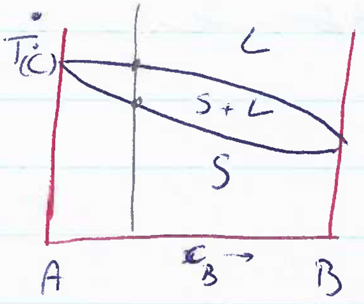
**آلیاژها**: آلیاژ محلول تک فازی و دوجزئی A . $x\%$ B درنظر گرفته می‌شود

دیاگرام فازی عادی از ایجاد آلیاژها است. هر خط عمودی از بالای لیکوییدوس (Liq) تا زیر سالیدوس (Sol) فرآیند انجماد آلیاژها است

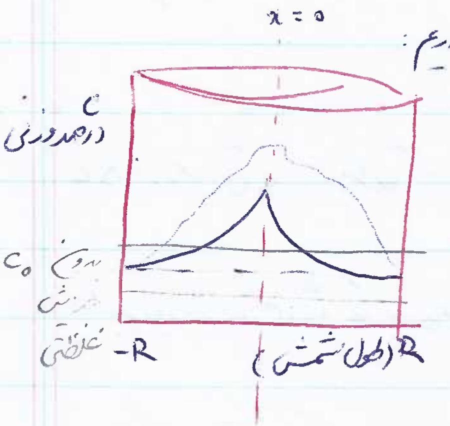



آلیاژها مانند فلزات خالص جوانه‌زنی و رشد دارند و تمام آنچه برای فلز خالص اتفاق افتاد برای آلیاژ تک فازی هم صادق است. منتهی در آلیاژ

در حین انجماد پدیده جالبی به نام جدایش غلظتی رخ می‌دهد که حین رشد ظاهر می‌شود و عیب محسوب می‌شود

ایجاد آلیاژها اگر به صورت تعادلی انجام گیرد پدیده جدایش غلظتی حذف می‌شود

منظور از جدایش غلظتی از دیدگاه ریاضی: $\frac{\Delta C}{\Delta x}$ $\left(\frac{dC}{dx}\right)$ یعنی داریم:




به نسبت این نمودار جدایش غلظتی گفته می‌شود

$\frac{dC}{dx} = 0$ جدایش غلظتی نداریم

$\frac{dC}{dx} \neq 0$ جدایش غلظتی داریم

شیب نمودار (جدایش غلظتی) می‌تواند هر نحوی باشد لذا باید متقارن باشد

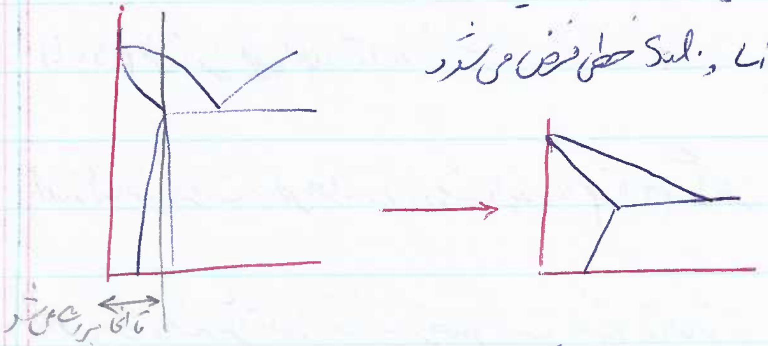
یعنی از جایی که انجماد شروع می‌شود به جایی که لایه‌ها اضافه می‌شود عنصر آلیاژی تغییر (کم یا زیاد) می‌کند یعنی تا جبهه انجماد

جلو می رود.

