

## 新しい摩擦摩耗試験機の開発－銅合金に対する超硬金型の摩擦摩耗評価

New Developed tribotester - Wear of Cemented Carbide Tools in Copper Productions

YKK (正) \*見角 裕子 YKK (非) 木村 正夫 Uppsala Univ. Jannica Heinrichs

Uppsala Univ. Urban Wiklund Uppsala Univ. Staffan Jacobson YKK (正) 河村 新吾

Hiroko Mikado\*, Masao Kimura\*, Jannica Heinrichs\*\*, Urban Wiklund\*\*, Staffan Jacobson\*\*, Shingo Kawamura\*

\*YKK Corporation, \*\*Uppsala University

### 1. 緒言

超硬合金は優れた耐摩耗性を有するため、切削工具や金型などに広く用いられている。金属ファスナーの製造工程にも超硬金型が用いられているが、被加工材である銅亜鉛合金に比べてはるかに硬い超硬合金であっても、繰返しの使用により金型が減耗して寿命に至る。銅合金に対する超硬合金の摩耗損傷に関する研究事例は限られており<sup>1)</sup>、金型寿命向上には現象を本質的に理解する必要がある。本研究では、金属ファスナー製造工程における鍛造プロセスに着目し、実金型で生じる摩擦摩耗挙動を再現できる摩擦摩耗試験機を開発し、摩耗現象の本質的な理解を深めた。

### 2. 供試材

供試材として、超硬合金製の小シリンダー（超硬シリンダー； $\phi 5\text{ mm} \times L 30\text{ mm}$ ）と、銅合金製の大シリンダー（銅シリンダー； $\phi 85\text{--}95\text{ mm} \times L 280\text{ mm}$ ）を作製した。超硬合金は平均粒径 4 mm のタングステンカーバイド (WC) 粒子を 85 wt%，バインダーとしてコバルト (Co) を 15 wt% 含有しており、ファスナー製造に用いられているものと同等グレードである。小シリンダー表面は、長手方向に沿って研削した後、ダイヤモンド砥粒によるブラスト処理にて鏡面 ( $<Ra 0.1\text{ }\mu\text{m}$ ) に仕上げた。銅合金は 85 wt% の銅と 15 wt% の亜鉛を含有し、円柱状の鋳塊表面を旋削にて  $Ra 2.3\text{ }\mu\text{m}$  に仕上げた。各試験前に数回ダミー試験を実施し、銅シリンダー表面を加工硬化させた。

### 3. 新しい摩擦摩耗試験機

金属ファスナー製造の鍛造工程を再現するために、既設のクロスシリンダーズ摩擦摩耗試験機<sup>2)</sup>に改良を加えた。既設の試験機では、超硬シリンダーを、回転する銅シリンダーに押し当てながら、しゅう動方向に対して垂直 (Fig. 1 中 X の方向) に移動させることで、一定の負荷条件で長いしゅう動距離を確保できる。この試験により、例えばせん断パンチなどの下記のような引き剥がしの動作が無く一方向のしゅう動を繰返す金型の損傷を再現できることが確認されている<sup>2)</sup>。

実際の金属ファスナー製造の鍛造工程では、上下のパンチとダイの加圧により銅合金が金型に強く押付けられた後、直ちに金型から引き剥がされる。この動作を再現するため、本試験機には超硬シリンダーを銅合金シリンダーに押し付けたり引き離したりする機構 (Fig. 1 中 Y 方向の動き) を付与した。また、銅合金がダイ内に押し込まれ充填した後には後方押出のように押付方向と逆向きのしゅう動が生じる。この動作を再現するために、しゅう動方向に上下させる機構 (Fig. 1 中 Z 方向の動き) も付与した。超硬シリンダーが銅シリンダーに押し当てられている間に、超硬シリンダーの下降速度が銅シリンダーの回転速度を超えると、相対的に両者のしゅう動方向が逆転する。さらに、これら 2 つの機構は任意に ON/OFF を切り替えることが可能であり、様々な負荷条件を実現できる。Figure 2 に、試験中に測定される押付荷重と摩擦力の例を示す。超硬シリンダー

