

衝撃引張荷重に対する S45C の衝撃特性

山口 隆生*・小林 泰陸*・長坂 今夫*・高三 知之*²

Impact Properties of S45C under Tensile Loading

Takao YAMAGUCHI, Yasuoka KOBAYASHI, Imao NAGASAKA and Tomoyuki TAKASAN

Synopsis : The authors developed a weight-dropping impact testing machine which evaluates the toughness of materials under tensile impact loading. The relation between the time t and load P is measured with the developed testing machine. The impact strength σ_{\max} , is determined from the maximum load P_{\max} ; impulse F_s from the time t and load P . Also, the “impulsivity T_{im} ” —the ratio of the material impulse F_s to the standard impulse F_{ss} calculated by means of the maximum load P_{\max} —is defined. A toughness evaluation method based on the relationship between the impact strength σ_{\max} and the “impulsivity T_{im} ” was reported in a previous paper. In this paper, heat treated S45C, well known for its static mechanical properties and Charpy impact value, is used as the specimen in the developed testing machine. It is confirmed that the developed testing machine is useful as a toughness evaluation method under tensile impact loading.

Key words: toughness evaluation; fracture toughness; impact strength; material testing.

1. 緒言

材料の靱性値は線形弾性破壊力学による破壊靱性値 (K_{Ic} , K_{I_d}), これの拡張として弾塑性破壊力学に立脚した弾塑性破壊靱性値 (J_{Ic} , J_{I_d}) が定義されている。いずれの場合も予き裂を与え、それに続くき裂発生に対する破壊靱性パラメータである。また、これらは破壊靱性値と称されるが、その定義は異なり、単位も SI で表記すれば、前者は $\text{Pa}\cdot\text{m}^{1/2}$, 後者は $\text{J}\cdot\text{m}^{-2}$ となる。さらに、テアリング・モジュラスの概念が導入されて、き裂進展抵抗パラメータ (き裂進展靱性値, T_{mat} (無次元)) が用いられるようになった。その結果、最近の弾塑性破壊力学による材料の破壊靱性は、き裂発生に対する靱性値 (J_{Ic} , J_{I_d} 以下き裂発生靱性値と記す) ならびにき裂進展靱性値 (T_{mat}) の両方を考慮して評価される情勢にある¹⁾。

しかしながら、衝撃 (動的) 荷重に対するき裂発生点でのき裂発生靱性値 (J_{I_d}) ならびにき裂進展靱性値 (T_{mat}) の測定は、予き裂先端からき裂が進展する瞬間を検出したり、また、き裂進展量を測定する必要がある。これらの測定は必ずしも容易ではない。そのため、実用化されている測定装置は少ない。近年、小林ら²⁻⁶⁾により工夫を凝らしたコンピュータ援用計装化シャルピー試験機が開発されて、簡便に測定することが可能となった。

しかし、測定される値は、定義より、予き裂が付与され、それに続くき裂の発生に対する靱性値である。また、曲げ荷重に対する値である。一方、機械の設計あるいは構造物の設計にあたっては、切欠きなど応力集中をもたらす形状

は極力避けることが基本である。そして、設計に際して、第一に考慮されるのは材料の静的引張強さであり、これに対応した衝撃引張荷重に対する破壊靱性 (あるいは応力ひずみ特性) を評価する試験法は、まだ規格化されていない⁷⁾。これらの値は、航空機、自動車等の衝突時の乗員の安全を確保する立場から、近年重要視される衝突解析等をする場合不可欠である⁷⁾。しかし、シャルピー衝撃試験機で測定される値から、衝撃引張特性は通常求められない⁸⁾。

そこで筆者ら⁹⁾は衝撃引張荷重に対する材料の靱性を明らかにするため、落槌式衝撃引張試験機 (以下衝撃引張試験機と記す) を製作し、試料に種々の速度の衝撃引張荷重を加えた場合の荷重 P と時間 t の関係を測定した。これらから、最大荷重 P_{\max} と破壊にいたるまでの力積 F_s を求め、 P_{\max} を試料の断面積 A で除した P_{\max}/A を衝撃引張強度 σ_{\max} と定義した (以下、衝撃強度と記す)。また、破壊にいたるまでの F_s (これは破壊にいたるまでのエネルギーに比例する) の絶対値の大小を論ぜずに、 F_s は P と t の関数であるから、 P_{\max} の値から算出される基準力積 F_{ss} で F_s を除して、その材料の F_s の P_{\max} に対する相対値となる力積度 T_{im} (無次元) を定義した。そして弾塑性破壊力学に基づく、き裂発生靱性値 (J_{Ic} , J_{I_d}) と、き裂進展靱性値 (T_{mat}) とで材料の靱性を評価する方法に対し、衝撃引張強度 σ_{\max} と荷重が負荷されてから破壊するまでの力積に依存する力積度 T_{im} を用いて、衝撃引張荷重を受ける材料の動的靱性を定量的に評価する方法を、設計する立場からは実用性が高いと考え、提案した。