مزیت‌ها: ۱- ایجاد [illegible] است و چگونه سطح

۲- آلیاژ دوتایی با حد حلالیت زیاد است چه یا تک فاز

۳- شیب خطوط Liq. و Sol. خطی فرض می شود



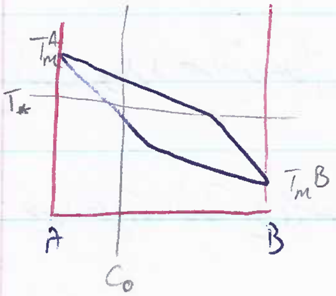

ایجاد آلیاژی اگر تعادلی باشد: $\frac{dc}{dx} = 0$ اما اگر غیر تعادلی باشد: $\frac{dc}{dx} \neq 0$

۴- در حین ایجاد نقطه رشد داریم

مکانیزم جدایش عنصری: اختلاف ضریب نفوذ اتمی دو عنصر ($D_A , D_B$)

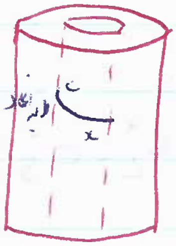
$$D_A \neq D_B \Rightarrow \frac{\Delta C}{\Delta x}$$

$\Delta C$ از رشد می آید. به فرض آب و نمک را در نظر بگیریم. دمای ذوب آب $273_K$ است وقتی نمک را در آن حل می کنیم دیگر هر دسته ای برای نمک تصور می شود. اضافه کردن نمک به آب باعث کاهش دمای ذوب آب می شود. (البته در حالت کلی می تواند نقطه ذوب آلیاژ را بالا یا پایین ببرد) حال وقتی در حال ایجاد باشد، اتم های عنصری که دارای نقطه ذوب بالاتر است تمایل بیشتری برای چسبیدن به لایه ی ایجاد دارد




یعنی A عنصر [illegible] است، A بیشتر به سطح می چسبد. به عبارت دیگر غلظت B در مذاب بیشتر می شود

یعنی در اینجا $D_A < D_B$ . مثال در همان آب و نمک هرچه به سمت مرکز می‌رویم شورتر می‌شود




یعنی در هر لایه‌ای ایجاد غلظت بیشتر از قبل است اما وقتی به مرکز میرویم هنوز مایع است

در هر لحظه هرچه لایه‌ای جلو می‌رود غلظت از قبل اختلاف بیشتری پیدا می‌کند

عامل نیروی نفوذ اختلاف غلظت نیست بلکه اختلاف اکتیویته است

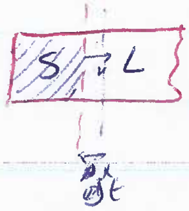
فلزات با نقطه ذوب بالاتر بیشتر نفوذ می‌کنند. این نفوذ در جامد هم انجام می‌شود

در انجماد تعادلی فرض براین است که نفوذ اتمی در جامد و مذاب شدید است. که حرکت مکانیسم convection (جابجایی) هم زدن

در دو فاز جامد و مایع وجود دارد. اما در جامد هم زدن معنا ندارد اما سرعت حرکت ناشی از نفوذ بیشتر است

در این صورت بایستی D زیاد که در زمان انجماد (t) چه مقدار نفوذ انجام می‌شود و به عبارتی زمان ماندگاری است سرعت

نفوذ در جامد بیشتر است یا سرعت انجماد . به عبارتی دیگر فاصله‌ی نفوذی بیشتر است یا ضخامت پوسته جامد شده



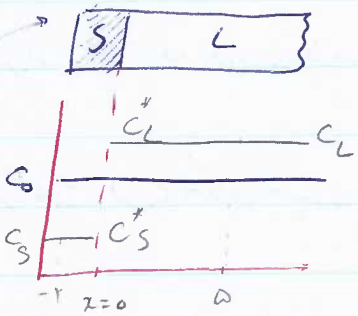

$$\sqrt{D_{A.B} * \Delta T} > \Delta x \quad \left(V = \frac{\Delta x}{\Delta t}\right) \longrightarrow$$ شرط انجماد تعادلی

در این صورت انجماد از دیدگاه غلظتی (نه حرارتی) تعادلی است و حالت تعادلی دارد

در این صورت قانون اهرم برای محاسبه جبهه انجماد در حد فاصل جامد قابل استفاده است در هر نقطه متصور که آن در

مذاب پیوسته می‌توان غلظت را بدست آورد چون با توجه به رابطه‌ی فوق ، در سراسر جامد غلظت در اثر نفوذ یکنواخت

