

工智大学 理工学部

○ 白砂 洋志夫
大久保 忠恒

1. 緒言

焼入れのまま、あるいは低温焼もどしを施した低合金の“靱性”とオーステナイト化温度の関係において、シャルピー衝撃値と平面歪破壊靱性値 (K_{Ic}) とで靱性評価法が異なった場合にオーステナイト化温度すなわち旧オーステナイト粒度の“靱性”への影響がまったく逆になることが報告されている。オーステナイト化温度が高く、旧オーステナイト粒度が大きくなるにともない平面歪破壊靱性 (K_{Ic}) が高くなる。これは逆にシャルピー衝撃値は旧オーステナイト粒度が大きくなるにともない低下する。この挙動を説明するためいくつかの研究が報告され簡単なモデルも提案されているが十分な説明がなされていない。この二種類の靱性評価法による“靱性”の意味が必ずしも同じものではないとしても、“靱性”の評価が正反対になることは渡り鋼の靱性を考慮する上で問題となる。シャルピー衝撃試験と平面歪破壊靱性試験とでは試験速度、試験片形状、切欠形状が異なるばかりでなく各々の“靱性”値の持つ意味も異なる。またこれらの靱性値とも破壊の過程との対応でも大なり小なりのある種の不明確さを持つている。この挙動の説明には、試験方法を統一することが不可欠であり、さらに破壊過程の情報が得られる試験方法の採用が必要となる。本研究では平面歪破壊靱性試験を基本とし、シャルピー試験片と平面歪破壊靱性試験片の相違を切欠先端形状の違いとして捕えコンパクトテンション型試験片で疲労予き裂を導入したものと、V切欠シャルピー試験片の先端半径 (0.25mm) と同一な切欠先端半径をもたせたもので破壊靱性試験を行なった。またそれぞれの試験片は 850°C ~ 1100°C のオーステナイト化温度により旧オーステナイト粒度を変化させた。さらに破壊過程の情報を得るために AE 計測を破壊靱性試験に取り入れた。以上により旧オーステナイト粒度、靱性値、切欠先端形状の関係を検討した。

2. 供試材及び実験方法

本研究に用いたニッケル・クロム・モリブデン鋼 (JIS SNCM439) の化学組成を表 1 に示す。同一素材による平滑平板試験片を用いた熱処理後の機械的性質を表 2 に示す。破壊靱性試験片は ASTM 規格に準拠したコンパクトテンション試験片で、その寸法を図 1 に示す。板厚は 5mm とした。切欠形状の検討のため、疲労予き裂と切欠先端半径 0.25mm の二種類の切欠先端形状をもたせた。熱処理には、真空加熱電気炉と塩浴炉を

表 1. 供試材: SNCM439 の化学組成 (重量%)

Material	Chemical Composition (wt.%)								
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo
SNCM 439	0.37	0.28	0.74	0.014	0.016	0.14	1.72	0.76	0.17

表 2. SNCM439 の熱処理後の機械的性質

T.T (°C)	σ_y (MPa)	σ_b (MPa)	Elong (%)	Hrc
200	1646	1970	12	53.8
350	1392	1607	15	48.1
400	1362	1499	15	45.4

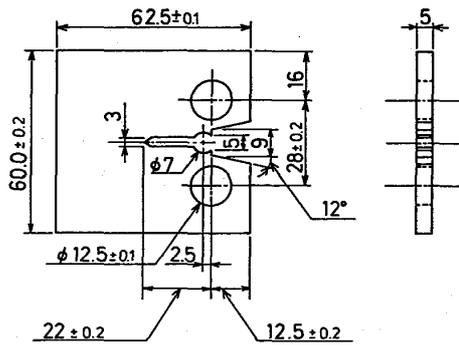


図1 コンパクトテンション試験片

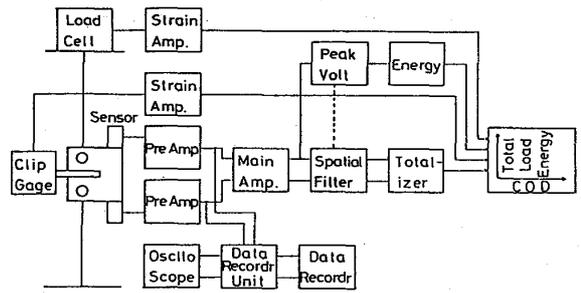


図2. AE計測を取り入れた破壊靱性試験

と使用した。旧オーステナイト粒径を変えるため、850°C、950°C、1100°Cでオーステナイト化すると同時に時間を変えて粒径の調整を行った。焼もどしは、200°Cを基準とし、焼もどし温度の影響を検討するため250°C、400°C焼もどしを一部の試料に施した。旧オーステナイト粒径測定のため国産の南産した試薬によりエッチングを行った。結晶粒径測定結果を表3に示す。破壊靱性試験はASTM規格に準拠して行ない、破壊過程の情報を得るため同時にAEの計測を行った。AE計測装置は2ch. コンシテンス法で検出素子はPZTで180 kHz共振型を使用した。AEパラメータとしては事象数(AE total Count)と V_p^2 (V_p :ピークボルト)で定義されたAEエネルギーを記録した。図2にAE計測を取り入れた破壊靱性試験構成を示す。

