جلسه ۱۹ـ۴

۱ـ حضور و غیاب
۲ـ پیش‌آزمون از مطالب جلسه قبل (به‌صورت کتبی، شفاهی و پاسخ کوتاه و ...)
۳ـ یادآوری خلاصه‌ای از مطالب فصل قبل

موضوع

ـ انقباض فلزات و لزوم استفاده از تغذیه،
ـ تغذیه در قطعه‌های ریختگی
ـ انجماد و اصول تغذیه

بهتر است هنرآموز در شروع هر جلسه درسی با انواع پرسش‌های مرتبط با موضوع درس، هنرجو را در زمینهٔ یادگیری، فعال نماید و بحث سؤالات را به‌صورت تعاملی با هنرجویان ادامه دهد. سؤال‌هایی مانند:

۱ـ چه نوع انقباض‌هایی در هنگام انجماد مذاب از دمای فوق‌گداز تا دمای محیط اتفاق می‌افتد؟
۲ـ به چه روشی می‌توان انقباض‌های ایجاد شده در هنگام انجماد مذاب و دمای محیط را جبران کرد؟
۳ـ آیا نحوهٔ انجماد همهٔ آلیاژها یکسان است؟
۴ـ آیا می‌توان با استفاده از یک کانال اضافی مذاب در قالب، انقباض‌های ایجاد شده در قطعه را جبران کرد؟

۱ـ۴ـ 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 ادامهٔ سرد کردن مذاب، به تدریج جامد شکل گرفته رشد نموده تا در دمای سالیدوس مذاب به‌طور کامل به جامد تبدیل شود. سپس، با ادامهٔ سردکردن، دمای جامد شکل گرفته کاهش می‌یابد تا به دمای محیط برسد.

با توجه به این‌که دمای مذاب در حال کاهش است، حجم مذاب از دمای فوق گداز 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 سالیدوس، که اولین ذرات جامد شکل گرفته و رشد می‌کنند تا قطعه به‌طور کامل جامد شود، حجم قطعه و مذاب به‌تدریج در حال کاهش است. این کاهش حجم، ناشی از تغییرات

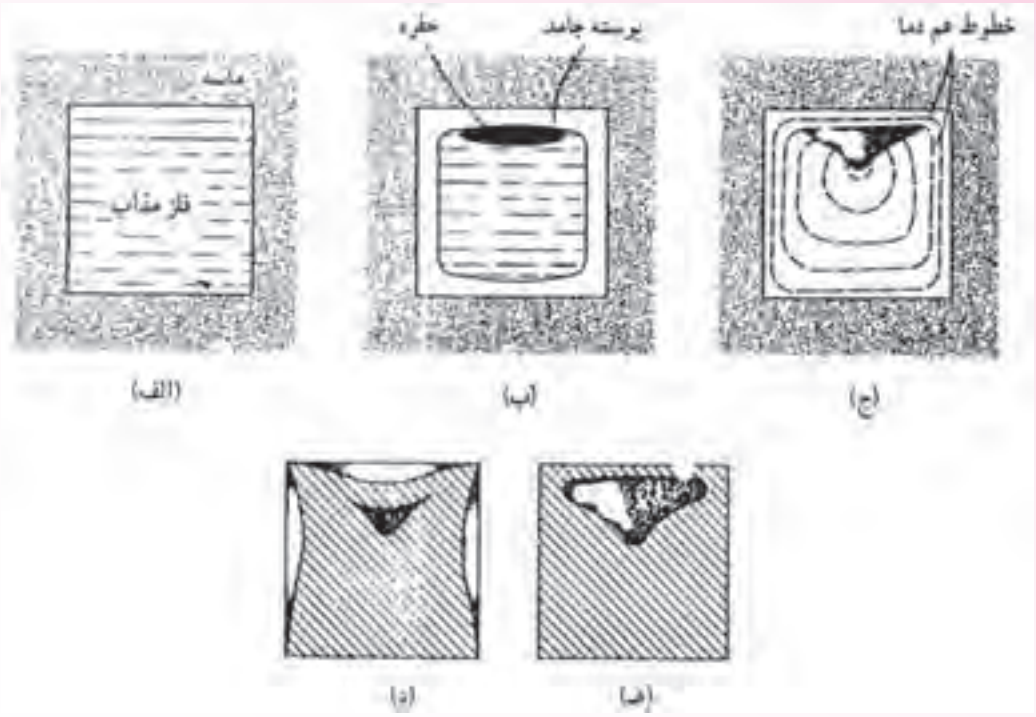
ساختاری در هنگام تبدیل از حالت مذاب به حالت جامد است، که به آن انقباض حین انجماد گفته می‌شود. از دمای سالیدوس تا دمای محیط، حجم جامد به مقدار کمی کاهش می‌یابد که به آن انقباض در حالت جامد گفته می‌شود.

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 قطعهٔ جامد شده نسبت به حجم محفظه، قالب کمتر خواهد بود. کاهش حجم سبب کاهش ابعاد قطعهٔ تولید شده نسبت به مدل اولیه و یا به‌وجود 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 نظرگرفتن 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 قطعهٔ جامد برابر با ابعاد موردنظر گردد. به‌همین دلیل، انقباض حین انجماد در مرحلهٔ مدل‌سازی درنظر گرفته می‌شود و ابعاد بزرگتر از قطعهٔ موردنظر در نظر گرفته می‌شود تا پس از ریخته‌گری و رسیدن به دمای محیط، به اندازهٔ واقعی خود برسد.

در شکل ۱ـ۴، 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، پوستهٔ جامد در مجاورت دیواره قالب به‌وجود می‌آید و در اثر انقباض در حالت مذاب و انقباض ایجاد شده در اثر تشکیل پوستهٔ جامد، حجم مذاب و جامد تشکیل شده کاهش یافته و حفره‌ای مطابق شکل ۱ـ۴ـ ب در قطعه ایجاد می‌شود. با ادامهٔ سرد شدن قطعه، مذاب باقیمانده منجمد شده و در اثر انقباض در حین انجماد مذاب باقیمانده، حفرهٔ ایجاد شده بزرگتر شده است (مطابق شکل ۱ـ۴ـ ج). پس از انجماد کامل مذاب در ادامهٔ سردکردن 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 ۱ـ۴ـ د). در حالت دوّم، انقباض در حالت جامد سبب شکسته شدن پوستهٔ 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 حفرهٔ انقباض همراه است.



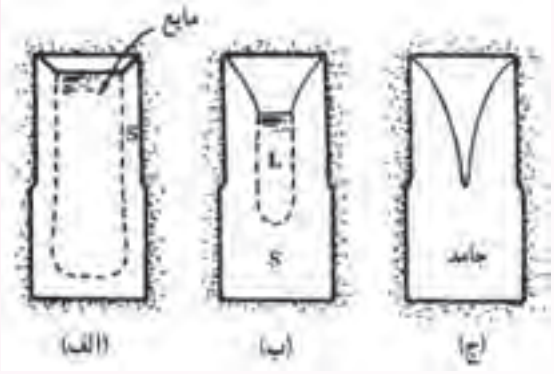
شکل ۱ـ۴ـ شماتیک مراحل انقباض یک نمونهٔ مکعبی (الف): فلز مذاب اولیه پس از بارریزی (ب): جامد شدن پوسته و شکل‌گیری حفرهٔ انقباضی (ج): انقباض داخلی (د): انقباض داخی همراه با مقعر شدن (تغییر ابعادی) (هـ): سوراخ شدن سطح و ارتباط حفره با محیط اطراف

عیوب انقباضی در قطعهٔ ریختگی به شکل عیوب انقباض داخلی به‌وجود می‌آید و به‌صورت 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. به‌وجود آمدن این حالت‌ها به جنس آلیاژ و نحوهٔ انجماد آن بستگی دارد. به‌طوری‌که،اگر آلیاژ در حین انجماد تشکیل پوستهٔ جامد ضخیم بدهد، عیوب انقباض (حفره) که درون قطعه ایجاد می‌شود، نمی‌تواند سبب تغییر فرم (مقعر شدن) سطح قطعه شود. اما اگر آلیاژ به‌گونه‌ای منجمد شود که پوستهٔ جامد تشکیل شده در ابتدای انجماد نازک باشد، عیوب انقباضی (حفره) می‌تواند سبب تغییر فرم و سوراخ شدن سطح قطعه شوند.

۱ـ۱ـ۴ـ 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، وظیفهٔ 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 قطعهٔ ریخته شده می‌باشد به نحوی که از به‌وجود آمدن عیوبی مانند حفرهٔ انقباض در قطعه جلوگیری شود.

در شکل ۲ـ۴ نحوهٔ انجماد یک قطعهٔ مکعبی با یک تغذیهٔ استوانه‌ای شکل روی آن نشان داده شده است. قطعه و تغذیه کاملاً درون ماسه قرار گرفته‌اند.



شکل ۲ـ۴ـ نحوهٔ انجماد قطعهٔ مکعبی از فلز خالص (الف): مراحل اولیهٔ انجماد (ب): در خلال انجماد (ج): خاتمهٔ انجماد

همان‌طور که در شکل الف نشان داده شده است در مراحل ابتدایی انجماد، پوستهٔ جامد در قطعه و تغذیه تشکیل شده است و مذاب درون پوستهٔ جامد قرار دارد. انقباضی که در اثر انجماد پوستهٔ جامد به‌وجود آمده، در بالای تغذیه و به‌صورت فضای خالی نشان داده شده است. در شکل ب، بیش از نیمی از مذاب منجمد شده، ضخامت پوستهٔ 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 قطعهٔ مکعبی شکل، حفرهٔ انقباضی ایجاد شده در تغذیه از قطعه جدا می‌شود. بنابراین، با به‌کار بردن تغذیه در این قطعه، حفرهٔ انقباضی از داخل قطعه به تغذیه منتقل شده و در آن متمرکز می‌شود. در نتیجه، قطعه فاقد حفرهٔ انقباضی خواهد بود.

۲ـ۴ـ انجماد و اصول تغذیه

همان‌طور که قبلاً گفته شد، نحوهٔ انجماد آلیاژها با یکدیگر متفاوت است. بنابراین، نحوهٔ انقباض آن‌ها و تشکیل عیوب انقباضی در آن‌ها متفاوت است. با توجه به این مطالب، برای جبران و جلوگیری از به‌وجود آمدن این عیوب نمی‌توان همواره از یک نوع تغذیه استفاده کرد و نحوهٔ تغذیه‌گذاری برای هر آلیاژ متفاوت خواهد بود. بنابراین، بهتر

است قبل از ورود به بحث تغذیه‌گذاری، ابتدا انواع فلزات و آلیاژها را از لحاظ نحوهٔ انجماد، تقسیم‌بندی کنیم.

