

材料評価学 第10回

前回： 硬さ試験における
・ 計装化押込み試験



今回： 衝撃試験における
・ 「衝撃試験」とは
・ 衝撃吸収エネルギーと破壊形態
・ 延性-ぜい性遷移

10. 衝撃試験

10.1 「衝撃試験」とは？: 材料のじん性（破壊に対する抵抗、ねじり強さ）を評価するための試験

- 一般的: 切欠き付試験片に対する衝撃曲げ試験
 - ↳ シャルピー衝撃試験
 - ↳ アイゾット

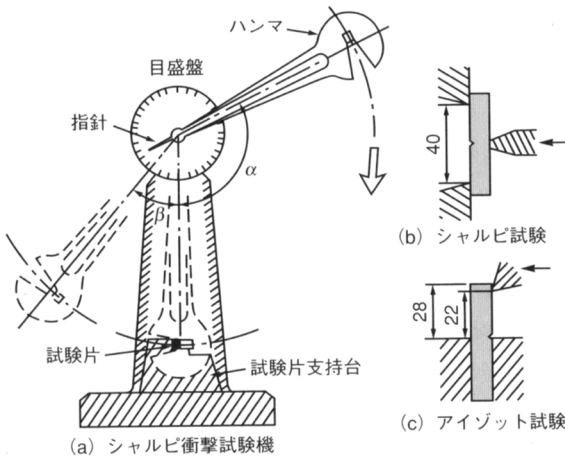


図 10.1 切欠き付き試験片の衝撃曲げ試験

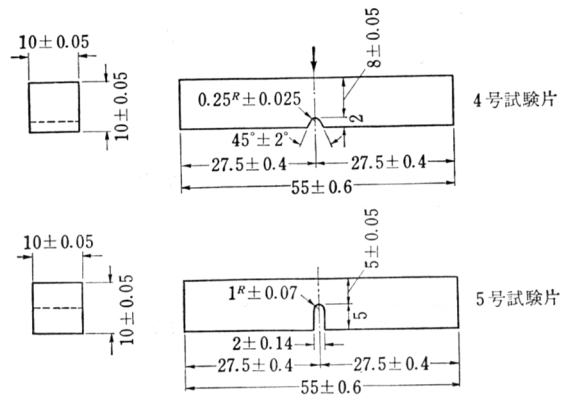


図 10.2 シャルピー衝撃試験片

10.2 シャルピー衝撃試験

●試験方法: ハンマを所定の持ち上げ角 α から落下させ、支持台に設置した試験片を破断（下側の振り上がり角 β を測定可る）。

●定義式 J = 破断に要したエネルギー

・衝撃吸収エネルギー: $E = WR (\cos \beta - \cos \alpha)$ [J]

W : ハンマ重量 [N] R : ハンマ重心までの距離 (m)
 α, β [°, deg]

・シャルピー衝撃値: $C = E/A$ [J/m²]

↑
 単位面積あたりの衝撃吸収エネルギー A : 切欠き部の断面積 (m²)

・ 例題: 焼入れした構造用炭素鋼 S45C 試験片にシャルピー衝撃試験を行ったところ, $\beta = 138.1^\circ$ であった. $W = 38.84 \text{ kgf}$, $R = 0.725 \text{ m}$, $\alpha = 141.0^\circ$ のときの材料の衝撃吸収エネルギー E を求めよ.

