無電解 Ni-P めっき皮膜の摩擦・摩耗特性に及ぼす 雰囲気湿度の影響

日野 実*, 平松 実*, 辻川正人**, 川本 信**, 出水 敬***,

Effects of Surrounding Humidity on the Friction and Wear Properties of Electroless Ni-P Alloy Coating

Makoto HINO*, Minoru HIRAMATSU*, Masato TSUJIKAWA**,
Makoto KAWAMOTO** and Kei DEMIZU***

The effects of the surrounding humidity on the friction and wear properties of electroless Ni-P alloy coating on iron substrate against various steel balls were evaluated by using a horizontal reciprocating friction and wear test apparatus. The friction and wear properties greatly changed due to the surrounding humidity in spite of being under equal friction and wear testing conditions. The friction coefficient and wear amount decreased with the increase in the surrounding humidity. Therefore, it was proven that the water which adsorbs to the specimen's surface showed the lubricating effect.

Key Words : Electroless Ni-P Alloy Coating, Surrounding Humidity, Friction and Wear Property

1. 緒 言

無電解 Ni-P めっきは、耐摩耗性および耐食性に優れた均一で密な皮膜が得られることから、自動車産業や電子機器・半導体産業など多くの産業分野に適用されている¹⁾。さらにこの皮膜は無潤滑条件下において比較的低摩擦係数を維持することが知られている²⁾。

一方、無潤滑状態下での金属とセラミックスあるいはセラミックス同士の摩擦では吸着物(特に水分)によって摩擦・摩耗特性が大きく変わることが報告されており^{3),4)}、無電解 Ni-P めっき皮膜(以下、Ni-P 皮膜と記す)も同様に環境雰囲気中の物質の吸着(特に水分)によって摩擦・摩耗特性に変化が生じるものと思われる。

本研究では、各鋼種に対する Ni-P 皮膜の摩擦・摩耗特性に及ぼす雰囲気湿度の影響について検討した。

2. 実験方法

基材には冷間圧延鋼板(25×25×2 tmm)を用いた。

* 岡山県工業技術センター (〒701-1296 岡山県岡山市芳賀 5301)
Industrial Technology Research Institute of Okayama Prefectural Government (5301, Haga, Okayama-shi, Okayama 701-1296)

** 大阪府立大学 工学部 (〒599-8531 大阪府堺市学園町 1-1)
Fac. of Eng., Univ. of Osaka Prefecture (1-1, Gakuen-cho, Sakai-shi, Osaka 599-8531)

*** 大阪府立産業技術総合研究所 (〒594-1157 大阪府和泉市 あゆみ野 2-7-1)
Technology Research Institute of Osaka Prefecture (2-7-1, Ayumino, Izumi-shi, Osaka 594-1157)

試料表面は摩擦・摩耗試験における表面形状の影響を避けるためバフ研磨による鏡面仕上げを施した。Ni-P 皮膜は、市販のめっき液(日本カニゼン(株)製 S-754)を用い、膜厚が 20 μm となるよう調整した。なお、皮膜中の P の含有量は、蛍光 X 線分析より 9 ± 0.5 wt% であること、また、X 線回折より非晶質構造であることを確認した。

次に、摩擦・摩耗試験は、水平往復摺動型摩擦・摩耗試験機⁵⁾(神鋼造機(株)製(SZ-FT-93 A 2))を用い、表 1 に示した条件に従い、試験温度を 21 ± 1 °C 一定とし、相対湿度 10, 50, 90 (± 3) % の 3 段階の雰囲気湿度で行った。本実験では雰囲気湿度の影響をより明確にするために摺動速度は設定範囲内で最も遅い 1 Hz を、また、負荷荷重も同様に設定範囲内で最も軽い 0.49 N を選択

Table 1 Friction and wear testing conditions.

Upper spherical specimen (φ 10 mm)	SUJ 2 : 810 HV
	SUS 440 C : 830 HV
	SUS 304 : 200 HV
Lower flat specimen	Ni-P film : 530 HV
Reciprocating slip	4 mm
Reciprocating frequency	1 Hz
Normal load	0.49 N
Cycle number	3600
Temperature	21 ± 1 °C
Relative humidity	10, 50, 90 (± 3) RH%

した。相手材のボール($\phi 10\text{ mm}$)には摩擦・摩耗試験によく使用されるSUJ 2(軸受鋼)およびSUS 440 Cのほかに塑性加工や切削加工において容易に凝着や焼付けを生じやすいSUS 304を用いた。試料はすべてアセトンおよびエチルアルコールで十分に超音波洗浄した後、温風乾燥機で乾燥し、実験に供した。雰囲気湿度については、図1のように試験部をアクリルチャンバーで覆い、常にチャンバー内の空気をエアーポンプによって循環した。また、低湿度の実験にはフラスコ内にシリカゲルを、高湿度の実験には蒸留水(pH 6.6)を入れ、バルブによってフラスコを通る空気量を調整し、チャンバー内の湿度を制御した。湿度の測定には精密型デジタル温湿度計(神栄機製, TRH-3 A)を用いた。なお、試料を試験機にセットし、2時間以上エアーポンプを循環させ、湿度が定常状態に達するのを確認した後、摩擦・摩耗試験を開始した。

Ni-P 皮膜の摩耗特性は、既報⁶⁾に示した3次元摩耗形態測定機による摩耗痕の体積によって比較した。さらに、Ni-P 皮膜および相手材のボールの摩耗部をX線マイクロアナライザー(EPMA)によりSEM観察および元素マッピングを行った。

3. 実験結果および考察

3.1 摩擦特性

図2には、Ni-P 皮膜と各鋼種間で雰囲気湿度を変化

Fig. 1 Relative humidity control system on the friction and wear test.

