研 究

Mn-Znフェライトのアブレシブ摩耗 (第2報)*

——摩擦速度および潤滑油中の砥粒濃度の影響について——

三 好 和 寿** 田 中 久 一 郎** 村 山 智 —***

Abrasive Wear of Mn-Zn Ferrite (2nd Report)

——Effects of Sliding Speed and Abrasive/Carrier Fluid Ratio——

Kazuhisa MIYOSHI, Kyuichiro TANAKA, Tomokazu MURAYAMA

An investigation has been carried out to study the variation of wear rate of ferrites with variation of the carrier fluid (an olive oil and a kerosene), the sliding speed (0.05–1.0 m/s) and abrasive/carrier fluid ratio (5–50%). When the relatively high viscous olive oil is used, the wear rate decreases rapidly with increasing sliding speed. This seems to be due to increasing load carrying capacity of the oil. The wear rate obtained using the low viscous kerosene is no longer dependent upon the sliding speed. At low sliding speeds, the wear rate depends on the abrasive/fluid ratio, the ratio of 27% gives the maximum wear rate. At high sliding speeds, however, the wear rate is independent of the abrasive/fluid ratio. Surface roughness of worn surface in the olive oil depends on the sliding speed. The dependency is smaller than that of the wear rate. When the kerosene is used, the surface roughness is slightly dependent upon the sliding speed, and the abrasive/fluid ratio at any sliding speed. A discussion was made of the mechanism of abrasive friction. The friction force is the sum of two components, the contact rolling and scratching force of the abrasive F_D and the viscous drag force F_F . F_D is generally proportional to the contact pressure and it is independent of the sliding speed. F_F can approximately expressed as $F_F = \eta A (V_F/h)$. The thickness of oil film h estimated with this equation is slightly dependent upon the contact pressure, sliding speed and crystallographic plane of ferrite, respectively.

1. 緒 言

遊離砥粒によるフェライトのアブレシブ摩耗現象をビン-円板形摩耗試験機を用いて調べる際、ビン試料と円板間への砥粒の均等なる分配、摩耗粉の除去などの必要性から、砥粒を潤滑油中に混合し、その混合液を連続的に供給する方法で摩耗実験を行ってきた¹⁾。この場合、潤滑油の粘度、摩擦速度あるいは潤滑油中の砥粒濃度により、フェライトの摩擦、摩耗特性は著しく変化すると考えられるので、これらの点を明らかにする必要がある。また本研究は、従来から系統的には調べられていないフェライトの湿式ラッピングに対して基礎的な情報を提供する²⁾と考えられるので、すでに前報¹⁾で明らかにした砥粒粒度、接触圧力および摩擦面の微視的構造以外に、さらに上述の潤滑油、摩擦速度、潤滑油中の砥粒濃度などのいわゆるラッピング条件に相当する要素がフェライトの摩耗量(ラップ量に相当)に及ぼす影響を明らかに

することは、ラッピング加工の立場からも意義あることと考える。

以上の観点から、本報ではフェライトの摩耗に及ぼす潤滑油、摩擦速度、ならびに潤滑油中の砥粒濃度の影響について明らかにするとともに、このような場合の摩擦機構についても考察した。

2. 実験方法

前報¹⁾で使用した修正輪を有している回転円板形ラッピング装置と類似のビン-円板形摩耗試験機を用い、おもに接触圧力 P_n を 300 g/cm²、砥粒と潤滑油との混合液の供給量 Q_F を 1~6 cm³/min、砥粒を GC # 1000 として実験を行った。摩耗実験は、前報¹⁾と同様に砥粒を含んだオリーブ油あるいは灯油 (20℃ における動粘度はそれぞれ 85 cSt と 2.4 cSt である) をピペットで円板上に滴下して、砥粒をフェライト試料と円板の間に供給した。摩耗量と摩擦力の測定方法および使用した Mn-Zn フェライト試料の性状と諸寸法は前報¹⁾と同様である。なお試料の摩擦面は 6×5 mm の長方形である。実験はすべて室温 (18~28℃) で行った。湿度はほぼ 50~70% の範囲である。

