

539.537:620.178.746.22:669.141.27  
:669.14.018.27

(131) シャルピー試片に対する衝撃および静的特質の研究

(鉄鋼の切欠および平滑試片における熱処理温度と衝撃性質の関係—Ⅲ)

東北大学, 金属材料研究所

○廉 永 夏

Studies on the Impact and Static Characteristics for Charpy Specimen.

(Relations of heat-treated temperature and impact properties for both notched and un-notched specimen of steels—Ⅲ)

Yung-Ha YUM.

1. 緒 言

従来シャルピー試片による衝撃の研究は非常に多い。その多くは脆性の遷移点の決定である。また近年、切欠試片の衝撃荷重-時間曲線などによる研究の報告も多い。しかし平滑試片に対する衝撃試験の報告はほとんどない。実際、機械または構造物の使用を検討するならば、平滑構造物が非常に多い。本研究では平滑試片および切欠試片に対し、低温ではなく室温における、各試片の衝撃荷重-時間曲線を作り、これらに対する熱処理温度と衝撃性質の関係を考察した。またこれらと比較するために静的試験も行ない、相互の機械的性質も調べた。

2. 実験方法

2.1 試 片

Table 1 のバネ鋼と軟鋼を使用した。各圧延素材を 850°C と 930°C に焼鈍したものから試片を作り、830°C と 900°C で焼入れた後、焼もどし温度 100~800°C の間では 3.5hr (800°C では 2hr) 加熱した後、炉冷した。研削により、平滑試片は 10×8×55mm 切欠試片は 10×10×55mm に仕上げた。平滑試片には添字 8 を付け T<sub>8</sub>, V<sub>8</sub>, M<sub>8</sub> とし、切欠試片には添字 10 を付け T<sub>10</sub>, V<sub>10</sub>, M<sub>10</sub> などとして区別した。

2.2 衝撃装置と実験方法

衝撃には第1報に述べたと同様に 36.5 kg-m (264 ft-lb), 衝撃速度 5.14m/s の Olsen 万能衝撃試験機を使用した。ハンマ頭部に固定した衝撃刃部にストレイン・ゲージを固着させて、衝撃荷重測定用のダイナモメーターを作った。衝撃の際試片の破壊過程に起こる弾塑性変形を、ダイナモメーターの弾性変位に変え、ストレイン・ゲージの微小変化をオッシロスコープ写真として撮影した。ダイナモメーターを万能試験機で検定することによつて、オッシロスコープの垂直軸の出力 (mV/cm)-荷重 (kg) 曲線が得られる。またオッシロスコープの水平軸には、掃引時間スイッチを切り換えることによつて、0.02, 0.5, 1, 2 (×10<sup>-3</sup>sec/cm) などのスケールによつて時間を測定した。これらの衝撃荷重と時間測定によつて、オッシロスコープ写真 (1例を Photo. 1 に示す) を解析し衝撃特性を考察した。

2.3 静的曲げ試験

静的曲げには 5t 容量の万能試験機を使用し

Table 1. Chemical composition of specimen.

Materials	C (%)	Si (%)	Mn (%)
Spring steel (T)	0.49	1.02	0.88
" " (V)	0.82	0.19	0.9
Mild steel (M)	0.17	0.008	0.49

た。試験機の圧縮押え部分にも同様のダイナモメーターを取り付けた。また試片支持台はシャルピー衝撃試験のアンビルと同じ形状のものを作り、スパンは 40mm とし、荷重以外は衝撃と同一条件で行なつた。

3. 実験結果および考察

3.1 曲げ荷重

Fig. 2 [A] はバネ鋼と軟鋼の衝撃荷重と焼もどし温度の関係を示す。バネ鋼の場合 400°C 以上で焼もどされた平滑および切欠試片の曲げ荷重は、衝撃と静的荷重に対し、ほぼ類似して、温度上昇とともに減少している。しかし、焼もどし温度 300°C 以下の高硬度部では、曲げ荷重のばらつきが大きかつた。衝撃では、平滑と切欠試片の最大荷重が 300~450°C の間で現われていたが、静的荷重では低温側にずれて、200~400°C の間に現われた。また平滑と切欠試片では、切欠試片のほうが高温側に現われた。

軟鋼の衝撃荷重はバネ鋼とは異なつて焼もどし温度上昇とともに減少して、100~800°C の間で最大値を示さ

Tempering temp(°C)	T <sub>10</sub> Notched	T <sub>8</sub> Unnotched	V <sub>10</sub> Notched	V <sub>8</sub> Unnotched
100				
200				
300				
400				
450				
500				
600				
700				
800				
900				

Photo. 1. Impact load-time curves of specimen T (T<sub>8</sub>, T<sub>10</sub>) and V (V<sub>8</sub>, V<sub>10</sub>).

