endbook.net

دیاگرام های فازی

Phase Diagrams

(بخش اول)

تهیه کننده

مهدی هاشمی

پاییز ۹۱

endbook.net

دیاگرام های فازی

- همان طورکه دیده شد ریزساختار ماده مانند وجود رسوب، شکل و پراکندگی و مقدار رسوبهای ثانویه تاثیرات مهمی بر خواص ماده دارد، بنابراین لازم است تا لوازمی داشته باشیم تا بتوانیم ساختار مواد را و اجزا تشکیل دهنده آن را بررسی کنیم. یکی از این لوازم نمودار های فازی است.

- قسمتی از ماده که دارای خواص فیزیکی و شیمیایی یکسان است یا به عبارتی قسمتی از ماده که دارای ساختار، ترکیب و خواص یکسان است. هر فاز دارای خصوصیات زیر است :

۱- ساختار در تمام آن یکسان است
۲- ترکیب در تمام قسمت های آن یکنواخت است
۳- بین هر فاز و محیط اطراف مرزی وجود دارد که مرز فازی نامیده میشود.

endbook.net

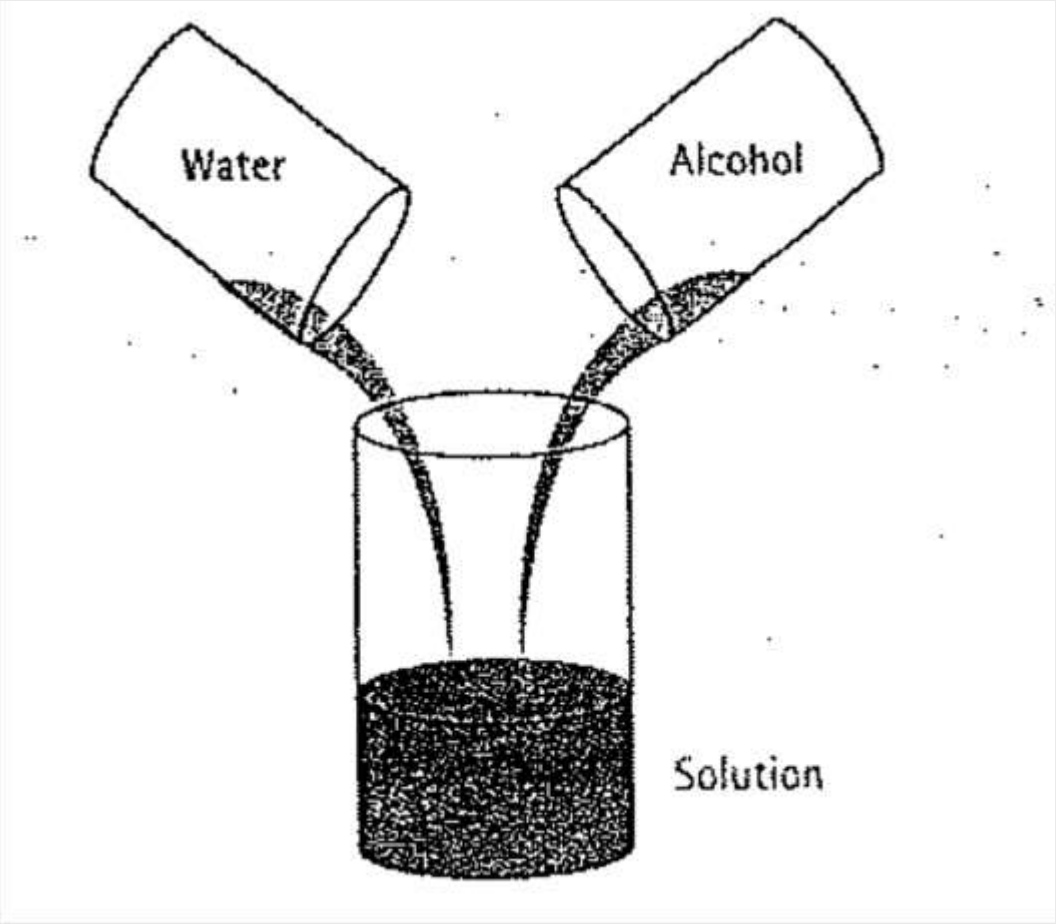
تعادل آب و یخ

در دمای صفر درجه آب و یخ درکنار هم به صورت تعادلی حضور دارند
(Phase Equilibrium)

اگردما بیش از صفر درجه سانتی گراد باشد تمام فاز یخ به فاز آب تبدیل می شود یا به اصطلاح تغییر فازصورت می گیرد.
(phase transformation)

endbook.net

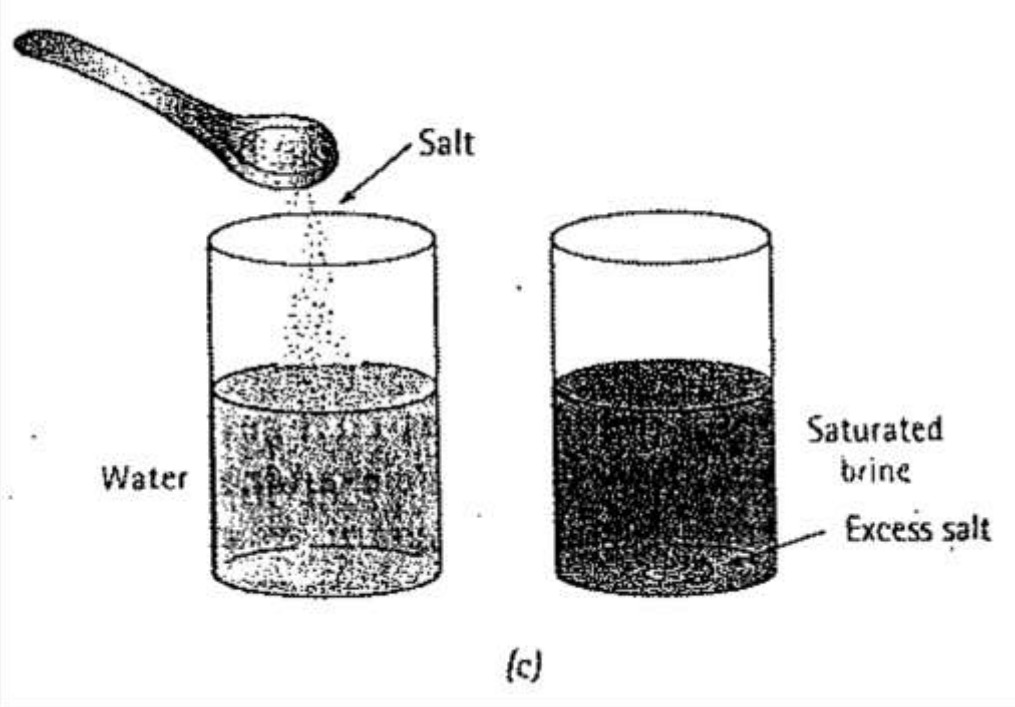
تعادل آب و الکل



آب و الکل به هر نسبتی در هم حل می شوند بنابر این محلول آب و الکل یک فاز را تشکیل می دهند.