* 原稿受付 昭和51年7月23日。昭和47年度精機学会秋季大会学術講演会(昭和47年11月1日)にて発表。

** 正会員 金沢大学工学部(金沢市小立野2-40-20)

*** 正会員 東京芝浦電気(株)(川崎市幸区小向東芝町1番地)

図1 オリーブ油を使用した場合における比摩耗量と摩擦速度との関係

図2 灯油を使用した場合における比摩耗量と摩擦速度との関係

3. 実験結果および考察

3.1 摩擦速度の影響

3.1.1 比摩耗量

まず、比較的粘度の高いオリーブ油を潤滑油として使用した場合のフェライトの比摩耗量 W_s (ラッピング加工における仕上能率に相当する量) と摩擦速度 V_F との関係調べた。その結果を図1に示す。実験において砥粒と潤滑油との混合液(濃度 C は混合液中に含まれる砥粒の重量%をもって表す)が過少の場合、鋳鉄円板上で混合液の油膜が破れるため、混合液の供給量 Q_F は摩擦速度によって1~6 cm³/min の範囲で変えた。図1から、フェライト単結晶の各結晶面および多結晶の比摩耗量は一般的に摩擦速度の増加につれて減少し、約0.5 m/s以上の速度ではほぼ一定になる傾向にあることがわかる。比摩耗量は低速($V_F=0.1$ m/s)において著しく大きく、高速($V_F=0.5$ m/s以上)における値の約2倍に近い。これは主として、摩擦速度が増加すると、オリーブ油の荷重分担割合が増加(油の負荷能力が増加)するので、

図3 オリーブ油を使用した場合における摩耗の速度特性に及ぼす結晶学的異方性の影響

みかけの接触圧力 P_n が摩耗に関与する砥粒に対して十分に作用しないことによるが、速度の増加によってフェライト試料の前縁で砥粒の介入を妨げる割合が大きくなり、試料と鋳鉄板間に侵入する大型の砥粒が減少することも寄与するかもしれない。

潤滑油として灯油を使用し、潤滑油以外は図1に示した実験と同一の条件で摩耗実験を行い、フェライトの比摩耗量と摩擦速度との関係も調べた。その結果を図2に示す。これから、比摩耗量は摩擦速度に依存せず、ほぼ一定であることがわかる。比摩耗量が摩擦速度に依存しないのは、灯油が低粘度であるためにその負荷能力が小さいことによると考える。なお、図1から明らかなように各結晶面間における摩耗量の違いは、摩擦速度を変化させた場合においても比摩耗量が多いものから順に並べると、多結晶>(111), (211)>(110), (100) となり、前報で述べた結果と同じである。次に単結晶の各結晶面における摩耗の結晶学的異方性についても調べたが、図3に例示しているように摩耗の異方性は摩擦速度を変化させた場合においても小さいことがわかった。

3.1.2 摩耗面の表面粗さ

摩耗面の表面粗さと摩擦速度との関係を調べた結果を図4に示す。オリーブ油を使用した場合、多結晶および単結晶の(111)と(211)面では低速で表面粗さがわずかに大きく、摩擦速度の増加とともに減少している。単結晶の(100)と(110)面では、表面粗さは摩擦速度に依存せず、ほぼ一定である。図1と図4との対比から明らかなように、比摩耗量と表面粗さとの間に相関関係があるが、表面粗さは摩擦速度に対してあまり敏感でないといえる。灯油を使用した場合、摩耗面の表面粗さは、比摩耗量の場合(図2)と同様に摩擦速度に依存せず、さらにその値は図4(a)に示したオリーブ油を使用した場合の高速域での表面粗さに著しく近い値である。単結晶の各

(a) オリーブ油を使用した場合

(b) 灯油を使用した場合

図4 摩耗面の表面粗さと摩擦速度との関係

(a) オリーブ油を使用した場合

(b) 灯油を使用した場合

図5 摩擦と摩擦速度との関係

結晶面における表面粗さと摩擦方向との関係についても調べたが、表面粗さの摩擦方向依存性、つまり異方性は図3に示した比摩耗量の場合と同様に小さいことがわかった。

3.1.3 摩擦係数

摩擦係数および摩擦力和摩擦速度との関係を調べた結果を図5に示す。これから、オリーブ油の場合、摩擦は摩擦速度に対してほぼ直線的に増大していることがわか

図6 摩擦速度が0.1 m/sの場合における比摩耗量と砥粒濃度との関係

る。これは、オリーブ油の粘性抵抗が摩擦速度の増加に対して直線的に増大することによるもので、これに関しては3.3節で詳述する。一方、灯油を使用した場合には摩擦は摩擦速度に依存せず、ほぼ一定である。単結晶の各結晶面において摩擦方向を変えて実験を行ったが、摩擦の異方性はほとんどみられなかった。

