磁気テープによるパーマロイ系合金の摩耗

成 重 真 治* 佐 藤 満 雄*

諏 訪 正 輝* 富 田 貞 美*

Shinji Narishige, Mitsuo Sato, Masateru Suwa and Sadami Tomita : Wear of Permalloy Alloys by Magnetic Tape. The initial wear and effects of hardness, tape speed, tape tension and relative humidity on the wear of permalloys and SUS 304 by a lapping tape for magnetic head and by a magnetic tape have been investigated. The initial wear was found to result mainly from virginity of tape and partly from virginity of alloy. The wear did not vary with the hardness, tape speed and tape tension but remarkably with the tape brand and relative humidity. The humidity dependence differed by the tape brand and the alloy. When the relative humidity was varied from 50 to 60%, the wear of permalloys increased by more than two times while that of SUS 304 was almost unchanged. SUS 304 had higher wear resistance than permalloys under an identical condition. Alloy surfaces worn by tape were investigated by Auger electron emission spectroscopy. An oxygen enriched layer was found to exist in the alloy surface when the alloy was slightly worn by a tape. On the other hand, the oxygen-enriched layer was not found in the alloy which was highly worn.

(Received August 22, 1977)

I. 緒 言

磁気ヘッドコア材料の代表的なものとしてパーマロイ、センダストおよびフェライトが挙げられる。これらの材料の耐摩耗性は硬さの順と一致し、かつ磁気テープには微細高硬度の酸化物粒子が塗布してあることから、磁気テープによる磁気ヘッドの摩耗はアブレシブ摩耗といわれており⁽¹⁾、したがって高硬度化による磁気ヘッド材の耐摩耗化が試みられている⁽²⁾。一方、磁気テープの銘柄や湿度によっても耐摩耗性が変わることが知られており⁽³⁾⁽⁴⁾、さらに Fe-Ni 2 元系において硬さがほぼ同じであるにもかかわらず Fe が多いほど耐摩耗性が良好となるという報告例もある⁽⁵⁾。このような結果を照らし合わせてみると、磁気テープによる材料の摩耗は単純なアブレシブ摩耗ではなく、またヘッドコア材料の摩耗を支配する要因が把握できるような同一条件下での検討例もないようである⁽⁶⁾。

そこでヘッドコアの摩耗に対して影響が大きい要因を見出すため同一条件下でヘッドコア材料の硬さ、テープ銘柄、テープ速度、テープ張力および湿度について検討したのでその結果を報告する。

II. 実 験 方 法

1. 試料の作製

用いた試料はパーマロイ系合金、SUS 304 およびスーパーセンダスト (6 Si-4 Al-3 Ni-Fe) である。SUS 304 は非磁性体であるが、表面に強固な不動態皮膜を形成する典型的な材料であるので実験に供した。パーマロイ系合金は真

空溶解後鍛造して、線引きし、直線機にかけて曲りを除去後グラインダ研摩仕上により 3 mm ϕ $\times$ 30 mm の丸棒とした。組成は 79 Ni-4 Mo-Fe に Cr, Zr, Be, Ce, Rh を 1~7% 添加したもの、80 Ni-Fe に Cr を 1.5% あるいは Si を 4% 添加したもの、83 Ni-Fe に V を 6% 添加したものおよび Ni が 50, 70, 85% の Fe-Ni 2 元合金の合計 15 種類である。SUS 304 およびスーパーセンダストは市販材料をパーマロイ系合金と同様に 3 mm ϕ $\times$ 30 mm に加工した。すべての試料を 950°C で 2 h 真空焼鈍後摩耗試験した。また硬さの影響を検討するために、79 Ni-4 Mo-1 Be-16 Fe および 80 Ni-4 Si-16 Fe を 500~700°C で 2 h 時効処理したものも実験に供した。この場合の最大硬さは Be 添加の合金を 600°C で時効したときに得られ、スーパーセンダストとほぼ同等の Hv=4.8 GPa であった。

