ナノダイヤモンド粒子含有複合めっき膜の摩擦摩耗特性

Friction and wear properties of Ni-P-Nanodiamond plating

○ 学 杉山博亮(福井大院) 君塚統(福井大) 正 宮島敏郎(福井大)

正 本田知己(福井大) 正 岩井善郎(福井大)

小泉将治(アイテック(株)) 正 進士豊(アイテック(株))

Hiroaki SUGIYAMA, Osamu KIMIZUKA, Toshiro MIYAJIMA,
Tomomi HONDA, Yoshiro IWAI, University of Fukui, Bunkyo 3-9-1, Fukui-shi, Fukui, 910-8507
Masaharu KOIZUMI, Yutaka SHINJI, EYETEC Co., Ltd., 2-6-8 Kaminaka-cho, Sabae-shi, Fukui, 916-0016

Key Words : Tribology, Wear, Friction, Ni-P composite plating, Nanodiamond, Ni-P-ND

1. 緒言

硬質粒子を含有したニッケル基複合めっき膜は耐摩耗性や硬さを向上させる機能性めっきとして、硬質クロムめっき(ICr)とともに、自動車部品などの工業用途に多く用いられている。複合めっきの一種であるニッケルリンナノダイヤモンドめっき(Ni-P-ND)はNi-Pよりも摩擦係数が低下し、耐摩耗性が向上することが報告されている⁽¹⁾⁽²⁾。しかし、含有するNDの粒子径や含有率との関係は明らかにされておらず、不明な点が多い。本研究では、NDの粒子径を変化させたNi-P-NDの往復動摩擦摩耗試験を行い、NDの粒子径がNi-P-NDの摩擦摩耗特性に及ぼす影響を調べた。

2. 試験方法及び供試材料

2・1 往復動摩擦摩耗試験

図1に往復動摩擦摩耗試験機の概略を示す。一定速度で往復運動するテーブルにプレート試験片を固定し、これに直径6mmの軸受鋼球(SUJ2)を押しつけてすべり摩擦させる方式である。試験条件は荷重 $P=6\text{ N}$ (面圧 $0.83\sim0.87\text{ GPa}$)、すべり速度 $v=20\text{ mm/s}$ 、ストローク 10 mm 、往復回数 $N=10000$ (すべり距離 $L=200\text{ m}$)とした。試験環境は室温の潤滑下である。潤滑下の試験において、潤滑油の供給方法は2500往復ごとに、マイクロピペットを用いてしゅう動面に $20\text{ }\mu\text{l}$ 滴下した。潤滑油は無添加パラフィン系基油($25\text{ }^{\circ}\text{C}$ のとき動粘度 $100\text{ mm}^2/\text{s}$)を用いた。

プレート試験片の比摩耗量の測定は、レーザ顕微鏡を用いて摩擦方向に対し直角に摩耗面断面形状を5ヵ所測定し、その平均の摩耗面断面積にストロークを、荷重とすべり距離で除して求めた。

Fig.1 Schematic view of reciprocating friction tester

Table 1 Mechanical properties of plate specimens

Plate	H_{IT} [GPa]	Ra [μm]	Rz [μm]	Thickness [μm]
Ni-P	12.2	0.008	0.06	11.5
ND20	11.4	0.05	0.32	12.0
ND50	11.7	0.02	0.19	12.5
ND125	12.6	0.01	0.08	15.0
ND200	11.5	0.02	0.15	13.2
ICr	11.2	0.02	0.13	9.7

ボール試験片の摩耗高さは、まずレーザ顕微鏡を使用し、すべり方向に対して直角に測定を行った。次に、摩耗こん内の平均の高さと処女面の平均の高さとの差を求め、相手材であるボール試験片の摩耗高さとした。

2・2 供試材料

供試材料はSK105の基材($35\times35\times5\text{ mm}$)にNi-Pを成膜し、その上に粒子径を20, 50, 125, 200 nmの4種類のNDをそれぞれ含有させて成膜したNi-P-NDを用いた。以後それらをND20, ND50, ND125, ND200と表記する。また、比較材料としてNi-P及びICrを用いた。Ni-P及びNi-P-NDは $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ で1時間の熱処理を行った。供試材料のインデンテーション硬さ H_{IT} 、表面粗さRa, Rz、膜厚を表1に示す。

3. 試験結果及び考察

3・1 摩擦係数に及ぼす ND の粒子径の影響

往復動摩擦摩耗試験終了手前 40 m から、試験終了までの平均摩擦係数と、ダイヤモンドの粒子径との関係を図 2 に示す。

Ni-P-ND の摩擦係数はいずれの粒子径の場合も約 0.10 と低い値を示した。Ni-P と ICr の摩擦係数は約 0.12 と高い結果となった。ND を含有することで Ni-P よりも摩擦係数は低くなったが、粒子径の大きさによる摩擦係数の違いは明確にあらわれなかった。

3・2 摩耗特性に及ぼす ND の粒子径の影響

図 3 にプレート試験片の比摩耗量とボール試験片 (SUJ2) の摩耗深さを示す。プレート試験片の比摩耗量は、ND20 が最も小さく、ICr が最も大きくなった。それ以外はほぼ同程度であった。ボール試験片の摩耗深さは ND20, ND50, ND200 との組み合わせにおいて、1 μm 以下と小さくなる。一方、ND125 及び ICr の場合、約 1.7 μm 、約 2.4 μm と大きくなった。

摩耗こんの観察はレーザ顕微鏡と SEM-EDX を用いて行った。図 4 に Ni-P との組み合わせにおけるボール試験片の SEM 画像と、EDX 分析による Ni 元素の面マッピング画像を示す。ボール試験片の摩耗こん全体に Ni が確認できる。プレート試験片の Ni がボール試験片に移着したため、ボールの摩耗深さは小さくなった。図 5 に ND20 の摩耗こん画像を示す。ND20 においては、処女面に多くの凸部が存在し、凸部が試験終了後も確認でき、凸部の存在により、比摩耗量が小さくなったものと考えられる。

4. 結 言

ナノダイヤモンドの粒子径を変化させた Ni-P-ND の往復摩擦摩耗試験を行い、以下の結言を得た。

- (1) 潤滑下において、Ni-P-ND の摩擦係数は Ni-P や ICr に比べて低い。
- (2) ND の粒子径の大きさによる摩擦係数の違いに明確な差は見られない。
- (3) Ni-P-ND や Ni-P は ICr に比べて良い耐摩耗性を示し、相手材攻撃性も低い。

参考文献

- (1) Hui Xu, Xhi Yang, Meng-Ke Li, Yan-Li Shi, Yi Huang, Hu-Lin Li, *Surface & Coatings Technology*, 191 (2005) 161-165.
- (2) Lingzhong Du, Binshi Xu, Shiyun Dong, Hua yang,

Weiyl Tu, *Wear*, 257 (2004) 1058-1063.

Fig.2 Relationships between particle size of ND and friction coefficient

Fig.3 Relationships between particle size of ND, specific wear rate of plate specimens, and wear depth of the SUJ2 ball

Fig.4 SEM photograph and EDX analysis of the worn surface of SUJ2 ball

Fig.5 Optical microscope image of the worn surface of ND20