

銅の摩耗の素過程に対する酸素と水蒸気の効果

Effect of oxygen and water vapor on the elemental process of wear of copper

*千葉工大・工（正）平塚 健一 千葉工大・工（非）高橋 亜依 千葉工大・工（非）小滝 詠人

Ken'ichi Hiratsuka*, Ai Takahashi, Eito Odaki

*Chiba Institute of Technology

1. 緒言

これまで筆者らは銅の摩耗に対する酸素と水蒸気の影響について調べ、次のことを明らかにした。すなわち、表面の酸化物によって移着が促進され、さらに水蒸気の吸着により摩擦面の凝着が抑制され移着物が系外に排出されやすくなり摩耗が増大する、ということである¹⁾。このメカニズムは、気体の中の酸素と水蒸気の割合を独立に制御することで得たものであったが、摩擦中の様子をそのような雰囲気下では観察しておらず直接的な証拠はなかった。

クラックの生成や摩耗素子の形成をとらえる方法として摩擦界面を真横から観察する手法があり、摩耗の素過程を知る方法として有用である。その研究ではピン・オン・プレート方式により、ピン試片が平面のプレート試片に対して観察面のすぐ近くを摩擦することでプレート試片の内部と界面に生じる変化をとらえるものであった²⁾。

筆者らは試験片の大きさが同じ摩擦方式としてツインリング型摩擦試験機を用いてきた。この方式はリング型試験片の側面同士の接触が線接触になるために面接触よりは接触部が限定されるが、真横から観察しても奥行き情報が不明な欠点を持っていた。そこで本研究では二つのリングを相対的に傾けることで点接触に近づけ、接触部の現象が観察面に現れるように工夫した。摩擦部に湿度を調整した酸素あるいはアルゴン吹き付け、それによって銅の摩耗の素過程に対する気体の効果を明らかにすることを目的とした。

2. 実験方法

Fig.1 はツインリング型摩擦試験機の外観である。リング試験片を円錐台に加工し、減速機を介したステッピングモーターの直上に設置した。チルトステージによって一方の試験片を傾けることで図2のように相対的に角度をつけた。この装置の上部から試験片を覆うカバーを取り付けその中に調整した気体を連続的に導入した。気体はカバーの下部から排出される。水蒸気を含んだ雰囲気にする際は、酸素あるいはアルゴンを水の中でバブリングさせそれを流入させた。上部カバーから顕微鏡（カール・ツァイス社製）あるいはマイクロスコープ（ハイロックス社製）の対物レンズを突き出すことで、摩擦しながらの界面の連続観察を可能にした。実験は二つの試験片を往復しゅう動摩擦させ、折り返し地点ごとに静止画像を取得し、摩擦回数ごとの変化を追った。

Table1 に実験条件をまとめた。摩擦距離は $69\mu\text{m}$ で、低倍率の対物レンズであれば視野内におさまる距離とした。

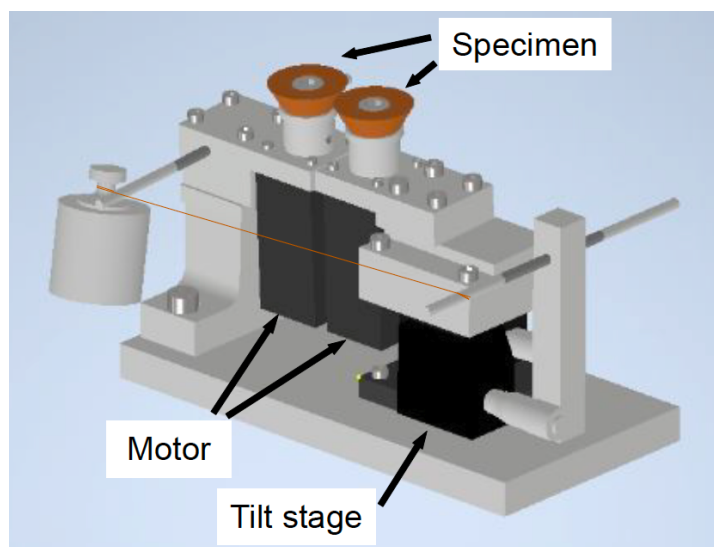


Fig.1 Tilt type twin-ring tribometer



Fig.2 Contact configuration

Table 1 Experimental conditions

Specimen	C1100/C1100
Load, N	0.4
Number of friction	30
Sliding distance per one way, mm	$69\mu\text{m}$
Relative sliding speed, mm/s	$69\mu\text{m/s}$
Non-friction time, s	~20
Atmospheric gas	Oxygen, Argon
Flow rate, L/min	7.0
Relative humidity, %	0.01, 50~60

