

討17

構造用鋼のJ値におよぼす歪速度の影響

日本鋼管技術研究所

市瀬 弘 一

浦辺 浪 夫

I 緒言

鋼材の靱性を評価する種々の試験法が提唱され実践されているが、異なる試験法で鋼材の靱性を評価した場合、力学的因子（試験片の形状、大きさ、切欠の種類等）の影響を強くうけてその評価が逆転する場合もある。この為異なる試験法による靱性値相互の相関を求める努力も多数見うけられる。この力学的因子の影響による靱性値の相違に関しては、シャルピー試験の際の100%の脆性破面率を示す最高温度（NDT温度）を靱性値とった場合に限るが、切欠直下の切欠面に働く有効引張速度で補正すれば試験法が異なっても（力学的因子が異なっても）靱性は統一的に評価できることを著者らは示した⁽¹⁾。さらにその歪速度を補正した靱性値は力学的因子の影響をのぞいて冶金学因子（例えば合金元素、組織等）によって定まる可能性を示唆した。しかし工業的な立場からは、小型かつ簡便なシャルピー衝撃試験法による50%もしくは85%の脆性破面率を示す温度としてとらえた靱性値が有用である場合が多い。そのような脆性破面率を示す破壊の際には破壊に先だって塑性変形が先行し線型弾性破壊力学が適用できない。ましてK_{IC}値から \sqrt{TS} を推定することは論理的に不可能である。ところが近年Rice⁽²⁾により提案されBegleyら⁽³⁾によって成功裏に実践されたJ積分の概念は破壊に先だって大規模な塑性変形が起る場合にも適用でき工業的に有用な \sqrt{TS} とも充分に関連づけられるものと考えられる。加えてJ値の歪速度依存性は前述したように力学的因子の影響を除去して鋼材の冶金学的因子の破壊におよぼす影響を調査するうえで大いに興味のかたれるところである。

II 実験方法

II-1 供試鋼

供試鋼としては4種類の構造用鋼を選択した。その化学組成を表1に、熱処理条件と機械的性質を表2に示す。A, B, C鋼はフェライト・パーライト組織を有し、熱処理によりフェライトの平均結晶粒径を約10 μ mに調製したものである。D鋼はC鋼と同じ化学成分であるが熱処理条件を変えて強度を変化させたものである。

表1 供試鋼の化学成分

Steel	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cu	sol Al
A	.08	.21	.70	.004	.008	1.00	-	-
B	.08	.21	.70	.004	.006	3.00	-	-
C	.12	.36	1.38	.022	.006	-	.02	.035
D								

表2 供試鋼の熱処理条件、結晶粒径と機械的性質

Steel	Heat Treatment	GS(μ)	YS(kg/mm ²)	TS(kg/mm ²)	EI(%)	RA(%)
A	870°C x 1hr AC	11.1	35.4	49.8	46	76
B	840°C x 1hr AC	9.3	43.2	58.2	47	74
C	950°C x 30min FC	10.0	38.0	56.9	36	62
D	900°C x 40min WQ, 600°C x 1hr AC	-	41.7	61.6	44	66

II-2 試験片

試験片は図1に示すようなシャルピーサイズ (JIS4号)で、熱処理をほどこした供試鋼の板厚の中央部から切削加工した。開口変位量とあわせて破壊の発生する点を検出する目的で図1のような切欠を設け、更に0.1mm中で先端半径が0.05mmの予亀裂を機械加工で導入し全亀裂長さ $a = 3, 4, 5, 6$ mmの4種類とした。

