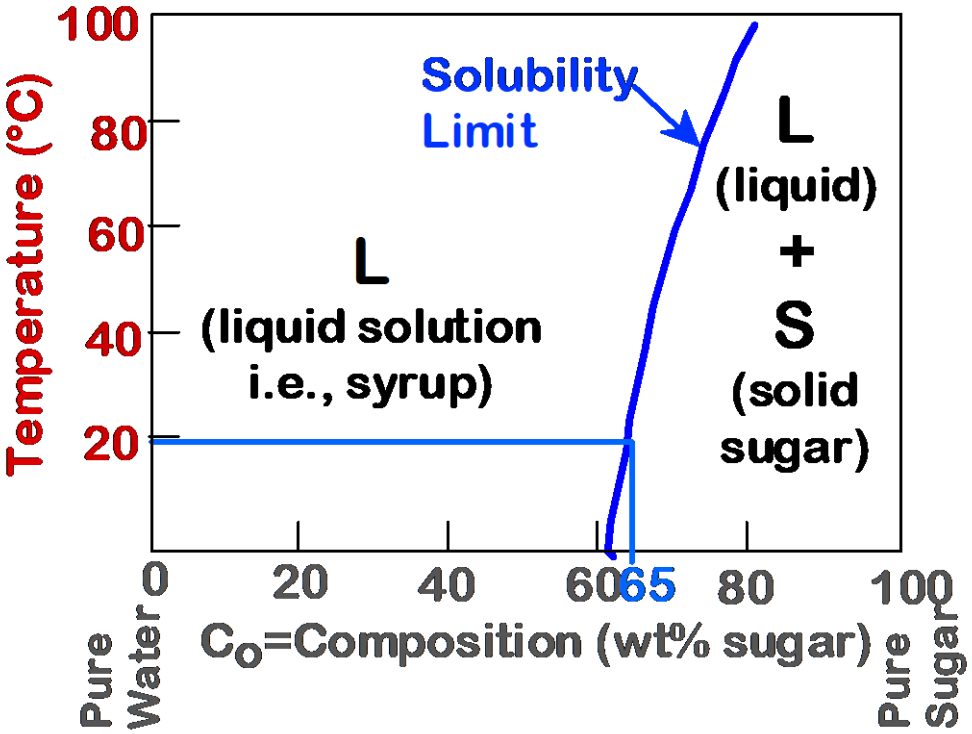
به نام خدا

فصل نهم
دیاگرام های فازی

حد انحلال



- **حد انحلال:**
بیشترین غلظت حل شونده در حلال برای اینکه یک محلول ایجاد شود.

- **مثال:** دیاگرام فازی: سیستم آب و شکر

- **سوال:** حد انحلال در دمای ۲۰ درجه چقدر است؟

جواب: ۶۵٪ وزنی شکر

If C_o < 65wt% sugar: sugar

If C_o > 65wt% sugar: syrup + sugar.

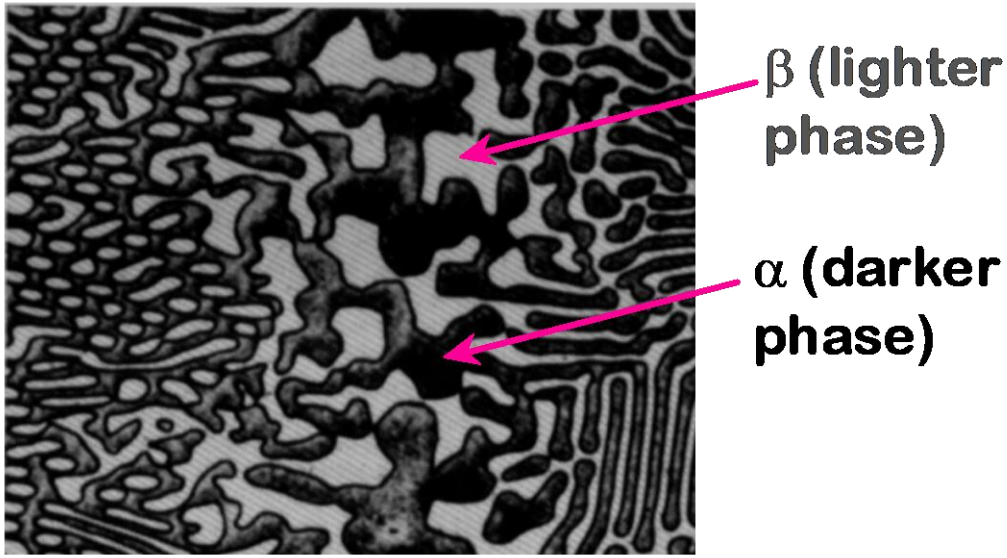
اجزاء و فازها

- **اجزاء:**

عناصری که با یکدیگر ترکیب می شوند. مثلا **Al** و **Cu**

- **فازها:**

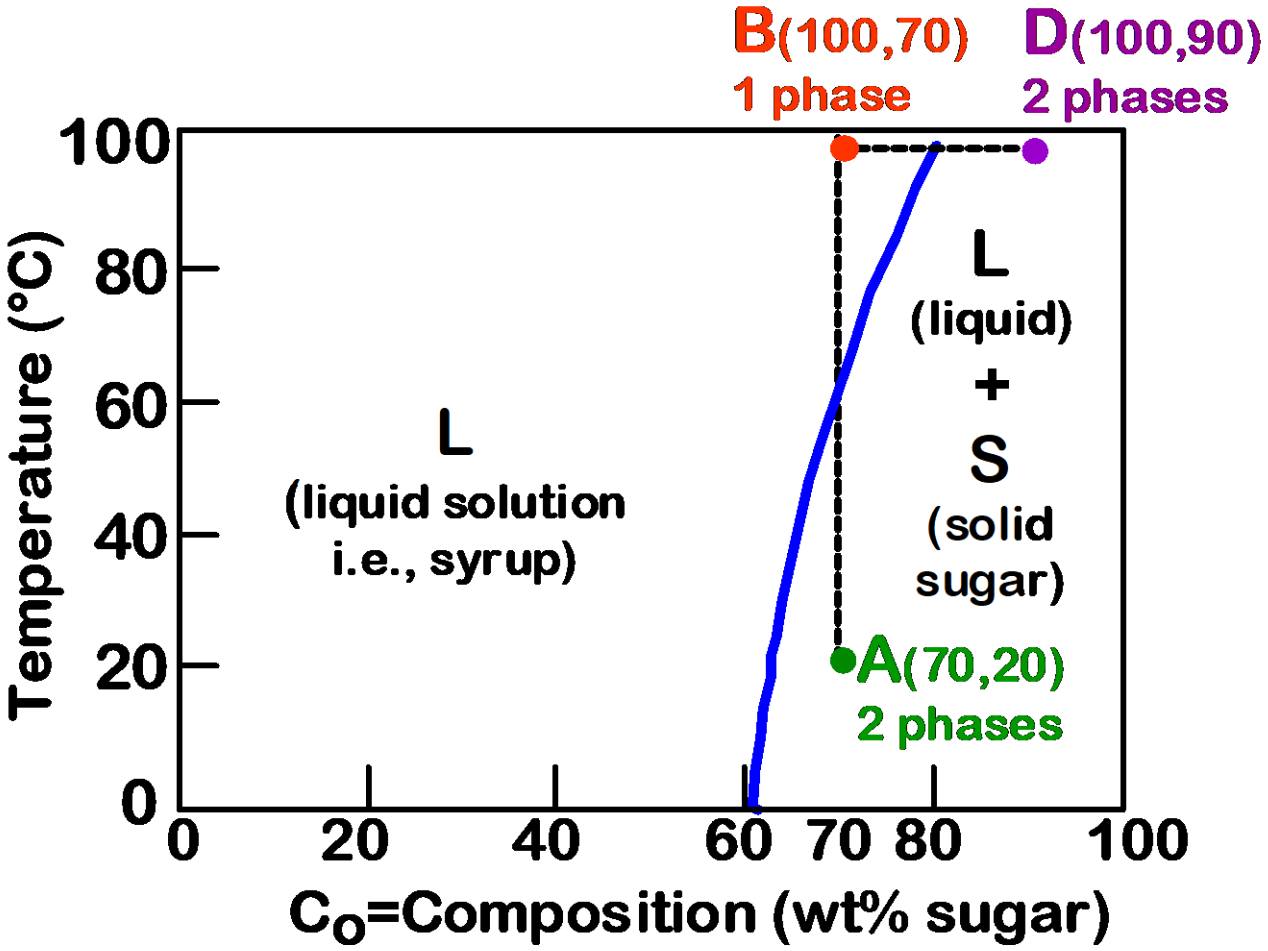
مناظقی از ماده که از نظر شیمیایی یا فیزیکی از یکدیگر متمایز باشند.



آلیاژ آلومنیوم-مس

اثر دما و ترکیب

- تغییر دما می تواند باعث تغییر فاز شود. مسیر **A** به **B**
- تغییر ترکیب **(C0)** می تواند باعث تغییر فاز شود. مسیر **B** به **D**



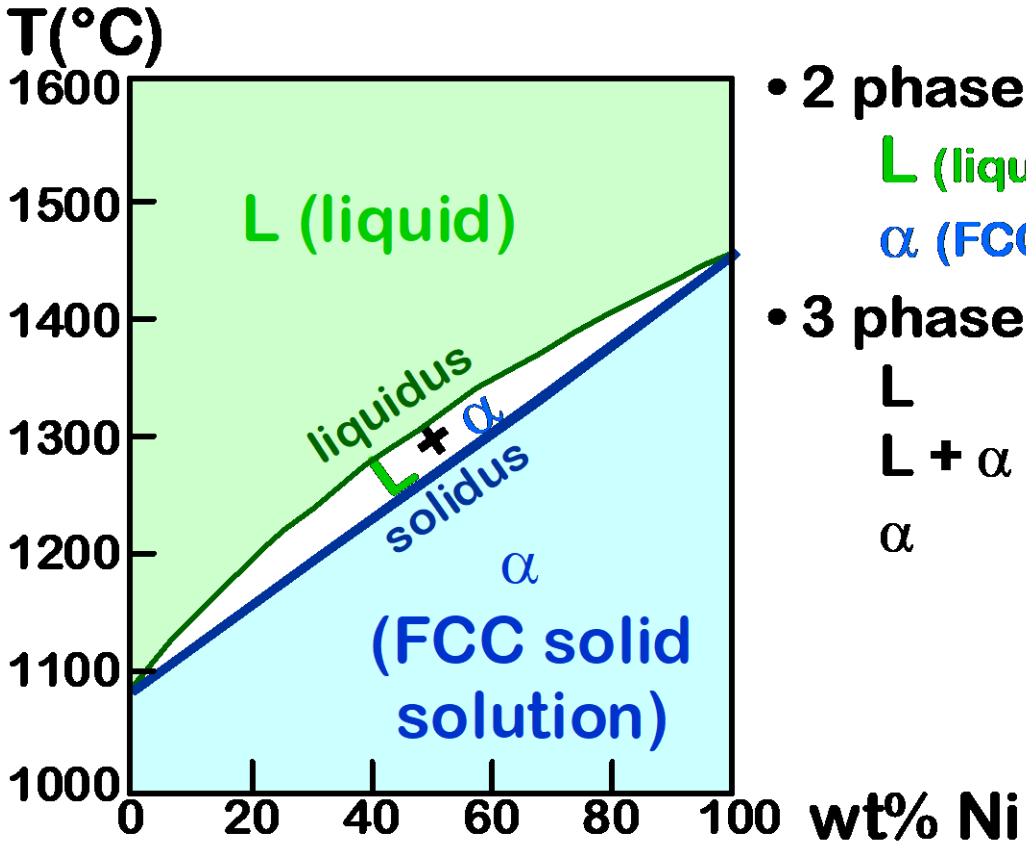
- سیستم آب و شکر

دیاگرامهای فازی

- به ما درمورد فازها به عنوان تابعی از **T**، **C0** و **P** می گوید.
- برای ایاگرامهای این درس:

-- دیاگرامها دوتایی هستند. تنها از دو جزء تشکیل شده اند.

