

(解説)

車載端子用すずめっきの性能向上技術

上田雄太郎*1・鶴 将嘉*1

Technology for Improving Performance of Tin Plating for Automotive Terminals

Yutaro UEDA・Masahiro TSURU

要旨

自動車用端子には、電気伝導性に優れた銅合金が広く用いられている。銅合金は大気中で酸化し、その酸化皮膜は電気抵抗となるため、接触電気抵抗を低く維持するためにすずめっきが施されている。本稿では、自動車端子用すずめっきに要求される特性について解説するとともに、当社オリジナルのすずめっき製品「新リフローめっき（耐熱仕様、低摩擦仕様）」について紹介する。

Abstract

Copper alloy, which has excellent electrical conductivity, is widely used for automotive terminals. Since copper alloys are oxidized in the atmosphere and their oxide coating acts as electrical resistance, tin plating is applied to keep the contact resistance low. This paper explains the characteristics required for the tin plating of automobile terminals and introduces Kobe Steel's original tin-plated products with new reflow plating (high thermal resistance and low friction).

検索用キーワード

コネクタ、端子、すずめっき、新リフロー、接触信頼性、接触抵抗、耐熱性、低挿入力、耐微摺動摩耗性

まえがき＝自動車には、制御用コンピュータ、センサー、アクチュエータなどで構成される電装品が搭載されており、ワイヤハーネスにより接続されている。ワイヤハーネスは、電線とコネクタで構成される集合部品であり、コネクタに内蔵される端子は、電力や信号を伝達する上で重要な部品の一つである。近年、自動運転や電動化などの「CASE」の実現のため、自動車の電装化が加速している。これにより、搭載される電子機器の数は増加し、電線と端子数は増加している。端子には、電気伝導性に優れた銅合金が広く用いられているが、銅合金は大気中で酸化し、その酸化皮膜は電気抵抗となる。したがって、端子の接続部である接点の接触電気抵抗（以下、接触抵抗という）を低く維持するために、すずめっきなどの表面処理が施されているのが一般的である。

本稿では、自動車端子用すずめっきに要求される特性について解説するとともに、当社オリジナルのすずめっき製品「新リフローめっき（耐熱仕様、低摩擦仕様）」について紹介する。

1. 端子用すずめっきに必要な特性

当社で量産しているすずめっきを例にして、端子用すずめっきに必要な特性について述べる。めっき／リフロー工程におけるリフローすずめっきと新リフローめっき

付き銅合金の断面模式図を図1に示す。リフローすずめっきとは、銅合金に電気すずめっきした後、すずの融点以上に加熱、溶融する処理（以下、リフロー処理という）を施しためっきのことである。リフローすずめっきは、銅合金の上にすずと銅の金属間化合物層（以下、銅すず系金属間化合物という）を有し、表面はすずで覆われている。

新リフローめっきは、銅合金の上にニッケル、銅すず系金属間化合物、すずの3層で構成される。あらかじめ

| Process | Before plating | After plating | After reflow |
|--------------------|----------------|---|--|
| Reflow tin plating | Copper alloy | Tin Copper alloy | Tin *IMC Copper alloy |
| New reflow plating | Copper alloy | Tin Copper Nickel Copper alloy | Tin*IMC exposed part Nickel *IMC Copper alloy |

図1 めっき／リフロー工程におけるすずめっき付き銅合金の断面構造の概略図

Fig.1 Cross section structure of tin plated copper alloys in plating and reflow processes

*IMC: Intermetallic compound layer of tin & copper

*1 素形材事業部門 銅板ユニット 銅板工場

銅合金の表面には微細な凹凸を付与しており、ニッケル、銅、すずの順にめっきを施すと、めっきは素材の凹凸に追従する。その後、リフロー処理時にすずが溶融し、めっき後に形成していた凹凸が平滑化され、凸部表面に銅すず系金属間化合物が露出する。その結果、すずめっきの表面に微細な銅すず系金属間化合物が分散する。