endbook.net

تعادل آب و نمک

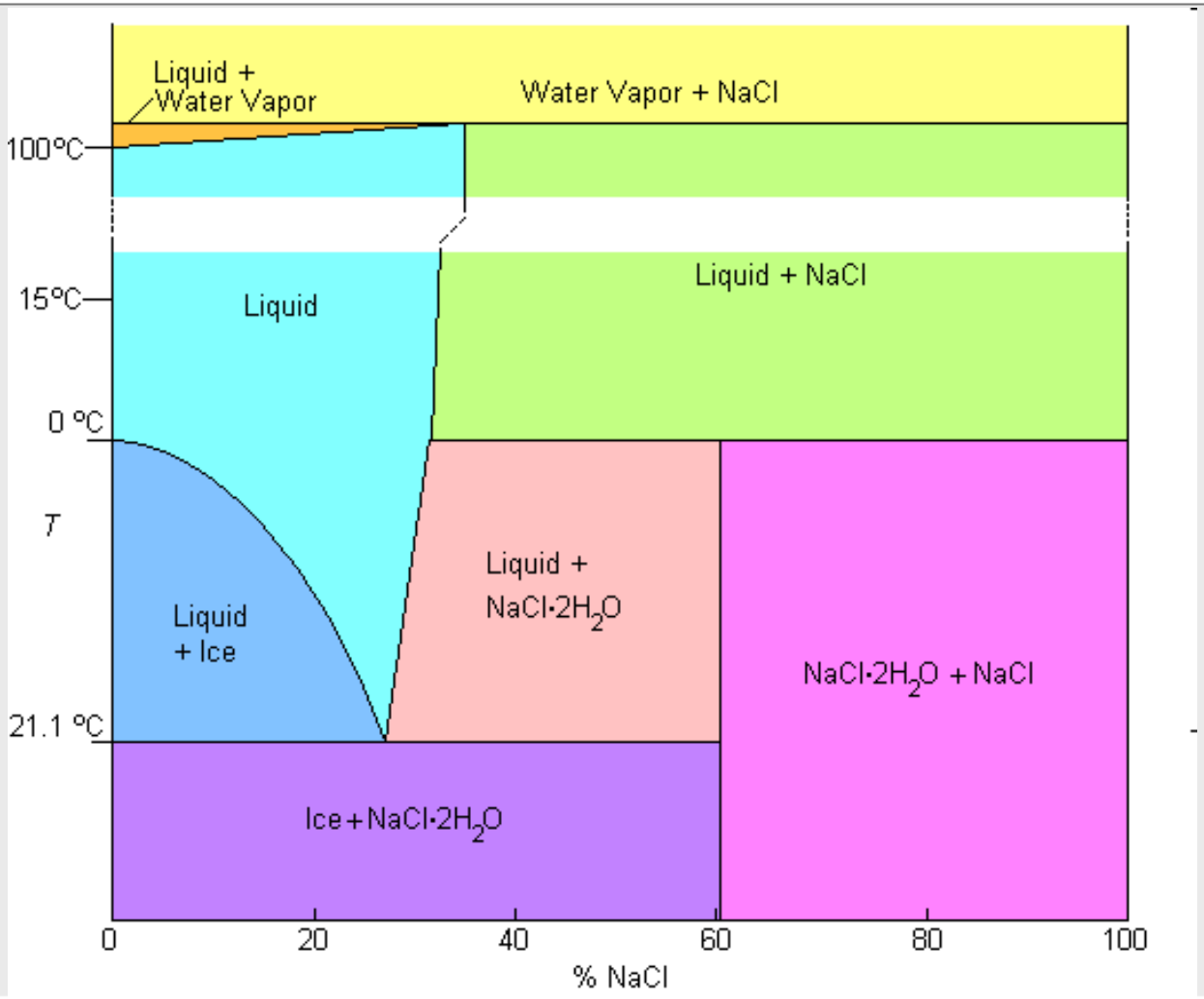


وقتی نمک در آب حل شود محلول آب-نمک تک فاز است، اما اگر بیش از حد حلالیت در اب نمک حل کنیم، کریستال های نمک رسوب می کنند که دارای ترکیب و ساختار متفاوت وترکیب متفاوت از محلول اب نمک به وجود می اید، بنابر این در این حالت فاز های موجود عبارتند از :

نمک خالص + محلول آب نمک

endbook.net

تعادل آب و نمک



endbook.net

دیاگرام های فازی

کاربرد نمودارهای تعادلی:

1- بررسی چگونگی ذوب و منجمد شدن آلیاژها

2- تعیین نوع فاز یا فازهای پایدار در دماهای مختلف در یک آلیاژ داده شده

3- تعیین ترکیب شیمیایی و درصد وزنی فازهای موجود در یک آلیاژ داده شده در دمای مشخص.

4- تعیین ریز ساختار یا ساختار میکروسکوپی آلیاژ مورد نظر در دمای داده شده.

5- تعیین نوع استحاله ها

endbook.net

قانون فازی گیبس

تعداد فاز های در حال تعادل با هم را می توان توسط رابطه زیر بیان کرد:

$$F=C-P+2$$

C =تعداد اجزاء
P =تعداد فاز های در حال تعادل
F =درجه آزادی

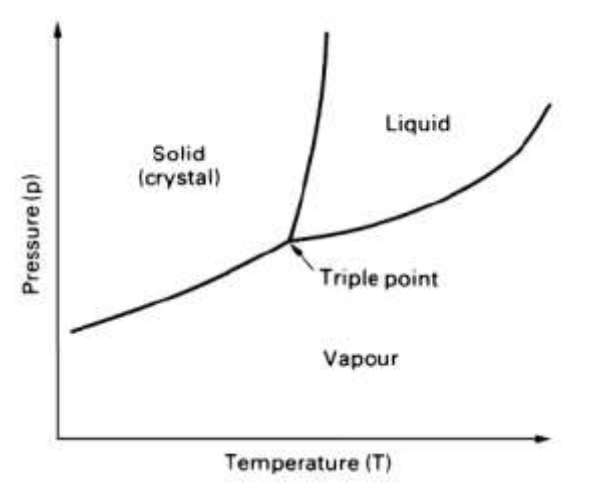
درجه آزادی مقدار متغیرهایی مثل دما، فشار یا ترکیب شیمیایی است که می تواندن به طور مستقل تغییر کند، اما تغییری در تعداد فازهای در حال تعادل به وجود نیاید.

۱- در سیستم تک جزئی : P , T
۲- در سیستم دو جزئی: XB ,P ,T
۳ -در سیستم های سه جزئی : XC ,XB ,P ,T
۴ -در سیستم های چهار جزئی : XD ,XC ,XB ,T ,P

endbook.net

دیاگرامهای فازی تک جزئی

دیاگرام فازی سیستم های تک جزئی، تغییرات فازی بر حسب دما و فشار را نشان می دهند .
شکل زیر دیاگرام فازی عنصری که فقط یک فاز جامد دارد را نشان می دهد.



۱- مرز فازی جامد و مایع ، تغییرات نقطه ذوب با فشار را نشان می دهد
(نقطه ذوب استاندارد، نقطه ذوب در فشار ۱ اتمسفر است).

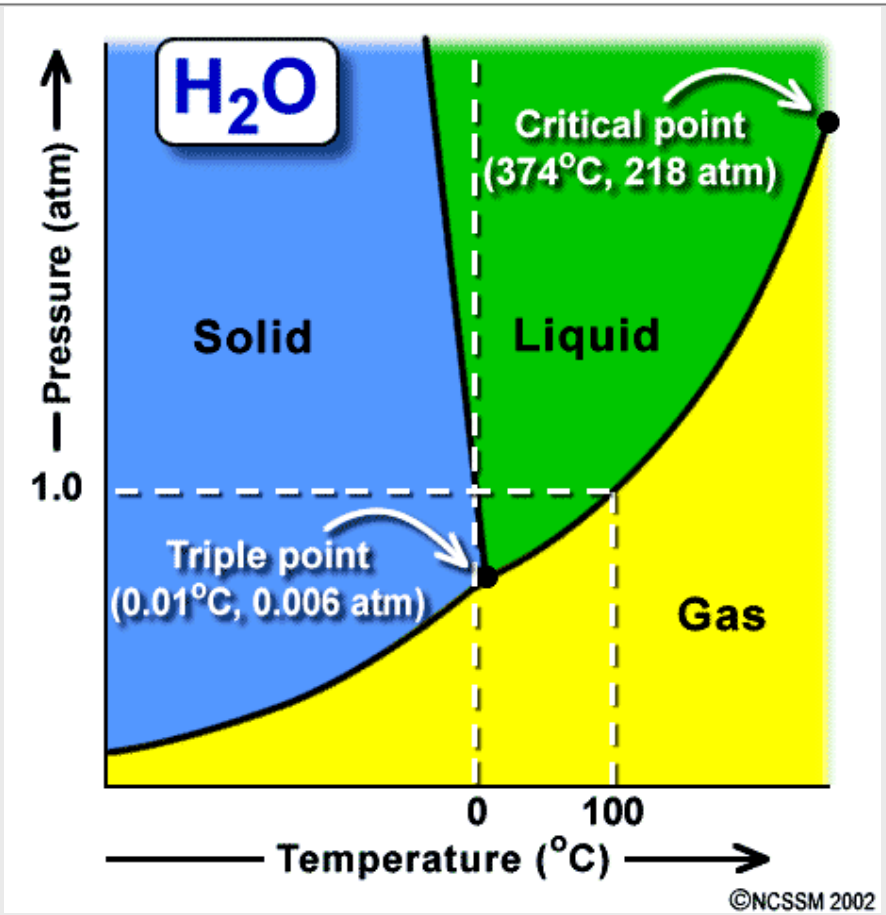
۲ -مرز فازی مایع و بخار تغییرات نقطه جوش بافشار را نشان می دهد
(نقطه جوش استاندارد، نقطه جوش در فشار ۱ اتمسفر است).

۳- مرز فازی جامد و بخار تغییرات نقطه تصعید با فشار را نشان می دهد.

۴ -در نقطه سه گانه، سه فاز جامد، مایع و بخار در حالت تعادلند.

endbook.net

دیاگرامهای فازی تک جزئی

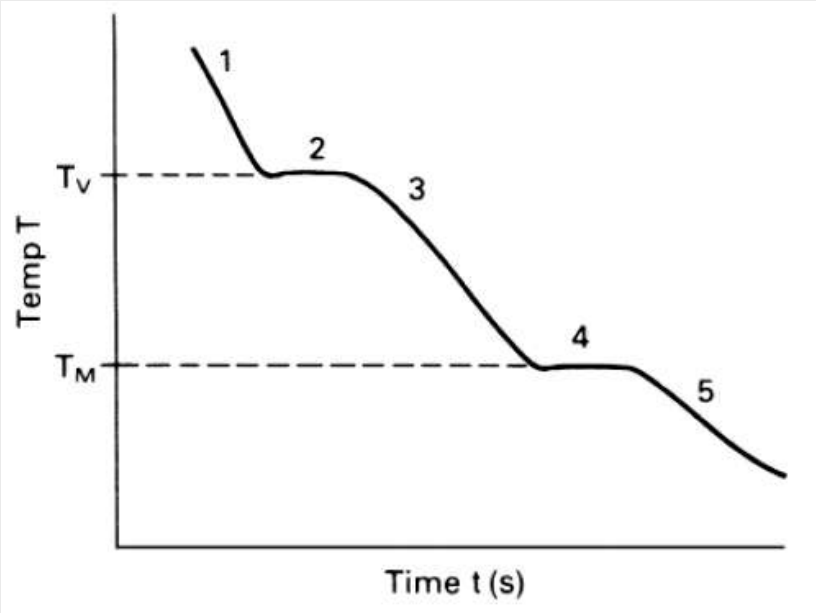


دیاگرام فازی آب

endbook.net

دیاگرامهای فازی تک جزئی

اگر در فشار ثابت به یک سیستم
تک جزئی اجازه سرد شدن داده شود،
منحنی تغییرات دما بر حسب زمان
(منحنی سرد شدن) به صورت روبرو خواهد بود:



۵ منطقه: ۱ -بخار ، ۲ -تغییر فاز از بخار به مایع ، ۳ -مایع، ۴ -تغییر فاز از مایع به جامد ، ۵-جامد
سیستم در مناطق ۱و ۳و ۵ تک فاز است .تغییرات فازی در دماهای متناظر با مناطق ۲و ۴ رخ می دهد .
هنگامی که یک استحاله فازی رخ می دهد با گرمای پنهان استحاله آزاد می شود (حین سرد شدن) یا جذب می شود (حین گرم کردن). به همین علت، دما حین استحاله تقریبا ثابت مانده و سرد شدن فقط هنگامی ادامه می یابد که استحاله کامل شود .قسمت های ثابت منحنی سرد شدن بیانگر وقوع استحاله های فازی می باشد.

endbook.net

یاد آوری

محلول جامد

۱-یک محلول جامد هنگامی تشکیل می شود که با افزودن عنصر حل شونده (اتم های عنصر میهمان) به عنصر میزبان ، ساختارکریستالی حفظ شده و ساختار جدیدی تشکیل نشود.

