

最近のすべり軸受の動向と適用例

大阪大学工学部 田口長兵衛

緒言

すべり軸受に関してはこれまで多くの報告があるが未だ画期的な新製品は開発されていない。もちろん、これまで細部においてはいろいろな面で改良が加えられている。軸受の生命はおおよそ機構、材質および潤滑油の三者によって決定されるものであるから、これら各々の専門家の知識を結集することが肝要である。最近の諸機械、機関等の急速な進歩はすべり軸受はもちろんのこと、ところが軸受にも驚異をもたらしている。しかしこの問題を解決しないかぎりこれらの進歩は望めないのである。特に設計技術者にとってこの問題は重要なことで、今日の進歩過程にある潤滑技術に応じた適切な軸受を選択することが大切である。またJIS規格品は過去のものであることに留意すべきであろう。

本文には断片的ではあるがすべり軸受の動向と近年問題としてクローズ・アップされたいいくつかの軸受について論及する。

1. 金属系すべり軸受の動向

(1) 構造について

今日多種多様の合金が軸受として利用されている。種類が多いことは設計技術者にとって迷惑なことで、その選択に躊躇された方も多いことと思う。本項ではその各々の特質を把握するため簡単なモデルで説明することにする。

図1はF. P. BOWDEN¹⁾が示したものである。すなわち、金属と金属が接触した場合の摩擦力(F)はこれらの接触面積(A)と剪断力(S)との積に近似するものであるから図1の(イ)硬質材(軸受)対硬質材(軸)の場合はAが小さいがSが大きい結局摩擦力が大きく、次の(ロ)軟質材(軸受)対硬質材(軸)の場合は反対にAが大きくSが小さいがこれまた摩擦力が大きくなる。一方(ハ)硬質材の上部に薄く軟質材をライニングしたものはAおよびSが共に小さいので摩擦力は小さくなる。このことはソリッドのものよりバイメタルが優れていることを示すものである。

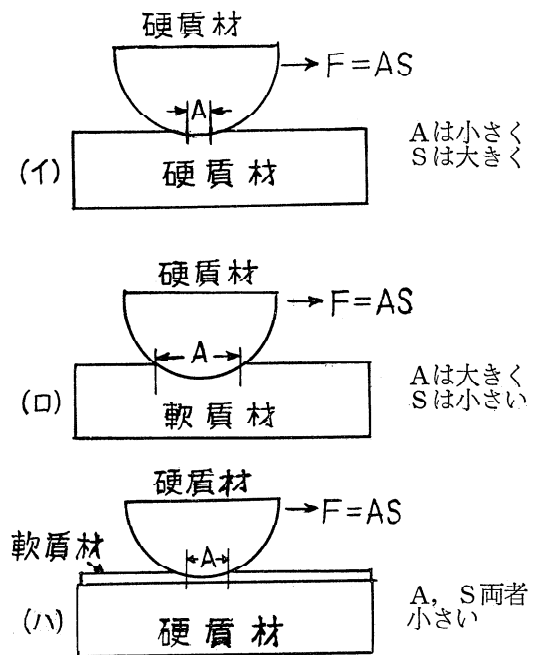


図1 金属と金属とが接触した場合の摩擦力

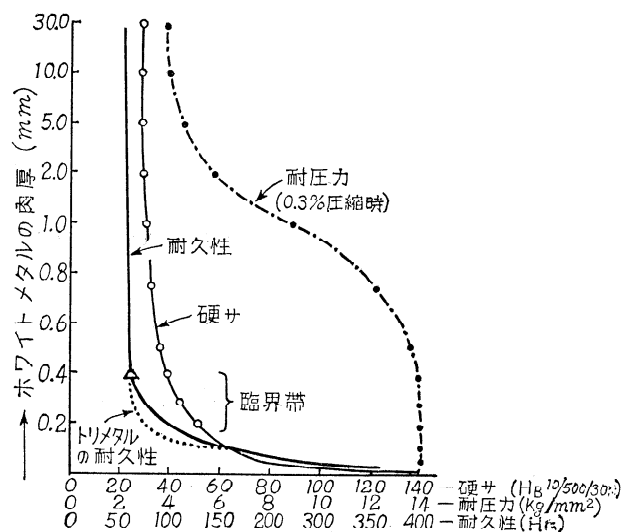


図2 鋼にライニングしたホワイトメタルの肉厚と硬さ、耐圧力および耐久性との関係

次にライニングした軟質層の厚みが問題となるがこれについては図2の鋼にホワイトメタルをライニングした

場合の肉厚と硬さ、耐圧力および耐久性の関係よりホワイトメタルが薄いほど軸受性能がすぐれていることが解るが加工精度、潤滑油による腐蝕、裏金の形状、寸法および内部歪などの点を考慮して厚みを決定する必要がある。