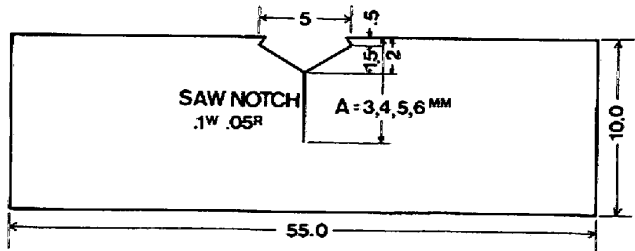


図1 試験片と切欠形状

II-3 試験法

歪速度が $10^{-3}/sec \sim 10^1/sec$ の範囲の試験はインストロンタイプの万能試験機で圧縮による三点曲げ試験で行った。試料を保持するアンビルおよび荷重を加える刃はJISで規定されているシャルピー-衝撃試験機のものと同等のものを作製して使用した。低温の試験に使用した冷媒は $-196^{\circ}C$ では液体窒素、 $-170^{\circ}C \sim -150^{\circ}C$ の範囲ではフロンR13と液体窒素のコイル、 $-150^{\circ}C \sim 0^{\circ}C$ の範囲ではフロンR12もしくはアルコールと液体窒素のコイルを用いた。この試験法は図2に模式的に示すが、荷重点変位量は差動トランスで測定し、X-Yレコーダに荷重-荷重点変位曲線および開口変位-荷重点変位曲線を同時に記録した。

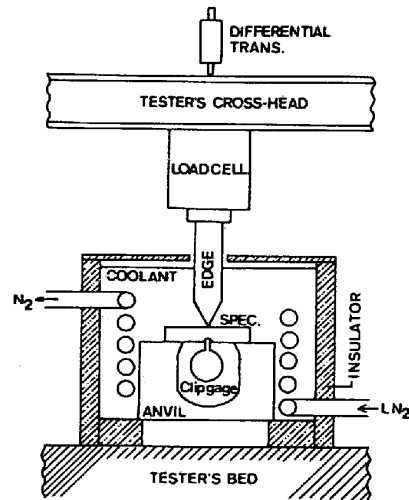


図2 静的三稜曲げ試験法

歪速度が $10^3/sec$ の試験は50kgm容量の計装化シャルピー-衝撃試験機で行った。破壊荷重は刃部に添付したストレインゲージの出力で、試験片の撓み量は振り子の最下部と本体に対峙させて取りつけた一對の電極による電気容量式変位計により検出した。荷重および荷重点変位量は積分回路を内蔵したトランジェントメモリーに一時蓄積し荷重の時間積分の演算後これらをX-Yレコーダに記録した。その一例を図3に示す。荷重の時間積分の較正には既知の一定荷重に相当する矩形波を刃部のストレインゲージに引加しY-Xレコーダ上での $\int F(t)dt$ 値を較正した。

また荷重点変位の時間変化は破壊が最高荷重以前で発生した場合にはほぼ完全に直線的に増加するので荷重点変位-時間曲線の傾きをもって荷重の時間積分を荷重点の変位に関する積分に変換した。

J値の計算はBegleyら⁽³⁾が最初に提唱した方法に従った。すなわち特定の变位量まで毎の荷重点変位曲線を積分してポテンシャルエネルギーを計算し、それらを变位量を余变数として予亀裂長さに対してプロットする。この時の直線の傾斜に符号を付けたものをJとし図4に示すようにJ-変位量曲線を作製する。かつ破壊が発生したときの变位量を平均して限界变位量とし、この値に相当するJ値

を J_{ic} とした。同一条件の測定につき3本の試験片数を標準としたがデータがばらついた場合には更に試験を追加した。

III 結果および考察

J_{ic} 値を各歪速度における温度の関数としてプロットしたものをそれぞれの供試鋼につき図7~図8に示す。各測定点のうち髭をはやした点は試験後の破面観察において微量ながらも予亀裂から円弧状の延性破壊が発生しこれが脆性破壊に転移したものの J_{ic} を示す。 J_{ic} は破壊の種類(脆性, 延性)にかかわらず破壊の発生に関する規定であるので, 破壊の発生点の検出が J_{ic} の破壊試験において肝要であると思われる。この点に関しては最近 Begley⁽⁴⁾ や Griffith⁽⁵⁾ がヒートテント法なるエレガントな破壊発生の検出法を発見しているが, 衝撃試験には不向きと思われる。図9はA鋼の各歪速度における全降伏荷重 F_y , 脆性破壊荷重 F_b , および最高荷重 F_M を温度の関数として図示したものである。図中に1および2と記した黒三角点に対応する破面の走査電顕写真はそれぞれ写真1, 写真2に示すが, 1の場合は降伏荷重直前で破壊しており破面は予亀裂直下から脆性破壊が発生している。2の場合には降伏点からわずかに加工硬化したのち急激な荷重の減少があり破面は予亀裂直下からは, 一部ディンプルが認められるものの脆性破壊となっている。以上のように本実験では荷重の急激な減少点と破面観察の結果とを合わせて正当な J_{ic} 値と決定した。