2. テープ走行系

摩耗試験はラッピングテープと磁気テープの 2 種類で行った。ラッピングテープとは主に磁気ヘッドの研摩に用いられているテープであり、磁気テープに比べて試料の摩耗が 3~6 桁大きい。用いたラッピングテープは平均粒度 0.3 μ m の Fe₃O₄ 粒子が塗布してあるもので、テープ幅 6.35 mm、テープ長さ 200 m である。テープ走行系は市販のテープデッキの試料取付部のみを改造し、テープ速度 0.19 m/s、テープ張力 3.24 N は実機のまま、テープ巻付角 45° は実機よりも幾分大きいものである。

磁気テープは磁気特性がほぼ同じであるが製造元が異なる A, B 2 種類である。両テープとも磁性粉は γ -Fe₂O₃ で

* 株式会社日立製作所日立研究所 (Hitachi Research Laboratory, Hitachi Ltd., Hitachi)

あり、粒子の大きさ、針状比および磁性粉充てん率はほぼ同じであるが、面粗さおよびバインダ材質等が違っている。テープ幅は 12.7 mm、テープ長さは 720 m である。テープ巻付角 6.5° 、テープ速度 0.95~5.0 m/s、テープ張力 1.96~3.43 N で実験した。これらの条件は実機と同等である。初期摩耗を調べる以外はいずれの場合もテープは 20 回以上走行させたのちに実験に供し、試験片の方はラッピングテープあるいは磁気テープを走行させて機械加工による疵を除去し面粗さを一定(0.1S 程度)にしたのちに実験に供した。

3. 摩耗量の測定および摩耗面の観察

ラッピングテープで試験した場合の摩耗は摩耗重量を測定し、磁気テープの場合は摩耗が小さいので、Fig.1 に示すように摩耗幅 X を測定した。 X は 18 箇所を平均をとった。

Fig.1 Wear width X .

摩耗面は光学顕微鏡、走査型電子顕微鏡(SEM)およびオージェ電子分光分析(EMAS-II 型)で観察した。オージェ電子分光分析は加速電圧 5 kV、エミッション電流 20, 200 nA, Ar エッチング時の加速電圧 2 kV、イオン電流 5~6 μ A で行った。

III. 実験結果および検討

1. 初期摩耗

一般に摩耗は初期摩耗と定常摩耗に分けられる。初期摩耗は定常摩耗に比べてバラツキが大きいため、本報告では定常摩耗での耐摩耗性比較を行うことにした。そこで、ラッピングテープによる摩耗で走行距離がどの程度になると初期摩耗から定常摩耗に移行するか、また初期摩耗はテープ側に主として起因するのか試料側に起因するのかを調べたのが Fig.2 である。丸印が摩耗量、角印が単位走行距離当りの摩耗率である。曲線 A は処女テープと処女試料とを用いた場合であり、曲線 B は 10 km 後にテープのみを処女テープに切替えた場合であり、曲線 C は曲線 A で用いたテープをそのまま使用し、試料のみを処女面に切替えた場合の結果である。したがって曲線 A の初期摩耗にはテープと試料の両方の処女性が見われていることになる。曲線 B にはテープの処女性のみ、曲線 C には試料の処女性のみが見われていることになる。曲線 A, B, C の比較から、初期摩耗は主にテープ側の処女性に起因していることがわかる。磁気テープの場合も同様な結果であった。処女でないテープ、試料の場合の初期摩耗はほぼ 10 回走行でなくなることから、以下の実験ではテープとしては 20 回以

Fig.2 Separation of the initial wear by a lapping tape. A is a wear curve of a virgin specimen by a virgin tape, B is a wear curve of a non-virgin specimen by a virgin tape, and C is a wear curve of a virgin specimen by a non-virgin tape.

上走行したものをを用い、試料もあらかじめテープで数回摩擦して面粗さを同じ(0.1S 程度)にしたのちに試験した。

2. 硬さの影響

Fig.3 にラッピングテープでパーマロイ系合金および SUS 304 を摩耗した場合の摩耗量と硬さの関係を示す。図より摩耗と硬さに明確な関係は認められず、研摩紙によるアブレシブ摩耗の結果とは異なっている⁽⁷⁾。Fig.3 では硬さが低いにもかかわらず SUS 304 の耐摩耗性がよいことと、Be を 1% 添加したパーマロイ系合金を時効処理して硬さ Hv を 4.8 GPa に上げたものの耐摩耗性が向上していないという点が注目される。

Fig.3 Relationship between hardness and the wear by a lapping tape. $L=3.1$ km. ●: Permalloy 1, ■: SUS 304, ○: Permalloy alloys.

