

Estimation of Applied Stress for Fatigue Fracture Surface

Takuya OGAWA, Masanobu KUBOTA, Chu SAKAE and Yoshiyuki KONDO

1. 緒 言

機械・構造物の疲労破壊事故解析では、作用応力の推定が不可欠である。破面から作用応力を推定する方法として、ストライエーション間隔を利用する方法が確立されている。しかし、ストライエーションが観察される K 値の範囲は限られており、疲労き裂の発生起点近傍ではストライエーションは見られないことが多い⁽¹⁾。そのためストライエーションによらない作用応力推定方法が必要とされている。破壊した部品は破壊事故の重要な証拠であり、非破壊で推定できることも必要である。本研究では、ストライエーションによらない、2 種類の作用応力推定方法について検討した。

2. 応力推定法の概念

2.1 破面のインピーダンスによる方法 疲労き裂先端には応力集中により塑性域が形成される。Fig.1(a)にき裂先端近傍の塑性域の模式図を示す。き裂はこの塑性域を横切って進展するため、疲労破面には薄い塑性変形層が形成される。この塑性変形層においては材料中の転位などにより電気抵抗の変化が生じていることが推測される。したがって、あらかじめ破面の電気抵抗と破面に作用した K 値の定量的関係を明らかにしておけば、実際に破壊した部品の破面の電気抵抗を測定することにより作用応力を推定することができる可能性がある。

Fig.1(b)に示すように、交流電流には周波数を高くするほど物体の表面を流れる性質（表皮効果）があるので、高周波電流により疲労破面の電気抵抗と K 値との関連性について調べた。

2.2 破面の硬さ測定による方法 塑性変形層においては加工硬化により材料が硬化し⁽²⁾、その硬さが K 値と関係している可能性がある。そこで異なる K 値の疲労破面の硬さを測定し、 K 値との関連性を調べた。

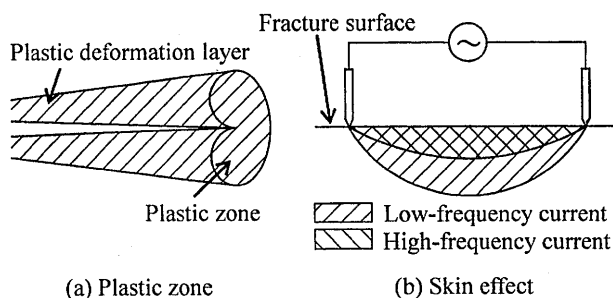


Fig.1 Principle of estimation

3. 実験方法

3.1 供試材 供試材はオーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 溶体化処理材であり、化学成分を Table 1 に、機械的性質を Table 2 に示す。塑性変形と電気抵抗の関係を明瞭にするために、材料に溶体化処理を加えて加工ひずみを取り除いた。

3.2 疲労試験 既知の ΔK の疲労破面を製作するために、CT 試験片を用いた疲労き裂進展試験を行った。応力比は $R=0.1$ とした。

3.3 高周波電流を用いた疲労破面のインピーダンス測定 高周波電流を用いた疲労破面のインピーダンス測定方法を Fig.2 に示す。シャント抵抗における電圧降下から回路電流を求め、回路電流と破面のプローブ間の電圧降下から破面のインピーダンスを求めた。破面のプローブ間の電圧降下は非常に小さいため、差動増幅器を用いて増幅した。

3.4 疲労破面の硬さの測定 マイクロビッカース硬度計を用いて疲労破面の硬さの測定を行った。疲労破面には圧痕寸法と比べて無視できない凹凸があるため、正方形の圧痕は得られにくい。そこで過度にひずんだ形状の圧痕は除外したうえで圧痕の投影面積を測定し、 ΔK との関連性を調べた。

Table 1 Chemical composition (wt.%)

Material	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
SUS304	0.04	0.49	1.01	0.028	0.002	8.27	18.24

Table 2 Mechanical properties

Material	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	σ_B (MPa)	δ (%)	ϕ (%)
SUS304	219	644	81.1	84.0

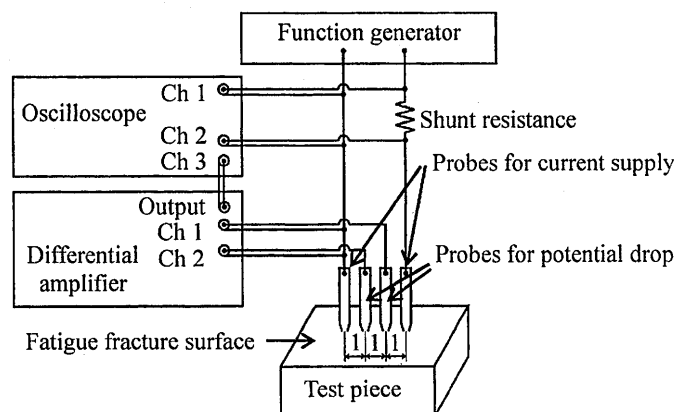


Fig.2 Measurement of electrical impedance of fracture surface using high-frequency current

4. 実験結果および考察

4.1 疲労破面のインピーダンス測定 高周波電流を用いた疲労破面のインピーダンス測定結果をFig.3に示す。シャント抵抗は抵抗値 $47\ \Omega$ のチップ抵抗を用い、電流周波数は $23\ \text{MHz}$ とした。疲労破面のインピーダンスは測定条件の影響を受けることが想定される。そこで、溶体化処理材を電解研磨して表面に機械加工層のない無ひずみ状態にした材料のインピーダンスを実験ごとに測定し、疲労破面のインピーダンス Z を無ひずみ材のインピーダンス Z_0 で除して無次元化表示した。 ΔK_{th} 付近の低 ΔK 領域からストライエーションが観察される高 ΔK 領域にわたって、 ΔK が増加するとともに Z/Z_0 も増加する傾向が見られた。測定値は2倍のばらつき範囲に収まっている。

