

EV 向けコネクタ・スイッチの端子・接点用めっきの耐久性評価方法

材料科 吉岡正行* 高木 誠 木野浩成**

A method for evaluate the durability of plating on connector and switch components for electrical vehicles

YOSHIOKA Masayuki, TAKAGI Makoto and KINO Hironari

We investigated a method for evaluating the durability of plating applied to terminals and contacts of electrical connectors and switch parts. A testing machine was fabricated that measures the contact resistance of the contacts while putting a sliding load on them. The durability of ordinary tin plating, tin plating with a new brightener, ordinary silver plating and silver plating with a new curative agent were evaluated using the testing machine. As a result, it was found that the tin plating with a brightener had the highest wear resistance and its contact resistance value was also stable.

Keywords: Connector, Switch Component, Tin-plating, Silver-plating, contact resistance, Durability Evaluate

EV 等の輸送用機器用のコネクタやスイッチ部品に用いられる端子・接点でのめっきの耐久性評価方法を検討した。モーターの回転運動をリンク機構によって往復運動に変換して接点試料に摺動負荷を与えながら、接点の接触抵抗の測定を行うことが可能な試験機を作製した。その試験機を用いて通常のスズめっき試料、新規の光沢剤を添加したスズめっき試料、通常の銀めっき試料、新規の硬化剤を添加した銀めっき試料の耐久性評価を行ったところ、光沢剤添加品を添加したスズめっき試料の摩耗が最も少なく、また接触抵抗値も安定するという結果が得られた。

キーワード：コネクタ、スイッチ、Sn めっき、Ag めっき、接触抵抗、耐久性評価

1 はじめに

輸送用機器のコネクタ・スイッチ部品の端子・接点の多くには Sn(スズ)、Ag(銀)等のめっきが施されている。世界的な EV 化の流れを受け、今後はそれらのめっきの需要の増加と性能の向上がより一層求められる。

静岡県西部地域のめっき企業は、従来よりも耐久性に優れたコネクタ・スイッチ部品用めっきの開発及び顧客・市場へそれらを PR できる体制作りを要望している。

スイッチ部品メーカーが最終製品のコネクタ・スイッチに対して通常行っている実環境を模した状況下での耐久性評価試験は、一つのサンプルの評価に長期間(5日~10日等)を要することが多い。

そのため、コネクタ・スイッチの端子・接点に付加されるめっきの基本性能とりわけ耐久性の評価について、めっき企業自身が開発段階でシンプルな形

状のテストピースで試験できる環境を構築する意義は大きい。

しかし、めっき企業や当センターにおける実施可能なめっき試料の性能評価方法は、膜厚測定、硬さ測定、耐食性、テスタによる抵抗値の簡易測定、そして実際・現実の輸送機器部品が受ける負荷とは大きく異なるモードの負荷を与える摩耗試験といった項目に限られるのが現状である。

そこで本研究では、コネクタ・スイッチ部品の端子・接点用 Sn、Ag めっきの耐久性(摩耗・酸化等の状態変化や、それに伴う電気抵抗値の変動等)を評価解析できる試験方法の構築・確立を目的として、試験機を製作し、それを用いて耐久性に優れた Sn、Ag めっきを試作したので報告する。

* 現 工業技術研究所 金属材料科、** 現 繊維高分子材料科

2 方法

2.1 往復摺動負荷試験機の製作

FDM(熱溶融樹脂積層法)方式の樹脂3Dプリンタにより作製したABS樹脂製ジグとモーターをリンク機構で接続し、モーターの回転運動を直線(往復)運動に変換することでめっき試料に摺動負荷を与えることができる試験機を製作した(図1)。

