

基礎材料組織学 第 14 回

- 前回：
- ・ 鉄および鋼の概要
 - ・ 鉄の変態と結晶構造
 - ・ 炭素鋼の平衡状態図と組織



- 今回：
- ・ 共析変態
 - ・ マルテンサイト変態

14.1 共析変態(パーライト変態)

●S点(A₁点)直下で生じる現象:

オーステナイト(α固溶体)から
フェライト(γ固溶体)と
セメンタイト(Fe₃C)が共析
する

・共析変態、パーライトが
得られる。

●パーライトの形成メカニズム

① 共析温度まで温度
低下

② 元のオーステナイト粒界での
セメンタイト核形成

③ セメンタイト核形成に伴うオーステナイト
からのC原子拡散
(セメンタイト: 6.67% C, オーステナイト:
max 2.14% C)

④ Cが不足したオーステナイト領域に
おけるフェライトへの変態

・セメンタイトの核形成: 冷却速度
の増大に伴い多くなる

●冷却速度の増大: パーライト層が薄くなる

パーライト結晶の微細化

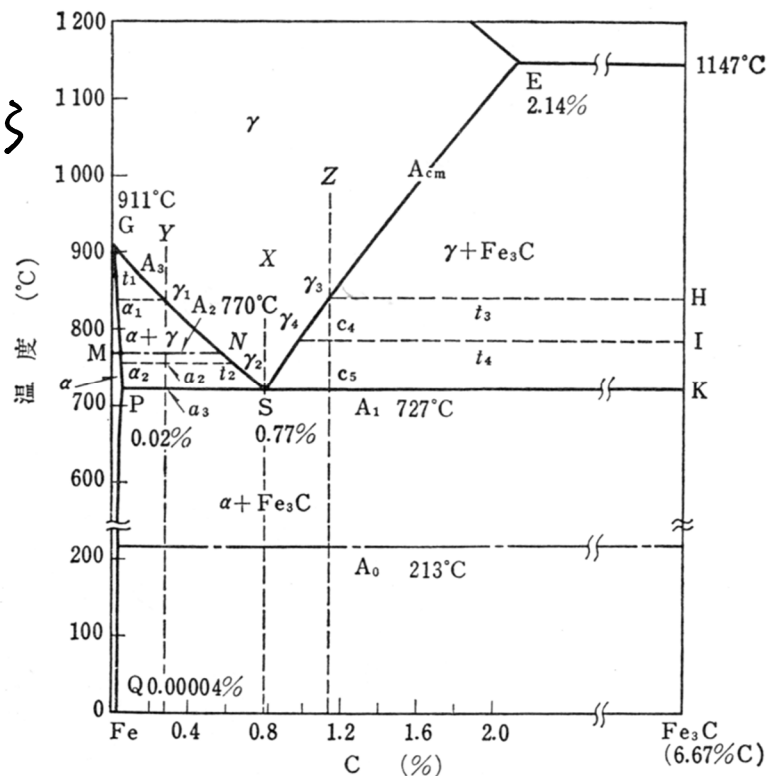


図 14.1 Fe-C 平衡状態図

[金属材料工学 改訂・SI 版, 森北出版]

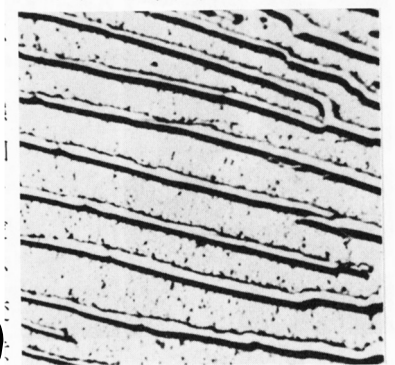


図 14.2 パーライト

[金属材料工学 改訂・SI 版, 森北出版]

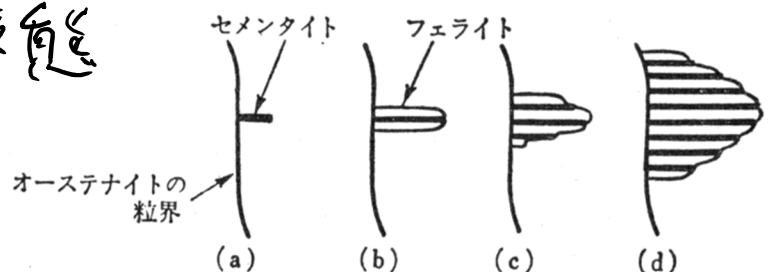


図 14.3 パーライトの形成メカニズム

[金属材料工学 改訂・SI 版, 森北出版]

14.2 鋼のマルテンサイト変態

・問い: 更に高い冷却速度の場合どうなるか?

