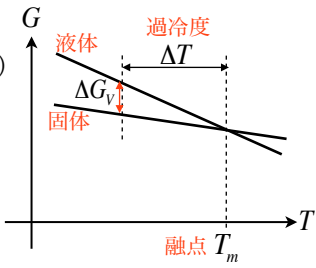


学生番号 _____ -T _____ 氏名 _____

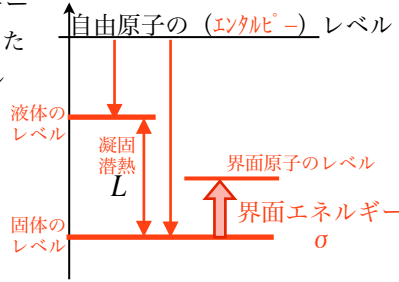
1. 核生成 (まとめ1)

① 第1項: ΔT 過冷しているとして、液体状態の (結合) エネルギーと固体状態の (結合) エネルギーの差 (体積あたり) ΔG_V を、右の図に記入する。



第2項:

右下の図で液体状態の (エンタルピー) と固体状態の (エンタルピー) のレベルを明示し、さらに (界面) の原子のエネルギーレベルを示して、(界面) を形成するために必要となる重要な (界面) エネルギーを明示する。

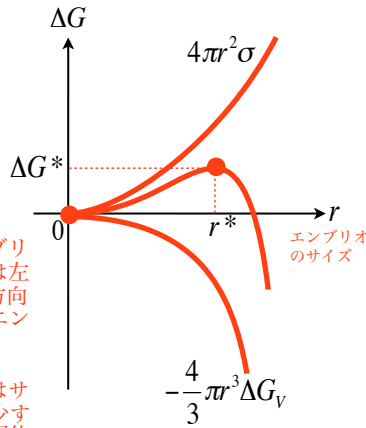


第1項と第2項の和を数式で表現する。

$$\Delta G = -\frac{4}{3}\pi r^3 \Delta G_V + 4\pi r^2 \sigma$$

② 第1項: rの (3) 乗に比例
第2項: rの (2) 乗に比例

重要なキーワード: 臨界半径 r*
(図中にも明示すること)
エネルギー障壁 ΔG^* も明示すること



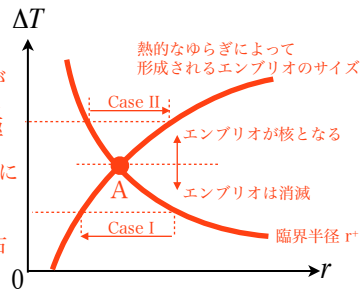
エンブリオが核になるかどうかの説明
(重要なキーワードとサイズrの大小関係)

熱的なゆらぎによって形成されたエンブリオのサイズが臨界半径より小さい場合は左に示すようにそのサイズが小さくなる方向でエネルギーが減少する。すなわち、エンブリオは消滅する。
サイズが臨界半径よりも大きい場合にはサイズが増大する方向でエネルギーが減少する。すなわち、エンブリオは成長し、固体核となる。

③ ボルツマンの式 $\frac{n^*}{N} = \exp\left(-\frac{\Delta G^*}{k_B T}\right)$ n^* : エネルギー障壁の値のエネルギーのエンブリオの原子数

2つの曲線の説明

無数の原子の中であるエネルギーを持つ原子数がボルツマン分布に従うとして、上式のように障壁エネルギー ΔG^* 以上の原子は ΔG^* が小さくなると極端に増加する。過冷度 ΔT と ΔG^* は負の相関を持ち、 ΔT の増加に伴い、エンブリオのサイズは極端に増加し、右図に模式的に示す。



臨界半径 r^* は過冷度 ΔT と反比例の関係にあり、右図中に併せて示す。
両者は交点Aで交差する。

交点Aを使って有限の過冷の必要性を説明

凝固過程では温度は連続的に低下しているので、融点以下では過冷度が徐々に大きくなってゆくと考えられる。融点になった直後付近では、過冷度 ΔT はA点よりも小さい。

<Case I> $\Delta T < A$ の場合 熱的なゆらぎによって形成されるエンブリオのサイズは図中のCase Iに示すように臨界半径よりも小さい。エンブリオは消滅し、固体核とならない。

