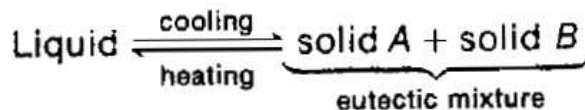


آلیاژ ۱ با ترکیب یوتکتیک 60B-40A را در نظر بگیرید. هنگامی که این آلیاژ از دمای T_0 سرد شود، تا دمای یوتکتیک به صورت محلول مذاب همگن باقی می ماند. چون این نقطه محل تقاطع خطوط لیکوئیدوس و سالیدوس است، مذاب در این نقطه باید شروع به انجماد کند و دما ثابت باقی بماند تا هنگامی که انجماد آلیاژ کامل شود. مذاب به مخلوطی از دو فاز منجمد می شود، این فازها همواره آن هایی هستند که در دو انتهای خط افقی دمای یوتکتیک قرار دارند. در این حالت نقطه F فلز خالص A و نقطه G فلز خالص B است. حال فرض کنید که مقدار کمی از فلز خالص A منجمد شود. این عمل مذاب غنی تر از B را به جای می گذارد و سبب می شود تا ترکیب مذاب به طور جزئی به سمت راست انتقال پیدا کند. برای برگرداندن ترکیب مذاب به مقدار تعادلی، B منجمد خواهد شد. اگر مقدار بسیار جزئی بیشتر B منجمد شود، ترکیب مذاب به سمت چپ انتقال پیدا خواهد کرد. برای رسیدن به ترکیب تعادلی لازم است که A منجمد شود. بنابراین در دمای ثابت، مذاب به طور متناوب به شکل A خالص و B خالص منجمد می شود و منجر به تشکیل یک مخلوط بسیار ریز می شود که در زیر میکروسکوپ قابل رویت است. این مخلوط به عنوان مخلوط یوتکتیک معروف است. تبدیل مذاب با ترکیب E به دو جامد در دمای ثابت به عنوان واکنش یوتکتیک شناخته شده است و به صورت زیر نوشته می شود.



چون انجماد آلیاژ یوتکتیک در دمای ثابت انجام می شود، منحنی سرد کردن آن مانند یک فلز خالص یا آلیاژ با نقطه ذوب متجانس خواهد بود. اما آلیاژ یوتکتیک، آلیاژ با نقطه ذوب متجانس نیست، چون اختلاف در ترکیب فازهای جامد و مذاب وجود دارد. آلیاژ ۲ که یک آلیاژ هیپو یوتکتیک با ترکیب 20B-80A است، تا T_1 به صورت محلول مذاب همگن باقی می ماند. در این نقطه، مذاب با ترکیب L1 از A اشباع است. با کاهش دما A اضافی به طور جزئی باید منجمد شود. مذاب با رسوب دادن بلورهای A خالص

باید از B غنی تر شود. با کاربرد قانون اول در T_2 ، فاز جامد A، خالص و ترکیب مذاب L_2 ، 30B-70A است. مقدار مذابی که تا این دما منجمد شده است را می توان با استفاده از قانون اهرم محاسبه کرد.

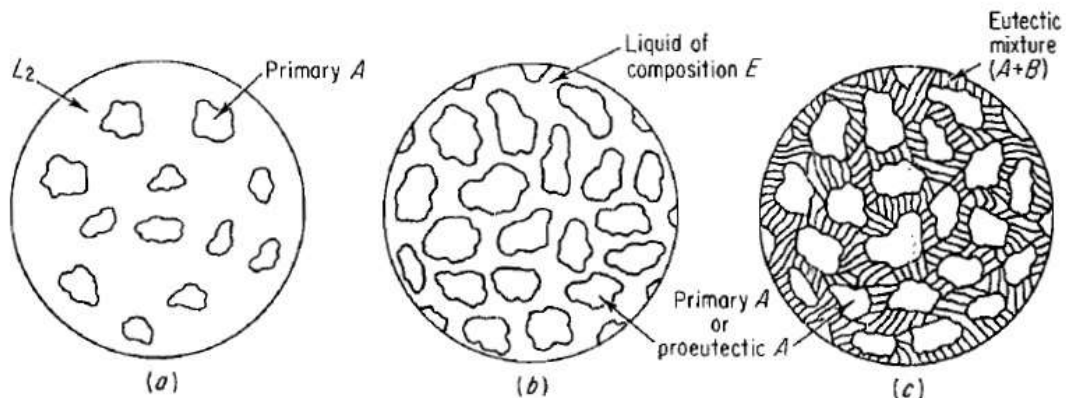
$$A \text{ (percent)} = \frac{x_2 L_2}{T_2 L_2} \times 100 = \frac{10}{30} \times 100 = 33 \text{ percent}$$

$$L_2 \text{ (percent)} = \frac{T_2 x_2}{T_2 L_2} \times 100 = \frac{20}{30} \times 100 = 67 \text{ percent}$$

