

ساختار آلیاژ

آلیاژ ماده ای است که دارای خواص فلزی بوده و از دو یا چند عنصر شیمیایی تشکیل شده است که حداقل یکی از آنها فلز است. یک سیستم آلیاژی شامل همه آلیاژهایی است که می تواند با ترکیب عناصر متعدد در همه نسبت های ممکن تشکیل شود. اگر سیستم از دو عنصر تشکیل شده باشد آن را سیستم آلیاژی دو تایی و اگر از سه عنصر تشکیل شده باشد آن را سیستم آلیاژی سه تایی می نامند.

طبقه بندی آلیاژها

آلیاژها می توانند همگن یا مخلوط باشند. اگر آلیاژی به صورت همگن باشد، شامل یک فاز و اگر به صورت مخلوط باشند شامل فازهای متعددی خواهد بود. فاز بخشی از یک سیستم است که دارای ترکیب و خواص همگن است و توسط سطوح کاملا مشخص از فازهای دیگر جدا می شود. همگن بودن یک فاز در مقیاس اتمی تعیین نمی شود، بلکه در یک مقیاس بزرگتر تعیین می شود. در اکثر فلزات خالص، اصطلاح فاز مترادف با حالت است. بنابراین برای عناصر خالص، فازها دارای سه نوع گازی، مایع و جامد هستند. بعضی از فلزات در حالت جامد آوتروپ هستند، از این رو دارای فازهای جامد متفاوت خواهند بود. هنگامی که ساختار بلوری یک فلز دچار تغییر می شود، آن فلز یک تغییر فاز را تجربه می کند، چون هر ساختار بلوری از نظر فیزیکی دارای ویژگی خاص خود است. در حالت جامد سه نوع فاز متفاوت امکان پذیر است.

- فلز خالص
- فاز آلیاژی واسطه یا ترکیب واسطه
- محلول جامد

فلز خالص

تحت شرایط تعادلی، همه فلزات نقطه ذوب یا انجماد مشخصی دارند. در شرایط تعادلی، گرم کردن و سرد کردن باید بسیار آرام باشد، به عبارت دیگر در شرایط تعادلی، باید زمان کافی برای به وقوع پیوستن هر گونه تغییری وجود داشته باشد. اگر منحنی سرد کردن (دما - زمان) برای یک فلز خالص رسم شود، یک خط افقی در نقطه ذوب یا انجماد آن مشاهده خواهد شد.

فاز واسطه آلیاژی یا ترکیب واسطه

اکثر ترکیبات شیمیایی معمولی ترکیبی از عناصر با ظرفیت های مثبت و منفی هستند. اتم های مختلف در یک نسبت مشخص با یکدیگر ترکیب می شوند و ترکیب حاصل با یک فرمول شیمیایی نشان داده می شود. اکثر ترکیبات نیز مانند فلزات خالص دارای نقطه ذوب معین هستند. بنابراین منحنی سرد کردن یک ترکیب شبیه به منحنی سرد کردن یک فلز خالص است. از این رو به آن فاز با نقطه ذوب متجانس می گویند. در نمودارهای تعادلی، فازهای واسطه فازهایی با ترکیب شیمیایی بین دو عنصر خالص هستند و معمولا دارای ساختار بلوری متفاوت از ساختار بلوری عناصر سازنده آن است. فازهای واسطه معمولا به سه دسته تقسیم می شوند که در زیر در مورد هر یک به طور مختصر توضیح داده می شود.

- ترکیبات بین فلزی یا ظرفیتی
- ترکیبات بین نشین
- ترکیبات الکترونی

ترکیبات بین فلزی یا ظرفیتی

این ترکیبات معمولا بین فلزات غیر مشابه از نظر شیمیایی تشکیل می شوند و مطابق با قوانین ظرفیت شیمیایی با یکدیگر ترکیب می شوند. چون این ترکیبات معمولا دارای پیوند های قوی یونی یا کووالانت هستند، خواص آنها اساسا غیر فلزی است. مانند Mg_2Sn , $CaSe$, Mg_2Pb . این آلیاژها، معمولا دارای چکش خواری و هدایت الکتریکی ضعیف هستند و ساختار بلوری پیچیده ای دارند.

