



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	撹動面の表面構造による潤滑特性に関する研究
Author(s)	西村, 生哉; 勇田, 敏夫; 斉藤, 剛
Citation	北海道大學工學部研究報告, 158, 87-94
Issue Date	1992-01-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/42302
Type	departmental bulletin paper
File Information	158_87-94.pdf



摺動面の表面構造による潤滑特性に関する研究

西 村 生 哉* 勇 田 敏 夫* 斉 藤 剛*

(平成 3 年 10 月 31 日受理)

Study On Characteristics of Lubrication by Sliding Surface Structure

Ikuya NISHIMURA, Toshio YUHTA, and Tuyoshi SAITOH

(Received October 31, 1991)

Abstract

This paper presents an improvement on the characteristics of lubrication by surface structure. There is certainly friction if the bodies are in contact with each other, the force of friction was certainly brought about by the motion of bodies. It is very important for the mechanical design to decrease the force of friction and to prevent the wear.

In this study, in order to decrease the force of friction, we coated the soft material (Au) with as the solid lubricant on the hard material (Titanium nitride, TiN). TiN was coated as shown in the pattern. Load was supported with the projection of the pattern, and the solid lubricant was constantly supplied from the hollow of the pattern.

The result of the friction experience, it was shown that the sample that was coated with patterned TiN and Au had a low coefficient of friction and high load durability. Au was found to be the most malleable metal, so leaning contact of frictional surface was corrected and wear of frictional surface was prevented. It was shown that the surface structure what was patterned with TiN and Au is effective for decreasing the force of friction and the extension of the sample life.

1. は じ め に

二つの面が接触した状態で相互に運動するとき、互いに力を及ぼし合う。この力が摩擦力であり、この現象を一般に摩擦現象と呼ぶ。物体の接触のあるところには必ず摩擦があり、運動には必ず摩擦抵抗が加わる。機械は運動中、必ず摩擦によってエネルギーをロスし、摩耗する。このため現実の機械設計ではきわめて注意深く考慮されてきた。

* 生体工学専攻 生体機能合成工学講座

* 日本精工㈱

摩擦は単なる表面効果ではなく、固体の性質によって影響されることが多い。すべりの間に起こる物理的過程はきわめて複雑で、量的な取り扱いが容易ではない。しかし摩擦抵抗力について考えるとこれは2つの項、せん断項と掘り起こし項との和として表すことができる。一般に掘り起こし項はせん断項に比べてはるかに少なく、数%以下といわれる。従って摩擦抵抗力の低減にはせん断項を小さくすればよい。せん断項は次式で与えられる²⁾

$F = Ar \cdot \tau$ (F : 摩擦力 Ar : 真実接触面積 τ : せん断強さ)

しかし図1に示すように、(a) τ の小さい軟質材料は Ar が大きく、(b) Ar の小さい硬質材料は τ が大きい、(c) そこで硬質材料の上に軟質材料をコーティングしたものを考えると軟質材料と硬質材料の利点が同時に得られる。このことから金、銀、鉛、すず、インジウムなど低せん断力材料が固体潤滑剤として用いられる。

本研究では硬質材料として高硬度(ビッカース硬度 1400~2000 Kgf/mm²)、高融点(2950℃)を持ち、化学的に安定な物質である窒化チタンを用い、軟質材料として固体潤滑剤として有効であるとされている金を軸受鋼上にスパッタ蒸着してその潤滑特性について検討した。金を固体潤滑剤として用いたのは以下の理由による。