با ادامه انجماد مقدار A خالص به تدریج با رسوب گذاری از مذاب افزایش می یابد و ترکیب مذاب از B غنی تر می شود و به سمت پایین در امتداد منحنی لیکوئیدوس حرکت می کند. در حالی که مقدار مذاب به تدریج کاهش می یابد. هنگامی که آلیاژ به T_E رسید، ترکیب مذاب در نقطه E است. شرایطی که درست در بالای T_E وجود دارد مخلوطی از فاز مذاب با ترکیب 40A-60B به مقدار ۳۳٪ و جامد A به مقدار ۶۷٪ است.

Phases	Liquid	Solid A
Composition	40A-60B	100A
Relative amount	$\frac{T_E x_E}{T_E E} \times 100 = 33\%$	$\frac{x_E E}{T_E E} \times 100 = 67\%$

حال این مذاب باقیمانده (۳۳٪) در نقطه یوتکتیک به مخلوط B+A (همانند آلیاژ ۱) منجمد می شود. بعد از انجماد ساختار میکروسکوپی آلیاژ متشکل از ۶۷٪ دانه های اولیه A یا A پرویوتکتیک (که بین T_1 و T_E قبل از واکنش یوتکتیک تشکیل شده است) و ۳۳٪ مخلوط یوتکتیک (A+B) خواهد بود. هرچه ترکیب آلیاژ به ترکیب یوتکتیک نزدیک تر باشد، مخلوط یوتکتیک در آلیاژ منجمد شده بیشتر خواهد بود.



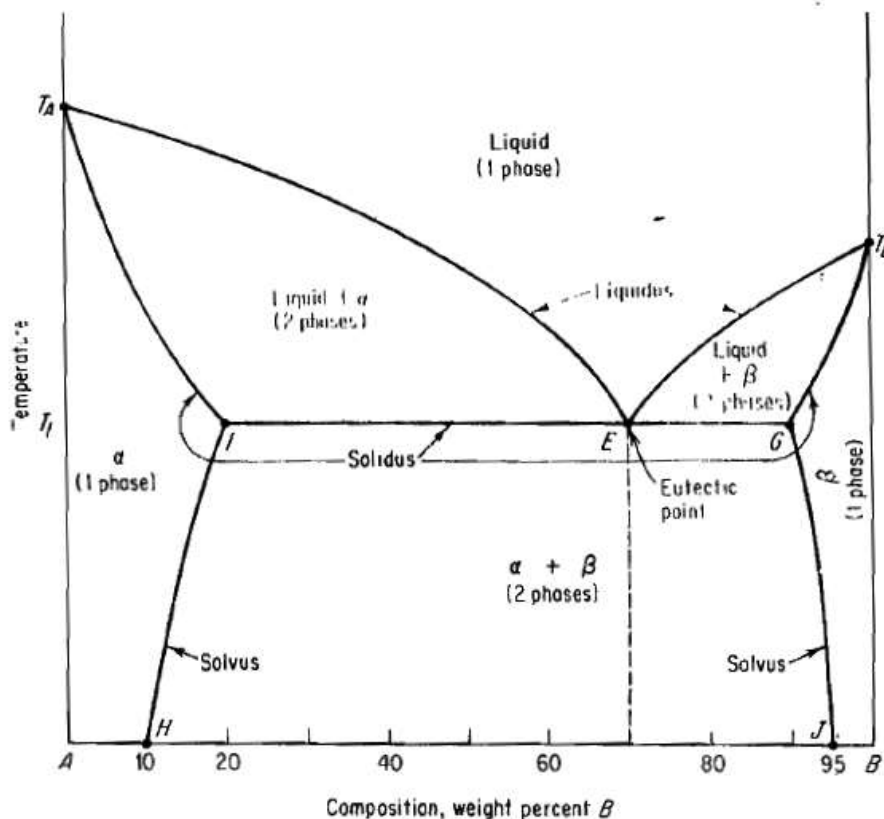
شکل ۱-۳۲ مراحل مختلف سرد کردن آرام آلیاژ 20B- 80A