本研究は、各種熱処理後の静的な機械的性質が、詳細に

平成 13 年 5 月 22 日受付 平成 13 年 8 月 9 日受理 (Received on May 22, 2001; Accepted on Aug. 9, 2001)

* 中部大学工学部 (Faculty of Engineering, Chubu University, 1200 Matsumoto-cho Kasugai 487-8501)

*2 中部大学大学院生 (現: (株)ダイフク) (Graduate Student, Chubu University, now Daifuku Co., Ltd.)

調べられている機械構造用炭素鋼 S45C を試料に用い、上記衝撃引張試験機で測定された衝撃特性と静的な機械的性質ならびに S45C の炭素含有量に近い炭素を含有する鋼のシャルピー衝撃値とを比較し、衝撃引張試験機による動的破壊靱性評価法の有効性を検討した。その結果について報告する。

2. 実験装置ならびに実験方法

実験に使用した衝撃引張試験機ならびに実験方法は前報⁹⁾と基本的に同じである。材料の衝撃特性は衝撃速度に依存するものがあるが、本研究は衝撃特性に及ぼす衝撃速度の影響を考察することが目的ではないので、おもりの落下高さ H は 1.000 m (衝撃速度 4.25 m/s) と一定にした。Fig. 1 は、高さ $H=1.000$ m よりおもりを落下させ、試料が破壊にいたるまでに得られた荷重と時間の測定曲線の例である。同図に記入した記号 P_{max} , t_m , t_c , ならびに F_s は次のようである。

P_{max} : 試料に負荷された最大荷重, 破壊荷重。

t_m : P_{max} 時の横軸の値で、最大荷重に到達するまでに要した時間。

t_c : 試料が破壊し、再度荷重が 0 となる時の横軸の値で、試料の破壊までに要した時間。

F_s : 荷重-時間曲線と横軸で囲まれる面積で、試料が破壊されるまでの力積 (エネルギーに比例する)。

また、 σ_{max} , F_{ss} , T_{im} を次のように定義する。

σ_{max} : P_{max} を試料の断面積 A で除した値 ($\sigma_{max} = P_{max}/A$) 衝撃引張強度 (衝撃強度)。

F_{ss} : P_{max} から算出される基準力積 (本報では、 P_{max} を一辺とする正方形として算出する)。

T_{im} : 力積と基準力積との比 F_s/F_{ss} , 力積度。

3. 試料ならびに熱処理

本実験に供した試料は、前報⁹⁾と同じである。すなわち市販の直径 6 mm の丸棒に冷間圧延した機械構造用炭素鋼 S45C である (以下、これを素材と記す)。この主要化学成

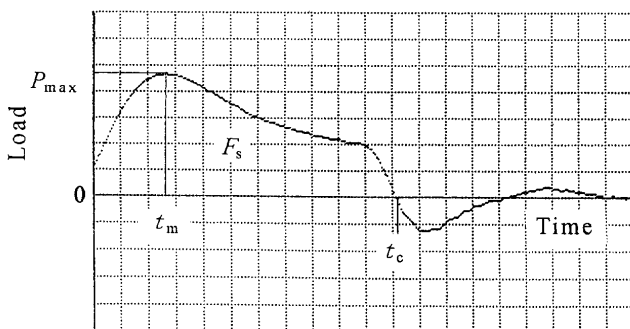


Fig. 1. Example of the load-time curve. (In case of dropping height $H=1.000$ m)

分を Table 1 に示す。素材を Fig. 2 に示す形状、寸法に加工した。加工された試料を常温から所定の温度に加熱し、15 分間その温度に保持した。完全焼なましの場合は炉冷、その他の処理では水冷した。熱処理は、完全焼なまし、焼入れおよび焼入れ後 200°C から 650°C まで 50°C 間隔の各温度で焼もどしの各種である。

なお、所期の目的の熱処理が確実に施されていることを確認するため、各種熱処理後に試料の硬度をマイクロビッカース硬度計で測定した。

4. 結果ならびに考察

4.1 試料の硬さ

熱処理の状態を確認するために、熱処理を施した各試料の硬さをマイクロビッカース硬度計で測定した。その平均値を Fig. 3 に示す。Fig. 3 に示した値を中心に約 5% 以内の硬さとなる試料を選定した。

Fig. 3 に示される熱処理を施した各試料の硬さは、炭素を約 0.45% 含有する炭素鋼の硬さとして示される値¹⁰⁾ とほぼ等しく、熱処理の不完全さによる実験結果への誤差の混入は避けられたものと考ええる。

Table 1. Chemical composition of the specimen.