なお、ホワイトメタルを薄肉で使用する場合はそれが裏金に均質にかつ強固に密着しておることが前提条件で、密着性が悪いと薄くするほど危険な状態にあることを留意すべきである。参考まで 図2 中にトリメタルの耐久性も付加したがこれより臨界帯においてはバイメタルの方が優れていることが解る。しかしトリメタルは他の長所（たとえば高速、熱衝撃に耐え、安全度が高いなど）が多いので今日脚光をあびている。これら硬質材に軟質材をライニングした軸受を E. CRANKSHAW²⁾ は図3 のように (イ) バイメタル、(ロ) ミクロ、(ハ) トリメタルの3種類に分ち、小径軸受の各々の層の厚みを明示している。

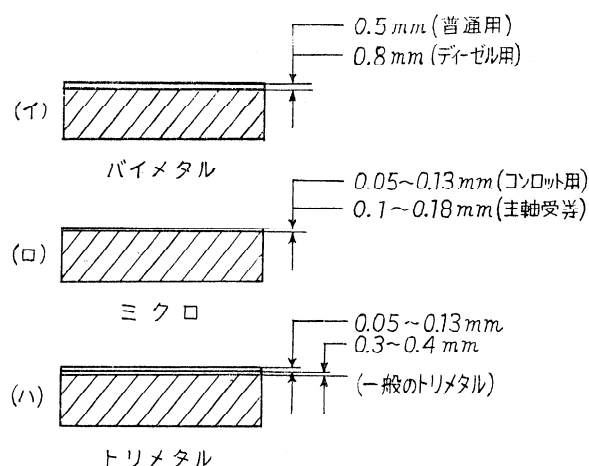


図3 小径すべり軸受の構造と寸法

すなわち、(イ)のバイメタルとしては通常軟質材としてホワイトメタルを用い厚みは連続帯状鋳造の場合は約0.5 mm、遠心鋳造および置き注ぎ鋳造の場合は約0.8 mm程度で、(ロ)のミクロの場合は更に薄く高荷重に耐えるようにしたもので厚み0.05~0.13 mmのものは連結桿軸受に、0.1~0.18 mmのものは主軸受に用いる。次の(ハ)のトリメタルでは通常0.3~0.4 mmの鉛青銅の中間層の上に0.05~0.13 mmのホワイトメタルをライニングしたものが使用されている。一方著者の調査によると中型軸受では(イ)のホワイトメタルの肉厚は1~2 mm、(ハ)のトリメタルは中間層が0.5~0.8 mm、上層のホワイトメタルが0.4~0.6 mmのものが最も多かった。また大型軸受、特に大型船舶用機関の軸受では(イ)のホワイトメタルの肉厚は3.5~7.5 mmで、この厚みの差は材質の相違およびライニング技術の優劣に基くもので

ある。このほかすべり軸受の構造上の問題として最近日特金属(株)で開発したすべり軸受を多層重ねたもの、潤滑油の供給方式を改良したフィルマック、ノルトンランデイスマイクロフェアー、ミッチェルなどの流体軸受および気体軸受があるが本文では頁数の都合上割愛する。

(2) 材質、組織、熱伝導性について

C. L. GOODZEIT³⁾ は鋼と各種純金属との摩擦による耐焼き付き性を比較検討している。これによると鋼に対しては Sb, Be, Cd, C, Ge, In, Pb, Sc, Ag, Tc, Tl, Sn がすぐれ、Al, Ba, Ce, Cr, Co, Cb, Au, Ir, Fe, Li, Mg, Mn, Mo, Ni, Pd, Pt, Rh, Si, Ta, Th, Ti, W, U, Zn, Zr が悪く、Cu は佳となっている。これを冶金学的に考察すると1, 2の例外はあるが耐焼き付き性のすぐれているものは鋼と不溶であるか化合物を造るもので、耐焼き付き性の悪いものは鋼と互いに溶け合うもの(固溶体)である。しかしながら実際には純金属をソリッドの軸受として使用することは極くまれで通常合金が使用されている。純金属を耐摩耗用に使用する場合はほとんどが電気メッキとしてで、たとえば Ag, Pb, In, Cr などが利用されている。一般にメッキ製品はソリッドのものに比べ、ポーラスで油膜の保持能力がよい。

さて軸受合金については著者等のこれまでの経験によると固溶体のみのも(たとえば7:3黄銅等)は焼き付き易く、一般には異相を合んだもの、換言すれば硬質部か軟質部を含んだ合金(たとえばホワイトメタルやケルメット)は良好な結果を得ている。この因子についてはこれまで使用時すべり軸受面上に凸凹部が油だめの作用をするためと考えられていたが今日ではこの考え方では説明のできない現象もまた著者が軸受合金の異相間の硬度差と耐摩耗性を比較検討した結果では硬度差の大きいもの程耐摩耗性がすぐれていることが判明している。

