

(解説)

端子・コネクタ用電気すずめっき銅合金板条

Tin Plated Copper Alloy Materials for Connectors



真砂 靖*
Yasushi MASAGO



平 浩一*
Koichi TAIRA

Tin-plated copper alloys have been used for electrical connections for more than 30 years. During this time the requirements for tin-plated copper alloys have been changed mainly because of the increased number of electronic components for automobiles. The present paper focuses on the surface characteristics of a few tin-plated copper alloys for use with automotive terminals and connectors.

まえがき = 自動車の電装化の進展に伴って ECU (Electric control unit) に代表される電子部品搭載数は増加し、普通車で70~80個、高級車では100個を超えている。そしてそれらを結ぶ電気配線の数も同様に増加してきており、普通車で600回路、高級車では2,000回路にもなる¹⁾。電気配線の両端には端子・コネクタが装着され、その端子・コネクタ用材料として当社は、1974年より電気すずめっき銅合金板条の量産を開始した。自動車に搭載される端子コネクタ用材料に対しては、組立工程における作業性に影響する挿抜特性から自動車に搭載された後の電気的信頼性にいたるまでさまざまな要求があり、そうした要求特性を満足すべく当社は日々技術開発を続けてきた。

本稿では、車載用を中心とした端子・コネクタ用すずめっき銅合金板条に要求される表面特性について解説する。また、すずめっき厚さを制御することによって挿抜力特性を改善し、このたび量産を開始した低挿入力新リフロすずめっき材を代表とする当社すずめっき銅合金板条を紹介する。

1. すずめっき銅合金板条に必要な表面特性

1.1 電気的信頼性

端子・コネクタとして最も重要な使命は電気を流すことであり、そのために必要な代表特性は「接続部の電気的信頼性」、「はんだ付け性」、および「耐ウイスク性」である。それぞれの特性について以下に説明する。

1.1.1 接続部の電気的信頼性

1) 接触抵抗特性

端子・コネクタに必要とされる接触信頼性とは、いかなる使用環境下でも電気を流すことである。

先に述べたように、自動車の電装化が進み電装品の搭載数が増えるにしたがってエンジンルームにも電装品が

搭載されるようになった。エンジンルームとエンジンルーム以外の車内とでは耐熱要求温度が異なり、車内環境では最高100~120であったが、エンジンルーム環境では最高150~160を要求される。また、車外環境にさらされるエンジンルームの場合、耐食性も重要である。

図1にリフロすずめっき銅合金材料の断面構造の概略を示す。銅合金材料の上に、銅とすずの合金層(Cu₆Sn₅層)、純すず層の順に積層されている。高温環境下にさらされると銅がすずめっき中に拡散し、すずめっき皮膜が全て銅とすずの合金層となって材料表面に酸化銅が形成される。表1に銅、すず、銅とすずの金属間化合物、酸化銅、および酸化すずの電気比抵抗を示す。酸化銅の電気比抵抗は他に比べて桁違いに高いため、表面に酸化銅が形成されると接触抵抗値が増大する。一方、高温環

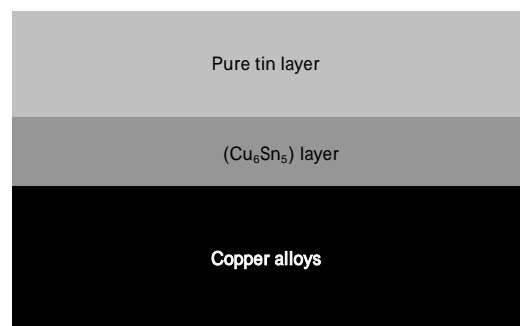


図1 リフロすずめっき銅合金材料の断面構造模式図
Fig. 1 Schematic diagram of cross-section of reflow tin plated copper alloy

表1 電気比抵抗

Table 1 Electrical resistivity

	・m		・m
Cu	1.7 × 10 ⁻⁸	Cu ₃ Sn ³⁾	20.492 × 10 ⁻⁷
Sn	12.6 × 10 ⁻⁸	Cu ₂ O	10 ⁶ ~ 10 ⁷
Cu ₆ Sn ₅ ²⁾	12.468 × 10 ⁻⁷	SnO ₂ ⁴⁾	4 × 10 ⁻⁴