آلیاژ ۳ یک آلیاژ هایپر یوتکتیک با ترکیب 90B-10A است. این آلیاژ همان فرایند سرد شدن آلیاژ ۲ را تجربه می کند، با این تفاوت که به جای A خالص بلور های B خالص از مذاب رسوب می کند. با کاهش بیشتر دما، مقدار بیشتری B منجمد می شود و مذابی غنی تر از A را به جای می گذارد. مقدار مذاب به تدریج کم می شود و ترکیب آن به سمت پایین در امتداد خط لیکوئیدوس حرکت می کند تا به نقطه E برسد. در این دما مذاب باقی مانده به مخلوط یوتکتیک (A+B) منجمد می شود. بعد از انجماد ساختار میکروسکوپی آلیاژ شامل دانه های B اولیه یا B پرویوتکتیک و ۲۵% مخلوط یوتکتیک (A+B) خواهد بود. هر آلیاژی در سمت راست نقطه یوتکتیک بعد از انجماد شامل دانه های B پری یوتکتیک و مخلوط یوتکتیک خواهد بود. تنها اختلاف آنها در مقدار نسبی این فاز ها خواهد بود. بدون توجه به ترکیب آلیاژ، در هر جا که به خط دمای یوتکتیک رسید واکنش یکسان زیر صورت خواهد گرفت. تنها شرط لازم این است که مخلوط یوتکتیک شامل دو فاز جامد با ترکیب متفاوت باشد، مخلوط می تواند دو فلز خالص، دو محلول جامد، دو فاز واسطه یا هر ترکیبی از آنها باشد.

نوع III: انحلال کامل در حالت مذاب و انحلال جزئی در حالت جامد

چون اکثر فلزات مقداری حلالیت در یکدیگر در حالت جامد از خود نشان می دهند، این معمول ترین نوع سیستم آلیاژی است. نمودار آن در شکل ۱-۳۳ نشان داده شده است.

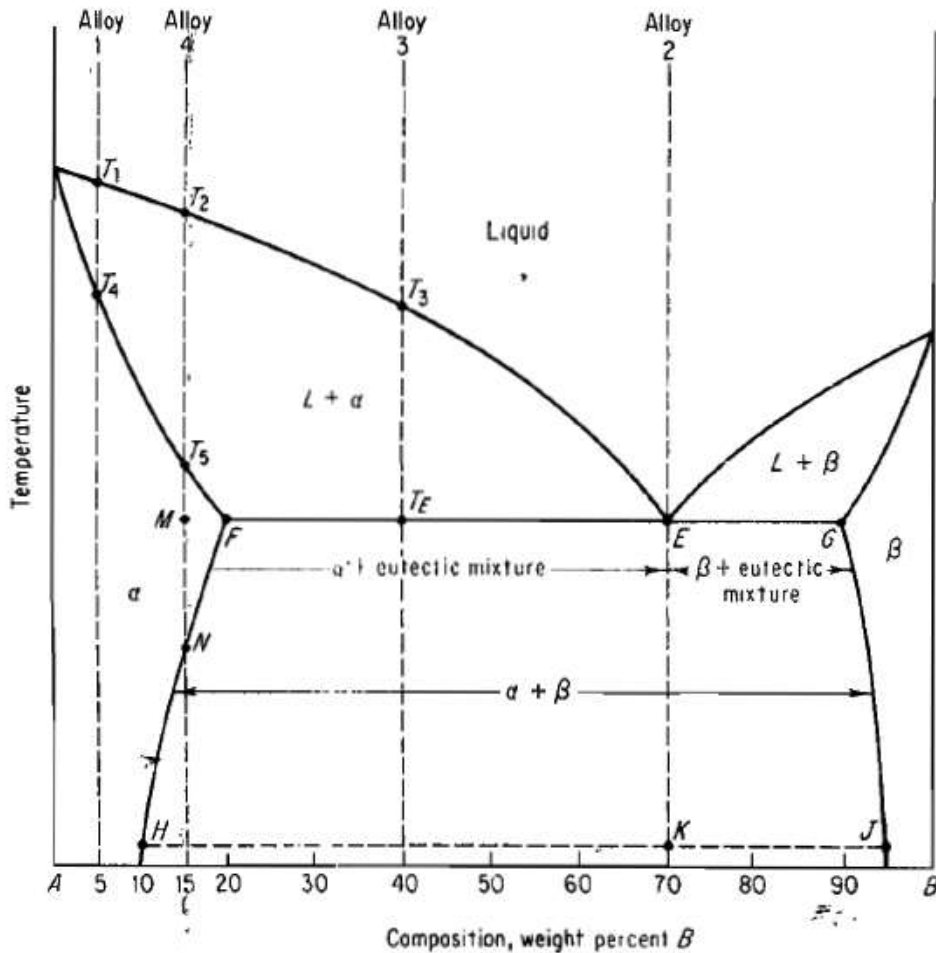
نقاط ذوب دو فلز با نقاط T_A و T_B نشان داده شده است. خط لیکوئیدوس، $T_A E T_B$ و خط سالییدوس، $T_A F E G T_B$ است. ابتدا مناطق تک فازی باید نام گذاری شوند. در بالای خط لیکوئیدوس یک فاز محلول مذاب وجود دارد. در نقاط ذوب که خطوط سالییدوس و لیکوئیدوس یکدیگر را قطع می کنند، نمودار شبیه به نمودار با حلالیت کامل در حالت جامد است. چون دو فلز به طور جزئی در یکدیگر حل می شوند، در هنگام انجماد یک محلول جامد باید تشکیل شود. آلیاژها در این سیستم هرگز به بلور های خالص A و B منجمد نمی شوند و همیشه یک محلول جامد یا مخلوطی از محلول های جامد تشکیل می شوند. نواحی تک فازی جامد به صورت α و β نامگذاری می شوند. محلول جامد α محلول جامد غنی از A است که در آن A عنصر حلال و B عنصر محلول است و محلول جامد β برعکس آن است.



