

115 FC250 の摺動摩耗特性

Sliding wear behavior of FC250

○学 館 ゆかり (富山大・院) 正 石原 外美 (富山大) 正 五嶋 孝仁 (富山大)

Yukari Tachi, Sotomi Ishihara, Takahito Goshima
Dept. of Mechanical Engineering, Toyama University, 3190 Gofuku, Toyama, JAPAN

Key Words : Sliding wear, Wear amount, Wear constitutive law, FC250

1. 緒言

摩擦・摩耗などにより機械要素摺動部の機能停止, また機能精度低下を招くことがある。これまで摺動摩耗によって生じる材料の摩耗量に関する式として Archard の式がよく用いられているが, 著者らのホワイトメタルに関する研究では, Archard の式が適用できないことがわかった。

本研究では油・空圧機器, 工作・一般産業機械, 自動車等の輸送機器等に広く使用されている FC250 (共晶状黒鉛鋳鉄) を用いて摺動摩耗実験を行い, 摺動摩耗寿命, 摩耗量の変化特性, 摩耗の構成則について調査した。また, 回転型の一方向摺動摩耗実験と往復型摺動摩耗実験が, 摺動摩耗特性にどのような影響を与えるかを明らかにすることを目的とした。

2. 試験片及び実験方法

2-1 試験片 一方向及び往復実験に使用した試験片素材は, 共晶状黒鉛鋳鉄の FC250 である。FC250 の化学成分を Table1 に示す, 機械的性質は引張り強さ: 250-350MPa, 硬度値: HRB=75-95 である。図 1(a) に, 一方向摺動摩耗実験に用いた試験片形状を示す。試験片と摺動させる相手方円板の金属素材は合金工具鋼(JIS G4404)の SKS3 である。図 1(b) に往復型摺動摩耗実験に用いた試験片形状を示す。試験片と摺動させる相手方の材料は同様に SKS3 である。

Table1. Chemical composition of specimen

C	Si	Mn	Ti	Mg
2.9-3.8	1.8-3.4	0.1-1.0	0.1-0.3	0.003-0.02

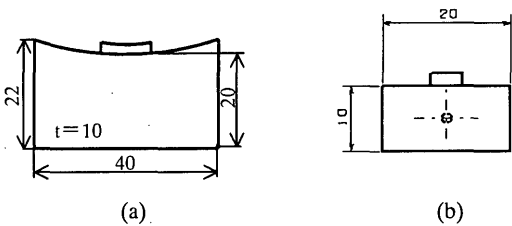


Fig.1 Shape and dimensions of specimen.

2-2 実験方法 一方向摺動摩耗実験並びに往復型摺動摩耗実験はそれぞれ図 2(a)及び(b)に示す摩耗試験機を用いて行った。一方向摺動摩耗実験は, 試験片に静荷重を負荷しながら試験片と円板(D=200mm)を摺動させて行った。接触圧縮応力 σ は, $\sigma = P/BL$ により与えた。ここで, P : 負荷荷重, B : 試験片幅, L : 試験片長さである。一定の摺動速度 $N_{rev} = 300, 500 \text{rpm}$ のもとで, $\sigma = 8 \sim 100 \text{MPa}$ の種々の圧縮応力のもとで実験を行った。また円板下部を油槽に浸け, 円板の回転により常時潤滑油が試験片と円板の摺動部に掻き上げられるようにした。

使用した潤滑油は ISO VG 32 (動粘度 $28.8 \sim 35.2 \text{mm}^2/\text{s}$, 40°C) である。

また図 2(b)の往復型摺動摩耗実験では, 試験片に静荷重を負荷しながら試験片とスライダ部を摺動させて行った。任意の時間毎に実験を中断し, 試験片を超音波洗浄器で洗浄後, 重量測定を行い摩耗量を測定した。摺動面の観察はレプリカ法を用いて行った。

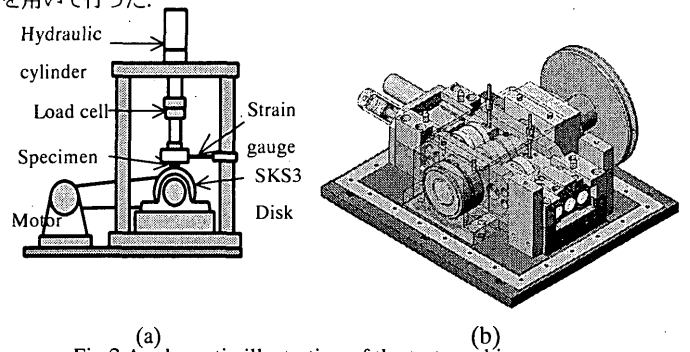


Fig.2 A schematic illustration of the test machine.