به‌طور کلی آلیاژها از لحاظ نحوهٔ انجماد و بحث تغذیه به سه گروه اصلی تقسیم می‌شوند:

۱ـ آلیاژهای با دامنهٔ انجماد کوتاه: در این آلیاژها فاصله دمایی بین دمای لیکوئیدوس و سالیدوس کمتر از $50^{\circ}c$ است و نحوهٔ انجماد در آن‌ها به‌صورت پوسته‌ای یا لایه‌ای می‌باشد. زمانی‌که پوستهٔ جامد اولیه شکل گرفت، با ادامهٔ 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 پوستهٔ جامد افزایش یافته و این عمل تا پایان انجماد ادامه می‌یابد.

۲ـ آلیاژهای با دامنهٔ انجماد متوسط: در این آلیاژها فاصله دمایی بین دمای لیکوئیدوس و سالیدوس بین $50^{\circ}c$ تا $110^{\circ}c$ است. نحوهٔ انجماد در آن‌ها به‌صورت پوسته‌ای و خمیری می‌باشد؛ به‌طوری‌که اگر سرعت سرد کردن مذاب کم باشد، پس از تشکیل پوستهٔ جامد و افزایش ضخامت آن تا حدی، ادامهٔ انجماد به‌صورت تشکیل دندریت و رشد آن ادامه می‌یابد تا کل مذاب به جامد تبدیل شود. در این آلیاژها اگر سرعت انجماد افزایش یابد، نحوهٔ انجماد به سمت انجماد پوسته‌ای و اگر سرعت انجماد کاهش یابد، نحوهٔ انجماد به سمت انجماد خمیری پیش می‌رود.

۳ـ آلیاژهای با دامنهٔ انجماد طولانی: در این آلیاژها، فاصلهٔ دمایی بین دمای لیکوئیدوس و سالیدوس بیش از $110^{\circ}c$ است و نحوهٔ انجماد در آن‌ها به‌صورت خمیری است، به‌طوری‌که، ابتدا یک پوستهٔ جامد نازک در قالب ایجاد شده و سپس، ادامهٔ انجماد با تشکیل و رشد دندریت‌ها در مذاب همراه است که تا پایان انجماد مذاب ادامه می‌یابد.

این نوع تقسیم‌بندی نحوهٔ انجماد مذاب را نشان می‌دهد. اما در هر گروه نحوهٔ انقباض‌های ایجاد شده تقریباً شبیه یکدیگر می‌باشند. بنابراین، می‌توان در هر گروه از روش تغذیه‌گذاری مشابهی استفاده کرد. اما؛ نحوهٔ 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 ۱ـ۴ کتاب تقسیم‌بندی فلزات و آلیاژهای مختلف را برحسب نحوهٔ انجماد (پوسته‌ای، خمیری، پوسته‌ای و خمیری) نشان می‌دهد.

با توجه به جدول مشخص می‌شود که فلزات خالص معمولاً دارای انجماد پوسته‌ای هستند. چون دامنهٔ انجماد آن‌ها تقریباً برابر صفر است.

جدول ۱ـ۴ـ تقسیم‌بندی فلزات و آلیاژها برحسب طریقهٔ انجماد

انجماد پوسته‌ای	انجماد میانی (پوسته‌ای ـ خمیری)	انجماد خمیری
فلزات خالص فولادهای کم کربن مس‌های تجاری آلومینیوم تجاری برنز ـ آلومینیوم آلومینیوم ـ سیلیسیم آلیاژهای نزدیک نقطه یوتکتیک برنج‌های زرد (تعدادی) روی تجاری قلع تجاری برنج سیلیسیم‌دار مس ـ نیکل برنز ـ منگنز	مس ـ برلیوم برنز ـ سیلیسیم مس ـ نیکل (۵۰ـ۵۰) فولادهای کم‌آلیاژ و کم کربن مس ـ قلع با ۱ تا ۲ درصد قلع	آلیاژهای آلومینیوم (به‌جز آلومینیوم ـ سیلیسیم) آلیاژهای منیزیم برنزهای قلع برنج قرمز آلیاژهای توپ 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.

جلسه ۲۰ـ۴

۱ـ حضور و غیاب
۲ـ پیش‌آزمون (تشریحی ـ تستی ـ شفاهی ...)
۳ـ یادآوری مطالب جلسه قبل

موضوع:

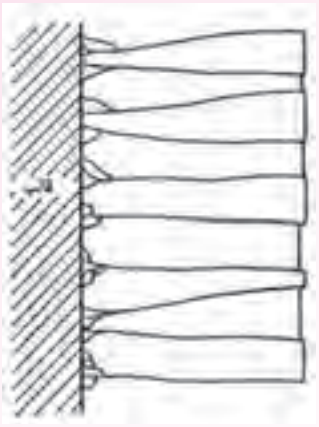
ـ فلزات و آلیاژهای با دامنهٔ انجماد کوتاه (انجماد پوسته‌ای)
ـ فلزات و آلیاژهای با دامنهٔ انجماد طولانی (انجماد خمیری)

برای آشنایی هنرجویان با موضوع فوق‌الذکر لازم است هنرآموزان محترم سؤال‌هایی در این زمینه جهت آمادگی ذهنی هنرجویان بپرسند و جواب‌ها به‌صورت تعاملی ارائه شود. سؤال‌هایی مانند:

۱ـ آلیاژها از لحاظ نحوهٔ انجماد به چند گروه تقسیم می‌شوند؟
۲ـ آیا نحوهٔ تغذیه‌گذاری برای گروه‌های ذکر شده یکسان است؟
۳ـ نحوهٔ انجماد فلزات خالص در کدام گروه قرار می‌گیرد؟
۴ـ آیا سرعت سرد کردن مذاب تأثیری بر نحوهٔ انجماد آلیاژهای گروه‌های یاد شده دارد؟
۵ـ به نظر شما در آلیاژهای پوسته‌ای امکان ایجاد عیوب انقباضی در کدام قسمت‌های قطعه وجود دارد؟
۶ـ به نظر شما در آلیاژهای خمیری امکان ایجاد عیوب انقباضی در کدام قسمت‌های قطعه وجود دارد؟

۱ـ۲ـ۴ـ فلزات و آلیاژهای با دامنهٔ انجماد کوتاه (انجماد پوسته‌ای): این گروه از فلزات شامل فلزات خالص و آلیاژهایی می‌باشد که دامنهٔ انجماد آن‌ها کمتر از $50^{\circ}C$ است؛ مانند فولادهای کم کربن، برنز آلومینیوم، آلومینیوم ـ سیلیسیم، برنج سیلیسیم‌دار، مس‌های تجاری، آلومینیوم تجاری و ... (مطابق جدول ۱ـ۴)

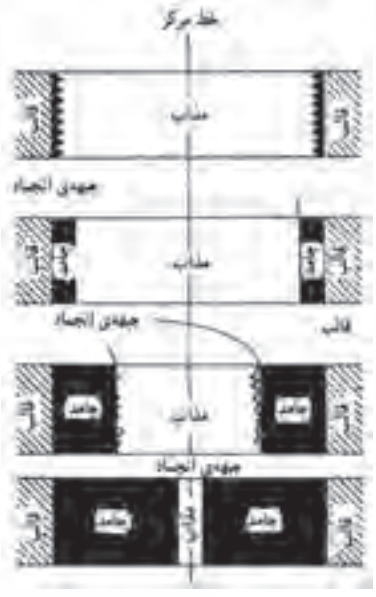
هنگامی که مذاب این آلیاژها در داخل قالب ریخته می‌شود، به علت اختلاف زیاد بین دمای مذاب و قالب، انجماد از دیوارهٔ قالب که سردترین نقطهٔ قالب است با تشکیل پوستهٔ جامد شروع می‌شود. در این حالت، به دلیل دمای پایین دیواره قالب، تعداد زیادی هستهٔ (جوانهٔ) جامد در مذاب مجاور دیوارهٔ قالب به‌وجود می‌آید. این هسته‌ها به سرعت رشد کرده، به هم می‌رسند و پوستهٔ جامد را تشکیل می‌دهند. در این حالت، کریستال‌های شکل گرفته در سطح قطعه با ادامهٔ سرد کردن، رشد کرده و به طرف مرکز قالب پیش می‌روند. شکل ۳ـ۴ به‌طور شماتیک نحوه انجماد یک فلز خالص را نشان می‌دهد.



شکل ۳ـ۴ـ رشد کریستال‌ها در انجماد یک فلز خالص از دیوارهٔ قالب

همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، کریستال‌های جامد ابتدا در پوستهٔ مجاور قالب تشکیل شده‌اند ودر ادامه با گذشت زمان به‌طرف مرکز قالب رشد می‌کنند.

فلزات خالص که در گروه فلزات با انجماد پوسته‌ای می‌باشند، هنگام انجماد دارای جبههٔ انجماد تقریباً صاف و همواری هستند. یعنی، ابتدا لایهٔ نازک جامد در مجاورت دیوارهٔ قالب شکل می‌گیرد، سپس این پوسته به‌طور یکنواخت رشد می‌کند؛ به‌طوری که، سطح‌آن تقریباً هموار و صاف است. شکل ۴ـ۴، به‌طور شماتیک نحوهٔ انجماد یک فلز خالص از دیوار قالب به سمت مرکز قالب را نشان می‌دهد.

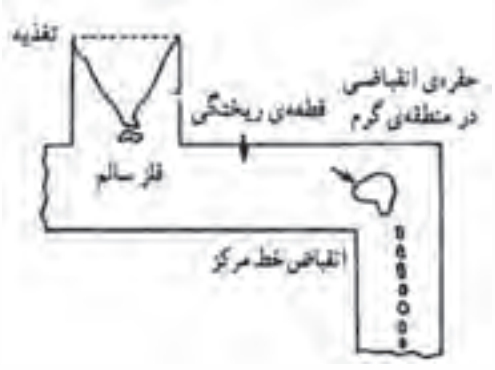


شکل ۴ـ۴ـ شماتیک مراحل انجماد یک فلز خالص (با دامنهٔ انجماد صفر) انجماد از جدارهٔ قالب آغاز شده و به‌طرف مرکز ادامه یافته و جبههٔ انجماد به شکل صاف و همواره است

همان‌طور که در شکل نشان داده شده،ابتدا پوستهٔ جامد در مجاورت دیوارهٔ قالب تشکیل شده و با گذشت زمان این پوسته به تدریج رشد می‌کند؛ به‌طوری‌که ضخامت پوستهٔ جامد افزایش می‌یابد و جبههٔ انجماد آن به‌صورت صاف و هموار است. با گذشت زمان به‌تدریج ضخامت پوستهٔ جامد افزایش می‌یابد تا در نهایت به مرکز قطعه می‌رسد. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، در مرکز قطعه پوستهٔ جامد از دو طرف به یکدیگر می‌رسند در حالی که جبههٔ انجماد آن‌ها تقریباً صاف و یکنواخت است.