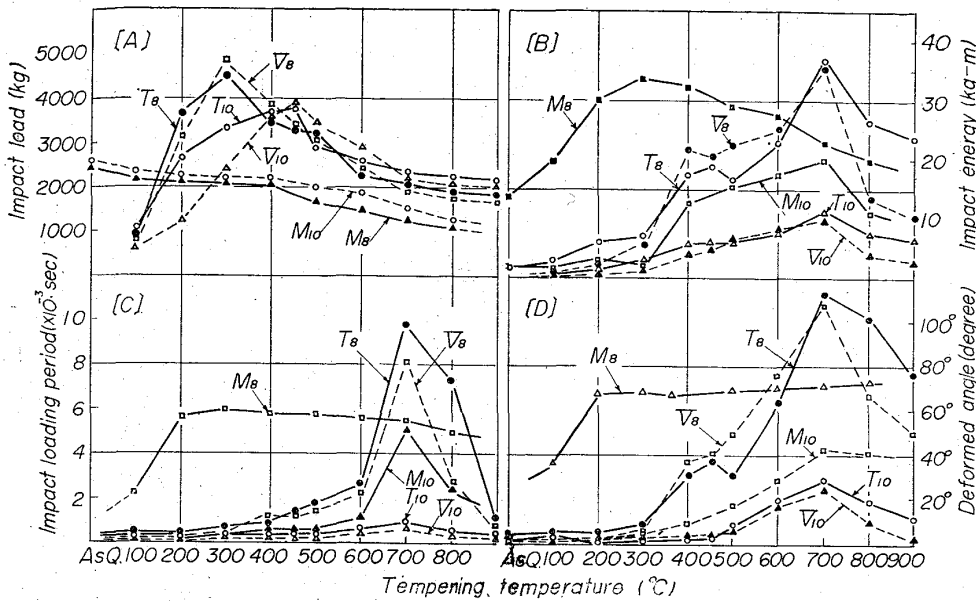


Fig. 1. Impact load, impact energy, loading period and deformed angle versus tempering temperature curves of cantilever.

- (a) バネ鋼(T):  
 $\phi_8 = 1.1 \sim 2.6$   
 また,  
 $\phi_{10} = 1.42 \sim 2.24$
- (b) バネ鋼(V):  
 $\phi_8 = 1.42 \sim 3.46$   
 また,  
 $\phi_{10} = 1.32 \sim 2.70$
- (c) 軟鋼(M):  
 $\phi_8 = 1.1 \sim 2.4$   
 また,  
 $\phi_{10} = 1.1 \sim 2.43$

これらの  $\phi$  の値からバネ鋼では、平滑試片のほうが、熱処理影響が大きいことが知られる。

3.2 衝撃値

Fig. 1 [B] は衝撃エネルギー焼もどし温度曲線を示す。バネ鋼の衝撃値は 700°C で最大を示す。平滑

ない。

Fig. 2 [A] のバネ鋼と軟鋼の平滑試片および切欠試片の、曲げ荷重の比を  $k$  ( $k_i$  は衝撃、または  $k_s$  静的荷重) とすれば、

$$k = \frac{P_s(\text{平滑試片の曲げ荷重})}{P_{10}(\text{切欠試片の曲げ荷重})} \dots\dots\dots (1)$$

バネ鋼ではばらつきの少ない 400°C~800°C の間で、それぞれ、

- (a) バネ鋼(T):  
 $k_i = 0.82 \sim 1.0$  また  $k_s = 0.9 \sim 0.98$
- (b) バネ鋼(V):  
 $k_i = 0.85 \sim 1.07$  また  $k_s = 0.82 \sim 1.07$
- (c) 軟鋼(M):  
 $k_i = 0.8 \sim 0.96$  また  $k_s = 0.82 \sim 1.0$