3. 結果および考察

Table 2 に雰囲気酸素単体あるいはアルゴン単体の乾燥した気体にした時とそれらに水蒸気を混合させた時の、マイクロスコープによる連続観察結果を示す。ここでは高さも同時に測定しているので図中の色が青から赤になるに従って高くなっている（盛り上がっている）ことを示している。

アルゴン中の低湿度の結果から、30 回摩擦することで移着粒子が紙面からこちらに近づくようにせり出していることがわかる。すなわち、両側の試験片の摩擦部分がそれぞれ上向きに少し変形し、右側の試験片が左側に、左側の試験片が右側にずれ、その後、その変形が広がってずれと共に大きくなった。ただし実験した摩擦回数の範囲では独立した摩耗粉は生成されなかった。湿度を上げた時も同様であった。また、雰囲気酸素にした場合も低湿度では同じ状況であった。

酸素中の湿度が高い時の様子を Table 3 に詳しく示した。水蒸気を含んだ酸素雰囲気中で摩擦させたときは、Table 2 と同じ変形をした後それ以前に広がっていた変形部分が摩耗粉を形成し、摩擦回数が進むにつれて、それが系外に排出された。

以上の観察をもとに独立した摩耗粉が生成されるまでのプロセスを Fig. 2 にまとめた。接触→塑性変形→クラック発生・進展→摩耗粉の独立、という凝着摩耗の普通のプロセスではあるが、酸素と水蒸気がないと（2）の塑性変形段階に留まり、両者の共存下でのみ独立した摩耗粉の生成にまで進むことが観察によって明らかになった。

4. 結言

銅の往復しゅう動摩擦の素過程に対する酸素とアルゴンならびにそれらに含まれる水蒸気の効果について、摩擦界面部における変形の様子を異なる雰囲気気体中で連続的に観察していった結果、次の結論を得た。

- 1) 酸素単体の場合、あるいは水蒸気単体の場合は塑性変形し材料が摩擦界面からせり出してくるが、どちらの場合でも摩耗粉は生成されない。
- 2) 酸素と水蒸気の共存雰囲気下では、塑性変形の後、独立した摩耗粉が生成される。これは両者の作用によって塑性変形の際にクラックが生成・成長しやすくなったためであると推定した。
- 3) 以上の結果は前報の摩耗粉生成メカニズムの予想を支持するものである。

文献

- 1) 堤貴明, 小滝詠人, 平塚健一, 銅の摩耗に対する酸素と水蒸気の効果, トライボロジー会議 2021 春東京予稿集 (2021)
- 2) 三科博司, 近藤真史, 摩耗素過程の in-situ 観察 -純鉄にみる表面結晶粒の変形と摩耗素子の生成-, トライボロジスト, 44, 7 (1999) pp.528-535.

謝辞

円錐台試験片のご提供ならびに研究を進めるにあたってのご助言をいただきました中越合金鋳工株式会社の藤丸陽一様ならびに杉本大地様に感謝申し上げます。

Table 2 Wear process in oxygen and argon in low and high humidity conditions

		Humidity			
		0.01		50~60	
Atmosphere	Oxygen	Before	After 30 th sliding	Table 3	
	Argon	Before	After 30 th sliding	Before	After 30 th sliding

Table 3 Wear process in oxygen at humidity of 50~60 %

Before	After 9 th sliding	After 15 th sliding	After 30 th sliding
	Wear particle is formed.	Deformation is expanded.	Deformation is further expanded.

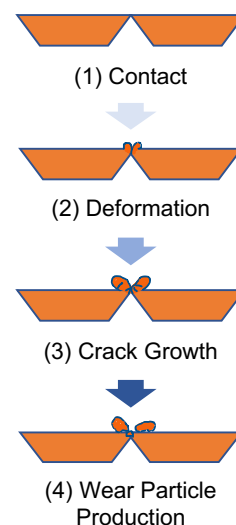


Fig.2 Formation process of wear particles