بنابراین در آلیاژهای با انجماد پوسته‌ای، قسمت خارجی قطعه که در ابتدای انجماد تشکیل می‌شود به‌طور 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، حفرهٔ انقباضی تشکیل شده حالت قیفی شکل و عمیق دارد. هرچه میزان خلوص فلز بالاتر باشد، سطح حفرهٔ انقباضی صاف‌تر خواهد بود و حفرهٔ انقباضی دارای شکل هندسی خواهد بود، مانند فلزات خالص که دامنهٔ انجماد آن‌ها صفر است. اما هرچه میزان خلوص فلز کاهش یابد، حفرهٔ انقباضی تشکیل شده کمتر دارای شکل هندسی منظم است. می‌دانیم که هرچه درجهٔ خلوص فلز کاهش یابد، جبههٔ انجماد آن از حالت صاف و هموار خارج خواهد شد. بنابراین، در این حالت، شکل حفرهٔ انقباضی نیز نامنظم‌تر می‌شود. در شکل ۵ـ۴ تصویر حفره‌های انقباضی ایجاد شده در یک قطعهٔ ریختگی نشان داده شده است.

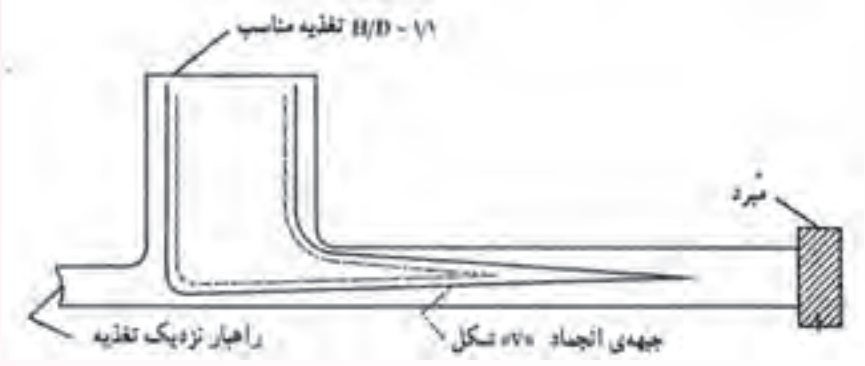


شکل ۵ـ۴ـ شکل‌های مختلف انقباضی در آلیاژهای با دامنهٔ انجماد کم

همان‌طور که در شکل ملاحظه می‌شود علاوه بر تغذیه، در قسمت‌های ضخیم قطعه نیز حفرهٔ انقباضی به‌وجود آمده است.علت این امر، عدم مذاب رسانی کافی تغذیه به نواحی مختلف قطعه است. از طرف دیگر، سطح حفرهٔ انقباضی تشکیل شده در منبع تغذیهٔ قطعه 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 قعطه، که گرم‌ترین نقاط قطعه می‌باشند، به‌وجود می‌آید.

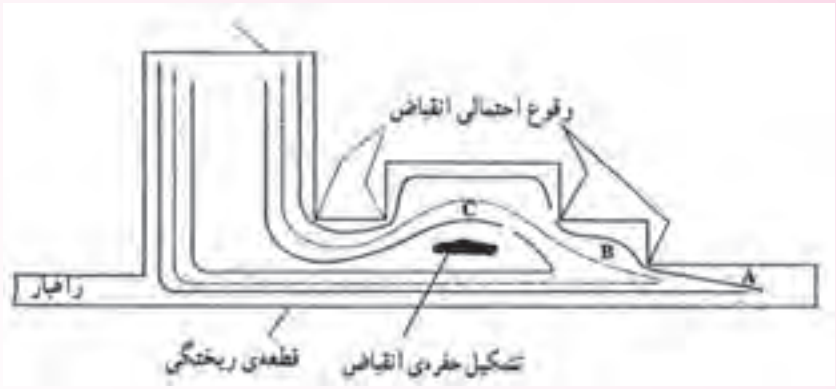
تغذیه‌گذاری در آلیاژهای پوسته‌ای باید طوری طراحی شود که مذاب کافی برای جبران انقباض ناشی از انجماد در قسمت‌های ضخیم و دور دست قطعه و یا گرم‌ترین نقاط قطعه، وجود داشته باشد. در قطعه‌های با طول زیاد، برای افزایش سرعت انجماد در نقاط دور از تغذیه، می‌توان از قطعاتی به نام مبرد استفاده کرد. این قطعات حرارت مذاب را در نقاط دور نسبت به تغذیه جذب کرده و سبب می‌شود این نقاط سریع‌تر از بقیهٔ قسمت‌های قطعه، به‌خصوص 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 ۶ـ۴ نمونه‌ای استفاده از مبرد در قطعات با طول زیاد را نشان می‌دهد.



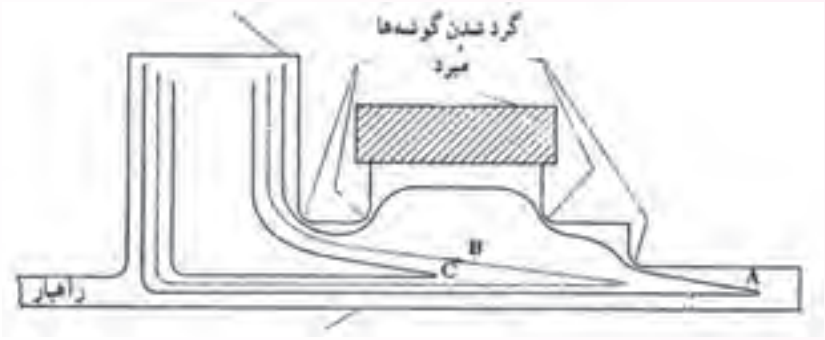
شکل ۶ـ۴ـ انجماد جهت‌دار در آلیاژهای با انجماد پوسته‌ای مُبرد

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 دهندهٔ انجماد جهت‌دار است. به‌علاوه، در این شکل جبههٔ انجماد V شکل است. بنابراین، حفرهٔ انقباضی در تغذیه، در نهایت به شکل V خواهد بود.

انجماد یک آلیاژ پوسته‌ای در قالب دیگری در شکل ۷ـ۴ 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 مرحلهٔ انجماد در قسمت C اتفاق می‌افتد و در این قسمت احتمال به‌وجود آمدن حفرهٔ انقباضی زیاد خواهد شد. برای رفع این مشکل، باید به روشی سرعت انجماد در این قسمت را افزایش داد تا از به‌وجود آمدن نقطهٔ گرم در این قسمت (قسمت C) جلوگیری شود. بهترین راه، استفاه از مبرد در قسمت C قطعه است (مطابق شکل ۸ـ۴). مبرد سبب می‌شود که انجماد در منطقهٔ C سریع‌تر انجام شود و آخرین مرحلهٔ انجماد به داخل تغذیه منتقل شود. بنابر این، در قسمت C حفرهٔ انقباضی تشکیل نخواهد شد.



شکل ۷ـ۴ـ اثر مراکز گرمایی منطقه‌ای در انقباض آلیاژهای پوسته‌ای

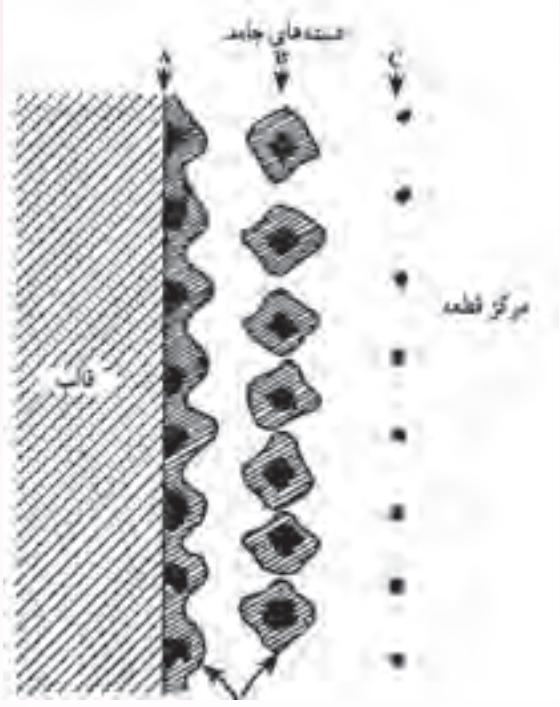


شکل ۸ـ۴ـ استفاده از مبرد به‌منظور محدودکردن مراکز گرمایی منطقه‌ای

رأس گوشه‌های داخلی قطعه که در شکل ۷ـ۴ 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 ۸ـ۴، برطرف کرد.

۲ـ۲ـ۴ـ فلزات و آلیاژهای با دامنهٔ انجماد طولانی (انجماد خمیری): همان‌طور که در جدول ۱ـ۴ 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، مطالعهٔ نحوهٔ انجماد این آلیاژها اهمیت دارد . هنگامی که مذاب آلیاژهای با دامنهٔ انجماد طولانی به داخل قالب ریخته می‌شود به علت اختلاف دما بین مذاب و قالب ابتدا یک پوستهٔ جامد درمجاورت دیوارهٔ قالب تشکیل می‌شود. با گذشت زمان، دمای قالب افزایش یافته و رشد پوستهٔ تشکیل شده، متوقف می‌شود. از این مرحله به بعد، نحوهٔ انجماد آلیاژ با نحوهٔ انجماد آلیاژهای پوسته‌ای تفاوت دارد. هنگامی که مذاب به داخل قالب ریخته می‌شود، اولین هسته‌های جامد در مجاورت دیوارهٔ قالب به‌وجود می‌آید و پس از مدتی رشد این هسته‌ها متوقف می‌شود و انجماد جهت‌دار به طرف مرکز قطعه صورت نمی‌گیرد. این موضوع در شکل ۹ـ۴ 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 به‌صورت یک لایهٔ 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 لایهٔ نازک ابتدایی ادامه یابد. در این حالت، شرایط به‌گونه‌ای 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 ۹ـ۴).