①固体潤滑剤として有効な低せん断強さを有する。

②金属中最高の展延性を持つ。

③化学的に非常に安定であるため、過酷な摩擦条件下でも性状変化しにくく、同時に環境への化学的な汚染をもたらさない。

さらに潤滑特性を向上させる表面構造として、窒化チタンをパターン状に蒸着した試料の摩擦係数、摩耗状態などを観察した。

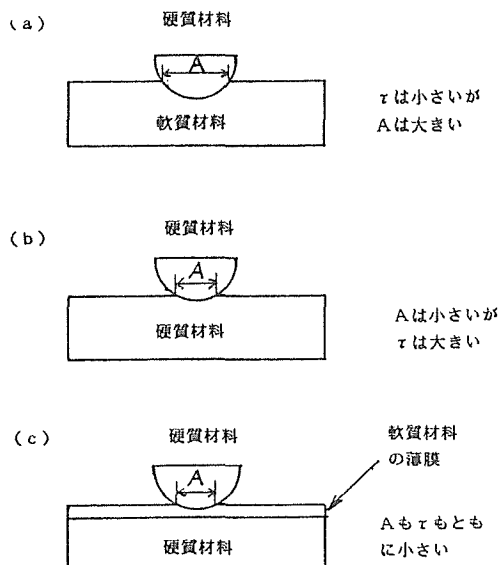


図1 固体潤滑のモデル

2. 実験方法

2.1 試料作製

窒化チタン、金の蒸着には、日電アネルバ製 SPF-210 A を用いた。ターゲットには純度 99.999% のチタン、99.99% の金を用いた。放電ガスには純度 99.999% 以上のアルゴンガス、窒化チタン生成用反応ガスには純度 99.995% 以上の窒素ガスを用いた。蒸着厚さはすべて 1 μm とした。蒸着基板として円板状の SUJ-2 軸受鋼を使用した。

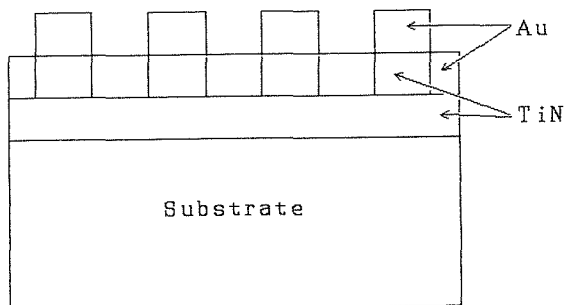


図2 窒化チタンのパターン化

また、固体潤滑剤の特性を生かす表面構造として、窒化チタンをパターン状に蒸着した。これは図2に示すように、パターン凸部で荷重を支え、凹部から常時固体潤滑剤を供給することによって、安定した潤滑効果を得ようとするものである。使用したマスクパターンは直径 11 mm、ピッチ 1.05 mm である。

2. 2 摩擦実験

摩擦実験には3球ディスクタイプ摩擦試験機を用いた。直径 11 mm の試料を半円球の治具に接着したもの3個を、ドーナツ型の SUJ-2 軸受鋼プレートに対して荷重を加えながら回転させる。摩擦力の測定にはトルクメーターを用い、摩擦力が 15 Kgf を越えたときにリミッタを作動させて実験終了とした。軸回転数は 600 r.p.m. (試料面すべり速度 2 m/sec)、垂直荷重は 30 分毎に 30 Kgf ずつ階段的に変化させた。

2. 3 摩耗実験

摩耗実験には端面型動摩擦試験機を用いた。直径 25 mm の円板状試料を空気軸受によって支えられた試料台に固定し、同じく空気軸受によって支えられる高速回転スピンドルの端面を試料台にのせる。このとき試料面が摩擦力として受け取る接線力をロードセルのひずみとして検出し、摩擦係数を計算する。この試験方法では、一般に言われている摩擦係数より大きめの値が出る傾向がある(約5倍)が、相対的な評価には問題なく使える。

3. 結果と考察

3. 1 摩擦実験

使用した試料は以下の通りである。

- A : SUJ-2 軸受鋼上に TiN を蒸着
- B : SUJ-2 軸受鋼上に TiN, Au を蒸着
- C : SUJ-2 軸受鋼上に Au を蒸着
- D : SUJ-2 軸受鋼上に TiN(パターン), Au を蒸着