3.2 潤滑油中の砥粒濃度の影響

3.2.1 比摩耗量

摩擦速度が0.1 m/sの場合における比摩耗量と潤滑油中の砥粒濃度（以降、単に砥粒濃度と呼ぶことにする）との関係について調べた結果を図6に示す。これから、いずれの結晶面においても砥粒濃度が27%付近で比摩耗量が最大になる傾向にあることがわかる。低濃度（本実験では5~15%）の場合、砥粒1個に作用する荷重が大きくなって大形砥粒の粉砕が行われやすくなること、ならびに試料の縁で排除される大形の砥粒が多くなり、試料と鋳鉄板間に侵入する大形の砥粒が高濃度の場合に比べて少なくなることが、摩耗の低下に基因しているものと考えられる。なお、大形砥粒は、摩耗に関与する割合がきわめて大きい作用砥粒であると考えられる。40%以上の高濃度で比摩耗量が低下するのは、ラッピングにおける松永³⁾、今中⁴⁾らの説のように試料と鋳鉄板間に侵入した砥粒の間隔が近接しているため、砥粒が相互に干渉し、接触圧力が摩耗に関与する砥粒に十分に作用しないことが基因していると考えられる。

図7は、摩擦速度が0.5 m/sの条件（高速域）での比摩耗量と砥粒濃度との関係を調べた結果である。これから、高速の場合には図6に示したような低速の場合に比べて比摩耗量の砥粒濃度依存性が著しく小さいことがわ

図7 摩擦速度が0.5 m/sの場合における比摩耗量と砥粒濃度との関係

(a) 摩擦速度が0.1 m/sの場合

(b) 摩擦速度が0.5 m/sの場合

図8 摩耗面の表面粗さと砥粒濃度との関係

かる。これは、高速では実験を行った砥粒濃度の範囲において濃度の大小によらずフェライト試料の縁で排除される大形の砥粒の数が多く、試料と円板間に介入する砥粒の数が制限されることによると考えられる。また、比摩耗量の値は図6の低速の場合における比摩耗量より小さい低濃度あるいは高濃度での比摩耗量より小さいといえる。これは、高速では油の荷重能力が大きくなり、油の荷重分担割合が増加するために摩擦に關与する砥粒に作用する荷重が減少することによると考える。

3.2.2 摩耗面の表面粗さ

摩擦速度が0.1 m/sの場合における摩耗面の表面粗さと砥粒濃度との関係を調べた結果を図8(a)に示す。こ

(a) 摩擦速度が0.1 m/sの場合

(b) 摩擦速度が0.5 m/sの場合

図9 摩擦と砥粒濃度との関係

れと図6との対比から明らかなように比摩耗量が多い結晶面ほど表面粗さも大きいことがわかる。しかし個々の結晶面では比摩耗量と表面粗さとは必ずしも相関関係があるとはいえない。多結晶および(111)面では比摩耗量が最大になる砥粒濃度が27%付近で、表面粗さは最も小さくなる傾向にさえあるといえる。しかしながら、一般的に表面粗さは接触圧力(前報¹⁾)および摩擦速度(3.1.2節)の影響を調べた場合と同じように砥粒濃度の影響もあまり受けないものと考えてよいであろう。図8(b)は、摩擦速度が0.5 m/sの場合における摩耗面の表面粗さと砥粒濃度との関係を示している。これから、表面粗さは砥粒濃度に依存せず、さらに粗さの値は(a)に示した低速の場合の値よりも小さいことがわかる。これらの結果は前述(3.2.1節)の比摩耗量の場合と著しく類似している。

3.2.3 摩擦係数

摩擦係数および摩擦力和砥粒濃度との関係を摩擦速度が0.1 m/sの条件で調べた。その結果を図9(a)に示す。摩擦係数は砥粒濃度に依存せず、ほぼ一定である。摩擦係数は結晶面にもあまり依存しないようである。高速(摩擦速度が0.5 m/sの条件)における摩擦係数および摩擦力和砥粒濃度との関係を調べた結果を図9(b)に示している。摩擦は、砥粒濃度が15%以上では砥粒濃度の増加とともに増大する。また摩擦は一般に低速の場合

