

به نام خدا

1



دانشگاه سمنان

دانشکده مهندسی مواد و متالورژی

انجماد فلزات

Solidification of Metals

محمد یوسفیه

انجماد فلزات

Solidification of Metals

مراجع:

- G.J. Davis, "Solidification and Casting", Applied Science Publisher LTD, 1973.
W.C. Winegard, "An introduction to the Solidification of Metals", Institute of Metals.
M.C. Flemings, "Solidification Processing", McGraw-Hill Book, 1974.
W. Kurz, "Fundamentals of Solidification", Trans Tech., 1984.
D.A. Porter and K.E. Easterling, "Phase Transformations in Metals and Alloys",
I. Minkoff, "Solidification and Cast Structure", John Wiley&Sons, 1986.
P. Beeley, "Foundry Technology", Butterworth-Heinemann", 2001.
"Solidification", Papers Presented at ASM Symposium, ASM, 1969.

سایر کتب و مقالات در زمینه انجماد، ریخته‌گری، متالورژی فیزیکی و دگرگونی فازها

انجماد فلزات

Solidification of Metals

تعریف

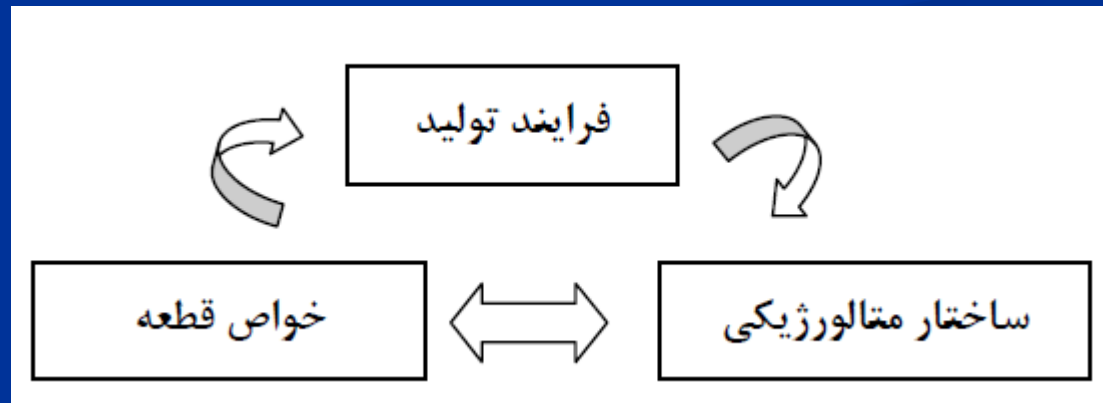
با کاهش دمای مذاب، در یک دمای معین (موسوم به نقطه ذوب/انجماد) استحاله یا دگرگونی (Transformation) فاز مذاب (مایع) به جامد آغاز می گردد. به این استحاله که با شکل گیری و رشد هسته های جامد درون مذاب همراه است، انجماد گفته می شود.

نکته ۱: بسته به شرایط انجماد، دمای آغاز انجماد می تواند کمتر از نقطه ذوب فلز باشد.

نکته ۲: در مورد آلیاژها نقطه ذوب مفهومی ندارد. در این موارد باید از دمای لیکیدوس (Liquidus) استفاده شود. پس از رسیدن دمای مذاب به خط لیکیدوس، انجماد آغاز شده و بر خلاف فلزات خالص و برخی آلیاژها مانند آلیاژهای یوتکتیک (که انجماد در یک دما آغاز شده و به پایان می رسد) فرایند انجماد همراه است با کاهش دما تا رسیدن به خط سالییدوس.

اهمیت بررسی پدیده انجماد

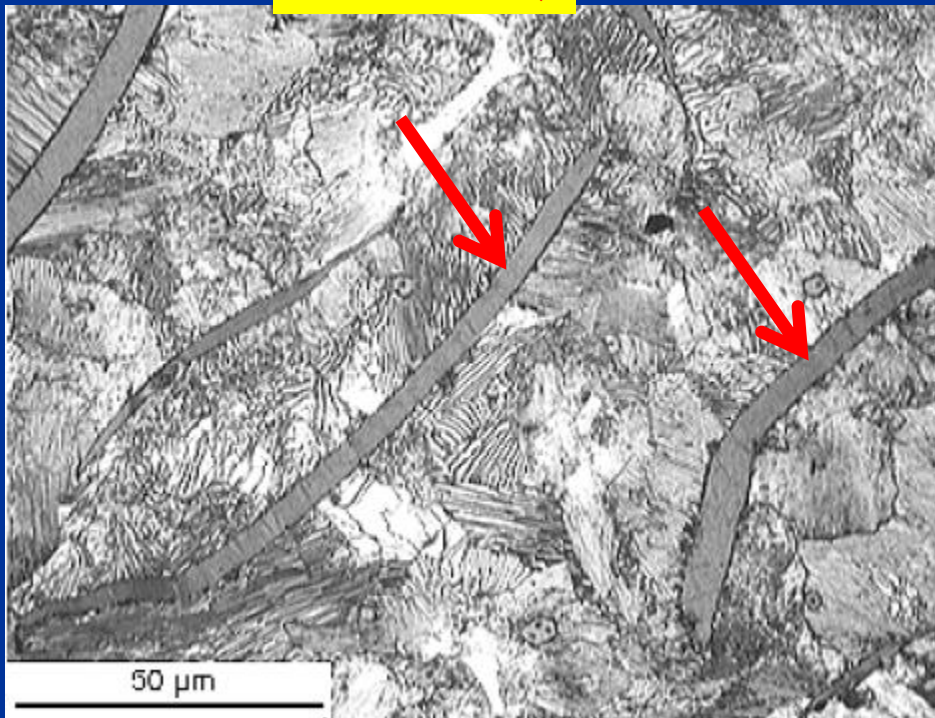
به دلیل تأثیر مستقیم فرآیند انجماد روی خواص مکانیکی و فیزیکی فلزات و آلیاژها، بررسی نحوه انجماد فلزات و آلیاژها بسیار مهم به نظر می رسد. اهمیت پدیده انجماد در فرایندهای ریخته گری (Casting)، جوشکاری (Welding)، لحیم کاری سخت (Brazing)، لحیم کاری نرم (Soldering)، فرایندهای نیمه جامد (Semi-Solid Process)، تهیه کامپوزیتها، تخلیص فلزات، تهیه تک بلورها و . . . غیرقابل انکار است. حتی در فرایندهای نورد (Rolling)، آهنگری (Forging)، اکستروژن (Extrusion) و . . . نیز به هیچ وجه نمی توان نقش و اهمیت انجماد را نادیده گرفت. زیرا در کلیه این فرایندها از یک شمش ریختگی بعنوان ماده اولیه (خام) استفاده شده و کلیه اثرات بجای مانده از فاز انجماد در ساختار این شمشها (مانند جدایشها، جهت گیری دانه ها، ترکهای میکروسکپی و ماکروسکپی، حفرات گازی و انقباضی و . . .) قطعا بر کیفیت نهایی محصول موثر خواهند بود.