9.06 J
 9.06 J
 9

10.3 衝撃吸収エネルギーと破壊形態

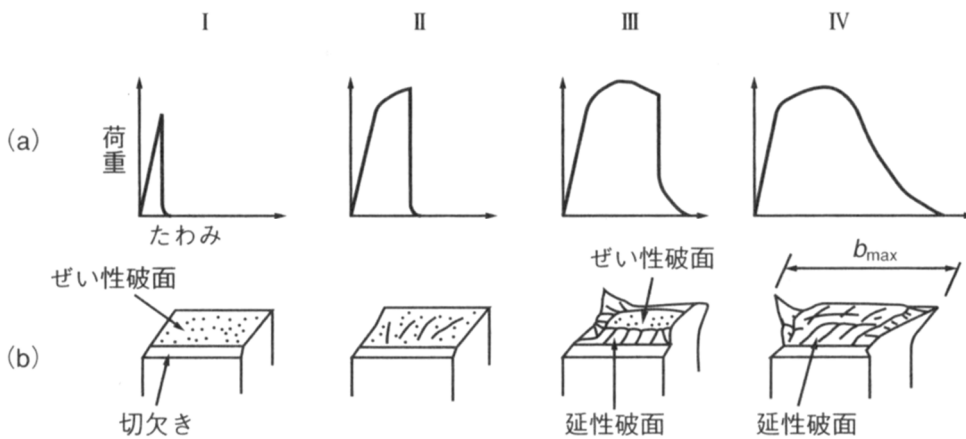


図 10.3 荷重-たわみ曲線と破面

- シャルピー衝撃試験の荷重-たわみ曲線: 破壊形態と対応
- 荷重-たわみ曲線下の面積: 衝撃吸収エネルギーに相当

	曲線の形態	破面
形式 I	塑性変形はほとんどせず ぜい性破壊	} 全面, もしくは大半が ぜい性破面 ・ 粒状のキラキラした面 (= 欠片) 破面
形式 II	部分的に塑性変形があるが ほぼぜい性破壊	
形式 III	最大荷重まで延性的に変形 した後、ぜい性破壊	周辺部: 延性破面 ← 中央部: ぜい性 ..
形式 IV	ぜい性破壊せず、最後まで 延性的に破壊する。	全面延性破面

10.4 延性-ぜい性遷移

●鋼においてぜい性破壊が生じやすい条件：

- (1) 欠陥が存在することで多軸応力状態にある場合
- (2) 温度が低い場合「低温ぜい性」
- (3) 衝撃的負荷重に対し材料の変形速度が大きい場合

「欠陥をぜい性」



・シャルピー衝撃試験には(1), (3)の要素が含まれている



・温度をパラメータとしてシャルピー衝撃試験結果を整理する。

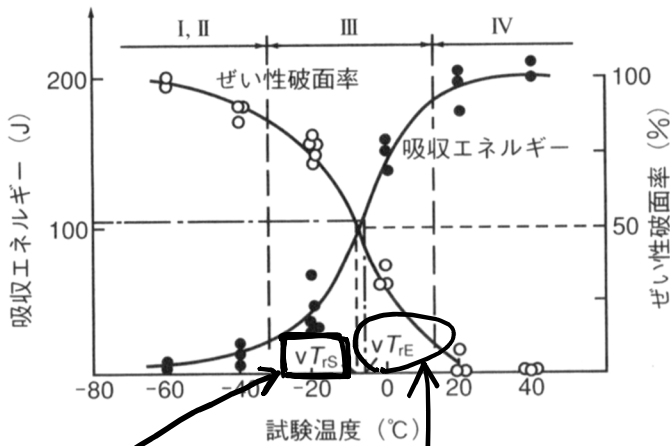


図 10.4 衝撃吸収エネルギー、ぜい性破面率と温度の関係

・衝撃吸収エネルギーの大小：

→ 破壊形態の差異に
対応

・ある温度を境にして、衝撃吸収エネルギーや
ぜい性破面率の遷移が生じる：



延性-ぜい性遷移

●延性-ぜい性遷移温度の定義：

- (1) エネルギー遷移温度：ぜい性破面率が0% (=全面延性破壊)となる温度での吸収エネルギーを100%としたとき、吸収エネルギーが50%となる温度として決定する。
- (2) 破面遷移温度：ぜい性破面率が50%となる温度として決定。

・問い: fcc 金属(例: アルミ合金, ステンレス鋼)における, 試験温度と衝撃吸収エネルギーの関係はどのようになるか?

