

12章 問題解答

予習

1.
 - 1-3 純金属の結晶構造を参照せよ。
2.

図 12-1 および図 12-2 を参照せよ。

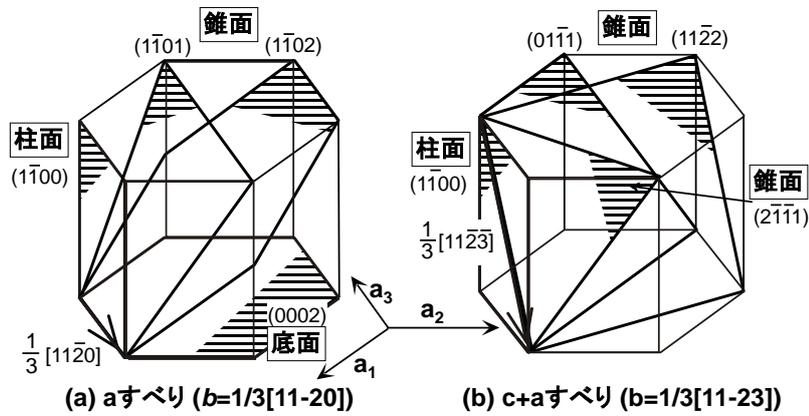


図12-1 六方晶の主要なすべり方向とすべり面

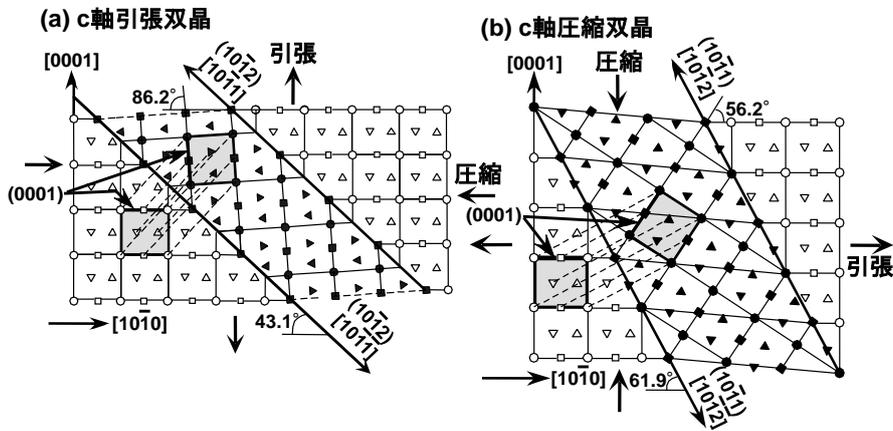


図12-2 マグネシウムにおける(a)引張双晶と(b)圧縮双晶の模式図

3.

7-3-1 熱処理型合金の表 7-2～表 7-4 を参照し、その説明文を復習せよ。
4.

携帯用電子機器（パソコン、カメラ、ビデオカメラ、モバイルフォン）の筐体、自動車のハンドルの芯金やトランスミッションケース、自動二輪車のシリンダーヘッドカバー等

演習問題 A

12-A1

Mg 合金の最大の特徴は、実用金属材料中で最も密度が小さいことである。同じ軽金属材料（定義は密度が 5.0 Mg/m³ 未満）である Al 合金および Ti 合金と比較しても、その密度はそれぞれ約 2/3 および約 2/5 で、約 33% および約 60% も小さく、さらに鉄鋼の密度の約 1/4.3 で、77% も小さい。その結果、図 12-A1 に示すように、輸送機器等の軽量化指標となる比強度（引張強さ/密度）および比剛性（両端支持ばりを想定して $\rho/E^{1/3}$ で比較）は実用金属材料中でそれぞれ 2 位および 1 位で、軽量化による燃費改善、さらには炭素排出量削減に大変有効な材料とされている。

その他、高い減衰能、優れた被削性、高い耐くぼみ性、優れた電磁遮蔽性、95°C までの寸法安定性を有し、輸送機器等への応用に際して多くの利点がある。

12-A2

図 12-12 に示すように、Al 添加量を増やすと引張強さは向上するが、3% 以上になると伸びが低下する。したがって、強度と延性の両立の観点から、AZ31C が最も汎用的に使用されている。また、板材でアルミニウム量の多い合金が用いられないのは、加工性が悪いことその他に、3% 以上のアルミニウムを添加すると、応力腐食割れを起こしやすくなるためでもある。

12-A3

圧延あるいは押し出しのような加工を施すと強い集合組織が形成される。例えば、丸棒を押し出し場合、底面が押し出し棒の円周方向、すなわち押し出し方向に平行に揃う。その押し出し棒を引張試験した場合、底面が引張方向と平行であるため、底面にせん断力が働かず、CRSS の小さい底面すべりは生じにくい。また、c 軸方向が引張方向に垂直であるため、押し出し棒を引張った場合、c 軸方向に圧縮力が働くことになり、引張双晶も容易には生じない。ただし、柱面にはせん断力が働くため、柱面すべりは容易に生じるが、塑性変形を開始する目安となる耐力は大きくなる。一方、押し出し棒を圧縮試験する場合、引張試験の場合と同様に、底面すべりは生じにくい、c 軸に対して引張力が働くことになり、引張双晶は容易に生じ、耐力は小さくなり、場合によっては引張耐力の 1/2 程度にまで低下する。