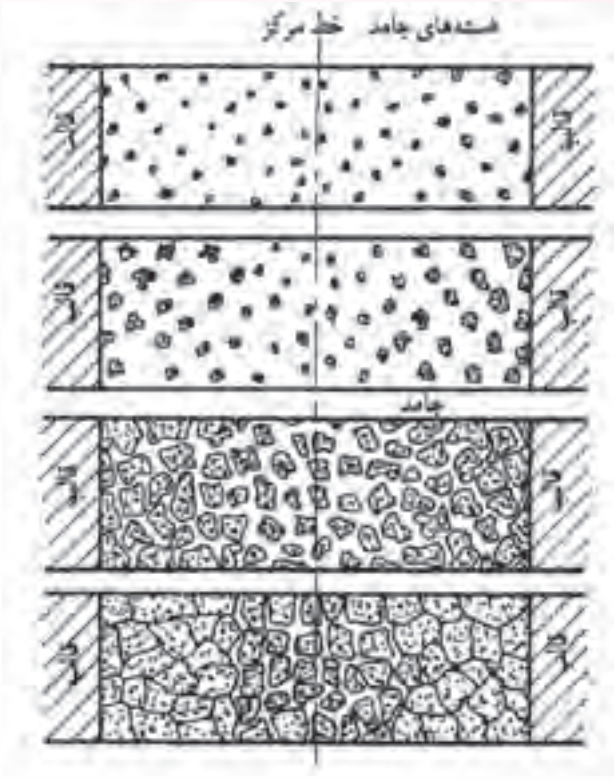
شکل ۹ـ۴ـ تأخیر در رشد کریستال‌ها در آلیاژهای با دامنهٔ انجماد طولانی (خمیری)

پس از تشکیل پوستهٔ جامد، با گذشت زمان و ادامهٔ سرد شدن مذاب، هسته‌های جامد زیادی در همه‌جای محفظهٔ قالب و مذاب به‌وجود می‌آید. این هسته‌ها به‌تدریج و با گذشت زمان در جهات مختلف رشد کرده، در نهایت به یکدیگر می‌رسند و رشد آن‌ها متوقف می‌شود. شکل ۱۰ـ۴ مراحل انجماد آلیاژهای با انجماد خمیری به‌طور شماتیک نشان می‌دهد.

همان‌طور که در شکل ۱۰ـ۴ مشاهده می‌شود، پس از تشکیل پوستهٔ جامد در همهٔ قسمت‌های قالب، هسته‌های جامد تشکیل شده است و با گذشت زمان و ادامهٔ سرد شدن مذاب، به‌تدریج 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 به‌وجود آمده، رشد می‌کنند و به‌دانه تبدیل می‌شوند. در مراحل آخر انجماد، مذاب در لابه‌لای دانه‌ها وجود دارد و در یک محل

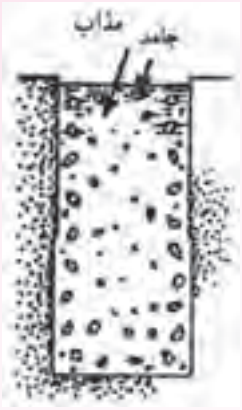
مشخصی نمی‌باشد. بنابراین، امکان به‌وجود آمدن انقباض در لابه‌لای دانه و تشکیل حفرات انقباضی در سرتاسر قطعه وجود دارد. به همین دلیل، مذاب رسانی به لابه‌لای دانه‌های منجمد شده بسیار مهم است. در مراحل انتهایی انجماد، با توجه به کاهش دما و در نتیجه کم شدن سیالیت مذاب، مذاب‌رسانی در قسمت‌های مختلف قطعه مشکل خواهد بود. بنابراین، معمولاً انقباض مذاب در بین دانه‌های منجمد شده جبران نشده و در نهایت حفره‌های انقباضی ریز و پراکندهٔ زیادی در قطعه، به خصوص در قسمت‌هایی که در آخرین مرحله منجمد می‌شوند (نقاط گرم قطعه)، ایجاد می‌شود.



شکل ۱۰ـ۴ـ شماتیک مراحل انجماد آلیاژهای با انجماد خمیری

با توجه به مطالب ذکر شده، مذاب‌رسانی در آلیاژهای با انجماد خمیری در سه مرحله انجام می‌شود:

مرحلهٔ اول: در این مرحله هسته‌ها جامد در تمام قسمت‌های مذاب به‌وجود آمده و مقدار کمی رشد می‌کنند؛ به‌طوری 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 به‌راحتی با اضافه‌نمودن مذاب جبران می‌شوند، مانند (شکل ۱۱ـ۴ـ الف).



شکل ۱۱ـ۴ـ الف

مرحلهٔ دوم: در این مرحله ذرات جامد رشد کرده و بزرگتر می‌شوند؛ به‌طوری که، مذاب نمی‌تواند مانند مرحلهٔ اول به‌راحتی 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 به‌وجود آمده را جبران کند، مانند (شکل ۱۱ـ۴ـ ب).

شکل ۱۱ـ۴ـ ب

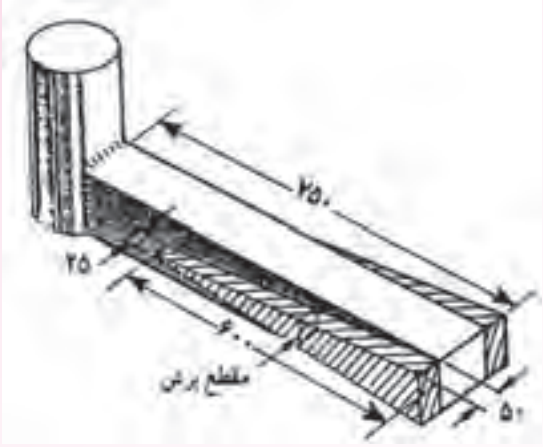
مرحلهٔ سوم: در این مرحله که تقریباً در انتهایی انجماد است، ذرات جامد آنقدر رشد کرده‌اند که به هم رسیده‌اند. و ارتباط قسمت‌های جامد شده با مذاب باقیمانده قطع شده است. در این حالت قسمت‌هایی از مذاب که بین دانه‌های جامد باقیمانده و محصور شده‌اند، منجمد می‌شوند. در آن قسمت‌ها در حین انجماد، انقباض به‌وجود می‌آید و از آن‌جا که ارتباط آن‌ها با مذاب باقیمانده قطع شده، امکان جبران این انقباض‌ها وجود ندارد. بنابراین، در سراسر قطعه حفره‌های انقباضی ریز به‌صورت پراکنده به‌وجود آمده و باقی‌می‌ماند، مانند (شکل

۱۱ـ۴ـ ج).

شکل ۱۱ـ۴ـ ج

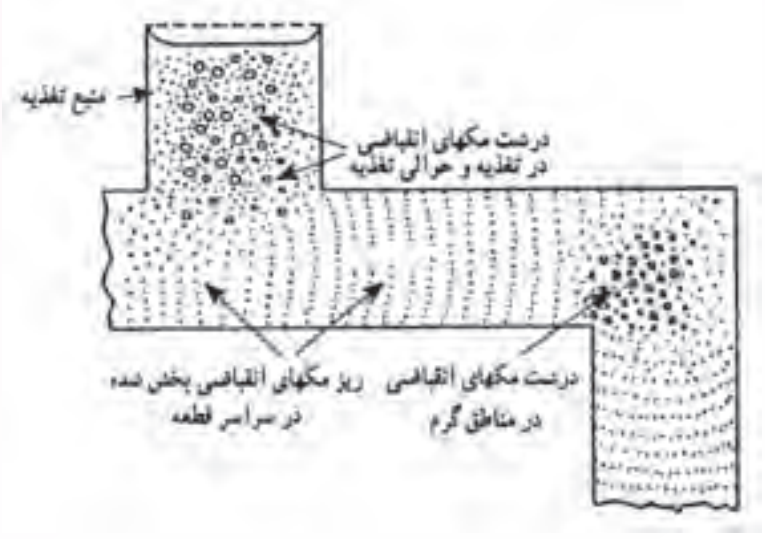
با توجه به مطالب ذکر شده، برای اینکه بتوان از آلیاژهای با انجماد خمیری قطعهٔ سالمی تولید کرد، بهتر است شرایطی ایجاد نمود که انجماد در هر مرحله، به صورت جهت‌دار باشد. زیرا، انجماد جهت‌دار به طرف تغذیه، به تنهایی کافی نخواهد بود و مک‌های انقباضی پراکنده ایجاد شده در سراسر قطعه را جبران نخواهد کرد. اما اگر در هر مرحله انجماد، انجماد به صورت جهت‌دار باشد، می‌توان از به‌وجود آمدن مک‌های انقباضی در قطعه جلوگیری کرد. برای این‌منظور باید، هنگامی که دورترین نقطهٔ قطعهٔ ریختگی نسبت به تغذیه، منجمد می‌شود، مذاب نزدیک تغذیه در اولین مرحلهٔ انجماد باشد. یعنی، ابتدا در دورترین قسمت قطعه نسبت به تغذیه، انجماد جهت‌دار به‌وجود آید و آن قسمت به‌طور کامل منجمد شود، در حالی‌که انجماد جهت‌دار در مذاب نزدیک به تغذیه تازه شروع شده و آن قسمت در مرحلهٔ اول انجماد است. این حالت در شکل ۱۲ـ۴ نشان داده شده است. در این‌جا 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 وانجماد 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 ۱۲ـ۴ـ استفاده از مبرّد گُوه شکل شیب دمایی مناسب را فراهم می‌سازد.



شکل ۱۲ـ۴ـ استفاده از مبرّدهای گوه‌ای در آلیاژهای با دامنهٔ انجماد طولانی

معمولاً مک‌های انقباضی، در آلیاژهای با دامنه انجماد طولانی (خمیری)، به‌صورت مک‌های ریز و مک‌های درشت‌تر دیده می‌شوند. مک‌های درشت‌تر معمولاً در قسمت‌های ضخیم‌تر، و به عبارت دیگر در گرم‌ترین قسمت قطعه، به‌وجود می‌آید. اما، مک‌های ریز به‌صورت پراکنده در تمام قسمت‌های قطعه مشاهده می‌شود. شکل ۱۳ـ۴ نمونه‌ای از مک‌های انقباضی ریز و درشت را نشان می‌دهد.



شکل ۱۳ـ۴ـ شکل‌های مختلف مک‌های انقباضی در آلیاژهای با دامنهٔ 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 به‌وجود آمده است. اما، در بقیهٔ قسمت‌های قطعه، مک‌های انقباضی ریز به‌صورت 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.

