگاهی مرکب افقی همه راهباره‌ها در یک ارتفاع ثابت به محفظه قالب متصل می‌شود. در سیستم‌های راهگاهی مرکب عمودی، راهگاه‌ها در ارتفاع‌های مختلف نسبت به یکدیگر به قالب متصل می‌شود که به این سیستم‌های راهگاهی، سیستم راهگاهی پله‌ای گفته می‌شود.

شکل ۱۷-۵. انواع مختلف راهگاه‌های مرکب افقی به‌طوری شماتیک نشان می‌دهد.



شکل ۱۷-۵. انواع راهگاه‌های مرکب

همان طور که در شکل سمت راست دیده می‌شود، قطعه مدور بوده و سیستم راهگاهی از طریق چهار راهباره که در چهار طرف قطعه مدور قرار گرفته به محفظه قالب متصل می‌شود. همچنین، راهباره‌ها دارای ارتفاع یکسانی بوده و در یک صفحه افقی قرار گرفته‌اند. در شکل‌های سمت چپ سیستم راهگاهی توسط چهار راهباره از یک طرف قطعه به محفظه قالب متصل شده و مذاب از طریق چهار راهباره وارد محفظه قالب شده و آن را به طور کامل پر می‌نماید. راهباره‌ها در این دو شکل در یک ارتفاع یکسان یا به عبارت دیگر روی یک سطح افقی قرار گرفته‌اند.

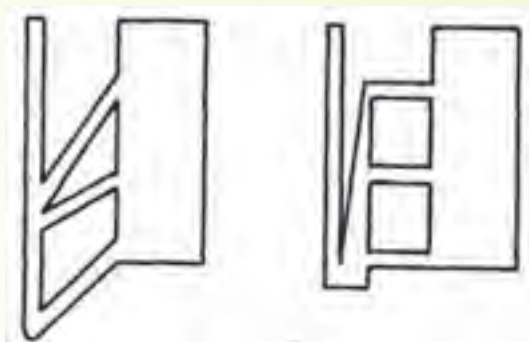
در طراحی سیستم‌های راهگاهی مرکب باید به این نکته توجه داشت که میزان مذاب وارد شده از هر یک از راهباره‌ها باید مقدار مشخصی باشد تا محفظه قالب را به طور یکنواخت پر نماید. بنابراین همواره تمام راهباره‌ها مقدار مذاب یکسانی را به داخل محفظه قالب منتقل نمی‌کنند بلکه براساس نوع طراحی سیستم راهگاهی و قسمت‌های مختلف قطعه مقادیر مختلفی مذاب از راهباره‌ها وارد محفظه قالب می‌شود. در شکل ۱۸-۵ طرح‌های اصلاحی برای ورود یکنواخت مذاب به محفظه قالب در راهگاه‌های مرکب نشان داده شده است.



شکل ۱۸-۵. طرح‌های اصلاحی برای ورود یکنواخت مذاب به محفظه قالب در راهگاه‌های مرکب

همان طور که در شکل مشاهده می‌شود سیستم راهگاهی در این قطعات به گونه‌ای طراحی شده است که مذاب به طور یکنواخت به تمام قسمت‌های محفظه قالب متناسب با حجم آن از طریق هر یک از راهباره‌ها وارد شود. در این صورت ابتدا قسمت‌های دورتر قطعه نسبت به محل ورود مذاب پر شده و سپس قسمت‌های نزدیک به محل ورود مذاب پر می‌شوند.

در شکل‌های ۱۴-۵ و ۱۹-۵ انواع مختلف سیستم راهگاهی عمودی یا پله‌ای نشان داده شده است. همان طور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود مذاب ابتدا از پایین‌ترین راهباره وارد قطعه می‌شود و پس از اینکه سطح مذاب در محفظه قالب به ارتفاع راهباره دوم رسید، مذاب از طریق راهباره دوم نیز وارد قالب می‌شود. به همین ترتیب هنگامی که سطح مذاب در محفظه قالب به ارتفاع راهباره سوم رسید، مذاب از طریق راهباره سوم وارد محفظه قالب شده و آن را پر می‌نماید. به همین دلیل به این سیستم راهگاهی، سیستم راهگاهی پله‌ای گفته می‌شود.



