

Evaluation for Gigacycle Fatigue Strength of Chromium Molybdenum Steels

Nobuyuki MIYAMOTO, Hiromitsu ASAI, Susumu MIYAKAWA,
Yoshiaki AKINIWA and Keisuke TANAKA

1 緒 言

近年、自動車部品に対する使用環境の苛酷化および長寿命要求がより一層強まっており、これらに適用される材料に対し 10^7 回を超えるギガサイクル域の疲労強度特性を評価することは、実部材の強度信頼性確保の観点から重要であるといえる。

本研究では焼き戻し温度を変化させることにより硬さを 2 水準としたクロムモリブデン鋼 SCM435 に関し、超音波疲労試験機を用いギガサイクル疲労強度評価を実施するとともに、製部品のギガサイクル疲労強度評価を行う際に不可欠な疲労強度予測手法について検討した。

2 供試材および実験方法

2.1 供試材および試験片 供試材はクロムモリブデン鋼 SCM435 であり、焼き戻し条件を変化させることにより硬度レベルを 2 水準とした。熱処理の焼入れ条件は $870^{\circ}\text{C} \times 90\text{min}$ で同じとし、焼き戻し温度を低硬度材で $570^{\circ}\text{C} \times 90\text{min}$ 、高硬度材で $180^{\circ}\text{C} \times 120\text{min}$ とした。高硬度材では同条件の熱処理で 2 ロット準備した。熱処理後のビッカース硬さは、低硬度材 (A と称す) で HV333 であり、高硬度材は HV545 (B-1 と称す) と HV558 (B-2 と称す) であった。表 1 に熱処理条件およびビッカース硬さを示す。図 1 に試験片形状寸法を示す。

2.2 試験方法 疲労試験には(株)島津製作所製超音波疲労試験機 USF-2000 を用いた。この試験機では試験周波

Table1 Heat treatment and Vickers hardness

Mark	Material	Heat treatment	HV
A	SCM435	$870^{\circ}\text{C} \times 90\text{min}$ O.Q	333
		$540^{\circ}\text{C} \times 90\text{min}$ A.C	
B-1		$870^{\circ}\text{C} \times 90\text{min}$ O.Q	545
B-2		$180^{\circ}\text{C} \times 120\text{min}$ A.C	558

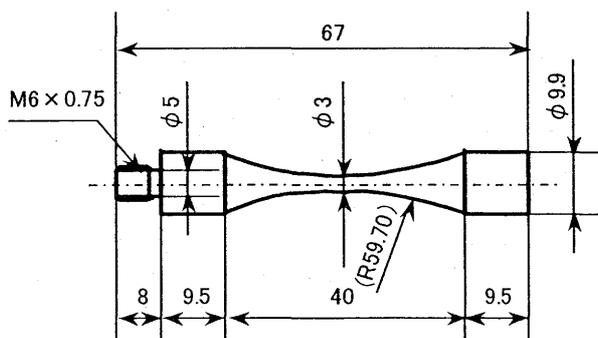


Fig.1 Shape and dimensions of specimens

数約 20kHz、応力比 $R=-1$ の引張り圧縮疲労試験が実施可能である。なお、試験片の発熱対策として、試験片 $\phi 3\text{mm}$ 部両側より約 10°C の冷風を吹き付けるとともに、試験片への負荷を断続的に停止させる方法を用いることとした^{(1),(2)}。試験片にき裂が入ると共振周波数が変動する。この変動幅が 0.1 kHz となったときに試験片の破断とみなした。なお、試験はすべて室温大気中にて実施した。

3 実験結果

3.1 S-N 線図 図 2 に A, B-1 および B-2 の疲労試験結果を示す。図中の矢印付き白抜き記号はその回数で未破断であったことを示している。また、図中の記号“Y”は破壊起点が特定できなかった試験データを示している。その他の試験片の破壊はすべて内部または表面に近接する欠陥を起点としていた。

低硬度の A 材では、その疲労線図の傾きが小さく、試験結果は 3×10^6 回までで破壊した試験片と 6×10^7 回を超えて破壊した試験片とに大きく分かれている。高硬度材の B-1 および B-2 材では、それらの疲労線図はほぼ一致しており、傾きは A 材に比較し大きくなっている。

