平成 19 年度　前期試験　試験問題

試験科目：　材料の強さ　I

配　　当：　マテリアル科学コース３年
担当教員：　宇都宮 裕，左海 哲夫

試験時間：　平成 19 年 7 月 26 日
10：30-12：00

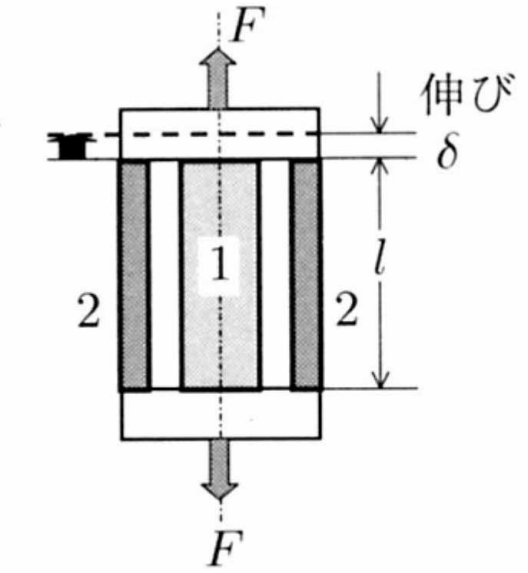
試験室：　R1-311

注意事項

- 試験開始の合図があるまで、本紙を開けてはいけません。
- 電卓、関数電卓、ポケットコンピュータを使用しても構いません。
- 教科書、参考書、ノート類を参照してはいけません。**持ち込みは禁止**です。
- 裏表紙に**公式集**があります。必要があれば、これらの公式を用いてもよい。
- 試験開始後、30 分間は退出できません。
- 試験中の不正行為は厳重に取り締まり、発見した場合は正規の手続きを行います。
- 本紙（問題）は、持ち帰って構いません。ただし、**著作権は出題者が保持**します。インターネット上や書籍で公開される場合には、許可をとってください。
- 全員分の解答用紙が回収されたことを確認後、解答例を希望者に配布します。

問１

図に示すように、丸棒材１を円管２の中に挿入し両端を固定した長さ l の試験片を引っ張る。このとき、棒材 1 と円管 2 は断面積が等しく($s_1 = s_2 = s$)、降伏応力も等しい($Y_1 = Y_2 = Y$) 弾完全塑性材料とする。ただし、両者のヤング率は 2 倍異なる($E_1 = 2E_2 = E$) ものとする。



(1) 引張荷重 F と変位 δの関係を、(a) 棒材１、円管 2 ともに弾性, (b) 一方が弾性、他方が塑性, (c) ともに塑性の場合について求め、図示しなさい。
(2) 棒材１、円管 2 ともに塑性の状態(c)から除荷した場合の、長さの減少量を答えなさい。
(3) 除荷後の丸棒材 1 と円管 2 の長さ方向の残留応力をそれぞれ求めなさい。

問２

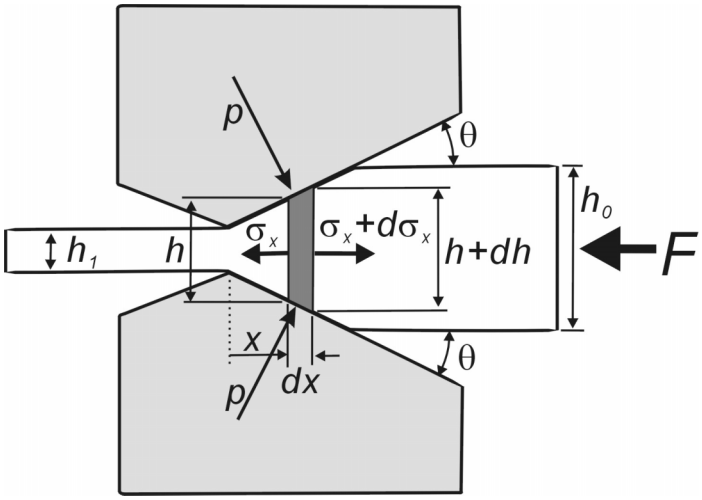
厚さ 1mm、幅 10mm, 長さ 200mm のアルミニウム板がある。この板は、降伏応力 Y (MPa)が、相当ひずみ $\bar{\varepsilon}$ の関数として以下のよう表される剛塑性材料であるとする。

$$Y = 50\bar{\varepsilon}^{0.1}$$

このアルミニウム板を室温(20℃)で、長さ方向に 0.1mm/s の速度で引っ張ったところ、長さが 210mm となった。
(1) このときの公称ひずみ、真ひずみ、相当ひずみをそれぞれ答えなさい
(2) このときの公称応力、真応力、引張り力をそれぞれ答えなさい。
(3) このときの板の温度を答えなさい。ただし、このアルミニウムの密度は、2.7g/cm^3、比熱は 900J/KgK とする。また、引張は断熱的で、塑性仕事は全て熱に変換されるものとする。
(4) 210mm を超えてさらに、同じ速度で引っ張りを続けると、アルミニウム合金の長さが何 mm となったときにくびれを生じるか。
(5) 引っ張り開始から、破断するまでの間の、引張力が示す最大値はいくらか。