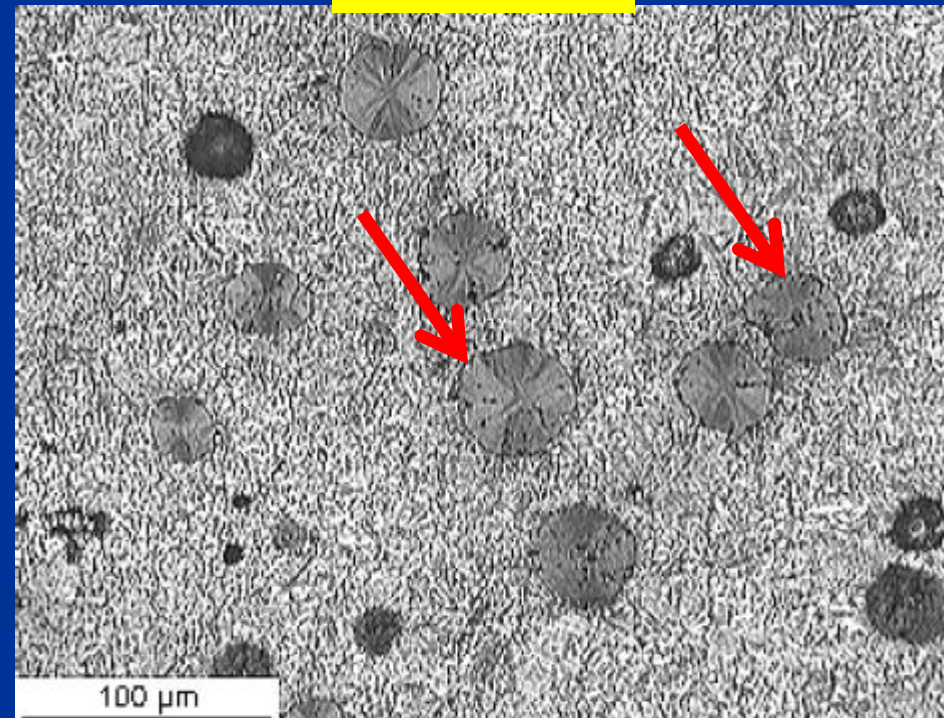
اهمیت بررسی پدیده انجماد

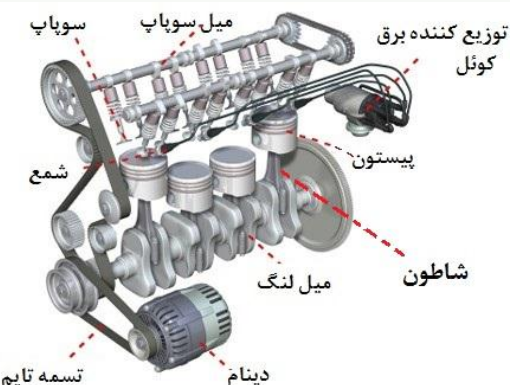
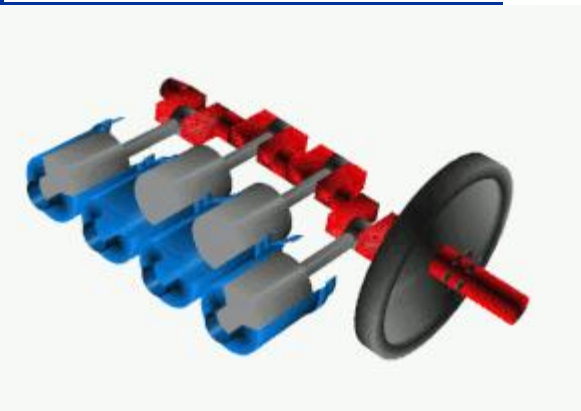
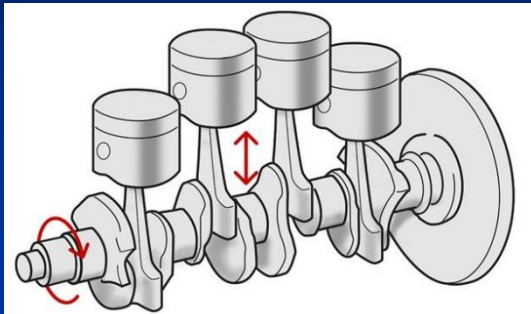
چدنهای خاکستری بدلیل برخورداری از خواصی چون سیالیت و قابلیت ریخته گری بسیار عالی، مقاومت به سایش بسیار خوب، خاصیت دمپینگ و جذب ارتعاشات، قابلیت عملیات حرارتی و کسب استحکام بالا و ... بسیار مورد توجه صنعتگران هستند. منتها حضور گرافیت بصورت لایه ای در زمینه این چدن‌ها، موجب افت قابل توجه استحکام و انعطاف پذیری می شود. چنانچه بتوان مورفولوژی گرافیت را به کروی تبدیل نمود، می توان به چدنی با خواص مکانیکی قابل قبول دست یافت. بدین منظور می توان از افزودن مقادیر اندکی منیزیم به مذاب بهره جست. در صورت انجام اینکار طی انجماد، ساختار لایه ای گرافیت به مورفولوژی مناسب کروی تغییر می یابد و به چدن حاصله چدن داکتیل گفته می شود که خواصی به مراتب بهتر از چدن خاکستری دارای ساختار زمینه مشابه دارد.

