136 高速・高面圧摺動条件下における球状黒鉛鑄鉄の摩擦・摩耗特性

Friction and wear of spheroidal graphite cast iron under high sliding speed and high contact pressure

○学 松浪 広高(阪産大院) 正 平佐多 敬二(阪産大) 正 林 和宏(阪産大)

Hiroataka MATSUNAMI, Keiji HIRASATA, Kazuhiro HAYASHI, Osaka Sangyo University, Nakagaito 3-1-1, Daito-shi, Osaka

To clarify the friction and wear characteristics of spheroidal graphite cast iron under the conditions of high sliding speed and high contact pressure, the friction and wear tests of sliding a cast iron pin on the mild steel disk were carried out by using the pin-on-disk type friction and wear test rig. The wear rate changed in three steps with the increment of sliding distance. On the other hand, the coefficient of friction decreased with the increment of sliding distance, and then it was settled in some constant value. These friction and wear of cast iron are strongly influenced by friction-induced temperature rise. So, the temperature rise of the cast iron pin near the sliding surface was measured by using the fiber-type radiation thermometer.

Keywords : Dry friction, Wear, Coefficient of friction, High sliding speed, High contact pressure, Spheroidal graphite cast iron

1. 緒 言

鑄鉄はブレーキシュー材として広く用いられており、その摩擦・摩耗特性についての研究はこれまでも多く行われているが、そのほとんどは比較的穏やかな摺動条件下におけるものである。しかし、ある種の非常ブレーキにおいては非常に過酷な摺動条件を要求される場合が多く、このような高速・高面圧摺動条件下での摩擦・摩耗特性については未解明な点が多い。そこで、本研究では、ピン・オン・ディスク式摩擦・摩耗試験機を使用して高速・高面圧摺動条件下での摩擦・摩耗特性を実験的に検討する。なお、実験は大気圧、室温下、無潤滑状態でを行い、試料ピンに6mm×3.25mmの矩形断面形状を持つ球状黒鉛鑄鉄を、回転円板に外径650mm、厚さ10mmの軟鋼を用いる。試料ピンに働く摩擦力、摩耗量、摩耗速度、摩擦面近傍の試料ピン側面温度を測定して、摩擦・摩耗特性を評価する。

2. 実験装置

本実験を行うために設計・製作したピン・オン・ディスク式摩擦・摩耗試験機をFig.1に示す。高速・高面圧で実験を行うので、試験中に回転円板の回転速度が変動しないように、十分な駆動トルクを持つモータおよび十分な慣性モーメントを持つフライホイール(回転速度を均一に保つための固定円板)を使用している。試料ピンはホルダーを介してロードセルに固定されており、エアシリンダーによってフライホイールに取り付けた回転円板に所定の接触面圧で押し付けられる。試料ピンに働く接触力および摩擦力は、ホルダーを介して試料ピンに取り付けられたロードセルによって同時に測定している。試料ピンの摩耗長さをホルダーの上部に設置した渦電流式非接触変位計を用いて測定した。また、ファイバー式放射温度計を用いて摩擦面近傍の試料ピン側面(1mm径円形部分)の平均温度を測定している。

3. 実験方法

試験は常温・大気圧・無潤滑状態において行った。試料ピンおよび回転円板面をアセトンで十分に洗浄・乾燥させた後、円板を一定の摺動速度で回転させた状態で試料ピンをエアシリンダーにより所定の接触面圧で回転円板に押し付けて摺動させる。試料ピンの摩耗長さがあらかじめ定められた値(本実験では約2mm)に達した段階でリミットスイッチ

の働きにより試料ピンを後退させ、回転円板から離して試験は終了する。また、試料ピンの温度変化はファイバー式放射温度計を集光部から100mm離れた所に固定して、摩擦方向入口近傍の試料ピン側面にレーザー光を当てて、測定する。

Fig.1 Experimental apparatus

4. 実験結果および考察

本研究で行った実験の摺動条件は接触面圧2, 4, 6, 8, 10, 15 m/sの6通り、接触面圧29.4, 49.0, 68.6, 98.0 MPaの4通りである。

4.1 摩擦係数および摩耗長さ

試料ピンに働く摩擦力を接触荷重で除した摩擦係数と摩耗長さの摺動開始時から試験終了時点までの経過をFig.2に示す。試料ピンの摩耗状態についてみると摺動開始時からしばらくの間比較的穏やかな摩耗状態である第1摩耗領域が存在し、その後、ある時点から摩耗速度が急増する第2摩耗領域に移行する。さらに摺動が進行すると、再び穏やかな摩耗速度になる第3摩耗領域へと移行する。各摩耗領域の移行点を遷移点と呼ぶ。摩擦係数は摺動開始時点から第2遷移点まで徐々に減少し、第3摩耗領域になると一定値に収束する。