۲-یک محلول جامد از نظر ترکیب شیمیای همگن است و اتم های حل شونده به طور رندوم و یکنواخت در آن توزیع شده اند. آلیاژ های محلول جامد آلیاژهایی تک فاز هستند.

۳-افزودن عنصر حل شونده بیش از یک مقدار مشخص به یک عنصر منجر به تشکیل یک ساختار چند فازی می شود. به این مقدارمشخص ، حد حلالیت گویند.

۴-بسته به محل قرارگیری اتم های میهمان در شبکه کریستالی اتم های میزبان، دو نوع محلول جامد تعریف می شود:

الف- محلول جامد های جانشین: اتم های میهمان جایگزین اتم های میزبان می شود
ب- محلول جامد های بین نشین: اتم های میهمان بین اتم های میزبان در مکا نهای بین نشین قرار می گیرد

- اتم های بین نشین دارای اندازه بسیار کوچکتری نسبت به اتم های میزبان هستند.
- عناصری که می توانند به طور بین نشین با عناصر دیگر محلول جامد تشکیل دهند عبارتند از O , B , N, C

endbook.net

یاد آوری

شرایط تشکیل محلول جامد (قوانین هیوم– روتاری)

۱) فاکتور اندازه اتمی: فاکتور اندازه نسبی را به صورت زیر تعریف می شود:

$$\text{فاکتور اندازه نسبی} = \left|\frac{r_A - r_B}{r_A}\right| \times 100$$

r_A: شعاع اتمی اتم میزبان

r_B: شعاع اتمی اتم میهمان

هر چه مقدار این فاکتور کمتر باشد، حد حلالیت بیشتر خواهد بود:

در صورتی که مقدار نسبی اختلاف شعاع اتمی دو عنصر بیشتر ٪ ۱۵-۱۴ باشد، مقدار حلالیت در عنصر محدود خواهد بود.

در صورتی که مقدار نسبی اختلاف شعاع اتمی دو عنصر کمتر از ٪۸ باشد، احتمال تشکیل محلول جامد کامل زیاد خواهد بود.

در صورتی که مقدار نسبی اختلاف شعاع اتمی دو عنصر بین این دو حد باشد، حلالیت متوسط خواهد بود.

۲) فاکتور ساختار کریستالی:

برای حلالیت بالای دو عنصر لازم است ساختار کریستالی مشابهی داشته باشند.

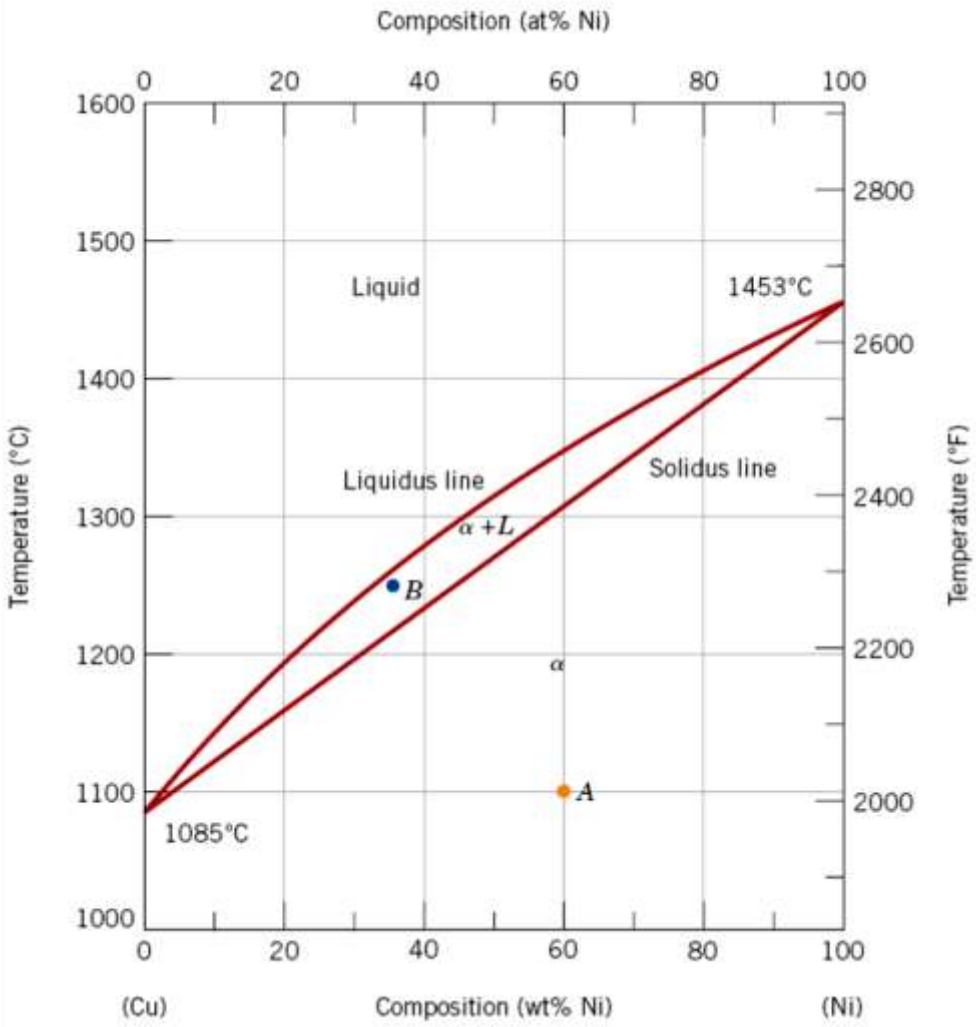
۳) اختلاف الکترو نگاتیویته:

هرچه اختلاف الکترونگاتیویته بیشتر باشد تمایل به تشکیل ترکیب شیمیایی یا ترکیب بین فلزی بیشتر خواهد بود.

۴) فاکتور ظرفیت نسبی: در شرایطی که تمامی دیگر فاکتورها یکسان باشد، عناصر تمایل بیشتری به حل کردن عنصر با ظرفیت بالاتر از خود را دارند.

endbook.net

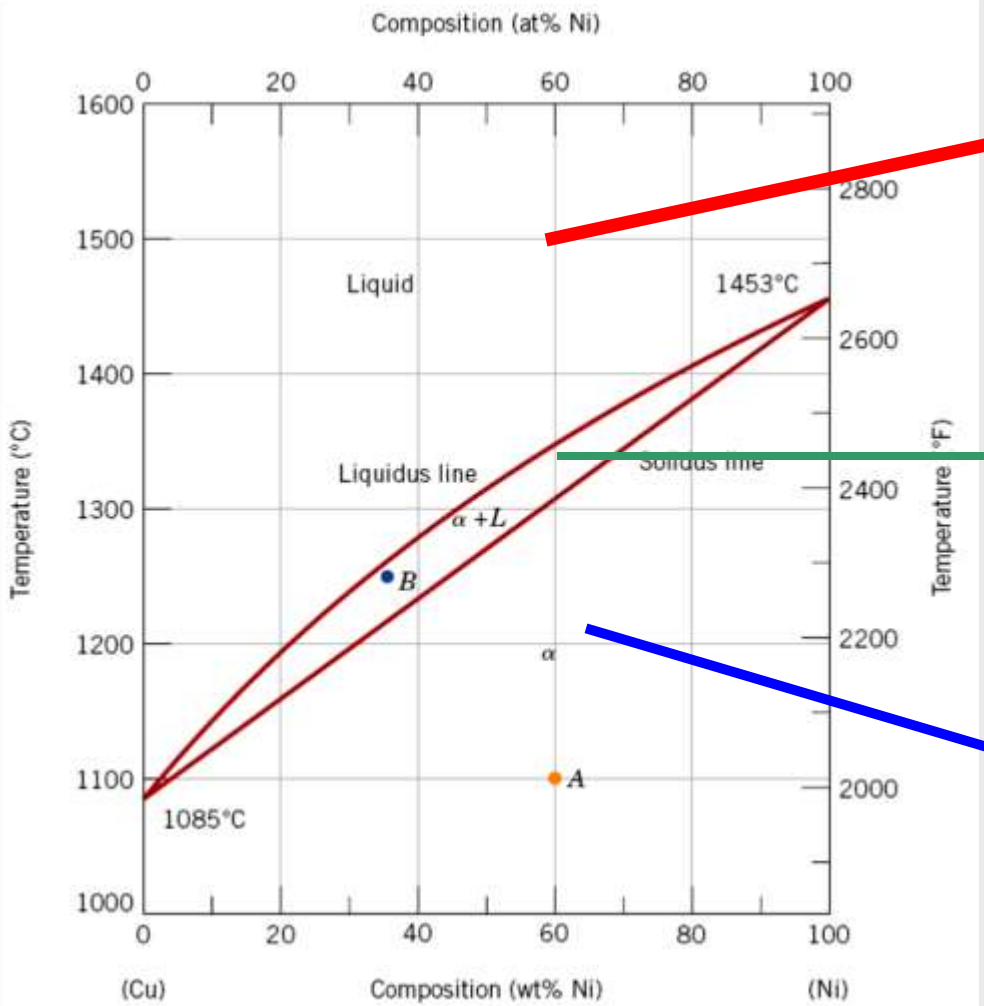
دیاگرامهای فازی دو جزئی



در سیستم های دو جزئی متغیرهای حالت دما، فشار و ترکیب شیمیایی هستند .معمولا در بررسی دیاگرام های فازی آلیاژها فشار را ثابت و برابر 1atm در نظر می گیرند . بسیاری از سیستم های آلیاژی فلزی (همانند Cu-Ni) و سیستم های سرامیکی (مانند MgO-NiO)، تشکیل محلول جامد کامل میدهند .دیاگرام فازی این سیستم های آلیاژی به طور شماتیک مشابه شکل روبرو خواهد بود.