چدن خاکستری

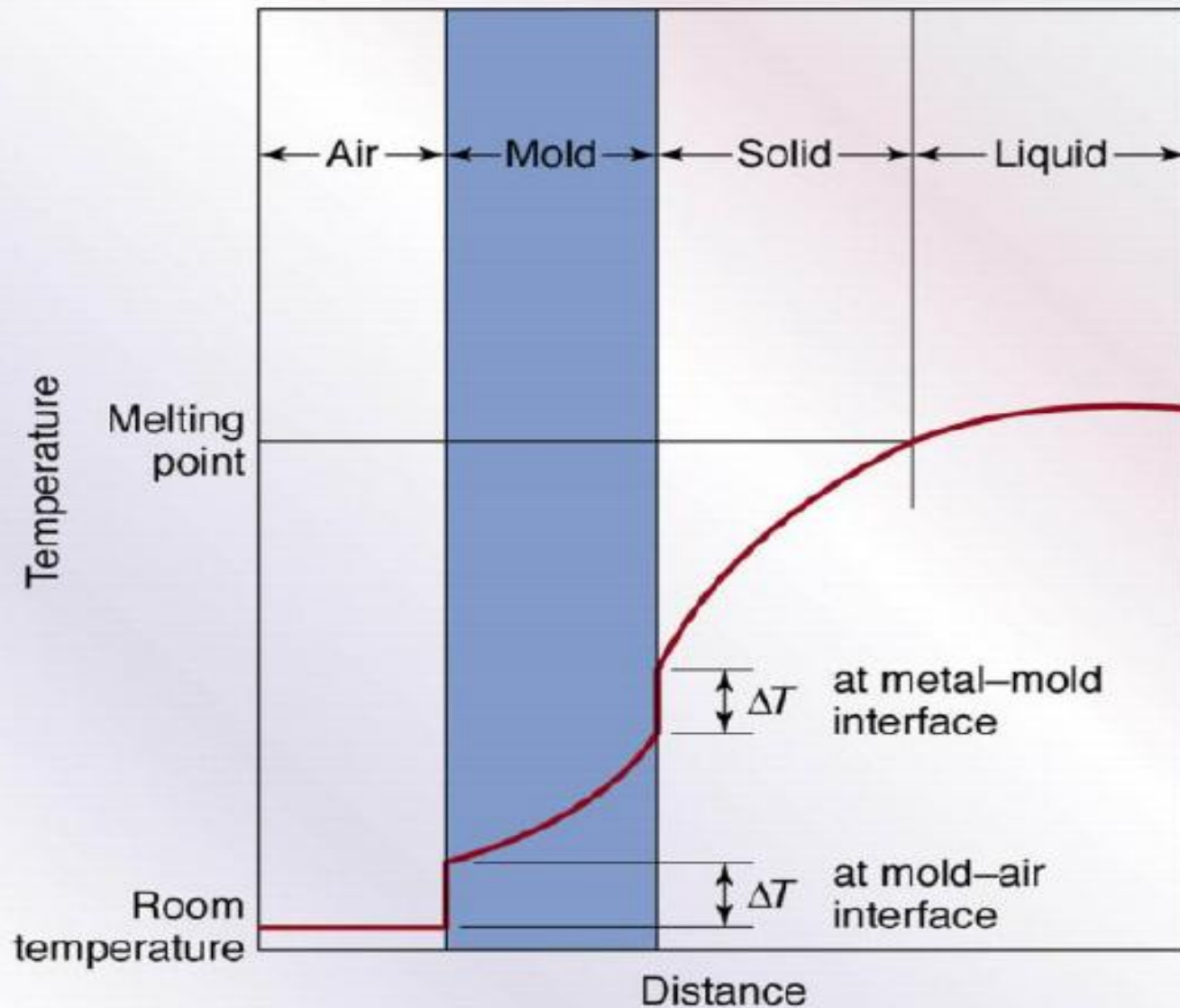


چدن داکتیل

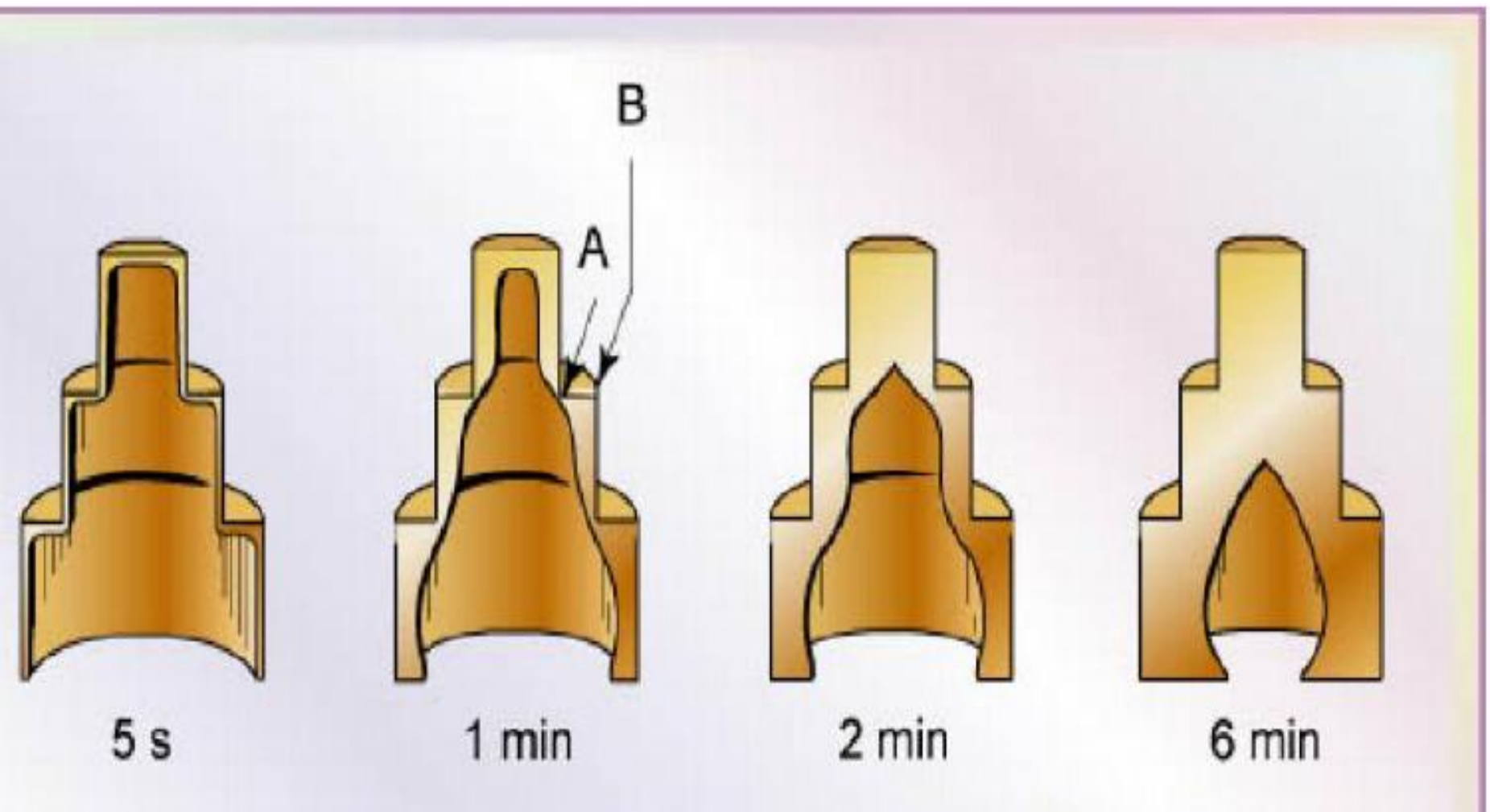