同一の結晶粒度をもつ A, B, C 鋼について, J_{ic} が 10 kgmm/mm^2 の値をもつ温度 T_J で比較すると, 各歪速度とも T_J はB鋼において最低温度を示しA鋼C鋼の順で高温側へ移行している。また歪速度が $10^2/\text{sec}$ のときの T_J と歪速度が $10^{-3}/\text{sec}$ のときの T_J の差はB鋼で最も小さく, A鋼, C鋼の順で ΔT_J は大きくなっている。

また化学組成は同じであるが, 熱処理により強度レベルを変化させたC鋼とD鋼を比較してみると ΔT_J は両鋼ともほぼ同じであるが, T_J はD鋼において低温側に移行している。

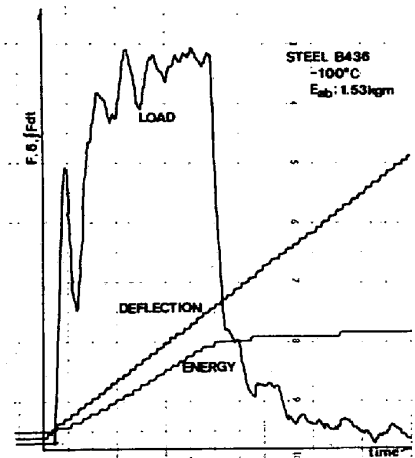


図3 計装化シャルピー試験の一例

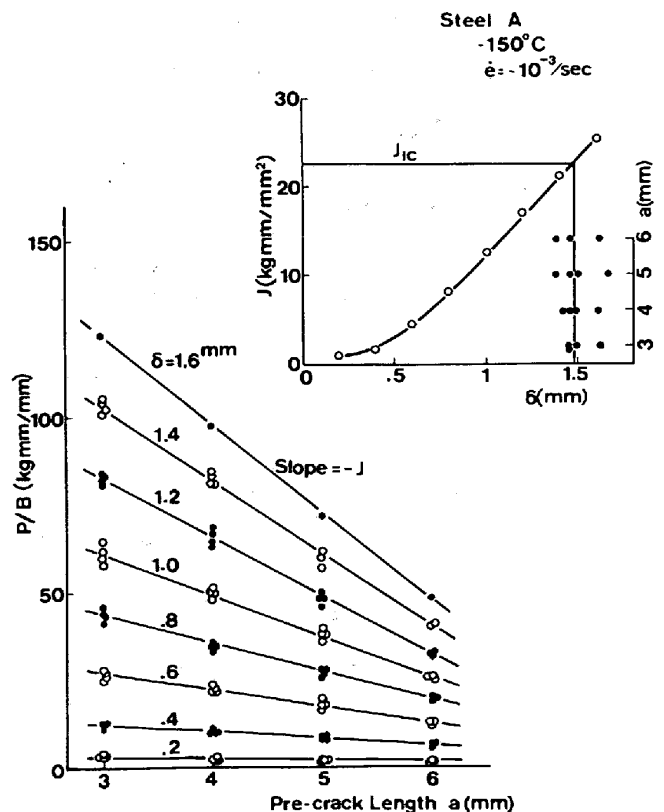


図4 J_{ic} 値の計算方法

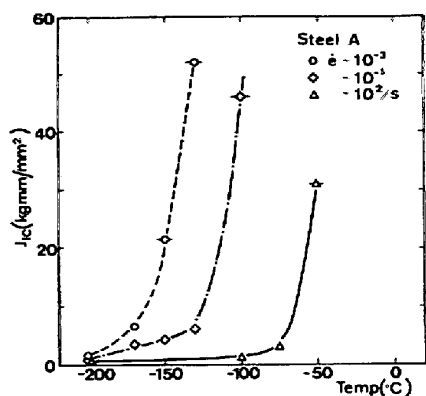


図5 A鋼のJ_{1c}値の変化

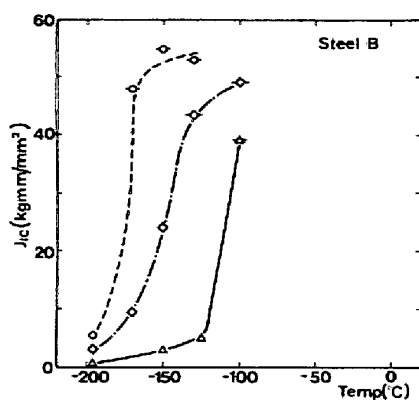