endbook.net

دیاگرامهای فازی دو جزئی



در این ناحیه که بالای خط Liquidus است فاز موجود مایع است که محلولی مایع از دو عنصر Cu و Ni است

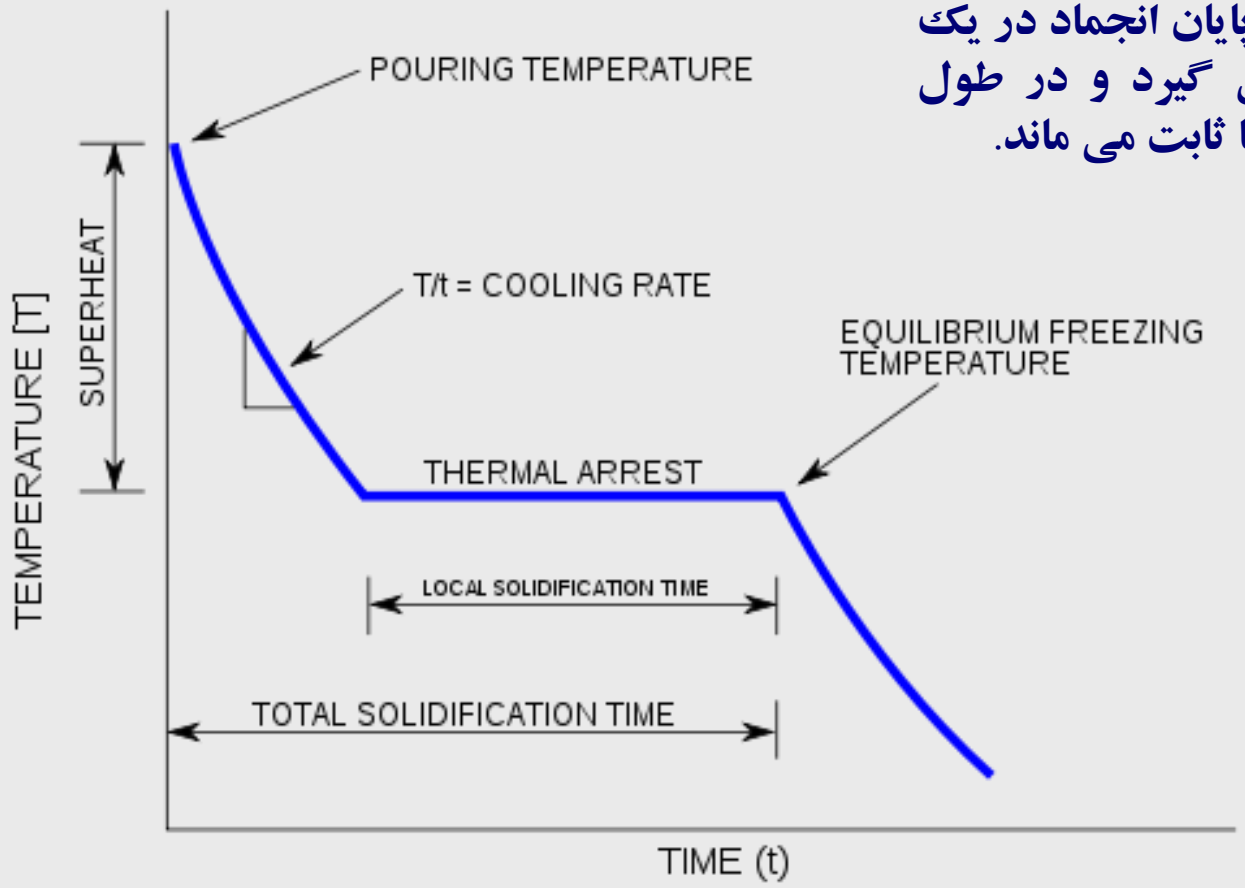
ناحیه دو فازی: در این ناحیه در فاز مایع (L)و محلول جامد(α) در کنار هم به صورت تعادلی وجود دارند. به عبارت دیگر این ناحیه ناحیه دو فازی است

در این ناحیه که پایین خط Solidus است فاز پایدار محلول جامد α است

endbook.net

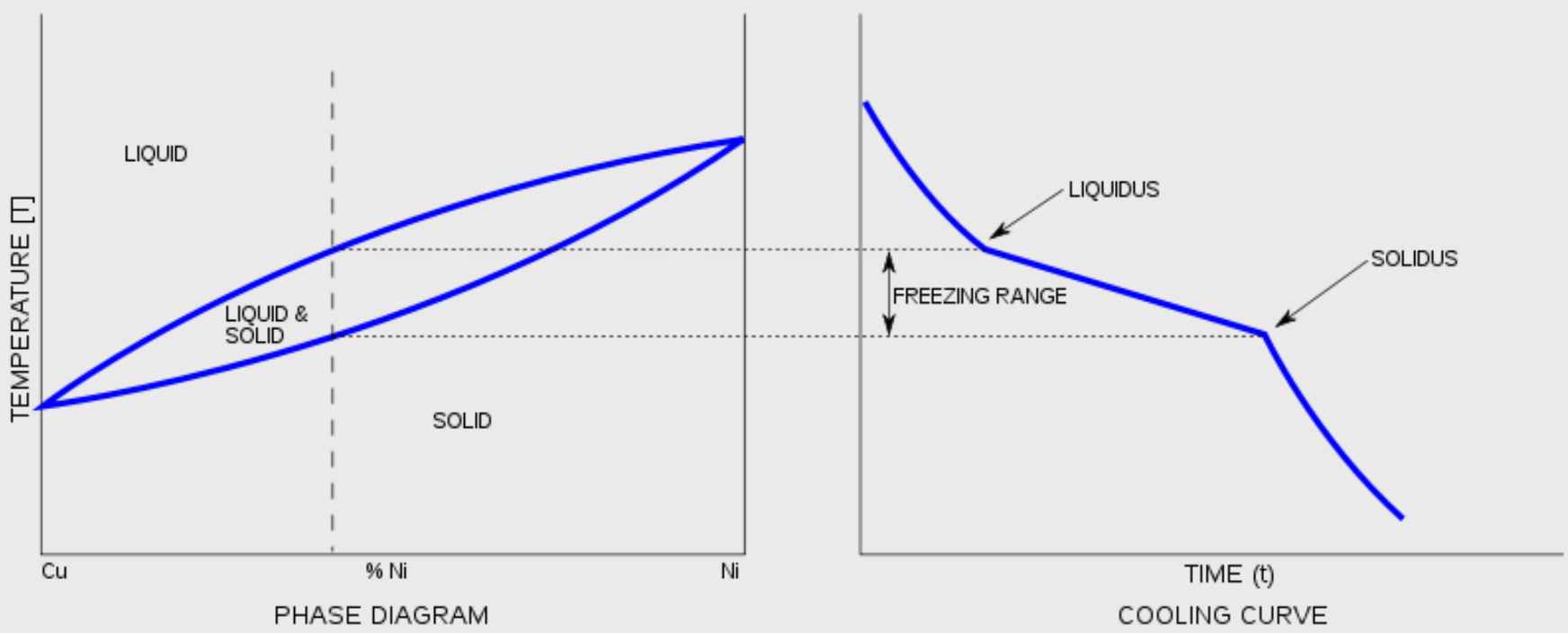
نمودارهای سردشدن برای انجماد فلزات خالص

در فلزات خالص آغاز و پایان انجماد در یک دمای خاص صورت می گیرد و در طول انجام عملیات انجماد، دما ثابت می ماند.