	(mass%)				
	C	Si	Mn	P	S
S45C	0.46	0.27	0.58	0.03	0.03

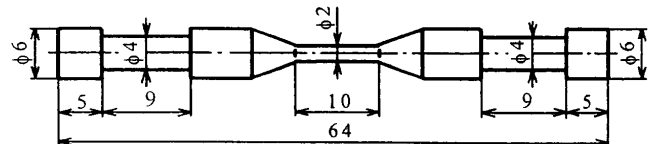


Fig. 2. Dimension of the specimen (mm).

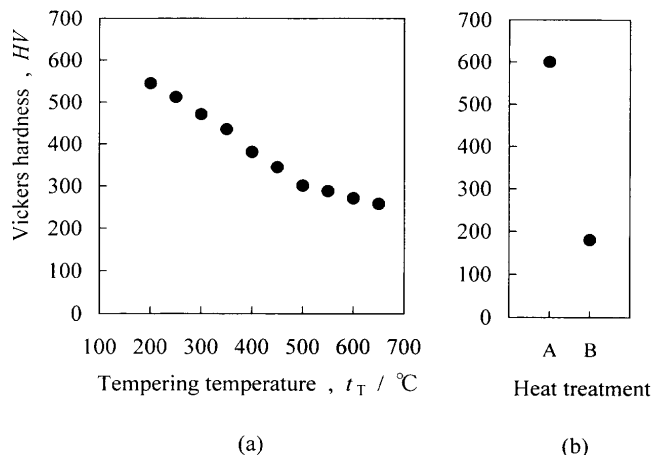


Fig. 3. Relation between hardness HV and heat treatment. (A: Quenched, B: Full-annealing)

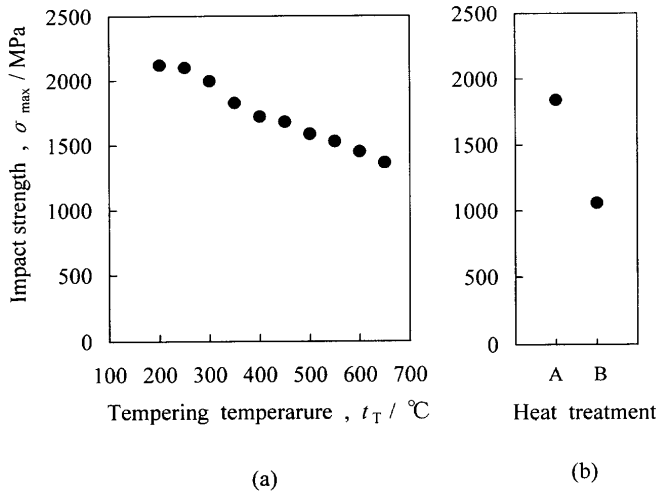


Fig. 4. Relation between impact strength σ_{\max} and heat treatment. (A: Quenched, B: Full-annealing)

4.2 熱処理と衝撃強度 σ_{\max}

Fig. 4 に各種熱処理を施した試料と衝撃強度 σ_{\max} の関係を示す。200°C 近傍で焼もどした試料の σ_{\max} が本研究中で最大値を示し、ほぼ 2120 MPa である。 σ_{\max} は焼もどし温度が高くなると緩やかに減少する。この曲線は各焼もどし温度に対する静的引張強さの曲線¹⁰⁾と同じ傾向を示し、静的引張強さのほぼ 1.6 倍である。一般に鋼の σ_{\max} は、ひずみ速度がある値に到達するまではその上昇とともに増加するが、ひずみ速度依存性は、高張力鋼ほど小さくなると言われている¹¹⁾。本研究の場合も 200°C で焼もどした $\sigma_{\max}=2120 \text{ MPa}$ ならびに 650°C で焼もどした場合の $\sigma_{\max}=1370 \text{ MPa}$ は、それぞれの静的引張強さの約 1.4 倍と 1.8 倍であり、その傾向が認められる。また、 σ_{\max} の値は、静的引張強さに対して数十%増加すると言われている^{12,13)}。本研究の値も平均してほぼ 1.6 倍であるのでこの結果は妥当と考える。

以上のことから、熱処理を施して静的引張強度を調整すると、衝撃引張荷重に対する試料の σ_{\max} はこれに比例して変化し、後述の力積度 T_{im} に認められる 300°C (低温) 焼もどしによる特異な現象は現われないことがわかる。