توزیع دما ضمن انجماد مذاب در قالب

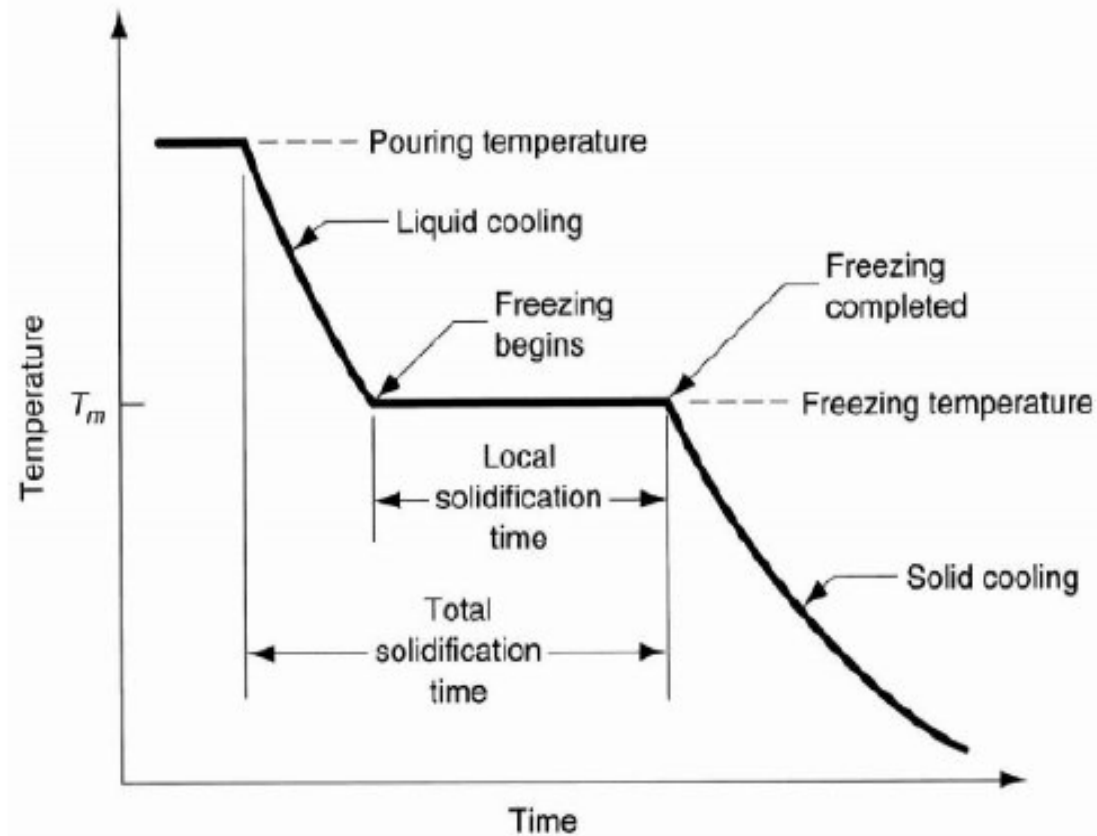
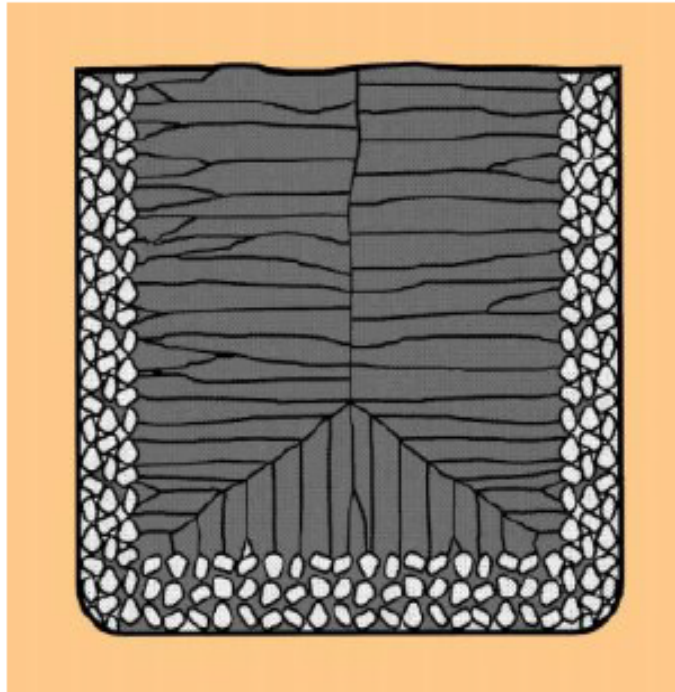


