

In situ観察を利用しためっき材料の摩耗メカニズム解明

埼玉工業大学 ○山中颯馬, ◎長谷亜蘭

要 旨

Agめっきは、防錆、防食、耐摩耗性、電気伝導性があり、機械部品等に幅広く使用されている。Agめっきの寿命は下地の露出によって評価されることが多いが、摩擦・摩耗現象が複雑であるため、現在この露出するタイミングを正確に検出する方法が確立していない。本研究では、摩擦・摩耗時の材料表面における変形・破壊現象をリアルタイムでin situ観察（その場観察）し、可視化した変形・破壊現象と摩擦力の相関関係について検討を行うことで、Agめっきの摩耗メカニズムの解明およびはく離状態の検出・評価を目指す。

1. 緒 言

めっきは、金属や樹脂などの素材の表面に銅、ニッケル、銀、金といった金属の薄い被膜を素材に施す技術である。めっきは生活用品から機械等に幅広く使用されている。本研究ではAgめっきを対象とした。Agめっきのメリットとしては、防錆、防食、耐摩耗性、電気伝導性があり、機械部品等に幅広く使用されている。Agめっきの寿命は下地の露出によって評価されることが多いが、摩擦・摩耗現象が複雑であるため、現在この露出するタイミングを正確に検出する方法が確立していない。本研究では、摩擦・摩耗時の材料表面における変形・破壊現象をリアルタイムでin situ観察（その場観察）し、可視化した変形・破壊現象と摩擦力の相関関係を明らかにし、Agめっきの摩耗メカニズムの解明およびはく離状態の検出・評価を目指す。

2. 実験方法および実験条件

図1は、本研究における実験装置の構成図で、図2は各試験片を取り付けた時の外観である。摩擦抵抗は、ピン試験片支持部の板ばねに貼り付けたひずみゲージを用いて計測した。垂直荷重は、分銅を使用してピン試験片支持部のリンク機構により与えられる。

実験の手順として、ブロック試験片、ピン試験片を実験装置に固定し、摩擦鏡面顕微鏡の倍率を2000倍として、ブロック試験片摩擦面に焦点を合わせる。その後、垂直荷重を与え、ピン試験片の摩擦面をブロック試験片の摩擦面に一致させる。ピン試験片の移動速度を100 μm/sとして、ブロック試験片上で往復摩擦させ実験を行った。摩擦抵抗は、観察用とは別のモニターでin situ計測用プログラムを使用して記録した。実験中のin situ観察動画はデジタル光学顕微鏡を用いて、PCに保存できる構成となっている。摩擦回数は、試験ごとに異なるが最低摩擦回数約100~300往復の間で行った。約10往復ごとに摩擦抵抗とin situ観察動画を保存し、材料摺動面の経過を確認した。約10往復ごとのin situ観察でははく離現象を確認し、摩擦係数との相関関係について検討を行った。

本研究の実験条件を表1に示す。実験に使用したブロック試験片およびピン試験片は、Agめっきが施された試験片、Ni下地めっきまでの試験片、Cu素材のみの試験片の3種類を使用した。試験片の厚さは両試験片いずれも0.2 mmとし、本めっきの光沢銀1.0 μm、下地めっきの無光沢ニッケル0.5 μm（下地めっきまでの試験片は1.0 μm）、素材の銅の構成となっている。今回、垂直荷重は試験ごとに調整して実施した。摩擦抵抗は、摩擦係数に換算して評価した。

3. 実験結果および考察

図3は、Agめっき試験片同士がはく離した際の173往復から182往復の摩擦係数のグラフである。黒色で示す線は、変化が見やすいように摩擦係数の移動平均を取っている。173往復時から微視的なはく離現象が観察され、175往復目の往路で大きなはく離現象が観察された。その175往復目の摩擦係数の最大値振幅が低下していることがわかる。これは大きなはく離現象が起