3. 実験結果および考察

3-1 垂直応力 σ と寿命 L_f の関係 図 3 は圧縮応力 σ と摩耗寿命 L_f の関係を両対数グラフ上にプロットしたものである。図中には, 往復型摺動摩耗実験及び一方向摺動摩耗実験の結果を示した。摩耗量の経時変化を調査するために, 実験は全て任意の時間で中断しながら行った。摩耗寿命 L_f は試験片が軟化し焼き付き状態に至った時点と定義した。また, 図中の右方向の矢印は, 損傷寿命に至らず試験を打ち切ったことを示している。図より, 予想されることであるが圧縮応力の低下に伴い L_f が長くなり, 往復型摺動摩耗実験における全摺動距離 L_f は一方向摺動摩耗実験におけるそれよりも全体的に長くなるのがわかる。

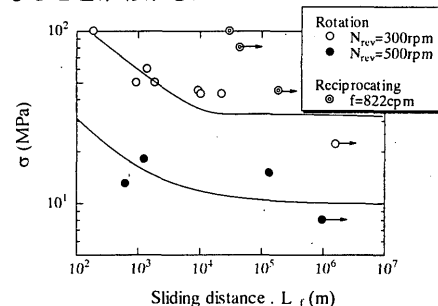


Fig.3 Sliding wear lives as a function of σ .

3-2 摩耗寿命に及ぼす摩擦応力の影響 図 4 に, 摩擦応力 $\bar{\tau}$ と摩耗寿命 L_f の関係を示す。ここで, 摩擦応力 $\bar{\tau}$ は $\bar{\tau} = \mu\sigma$

の関係より評価したものである。摩擦係数は摩耗過程で変化するので、寿命の 20~80%の安定した領域での値 ($\bar{\mu}$) を用いた。図より、摩擦応力を用いることにより回転速度の違いによる影響はほとんど見られず、一本の曲線で表示でき、摩擦応力によって寿命を求めることが可能である。従って、種々の軸回転速度のもとでの摺動摩耗寿命を決定する重要な因子として、摩擦応力が考えられる。図中の曲線については後述する。

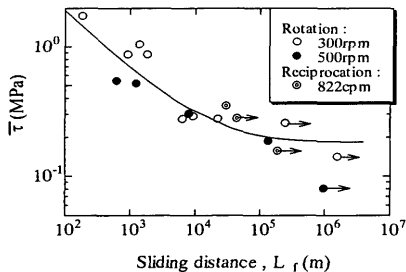


Fig.4 Sliding wear lives as a function of $\bar{\tau}$.

3-3 摩耗量の経時変化 図5は横軸に摺動距離をとり、縦軸に単位面積当たりの摩耗体積をとり、両対数グラフ上にプロットしたものである。軸回転速度 300, 500rpm で種々の垂直応力で実験を行った。図より応力が小さいものほど寿命中期における摩耗増加域のしめる割合が多いことがわかる。また、応力及び回転速度の増加にともない摩耗する速度が速いこともわかる。従って、摩耗量変化は応力と回転速度に影響を受けることがわかる。

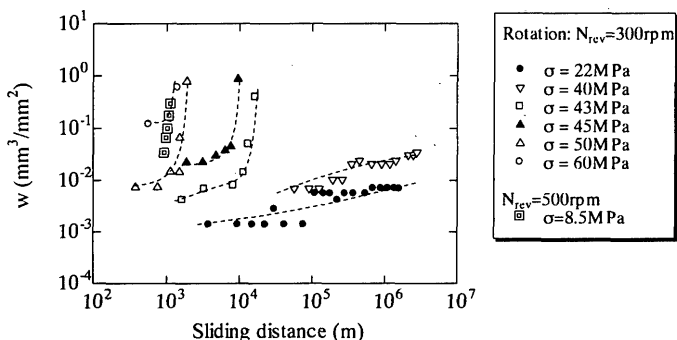


Fig.5 Change of the amount of wear.