شکل ۱-۳۳ نمودار فازی با حلالیت جزئی در حالت جامد.

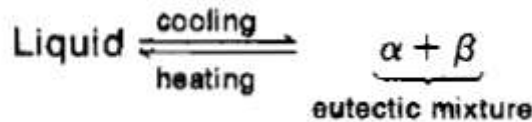
چون این محلول های جامد نزدیک به محور های عمودی هستند به آنها محلول های جامد انتهایی نیز گفته می شود. حال سه منطقه دو فازی دیگر به صورت $Liquid+\alpha$ ، $Liquid+\beta$ و $\beta+\alpha$ نامگذاری می شوند. در T_E محلول جامد α ماکزیمم ۲۰ درصد فلز B را در خود حل می کند (F) و محلول جامد β ماکزیمم ۱۰ درصد فلز A را در خود حل می کند (G). با کاهش دما ، همان طور که به وسیله خطوط FH ، GH نشان داده شده است، ماکزیمم مقدار اتم محلولی که می تواند در حلال (فاز α یا β) حل شود کاهش می یابد. خطوط FH و GJ خطوط حلالیت جامد نامیده می شوند. این خطوط نشان دهنده ماکزیمم حلالیت (محلول اشباع) B در A (محلول جامد α) یا A در B (محلول جامد β) به صورت تابعی از دما هستند. نقطه مینیمم E که خطوط لیکوئیدوس یکدیگر را قطع می کنند(همانند حالت نامحلول در حالت جامد) نقطه یوتکتیک نامیده می شود.

در شکل زیر سرد کردن آرام چند آلیاژ مورد بررسی قرار می گیرد. آلیاژ ۱ با 5B-95A در هنگام سرد شدن فرآیندی شبیه آلیاژهای با حلالیت کامل در حالت جامد را تجربه می کند. در T_1 انجماد آلیاژ با تشکیل بلور های محلول جامد α بسیار غنی از A شروع می شود. این فرآیند با غنی تر شدن مذاب از B و حرکت تدریجی به سمت پایین در امتداد خط لیکوئیدوس ادامه پیدا می کند. محلول جامد α نیز از B غنی تر می شود و ترکیب آن به سمت پایین در امتداد خط سالییدوس حرکت می کند. در نهایت در T_4 با توجه به برابری نفوذ با رشد بلور ، کل جامد یک محلول جامد α همگن خواهد بود و با کاهش دما تا دمای محیط به همان صورت باقی خواهد ماند.



شکل ۱-۳۴ نمودار فازی با حلالیت جزئی در حالت جامد.

