

よるものと思われる。

文 献

- 1) ~4) 原子炉用 A-302B 鋼の研究 I~IV 報.
- 5) ASTM Special Technical Report, 208 (1956).
- 6) ASTM Special Technical Report, 276 (1959).
- 7) USAED Conference. Report, TID-7588.
- 8) H. WAGENBLAST & A. C. DAMASK, J. Phys. Chem. Solids, 23 (1962), p. 221
- 9) F. E. FUJITA & A. C. DAMASK, Acta Met., 12 (1964), p. 331
- 10) R. A. ARNDT & A. C. DAMASK, Acta Met., 12 (1964), p. 341
- 11) H. WAGENBLAST & A. C. DAMASK, Acta Met., 12 (1964), p. 347
- 12) M. J. MAKIN, A. D. WHAPHAM & F. J. MINTER, Phil. Mag., 6 (1961), p. 465
- 13) B. L. IYRE, Phil. Mag., 7 (1962), p. 2107
- 14) A. J. BIRKLE & W. RALL, Trans. Met. Soc. Amer. Inst. Min. Met & Pet. Eng., 230 (1964), p. 156
- 15) M. J. WHELAN, Electron Microscopy and Strength of Crystals, (1961), p. 39, Interscience Publisher, New York.
- 16) G. THOMAS & J. WASHBURN, Rev. Mod. Phys., 35 (1963), p. 992
- 17) G. H. F. WILSDORF, Phys. Rev. Lett., 3 (1959), p. 173.
- 18) W. C. LESLIE, J. I. MICHALAK & F. W. AUL, Iron and its Dilute Solid Solutions. (1957), Interscience Publisher, New York.
- 19) J. FLEEMAN and G. J. DIENES, J. Appl. Phys., 26 (1955), p. 652

(129) 引張試片に対する衝撃および静的特性の研究

(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—I)

東北大学, 金属材料研究所

○廉 永 夏

Studies on the Impact and Static Characteristics for Tensile Specimen.

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

Yung-Ha YUM.

1. 結 言

鉄鋼材料の衝撃荷重に対する熱処理温度の影響と衝撃性の関係を, 特に切欠および平滑試片について考察した。

本研究は, (i) 衝撃引張り, (ii) 衝撃単純曲げ, (iii) 衝撃片持曲げ, などの一連の衝撃実験の一部として実施した。これらの研究に共通した内容は従来の衝撃研究と次のような相違がある。

(1) 多くの衝撃研究は, 焼なましした試片を使って, 靱性から脆性に移り変わる, 遷移点を知るため, 低温における衝撃値を測定するものが多かったが, 本研究では, 焼入れ, 焼もどし後, 常温での熱処理温度と衝撃性質を考察した。

(2) 普通の衝撃試験では, 標準切欠試片を使用している。しかし実際の構造物の中には, 平滑構造物が多いので, 切欠および平滑試片に対する衝撃特性を考察した。

(3) 動的荷重に対する衝撃性質と, 静的荷重の機械的性質を比較するため, 静的試験も行ない, 相互関係を考察した。

2. 実 験 方 法

2.1 試 片

本実験の衝撃と静的引張りに使用した試片は, バネ鋼と軟鋼である。その化学成分と, 機械的性質は, Table 1 に示した。ここで KA と MA は平滑試片, KB と MB は切欠き試片である。

抗張試片は 6.4φ, 標点距離は 45mm で, 切欠試片の平行部直径は 8.5mm である。切欠きは中央に, 55°V 型溝を切り, 溝の深さは 1.05mm, その溝底の半径は 0.25mm とした。バネ鋼は 820°C, 軟鋼は 890°C

Table 1. Chemical composition and mechanical properties of the specimen.

Material	Chemical composition (%)					Mechanical properties*		
	C	Si	Mn	P	S	Tensile stress	Elongation (%)	Hardness H _B
Spring steel (K A. K B)	0.79	0.14	0.59	0.027	0.032	78**	18	172
Mild steel (M A. M B)	0.18	0.23	0.55	0.010	0.037	43**	27	134

* Annealed at 830°C and 890°C respectively.