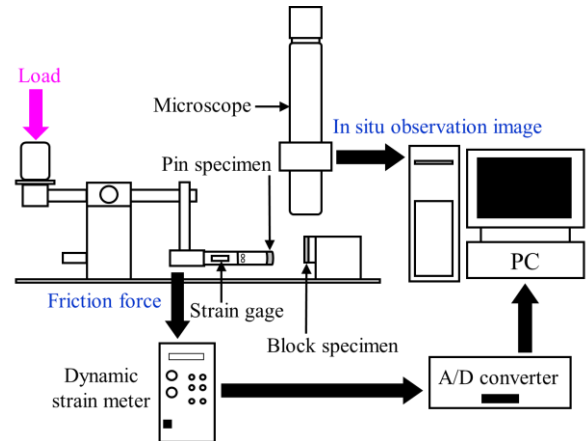


図1 実験装置の構成図

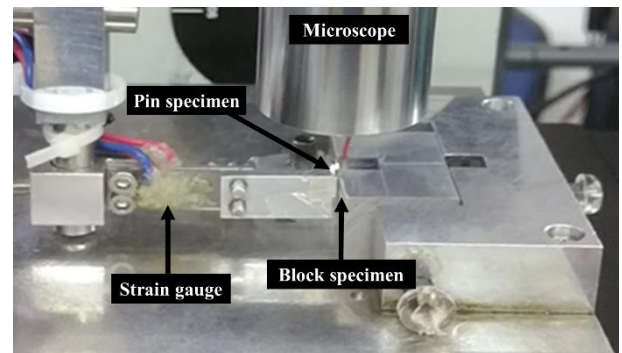


図2 実験装置の拡大図

表1 実験条件

Thickness	0.2 mm
Blank metal	Copper
First plating	Base plated matte nickel 0.5 μm (The test piece up to the base plating is 1 μm)
Plating	Glossy silver 1.0 μm
Sliding velocity	100 μm/s
Normal load	0.7 N, 0.8 N
Atmosphere	Dry condition in air at room temperature

象が起り、はく離した金属片が外に排出されたことによって低下したと考える。その後は、摩擦係数の値が上昇していくことがわかる。めっき層のはく離後、175往復目の最大値と183往復目の最大値には約2倍の差があった。図4は、Agめっき試験片同士の9往復から28往復の摩擦初期のグラフである。摩擦初期とははく離現象が生じた際のグラフを比べると、摩擦係数の値に違いがあることがわかる。摩擦初期のグラフの摩擦係数の平均値が約0.19のところ、はく離した際の平均値は約0.08

