銅系軸受メタルの潤滑摩耗*

西原利夫** 遠藤吉郎***

On the Wear of Cu-Alloy Bearing Metals in Lubricated Conditions

Toshio NISHIHARA and Kichiro ENDO

When a metal is lubricated with oil of higher acid value, the wear of the metal becomes greater under the same coefficient of friction, and is nearly proportional to the increment of the acid value of oil due to the wear testing. From this, we understand that the wear of lubricated metals is mainly a phenomenon of corrosion fatigue by the acidity of lubricant. The resistance for wear of various metals consisting of Cu-alloy is found to be influenced by the catalysis of each metals for the oxidation of lubricants. And by the formula introduced, the resistance for wear may be estimated qualitatively.

1. 緒 言

軸受メタルの潤滑状態における摩耗試験は少なく、その摩耗機構は明らかでない。乾燥摩耗において酸化が重大な要素となつてゐることは従来の研究により、よく知られており、潤滑摩耗においても摩耗粉末は酸化していることが知られている。金属の滑り摩擦においては、摩擦面は局部的にはなほだしく温度上昇していることは、Bowden その他の研究によつて明らかにされているところであつて、このような高温においては、潤滑油は酸化され、鋼軸の触媒作用の他に、軸受メタルによつては、これがいちじるしい触媒として、さらにその酸化を促進するであろう。この潤滑油の酸化生成物は金属に対して腐蝕作用をもつてこれを酸化し、摩擦力が加わることによつて、1種の腐蝕疲労、あるいは応力腐蝕の現象を呈する。これが摩耗に対して重要な因子となることは当然考えられるのであつて、先きのべたように、摩耗粉末が酸化していることから肯定される。

筆者らはこの見解から、先にケルメットの摩耗¹⁾に及ぼす潤滑油の酸度の影響について、研究を行つた。すなわち、触媒を用いて低温で加熱することによつて得られた種々の酸度の潤滑油を用いて、摩耗試験を行つた結果、Fig. 1 に示すように、使用潤滑油の酸価が高くなつたとき、摩擦係数はほとんど変化しないが、定常摩耗量は相当大きくなる。すなわち、酸度の大きい潤滑油は、メタルに対する腐蝕作用が強く、同一摩擦力に対しても破損を生じやすいため、摩耗量が增大すると考えられる。さらに、摩耗試験による潤滑油の酸

Fig. 1. Stationary wear and coef. of friction of a Cu-Pb alloy in wear tests with lubricants of various acid values.

価の増大量を測定した結果などを考察して、潤滑油の酸化の速度恒数 k は腐蝕作用の強さと、だいたい比例し、メタル材料の疲労強度を S とすると、定常摩耗量は、

$$W = C \frac{k}{S} \quad (1)$$

で表わされることが知られた。ここに、 C は試験条件による常数であり、 k は、

$$k = Ae^{-B/T} \quad (2)$$

で与えられる。 T は摩擦面における絶対温度であり、 B はメタルおよび摩擦の相手材料である鋼軸を触媒として、潤滑油を酸化させるときの反応の活性化エネルギーを示している。したがつて、メタル材料が異なるとき、耐摩耗性の比較には、潤滑油酸化における触媒作用が大きい影響を持つてゐることが考えられる。そこで、銅系の各種軸受メタルの耐摩耗性を、このような

* 昭和30年5月19日 材料試験協会総会にて講演

** 正員 京都大学工学部

*** 正員 広島大学工学部

Table 1. Chemical compositions and Brinell hardnesses of bearing metals.

No. of specimen	Material	Cu (%)	Sn (%)	Ni (%)	Zn (%)	Pb (%)	P (%)	S-Pb (%)	Al (%)	Mn (%)	H_B 500 kg
1	BC 20	86.0	7.0		7.0						98
2	BC 22	86.0	11.0	0.5	2.5						106
3	Phosphor bronze	89.38	10.5				0.12				101
4	10 "cp"	83.0	6.0	1.0		10.0					69
5	15 "cp"	81.5	3.0	0.5		15.0		0.45			60
6	20 "cp"	76.5	3.0	0.5		20.0		0.45			55
7	25 "cp"	71.5	3.0	0.5		25.0		0.45			54
8	30 "cp"	66.5	3.0	0.5		30.0		0.45			54
9	Manganese bronze	57.0			38.0				1.0	4.0	56
10	Naval bronze	59.5	0.5	40.0							79
11	BSC 17	85.0		15.0							63
12	Hard P-bronze	85.26	14.5				0.24				97

