

沼津高専 ○西田友久 富山商船高専 水谷淳之介 吉田高校 佐藤公彦
長岡技科大 武藤睦治 川邑研究所 川邑正広 沼津高専 鈴木景祐

Effect of Solid Lubricant Film on Fretting Fatigue Strength of Steel

Tomohisa NISHIDA, Junnosuke MIZUTANI, Masahiko SATOH
Yoshiharu MUTOH, Masahiro KAWAMURA and Keisuke SUZUKI

1. 緒 論

SCM (クロムモリブデン) 鋼は強度も靱性も高いため、自動車のフレーム、車軸やロボットアームなどに広く採用されている。そのような箇所では微小な相対すべりを伴うこともあるため、フレッティング疲労強度特性についても十分検討する必要がある。また著者らはアルミニウム合金のフレッティング疲労強度低下防止策として固体潤滑被膜が有効であることを明らかにしている¹⁾。

そこで本研究では、SCM 鋼のフレッティング疲労特性を調査するとともに、その後、接触片に固体潤滑被膜を施してフレッティング疲労試験を行い、フレッティング疲労強度に及ぼす固体潤滑被膜の影響について検討した。

2. 実験方法

供試材として、試験片および接触片に SCM435 鋼を用いた。また、接触片には未処理のものと二硫化モリブデン系およびフッ素系固体潤滑被膜処理 (いずれも膜厚 $10\mu\text{m}$) を施したものとの3種類を用いた。以後、表面処理を施していないものを未処理材、二硫化モリブデン系固体潤滑被膜を施したものをM材、フッ素系固体潤滑被膜を施したものをF材と呼ぶ。

通常疲労試験片は直径6mm、平行部20mmの平滑丸棒試験片を用いた。また、フレッティング疲労試験片は直径10mm、平行部45mmの丸棒試験片から、接触片が接触する標点部平面を8mmの二面幅に加工した。接触片は厚さ4mm、長さ20mm、脚長2mmのブリッジタイプを用いた。通常疲労試験およびフレッティング疲労試験はいずれも容量98kN油圧サーボ式疲労試験機を用いて完全両振り (応力比 $R=-1$) の正弦波、繰返し速度10~20Hzの荷重制御の条件で行った。フレッティングは試験片の中央の平行部に接触片一對をブルービングリングにより押付けて起こさせ、接触面圧は100MPa一定となるよう調整した。また、試験片と接触片の間の接線力は接触片裏側に貼付したひずみゲージにより測定した。なお、フレッティング疲労試験は日本機械学会基準JSME S 015に準じている。

3. 実験結果及び考察

Fig. 1に未処理材の通常疲労試験およびフレッティング疲労試験により得られた結果S-N曲線を示す。図より未処理材の繰返し数 10^7 回での通常疲労強度 σ_w およびフレッティング疲労強度 σ_{wf} はそれぞれ550MPaおよび170MPa程度であり、通常疲労強度に対するフレッティング疲労強度の比 (σ_{wf}/σ_w) は1/3程度となり、フレッティングの作用により強度は著しく低下した。また、同図には、固体潤滑材を施した場合のフレッテ

ィング疲労強度も示してある。図よりM材のフレッティング疲労強度は未処理材に比べて著しく向上したが、繰返し数が 10^6 回以降では徐々に低下する傾向を示した。一方、F材のそれは繰返し数 10^6 回程度までは通常疲労強度と同程度の強度を保つが、その後急激に低下し、次第に未処理材のフレッティング疲労強度に接近した。

フレッティング疲労強度には、試験片と接触片の間の接線力が大きな影響を及ぼすことはこれまでの研究で知られている²⁾³⁾。そこで接線力振幅F aと押付け力Pとの比 ($F a/P$) で定義した接線力係数と相対すべり量の関係をFig. 2に示す。図中の接線力係数は、それが十分に安定するときの繰返し数 (2×10^4 回) に測定した値を用いた。図より未処理材の接線力係数は、相対すべり量の増加とともに増大し、0.7程度で飽和する傾向を示した。また、M材およびF材の接線力係数は0.1~0.2程度であり、未処理材に比べて著しく低い値をたつた。このように低い接線力係数が固体潤滑材を施した場合のフレッティング疲労強度を著しく向上させた主要因であると考えられる。ただし、F材の接線力係数はM材のそれに比べて小さいにもかかわらず、フレッティング疲労強度は繰返し数の増加とともに低下する傾向を示していた。そこで、応力振幅380MPaにおいて繰返し数にともなう接線力係数の変化を詳細に測定した結果をFig. 3に示す。図より未処理材およびM材の接線力係数は、繰返し数によらずそれぞれ0.6および0.2程度の一定値を保っていた。F材

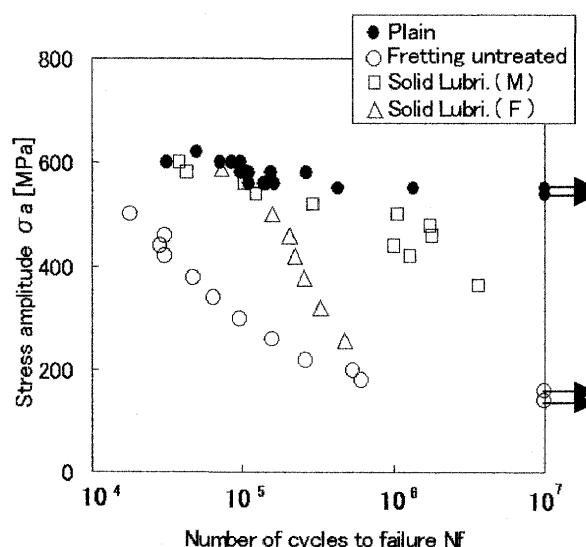


Fig.1 S - N curve.

