

## 第4章 問題解答

### 予習

1.

①フェライト ②オーステナイト ③セメンタイト  
最大炭素濃度 0.02 wt.%    2.14 wt.%    6.67wt.%  
結晶構造    体心立方格子    面心立方格子

2.

	素濃度範囲 (wt.%)	マイクロ組織
①純鉄	<u>0.02 wt.%以下</u>	<u>フェライト</u>
②亜共析鋼	<u>0.02~0.77 wt.%</u>	<u>初析フェライト+パーライト</u>
③共析鋼	<u>0.77 wt.%</u>	<u>パーライト</u>
④過共析鋼	<u>0.77~2.14 wt.%</u>	<u>パーライト+初析セメンタイト</u>

3.

- (a) 共析鋼  
パーライト
- (b) 亜共析鋼  
初析フェライト  
+パーライト
- (c) 純鉄  
フェライト
- (d) 過共析鋼  
パーライト+  
初析セメンタイト

### 演習問題 A

4-A1

炭素鋼の機械的性質とマイクロ組織は冷却速度で大きく変化する。したがって、冷却速度とマイクロ組織、得られる硬さの関係が整理されている C. C. T. 線図を用いるのが適切である。一方、例えば炭素鋼においてベイナイト組織を得たい場合には、温度と保持時間の関係を整理した T. T. T. 線図が役に立つ。

#### 4-A2

図 4-4 と図 4-5 に示した炭素鋼の T. T. T. 図では、C 曲線の鼻よりも低い温度にベイナイト変態の開始線 ( $B_s$ ) と終了線 ( $B_f$ ) がある。 $A_1$  温度から室温まで一定の速度で冷却した場合には、どのような速度で冷却しても  $B_s$  と  $B_f$  の両方を冷却曲線が横切ることはない。また、図 4-7 に示した C. C. T. 線図においても同様である。したがって、炭素鋼においてベイナイトを得るためには、オーステンパーのように C 曲線の鼻よりも低い温度で一定時間保持(等温保持)する必要がある。

#### 4-A3

焼入れについては図 4-9、焼なましについては図 4-23、焼ならしについては図 4-27 に示すとおりである。

#### 4-A4

共析鋼を例にして述べる。通常の焼入れではマルテンサイト、ベイナイト焼入れではベイナイト、完全焼なましでは粗大パーライト、完全焼ならしでは微細パーライトが得られる。

#### 4-A5

焼戻しの第一段階は  $80^{\circ}\text{C}$ ~ $160^{\circ}\text{C}$  の温度範囲において高炭素マルテンサイトは低炭素マルテンサイトへ変化するとともに  $\epsilon$  炭化物の析出が起こる。

第二段階は  $230^{\circ}\text{C}$ ~ $280^{\circ}\text{C}$  の温度範囲において残留オーステナイトが下部ベイナイトへ変態する。下部ベイナイトは最終的にフェライトと炭化物の混合組織となる。

第三段階は  $300^{\circ}\text{C}$  以上の温度範囲ではセメンタイトが出現し、約  $400^{\circ}\text{C}$  の焼戻し温度でトルースタイト、約  $600^{\circ}\text{C}$  の焼戻し温度でソルバイトが生成する。

### 演習問題 B

#### 4-B1

炭素鋼における焼割れの原因は、マルテンサイト変態の際の急激な体積の膨張である。また、マルテンサイトの生成量は炭素量の増加にともない増加する。したがって、しっかりと焼入れ硬さを確保するために  $550^{\circ}\text{C}$  までは急冷するが、過冷オーステナイトがマルテンサイトに変態する  $250^{\circ}\text{C}$  以下の温度範囲はゆっくりと冷却する必要がある。また、焼割れは部位によって冷却速度が異なる複雑形状製品で生じることが多いため、複雑形状製品については油冷、時間焼入れ、マルテンパーなどの製品全体の冷却速度ができるだけ均一になるような焼入れ法を選択する必要がある。その他、肉厚や形状の変化を少なくする製品設計や形状が大きく変化する部分には R をつけることでも焼割れの発生を低減することができる。

#### 4-B2

焼入れ焼戻し後の炭素鋼の形状変化には焼入れの際に生じた残留オーステナイトが大きく関係している。特に、炭素濃度が 0.6%を超える炭素鋼では通常の水冷ではオーステナイトが残留する。残留オーステナイトは温度変化や外部応力によって容易にマルテンサイトに変態して寸法変化を引き起こす。この問題の解決には、焼入れ後に直ちにドライアイスやアルコールで希釈した液体窒素でさらに冷却し、残留オーステナイトをマルテンサイトに変態させるサブゼロ処理が有効である。なお、サブゼロ処理後には直ちに焼戻しを行う必要がある。

#### 4-B3

炭素鋼では 250°C から 350°C の温度域で焼戻しを行った場合には、硬さだけでなく靱性も低下する低温焼戻し脆性が生じる。低温焼戻し脆性の原因は、 $\epsilon$  炭化物がセメンタイトに変わる際に現れる薄片状セメンタイトである。