Fatigue Life of High-Strength Aluminum Alloy under Two-Step Loading

○学 石橋 真 (長崎大院)

正 高瀬 徹 (長崎大)

正 瀬戸口 克哉 (長崎大)

Makoto ISHIBASHI, Nagasaki University, 1-14 Bunkyo-machi Nagasaki

Toru TAKASE, Nagasaki University

Katsuya SETOGUCHI, Nagasaki University

Key words: Fatigue, Crack Propagation, Two-Step Loading

1. 緒言

実働荷重下での機械要素の疲労破壊の防止は非常に重要なものである。筆者等は、実働疲労の基本的なものとして二段二重疲労をとりあげ、炭素鋼平滑材の場合の疲労寿命推定法を検討し⁽¹⁾⁽²⁾、切欠材やねじ継手にも適用可能であることを報告した⁽³⁾⁽⁴⁾。

本研究では、高力 Al 合金平滑丸棒を用いて、両振引張圧縮による定応力疲労試験及び二段二重疲労試験を行い、炭素鋼に対して得られた推定法の適用性を検討するとともに、き裂の成長過程を観察し、疲労寿命消費率との関連についても検討した。

2. 試験片と試験条件

供試材は市販の高力 Al 合金 A7075-T6511 (φ 35mm) で、それを図 1 に示す形状に機械加工し、機械加工による表面傷の除去及び表面観察を容易にするため電解研磨により表面層を約 50 μm 取り除いた。試験片は、損傷を受ける領域を限定するために砂時計型とした。

表 1 に試験条件を示す。定応力疲労試験は、一定応力振幅 σ_a を破断するまで繰返す疲労試験であり、二段二重疲労試験は、一次応力振幅 σ_1 を n_1 回繰返した後、二次応力振幅 σ_2 を破断するまで繰返す疲労試験である。ここで、 n_1/N_{f1} は σ_1 による疲労寿命消費率、 N_{f1} は σ_1 のみを荷重した場合の破断繰返し数である。いずれの試験も、荷重制御で油圧サーボ式引張圧縮疲労試験機 (周波数 20Hz) を用いて行った。

定応力疲労試験及び二段二重疲労試験において、破断するまでのき裂長さ l を測定するためにレプリカ採取を行った。レプリカ採取は、ある一定の繰返し数毎に試験機を止め、無負荷の状態で行った。き裂の観察は金属顕微鏡で行い、き裂長さは表面での円周方向長さとした。

3. 試験結果

まず、定応力疲労試験結果を図 2 に示す。図中の線は、疲労限度 σ_{w0} 近傍のばらつきが大きい点を除いて破断した全ての点を最小二乗近似して求めたもので、このようにして得られた σ_a と N_f との関係を $S-N_f$ 曲線と呼ぶことにする。なお、非鉄金属である高力 Al 合金では、明確な疲労限度は存在しないが、ここでは N_f が 10^7 回を超えた場合を非破断とみなした。この事は二段二重疲労の場合も同様に考えた。

次に、二段二重疲労試験結果を図 3 に示す。 $\sigma_2 = \sigma_1$ の場合の破断繰返し数 N_p は $N_{f1} - n_1$ に等しいので、図中の線は、この点 (+ 印) を通るように、疲労限度 σ_{w0} 近傍のばらつきが大きい点を除いて破断した全ての点を最小二乗近似したもの

Fig.1 Dimensions of specimen

Table1 Fatigue test conditions

Constant stress amplitude	σ_a MPa	315~185
Two-step loading	n_1/N_{f1}	0.2, 0.5, 0.7
	σ_1 MPa	315
	σ_2 MPa	250~110

Fig.2 $S-N_f$ curve

Fig.3 $S-N_p$ curve

である。このような σ_2 と N_p との関係を $S-N_p$ 曲線と呼ぶことにする。なお、図中に、比較のために $S-N_f$ 曲線も併記した。

4. 二段二重疲労寿命推定法の適用性

二段二重疲労寿命の推定には、 σ_1 による疲労寿命消費率 n_1/N_{f1} に対する $S-N_p$ 曲線の傾き m_p と疲労限度 σ_w の相関が必要となる。3章の結果をもとに、この相関を調べると図4と図5のようになる。図中の線は、既報⁽²⁾の考えによって引いたものである。 n_1/N_{f1} と m_p との間にはまずまずの相関が見られるが、 n_1/N_{f1} と σ_w との間では $n_1/N_{f1}=0$ 近傍で疲労限度が不連続となり、良い相関とは言えない。しかし、結論を出す前に、 n_1/N_{f1} が小さな場合と大きな場合のデータを見直して、既報の推定法の適用性を検討する必要があるものと思われる。

5. き裂伝ば挙動に及ぼす疲労寿命消費率の影響

定応力疲労及び二段二重疲労の場合のき裂長さ l と σ_1 と σ_2 による疲労寿命消費率の和 $n_1/N_{f1} + n_2/N_{f2}$ との関係を最小二乗近似して得られたき裂伝ば曲線を図6に示す。その際、応力切替時にき裂が認められた場合は、まず σ_1 に対するき裂伝ば曲線を求めた後、その曲線から求まる応力切替時のき裂長さを通して σ_2 に対するき裂伝ば曲線を求めた。

応力切替後のき裂伝ば曲線に着目して、その曲線の傾き m と n_1/N_{f1} との関係で整理したものを図7に示す。比較のために、定応力疲労の場合の結果も併記している。図から、 m は n_1/N_{f1} が増加すると、増加する傾向が見られる。

6. 結 言

高力 Al 合金平滑丸棒を用いて、両振引張圧縮による定応力疲労試験及び二段二重疲労試験を行い、以下の結果が得られた。

- (1) 炭素鋼に対して得られた推定法の本材料への適用性についての結論は得られなかった。
- (2) 二段二重疲労における応力切替後のき裂伝ば曲線の傾きは、一次応力振幅による疲労寿命消費率が増加すると、増加する傾向が見られる。

参考文献

- (1) 瀬戸口・高瀬・真鍋, 機論, 63-613, A(1997), 1849-1853
- (2) 高瀬・瀬戸口, 機構論, No.98-5, A(1998-11), 287-288
- (3) 柴田・高瀬・瀬戸口, 機構論, No.028-1, (2002-3), 35-36
- (4) 瀬戸口・高瀬・中村・村上, 機論, 66-650, A(2000), 1872-1877

Fig.4 m_p vs. n_1/N_{f1}

Fig.5 σ_w vs. n_1/N_{f1}

Fig.7 m vs. n_1/N_{f1}

Fig.6 Crack propagation curve