

# 【一般研修・機械系】 材料力学実験(破壊実験)

講師: 高野

参加者: 森・茂木・斉田・吉田・李



## 1. 目的

結晶粒径の小さい細粒材について様々な温度環境で（低温、常温）でシャルピー衝撃試験を行い、温度環境による破壊形態に及ぼす影響について考察し、延性破壊、脆性破壊等の破壊現象について理解する。

## 2. 内容

実験には、軟鋼より切り出したJIS規格シャルピー衝撃試験片を用いる。熱電対を埋め込んだ温度測定用試験片を液体窒素で冷却し、温度と時間の関係（昇温曲線）を求める。昇温曲線を用いて指定温度で試験機のハンマーを持ち上げ、それを落下させて試験片を破断する。破断面を肉眼または実体顕微鏡で観察し、試験温度による破断面形態の違いを確認する。

### 3.シャルピー衝撃試験

衝撃試験(図1)は、試験機の振り上げたハンマーを試験片に落下させることによって試験片(図2)を破断させ、そのときに試験片に吸収されるエネルギーを測定するものである。

シャルピー衝撃値は次のように算出される。

$$\text{シャルピー衝撃値} = E_0 / A_0 \quad (3.1)$$

ここで $A_0$ は試験片切欠き部の最小横断面積( $\text{cm}^2$ )、 $E_0$ は試験片の破断に要したエネルギー(J)であり、また、 $E_0$ は次式にて与えられる。

$$E_0 = WhR(\cos \beta + \cos \alpha) \quad (3.2)$$

ただし、 $Wh$ はハンマーの重量、 $\alpha$ はハンマーの持ち上げ角、 $R$ はハンマーの回転軸中心から重心までの距離、 $\beta$ は試験片破断後のハンマーの振り上がり角である。式(3.1)において衝撃値の数値は四捨五入によって小数第1位までを求めるものとする。



図1. シャルピー衝撃試験機

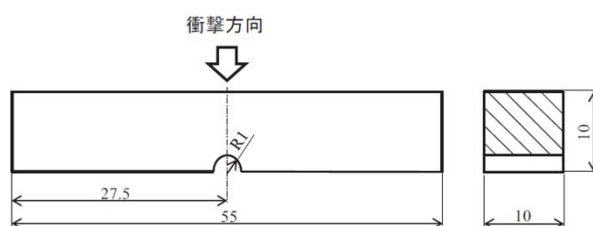


図2. 試験片(S45C)

## 4. 実験装置

- a. シャルピー衝撃試験機(図1)
- b. 試験片加熱・冷却装置・温度測定装置(図3)
- c. 破面観察装置:ビデオマイクロスコープ(図4)、  
走査型電子顕微鏡(図5)
- d. その他:試験片位置決めゲージ、ピンセット、  
手袋



図3. 温度測定装置等



図4. ビデオマイクロスコープ



図5. 走査型電子顕微鏡(SEM)

## 5. 実験

### (1) 昇温曲線

1. 熱電対(銅-コンスタンタン)を埋め込んだ温度測定用試験片を保温槽内の液体窒素に約10 分間浸漬し、その温度を液体窒素温度の $-196^{\circ}\text{C}$ にする
2. その後、試験片を取り出してシャルピー衝撃試験機の支持台の所定位置に移し、自然昇温させる(図4.9 参照、ただし $T > 0^{\circ}\text{C}$  のときは $\text{mV}$  計が正になるように結線し、 $T < 0^{\circ}\text{C}$  のときはA, B を交換する)
3. その際、昇温曲線(温度-時間曲線)を求め、以後これを参照温度曲線として用いる(起電力と温度の関係についてはテキスト参照)。

### (2) 衝撃試験

1. 衝撃試験用試験片を必要本数(5 本) だけ液体窒素に浸漬し約10 分間保持する。
2. その後、試験片を保温槽から取り出し、位置ゲージを用いて試験機に取り付け、第1回目は試験片の温度が $-110^{\circ}\text{C}$ になるまで放置する。
3. 試験機のハンマーを所定の持ち上げ角 $\alpha$  まで持ち上げ指針をセットする。
4. 試験片温度が参照温度曲線から定まる所定の試験温度(第1回目は $-110^{\circ}\text{C}$ )に達したとき
5. 直ちにハンマーを落下させ試験片を破断させる 破断後の振り上がり角 $\beta$  を指針より読み取る
6. ハンマーの衝撃位置が正しいことを試験片の打撃痕から確認し、各測定値から式(4.17) および式(4.18) を用いて衝撃値ならびに吸収エネルギーを算出する。
7. 第2 回～第6 回目においては、各試験温度をそれぞれ $-80$ ,  $-50$ ,  $-20$ ,  $0^{\circ}\text{C}$ , RT (室温)として上の1～6 の手順を繰り返す。

