

第1章

金属の通性

金属とは地球に存在する 100 余の元素のうち 70 余種の元素を総括する名称で、天然には酸化物、硫化物、炭酸塩などの化合物の形で産出するのが普通である。

金、白金などの貴金属や銅(自然銅として知られている)は、まれに金属状態で産出することもある。我々はこれを鉱石として採取し、この中の金属類をとり出して使用しているのである。

金属が工業用材料として、非常に多く使われているのは、次のような共通的な特徴をもっているからである。

- (1) 常温で固体であり、結晶体である(但し水銀のような例外もある)。
- (2) 展性および延性に富んでいる。
- (3) 熱および電気をよく伝導する。
- (4) 光を通さず、不透明で、特有の金属光沢をもつ。また電波も通さない。

多くの金属のなかで、鉄は太古から人類に最も多く用いられてきた金属の一つで、その利用度が最も広い金属材料である。

いま金属の基礎知識を理解するために、上に述べた特徴のうち、(1)、(2)について学習してみよう。

1 金属の結晶構造

金属は原子によって構成されている。この原子が規則正しく配列している場合に、これを結晶体という。金属は結晶体であるが、その規則正しい原子の配列が鉱物(例、水晶など)では外形にあらわれるのに対して、金属では外形に見られない場合が多い。金属の大きな特徴は、相当強い外力を加えても変形するだけで、鉱物のように細かく砕けることはない。またどんなに薄くしても、結晶体でなくなるということはない。

図 1-1 は純鉄を金属顕微鏡で見た場合の

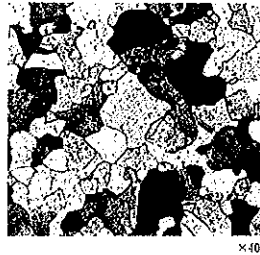


図 1-1 純鉄の顕微鏡組織

後で述べるが、結晶粒はそれぞれ方向性が異なるため、顕微鏡で見ると、薄い層で積層すると、結晶粒によって積層のされ方が違い、それが明暗となって見える。

注1 第2章の7項で、金属顕微鏡や組織の見方を説明している。

写真であるが、多くの多角形の部分からなっていることが分かる。

このように、普通の金属は、多くの小さな結晶が無秩序な方向に集まっているもので、このようなものを多結晶体という。そして各々の結晶を結晶粒といい、



図 1-2 球の並べ方模型 (平面的並べ方)

結晶粒と結晶粒の境界を結晶粒界という。

ここまでは顕微鏡を使えば目で見ることができる。

次は更に小さく、結晶粒の中では、どんな状態であるかを考えてみよう。

それぞれの結晶粒の中では、原子は規則正しく並んでいる。この規則正しい原子の並び方、つまり配列の仕方を結晶格子と呼んでいる。こ

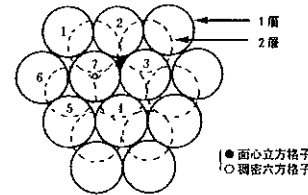


図 1-3 同じ大きさの球の、すきまの最も少ない並べ方 (立体的並べ方)

実線で示す球は第1層、破線で示す球は第2層とする。第3層が●印のときはその重ね方は面心立方格子、第3層が○印のときはその重ね方は密置六方格子である。

の原子の配列の仕方は、それぞれの金属特有のもので、金属の種類が違えば、その結晶格子も違うものである。我々が日常見ている金属は、板とか棒などいろいろな形のものになっているが、原子の世界から見ると、規則正しく積み重なった結晶構造になっているのである。これはもはや顕微鏡を使っても見えないが、X線で調べると、その並び方を確かめることができる。

金属の結晶格子、つまり原子の配列を表すするには、次のようにする。

いま、原子の並び方を考えるのに、まず原子を硬い球で代表させ、これを最も密に並べる方法を考えてみよう。図 1-2 (a) は平面上に 1 列に最もすき間を少なくした並べ方である。更にこれを平面的に 2 列以上並べていく方法を考えると、同図(b)と(c)に示す 2 つの並べ方があるが、(c)の並べ方が最も密な並べ方である。次はこれらを立体的に積み重ねていく場合を考えてみよう。

図 1-3 の実線で示した円は、図 1-2 (c)の球の並べ方である。

注1 金属に X 線をあてると、一部は透過するが大部分は金属の表面および内部の原子にあたって反射してくる。その反射 X 線から、原子の並び方を調べることができる。