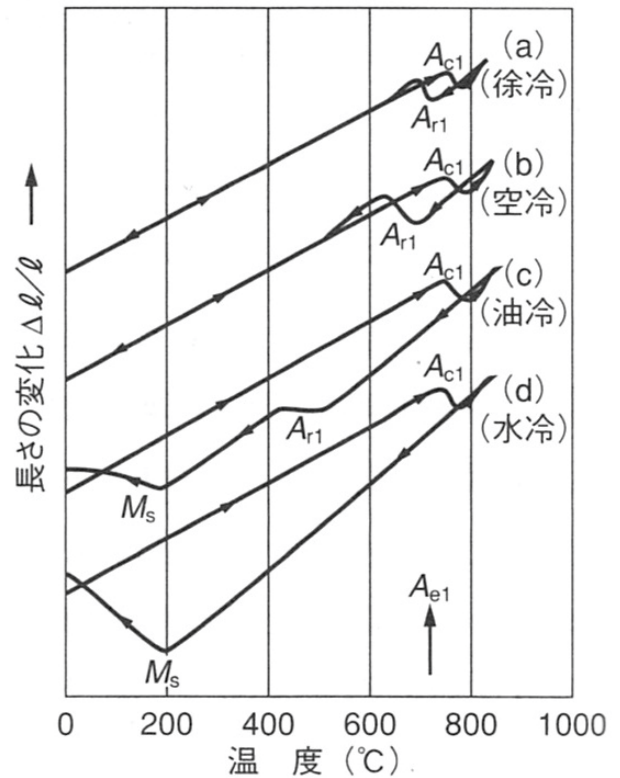
異なる形態の変態現象が生じる。

・図 14.4 における線図の屈曲: 変態の発生 (体積変化)

A_{c1} : 平衡状態図上での変態温度

A_{r1} : 実際、加熱時の "

A_{r1} " 冷却時の "



・冷却速度上昇: A_{r1} が低下していく

・油冷～水冷: 200°C 付近で異なる変態

図 14.4 共析鋼における冷却速度と変態温度

[改訂 機械材料学, 日本材料学会]

↓
「マルテンサイト変態」

14.3 マルテンサイト変態のメカニズム

・平衡状態を保った冷却(徐冷)による変態

→ 原子の拡散を伴い, γ (fcc) から α (bcc) + Fe_3C のように完全に構造の異なる格子 or 構造体になる。

・平衡状態ではない冷却(急冷)による変態

→ 原子の拡散が追いつかない速度で冷却されるため、原子の移動が限定的 (無拡散変態) な変態を生じる。

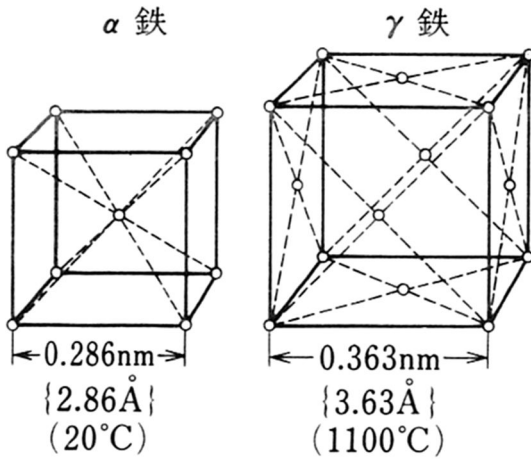


図 14.5 α 鉄と γ 鉄

[大学基礎 機械材料 SI 単位版, 実教出版]

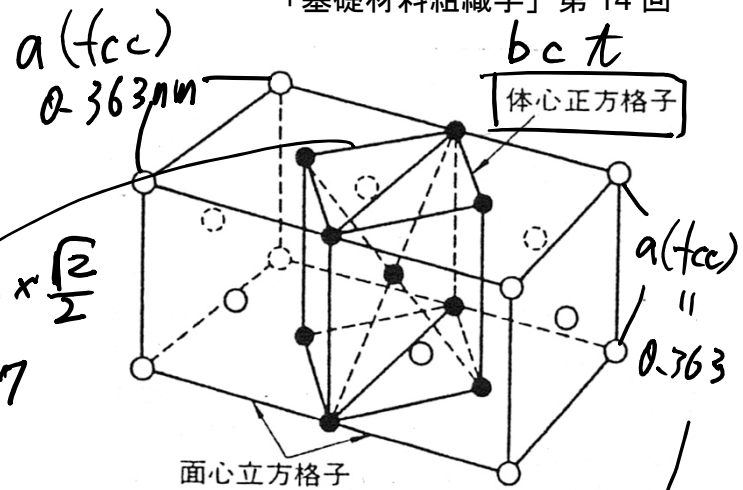


図 14.6 マルテンサイト変態における結晶格子変化

$$0.363 \times \frac{\sqrt{2}}{2} = 0.257$$

$$a(bct) = 0.285 \text{ nm}$$

- ・フェライト(bcc): $a=b=c=0.286 \text{ nm}$
- ・オーステナイト(fcc): $a=b=c=0.363 \text{ nm}$
- ・マルテンサイトのc軸: $a(bcc)=0.286 \text{ nm} \leftarrow c=0.298 \text{ nm}$