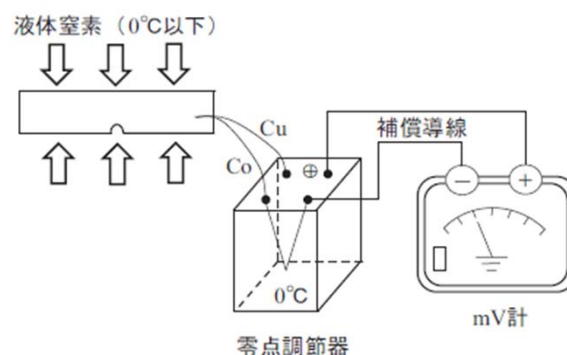


図3. 試験片の温度測定

## 6. 結果

a. 昇温曲線：図4のように、時間変化に対し温度上昇が緩やかになっている。

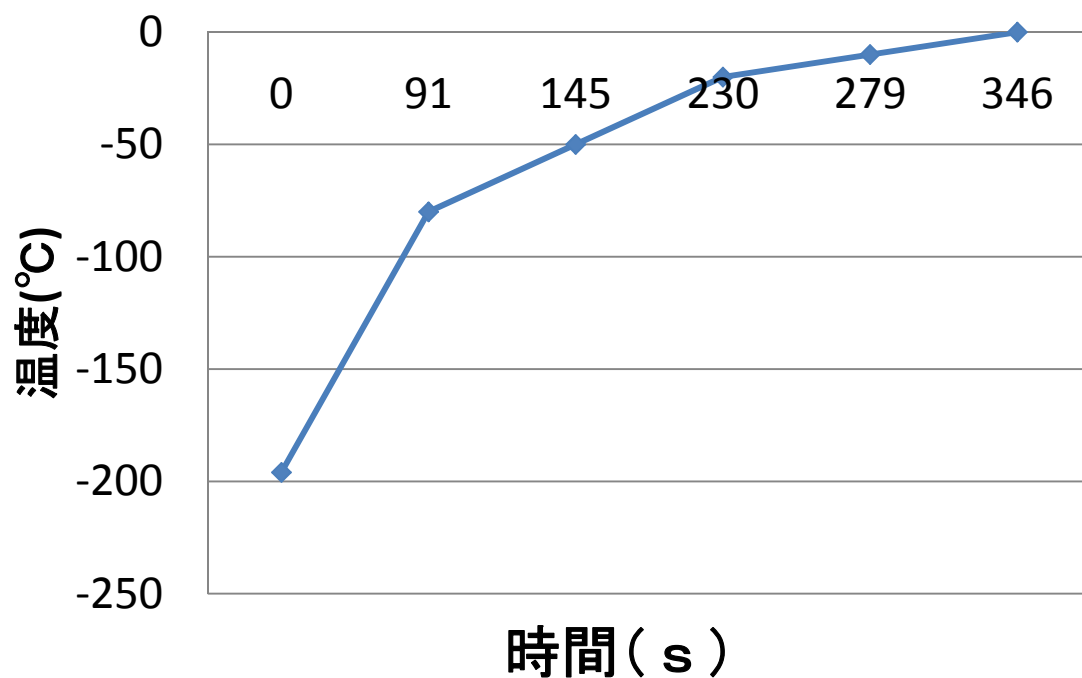


図4. 昇温曲線

b. シャルピー衝撃試験：表1のデータが得られた。

表1. シャルピー衝撃試験における各種関係値

温度(°C)	起電力 (mV)	時間(s)	振り上がり角 $\beta(^{\circ})$	E0(J)	E(J m/s)	衝撃値 (J/m <sup>2</sup> )
-80	-2.788	91	117.6	0.6207	6.1	2.0
-50	-1.819	145	116.5	0.9098	8.9	2.9
-20	-0.757	230	81.1	11.07	108.5	35.2
0	0.000	346	73.0	13.40	131.3	42.7
23(RT)			72.9	13.43	131.6	42.7
50	2.035		66.1	15.31	150.0	48.7