شده است و در مذاب هم نیز گویا هم زده شده است و غلظت یکنواخت است




$$\Delta C|_{x=0} = C_L^* - C_S^*$$

$$\Delta C|_{x=\infty} = C_L^* - C_L^* = 0$$

$$\Delta C|_{x=-2} = C_S^* - C_S^* = 0$$

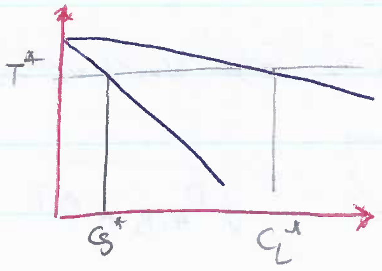
اگر دما بالاتر برود $C_S^*$ و $C_L^*$ هر دو زیاد می‌شود و در پایان ایجاد $C_S^* = C_0$

حال می‌خواهیم منحنی تغییرات این $C_S^*$ و $C_L^*$ را بررسی کنیم

$$C_B^s \cdot f_s + C_B^l \cdot f_l = C_0 \qquad f_s + f_L = 1$$

تعریف: ضریب جدایش تعادلی که نسبت غلظت جامد در هر دما به غلظت مذاب در آن دما تعریف می‌شود

$$k_0 = \frac{C_s}{C_l}$$




$$T = T^* : \quad k_0 = \frac{C_S^*}{C_L^*}$$

$$T = T'' : \quad \frac{C_S''}{C_L''} = k_0$$

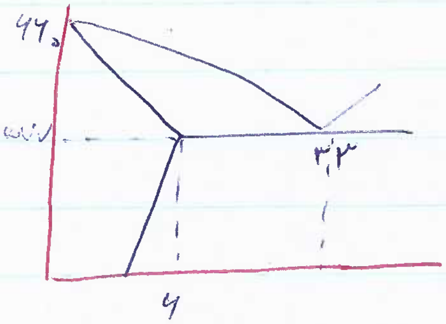
$$C_B^s \times f_s + C_B^l (1 - f_s) = C_0 \Rightarrow k_0 C_B^l f_s + C_B^l (1 - f_s) = C_0$$

$$C_B^l (k_0 f_s - f_s + 1) = C_0 \Rightarrow C_B^l = \frac{C_0}{(1 - f_s \underbrace{(1 - k_0)}_{P})} =$$

$$C_B^S = k_0 C_0 \left(1 - f_s(1-k_0)\right)^{-1}$$

این ها با فرض حالت تعادلی بود

مثال: اگر شمشی از آلیاژ Al-۲٪Cu منجمد شود غلظت جبهه انجماد چقدر است




$$k_0 = \frac{C_S}{C_L} = \frac{۶}{۳۳} = ۰٫۱۸$$

$$C^S = k_0 C_0 \left[1 - f_s(1-k_0)\right]^{-1}$$

$$= ۰٫۱۸ \times ۰٫۰۲ \left(1 - ۰٫۹۵(1 - ۰٫۱۸)\right)^{-1}$$

$$= ۴٫۱۴ \times ۱۰^{-۴}$$

$$C^l = \frac{C^S}{k_0} = ۳٫۳۳$$

انجماد آلیاژها جدایش عملاً دارد . شرط تعادل نقطه‌ای (جدایش نیست)

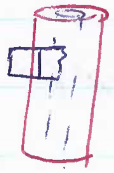
$\sqrt{Dt} >> x(t)$

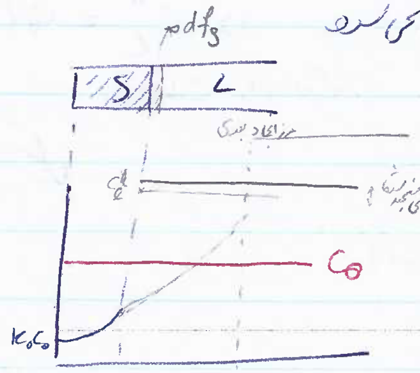
(از نقطه نظر عملی)

انجماد غیرتعادلی: الف) در حالت تعادلی اما جامد هم زده نمی‌شود یعنی سرعت نفوذ در پوسته‌ی جامد صفر است

که به آن قانون اهرم غیرتعادلی می‌شود و یا به آن شیل (Schiell) گفته می‌شود.

