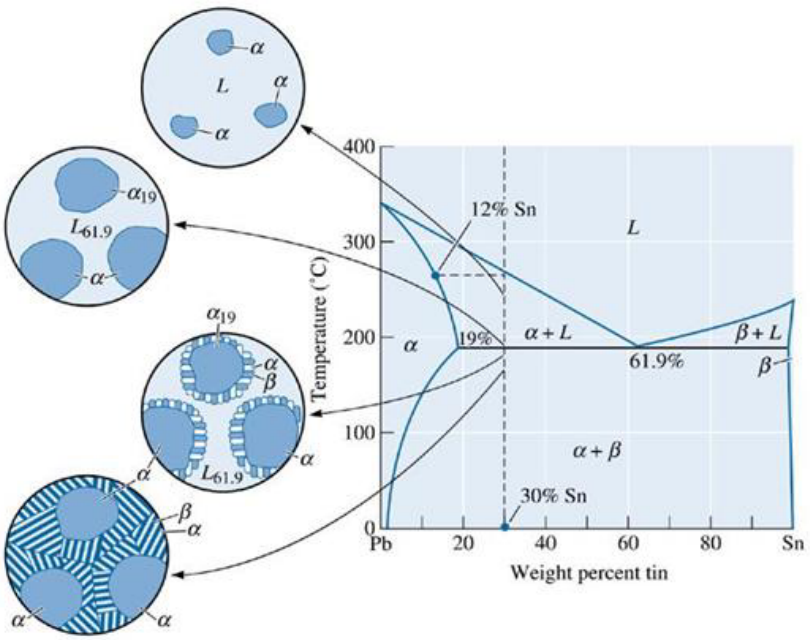
منحنی سرد شدن یک آلیاژ یوتکتیک مشابه منحنی سرد شدن یک فلز خالص است. از آن جایی ترکیب شیمیایی دو فاز جامدی که باید هنگامی سرد شدن زیر دمای یوتکتیک تشکیل شوند بسیار متفاوت با ترکیب شیمیایی مذاب یوتکتیک است پس انجماد نیازمند توزیع مجدد اتمی و نفوذ اتمی است. این امر موجب شکل گیری یک ریز ساختار مشخصه در بسیاری از آلیاژهای یوتکتیک می‌شود. فرض کنید ابتدا فاز α با ترکیب Pb-19% Sn از مذاب Pb-61.9% Sn تشکیل شود. برای این کار، اتم های Sn در محل تشکیل فاز α باید به اطراف نفوذ کرده و درصد Sn در آن منطقه را پائین بیاورند. این کار موجب افزایش غلظت Sn در مجاورت فاز α می‌شود و بدین ترتیب شرایط برای تشکیل فاز β که غنی از Sn است( Pb-97.5% Sn) مهیا می‌شود. این فرآیند به همین ترتیب ادامه می‌یابد (شکل ۲۱)

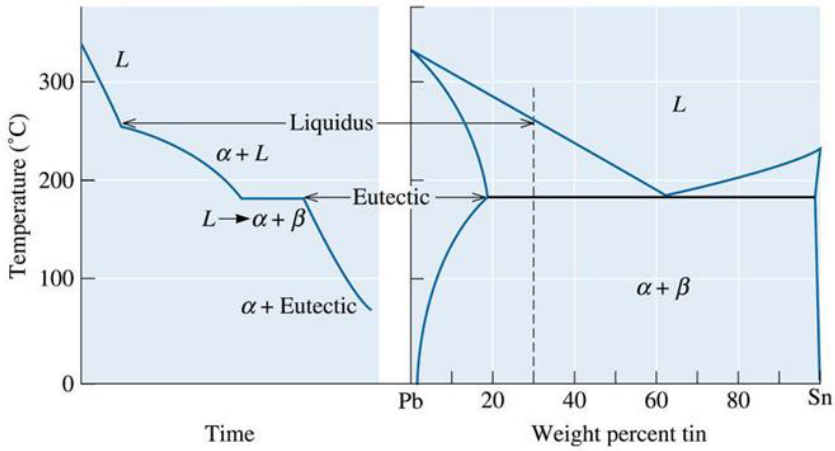
**تذکر:** به منظور افزایش سرعت واکنش و کوتاه شدت مسیر نفوذ اتمی ساختار بسیاری از آلیاژهای یوتکتیک لایه ای است.

### ت- آلیاژهای هیپووهایپروتکتیک

برای مثال تحولات ریز ساختاری یک آلیاژ هیپویوتکتیک Pb- 12% Sn را در نظر بگیرید. با کاهش دما تا زیر دمای لیکدوس، ابتدا هسته های فاز α جوانه زده و با کاهش بیشتر دما هم مقدار فاز α و مذاب و هم ترکیب شیمیایی آنها تغییر می‌کند. درست پیش از دمای یوتکتیک هنوز مقداری فاز مذاب با ترکیب 61.9% Sn ـpb وجود دارد که با سرد کردن آلیاژ، درست زیر دمای یوتکتیک، مشابه یک آلیاژ یوتکتیک منجمد می‌شود. (شکل ۲۲). منحنی سرد شدن این آلیاژ در شکل ۲۳ نشان داده شده است.