جلسه ۲۱ـ۴

۱ـ حضور و غیاب
۲ـ پیش‌آزمون از مطالب جلسه‌های قبل (به‌صورت کتبی، شفاهی و پاسخ کوتاه و ...)
۳ـ یادآوری مطالب جلسه قبل

موضوع:

ـ فلزات و آلیاژهای با دامنه انجماد متوسط (انجماد میانی)
ـ محل تغذیه و انجماد جهت‌دار
ـ جهت انجماد

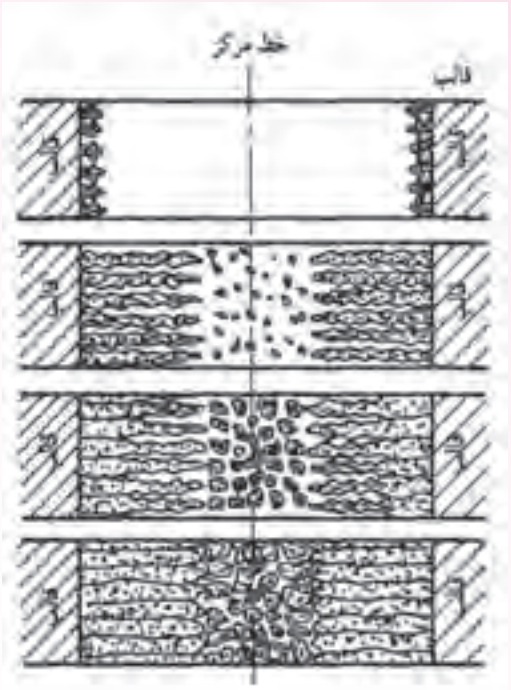
برای درک بهتر مفاهیم اصول متالوژیکی ریخته‌گری و بحث این جلسه، پیشنهاد می‌شود که هنرآموزان محترم سؤال‌هایی در این زمینه از هنرجویان بپرسند و پاسخ به صورت بحث تعامل در کلاس ارائه شود. سؤال‌هایی مانند:

۱ـ با توجه به نحوهٔ انجماد آلیاژهای با انجماد پوسته‌ای و آلیاژهای با انجماد خمیری، نحوهٔ انجماد آلیاژهای با دامنهٔ انجماد متوسط را چگونه پیش‌بینی می‌کنید؟

۲ـ به نظر شما محل مناسب برای قرار دادن تغذیه، کدام قسمت قطعه است؟ قسمت‌های ضخیم یا نازک؟

۳ـ در قطعاتی که انجماد آن‌ها به‌صورت جهت‌دار است، محل مناسب برای تغذیه کدام قسمت قطعه است؟

۳ـ۲ـ۴ـ فلزات و آلیاژهای با دامنهٔ انجماد متوسط (انجماد میانی): با توجه به اینکه آلیاژهای با دامنهٔ انجماد متوسط، بین آلیاژهای با دامنهٔ انجماد کوتاه و آلیاژهای با دامنهٔ انجماد طولانی قرار گرفته‌اند، نحوهٔ انجماد آلیاژهای با دامنهٔ 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 دیوارهٔ قالب، ابتدا پوستهٔ جامد در مجاورت دیوارهٔ قالب به‌وجود می‌آید. با گذشت زمان و ادامهٔ 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 باقیماندهٔ مذاب به صورت خمیری منجمد می‌شود؛ یعنی، در تمام قسمت‌های مذاب هسته‌های جامد به‌وجود آمده و رشد می‌کنند تا به یکدیگر برسند. این حالت در شکل ۱۴ـ۴ نشان داده شده است.



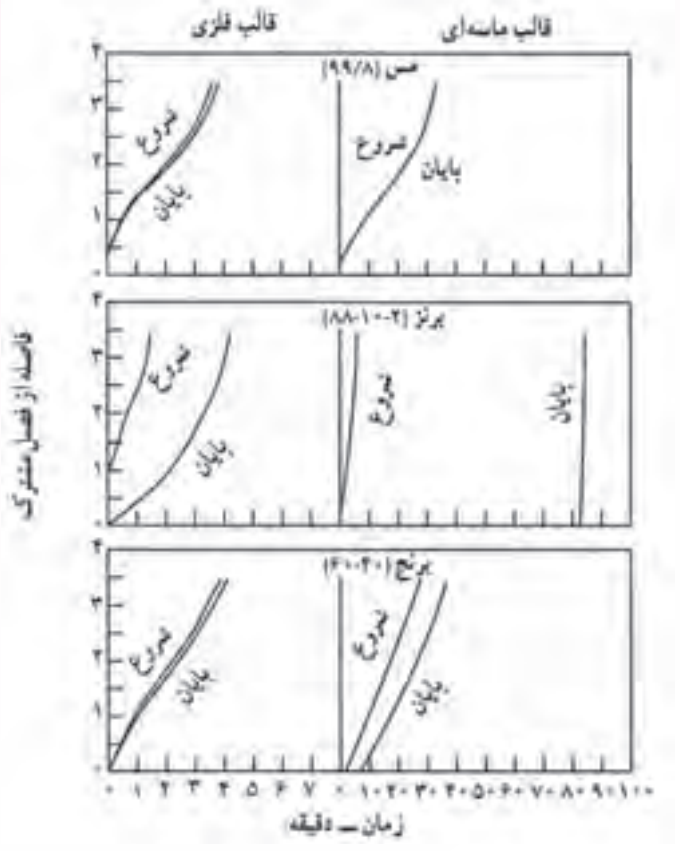
شکل ۱۴ـ۴ـ مراحل انجماد در آلیاژهای با دامنهٔ انجماد متوسط

همان‌طور که در شکل نشان داده شده است در ابتدای انجماد، پوستهٔ جامد تشکیل می‌شود. با ادامهٔ سرد شدن مذاب کریستال‌های موجود در پوسته رشد کرده و به سمت مرکز قالب پیش می‌روند تا در محلی متوقف شوند. پس از آن، هسته‌های جامد در تمام قسمت‌های مذاب باقی‌مانده به‌وجود می آید و با ادامهٔ سرد شدن مذاب این هسته‌ها رشد می‌کنند تا به یکدیگر برسند.

انجماد میانی تنها مختص آلیاژهای با دامنهٔ متوسط نیست، بلکه این نوع انجماد می‌تواند در آلیاژهای با دامنهٔ انجماد کوتاه و آلیاژهای با دامنهٔ انجماد طولانی نیز رخ دهد. آلیاژهای با دامنهٔ انجماد کوتاه، در قطعات ضخیم به علت حجم زیاد مذاب و کاهش سرعت سرد شدن مذاب، انجماد پوسته‌ای متوقف شده و مذاب باقیمانده به‌صورت خمیری منجمد می‌شود. عکس این حالت نیز صادق است به‌طوری‌که در آلیاژهای با دامنهٔ انجماد متوسط، در قطعات با ضخامت کم و سرعت سرد کردن زیاد مذاب رخ می‌دهد. در این حالت، انجماد قطعه به‌صورت پوسته‌ای انجام شده و انجماد خمیری در آن صورت نخواهد گرفت. در آلیاژهای با دامنهٔ انجماد طولانی، اگر ضخامت قطعه نازک و سرعت سرد شدن مذاب زیاد باشد، به‌جای انجماد خمیری، انجماد به صورت انجماد میانی، که ترکیبی از انجماد پوسته‌ای و خمیری است، انجام می‌شود. بنابراین می‌توان گفت در آلیاژهای با دامنهٔ انجماد میانی مذاب در مجاورت دیوارهٔ قالب (فصل مشترک قالب و مذاب)به‌صورت پوسته‌ای و در مرکز قالب به حالت خمیری منجمد می‌شود. با توجه به مطالب فوق می‌توان گفت، آلیاژهای با دامنهٔ انجماد متوسط نسبت به

سرعت سرد کردن مذاب و نحوهٔ 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 به‌صورت میانی منجمد می‌شوند، ممکن است در قالب‌های فلزی مانند آلیاژهای با انجماد پوسته‌ای باشد.

به‌طور 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 دامنهٔ 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 ۱۵ـ۴ نشان داده شده است. همان‌طورکه در شکل مشاهده می‌شود، منحنی‌های بالای مربوط به انجماد آلیاژها با دامنهٔ انجماد کوتاه یا انجماد پوسته است. در این حالت، منحنی‌های شروع و پایان انجماد در قالب‌های فلزی و ماسه‌ای تقریباً بر یکدیگر منطبق هستند.

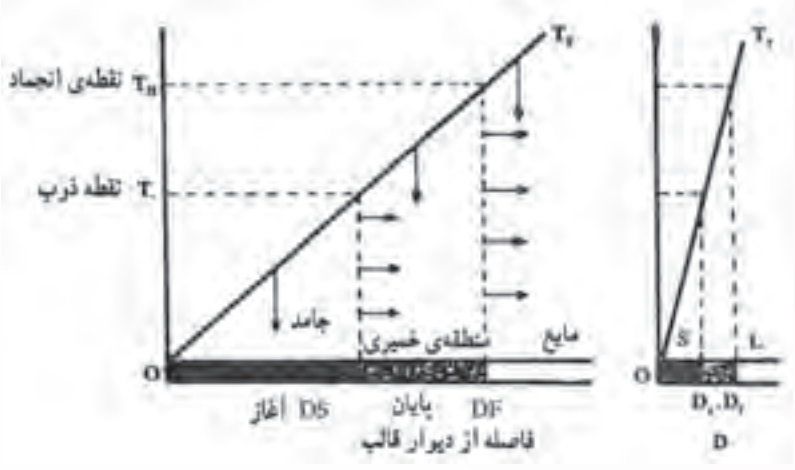


شکل ۱۵ـ۴ـ انجماد چند نوع آلیاژ غیرآهنی

منحنی‌های وسطی مربوط به آلیاژهای با دامنهٔ 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 فاصلهٔ بین دو منحنی شروع و پایان که سرعت سرد شدن مذاب بالاتر است، بیشتر است. منحنی‌های پایینی مربوط به آلیاژ با دامنهٔ انجماد متوسط است که در آن‌ها منحنی‌های شروع و پایان انجماد در قالب‌های ماسه‌ای و فلزی بین منحنی‌های شروع و پایان آلیاژهای با دامنهٔ انجماد کوتاه و آلیاژهای با دامنهٔ انجماد طولانی قرار گرفته است. البته فاصلهٔ 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.