1.1 接触信頼性

接触信頼性は、端子に要求される最も重要な特性の一つであり、自動車が製造されて寿命を迎えるまで電気信号や電力を伝達し続けることが求められる。そのためには、端子接点の接触抵抗を低く維持することが必要である。接触抵抗とは、皮膜そのものの電気抵抗である皮膜抵抗と電流が集中することによる集中抵抗の和として式(1)で示される^{1),2)}。

$$R = R_f + R_c \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 R は接触抵抗 ($m\Omega$)、 R_f は皮膜抵抗 ($m\Omega$)、 R_c は集中抵抗 ($m\Omega$) である。

同種金属が接触した場合の皮膜抵抗と集中抵抗は、式(2)で示される。

$$R_f = \rho_f d / \pi a^2, R_c = \rho / 2a \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 ρ_f は皮膜の固有抵抗 ($\Omega \cdot m$)、 d は皮膜の厚さ (m)、 ρ は金属の固有抵抗 ($\Omega \cdot m$)、 a は接触面半径 (m) である。

式(2)より、皮膜抵抗は、皮膜の厚さが薄いほど、接触面積が大きいほど低減し、集中抵抗は、接触面の半径が大きいほど、すなわち接触面積が大きいほど低減する。

銅合金表面に施されたすずめっきの表面は、薄い酸化皮膜で覆われている。酸化皮膜は金属に比べて電気抵抗が高く、電気の伝達を阻害するため、一般に酸化皮膜が形成されると接触抵抗が増加する。しかし、すずめっきの場合、軟らかいすず(強度: 50~70 MPa)³⁾上に硬い酸化皮膜(強度: 16.5 GPa)³⁾が薄く形成される。その結果、端子を挿入したときの摺動により生じるすずの変形に、酸化皮膜が追従できずに破壊され、すず同士の接触が得られやすい。したがって、すずめっきは表面に酸化皮膜を形成しても低い接触抵抗を示す。

すずめっきが端子用の接点に使用されるのは、比較的安価な金属でありながら、酸化皮膜の破壊により安定した接触信頼性を得られるからである。しかし、近年では端子の小型化で酸化被膜の破壊が起こりにくくなり、熱や振動など搭載環境が過酷化し、すずめっきが接触抵抗の増加を起しやすくなっている。したがって、すずめっきには高温環境に対応できる耐熱性、および振動や温度変化に対応できる耐微摺動摩耗性が求められる。

1.2 耐熱性

自動車の主な熱源はエンジンの発熱であり、エンジンルームは車内より高温になりやすい⁴⁾。炎天下ではエンジンルーム内の最高温度は120℃になり⁴⁾、加速寿命試験では耐熱温度150~160℃が要求される。また、車載部品の電装化の進展により、コネクタ1個当たりの端子

数が増加しており、端子が密集することにより熱が逃げにくくなっている。そのため、耐熱性の要求がさらに厳しくなっている。

箱型端子の断面模式図を図2に示す。端子には、箱型に成形したメス端子と板状のオス端子がある。オス端子をメス端子に挿入し、メス端子のばねにより接触荷重をかけることで接触抵抗を低く維持している。端子の小型化により、接点を押さえているばねの接触荷重は低下する。接触抵抗には荷重依存性があり、接触荷重が低くなると接触抵抗が増加しやすくなる。これは、接触荷重が低くなるにつれて、接触面積が減少すること⁵⁾、および酸化皮膜が破壊されにくくなることに起因する。

酸化皮膜が破壊されにくい接触荷重の低い箇所では、電気的信頼性の高い金めっきが用いられることが一般的であるが、金めっきは非常に高価であるため、すずめっきの適用によりコストを低減したいというニーズがある。また、酸化被膜が成長しやすい高温環境では、電気的な信頼性の要求が高い。したがって、高温環境で接触荷重が低い領域では、すずめっきの接触信頼性の向上が求められる。

加熱前と160℃で1,000 h保持した後の接触抵抗を図3に示す。接触抵抗は、4端子法により測定した電圧降下をもとに算出した。測定には、板状のめっき材試験片と、金線をU字に曲げたプローブを使用した。プローブを試験片に押し当て、垂直荷重を徐々に増加させながら、1~5 Nの範囲で各荷重における電圧降下を測定した。測定中は、1 mm/minの速度で一方向に摺動した。加熱前は、荷重1~5 Nにおいていずれのめっきも接触抵抗1 mΩ以下を維持する。この理由は、摺動によりすず酸化皮膜が破壊されたためと考える。1,000 h保持後は、リフローすずめっきの接触抵抗は大きく増加し、荷重3 Nでは接触抵抗5 mΩを超える。いっぽう、新リフローめっきは、荷重3 N以上では接触抵抗1 mΩ以下とほとんど増加が認められず、荷重1 Nにおいても5 mΩ以下を維持している。