材質面ではたとえばケルメットの場合は軟鋼に銅—鉛合金を融着させ、その上に極く薄く Ni メッキし (Ni ダムと呼ばれている)、さらにその上に 0.01~0.02 mm (3% Cu—10% Sn—87% Pb) 合金メッキをほどこしたものが最良とされている。実際には保管あるいは運送中防錆油に腐食されないようにこの上に極く薄く Sn メッキ (スパークメッキと呼ばれている) する。

金属および合金は一般にその組織を微細化することにより強靱となり、軸受性能も向上することが認められている。しかしながら、低スズ—アルミニウム合金では極微組織および粗大組織は軸受性能が劣化するとの報告もあり摩耗の本質はなかなか把握し難いものである。

熱伝導性も軸受性能を考えるときの重要な因子とされ

ているがこれは高速の場合で低速の場合は大して問題とならない。もちろん、低速の場合は摩擦によって発生する熱量も少ないが熱伝導度を考え、材料を選択するとしばしば反対の結果をまねくことがある。たとえば低速軸受として Sn の少ない青銅と Sn の多い青銅を比較すると後者が熱伝導度が悪いのにかわらず耐摩耗性がすぐれている。またこの合金に P を添加すると熱伝導性は更に悪化するが耐摩耗性は反対に向上することが通例である。P による軸受性能向上の因子は Cu_3P と Fe (軸) と合金しないかまたは複雑な複化合物を造るためではなからうか。

一方ケルメットのような材料は高速用に考察されたものであり、その組織は微細な樹枝状品のものが裏金方向の熱伝導性がすぐれているので優秀であると論じている文献が多いが軸受では熱が各部均一に発生するものでないから裏金方向はもちろんのこと円周方向にも容易に伝わるような粒状組織の方が軸受の熱変形も少なく、かつ前者に比べ強度が大きいので望ましいのではなからうか。もちろん微細な粒状組織のケルメットを製造するには特殊な技術を必要とする。ケルメットおよび鉛青銅は Pb の偏析が強度に及ぼす影響が特に大きい。この偏析は化学分析で調査すればよいが、現場的には破断面を観察するのが最良である。すなわち、破断面が均質な灰白であれば良好で灰白中に銅色あるいは桃銅色の個所があると強度は著しく（たとえば伸び率が10から2程に）低下するので注意を要す。なお、この Pb の偏析は顕微鏡では割合判定し難いものである。

(3) 内部歪と変形について

すべり軸受ではしばしば焼き付き、かじりなどの現象があるがこれらの原因はこれまで材質選定のミス、潤滑油の供給不良、クリアランスの小さすぎ、異常温度上昇などによるものと説明されており、内部歪の問題には余りふれていない。内部歪を持つ材料は一般に長時間放置

するか、高温に保持することによって歪が消失する。この際ほとんどの材料は変形するのが常である。このことは最も精度が要求されている軸受にとって最も大切なことであるのかかわらずうんぬんされていない。今日ケルメットは約 250°C で油中焼鈍するように云われているが実際に行なっている工場は少ないようで、かつまたこの件に関する文献も非常に少ない。特に銅合金は軸受に限らず焼鈍することは極くまれであるが内部歪は決して小さい値ではない。次に著者が鉛青銅を完全焼鈍した場合の変形量の一例を示す。

焼鈍前 (内径; 200 mmφ)

→ 焼鈍後 (内径: 199.1 mmφ)

ただし 合金成分: 25% Pb, 8% Sn, 残 Cu (砂型
鑄物)
EEL { 焼鈍前の寸法: 内径 200 mm, 外径 230 mm,
長さ 150 mm
焼鈍温度 (時間): 700°C (60分)

以上のように内部歪の消去に伴う変形量が著しく大きいものであるから、いくら精密加工をほどこしても、また適正なクリアランスを取っても使用時少しずつ変形し生じ焼き付きやかみつきの生ずることが多い。特に高鉛青銅やスズアルミニウム合金はこの傾向が著しく、後者は焼鈍の項が J I S 規格で定められている。しかし一般には焼鈍しないものは摩耗量が多いとか、焼鈍すると機械的性質の安定性が増大する⁵⁾などで説明されているので焼鈍をおこたりがちである。著者は高鉛青銅も焼鈍して使用することを力説したい。また高鉛青銅で最も軸受として万能な成分は著者のこれまでの経験で 25% Pb 8% Sn 残 Cu であった (これは J I S 規格外のものである)。スズ青銅の焼鈍は化合物 Cu_3Sn が消失しないように低温 (約 35°C 以下) で行なうことが望ましい