-- متغیرهای مستقل دما و ترکیب هستند. (فشار ۱ اتمسفر است)

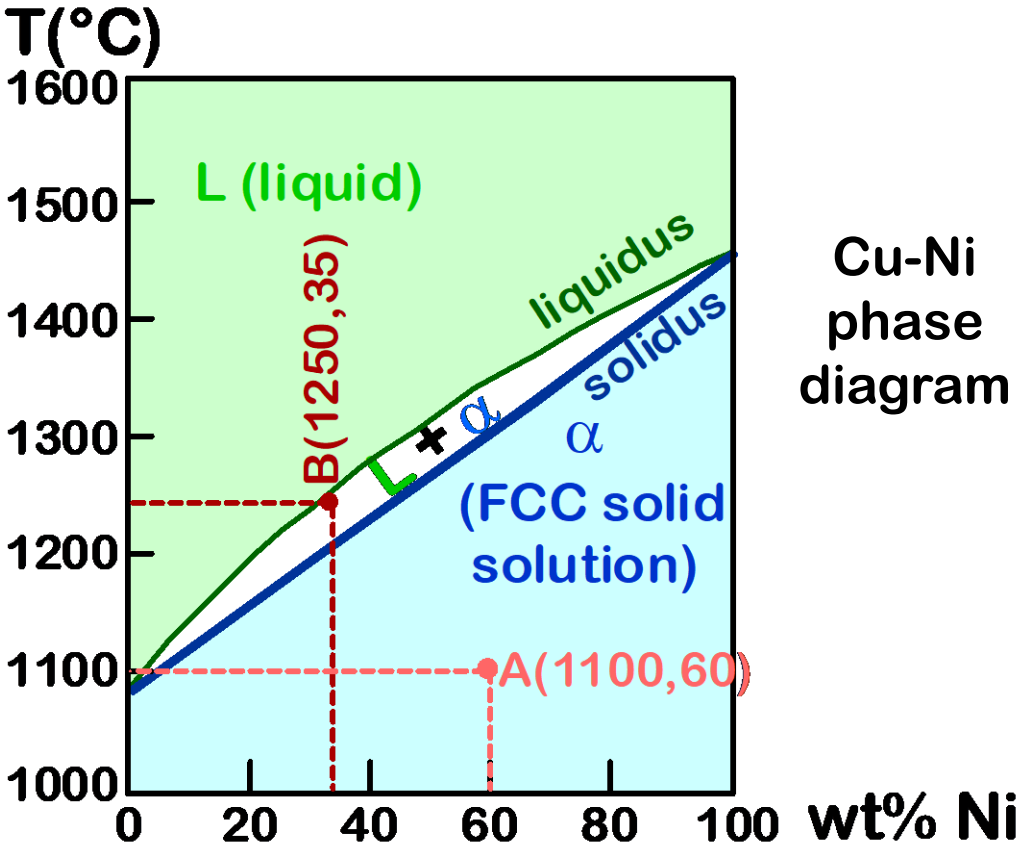


- **2 phases:**
  - **L (liquid)**
  - **α (FCC solid solution)**
- **3 phase fields:**
  - **L**
  - **L + α**
  - **α**

- دیاگرام فازی **Cu-Ni**

دیاگرامهای فازی و انواع فازها

- قانون ۱: اگر دمای **T** و ترکیب **C0** را بدانیم، پس:
  - نوع فازهای موجود را می دانیم.



Cu-Ni phase diagram

- مثال:

A(1100, 60):
1 phase: α

B(1250, 35):
2 phases: L + α

دیاگرامهای فازی: ترکیب فازها

- قانون ۲: اگر دمای **T** و ترکیب **C0** را بدانیم، پس:
  -- ترکیب هر فاز را می دانیم.

- مثالها:

C_o = 35wt%Ni

At T_A:

Only Liquid (L)

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

At T_D:

Only Solid (α)

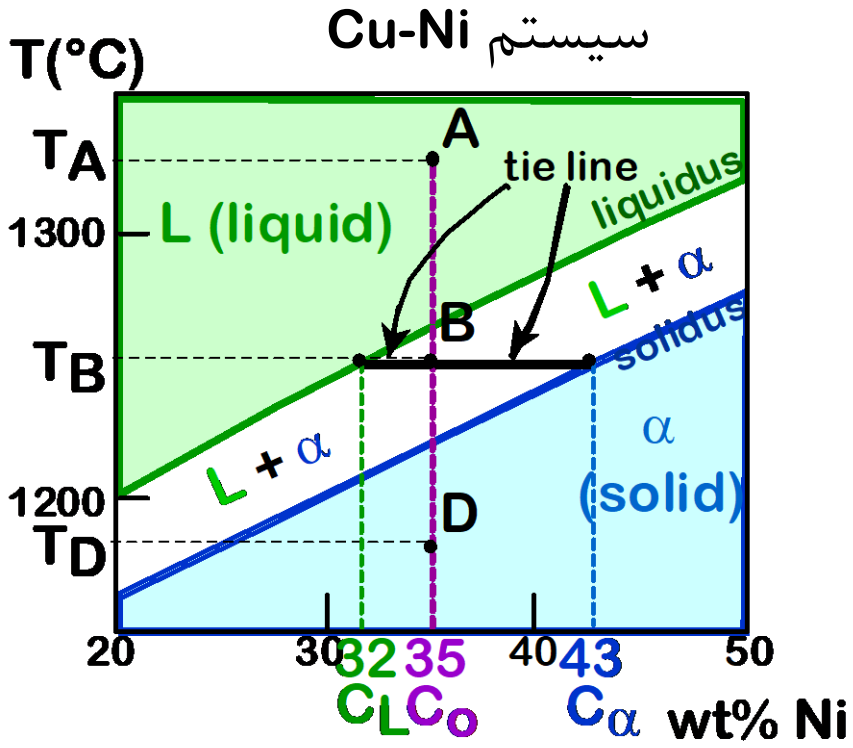
$C_\alpha = C_o$ (= 35wt% Ni)

At T_B:

Both α and L

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

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



دیاگرامهای فازی: کسر وزنی فازها

- قانون ۳: اگر دمای **T** و ترکیب **C0** را بدانیم، پس:
  - -- کسر وزنی هر فاز را می دانیم.

- مثالها:

$C_o = 35wt\%Ni$

At T_A: Only Liquid (L)

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

At T_D: Only Solid (α)

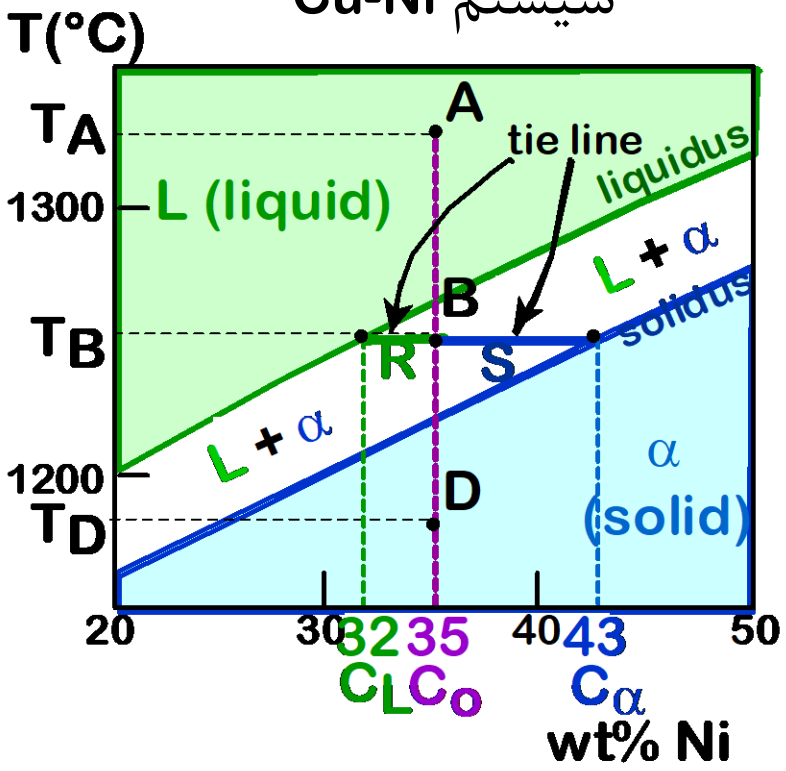
$W_L = 0, W_\alpha = 100wt\%$

At T_B: Both α and L

$$W_L = \frac{S}{R+S} = \frac{43-35}{43-32} = 73wt\%$$

$$W_\alpha = \frac{R}{R+S} = 27wt\%$$

سیستم Cu-Ni



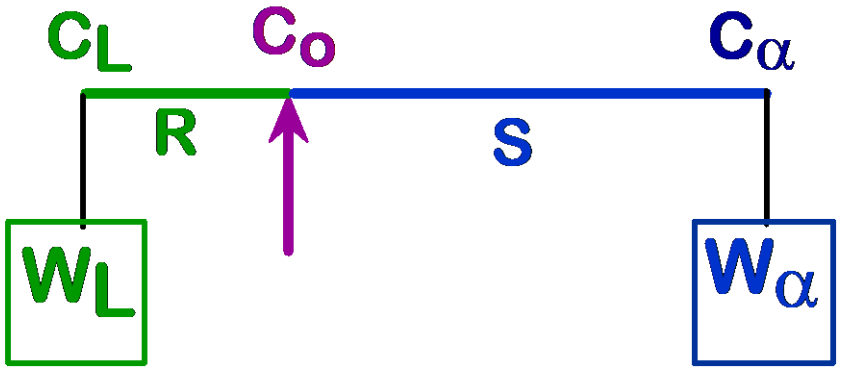
قانون اهرم: اثبات

- مجموع کسرهای وزنی: $W_L + W_\alpha = 1$
- پایستگی جرم: $C_o = W_L C_L + W_\alpha C_\alpha$
- ترکیب معادلات بالا:

$$W_L = \frac{C_\alpha - C_o}{C_\alpha - C_L} = \frac{S}{R+S}$$

$$W_\alpha = \frac{C_o - C_L}{C_\alpha - C_L} = \frac{R}{R+S}$$

- تفسیر هندسی:



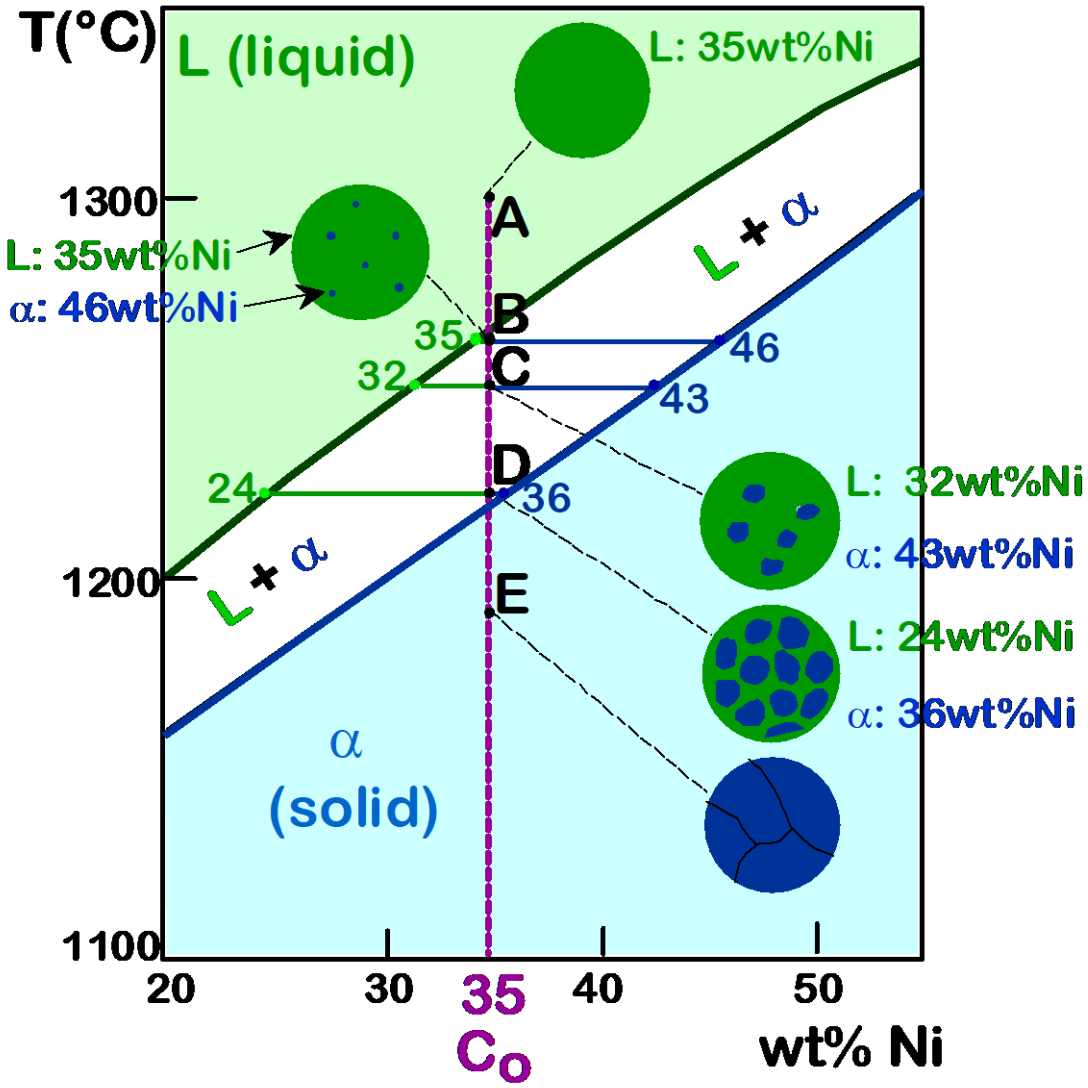
moment equilibrium:

$$W_L R = W_\alpha S$$

$$1 - W_\alpha$$

solving gives Lever Rule

مثال: سرد شدن در سیستم دوتایی Cu-Ni



- دیاگرام فازی: سیستم **Cu-Ni**

- سیستم:
  - دوتایی است.

دارای دو جزء مس و نیکل است.

--ایزومورفوس است.

حلالیت کامل یک جزء در دیگری

فاز α از صفر تا ۱۰۰ درصد نیکل گسترده است.

- ترکیب زیر را ملاحظه کنید:

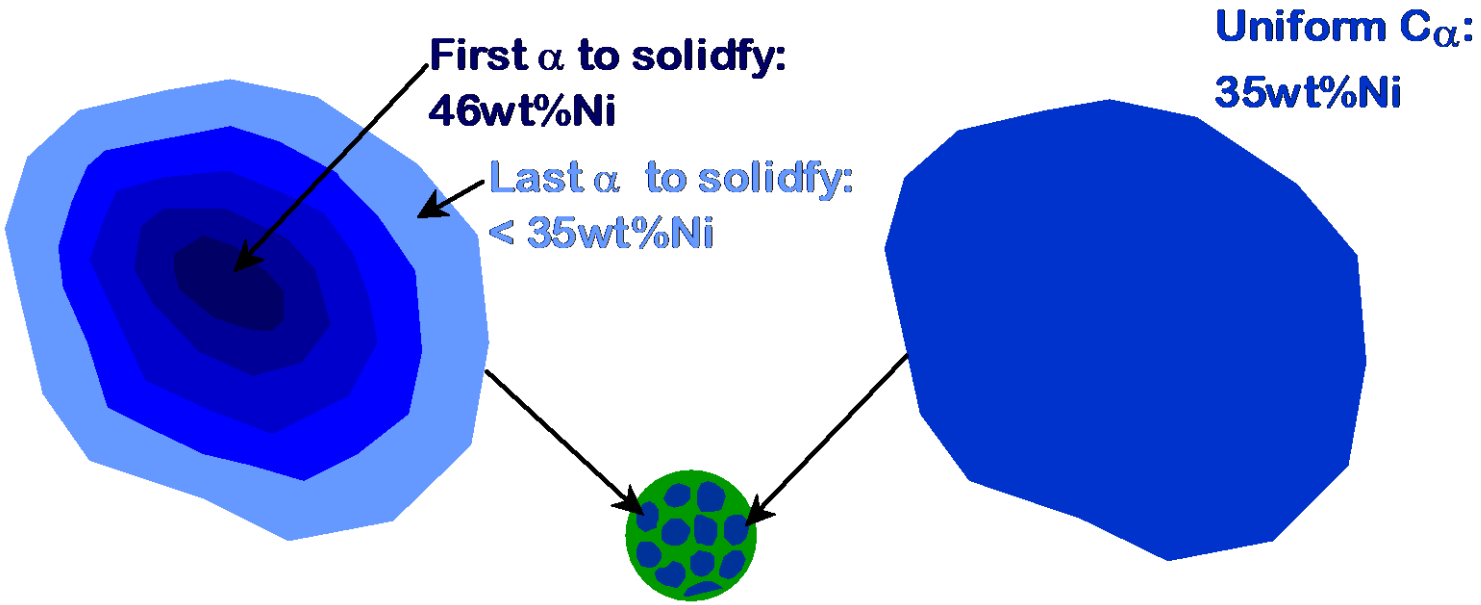
C_o = 35wt%Ni.

فازهای هسته ایی در برابر فازهای تعادلی

- C_α در حین سرد شدن تغییر می کند.
- مورد **Cu-Ni** :
  اولین α که جامد می شود دارای: C_α **= 46wt%Ni**
  آخرین α که جامد می شود دارای: C_α **= 35wt%Ni**

- نرخ سرد شدن آهسته:
  ساختار تعادلی

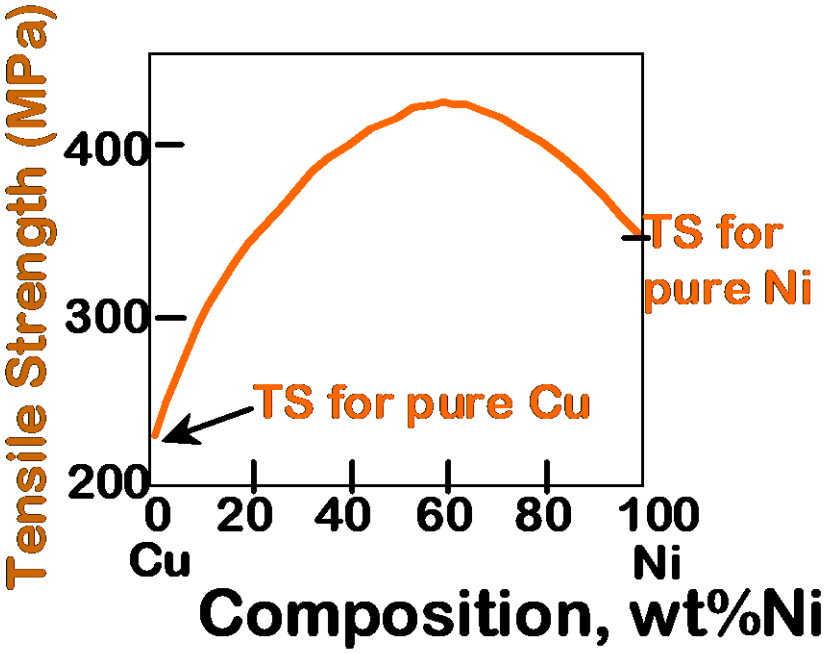
- نرخ سرد شدن سریع
  ساختار هسته ای



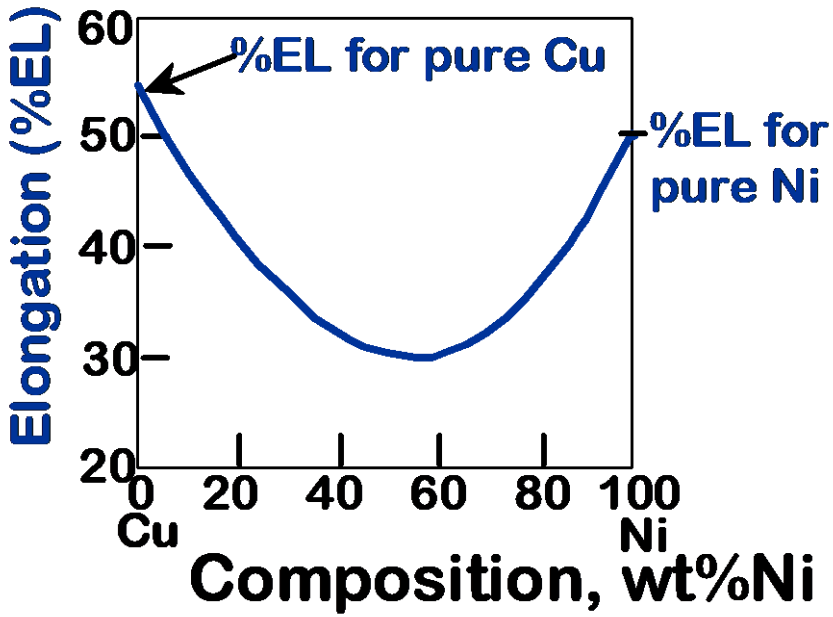
خواص مکانیکی در سیستم دوتایی Cu-Ni

- اثر استحکام دهی محلول جامد بر:

-- استحکام کششی (TS)



-- انعطاف پذیری (%EL,%AR)