表3. オーステナイト化温度と旧オーステナイト粒径

オーステナイト化温度(°C)	時間(hour)	粒径 d (μm)	オーステナイト化温度(°C)	時間(hour)	粒径 d (μm)
850	0.5	1.1	1100	1	8.0
950	5	2.0	1100	5	14.0
1100	20	21.8	1100	24	29.0

3 実験結果と考察

3.1. K_{IC} , K_{AEE} とオーステナイト化温度

850°C、950°C、1100°C オーステナイト化材の $P=0$ 疲労予き裂の場合の荷重-COD, AE total Count, AE energy 線図を図3, 4, 5に示す。荷重-COD線図, AE活性度にオーステナイト化温度による差異は認められないが、1100°Cオーステナイト化材のAEエネルギーの立ち上がりは他の温

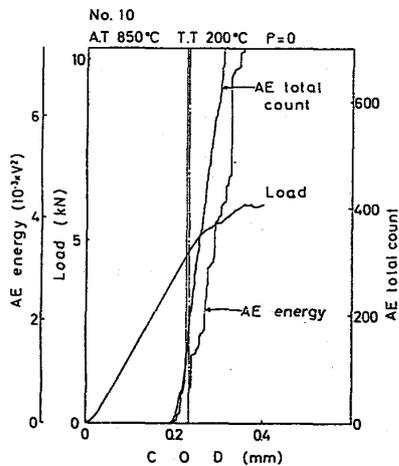


図3 荷重・AE total Count・AE Energy - COD

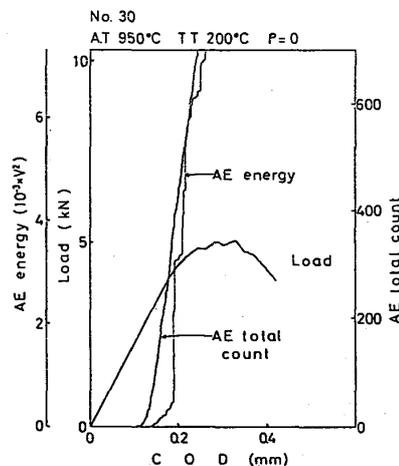


図4. 荷重・AE total Count・AE Energy - COD

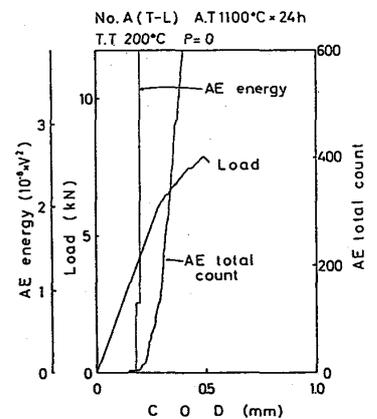


図5. 荷重・AE total Count・AE Energy - COD

に比べ低荷重側で生じている。各々の K_{AE} , K_{AE-E} 値を図8, 9, の $\rho = 0$ の位置に示す。 K_{AE} 値はオーステナイト化温度が高い, すなわち旧オーステナイト粒径が大なる程高い値を示す。これに対し, き裂進展開始に対応する K_{AE-E} は旧オーステナイト粒径が大なる程低い値を示した。これは加家壁らにより明らかにされている遅れき裂の進展挙動と関係し, 吉川らによる粒径と K_{AE} 値との関係

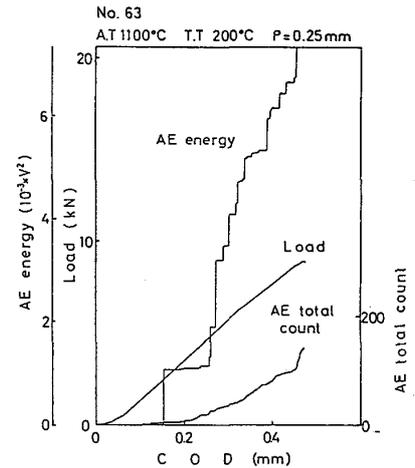
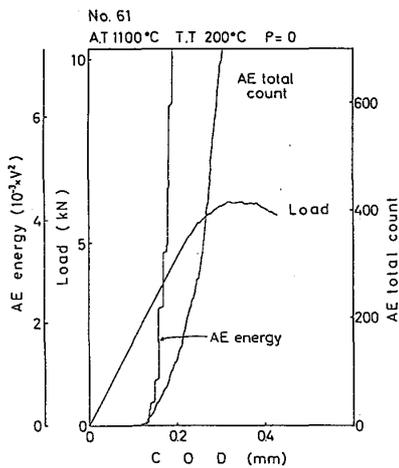