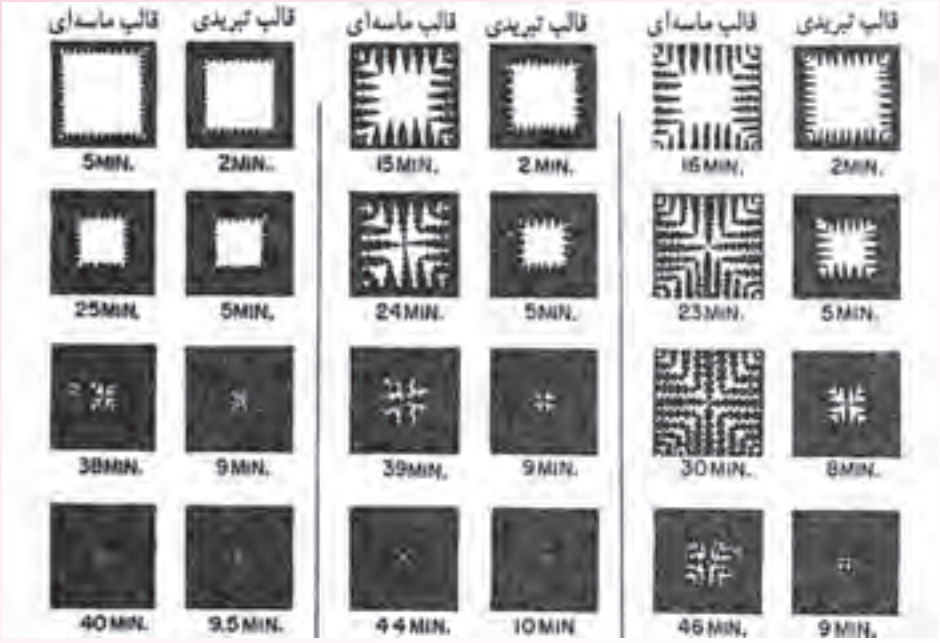
همان‌طورکه در شکل مشاهده می‌شود، سرعت سرد کردن تأثیر بسیار زیادی بر نحوهٔ انجماد و تبدیل انجماد خمیری به انجماد میانی و پوسته‌ای دارد. با افزایش سرعت سرد کردن،ضخامت منطقهٔ پوسته‌ای افزایش می‌یابد. و در نتیجه، ضخامت منطقهٔ خمیری کم می‌شود. در شکل ۱۶ـ۴ این روند در نشان داده شده است.



شکل ۱۶ـ۴ـ تأثیر سرعت سرد کردن در ضخامت منطقهٔ خمیری و پوسته‌ای

همان‌طورکه 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 منطقهٔ خمیری در نمودار ست چپ نسبت به این ضخامت در نمودار سمت راست بیشتر است.

شکل ۱۷ـ۴ نقش سرعت سرد کردن در ضخامت منطقهٔ خمیری را نشان می‌دهد.



فولادی با ۰/۶۰ ـ ۰/۵۵ درصد کربن فولادی با ۰/۳۰ـ ۰/۲۵ درصد کربن فولادی با ۰/۱۰ـ ۰/۰۵ درصد کربن

شکل ۱۷ـ۴ـ نقش وسعت منطقهٔ خمیری تحت تأثیر سرعت سرد شدن بر روی ساختار قطعه ریختگی

در این شکل، نحوهٔ 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 ۰/۱ـ۰/۰۵ درصد کربن می‌باشد. به دلیل مقدار کم کربن در این فولاد، انجماد آن به انجماد پوسته‌ای نزدیکتر است. بنابراین، ضخامت ناحیهٔ 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 ۰/۳۰ـ ۰/۲۵ درصد کربن دارد. با توجه به شکل، در انجماد این آلیاژ منطقهٔ پوسته‌ای و خمیری باضخامت قابل توجه ایجاد می‌شود و نحوهٔ انجماد آن نزدیک به انجماد میانی می‌باشد. با توجه به شکل، در قالب تبریدی، که سرعت سرد کردن مذاب بسیار زیاد است، ضخامت منطقهٔ 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 ۰/۶۰ـ۰/۵۵ 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. به‌طوری‌که، ضخامت منطقهٔ خمیری در قالب تبریدی نسبت به این ضخامت در قالب ماسه‌ای، بسیار کمتر است.

۳ـ۴ـ محل تغذیه و انجماد جهت‌دار

در هنگام انجماد مذاب، وظیفهٔ 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 وظیفهٔ‌خود را به‌خوبی انجام داده و در مراحل مختلف انجماد، انقباضی‌های ایجاد شده توسط مذاب موجود در تغذیه جبران شده است.

۱ـ۳ـ۴ـ 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. نحوهٔ 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:

ـ نوع آلیاژ و مدل انجماد آن، ابعاد محفظهٔ قالب و طراحی قطعهٔ ریختگی

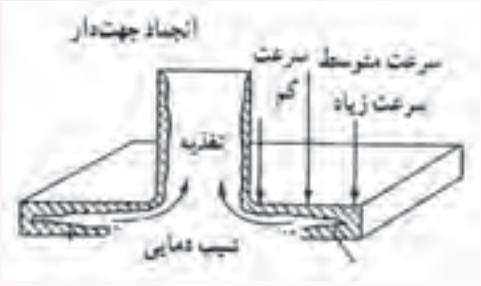
ـ نوع آلیاژ و مدل انجماد: در آلیاژهای با دامنهٔ انجماد کوتاه یا پوسته‌ای، جهت انجماد مشخص است. اما در آلیاژهای با دامنهٔ انجماد طولانی، جهت انجماد به‌طور دقیق مشخص نمی‌باشد و دندریت‌های ایجاد شده ممکن است در هر جهتی رشد کنند. در آلیاژهای با انجماد پوسته‌ای، انجماد از دیوارهٔ قالب شروع شده و جبههٔ انجماد در جهت عکس انتقال حرارت حرکت می‌کند. بنابراین، در این نوع آلیاژها جهت انجماد جهت مشخص است و انجماد آن‌ها اصطلاحاً به‌صورت جهت‌دار می‌باشد.

ـ ابعاد محفظهٔ قالب: ابعاد و اندازهٔ محفظهٔ قالب یا به عبارت دیگر، ابعاد و اندازهٔ قطعهٔ 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.

ـ طراحی قطعهٔ ریختگی: طراحی قطعهٔ 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 به‌گونه‌ای تغییر یابد که ضخامت قطعه در تمام قسمت‌ها تقریباً یکنواخت باشد.

در شکل ۱۸ـ۴، چگونگی انجماد جهت‌دار یک قطعه همراه با منبع تغذیه به‌طورشماتیک نشان داده شده است.



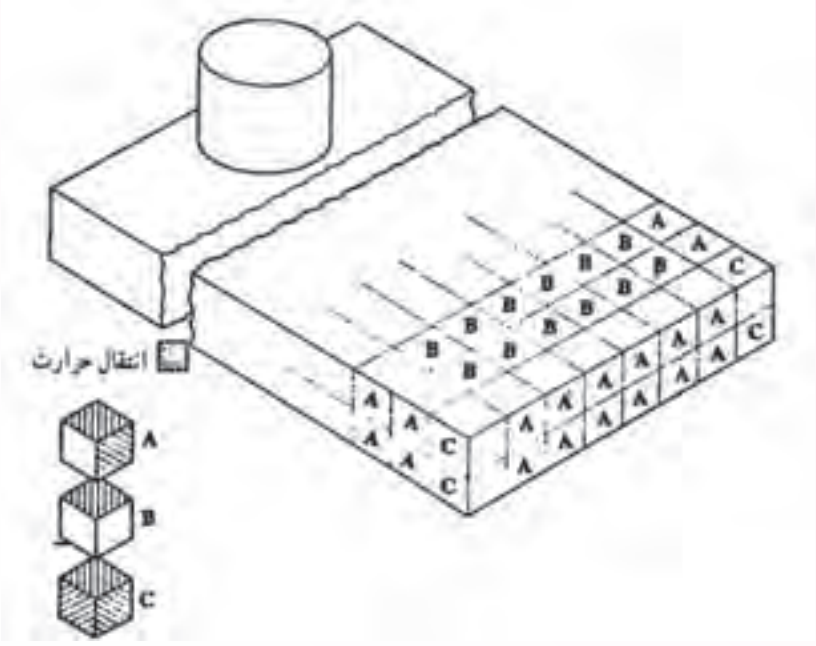
شکل ۱۸ـ۴ـ انجماد پیش‌رونده و جهت‌دار در یک قطعه همراه با منبع تغذیه

همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، هنگامی که مذاب به‌داخل قالب ریخته می‌شود، ابتدا یک پوستهٔ جامد در فصل مشترک قالب و مذاب ایجاد می‌شود. با ادامهٔ سرد شدن مذاب، پوستهٔ جامد به طرف داخل قطعه، در جهت عکس انتقال حرارت از مذاب به سمت دیوارهٔ قالب و خارج قالب، پیشروی می‌کند. همان‌طورکه ملاحظه می‌شود، در لبه‌های قطعه، که سطح تماس مذاب با دیوارهٔ 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 قست 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 ۱۹ـ۴، چگونگی انتقال حرارت از قسمت‌های مختلف قطعه به‌طور شماتیک نشان داده شده است

همان‌طورکه در شکل ۲۰ـ۴ 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 دیوارهٔ قالب هستند. بنابراین، انتقال حرارت در آن‌ها از دو سطح صورت می‌گیرد. در نتیجه، مکعب‌های A سریع منجمد می‌شوند. مکعب‌هایی که در گوشه‌های خارجی قرارگرفته‌اند با حرف C نشان داده شده‌اند و دارای سه سطح در تماس با دیوارهٔ 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 دیوارهٔ 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 لبهٔ قطعه قرار گرفته‌اند و نسبت به تغذیه فاصلهٔ بیشتری دارند، سریع‌تر منجمد می‌شوند. در این حالت، جبههٔ انجماد به سمت تغذیه پیش خواهد رفت و انجماد جهت‌دار صورت می‌گیرد.



شکل ۱۹ـ۴ـ 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.

جلسه ۲۲ـ۴

۱ـ حضور و غیاب
۲ـ پیش‌آزمون از مطالب جلسه‌های قبل (به‌صورت کتبی، شفاهی و پاسخ کوتاه و ...)
۳ـ یادآوری مطالب جلسهٔ قبل

موضوع:
ـ محل تغذیه در قطعات ریختگی با سطح مقطع‌های غیریکنواخت
ـ اجزای تغذیه، منبع تغذیه و گلویی تغذیه

برای درک بهتر هنرجویان از مفاهیم کلیدی کتاب، سؤالاتی در رابطه با مباحث موردنظر به‌صورت تعاملی توسط هنرآموزمطرح می‌شود. سؤالاتی مانند:

۱ـ به نظر شما تغذیه در قطعات ریختگی با سطح مقطع‌های غیر یکنواخت در کدام قسمت قطعه قرار می‌گیرد؟

۲ـ تغذیه از چند جزء تشکیل شده است؟

۳ـ زمان انجماد تغذیه نسبت به زمان انجماد قطعه چگونه باید باشد؟

۲ـ۳ـ۴ـ محل تغذیه در قطعات ریختگی با سطوح مقطع غیریکنواخت: 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. به‌طورکلی نقاط گرم، نقاطی از قطعه هستند که در جریان انجماد قطعه در آخرین مرحلهٔ انجماد، منجمد می‌شوند. می‌توان قسمت‌های ضخیم قطعه را، که حجم زیادی از مذاب دارند و دیرتر منجمد می‌شوند، به‌عنوان گرم‌ترین نقاط قطعهٔ ریختگی درنظر گرفت.

