

【 第 1 章 】

これだけは押えておきたい
熱処理の基礎知識

鉄の特性

①鉄の存在

鉄 (Fe) は地球に豊富に存在します。地球の全重量の約38%が鉄で、表層部分である地殻に約5%が存在しています (図1-1)。自然界では、鉄は酸化物形態で存在しており、金属鉄として取り出しやすい組成になっていることから広く利用されています。

ちなみに、地球上でもっとも多い金属元素はアルミニウム (Al) ですが、アルミニウムは原石から純アルミニウムを取り出すまでに多量の電気が必要なために、広く使われるようになるまで長い時間がかかりました。

②鉄の構造

金属で、結晶構造が変化することで性質も変わることを「変態」といいますが、鉄には2つの変態点があります。図1-2に示すように、純鉄を昇温させていくと、910℃で「フェライト」という組織から「オーステナイト」という組織に変わり、さらに1400℃で「オーステナイト」からまた「フェライト」に変わります。鉄は、炭素 (C) と結合することで合金を作りますが、その炭素量によって硬さや強さが変化します。その性質を利用して、有益な金属材料を作ることができます。

フェライトは、鉄の原子が立方体の8つの角と中心に1個 (計9個) 存在する結晶構造 (体心立方格子) をしています。一方、オーステナイトは、立方体の8つの角と6つの各面の中央に1個 (計14個) 存在する結晶構造 (面心立方格子) になっています (図1-3)。オーステナイトの結晶組織の方が原子間の空隙が大きいため、炭素など他の原子が入り込みやすい構造になっています。

③鉄の熱処理性

鉄鋼材料は、面心立方格子のオーステナイト組織を高温状態から徐冷すると、体心立方格子のフェライト組織になります。一方、急冷すると「マルテンサイト」という別の組織になります。原子間に多くの炭素を持っている方が組織は硬く、また強くなります。その性質を利用して、焼入れなどの熱処理を行います (次項でもう少し詳しく解説します)。

鉄自身は軟らかく、錆びやすいため、そのままでは何にでも使えるというわ

けにはいきません。そこで鉄に炭素を結合させた炭素鋼が鉄鋼材料のベースとなります。鉄鋼材料には、基本的に「鉄鋼5元素」と呼ばれる炭素 (C)、シリコン (Si)、マンガン (Mn)、リン (P)、硫黄 (S) という5つの元素が含まれています。この中で炭素が、材料の性質にもっとも大きな影響を与えます。さらに、ニッケル (Ni)、クロム (Cr)、モリブデン (Mo)、タングステン (W)、バナジウム (V) などの元素を添加して合金鋼とし、適切な熱処理を施すことによって優れた機械的性質を得ることができます。また、鉄は磁性を持つ数少ない元素であり (他はコバルト (Co) と Ni のみ)、機能材料として有益な材料になっています。

熱処理はいろいろな金属材料に施されますが、鉄鋼材料の熱処理がもっとも基本であり、これを理解しておくことは他の金属の熱処理を理解するうえで大いに役に立ちます。

図 1-1 地球に多く存在している鉄

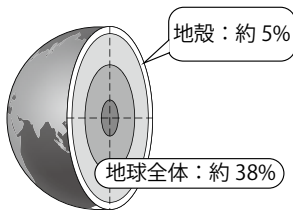
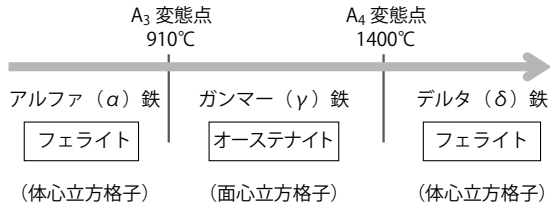


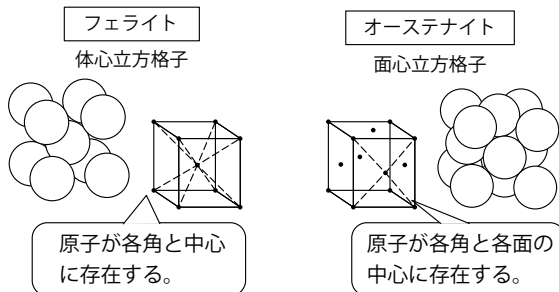
図 1-2 純鉄の変態点と組織



A₃ 変態点: α 鉄と γ 鉄の変態温度 (純鉄の場合 910°C)

A₄ 変態点: γ 鉄と δ 鉄の変態温度 (純鉄の場合 1400°C)

図 1-3 鉄の原子構造



要点 ノート

鉄は変態することで大きな能力を発揮する、人類にとってもっとも役に立つ材料の1つです。

熱処理の原理

①マルテンサイト変態

鉄鋼材料を硬くするために「焼入れ」と称する熱処理を行います。まず、鉄鋼材料を変態点温度以上に加熱してオーステナイト組織にすることで、鉄原子の間に炭素原子を数多く入り込ませます。次に急速冷却をして、鉄原子の中に多くの炭素原子が閉じ込められた窮屈な構造である、非常に硬い組織（マルテンサイト組織）にします。これが「マルテンサイト変態」です。焼入れ硬さは、炭素量が多いほど硬くなります（図1-4）。

マルテンサイト変態は、オーステナイト状態から急冷すると起こる変態挙動で、その冷却速度が速いほど多くのマルテンサイト組織になります。マルテンサイト変態の起こる温度 M_s 点は炭素量（%）が多いほど低く、マルテンサイト変態の終わる温度 M_f 点も低くなります。炭素量0.6%を超えるものは、 0°C 以下にもなります（図1-5）。

