メカニカルアロイングで作られた Cu-Ti 非晶質合金の摩耗特性

師岡 利政^{☆1}, 湯浅 栄二^{☆2}, 久世 廣之^{☆2}^{☆1} 武蔵工業大学機械工学科, 〒158 世田谷区玉堤1-28-1.^{☆2} 武蔵工業大学大学院, 〒158 世田谷区玉堤1-28-1.

Wear Characteristic of Cu-Ti Amorphous Alloy Prepared by the Mechanical Alloying

Toshimasa Morooka^{☆1}, Eiji Yuasa^{☆1} and Hiroyuki Kuze^{☆2}^{☆1} Department of Mechanical Engineering, Musashi Institute of Technology, 1-28-1, Tamazutsumi Setagaya-ku, Tokyo 158.^{☆2} Graduate School, Musashi Institute of Technology, 1-28-1 Tamazutsumi Setagaya-ku, Tokyo 158.

Received June 9, 1994

Cu-50mass%Ti amorphous alloy powder was prepared by mechanical alloying and then sintered under pressure of 1560MPa at 600K. Wear experiments were carried out by a pin-ring type wear testing machine at various sliding speeds and at a contact pressure of 0.75MPa under unlubricated condition. The results obtained are as follows: 1) The wear rate increases with the increasing sliding speed up to $V=1.0\text{m/s}$, due to breaking-away of the amorphous phase at the true contact part between the specimen and the counter face of steel. 2) Under condition of the sliding speed from $V=1.2$ to 1.6m/s , the wear rate of the amorphous alloy decreases due to the formation of oxide particles. 3) When the amorphous alloy was slid at the sliding speed over $V=1.6\text{m/s}$, the wear rate increases remarkably due to the crystallization from the amorphous phase at the contact part and the adhesion to the counter face. 4) The value of wear rate in the sintered amorphous alloy is smaller than that of the sintered crystalline alloy under the same sliding condition.

1 緒 言

非晶質合金は、透磁性、電気抵抗等の優れた特性を有する材料であるが、これを磁気テープの読みとりヘッドのような工業製品として利用する際に、耐摩耗性が重要な要素となることがある。

本研究では、メカニカルアロイング(MA)法で作製した非晶質 Cu-Ti 合金粉末を結晶化温度以下で

加圧焼結し、その焼結体を焼入れ鋼を相手材とする乾燥すべり摩擦させた際の非晶質合金の摩耗挙動について、摩擦速度にともなう比摩耗量変化と組織変化の観点から検討した。

2 実験方法

使用した非晶質合金粉末は、Cu-50mass%Tiとなる

ように元素粉末を混合し、これを混合粉碎機 (Spex Mixer/Mill 8000) を用いて 72ks 間 MA し作製した¹⁾。この合金粉末の結晶化温度は約 630K であるので²⁾、非晶質合金粉末 3.4g を予備加圧後、加圧力 1560MPa、600K で、1.8ks 間加圧焼結を行い、 $\phi 8.15 \times 12.5$ mm の焼結体を作り、これを摩耗試験片とした。また、MA した粉末を 750K で 1.8ks 間の加熱保持後、空冷した結晶化処理粉末についても、同条件で加圧焼結を行い結晶体の摩耗試験片として比較検討した。

- ① Specimen (Stator) ④ Spring coil for
② Ring (Rotor) contacting weight
③ Load cell ⑤ Displacement-gauge
⑥ Holder of specimen

Fig.1 Pin-ring type wear testing machine.

摩耗試験は Fig.1 に示すような自作のピンーリング方式摩耗試験機を用い、試験片 (Fig.1, ①) を焼入れたダイス鋼 (SKD-11) の相手材リング (Fig.1, ②) に、接触圧力 0.75MPa で接触させ、摩擦速度 0.8 ~ 2.2m/s の条件下で摩耗試験を行った。そして摩擦距離にともなう摩耗量の変化をひずみゲージ式変位計 (Fig.1, ⑤) で、摩擦力の変化を荷重計 (Fig.1, ③) で計測した。さらに摩耗試験前後の摩耗面と一定距離摩擦後、収集した摩耗粉の X 線回折と SEM 観察を行った。

3 実験結果および考察

3・1 摩擦速度にともなう比摩耗量、摩擦係数の変化

非晶質合金を摩擦速度 1.6m/s で摩耗試験した際の摩擦距離にともなう摩耗量と摩擦力の変化を Fig.2 に示す。摩耗量は摩擦距離約 10km まで、徐々に増加するが、その後は摩擦距離に対して一定の増加量を示し、定常摩耗状態となった。また、摩擦力は摩擦距離 20km まで急減しているが、その後はほぼ一定の

Fig.2 Changes of wear loss and friction force with sliding distance:
 $V=1.6\text{m/s}$, $p=0.75\text{MPa}$.