شکل ۱۹-۵- انواع دیگر سیستم راهگاہی پله‌ای

در جدول ۶-۵- مزایا، محدودیت‌ها و کاربرد سیستم‌های راهگاہی مرکب به‌طور خلاصه ارائه شده است.

جدول ۶-۵- مزیت‌ها، محدودیت‌ها و کاربرد سیستم‌های راهگاہی مرکب

مزیت‌ها	محدودیت‌ها	کاربرد
<p>- با توجه به این که در یک سیستم راهگاہی مرکب، از کدام یک از انواع راهگاہ‌های فرعی (راهگاہ از بالا، راهگاہ از پایین و راهگاہ در سطح جدایش) استفاده شده باشد، از مزیت‌های مربوط به آن راهگاہ برخوردار خواهد بود.</p> <p>- سیستم‌های مرکب با طرح‌های مختلف می‌توانند کلیه محدودیت‌ها و نارسایی‌های سیستم ساده را نیز برطرف نمایند.</p> <p>- امکان ایجاد انجمادی یکنواخت</p>	<p>- مشکل بودن ساخت و ایجاد این سیستم‌ها (مشکل تکنولوژیکی)</p>	<p>- برای ریخته‌گری قطعات بزرگ و پیچیده</p> <p>- با توجه به شکل و اندازه قطعه می‌توان از سیستم راهگاہی پله‌ای یا افقی استفاده کرد.</p>

با توجه به جدول سیستم‌های راهگاہی مرکب، علاوه بر برخوردار شدن از مزایای سیستم راهگاہی ساده (از بالا، پایین و سطح جدایش) محدودیت‌ها و نارسایی‌های آن‌ها رافع می‌کند. از طرف دیگر سبب می‌شود که مذاب همه قسمت‌های قالب را به تدریج پُر نموده و انجماد به‌طور یکنواخت در قسمت‌های مختلف قالب صورت پذیرد. محدودیت‌های سیستم راهگاہی مرکب، و پیچیده بودن ایجاد آن‌ها در قالب است. این سیستم‌ها برای



ریخته‌گری قطعات بزرگ و پیچیده استفاده می‌شوند.

#### ۴-۵- روش‌های آخال‌گیری در سیستم‌های راهگامی

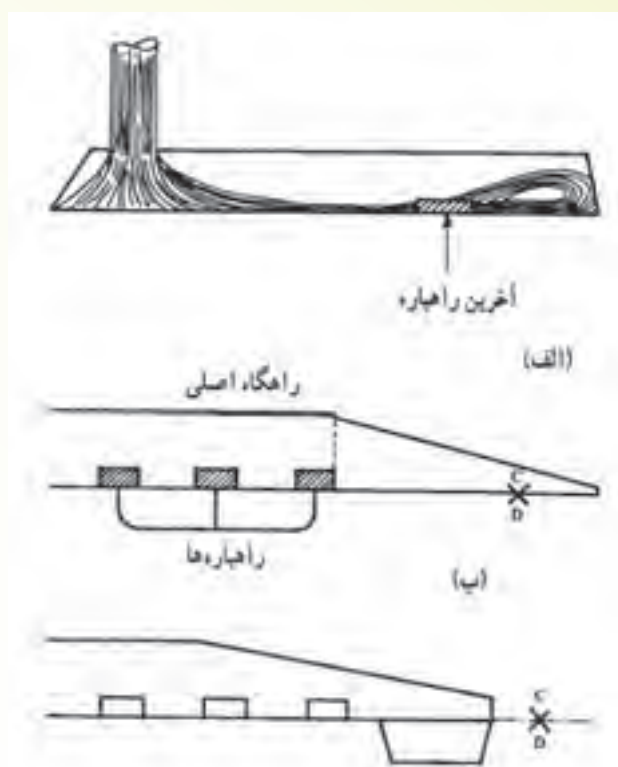
یکی از وظایف مهم سیستم راهگامی، جلوگیری از ورود مواد ناخواسته و آخال به درون محفظه قالب است. با این وجود طراحی سیستم راهگامی به هرگونه‌ای باشد، مواد ناخواسته، آخال و شلاکه وارد محفظه قالب خواهد شد. اما هرچه سیستم راهگامی دقیق‌تر طراحی شود، مقدار مواد ناخواسته وارد شده به محفظه قالب کمتر خواهد شد. این مواد ناخواسته ممکن است از کوره‌های ذوب، پاتیل‌ها، روش نادرست ریخته‌گری و طراحی نامناسب سیستم راهگامی وارد مذاب شوند. معمولاً چگالی مواد ناخواسته با مذاب متفاوت است، بنابراین بهترین روش برای جداسازی مواد ناخواسته از مذاب استفاده از اختلاف وزن مخصوص میان مذاب و مواد ناخواسته می‌باشد. البته از روش صافی یا فیلتر نیز می‌توان استفاده نمود.

