



自己潤滑性クロムめっきと各種材料の組合せにおける摺動特性

(オテック) ○森河 務, 小濱佑二, 北田知己, 森本泰行

キーワード [クロムめっき, PTFE 樹脂, 摩擦摩耗, 摩擦係数, ボールオンプレート]

1. 緒言

Crめっきが有するクラックを活用し、それにPTFE樹脂を埋め込んだ複合化Crめっき膜（弊社商品名：テフ・ロック）は、ヒートシーラー、ホッパー、スピンドルなどに利用されている。この皮膜は、PTFE樹脂の特性（低摩擦、非粘着性、離型性など）と硬質Crめっきの特性（耐摩耗性、加工精度、非常電など）を両立させた機能性膜である。一般のPTFE樹脂コーティング膜は、摺動下ではPTFE樹脂層が激しく損傷する欠点がある。複合化Crめっきも摺動面から樹脂が掃き出されると摩擦係数は急激に増加し、金属凝着や摩耗損傷が起こるようになる。我々は、複合化Crめっき膜のPTFE樹脂附着性、めっき膜質、および表面テクスチャリング等を検討し、高荷重下であっても低摩擦性を発揮する自己潤滑性Crめっきを開発してきた<sup>1)</sup>。一般に、固体潤滑膜の性能は、相手材との組合せ、使用環境や摺動条件などに依存する。このため、適用にあたっては摺動特性を把握し、機能を十分に発揮できる材料の組み合わせを選定することが必要である。

本報告では、PTFE樹脂を複合化させた自己潤滑性Crめっきと各種材料球を組合せにおける摺動特性を検討した結果について報告する。

2. 実験方法

自己潤滑性Crめっき膜は、前回報告したように表面に微細凹凸を形成したクラックフリーCrめっき膜とPTFE樹脂とを複合化させた膜である。比較としては、硬質Crめっき、クラック拡張型膜（Crめっきクラックをエッチングで拡げPTFE樹脂をコートした膜）、ブラスト型膜（ブラスト処理した素地にCrめっきし、エッチング後にフッ素樹脂をコートした膜）を用いた。

摺動試験には、ボールオンプレート装置（新東科学(株)製 HEIDON トライボギア TYP-38）を用いた。摺動球（直径 10 mm）としては、セラミック球（炭化ケイ素製 SiC, 超硬製 WC-Co, アルミナ製 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 窒化ケイ素製 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>）、鉄鋼球（SUJ2 製, SUS440C 製, SUS304 製）、軟金属（黄銅製 Cu-Zn, ジュラルミン製 Al）を用いた。摺動条件は、無潤滑下において、荷重 0.1kgf~1kgf (0.98~9.8N)、温度 25℃、湿度 50%、摺動距離 5 mm、摺動速度 1000 mm/min とし、摺動一万回までの摩擦係数を計測した。摩耗量については、レーザー顕微鏡（キーエンス(株)製 VK-X150）を用い、球およびめっき面に形成された摩耗痕中央についての断面積測定から評価した。

3. 結果および考察

3.1 自己潤滑性Crめっきの摩擦係数

荷重 1kgf 下で、各種球と硬質Crめっきおよび自己潤滑性Crを摺動させた場合の動摩擦係数変化を図1に示す。硬質Crめっきでは、殆どの球において、摺動回数が増えると摩擦力が測定ロードセル限界（1kgf）を越え、計測が停止した。一方、自己潤滑性型では、SiC球を除いて、低摩擦性が維持された。これは、めっき表面に形成した微小凹部のPTFE樹脂が、摺動時に界面に供給され続けることにより発揮される。

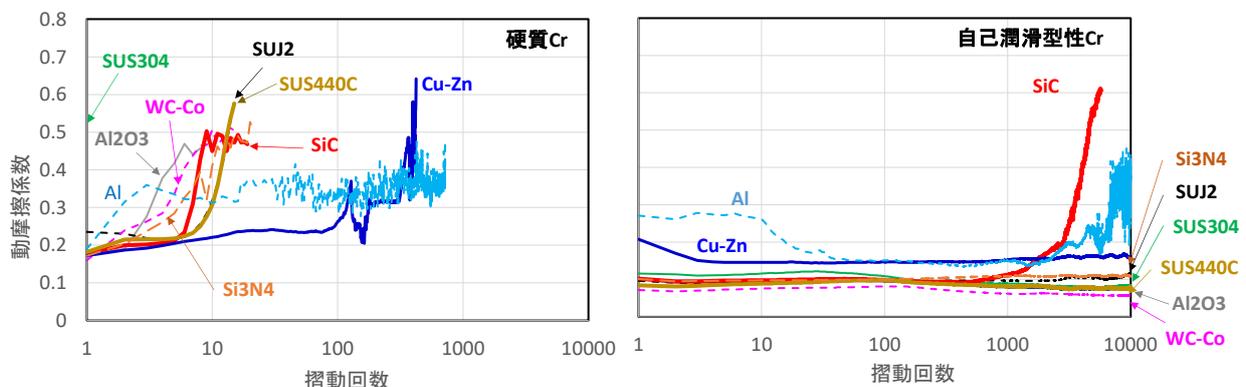


図1 硬質Crおよび自己潤滑性型Crめっきと各種球の摺動における摩擦係数の変化（荷重 1kgf）

### 3.2 自己潤滑性 Cr めっきの荷重依存性

低摩擦自己潤滑性 Cr めっきと代表的な球を摺動した場合の荷重と摩耗断面積の関係を図2に示す。印加する荷重が増加すると、球および面とも摩耗量は増加した。セラミックの Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 球との摺動では、球の摩耗は僅かで、めっき面の摩耗断面積も約 300 μm<sup>2</sup> 以下と小さかった。鉄鋼の SUJ2 球との摺動では、球、面ともに摩耗は同程度 (300 μm<sup>2</sup> 以下) であった。一方、軟金属な Cu-Zn 球では、球の摩耗が激しく起こったが、めっき面の摩耗はほとんど起こらなかった。