ترکیبات بین نشین

این ترکیبات بین فلزات واسطه همچون اسکاندیم ، تیتانیوم، تانتالیم ، تنگستن و آهن با هیدروژن ، اکسیژن ، کربن ، بور و نیتروژن تشکیل می شوند. کلمه بین نشین به معنی فضاهای بین اتمی است. این عناصر دارای اتم های نسبتاً کوچکی هستند که می توانند در فضاهای بین اتم های فلز قرار گیرند. ترکیبات بین نشین دارای خواص فلزی هستند، لیکن ممکن است در محدوده باریکی از ترکیب پایدار باشند و نیز نقطه ذوب بالایی دارند و بسیار سخت هستند. مانند Fe_4N , Fe_3C , W_2C , TiC , CrN

ترکیبات الکترونی

در این دسته از ترکیبات یک نسبت مشخص از الکترون های ظرفیت به اتم ها وجود دارد. از این رو آنها ترکیبات الکترونی نامیده می شوند. برای مثال در ترکیب $AgZn$ ، اتم نقره دارای یک الکترون ظرفیت است در حالی که اتم روی دارای دو الکترون ظرفیت است، به طوری که دو اتم این ترکیب دارای سه الکترون ظرفیت خواهند بود و نسبت الکترون ظرفیت به اتم در این حالت 3:2 است. بسیاری از ترکیبات الکترونی دارای خواصی شبیه به محلول های جامد هستند. این خواص شامل محدوده وسیعی از ترکیب ، چکش خواری بالا و سختی پایین است.

محلول های جامد

هر محلول دارای دو جزء است ، یکی اتم محلول و دیگری اتم حلال . اتم محلول یا ماده ای که حل می شود، بخش کوچکتر محلول و اتم حلال بخش اصلی محلول را تشکیل می دهند. اتم های حلال و محلول می توانند به صورت گاز، مایع یا جامد باشند. در معمول ترین محلول ها از آب به عنوان حلال استفاده می شود.

مقدار اتم محلولی که می تواند به وسیله حلال حل شود، معمولاً تابعی از دما (در فشار ثابت) است. معمولاً میزان حلالیت اتم محلول در حلال با افزایش دما زیاد می شود.

سه حالت ممکن برای یک محلول وجود دارد. این سه حالت عبارتند از غیر اشباع، اشباع و فوق اشباع. اگر مقدار اتم محلول در حلال کمتر از حد حلالیت، یعنی حداکثر اتم های قابل حل در یک دما و فشار خاص باشد، آن محلول را غیر اشباع می نامند. اگر مقدار اتم های محلول به اندازه حد حلالیت باشد محلول را اشباع و اگر بیش از حد حلالیت باشد آن را محلول فوق اشباع می گویند. شرایط فوق اشباع را می توان با انجام کار بر روی محلول، برای مثال با هم زدن محلول یا جلوگیری از رسیدن به حالت تعادلی با سریع سرد کردن به دست آورد. شرایط فوق اشباع یک حالت ناپایدار است و با گذشت زمان یا دادن مقداری انرژی ، محلول تمایل دارد با دفع کردن یا رسوب گذاری اتم محلول اضافی به حالت پایدار یا اشباع درآید.

یک محلول جامد محلولی در حالت جامد است که شامل دو نوع اتم ترکیب شده با یک نوع شبکه بلوری است. معمولاً اختلاف قابل ملاحظه ای در میزان حلالیت اتم محلول در حالت مذاب با حالت جامد وجود دارد. اتم محلول معمولاً در حالت مذاب بیشتر از حالت جامد حل می شود. هنگامی که انجماد محلول شروع می شود، دمای انجماد می تواند کمتر یا بیشتر از نقطه ذوب اتم محلول خالص باشد. اکثر محلول های جامد در محدوده ای از دما منجمد می شوند.

محلول جامد جانشینی

در این نوع محلول ، اتم های محلول در ساختار بلوری اتم حلال جایگزین اتم های حلال می شود. برای مثال اتم های نقره می توانند جایگزین طلا شوند بدون اینکه ساختار بلوری طلا (fcc) تغییر کند و اتم های طلا می توانند جایگزین اتم های نقره در شبکه بلوری fcc نقره شوند. عوامل متعددی وجود دارند که میزان حلالیت در سیستم های آلیاژی را کنترل می کنند. در زیر به بحث در مورد این عوامل پرداخته می شود.

۱- ساختار بلوری

هرگز دو عنصر نمی توانند در حالت جامد دارای حلالیت کامل باشند، مگر این که دارای ساختار بلوری مشابه باشند.