شکل ۲۲- تحولات ریزساختاری حین انجماد یک آلیاژ هیپو یوتکتیکی




شکل۲۳-منحنی سرد شدن یک آلیاژ هیپویوتکتیک و ارتباط آن با دیاگرام فازی

**تذکر ۱:** آنالیز فازی تمام آلیاژهایی که استحاله یوتکتیک را پشت سر می‌گذارنند متشکل از دو فاز $\beta,\alpha$ است. اما آلیاژهای هیپویوتکتیک شامل دو جزء ریز ساختاری فاز اولیه $\alpha$ و جزء یوتکتیکی هستند و آلیاژهای هایپریوتکتیک شامل دو جزء ریز ساختاری فاز اولیه $\beta$ و جزء یوتکتیکی هستند. آلیاژ یوتکتیک از یک جزء ریز ساختاری یوتکتیک تشکیل شده است.

**تذکر ۲:** جزء ریز ساختاری یوتکتیک یک فاز نیست! بلکه متشکل از دو فاز است.

**تذکر ۳:** مقدار درصدی از کل آلیاژ که به صورت یوتکتیکی منجمد می‌شود برابر است با مقدار درصد مذابی که درست در بالای دمای یوتکتیک به ترکیب شیمیایی یوتکتیک رسیده است.

**تذکر ۴:** آلیاژهای یوتکتیکی همواره به صورت لایه ای منجمد نمی شوند.

**مثال:** با توجه به دیاگرام Ag-Cu در آلیاژ Ag-20% Cu مقادیر زیر را محاسبه کنید:

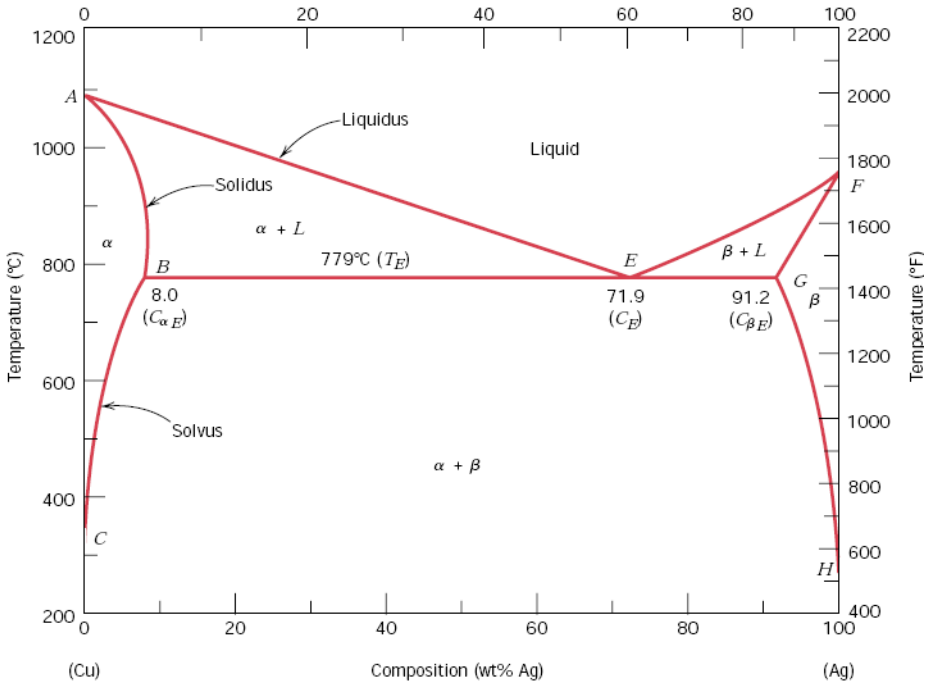
۱) درصد فازهای موجود درست در بالای دمای یوتکتیک

۲) درصد فازهای موجود درست در پائین دمای یوتکتیک

۳) درصد اجزای ریز ساختاری سازنده آلیاژ درست در پائین دمای یوتکتیک

۴) درصدی از آلیاژ که به صورت یوتکتیکی منجمد شده است.

۵) مقدار فاز $\alpha$ حامل از واکنش یوتکتیکی




شکل ۴ ۲

**حل:**

۱) یک تای لاین درست در بالای دمای یوتکتیک رسم می‌کنیم، داریم:

$$\% \alpha = \frac{28.1-20}{28.1-8.8} \quad 100 = 41.9\%$$

$$\%L = 100 - 41.9 = 58.1\%$$

۲) یک تای لاین درست در پائین دمای یوتکتیک رسم می‌کنیم، داریم:

$$\% \alpha = \frac{93-20}{93-8.8} \quad 100 = 86.7\%$$

$$\%\beta = 100 - 86.7 = 13.3\%$$

آنالیز فازی آلیاژی درست در پائین دمای یوتکتیک به صورت فوق است.