4.3 熱処理と最大荷重 P_{\max} に到達するまでの時間 t_m

Fig. 5 は、各種熱処理を施した試料と最大荷重 P_{\max} に到達するまでに要した時間 t_m の関係を示したものである。Fig. 4 と Fig. 5 を比較すると明らかなように、衝撃強度 σ_{\max} の値の大きい試料は、 P_{\max} に到達するまでに要した時間が長いことがわかる。Fig. 6 に、本研究において σ_{\max} が最大となった 200°C で焼もどしをした試料および σ_{\max} が最小となった焼なましをした試料の荷重と時間の測定例を示し、この両者を比較する。試料が同一鋼種であるから、たて弾性係数 E は等しい。直線関係 (線形) が曲線 (非線形) に変化して、比較的早く P_{\max} に到達する。したがって、200°C で焼もどした試料の方が、 P_{\max} が大きい

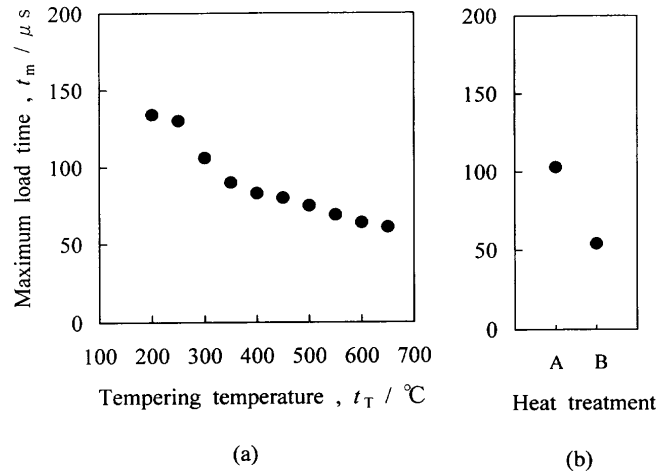


Fig. 5. Relation between maximum load time t_m and heat treatment. (Maximum load time t_m : The time to reach the maximum load, A: Quenched, B: Full-annealing)

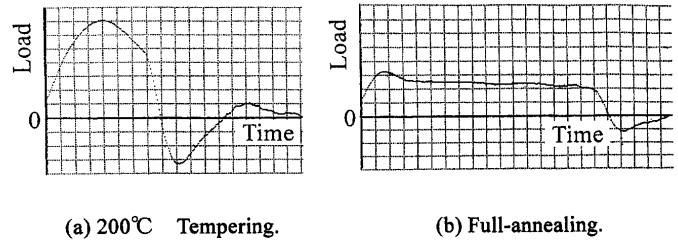


Fig. 6. Examples of the load-time curve. (Figures (a) and (b) have the same scale.)

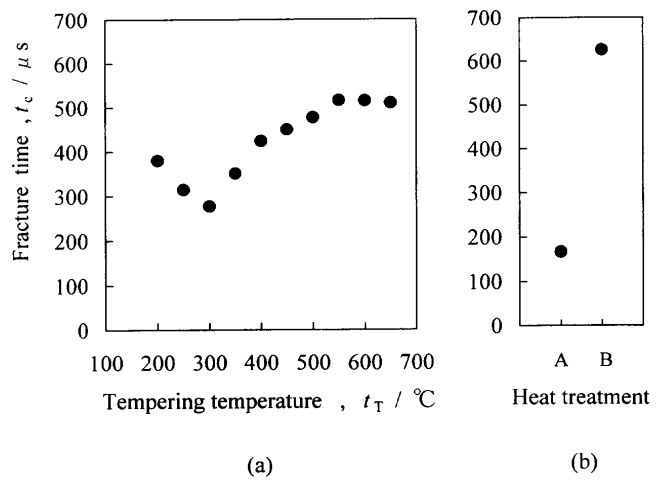


Fig. 7. Relation between fracture time t_c and heat treatment. (Fracture time t_c : The time till the fracture, A: Quenched, B: Full-annealing)

め、 t_m が大きくなると考えられる。厳密には、焼なましした試料の方が、荷重の時間に対する増加率がやや小さいが、焼なまし材は転位密度が低く、そのため変形に対する抵抗が小さく、荷重が負荷された初期に、試料の変形が容易に起こることに起因するものと思われる。

4.4 熱処理と破壊にいたるまでの時間 t_c

Fig. 7 は、各種熱処理を施した試料とそれが破壊にいた

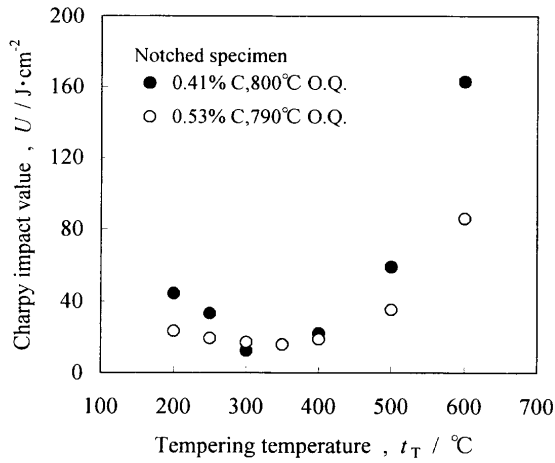


Fig. 8. Charpy impact value (notched specimen) versus tempering temperature for carbon steel.¹⁴⁾