冷却が進みやがて過冷度 ΔT がA点よりも大きくなる。

<Case II> $\Delta T > A$ の場合 熱的なゆらぎによって形成されるエンブリオのサイズは図中のCase IIに示すように臨界半径よりも大きくなる。エンブリオは固体核となって、凝固が進行する。

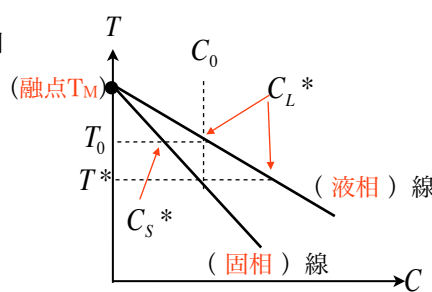
以上から、凝固時のリカレンスに代表されるように凝固には有限の過冷が必要である。

2. 合金の凝固 (まとめ2)

① (平衡分配) 係数, k

$$k = C_S^* / C_L^*$$

② 濃度 C_0 で温度が (液相) 線まで低下してくると、固液界面では (液相) 側と (固相) 側の濃度が異なる値で (平衡) 状態となる。これを (平衡) 分配という。これにより、固相側に収容しきれなかった (溶質) が (液相) 側に (排出) され、(溶質) は界面近傍に (蓄積) し、濃度分布は右段最上部のグラフのようになる。



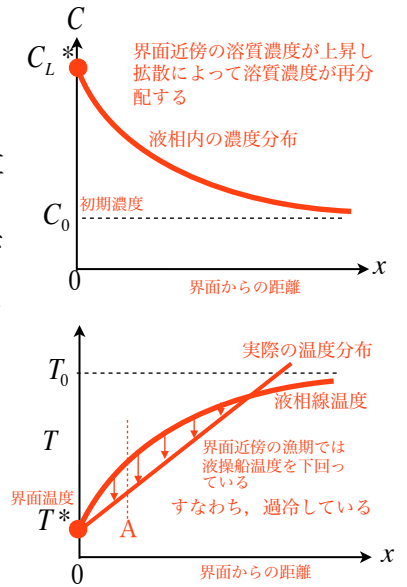
(模式的なグラフを示すこと)

右図のように濃度分布が変化すると、それに対応する (液相) 線温度は状態図に従い、右下図のようになる。

(模式的に描くこと)

さらに (実際) の温度分布 (これも直線的な分布と仮定して描く) が (液相) 線温度を下回った場合、正常の凝固、すなわち固相側の温度が (低く) 高く、液相側の温度が (低く) 高く) になっている場合でも過冷している領域が現れることになる。

これを **組成的過冷** という。



③ 組成的過冷が生じると、界面よりも界面から離れた場所A点の方がより過冷されていることになり、凝固速度もA点の方が速い。そのような状態で界面にわずかの凹凸ができた場合に、凸の部分の方が速く結晶成長することになり、わずかな凹凸が増幅されてしまう。これが界面の不安定性であり、界面の形態はセル状、さらにはセルの側面にも凹凸が形成されデンドライトとなる。