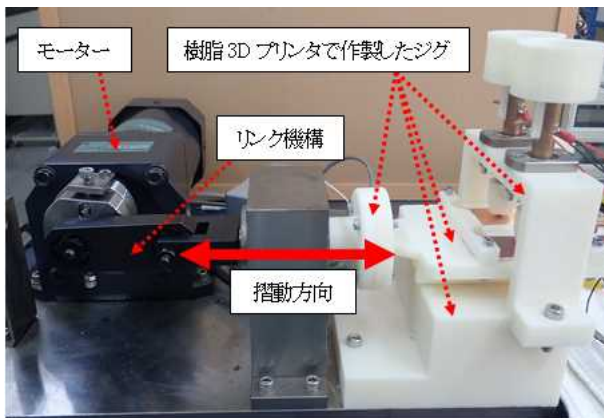


図1 試作した往復摺動負荷試験機の外観①

リンク機構によってモーターの回転運動を直線(往復)運動に変換することで摺動負荷を与えられる試験機

2.2 接触抵抗の測定

この樹脂製ジグにCu(銅)製の棒状電極とCu板を取り付け(両者を電極と見立て)、車載システムの規格電圧の一種である12Vの直流電圧を12Ωのセメント抵抗を介して印加し、約1Aの電流が流れる回路を組んだ(図3)。この電極間の電圧(V)の実測値と、回路全体の電流値(A)から算出した抵抗値($\Omega = V/A$)を、本実験における接触抵抗値とした(図2)。これらの電気信号はデータロガーに記録した。



図2 試作した往復摺動負荷試験機の外観②

車載システムの規格である12Vの直流電圧を印加し、接点間の接触抵抗の値をデータロガーに記録

2.3 試料

摺動及び接触部分の接点部品について、各種めっき処理を施した試料を上述のCu製棒状電極の先端に取り付けるに当たって、実際の端子・接点は球面や曲面を有する形状が多いことを考慮し、直径8mmのCu製の球状部品(Cu球)を基材とし、これにめっき処理を施した試料を取り付けることとした(図3「めっきCu球」)。

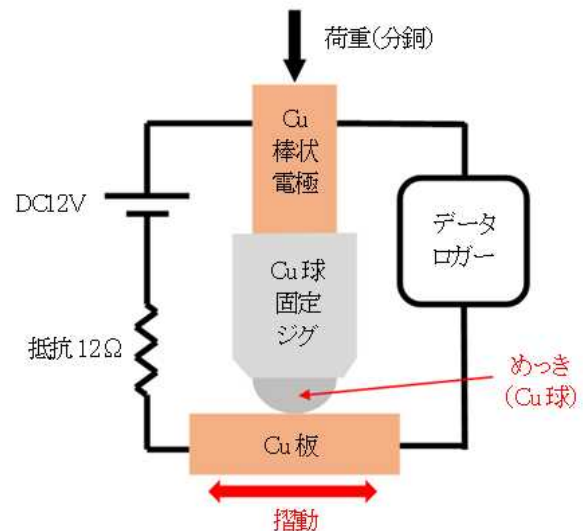


図3 接触抵抗測定のための構成部品のイメージ

車載規格電圧の一種である12Vの直流電圧を印加し(12Ωの抵抗)、約1Aの電流が流れるようにした回路

このCu球へのめっき処理は協力機関であるめっき企業に依頼した。耐久性の高いめっきの試作については、Sn、Agのめっき液の温度、電圧、電流密度等のめっき条件はほぼ確立されており変更は難しいとの考えから、新規添加剤の効果を調べることにした。

Snめっきについては、平滑性の向上による低摩擦を期待し新規の光沢剤を、またAgめっき試料については、近年市場に出回り始めた硬化剤に着目し、硬さの向上による耐摩耗性の向上に期待し、新規の硬化剤を採用した。表1に今回作製した試料の情報を示す。

表1 実験に用いためっき試料の情報

協力機関であるめっき企業が作製した球状試料用保持ジグを用いてCu球にめっき処理を行った。

基材	Cu 球	ϕ :8mm
Sn めっき	通常品(半光沢)	膜厚:3.2~3.5 μ m
	光沢剤添加品①	添加量:10mL/L
	光沢剤添加品②	添加量:30mL/L
Ag めっき	通常品	膜厚:3.2~3.5 μ m
	硬化剤添加品①	添加量:10mL/L
	硬化剤添加品②	添加量:30mL/L

2.4 往復摺動負荷試験条件

輸送用機器のコネクタ・スイッチ部品の端子・接点を受ける摺動負荷モードには、大きく分けて2種類ある。

一つは、スライドスイッチのような3~5mm程度のストロークの一般的な往復摺動であり、もう一つは、コネクタのように端子・接点同士が接触した状態で輸送機器が移動・走行する際に生じる振動による、振幅の小さな繰り返しのすべり運動である「微摺動(びしゅうどう)」と呼ばれる摺動である。この微摺動が長時間生じた際に生じる摩耗をフレッシング摩耗と言う¹⁾。

