

材料評価学 第3回

- 前回：
- 引張試験における
 - ・ 応力-ひずみ線図
 - ・ 公称応力と真応力
 - ・ 公称ひずみと真ひずみ
 - ・ 真ひずみの意義



- 今回：
- 引張試験における
 - ・ 降伏現象
 - ・ 耐力
 - ・ 加工硬化指数

3. 引張試験 2

3.1 降伏現象

- ① 溶質原子による転位の固着
 ② 転位の増殖と運動速度の関係 } から説明される。

●転位の固着

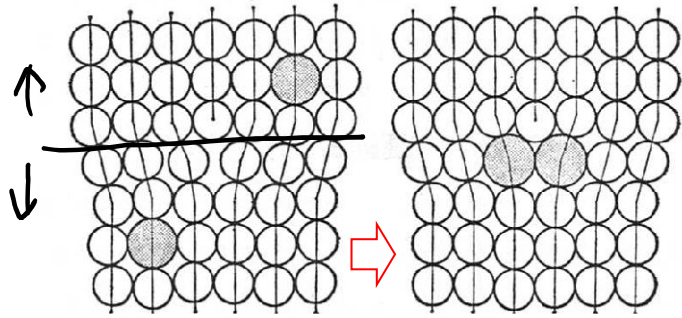


図 3.1 転位の固着

- ・ 転位の応力場に溶質原子が引を寄せられる。
- ・ 転位の応力場を緩和し、転位の運動を阻害する。

●Johnston - Gilman の降伏理論

・ 結晶の塑性変形速度 $\dot{\epsilon}$ ($= \frac{d\epsilon}{dt}$), $\dot{\epsilon} = \rho b v$

ρ : 転位密度
 b : バーガースベクトル
 v : 転位の運動速度

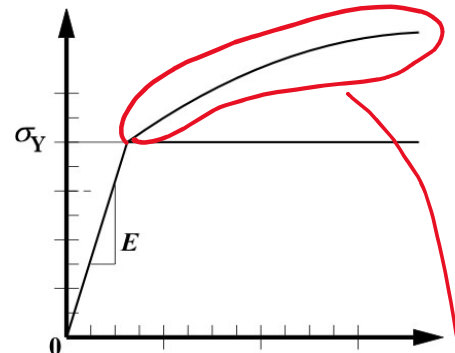
・ v とせん断応力 τ の関係: $v \propto \tau^m$

- (1): 転位が固着された結晶に一定変形速度 (= $\dot{\epsilon}$ - 定) で応力を加える
- (2): 上降伏点に達したところで、転位源の活動による急激な ρ 増加
- (3): $\dot{\epsilon} = \rho b v$ より、 v の低下が生じる。
- (4): $v \propto \tau^m$ より、 τ の低下が生じる。 → 上降伏点から下降伏点への変化
- (5): 下降伏点至り達後: 転位間の相互作用により実質的 ρ が減少
- (6): $\dot{\epsilon} = \rho b v$ より v の増加 → $v \propto \tau^m$ より τ の増加
 → 下降伏点からの曲線的応力増加

3.3 加工硬化指数

・問い: 降伏応力は塑性変形(=転位運動)に必要な下限応力である, では降伏応力以上の一定応力を負荷すれば塑性変形は進行するか?

A. 否 → 塑性変形を進行させるためには応力を上昇させる必要がある.



↓
 材料が加工硬化により「強くなる」ため。
 (転位密度上昇に伴う転位運動の阻害)

表 3.1 各金属材料における加工硬化指数

材	料	n
18-8	ステンレス鋼	0.53
七三	黄銅 焼なまし	0.48
六四	黄銅 "	0.39
	Cu "	0.34
	Al "	0.25
軟	鋼 0.05% C "	0.25
	0.12% C "	0.25

$$\sigma = k \epsilon^n$$

(べき乗硬化則)

・加工硬化指数:

加工硬化の度合いを示す指数

・鉛などの軟金属

・既に十分加工硬化した材料

n=0 (加工硬化しない)