値となった。このような結果をもとに種々の摩擦速度で摩耗試験した際に得られた定常摩耗状態の摩耗量と摩擦力から、それぞれ比摩耗量、摩擦係数を求めた。

Fig.3 Changes of wear rate and coefficient of friction with sliding speed in the amorphous alloy.

Fig.3 に非晶質合金の摩擦速度にともなう比摩耗量、摩擦係数の変化を示す。比摩耗量は摩擦速度の上昇にともない増加し、約 1.0m/s で約 $5.0 \times 10^{-15} \text{m}^3/\text{N} \cdot \text{m}$ の極大値となる。さらに摩擦速度が上昇すると比摩耗量は一旦減少し、摩擦速度 1.2 ~ 1.6m/s の範

間で約 $2.5 \times 10^{-15} \text{ m}^3/\text{N} \cdot \text{m}$ の低比摩耗量となった。そして摩擦速度が 1.6 m/s 以上では比摩耗量は急激に増加し、 2.0 m/s 以上では比摩耗量は $10^{-13} \text{ m}^3/\text{N} \cdot \text{m}$ オーダーまで増加した。摩擦係数は、比摩耗量の変化と同様な傾向を示すが、比摩耗量が急増した摩擦速度 1.8 m/s 以上で急減した。このような摩擦速度にともなう比摩耗量、摩擦係数の変化は、鋼などの金属と同様な摩耗挙動を示した。

Fig.4 Changes of wear rate and coefficient of friction with slindig speed in the sintered alloy.

比較のために結晶化させた粉末の焼結体を同条件で摩耗試験した。Fig.4に摩擦速度にともなう比摩耗量、摩擦係数の変化を示す。比摩耗量は摩擦速度が 1.0 m/s で約 $0.4 \times 10^{-14} \text{ m}^3/\text{N} \cdot \text{m}$ の極小値となり、さらに摩擦速度が増すと比摩耗量は増加し、 1.6 m/s 以上で急激に増加した。また、摩擦係数は比摩耗量と同様な傾向を示すが、比摩耗量が急増した摩擦速度 1.6 m/s 以上で摩擦係数は低下した、これは結晶相から脱落した粒子が摩耗面で転がり摩擦を起こし、摩擦係数が減少したものと思われる。両合金焼結体の比摩耗量を比較すると、同条件の摩耗試験では、非晶質合金焼結体の方が、結晶合金焼結体より1/10程度比摩耗量が小さく、鉄鋼材料に対する耐摩耗性が高いことが確認できた。

3・2 摩擦速度にともなう摩耗面、摩耗粉の組織変化

非晶質合金の摩耗状態を調べるために、種々の摩擦速度で60km摩擦した後の摩耗面とその際に採取さ

Fig.5 X-ray diffraction patterns of worn surface and wear debris; $V=1.0 \text{ m/s}$, $p=0.75 \text{ MPa}$, $L=60 \text{ km}$.

れた摩耗粉のX線回折を行った。

Fig.5に非晶質合金焼結体で、比摩耗量が極大値になった摩擦速度 1.0 m/s における摩耗試験前後の試験片の摩耗面と摩耗粉のX線回折結果を示す。この摩擦速度では、摩擦後の摩耗面のX線回折結果は摩擦前と同じブロードピークであった。摩耗粉は銅の酸化物と思われる回折線が観察された。

Fig.6に摩擦速度 1.0 m/s で60km摩擦後の摩耗面と摩耗粉のSEM像を示す。摩耗面には細かい条痕が

Fig.6 Results of SEM observation of worn surface (A) and wear debris (B); $V=1.0 \text{ m/s}$, $p=0.75 \text{ MPa}$, $L=60 \text{ km}$.

