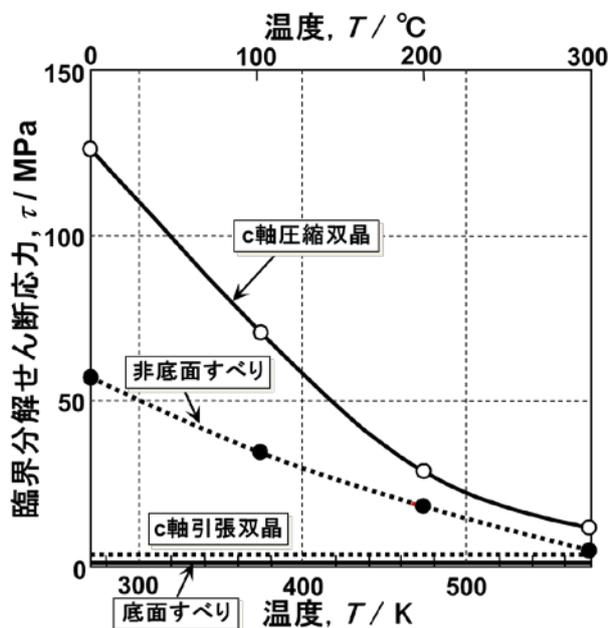


12章 WebにLink解説

p. 233 変形機構の温度依存性

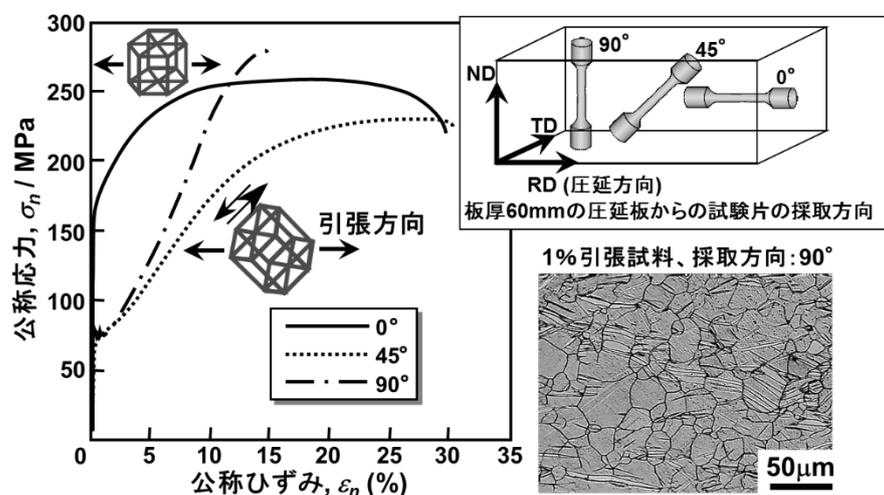


図W12-1 純マグネシウム単結晶中における各種変形の分解せん断応力の温度依存性

図 W12-1 にマグネシウムで生じるすべり変形および双晶変形の臨界分解せん断応力(Critical resolved shear stress, CRSS) W12-1 の温度依存性を示す。底面すべりの CRSS は 0.6~0.7MPa 程度と小さく、温度依存性も小さい。一方、非底面すべりの CRSS は室温では 50MPa 以上と、底面すべりより約 100 倍も大きい。しかし、非底面すべりの温度依存性は大きく、約 200°C 以上では底面すべりの CRSS との差も小さくなり、非底面すべりの活動も容易になり、延性や加工性も良好になる。一方、図 12-2 に示した双晶変形の中では、マグネシウムの場合、引張双晶が最も良く観察され、その CRSS は 3MPa 程度で、温度依存性も小さいと考えられている。ただし、引張双晶は c 軸方向に引張応力が負荷された場合に生じるもので、c 軸方向に圧縮応力が負荷された場合には引張双晶は生じず、圧縮双晶が生じる。その CRSS は 120MPa 以上で、マグネシウムの変形機構の中では最も大きい。ただし、その CRSS は温度に強く依存し、温度の上昇に伴い、急激に小さくなり、非底面すべりと同様に高温では活動しやすくなる。その形成に伴う結晶方位の変化からすべり変形を誘発し、延性および加工性の向上にも寄与する。