در اینجا مذاب هم زده می‌شود اما جامد هم زده نمی‌شود






$$f_S = \frac{V_S}{V_{total}} , \quad f_l = \frac{V_l}{V_{total}}$$

$$f_S + f_l = 1$$

$$(C_l^* - C_S^*)\, df_S = (\underbrace{1 - f_S}_{f_l} - df_S)\, dC_L^*$$

چون $df_s$ کوچک است می‌توان از آن صرف‌نظر نوشت داریم:

$$(C_l^* - C_S^*)\, df_S = (1 - f_S)\, dC_L^*$$

$$\Rightarrow (1 - k_0)\, C_L^*\, df_S = (1 - f_S)\, dC_L^*$$

$$\frac{C_S^*}{C_l^*} = k_0 \Rightarrow k_0 C_l^* = C_S^*$$

$$\Rightarrow \int \frac{df_S}{1 - f_S} = \int \frac{dC_L^*}{(1 - k_0) C_L^*} \Rightarrow -\ln(1 - f_S) = \frac{1}{1 - k_0} \ln C_L^* + \ln A$$

B.C: $f_S = 0$ ; $C_L^* = C_0$ , $C_S^* = k_0 C_0$

B.C: $f_S = 100$ ; $C_L^* = \frac{C_0}{k_0}$ ,

B.C.1 : $-\ln A = \frac{1}{1-k_0}\ln C_0 \Rightarrow (k_0-1)\ln A - \ln C_0 = 0$

$$\Rightarrow \ln A = \frac{1}{k_0-1}\ln C_0$$

$$\Rightarrow \ln(1-f_s) = \frac{-1}{1-k_0}\left(\ln\frac{C_L^*}{C_0}\right)$$

$$(k_0-1)\ln(1-f_s) = \ln\frac{C_L^*}{C_0}$$

$$\Rightarrow \frac{C_L^*}{C_0} = (1-f_s)^{k_0-1} \Rightarrow C_L^* = C_0(1-f_s)^{(k_0-1)}$$

غلظت مذاب در جبهه ($C_L^*$)

معادله اهم غیرتعادلی یا شیل

$$C_S^* = k_0 C_0 (1-f_s)^{(k_0-1)}$$

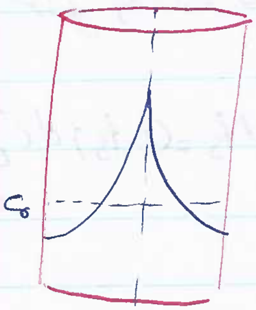
غلظت جامد در جبهه ($C_S^*$)

غلظت متوسط مجموع غلظتهای جامد تقسیم بر تعداد لایه‌ها

$$C_{S\,متوسط} = \sum \frac{C_i^s}{i}$$

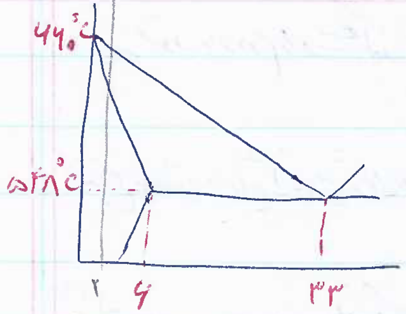
یا $C_{S\,متوسط} = \sum \frac{C_{i-1}^s + C_i^s}{2}$

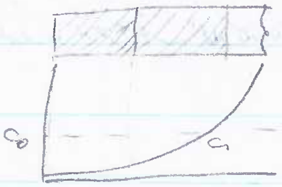
یعنی در قالب به صورت روبروست




معادله شایل به جز $f_s=0$ و $f_s=1$ درست است. توجه به این نکته لازم است که معادله داده شده تنها برای جبهه‌ی انجماد است. اگر گفته شود غلظت مذاب ۲mm که از جبهه چقدر است برابر خود $C_L^*$ است. اما برای جامد باید بررسی شود $f_s$ چقدر است و حال $C_s^*$ را محاسبه کرد