#### ۱-۴-۵- روش‌های جداسازی مواد ناخواسته براساس اختلاف در وزن مخصوص

**الف) استفاده از کانال ممتد:** همان‌طور که قبلاً ذکر شد راهبار بعد از آخرین راهبازه‌ها از دو طرف به مقدار کمی امتداد داده می‌شود که به آن کانال ممتد می‌گویند. دلیل اضافه نمودن طول راهبار این است که اولین مذابی که وارد سیستم راهگامی می‌شود، معمولاً مواد ناخواسته بیشتری نسبت به مذاب‌های بعدی دارد، زیرا در سیستم راهگامی ذرات جدا شده مواد قالب‌گیری و همچنین اکسیدهای سطحی مذاب و غیره وجود دارند که در ابتدای بارریزی بیشتر وارد مذاب و محفظه قالب می‌شوند. مذاب اولیه که وارد راهبازه می‌شود تمایل دارد که مسیر خود را به‌طور مستقیم طی نماید. بنابراین قبل از ورود به راهبازه وارد کانال ممتد شده و در آن محل قرار می‌گیرد. بنابراین از ورود این مذاب همراه مواد ناخواسته است به داخل محفظه قالب جلوگیری می‌شود. البته ذکر این نکته لازم است که کانال ممتد باید به گونه‌ای طراحی شود که مذاب وارد شده در آن، فرصت برگشت و ورود به محفظه قالب را نداشته باشد. در شکل ۲۰-۵ طرح‌های مختلف کانال ممتد نشان داده شده است.

همان‌طور که در شکل ۲۰-۵ الف مشاهده می‌شود طراحی کانال ممتد مناسب نبوده است. در نتیجه مذاب اولیه که وارد کانال ممتد شده در برخورد با قسمت انتهایی راهبار تغییر جهت داده و جریان مذاب برگشت داده شده و در نهایت از راهبازه وارد محفظه قالب شده است.

در شکل ۲۰-۵ ب - کانال ممتد به صورت شیب‌دار تعبیه شده که این طراحی باعث می‌شود که مذاب در هنگام رسیدن به انتهای کانال ممتد سرعت خود را از دست بدهد و امکان برگشت جریان مذاب وجود ندارد. در شکل ج - کانال ممتد به صورت شیب‌دار طراحی شده و در انتهای کانال ممتد چاهکی برای تجمع مواد ناخواسته در نظر گرفته شده است.