160℃で1,000 h保持した後のすずめっきの断面SEM観察結果と表層の酸化皮膜の構成を図4に示す。リフローすずめっきでは、すずが無くなり銅すず系金属間化合物であるCu₃Sn (ϵ 相)が形成されている。高温環境にさらされることにより素材の銅とすずの相互拡散が促進され、銅すず系金属間化合物であるCu₆Sn₅ (η 相)が形成、すずが枯渇し、さらに拡散が進むことでCu₃Sn (ϵ 相)が形成したと考えられる⁶⁾。また、リフローすずめっきの表面にはCu₂Oが厚く生成している。銅酸化物の電気比抵抗(CuO: 10⁶~10⁷ Ω·m, Cu₂O: 10 Ω·m)⁷⁾は、すず酸化物(SnO₂: 4 × 10⁻⁴ Ω·m)⁷⁾よりも高く、接

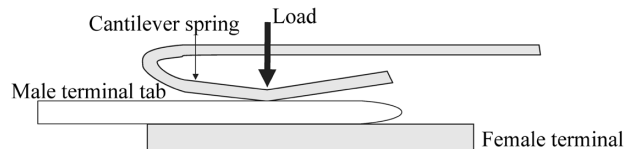


図2 端子の断面模式図
Fig.2 Schematic image of cross section of terminal

触抵抗への影響が大きいと考えられる。銅成分が多いCu₃Snが形成されることにより、表層に高抵抗な銅酸化物を厚く生成し、接触抵抗が増加したと推定される。また、荷重が低いほど摺動により酸化物が除去されにくくなり、接触抵抗がさらに増加したと推定される。

新リフローめっきでは、1,000 h保持後もCu₆Sn₅と一部ですずも維持されている。また、リフローすずめっきのように銅酸化物が厚く形成されることもない。そのため、摺動により酸化物が除去されやすく、低い接触抵抗を維持したと推定される。すず、Cu₆Sn₅を維持しているのは、下地のニッケルめっきが素材からの銅の拡散を抑制したためであり、これにより銅酸化物が生成されにくくなっていると考えられる。

ただし、ニッケルめっき上にすずめっきを直接行うと、高温環境下においてはニッケルとすずの相互拡散により、ニッケルとすずの金属間化合物がめっき表面まで形成され、表面に高抵抗なニッケルの酸化物(NiO: $4 \times 10^{11} \Omega \cdot m$)⁷⁾を形成する。その結果、接触抵抗が増加する⁸⁾。したがって、ニッケルとすずの間に、拡散を抑制するための銅すず系金属間化合物を形成させた3層構成にする必要がある。

以上のことから、高温環境で接触抵抗の増加を抑制するには、すずおよびCu₆Sn₅を維持することが重要である。そのためには、すずの厚さを増やす、あるいは新リ

フローめっきのようなニッケル層のある3層構成のめっきにすることが有効である¹⁾。

1.3 耐微摺動摩耗特性

端子の接点間にわずかな擦れ合いが発生し、接点部のめっきが摩耗する現象を微摺動摩耗と呼ぶ。微摺動摩耗が生じるとすずの摩耗粉が接点間に堆積して酸化することにより、接触抵抗が増加する可能性がある。微摺動摩耗は、エンジン駆動や自動車走行時の振動、周辺環境の温度変化や通電時の発熱などによる熱伸縮に起因する接点のずれによって生じるといわれている^{1), 6)}。端子の小型化が進むと、接点部の接触荷重の低下により、これまで問題にならなかった程度の振動や衝撃によって接点にずれが生じやすくなることから、耐微摺動摩耗特性はさらに重要性を増している。

微摺動摩耗試験の概略図を図5、リフローすずめっきの荷重3 N、5 Nにおける微摺動摩耗試験中の接触抵抗挙動を図6に示す。荷重3 Nでは、40~80サイクル付近に接触抵抗のピーク(1stピーク)が認められるが、荷重5 Nでは認められない。すずめっきの微摺動摩耗では、摺動によりすずの摩耗粉が発生し、摩耗粉の一部は外部へ排出されるものの、残りは接点間に堆積する。堆積したすずの摩耗粉が酸化することにより接触抵抗が増加する¹⁾。その後、銅すず系金属間化合物まで摩耗すると、摩耗粉の発生よりも排出が多くなり、接点部に堆積した