** Tensile stress unit kg/mm²

より焼入れ後、焼もどし温度 100~800°C の間で 3・5hr (800°C では 2hr) 焼もどしたものを炉淨して使用した。
 2.2 実験装置と方法

衝撃に使用した試験機は最大衝撃速度、5・14m/secの振子型オルゼン万能衝撃試験機で、容量は 36・5kg-m である。衝撃引張装置は、Photo. 1 (A) からわかるように、振子頭部に固定した試片に、ストライカーを付けて、その衝突により試片が切断されるようになっている。荷重の測定は Photo. 1 (A) に見られるようなダイナモメーターによつた。ダイナモメーターには軸方向に、相互直径反対側へ、ストレイン・ゲージを固着させた。動的および静的変化を測定し得る Elliss 型ブリッジ付直流増巾器と陰極線オシロスコープを、Photo. 1 (B) のごとく連結して、衝撃の際に起こる、試片の瞬間的弾塑性変形を撮影した。垂直軸の出力は mV にて、これと荷重の関係を、オシロスコープ出力 (mV) - 荷重 (kg) 曲線を作り衝撃荷重-時間曲線を解析して衝撃性質を考察した。

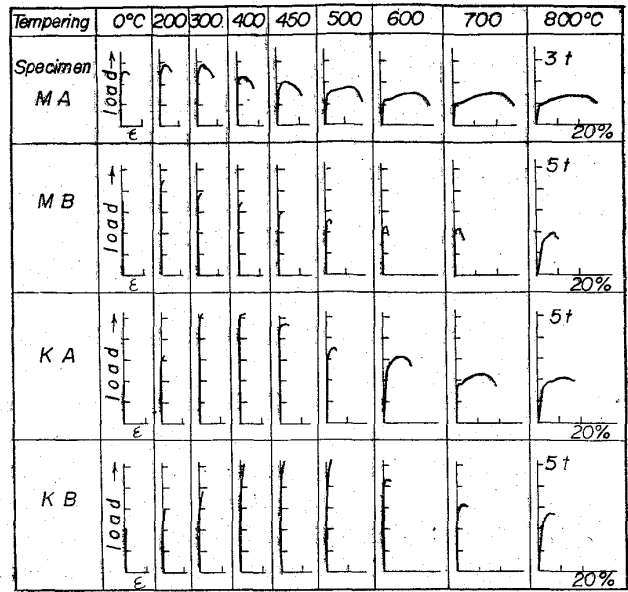


Fig. 1. Static tensile load-elongation curves of the steels.

Photo. 2 は上記実験装置を使用して、焼入れ、焼もどされた、バネ鋼の衝撃引張荷重-時間曲線の一例である、また別に、各熱処理温度に対するそれぞれの試片の、静的荷重-伸び曲線を、Fig. 1 のごとく作り、衝撃と静的機械的性質の比較に使用した。

3. 実験結果および考察

3.1 衝撃応力

Fig. 2 の衝撃 (I) および静的強度 (S) は、Table 2 の衝撃荷重-時間曲線と、Fig. 1 の静的荷重-伸び曲線から得たもので、バネ鋼および軟鋼の抗張力-焼もどし温度の関係を示す。形状に幾分差異はあるが、それぞれ、衝撃と静的抗張力の間には、ある程度の類似性が見られる。いずれも焼入れ後、100°C に焼もどしたものは硬さが高く、脆性を示し、抗張力にばらつきを見せている。また 100°C に焼もどされたものの抗張力は、バネ鋼では 800°C のものの約半分であるが、軟鋼では 800°C のものよりはるかに大きい抗張力を示している。焼もどし温度 100~800°C の間では、バネ鋼は 300~450°C の間で、また軟鋼は 200°C 付近でそれぞれ最大値を有する。衝撃荷重の場合、バネ鋼では最大点が高温側に移り、しかも静的荷重のそれよりも大きい。しかし軟鋼では相違が少なかった。