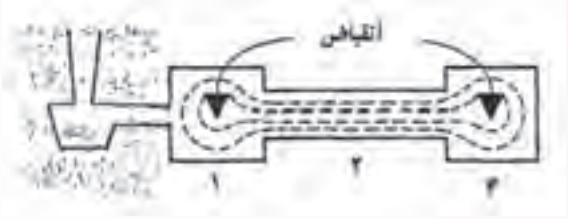
نحوهٔ طراحی قطعه می‌تواند در محل نقاط گرم قطعه مؤثر باشد. زیرا با استفاده از طراحی می‌توان چگونگی انتقال حرارت و انجماد قطعه را پیش‌بینی کرد.

دلایل به‌وجود آمدن نقاط گرم در قطعهٔ ریختگی عبارتند از:

۱ـ وجود حجم زیاد مذاب در نقاط گرم نسبت به سایر قسمت‌های قطعه.

۲ـ وجود گوشه‌های داخلی در مجاورت نقاط گرم با توجه به کم بودن نسبی سرعت انتقال حرارت در گوشه‌های داخلی قطعه به عنوان مثال، در شکل ۲۰ـ۴، محل نقاط گرم در قطعه نشان داده شده است.

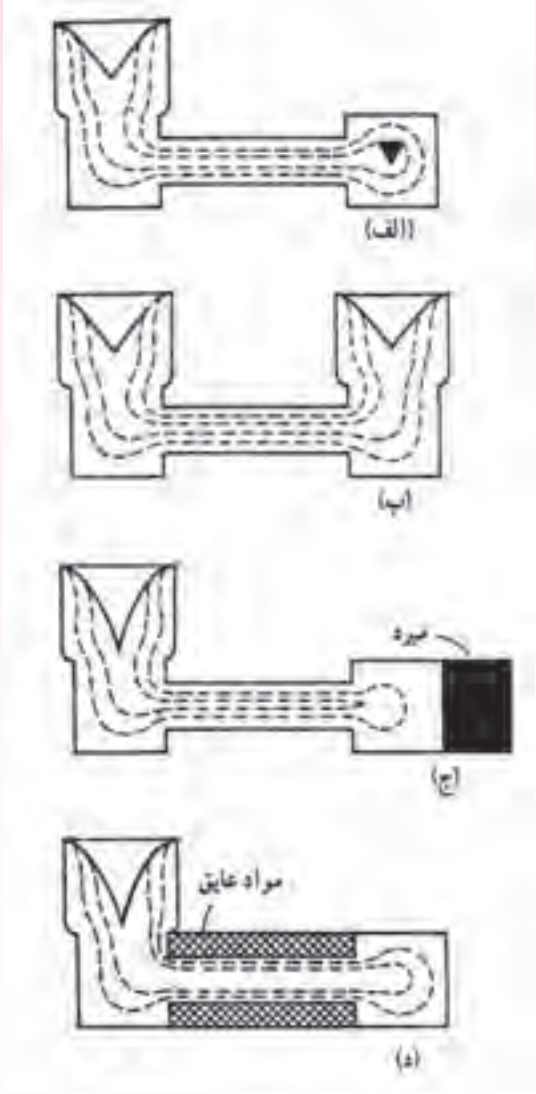
همان‌طورکه مشاهده می‌شود، در قسمت‌های (۱) و (۳) قطعه، که حجم مذاب نسبت به بقیه قسمت‌های قطعه، بیشتر و در مجاورت گوشه‌های داخلی قرار دارند، نقاط گرم به‌وجود می‌آید. در شرایط معمول، بدون استفاده از تغذیه، قسمت (۲) قطعه که ضخامت کمتری دارد، نسبت به قسمت‌های (۱) و (۳) سریع‌تر منجمد می‌شود. اما، قسمت (۱) قطعه که در مجاورت راهگاه ورود مذاب قرار دارد و آخرین مذاب به آن وارد می‌شود، نسبت به سایر قسمت‌ها دیرتر منجمد می‌شود. به‌عبارت دیگر، ابتدا قسمت (۲)، سپس قسمت (۳)، و در نهایت قسمت (۱) قطعه منجمد می‌شود.



شکل ۲۰ـ۴

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 این‌که 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 این‌که قسمت (۱) نسبت به بقیهٔ قسمت‌ها دیرتر منجمد می‌شود، امکان به‌وجود آمدن حفرهٔ انقباضی در قسمت (۱) وجود دارد. امّا، از آن‌جا که قسمت (۱) به راهگاه مذاب متصل است، حفرهٔ انقباضی ایجاد شده در این قسمت از طریق مذاب موجود در راهگاه جبران می‌شود. به‌عبارت دیگر، برای تهیهٔ این قطعه به شکل صحیح و بدون عیب، باید انجماد در این قطعه به‌صورت جهت‌دار انجام شود. برای این منظور می‌توان در قسمت‌های (۱) و (۳) قطعه، که حفرهٔ 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 ریختگی قطعه می‌شود و بهتر است از این روش استفاده نشود. البته باید این نکته را درنظر داشت که در صورت عدم استفاده از تغذیهٔ 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) اجتناب ناپذیر است.

در شکل ۲۱ـ۴، روش‌های مختلف تغذیه‌گذاری قطعهٔ شکل ۲۰ـ۴ نشان داده شده است.



شکل ۲۱ـ۴ـ 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 ۲۱ـ۴ـ الف، تغذیه فقط برای یک قسمت قطعه درنظر گرفته شده است. اما همان گونه که مشاهده می‌شود، در دیگر قسمت ضخیم قطعه حفرهٔ انقباضی به‌وجود آمده و هرچه تغذیه را بزرگتر کنیم. حفرهٔ انقباضی ایجاد شده از بین نخواهد رفت.

در شکل ۲۱ـ۴ـ 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 نتیجهٔ انجماد جهت‌دار از

مرکز قطعه به سمت تغذیه به‌وجود می‌آید و قطعه بدون حفرهٔ انقباضی منجمد می‌شود. اما، در این روش اتلاف مذاب به علت به‌کارگیری دو تغذیه زیاد خواهد بود و درنتیجه این روش از نظر اقتصادی مناسب نمی‌باشد.

در شکل ۲۱ـ۴ـ 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 به‌وجود می‌آید و در نتیجه از تشکیل حفرات انقباضی جلوگیری می‌شود. به‌علاوه، اتلاف مذاب نیز کمتر از حالت قبل (ب) خواهد بود.

در شکل ۲۱ـ۴ـ 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.

۴ـ۴ـ اجزای تغذیه

تغذیه از دو قسمت اصلی تشکیل می‌شود که عبارتند از: ۱ـ محلی برای نگهداری مذاب به‌نام منبع تغذیه ۲ـ کانالی جهت ورود مذاب از منبع تغذیه به محفظهٔ قالب به‌نام گلویی تغذیه

۱ـ۴ـ 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 بقیهٔ قسمت‌های قطعه گرم‌تر باشد و دیرتر منجمد شود. به عبارت دیگر، منبع تغذیه باید تا زمانی که قطعهٔ ریختگی به‌طور کامل منجمد نشده مذاب را در خود به‌صورت گرم نگه‌دارد و آخرین مرحلهٔ 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؛ به‌طوری‌که، بتواند تمام انقباض‌های ایجاد شده در مذاب و حین انجماد را جبران کند.

ب) در محل مناسب قرار گیرد؛ به‌طوری‌که، آخرین مرحلهٔ انجماد مذاب در آن صورت گیرد.

ج) در زمان مناسب منجمد شود؛ به‌طوری‌که بعد از انجماد کامل قطعه، منبع تغذیه منجمد شود.

علاوه بر موارد فوق تعداد و اندازهٔ منابع تغذیه باید در کمترین مقدار خود باشد. زیرا، در صورتی‌که تعداد و اندازهٔ تغذیه زیاد در نظر گرفته شود، حجم مذاب اتلاف شده افزایش خواهد یافت و بازده ریختگی کاهش می‌یابد. در نتیجه، قیمت تمام شدهٔ قطعه افزایش می‌یابد. از طرف دیگر، محل تغذیه باید به‌گونه‌ای انتخاب شود که باعث به‌وجود آوردن عیوب دیگر در قطعهٔ ریختگی نشود. به‌عنوان مثال باید به‌گونه‌ای باشد که کشیدگی و کبود شدن

قطعهٔ ریختگی در محل قرار گرفتن تغذیه رخ ندهد. همچنین، نحوهٔ اتصال منبع تغذیه به قطعهٔ ریختگی باید به‌صورتی باشد که پس از انجماد قطعه بتوان آن را به‌راحتی جدا کرد و هزینهٔ پرداخت‌کاری قطعه زیاد نشود.

۲ـ۴ـ۴ـ گلویی تغذیه

منبع تغذیه از طریق کانالی به قطعه متصل می‌شود که گلویی تغذیه نامیده می‌شود. گلویی تغذیه وظیفهٔ بسیار مهمی دارد زیرا در حالی‌که مذاب را از منبع به قسمت‌های در حال انجماد قطعه هدایت می‌کند، نباید سریع منجمد شود. در صورت انجماد گلویی، ارتباط قطعه با منبع تغذیه قطع شده و جبران حفره‌های انقباض به‌وجود آمده امکان‌پذیر نخواهد بود. بنابراین، زمان انجماد گلویی تغذیه باید بین قطعه و منبع تغذیه باشد؛ به‌طوری‌که انجماد جهت‌دار از قطعه به سمت تغذیه صورت گیرد. به عبارت دیگر:

(زمان انجماد قطعه) t_c < (زمان انجماد گلویی تغذیه) t_n < (زمان انجماد منبع تغذیه) t_r

یعنی، ابتدا قطعه، سپس گلویی تغذیه و در نهایت، منبع تغذیه منجمد شود.