この上に第2層の球を積み重ねる場合、図1-3の点線で示した円の位置に球を積むのが、最もすき間の少ない状態になる。更にその上に第3層目の球を積み重ねる場合、同図の○印の所に第3層の球がくる並べ方と、●印の所に第3層の球がくる並べ方が考えられる。○印の所に球がくる並べ方は、第1層の球の真上に第3層の球がくるので、第1層の球の並べ方と全く同じものになり、この繰り返しになる。いまこのような並べ方の特徴を、それを表すのに必要な最少の原子の数だけで示すようにしてみると、この並べ方は、図1-4(a)の上方の図に示したものになる。実際には、このような球で表わすのは面倒なので、球の中心、つまり原子の重心の位置でそれを代表させ、その配列を同図(a)の下方の図のように表す。

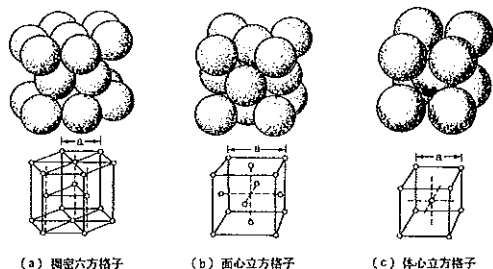


図1-4 結晶格子の3つの型

図1-4(a)のように最少数の必要な数だけの原子の集まりをとって、その原子の並び方を代表させたものを、単位格子(単位胞ともいう)という。

このような原子の配列、つまり結晶格子を、稠密六方格子(最密六方格子ともいう)という。亜鉛(Zn)、マグネシウム(Mg)などは、稠密六方格子の金属である。

次に図1-3の●印の所に第3層目の球がくる並べ方になると、この第3層の球の並べ方は、第1層、第2層の並べ方とは違った並べ方になることが分かる。従って、先の第1層、第2層の並べ方の繰り返しとは違って、この異なった3つの並べ方の繰り返しになる。つまり第4層目の球が、第1層の球の真上にきて、第1層の球の並べ方と同じになる。この場合は、先の稠密六方格子の場合の単位格子の考え方と違って来る。今度の場合は、第1層から1個の球を、第2層からは6個の球を、第3層からも6個の球を、そして最後に再び第1層と同

じ並び方の第4層から、第1層でとった球の真上にある1個の球をとり出せば、この合計14個の球の集まりでこの型の結晶の原子の並び方を代表させることができる。これを図で示すと図1-5(a)のようになり、同図(b)は、これを右に45°回した場合である。このように考えた単位胞を、図1-4(b)のように表わし、この結晶格子を面心立方格子という。金(Au)、銀(Ag)、銅(Cu)、アルミニウム(AI)、ニッケル(Ni)などは、面心立方格子の金属である。

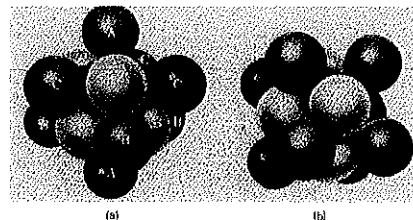


図1-5 面心立方格子の考え方

図の第1層、第2層、第3層をA、B、Cとして、その積み重ねから1、6、6、1の14個をとれば、それが面心立方格子になる。
図(a)を右に45°くらい回せば図(b)になる。(図の都合で、B、C層の球が1個ずつ見えていない。)

更に図1-4(c)に示したような原子の配列もある。このような結晶格子を体心立方格子という。この場合は原子配列は、先の稠密六方格子や面心立方格子と違って最密ではない。常温の鉄(Fe)、クロム(Cr)、モリブデン(Mo)、タングステン(W)などは、体心立方格子の金属である。

大部分の金属は、これら「3つの型の結晶格子」のどれかに属している。

同じ結晶格子に属する金属でも、金属の種類によって、その原子の大きさは当然違うから、単位格子の大きさが違って来る。そこで、ある金属の結晶構造を示すには、結晶格子の型のほか、原子間の距離(図1-4下方の図の稜の長さa)を示すようにする。この長さ(a)を、格子定数といい、その単位はÅ(オングストローム)で表す。例えば前に述べたように、常温の純鉄は体心立方格子で、格子定数は2.86 Åである。