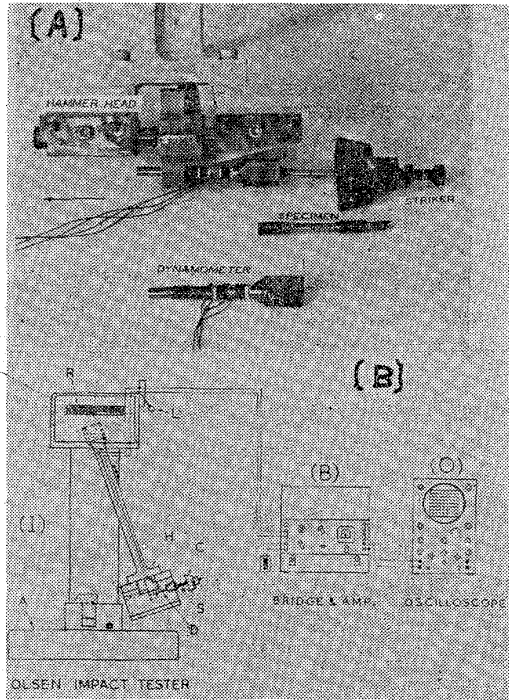


Photo. 1. [A]: Impact hammer head and dynamometer assembly. [B]: Impact tester and instruments.

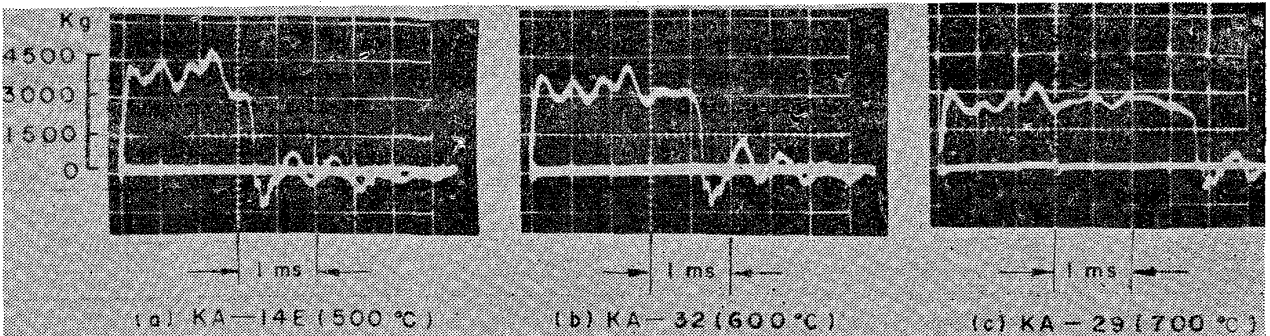


Photo. 2. Impact load-time curves of the spring and mild steel.

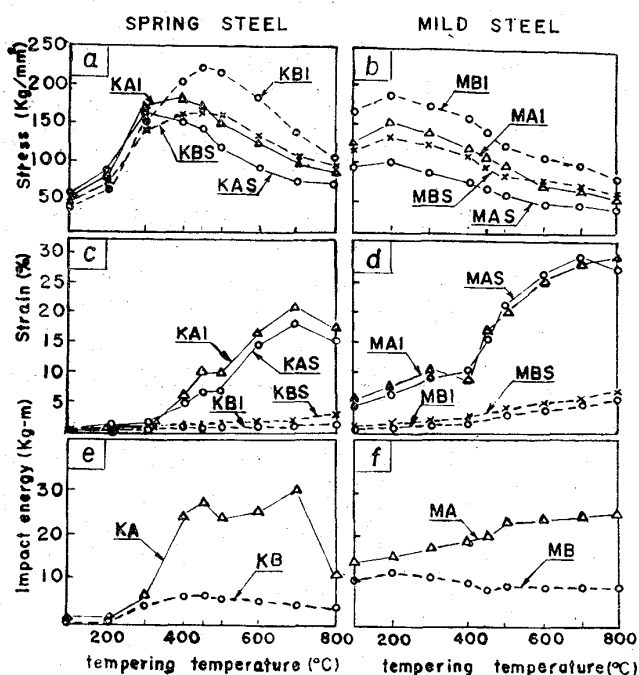


Fig. 2. Impact and static tensile stress, strain and impact energy versus tempering temperature curves of the spring and mild steel.