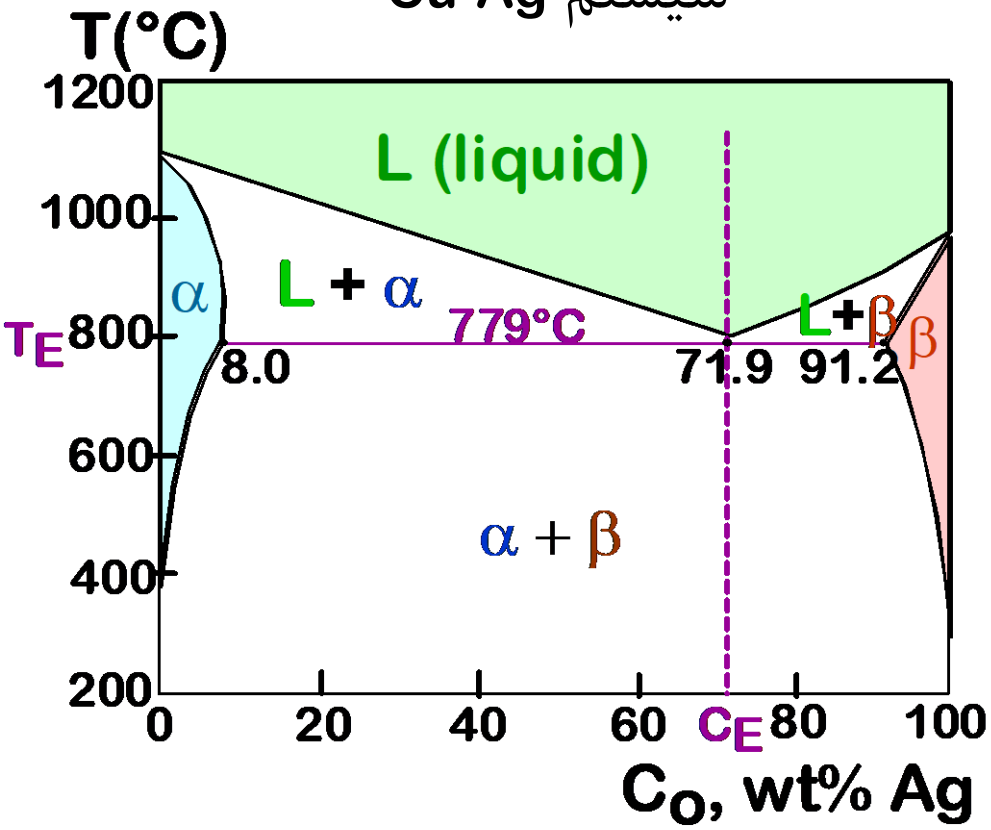
سیستم های دوتایی اوتکتیک

دارای ترکیب مشخصی با کمترین دمای ذوب

Ex.: Cu-Ag system

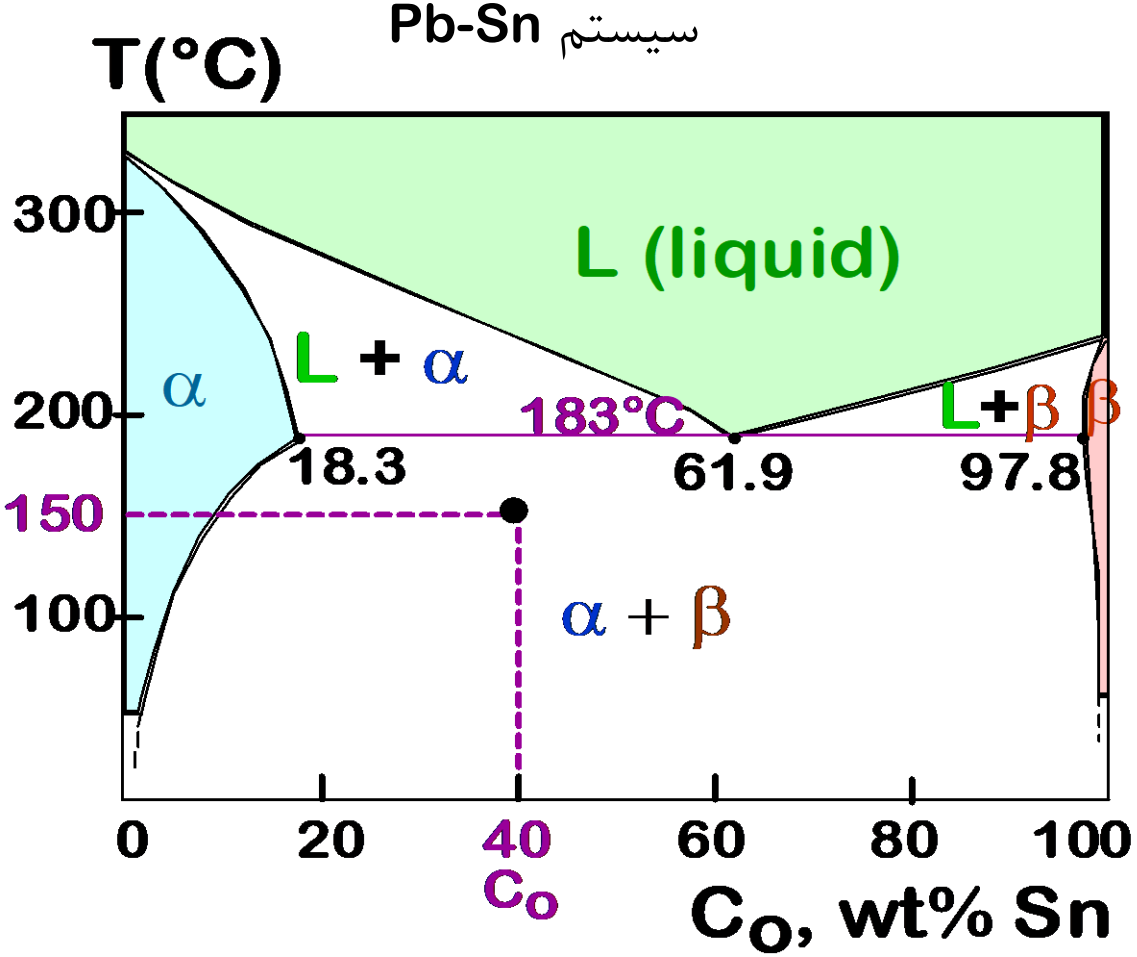
- **3 single phase regions (L, α, β)**
- **Limited solubility:**
  - **α: mostly Cu**
  - **β: mostly Ni**
- **T_E: No liquid below T_E**
- **C_E: Min. melting T composition**

سیستم Cu-Ag



مثال: سیستم دوتایی اوتکتیک Pb-Sn

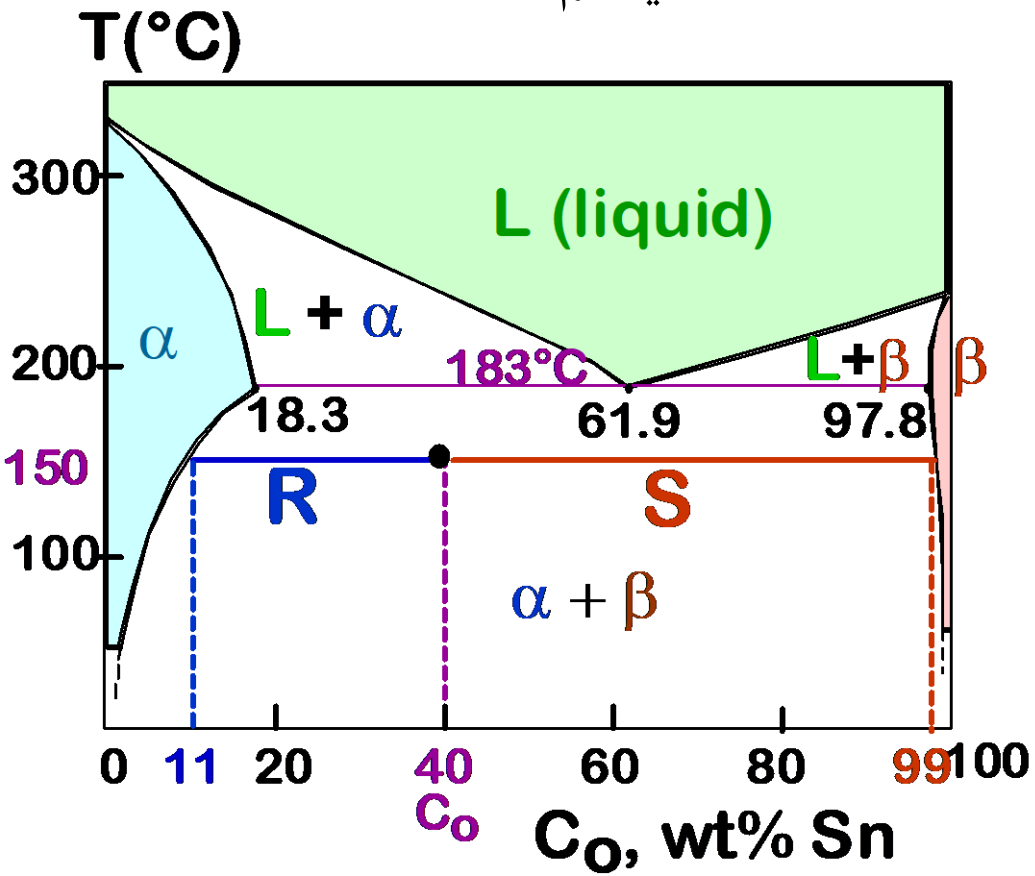
- برای آلیاژ **40wt%Sn-60wt%Pb** در دمای ۱۵۰ درجه سانتیگراد، پیدا کنید:
  -- فازهای موجود: $\alpha + \beta$
  -- ترکیب فازها:



مثال: سیستم دوتایی اوتکتیک Pb-Sn

- برای آلیاژ **40wt%Sn-60wt%Pb** در دمای ۱۵۰ درجه سانتیگراد، پیدا کنید:
  - -- فازهای موجود: $\alpha + \beta$
  - -- ترکیب فازها:

سیستم Pb-Sn



$C\alpha = 11wt\%Sn$

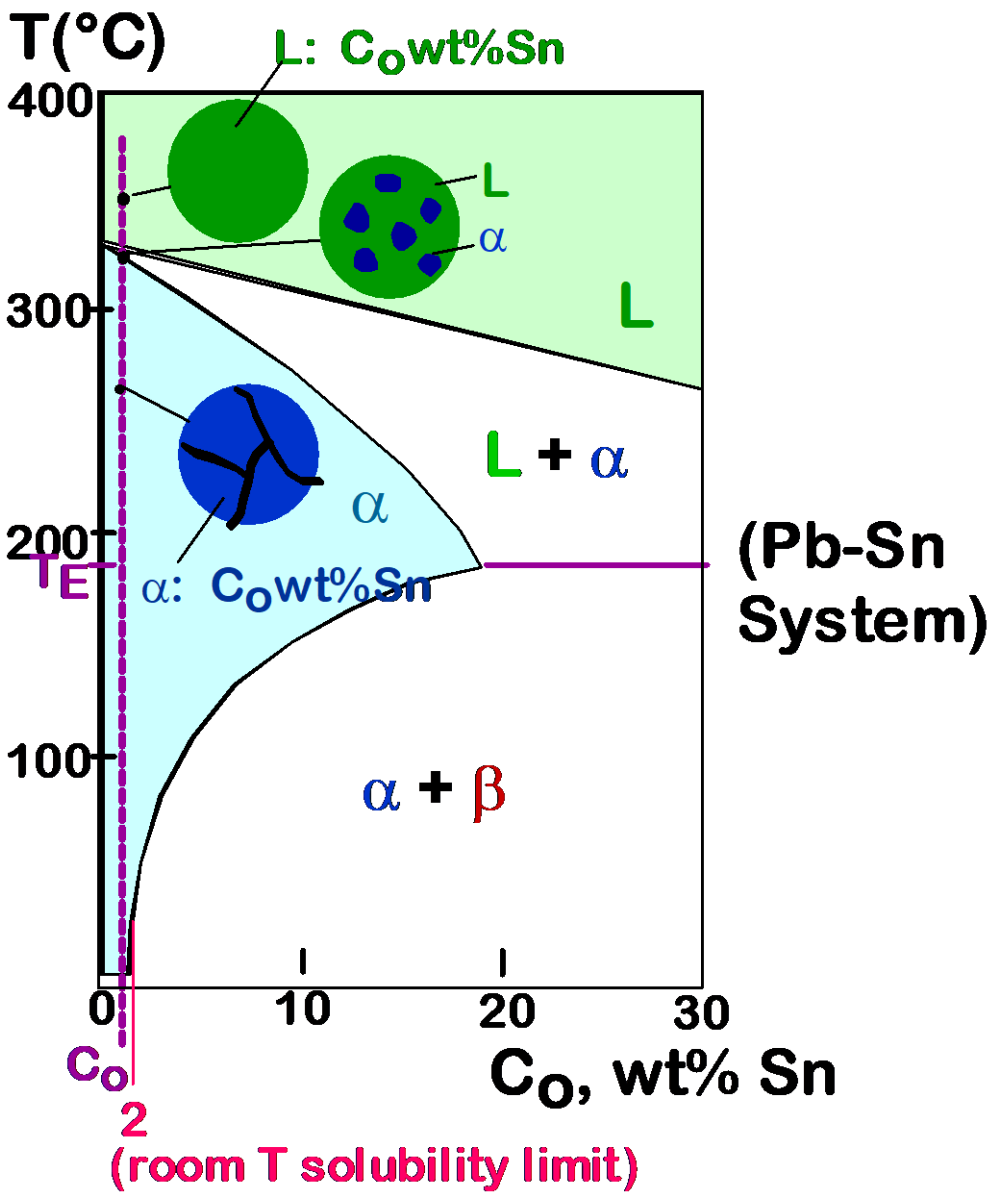
$C\beta = 99wt\%Sn$

- مقدار نسبی هر فاز:

$$W_\alpha = \frac{59}{88} = 67wt\%$$

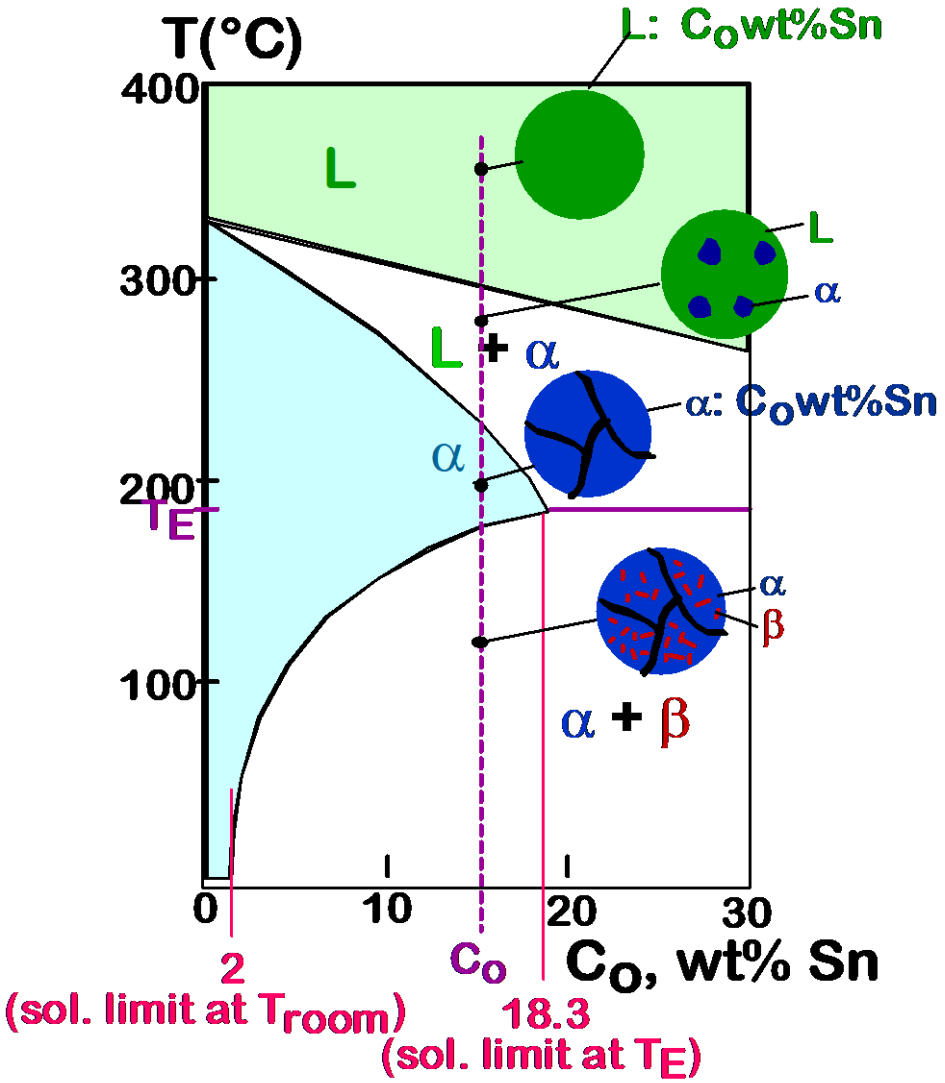
$$W_\beta = \frac{29}{88} = 33wt\%$$

میکروساختارها در سیستم های اوتکتیک-۱



- C_o < 2wt%Sn
- نتیجه:
  - بسبلور دانه های α

میکروساختارها در سیستم های اوتکتیک-۲

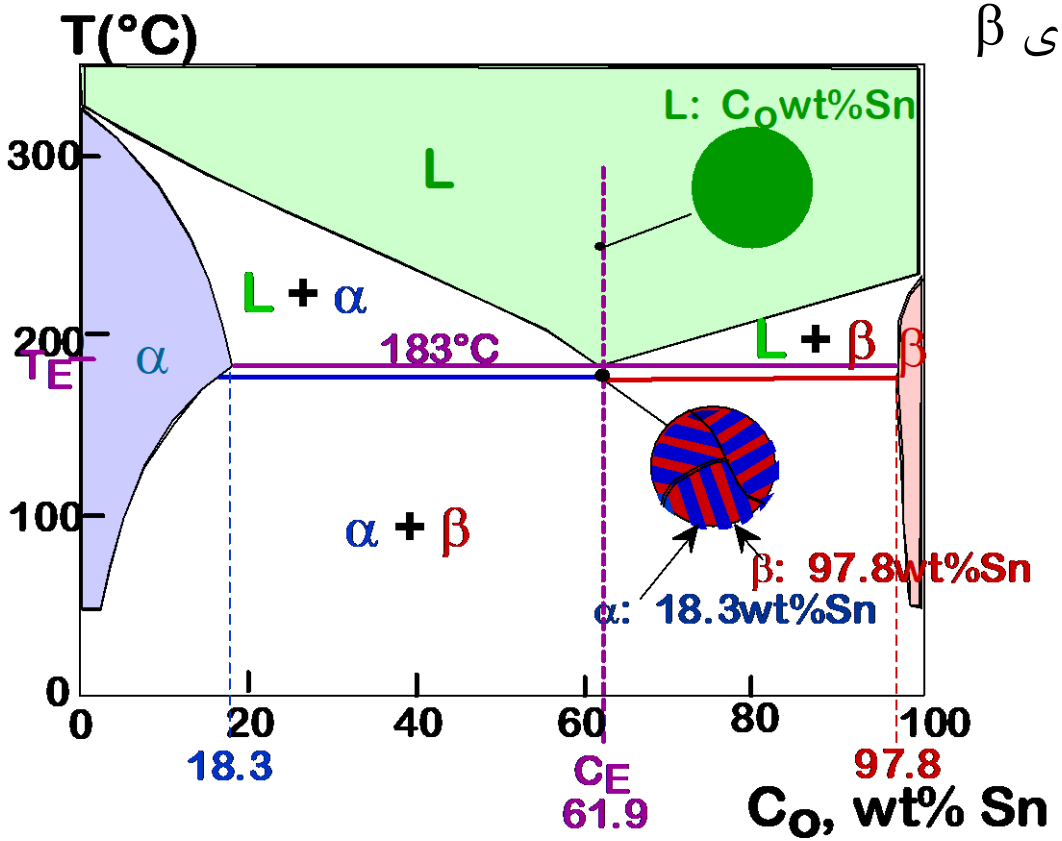


- 2wt%Sn < C_o < 18.3wt%Sn

- نتیجه:
  - بسبلور α با کریستالهای ریز β

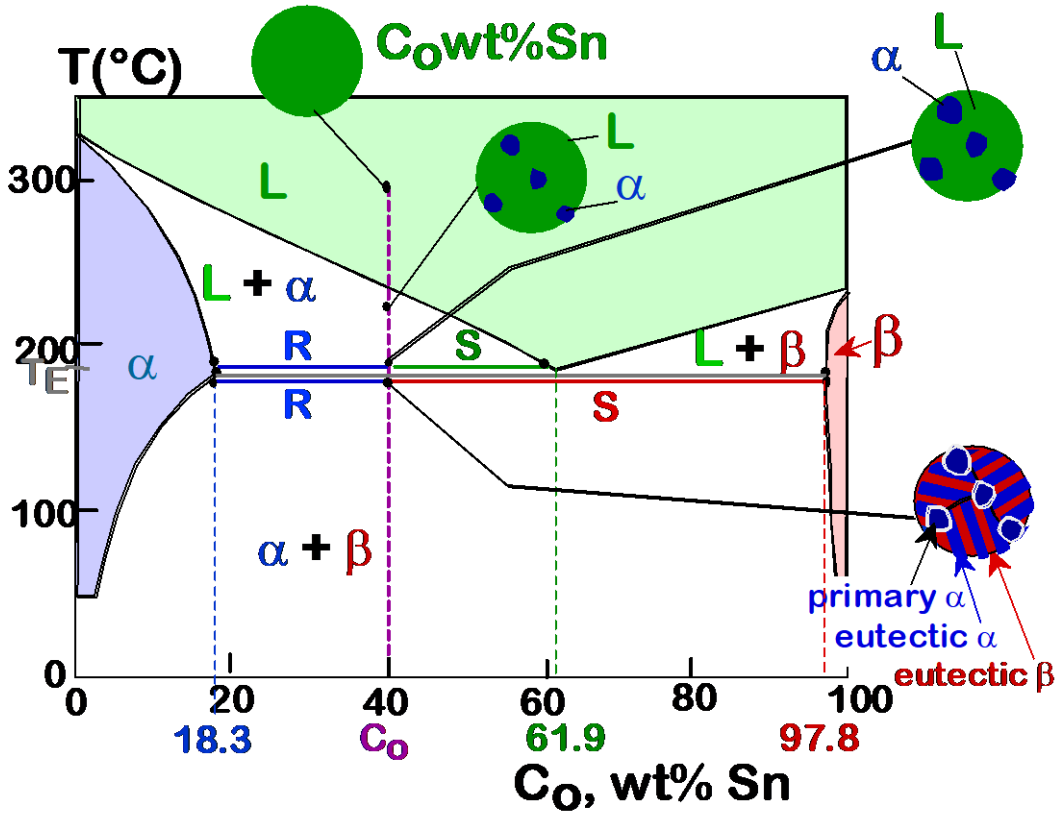
میکروساختارها در سیستم های اوتکتیک-۳

- $C_o = C_E$
- نتیجه: میکروساختار اوتکتیک
  - -- لایه های متناوب α و کریستالهای β