確認できた。また摩耗粉は、 $1\mu\text{m}\sim 5\mu\text{m}$ 位までの黒色の微細粉末だった。これらの結果から、摩擦速度が $1.0\sim 1.6\text{m/s}$ では、焼結体は非晶質状態が保たれたまま、相手材との真実接触部が温度上昇し、一部酸化して、それが摩耗粉となって脱落し、摩耗したものと思われる。

Fig.7 X-ray diffraction patterns of worn surface and wear debris; $V=1.6\text{m/s}$, $p=0.75\text{MPa}$, $L=60\text{km}$.

次に、低比摩耗量であった摩擦速度 1.6m/s での摩耗試験前後における摩耗面と摩耗粉のX線回折結果を Fig.7に示す。60km摩擦後の摩耗面にはCuTi相の

Fig.8 Results of SEM observation of worn surface (A) and wear debris (B); $V=1.6\text{m/s}$, $p=0.75\text{MPa}$, $L=60\text{km}$.

低強度の回折線が見られ、さらに、銅とチタンの酸化物と思われる回折線も確認できた。また、摩耗粉ではCuTi相などの結晶相の回折線はなく、摩擦速度 1.0m/s の摩耗粉の場合より、明瞭な酸化物の回折線が見られた。

Fig.8に摩擦速度 1.6m/s における摩耗試験後の摩耗面と摩耗粉のSEM像を示す。摩耗面には酸化摩耗粉と思われる粒子が凝集して付着しているのが確認できた。また、また摩耗粉は $1\mu\text{m}\sim 3\mu\text{m}$ 微細な黒色の粒子であった。したがって、この摩擦速度では摩擦により摩耗面が温度上昇し、非晶質合金の一部が結晶化し、それが酸化物粒子となって摩耗面に付着したまま、摩擦されるため比摩耗量が低下したものと思われる。また、摩耗粉は摩耗面に付着していた粒子が脱落したものと思われる。

Fig.9 X-ray diffraction patterns of worn surface and wear debris; $V=2.0\text{m/s}$, $p=0.75\text{MPa}$, $L=10\text{km}$.

Fig.9に摩擦速度 2.0m/s における非晶質合金焼結体の摩耗試験前後の摩耗面と摩耗粉のX線回折結果を示す。10km摩擦後の摩耗面にはCuTi相と銅およびチタン酸化物の回折線が確認できた。また、摩耗粉では酸化物と思われる回折線とCuTi相の鋭い回折線が見られた。

Fig.10に摩擦速度 2.0m/s における摩耗試験後の摩耗面と摩耗粉のSEM像を示す。摩耗面は輝面で摩擦による条痕があり、摩耗粉の付着は極少量であった。摩耗粉も光沢のある粉末粒子であり、その大きさも $10\mu\text{m}$ 以上のものが多量に確認できた。したがって、この摩擦速度では、摩耗面の温度上昇が著し

く、非晶質相からの結晶化が進行して、相手材接触面での凝着がしやすくなるため、比摩耗量が著しく増加したものと思われる。

Fig.10 Results of SEM observation of worn surface (A) and wear debris (B);
V=2.0m/s, p=0.75MPa, L=10km.

4 結言

Cu-50mass%Ti非晶質合金粉末を加圧焼結し、ダイ

ス鋼に対して摩耗試験した結果;

- 1) 比摩耗量は摩擦速度の変化にともなって、3段階に変化する。
- 2) 低摩擦速度では非晶質状態を保ち、高摩擦速度では結晶化が起こる。
- 3) 非晶質焼結体は、摩耗面の一部が結晶化し、それが酸化摩耗を起こす際に、最も比摩耗量が小さくなる。
- 4) 摩耗面が結晶化し、凝着摩耗が起こると、比摩耗量は急激に増加する。

謝 辞

本実験に協力された工学部機械工学科関口和加奈君、中富康彦君ならびに、X線回折などに協力していただいた武蔵工業大学機器分析室の吉田明講師、新藤恵美技士補に感謝いたします。尚、本研究の一部は文部省科学研究費補助金より助成を受けたことを記し、ここに感謝の意を表します。

文 献

- 1) 師岡利政, 湯浅栄二, 櫛田祭: 粉体および粉末冶金, 39 (1992) 879.
- 2) 師岡利政, 湯浅栄二, 櫛田祭: 粉体および粉末冶金, 39 (1992) 559.