گسترش پوسته انجماد با زمان



منحنی سرد شدن مواد خالص

فلز خالص در یک دمای مشخص (دمای ذوب یا انجماد) جامد می شود

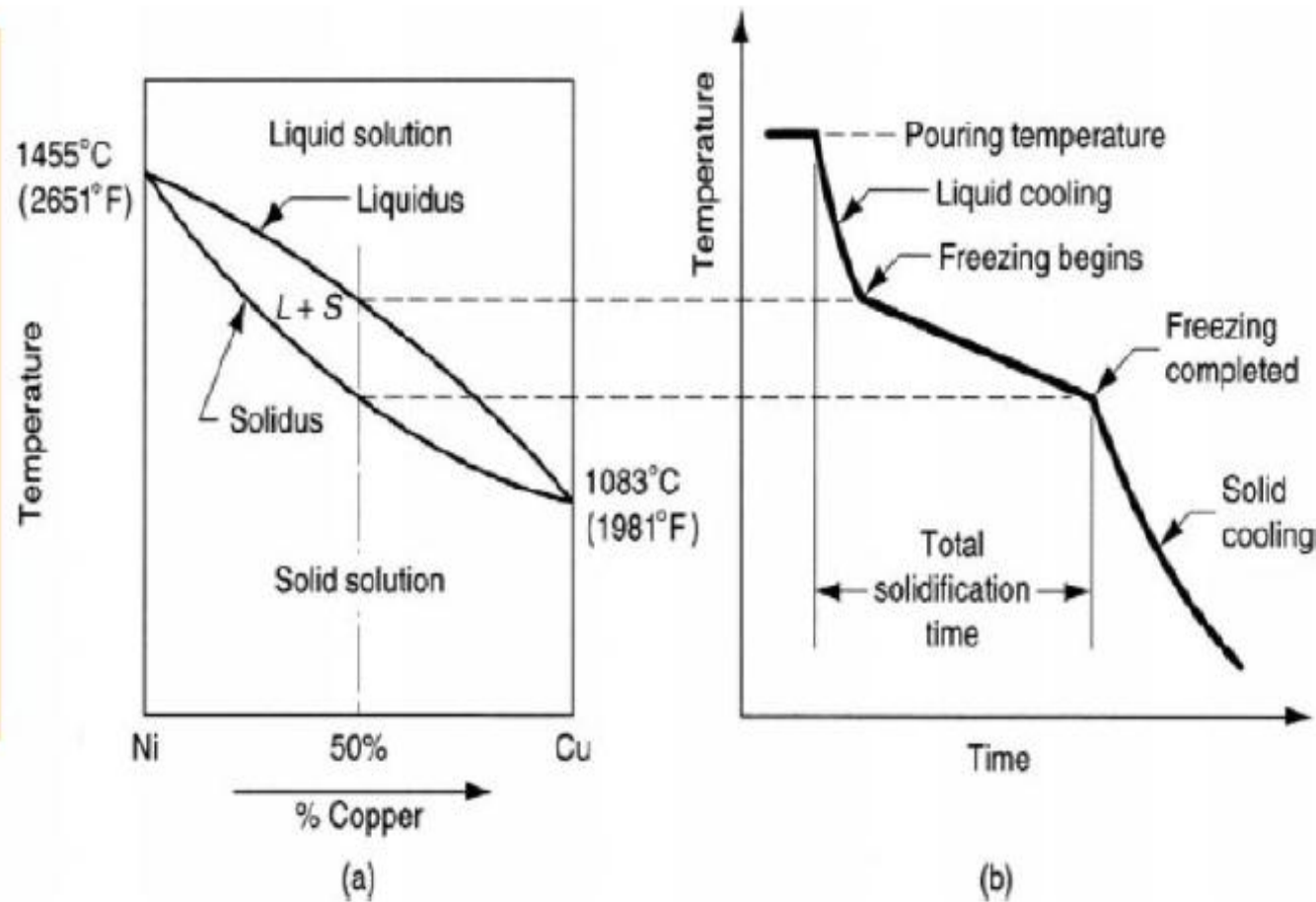
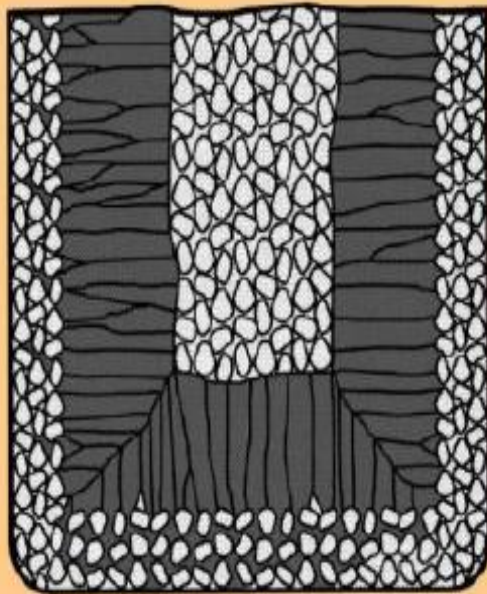


منحنی سرد شدن مواد خالص

به واسطه عملکرد خنک کنندگی دیواره قالب پوسته نازکی از ماده در حد واسط قالب و مذاب شکل می گیرد و سپس رشد بلورها با آرامی ادامه می یابد

انجماد آلیاژها

■ اغلب آلیاژها در یک بازه دمایی (به جای یک دمای مشخص) ذوب می شوند

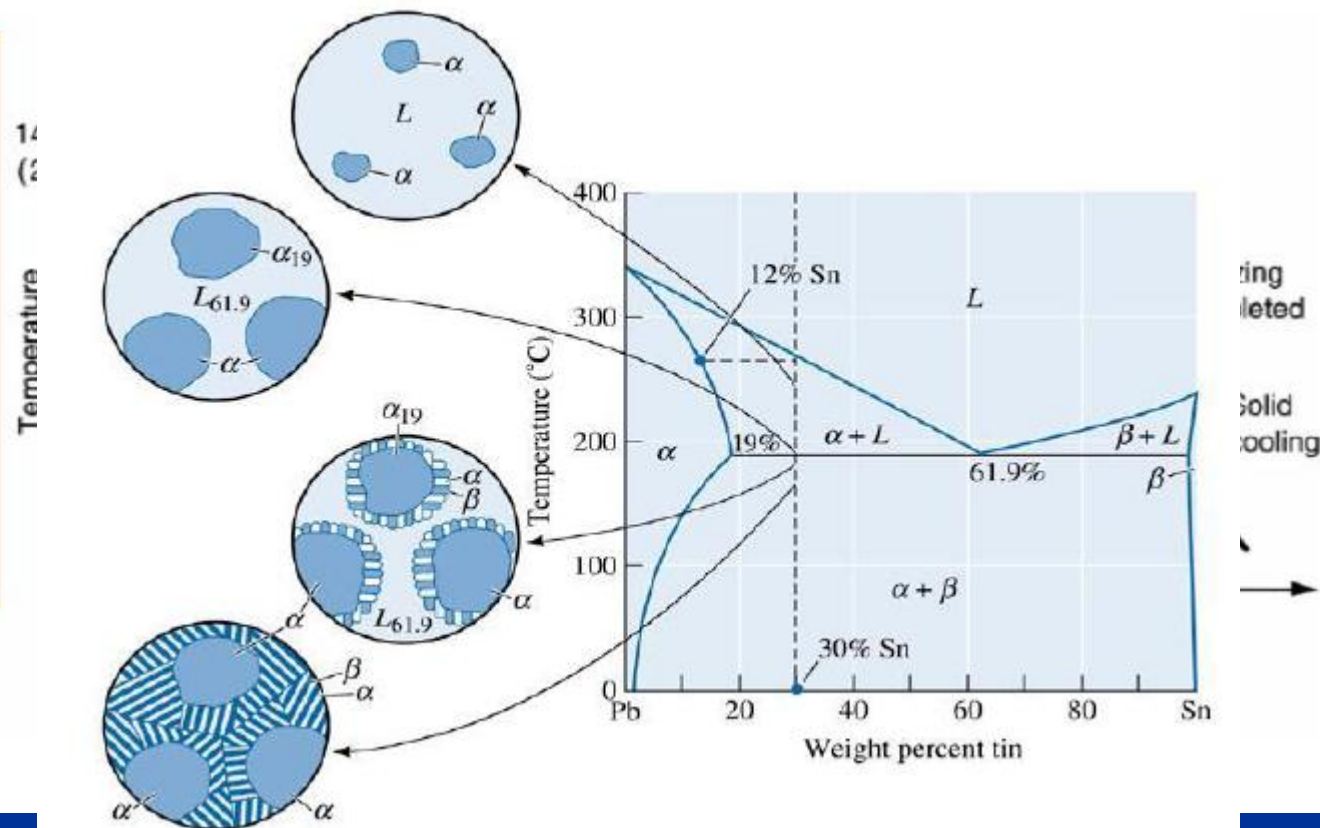
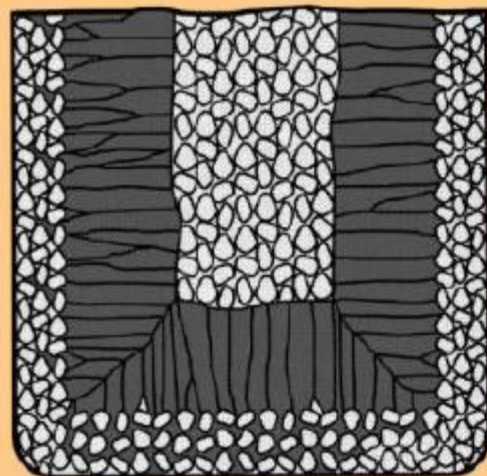