各試片とも、焼もどし温度の上昇とともに、 $k$  の値は減少を示していた。そうして 600°C~800°C 付近では 0.8~0.9 の範囲に接近していた。しかも衝撃と静的荷重間の  $k$  の差はきわめて小さかった。またばらつきの多い 100°C~300°C の間では、 $k > 1$  となり、平滑試片のほうが大きい値を示す。

次に衝撃荷重と静的荷重との比を  $\gamma$  とすれば、

$$\gamma = P_i(\text{衝撃荷重}) / P_s(\text{静的荷重}) \dots\dots\dots (2)$$

いずれの試片においても衝撃荷重のほうが大きく、 $\gamma > 1$

- (a) バネ鋼(T):  
 $\gamma_8 = 1.1 \sim 1.38$  (平滑) また  $\gamma_{10} = 1.21 \sim 1.41$  (切欠)
- (b) バネ鋼(V):  
 $\gamma_8 = 1.21 \sim 1.41$  ( ) また  $\gamma_{10} = 1.17 \sim 1.60$  ( )
- (c) 軟鋼(M):  
 $\gamma_8 = 1.03 \sim 1.16$  ( ) また  $\gamma_{10} = 1.02 \sim 1.23$  ( )

熱処理温度の変化により、曲げ荷重の大きさが違う。ところで普通標準とされている平滑焼鈍材の静的曲げ荷重と、熱処理された曲げ荷重の比を  $\phi$  とすれば、

$$\phi = \frac{P_H(\text{熱処理された衝撃荷重})}{P_B(\text{平滑焼鈍静的荷重})} \dots\dots\dots (3)$$

試片の衝撃値は焼もどし温度 300°C 以下では小さい。しかし 400°C 以上では急激に増加し、400°C~450°C 付近で、第 1 極大値を示し、400°C~500°C 付近では焼もどし脆性が現われている。バネ鋼は 400°C で衝撃値が 120ft-lb (16.5 kg-m) 以上となっているし、また破面からもすでに、延性破面遷移点に達していることがわかる。炭素含有量の多い V 材は低温および高温で T 材よりも脆い。

軟鋼の平滑試片はバネ鋼の衝撃値とは非常に傾向が異なっている。Fig. 1 [B] に見るごとく焼もどし温度 300°C に最大値を持つ曲線をえがく。切欠試片の場合、軟鋼の衝撃曲線は、バネ鋼と相当類似して、300°C 以下では温度上昇による増加はきわめて小さい。しかし 400°C 以上から衝撃値の増加が比較的に大きく、700°C でいずれも最大値を示している。

バネ鋼の切欠試片の衝撃値-温度曲線において、焼もどし温度 300°C のものが、常温で  $T_{15}$  (15-ft-lb) の遷移温度を示す。軟鋼の切欠試片の場合も同様である。軟鋼の平滑試片の場合、 $T_{15}$  遷移温度に相当するものは起こっていない。しかし破面遷移温度は衝撃値から考察して、200°C 付近で起こっている。

次に平滑試片と切欠試片の衝撃エネルギー比を  $\beta$  とすると、

$$\beta = E_s(\text{平滑の衝撃値}) / E_{10}(\text{切欠衝撃値}) \dots (4)$$

バネ鋼の平滑試片の衝撃値は、400°C~800°C の間で 2.8 倍以上も大きい。

- (a) バネ鋼(T):  $\beta_T = 2.8 \sim 3.3$
- (b) バネ鋼(V):  $\beta_V = 2.85 \sim 4.7$
- (c) 軟鋼(M):

$$\beta_M = 3.9 \sim 11.4 \text{ (100~400°C 間)}$$

$$\beta_M = 1.15 \sim 2.4 \text{ (450~800°C 間)}$$

以上の結果から、焼入、焼もどされた切欠試片の衝撃値曲線は相互に類似性をもっているが、平滑試片の衝撃値曲線はバネ鋼と軟鋼では全く異なり、切欠試片より熱処

理温度の影響が大きい。また合金元素は切欠と類似した効果を衝撃値に与えるものと推定される。

3.3 衝撃時間

Fig. 1 [C] は衝撃時間-焼もどし温度の関係を示す。Fig. 1 [C] のごとく、バネ鋼の平滑および切欠き試片はT材とV材ではほとんど一致した傾向をもっている。温度上昇とともに衝撃時間は増加して、700°Cで最大値をもつ。軟鋼切欠試片はバネ鋼の平滑試片と類似した変化を示している。しかし軟鋼の平滑試片は全く異なった傾向を示す。100~300°Cの間で増加を示しながら最大値に達し、以後は温度上昇とともに少し減少している。