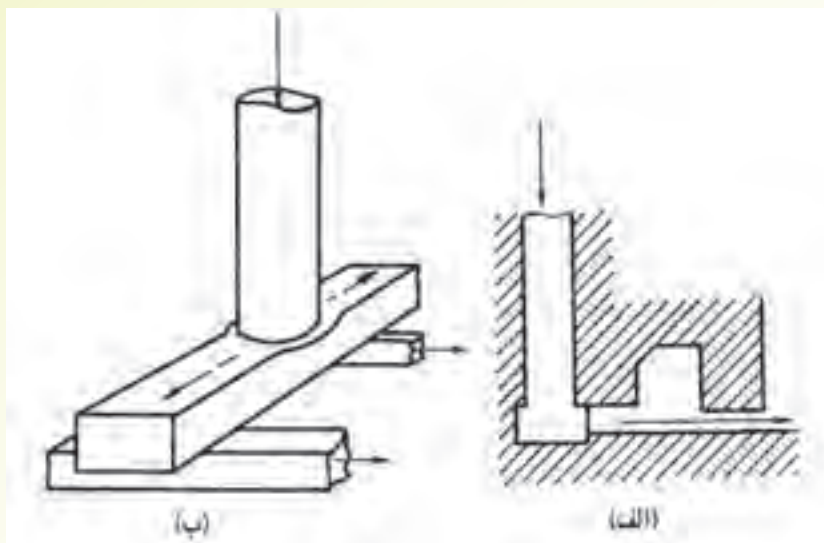


شکل ۲۰-۵- الف) برگشت جریان مذاب در برخورد به قسمت انتهایی راهبار در اولین مراحل ریختن مذاب  
 ب) جلوگیری از برگشت جریان مذاب با ایجاد شیب در قسمت انتهایی راهبار ج) ایجاد چاهک در انتهای راهبار برای تجمع مواد  
 ناخواسته

### ب) استفاده از موانع و گلویی در سیستم راهگاهی: در طراحی سیستم راهگاهی، گاهی اوقات

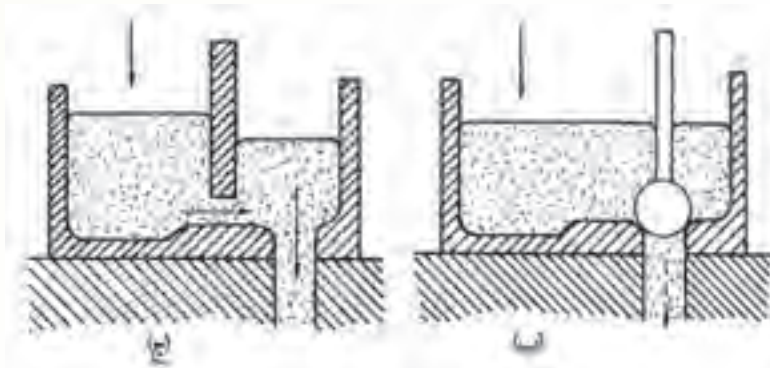
محفظه‌هایی در راهبار در نظر گرفته می‌شود که مانند دام عمل کرده و مواد ناخواسته در هنگام عبور مذاب از سیستم راهگاهی در این محفظه‌ها گیر افتاده نمی‌تواند وارد محفظه قالب شود. به‌عنوان مثال می‌توان تعبیه راهبار در قسمت بالای قالب و راهبارها در قسمت پایین آن (راهبار) در نظر گرفت. در این صورت مواد ناخواسته‌ای که سبک‌تر از مذاب می‌باشند در دو انتهای راهبار که بالاتر از راهبار می‌باشد جمع می‌شوند و از ورود آن‌ها به محفظه قالب جلوگیری می‌شود. شکل ۲۱-۵ روش‌های جلوگیری از ورود آخال و مواد ناخواسته به داخل محفظه قالب را نشان می‌دهد.

همان‌طور که در شکل ۲۱-۵- الف مشاهده می‌شود در قسمت بالای راهبار، محفظه‌ای در نظر گرفته شده که مواد ناخواسته سبک که در سطح بالایی مذاب قرار می‌گیرند، صعود کرده و وارد آن می‌شوند. بنابراین از ورود این مواد به داخل محفظه قالب جلوگیری می‌شود. در شکل ۲۱-۵- ب - راهبار بالاتر از راهبار قرار گرفته، بنابراین مواد ناخواسته سبک در دو انتهای راهبار در سطح بالایی مذاب جمع شده نمی‌توانند وارد راهبار شود.



شکل ۵-۲۱- روش‌های دیگر برای جلوگیری از ورود آخال‌ها و مواد ناخواسته به داخل محفظه قالب

- روش دیگر جلوگیری از ورود مواد ناخواسته به داخل مذاب، قرار دادن مانع یا سد و تویی در حوضچه بارریز است. این موانع از ورود مواد ناخواسته سبکتر از مذاب که در سطح بالایی مذاب جمع می‌شوند به داخل راهگاه جلوگیری می‌کنند. البته این روش زمانی موثر است که سیستم راهگاهی از نوع فشاری و همواره پر از مذاب باشد. شکل ۵-۲۲- الف و ب نمونه‌ای از قرار دادن مانع یا سد در حوضچه بارریز را نشان می‌دهد.