本研究では、輸送用機器のコネクタの端子・接点に用いられることが多いSnめっき試料には微摺動負荷を、またスライドスイッチの端子・接点に用いられることが多いAgめっき試料には往復摺動負荷を与えた。

表2に、摺動負荷試験条件を示す。

2.5 耐久性の評価解析方法

この試験を耐摩耗性試験とみた場合、一般的な評価方法としては摺動痕の表面粗さ・摩耗幅の測定や、蛍光X線膜厚測定分析装置によるめっき膜厚の変化(減少)等で評価することが多い。

しかし本研究は端子・接点を想定した試験のため摺動痕が小さく、上述の方法での評価は難しいこと、また相手材にも基材のCu球と同じCu(板)を使用していることから、どちらが摩耗するかによって正確な膜厚が計れないという問題がある。

そこで今回は、摺動痕についてEPMA(電子線マイクロアナライザー)による元素マッピング分析による評価解析を行った。この方法であれば二次電子

表2 摺動負荷試験の条件

コネクタ...Snめっき品が多い→微摺動負荷試験
スイッチ...Agめっき品が多い→往復摺動負荷試験

Sn めっき	【微摺動負荷試験】 <ul style="list-style-type: none"> ・モーター回転数(摺動回数) 100rpm(100回/分) ・ストローク(≒摺動痕サイズ) 500~800 μm(等方的な形態) ・負荷加重 200g(分銅)
Ag めっき	【往復摺動負荷試験】 <ul style="list-style-type: none"> ・モーター回転数(摺動回数) 60rpm(60回/分) ・ストローク(摺動距離) 約4mm ・負荷加重 200g(分銅) ・その他 接点に接点用グリスを少量塗布した

(SE)像の観察で摺動痕の形態や様子を知らることができると同時に、試料由来の元素(Cu, Sn, Ag等)の正確な分布や状態を知ることができる。なお、1,000倍を超える高倍率観察にはSEM(走査電子顕微鏡)を用いた。

【使用機器】

- ・EPMA(電子線マイクロアナライザー) EPMA-1702 (株島津製作所製)
- ・SEM(電界放射型走査電子顕微鏡) JSM-7610FPlus (日本電子(株)製)
- ・マイクロビッカース硬度計 MVK-E (株アカシ製)

3 結果と考察

3.1 Snめっきの耐久性に与える光沢剤の影響

図4に5分間、図5には10分間の微摺動負荷を与えた時の接触抵抗値の時間変化を示す。

図6、図7には、それぞれ5分間、10分間の微摺動負荷を与えた後の接点部の摺動痕のEPMAによる元素マッピング分析結果を示す。

協力機関であるスイッチ部品メーカーの見解として、「端子・接点において、数十m Ω ~100m Ω 以下という接触抵抗の値は十分に低い値と言えないが、実用上は問題はない。それよりも本試験機に限らず、そもそも動的な接触で接触抵抗の絶対値を正確に測定することは難しい」とのことから、今回は抵抗値そのものではなく、