۲- اندازه نسبی

تشکیل محلول جامد هنگامی میسر است که اختلاف شعاع اتمی دو عنصر کمتر از ۱۵ درصد باشد. اگر اختلاف شعاع بیش از ۸ درصد و کمتر از ۱۵ درصد باشد سیستم آلیاژی معمولا آلیاژی با حداقل نقطه ذوب مینیمم را نشان می دهد. اگر اختلاف شعاع اتمی بیش از ۱۵ درصد باشد، تشکیل محلول جامد بسیار محدود است.

۳- تمایل به تشکیل ترکیب شیمیایی

هر چه میل ترکیبی شیمیایی دو عنصر بیشتر باشد، محدودیت بیشتری در تشکیل محلول های جامد آن دو عنصر وجود دارد و تمایل آنها برای تشکیل ترکیب بیشتر است. معمولا هر قدر دو عنصر در جدول تناوبی از یکدیگر دورتر باشند، تمایل آن دو عنصر برای تشکیل ترکیب با یکدیگر بیشتر است.

۴- ظرفیت نسبی

اگر ظرفیت اتم محلول و فلز حلال یکسان نباشد، تعداد الکترون ظرفیت در هر اتم (که نسبت الکترون نامیده می شود) تغییر می کند. ساختارهای بلوری به کاهش نسبت الکترون بیشتر حساس هستند تا به افزایش آن به عبارت دیگر یک فلز با ظرفیت کمتر تمایل به حل کردن بیشتر یک فلز با ظرفیت بالاتر دارد و برعکس.

برای مثال در سیستم آلیاژی Al-Ni هر دو جز دارای شبکه fcc هستند و اختلاف شعاع اتمی آنها حدود ۱۴ درصد می باشد. با این وجود، نیکل ظرفیت کمتری از آلومینیوم دارد و مطابق با عامل ظرفیت نسبی ، نیکل جامد ۵ درصد آلومینیوم را در خود حل می کند، اما آلومینیوم با ظرفیت بالاتر فقط ۰/۰۴ درصد نیکل را در خود حل می کند.

محلول جامد بین نشینی

محلول جامد بین نشینی هنگامی تشکیل می شود که اتم های کوچک در فضای بین اتم های حلال در شبکه بلوری قرار گیرند. چون اندازه فضای بین اتم ها در شبکه بلوری محدود است، تنها اتم هایی با شعاع اتمی کمتر از یک آنگستروم مانند عناصر هیدروژن، بور ، کربن ، نیتروژن و اکسیژن می توانند تشکیل محلول های جامد بین نشینی دهند.

این نوع محلول جامد از چند جهت با ترکیبات بین نشینی متفاوت است. مقدار اتم های کوچک لازم برای تشکیل ترکیبات بین نشینی همواره بیشتر از مقداری است که می تواند به طور بین نشینی حل شود . هنگامی که مقدار کمی اتم محلول به حلال اضافه شود و اختلاف شعاع اتمی بین آن دو بسیار زیاد باشد، یک محلول جامد بین نشینی می تواند تشکیل شود. در این حالت اتم های محلول دارای تحرک قابل ملاحظه ای هستند و می توانند در فضای بین شبکه ای حرکت کنند. در ضمن اتم های محلول بیشتری می تواند به طور بین نشینی حل شوند تا هنگامی که محلول در آن دما اشباع شود. افزایش مقدار اتم های محلول به بالای حد حلالیت ، به شدت تحرک آنها را در یک ناحیه خاص محدود می کند و یک ترکیب بین نشینی با ترکیب ثابت شروع به تشکیل شدن می کند. اعوجاج حاصل از حضور اتم های محلول در محلول جامد جاننشینی و بین نشینی در مقابل حرکت نابه جایی ها ایجاد مزاحمت می کند و استحکام آلیاژ را افزایش می دهد.

نمودارهای فازی دوتایی

در حالت ایده آل ، نمودار فازی روابط فازی تحت شرایط تعادلی را نشان می دهد. منظور از شرایط تعادلی این است که تحت آن شرایط هیچ گونه تغییراتی با گذشت زمان صورت نگیرد. شرایط تعادلی می تواند با گرم کردن یا سرد کردن بسیار آرام به دست آید، به گونه ای که اگر قرار است یک تغییر فازی صورت گیرد، زمان کافی برای آن تغییر فازی وجود داشته باشد.