میکروساختارها در سیستم های اوتکتیک-۴

- 18.3wt%Sn < C_o < 61.9wt%Sn
- نتیجه: کریستالهای α و میکروساختار اوتکتیک



- **Just above T_E:**

C_α = 18.3wt%Sn

C_L = 61.9wt%Sn

$W_\alpha = \frac{S}{R+S}$ =50wt%

$W_L = (1-W_\alpha)$ =50wt%

- **Just below T_E:**

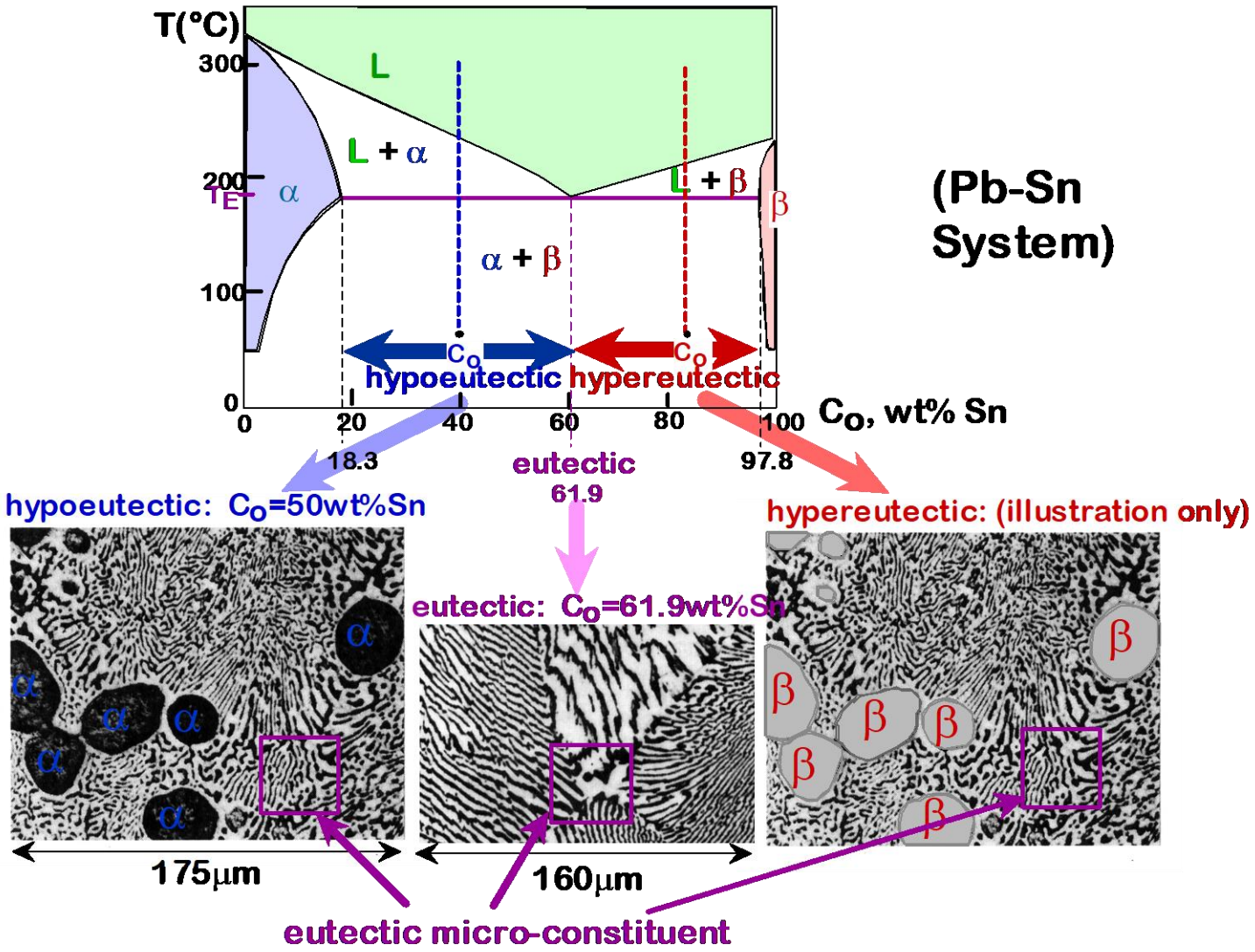
C_α = 18.3wt%Sn

C_β = 97.8wt%Sn

$W_\alpha = \frac{S}{R+S}$ =73wt%

W_β = 27wt%

هایپو اوتکتیک و
هایپر اوتکتیک



دیاگرام فازی آهن-کربن (Fe-C)

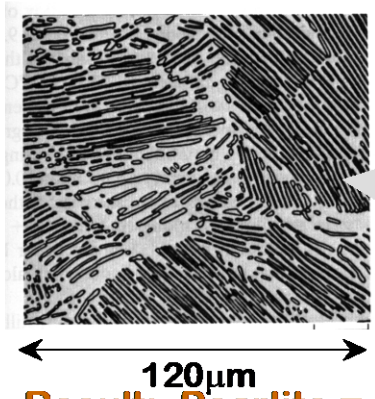
- 2 important points

-Eutectic (A):

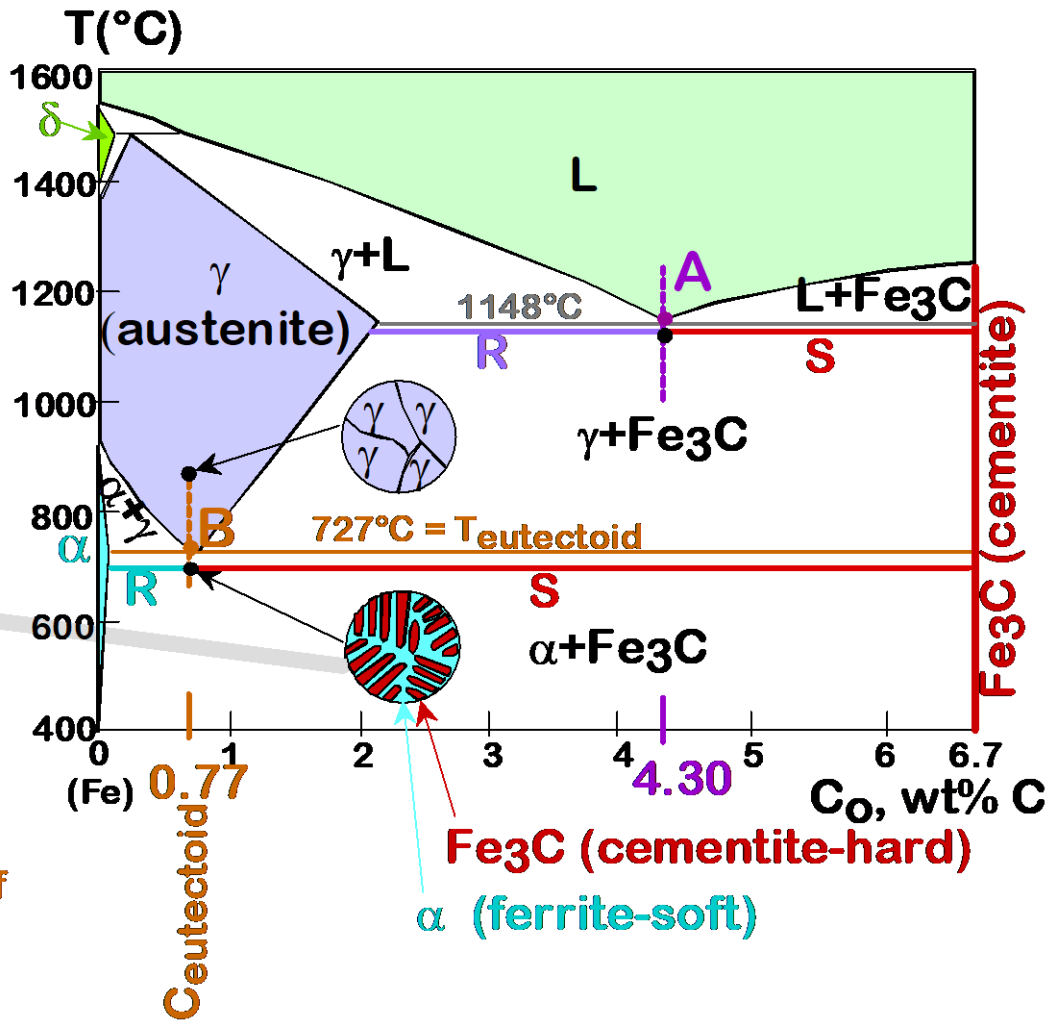
$L \Rightarrow \gamma + Fe_3C$

-Eutectoid (B):

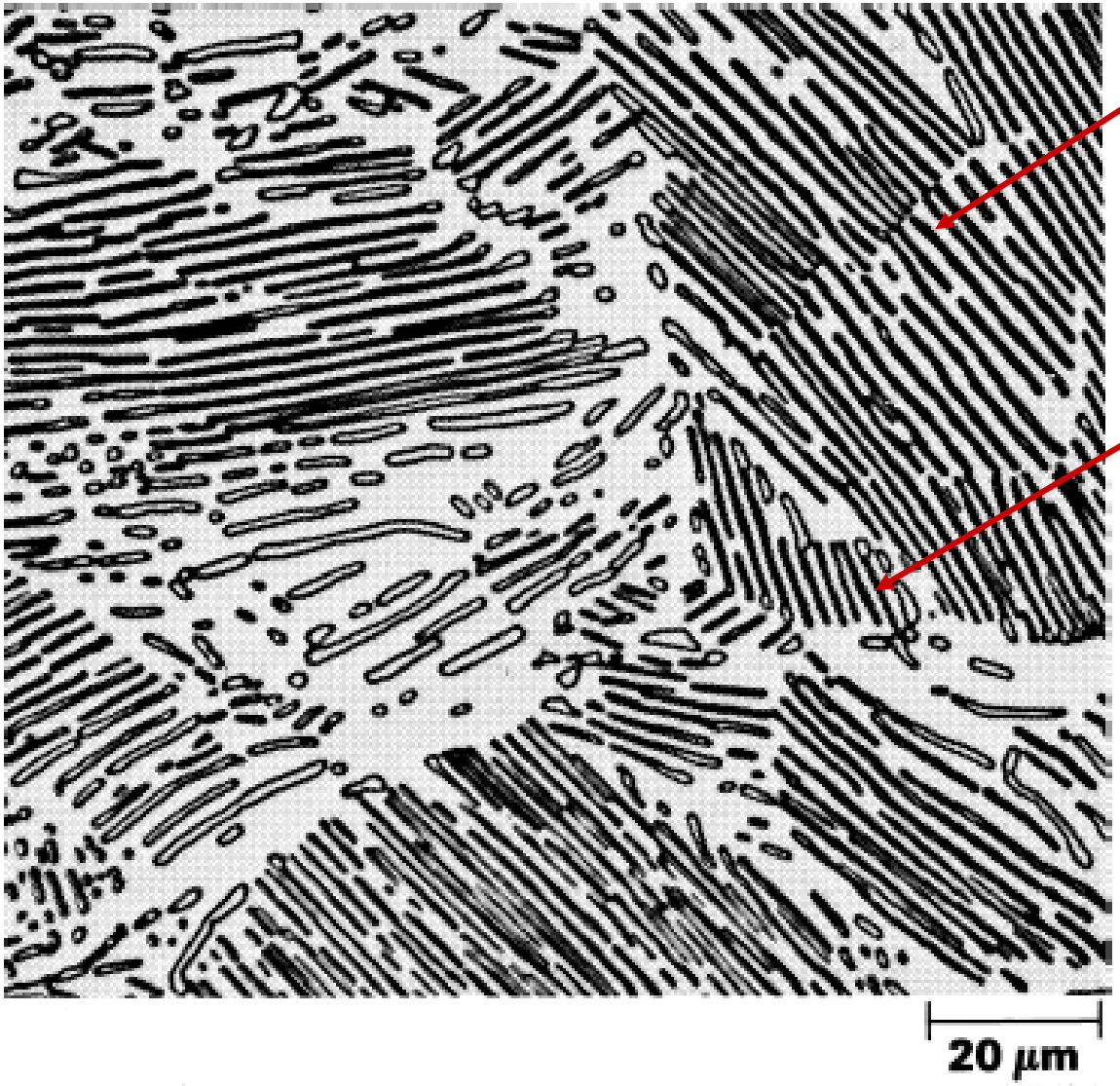
$\gamma \Rightarrow \alpha + Fe_3C$



Result: Pearlite = alternating layers of α and Fe_3C phases.



میکروساختار پرلیت



- آهن خالص قبل از ذوب دو تغییر در ساختار کریستالی را تجربه می کند. آهن در دمای محیط (زیر ۹۱۲ درجه سانتیگراد) دارای فاز **فریت** یا آلفا بوده که دارای ساختار BCC است. از ۹۱۲ درجه سانتیگراد به بالا به آهن گاما یا فاز **آستنیت** تبدیل می شود که دارای ساختار FCC است. آهن در دمای ۱۴۰۰ درجه به آهن دلتا با ساختار BCC تبدیل می شود.
- دیاگرام آهن کربن دارای فازهای مختلف مایع، فریت، استنیت و سمنتیت (Fe3C) است. این دیاگرام از درصد کربن ۶.۷ به بعد به طور عمده شامل فاز سمنتیت است.
- در دیاگرام آهن-کربن، آلیاژ آهن –کربن که از ۰.۰۰۸ تا ۲.۱۴ درصد کربن داشته باشد را فولاد گویند. اگر میزان کربن بین ۲.۱۴ تا ۶.۷ درصد باشد، آلیاژ را چدن گویند هرچند چدنهای تجاری حداکثر ۴.۵ درصد کربن دارند.

فازهای مهم در سیستم آهن-کربن

- **عملیات حرارتی:** هنر و علم کنترل انرژی حرارتی برای هدف تغییر خواص آلیاژها

- **فریت (α-Fe) :** یا آهن خالص، و محلول جامد بین نشینی کربن در آهن با ساختار BCC

فریت می تواند 0.022% کربن را در دمای 727°C در خود حل کند.