ここで変態が終わらなかったオーステナイト組織は、「残留オーステナイト」として残ります。残留オーステナイトは放っておくと自然に徐々に変態してしまうので、寸法変化などの不具合の原因になります。そのため「サブゼロ処理」という低温状態に保持することで、強制的にマルテンサイト組織に変態させる処理方法があります。ただし、残留オーステナイトはマルテンサイト組織に比べ軟らかいため、ギアの歯面などなじみ性が求められる場合に、残留オーステナイトの摺動性が寄与する場合もあります。

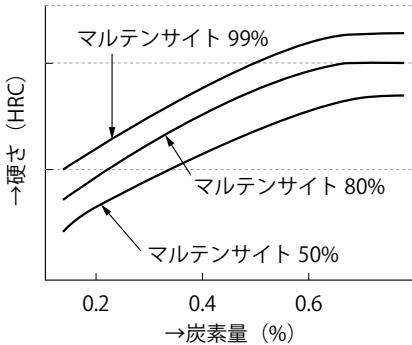
②固溶化処理・析出硬化処理

鉄鋼材料を硬化させるもう1つ方法に、「固溶化処理・析出硬化処理」があります。これは、ある温度以上に加熱することで添加元素を十分に素地に溶け込ませた後、冷却することで溶け込んだ元素を強制的に析出させるというものです。この例としては、ステンレス鋼があります。ちなみにアルミニウム合金では、同様な処理を「溶体化処理・時効処理」と称しています。

さらに、鉄鋼材料で硬化の効果を得る別の熱処理として、高合金鋼を焼戻す2次硬化があります。固溶化処理・析出硬化処理と同じような現象で、モリブデン（Mo）、タングステン（W）、バナジウム（V）などの添加元素が炭素と

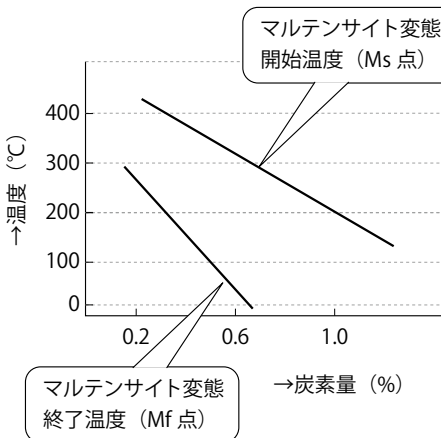
結びついて高硬度炭化物を作りますが、それが焼戻しで数多く生成されることでコンクリートにおける砂利の存在効果を生み、耐磨耗性の向上に大きく寄与します。

図 1-4 焼入れ硬さと炭素量の関係



横軸は炭素量 (%)、縦軸は硬さ (ロックウェル硬さ、HRC) で、炭素量が多いほど硬くなり、マルテンサイト組織が多いほど硬くなることを示している。

図 1-5 Ms 点、Mf 点と炭素量の関係



焼入れ時の冷却温度と炭素量の関係を示したもので、横軸は炭素量 (%)、縦軸は冷却時の温度 (°C) を表している。マルテンサイト変態の起こる温度 Ms 点は炭素量が多いほど低く、また、マルテンサイト変態の終わる温度 Mf 点も低くなる。炭素量 0.6% を超えるものは 0°C 以下にもなる。

要点 ノート

鉄鋼材料はマルテンサイト変態をすることで硬く、強くなり、炭素量が多いほど硬く、強くなります。そのため、強度部材には中高炭素鋼が用いられます。

要求性能と材料と熱処理

①求められる性能

世の中の機械構造用材料に求められる性能とは、各製品の使用実態に応じて求められる機械的な性質のことです。

例えば、

- すぐ壊れてはいけない ⇒ 引張強さ、曲げ強さ
- 摩耗を抑えたい ⇒ 耐摩耗性、硬さ
- 長く使いたい ⇒ 耐久性、疲れ強さ
- 少しの衝撃で簡単に壊れては困る ⇒ 耐衝撃性、粘さ
- すぐ錆びては困る ⇒ 耐食性

などです。

こうした要求を満たすためには、適切な材料を選ぶ必要があります。

適切な材料とは、硬さ、強さ、伸び、耐衝撃性、耐食性などの性能が、使用時にかかる負荷以上のポテンシャルを有する材料ということになります。それを提供するためには、適切な鋼種を選択し、熱処理を組み合わせることが求められます。

機械構造用材料の主たる材料は「鉄鋼材料」ですが、その中で基幹材料になるのは鉄と炭素の合金である「炭素鋼」です。この炭素鋼に特性に応じた性能を発揮する合金元素を添加したものが「合金鋼」になります。

②材料と熱処理の組み合わせ

機械部品の製造において考えなければいけないのは、要求性能、生産性、コストです。

もちろん性能を一番に考えて設計しますが、商品として成り立つことが前提条件です。鉄鋼材料を採用すると決めてもコストが安い方が良く、そのためにはできるだけ安い材料を選び、熱処理も最小限にとどめるとともに、熱処理を含めた製造の容易さも判断しなければなりません。手間暇もコストもかかる製造方法は好ましくありません。品質を確保して、なおかつもっとも安く作るのが生産性確保です。そのためには、材料選択や熱処理仕様によつて最適な選択が求められます。