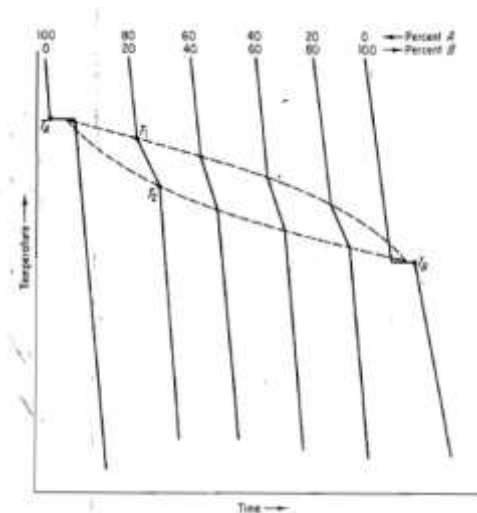
مهمترین شرایط تعادلی بین فازها در آلیاژهای دوتایی به قرار زیر است:

- ۱) شرایطی که سازنده های آلیاژ به طور کامل در حالت مذاب در یکدیگر قابل حل باشند.
 - الف) دو جزء به طور کامل در حالت جامد در یکدیگر قابل حل شدن باشد (نوع I)
 - ب) دو جزء در حالت جامد در یکدیگر غیر قابل حل شدن باشند (واکنش یوتکتیک نوع II)
 - ج) دو جزء به طور جزئی در حالت جامد در یکدیگر حل شوند (واکنش یوتکتیک نوع III)
 - د) دو جزء تشکیل فاز واسطه بدهند (نوع IV)
 - ه) واکنش پری تکتیک (نوع V)
- ۲) دو جزء به طور جزئی در حالت مذاب در یکدیگر حل شوند.
- ۳) دو جزء در حالت مذاب و در حالت جامد در یکدیگر غیر قابل حل شدن باشند.
- ۴) دگرگونی های حالت جامد
 - الف) تغییرات آلوتروپی
 - ب) دگرگونی های نا منظم - منظم
 - ج) واکنش یوتکتوئید
 - د) واکنش پری تکتوئید

انواع نمودارهای فازی

نوع I : انحلال کامل در حالت مذاب و جامد

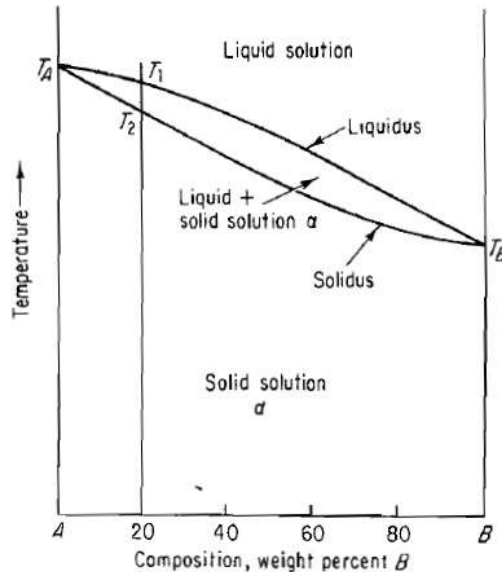
چون دو فلز در حالت جامد به طور کامل در هم حل می شوند، در هنگام انجماد یک محلول جامد جانشینی تشکیل خواهد شد. در این حالت دو فلز دارای ساختار بلوری مشابه هستند و اختلاف اندازه اتمی آنها کمتر از ۸ درصد است. یک سری از منحنی های سرد کردن آلیاژهای دو تایی که ترکیب آنها از 0% B - 100% A تا 0% A - 100% B تغییر می کند. در شکل ۱-۲۳ نشان داده شده است.



شکل ۱-۲۳ یک سری از منحنی های سرد کردن آلیاژهای مختلف در سیستم با حلالیت کامل در حالت جامد و مذاب. خطوط نقطه چین نمودار فازی را نشان می دهد.