3-4 摺動摩耗過程中の摩耗構成則

3-4-1 dw/dL と $\bar{\tau}w$ について 図5より軸一回転当りの摩耗量 dw/dL を求め、 dw/dL と $\bar{\tau}w$ との関係を両対数グラフ上にプロットした。その結果を図6に示す。図中のデータには初期摩耗のデータを含めていない。この初期摩耗期間は全摩耗期間の約 2 割である。図よりわかるように、 dw/dL 関係には圧縮応力 σ による影響が消失し、式(1)の関係が成立する。この関係は図6中に実線にて示してある。

$$dw/dL = A \left\{ \frac{1}{\bar{\tau}w} - \frac{1}{(\bar{\tau}w)_{th}} \right\}^2 \quad (1)$$

ここで、 A は材料により決定される定数であり、また $(\bar{\tau}w)_{th}$ は摩耗が生じないしきい値と考えることができる。本実験ではこれらの値として、 $A=0.085(\text{mm}^3/\text{N}^2 \cdot \text{rev})$, $(\bar{\tau}w)_{th}=5.5 \times 10^{-3}(\text{N}/\text{mm})$ なる値を得た。

3-4-2 $\bar{\tau} \cdot L_f$ 関係の導出 式(1)を初期摩耗量 w_0 から w まで積分すると次式が得られる。 w_0 は応力に依存しない定数と

仮定することにより、実験より決定できる。

$$\int_{w_0}^w \frac{1}{\left\{ \frac{1}{\bar{\tau}w} - \frac{1}{(\bar{\tau}w)_{th}} \right\}^2} dw = A \int_{L_0}^{L_f} dL \quad (2)$$

式(2)を積分し次式を得る。

$$\frac{1}{\bar{\tau}} \left(\frac{1}{\bar{\tau}w_0 - (\bar{\tau}w)_{th}} - \frac{1}{\bar{\tau}w - (\bar{\tau}w)_{th}} \right) = A(L - L_0) \quad (3)$$

$w=w_c$ において、 $L=L_f$ とおくことにより次式を得る。

$$\frac{1}{\bar{\tau}} \left(\frac{1}{\bar{\tau}w_0 - (\bar{\tau}w)_{th}} - \frac{1}{\bar{\tau}w_c - (\bar{\tau}w)_{th}} \right) = A(L_f - L_0) \quad (4)$$

式(4)において、 $L_f - L_0 \approx 0.8L_f$ と近似することにより摩耗

寿命 L_f を予測する式として次式を得る。

$$L_f = \frac{-1}{0.8A\bar{\tau}} \left\{ \frac{1}{\bar{\tau}w_c - (\bar{\tau}w)_{th}} - \frac{1}{\bar{\tau}w_0 - (\bar{\tau}w)_{th}} \right\} \quad (5)$$

実験値より、 w_0 は初期摩耗量 $0.03(\text{mm}^3/\text{mm}^2)$ と得られる。

式(5)を用いて計算によって得られた $\bar{\tau} \cdot L_f$ 関係を図4中に実線にて示す。図より計算結果は実験結果と良く一致しており、摩耗寿命の予測において本論文において提案した式(1)の摩耗構成則が有効であることがわかる。

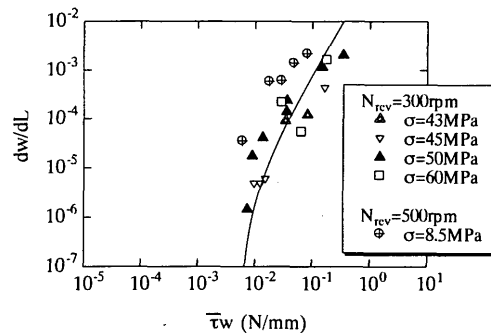


Fig.6 Relationship between $\bar{\tau}w$ and dw/dL .

3-5 試験片表面の観察 (一方向摺動摩耗実験) 任意の時間に実験を停止した後で、試験片表面にレプリカを貼り、光学顕微鏡で観察を行った。図7に実験条件が $\sigma=60\text{MPa}$, $N_{rev}=300\text{rpm}$, $L=1000\text{m}$ のときの表面写真を示す。図より亀甲型の穴があいていることが分かる。亀甲型の穴の大きさは約 $100\mu\text{m}$ である。

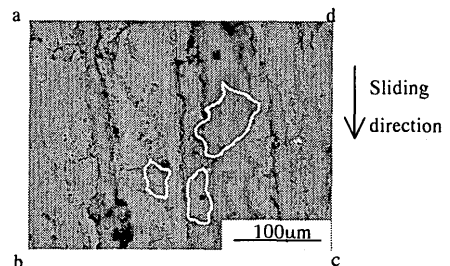


Fig.7 Appearance of sliding plane.

4. 結言

- (1) 摩耗寿命は摺動速度の増加に伴い短くなる
- (2) 摩耗寿命は摺動速度及び摩耗方式によらず摩擦応力 τ の大きさにより一義的に規定される
- (3) 摩耗構成則 $dw/dL=A\{\bar{\tau}w - (\bar{\tau}w)_{th}\}^2$ を用いることによって、一定応力下の $\bar{\tau} \cdot L_f$ 曲線を予測できる