接触抵抗の変動やバラツキの程度に着目することとした。

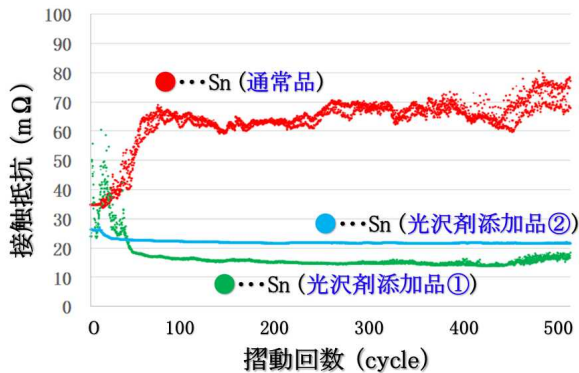


図4 Snめっき微摺動負荷5分間の接触抵抗

通常品の値は変動・バラツキともに大きいのに対し、光沢剤添加品の値はどちらも有意・顕著に小さい。

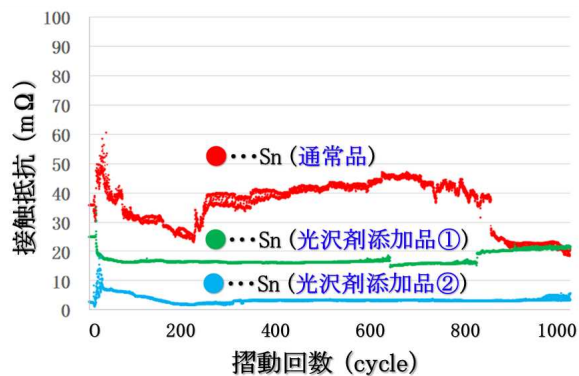


図5 Snめっき微摺動負荷10分間の接触抵抗

通常品の値は変動・バラツキともに大きいのに対し、光沢剤添加品の値はどちらも有意・顕著に小さい。

図4、図5どちらにおいても、Snめっき通常品の接触抵抗値は変動が大きく、光沢剤添加品①及び②は、そのどちらも小さく安定しているという結果であった。なお、光沢剤の添加量（濃度）が異なる①（10mL/L）と②（30mL/L）には有意・顕著な差異は認められなかった。

PMAによる元素マッピングデータでは、図6、図7どちらにおいても、Snめっき通常品は微摺動摩擦によって基材であるCu球のCuの露出が認められた。それに対し光沢剤添加品①及び②ではCu球基材のCuの露出は認められなかった（相手材であるCu板由来のCuの若干の付着は認められた）。この結果は接触抵抗値の挙動・結果と対応していると考えられる。