図3に各試料の荷重と摩擦力の関係を示す。図中の×印は、その荷重で摩擦力が急激に増加し、摩擦試験機のリミッタが働いたことを示している。軸受鋼上に窒化チタンだけを蒸着した試料(A)は、最も低い荷重で試験機のリミッタが働いている。そこで試料(A)の上に固体潤滑剤として金を蒸着したもの(B)を見ると、最大荷重は増加し、また摩擦力は小さくなっている。次に軸受鋼上に金だけを蒸着した試料(C)を見ると、リミッタの働いた荷重は試料(A)と同じであるが、それまでの摩擦力が小さい。以上より、硬質材料(窒化チタン)上に軟質材料(金)をコーティングするのは固体潤滑において効果があることがわかった。この理由は硬質材料である窒化チタンが荷重を受け、軟質材料である金が流体潤滑膜のように振舞っている

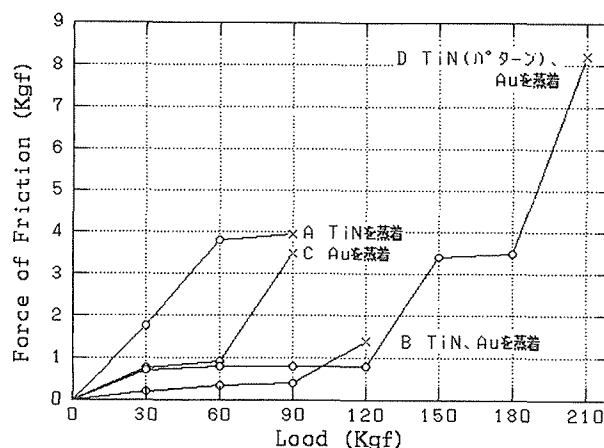


図3 各試料の荷重と摩擦力

ためであると考えられる。

さらに窒化チタンをパターン化した試料(D)は荷重 210 Kgf まで潤滑性を保っている。これは軸受鋼上に窒化チタンのみ、あるいは金のみを蒸着した場合と比べて2倍以上優れている。また窒化チタンをパターン化することによって、約 1.5 倍の潤滑特性が得られることがわかる。パターン凸部が荷重を受ける役割を果たし、凹部がそこにたまった金を常時潤滑部に供給する役割を果たすため、潤滑特性が向上したものと考え

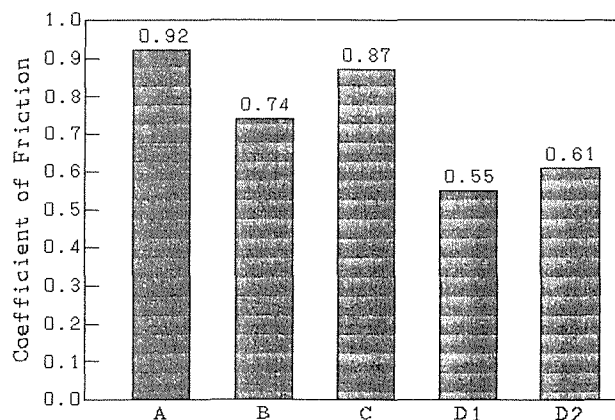


図4 試料A～Dの摩擦係数

表1 摩耗実験の資料と実験条件

試 料	A	B	C	D 1	D 2
被 膜	未処理	TiN	TiN	TiN+Au	TiN+Au
形 状	フラット	フラット	パターン	パターン	パターン
速度(r. p. m)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,400
時間(hour)	1.5	1.5	1.5	3	6
荷重(Kgf)	0.23				
スピンドル	SUJ-2 軸受鋼				

