226 実用金属材料のフレットング摩擦・摩耗特性に及ぼす雰囲気湿度の影響

Effect of Environmental Relative Humidity on Friction and Wear Characteristics of Engineering Metallic Materials under Fretting Conditions

○学 宮村 聡律 (福岡工大院) 正 後藤 穂積 (福岡工大)

Akinori MIYAMURA and Hozumi GOTO

Fukuoka Institute of Technology, 3-30-1, Wajirohigashi, Higashi-ku, Fukuoka 811-0295

The objective of the present study is to investigate the effect of environmental relative humidity (RH) on the friction and wear characteristics of engineering metallic materials, especially steels with different carbon content, under fretting conditions. Flat-against-ball type fretting wear tests for the steel disk in point contact with a bearing steel ball were conducted in moist air at an amplitude of relative slip (about 50 μm). From the results, the mean coefficient of kinetic friction during the tests decreases with increasing RH for the steels except cast iron. The relative humidity (RH_{max}) at which maximum wear appears tends to move to higher RH levels with increasing carbon content of the steels. It is known that adhesive wear is predominant at RH_{max} . However, RH_{max} seems to decrease with increasing carbon content above 1 %.

Key words : Friction and wear, Relative humidity, Engineering metallic materials, Fretting

1. 緒言

機械の故障原因の一つとして摺動部の摩擦・摩耗がよく挙げられるが、その中でフレットング摩耗と呼ばれる厄介な損傷がある。フレットング摩耗は接触する二つの固体間で接線方向に数 μm から数 10 μm の微小な相対すべりが繰返し作用する時の特異な摩耗現象を言う。

本研究の目的は、空气中・無潤滑下において相対湿度を変数として、実用金属材料(とくに、鋼)のフレットング摩擦・摩耗特性を調べることである。空气中・無潤滑状態で平面对球の点接触方式によるフレットング摩擦・摩耗試験を行い、試験中の繰返し数に伴う動摩擦係数の変化や摩耗挙動、試験後の摩耗痕寸法、摩耗深さなどを測定する。これらの結果から、フレットング条件下における炭素含有量の異なる鉄系金属、すなわち純鉄(以下 SUY)、炭素鋼(S15C, S25C, S35C, S55C)、軸受鋼(SUJ2)、工具鋼(SK3)、鋳鉄(FCD400)の摩擦・摩耗特性に及ぼす相対湿度の影響について調査・考察を行う。

2. 試験装置及び試験方法

2.1 供試材

ディスク試験片の供試材として、8種類の鉄系材料(SUY, S15C, S25C, S35C, S55C, SUJ2, SK3, FCD400)を用いた。全ての素材を直径 36 mm、厚さ 7 mm の円板に機械加工し、その端面を#80～#1500のエメリー紙で順次研磨して試験表面を得た。相手材の球試験片としては、直径 12.7 mm の市販軸受鋼球(SUJ2)を用いた。鉄系材料(ディスク)の化学成分を Table 1 に、軸受鋼(球)の化学成分を Table 2 に示す。また、ディスク試験片の試験前のビッカース硬さ Hv および中心線平均あらさ Ra を Table 3 に示す。

2.2 試験機及び試験条件

本試験に使用した試験機はフレットング摩擦・摩耗試験機であり(図省略)、平面对球の点接触様式のタイプである。従動側の負荷用アームに球試験片を、駆動側の主軸にディスク試験片を取り付けて両試験片を接触させ、アームの所定の位置に負荷用の重錘を吊し、所定の接触荷重を加え、この装置を雰囲気箱内に設置した。相対すべり片振幅 50 μm となるように偏心円板を調整し、往復運動の周波数を 6.66 Hz、駆動波形を正弦波、全繰返し数を 2×10^5 とした。空气中・無潤滑状態(温度 $24 \pm 0.3^\circ\text{C}$)、荷重 50 N の条件下で、雰囲気相対湿度を RH = 5～70 % の範囲で変数としてフレットング摩擦・摩耗試験を行った。

Table 1 Chemical composition of disk materials (SUY, S15C, S25C, S35C, S55C, SUJ2, SK3, FCD400) (JIS G 4051, wt%)

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mg
SUY	0.002	TR	0.04	0.00003	0.00002	0.001	0.001	0.001	
S15C	0.14	0.26	0.37	0.012	0.005	0.15	0.04	0.15	
S25C	0.28	0.17	0.48	0.019	0.016	0.18	0.05	0.12	
S35C	0.35	0.19	0.77	0.02	0.02	0.02	0.02	0.12	
S55C	0.53	0.18	0.77	0.23	0.3	0.12	0.06	0.15	
SUJ2	1.00	0.21	0.31	0.11	0.02	0.07	0.05	1.39	
SK3	1.06	0.35	1.02	0.07	0.14	0.09	0.08	0.46	
FCD400	3.45	2.85	<0.40	<0.15	<0.02				0.02