endbook.net

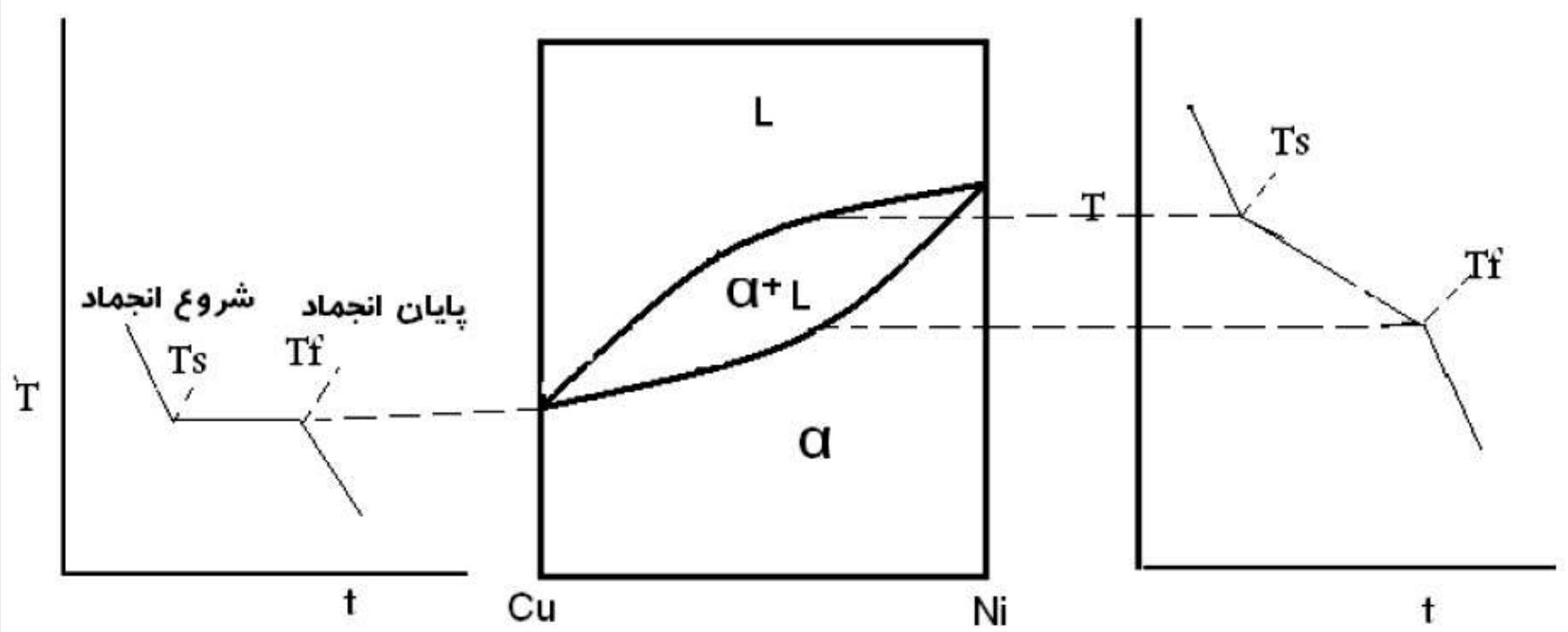
نمودارهای سردشدن برای انجماد آلیاژها



اما در حین انجماد آلیاژ ها، دما تغییر می کند و بنابر این انجماد در یک محدوده دمایی صورت می گیرد.

endbook.net

نمودارهای سردشدن برای انجماد آلیاژها



در حین انجماد آلیاژها، دما تغییر می کند و انجماد در یک محدوده دمایی صورت می گیرد

endbook.net

نمودارهای سردشدن برای انجماد آلیاژها

- خط Liquidus

دمایی که در یک ترکیب خاص اولین جامد ظاهر می شود یا مکان هندسی نقاط شروع انجماد آلیاژ

- خط Solidus

دمایی که در یک ترکیب خاص انجماد پایان می یابد، یا مکان هندسی نقاط پایان انجماد

endbook.net

دیاگرامهای فازی دو جزئی

اطلاعات بدست آمده از دیاگرامهای فازی دوجزئی

۱- تعداد و نوع فازها

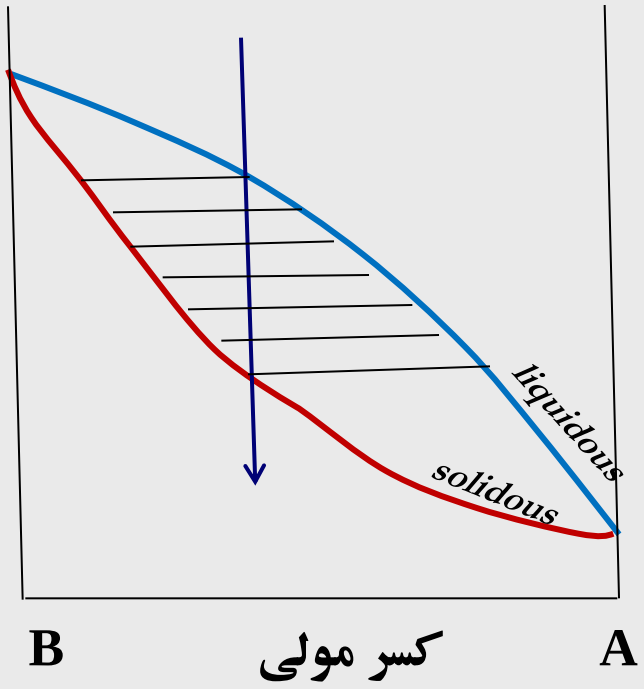
با مشخص کردن نقطه آلیاژ یعنی ترکیب شیمیایی و دمای مورد نظر روی منحنی با منطقه فازی آلیاژ مشخص می شود.

۲- ترکیب شیمیایی فازهای موجود

گام اول : ابتدا نقطه آلیاژ (ترکیب شیمیایی و دما) روی دیاگرام فازی مشخص می شود.
گام دوم:
الف- اگر در منطقه تک فازی باشیم، ترکیب شیمیایی فاز برابر است با ترکیب شیمیایی آلیاژ.
ب- اگر در منطقه دو فازی باشیم، یک خط افقی گذرنده از نقطه آلیاژ رسم می کنیم، به این خط Tie-Line یا خط رابط گفته می شود. سپس محل تقاطع این خط با مرزهای فازی را مشخص میکنیم .ترکیب شیمیایی متناظر با محل تقاطع، ترکیب شیمیایی فاز مربوطه است.

endbook.net

دیاگرامهای فازی دو جزئی

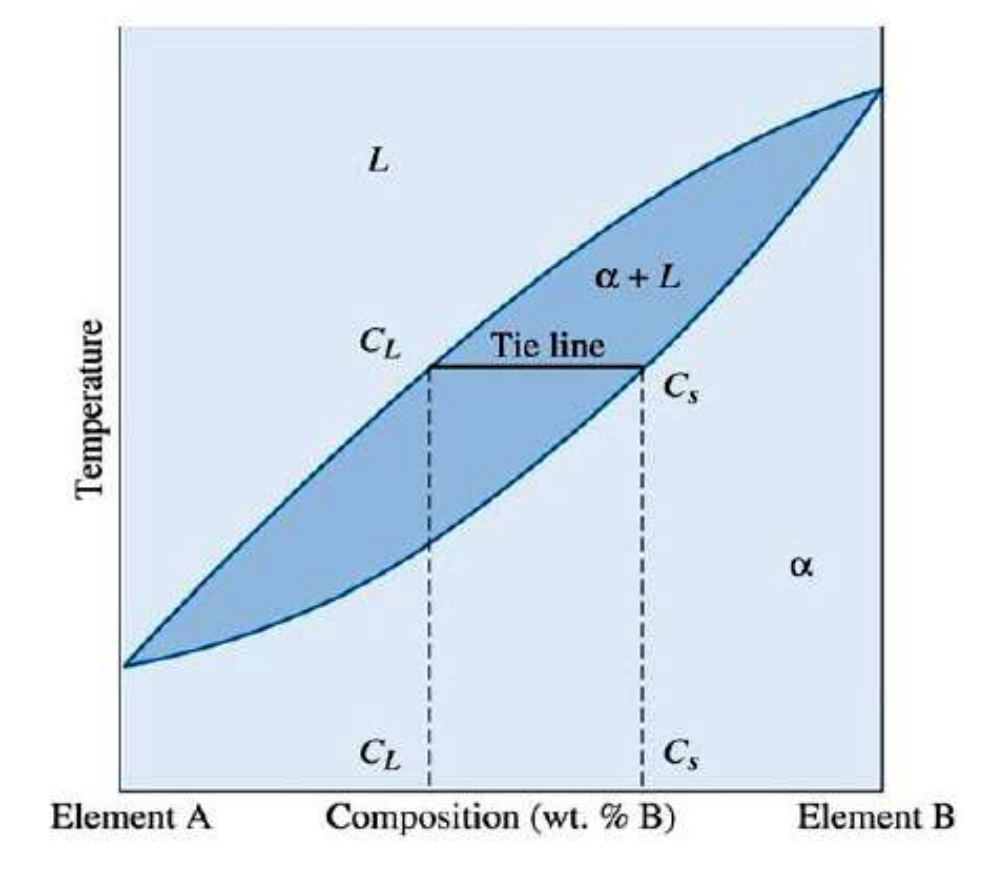


- دقت شود که در سرد شدن (انجماد)، ترکیب شیمیایی خطوط مذاب و جامد از B خالص تا Aخالص تغییر میابد.
- در حین انجماد آلیاژها، ترکیب شیمیایی فاز منجمد شده در هر لحظه تغییر میکند.

endbook.net

دیاگرامهای فازی دو جزئی

اطلاعات بدست آمده از دیاگرامهای فازی دوجزئی



endbook.net

دیاگرامهای فازی دو جزئی

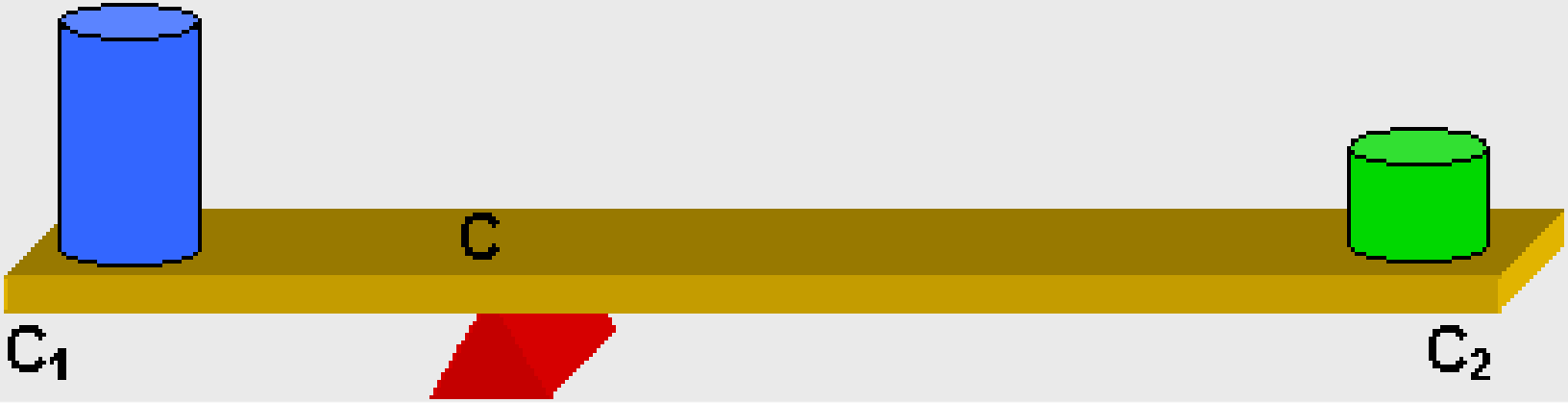
اطلاعات بدست آمده از دیاگرامهای فازی دوجزئی

۳- مقدار نسبی فازهای موجود

گام اول : ابتدا نقطه آلیاژ را روی دیاگرام فازی مشخص می کنیم.