جدایی اجزاء در مرکز قالب

نمودار فار نیکل-مس و روند سرد شدن

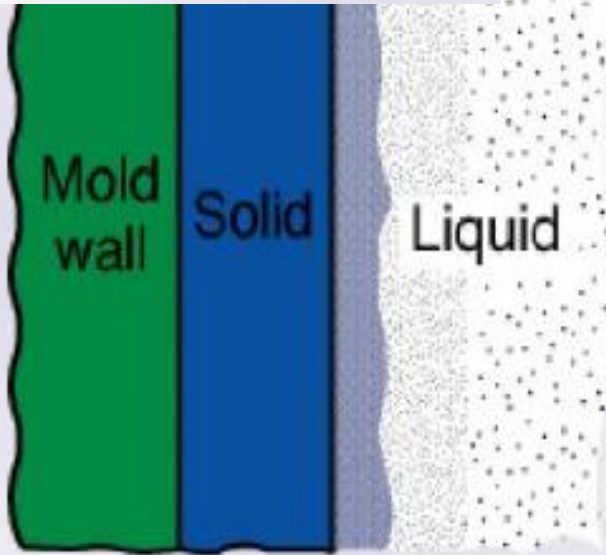
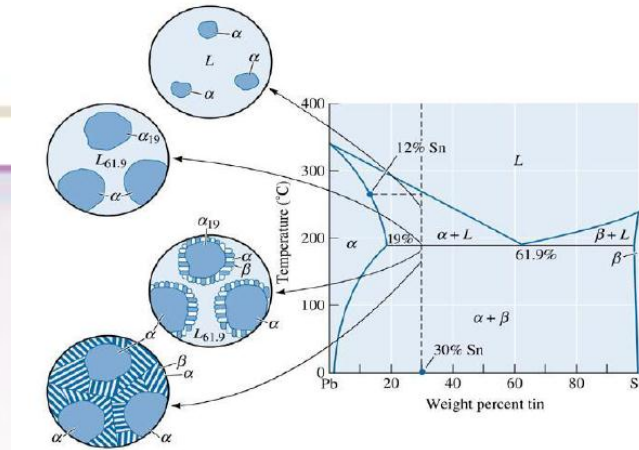
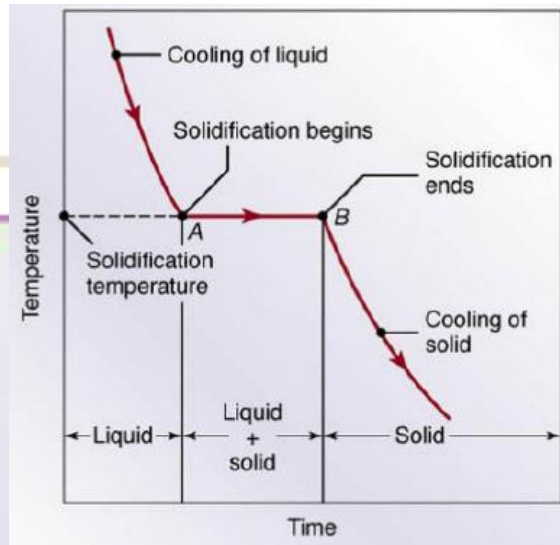
انجماد آلیاژها

