

機械材料学

1. 銅の結晶構造は面心立方晶である。常温における銅の密度は 8.94 g/cm^3 、銅の原子量は 63.5 である。以下の問いに答えよ。ただし、アボガドロ数を 6.02×10^{23} とする。また、 $21.3^{1/3} = 2.77$ 、 $2^{1/2} = 1.41$ とする。

- (1) 銅結晶の単位格子あたりの原子の個数と質量を求めよ。
- (2) 銅結晶の常温での格子定数を求めよ。
- (3) 面心立方晶を(100)面、(110)面、(111)面で切った断面図を単位格子 1 個分について描け。
- (4) 常温の銅結晶における最近接原子の中心間距離を求めよ。
- (5) 常温の銅結晶の(100)面における単位面積あたりの原子数を求めよ。

2. 固体の構造とその欠陥について以下の問いに答えよ。

- (1) 原子間ポテンシャルエネルギー $V(r)$ が原子間距離 r の関数として以下の式で与えられるものとする (m, n は定数)。このとき $V(r)$ と 2 原子間にはたらく力の変化を、横軸を r とした概略図で示せ。また、 $V(r)$ と a) 最近接原子間距離、b) ヤング率、c) 融点との関係を説明せよ。

$$V(r) = -\frac{m}{r} + \frac{n}{r^{10}}$$

- (2) 体心立方構造と面心立方構造において、原子が最も稠密な面のミラー指数をそれぞれ一つ挙げ、これらと結晶学的に等価な面がいくつあるか答えよ。さらに格子定数を 0.3 nm とした場合、その面における原子の数密度 [個/ m^2] を求めよ。
- (3) 六方最密格子において原子を剛体球と仮定した場合、その軸比 c/a を求めよ。ただし a および c は図 1 に示したように単位胞の格子定数とする。
- (4) 結晶欠陥は一般にその形態から a) 点欠陥、b) 線欠陥、c) 面欠陥に分類される。それぞれについて具体的な欠陥名を一つずつ挙げて、その構造と材料の性質への影響について説明せよ。

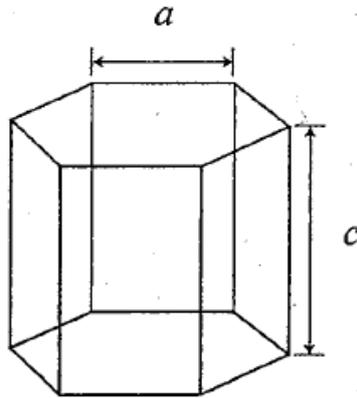


図 1

3. 面心立方格子 (fcc) について、格子定数を a として以下の問いに答えよ.

- (1) 単位胞を描け.
- (2) 原子を剛体球と仮定して、この原子半径 R を a で表せ.
- (3) fcc には 2 種類の格子間原子位置がある.
 - a) それぞれの名称を記せ.
 - b) 単位胞中のそれぞれの格子間原子位置の座標を図 2 を参照して全て記せ.
 - c) 格子間原子位置に入り得る剛体球の最大の半径を求めよ.
- (4) 転位のすべり運動は金属材料の塑性変形を引き起こす. この転位のすべり運動は特定の結晶面上の特定の方向に起こりやすい. この面と方向の組み合わせをすべり系という.
 - a) 主たるすべり系を Miller 指数で表せ.
 - b) 本すべり系で転位のすべり運動が起こりやすい理由を述べよ.
 - c) すべり面の 1 つを立方体内に描き、そのすべり面上のすべり方向を全て矢印で示せ.