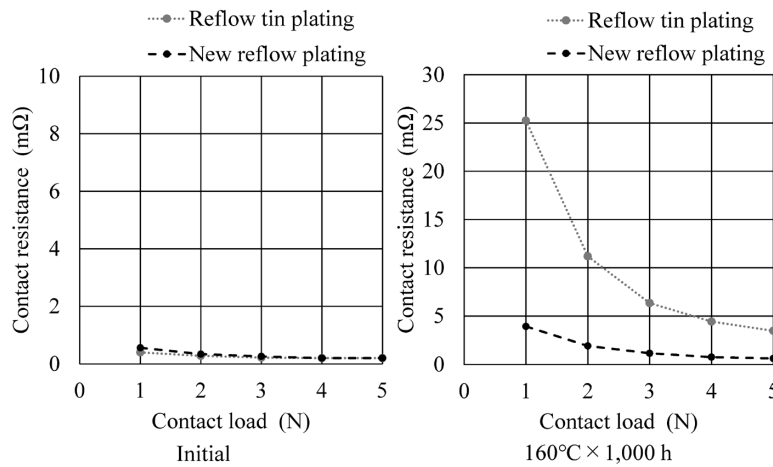


図3 160°C × 1,000 h保持前後の接触荷重と接触抵抗の関係

Fig.3 Relationship between contact load and contact resistance before and after 160°C × 1,000 h annealing

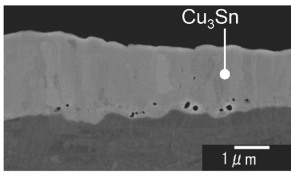
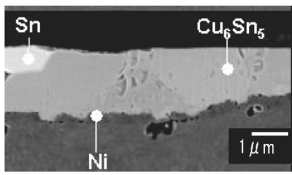
| | | Reflow tin plating | New reflow plating |
|-----------------------------|-------|---|--|
| SEM images of cross section | |  |  |
| Etching depth | 0 nm | SnO ₂ , Cu ₂ O, CuO | SnO ₂ , Cu ₂ O, CuO |
| | 5 nm | SnO ₂ , Cu ₂ O | SnO ₂ , Cu ₂ O |
| | 15 nm | SnO ₂ , Cu ₂ O | SnO ₂ |
| | 20 nm | SnO ₂ | - |

図4 160°C × 1,000 h保持後のめっき断面および酸化皮膜の構成

Fig.4 Cross sectional SEM images and composition of oxide films of tin plating after 160°C × 1,000 h annealing

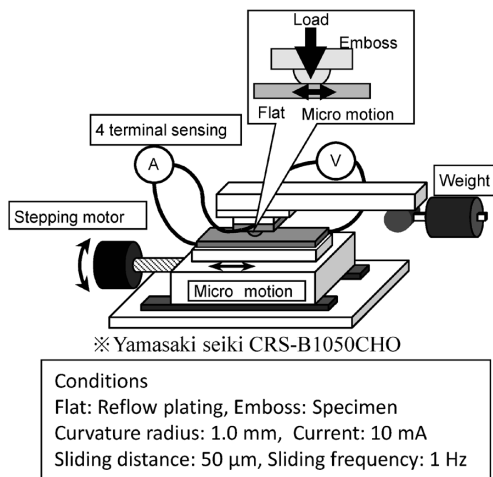


図5 微摺動摩耗試験の概略図
Fig.5 Fretting test system

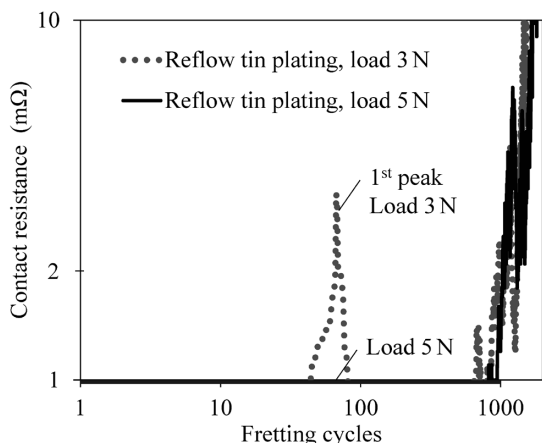


図6 すずめっきの微摺動摩耗試験中の接触抵抗の挙動
Fig.6 Changes of contact resistance of reflow tin plating with different contact load