*アルミ・銅カンパニー 長府製造所 銅板工場

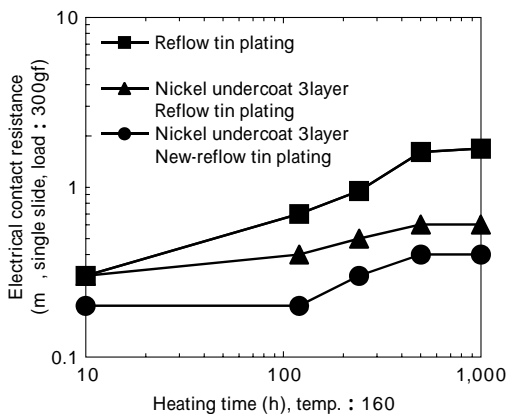


図2 高温環境下(160℃)における接触抵抗の変化
Fig. 2 Changes in contact resistance at 160°C

境下における電気的信頼性が要求されるエンジンルームに搭載される端子には、ニッケル下地リフロ3層すずめっき銅合金板条が採用され始めている。このめっきは、高温環境下にさらされても、銅のすずめっき中への拡散をニッケル下地めっき層が抑制しているため、純すずめっき層が長期間表面に残存しており電気的信頼性に優れている。図2に160℃で加熱したときの、すずめっき銅合金材料の接触抵抗の変化を示す。

すずは銅に対して卑な金属であり、腐食環境下ではすずめっき皮膜が優先的に腐食する。このため、銅は腐食することなく接触信頼性は保たれる。

2) 耐めっきはく離性

すずめっき銅合金が加熱されると、すず中に銅が拡散して銅とすずの金属間化合物を形成する。このとき、銅合金の組成や加熱温度条件によっては、すずめっき層および銅とすずの合金層と材料の界面に空孔(ポイド)が発生し、めっきがはく離する現象が起きる。また、界面にポイドが発生して材料からめっきがはく離すると、めっき層へ銅が拡散しなくなるため接触抵抗が増加しない場合もあり、電気的信頼性を見る上ではく離特性も重要な特性である。

3) 微しゅう動摩擦特性

微しゅう動摩擦現象とは、接点に振動や衝撃などが加わって微小なしゅう動が起きたとき、接点間の接触抵抗が急激に増大する現象である。端子の小型化、多極化に伴うコネクタ挿入力の増加を抑えるため、端子接点部の接触荷重は低くされる傾向にある。そのため、これまで問題にならなかった程度の振動や衝撃、通電時の発熱による熱伸縮によって、接点部にずれが生じやすくなっている。とくに、自動車のエンジンルームに電子部品が搭載されるようになったことから、エンジンの振動や熱伸縮によるコネクタ接点部のしゅう動が発生しやすくなっており、しゅう動摩擦の低減が今後重要な課題になると考えられている。

4) 耐ウイスカ性^{5),6)}

ウイスカとは、めっきすずがめっき皮膜の内部応力によってすず原子が皮膜外部へ移動し、すず単結晶がひげ状に伸びたものである。コネクタの多極化、小型・軽量化によって端子の間隔が狭くなっており、ウイスカが発

生すると端子間の短絡を引起す可能性がある。

めっき皮膜の圧縮応力が要因となってウイスカの発生が助長される。圧縮応力を与える要因としては、めっき膜の内部応力以外にも加工によるひずみやきずなどが考えられ、近年、接触圧力によってもウイスカが発生することがわかってきた。

ウイスカを抑制する技術としては、下地にニッケルめっきを施すことによってすず中への銅の拡散を抑制する方法や、リフロ処理(後述)を行う方法があり、いずれも量産製品に应用されている。

1.1.2 はんだ付け性

端子・コネクタとプリント基板の接続にはんだ付けが用いられているが、材料のはんだ付け性が悪いとはんだ付けに時間を要したり、端子・コネクタがプリント基板から外れるなどの問題が発生する。

近年、環境問題からはんだの鉛フリー化が進展し、従来から用いられていたSn-37%Pbはんだではなく、Sn-3.0%Ag-0.5%Cuなどの鉛フリーはんだが用いられている。Sn-3.0%Ag-0.5%Cuはんだの濡れ性はSn-37%Pbはんだに比べて劣るといわれており、その原因として、Sn-37%Pbの融点が183℃に対し、Sn-3.0%Ag-0.5%Cuは217℃と高いことや、表面張力の差が挙げられている⁷⁾。

すずめっき銅合金板条から連続プレスで打抜加工されたピン端子の打抜面にはすずめっきが付着していない。プリント基板のスルーホールに挿入、はんだ付けしたとき、従来のSn-37%Pbはんだでは打抜面にも問題なくはんだが付いていたが、Sn-3.0%Ag-0.5%Cuはんだを用いた場合、打抜面にすずめっきが付いていないため打抜面のはんだがはじかれる現象が見られる。この対策として、プレス加工後のピンにすずめっきを施す、後めっき工程の採用が広がっている。

1.2 端子挿抜特性

自動車一台あたりに使用される端子・コネクタの数が増加しているが、コネクタ一つあたりの極数も増加しているため、コネクタを差込むときの抵抗(挿入力)も増大している。自動車ハーネスのコネクタの接続・組立ては全て手作業で行われていることから作業者の負担も大きくなっている。このため、コネクタを差込むときの挿入力を低減して作業者の負荷を軽減する目的から、端子の接圧を低くすることや摩擦抵抗の低いすずめっき材が採用され始めている。