## 7. 考察

### a. E0、衝撃値、温度の関係

図5.6のグラフから、延性・脆性遷移温度が $-35^{\circ}\text{C}$ 付近であると読み取れる。

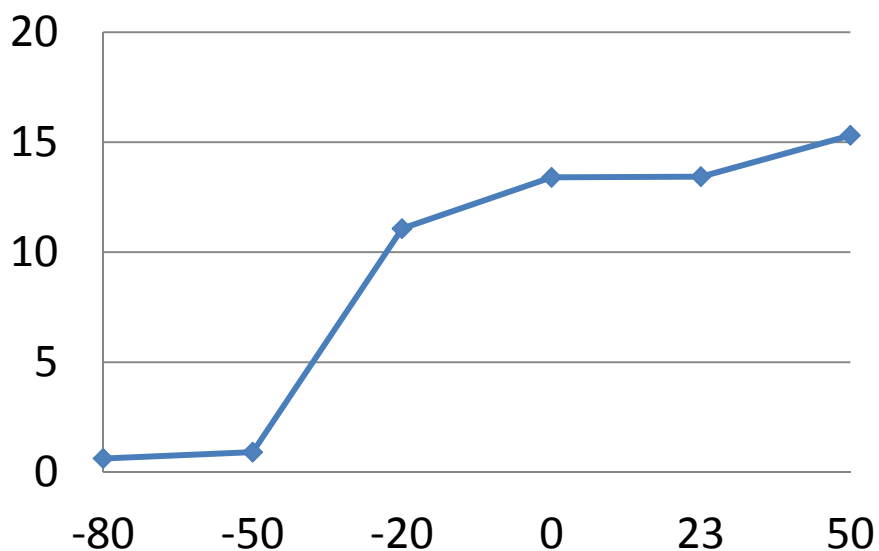


図5. E0－温度関係図

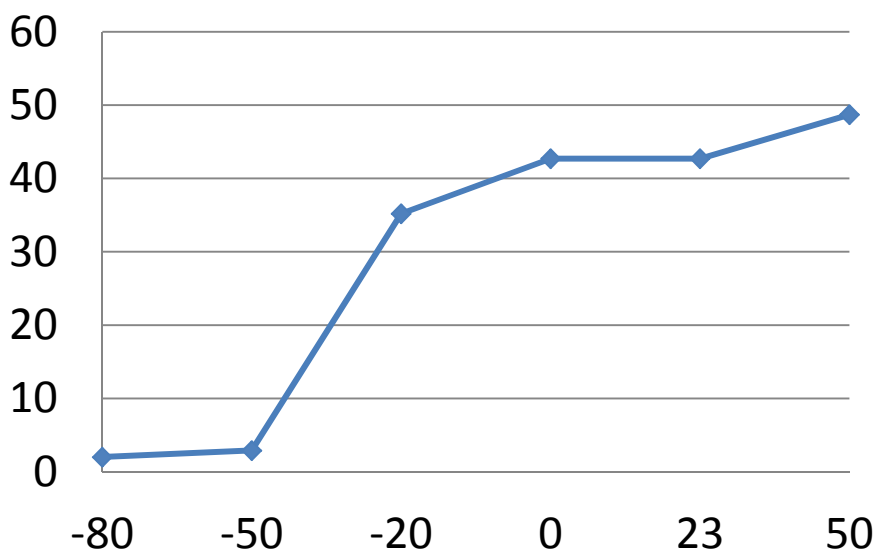


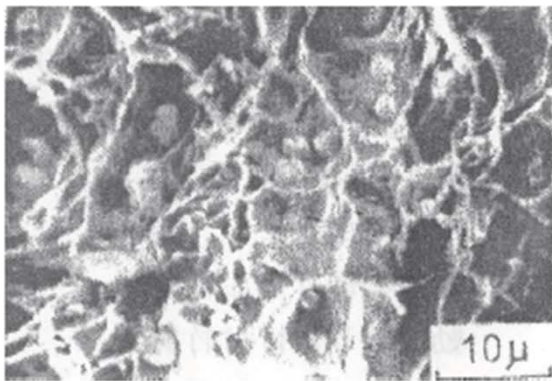
図6. 衝撃値－温度関係図



## b. SEMによる解析

延性破壊においては断面にディンプルとよぶ小さな窪みが全体的に見られる。

その内部には何らかの介在物が確認できる。この物質により塑性変形を起こす原因だと考えられる。



(a) 延性破面 (×2000)



(b) 延性破面上のディンプル  
と介在物 (×5000)

## 図7. 試験片の顕微鏡観察

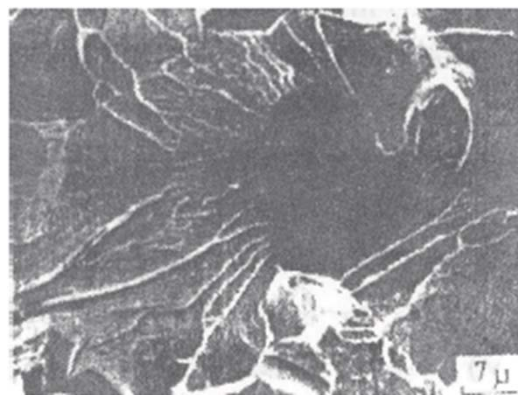


図8. へき開破面(x2000)

## 8. 参加者の感想

・特別な道具がないと体験できない実験だったので、非常に有意義で、刺激的であった。担当でない学科の実験はまだまだ知らないものが多いので、今後もこのような研修があれば積極的に参加したいと思った。

M.R

・実際に機械工学科の3年生が行う実験を体験でき、大変興味深かった。このような実験を行うことで、1,2,3年生における学生実験の流れを理解することができると思うので、今後も各分野の実験を継続的に研修として行っていくことができればと思う。また、材料を破壊する際、今後は安全面で工夫が必要になるのではないかと思った。

M.M

・機械工学科3年生が実際に行っている破壊実験の実験手順を理解し、金属試験片を様々な温度環境のもとで破壊することができた。特にシャルピー試験機で、金属片を破壊するときの衝撃を間近で見れて迫力があった。また、破断面の形状を実際に顕微鏡で観察できたので、視覚的に延性破壊、脆性破壊等の破壊現象について理解することができて楽しかった。

Y.H