

1. はじめに

疲労き裂先端領域における繰り返し応力-ひずみ関係におけるひずみ硬化指数は、疲労き裂伝播速度を求める際に重要な意味を持っている。

疲労き裂先端領域での繰り返し変形を想定するため、塑性変形を与えるような荷重を与えるので、応力とひずみの間にはフックの法則は成立せず、制御する量は荷重ではなく引張圧縮の変位制御の試験である。このため、試験片は座屈を防ぐため砂時計型で、最小直径部の引張圧縮変位 $\pm \Delta d$ 、結果的には、引張圧縮塑性ひずみ $\pm \Delta \epsilon_p$ を制御していることになる。ある大きさの引張圧縮塑性ひずみ $\pm \Delta \epsilon_p$ にて繰り返した時に、このひずみを維持するために必要な荷重、応力は、繰り返しひずみ硬化のため、繰り返しと共に上昇し、繰り返し数と共に変化するヒステリシスループは変化し、ひずみ硬化のため、引張、圧縮の制御ひずみ値における応力値は上昇し、その後、飽和する。このときの応力を飽和応力 $\Delta \sigma_s$ と定義する。引張圧縮塑性ひずみを変えて、これに対応する飽和応力を求めると

$$\Delta \sigma_s / 2 = \sigma_a = \sigma_0 (\Delta \epsilon_p / 2)^\beta$$

の関係が得られる。ここに、 σ_0 : 材料定数、 β : 繰り返しひずみ硬化指数である。この式を繰り返し応力-ひずみ関係式という。疲労き裂先端の微小塑性領域における応力とひずみの関係は上式となっている。

本研究では、底炭素鋼を用いて、繰り返し応力-ひずみ関係に及ぼすフェライト結晶粒大きさの影響を明らかにすることを目的とする。

2. 供試材および実験方法

実験に用いた材料は S15C 材で、化学成分を Table.1 に示す。

Table.1 S15C 材の化学成分 (wt%)

Specimen	C	Si	Mn	P	S
S15C	0.16	0.22	0.46	0.02	0.023

この供試材を、真空焼鈍炉で熱処理をすることにより、異なるフェライト結晶粒大きさを得た後、試験片に加工し、その後、600°Cで1時間保持のひずみ取り熱処理を行った。

Table.2 フェライト結晶粒大きさ

Specimen	Mean Grain Diameter, d (μm)	ASTM No.
A	17	8.9
B	44	6.0
C	62	5.0
D	144	3.3