Table 2 Chemical composition of bearing steel ball (SUJ2) (JIS G 4805, wt%)

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo
SUJ2	0.95 - 1.10	0.15 - 0.35	0.50	< 0.025	< 0.025	1.3 - 1.6	0.25	0.25	0.08

Table 3 Vickers hardness Hv and centerline average roughness Ra of disk specimens

Materials	Vickers hardness, Hv (100 gf, 30 sec)	Centerline average roughness, Ra (μm) (2.5 mm, 0.30 mm/s, Cut off 0.8)
SUY	156	0.020
S15C	163	0.019
S25C	187	0.022
S35C	187	0.030
S55C	239	0.020
SUJ2	241	0.010
SK3	251	0.013
FCD400	183	0.020

3. 実験結果及び考察

3.1 摩擦係数

RH = 30 %、70 %で試験を行った場合における動摩擦係数 f_k の繰返し数に伴う変化を Fig. 1 示す。 f_k の変化が大きい繰返し数 $n = 1 \times 10^5$ までを初期、比較的 f_k の変化が安定している $n = 1 \times 10^5$ から 2×10^5 までの期間を後期と定義する。比較的低温度の RH = 30 %では、試験開始後、鋳鉄以外の材料では f_k が高い値から低下してほぼ一定の値をとる。高温度の RH = 70 %では、RH = 30 %の場合とは異なり、試験開始後 f_k は全ての材料で緩やかに上昇し、その後一定の値を示している。鋳鉄では他の鉄系材料と異なり、低温度においてグラファイトの自己潤滑作用で

試験開始後低い f_k 値が現れたと考えられる。鋳鉄以外の材料では、炭素含有量が異なっても f_k の変化傾向は同様であることが分かる。

試験中の平均動摩擦係数 f_{mk} と RH の関係を Fig. 2 に示す。試験開始から $n = 1 \times 10^5$ までの初期では、RH = 5 ~ 30 % の間で f_{mk} は一定の値をとっているが、RH の増加と共に f_{mk} が大きく減少している (Fig. 2)。また後期でも初期と同様に、RH = 5 ~ 30 % の間で f_{mk} は一定の値を示し、湿度の上昇と共に f_{mk} は緩やかに減少している。低湿度では空気中の水蒸気の量が少なく、高湿度では空気中の水蒸気が低湿度に比べて多い。そのため水蒸気がフレッシング面に凝縮して水滴となり、水膜として一種の潤滑剤の役割を示す。このため低湿度よりも、高湿度の方が f_{mk} が低くなると考えられる。

Fig. 1 Coefficient of kinetic friction as a function of number of fretting cycles

Fig. 2 Relationship between mean coefficient of kinetic friction and relative humidity

3.2 摩耗率

試験期間中におけるディスクの平均摩耗率 w_m と RH の関係を Fig. 3 に示す。なお RH > 70 % で摩耗面は液状水分の影響を受ける可能性があり、RH ≤ 70 % の場合と摩耗率の比較ができないため、今回は RH > 70 % の試験を行っていない。炭素含有量が最も少ない SUY の摩耗率が最も高く、また最も低い湿度側で w_m の極大値が現れている。炭素含有量の増加と共に w_m は低下するが、但し鋳鉄は例外である。

w_m の極大値が現れる相対湿度 RH_{max} と炭素含有量の関係を Fig. 4 に示す。RH_{max} では凝着摩耗が優勢であると言われている。SUY, S15C, S25C, S35C, S55C では炭素含有量の増加と共に RH_{max} が高湿度側に移動する傾向がある。しかし工具鋼や軸受鋼などある炭素含有量を超えると、RH_{max} は低湿度側に移動するようである。

ディスク材料のビッカース硬さ Hv (試験前) と WRH_{max}

の関係を Fig. 5 に示す。鋳鉄を除いて Hv の増加と共に WRH_{max} が減少するという一般的な傾向が認められる。

Fig. 3 Relationship between mean wear rate of disk specimens and relative humidity

Fig. 4 Relationship between RH_{max} and carbon content

Fig. 5 Relationship between Vickers hardness and mean wear rate of disk specimens

4. 結言

- (1) 鋳鉄を除く鉄系材料の動摩擦係数は、どの相対湿度でも共に同じような値を示し、大きい相違は見られない。また平均動摩擦係数は湿度の増加と共に減少するが、特に初期の平均動摩擦係数は湿度の増加と共に大きく減少する。
- (2) ディスクの平均摩耗率の極大値が現れる相対湿度は炭素含有量の増加と共に高湿度側に移動し、ある炭素含有量を境いに低湿度側に移動する傾向がある。また、平均摩耗率は鋳鉄を除いてディスク材料のビッカース硬さ (試験前) の増加と共に低下し、ある硬さ以上で飽和する。