るまでに要した時間 t_c の関係を示す。衝撃端から伝わる衝撃波は、臨界衝撃速度を超えなければ、その伝播速度に従って試料中を伝わる^{12,13)}。本研究では、一定の高さ1.000mから落下させたおもりによって衝撃荷重を与えているので、初期の衝撃速度は一定である。また、試料の長さも一定である。Fig. 7より明らかなように各試料の t_c は一定ではない。焼入れした試料の t_c がいちばん短く、焼なました試料の t_c がいちばん長い。焼もどした試料では、焼もどし温度300°Cで t_c のが他と比較して異常に小さく、250°C, 350°Cで焼もどした試料の t_c がそれに続くが、その他は焼もどし温度が低くなると、それにともない t_c は短くなる。Fig. 7(a)に示される焼もどし温度に対する t_c の曲線は、Fig. 8に示すS45Cの炭素含有量に近い炭素を含有する鋼を種々の温度で焼もどした試料の有溝シャルピー衝撃値曲線¹⁴⁾と同じ傾向を示している。有溝シャルピー衝撃値が、焼もどし温度300°C近傍で低い値をとるのは、低温焼もどし脆性(300°C脆性, 500°F脆性)といわれ、引張強さや硬さに依存することなく、シャルピー衝撃値が低下する現象である。Fig. 6の横軸は時間であるが、伸びは時間に正比例しなくとも時間とともに大きくなり、近似的に伸びとみなしうる¹⁵⁾から、 $dP/d\lambda \approx \kappa dP/dt$ (ただし、 P は荷重、 λ は伸び、 t は時間、 κ は比例定数)と置くことができる。したがって、力積はエネルギーに比例する。 t_c は弾性域の $d\sigma/d\varepsilon$ (ただし、 σ は応力、 ε はひずみ)の大きさ、ならびに P_{max} の大きさによってほぼ決まる P_{max} に到達するまでの時間 t_m 、ならびに t_m に達した後、塑性変形やき裂をともなって破壊するまでの時間の和である。そこで、各焼もどし温度に対する t_c と t_m の差 Δt の関係を求めて検討した結果、焼もどし温度と Δt の曲線は、Fig. 8に示す有溝シャルピー衝撃値曲線にさらに類似した。本研究の t_c および Δt の曲線が、有溝シャルピー衝撃値曲線の傾向と一致したことから、ただちに Δt あるいは t_c が一般的に、き裂が発生し破壊にいたるまでのき裂進展靱性値 T_{mat} の平

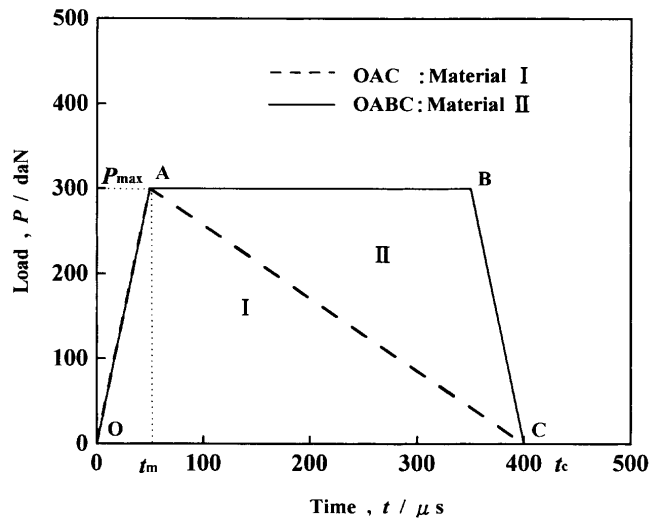


Fig. 9. Schematic diagram of the load-time curve.