また、A 材の超寿命側データが B-1 および B-2 材の疲労線図の延長上に位置しているとともに、 10^9 回における A 材および B-2 材の疲労強度がほぼ一致している。両材の硬さが大きく異なっていることから破壊起点の欠陥寸法の影響が考えられるが、詳細は今後の課題である。

3.2 破面観察結果 電解放出形走査電子顕微鏡により破面観察を実施した。上述のように全ての試験片で破壊起点には欠陥が認められ、さらに A 材では 7×10^7 回以上

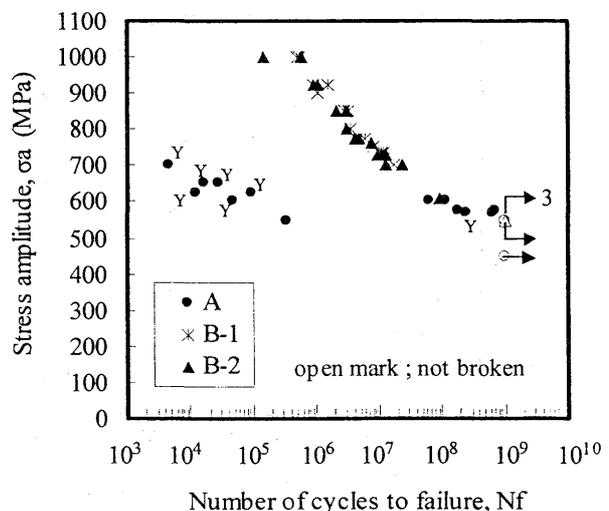


Fig.2 S-N diagram

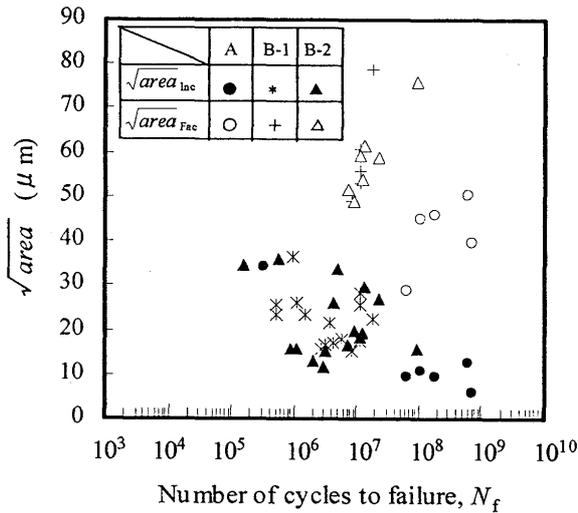


Fig.3 Relationship between N_f and \sqrt{area}

の試験片に、B材では 7×10^6 回以上の試験片にファセット状破面が認められた。図3に繰返し数と破壊起点の欠陥寸法 $\sqrt{area_{inc}}$ およびファセット領域を含め欠陥寸法とした $\sqrt{area_{fac}}$ の関係を示す。

$\sqrt{area_{inc}}$ に着目すると A 材の値が B-1, B-2 に比べ小さくなっている。また、 $\sqrt{area_{fac}}$ は、A 材ではややばらつきが大きいものの、繰返し数が大きくなるにつれ大きくなる傾向が認められる。

4 考 察

4.1 \sqrt{area} パラメータモデル 上述の結果を用い、村上によって提唱され、次式で表される \sqrt{area} パラメータモデル⁽³⁾の適用を試みた。

$$\sigma_{w,inc} = C \cdot (HV + 120) / (\sqrt{area_{inc}})^{1/6} \quad \dots (1)$$

ここで、係数 C は内部欠陥起点の場合 1.56、表面近接欠陥を起点とする場合は 1.41 である。図2の縦軸を $\sigma_{w,inc}$ で無次元化した修正 S-N 線図を図4に示す。図2において B 材の線図と大きな差が認められた A 材短寿命データの1点が図4の整理によりほぼ同一線上に位置している。