3. 鋼の連続 casting

① ア 水冷銅鑄型 イ 連鑄パウダー
ウ フラックス エ ピンチロール

② Aの名称 モールドオシレーション

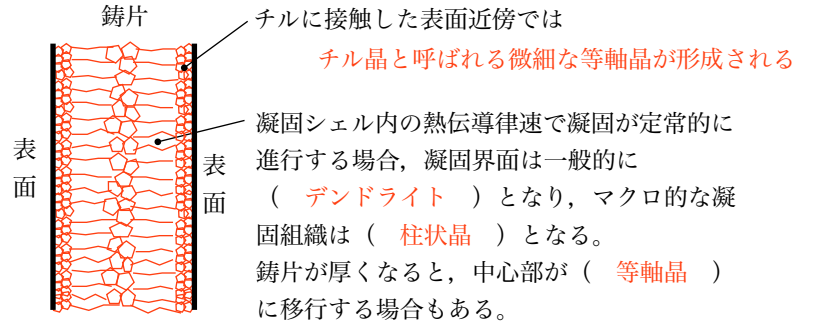
目的 凝固シェルと鑄型の隙間へのフラックスの流入を促進し、焼き付きを防止する

③ Bの名称 吐出流

問題点 吐出流は深い循環流となり、それによって気泡や介在物が運ばれ凝固シェルに補足されて、欠陥となる。

対策 タンディッドューによる介在物除去、電磁ブレーキ

④



4. 鑄造プロセス

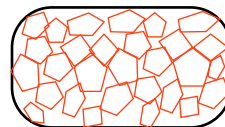
① ア 湯口 イ 湯道
ウ 押湯 エ 中子
オ 鑄型空隙部 カ せき

② 目的 凝固収縮によって不足する溶湯を補給する

注意点 凝固終末まで機能するように最終凝固部に連結させる

③ マクロ組織

説明 熱移動の律速は鑄型側で、溶湯全体が均一に冷却され、温度もほぼ均一となる。



均一核生成により、Cast全体で均一で、比較的粗大な等軸晶となる

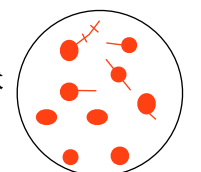
④ ミクロ組織

初晶は (グラファイト)



その形状が (りん片) 状

開発された鑄鉄

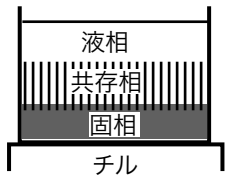


問題となる性質

じん性 に乏しい

(球状黒鉛) 鑄鉄

一方向凝固プロセス



(下) 側から固相が成長し、合金の場合は、デンドライト成長する場合もある。

一方向凝固ではチル（鋳型）は（ 下 ）に置き結晶成長が鉛直（ 上方 ）になるようにする。

デンドライト成長してもしなくても、結晶は凝固方向に長く伸長する。

すなわち、一方向凝固のマクロ組織は 柱状晶

凝固速度が速いほど そのサイズは（ 小さく ）なる。

単結晶製造プロセス

キャスト（製品）全体が1つの結晶にするために、液体中での（ア 核生成）が生じないようにする。

簡単に考えれば、一般的に 温度勾配を（ 急 ）にして、凝固速度を（ 遅く ）すればよい。

それでも界面前方で（ア）した場合は、それらがすぐにバルクの方に運ばれるように流れを作っておけば良い。

（ブリッジマン）法：

温度勾配をつけた炉の中で試料を（ ゆっくり ）移動させ、いくつかの柱状晶のうちの1つを大きく成長させて単結晶にする。

（チョクラスキー）法：

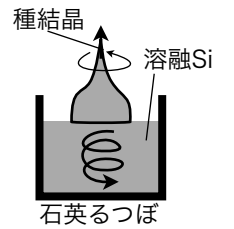
単結晶の基となる（イ 種結晶）を融液につけて（ ゆっくり ）引き上げる。（イ）は冷却されており

引き上げと同時に凝固が進行する。例えば単結晶Siインゴットは8インチ以上のサイズで製造されており、実際には酸素濃度を制御するために回転しながら引き上げ、自然対流と重なって渦流を生じさせている。

（浮遊帯溶融）法：

棒状の多結晶試料の一部分を高周波誘導溶解によって溶解し、その溶融部を（ ゆっくり ）移動させることに

よって、いくつかの柱状晶のうちの1つを大きく成長させて単結晶にする。誘導溶解では電磁力によって溶融部は激しく（ 攪拌 ）されており、液体内で（ア）しても多結晶とはならない。



半溶融凝固プロセス

ホールペッチの法則から考えると一般的に望ましいマクロ組織は細かい等軸晶である。そこで、電磁攪拌等で液体部を強攪拌し、合金等で普通に成長しているデンドライトを分断することにより細かい固体が液体内に分散したシャーベット状の半溶融体を鋳型に注入することにより、柱状晶になるような鋳物でも（ 細かい ）（ 等軸晶 ）の組織が得られる。