均值 (T_{mat} は(1)式で定義されるように、き裂進展量 a の関数であるから a により変化することが考えられる。筆者らは予き裂の先端から破壊するまでの距離を a とし、 $\int_0^a T_{mat} da/a$ を本報では平均値とした)や力積度 T_{im} に依存する値になると結論するのは妥当でない。なぜなら、本研究はS45Cを試料として用い、各種の熱処理を施してそれらを比較しているの、Fig. 6の(a), (b)より明らかなように、たて弾性係数 E および塑性域での $d\sigma/d\varepsilon$ の値もほぼ等しいことから、後述の T_{im} 曲線に偶然類似した曲線になったものと推定される。さて、弾塑性破壊力学によるき裂進展靱性値(き裂進展抵抗パラメータ) T_{mat} は(1)式で定義される¹⁶⁾。

$$T_{mat} = \frac{E}{\sigma_0^2} \frac{dJ}{da} \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 E はたて弾性係数、 σ_0 は試料の降伏応力と引張応力の相加平均、 J は単位面積あたりのエネルギー、 a はき裂進展量である。

Fig. 9は P_{max} , t_m , t_c とも等しいが、 t_m 以降の dP/dt が異なる物質Iおよび物質IIについて、それらを模式的に示したものである。同図において $1\mu s$ あたり $1\mu m$ 伸びると仮定し、さらに、 P_{max} に到達後の伸びは、き裂進展に比例するものと考えて、(1)式で定義される T_{mat} を、 t_m から試料が破壊するまでの平均値として求めた。その結果、物質IおよびIIの T_{mat} の比は7対13となった。一方、後述の T_{im} の比は8対14であり、物質Iと物質IIの T_{mat} ならび T_{im} の比はほぼ等しい。しかし、物質IおよびIIの t_c および Δt は互いに等しいので、その比は1対1となり、前述の T_{mat} ならびに T_{im} の比と異なる。以上のことから、 t_c は衝撃特性の一つではあるが、一般的に T_{mat} ならびに T_{im} に依存する値ではなく、靱性評価に関しては特殊な場合を除いて、有効なデータとはなりえないと考える。

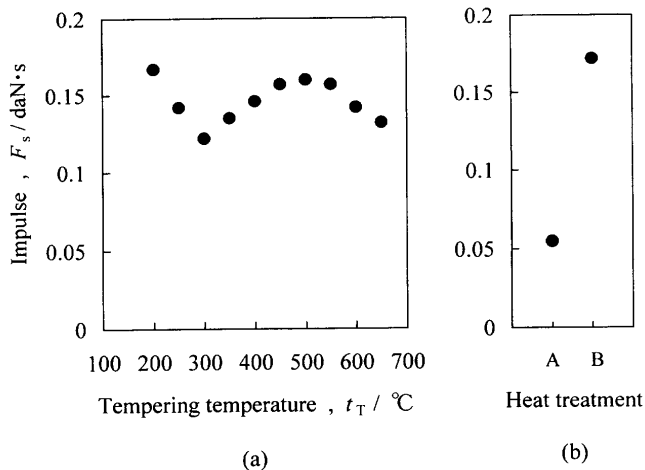


Fig. 10. Relation between impulse F_s and heat treatment. (A: Quenched, B: Full-annealing)

4.5 熱処理と力積 F_s ならびに力積度 T_{im}

前述のように、Fig. 1 において荷重 P -時間 t 曲線と横軸で囲まれる面積は力積 F_s である。従来はこの曲線の形状をもとに動的降伏応力などについて検討されている¹⁷⁾が、力積の大小については考察されていない。Fig.10 に各種の熱処理を施した試料と F_s の関係を示す。この曲線の形状は、前述の熱処理を施した試料の破壊にいたるまでの時間 t_c を示した Fig. 7 と一部類似する。すなわち、焼もどし温度 300°C の値が低下し、その後焼もどし温度が高くなるにつれて上昇している。焼もどし温度が 600°C, 650°C と高くなると F_s はやや減少する。この現象は衝撃強度 σ_{max} 、および硬さと相関しない。焼もどし温度 600°C, 650°C の F_s が減少するのは、Fig. 7 に示される t_c が 550°C~650°C においてほぼ等しいのに対し、Fig. 4 に示される σ_{max} が焼もどし温度に対して単調に減少しているためと思われる。したがって、 F_s そのものと σ_{max} および t_c を直接関連づけることはできない。

著者らは、 F_s の大小ではなく、 F_s が P と t の関数であることから、 F_s を最大荷重 P_{max} から算出される基準力積 F_{ss} で除した F_s/F_{ss} を力積度 T_{im} と定義した⁹⁾。 F_{ss} は P_{max} の 2 乗に比例するため、これで荷重を负荷してから破壊にいたるまでの力積 F_s を除した T_{im} は、力積 F_s の P_{max} に対する相対値として評価される。Fig.11 は、各種の熱処理を施した試料と T_{im} の関係を示したものである。この図より T_{im} が最大となるのは焼なました試料、最小となるのは焼入れた試料である。また、焼もどした試料では、200°C から 300°C にかけて T_{im} は減少し、300°C 近傍で最小となる。それより焼もどし温度が高くなるにつれて、 T_{im} が増大することがわかる。Fig.11 に示される T_{im} は、Fig. 7 および Fig.10 で示される t_c および F_s のように高い焼もどし温度において減少する傾向は認められず、さらに増加傾向を示す。このことは Fig. 8 に示した種々の温度で焼もどした鋼の有溝シャルピー衝撃値曲線が示す傾向と一致する。本

