

# 第1章 熱処理とは

## 1. 熱処理の必要性

鋼の熱処理とは、加熱及び冷却を種々にコントロールすることによって成分を拡散、あるいは再結晶させたり、変態あるいは析出を阻止、または促進したりして、鋼の性質を種々なものに調整することである。主な目的としては、強度を上昇したり、靱性を向上することで、熱処理する場合が多い。

厚鋼板においても、戦後著しく発達してきた高張力鋼の分野で、引張強さ490 N/mm<sup>2</sup>のレベルから590 N/mm<sup>2</sup>、更には780 N/mm<sup>2</sup>、980 N/mm<sup>2</sup>と進歩する過程において、一方では高張力鋼として良好な溶接性を有するという絶対的な性質のもとに、熱処理という方法が考え出された。ということは、最初のステップとしては、化学成分を調整することで、目的の強度を達成することができても、更に進んで高度の強度を得るためには、化学成分のレベルを上げて溶接性に限界があり、かつ高価な元素を添加することは、経済的にも問題があるため、焼入れ→焼もどしという方法がとられた。

一方、用途によっては、圧延組織のままの粒を調整し、均一な細粒にして、靱性を向上させる目的で焼ならしを行ったり、溶接性の問題で、表面硬度を下げる意味から焼なましを行うことも、熱処理においては、不可欠な要素とされている。(工具鋼の切削性を良くする為、硬度を下げる目的でも焼なましを行う)

以上述べたように、熱処理作業は、厚鋼板製造法の中でも欠くことのできない工程である。以下、厚鋼板で通常行われている熱処理法について述べてみることにする。

## 2. 熱処理の種類

### (1) 同素変態と鉄-炭素系の平衡状態図

純鉄を常温から徐々に加熱していくと、温度の上昇にともなって熱膨張を起こし、更に加熱すると、911°Cで、図1-1のように急激な収縮を生じる。その後は、前よりやや急な傾きで膨張を続け、1392°Cで急激に膨張して、再

び911°C以下の延長線上にくる。

図1-1からもわかるように、911°C~1392°Cの温度範囲においては、それ以外の温度範囲と異なる結晶構造を示していると考えられ、911°Cでは収縮、1392°Cでは膨張していることから、容積の小さい結晶構造である。この構造は、面心立方格子であり、 $\gamma$ -Feと呼ぶ。他方、911°C以下、1392°C以上では、体心立方格子の結晶構造をしており、それぞれ $\alpha$ -Fe、 $\delta$ -Feと呼ぶ。図1-2に、面心立方格子、体心立方格子

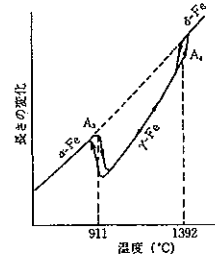
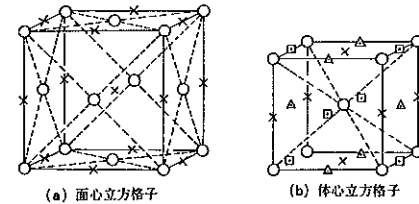


図1-1 純鉄の加熱曲線

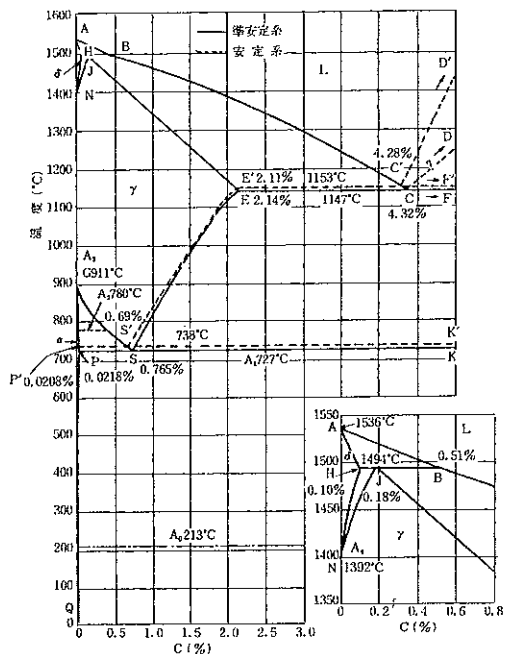
の結晶構造を示す。このように、同じ物質で結晶構造の異なるものを同素体と称し、温度変化によって、 $\alpha$ -Fe $\leftrightarrow$  $\gamma$ -Feのように変態することを、同素変態という。以上のように、温度の変化によって変態が生じるので、ある温度ではどのような状態(相)が安定であるかを示したものが状態図である。鋼とは純鉄に2.0%以下の炭素を添加したものであり、状態図としては、鉄-セメンタイト系平衡状態図が用いられる。図1-3に平衡状態図を示す。平衡状態図において、熱処理で重要な部分は、 $\gamma$ -Fe以下である。 $\gamma$ -Feをオーステナイトと呼び、 $\gamma$ -Fe $\leftrightarrow$  $\alpha$ -Feの変態点をA<sub>3</sub>点という。 $\alpha$ -Feはフェライトと称し、727°C以下では、図1-3のPQ線がCの固溶限度であり、極めて微量のCを固溶するだけである。それ以外のCは、セメンタイト(Fe<sub>3</sub>C)という化合物を形成する。