以上の衝撃時間-焼もどし温度曲線から考察すると、バネ鋼の平滑試片は軟鋼の切欠試片と関係があるように変化するので、バネ鋼の合金元素による焼入れ効果は、軟鋼の場合の切欠作用と似た効果を与える傾向をもっているものと推定せられる。そうしてこれらの傾向は、焼もどし温度の影響によつて著しく変化を示している。

3.4 撓みおよび変形角度

本実験に適用した、荷重速度は衝撃では5.14m/s、静的では0.5cm/minである。破壊された試片から撓みおよび変形角度を測定して、焼もどし温度との関係を考察すると、その傾向がほぼ一である。Fig. 1 [D] は変形角度-焼もどし温度曲線の一例である。詳細な説明は省略する。

3.5 曲げ塑性歪

Fig. 2 はT材とM材の縦歪みと焼もどし温度の関係を示す。ここで上部は静的歪(ε<sub>s</sub>)、下部は衝撃歪(ε<sub>i</sub>)である。図に示したように縦歪εはε=(L-L<sub>0</sub>)/L<sub>0</sub>(%)によつて算出した。衝撃縦歪と静的縦歪を比較すると、衝撃のほうが幾分大きいのが、700°Cでは平滑試片の場

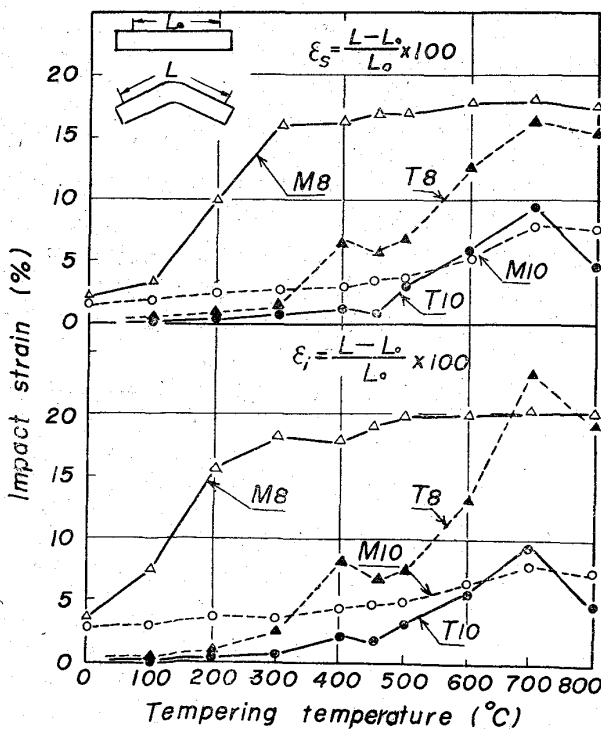


Fig. 2. Bending strain-tempering temperature curve.

合著しく大きい。これは衝撃では破壊されず、スパンの間を通り抜けたからである。軟鋼の縦歪は平滑と切欠試片では Fig. 2 のように、変化の傾向が異なる。軟鋼の切欠縦歪はバネ鋼と同じく700°Cで最大値を示している。

Fig. 3 と Fig. 4 はそれぞれT材およびM材の曲げ横歪に対し、引張側と圧縮側を、ε<sub>t</sub>とε<sub>c</sub>で表わした。ここで横歪は、

$$\epsilon_t = (W-a)/W(\%), \text{ また } \epsilon_c = (W-b)/W(\%)$$

である。ここでWは試片の巾、aとbはそれぞれ変形後の巾を示す。(Fig. 3, 4 参照)。T材の横歪について考察すると Fig. 3 で切欠試片では100~900°Cの間でε<sub>t</sub>>ε<sub>c</sub>である。しかし平滑試片では100~600°Cの間でε<sub>t</sub>>ε<sub>c</sub>であり、700~900°Cではε<sub>t</sub><ε<sub>c</sub>となっている。衝撃荷重下の横歪には明りような焼もどし脆性が450°Cに現われている。