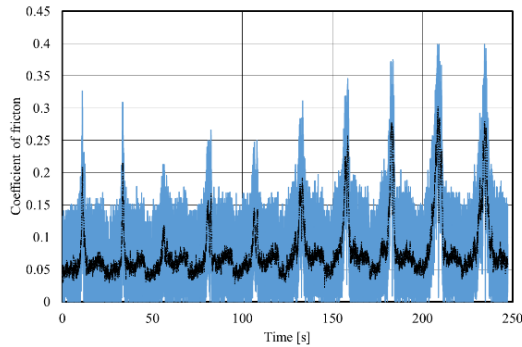


図3 Agめっき試験片同士のはく離現象が生じた173往復から182往復の摩擦係数変化

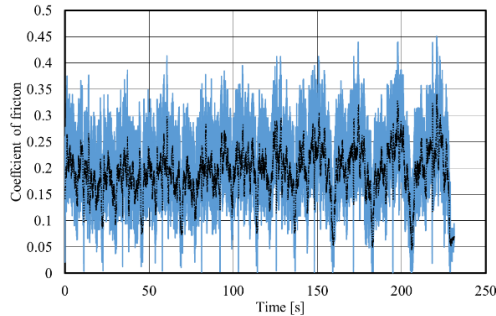


図4 Agめっき試験片同士の19往復から28往復初期の摩擦係数変化

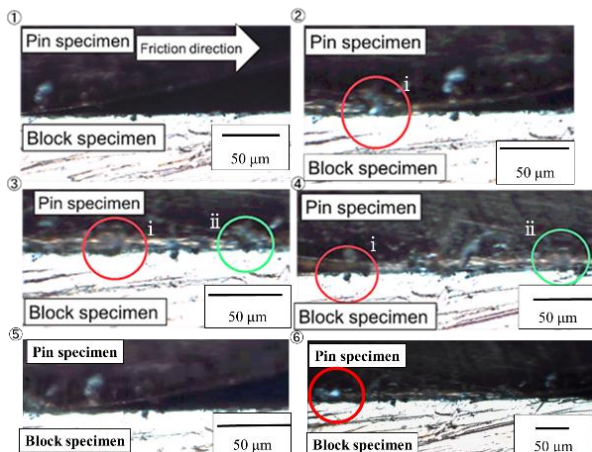


図5 173往復目の微視的なはく離現象と175往復目の巨視的なはく離現象のin situ観察像

と低い。また変動にも違いがあり、摩擦初期の変動幅は大きい、はく離した際の変動幅は小さいことがわかる。摩擦係数の変化に違いがあるのは、はく離した際に摩擦面の状態が変わり、値や変動幅に違いが現れたと考える。図5の①～④は、173往復目の微視的なはく離現象が起こった際のin situ観察像である。図中の(i)は先にはく離し排出された金属片を示し、(ii)は次に排出された金属片を示している。図5の⑤と⑥は、175往復目の巨視的なはく離現象時のin situ観察像である。また図6は、Ag本めっき同士の試験前後の摩擦面の比較である。試験後のピン試験片摩擦面に移着物が確認された。ブロック試験片には摩擦粉の残留が観察された。ピン試験片、ブロック試験片共に摩擦が確認されているが、ブロック試験片の方がピン試験片に比べ摩擦が進行していることがわかった。

図7は、Ni下地めっき試験片同士のはく離した際の3往復から10往復の摩擦係数のグラフである。3往復目から9往復まで摩擦係数が低下し、10往復目で多少摩擦係数の値が上昇している。9往復目から微細な金属片の発生が確認され、10往復目に金属片が摩擦界面から排出される様子が観察された。

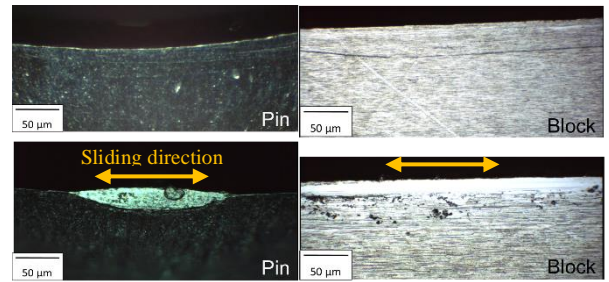


図6 Ag本めっきの試験前（上）と試験後（下）の摩擦面

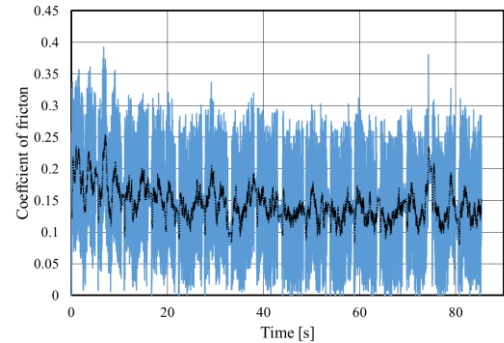


図7 Ni下地めっき試験片同士のはく離現象が生じた3往復から10往復の摩擦係数変化

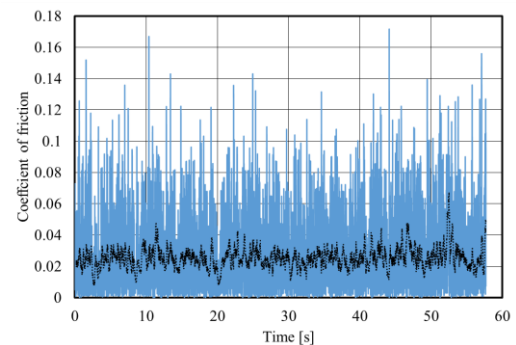


図8 Cu素材同士のはく離現象が生じた41往復から50往復の摩擦係数変化

排出される前に摩擦係数は多少上昇したが、排出された際に摩擦係数の値が低下したことがわかった。その後、Agめっき試験片同士ほどではないが、摩擦係数の上昇が確認された。

図8は、Cu素材のみの試験片同士の41往復から50往復のグラフである。46往復目のはく離現象が生じた際に、摩擦係数の最大値が前の値より低くなっていることがわかる。また、他の実験結果に比べ、摩擦係数の値が低いことが確認された。

4. 結言

本研究では、Agめっき材料におけるはく離現象時のin situ観察と摩擦係数の相関関係について検討を行った。得られた結論は以下のとおりである。

- (1) めっき層のはく離現象が生じ、金属片が外へ排出されると摩擦係数が低下することがわかった。
- (2) めっき材料ごとに摩擦係数の値および変動幅が異なることがわかった。摩擦係数の変化から、どのめっき層ではく離現象が起きたか推測することができると思われる。

謝辞

本研究の遂行にあたり、めっき材料を提供いただきました。DOWAメタルテック株式会社 佐藤陽介氏、篠原圭介氏、荒井健太郎氏に御礼申し上げます。