図1-3においてC=0.765%では、オーステナイトからフェライト及びセ



○Fe原子, X△C原子の入りうる位置(実際はこれらの一部)

図1-2 面心立方格子の結晶構造  
体心立方格子



主な点 A : 純鉄の凝固点      J : 包晶点      G : 純鉄のA<sub>1</sub>変態点  
 C : 共晶点      N : 純鉄のA<sub>2</sub>変態点      P : α固溶体の最大炭素溶解度  
 H : δ固溶体の最大炭素溶解度      E : γ固溶体の最大炭素溶解度      S : 共析点 (A<sub>1</sub>変態点)

図1-3 鉄-セメントタイト系平衡状態図

メンタイトを同時に析出する。これを共析変態と称し、この時の温度をA<sub>1</sub>点と称す。組織は、フェライト及びセメントタイトの層が交互に並んだもので、パーライト<sup>51-9</sup>と呼ばれている。また、共析点 (C=0.765%) よりC含有量の低いものを亜共析鋼、高いものを過共析鋼とっている。厚板の場合は一般に溶接性を要求されるため、亜共析鋼が主体である。

同素変態の場合は、変態にある程度時間が必要であるから、加熱の場合は高めの温度で、冷却の場合は低めの温度で変態が生じる。従って、加熱の場合は c (chauffage) 冷却のときには r (refroidissement) を付けて、例えば

A<sub>1</sub>変態については、Ac<sub>1</sub>, Ar<sub>1</sub>のように表現している。

(2) 変態線図

オーステナイトから冷却するとき、(1)において述べた鉄-セメントタイト系平衡状態図から冷却後の安定相が分るほかに、急冷によって得られる相を示した図がある。これが変態線図であり、等温変態線図及び連続冷却変態線図がある。両者はどちらも横軸に対数時間の目盛をとり、時間の経過による相変態を示す点においては類似しているが、その意味する所は全然異なっている。以下その二つを簡単に説明してみよう。

a. 等温変態線図

鋼をオーステナイトの状態からA<sub>1</sub>変態点以下の種々な温度に急冷し、その温度で保持すると、しばらくして変態を開始し、ある時間の経過後変態を完了する。このとき、横軸に時間の対数目盛をとって、変態開始点及び変態終了点を順に結んでいったものが、等温変態線図である。この曲線を等温変態曲線 (Time Temperature Transformation diagram) 略してT T T曲線ともいうが、図からもわかるように曲線がS字型をしているところから、S曲線ともいう。

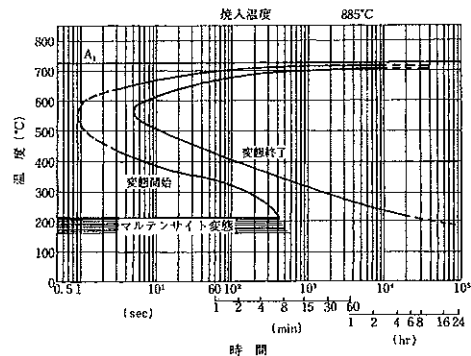


図1-4 共析鋼の等温変態線図

図1-4は、共析鋼の等温変態図を示したものであるが、A<sub>1</sub>点より次第に低くなるに従って曲線は短時間側に寄り、550°C付近で最も短く、それ以下になると曲線はなだらかに長時間側にずれて、220°C付近で、オーステナ