また、鉛レスはんだ付けに対応するための後めっきピン端子が増加しているが、後めっきピン端子をリフロ処理した場合、溶融したすずが流れ、すずめっき厚分布の偏りが発生する。これによって端子挿入力が高くなる問題が発生しており、摩擦係数の小さい後めっきピン端子技術の開発も急がれている。

端子の挿入力は、材料表面の摩擦係数と端子の接圧によって決まる。固体摩擦の機構には、凝着部のせん断による摩擦の成分(せん断項)の他に、硬い表面の凸部が軟らかい表面を掘起こすことによる摩擦の成分(掘起こし項)、および弾性ヒステリシス損失による摩擦の成分

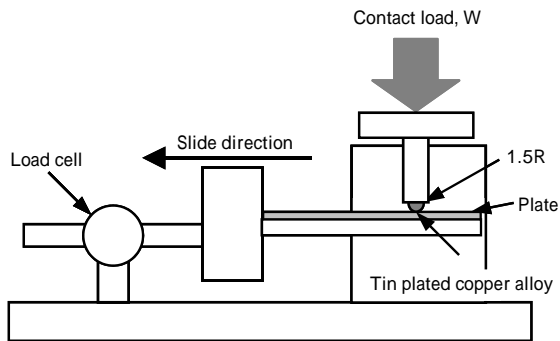


図3 摩擦係数測定装置概略図

Fig. 3 Schematic diagram of measuring apparatus for friction coefficient

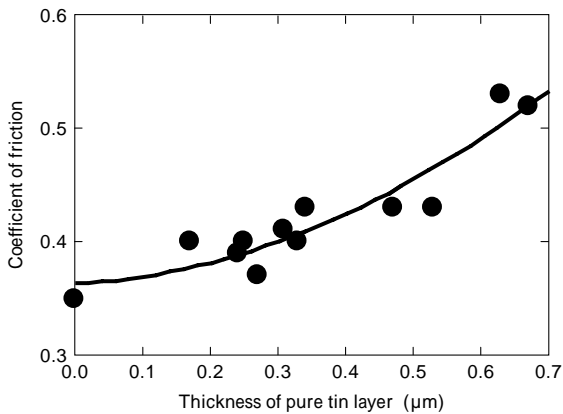


図4 すずめっき厚さと摩擦係数の関係

Fig. 4 Relation between coefficient of friction and thickness of tin plating

などがあり、摩擦はこれらの和である⁸⁾。

すずめっき端子を挿入する場合、接触面はすずめっき同士で硬度差がなく掘起こしによる摩擦は小さい。また、端子の挿入は変形を伴う摩擦であり弾性ヒステリシス損失も極めて小さいため、凝着部のせん断による摩擦が主成分となる。したがって、摩擦係数 μ は、 $\mu = F(\text{摩擦}) / W(\text{荷重})$ または $\mu = \sigma(\text{めっき皮膜のせん断強度}) / \rho(\text{めっきを含む基材の平均塑性流動圧力 平均硬さ})$ と表すことができる。すなわち、塑性流動圧力(硬さ)を上げることによって摩擦係数を低下させることが可能であり、めっき皮膜を硬くするか、もしくはめっき厚を薄くすればよいことがわかる。しかしながら一方で、めっき厚を薄くすることによって電気的信頼性の面で新たな問題が出てくる。

摩擦係数測定装置の概略図を図3に示す。この装置では、平滑な板状の試験片と曲率1.5Rの半球形突起を有する試験片を接触させ、垂直(板面の法線方向)に3Nの荷重を加えることができる。この装置を用いてめっき厚が異なる板の摩擦係数を調べた。図4は純すず厚さと摩擦係数の関係を示した図である。純すず厚さと摩擦係数には相関関係があり、純すず厚さが薄いほど端子の挿入力が小さくなることがわかった。

2. すずめっき銅合金材料の種類とその特徴

端子・コネクタ用すずめっき銅合金材料を選定する際、使用目的、使用環境などを考慮して最適なめっき材を選定することが必要である。

以下に、当社で量産しているすずめっき銅合金材の主要特性を紹介する。

2.1 すずめっき銅合金板条の種類

2.1.1 電気光沢すずめっき銅合金板条

電気光沢すずめっきとは、銅合金素材の上に電気的にすずを析出させたものである。めっき皮膜中に光沢剤が取込まれ、めっき皮膜に圧縮応力が発生しているため、リフロすずめっきに比べ耐ウイスカ特性や耐候性(耐変色性)は劣る。しかし、めっき皮膜がリフロすずめっきに比べて硬くなるため、端子挿入力が低くなる特徴がある。