圧延材の場合の集合組織と強度の異方性については、参考文献（11）（鎌土重晴：「マグネシウム合金の変形と加工組織形成機構 —特徴とそれを生かした加工プロセスおよび高性能化」、塑性と加工（連載講義 「塑性加工に必要な材料知識」）、第 54 巻 627 号, (2013), pp.336-341）や Web に Link の多結晶体の変形異方性を参照されたし。異方性についてさらに知りたい方は、Web に Link の異方性の結晶粒径依存性、異方性の温度依存性も勉強することをお薦めする。

演習問題 B

12-B1

特徴を生かした使用例として、以下のような部材がある。

- (1) 表 12-1 に示したように、Mg 合金の標準電極電位は実用金属材料中で最も低い。そのため、異種金属と接触させ、水の中に入れると局部電池を構成し、Mg が溶け出す。この原理を応用し、犠牲陽極材と、タンカーの船体や、パイプラインに Mg を取付け、鉄鋼材料の腐食を抑制している。
- (2) 輸送機器への Mg 合金の応用は軽量化効果を発現するが、シートフレームやインスツルメントパネル、ステアリングホイール等の構造部材への応用では減衰能による快適性の向上にも役立つと言われている。
- (3) 携帯機器の筐体では軽量性に加えて電磁波による障害も抑制されている。

12-B2

マグネシウム合金の耐熱性を向上させる元素として、Si、Ca、Sr、RE が用いられている。Si は Mg_2Si 、その他の元素は Al との化合物を粒界に形成し、粒界すべりを抑制することによって耐熱性が改善される。最近では、粒内にも Al および Ca を含むナノスケールの規則 GP ゾーンが形成され、クリープ変形中の転位の上昇運動を抑制し、耐熱性向上に寄与することも明らかになってきている。Mg-Al-Ca 系合金への Mn 添加により規則 GP ゾーンの数密度が増加し、耐熱性が顕著に向上することも報告されている。

ミクロ組織的特徴の詳細については参考文献 (12)、(13)、(17) 参照されたし。

- (12) 鎌土重晴:「マグネシウム合金 ー開発動向と展望」, 工業材料, Vol.59 No.7, (2011), 日刊工業新聞社, pp.18-22.
- (13) 鎌土重晴、本間智之:「ダイカスト用耐熱マグネシウム合金の開発」, 金属, Vol. 80, No.8, (2010), アグネ社, pp.631-636.
- (17) 鎌土重晴, 小島陽:「自動車エンジン部品用耐熱マグネシウム合金の開発」, 日本鉄鋼協会会報「ふえらむ 耐熱鋼および耐熱合金開発の現状と将来展望-2」, Vol.11, No.3 (2006), pp.131-136 .

12-B3

梁の質量 M は以下のようになる。

$$M = \rho \cdot L \cdot b \cdot t \quad \cdots \cdots \textcircled{1}$$

荷重点における変位は $\delta = 4FL^3 / Ewt^3$ より、 t は以下のようになる。

$$t = (FL^3 / 4Eb\delta)^{1/3} \quad \cdots \cdots \textcircled{2}$$

②式を①式へ代入すると以下のようになる。

$$M = \rho \cdot L \cdot b \cdot (FL^3 / 4Eb\delta)^{1/3}$$

$$=(FL^6 b^2/4 \delta)^{1/3} \cdot (\rho/E^{1/3}) \dots \textcircled{3}$$

③式中の $(FL^6 b^2/4 \delta)^{1/3}$ は設計要件として与えられる数値で、既知であることから、材料物性値として $\rho/E^{1/3}$ が最も小さい材料を選択する。

表 12-A1 に各種金属材料の密度、ヤング率および比剛性を示す。比剛性 $(\rho/E^{1/3})$ の小さい材料が最も軽い梁となる。したがって、マグネシウム合金を用いた場合に最も軽い梁を得られる。

表 12-A1 各種金属材料の物理的性質の比較

材料	密度, $\rho / \text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$	ヤング率, E/GPa	比剛性, $\rho/E^{1/3} \text{ Mg/m}^3/\text{GPa}^{1/3}$
炭素鋼	7.8	206	1.321
アルミニウム合金	2.75	70	0.667
マグネシウム合金	1.80	45	0.506

上表より、炭素鋼を用いた場合が最も重い梁となる。従って、軽量化率は、炭素鋼からマグネシウム合金を用いた梁に置換することによる質量減少量を、炭素鋼を用いた場合の質量で割った値となる。

$$\begin{aligned} \text{軽量化率 (\%)} &= \{ (M_{\text{Fe}} - M_{\text{Mg}}) / M_{\text{Fe}} \} \times 100 \\ &= \{ (\rho_{\text{Fe}}/E_{\text{Fe}}^{1/3} - \rho_{\text{Mg}}/E_{\text{Mg}}^{1/3}) / (\rho_{\text{Fe}}/E_{\text{Fe}}^{1/3}) \} \times 100 \\ &= \{ (7.8 / 206^{1/3} - 1.80 / 45^{1/3}) / (7.8 / 206^{1/3}) \} \times 100 \\ &\doteq 62\% \end{aligned}$$