イトの範囲は突然失われてしまう。ここで 550℃付近の曲線が短時間側によるところを、鼻 (nose), 300℃付近の曲線がなだらかに長時間側へずれていく部分を入江 (bay) ともいう。

金属学的には、 $A_1$ 点直下では普通のパーライト、そして鼻の部分にいくに従って微細なパーライトを示す。従って鼻より上の部分をパーライト段階と呼ぶ。

鼻より更に低温側に行くと、組織は羽毛状あるいは針状を示すようになり、これは一般の冷却では現れない組織となる。鼻の温度直下で羽毛状の組織が上部ベイナイト、入江付近での針状の組織が下部ベイナイトとなる。従って鼻より下 220℃付近までの温度範囲をベイナイト段階 (中間段階) と呼ぶ。

更に 220℃付近になると、もはや過冷による時間を必要とせず、オーステナイトは直ちにマルテンサイトに変態する。従ってこの温度以下の範囲をマルテンサイト段階という。

b. 連続冷却変態線図

鋼をオーステナイトから種々な温度で冷却し、冷却線上の変態開始の点と終了点を、横軸に対数時間の目盛をとって順につないでいったものが連続冷却変態線図 (Continuous Cooling Transformation diagram) であり、略して CCT 曲線という。すなわち a. で述べた等温変態曲線では、ある温度に急冷後一定時間保持したあとの変態開始と変態終了であるから、

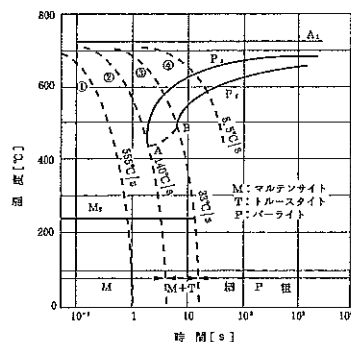


図 1-5 共析鋼の CCT 曲線

この 2 点は時間軸に平行であるが、連続冷却変態曲線においては、変態開始と変態終了は、冷却線上になる。

図 1-5 に、共析鋼の場合の連続冷却変態曲線を示した。図に示す実線部の  $P_s$  線、 $P_f$  線が連続冷却変態曲線である。すなわち種々な冷却速

度で冷却を行っていくと、冷却曲線が  $P_s$  線 (s: start, 開始) と交わる点でパーライト変態を開始し、 $P_f$  線 (f: finish, 終了) と交わる部分でパーライト変態を終了する。また図において、冷却曲線②より速く冷却していくと、パーライト変態はもはやおこらず、マルテンサイトに変態し、②と③の中間の冷却速度においては、 $P_s$  線との交点でパーライト変態をおこしたのち、 $A_B$  線と交わるところで変態を終了し、トルースタイトが発生し、そのまま過冷された残りのオーステナイトは、 $M_s$  点以下でマルテンサイト変態を生じる。ここで冷却曲線③は、マルテンサイトが現われるか、現われないかの境目の冷却速度であり、これを下部臨界冷却速度といい、②は上部臨界冷却速度という。

この図は、共析鋼について最も端的に示したものであるが、一般的にはベイナイト段階が明瞭に現れてくるほか、低炭素鋼では、フェライト段階も現れてくるので、図 1-6 のような複雑なものになる。

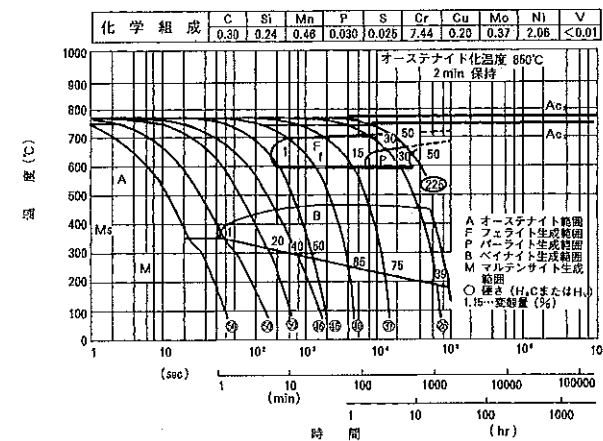


図 1-6 低炭素鋼における CCT 曲線の一例

c. 変態線図に及ぼす各種因子の作用

変態線図に影響を及ぼす因子としては、合金元素、加熱温度が挙げられる。