摩耗粉が減少し、接触抵抗が減少する（1stピーク）。さらに摺動を行うと、摩耗が進行して銅合金母材が露出し、最終的には母材の摩耗・酸化により接触抵抗が増加する¹⁾。荷重3Nにおいて接触抵抗の1stピークが認められたのは、接触荷重が小さく摩耗粉を外部に排出する力が弱いため、摩耗粉が堆積しやすくなったと考えられる。このように、微摺動摩耗では低荷重になるほど摩耗粉が堆積しやすくなり、接触抵抗の1stピーク値が高くなりやすい。したがって、めっきには低荷重における接触抵抗の1stピークの抑制が求められる。接触抵抗の1stピークは、すずの摩耗粉の堆積・酸化によるものであり、接触抵抗の1stピークを低くするためには、摩耗粉の発生、あるいは堆積を抑制すればよい。そのためには、摩耗粉の発生源となるすずめっきの厚さを減らす、あるいはすずの摩耗を抑制することが有効である。

荷重3Nにおける新リフローめっきとリフローすずめっきのすずめっき厚さと微摺動摩耗における接触抵抗の1stピークの関係を図7に示す。すずめっき厚さは、銅すず系金属間化合物を除いたすず層のみの平均厚さにしている。いずれのめっきもすずの厚さを減らすことにより、1stピークが低くなる。この理由は、すずの摩耗粉の発生量が減少したためと考えられる。一般に、金属は同種金属同士を擦り合わせると凝着を生じやすく、摩耗

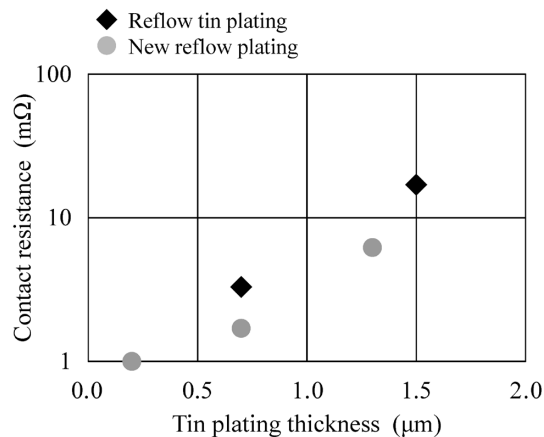


図7 すず厚さと微摺動摩耗試験の接触抵抗の1stピークの関係
Fig.7 Relationship between tin plating thickness and 1st peak of contact resistance

が激しくなる（凝着摩耗）ため⁹⁾、すずめっき同士の摩耗の主要因は凝着摩耗といわれている。新リフローめっきは、すずの凝着摩耗を抑制するため、表面に銅すず金属間化合物を露出させている。図7のすず厚さ0.7μm付近において、新リフローめっきはリフローすずめっきよりも1stピークが低減しており、先述したすずの凝着摩耗の抑制効果によるものと考えられる。

1.4 端子挿入性

近年、コネクタ1個当たりの端子数が増加しており、これに伴ってコネクタの挿入力も増加している。コネクタを差し込む作業は人の手で行われることから、作業者の負荷軽減を目的に、挿入力の規格を厳しくする動きもあり、コネクタの挿入力低減は今後さらに重要になると考えられる。コネクタの挿入力にはすずめっきの摩擦力が影響するため、すずめっきには摩擦係数の低減が求められる。