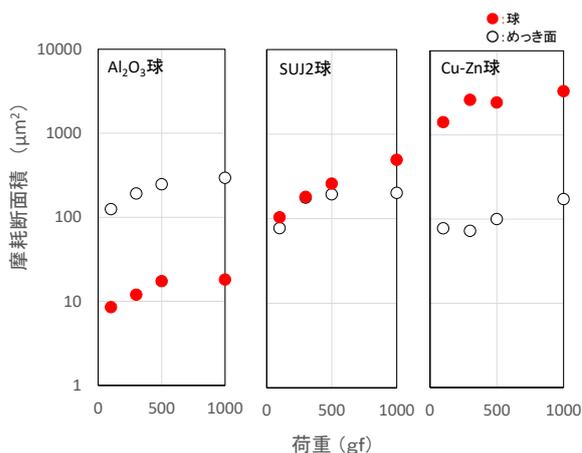


図2 自己潤滑性 Cr めっきと各球との摩耗量と荷重の関係

### 3.3 各表面処理と各種材料球との摩耗特性

荷重 500gf 下で各めっき膜と球を 1 万回摺動した場合の動摩擦係数と球および面の摩耗評価結果を、表 1 と表 2 にそれぞれ示す。硬質 Cr めっきでは、Al 球を除いて動摩擦係数は 0.5 を超えた。特にセラミック球では、球の摩耗が起こっており、生じた摩耗粉によって Cr めっきのアブレッション摩耗が進むことがわかった。一方、金属球との摺動では、金属がめっき面に凝着し、移着が起こり、それによって金属球の摩耗損傷が生じた。クラック拡張型 Cr めっきでは、摺動初期の摩擦係数は PTFE 樹脂並の約 0.1 と低かったが、摺動回数が増え PTFE 樹脂が摺動界面から掃き出されると摩擦係数は急に増加し、その後は Cr めっきと同等の摩耗状態に至った。なお、Cu-Zn 球との摺動では低摩擦性が維持され、球への攻撃性は低かった。これは、めっき面が平滑で、比較的柔らかい金属との摺動であるため PTFE 樹脂の掃き出しが起こりにくかったためと思われる。ブラスト型 Cr めっきとセラミック球の摺動では、PTFE 樹脂が摺動面で作用することで低摩擦を示し、セラミック球の摩耗は小さかった。しかし、金属球との摺動では、球が激しく摩耗された。これは球が硬い Cr めっきの凸部と衝突する摩耗による。自己潤滑性型 Cr めっきは、種々の球との摺動において動摩擦係数は約 0.1 で安定し、移着も認められず、球への攻撃性は低かった。ただし、軟金属球との摺動では、初期から摩擦係数が約 0.2 であった。これは、表面の微細凸部との衝突で柔らかい球の摩耗が摺動初期から生じたことによる。なお、SiC 球と各面と摺動では、摩耗はいずれのめっき面も高くなった。これは、SiC の破壊靱性が低く、繰り返しの摺動で粉砕が生じ、その粒子による研磨作用が働いたためと思われる。

### 4. 結言

自己潤滑性 Cr めっきは、セラミック球、鉄鋼球とも低摩擦性を示し、相手材への攻撃性も小さい。摩擦摩耗では、材料の硬度、強度、靱性、表面の粗さなども影響する。このため、固体潤滑膜の機能性を活かすには、材料の組み合わせと摺動特性を踏まえることが重要なことを再認識した。文献

1) 森河 務, 岡本 剛, 北田知己, 森本泰行; 表面技術協会第 145 回講演大会講演要旨集, p.162 (2022).

表 1 各表面処理と各球との摺動での動摩擦係数 (1 万回摺動時、荷重 500gf)

	硬質Cr	クラック拡張型	ブラスト型	自己潤滑型
SiC	0.53	0.47	0.51	0.43
WC-Co	0.48	0.60	0.18	0.07
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.66	0.76	0.18	0.11
Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	0.34	0.39	0.21	0.12
SUJ2	0.51	0.50	0.57	0.10
SUS440C	0.58	0.55	0.46	0.08
SUS304	0.51	0.33	0.53	0.11
Cu-Zn	0.67	0.17	0.41	0.19
Al	0.20	0.38	0.33	0.21

表 2 各表面処理面と各球との摺動での摩耗評価 (1 万回摺動時、荷重 500gf)

	硬質Cr		クラック拡張型		ブラスト型		自己潤滑型	
	球	面	球	面	球	面	球	面
SiC	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲
WC-Co	▲	▲	抉れ▲	▲	○	-	◎	○
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	×	▲	×	▲	◎	△	◎	○
Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	▲	×	▲	▲	◎	-	◎	○
SUJ2	×	移着	×	移着	×	-	○	○
SUS440C	△	△	△	△	▲	-	○	○
SUS304	▲	移着	△	△	×	-	△	○
Cu-Zn	▲	移着	○	移着	×	-	▲	○
Al	×	移着	×	移着	×	-	▲	△

摩耗痕断面面積 μm<sup>2</sup> による評価記号 ◎: 僅か (100 以下), ○小 (100~300), △: 中 (300~1000), ▲: 大 (1000~10000), ×: 激 (10000 超)  
 移着: 移着物有り, 抉れ: 痕内に大きな凹凸有り, -: 粗度大で摩耗量尾解析できず