Fig. 4 の軟鋼の横歪は切欠試片の場合、衝撃および静的荷重、いずれに対しても、バネ鋼の切欠試片のそれと幾分似た変化を示している。300°C以下では横歪はほとんど一定しているが、400°Cから上昇を示し700°Cで最大値を示したが、軟鋼の平滑試片では、引張側では300°Cで、圧縮側では400°C付近に最大値を示したが、これに対する原因はまだ究明していない。軟鋼の静的横歪と衝撃横歪を比較すると、衝撃のほうが多少大きかった。

これらのバネ鋼および軟鋼の横歪を考察すると、引張側と圧縮側とは歪の変化に多少差異は認めるが、ほぼ対称している。横歪曲線と衝撃値曲線を対照すると、よく似た傾向が見受けられる。特に軟鋼の場合、ほとんど

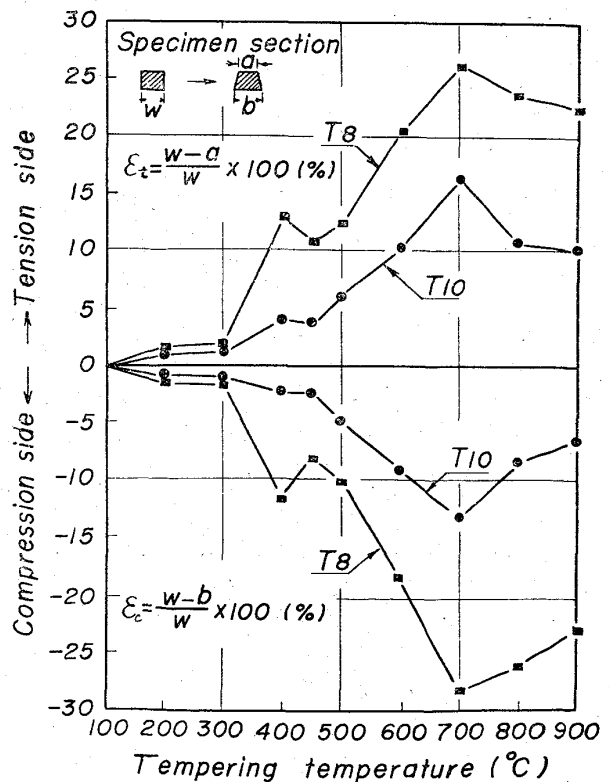


Fig. 3. Bending strain (Lateral)-tempering temperature curve.

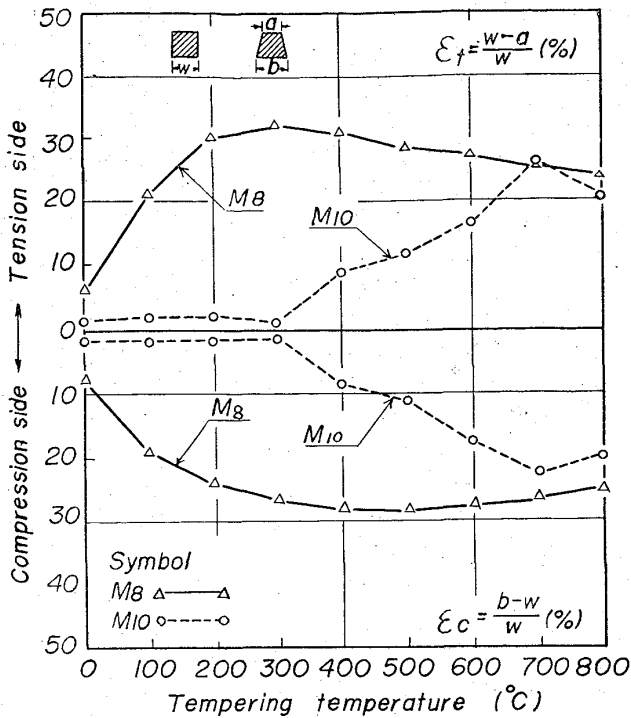


Fig. 4. Bending strain (Lateral)-tempering temperature curve.