(4) 裏金について

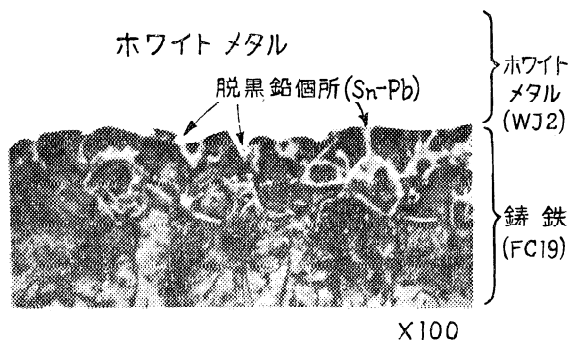


図4 鋳鉄表皮の黒鉛を消去しこれにホワイトメタルを融着せしめたもの

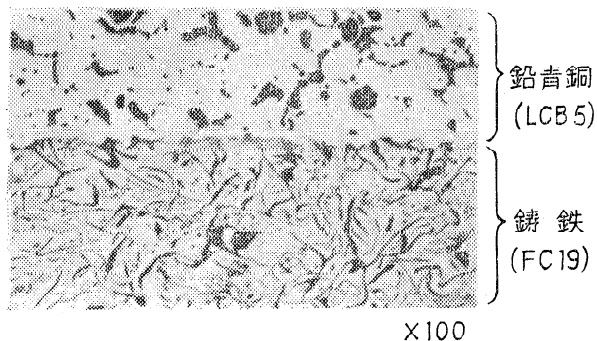


図5 鋳鉄に鉛青銅を接着せしめたもの

従来裏金には鋼、鑄鉄、銅合金が使用されている。このうち最も安価で、熱変形の少ないものは鑄鉄であるがこれまで軸受合金（特にホワイトメタル）の密着性が悪いので重要な個所には使用されていない。しかしながら、最近鑄鉄表皮の黒鉛を電氣的、化学的および物理的に除去する方法（Kolene⁹⁾~⁹⁾ Glacier¹⁰⁾）が開発され、わが国でも注目されるようになった。この方法は苛性ソーダを主成分とする塩浴（450°~500°C）に鑄鉄を浸漬し、6~8 V, 20 A/dm² の電流を通じて、陽極として約15分間、陰極として約10分間交互に通電し、酸化および還元を3回ほど繰り返して、黒鉛を除去する方法で、そのポイントは塩浴成分にある。

このようにして脱黒鉛した鑄鉄はハンダメッキが容易で、かつ脱黒鉛個所にこれが浸透するので密着性が著しく改善され、ホワイトメタルの密着性もすばらしい。したがって、このような処理をする裏金はもはやアリ溝が不要で、かつまたホワイトメタルを薄くして使用できるので軸受性能も一段と向上する。ケルメットもトリメタルも裏金に鑄鉄を利用することを検討する必要がある。図4、図5に著者が製造した…（脱黒鉛鑄鉄—ホワイトメタル）、（普通鑄鉄—鉛青銅）…の密着面の顕微鏡組織を示す。

(5) 溶射について

ポーラスで含油率がよく、合金し難い金属同志でも本法では容易に製造できるので今後期待される点が多い。本法の特長は数々あるが欠点も少くない。その最も問題となっていることはやはり密着性が悪いことで、最近の進歩した方法（たとえば Mo のスプラボンドなど）を行っても満足したものがない。そこで近頃溶射後これを還元雰囲気で拡散し密着性を改善することが試みられ注目されている。このような方法は電気メッキ製品でも有効であるから今後大いに発展するであろう。

(6) 焼結合金について

SAP（分散型強化合金）の発明により焼結合金は著しく進歩したが軸受も2、3の新しいものは開発されている。すなわち、Co を多量含んだ銅系軸受¹¹⁾は高衝撃用に、黒鉛を多量含んだ高密度の青銅（Deva Metal¹²⁾は黒鉛を約13%含んでいる）は高温用に、アルミニウム軸受¹³⁾は高速用軸受として好評のようである。また鋼板上に Cu-Pb あるいは Cu-Ni の混合粉末を厚さ約0.5mm位にのせ、これを焼結したのち連続圧延し、これにホワイトメタルを含浸させたバイメタルは古くから欧米で製造されていたがわが国では1昨年その技術が導入され生産を開始している。ホワイトメタルの代りに P・T・F・E（ポリ四弗化エチレン）を含浸した乾式軸受も大いに注

目されている。これらについては後述する。

(7) 各種軸受合金の特性について

軸受合金として最も重要視される因子は次の4つの項目である。すなわち、①耐疲労性、②変形性、③耐焼付性、④耐食性である。E. B. ETCHELLS¹³⁾ は図6に示すように低鉛青銅、ホワイトメタル、アルミニウム合金、銅—鉛合金、薄くライニングしたホワイトメタル（オーバレイ）およびカドミウム合金の6種類の軸受合金について上記4項目を比較図示している。図のラインの長さはそれほど精確なものではなく、単なる目安であり、使用条件によっても多少異なるものである。