به منظور مشاهده ارتباط بین منحنی های سرد کردن، این منحنی ها روی یک سری از محور ها رسم شده اند. ذکر این نکته ضروری است که هر منحنی سرد کردن دارای محور های مختصات مربوط به خود است. به عبارت دیگر هر منحنی سرد کردن مربوط به یک آزمایش جداگانه است که از زمان صفر آغاز شده است. منحنی های سرد کردن برای فلزات خالص A و B یک خط افقی را نشان می

دهند، زیرا آغاز و پایان انجماد در یک دمای ثابت صورت می گیرد. اما چون آلیاژهایی که ترکیب آنها بین A خالص و B خالص هستند، در هنگام انجماد تشکیل محلول جامد می دهند، منحنی های سرد کردن این آلیاژها در حین انجماد تغییری در شیب را نشان خواهند داد. برای مثال در آلیاژ با ترکیب 20 B- 80 A نخستین شکست در منحنی در T_1 مشاهده می شود که نشان دهنده آغاز انجماد و شکست دومی در T_2 رخ می دهد که دلالت بر پایان انجماد دارد. تمام ترکیبات آلیاژی دیگر نیز منحنی هایی شبیه به این آلیاژ را از خود نشان خواهند داد. نمودار فاز می تواند با رسم دو خط که یکی وصل کننده نقاط آغاز انجماد و دیگری وصل کننده نقاط پایان انجماد است، ساخته شود. حال ساختن نمودار فازی با رسم تغییرات دما بر حسب ترکیب امکان پذیر است. نقاط مربوطه از یک سری از منحنی های سرد کردن گرفته شده و روی نمودار رسم می شوند.



شکل ۲۴-۱ نمودار فازی دو فلز که در حالت جامد و مذاب به طور کامل در یکدیگر حل می شوند.

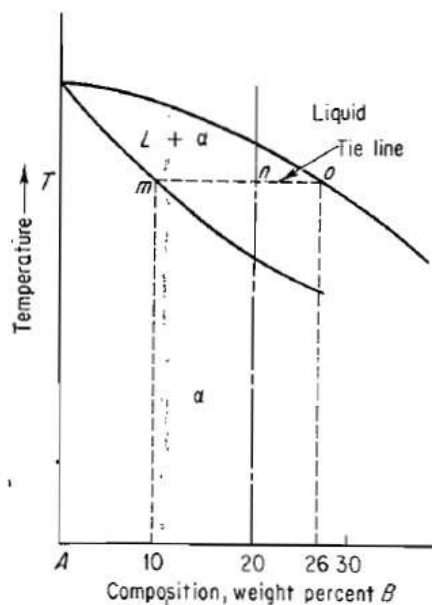
چون محور سمت چپ نشان دهنده فلز خالص A است، T_A در امتداد این خط و به طور مشابه T_B در محور سمت راست رسم می شوند. از آنجایی که همه ترکیبات دیگر بین A خالص و B خالص بر حسب درصد A و B هستند، برای سادگی علامت درصد حذف می شود. در این نمودار خط عمودی که نشان دهنده آلیاژ 20B-80A است، رسم می شود و T_1 و T_2 گرفته شده از شکل بالا در روی این خط مشخص می شوند همین روش برای ترکیبات دیگر استفاده می شود. این نمودار فازی شامل دو نقطه، دو خط و سه ناحیه است. دو نقطه T_A و T_B نشان دهنده نقاط انجماد دو فلز خالص A و B هستند. خط بالایی که نشان دهنده نقاط آغاز انجماد است، خط لیکوئیدوس و خط پایینی که نشان دهنده نقاط پایان انجماد است، خط سالییدوس نامیده می شوند. ناحیه بالای خط لیکوئیدوس یک منطقه تک فازی است. هر آلیاژ در این منطقه یک محلول مذاب همگن خواهد بود. به طور مشابه ناحیه زیر خط سالییدوس نیز یک منطقه تک فازی است و هر آلیاژی در این منطقه یک محلول جامد همگن خواهد بود. معمولاً برای نام گذاری محلول های جامد و گاهی اوقات آلیاژهای واسطه در نمودار های تعادلی از حروف یونانی استفاده می کنند. در این شکل، محلول جامد α نامگذاری شده است. حروف بزرگ A و B نشان دهنده فلزات خالص هستند. بین خطوط لیکوئیدوس و سالییدوس یک منطقه دو فازی وجود دارد. هر آلیاژی در این منطقه مخلوطی از محلول مذاب و محلول جامد خواهد بود.