られる。また金の低せん断強さと優れた展延性を考えると、摩擦相手面の摩耗防止にも効果があると予想される。

3. 2 摩耗実験

使用した試料と摩擦実験条件は表1の通りである。

図4に各試料の摩擦係数を示す。金を蒸着した試料(D1, D2)の摩擦係数が小さくなっており金による潤滑が効果を挙げていることがわかる。特に試料(D2)は他の試料と比べて高回転数、長時間の摩擦条件であるにもかかわらず、金を蒸着していない試料(A, B, C)と比べて低い摩擦係数を示しており、前節同様窒化チタン(パターン)+金という表面構造が優れた潤滑特性を持っていることがわかる。

それぞれの試料の摩擦機構を考察するために、試料面摺動痕の金属顕微鏡観察、断面曲線の観察を行った。

(1) 試料A(未処理軸受鋼) 図5に試料面摺動痕の金属顕微鏡写真、断面曲線を示す。

試料面には摺動痕の遍在が見られる。断面曲線から、摩擦面のあらかがきわめて大きくなっており、摩耗量は約 $5 \mu\text{m}$ 程度の深さに達していることがわかる。摩耗状態の分布を見ると、外側よりも内側から中央部にかけての部分で摩耗量、試料面のあれが大きくなっている。これは滑り速度の相違が引き起こした現象だと思われる。最外周の滑り速度は最内周のその3倍となっており、その影響は十分に考えられる。特にこの試料は、試料とスピンドルがいわゆるとも金となっており、凝着の起こりやすい条件である。従って滑り速度の遅い部分で、より凝着が起こり易く、