図10 摩擦と摩擦速度および接触圧力との関係

(図9(a))より高速の場合の方が大きい。これについては明確な理由はわからないが、高速において砥粒濃度が15%以上の条件では、砥粒濃度の増加とともに砥粒の転動性が劣化し、砥粒による引っかかり抵抗が増大するために摩擦が増加したのかもしれない。

3.3 摩擦機構

フェライトのアプレシブ摩耗における摩擦、摩耗特性、ならびに摩耗面の微視的構造を調べた前報¹⁾および本報の前節までの結果から、摩擦抵抗は砥粒の転動および引っかかり作用による抵抗 F_D と油の粘性抵抗 F_F とから成り、摩擦係数 F は次のように表されることが考えられる。

$$F = F_D + F_F \quad (1)$$

ここで、砥粒を含む油は非圧縮性であること、その流れが層流であること、ならびに油と砥粒の慣性力が無視できることを仮定すれば、一般に F_F は

$$F_F = \frac{\eta A V_F}{h} \quad (2)$$

で表される。なお、 η は油の粘度、 A はみかけの接触面積、 V_F は摩擦速度、 h はフェライト試料と鉄板とのすきみである。粘度の高いオリーブ油を使用した場合には油の粘性抵抗の摩擦抵抗に対する寄与は大きく、粘性抵抗は図5(a)に示したように摩擦が摩擦速度依存性をもつ原因になる。一方、低粘度の灯油を使用した場合には図5(b)に示したように粘性抵抗は小さく、摩擦抵抗に対してほとんど寄与しないので、摩擦は摩擦速度依存性がない。この事実は砥粒の転動および引っかかり作用による抵抗 F_D が摩擦速度に依存しないことも示唆している。油の粘性抵抗が無視できるほど小さい灯油を使用して摩擦係数と接触圧力との関係を調べたところ、摩擦係数は接触圧力に依存しなかった¹⁾。これから、 F_D は接

(a) 接触圧力との関係

(b) 摩擦速度との関係

図11 油膜厚さと接触圧力および摩擦速度との関係

触圧力すなわち荷重に対して比例すると考えてよいことがわかる。高粘度のオリーブ油の場合、摩擦速度の大小によって摩擦係数の荷重依存性は変化する。図10は、オリーブ油を使用した場合における摩擦と接触圧力の関係に及ぼす摩擦速度の影響を調べた結果である。0.05 m/sの低速では摩擦力は接触圧力に比例し、摩擦係数の荷重依存性がない。この事実から、オリーブ油を使用した場合上述の灯油の場合と同様に、低速では油の粘性抵抗は摩擦にほとんど寄与して、さらに F_D はオリーブ油の場合においても荷重に比例すると考えてよいことがわかる。摩擦速度が大きくなると、摩擦力は接触圧力に対して直線的な関係にあるが、直線は原点を通らない。したがって図10からも明らかに摩擦係数には荷重依存性があり、その依存性は摩擦速度が大きいほど増大する。このような摩擦係数の荷重依存性は油の粘性抵抗の寄与によるものであると考える。ここで、式(1)と(2)を用いて図10と図5(a)の結果からオリーブ油の油膜厚さ h (フェライト試料と鉄板とのすきみ)を算出した。その結果を図11に示す。これから、油膜厚さは接触圧力、ならびに摩擦速度にあまり依存しないことがわかる。油膜厚さは約9~13 μmの範囲にあるが、これらの値は電顕法で測定した砥粒の平均短径¹⁾(A # 1000 砥粒では約11 μmである)から平均粒径¹⁾(約15 μm)に近く、妥当な値と思われる。したがってこれらの結果は、まずオリーブ油を使用した場合においても砥粒の転動および引っかかり作用による抵抗 F_D が接触圧力に比例するとともに摩擦速度に依存しないことを示していると考えてよいであろう。さらに本実験のように砥粒を含んだ油においても油の粘性抵抗と摩擦速度との間には直線

関係すなわち式(2)で表される関係が成立することも示唆している。なお油膜厚さは摩耗面の結晶面によってもあまり変化しないといえる。上述の油膜厚さの算出にあたり、油の粘度 η は実測した $0.77 \text{ g/cm}\cdot\text{s}$ の値を採用し、 F_D は粘性抵抗が無視できる V_F が 0.05 m/s の場合の値をとった。

4. 結 論

Mn-Zn フェライトの遊離砥粒によるアブレシブ摩耗に及ぼす摩擦速度および潤滑油中の砥粒濃度の影響を調べるとともに、摩擦機構についても検討を加え、次の結果を得た。