■ اغلب آلیاژها در یک بازه دمایی (به جای یک دمای مشخص) ذوب می شوند

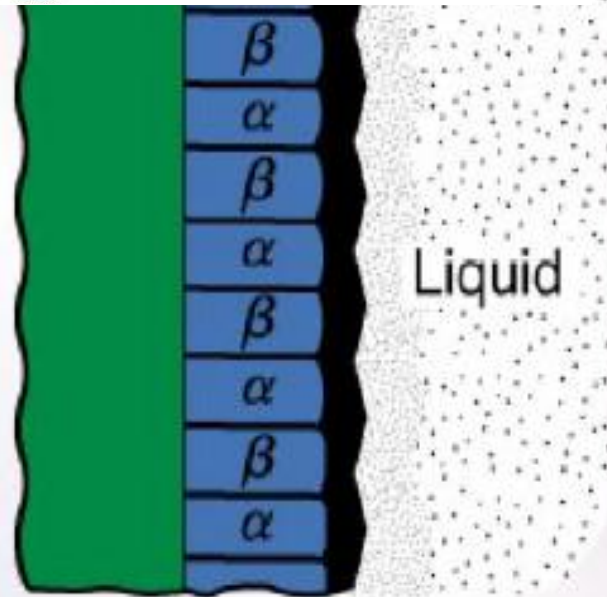


جدایی اجزاء در مرکز قالب

انواع ساختار ماده ریخته گری شده خالص و اتکتیک

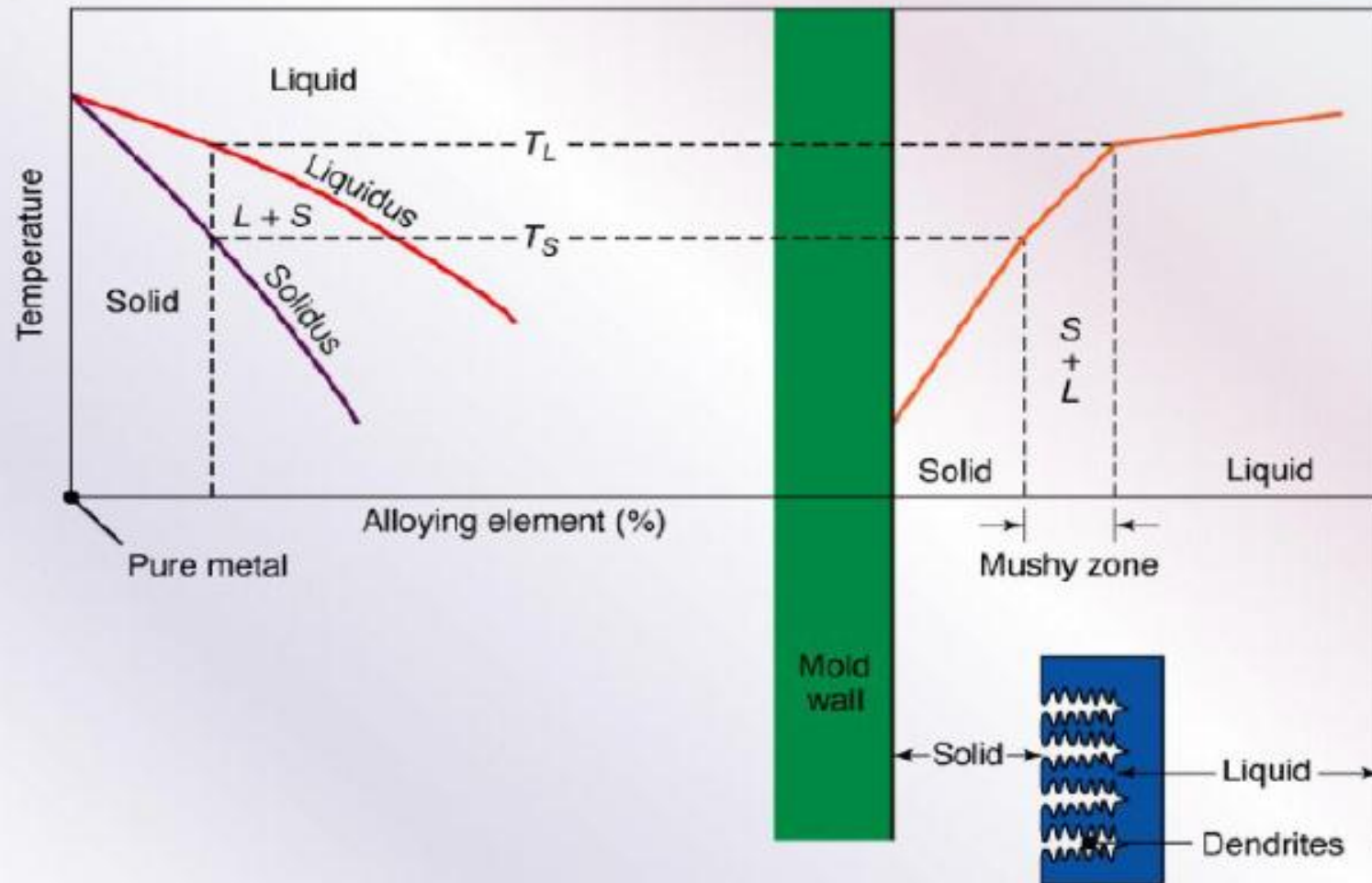


(a)

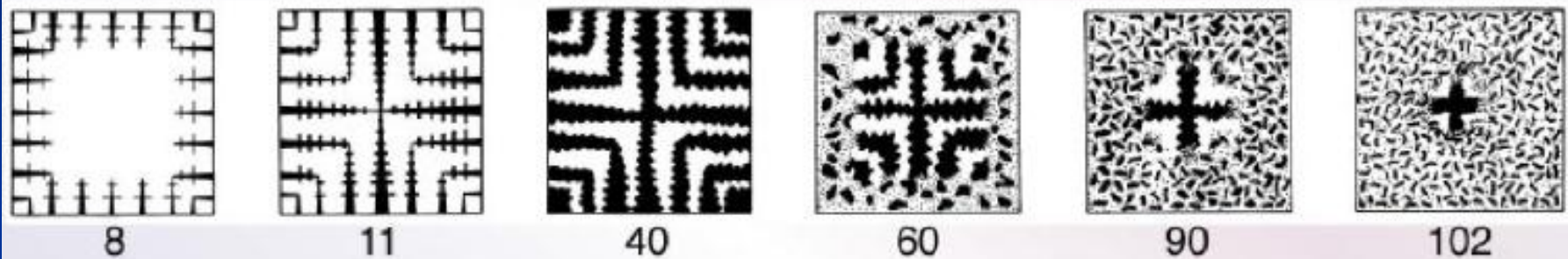


(b)

انجماد آلیاژها



انجماد آلیاژها چدن خاکستری و فولاد کربنی



Minutes after pouring

(a)