注1 1Å = 1/10¹⁰ m または 1×10⁻¹⁰ m

2. 金属の塑性変形

鉄や銅の板や棒は、わずかの力を加えただけなら、弾力があり少し曲がっても元へもどるが、大きな力を加えると、曲がった後は元にもどらない。またロールで圧延すると平たくなり、あるいはダイスで引抜くと細くなっていく。そして、もう元にはもどらない。このように金属は、ある一定以上の大きな外力が加えられると、変形して元にもどらない。つまり永久変形をする。これを金属の塑性変形という。金属を曲げたり、色々な形に鍛造したりする加工は、この性質を利用したもので、このような加工法は切ったり削ったりする加工法と違うので、これを塑性加工という。塑性加工ができることは金属の大きな特徴である。

しかし、このように変形した状態でも、前項で説明した金属の結晶格子そのものには、あまり大きな変形はなく、多少ひずむくらいである。

このことは大切なことで、例えば少し温めて、軟らかくした「ろう」は、自由に形を変えることができるが、「ろう」は結晶体ではないから、その変形の仕方は、水が器によって形を変えることと同じである。従って「ろう」の変形は塑性変形ではない。

また、金・銅・アルミニウム・鉄などは、容易に棒や板、あるいは細い線や箔にまで延ばすことができる。しかし亜鉛やマグネシウムなどは、細い線や箔にすることは困難である。即ち金属はその種類によって、塑性加工の容易なものと困難なものがある。

先に述べた金属の塑性変形がどのような仕組みで行われるか、また金属によってなぜ塑性加工に難易があるかを考えてみよう。

- 金属の塑性変形の仕方には、次に述べるように、(1)「結晶のすべりによる変形」
 (2)「双晶による変形」の2つの様式がある。
(1) 結晶のすべりによる変形

いま金属の表面をきれいに研磨して、顕微鏡で見ながら引張っていくと(引張ってから見てもよい)、図1-6のようにそれぞれの結晶粒の中に多数の平行線が見られるようになる。



図1-6 黄銅の表面にあらわれたすべり線 (S.H. Avner)

変化が進むと、この平行したすべり線はわん曲してくる。

金属の結晶のすべりを考えるのに、この図のような多結晶体のもの考えると複雑になるので、一つの結晶粒(単結晶という)だけをとり出して考えてみる。

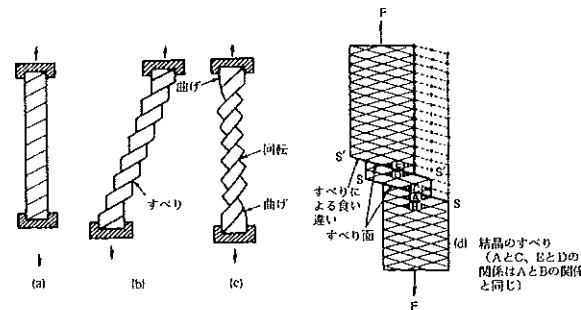


図1-7 すべりによる単結晶の変形

いま、単結晶が図1-7 (a)に示すように、矢印の方向の外力を受けて変形する場合を考えてみよう。結晶には「特有のすべりやすい面と方向」があって、特定の面ですべりを起こし、そのすべりの集まりとして、塑性変形が起こるのである。ちょうど積み重ねたカードをずらせた場合に似て、同図(b)のようになろうとする。このような変形が起これば、表面にはすべった面の端部としてのくい違い(断層のようなもの)の線が現われてくる。図1-6で見た多数の直線は、実はこの線だったのである。この線をすべり線という。そしてすべった面をすべり面という。

しかし、外力を加えるためにつかんでいる部分は、垂直線上に限られているから、図1-7 (c)に示すように、結晶には曲げや回転が起こり、外力の方向にそろうようになる。

図1-7 (d)は、結晶内に起こったすべりを、更に詳しく示したものである。

ここでこの図をよく注意して見ると、内部ですべっても、すべった面での原子の並び方は、元の原子の並び方と全く同じになり、途中で止まるといったことはない。この点が大切である。

従って、表面にすべり線が現われているものでも、これを再研磨して、もう一度顕微鏡で見れば、すべり線は消えてしまって、内部的には変形は見られない(断層のくい違いの段を削ってしまったことになる)。