一致した傾向を示している。

4. 結 言

- 1) 衝撃曲げ荷重は、切欠試片のほうが、平滑試片より大きく、衝撃と静的では衝撃荷重のほうが大きい。
- 2) 衝撃値は平滑試片が、切欠試片より大きい。バネ鋼の各試片と軟鋼の切欠試片は類似した衝撃特性があつた。しかし平滑試片では異なつた傾向を示した。
- 3) 衝撃速度、変形角度、撓みと縦歪などと焼もどし温度の間の関係を考察し、それぞれの傾向を確認した。
- 4) 横歪は引張側と圧縮側の間に、多少異なつた傾向があつたが、衝撃値曲線の変化とよく似た傾向を示した。
- 5) 衝撃値および横歪みの考察から、バネ鋼の合金元素の影響は、軟鋼の切欠効果と類似効果を与えるものと推定された。

(132) 3Mo, 3Ni-1Mo, 3Ni-3Mo, 3Ni-5Mo 鋼の焼戻挙動について

(熱間工具鋼に関する研究—VII)

日本特殊鋼

○西村 富隆・新山 善之

On the Tempering Behavior of 3Mo, 3Ni-1Mo, 3Ni-3Mo and 3Ni-5Mo Steels.

(Study on hot-working tool steel—VII)

Tomitaka NISHIMURA and Yoshiyuki SHINYAMA.

1. 緒 言

われわれは、熱間工具鋼の焼戻現象に関する一連の研究を続けているが、約 15 鋼種についての結果はすでに数回にわたり報告した<sup>1)~5)</sup>。本報告は、3Mo, 3Ni-1Mo, 3Ni-3Mo, 3Ni-5Mo 型の鋼を今までと同様に焼戻時効した場合に、硬度、衝撃値、炭化物反応、電子顕微鏡組織などがどのように変化するかを調べ、そしてこれらの結果を総合して 4 供試鋼の焼戻時効の挙動を検討したものである。

2. 試料および実験方法

供試材は、35kVA 高周波誘導炉で溶製した 8kg 鋼塊を 14mm φ と 14mm φ の棒材に鍛伸してから、焼戻したものをを用いた。これら試料の化学成分を Table 1 に示す。

P03, P31, P33, P35 の 4 鋼種の切削加工試料を 1200°C に 1hr 保持して炭化物を基地中に完全に溶かしこんでから油冷し、ただちに -73°C×3hr. のサブゼロ処理をほどこした後焼戻時効を行なつた。さらに P33 については、1050°C×20min 空冷のような実用焼入の試料に対しても焼戻現象を同様に調べた。炭化物の電解抽出、抽出レプリカの採取、その他の実験方法はすべて前報までの場合とまったく同じである。

3. 実験結果

3.1 硬度および衝撃値

4 供試鋼を 400~700°C の各温度で 0.35~1000hr の焼戻時効を行なつたが、その中で代表的な P35 (焼入硬度  $H_{RC}$  46.6) に対して得られた時間と硬度との関係を図示すると Fig. 1 のようになる。400°, 450°C の焼

Table 1. Chemical composition of specimens. (%)

Designation (Type)	Specimen No.	C	Si	Mn	P	S	Ni	Mo
P03 (3Mo)	1	0.19	0.07	0.59	0.009	0.017	—	3.20
	2	0.20	0.08	0.62	0.009	0.017	—	3.21
P31 (3Ni-1Mo)	1	0.20	0.10	0.59	0.007	0.013	2.99	0.99
	2	0.20	0.07	0.57	0.007	0.017	3.03	1.05
P33 (3Ni-3Mo)	1	0.21	0.16	0.66	0.009	0.016	2.99	3.55
	2	0.24	0.12	0.65	0.008	0.016	2.83	3.50
	3	0.24	0.13	0.68	0.007	0.015	2.84	3.50
P35 (3Ni-5Mo)	1	0.21	0.09	0.64	0.010	0.015	3.06	5.30
	2	0.21	0.10	0.57	0.011	0.015	3.02	5.40

Specimen 1 and 3 were used for hardness, impact and extraction replica tests, and 2 for electrolytic extraction.