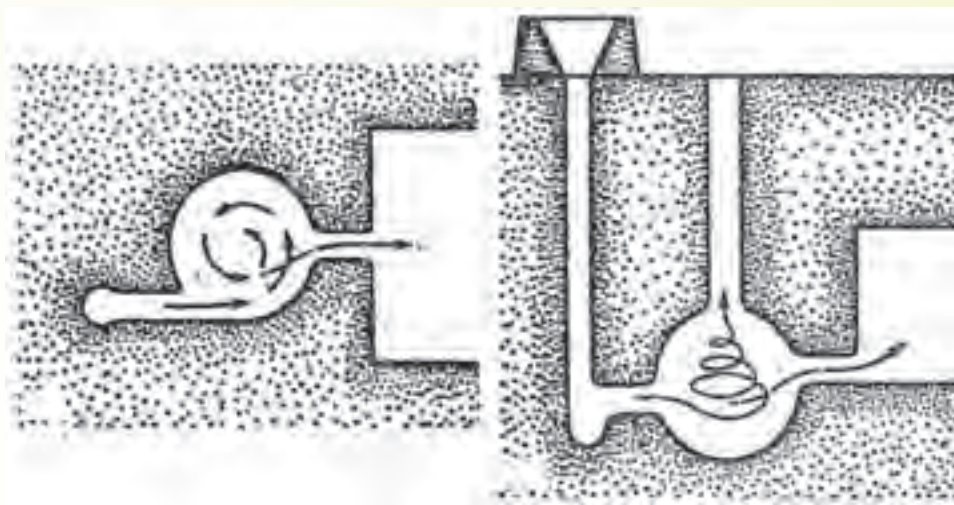


شکل ۵-۲۲- نمونه‌هایی از حوضچه‌های گلابی (لگنی)

همان‌طور که ملاحظه می‌شود روش‌های فوق تنها برای فلزات آهنی و بعضی از آلیاژهای مس که چگالی نسبتاً بالایی دارند و سیستم راهگاهی آن‌ها به صورت فشاری است موثر می‌باشد.

(ج) استفاده از راهگاه‌های گردابی: در این نوع راهگاه‌ها با استفاده از ایجاد نیروی جانب مرکز در مذاب، مواد ناخواسته در سطح مذاب جمع شده و به داخل کانالی که در بالای محفظه گردابی تعبیه شده رانده می‌شوند