考えかたから説明することを試みてみた。

2. 摩耗試験

試験に用いた軸受メタルは、Table 1 に示した銅系の12種類である。同表に硬度を示す。メタル摩耗試験片の形状は Fig. 2 に示すように、接触面の投影面積 1cm^2 をもつ鞍形をしていて、これを 830 r.p.m. 、したがって、周速約 75 m/min. で回転する鋼軸の柱面に押しつけて試験を行つた。潤滑剤として白スピンドル油を用い、 $p=30\text{ kg/cm}^2$ にて摩耗試験を行い、充分初摩耗をとり除いた後の定常摩耗量 $W\text{ mg}/2\times 10^5\text{ rev.}$ を Fig. 3 に示す。潤滑油は軸受面をやつと潤滑しうる

極少量を用い、だいたい 15 cc/h 一定に保たれている。回転数 2×10^5 回の間に試験片の下にある油受に溜つた油の酸価を測定し、初めの酸価との差を酸価加量 Δa として、図示すると同図のようになる。また Fig. 2 のように、接触面より 2.5 mm 内側に $1\text{ mm}\phi$ の孔をあけ、熱電対を挿入して、摩擦面近くの温度上昇を測定したが、この定常値 T_0 をも同図に示す。図より定常摩耗量は、メタルの硬度より、むしろ温度上昇と関係があるようにみえるが、もちろん、比例関係などは認められない。

なお、この材料については、先にタービン油を用い

Fig. 2. Shape of specimens.

Fig. 3. Stationary wear, temperature rise, increment of acid value of oil under lubrication of spindle oil and Brinell hardness of bearing metals.

Fig. 4. Stationary wear and temperature rise versus bearing pressure under lubrication of spindle oil.

て簡単な摩耗試験を行つたことがある。この場合、No. 10は温度上昇がはなはだしく、速かに焼付を生じたが、No. 11は、一旦、温度上昇した後、低下して比較的低い温度に落着いた。この材料は定常摩耗量は少なかったが、焼付に対して不安定であるといえる。また、耐摩耗性の優劣は現在の試験結果とやや異なるところがあるので、数種の材料について、荷重を変化させて摩耗試験を行つてみた。その結果は Fig. 4 にみるように、荷重 p を増大して行くと、摩耗量に極大と極小が現われる。温度上昇もこれに相応して変化しており、試験条件が変わつたときの耐摩耗性の变化も、温度上昇を測定することによつて知りうるようである。

3. 考 察

定常摩耗量 W が (1) 式で表わされることは前に述べたとおりである。しかし、(1) 式は一定材料に対し、酸度の異なる潤滑油を用いて摩耗試験を行つたとき、その酸度の増加率 Δa 、したがつて、 k が変化し、定常摩耗量が k に比例するという結果より、 k はまた腐蝕の強さを表わすと考えて得たものであつて、材料が異なるとき、それぞれの耐蝕性の相異のため、摩耗量は k に比例するか否かわからない。しかし D. Sawyer の実験によると、種々の金属を触媒として潤滑油を酸

化させるとき、油の酸化の程度と、その際における腐蝕による金属の容積減少は、だいたい比例している。いま、疲労強度 S は硬度 H に比例していると考えると (1) 式は

$$WH = Ck \quad (3)$$

になる。Fig. 3 より WH と Δa の関係を求めると、Fig. 5 のように、だいたい直線にのり、この場合も (1) または (3) 式が成立することが知られる。

Fig. 5. Relation of product of stationary wear and hardness of metals versus increment of acid value of oil due to wear testing. Numbers by points indicate the No. of specimens.

さて、 $B = B_0 - B_1 - B_2$

とし、 B_0 は触媒作用のない潤滑油のみの場合の係数であり、 B_1, B_2 は摩耗試験において、鋼およびメタルの存在が触媒作用をなしたために変化する係数であるとする、この摩耗試験においては、潤滑油および鋼の速度恒数に及ぼす影響は一定であるから、 $(B_0 - B_1)$ は変化しない。メタルによつて変化するのは B_2 である。そこで各種メタルの触媒作用を比較するため、次の実験を行なつた。メタルの旋屑を粉碎して、節目 0.5~0.2 mm の間の粉末 5 gr. を触媒として、スピンドル油 40 cc の中へ混入し、180°C、2 時間加熱する。しかる後、各潤滑油の酸価を測定したところ、酸価の増大量 $\Delta a'$ として、Table 2 の値が得られた。メタルを入れないで、潤滑油のみの場合は、 $\Delta a' = 0.027$ である。これらの $\Delta a'$ は酸化の速度恒数に比例すると考えると、触媒のない場合の k_0' とメタル粉末のあるときの k' の比は、これら $\Delta a'$ の比で求められる。触媒のないとき、 $k_0' = Ae^{-B_0/T}$

触媒のあるとき、

$$k' = Ae^{-(B_0 - B_2)/T}$$

であるから、

$$B_2 = -T \log \frac{k_0'}{k'}$$

が計算される。得られた値を Table 2 に示す。この B_2 は実験条件によつて、変化するものであるが、摩耗

Table 2. The increment of acid value of oil with the catalysis of powders of various bearing metals and the product of stationary wear and hardness number.