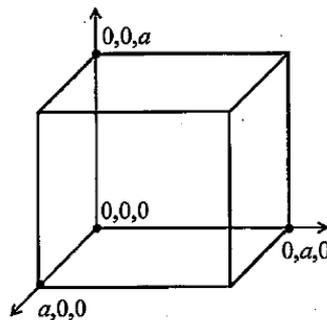


図 2

4. 炭素鋼の機械的性質について、以下の問いに答えよ。

- (1) 炭素鋼を丸棒試験片に加工し、単軸引張試験を行った。試験片のゲージ部の直径は 14 mm、ゲージ部の長さは 50 mm である。試験片に 50 kN の引張荷重が作用しているとき、ゲージ部の弾性的な伸びは 0.077 mm であった。この材料のヤング率を求めよ。
- (2) ある材料の試験前の転位密度は $1.0 \times 10^5 \text{ mm/mm}^3$ であり、降伏応力は 0.40 GPa であった。この材料にある冷間圧延を加えたところ、降伏応力は 0.90 GPa となった。このときの転位密度を見積もれ。ただし剛性率は 80 GPa、バーガースベクトルの大きさは $2.5 \times 10^{-7} \text{ mm}$ とする。
- (3) ある材料の平均結晶粒径を $1.0 \times 10^{-3} \text{ mm}$ から $9.0 \times 10^{-3} \text{ mm}$ に変化させたところ、降伏応力が 0.60 GPa から 0.40 GPa に低下した。平均結晶粒径が $8.1 \times 10^{-2} \text{ mm}$ のときの降伏応力を見積もれ。ただし、結晶粒径以外は変化しないものとする。

5. 結晶性材料の塑性変形および破壊について以下の問いに答えよ。必要であれば図および式などを示せ。

- (1) パイエルス応力について説明せよ。またパイエルス応力が、完全結晶の理論的な臨界せん断応力より小さい理由を述べよ。
- (2) 加工硬化のメカニズムについて説明せよ。
- (3) 高純度の鉛は常温では加工硬化せずに大きく変形させることができる。その理由を変形中の微細組織変化の観点から説明せよ。
- (4) クリープ変形における粒界の影響について説明し、クリープ変形を制御するための粒界制御方法の例を一つあげよ。

6. 金属材料の強度試験に関し、以下の問いに答えよ。

- (1) 疲労試験法を概説し、疲労限の定義を模式図を用いて説明せよ。
- (2) クリープ試験法を概説し、クリープ速度と時間の関係を模式図を用いて説明せよ。
- (3) 衝撃試験法を概説し、延性-脆性遷移温度の求め方を模式図を用いて説明せよ。

7. 次の問いに答えよ。必要であれば図および式を用いよ。

- (1) 一次元の非定常状態での拡散を示すフィックの第2法則を式で示し、その拡散係数の次元を記せ。
- (2) 包晶反応と包析反応について説明せよ。
- (3) 恒温変態について説明し、典型的な等温変態図を示せ。
- (4) 回復と再結晶について説明せよ。
- (5) 時効硬化と過時効について説明せよ。
- (6) 拡散クリープについて説明し、拡散経路を2つあげよ。

8. 次の問いに答えよ。必要であれば図および式を用いよ。

- (1) 固体中の原子の拡散における拡散係数の温度依存性について説明せよ。
- (2) 侵入型固溶体と置換型固溶体について説明せよ。
- (3) 鉄鋼の焼き入れと焼き戻しについて説明せよ。
- (4) 加工硬化と回復の過程と転位の関係を述べよ。
- (5) ギニエ・プレストン帯について説明せよ。
- (6) 疲労き裂成長速度に関する Paris 則について説明せよ。

9. Pb-Sn 合金状態図を図3に示す。以下の問いに答えよ。

- (1) 図中 C_1 , C_2 および C_3 の組成をもつ合金を 350°C からゆっくりと室温まで冷却した。このとき, i , j , k , l , m の各点における組織構造を図で示し, 説明せよ。
- (2) ギブスの相律について説明し, 図中 k 点を含む相では自由度がいくつになるか答えよ。
- (3) Sn が 30 重量%の組成の Pb-Sn 合金をゆっくりと 350°C から 250°C まで冷却した, このとき形成した相の組成と割合を求めよ。