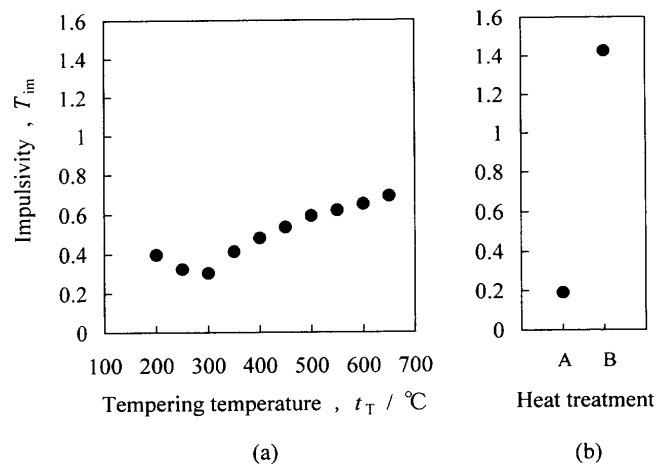


Fig. 11. Relation between impulsivity T_{im} and heat treatment. (A: Quenched, B: Full-annealing)

研究における T_{im} は、300°C 近傍から焼もどした場合の低温焼もどし脆性の現象も含め、従来のシャルピー衝撃値で示される材料の衝撃特性を示すものとする。以上のことから、300°C 近傍から焼もどした場合には、衝撃強度 σ_{max} が低下するのではなく、力積度 T_{im} が減少することにより、動的破壊靱性が低下すると評価できる。 T_{mat} はき裂が発生して破壊にいたるまでの間に変化する場合もあるが、 T_{im} は同一の材料および形状・寸法に対して一つの値を示す。 T_{im} は荷重が负荷されてから破壊するまでの全力積である F_s より求めるため、それは T_{mat} の変化も包含した値である。

任意の形状・寸法の試料の場合、静的引張試験より得られる荷重-伸び曲線から応力-ひずみ曲線を求めるのと同様に、延性破壊する材料では、単位面積ならびに単位長さの標点間の T_{im} をその材料固有の値として公称力積度 T_{im}^{NB} と定義する。また、いわゆる脆性材料では、試料の単位断面面積の T_{im} を公称力積度 T_{im}^{NB} と定義することを提案する。ここで、任意の形状・寸法の T_{im} と T_{im}^{NB} および T_{im}^{NB} の間の関係は、試料の断面面積を単位面積で割った値を n_A 、標点間距離を単位長さで割った値を n_L とすれば、 $T_{im}^{NB} = (n_A/n_L)T_{im}$ および $T_{im}^{NB} = n_A T_{im}$ となる。

また、 T_{mat} を求めるためには、き裂の発生、その進展量、停止などを知る必要があるが、動的なこれらの測定は難しく、とりわけ、き裂進展量が直接測定された例はなく、脆性材料ではその測定がさらに困難と言われる¹⁾。これに対し、 T_{im} は上記の因子を直接測定することなく決定できるので、 T_{im} を用いれば、材料の衝撃引張荷重に対する破壊靱性の評価がより簡便となる。

以上のように、機械構造用炭素鋼 S45C の静的な機械的性質ならびに S45C の炭素含有量に近い炭素を含有する鋼のシャルピー衝撃値のデータと衝撃引張試験機により測定された各種データを比較検討した。その結果、著者らが提案した σ_{max} と T_{im} を用いて、衝撃引張荷重を受ける材料

の動的靱性を評価する方法は、実用上、簡便かつ有用な定量的評価法であると結論する。

5. 結言

種々の熱処理を施した状態の静的な機械的性質が知られている機械構造用炭素鋼 S45C を試料に用い、落槌式衝撃引張試験機により、衝撃引張荷重に対する荷重 P と時間 t の関係を測定した。測定結果より、最大荷重 P_{\max} 、最大荷重到達までに要した時間 t_m 、試料の破壊までに要した時間 t_c 、力積 F_s 、衝撃強度 σ_{\max} および力積度 T_{im} を求めた。それらを S45C の静的な機械的性質ならびに S45C の炭素含有量に近い炭素を含有する鋼のシャルピー衝撃値と比較し、 σ_{\max} と T_{im} を用いた衝撃引張荷重に対する破壊靱性の評価法の有効性を検討した。おもりの落下高さは 1.000 m (衝撃速度 4.25 m/s) である。試料は完全焼なまし、焼入れ、ならびに焼入れ後 200°C~650°C で 50°C 間隔の各温度で焼もどす熱処理を施した各種である。熱処理の状態は試料の硬さをマイクロビッカース硬度計で測定して確認した。その結果、次のことが明らかになった。