のそれは繰返し数の少ない領域では 0.1 程度の低い値を示しているが、繰返し数の増加とともに徐々に増加し 10^5 回以降急激に高い値を示した。

フレッティング疲労試験終了後、接触片のフレッティング表面を走査電子顕微鏡 (SEM) により観察した一例を Fig. 4 に示す。同図(a)および(b)はM材の観察例であり、表面損傷はほとんど認められなかったのに対し、F材の巨視的観察例(同図(c))は表面損傷が激しく接触片端部付近では被膜ははく離しているようにも見受けられ、その幅は $500\mu\text{m}$ 程度であった。また、その微視的観察例(同図(d))によると表面の一部では被膜がフレーク状になってはく離を起こしている様子も確認された。

M材およびF材の接触片端部近傍のフレッティング部を成分分析した結果を Fig. 5 に示す。M材は同図(a)に示す通り固体潤滑被膜の成分である二硫化モリブデンやアンチモン等が検出され接触片の母材である鉄成分がほとんど確認されないことから、被膜ははく離していないものと考えられる。しかし、F材では同図(b)のように母材の鉄成分が検出され、被膜が完全にはく離している箇所が存在した。このことより、F材のフレッティング疲労強度がM材ほど向上しなかったのは、フッ素樹脂が耐クリープ性に劣るために繰返し数の増加とともに被膜のはく離を生じ、金属同士の接触となって接線力係数を上昇させたためと推察される。

結言・参考文献 省略

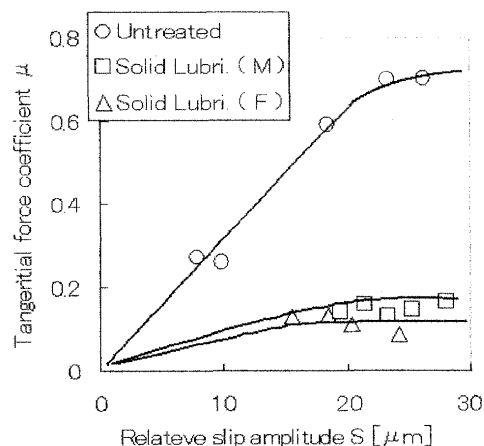


Fig.2 Relationship between tangential force coefficients and relative slip amplitude.

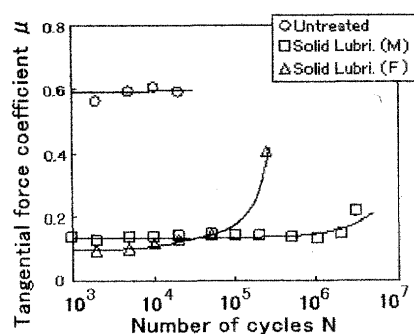
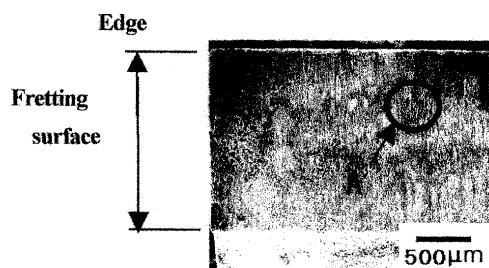


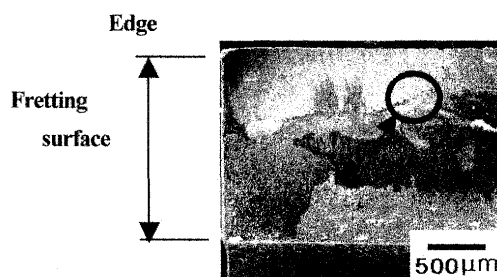
Fig.3 Relationship between tangential force coefficient and number of cycles ($\sigma_a=380\text{MPa}$).



(a) solid lubricant film (M)



(b) high magnification view of A

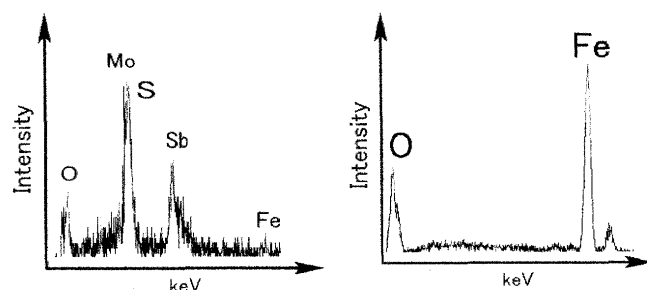


(c) solid lubricant film (F)



(d) high magnification view of B

Fig.4 SEM observations of the contact pad surface after fretting fatigue test.



(a) solid lubricant film (M)

(b) solid lubricant film (F)

Fig.5 EPMA results of the contact pad coated with solid lubricant film after fretting fatigue test.