مشخص کردن دما و ترکیب یک آلیاژ در یک منطقه دو فازی، دلالت بر این دارد که این آلیاژ مخلوطی از دو فاز است، اما هیچ گونه اطلاعات دیگری راجع به این مخلوط نمی دهد. گاهی اوقات دانستن ترکیب شیمیایی واقعی و مقادیر نسبی این دو فاز لازم است. به منظور به دست آوردن این اطلاعات، استفاده از دو قانون زیر ضروری است.

۱- قانون ترکیب شیمیایی ۲- قانون اهرم

قانون ترکیب شیمیایی

برای تعیین ترکیب شیمیایی فازهای در حال تعادل با یکدیگر در یک آلیاژ در یک دمای خاص در یک منطقه دو فازی، یک خط افقی در آن دما رسم می شود تا مرزهای این ناحیه را قطع کند. این خط رابط نام دارد. سپس نقاط تقاطع به محور ترکیب عمود شده و ترکیب مستقیماً از روی آن خوانده می شود. در شکل ۱-۲۵ آلیاژ حاوی 20 B- 80 A را در دمای T در نظر بگیرید. این آلیاژ در ناحیه دو فازی است. با توجه به توضیح بالا، خط mo تا مرزهای این ناحیه کشیده می شود. با عمود کردن از نقطه m به محور ترکیب، ترکیب فازی که در این مرز وجود دارد خوانده می شود. در این حالت، فاز یک محلول جامد α با ترکیب 10 B-90 A است. به طور مشابه خطی که از نقطه o به محور ترکیب عمود می شود، ترکیب فاز دیگر در مخلوط دوفازی را می دهد که در این حالت فاز مذاب با ترکیب آن 26B-74A است.



شکل ۱-۲۵ خط رابط mo رسم شده در منطقه دو فازی در دمای T

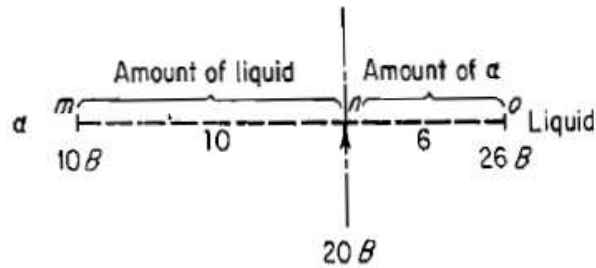
قانون اهرم

یک رابطه بسیار مهم که برای هر ناحیه دو فازی در یک نمودار دوتایی استفاده می شود، قانون اهرم است. به طور کلی طبق قانون اهرم، برای تعیین مقادیر نسبی دو فاز در تعادل با یکدیگر در یک دمای خاص در یک منطقه دو فازی، یک خط عمودی (ترکیب آلیاژ) و یک خط افقی دمای ثابت تا مرزهای آن منطقه رسم می شود. خط عمودی خط افقی را به دو بخش تقسیم می کند که طول آنها به طور معکوس متناسب با مقدار فازهای موجود است. نقطه تقاطع خط عمودی با خط افقی می تواند به نقطه اتکای یک سیستم اهرم تشبیه شود. برای مثال برای تعیین مقادیر فازهای موجود در آلیاژی حاوی 20B - 80A در دمای T خط عمودی که نشان دهنده آلیاژ 20B-80A است، خط رابط افقی را به دو بخش تقسیم می کند. (mn,no). اگر طول کل خط رابط (mo) صد در صد وزنی یا وزن کل دو فاز موجود در دمای T در نظر گرفته شود، قانون اهرم را می توان به طریق ریاضی نشان داد:

$$\text{Liquid (percent)} = \frac{mn}{mo} \times 100$$

$$\alpha \text{ (percent)} = \frac{no}{mo} \times 100$$

اگر خط رابط از نمودار فازی برداشته شود و به جای آن مقدر عددی جایگزین شوند (شکل زیر)، با استفاده از معادله بالا داریم:



با خلاصه کردن هر دو قانون، آلیاژی با ترکیب $20B-80A$ در دمای T مخلوطی از دو فاز است. یکی فاز مذاب با ترکیب $26B-74A$ که 62.5% درصد مخلوط و دیگری فاز جامد با ترکیب $10B-90A$ که 37.5% درصد مخلوط را تشکیل می دهد.

$$\text{Liquid (percent)} = \frac{10}{16} \times 100 = 62.5 \text{ percent}$$

$$\alpha \text{ (percent)} = \frac{6}{16} \times 100 = 37.5 \text{ percent}$$