・18-8 ステンレス鋼や黄銅 [fcc]

n 高い

・軟鋼等 [bcc]

n 低い

3.4 第3回講義に関する意見・感想・質問のまとめ

●意見・感想

- ・小テストの出来が悪かった, もっと有効数字や求め方について考えるべきだった, 導出も覚えていたので真ひずみの問題を解くことができた, 真ひずみと真応力の定義を混同していた, \ln と \log を間違えた, 新ひずみの求め方が分からずうまくいかなかった, 電卓の使い方を間違えた, とても難しかった:17←電卓の使い方については, 授業内でも「自分の電卓の機能(ボタン)をよく把握しておくように」と伝えたはずですが, 結構な人が常用対数と自然対数を間違えていたようでした. ただそれを除いても今回の小テストは結構厳しかったですね. 平均 3.0 点, 満点 12 名でした.
- ・応力とひずみをより深く理解できた, 降伏理論を納得して理解できた, 0.2%耐力の定義について理解できた, ひずみから加工硬化指数へと習ってきたことがつながった, 復習をしたら内容の理解が深まった:10
- ・公式を使う場面が多いため練習問題をたくさんやって身につけたい, 公式を暗記するような勉強をしてしまったのでもっと原理的な部分から理解する, 復習頑張る, 2年生の内容から復習する, 理解を深めるため一度整理し直す, 線図の意味の理解があまりできていないと気付いた, 公式を覚えなければいけない, 上降伏点と下降伏点の違いを復習する, $n = \epsilon t$ の微分が怪しいので復習する:9
- ・くびれ発生時の加工硬化指数が真ひずみと一致することを導出できることがとても面白い, 比較的簡単に解けた, 得られた結果にすごいと思った:5
- ・積極的に発言が行えるように復習や予習をする, 例題にも自信を持って答えられるようになりたい:2←こういう気持ちを持ち続けてもらって, そのうち発言が多くなってくることを期待します.
- ・以下一人ずつ:
 去年の内容も出てくるため集中的な理解が得やすい, 週2の1限をこれからも頑張る
- ・電卓を忘れてきたことにテスト直前で気がついた(期末じゃなくてよかった)←全くその通りです.
- ・この講義に向かう時間帯の気温がほどよく天気も晴れて調子が良い←本当に良い時期ですよ.
- ・勉強をしたが解けなかったのもう少し難易度を易しくしてほしい←そのうちチャンス問題も来ますので.
- ・ステンレス鋼の加工硬化指数が高いのに驚いた←なのでステンレスの加工は気を使います.

●質問

- ・p.4の σ_B の定義($d\epsilon_n/d\epsilon_n=0$)はこれでいいのか?←すみません, 指摘されて気がつきました. 「 $d\sigma_n/d\epsilon_n=0$ 」ですね, 訂正しました.
- ・「十分に加工硬化した材料」はどのように判断するのか?←転位密度の程度で判断します.
- ・0.2%耐力において軟鋼と同じにするのはいいのか?なぜ基準が軟鋼なのか?←ヤング率の高低に関わらず, 弾性変形(線図の直線部分)の直後を捉えられるので, 合理性はあると思います.
- ・小テストの日付を間違えてしまったが大丈夫か?←大丈夫です.
- ・転位の固着箇所では微小でも直径の変化はあるのか?←原子レベルの集積ですし, マクロな直径変化までは至らないと思います.
- ・何が原因で軟鋼だけ特別な線図になるのか?←今日の前半で説明したメカニズムが機能する条件が揃っている材料, ということです.
- ・降伏理論がよく分からなかった, $v \propto \tau^m$ の意味がわからなかった←「転位の運動速度 v とせん断応力の m 乗が比例する」という意味です
- ・指数の計算の有効数字をどうしたらいいのか?←指数や対数における有効数字は微妙なところですが, 本来は誤差伝播の考え方を適用して判断するべきですが, 本科目では簡易的に「計算する指数や底の値の桁数をそのまま維持する」ということでいいです.

3.6 第2回小テスト解答

断面積 $A_0 = 20.0 \text{ mm}^2$ の試験片を用いて引張試験を開始し、断面積 $A = 16.0 \text{ mm}^2$ になった時点で試験を中断した。試験片は既に塑性変形を生じているが、均一伸び状態である。

Q.1 この時点の真ひずみ ε_t [-] を求めよ。[6点]

A.1 塑性変形を生じかつ均一伸び状態のため、次式で表される体積不変の条件が成り立つ。

$$A_0 l_0 = A_t l \rightarrow \frac{A_0}{A_t} = \frac{l}{l_0} = \frac{20.0}{16.0}$$

$$\varepsilon = \ln(l/l_0) = 0.2231\dots = 0.223$$

Q.2 この時点の公称ひずみ ε_n [-] を求めよ。[4点]

A.2 真ひずみと公称ひずみとの関係式 $\varepsilon = \ln(\varepsilon_n + 1) \rightarrow \varepsilon_n = \exp(\varepsilon) - 1 = 0.250$