گام دوم : الف - اگر در منطقه تک فازی باشیم،درصدوزنی نسبی فازدرآلیاژ برابر با ۱۰۰ % خواهد بود.

ب - در صورتی که درمنطقه دوفازی باشیم، ابتدا Tie Line مورد نظر را رسم می کنیم و سپس از قانون اهرم استفاده می کنیم



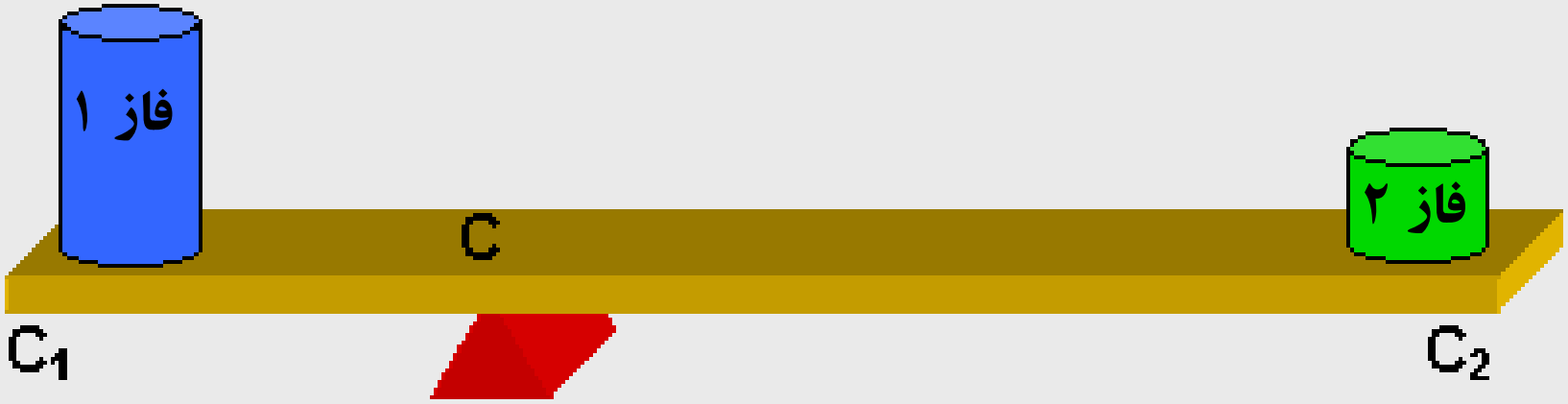
endbook.net

دیاگرامهای فازی دو جزئی

اطلاعات بدست آمده از دیاگرامهای فازی دوجزئی

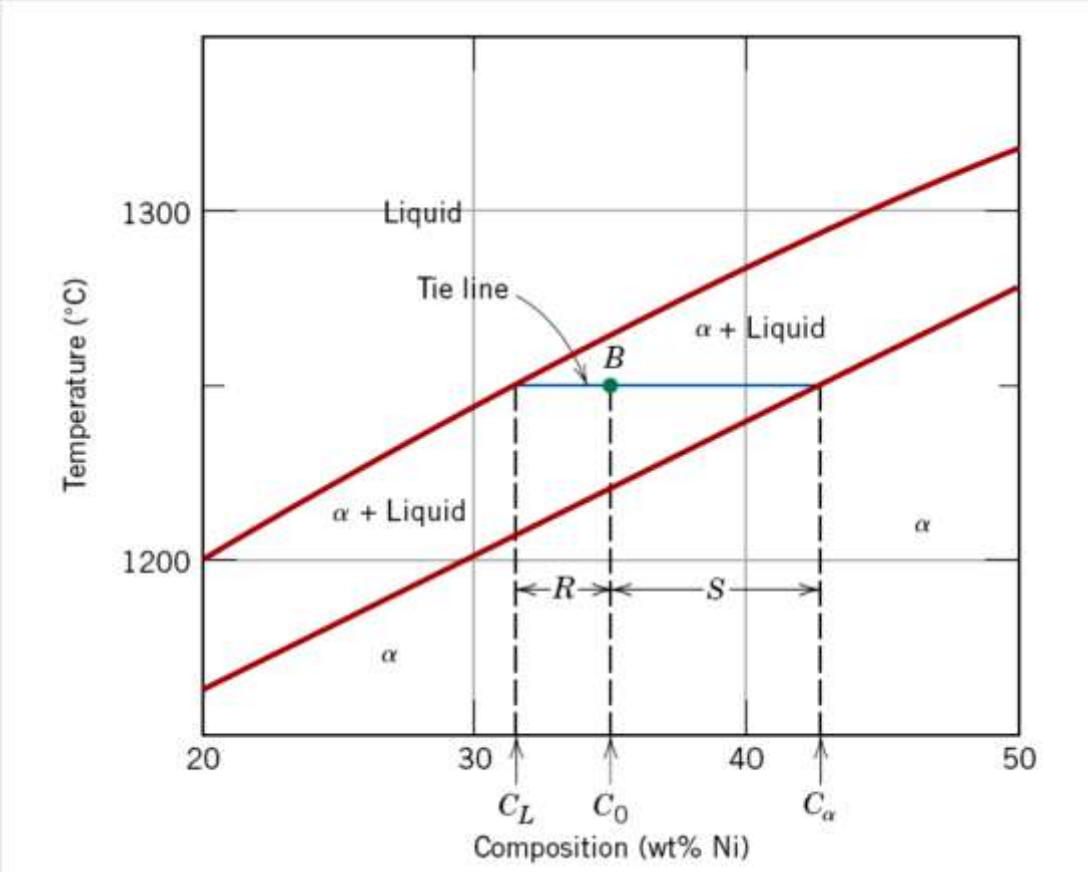
در صد نسبی فاز ۱ = (C2 - C) / (C2 - C1)

در صد نسبی فاز ۲ = (C - C1) / (C2 - C1)