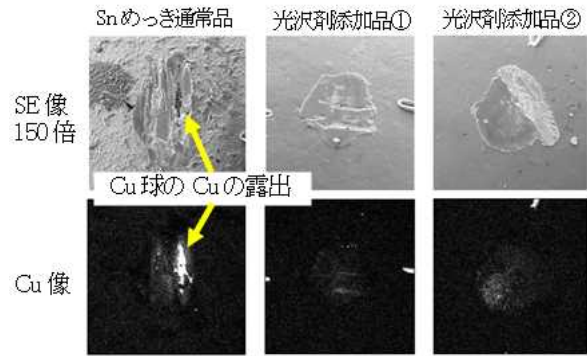


図6 摺動痕（5分後）のマッピング分析結果

通常品は基材のCuの露出が認められるのに対し、光沢剤添加品①及び②はCuの露出は明瞭でない。

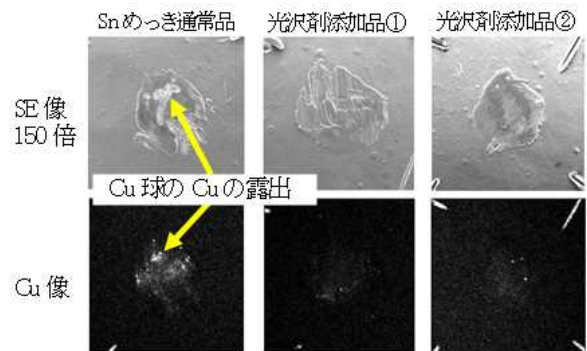


図7 摺動痕（10分後）のマッピング分析結果

通常品は基材のCuの露出が認められるのに対し、光沢剤添加品①及び②はCuの露出は明瞭でない。

光沢剤の添加が接触抵抗の安定とCu基材の露出を抑えることになった理由を調べるため、Snめっき表面のSEM（走査電子顕微鏡）観察を行った（図8～10）。

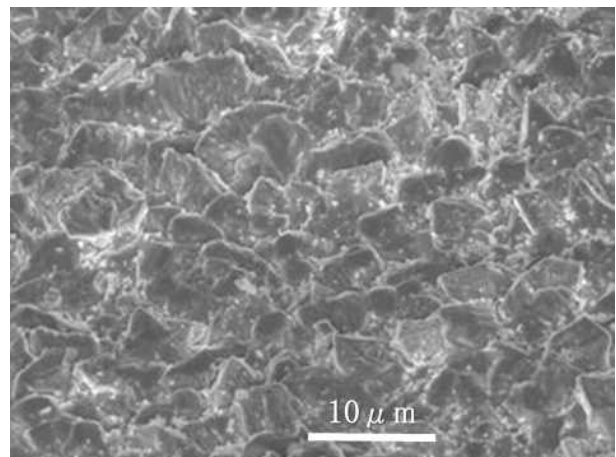


図8 Snめっき通常品の表面の電子顕微鏡像

電子銃加速電圧：10kV WD（作動距離）：15.7mm
観察・撮影倍率：2,500倍

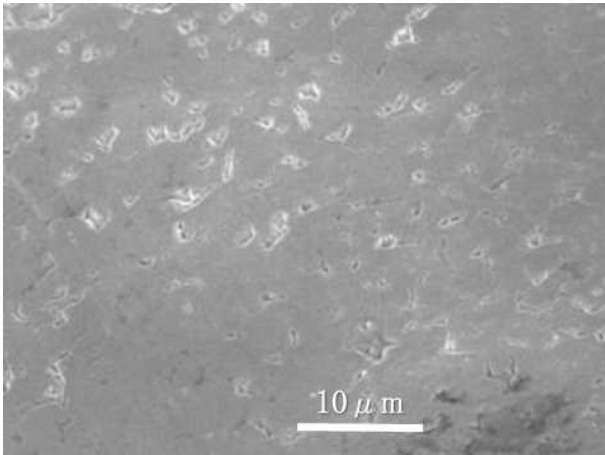


図9 光沢剤添加品①の表面の電子顕微鏡像

電子銃加速電圧：10kV WD（作動距離）：15.7mm
倍率：2,500倍

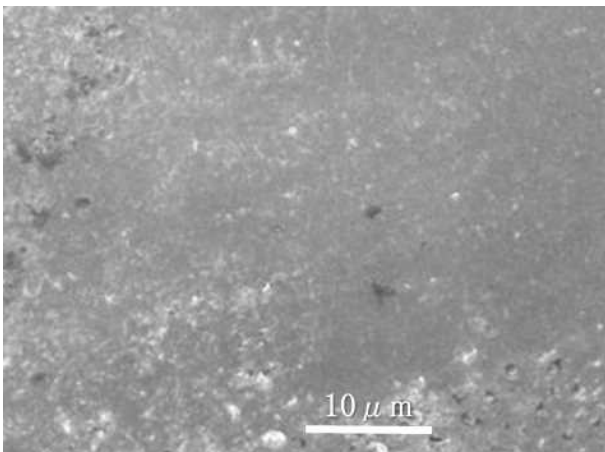


図10 光沢剤添加品②の表面の電子顕微鏡像

電子銃加速電圧：10kV WD（作動距離）：15.7mm
倍率：2,500倍

光沢剤の添加により、明らかにめっき表面の平滑性が改善されていることから、このことが接触抵抗の安定とCu基材の露出を抑えることになった理由と考えられる。

協力機関であるめっき企業は、経験上、端子・接点用Snめっきには半光沢めっきを採用してきた。それは、光沢剤が有機系化合物であることから、添加によって接触抵抗が高くなってしまおうという懸念・認識があったことが理由であった。

本実験結果から、今回採用した光沢剤に関しては、添加によって接触抵抗が顕著に高くなる様子は見受けられず、微摺動負荷に対する耐久性が向上することが示唆された。

なお、光沢剤添加①と②の結果に差異が無かったのは、表面平滑性に有意な差異が無かったためと考えられる。

3.2 Agめっきの耐久性に与える硬化剤の影響

図11に5分間の往復摺動負荷時を与えた時の接触抵抗値の時間変化を示す。図12にその5分間の往復動負荷を与えた後の接点部の摺動痕のEPMAによる元素マッピング分析結果を示す。

図11ではSnめっきとは異なり、接触抵抗値の変動に大きな差異は無く、値の振れ・バラツキには硬化剤添加品の方が大きいという結果であった。

図12で、Snめっきの場合と異なり、SEM像でCu基材の露出は観察されなかったが、有意なCuの存在が認められることから、これは相手材であるCu板のCuの付着と考えられる。