摩擦力は、凝着部を引き離すのに要する力成分（凝着摩擦）、硬い表面が軟らかい表面を掘り起こすことによる力成分（掘り起こしによる摩擦）、および材料の押し込みと引き離しの際の変形力の違いから生じるエネルギーロス（弾性ヒステリシス損失）に基づく成分の和で表される¹⁾。一般的に、すずめっき同士の摩擦では、硬度差が少ないため掘り起こしによる摩擦は小さく、凝着摩擦が支配的になるといわれている。したがって、摩擦係数は式(3)で示される⁹⁾。

$$\mu = F/W = As/Ap = s/p \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 F は摩擦力(N)、 W は板厚法線方向荷重(N)、 A は接触面積(m^2)、 s は凝着部のせん断強さ(N/mm^2)、 p は塑性流動圧力(N/mm^2) = 材料の硬さ(N/mm^2)である。

塑性流動圧力は、接触荷重を増加させたときに接触部付近の表面に近い内部が全て塑性変形するときの圧力のことであり、材料の硬さに相当する¹⁾。式(3)より、凝着部のせん断強さを下げるか、塑性流動圧力を上げることによって摩擦係数を低減することができる。

摩擦係数の測定方法の概略図を図8に示す。摩擦係数の測定は、日本伸銅協会技術標準JCSA T311:2002

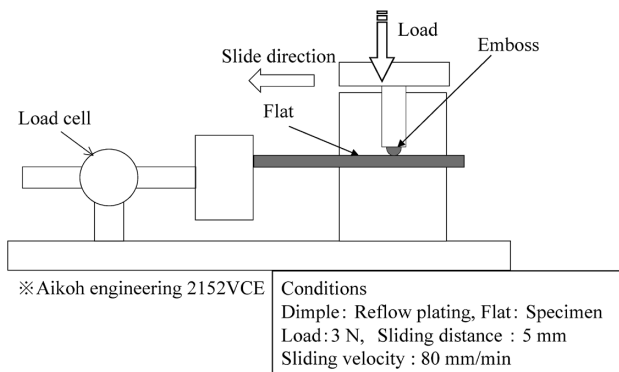


図8 摩擦係数測定装置の概略図
Fig.8 Friction coefficient measurement system

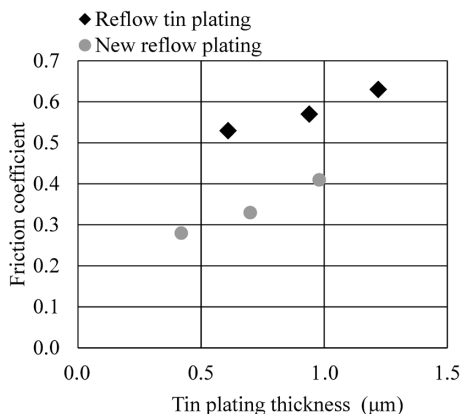


図9 すず厚さと摩擦係数の関係
Fig.9 Relationship between tin plating thickness and friction coefficient

に準拠して実施した。板状の試験片 (Flat) と曲率半径 1.0 mm の半球状突起を有する試験片 (Emboss) を接触させ、板面の法線方向に 3 N の荷重を負荷したときの摩擦係数から摩擦係数を算出した。

新リフローめっきとリフローすずめっきにおけるすず厚さと摩擦係数の関係を図9に示す。いずれのめっきもすず層が薄いほど摩擦係数が低い。すず層を薄くすると、硬い母材の影響を受けやすくなり、見かけ上の硬さが増加して、すずの凝着摩擦を抑制することで摩擦係数が低減すると考えられる。また、新リフローめっきはリフローすずめっきに比べて摩擦係数が低い。新リフローめっきは表面に銅すず系金属間化合物が露出しており、硬い銅すず系金属間化合物が見かけ上のめっき硬さを増加させ、すずの凝着摩擦を抑制することから摩擦係数が低減すると考えられる。

2. 新リフローめっき (耐熱仕様, 低摩擦仕様) の紹介

ここでは、標準的な新リフローめっきに対して、すず厚さを変化させることにより、とくに耐熱性を向上させた新リフローめっき (耐熱仕様) と、とくに端子挿入性を向上させた新リフローめっき (低摩擦仕様) について紹介する。