آلیاژ ۲ (70B-30A) که آلیاژی با ترکیب یوتکتیک است، تا رسیدن به دمای یوتکتیک به صورت مذاب باقی می ماند. (نقطه E). چون این نقطه روی خط سالیدوس نیز قرار دارد، مذاب یک واکنش یوتکتیک را در دمای ثابت تجربه می کند و مخلوط بسیار ریز از دو محلول جامد تشکیل می شود. ترکیب این دو محلول جامد که مخلوط یوتکتیک را تشکیل می دهند F (برای محلول جامد α) و G (برای محلول جامد β) است. در این حالت در دمای یوتکتیک، محلول جامد β دارای ترکیب B 90% و محلول جامد α دارای ترکیب 20B% است. واکنش یوتکتیک را به صورت زیر می توان نوشت:



این واکنش شبیه به واکنش یوتکتیک از نوع I است، با این تفاوت که محلول جامد α و β جانشین فلزات خالص A و B شده اند. مقادیر نسبی α و β در مخلوط یوتکتیک را می توان با استفاده از قانون اهرم تعیین کرد:

$$\alpha \text{ (percent)} = \frac{EG}{FG} \times 100 = \frac{20}{70} \times 100 = 28.6 \text{ percent}$$

$$\beta \text{ (percent)} = \frac{EF}{FG} \times 100 = \frac{50}{70} \times 100 = 71.4 \text{ percent}$$

با کاهش دما تا دمای محیط به واسطه تغییر حلالیت B در A (خط GJ)، یک تغییر جزئی در مقادیر نسبی α و β وجود خواهد داشت. مقادیر نسبی α و β در دمای محیط به صورت زیر است.

$$\alpha \text{ (percent)} = \frac{KJ}{HJ} \times 100 = \frac{25}{85} \times 100 = 29.4 \text{ percent}$$

$$\beta \text{ (percent)} = \frac{HK}{HJ} \times 100 = \frac{60}{85} \times 100 = 70.6 \text{ percent}$$

آلیاژ ۳ (40B-60A) که یک آلیاژ هیپو یوتکتیک است، تا دمای T_3 به صورت مذاب است. در این دما، مذاب با انجماد بلورهای محلول جامد α بسیار غنی از A شروع می شود. با کاهش دما، مذاب از B غنی تر می شود و ترکیب آن به طور تدریجی در امتداد خط لیکوئیدوس به سمت پایین حرکت می کند تا به نقطه E برسد. شرایطی که درست بالای دمای T_E وجود دارد، دو فاز (مذاب + جامد α) است. ترکیب شیمیایی فاز مذاب 70B-30A و مقدار آن 40% است. در حالی که ترکیب شیمیایی α اولیه 20B-80A و مقدار آن 60% است. چون مذاب باقی مانده (40%) در نقطه یوتکتیک است، این مذاب با تشکیل بلورهای متناوب α و β با ترکیب (F, G) در دمای ثابت یوتکتیک منجمد می شود تا انجماد کامل شود. این ساختار تا دمای محیط باقی می ماند. با کاهش دما تا دمای محیط، به واسطه تغییر در میزان حلالیت نشان داده شده به وسیله خط FH، مقداری β اضافی از محلول رسوب می کند. آلیاژ ۴ با ترکیب 15B-85A، همان فرآیند آلیاژ ۱ را طی می کند. انجماد در T_2 شروع و در T_5 ختم می شود. محلول جامد حاصل آلیاژ محلول جامد تک فازی α است. در نقطه M محلول جامد یک محلول اشباع نشده است، زیرا در این دما میزان حلالیت B در A 20% است. در حالی که آلیاژ محلول جامد α شامل B 15% است. خط FH کاهش حلالیت B در A را با کاهش دما نشان می دهد. با سرد کردن آلیاژ تا نقطه N در روی خط حلالیت، محلول جامد α در این دما از B اشباع می شود. در زیر این دما (تحت شرایط تعادلی سرد کردن) B اضافی باید از محلول خارج شود. چون A در B حل می شود، رسوب گذاری به صورت B خالص نسبت و به جای آن محلول جامد β تشکیل می شود. ساختار میکروسکوپی آلیاژ در دمای محیط شامل مقادیر زیاد α و مقدار کمی β اضافی خواهد بود که در مرز دانه های α وجود دارد. اگر فاز β نسبتاً ترد باشد، آلیاژ چندان چکش خوار نخواهد بود. استحکام یک آلیاژ به مقدار زیادی به وسیله فازی که به صورت پیوسته در آن آلیاژ است، مشخص می شود.