No. of specimen	$\Delta a'$	B_2	$\frac{1000-B_2}{T_0}$	WH_B
0*	0.027	0		
1	0.230	965	1.25	44.0
2	0.215	931	3.63	10.6
3	0.243	952	1.50	46.5
4	0.215	931	2.30	26.2
5	0.230	965	1.67	29.4
6	0.228	960	1.86	30.3
7	0.225	953	2.64	21.6
8	0.215	931	4.31	16.2
9	0.228	960	2.42	25.2
10	0.240	984		
11	0.230	965		
12	0.223	946	1.54	52.4

* No. 0 means the case where metal powders are not added to oil as a catalyser.

試験においても, (2)式は次の形に表わされる.

$$k = Ae^{-b(D-B_2)/T} \quad (4)$$

T は摩擦面の絶対温度であつて, これは局部的には非常な高温に達しているが, 潤滑油の酸化に影響するのは, その最高温度だけではなく, ある平均値のようなものと考えられる. この点については, まだわかっていないが, 試験片の温度上昇の高い場合, 摩耗試験に用いたことによる潤滑油の酸価の増大量 Δa が大きかつたこと, および室温にては, 酸化はほとんど問題にならぬほど遅いことと合わせ考え, 接触面より少し内部で測定されたメタルの温度上昇 $T_0^\circ\text{C}$ と一応の関係があると考えて,

$$k = Ae^{-m(D-B_2)/T_0} \quad (5)$$

Fig. 6. Comparison between experimental results and equation (6). Numbers by points indicate the No. of specimens.

と表わしてみた. したがつて, (3)式は,

$$WH = Ce^{-m(D-B_2)/T_0} \quad (6)$$

になる. ここに m は材料の熱伝導度, 接触面における塑性的性質などによつて変化する常数, C は試験条件による常数である. D の値は試験条件をかえて摩耗試験をすることによつて, 推定することができるが, いま, 仮に $D=1000$ としたとき $(D-B_2)/T_0$ と, WH の実験値とを点にとると, Fig. 6 が得られる. 図中の曲線は (6) 式にて常数を選定して得られた.

$$WH_B = 140e^{-0.72(1000-B_2)/T_0} \quad (7)$$

であつて, 試験結果とだいたい一致している. 図における点の散乱は実験誤差のほか, 主として m を常数とした近似によると思われる.

4. 追加試験

前にあげた D. Sawyer の実験によると Al 合金, および 18-8 不銹鋼は銅に比して, 潤滑油酸化の触媒作用, およびその際における金属の腐蝕減量ははなはだ少ないことが知られた. したがつて, 前述の考えかたからすれば, これらは潤滑摩耗が非常に少ないことが推論される. これを確かめるために, 鉄-アルミニウムと 18-8 不銹鋼を用いて同様の摩耗試験を行つてみた. 鉄-アルミニウムにおいては, Fig. 3 に示すように, 潤滑油酸価の増大量 Δa も低く, 耐摩耗性が非常に強いことより, 上記の考えかたが確められた. 不銹鋼においては低荷重にても, 摩擦面がはなはだしく, かじりを生じ, ほとんど摩耗試験を続けることができない. これは同質摩耗によるためと考えられ, 摩耗の機構が全く異なり, 今の場合, 比較の対象とすることはできない.

5. 結 言

種々の銅系軸受メタルの潤滑摩耗試験を行い, 試験条件と耐摩耗性, および材料成分と耐摩耗性の関係について明らかにした. メタル種類による摩耗量の差は, そのメタルの潤滑油酸化に対する触媒作用の差によつて説明せられるという見地より, 耐摩耗性を判定する式を提案した. これは潤滑油の酸度によるメタルの腐蝕を問題にしているのであるから, 溶融摩耗の範囲には不適当であるが, 軸受メタルの常用荷重の近くでは, 試験結果をかなりよく説明するものである. 摩擦面における接触の状態が, まだ充分明らかにされていないため, 仮定された事項が多いが, これらは今後の研究によつて解明されることであつて, 少なくとも潤滑摩耗の機構の一つとして, 潤滑油による腐蝕が考えられねばならないことを強調するものである. 終りに, 本研究は服部報公会の援助を受けたことを記し, 謝意を表する.

注:一

1) 西原, 遠藤, 京大工研報, 4輯, p. 12 (昭28.9)

2) D. Sawyer, ASME Trans., Vol. 74, p. 113 (1952)