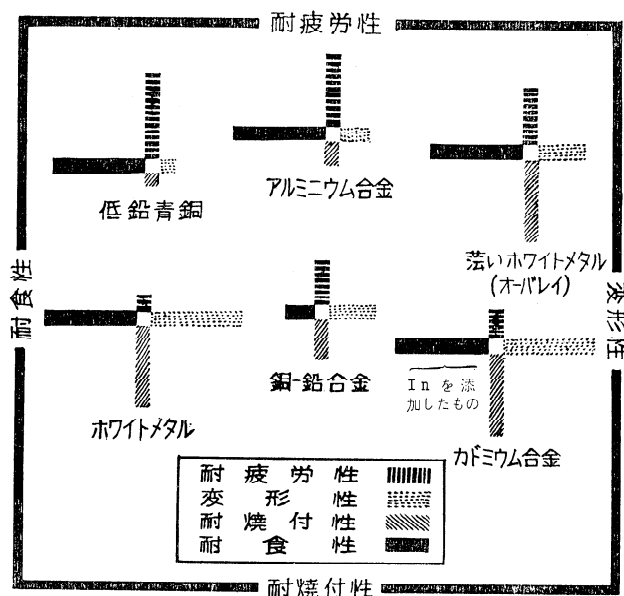


図6 各種軸受合金の4つの重要な性質の比較図

(8) 油溝について

従来軸受では油溝に対する研究は二次的な問題とされ忘れがちであるが油溝は人体に例をとれば血管のようなものであるから、その設計時には特に検討を重ねる必要がある。油孔や油溝の位置は無負荷側につけるべきであるが、変動荷重を受ける軸受では負荷の小さい場所が移動するので状況は少し変わるかも知れない。一般に円周方法溝や円周溝は軸の回転によって変化する偏心効果によって油の流入がよくなるがこのような方法は最良のものであろうか。現在、ドレッジャーのカッター軸の軸受に使用され好評をばくしているもの（材料：合成樹脂）は水潤滑をしているが水の供給方向すなわち溝は軸の回転方法と反対にしている。これは軸の回転によって水が圧縮されると軸が持ち上がり軸と軸受が接触し難いだろうと云う想定のもとで開発したとのことである。一般の軸受にも利用価値はあろう。

2. 非金属系すべり軸受の動向

非金属系すべり軸受は通常無潤滑油軸受として使用されている。古くは滑石、木材 (Lignum vitae など) 黒鉛などが使用されていたが近年は二硫化モリブデンあるいは合成樹脂の利用が目立ってきた。特にポリ四弗化エチレン (P・T・F・E) の発明はこの界に大きな革新をもたらしつつあるので本文ではこの材料について述べる。当 P・T・F・E は固体材料として最も摩擦係数が小さく、経年変化がなく、かつ耐薬品性にすぐれているがそれ自身の強度 (引張強さ: 1.4 kg/mm^2 , 耐圧力: 140 kg/cm^2 , 伸び: $100\sim 200\%$) が弱いのでこれに黒鉛, 二硫化モリブデン, ガラスウール, 金属粉など混合するか, 鋼板を裏金としてこれに青銅粉 (粒度 $100\sim 150$ メッシュ, 気孔率 $30\sim 50\%$) を焼結したものに P・T・F・E¹⁴⁾ を単独

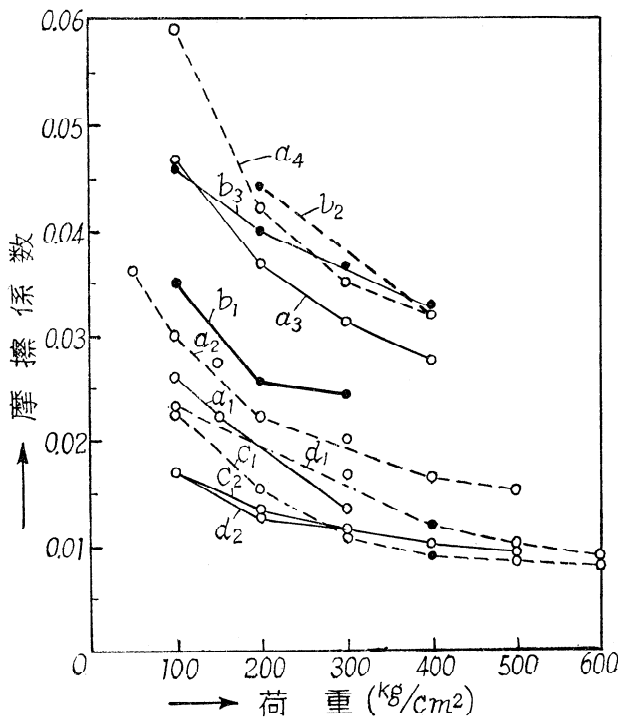


図7 P・T・F・E を用いた滑り摩擦試験

円盤	材料の組合せ 板	付号
P・T・F・E:	純 P・T・F・E	a ₁
	硬質クロムメッキ	a ₂
	鋼 st 37	a ₃
	MoS ₂ で潤滑した st 37	a ₄
P・T・F・E+黒鉛:	P・T・F・E+黒鉛	b ₁
	硬質クロムメッキ	b ₂
	鋼 st 37	b ₃
P・T・F・E+MoS ₂ :	硬質クロムメッキ	c ₁
	ポリアミド	c ₂
P・T・F・E:	硬質クロムメッキ	d ₁
	ポリアミド	d ₂