Fig. 2 の a と b によつて明らかなように、熱処理温度の変化により、衝撃および静的抗張力が非常に大きい相違を示している。従来動的荷重に対する設計資料として、焼鈍した試片から得た静的抗張力が主として使用されている。これらと各熱処理温度に対する、実地使用抗張力とを比較するため、800°C に焼鈍された、バネ鋼と軟鋼の抗張力との比を γ とすると、

$$\gamma = \frac{\sigma_H(\text{焼入・焼もどされた抗張力})}{\sigma_S(800^\circ\text{C に焼鈍された抗張力})} \dots\dots (1)$$

(a) バネ鋼:

$$\gamma = 1.25 \sim 2.55 (\text{平滑}), \text{ また } \gamma = 1.50 \sim 3.6 (\text{切欠})$$

(b) 軟鋼:

$$\gamma = 1.25 \sim 3.60 (\text{平滑}), \text{ また } \gamma = 2.0 \sim 4.5 (\text{切欠})$$

この γ の値によつて実地条件に適する熱処理温度による衝撃抗張力の相違を知ることができると思う。

また同じ熱処理温度における、平滑および切欠試片の抗張力の比を、形状応力比 z とするならば、

$$z = \frac{\sigma_A(\text{平滑試片の抗張力})}{\sigma_B(\text{切欠試片の抗張力})} \dots\dots (2)$$

一般に、 $z < 1$ 、である。バネ鋼は 100~400°C の間では、 $z_k = 1.3 \sim 0.8$ の範囲である。しかし 450~800°C の間では、ほぼ一定の値、 $z_k = 0.75$ に接近しているし、また軟鋼では 200~800°C の間では、ほぼ一定であるが、衝撃の場合が多少大きい。

$$z_{mi} = 0.75 + 0.1 \quad (\text{衝撃形状抗張力比})$$

$$z_{ms} = 0.75 - 0.1 \quad (\text{静的形状抗張力比})$$

これらの結果から考察すると、切欠抗張力が平滑試片の抗張力より、約 25% 大きいことがわかる。しかし後述の衝撃値は切欠試片より、平滑試片のほうが、かえつて大きいことは興味のあることである。

次に同じ熱処理温度に対するバネ鋼と軟鋼の衝撃および静的抗張力比を γ とすると、

$$\gamma = \sigma_i(\text{衝撃抗張力}) / \sigma_s(\text{静的抗張力}) \dots\dots (3)$$

γ は 200~800°C の間では、 $\gamma > 1$ 、となり各試片において、

(a) バネ鋼 (300~800°C 間)

$$\gamma_{KA} = \gamma_{KB} = 1.1 \sim 1.25 (\text{平滑と切欠}).$$

(b) 軟鋼 (200~700°C 間)

$$\gamma_{MA} = 1.5 \sim 1.65 (\text{平滑}), \gamma_{MB} = 1.4 \sim 1.5 (\text{切欠}).$$

100°C に焼もどされたものは、ばらつきを生じ一定しない。800°C に焼もどされた試片に対する γ の減少は高温における加熱により、結晶粒の成長とともに、鋼中のフェライト区域の増加による軟化に起因するのではないかと思われる。上記の関係から軟鋼の衝撃抗張力比はバネ鋼のそれより大きいことがわかる。CLARK¹⁾、作井²⁾、BARON³⁾らの平滑試片に対する報告と、実験の結果はよく一致している。彼らの研究は焼鈍または冷間圧延材に対する研究であつて、切欠の有無と 100~800°C の温度変化の考察ではなかつた。本実験では熱処理温度を変化させた場合、抗張力分布の変化が大きいにもかかわらず、各材質に対し熱処理温度が同じであれば、各温度に対する衝撃抗張力比が、ほぼ一定になるのは注目すべきことである。