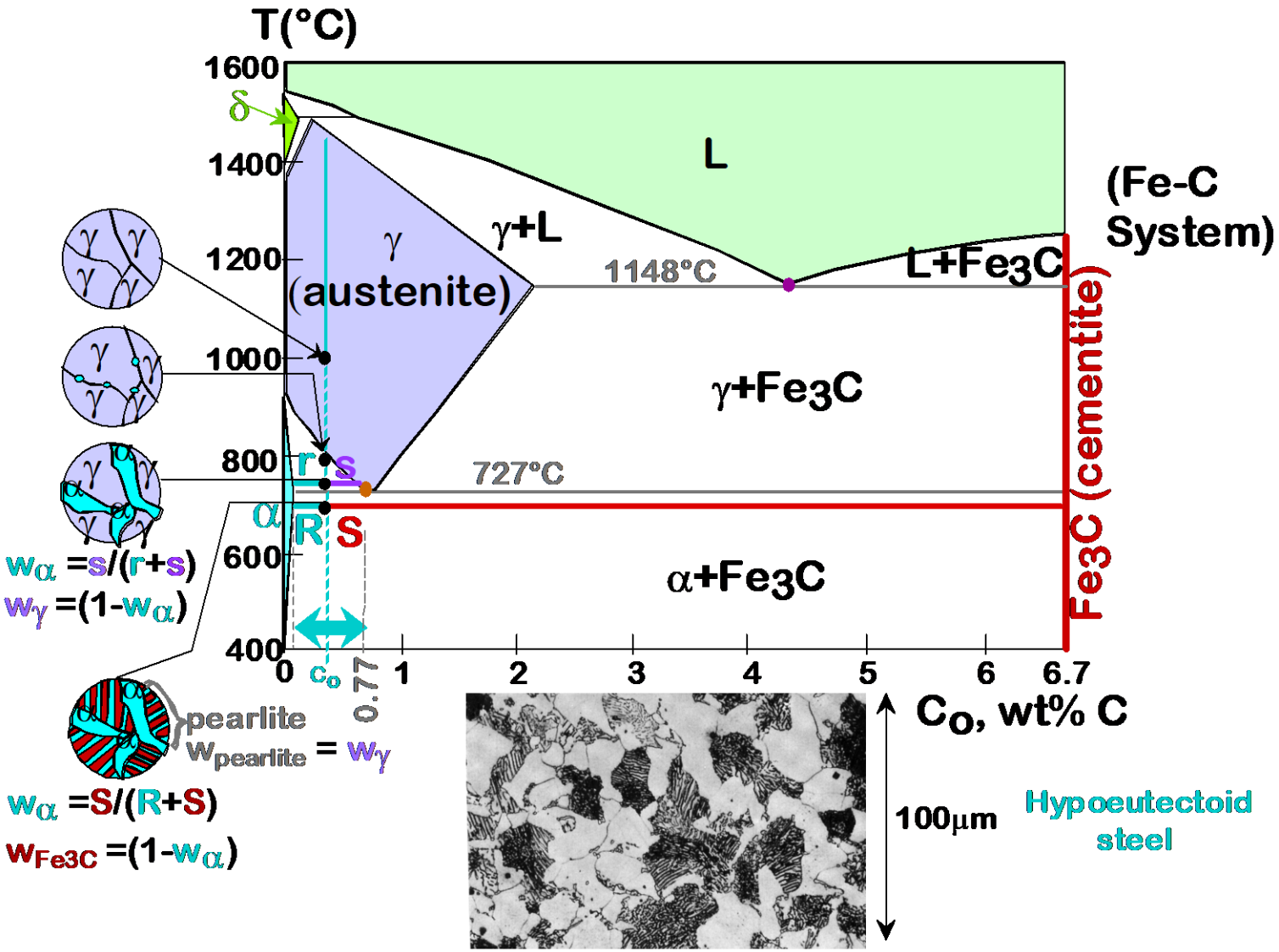
- **آستنیت (γ-Fe):** یک محلول جامد تک فاز با ساختار FCC

آهن α با ساختار BCC در دمای 912°C به تبدیل FCC می شود.

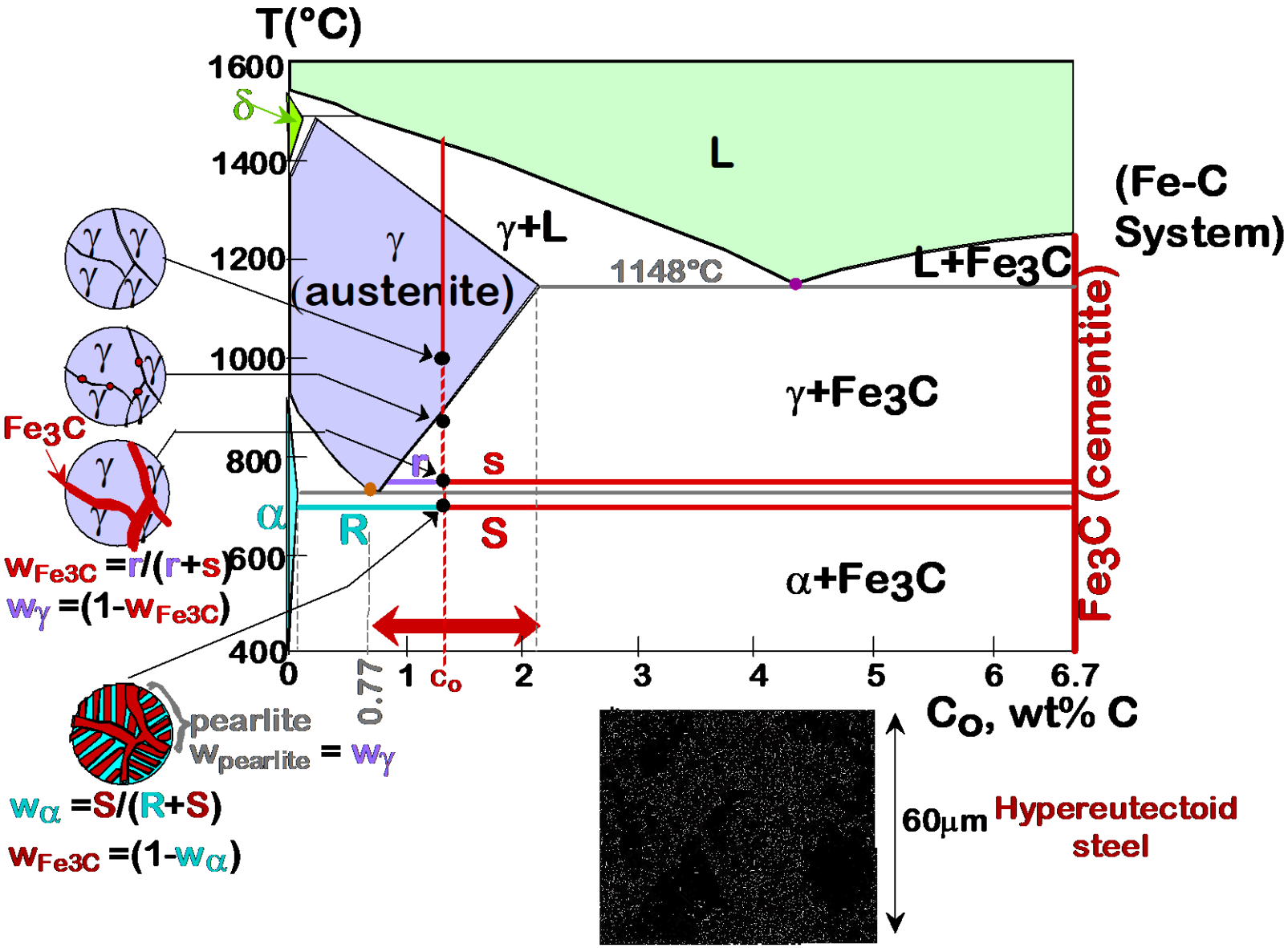
ویژگیها: فاز انعطاف پذیری بوده و قادر است در دمای 1147°C به مقدار 2.14% کربن در خود حل کند.

- **سمنتیت (Fe_3C):** یک ترکیب بین فلزی است که دارای 6.70% کربن بوده و بسیار سخت و ترد است.