2.1 端子用すずめっき開発のアプローチ

端子挿入性と耐熱性に関する端子用すずめっきの位置付けを図10に示す。前述したように、すずの厚さを増

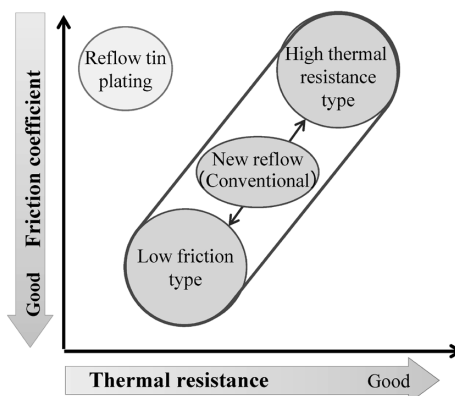


図10 端子用すずめっきの摩擦係数と耐熱性の位置づけ
Fig.10 Positioning of friction coefficient and thermal resistance of tin plating for terminals

やすと耐熱性が向上するが、相反して端子挿入性や耐微摺動摩擦特性が低下する。したがって、すずめっき厚さの制御のみで、これらを両立させることは難しい。新リフローめっきは3層構成とすずめっきの表面に銅すず系金属間化合物を微細分散させることにより、従来のリフローすずめっきでは難しかった諸特性の両立を実現しており、自動車の端子向けに採用されてきた。

しかし、昨今の自動車の変化にともない、自動車の端子に使用されるすずめっきに要求される特性はさらに厳しくなっている。当社では、耐熱性、端子挿入性の要求のさらなる高まりを受けて、新たなバリエーションとして耐熱仕様と低摩擦仕様の新リフローめっきを開発した。

2.2 新リフローめっき (耐熱仕様)

新リフローめっき (耐熱仕様) は、耐熱性向上のために標準的な新リフローめっきよりも、すず厚さを増加させた仕様になっている。

160°Cで1,000 h, 5,000 h保持した場合の垂直荷重 1~5 Nにおける接触抵抗を図11に示す。リフローすずめっきの5,000 h保持後の接触抵抗は1,000 h保持後よりも増加している。これは、銅酸化物が厚く成長したためと推定される。しかし、新リフローめっき (耐熱仕様) は5,000 h保持後も荷重 1 Nにおける接触抵抗が 1 mΩ以下を維持しており、新リフローめっきよりも耐熱性が向上している。これは、すずを厚くすることにより、新リフローめっきよりも長期にわたってすず、およびCu₆Sn₅が維持され、銅酸化物の生成を抑制できたためと考えられる。

160°C保持におけるすずめっきの保持時間の平方根と銅すず系金属間化合物の厚さの関係を図12に示す。プロットから近似直線を外挿して、銅すず系金属間化合物の成長速度を求めた。前述したように、耐熱性の向上にはすず厚さの増加が有効である。そこで、すず厚さを 1 μmから1.5 μmに増加させたときにすずが消失するのに要する時間の変化を銅すず系金属間化合物成長速度の近似直線から算出した。その結果、リフローすずめっきではすず消失時間が約40 h増加するのに対して、新リフローめっきでは約2,900 hと大幅に増加する。したがって、新リフローめっきのすず厚さを増加させる方が耐熱性の向上効果が大きい。

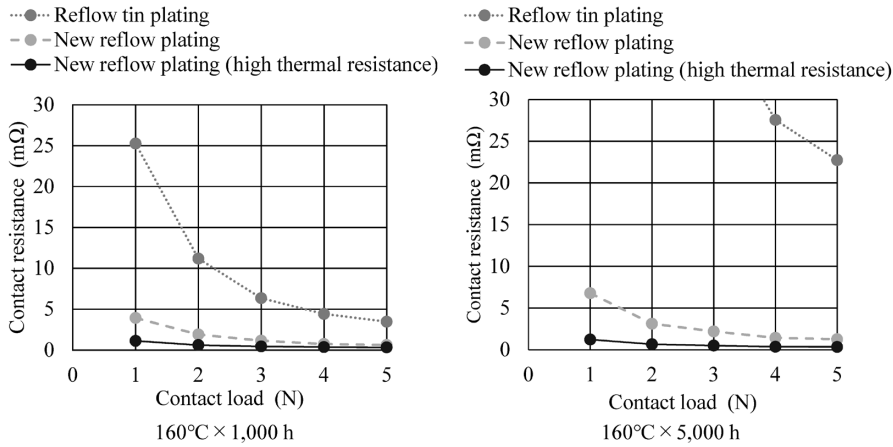


図11 160°C × 1,000 h, 5,000 h 保持後の接触荷重と接触抵抗の関係

Fig.11 Relationship between contact load and contact resistance before and after 160°C × 1,000 h and 5,000 h annealing