またはこれと Pb との混合物¹⁵⁾ を含浸するか, あるいは布 (引張強さ: 33 kg/mm^2 , 耐圧力: 4200 kg/cm^2 , 伸び: 13%) にして使用している。なお, P・T・F・E の粉末を接着剤と混合したもの (スプレー・コーティング用) もある。

図7に K. WELLNGER 等による P・T・F・E の摩擦試験結果を示す。これより (P・T・F・E+MoS₂) 対 (硬質クロムメッキ), (P・T・F・E+MoS₂) 対 (ポリアミド), (P・T・F・E) 対 (硬質クロムメッキ) および (P・T・F・E) 対 (ポリアミド) がすぐれていることが分る。

P・T・F・E+Pb (20%) を青銅の焼結体に圧力 (約 700 kg/cm^2) をかけ含浸させた軸受の負荷能力は低速の場合は 280 kg/cm^2 , 高速の場合は 140 kg/cm^2 であるが P・T・F・E の布を鋼などに接着させたものの負荷能力は前述のように非常にすぐれている。しかしながら PV 値に関する正確な値は未だ発表されていない。いずれにしても合成樹脂の欠点として熱伝導度が小さいので, これらのものは低速用および耐薬品用にその需要を見出すべきであろう。某社のテストによると荷重が 50 kg/cm^2 のとき, 周速が 56 m/min 以上になると P・T・F・E が溶解することが判明している。また布を用いる場合は織物の特性としてそれ自身が撓動すると摩擦係数が大きくなる故, 相手材を撓動させるようにデザインすることも肝要である。

3. 最近のすべり軸受の適用例

(1) 船用内燃機関

近年, 過給機などによって出力を増大したため軸受部の使用が苛酷となり, 従来 J I S で規定されている材料では損傷が激しく, ほとんどのエンジンメーカーでは Cd を少量含んだ高スズ基ホワイトメタルを使用している。現在世界で最も多く使用されている合金は表1のようなものである。

一方媒質金属としては Sn あるいは 20% Sn—Zn 合金 → Sn (複層メッキ) が用いられている。

(2) 船尾管ブッシュ (スタンチューブ)

近年, 船が大型化したこと, Lignum Vitae の良木が不足したこと, 軸受性能の向上およびコストダウンなどの見地より最近 DEUTSCHE WERFT HAMBURG A.G. および SYNTRON CO. などで開発した油浴型式の船尾管ブッシュの利用が活発になって来た。当ブッシュは砲金または鋳鉄にホワイトメタルをライニングしたもので両端は海水が入らないように特殊なパッキン (SIMPLEX, SYNTRON など) でシールしている。

表1 カドミウム硬化スズ基ホワイトメタル

合金名 製造会社名	化学成分(%)									機械的性質 (20°C)		
	Sn	Sb	Cu	Cd	Ni	Ag	Cr	Co	P	引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)	硬さ (H _B ^{10/500/30})
No. Eleven "R" (英国: Hoyt Metal Co.)	※ 87.48	7.70	2.70	0.94	0.09	0.11	—	—	0.01	8.9 (8.2)	11.8 (8.0)	31~32 (29.2)
Super Metal "Hy" (Pat.) (日本: 七宝メタル 工業株式会社)	残	5.5 7.5	3.0 4.0	0.8 1.5	0.05 0.2	0.05 0.2	0.01 0.5	0.1 0.5	0.01 0.02	9~11 (9.8)	10~14 (13.2)	31~32 (31.2)
Super Metal "Hz" (Pat.) (日本: 七宝メタル 工業株式会社)	残	6.5 7.5	3.0 4.0	1.5 2.5	0.05 0.2	0.05 0.2	0.01 0.5	0.1 0.5	0.01 0.02	10~12 (10.8)	9~11 (10.2)	34~36 (34.8)

※ 分折値, () 内は実測値

表2 ガドミウム硬化鉛基ホワイトメタル

名称(記号)	化学成分(%)							ブリネル硬度 P=2.5 D ² , 180 S		
	Pb	Sn	Sb	Cu	Cd	As	Ni	20°C	50°C	100°C
DIN: カドミウム硬化ホワイトメタル (LgPbSn9cd)	残	8 10	13 15	0.8 1.2	0.3 0.7	0.3 1.0	0.2 0.6	28	23	15

鋳鉄(たとえば DIN-GG18≒JIS-FC0.20)を裏金に使用する場合は前述の Kolen 法で脱黒鉛してからハンダメッキし、遠心鑄造機で第2表に示すような成分の鉛基のホワイトメタルをライニングしている。

当船尾管ブッシュの利用により軸に砲金のスリーブを焼きばめする必要がなくなったのでコスト面からも今後は大型船はもちろんのこと小型船にも大いに使用されることであろう。