マルテンサイトのc軸: fccのc軸よりは収縮しているが、bccのc軸よりは広がっている。

単位格子の空け方により多くのCが固溶可能となる。

●マルテンサイト変態による強度向上の理由

- ① Cの過飽和固溶による格子ひずみ (固溶強化)
- ② 強制的原子移動による転位密度上昇 (加工硬化)
→ $10^{15} \sim 10^{16} \text{ m}^{-2}$ (強加工後とはほぼ同等)
- ③ 結晶粒の微細化

・例題: マルテンサイト変態を生じた炭素鋼(せん断弾性係数 $G = 82.0 \text{ GPa}$, バーガースベクトル $b = 0.50 \text{ nm}$)において転位密度 $\rho = 2.3 \times 10^{15} \text{ m}^{-2}$ であった。この時のせん断変形応力 τ を求めよ。ここで材料定数 $\alpha = 0.50$ とする。

$$\alpha = 0.50, G = 82.0 \text{ GPa} \\ = 82.0 \times 10^9 \text{ N/m}^2$$

$$\rho = 2.3 \times 10^{15} \text{ m}^{-2}$$

$$\tau = \alpha G b \sqrt{\rho}$$

ペイリー・ハートズの関係

$$b = 0.50 \text{ nm} = 0.50 \times 10^{-9} \text{ m}$$

$$\therefore \tau = 0.50 \times 82.0 \times 10^9 \times 0.50 \times 10^{-9} \times \sqrt{2.3 \times 10^{15}} \\ = 9.83 \dots \times 10^8 \text{ N/m}^2 = 9.8 \times 10^2 \text{ MPa}$$

10² MPa

14.3 マルテンサイト変態の特徴

①組織:

- 平衡状態での組織と比較して大きく異なる、針状組織が形成される。



図 14.8 マルテンサイト組織

[大学基礎 機械材料 SI 単位版, 実教出版]

②機械的特性:

- 非常に強度が高いが、非常にもろい。(じん性が低い)

- 合金元素によらず、約0.6% C まで C% に伴い強度が向上する。

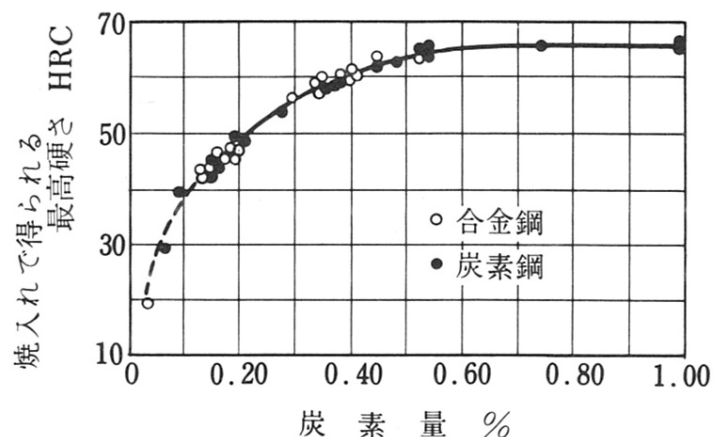


図 14.9 C%と焼入れ最高硬さの関係

[大学基礎 機械材料 SI 単位版, 実教出版]

低 $\leftarrow$ C% $\rightarrow$ 高
高 $\leftarrow$ Ms $\rightarrow$ 低

③変態点への影響:

M_s 点 (マルテンサイト変態開始点) も C% に影響を受ける。

14.4 第 14 回講義に関する意見・感想・質問のまとめ

●意見・感想

- ・単位まで揃えて計算する, 過去の計算方法を復習する, マルテンサイト変態のメカニズムを復習する, 単位を合わせるのが苦手なので練習する, 問題の解き方を理解して小テストに臨む, この分野の基礎ができていないため復習したい, 単位や計算に関してミスのないようにしたい, 平衡状態図の読み取りについて復習する, テストが近づいてきたのでやる気が増してきた:21
- ・Fe-C 平衡状態図になってからあまり深く理解できてなかった, 小テストでグラフの読み取りがうまくできなかった, 読み取りが少し難しかったが復習不足だった, あまり手応えがない, 問題が難しかった, ここ数回で一番難しかった, 自分の手で書かないと全く理解できないと今回の小テストを受けて感じた, 小テストで漢字を間違えた, 理解が曖昧な箇所があり不安だ, 読み取る領域を勘違いした, 理解不足と勉強不足で小テストがやりきれない:14←今回の小テストは平均 3.2 点, 満点 3 名でした. 率直に言って, 惨憺たる結果という印象です. 現時点での実力がこの程度なら, 試験までには相当勉強しないと厳しそうですね.
- ・パーライトの形成メカニズムやマルテンサイトの特徴が理解できた, マルテンサイト変態における冷却速度の影響について理解した, 前回 Fe-C 平衡状態図をかなり理解できたので今回もスムーズに理解できた, S 点直下で起きる現象を理解できた, マルテンサイト変態の格子変化の説明がわかりやすかった:14
- ・マルテンサイト変態のメカニズムがよく分からなかった, bct の構造があまり理解できなかった, 前回より理解が難しかった, パーライト変態が難しかった:4
- ・語句に関する問題が苦手, 語句は直前だけでは覚えられないのですぐ復習する:2
- ・補講にちゃんと出てよかった, 昨年より補講の参加者が多かった:2←私もそう思いました, そういう意味で皆さん意欲は持っていると思うので, 頑張ってください.
- ・この授業で有効数字の扱いに抵抗がなくなった←それは良かったです!
- ・Fe-C 平衡状態図は書き込みが多すぎてどこが何%なのかわかりにくい←それは確かに言えますね.
- ・冷却速度によっても異なる姿を見せる鉄を非常に興味深く感じた←鉄に限らず, アルミでも析出強化の説明時に話した通り急冷を利用しています(他の金属材料でも同様です).

●○○(個人名)がカンニングしていたので持ち込みなしでいいと思う

- (上のコメントで明記された人のコメント)早めに来て予習したため小テストは解けた←カンニングの指摘ありがとうございます, 残念ながら現行犯でない限り私から罰は与えられないので, 今回は見過ごすしかありません. ただし, 所詮本質的な理解はしていないので(今回の小テストも, カンニングした? 割に大して取れていませんでした), 結局単位は落とすと思います.
- ・高校の友達が今熊本にいますので心配←連絡は取れましたか?
- ・レポート終わったので当日忘れない←大事です.

●質問

- ・定期試験の大問は何問あるか? ←定期試験に関する情報は今後は出さないことにしました.
- ・ 10^8Pa を 10^2MPa に直すのはなぜか? 今日の例題の答えを「 0.98GPa 」と表記しても正解か? ←材料強度の単位として「 MPa 」の方が一般的だからです. もちろん Pa のままでも GPa としても, 数値が有効数字的に適切なら正解です.
- ・より急冷(ドライアイスや液体窒素)したらどうなるのか? ←ある一定冷却速度を超えていけばそれ以上は変わりません.
- ・平衡状態図の形は全て Fe-C のようになるのか? ←色々なパターンの平衡状態図がありますので, 自分で調べてみてください.

- ・平衡状態ではない急冷において原子の拡散が追いつかなくなるのはなぜか？ ←説明がむしろ難しいですね・・・「平衡状態を保った冷却＝原子の拡散が十分可能な速度での冷却」ってことなんですが、そもそも前提条件が満たされていない、ということです。

14.5 第 13 回小テスト解答

図に示す Fe-C 系平衡状態図において、Y 組成 (0.27% C) をオーステナイト領域からゆっくり冷却した場合を考える。

Q.1 温度 a_3 直上で存在している相の組成とそれぞれの存在割合を求めよ。[6 点]

Q.2 温度 a_3 直下で生じる現象、およびその現象により全体としてどのような組織になるかを答えよ。[4 点]

A.1 温度 a_3 直上で存在している相：初析フェライトとオーステナイト

フェライトの組成：P 点に相当，0.02% C－99.98% Fe

オーステナイトの組成：S 点に相当，0.77% C－99.23% Fe

$$\text{フェライトの存在割合} = \frac{0.77 - 0.27}{0.77 - 0.02} = \frac{0.50}{0.75} = 0.666... = 67\%$$

$$\text{オーステナイトの存在割合} = 1 - 0.666... = 33\%$$

A.2 温度 a_3 直下で生じる現象：残っていたオーステナイトからフェライトとセメンタイトが共析する
(もしくは 残っていたオーステナイトからパーライトが形成される)

どのような組織になるか：初析フェライトとパーライトの混合組織