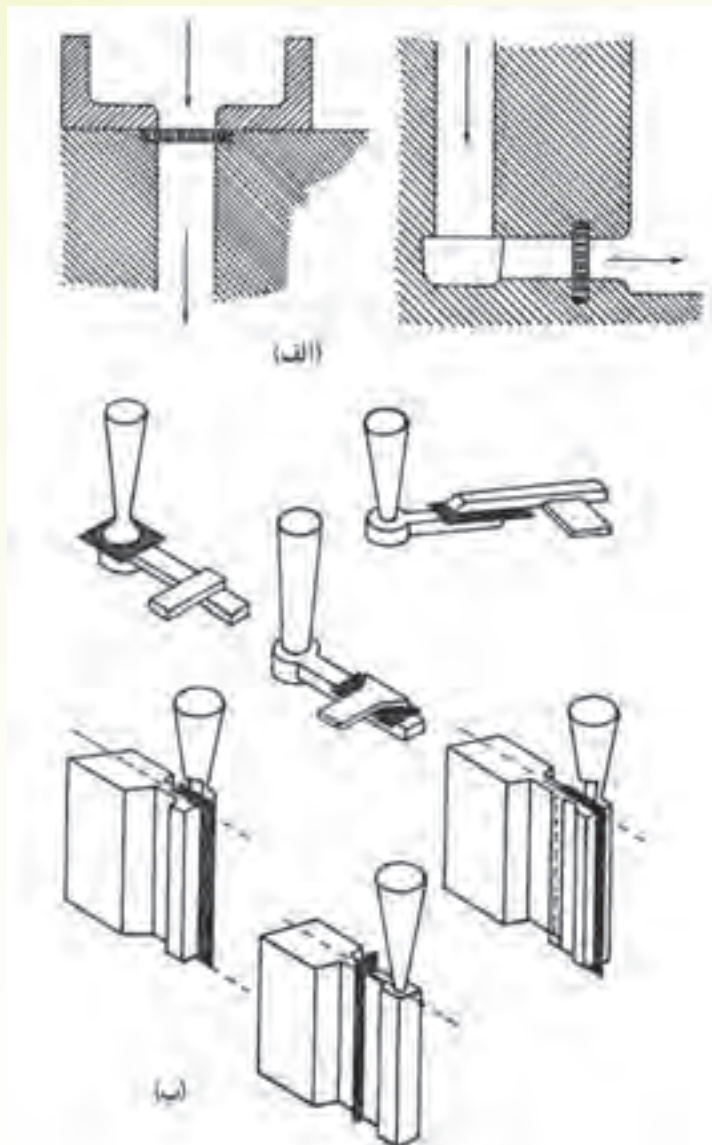
و به این طریق، از ورود آن‌ها به محفظه قالب جلوگیری می‌شود. شکل ۲۳-۵- نمونه ای از تعبیه راهگاه گردابی جهت جلوگیری از ورود مواد ناخواسته به محفظه قالب را نشان می‌دهد.



شکل ۲۳-۵- راهگاه گردابی

همان‌طور که در شکل نشان داده شده است، پس از ورود مذاب به محفظه گردابی به علت شکل کروی آن، حرکت چرخشی در مذاب ایجاد می‌شود. در اثر چرخش مذاب، نیروی جانب مرکز ایجاد شده که ناخالصی‌ها را به سطح بالای مذاب و کانال بالای محفظه گردابی هدایت می‌کند. شکل سمت چپ محفظه گردابی در حالت افقی و شکل سمت راست محفظه گردابی در حالت عمودی را نشان می‌دهد.

**۲-۴-۵- استفاده از صافی (فیلتر):** روش‌های ذکر شده در قسمت قبل در مورد مواد ناخواسته‌ای موثر می‌باشند که نسبت به مذاب چگالی کمتری داشته و در سطح مذاب شناور می‌شوند. بنابراین کاربرد آن‌ها در آلیاژهای با چگالی بالا مانند آلیاژهای آهنی می‌باشد. اما در مورد آلیاژهای با چگالی پایین مانند آلیاژهای آلومینیم که چگالی آن‌ها نسبت به مواد ناخواسته درون آن‌ها کمتر است، موثر نمی‌باشد. بنابراین در مورد آلیاژهای با چگالی پایین، برای جدا کردن مواد ناخواسته سنگین‌تر از مذاب از روش دیگری باید استفاده کرد. به همین منظور از فیلترهای تصفیه (صافی) و توری‌های سیمی در قسمت‌های مختلف سیستم راهگاهی استفاده می‌شود به طوری که مذاب از آن‌ها عبور کرده اما مواد ناخواسته در پشت فیلترها متوقف می‌شوند. فیلترها باید به گونه‌ای انتخاب شوند که دایره گرمای مذاب آسیب نبینند. شکل ۲۴-۵ استفاده از ماهیچه صافی و توری‌های سیمی در قسمت‌های مختلف سیستم راهگاهی را نشان می‌دهد.



شکل ۲۴-۵- استفاده از صافی (فیلتر) در قسمت‌های مختلف از سیستم راهگاهی  
 الف) استفاده از ماهیچه‌های صافی ب) استفاده از توری‌های سیمی

### در پایان جلسه:

- جمع بندی مطالب این جلسه توسط هنرآموز
- تکالیف برای منزل هنرجویان: مطالعه متن درس و آمادگی برای آزمون جلسه آینده.