大きな変化はしない. → (ほぼ一定値)
遷移は生じない

●鋼の延性-ぜい性遷移温度へ影響を及ぼす因子:

- (1) 欠け: 鋭いほど 高き値側にシフトする
- (2) 試験片寸法: 大きいほど ..
- (3) 変形速度: 大きいほど ..
- (4) 結晶粒寸法: 大きいほど ..
- (5) 炭素含有量: 多いほど ..
- (6) 不純物含有量: 多いほど ..

10.5 本講義に関する意見・感想・質問のまとめ

●意見・感想

- ・小テストで gf を kgf で読んでしまった, 有効数字に気をつけ適切に計算できた, 単位の勉強が必要と感じた, 解けたと思う, 式の意味を理解していなかった, 少し時間が足りなかった, 単位や変換式を忘れていた, 単位変換についてミスしてしまった, 目盛の読み取りを間違えてしまった, よくできたと思う, 少し難しい, 計算をしっかりとやれた, 有効数字の取り扱いが曖昧になってしまった, 電卓の設定が rad になっていて時間がかかった, ちょうど良い難しさだった:18←今回の小テストは平均 5.8 点, 満点 5 名でした. Q2 の典型的な誤答例は ①読み取り精度(小数第 2 位まで 0.05 刻みで読む), ②hr の定義(除荷曲線の終了点≠hr), ③hc の単位(Ap の式に代入する際は mm 単位とする), ④HIT と HV の桁数(①の読み取り精度に由来した算出値の桁数になっているか?), 辺りでした.
- ・小テストの復習を行う, 今までの授業内容の応用が増えてきたのでしっかり復習する, 延性-ぜい性遷移温度の定義を復習する, 自分の中で頭の整理がついていないので復習したい, 語句が多かったので復讐も多めにする, いくつかの試験についてごちゃごちゃになってきたので今一度復習する, 遷移の部分が微妙なので確認する:16
- ・衝撃の遷移過程や定義は複雑だったが温度との関係は理解した, 例題や図を通して理解できた, じん性がどのようなものか分かった, 衝撃試験の種類や方法がよく分かった, 衝撃試験の原理や仕組みが単純でイメージしやすかった:7
- ・計算の時は単位を意識する, 単位や有効数字をもっと意識する, $1\text{kgf}=9.807\text{N}$ をしっかり覚える:6
- ・材料科学実験 II の内容と同じで復習になった, 実験で考察したところの復習ができて面白かった, 実験とリンクしていて理解しやすかった:5←実験と関連して理解すると思います.
- ・期末テストに向けた準備も進めていきたい, テスト頑張る:3←頑張ってください!
- ・衝撃試験が斬新で驚いた, 1 年生の時に見たシャルピー試験の内容で感慨深かった:2
- ・教室が暑く集中しづらかった←今後暑い日はせめて送風を稼働させますね.
- ・ペンの不調が起こっておらずよかった←ご心配おかけしました, 電池を変えたら誤作動しなくなりました.
- ・ぜい性破壊や延性破壊の知識が少し抜けていた
- ・(例題の)計算がうまく解けなかった

●質問

- ・材料としては延性破壊の方が評価できるということか?←評価できるかどうかはどのような観点で評価するかによっても変わるとは思いますが, 多少強度を下げたとしてもじん性を確保してぜい性破壊を生じにくくするのが一般的です.
- ・炭素含有量と遷移温度の関係について「強度も上がるが高温側にシフトさせないようにしないといけない」との説明がよくわからなかった←これも上記と同様で, どのような使用用途や条件で材料を使用するかにも依るのですが, 強度上昇と遷移温度上昇の 2 者択一であれば, 強度上昇を抑えてでもぜい性破壊が起こりにくくする(=高温側にシフトさせない)方がよいです.
- ・なぜ fcc 金属は試験温度と衝撃吸収エネルギーが一定なのか?←授業で話したように, 延性-ぜい性遷移が起きないからです.
- ・角度 A が測定値で有効数字 3 桁の場合の $\sin A$ や $\cos A$ の値の有効数字は何桁となるのか←関数を介する場合の有効数字の考え方は私も正確に把握していませんが, 概算として同一桁数を与えておけばいいかと思います.
- ・計算の時に四捨五入をどの段階で行えば良いのか?←理想的なのは最後の 1 回だけです.