(3) 高速工作機械

切削速度を早くし、かつ高精密仕上を要求される機械(施盤、研削盤など)の軸受にはすべり軸受がころがり軸受より安定な性能を有するので依然利用されている。しかしながら、機械の性能向上の一環として砲金に代り高

鉛青銅の利用が活発化してきている。高鉛青銅は前述のように焼鈍したものを使用することが望ましい。現在 J I S で規定されている高鉛青銅では LBC 5, LBC 6 (LBC 6 は軟かいので塑性変性し易い)があるが著者は表3の高鉛青銅を推奨する。いくぶん高価となるがケルメットやトリメタルなどを使用することも大切である。

(4) 圧延機、プレス等

近年、圧延機械等は加工度、加工精度の向上を計っており、これまた強靱で軸受性能のすぐれた軸受が要求されている。現在製鉄所の厚板仕上圧延機、ストリップミル、プレスなどにはアルミニウム基合金(Alcoa 750 など)、カドミニウム基合金(SAE 18 など表3にこれら合金の組成を示す)および高鉛青銅等が使用されている。

表3 各種の軸受合金

合金名	化学成分(w/o)												備考
	Al	Sn	Cu	Ni	Si	Ti	Mg	Cd	Pb	Ag	Bi	Zn	
Alcoa 750	残	5.5 7.0	0.7 1.3	0.7 1.3	0.2 以下	0.7 以下	0.3 以下	—	—	—	—	—	T 5 処理 (440°F, 7 時間焼鈍) ソリッド
SAE 18	—	0.02 以下	0.2 以下	1.0 1.6	—	—	—	98.4 以上	0.05 以下	0.01 以下	0.02 以下	0.15 以下	鋼にライニングして用う。 バイメタル
高鉛青銅	—	8 10	残	—	—	—	—	—	22 26	—	—	—	焼鈍して用いることが望ましい。 ソリッド

(5) 自動車

自動車機関用すべり軸受としてはさして新しいものは使用されていない。しかしながら、自動車部品は大量生産し、コストダウンをするため以前ソリッドを用いていたものが鋼板帯状鑄造法によるホワイトメタル軸受、ケルメット軸受などに切り換えられ、つい最近では高スズ—アルミニウム軸受の利用も注目されている。もちろん、一部にはバイメタル（巻ブッシュ）、トリメタルおよびグリッドメタルなども使用されている。高スズ—アルミニウム軸受は 20～50 % Sn と少量の Cu を含んだ Al 合金板を鋼板に圧着したもので融着品に比べ、軸受性能、密着力がすぐれ（密着力—圧着品：8.4～9.8 kg/mm²，融着品：1.3～2.3 kg/mm²），かつまた軟い軸材の使用も可能であるので今後大いに使用されるであろう。

(6) ブルトーザー

機関の軸受は自動車などと大差がない。可転輪ブッシュはリン青銅より鉛青銅（LBC 3）に変わり、現在スズ—アルミニウム基合金（SAE-B 750）の使用が注目されている。これは以前 그리스潤滑であったものがパッキンの活用によって油潤滑になったこと、受軸性能の向上およびコスト面より取り上げられたものである。アルミニウム基合金軸受は初期なじみ性が悪いので Sn あるいは Pb メッキして使用する場合が多い。もともとこの合金は耐食性がよすぎてなじみ性が悪いのであるからなじみ運転中は老化した潤滑油を用いる方が望ましい。もちろん仕上精度および熱処理などもなじみ性に大きな影響をおよぼす。表 4 に SAE-B 750 の成分を示す。

表 4 スズ—アルミニウム系軸受合金

合金名	化学成分 %					備 考
	Sn	Cu	Ni	Mg	Al	
SAE-B750	6.5	2.0	1.2	0.8	残	T 5 処理 (440°F, 7 時間焼鈍) ソリッド

(7) 油圧機械

最近のオートメーション化で油圧機械の進展がめざましい。当油圧機械で最も問題となるものはシリンダー本体とコンロッドである。シリンダー本体は現在スズ青銅（14% Sn）およびリン青銅（PBC 2 A）などで造られているが破損することがあるので最近では本体を銅で造り摺動部に銅—鉛合金あるいは高鉛青銅をライニングしたものが注目されている。しかしながら、当品の製造は非常に困難であるから上記合金の溶射を行ない、これを還元

雰囲気で加熱拡散させ密着性を改善することが賢明であろう。一方コンロッドの故障は現在大型船用機関に用いられているような強靱なホワイトメタル（Super Metal “Hy”）を薄くライニングすることによって解決されている。