2.1.2 リフロすずめっき銅合金板条

リフロすずめっきとは、電気すずめっき後にすずの融点(232)以上の温度ですずを一瞬溶融させた後、急冷することによってめっき表面に光沢をもたせたものである。すずを溶融・凝固させることによって、めっきすずの結晶粒径は大きくなり、めっき皮膜の内部応力が緩和されてウイスカの発生が抑えられる。また、めっき皮膜中への添加剤の取込みもないため耐候性に優れる。しかし、電気光沢すずめっきに比べてすずめっき皮膜中の不純物は少なく、硬度も低いいため端子挿入力は高い。

2.1.3 ニッケル下地リフロ3層すずめっき銅合金板条

高温環境下における高い電気的信頼性が要求される部材に対しては、リフロすずめっきの下地にニッケルめっきを行い、素材から順に、ニッケル層/銅とすずの合金層/純すず層の構成にすることが有効である。ニッケル下地は銅合金素材成分が純すずめっき層へ拡散するのを防止する効果があり、銅とすずの合金層はニッケル成分が純すずめっき層に拡散するのを防止する効果がある。

本めっき構成は、ニッケル下地層が素材成分のすずめっき層への拡散を防止しているため、端子挿入力を低減させる目的ですずめっき厚さを薄くしても電気的信頼性を保つことができる。しかしながらその一方で、すずめっき厚さを薄くした場合は、リフロすずめっきに比べてはんだ付け性が低下する。

2.1.4 新リフロすずめっき銅合金板条

新リフロすずめっき銅合金板条は、当社独自の技術を用いて純すずめっき厚さにムラを作り、接点部でのすず同士の凝着を少なくすることによって端子挿入力を低くした当社オリジナルめっき材である。上記ニッケル下地リフロ3層めっき技術と組合せることにより、高温環境下においても高い電気的信頼性を得ることが可能である。さらに、特殊な表面処理を施すことによっはんだ付け性や耐食性も従来と同等の特性を得ることができ、高温環境下における高い電気的信頼性、低挿入力特性、はんだ付け性、および耐食性の全てを満足することが可能である。

2.2 すずめっき銅合金板条の表面特性のまとめ

主要表面特性を表2に示す。新リフロすずめっきは従来にない優れた低挿入力特性を有しており、2008年の量産開始以来、ユーザより好評を得ている。また、特殊な表面処理を行ったニッケル下地付き新リフロすずめっきは、端子挿抜特性や電気的信頼性、はんだ付け性の全て

表2 すずめっき銅合金材の主要表面特性

Table 2 Main characteristics of surface of tin plated copper alloy

		Characteristic	Coefficient of friction	Electrical reliability	Solderbility
Bright tin electroplating		-	0.4 ~ 0.45		
Reflowed tin plating		-	0.5 ~ 0.6		
Nickel undercoat 3layer reflow tin plating	Standard plating	Electrical reliability Solderbility	0.5 ~ 0.6		
	Thin plating	Low insertion force Electrical reliability	0.35 ~ 0.4		
Nickel undercoat 3layer New-Reflow tin plating	Standard plating	Low insertion force Electrical reliability	0.25 ~ 0.30		
	Special process plating	Low insertion force Electrical reliability Solderbility	0.30 ~ 0.35		

に優れた特性を有しており、現在、ユーザにて評価試験を実施している。

むすび=従来、電気すずめっき銅合金端子は、すずの融点が高いことやすずは銅と金属間化合物を形成してもろくなること、すずウイスカが発生することなどの問題があり、高い信頼性を要求される製品には使用されてこな

かった。しかしながら当社は、長年の研究開発により、150 を超えるような高温環境でも使用可能なめっき材を量産するに至っている。

一方、自動車用端子においてはエンジンの振動を直接受ける箇所への搭載も検討されている。高温環境下における信頼性、耐振動・耐摩耗特性に優れためっき材を将来にわたって引続き開発し、さらなる性能向上を目指したい。

参 考 文 献

- 1) 福野礼一郎：クルマはかくして作られる，(2001) p.123，ニ玄社．
- 2) W. J. Reichenecker：Tin and its Uses, No.13(1981) pp.14-16.
- 3) W. J. Reichenecker：Welding Journal, Vol.59, No.10 (1980) pp.308-310.
- 4) サムソフ：最新酸化物便覧 - 物理的・化学的性質 - ，(1979) p.209，日・ソ通信社．
- 5) B. D. Dunn：A laboratory study of tin whisker growth, ESA STR-223, September 1987.
- 6) 谷口彰敏：めっき最新技術～メカニズムの考察と品質向上～，(2006) pp.209-223, 312-317，情報機構．
- 7) 電子情報技術産業協会：鉛フリーはんだ実装技術 - 基礎からリフトオフ対策まで - ，(2003) p.46，コロナ社．
- 8) 岡本純三ほか：トライボロジー入門，(1998) pp.20-21，幸書房．