

1. 緒言 近年、材料の破壊クライテリオンはマクロなパラメータ (K, J 値等) よりも局所的な微視破壊に基づいて評価する必要が強調されている。1) また一方、材料の高靱化機構には微視割れの挙動が大きな役割を果たしていると考えられている。2) そのような状況においてアコースティック・エミッション (AE) 原波形解析は、局所的な微視割れを動的かつ定量的に把握できるほぼ唯一の方法として注目されているので、上記の要望にはふさわしいものと言えよう。今回は高強度高靱性材料として期待の大きい Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al (β 型チタン合金) を取り上げ、原波形解析から求めた微視割れの大きさと破壊靱性、微視組織との対応について考察する。現在まで、媒体 (試験片) の応答関数を実験により求める簡便だが妥当な範囲の狭い方法を行っていたが、今回は数値計算による応答関数を用いて、さらに詳細な情報を有する微視割れモーメントテンソル D_{jk} の導出を試み、これについても言及する。

2. 原理 材料内で微視割れが発生すると、弾性波 (AE 波) が生じ、媒体を伝播し表面に到達する。これを広帯域変換子等で検出すると、その波形 $V(t)$ は、微視割れに関する定量情報 (割れ半径、割れモード、生成速度等) を含む原波形 $D(t)$ 、媒体のグリーン (応答) 関数 $G(t)$ 、計測系の伝達関数 $S(t)$ の線形応答として次式のように表わされる。

$$V(t) = D(t) * G(t) * S(t) \tag{1}$$

ただし、* は時間に関するたたみこみ積分である。従って、 $D(t)$ は既知の $G(t)$ 、 $S(t)$ を用いて (1) 式の逆演算から求めることができる。

微視割れを等方均質弾性体内の面 A でのくい違い $[u]$ と考えると、 D_{jk} は次式のように与えられる。

$$D_{jk} = \{ \lambda [u_p] \nu_p \delta_{jk} + \mu ([u_j] \nu_k + [u_k] \nu_j) \} \Delta A \tag{2}$$

ただし、 λ 、 μ はラーメの定数、 ΔA は割れ面積、 ν は A の単位法線ベクトルである。これは 2 階の対称テンソル (独立成分 6 個) である為、導出には少なくとも 6 チャンネルの情報が必要とする。これに対し、簡便法では引張りき裂を仮定する為、 $j = k = 3$ 以外の成分は 0 となり、き裂面に垂直な方向の変位に関する情報が 1 つあれば良い。

$$D = D_{33} = (\lambda + 2\mu) [u] \Delta A \tag{3}$$

3. 実験方法 表 1 に示す三種の熱処理を施したチタン合金の 1TCT 試験片に小型センサー P50 (直径 5mm、受感部 1mm、帯域 ~2MHz) を 6 個と、広帯域センサー FC500 (~13MHz) を 1 個取り付け、破壊靱性試験を行い、この時に発生した AE データをウェブメモリ AE9620 (NF 社) に取り込み、HP216 コンピューターに転送、記録、解析を行う。P50 からの 6 つのデータを用い、微視割れの三次元位置標定を行い、その位置を入力点にした計算によるグリーン関数を用いて、 D_{jk} を導出する。また、FC500 のデータにおいては疑似音源 (シャープペンシル芯の圧折) によるグリーン関数を用いた簡便な原波形解析を行う。また、微視組織及び破面の観察をおこなう。

4. 実験結果と考察 図 1 に原波形から求めた割れ半径の分布と破壊靱性値 K_{Ic} を示すが、ある大きさ (およそ 30 μm) 以上の微視割れが高い靱性に関与していると考えられる。破面観察から、ある特徴的な階段状の割れユニットが見られ、高靱性のものほどその割合が多いことが認められた。また、微視割れの位置標定の結果から、捕らえられた A E と前述の階段状の割れユニットの位置が対応するものが多いことが認められた。

参考文献 1) F. Mudry: Elastic-Plastic Fracture Mechanics, L. H. Larsson (ed.), P. Reidel Pub. Co., P263

2) 岸、大山、金: 鉄と鋼 72 (1986)、P123

Table 1 Chemical composition and heat treatment

Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al					
Chemical Composition					
Element	N	O	H	C	Fe
wt%	0.0097	0.125	0.0038	0.015	0.202
	Al	V	Sn	Cr	Ti
	3.05	15.57	3.05	3.07	Bal.

	Heat Treatment	K_{Ic} (kgf \cdot mm $^{-3/2}$)	
		K_{Ic}	K_{Ic}
A	800°C x 20min.	A.C.	119
	550°C x 8hr.	A.C.	215
B	800°C x 20min.	A.C.	135
	480°C x 8hr.	A.C.	150
C	900°C x 20min.	A.C.	99
	550°C x 8hr.	A.C.	330

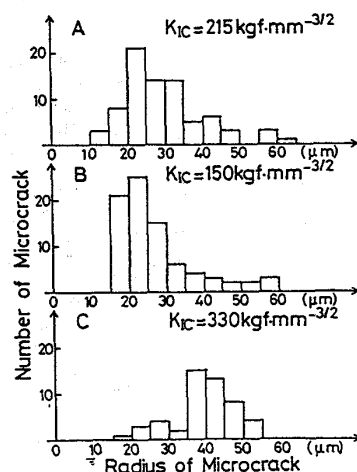


Fig.1 Distribution of microcrack radius