0.05–0.10% C Steel

0.25–0.30% C Steel

0.55–0.60% C Steel

Sand
mold

Chill
mold

Sand
mold

Chill
mold

Sand
mold

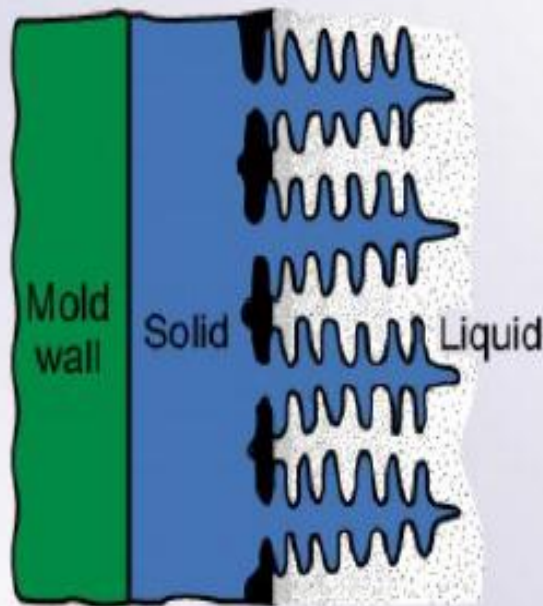
Chill
mold



Minutes after pouring

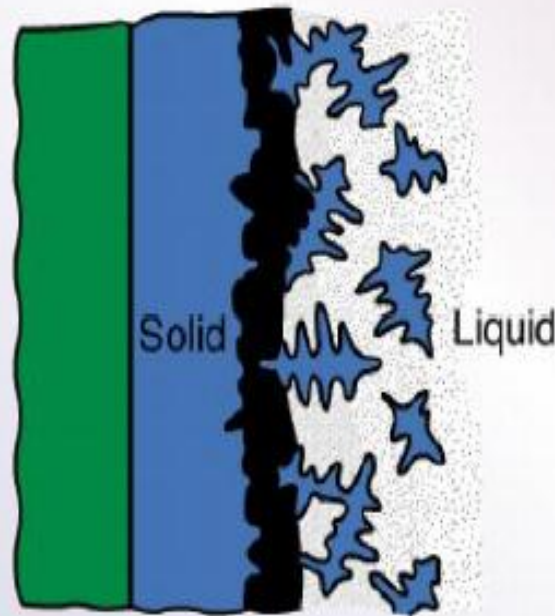
انواع ساختار ماده ریخته گری شده مرکب

فلز خالص



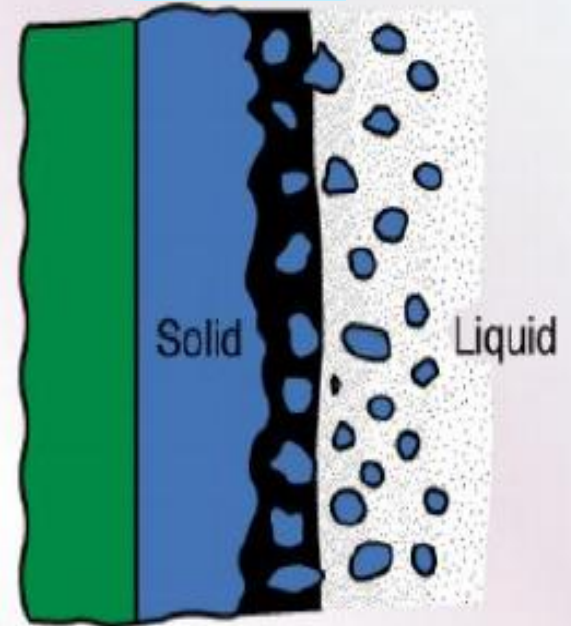
(a)

آلیاژ



(b)

جوانه زای



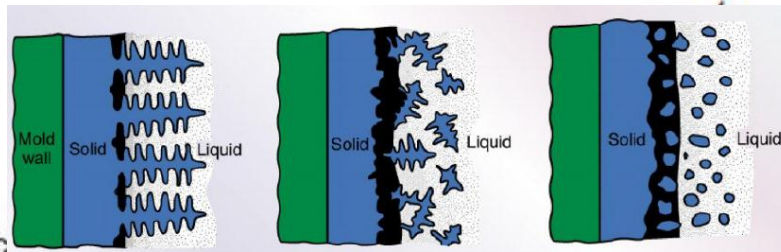
(c)

دندریتی ستونی

دندریتی متساوی المحور

غیر دندریتی متساوی المحور

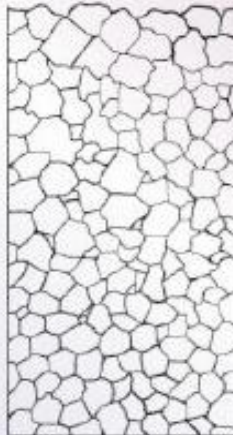
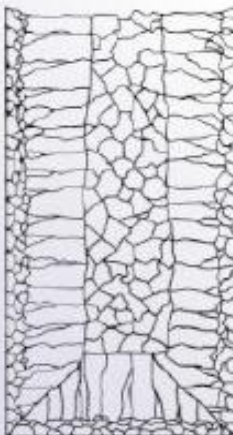
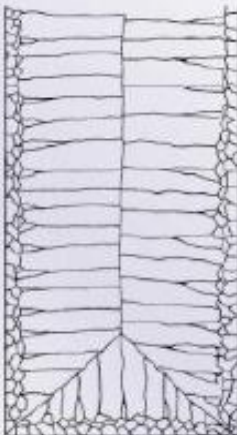
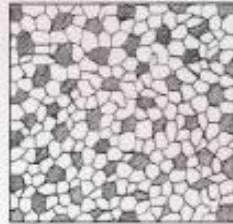
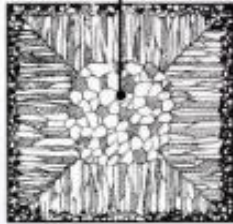
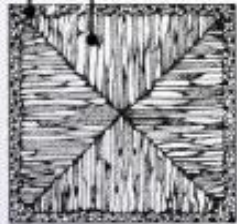
ساختار قالب گیری مواد



Columnar zone

Equiaxed zone

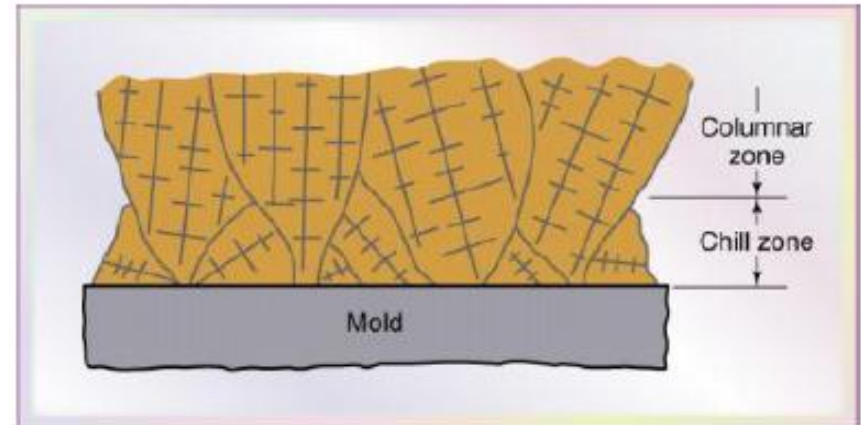
Equiaxed structure



(a)

(b)

(c)



توسعه بافت بلورها روی دیواره سرد قالب

قابل توجه است که تنها دانه هایی با جهت گیری اولیه مناسب روی سطح قالب امکان رشد می یابند

شمای سه حالت مختلف انجماد فلز الف) خالص ،
ب) آلیاژهای محلول جامد ، ج) ساختار حاصل از
عوامل هسته زا