فولاد هایپو اتکتوئید

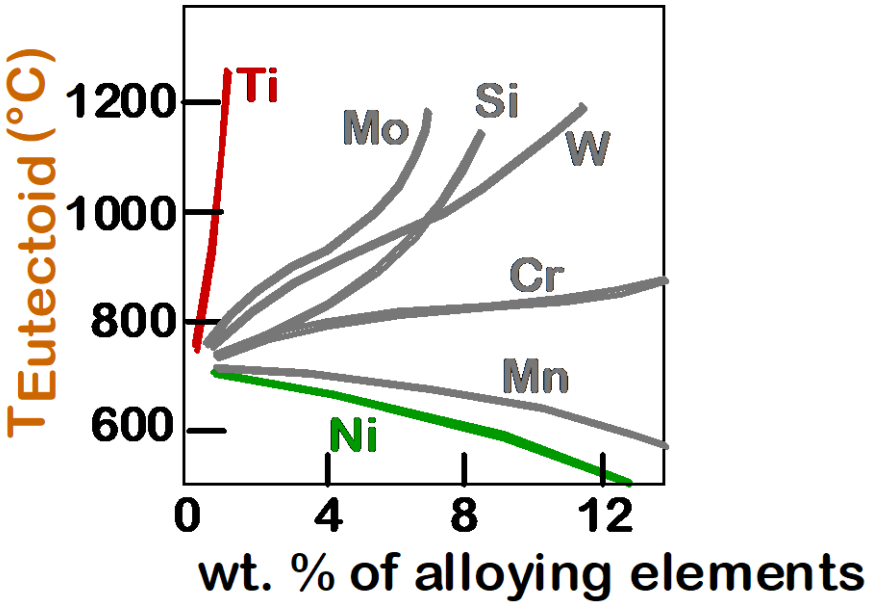


فولاد هایپر اتکتوئید

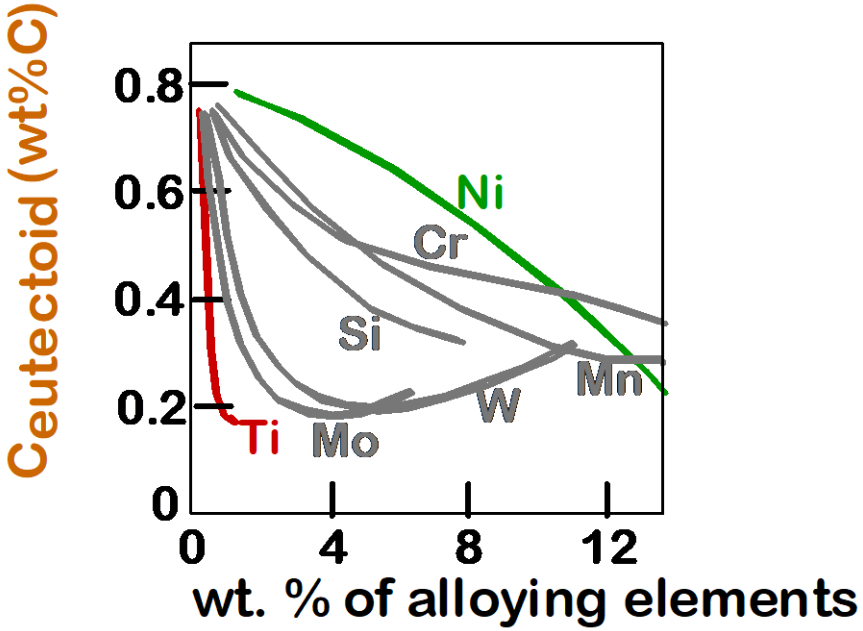


فولاد هایپر آلیاژی با عناصر بیشتر

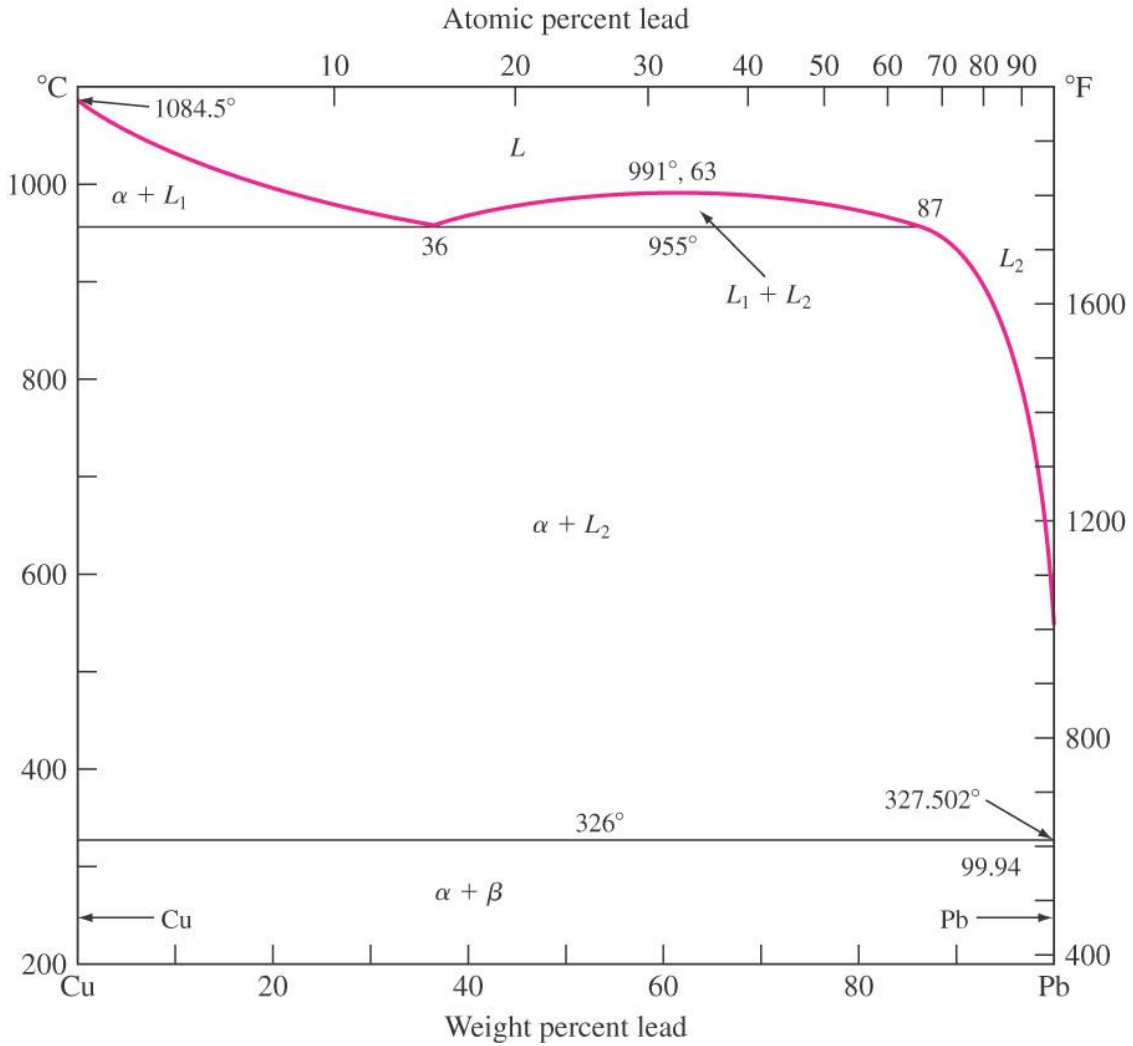
• تغییرات: $T_{eutectoid}$



• تغییرات: $C_{eutectoid}$

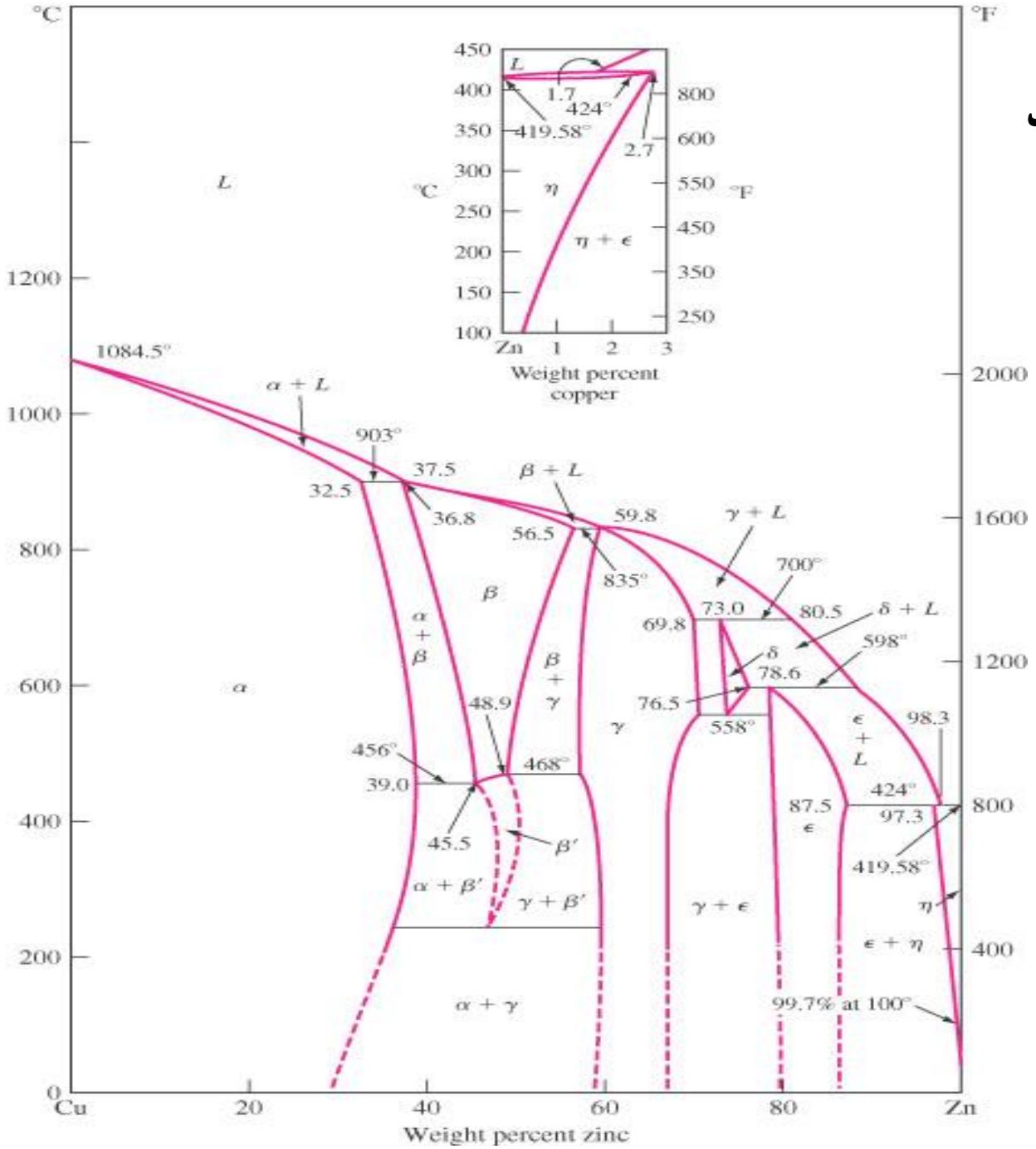


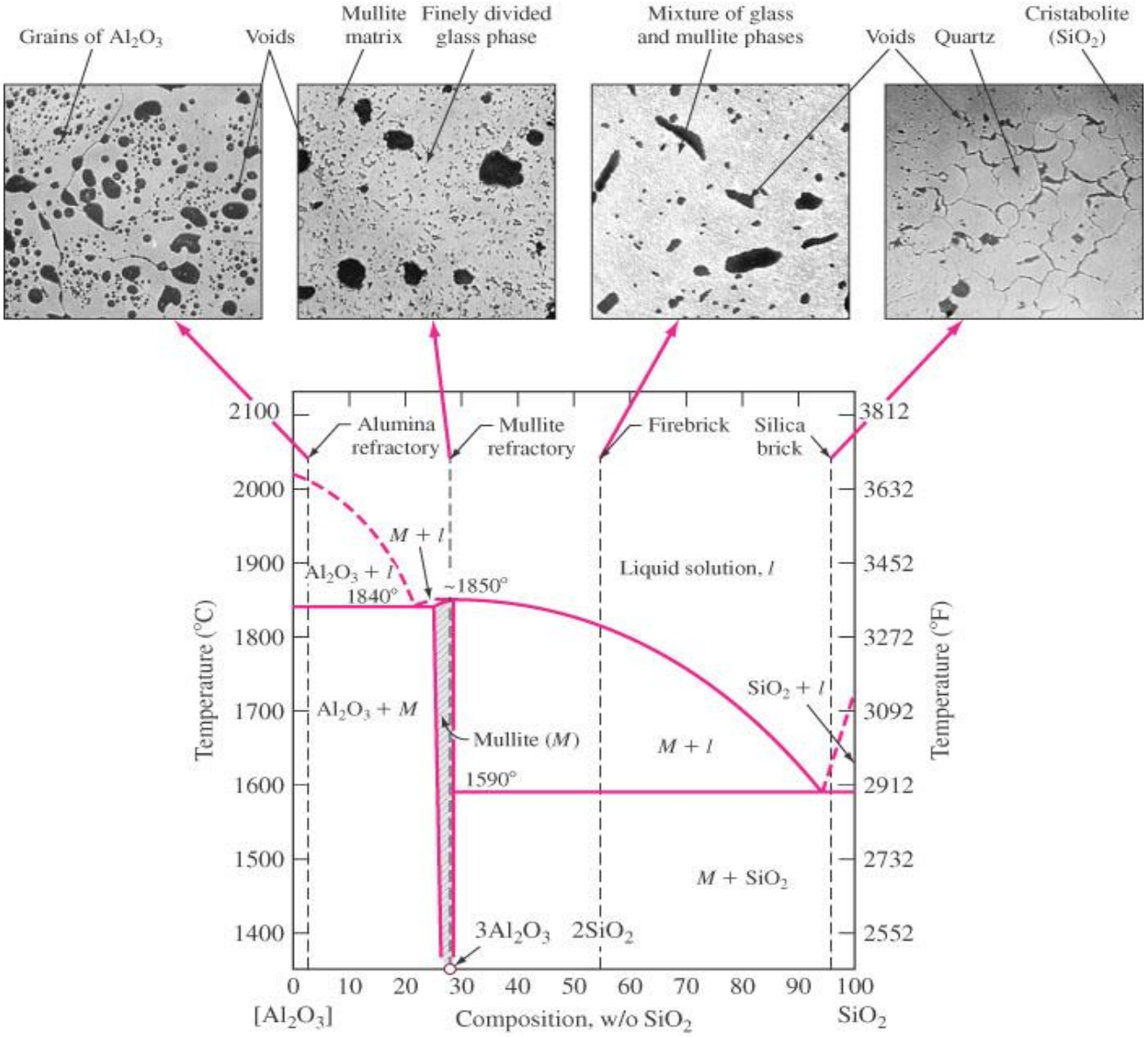
دیاگرامهای فازی پیچیده



دیاگرام فازی مونوتکتیک

برهمکنشهای اوتکتوئید و پریتکتیک





فازهای سرامیکی

و

سمنت ها