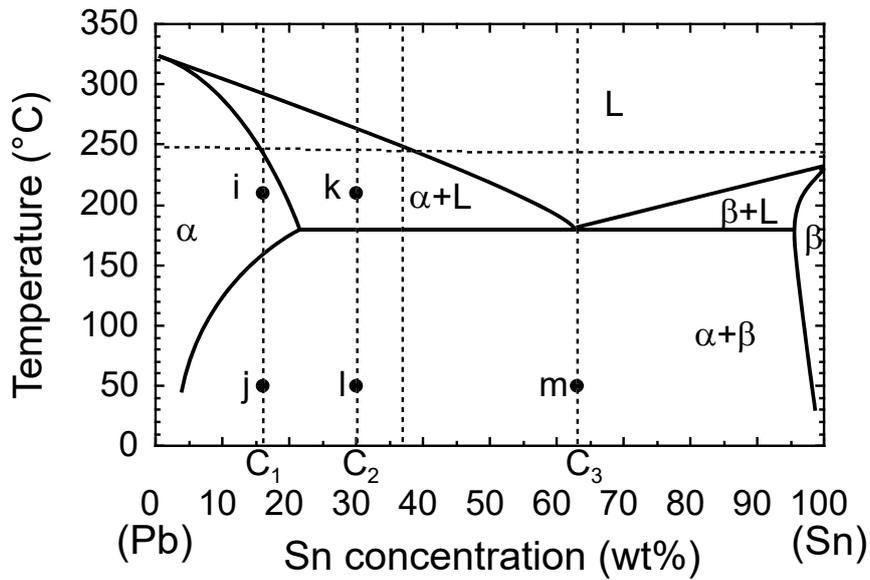


図 3

10. 973 K で、鉄の板の片面が浸炭雰囲気、反対面が脱炭雰囲気にさらされていると仮定する。ここで炭素拡散の定常状態が成り立っており、鉄板の浸炭側表面からの深さが 5×10^{-3} m の地点の炭素の濃度は 1.2 kg/m^3 、深さ 1×10^{-2} m の地点の濃度は 0.8 kg/m^3 であった。脱炭雰囲気にさらされた表面直下の炭素の濃度は 0 であったとする。この温度における鉄中の炭素の拡散係数は $3 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ とする。また気体定数 $R = 8.31 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$, $e = 2.72$; $\ln 2 = 0.69$; $\ln 10 = 2.30$ とする。以下の問いに答えよ。

- (1) 鉄の板を通過する炭素の流束を求めよ。
- (2) 浸炭側表面からの深さ 1×10^{-3} m の地点の炭素濃度を求めよ。
- (3) 鉄の板の厚さを求めよ。
- (4) 振動因子を $6.0 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ とする。この時の拡散の活性化エネルギーを求めよ。
- (5) 炭素の拡散係数が 973 K における拡散係数の 1/2 となる温度を求めよ。

以下の問いに答えよ。

- (1) 金属や合金の強化法のうち、2つを挙げて説明せよ。
- (2) 体心立方晶の金属における $\{110\}$ 上の $\langle 1\bar{1}1 \rangle$ のすべり系を1つ図示せよ。
- (3) 図1のFe-C (Fe-Fe₃C)系状態図中の(a)~(e)の各相に対応する用語で適切な語を①~⑥からそれぞれ選べ。同じ用語を複数回選んでもよい。

- ①フェライト ②オーステナイト ③マルテンサイト
 ④液相 ⑤ラーベス相 ⑥セメントライト

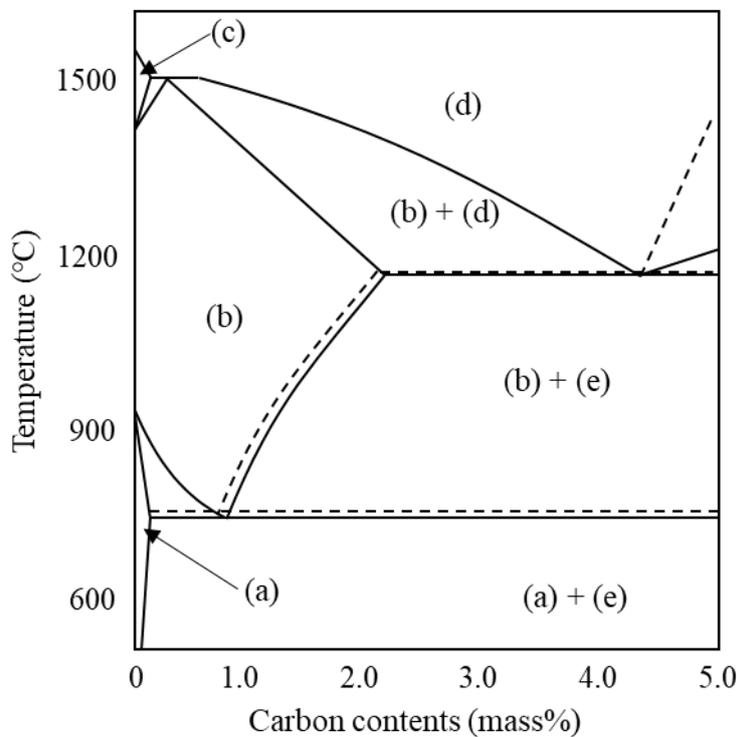


図1

- (4) マルテンサイト変態について説明せよ。
- (5) 定常状態での一次元拡散を考える。拡散する物質の拡散係数が一定の場合、その物質の濃度分布は距離に対して直線的に変化することをフィックの第一法則から示せ。