Fig.2 Variations of wear length and coefficient of friction with sliding distance ($V=4\text{m/s}$, $P=49.0\text{MPa}$)

4.2 摩擦特性

各摺動条件における第2遷移点での摩擦係数と摺動速度の関係をFig. 3に示す。この第2遷移点での摩擦係数は接触荷重には依存しないが、摺動速度には著しく依存し、摺動速度が増加すると共に減少することがわかる。なお、Fig. 3中の実線は実験データに最小二乗法を適用して引かせたものであり、摩擦係数は次式で与えられる。

$$\mu = a \cdot V^b \cdots \cdots (1)$$

ここで、 $a = 0.46$, $b = -0.30$ で、 V は摺動速度 $[\text{m/s}]$ である。

4.3 摩耗特性

摩耗特性を評価する1つの目安として比摩耗量が用いられることが多く、これは次のように定義される。

$$W = v / (F \cdot L) = (A \cdot l) / (F \cdot L) = l / (P \cdot L) \cdots \cdots (2)$$

ここで、比摩耗量 $W [\text{mm}^3/\text{N}]$ 、摩耗体積 $v [\text{mm}^3] = A \cdot l$ (試料ピンの断面積 $A [\text{mm}^2]$ 、摩耗長さ $l [\text{mm}]$)、接触面圧 $P [\text{MPa}] = F/A$ (接触荷重 $F [\text{N}]$)、摺動距離 $L [\text{mm}]$ とする。

しかし、本研究で扱っているような高速・高面圧摺動条件下での摩耗特性の評価は比摩耗量では困難である。そこで、次式のような新しい物理量 W_m を導入する。

$$W_m = dv / (F \cdot dL) \cdots \cdots (3)$$

ここで、 dv は摺動距離の増分 dL に対する摩耗体積の増分である。この新しく導入した物理量 W_m は式 (2) で定義された比摩耗量と同様の次元を持つ物理量であり、修正比摩耗量と呼ぶ。式 (3) を変換すると

$$W_m = (A/F) \cdot ((dl/dt) / (dL/dt)) = i / (P \cdot V) \cdots \cdots (4)$$

ここで t は摺動中の経過時間であり、 i は試料ピンの摩耗速度である。これより、ここで導入した修正比摩耗量 W_m は摩耗速度 i と PV 値の比であることがわかる。各摺動条件における第3摩耗領域での修正比摩耗量と摺動速度の関係をFig. 4に示す。修正比摩耗量は接触荷重に依存せず、摺動速度に依存し、摺動速度が増加すると共に減少することがわかる。図中の実線は実験データに最小二乗法を適用して引かせたものであり、修正比摩耗量は次式で与えられる。

$$W_m = \alpha \cdot V^\beta \cdots \cdots (5)$$

ここで $\alpha = 2.34 \times 10^{-5}$, $\beta = -1.24$ である。

式 (4) と式 (5) から次式が得られる。

$$i = \alpha \cdot P \cdot V^{1+\beta} \cdots \cdots (6)$$

これより第3摩耗領域における試料ピンの摩耗速度は接触面圧に比例し、摺動速度が増加すると共に減少する。

Fig.3 Variation of Coefficient of friction with sliding speed at the second transition point

Fig.4 Variation of Modified specific wear amount with sliding speed in the third wear region

4.4 温度測定

摩耗面近傍の試料ピン側面の温度上昇と摺動距離の関係を摩耗が安定する第2遷移点における温度上昇と PV 値の関係で表した結果、 PV 値によらず約 600°C 程度で一定の温度になることがわかった。

5. 結 言

高速・高面圧摺動条件下での球状黒鉛鋳鉄の摩擦・摩耗特性をピン・オン・ディスク式摩擦・摩耗試験機により実験的に検討した結果、次のような結論を得た。

- (1) 摩耗特性については摺動開始時からしばらくの間、比較的穏やかな摩耗が進行する第1摩耗領域が存在し、その後急激な温度上昇と共に、摩耗速度も急増する第2摩耗領域に移行する。さらに摺動が進行すると、摩耗粉などが熱を持ち去って、温度上昇が減少すると共に摩耗速度も減少する第3摩耗領域へと移行する。
- (2) 摩擦特性については摺動開始時から第2遷移点まで減少し、第3摩耗領域に移行するとある一定値に収束する。第2遷移点における摩擦係数については、接触面圧には依存せず、摺動速度に依存し、摺動速度が増加すると共に減少する。

参考文献

- (1) 岡田 克巳, 潤滑 30-10 (1985), 733-738
- (2) 林 和宏, 平佐多 敬二, 村松 英明, 杉田 和彦, 機論, 61-535C (1995), 2044-2050
- (3) 林 和宏, 平佐多 敬二, 亀中 祐司, 杉田 和彦, 機論, 63-616C (1997), 4322-4327