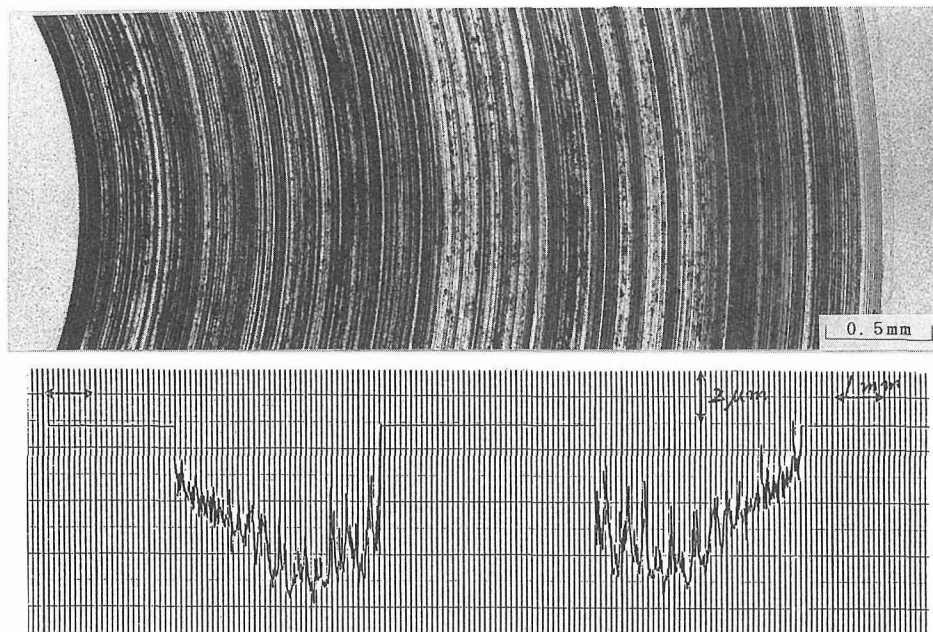


図5 試料Aの摺道痕の金属顕微鏡写真と断面曲線

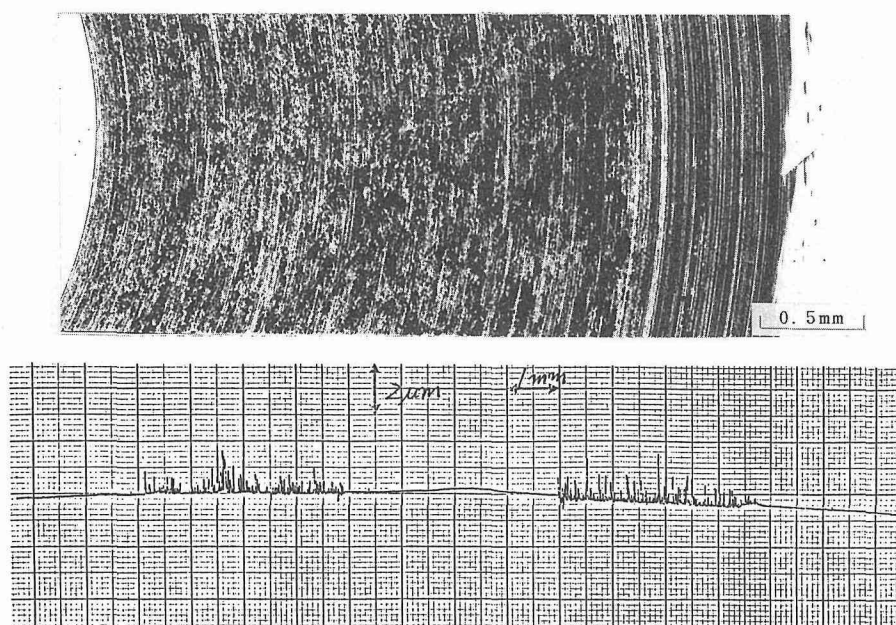


図6 試料Bの摺道痕の金属顕微鏡写真と断面曲線

内周での凝着摩耗が激しいことが説明できる。

(2)試料 B(フラット TiN 膜) 図6に試料面摺動痕の金属顕微鏡写真，断面曲線を示す。

断面曲線から窒化チタン膜面はまったく摩耗していないことがわかる。むしろスピンドルから生じた摩耗粉の移着による凸部の形成がみられる。金属顕微鏡観察によっても試料Aに見られたような条痕は余り見られず，酸化鉄の細粒に覆われている様子がみられる。