図6. 荷重, AE energy, AE total count - COD ($\rho = 0$) 図7. 荷重, AE energy, AE total count - COD ($\rho = 0.25$ mm)

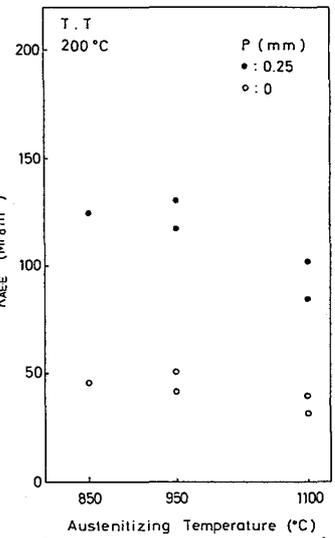
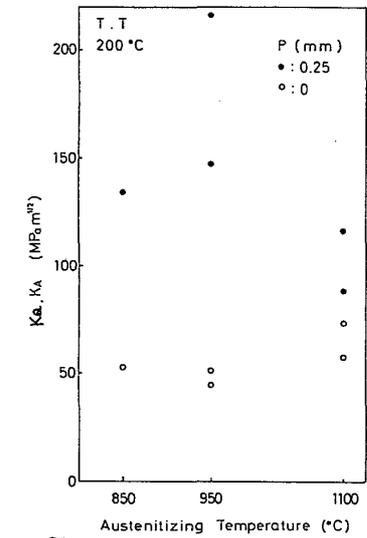
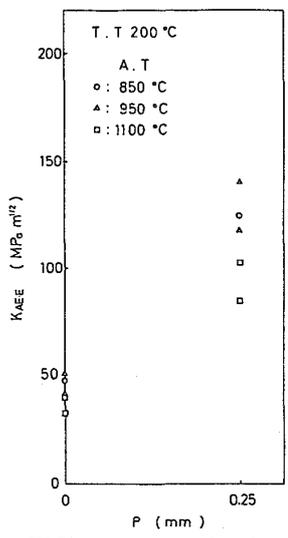
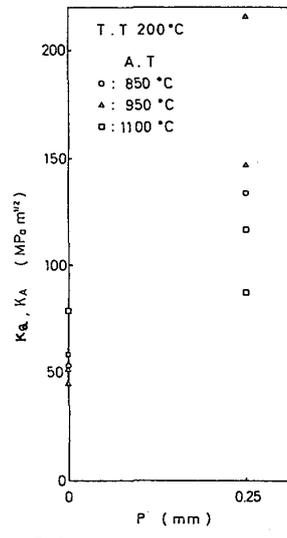


図8. K_{AE}, K_A - ρ とオーステナイト化温度 図9. K_{AE-E} とオーステナイト化温度 図10. K_{AE}, K_A - ρ とオーステナイト化温度 図11. K_{AE-E} - ρ とオーステナイト化温度

とも一致している。特に本研究のAE計測によるき裂進展開始を捕えた K_{AE-E} 値が旧オーステナイト粒径が大なる程低くなることは遅れき裂の進展開始と対応していると考えられる。粒径が大なる程遅れき裂の進展にとりやすい裂先端分枝, 屈曲が大なる有効応力拡大係数の低下が大なるため K_{AE} 値が高くなることを示している。

3. 2. K_A, K_{AE-E} に及ぼす ρ の影響

切欠先端半径 0.25 mm の切欠材の荷重 - COD 線図を図7に示す。同一オーステナイト化温度, 200°C 焼もどし材の $\rho = 0$ と比較して荷重 - COD 線図の形と AE 活性度に差異が見られる。 $\rho = 0.25$ mm の K_A, K_{AE-E} 値を図8, 9に示す。 K_A, K_{AE-E} ともに旧オーステナイト粒径が大なる程その値は低く, シェルビー試験から得られる一般的な「靱性」とオーステナイト化温度との関係と一致する。

4. 結言

シェルビー衝撃値と K_{AE} 値とでオーステナイト化温度の影響が逆転する現象は, 遅れき裂進展挙動と関係し K_{AE} 値が粒径依存性をもつためである。遅れき裂進展はAE計測により検知される。以下略