(8) 特に高荷重高衝撃を受ける部品

一般に云う軸受合金の使用不可能な条件下では滲炭鋼、これに硬質クロムメッキしたものおよび窒化鋼が使用されている。しかし前者のものは硬化層が比較的厚いが硬度はそれほど高くなく、後者のものは硬度が面いが硬化層が薄く、かつ脆弱な欠点がある。ところが最近硬化層が比較的厚く、硬度が硬質クロムメッキを凌駕する方法が開発され注目されている。当法は鋼に Ti を電気メッキし、これを拡散（150～200°C）させ、次に窒化することによって鋼中に微細な窒化チタンを形成させたもの（チタナイジング窒化法と呼ばれている）で、今日話題の分散型強化合金と類似している。図 8 に 種表面硬化法による硬化層と硬度の関係を示す¹⁰⁾。当チタナイジング窒化鋼は耐摩耗性がすぐれているばかりでなく、耐食性の点からも今後大いに使用されるであろう。

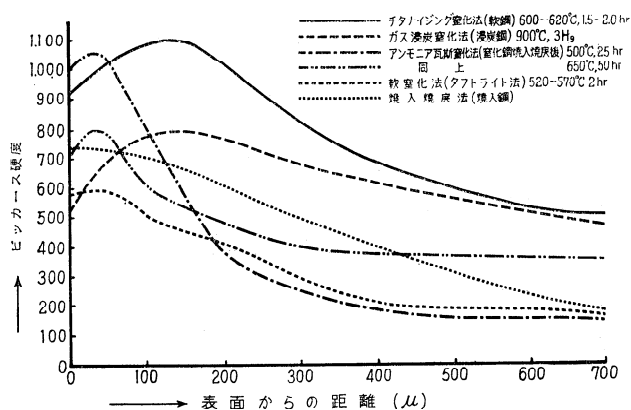


図 8 各種表面硬化法による硬化層と硬度との関係

(9) 歯車

歯車の歯面は摺動するのでこれまたすべり軸受の一種と見なすことができる。歯車材料としてはこれまで鋼、鑄鉄、マンガ青銅、アルミニウム青銅およびリン青銅などが用いられていたが最近上記の見地より高鉛青銅の利用が注目されている。著者らは大型耕運機の歯車に上記合金の使用を試みる好結果を得ている。高鉛青銅中 Sn の少ないものは容易に塑性変形し、スポーリングするので Sn の多い硬質の高鉛青銅（たとえば 10 % Sn, 20 % Pb, 残 Cu）を用いることが肝要である。

(10) 構造物

鉄製橋梁、コンクリート橋梁およびダムテンダーゲートなどの橋却部のように高荷重下で、緩慢な速度で滑り運動する支承板および軸受は従来銅合金に多量の孔を穿ち、これに黒鉛を嵌め込んだものが使用されていたが、近年ポリ四弗化エチレンの発明によりほとんどがこれに代替されつつある。特に前述したようにポリ四弗化エチレンの布（織物……接着性を改善するため片面をナイロンやテトロンとしたもの）を金属体に接着させたものは高荷重（約 4200 kg/cm^2 ）に耐え、摩擦係数が最小であるから米国では橋梁の支承板にこれを全面的に用いている。また鉄骨構造物の台座、ビーム受けなどにも広く使用されている。一方ソリッドのポリ四弗化エチレンは上記個所の低荷重用として用いられている。また当材料は経年変化がなく、耐薬品性も特にすぐれているので今後のその需用は大いに期待できよう。

文 献

- 1) F. P. BOWDEN: "The Journal and Proceedings", Royal Society of New South Wales. Vol. L XXV III.
- 2) E. CRANKSHAW: "Sleeve Bearing Materials" ASM (1949) p. 160~162
- 3) C. L. GOODZEIT: Materials in Design Eng. 47-June (1958) p. 105
- 4) 水野昂一: 軸受合金 (日刊工業新聞社) (1954) p. 123
- 5) METALS HANDBOOK (ASM), (1961) p. 852
- 6) PHOSPHOR BRONZE CO.: Foundry Trade Jour. 12 (1956) P. 59
- 7) PHOSPHOR BRONZE CO.: Foundry Trade Jour., 4 (1958) p. 295
- 8) A. E. OLSSON: Metal Progress, 8 (1958) p. 91
- 9) R. KUHN: Giesserei, 46(1959) p. 478
- 10) GLACIER METAL CO.: Shipbuilding & Shipping Record, 16 (1958) p. 478
- 11) I. FERRERO, E.S. SGAMBETTERRA: Codalt, No. 18, March (1963) p. 3
- 12) J. H. REYNOLDS, R. F. SMART, D. HALL: Metal Industry, 101 (16), (1962) p. 143
- 13) E. B. ETCHIELLS, A. F. UNDERWOOD, S. A. E. Journal, Sep. (1945) p. 497~503
- 14) 水野昂一: 特許出願番号 昭38-20452号
- 15) D. C. MITCHELL: Symposium on Powder Metallurgy, Iron Steel Inst., Special Report. No. 58 (1956) p. 364
D. C. MITCHELL, D. A. STARKEY: The Engineers Digest, 19 No. A4 (1958)
- 16) 和田特殊製鋼 (株): 日刊工業新聞 39年10月22日版