۳و۴و۵) ریز ساختار این آلیاژ هیپویوتکتیک متشکل از دو جزء ریز ساختاری $\alpha$ اولیه و ساختار یوتکتیکی است.

درصد فاز جامد درست در بالای دمای یوتکتیک = درصد فاز اولیه منجمد شده پس

درصد $\alpha$ ی اولیه $= \% \alpha_p = 41.9\%$

درصد ساختار یوتکتیکی (یا قسمتی از آلیاژ که به صورت یوتکتیکی منجمد شده است) را می‌توان به دو روش محاسبه کرد:

**روش اول :** ساختار یوتکتیکی متشکل از $\beta, \alpha$ حاصل از واکنش یوتکتیک است.

درصد ساختار یوتکتیکی $= \alpha_E + \beta_E$

درصد فاز $\alpha$ درصد بالای خط یوتکتیک − درصد فاز $\alpha$ درست پائین خط یوتکتیک $= \alpha_E = \alpha_t - \alpha_p$

$\alpha_E$ = مقدار فاز $\alpha$ حاصل از واکنش یوتکتیک $= 86.7 - 41.9 = 44.8$

$\beta_E$ = درصد فاز $\beta$ درست پائینی خط یوتکتیک = 13.3%

پس

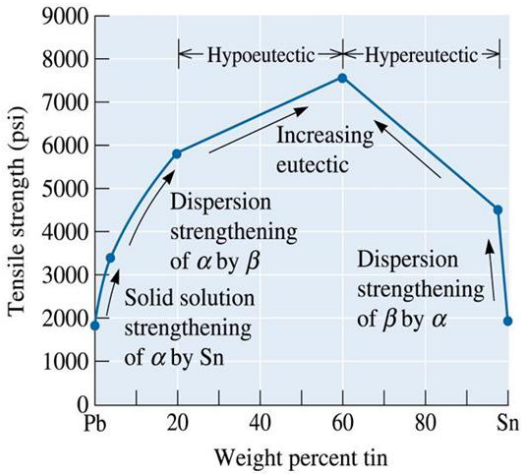
درصد ساختار یوتکتیکی $= \alpha_E + \beta_E = 44.8 + 13.3 = 58.1\%$

**روش دوم :** در واقع قسمتی از آلیاژ که درست بالای دمای یوتکتیک به ترکیب یوتکتیک رسیده است به صورت یوتکتیکی منجمد می‌شود. پس:

درصد ساختار یوتکتیکی =%L = 58.1

## ۵-۱۲-تغییرات استحکام در یک سیستم آلیاژی یوتکتیکی ساده برحسب ترکیب شیمیایی

شکل ۲۵ تغییرات استحکام کششی برحسب ترکیب شیمیایی در یک سیستم یوتکتیکی ساده را نشان می‌دهد. چند نکته در مورد این دیاگرام حائز اهمیت است.




شکل۲۵- تغییرات استحکام کششی برحسب ترکیب شیمیایی در یک سیستم یوتکتیکی

۱ـ تغییرات استحکام تسلیم با ترکیب شیمیایی $\left(\%C_B\right)$ در آلیاژهای محلول جامد معمولاً به صورت $\sigma_{ys} = k\sqrt{C}$ است.

۲ـ استحکام آلیاژهای دو فازی از قانون مخلوط‌ها پیروی می‌کند. برای مثال برای استحکام تسلیم داریم:

$$\sigma_{alloy} = \sigma_\alpha f_\alpha + \sigma_\beta f_\beta$$

که در آن: $\sigma_\alpha$ , $\sigma_\beta$ به ترتیب استحکام تسلیم فازهای $\alpha$ و $\beta$ هستند و $f_\alpha$ و $f_\beta$ به ترتیب کسر حجمی فازهای $\alpha$ و $\beta$ هستند.

۳ـ استحکام آلیاژهایی که از دو جزء زیر ساختاری تشکیل شده‌اند نیز از قانون مخلوط‌ها پیروی می‌کند.

۴ـ هر چه درصدی ساختار یوتکتیکی در آلیاژهای که استحاله یوتکتیکی را پشت سر می‌گذارند بیشتر باشد با استحکام آلیاژ بیشتر است.

۵ـ بیشترین استحکام در یک سیستم یوتکتیکی ساده با استحکام آلیاژ یوتکتیک است. استحکام یک آلیاژ یوتکتیک به عوامل مختلفی همچون فاصله بین لایه‌ها و اندازه بسته‌های یوتکتیکی بستگی دارد. هر چه فاصله بین لایه‌ها و اندازه بسته‌های یوتکتیکی کمتر باشد. استحکام بیشتری می‌شود. با افزایش سرعت سرد شدن می‌توان این دو پارامتر را کاهش داد.