(1) 本研究中の試料の衝撃強度 σ_{\max} は、焼もどし温度 200°C の時最大で 2120 MPa となり、焼もどし温度が高くなるのにもない低下し、焼もどし温度 650°C では 1370 MPa であった。これは静的引張強さを示す曲線と同じ傾向であり、静的引張強度に比例する。

(2) 衝撃強度 σ_{\max} は、静的引張強さの約 1.6 倍であった。この倍率は静的引張強さの小さい材料ほど大きくなるといわれている。本研究では、衝撃強度 σ_{\max} が大きい焼もどし温度 200°C の場合 1.4 倍、衝撃強度 σ_{\max} が小さい焼もどし温度 650°C では 1.8 倍となり、同じ傾向を示した。また、最大荷重 P_{\max} に到達する時間 t_m は P_{\max} 、すなわち衝撃強度 σ_{\max} の大きい材料ほど長くなる。

(3) 試料に衝撃引張荷重が負荷されて破壊にいたるまでの時間 t_c の焼もどし温度に対する曲線は、有溝シャルピー衝撃値を示す曲線と類似した。しかし、たて弾性係数 E ならびに塑性域での時間 t に対する荷重の変化率 (dP/dt) がほぼ等しい試料のため、このような特性を示したもので

あり、 t_c は衝撃特性の一つではあるが、一般的に力積度 T_{im} およびき裂進展靱性値 T_{mat} に依存する値にはならず、動的破壊靱性評価の有効なデータとはなり得ない。

(4) 力積度 T_{im} は、有溝シャルピー衝撃値ときわめて類似した曲線となった。300°C 近傍から焼もどした場合には、衝撃強度 σ_{\max} が低下するのではなく、力積度 T_{im} が減少することにより、動的破壊靱性が低下すると評価される。き裂進展靱性値 T_{mat} は破壊にいたる間に変化する場合もあるが、力積度 T_{im} は、同一の材料および形状・寸法に対して一つの値となり、その測定も簡便である。したがって、 σ_{\max} と T_{im} を用いれば、実用上、衝撃引張荷重を受ける材料の動的靱性を定量的に、簡便かつ有効に評価することができる結論する。

(5) 延性破壊する材料では、単位面積ならびに単位長さの標点間の T_{im} をその材料固有の値として公称力積度 T_{im}^N と定義する。また、いわゆる脆性材料では、試料の単位断面積の T_{im} を公称力積度 T_{im}^{NB} と定義することを提案する。

文 献

- 1) T.Kobayashi and I.Yamamoto: *Bull. Jpn. Inst. Met.*, **32** (1993), 151.
- 2) S.Miyoshi, K.Takai and T.Kobayashi: *Tetsu-to-Hagané*, **54** (1968), 497.
- 3) T.Kobayashi, H.Matsubara and Y.Ueda: *Tetsu-to-Hagané*, **67** (1981), 2216.
- 4) T.Kobayashi: *Tetsu-to-Hagané*, **71** (1985), 654.
- 5) T.Kobayashi, I.Yamamoto and M.Niinomi: *Tetsu-to-Hagané*, **72** (1986), 2133.
- 6) T.Kobayashi, I.Yamamoto and M.Kamimura: *Tetsu-to-Hagané*, **74** (1988), 903.
- 7) T.Yokoyama: *Materia Jpn.*, **38** (1999), 519.
- 8) T.Kobayashi: *Materia Jpn.*, **40** (2001), 194.
- 9) T.Yamaguchi, Y.Kobayashi, I.Nagasaka, N.Ohnishi and R.Morita: *J. Jpn. Inst. Met.*, **63** (1999), 502.
- 10) 鉄鋼材料便覧, 日本金属学会・日本鉄鋼協会編, 丸善, 東京, (1967).
- 11) S.Takagi, K.Miura, O.Furukimi, T.Obara, T.Kato and S.Tanimura: *Tetsu-to-Hagané*, **83** (1997), 748.
- 12) S.Sakui and T.Mori: *Bull. Jpn. Inst. Met.*, **3** (1964), 303.
- 13) T.Nakamura: *Bull. Jpn. Inst. Met.*, **4** (1965), 149.
- 14) 改訂 3 版金属便覧, 日本金属学会編, 丸善, 東京, (1971), 749.
- 15) M.Majima: *Oyo-Butsuri*, **5** (1936), 275.
- 16) P.C.Paris, H.Tada, A.Zahoor and H.Ernst: *ASTM STP*, **668** (1979), 5.
- 17) Y.Sugiyama, K.Asami and M.Terasawa: *J. Soc. Mater. Sci., Jpn.*, **34** (1985), 633.