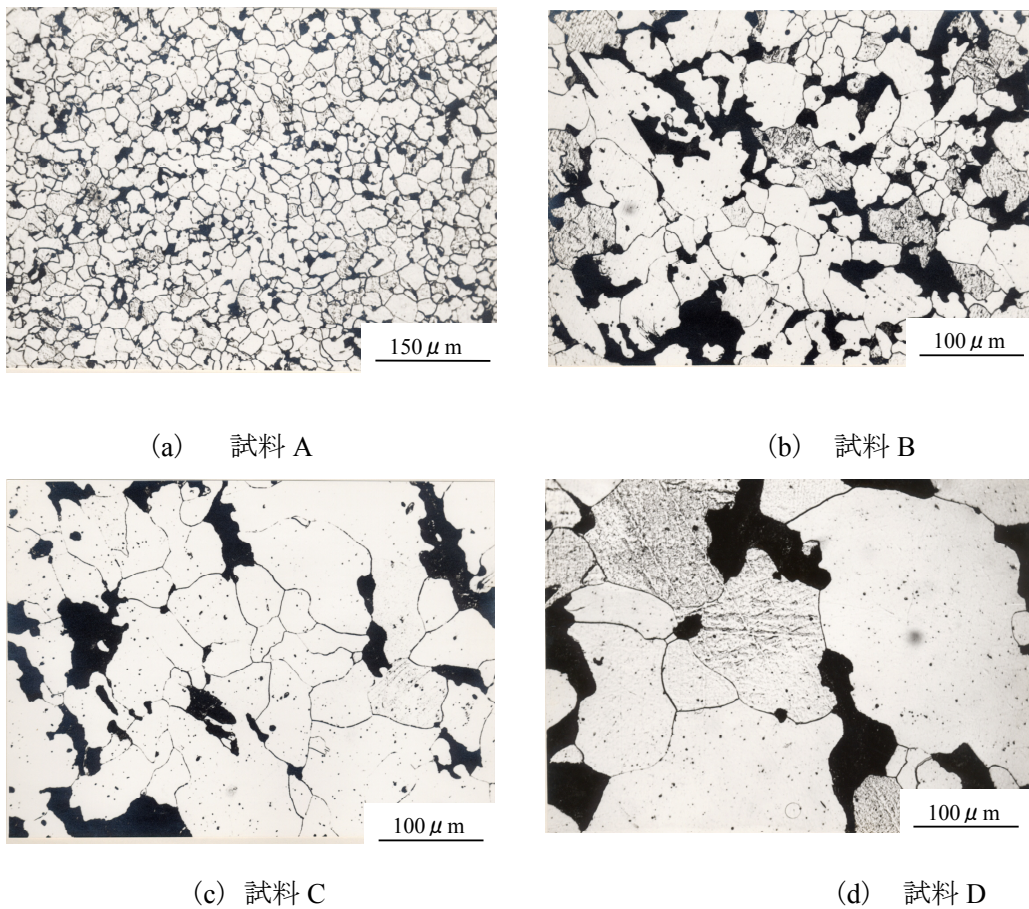


Fig.1 試料の組織写真

疲労試験は、最小断面部の直径が 8mm の砂時計型の試験片で、自作した差動トランス型変位計で、最小断面部の直径の引張圧縮変位を完全両振りの条件で制御した。繰り返し速度は 5 cycle/min である。また、引張試験を行い、この場合のひずみ硬化指数も求めた。

3. 実験結果および考察

Fig.2. に下降伏応力 σ_y のフェライト結晶粒大きさ依存性を示す。ほぼ直線になり、Hall-Petchの式に従う。 $\sigma_y = 90.0 + 21.6d^{-1/2}$ が得られた。

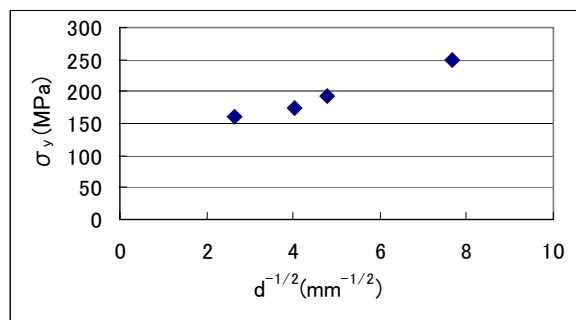


Fig.2 下降伏応力 σ_y のフェライト結晶粒大きさ依存性

引張試験の結果を Table.3 に示す。降伏後の応力-ひずみの関係は、

$$\sigma = \sigma_{sta} \varepsilon_p^\lambda$$

の式で表されるが、両対数で表すと、2つの傾きを有する直線になり、ひずみ硬化指数は、塑性ひずみ $\varepsilon_p = 0.1$ 以下では λ_1 、 $\varepsilon_p = 0.1$ 以上では、 λ_2 で表すことができる。Table.3 にこれらの値を示す。

Table.3 静引張特性

Specimen	σ_y (MPa)	λ_1	λ_2
A	249	0.36	0.24
B	194	0.37	0.25
C	175	0.38	0.26
D	160	0.39	0.26