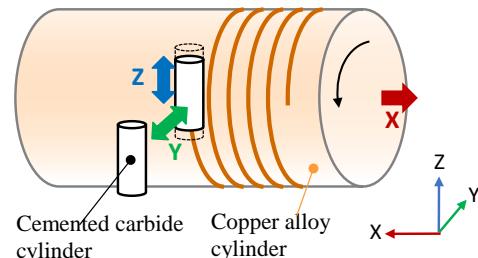


Fig. 1 Test configuration, with the small tool material cylinder and the large work material cylinder. In each cycle, the small cylinder moves into contact, moves up, reverses and moves down, rapid enough to reverse the relative sliding direction, and is then pulled out of contact.

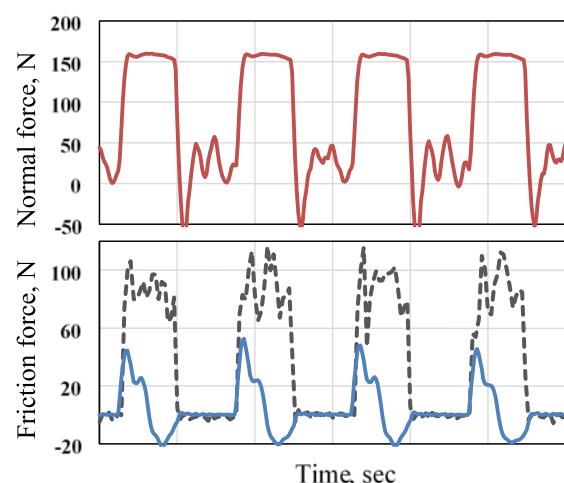


Fig. 2 Examples of normal and friction force curves during 4 contact cycles. The friction force changes from positive to negative in each contact where the “up and down motion” reverses the actual sliding direction (solid line), whereas it keeps positive without the “up and down motion” (dashed line).

のY方向の動きを繰返すことにより、図に示すようなパルス状の押付荷重が付与される。押付荷重が付与されている間中、すなわち超硬シリンダーと銅シリンダーがしうう動している間中、両者の間に摩擦力が生じる。超硬シリンダーのZ方向の動きがONの場合は、1回の接触中に摩擦力の符号を逆転（Fig. 2中実線）させることができる。

Table 1に、摩擦摩耗試験の代表的な条件を示す。実際の鍛造工程と同様に、銅合金が十分塑性変形する荷重（150N）を与えた。任意の押付回数で試験を中断し、SEM（走査型電子顕微鏡）、EDS（エネルギー分散型X線分光器）によるしうう動面の観察ならびに移着物の同定を行った。

#### 4. 結果および考察

前述の試験条件にて、 $2 \times 10^6$ 回の繰返し負荷後の超硬シリンダー表面をSEMで観察した結果をFig. 3に示す。図から、しうう動方向に平行な摩耗痕と、Coバインダーが消失した窪みが明確に確認できる。このCo相の窪みは実際の鍛造金型でも観察されるものであるが、単純なしうう動のみの動作では生じない<sup>2)</sup>。しかし、しうう動方向を逆転させる作用を付与しなくとも生じ、更に、表1に示した試験条件のうち、押付荷重・しうう動速度・押付頻度を変えても同様に生じる事から、押付と引き剥がしの繰返しによって生じる現象であると言える。

次に、同試験条件にて $3 \times 10^6$ 回の繰返し負荷後の超硬シリンダー表面をEDSで元素分析した結果をFig. 4に示す。図に示すように、超硬試験片上には相手材である銅亜鉛合金が移着するが、その一部でZn（亜鉛）成分の濃化や酸化が確認された。原理的なことは十分には解明されていないが、繰返し押し付けられることで、超硬表面へ凝着しやすい亜鉛成分が、選択的に超硬表面に残存しているものと考えられる。

このような、Co相の消失やZn濃化といった現象は、実金型で確認された特徴と同じであり<sup>3)</sup>、本試験により銅合金を相手材とした場合の鍛造金型の損傷を再現できることが分かった。