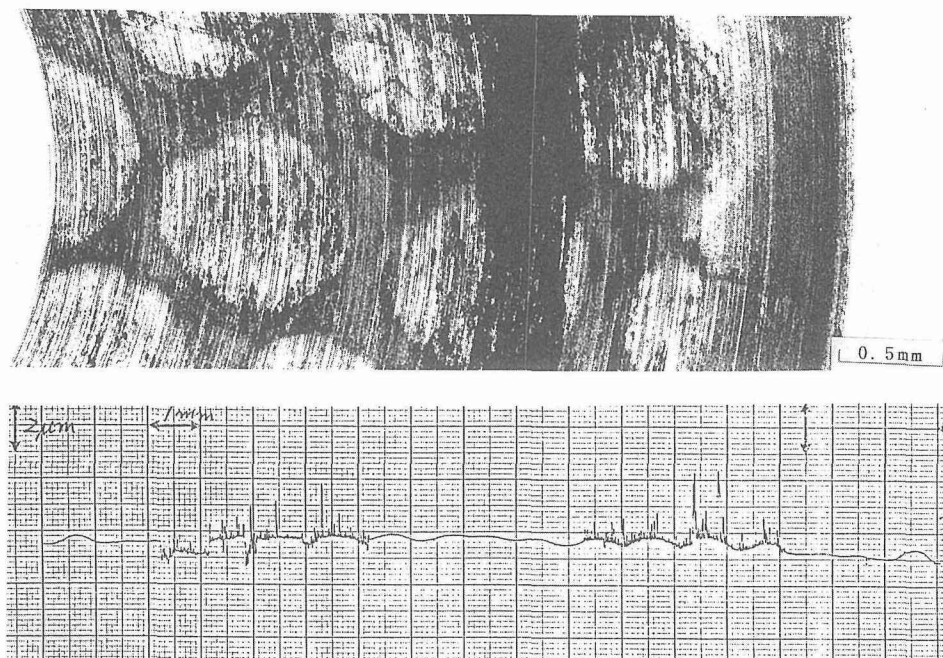


図7 試料Cの摺道痕の金属顕微鏡写真と断面曲線

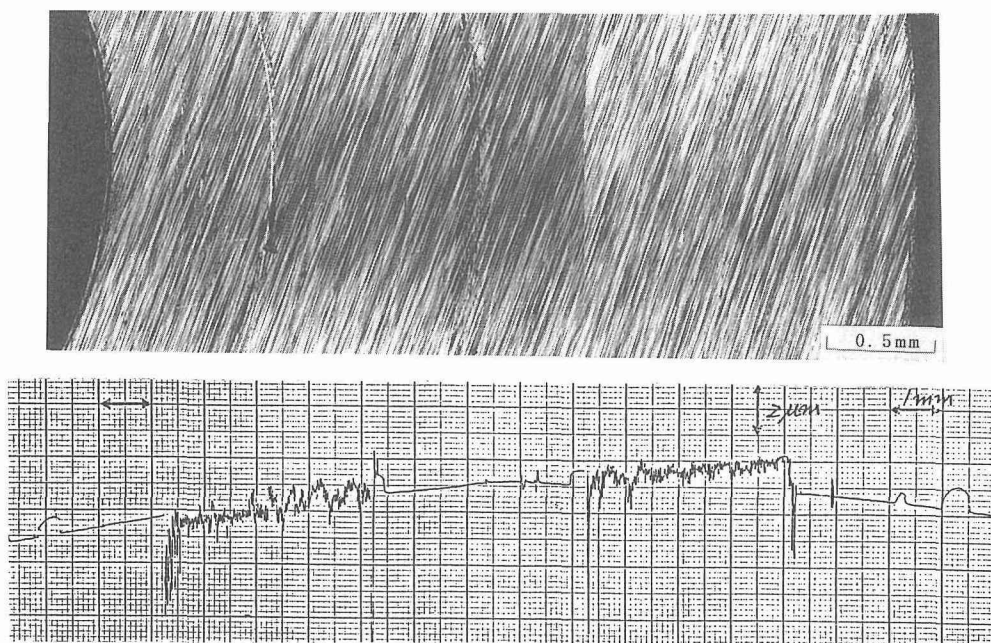


図8 試料D1の摺道痕の金属顕微鏡写真と断面曲線

(3)試料C(パターン TiN 膜) 図7に試料面摺動痕の金属顕微鏡写真, 断面曲線を示す。

試料Bと同様, 試料面の摩耗はほとんどなくスピンドルの摩耗粉の移着が見られる。またパターンの損傷は非常に少ない。

(4)試料D1(パターン TiN+Au) 図8に試料面摺動痕の金属顕微鏡写真, 断面曲線を示す。

断面曲線からスピンドルの片あたりを減少するように金が流動した様子が見られる。また摩擦相手面であるスピンドル端面には前加工面（平研削面）がはっきり残っており金による摩擦相手面の摩耗防止効果がわかる。ところで金をコーティングしたものでは摩擦係数が時間の経過につれて減少してゆく傾向があった。試料 A, B, C では時間とともに摩擦係数が増大し、1 時間程度ではほぼ一定の値に収束した。これは摩擦面の温度上昇が凝着を促進するために、ある一定温度に落ち着くまでの間は摩擦係数が増加するものと考えられる。金のコーティング面ではその低せん断強さのために凝着が弱く、スピンドル端面が柔らかい金の表面に食い込み、掘り起こし変形をする際の抵抗が摩擦力の主因と考えられる。試験開始直後は金の変形の余地が大きいために抵抗が大きい、時間とともにスピンドル端面になじみ、掘り起こしが減少することによって摩擦抵抗が減少してゆくと考えられる。