10.6 第9回小テスト解答

Q.1 計装化押し込み試験について述べた次の文章中の空欄に当てはまる語句を記入せよ。
[各1点, 計4点]

計装化押し込み試験の特徴は, 圧子にかかる試験力と圧子の [①] を連続的に計測し, それらを用いて材料の機械的特性値を評価する点である. 押し込み硬さ H_{IT} の算出及びビッカース硬さ HV への換算は以下の手順で行う.

- ・圧子の接触深さ $h_c = h_{max} - 0.75(h_{max} - h_r)$
- ・圧子の [②] $A_p = 24.50 \cdot h_c^2$
- ・押し込み硬さ $H_{IT} = [③]$
- ・ HV への換算 $HV = [④]$

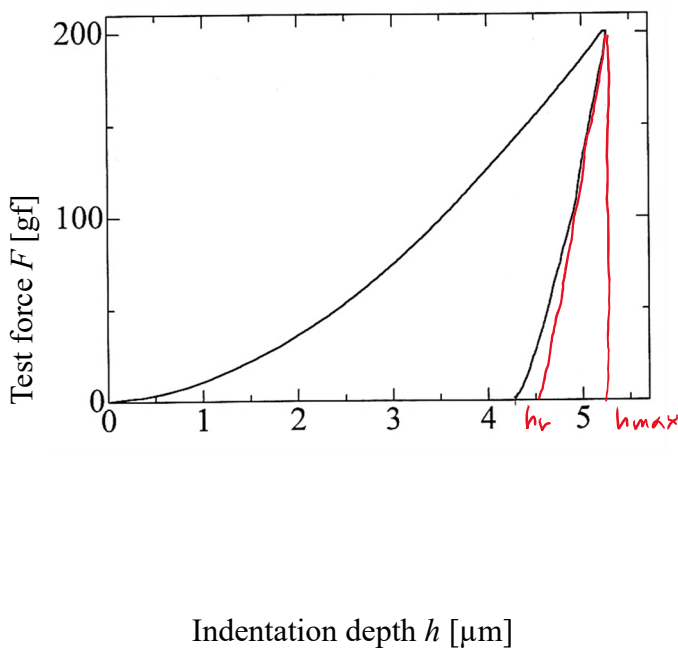
A.1

① [押し込み深さ]

② [接触投影面積]

③ [F_{max}/A_p]④ [$0.0945H_{IT}$]

Q.2 以下の押し込み線図より H_{IT} を算出し, HV へと換算せよ. [4点]



A.2 (解答例, 実測値は多少の誤差も OK とする)

最小目盛り $0.5\mu\text{m}$ なので $0.05\mu\text{m}$ 単位で目測例: $h_r = 4.50\mu\text{m}$ $h_{max} = 5.25\mu\text{m}$ $F = 200 \text{ gf} = 0.200 \text{ kgf} = 1.96 \text{ N}$

$$h_c = h_{max} - \varepsilon(h_{max} - h_r) = 5.25 - 3/4(5.25 - 4.50)$$

$$= 5.25 - 0.75 \times 0.75 = 5.25 - 0.56 = 4.69 \mu\text{m}$$

$$= 4.69 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

$$H_{IT} = \frac{F_{max}}{A_p} = \frac{F_{max}}{24.50h_c^2} = \frac{1.96}{24.50 \times (4.69 \times 10^{-3})^2}$$

$$= 3.637... \times 10^3 \text{ N/mm}^2 = 3.64 \times 10^3 \text{ MPa}$$

$$HV = 0.0945 \cdot H_{IT} = 344$$

注: 値を2桁で読んだ場合は, $H_{IT} \cdot HV$ とも2桁になります(それでも○とします).