3.2 歪

本実験に適用した衝撃および静的歪速度は $1.15 \times 10^2 \cdot 1/s$ 、および $3.7 \times 10^{-3} \cdot 1/s$ である。Fig. 2 の C と d はバネ鋼と軟鋼の歪である。歪は温度上昇とともに増加を示す。しかし平滑試片としては変化の傾向が異なる。切欠試片は 100~800°C の間で温度上昇とともに、ほぼ直線の変化を示している。しかしながら平滑試片では焼もどし温度 300°C 以下ではきわめて変化が少ないが、400°C 付近から急激に増加して、700~800°C 付近で、それぞれ最大となつている。焼もどし温度 400°C 付近で歪曲線が停点、または減少を示したのは、焼もどし脆性に起因するものらしい。バネ鋼の平滑試片における 800°C 付近の歪の低下は、試片が高温に長く加熱されて、結晶粒の成長による粗大結晶に起因するようである。これらについては破断された破面のマクロ組織からも、結晶粒が粗大したことを確認した。Fig. 2 から衝撃歪と静的歪を比較すると、その差はきわめて小さい。これらに関する従来の研究は一致していない。CLARK⁴⁾、作井⁵⁾らは衝撃歪の大きいことを報告し、BBRON⁶⁾、MANJOINE⁶⁾らは衝撃歪が静的歪より小さいか、または大差がないことを報告している。しかしながら平滑試片と切欠き試片の歪は著しい相違がある。各歪の比を K とすれば、

$$K = \epsilon_A(\text{平滑試片の歪}) / \epsilon_B(\text{切欠き試片の歪}) \dots\dots (4)$$

K の値はバネ鋼の場合、100~300°C の間ではわずかの増加を示すが、400°C 以上では急に増加を示している。 K の値は、

(a) バネ鋼 (400~800°C の間)

$$K_I = 2.0 \sim 15 (\text{衝撃}), \text{ また } K_S = 1.7 \sim 9 (\text{静的})$$

(b) 軟鋼 (100~800°C の間)

$$K_I = 5 \sim 7 (\text{衝撃}), \text{ また } K_S = 3.6 \sim 5.4 (\text{静的})$$

これらの歪比から考察すると、焼もどし温度の影響は平滑試片のほうが著しく、また静的より衝撃のほうがKの値が大きい。

3.3 衝撃エネルギー

従来、低温における衝撃値を知るためのシャルピー試験、低温引張衝撃、また高温や高速衝撃など非常に多くの衝撃研究が報告されている。ここでは平滑および切欠試片の衝撃性質を、熱処理温度を変化させながら考察した。Fig. 2 の e と f はバネ鋼と軟鋼の衝撃値を示す。衝撃エネルギー-温度曲線上の遷移点を、V型切欠に対して規定した、ASTM や BS などによる T₁₅ (15ft-lb) はバネ鋼では 300°C に遷移点が現われ、また軟鋼では遷移点が現われない。延性破面遷移温度を考察すると、バネ鋼は 400°C (平滑)~450°C (切欠) で遷移が起こっている。また軟鋼は 200°C ですでに、破面遷移が現われている。

切欠試片の衝撃値はバネ鋼と軟鋼のいずれも熱処理温度の変化の影響が少ないが、平滑試片は大きい。平滑および切欠試片の衝撃値比をβとすれば、

$$\beta = E_A(\text{平滑試片の衝撃値}) / E_B(\text{切欠試片の衝撃値}) \dots\dots\dots (5)$$

バネ鋼および軟鋼のβの値は、Fig. 3 の結果によると、

(a) バネ鋼:

$$\beta_K = 1.05 \sim 1.2 \text{ (100} \sim 300^\circ\text{C の間)}$$

$$\beta_K = 2.5 \sim 4.45 \text{ (400} \sim 700^\circ\text{C の間)}$$

(b) 軟鋼:

$$\beta_M = 1.5 \sim 2.8 \text{ (100} \sim 800^\circ\text{C の間)}$$

次に衝撃エネルギーと静的エネルギーを比較すると衝撃のほうが大きかった。衝撃エネルギーは衝撃試験機に指示されたものを使うこともできるが、オッシロスコープの衝撃荷重時間曲線を、CLARK, BARON などの方法により、衝撃荷重時間曲線を作り、これと静的荷重-伸び曲線をプランメーターで測定し一部比較した。従来多くの研究では焼鈍材や冷間加工材に対し、常温や低温における衝撃エネルギーが静的エネルギーよりも大きいことが報告^{1)~3)}されている。本実験では熱処理された平滑および切欠き試片に対し、常温でも成立することを確認した。