Fig. 2 Variation of the kinetic friction coefficients with sliding time.

させ摩擦・摩耗試験を行った結果の動摩擦係数の時間変化を示す。Ni-P 皮膜と相手材のボールとの動摩擦係数は、相対湿度によって大きく変化していることがわかる。相手材がSUJ 2ボールの場合、相対湿度90%では動摩擦係数が試験初期には若干の変動は認められるものの、0.2付近で、試験終了までほぼ一定の値を示す。また、他の鋼種に対してもほぼ同様な傾向を示すことから、Ni-P 皮膜は高湿度条件下においては従来報告²⁾されているような低い動摩擦係数を維持し、優れた摺動特性が得られる。

次に、相対湿度50%では90%に比べすべての鋼種において動摩擦係数が若干高くなる。SUJ 2およびSUS 440 Cボールは、ともに動摩擦係数が試験初期では0.35付近で、その後0.3付近へ低下し、試験終了までほぼ同じ値で推移する。一方、SUS 304ボールの場合、動摩擦係数がSUJ 2およびSUS 440 cよりも若干高く、変動も激しい。また、一時的に急激に上昇する現象もみられる。さらに、相対湿度10%ではどの鋼種も動摩擦係数が0.6前後まで上昇しており、動摩擦係数に対する雰囲気湿度の依存性が明瞭に認められる。そこで、相手材がSUJ 2ボールについて、動摩擦係数に及ぼす雰囲気湿度の影響を詳細に調べた結果を図3に示す。なお、動摩擦係数の値は定常状態に移行した後のデータの平均値を用いた。相対湿度の増大にともない動摩擦係数は減少しており、Ni-P 皮膜に対して吸着水分が動摩擦係数を低下させる潤滑剤の役割を果たしていることがわかる。これまでに無潤滑状態下での金属とセラミックスあるいはセラミックス同士の摩擦・摩耗において、吸着した水分が潤滑作用を示すことが報告されている^{3),4)}。一方、ニッケルとアルミニウムの組み合わせでは相対湿度の増大にともない摩擦係数が増大するとの報告⁷⁾もなされているが、本実験でのNi-P 皮膜-鋼の組み合わせではセラミックス同士などの場合と同様に吸着水分が潤滑作用を示すことが明らかになった。なお、相対湿度10%では他の湿度の場合と比較し、動摩擦係数の変動が非常に激しく、また、複雑な挙動を示した。これは相対湿度が10%の際に後述するように最も摩耗が激しく、そのため

Fig. 3 Relationships between the kinetic friction coefficients and relative humidities in the experiments of SUJ 2 ball.

Fig. 4 Surface photographs of the wear track in the experiments of SUJ 2 ball.

に生じた摩耗粉によって接触界面では金属表面同士の接触と摩耗粉を介した接触とが同時に起こることによってこのように複雑な摩擦挙動^{8)~11)}を示したものと思われる。

3. 2 試料の摩耗

試験後の試料表面の摩耗痕を SEM 観察した。代表例として相手材のボールが SUJ 2 の際の摩耗痕を図 4 に示す。同一試験条件であるにもかかわらず摩耗痕は相対湿度によって大きく異なっていることがわかる。また、SUS 440 C および SUS 304 についても同様な観察結果であった。

図 5 には、3 次元摩耗形態測定機によって算出した各鋼種における Ni-P 皮膜の摩耗量(摩耗痕体積)と相対湿度の関係を示す。相手材のボールの鋼種の違いにかかわらず Ni-P 皮膜の摩耗量は前述の動摩擦係数と同様に相対湿度によって大きく変化した。各鋼種ともに SEM 観察結果からも明らかなように相対湿度が 10% の時に最も摩耗が激しく、高湿度になるに従い摩耗量は減少した。

Fig. 5 Wear amount of the Ni-P films against steel balls at the various relative humidity.