مثال در آلیاژ آلومینیوم ۲ درصد مس مقدار کسر جامدی که غلظت آن برابر غلظت اولیه شمش است چقدر است




$$k_0 = \frac{6}{33} = 0,18$$

$$C_S^* = k_0 C_0 (1-f_S)^{0,18-1}$$

$$C_0 = 0,18\, C_0 (1-f_S)^{0,18-1} \Rightarrow \frac{1}{0,18} = (1-f_S)^{-0,82}$$

$$f_S = 0,876$$

ب) حلالیت غلظت فصل مشترک وقتی نیمی از شمش منجمد می‌شد

$$f_S = 0,5 \Rightarrow C_S^* = 2 \times 0,18 \times (1-0,5)^{-0,82}$$

$$= 0,64$$

$$C_L^* = \frac{0,64}{k_0} = 3,53$$

پ) تجمع غلظتی در حالت فوق اشباع: مانند تعادلی است اما نه مذاب و نه جامد هم نمی‌خورند. یعنی سرعت نفوذ در جامد صفر و در مذاب به علت مایع بودن در هر حد ضریب نفوذ مذاب است.

MIX : No $\in l$

Dif : No $\in S$

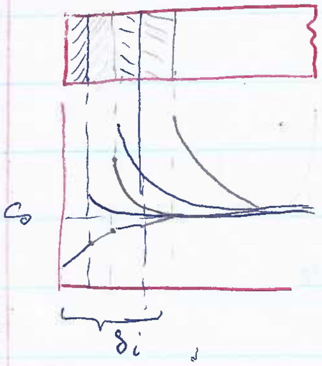
حالا چون مذاب هم زده نمی‌شود، پس زدن عنصر آلیاژی در جلو جبهه انجماد نمی‌تواند مانند حالت قبل در سرتاسر مذاب پخش شود

پس جلو جبهه ی انجماد عنصر پس زده شده تجمع می‌یابد. پس غلظت جلو جبهه انجماد (فقط جلو نه دور دست) در حد خیلی زیادی افزایش

می‌یابد. حال این سؤال مطرح است که تا چه مقدار. تا مقداری که به حد حلالیت مذاب که اصطلاحاً فوق اشباع نامیده می‌شود. اگر

بیشتر شود فاز دوم رسوب می‌کند (مانند یوتکتیک) که جزء بحث انجماد کارشناسی نیست . لذا در ادامه (زمان) لایه فوق

اشباع غلظتی با لایه انجماد پیش می‌رود.



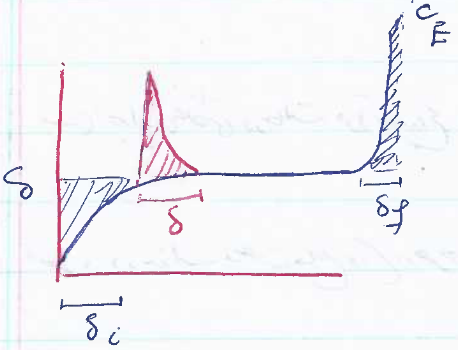

غلظت جامد به $c_0$ رسیده است پس مذاب $\frac{c_0}{k_0}$ می‌رسد . از این نقطه

به بعد غلظت مذاب $\frac{c_0}{k_0}$ است و با همین شیب پیش می‌رود و غلظت

~~مذاب~~ جامد هم همان $c_0$ است چون به حد فوق اشباع رسیده و دیگر نخواهد جلوتر

برود تا جرم نقض می‌شود.

حال وقتی به مرکز شمش می‌رسد، چون دیگر فضایی ندارد پس غلظت به شدت بالا می‌رود




دو سطح مشخص شده برابر اند. چون در قسمت اول مقدار کمتری کم بود

جالب است که گویی به انتهای محل انجماد رفته است

$$\delta \simeq \delta_f$$

$$\delta_i \simeq \frac{\delta_f}{k_0}$$

در این حالت می‌توان از $\delta_f$ را $\delta$ صرف نظر کرد ولی جدایش غلظتی نداریم .

غلظت وسط شمش تقریباً $c_0$ است