## ارزشیابی

- ۱- دلیل مخروطی شکل بودن راهگاه بارریز چیست؟ توضیح دهید.
- ۲- سیستم‌های راهگاهی مرکب چه نوع سیستم‌هایی هستند و چه کاربردی دارند؟ انواع آن را نام ببرید.
- ۳- نقش اساسی حوضچه (قیف) بالای راهگاه بارریز چیست؟
- ۴- دلیل مخروطی شکل بودن راهگاه بارریز چیست؟ توضیح دهید.
- ۵- انواع روش‌های راهگاه‌گذاری را فقط نام ببرید  $\times \times$  با رسم شکل نشان دهید.
- ۶- جداسازی مواد ناخواسته با استفاده از صافی (فیلتر) برای کدام آلیاژها به کار می‌رود؟ چرا؟
- ۷- وظایف اصلی یک سیستم راهگاهی را بنویسید.  $\times \times$
- ۸- روش جداسازی مواد ناخواسته از مذاب در سیستم راهگاهی گردابی را توضیح دهید.
- ۹- طرح مناسب برای اتصال اجزای سیستم راهگاهی هریک از اشکال زیر را رسم نمایید و دلایل آن را

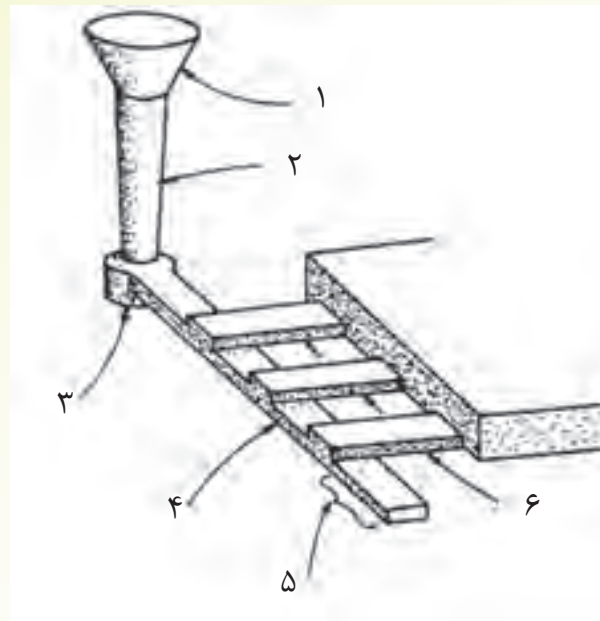
بنویسید.



۱۰- روش‌های آخال‌گیری در سیستم راهگاهی را بنویسید.

۱۱- سیستم راهگاهی را تعریف کنید.

۱۲- نام اجزای سیستم راهگاهی شکل زیر را به ترتیب شماره‌ها بنویسید.



۱ ..... ۲ ..... ۳ ..... ۴ .....  
 ۵ ..... ۶ .....

۱۳- انواع سیستم‌های راهگاهی را فقط نام ببرید.

۱۴- مزایای استفاده از حوضچه‌های لگنی یا گلابی شکل را بنویسید.

۱۵- مهم‌ترین ویژگی راهگاه‌گذاری از پایین را بنویسید.

۱۶- اجزای یک سیستم راهگاهی را نام ببرید.

۱۷- هدف از ایجاد حوضچه‌های راهگاه را بنویسید.

۱۸- نوعی حوضچه بالای راهگاه که بیشتر برای آلیاژهای غیرآهنی استفاده می‌شود و قالب را از آسیب بر

اثر ریزش مذاب حفظ می‌کند، حوضچه ..... نام دارد.

۱۹- روش راهگاه‌گذاری که مهم‌ترین ویژگی آن ایجاد جریانی آرام با حداقل تلاطم و آشفستگی مذاب

می‌باشد، روش ..... نامیده می‌شود.

۲۰- هرگاه در یک سیستم راهگاهی، مجموع سطوح مقاطع راهباره از سطح مقطع بارریز کمتر باشد،

سیستم از نوع ..... نامیده می‌شود.

۲۱- مورد استفاده صافی (فیلتر) را در جداسازی مواد ناخواسته مذاب بنویسید.

## منابع و مأخذ

۱- اصول متالورژی ریخته‌گری، شرکت چاپ و نشر کتابهای درسی، ۱۳۸۹.