4.2 疲労破面の硬さの測定 疲労破面のビッカース圧痕の写真例をFig.4に示す。押し付け荷重は $50\ \text{gf}$ とした。Fig.4に示すように、ビッカース圧痕の四隅を繋いだ四角形の投影面積を測定した。破面の凹凸により圧痕の面積にはばらつきが見られるため、10個の圧痕の面積の平均値を採用した。各 ΔK におけるビッカース圧痕の面積のばらつきを正規確率紙にプロットしたものをFig.5に示す。圧痕の面積のばらつきはほぼ正規分布に従っている。疲労破面のビッカース圧痕の面積の平均値と ΔK の関係をFig.6に示す。 ΔK が増加するにつれてビッカース圧痕の面積の平均値は減少した。これは ΔK の増加に伴う疲労破面の硬度の増加を利用して作用応力推定が可能であることを示唆している。

5. 結 言

- (1) 疲労破面のインピーダンスと無ひずみ材のインピーダンスの比 Z/Z_0 と ΔK の間には、 ΔK の増加とともに Z/Z_0 が増加する傾向が見られた。
- (2) 疲労破面の硬さは、 ΔK の増加とともに増加する傾向が見られた。
- (3) 塑性変形層のインピーダンスと疲労破面の硬さが作用応力推定に利用できる可能性が示された。

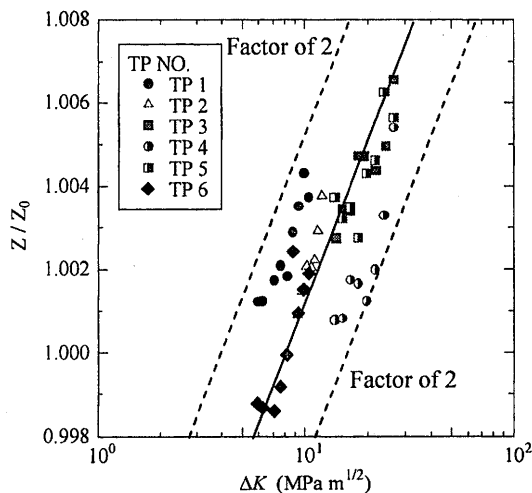


Fig.3 Relation between non-dimensional impedance and ΔK measured by $23\ \text{MHz}$ high frequency current

謝 辞

本研究は文部科学省科学研究費補助金、萌芽研究 17656043 によって行われた。

参考文献

- (1) 北川英夫・小寺沢良一, フラクトグラフィ, 培風館 (1977)
- (2) 近藤良之・金崎宏, 機論 (A 編), 66-645(1999), p.909-914

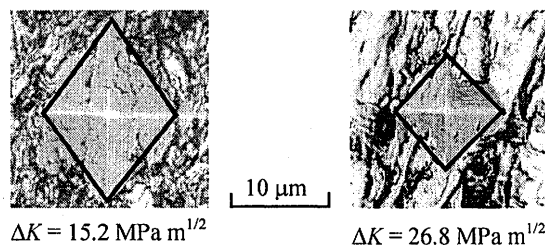


Fig.4 Example of Vickers indentation

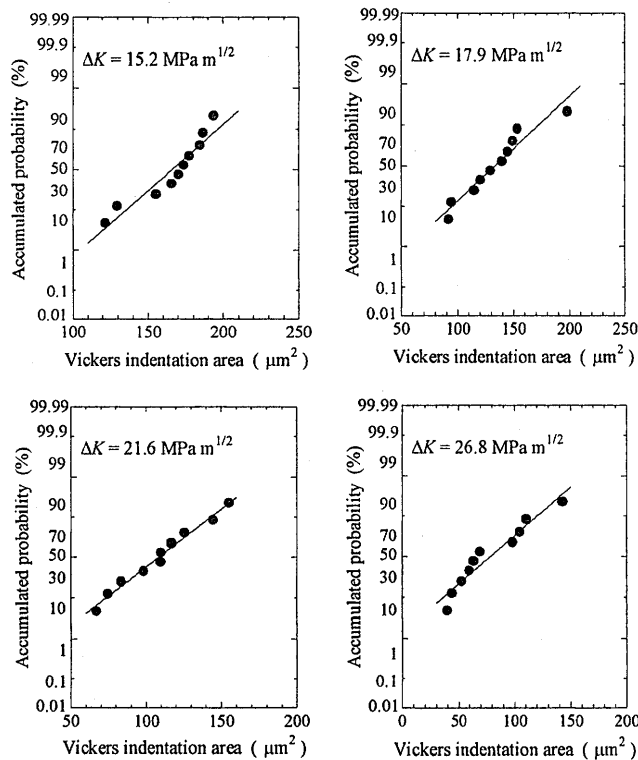


Fig.5 Variation of Vickers indentation area

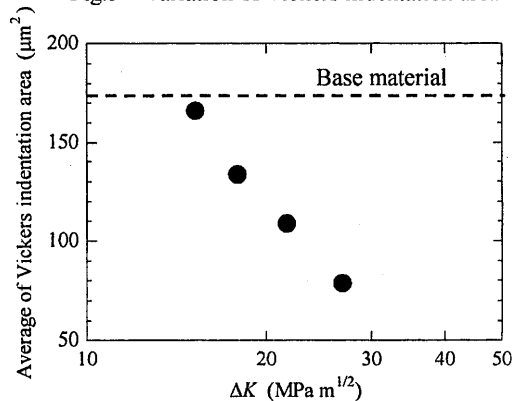


Fig.6 Relation between average of Vickers indentation area and ΔK