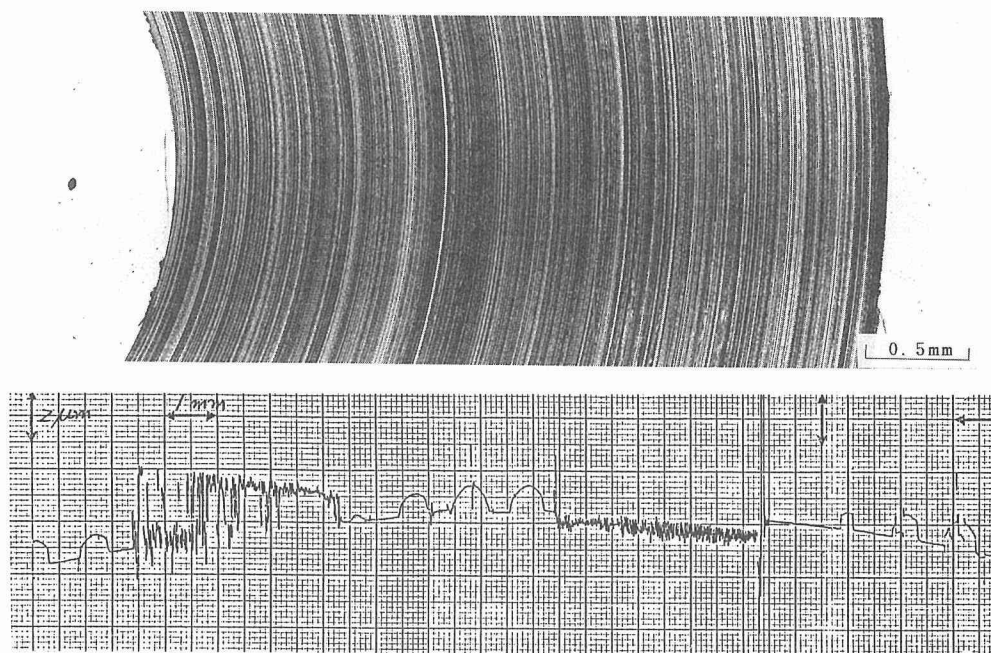


図9 試料D2の摺道痕の金属顕微鏡写真と断面曲線

(5)試料 D2(パターン TiN+Au) 図9に試料面摺動痕の金属顕微鏡写真、断面曲線を示す。

金による潤滑効果を確認するため、摩擦速度、試験時間を増加させて実験を行った。試料面にはD1と同様の条根が見られるが、D2ではより細く高密度になっており、スピンドル端面とのなじみがD1より進行していることがわかる。スピンドル端面はD1と同様、前加工面のままである。従って、本実験の条件下では、金は安定した潤滑効果を保っているといえる。

4. ま と め

硬質材料の上に軟質材料を蒸着したものは固体潤滑剤として優れた特性を有するという観点から、軸受鋼上に窒化チタンおよびAuを蒸着し、その潤滑特性を調べた。その結果、軸受鋼上に窒化チタンおよびAuを蒸着した試料は、摩擦係数、耐荷重性などの摩擦特性が向上することがわかった。さらに窒化チタンをパターン化することによってその摩擦特性（耐荷重性）を窒化チタ

ンのみ,あるいはAuのみ蒸着した試料に比べて約2倍,窒化チタンをパターン化していないものに比べて約1.5倍まで向上させることができた。これはパターン凸部で荷重を受け,凹部から常時Auをする表面構造であるからと考えられる。

またAuの優れた展延性のため,摩擦面の片当りを補正し,摩擦相手面の摩耗防止にも効果があることがわかった。

参 考 文 献

- 1) 松原清;トライボロジー摩擦,摩耗,潤滑の科学と技術一,産業図書
- 2) F. P. Bowden and D. Tabor; 曾田範宗 訳;固体の摩擦と潤滑,丸善