Investigation of Fatigue Damage Process Based on Dissipated Energy Measurement

学 ○赤井 淳嗣 (神戸大)

正 阪上 隆英 (神戸大)

正 塩澤 大輝 (神戸大)

Atsushi AKAI, Kobe University, 1-1, Rokkoudaichou, Nada-ku, Kobe

Takahide SAKAGAMI, Kobe University

Daiki SHIOZAWA, Kobe University

1 緒 言

近年, 赤外線カメラを用いた散逸エネルギー計測による疲労限度予測法が注目されている。この手法は, 疲労限度および疲労破壊箇所を簡易的に推定できることから実用化が進んでいる。しかしながら, 散逸エネルギー計測により疲労限度を予測できる明確な根拠が未だ不明であるため, 散逸エネルギー発生と疲労損傷との関係を明らかにする必要がある。

本報では, SUS304 鋼の疲労試験中での散逸エネルギー, ひずみ変動及びマルテンサイト相の測定を行い, 散逸エネルギーと疲労損傷過程での微視組織変化との関係について検討した。

2 試験方法

SUS304 鋼試験片に対して, 室温大気中において軸力疲労試験を行った。負荷条件としては, 応力比 $R=-1$, 繰返し周波数 $f=5\text{Hz}$, 応力波形は正弦波とした。規定の繰返し数に達する度に, 散逸エネルギー, 及びマルテンサイト相の測定を行った。散逸エネルギー測定には, 赤外線カメラ(Cedip 製 Taitanium)を, 散逸エネルギー処理には画像処理ソフト Altair LI を用いた。マルテンサイト相の測定には, フェライトスコープ (Fisher Inc.製) を用いた。また, 試験片中央に貼付したひずみゲージにより疲労試験中のひずみ変動を測定した。

3 実験結果および考察

一定応力振幅 $\sigma_a=210\text{MPa}$ で疲労試験をした場合の実験結果について述べる。この疲労試験では $N=2.0 \times 10^6$ cycles 時で試験片は破断しなかった。

試験片中央部で得られた散逸エネルギーの平均値の変化を Fig. 1 に示す。Fig. 1 より, 疲労試験初期では繰返し数と共に, 散逸エネルギーは増加し, 約 2 万回で急激に減少した後, 一定値を示していることが分かる。更に, 約 10 万回で散逸エネルギーは急激に増加した後, 繰返し数と共に減少した。この様に, 散逸エネルギー変化の特徴は Stage I ~ III の 3 つに分けられた。

次に, 塑性ひずみエネルギー変化を Fig. 2 に示す。Fig. 2 より, 塑性ひずみエネルギーは, 試験開始から繰返し数と共に増加し, 約 10 万回を境に減少していることが分かる。塑性ひずみエネルギーは繰返し負荷過程で不可逆的に放出されるエネルギーであり, この一部分が熱的な散逸エネルギーとして放出される。このため, 散逸エネルギーの Stage I, III での変化は塑性ひずみエネルギーの変化と良く一致しているものと考えられる。一方, Stage II では両者の変化は対応していない。この原因について以下に考察を加える。

SUS304 鋼では疲労損傷過程において加工誘起マルテンサイト変態が生じ微視的構造が変化する。そこでマルテンサイト相の変化に着目し, マルテンサイト体積率 ζ の変化を測定した結果を Fig. 3 に示す。Fig. 3 では, 負荷 1 サイクルに生成されるマルテンサイト相として増加率 $d\zeta/dN$ を算出し合わせ

て表記した。Fig. 3 より, マルテンサイト相は繰返し数とともに増加しており, 特に Stage II においてその増加率は最大値を示し, その後 Stage III では繰返し数とともに減少していることが分かる。よって Stage II での散逸エネルギーの減少は, 塑性ひずみエネルギーが加工誘起マルテンサイト変態に費やされたためだと考えられる。

繰返し軟化, 硬化は転位の増加, 飽和によるものと考えられるため, 散逸エネルギーは転位や相変態などの微視組織構造の変化を反映したものであることが明らかとなった。散逸エネルギーは疲労損傷の評価に有効なパラメータであるとともに, 疲労損傷過程に応じて変化することから従来の疲労限度の簡易推定法の適用には注意が必要であると考えられる。

Fig. 1 Result of dissipated energy measured by thermography

Fig. 2 Change of plastic strain energy

Fig. 3 Martensite fraction measured by FERRITE SCOPE