問３

図は、板幅 b の薄板の、半角 θ のダイスによる平面ひずみ押出し加工を模式的に示したものである。ここで、薄板は、せん断降伏応力が k で、ミーゼスの降伏条件に従い、ダイスと薄板の間の摩擦はクーロンの法則（摩擦係数：μ）に従うものと仮定する。



(1) この押出し加工で薄板の厚さ h_0 は h_1 に減少する。厚さ方向ひずみ(ε_x)、長さ方向ひずみ(ε_y)、幅方向ひずみ(ε_z)は、それぞれいくらか。
(2) この加工で薄板に導入される相当塑性ひずみ $\bar{\varepsilon}$ を求めなさい。

(3) 図のように、出口から x 離れた地点に長さ dx の微小要素を考える。この微小要素の左右の高さの差 dh を dx, θ を用いて表しなさい。
(4) 工具から材料に作用する圧力を p、せん断摩擦応力を μp（図中には、示していない）とする。微小要素について水平方向(x 方向)の釣り合い式を立てて、$\sigma_x, p, h, dh, \theta, \mu$ を用いた微分方程式に表しなさい。
(5) 同様に鉛直方向(y 方向)の釣り合い式を作製し、σ_y を p, θ, μ を用いて表しなさい。
(6) 降伏条件から、p と σ_x の関係を求めなさい。
(7) (4)と(6)の連立解を求める際に必要な、境界条件を答えなさい。

(8) 摩擦がない場合(μ=0)の、工具面圧の分布を求め、図示しなさい。
(9) 摩擦がない場合(μ=0)の、押出し力 F を求めなさい。

問４

(1) 常温、常圧で、面心立方構造(*fcc*)である純金属を 5 つ挙げなさい。
(2) 材料の疲労限とは何か説明しなさい。
(3) 板圧延の「噛み込み条件」について説明しなさい。
(4)「押出し」と「引抜き」加工で製造される工業製品をそれぞれ少なくとも一つ挙げなさい。

公　式　集

1. 単位

1 Pa=1 N/m²　　1 kgf = 9.80665 N

1 kgf/mm² = 9.80665 MN/m²=9.80665 MPa　　1 atm=760mmHg=1013.25 hPa

2. Hooke の法則

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E}\{\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)\} \quad , \qquad \gamma_{yz} = \frac{1}{G}\tau_{yz}$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E}\{\sigma_y - \nu(\sigma_z + \sigma_x)\} \quad , \qquad \gamma_{zx} = \frac{1}{G}\tau_{zx}$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E}\{\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)\} \quad , \qquad \gamma_{xz} = \frac{1}{G}\tau_{xy}$$

または、$(\varepsilon_{ij}{}^{e})' = \frac{1}{2G}\sigma'_{ij}$,　　$\varepsilon_v = \frac{\sigma_{ii}}{3K}$

ここで、$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$,　　$K = \frac{E}{3(1-2\nu)}$

3. Mises の降伏条件

$$Y = \overline{\sigma} = \sqrt{\frac{3}{2}\sigma'_{ij}\sigma'_{ij}}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{2}\{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}{}^2 + \tau_{yz}{}^2 + \tau_{zx}{}^2)\}}$$

4. Tresca の降伏条件

$$\tau_{\max} = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3) = k = \frac{Y}{2}$$

5. Levy-Mises の式

$$d\varepsilon_{ij}{}^{p} = \frac{3\overline{d\varepsilon}}{2\overline{\sigma}}\sigma'_{ij}$$

ここで、$\overline{d\varepsilon} = \sqrt{\frac{2}{3}d\varepsilon_{ij}{}^{p}d\varepsilon_{ij}{}^{p}}$

$$= \frac{\sqrt{2}}{3}\sqrt{\{(d\varepsilon_x{}^{p} - d\varepsilon_y{}^{p})^2 + (d\varepsilon_y{}^{p} - d\varepsilon_z{}^{p})^2 + (d\varepsilon_z{}^{p} - d\varepsilon_x{}^{p})^2 + \frac{3}{2}\{(d\gamma_{xy}{}^{p})^2 + (d\gamma_{yz}{}^{p})^2 + (d\gamma_{zx}{}^{p})^2\}}$$

6. 単軸引張のくびれ発生条件

$$\frac{d\sigma}{d\varepsilon} = \sigma$$