4. 結 言

1. 平滑および切欠試片の衝撃抗張力は熱処理温度を変化させた場合、焼鈍平滑試片の抗張力より 1.25~4.5 倍も大きかった。
2. 平滑および切欠抗張力の比は、バネ鋼と軟鋼いずれも一定の値、0.75 に接近していた。また焼もどし温度によつて抗張力は異なるが、静的より衝撃のほうが大きい。
3. 歪は温度によつて非常に大きい変化を示すが、衝撃と静的歪の間には差が少ない。しかし平滑と切欠歪の比は衝撃のほうが大きく、また軟鋼よりバネ鋼のほうが温度の影響は大きい。
4. 衝撃値は平滑試片のほうが大きく、また焼もどし温度の影響も著しい。

文 献

1) D. S. CLARK & D. S. WOOD: Trans. Amer.

Soc. Metals, 42 (1950), p. 45

2) 作井誠太, 大森正信: 鉄と鋼, 45 (1959), p. 451
 3) H. G. BARON: J. Iron & Steel Inst (U. K.), 182 (1956), p. 354
 4) D. S. CLARK: Trans. Amer. Soc. Metals, 46 (1954), p. 34
 5) 作井誠太, 佐藤公子, 秋葉久三郎: 金属学会誌, 20 (1959), p. 332
 6) M. MANJOINE & A. NADAI: Proc. ASTM, 40 (1940), p. 822

(130) 衝撃引張試片における機械的性質に関する研究

(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—II)

東北大学, 金属材料研究所

○ 廉 永 夏

Studies on the Mechanical Properties of Tensile Impact Specimen.

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

Yung-Ha YUM.

1. 緒 言

第1報に引き続いて、熱処理温度の変化が平滑および切欠試片および影響を、オッシロスコープ写真による衝撃荷重-時間曲線および、静的荷重-伸び曲線の解析によつて、バネ鋼と軟鋼の機械的性質を考察した。

2. 実験結果および考察

実験結果によると、バネ鋼と軟鋼のブリネル硬さ(H_B)と衝撃値の変化などと焼もどし温度の関係は、Fig. 1 に示した。前報にて衝撃値と焼もどし温度関係は説明したので、ここでは硬さ-衝撃値の関係について考察する。図で硬さは温度上昇とともに減少し、衝撃値は増加を示すが、バネ鋼の場合その変化が軟鋼に比して複雑である。普通焼入れ、焼もどしされた炭素鋼の硬さ(H_B)と、顕微鏡組織の間には密接なる関係があるので、本研究の試片の硬さを知ることによつて、その組織および衝撃値の推定も可能になるものと思う。

Fig. 2 [A] は衝撃エネルギー-硬さ曲線である。曲線上の 1, 2, 3 などの数字は、それぞれ焼もどし温度 100°, 200°, 300°C などの略字である。バネ鋼の場合切欠衝撃値は、焼もどし温度の上昇とともに増加するが、H_B=350 付近までは、ばらつきが大きく、H_B<350 ではほぼ安定して変化は小さい。平滑試片は焼もどし温度の高い 500°~700°C でやや安定性を示している。軟鋼の場合、平滑試片の衝撃値と硬さの間には、一定の関係が成立している。すなわち、

$$E_{MA} = -\frac{1}{16}H_B + 24 \dots\dots (H_B = 110 \sim 250 \text{ の範囲})$$

また切欠試片では、焼もどし温度の変化によつて多少差異はあるが、硬さの変化に比して、衝撃値の変化はきわ