次に磁気テープでの摩耗試験結果を述べる。使用した磁気テープの表面状態を Photo.1 に示す。A テープは B テープに比べて個々の磁性粉が見え、凹凸が激しいが、B テープの表面は一部バインダ層が露出しており、その面は台地状となっている。後述するように A テープに比べて B テ

Photo.1 Surfaces of A and B tapes.

テープは材料の摩耗が少なかったため、以下主としてBテープでの結果を示す。ラッピングテープでの試験で耐摩耗性の良好な SUS 304, SUS 304 と硬さがほぼ同等で摩耗が SUS 304 の約3倍のパーマロイ 1 (83 Ni-6 V-11 Fe), SUS 304 に含まれている Cr を添加したパーマロイ 2 (80 Ni-1.5 Cr-18.5 Fe) および Ni-Fe 2 元系合金をBテープで摩擦した場合の摩耗量 ΔX および材料の硬さ Hv を Table 1 に示す。ここで摩耗量 ΔX は $\Delta X = X(L=15.4 \text{ km}) - X(L=1.4 \text{ km})$ である。ラッピングテープの場合と同様に摩耗と硬さとの相関がなく、SUS 304 の耐摩耗性が最も良好である。Ni-Fe 2 元系合金では沢田らの結果⁽⁵⁾と同様に Fe の増加に伴い摩耗が減少する傾向にある。

Table 1 Hardness of materials and the wear by B tape.

Sample	Hv (GPa)	$\Delta X (\mu\text{m})$
SUS 304	1.43	26 ± 3
Permalloy 1 (83 Ni-6 V-11 Fe)	1.84	68 ± 13
Permalloy 2 (80 Ni-1.5 Cr-18.5 Fe)	1.22	76 ± 8
50 Ni-50 Fe	1.29	61 ± 3
70 Ni-30 Fe	1.35	73 ± 8
85 Ni-15 Fe	1.22	92 ± 13

$\Delta X = X(L=15.8 \text{ km}) - X(L=1.4 \text{ km})$, $V=5 \text{ m/s}$, $T=2.94 \text{ N}$.

3. テープ速度、テープ張力の影響

Fig. 4 は A, B テープでのパーマロイ 1, SUS 304 およびスーパーセンダストの摩耗の速度特性曲線である。いず

Fig. 4 Relationship between tape speed and the wear of permalloy 1 ● by A tape, permalloy 1 ○ by B tape, SUS 304 ■ by A tape, SUS 304 □ by B tape, supersendust ▲ by A tape and supersendust △ by B tape. $L=15.8 \text{ km}$, $T=2.94 \text{ N}$.

れの場合も摩耗はテープ速度によっては変わらない。各試料の摩耗はAテープで摩擦された場合の方が多い。Bテープで摩擦された場合には SUS 304 とスーパーセンダストとの摩耗はほぼ同じであるが、Aテープの場合には SUS 304 はスーパーセンダストの約2倍の摩耗幅になっている。このように材料の摩耗は使用するテープの銘柄によって非常に異なっている。

Bテープを用い、試料がパーマロイ 1 と SUS 304 での摩耗のテープ張力依存性(1.96~3.43 N)を調べたが、速度特性と同様にテープ張力による差は認められなかった。

4. 湿度の影響

Fig. 5, 6 はそれぞれパーマロイ 1 および SUS 304 をBテープで摩擦した場合の湿度の影響を調べたものである。水蒸気雰囲気としては 100°C に加熱した水から生じる湯気を用いた。Fig. 7 は Fig. 5, 6 のデータを用いて摩耗幅

Fig. 5 Relationship between relative humidity and the wear of permalloy 1 by B tape. $V=5 \text{ m/s}$, $T=2.94 \text{ N}$.

Fig. 6 Relationship between relative humidity and the wear of SUS 304 by B tape. $V=5$ m/s, $T=2.94$ N.