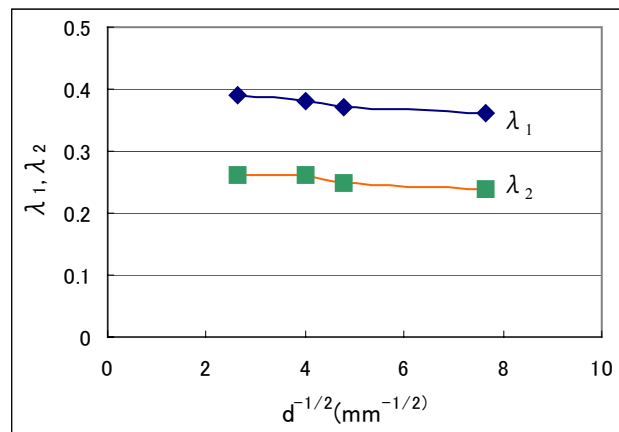


Fig.3 静引張の場合のひずみ硬化指数のフェライト結晶粒大きさ依存性

繰り返し応力-ひずみ関係における σ_0 と β の値を Table.4 に示す。フェライト結晶粒大きさ $d = 0.017 \sim 0.144$ mm の範囲では、繰り返しひずみ硬化指数 $\beta = 0.23 \sim 0.30$ の値が得られ、Fig.3 に繰り返しひずみ硬化指数のフェライト結晶粒大きさ依存性を示した。繰り返しひずみ硬化指数は静的ひずみ硬化指数のフェライト結晶粒大きさ依存性と同様な傾向にあることがわかる。

Table.4 繰り返し応力-ひずみ関係

Specimen	d (mm)	σ_0 (MPa)	β
A	0.017	1097	0.23
B	0.044	1254	0.26
C	0.062	1274	0.28
D	0.144	1372	0.30

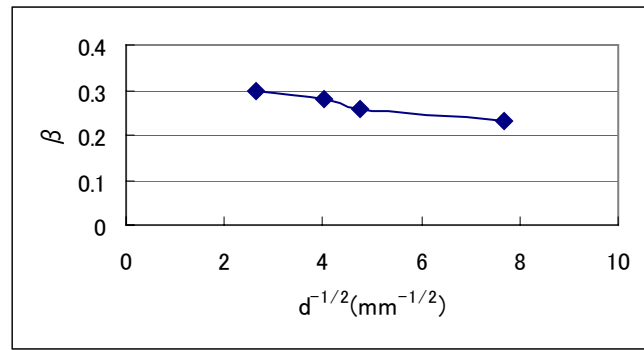


Fig.4 繰り返しひずみ硬化指数のフェライト結晶粒大きさ依存性

4. まとめ

炭素鋼を用いて、繰り返し応力-ひずみ関係に及ぼすフェライト結晶粒大きさの影響を調べた結果次の結果が得られた。

- (1) 下降伏応力 σ_y のフェライト結晶粒大きさ d の関係は、Hall-Petchの式に従い、

$$\sigma_y = 90.0 + 21.6d^{-1/2}$$
 が得られた。
- (2) 静引張の場合のひずみ硬化指数は、塑性ひずみ $\varepsilon_p = 0.1$ 以下では λ_1 、 $\varepsilon_p = 0.1$ 以上では、 λ_2 で表すことができる。
- (3) 静引張の場合のひずみ硬化指数はフェライト結晶粒大きさ依存性がある。
- (4) フェライト結晶粒大きさ $d = 0.017 \sim 0.144 \text{ mm}$ の範囲では、繰り返しひずみ硬化指数 $\beta = 0.23 \sim 0.30$ の値が得られた。繰り返しひずみ硬化指数のフェライト結晶粒大きさ依存性は静引張の場合のひずみ硬化指数と同傾向にある。

* 下記論文より抜粋

T.Yokobori, H.Ishi, N. Koyama, THE EFFECT OF FERRITE GRAIN SIZE ON THE CYCLIC STRESS-STRAIN RESPONSE OF LOW CARBON STEEL, Scripta METALLURGICA Vol.13. pp515-517, 1979.