* W12-1+α プラスアルファあるすべり面において、結晶方位に関係なく、初めてすべりが生じる時のせん断応力である。

p.233 多結晶体の変形異方性

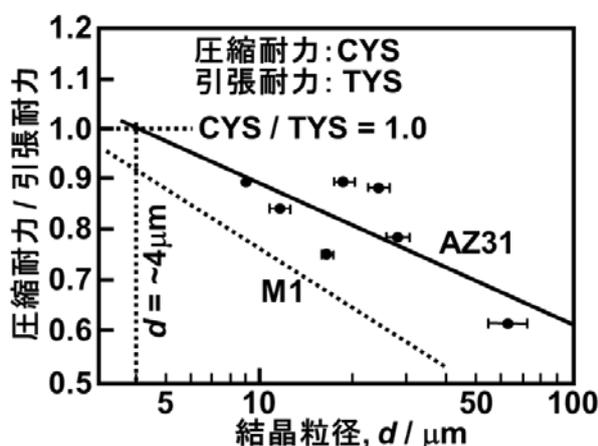


図W12-2 AZ31マグネシウム合金圧延材の引張特性の異方性

*W12-2 + α プラスアルファ
強い加工，熱処理などによっ
て結晶粒の方位が揃って、あ
る特定方向をとる組織を集合
組織いう。

図 W12-2 に AZ31 マグネシウム合金圧延材の室温における引張特性の異方性を示す。AZ31 マグネシウム合金圧延板のように，圧延面に底面が平行に揃うような集合組織(texture) *W12-2 を形成する場合，圧延方向から板厚方向に 0° ， 45° ， 90° と傾斜させた試験片を用いて室温で引張試験すると，応力-ひずみ曲線は試験片採取方向によって大きく異なる。すなわち，45° 方向から採取した試験片では底面すべりが，90° 方向から採取した試験片では引張双晶が容易に生じるため，圧延方向と平行な 0° 方向から採取した試験片と比較すると，耐力は約 1/2 まで低下する。ただし，45° 方向から採取した試験片の伸びは約 30% と，0° 方向とほぼ同程度で，大きな延性を示す。一方，90° 方向から採取した試験片は，降伏後，大きな加工硬化を示し，伸びは 15% と他の方向から採取した試験片と比較すると半分程度にまで減少する。これは，粒内で生じる引張双晶により，底面が約 86° も傾き，その双晶内部で底面すべりが生じるものの，マトリックスとの界面に転位が堆積するため，著しい加工硬化を示し，その界面からき裂が発生し，破断に至るため，延性は大きく低下することになる。

p.233 異方性の結晶粒径依存性



図W12-3 代表的な単相マグネシウム合金押し出し材および焼なまし材の圧縮耐力および引張耐力の結晶粒径依存性

耐力の結晶粒径依存性はホールペッチ則 ***W12-3** で表され、各種金属のすべり変形と双晶変形が生じる場合の耐力の結晶粒径依存性（ホールペッチ係数）が調べられている。たとえば、双晶変形のホールペッチ係数は、Zr および鋼でそれぞれすべり変形のホールペッチ係数の約 10 倍および 6 倍と、変形初期で双晶変形が生じる場合の耐力は結晶粒径に強く依存する。マグネシウム合金でも同様な傾向を示し、温度が高くなるにつれて、双晶変形のホールペッチ係数はすべり変形のホールペッチ係数の 2 倍から 8 倍に変化することが報告されている。図 W12-3 に代表的な単相マグネシウム合金である AZ31 および M1 合金の押し出し材の圧縮耐力/引張耐力の結晶粒径依存性を示す。押し出し材では底面が押し出し方向に強く集積した、つまり c 軸が押し出し方向に垂直に配向した集合組織を形成する。したがって、押し出し方向に引張試験した場合、 c 軸に圧縮応力が、圧縮試験した場合、 c 軸に引張応力が負荷されることになる。すなわち、引張耐力はすべり変形、圧縮耐力は引張双晶変形が生じる応力に対応する。前述したように、双晶変形のホールペッチ係数が大きいため、結晶粒径が小さいほど、圧縮耐力/引張耐力は大きくなり、AZ31 合金では結晶粒径が約 $4\mu\text{m}$ になると、圧縮耐力と引張耐力は同等になる。このことは、約 $4\mu\text{m}$ 以下の結晶粒径にすることにより、圧縮試験時でも引張双晶は生じず、非底面すべりが生じるようになり、引張試験時と同じ変形機構により耐力が決まることを意味する。

このように、結晶粒微細化はマグネシウム合金にとっては、高耐力化とともに変形機構の異方性をも改善できることになり、機械的性質の改善に大変有効である。

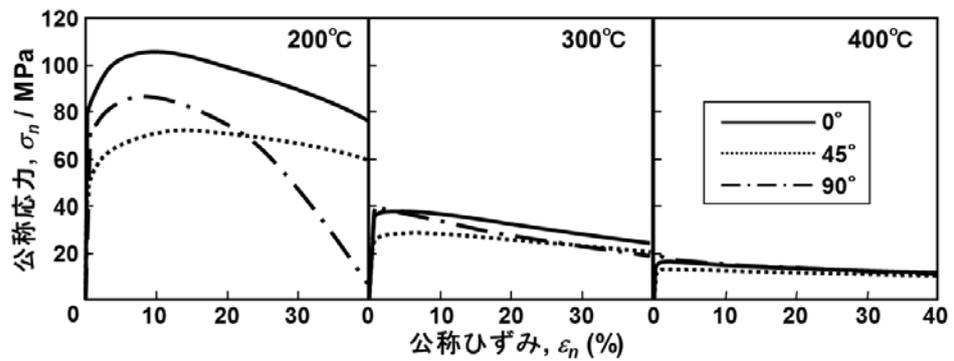
***W12-3** 工学ナビ

金属の機械的性質は、同じ組成の材料であっても結晶粒径によって大きく変化する。たとえば、耐力は結晶粒径が細かくなるほど大きくなり、その関係は次式で表される。

$$\sigma = \sigma_0 + k \times d^{-1/2}$$

ここで、 d : 結晶粒径、 σ : 耐力、 σ_0 : 単結晶の耐力、 k : ホールペッチ係数である。つまり、耐力は結晶粒径の二乗根の逆数に比例して大きくなることを示している。

p.233 異方性の温度依存性



図W12-4 AZ31マグネシウム合金圧延板の応力-ひずみ曲線（ひずみ：40%まで）の温度依存性.試験片採取方向は図5と同じ.

図 W12-4 に AZ31 マグネシウム合金圧延板の応力-ひずみ曲線の温度依存性および試験採取方向依存性を示す。図 W12-1 に示したように、温度の上昇に伴い非底面すべりや圧縮耐力の CRSS が大きく低下するため、高温では各種変形機構の活動が容易になり、室温における大きな異方性は 300°C 以上では軽減する。マグネシウム合金の圧延、鍛造、押出し等が 300~400°C で行われるのは、このような理由による。

p.246 耐力について

上記の説明すべてが耐力の異方性の説明となります。