endbook.net

ترکیب شیمیایی فازها



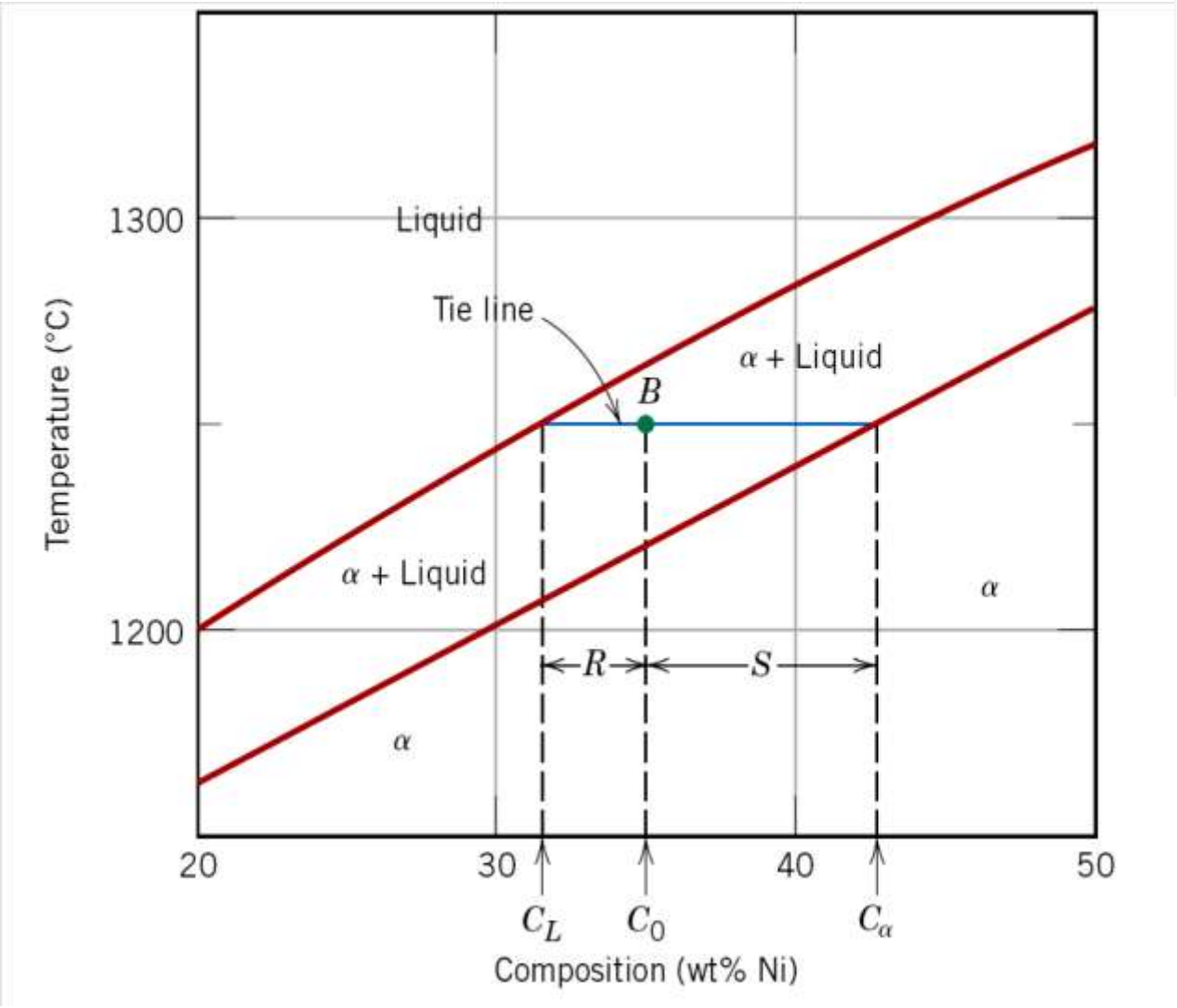
C_o= 35 wt. % Ni = Overall composition

C_L= 33 wt.% Ni = Liquid composition

C_α= 43wt. % Ni = Solid Solution Composition

endbook.net

ترکیب شیمیایی فازها



$$W_\alpha = \frac{R}{R+S}$$

$$= \frac{C_0 - C_L}{C_\alpha - C_L}$$

$$W_L = \frac{S}{R+S}$$

$$W_L = \frac{C_\alpha - C_0}{C_\alpha - C_L}$$

endbook.net

ترکیب شیمیایی فازها

At T_A = 1320°C:

Only Liquid (L) present

$C_L = C_0$ (= 35 wt% Ni)

At T_D = 1190°C:

Only Solid (α) present

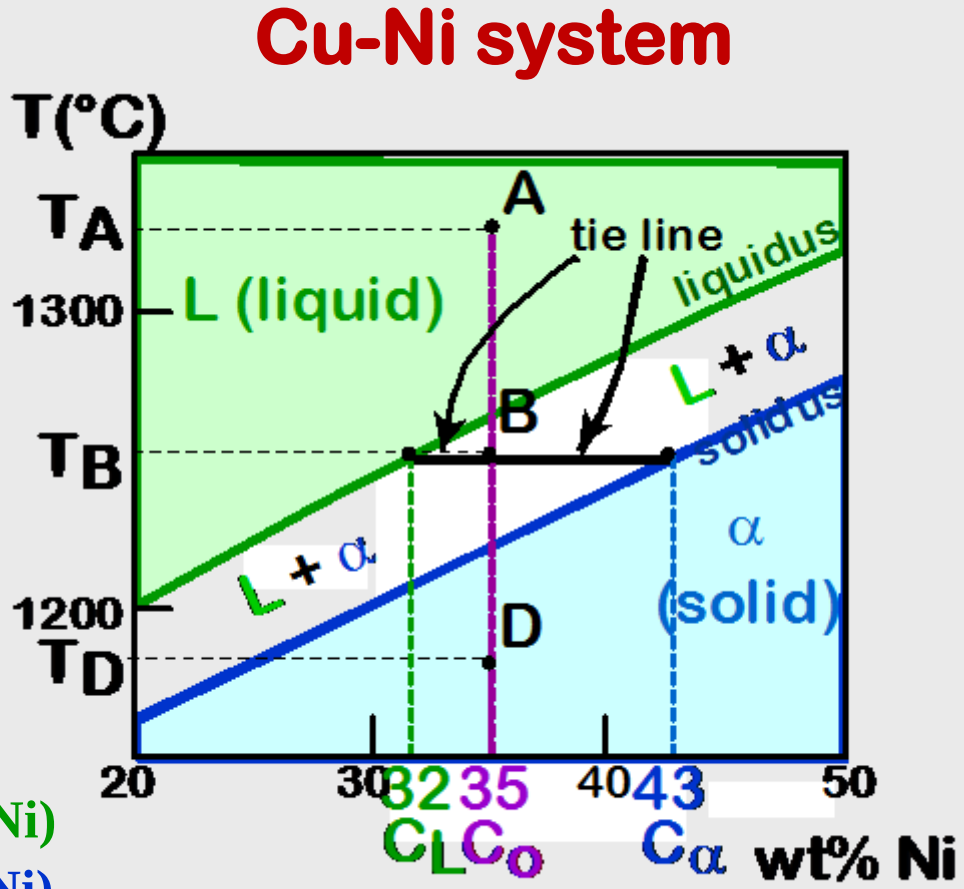
$C_\alpha = C_0$ (= 35 wt% Ni)

At T_B = 1250°C:

Both α and L present

$C_L = C_{liquidus}$ (= 32 wt% Ni)

$C_\alpha = C_{solidus}$ (= 43 wt% Ni)



endbook.net

ترکیب شیمیایی فازها

$C_o = 35wt\%Ni$

At T_A: Only Liquid (L)

$W_L = 100wt\%, W_\alpha = 0$

At T_D: Only Solid (α)