相対湿度が 10% から 90% へと増大すると摩耗量は、それぞれ相手材のボールが SUJ 2 の場合には約 1/100, SUS 440 C では約 1/30, SUS 304 では約 1/400 へと激減し、これらの摩耗量の結果は前述の動摩擦特性の結果とよく一致しており、吸着水分の潤滑作用は明白である。

ところで、本実験に供した相手材ボールについて、SUJ 2 および SUS 440 C ボールの硬さは Ni-P 皮膜 (530 HV) よりも硬くともに 800 HV 以上であるのに対し、SUS 304 ボールの硬さは 200 HV と他のボールや Ni-P 皮膜よりもはるかに小さい。それにもかかわらず、SUS 304 ボールに対する皮膜の摩耗量は、相対湿度が 90% を除き他の硬いボールよりも多い。一般に、アブレイシブ摩耗では硬さの増大にともない耐摩耗性が向上することが知られているが¹²⁾、Ni-P 皮膜の摩耗量と相手材のボールの硬さには、相対湿度 90% を除き特に相関関係が認められないことから、本実験では凝着性(相互溶解度¹³⁾)が皮膜の摩耗に大きく影響しているものと思われる。図 6 には、摩擦・摩耗試験後の相対湿度 10% での相手材のボールの摩耗面の EPMA 観察像を示す。各ボールの摩耗面には、ボールの主元素である Fe 以外に皮膜の構成元素である Ni および P が検出され、皮膜が激しく移着していることがわかる。また、相対湿度が 50 および 90% においても同様な移着が認められ、これらの結果からも本実験での摩耗形態は凝着摩耗が主体であると考えられる。したがって、SUS 304 ボールに対する Ni-P 皮膜の摩耗量が他の硬いボールよりも多いと

Fig. 6 EPMA images of wear surface on various ball specimens at 10 RH%.

いう結果について、SUS 304 ボールが構成元素に約 8 % の Ni を含有しており、Ni を含まない他のボールに比べ、皮膜中の Ni との共金による凝着性の増大に起因するものと考えられる。また、この凝着性は、図 6 に示した EPMA の元素マッピング結果からも SUS 304 ボールへの Ni および P の移着が他のボールよりも激しいことからもうかがえる。

次に、相手材のボールに関して、光学顕微鏡により摩耗痕の直径を測定し、摩耗面が平坦であると仮定して摩耗体積を算出¹⁴⁾し、その値を摩耗量とした。図 7 に摩耗量を示す。Ni-P 皮膜と同様に摩耗量は相対湿度によって異なり、低湿度の際に摩耗量が多く、相手攻撃性が強い。一方、湿度の増大にともない摩耗量は減少し、相手攻撃性が緩和される。

以上の結果から、無潤滑条件下、Ni-P 皮膜と各鋼種との組み合わせにおいて、金属とセラミックスあるいはセラミックス同士^{3),4)}と同様に摩擦・摩耗特性が吸着水分によって大きく変わることが明らかとなり、雰囲気湿度の影響を考慮した評価が重要であることが示唆された。

4. 結 言

各鋼種に対する無電解 Ni-P めっき皮膜の摩擦・摩耗特性に及ぼす雰囲気湿度の影響について検討した結果、同じ摩擦・摩耗試験条件下であるにもかかわらず雰囲気湿度によって摩擦・摩耗特性は大きく変化することが明らかとなった。その際、試料表面に吸着する水分子は、摩擦経過時間とともに熱をもち、水分子の動きが活発と

Fig. 7 Wear amount of the steel balls against the Ni-P films at the various relative humidity.

なることにより水そのものが一種の潤滑剤として作用し、摩擦係数および摩耗量を低減させることがわかった。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、めっき溶液を提供して頂

いた日本カニゼン(株), 並びに実験にご協力下さった岡山
理科大学工学部学生厨子智和氏に謝意を表する。

(Received February 17, 2000 ; Accepted April 10, 2000)

文 献

- 1) 田村忠義; 表面技術, **42**, 1087 (1991)
- 2) 松村宗順; 表面技術, **42**, 1104 (1991)
- 3) H. Ishigaki, I. Kawaguchi, M. Iwasa and Y. Toibana ;
ASME J. Trib., **108**, 514 (1986)
- 4) K. Demizu, R. Wadabayashi and H. Ishigaki ; *STLE
Trans.*, **33**, 505 (1990)
- 5) 出水 敬, 曾根 匠, 足立和俊, 横山雄二郎; 表面技術, **48**,
213 (1997)
- 6) 日野 実, 西田典秀, 平松 実, 辻川正人, 川本 信; 表面技
術, **48**, 466 (1997)
- 7) 岡田勝蔵; トライボロジスト, **39**, 413 (1997)
- 8) M. Godet ; *Wear*, **100**, 437 (1984)
- 9) A. Iwabuchi, K. Hori and Y. Sugawara ; *Wear*, **125**, 67
(1988)
- 10) A. Iwabuchi, K. Hori and H. Kubosawa ; *Wear*, **128**, 123
(1988)
- 11) 岩淵 明; トライボロジスト, **35**, 386 (1990)
- 12) 榎本英彦, 小見 崇; 合金めっき, p. 123 (日刊工業新聞社,
1987)
- 13) 笹田 直, 野呂瀬進, 三科博司; 潤滑, **22**, 169 (1977)
- 14) 西田俊彦, 安田榮一; セラミックスの力学的特性評価, p. 154
(日刊工業新聞社, 1987)

~~~~~