- (1) フェライトの比摩耗量は、粘度の高いオリーブ油を使用した場合摩擦速度が増大するほど、油の負荷能力が増大するので著しく減少するが、低粘度の灯油の場合には速度によって変化しない。摩耗面の表面粗さに及ぼす摩擦速度の影響は、比摩耗量の場合と同様な傾向にあるが、その影響は小さい。
- (2) 比摩耗量は、摩擦速度が低速(0.1 m/s)の場合、砥粒濃度に依存し、濃度が27%付近で最大になる。高速(0.5 m/s)の場合は砥粒濃度に依存しない。摩耗面の表面粗さは、摩擦速度の大小によらず砥粒濃度に依存しない。
- (3) 摩擦は、砥粒の転動および引っかかり作用による抵

抗 F_D と油の粘性抵抗 F_F の和で表され、 F_D は一般に接触圧力に比例し、摩擦速度に依存しない。油の粘性抵抗は単純な $F=\eta A(V_F/h)$ で表される粘性の法則に近似的に従う。粘性の法則から推定した油膜の厚さは $9\sim 13 \mu\text{m}$ であり、これらの値は使用した砥粒の平均短径から平均粒径の範囲内にある。

終わりにあたり、本研究を遂行するにあたって有益なご教示を賜った大阪大学築添正教授に深甚の謝意を表すとともに、本研究にご援助を賜った東京芝浦電気(株)生産技術研究所の小林昭所長、高沢孝哉博士、および精密加工研究所の保科直美所長に深く感謝します。また実験に協力された広瀬敏之、小林俊二、吉田政義、宮尾芳一、山本潤の諸氏に対し厚くお礼申し上げます。

文 献

- 1) 田中久一郎, 三好和寿, 広瀬敏之, 村山智一: Mn-Zn フェライトのアブレシブ摩耗(第1報), 精密機械, **41**, 9 (1975) 896.
- 2) 小宮 昇: フェライトの砥粒加工, 精密機械, **41**, 7 (1975) 662.
- 3) M. Matsunaga: Fundamental Studies on Lapping, Rep. Inst. Ind. Sci., Univ. Tokyo, **16**, 2, (1966) 101.
- 4) 今中 治: 無機材料の精密加工法(7), 機械の研究, **19**, 11 (1967) 1499.

情 報

科学・学術文献の翻訳家の法的保護

外国の科学・技術文献や学術論文を母国語に訳す翻訳者を法的に保護しようという機運が世界的に高まってきたが、このほど国際翻訳家連盟(略称FIT, 本部パリ)にわが国から代表として加盟している日本科学技術翻訳協会(理事長・是恒龍児氏=FIT 副会長)は、このほどFIT から「翻訳者と翻訳著作物を法律で保護すべき」という決議を行い、ユネスコへ働きかけている」旨の連絡をうけた。

一方、ユネスコはこのほど開いた総会でFITの要請を採択、3月末までに各国政府へ翻訳者に対する法的措置を勧告することになっている。

翻訳者は専門的知識を駆使する「知的労力」でありながら社会的地位は低いという矛盾があったが、FIT, ユネスコの一連の動きで翻訳者の先行きはかなり明るいものとなってきた。

外国文学などの翻訳者やその作品といえる翻訳著作物は比較的、社会的に高く評価されているが、科学・技術文献などの翻訳物は翻訳者の了解も得ず、他に引用され

たりするケースが多い。こうした盗用が一般化している結果、翻訳者の作業や社会的地位も評価されていないのが現状である。

ユネスコの下部機関であるFITは、翻訳業務は専門的知識を要求される専門的な職業でありながら、種々の問題を抱えているため、この解決策を検討してきた。

この結果、各国で翻訳者、その著作物を法的に保護する措置を講ずる必要があると決議、ユネスコに働きかけてきた。

ユネスコは昨年6月パリ本部で、法制化のための専門委員会を開き、同委員会での検討事項は昨年末、ナイロビで開かれた第19回ユネスコ総会に提案され採択されたものである。

ユネスコは3月末までに加盟国政府へ翻訳者の利益をはかるための法制化を勧告するが、各国政府は勧告を受けてから12か月以内に法制化に対する経過を報告することになっており、今後翻訳者保護の動きは各界で注目される見通しとなってきた。

(服部 敏夫)