Fig. 7 Relative humidity dependence on the wear of permalloy 1 $\circ$ and SUS 304 Δ .

X が 300, 500 μm になる走行距離 L_x を湿度に対してプロットしたものである。但し、 L_x が 73 km 以上に関しては走行距離 44.6, 73.4 km での摩耗幅の値を用いて直線近似した。パーマロイ 1 の摩耗は 45~100% の湿度範囲で変化する。一方、SUS 304 は湿度 70% 以下では湿度によって耐摩耗性はほとんど変わらないが、湿度 70% 以上で急激に耐摩耗性が低下する。A テープでパーマロイ 1 および SUS 304 を摩擦したときの湿度の影響を調べたが、50~100% の範囲で両試料とも湿度依存性は無かった。ラッピングテープでパーマロイ 1 を 57~86% の湿度範囲で試験した場合も摩耗は湿度に依存しなかった。坂田ら⁽⁴⁾は湿度が高くなると磁気テープの硬さが増し、摩耗の湿度依存性の原因の 1 つにテープの変化があるとしている。著者らの結果では摩耗が湿度に依存する場合でも、湿度の影響の度合は材料によって異なり、湿度に依存しないテープもあることから、摩耗に及ぼす湿度の影響の原因としてはテープ、材料の両者の表面層の変化、例えばバインダの変化および材料表面の酸化物形成のし易さ等を調べる必要があることがわかった。

5. 摩擦面の状況

次に摩擦面の観察結果について述べる。Photo. 2(a)は

A テープ走行面、Photo. 2(b)は B テープ走行面の光学顕微鏡写真である。A テープ走行面には細い摺動条痕が認められるだけであるが、B テープ走行面には多数の斑点が存在している。今回の著者らの摩耗試験ではこの斑点の多少と摩耗の大小はよく対応していた。Photo. 2(b)の矢印部分のように斑点が多い部分は摩耗が小さい。しかし、斑点の多い部分と斑点の無い部分の硬さおよび XMA 分析による組成の差は認められなかった。後述するオージェ電子分光分析でも、斑点部分と斑点以外の部分でのオージェスペクトルに差は認められなかった。

Photo. 2 Wear surfaces of permalloy 2 by A and B tapes.

斑点の多少はパーマロイ系合金と SUS 304 とでは異なり、SUS 304 では走行面全体に生じるが、パーマロイ系合金では部分的であった。B テープで摩擦した場合湿度が高くなると摩耗が多くなることは前に述べたが、斑点の多少も湿度によって異なる。Photo. 3 に SUS 304 を湿度 75% および水蒸気雰囲気下で摩擦した場合の摩擦面を示す。湿度 75% では B テープ走行面全面に斑点が生じるが、湿度が高くなると斑点は中央部のみで少なくなる。このように斑点の多少と摩耗の大小はよく対応している。そこで斑点の凹凸を調べるために SEM で摩擦面を観察した。Photo. 4 は摩擦面に圧痕をつけて光学顕微鏡と SEM で同じ場所を観察したものである。パーマロイ 1 は B テープ走行面、SUS 304 は A, B テープ走行面の境界である。パーマロイ 1 での斑点は光学顕微鏡観察と SEM 観察とで一致するが、SUS 304 での斑点は SEM では認められない。パーマロイ 1 での斑点と斑点以外の部分からの 2 次電子線放射率は異なっているが、SUS 304 ではほぼ同じであることがわかる。しかし、XMA 分析およびオージェ電子分光分

Photo.3 Wear surfaces of SUS 304 by B tape at (a) 75% RH and (b) steam atmosphere.

析から斑点がどのような物質であるかを定めることはできなかった。またパーマロイ 1 での SEM 像によれば斑点は斑点以外の部分と同一高さに見え、凹凸はないようである。

次にオージェ電子分光分析の結果について述べる。試料としてパーマロイ 1 と SUS 304 を用いた。まず巻付角 15° で A テープで摩擦し、その後巻付角 6.5° にして B テープで摩擦した。このようにして摩耗試験直後からオージェ

Fig.8 Auger spectrum of the wear surface of SUS 304.