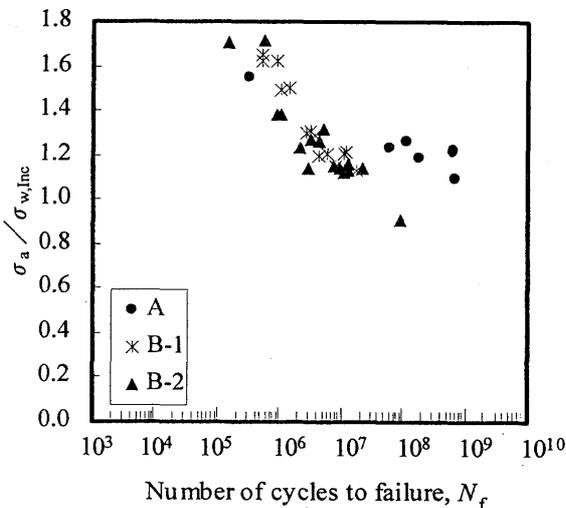


Fig.4 The modified S-N diagram by $\sigma_{w,inc}$

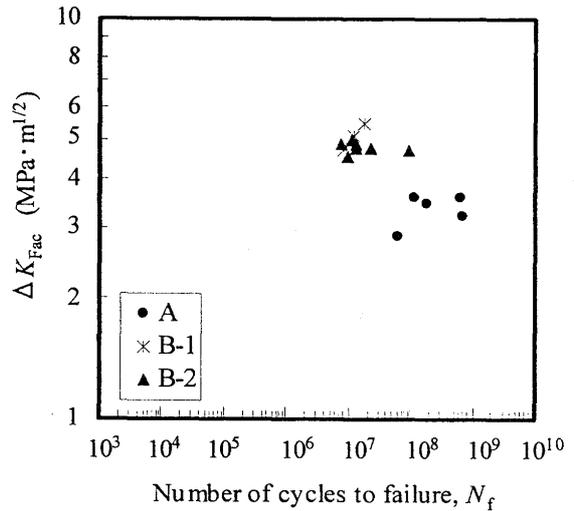


Fig.5 Relationship between N_f and ΔK_{Fac}

一方、図2において B 材の線図の延長上に認められた A 材長寿命データが、図4では高強度側に位置しているのが分かる。著者らはこれまで欠陥寸法の異なる材料に対し、 \sqrt{area} パラメータモデルにより疲労線図が狭いバンドで表現できることを示してきた^{(1), (2)}が、今回はそれらと異なる結果となっている。(1)式の \sqrt{area} に $\sqrt{area_{fac}}$ の値を代入して整理した場合においても図4と同様の傾向が認められており、これらの詳細は今後の課題である。

4.2 応力拡大係数範囲 さらに、 $\sqrt{area_{fac}}$ の値を用い村上⁽⁴⁾による次式による応力拡大係数範囲を算出した。

$$\Delta K_{Fac} = F \cdot \sigma_a \sqrt{\pi \sqrt{area_{fac}}} \quad \dots (2)$$

ここで、係数 F は内部欠陥起点の場合 0.5、表面近接欠陥起点の場合 0.65 である。図5に ΔK_{Fac} と繰返し数の関係を示す。A 材は $\Delta K_{Fac} = 2.8 \sim 3.6 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 、B 材は $\Delta K_{Fac} = 4.5 \sim 5.5 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ であり、両者の値に差異が認められる。 $N_f = 10^8$ 回における A および B-1 材のデータに着目すると試験応力が同じであるにもかかわらず ΔK_{Fac} の値に差異が認められるのは、本材料においても ΔK_{Fac} の欠陥寸法依存性が現れたものである^{(2), (5)}と考える。

5 結 言

1) 低硬度材の疲労線図は傾きが小さく、試験結果は 3×10^6 回までの短寿命と 6×10^7 回を超える長寿命領域とに大きく分かれた。また、ロットの異なる高硬度材の疲労線図はほぼ一致し、その線図の延長上に低硬度材の長寿命データが位置する結果となった。

2) \sqrt{area} パラメータモデルを適用した結果、低硬度材の長寿命データを除き疲労線図が狭いバンドで表された。低硬度材の長寿命データはやや高強度側にシフトする結果となっており、詳細は今後の課題である。

3) ΔK_{Fac} の値は、A 材で $2.8 \sim 3.6 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 、B 材では $4.5 \sim 5.5 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ であり、試験応力および欠陥寸法の評価結果より ΔK_{Fac} の欠陥寸法依存性が現れているものと考える。

[参考文献 省略]