#### 5. 結言

- (1) 新しく開発した摩擦摩耗試験により、銅合金の鍛造工程に用いられる実金型の摩耗損傷を再現することができる。
- (2) 特徴的な実金型の損傷形態であるCo相の消失は、一連の「押付－しうう動－引き剥がし」の繰返しにより発生する。この損傷は連続的なしうう動のみが作用する試験条件では生じないが、「押付－しうう動－引き剥がし」の繰返しが作用する条件下では、押付荷重・しうう動速度・押付頻度などの試験条件を変えても同様に生じる。
- (3) 実金型と同じように、超硬表面へ移着する銅合金は部分的に亜鉛に富む。

#### 参考文献

- 1) 宮島・高橋・堀川・奥川・見角・河村：銅合金を相手材とした超硬合金の摩耗特性、砥粒加工学会誌、Vol. 61, No. 8, (2017) 444–449.
- 2) Mikado, H., Heinrichs, J., Wiklund, U., Jacobson, S., “Wear of uncoated and PVD coated cemented carbide tools for processing of copper based materials part I: Lab test verification in dry and lubricated sliding”, Wear, 462–463, (2020) 203487.
- 3) Heinrichs, J., Mikado, H., Wiklund, U., Kawamura, S., Jacobson, S., “Wear of cemented carbide forging dies used in zipper production”, Wear, 492–493, (2022) 204216.

Table 1 Test condition

Up and down motion	on
Contact frequency, Hz	13
Peripheral speed of copper alloy cylinder, m/min	3
Normal force, N	150
Lubrication	None (Dry)

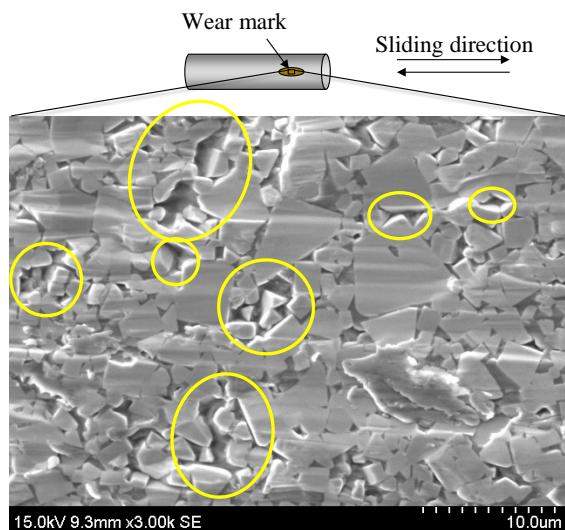


Fig. 3 Surface appearance of the cemented carbide cylinder after  $2 \times 10^6$  contact cycles under the condition in Table 1. Pits caused by loss of cobalt are indicated by the yellow rings.

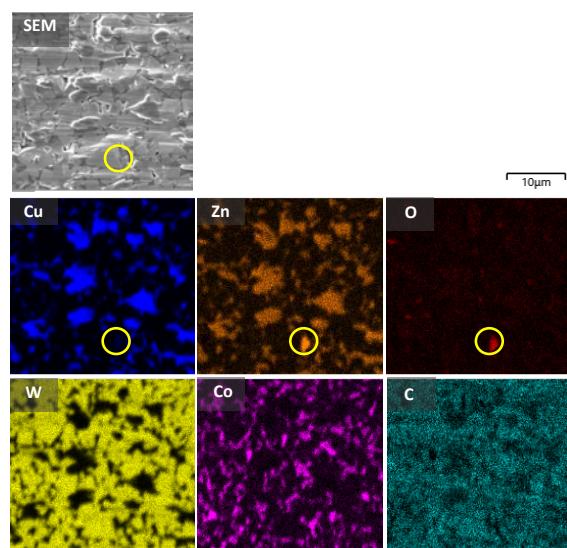


Fig. 4 Elemental mapping of the cemented carbide cylinder surface after  $3 \times 10^6$  contact cycles under the condition in Table 1. The analyzed element is indicated in the respective map. (EDS, 5kV)