電子分光分析測定までに付着する物質は同じになるようにして、A テープ摩擦面、B テープ摩擦面を深さ方向に分析した。Fig.8 (a), (b) は SUS 304 の A, B 両テープが走行した面のオージェスペクトルである。図からテープの違いによる差異は認められず、両方とも C, O が多い。Fig.8 (c), (d) は 1 min 間 Ar でエッチングした場合のスペクトルである。エッチングにより両テープ摩擦面の C はほとんど無くなることから、C は摩耗試験後付着したものと考えられる。Fig.8 (c), (d) でテープによる差は O ピークに顕著に認められ、他の元素のピークにはほとんど差がない。A テープ摩擦面の O ピークは 1 min 間エッチングで摩擦直後よりも小さくなっているが、B テープ摩擦面では逆に大きくなっている。この傾向はパーマロイ 1 でも同様であった。パーマロイ 1 での O ピーク高さを Ni 848 eV のピーク高さで割った値および SUS 304 でのピーク高さを Fe

Photo.4 Comparison between (a) (c) optical micrograph and (b) (d) electron scanning micrograph. (a) (b) : permalloy 1, (c) (d) : SUS 304.

Fig.9 Relationship between relative peak height and etching time.

598 eV のピーク高さに割った値を相対ピーク値とし、これを Ar エッチング時間に対してプロットしたのが Fig.9 である。両試料とも A テープの摩擦面に比べて B テープの摩擦面には酸素富化層があることがわかる。

以上のように (1) パーマロイ系合金ではビッカース硬さが 4.8 GPa 以下の範囲で摩耗が硬さに無関係であること、(2) パーマロイ系合金に比べて SUS 304 の耐摩耗性が良好なこと、(3) 湿度の増加とともに摩耗が多くなること、(4) テープ銘柄(テープ表面の幾何学的形態およびバインダ材質等が影響していると思われる)および材質によって湿度依存性が異なること、(5) 摩擦面には斑点が生じる場合があり、この斑点の多少と摩耗とに相関があること、(6) 摩擦面には酸素富化層が生じる場合があること等から、磁気テープによる摩耗は単純なアブレシブ摩耗ではな

いと考えられる。材質的には硬さのようなマクロな性質でなく表面の酸化物の形成し易さあるいは吸着性等が重要と考えられ、テープの方は凹凸だけでなくバインダ材質が重要と思われる。

IV. 結 言

ラッピングテープおよび磁気テープを用いて主にパーマロイ系合金について摩耗試験、摩擦面観察を行ない、摩耗は材料の硬さ、テープ速度およびテープ張力によってはほとんど変わらないが、テープ銘柄と湿度および材質との組合せて複雑に変わることが明らかとなった。同一条件ではパーマロイ系合金に比べて SUS 304 の耐摩耗性が良好であった。湿度依存性の大きい B テープの場合、パーマロイ 1 では湿度が高くなると摩耗が大きくなるが、SUS 304 では 50~70% の湿度範囲では湿度に依存しなかった。摩耗の少ない B テープが走行した面には湿度 70% 以下で斑点が生じ、この斑点が多くなると摩耗が小さくなった。A テープ走行面に比べて B テープ走行面には酸素富化層が認められた。最後に走査型電子顕微鏡を担当して戴いた山田誠一氏に深く感謝します。

文 献

- (1) J.F.Carroll and R.C.Gotham : IEEE Trans. Mag., **MAG-2**(1966), 6.
- (2) 増本 量, 比内正勝, 村上雄悦 : 日本金属学会誌, **39**(1975), 1127.
- (3) F. W. Haho : IEEE Trans. Mag., **MAG -11**(1975), 1242.
- (4) 坂田 稔 : 電子通信学会磁気記録研究会資料, **MR 73-8**(1973), 1.
- (5) 宮崎 健, 沢田良三, 古賀政義, 原島悦夫 : 日本金属学会講演概要, (1977・4 月), 221.
- (6) 田中久一郎 : 潤滑, **22**(1977), 233.
- (7) M. M. Khrushchov : Proc. Conf. Lub. Wear, (1957), 655.