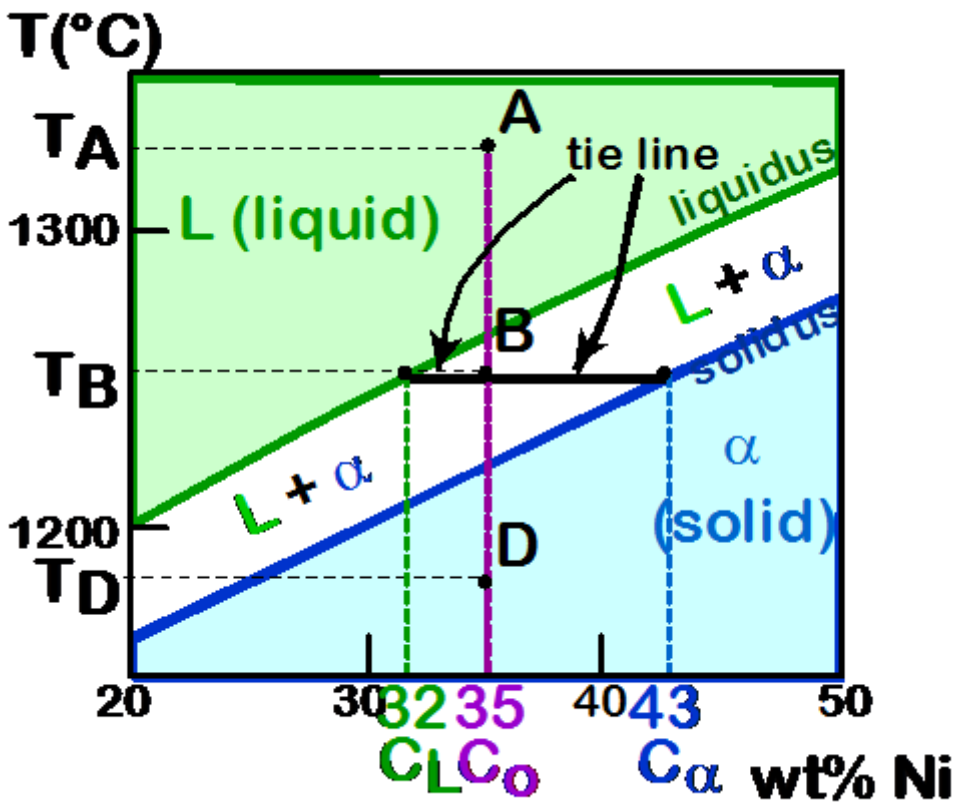
$W_L = 0, W_\alpha = 100wt\%$

At T_B: Both α and L

$$W_L = \frac{C_\alpha - C_o}{C_\alpha - C_L} = \frac{43-35}{43-32} = 73wt\%$$

$$W_\alpha = \frac{C_o - C_L}{C_\alpha - C_L} = 27wt\%$$

Cu-Ni system



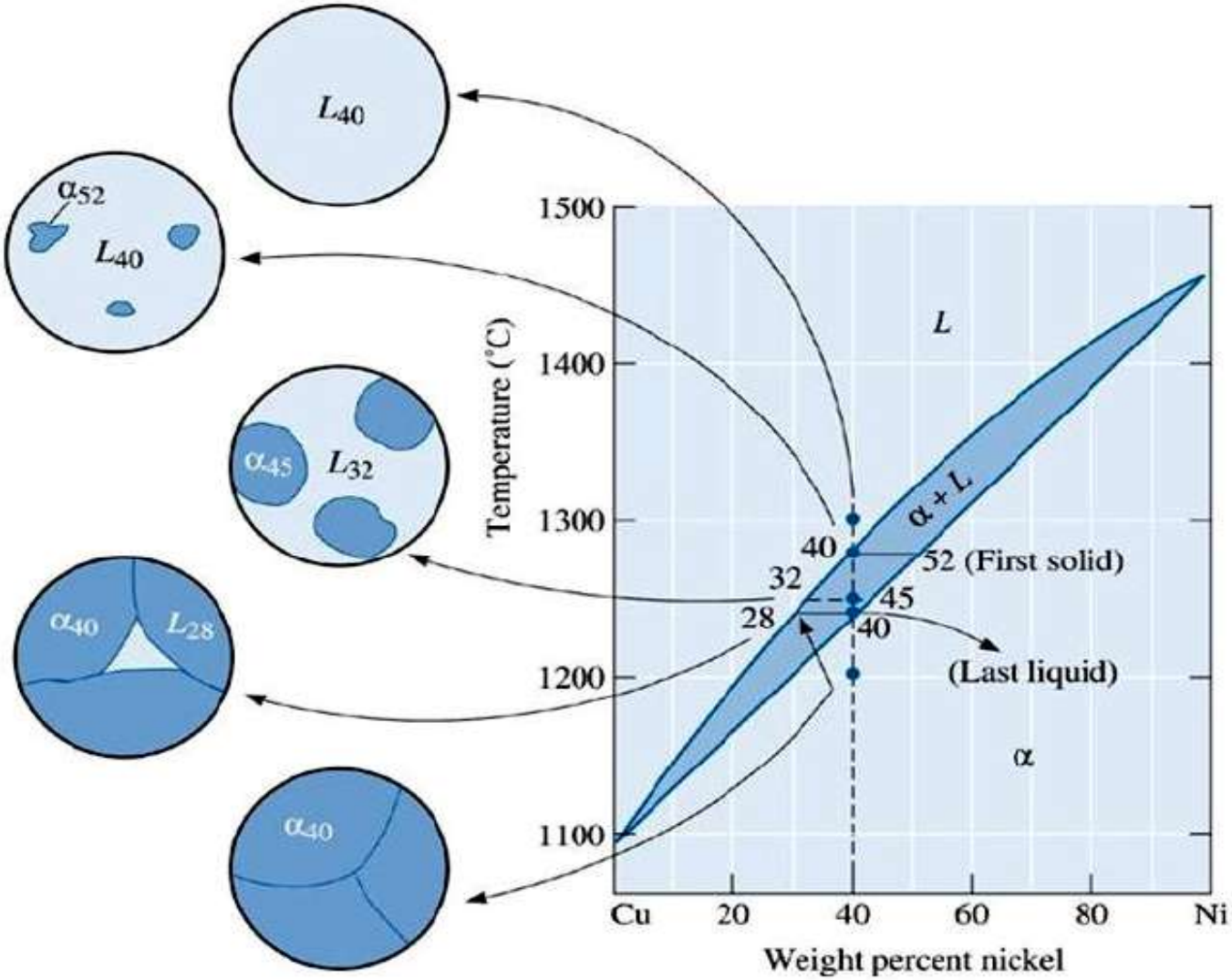
endbook.net

انجماد تعادلی یک آلیاژ محلول جامد

وقتی یک آلیاژ برای مثال Cu-40Niذوب شده و سرد می شود، فرایند انجماد نیازمند جوانه زنی هسته های جامد اولیه و رشد آنهاست .بنابراین انجماد آلیاژ با رسیدن دمای مذاب به دمای لیکدوس آغاز میشود. تای لاین رسم شده در شکل و در دمای لیکدوس بیانگر این مطلب است که در ابتدای سرد کردن Cu-40Ni، ترکیب شیمیایی اولین جامد که تشکیل میشود برابر Cu-52Ni است. اتمهای نیکل باید به اولین هسته جامد نفوذ کرده تا اولین هسته جامد شود .اما پس از سرد کردن تا دمای 1250 ^{o}C فرایند انجماد به پیش رفته و دیاگرام فازی به ما میگوید که در این دما فاز مذاب باید حاوی ۳۲ درصد نیکل و فاز جامد باید حاوی ۴۵ در صد نیکل باشد. با سرد کردن از دمای لیکوئیدوس تا دمای 1250 ^{o}Cبرخی اتم های نیکل باید از اولین هسته جامد تشکیل شده به طرف جامد جدید نفوذ کنند و بدین ترتیب غلظت نیکل در اولین جامد را کاهش می دهند .اتم های نیکل اضافی از مذاب در حال انجماد به طرف جامد جدید نفوذ میکنند .به این طریق، در دمای سالیدوس، جایی که آخرین مذاب باید منجمد شود، مذاب دارای ترکیب Cu-28Ni و جامد دارای ترکیب Cu-40Ni هستند. و حاوی را تشکیل دهد .درست زیر دمای سالیدوس، تمام جامد دارای یک ترکیب شیمیایی یکنواخت Cu-40Niدر سرتاسر خود خواهد بود.

endbook.net

انجماد تعادلی یک آلیاژ محلول جامد

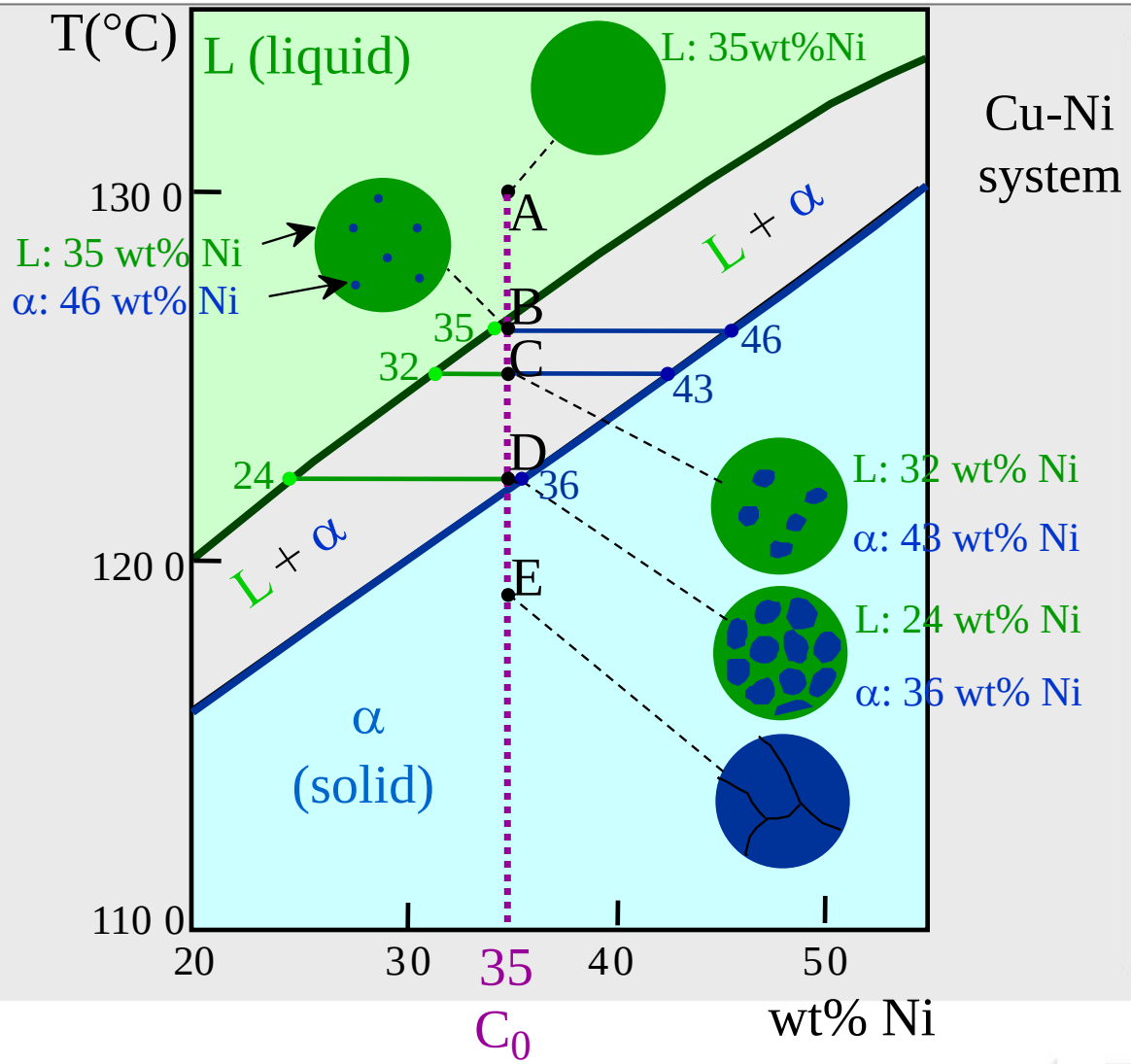


endbook.net

انجماد تعادلی یک آلیاژ محلول جامد

Cu-Ni system

C_0 = 35 wt% Ni alloy



endbook.net

ترکیب شیمیایی آلیاژ

گاهی اوقات لازم است واحدهای غلظت را به هم تبدیل کنیم .با توجه به ارتباط بین تعداد مول و وزن ماده میتوان ارتباط بین درصد وزنی و درصد اتمی را به دست آورد:

درصد وزنی:

$$(\%wt) = \frac{m_B}{m_A + m_B} \times 100$$

که در آن m_A و m_B به ترتیب وزنهای عناصر A و B هستند

درصد اتمی:

$$(\%at)_B = \frac{\text{تعداد اتم های B}}{\text{تعداد اتم های A + تعداد اتم های B}} \times 100 = (\%at) = \frac{n_B}{n_A + n_B} \times 100$$

endbook.net

ترکیب شیمیایی آلیاژ

گاهی اوقات لازم است واحدهای غلظت را به هم تبدیل کنیم .با توجه به ارتباط بین تعداد مول و وزن ماده میتوان ارتباط بین درصد وزنی و درصد اتمی را به دست آورد:

بدست آوردن درصد وزنی از روی درصد اتمی:

$$(\%Wt)_B = \frac{(\%at)_B M_B}{(\%at)_A M_A + (\%at)_B M_B} \times 100$$

که در آن M_A و M_B به ترتیب جرمهای اتمی عناصر A و B هستند

بدست آوردن درصد اتمی از روی درصد وزنی:

$$(\%at)_B = \frac{\frac{(\%wt)_B}{M_B}}{\frac{(\%wt)_A}{M_A} + \frac{(\%wt)_B}{M_B}} \times 100$$