اگر گلویی تغذیه زودتر از قطعه منجمد شود، ارتباط بین قطعه و منبع تغذیه قطع می‌شود. بنابراین، اندازهٔ گلویی تغذیه بسیار مهم است. اندازهٔ گلویی باید به‌گونه‌ای باشد که مدول گلویی (M_n) بین مدول قطعه (M_c) و مدول تغذیه (M_r) باشند. به‌عبارت دیگر: $M_r > M_n > M_c$

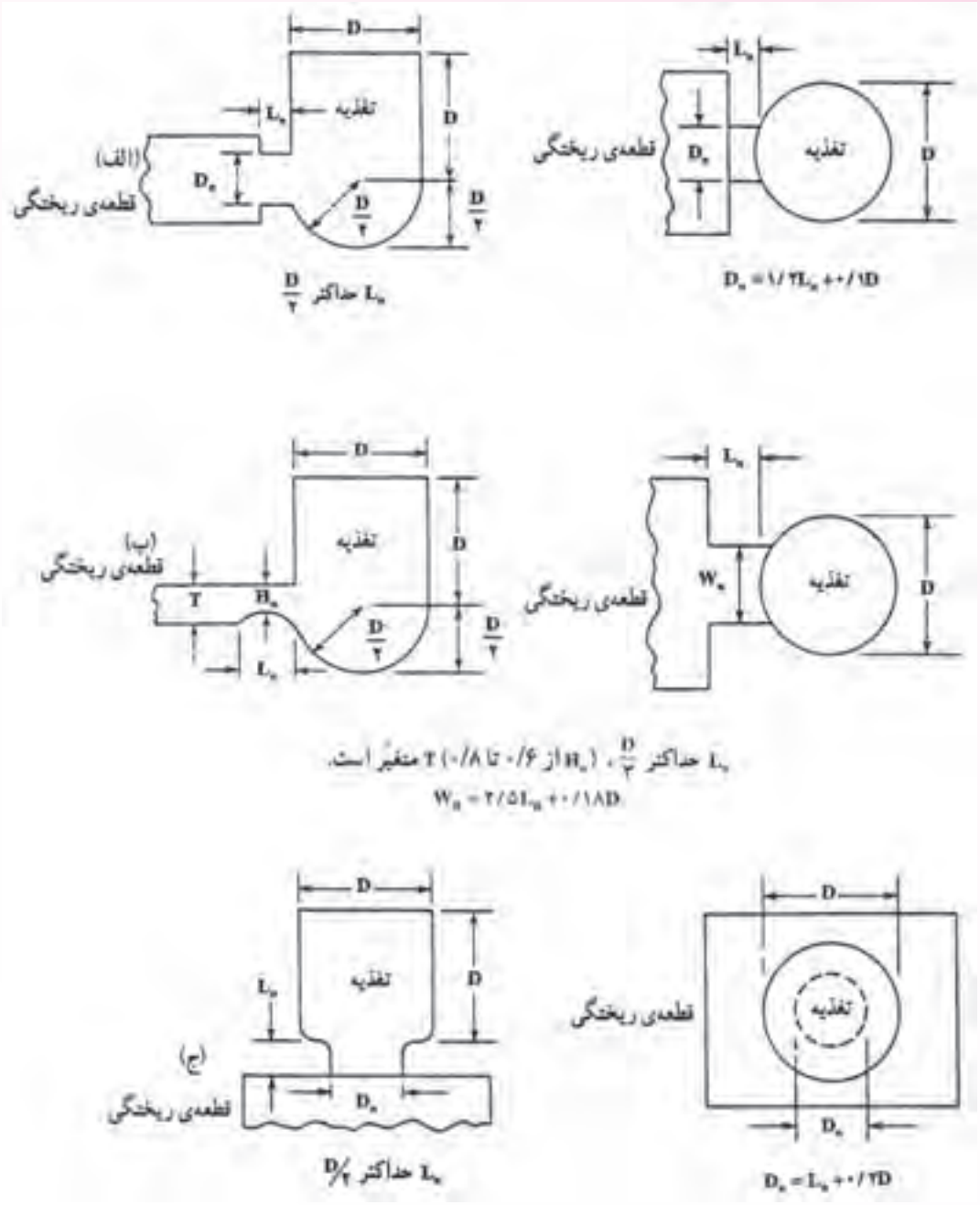
مدول عبارت است از نسبت حجم به سطح قطعه. با توجه به تعریف مدول، هرچه مدول قطعه‌ای بیشتر باشد، حجم قطعه نسبت به سطح آن بیشتر خواهد بود. در صورتی که در قطعهٔ ریختگی مدول قطعه افزایش یابد، حجم بیشتری از مذاب باید حرارت خود را از سطح کوچکتری انتقال دهند. بنابراین، سرعت سرد شدن مذاب و در نتیجه سرعت انجماد آن کاهش می‌یابد. با این توضیحات مشخص است برای این‌که منبع تغذیه دیرتر از گلویی تغذیه منجمد شود، باید مدول آن بیشتر از مدول گلویی تغذیه باشد. همچنین مدول گلویی تغذیه باید بزرگتر از مدول قطعه باشد تا نسبت به قطعه دیرتر منجمد شود.

به‌طور کلی، رابطهٔ مدول گلویی تغذیه و مدول قطعه به‌صورت مقابل است: M_n=۱/۲ M_c.

در مورد آلیاژهای با انجماد پوسته‌ای، به‌دلیل جهت‌دار بودن انجماد و دیرتر منجمد شدن گلویی نسبت به قطعه، رابطهٔ مدول گلویی و مدول قطعه به حداقل خود یعنی M_n=۱/۱ M_c می‌رسد.

در شکل ۲۲ـ۴ روابط کلی در طراحی گلویی برای آلیاژهای آهنی نشان داده شده است.

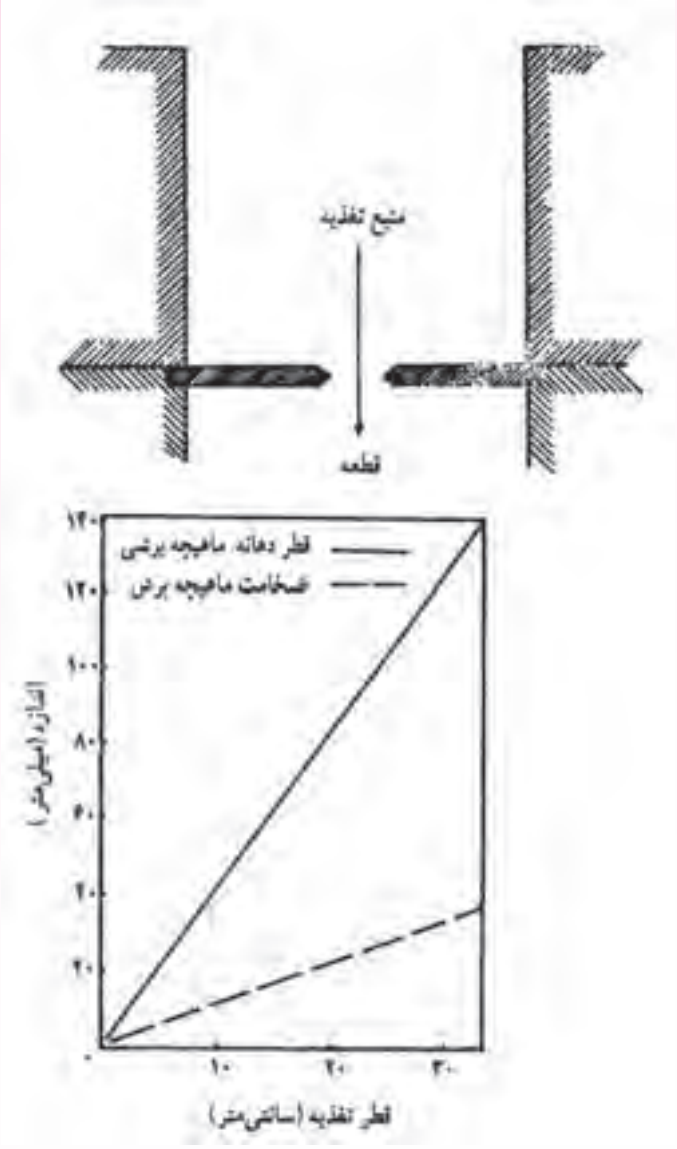
در این شکل، رابطهٔ بین ابعاد گلویی، شامل طول و قطر آن، با ابعاد تغذیه (قطر تغذیه و ...) در مورد تغذیه جانبی، تغذیه جانبی برای صفحه و تغذیه از بالا نشان داده شده است.



شکل ۲۲ـ۴ـ رابطهٔ عمودی گلویی ـ تغذیه مورد استفادهٔ در آلیاژهای آهنی (نمای روبه‌رو و بالا)

الف) نوع تغذیهٔ جانبی ب) تغذیهٔ جانبی برای صفحه ج) تغذیه از بالا قطعهٔ ریختگی قطعهٔ ریختگی

ماهیچهٔ برشی: برای کاهش هزینه‌های جدا کردن تغذیه از قطعه از ماهیچه‌هایی از جنس ماسه، ماهیچه یا مواد سرامیکی بین قطعه و تغذیه، مطابق شکل ۲۳ـ۴، استفاده می‌شود.



شکل ۲۳ـ۴ـ شکل ماهیچه برشی و نسبت اندازه‌های آن به قطر تغذیه قطر تغذیه (سانتی‌متر)

در نمودار شکل ۲۳ـ۴ اندازهٔ قطر دهانهٔ ماهیچه و ضخامت آن برحسب قطر تغذیه نشان داده شده است. قطر دهانهٔ ماهیچه برشی نباید به حدی کوچک باشد که مذاب رسانی به قطعه خوب انجام نشود و آن‌قدر 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 به‌گونه‌ای باشد که ابتدا قطعه، سپس گلویی تغذیه و در نهایت تغذیه منجمد شود.

ب) رابطهٔ بین مدول تغذیه، مدول گلویی و مدول قطعه به‌صورت $M_r > M_n > M_c$ باید همواره برقرار باشد.

ج) برای محاسبهٔ مدول گلویی باید از دو سطح متصل به قطعه و تغذیه صرف‌نظر شود. زیرا این سطوح تأثیری بر نحوهٔ انجماد قطعه و تغذیه ندارند اگر این دو سطح درنظر گرفته شوند، مدول محاسبه شده به طریق هندسی (M'_n) از مدول عملی، که پس از حذف سطوح مشترک محاسبه شده است، کمتر است. به‌عبارت دیگر؛

M_n/M'_n=۱/۴-۱/۷

M'_n/M_n=۰/۶-۰/۷

علت بزرگتر بودن M_n نسبت به M'_n درنظر 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.