図6 B鋼のJ_{1c}値の変化

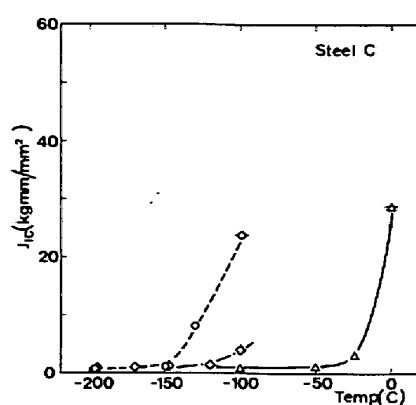


図7 C鋼のJ_{1c}値の変化

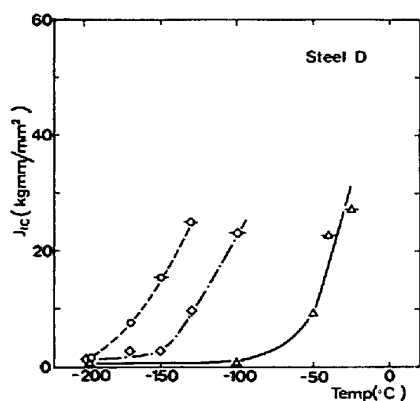


図8 D鋼のJ_{1c}値の変化

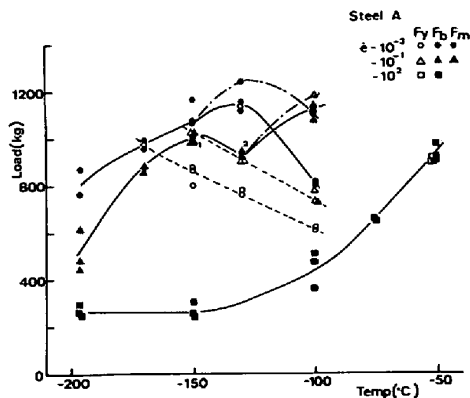


図9 各荷重と温度との関係



写真1 破面の走査電顕写真

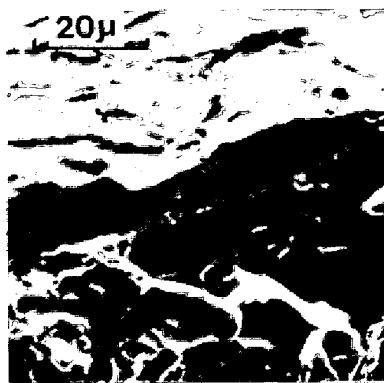


写真2 破面の走査電顕写真

参照文献

- (1) 小指, 大内, 浦辺; 日本金属学会講演概要集(1976, 10月)
- (2) J.R. Rice; J. Appl. Mech., June (1968) 379
- (3) J.A. Begley & J.D. Landes; ASTM STP 514 (1972) 1
- (4) J.A. Begley, J.D. Landes & W.K. Wilson; ASTM STP (1974) 155
- (5) C.A. Griffith; Trans ASME J97 (1975) 278