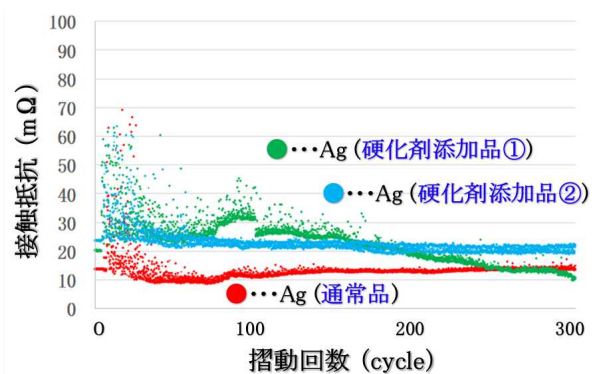


図11 Agめっき往復摺動負荷5分間の接触抵抗

値の変動については大きな差異は認められないが、データのバラツキは硬化剤添加品の方が若干大きい。

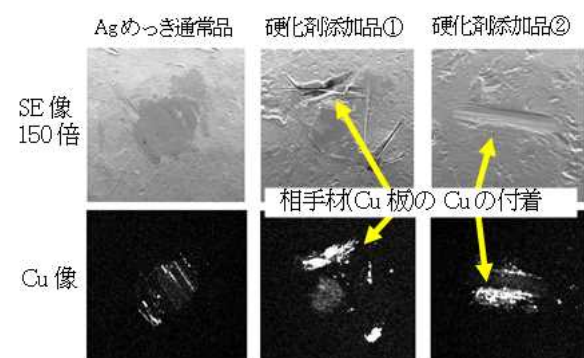


図12 摺動痕（5分後）のマッピング分析結果

通常品に対し、硬化剤添加品①及び②では相手材であるCu板由来と思われるCuの付着が認められる。

表3 めっき試料のマイクロビッカース硬さ

めっきの膜厚が薄いため、基材であるCuの硬さの影響を含んだ値であるが、相対的な比較は可能

試験力：0.01N(10gf) 保持時間：10秒		
基材	Cu球	152 HV0.01
Sn めっき	通常品（半光沢）	18 HV0.01
	光沢剤添加品①	22 HV0.01
	光沢剤添加品②	25 HV0.01
Ag めっき	通常品	90 HV0.01
	硬化剤添加品①	119 HV0.01
	硬化剤添加品②	149 HV0.01

この原因を考察するため、作製しためっき試料のマイクロビッカース硬さを測定した結果を表3示す。表3の結果は、めっき試料は膜厚が薄い（約3.2～3.5 μ m）ことから、基材であるCuの硬さの影響を含んでいる。しかしAgめっきに関しては、試料間の相対的な比較としても、硬化剤の添加によって有意・顕著に硬さが増している。

このことから、硬化剤の添加によってAgめっき自身の耐摩耗性は向上したものの、それ以上に相手材であるCu板の摩耗を促進してしまったことが相手材であるCu板のCuの付着の原因と考えられる。

5 まとめ

コネクタ・スイッチ部品の端子・接点用Sn、Agめっきの耐久性を評価解析できる試験方法の構築・確立を目的とし、試験機の製作を行った。また、それを用いて耐久性に優れたSn、Agめっきを試作し、評価した。

その結果、コネクタ部品を想定した微摺動負荷試験を行ったSnめっきサンプルについては、通常のSnめっきに対して光沢剤を添加したSnめっきの方が、摩耗による基材（Cu球）のCuの露出が抑えられる傾向があるという結果が得られた。

一方、スライドスイッチを想定したスライド摺動負荷試験を行ったAgめっきサンプルについては、通常のAgめっきに対して硬化剤を添加して有意・顕著に硬度が高くなったことで、相手材であるCu板の摩耗を促進させてしまうという結果となった。しかし今後、硬化のメリットを生かせる場面も考えられることから、硬さや膜厚を適切に制御した条件での活用も検討していく。

接触抵抗値をモニタしながら摺動負荷を与えられる試験機は無く、また摺動痕のEPMA分析が行えるのは当センターの強みであることから、今後、協力機関をはじめ、同様なめっき試料の性能評価や新製品開発の要望に対して、本評価方法を活用していく。

謝辞

本研究の実施にあたり、協力機関として多大なる御協力を賜りました有限会社鷺津メッキ工業所、朝日電装株式会社の御関係者の方々に心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 水戸瀬賢悟 他:通電接触部のSnめっきフレッシング摩耗. 表面技術, Vol.72 (10), 553-558 (2021).