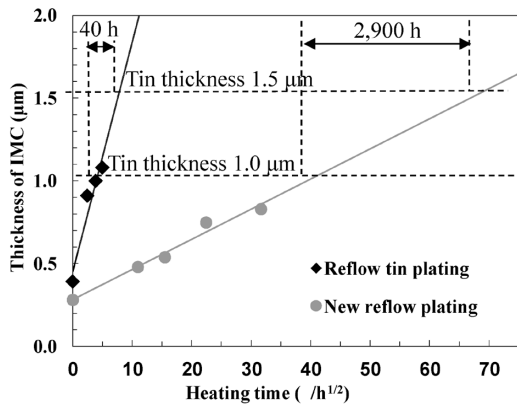


図12 160°Cにおける金属間化合物厚さの成長

Fig.12 Growth of intermetallic compound layer at 160°C

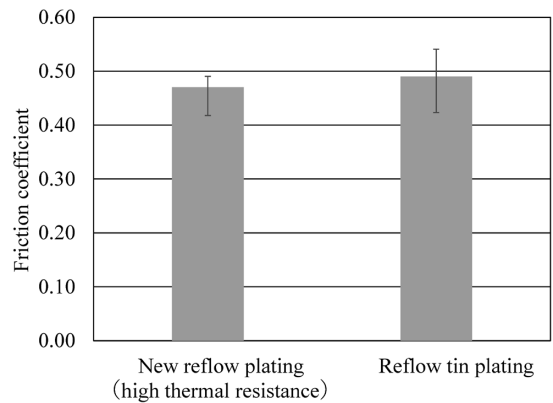


図13 すずめっきの摩擦係数

Fig.13 Friction coefficient of tin plating

リフローすずめっきと新リフローめっき（耐熱仕様）の摩擦係数を図13に示す。前述したように、すずめっき厚さが厚いほど摩擦係数は増加する。新リフローめっき（耐熱仕様）はすずが厚いにもかかわらず、リフローすずめっきと同等の摩擦係数を示している。新リフローめっきはリフローすずめっきよりも摩擦係数が低いという利点がある。そこで、新リフローめっき（耐熱仕様）は、摩擦係数がリフローすずめっきと同等になる程度を見極めて、新リフローめっきよりすず厚さを厚く設定している。

新リフローめっき（耐熱仕様）は、高温環境での耐熱性の向上と端子挿入性の維持が要求される用途に適している。

2.3 新リフローめっき（低摩擦仕様）

新リフローめっき（低摩擦仕様）は、端子挿入性向上のために標準的な新リフローめっきよりもすず厚さを減少させた仕様になっている。

すずめっきの摩擦係数を図14に示す。棒グラフは10回測定したときの平均値、エラーバーは最大値と最小値を示している。新リフローめっき（低摩擦仕様）は、標準的な新リフローめっきより摩擦係数が低く、ばらつきも小さく安定している。

すずめっきの摩擦力の挙動を図15に示す。リフローすずめっきと新リフローめっきでは、小さなピークが複数認められるが、新リフローめっき（低摩擦仕様）では、

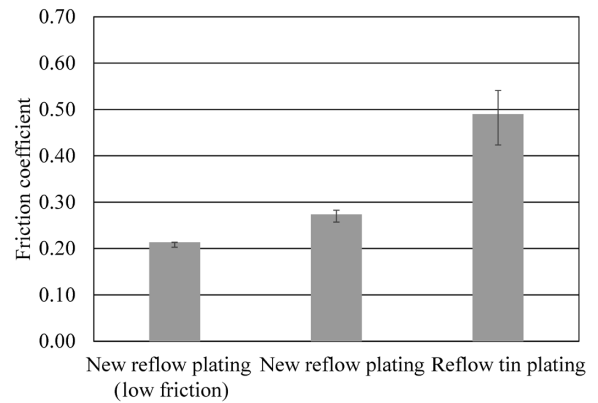


図14 すずめっきの摩擦係数

Fig.14 Friction coefficient of tin plating

ピークはほとんど認められない。前述したように、すずめっきは凝着摩擦が主体である。凝着摩擦は、付着して破断する現象⁹⁾であり、摩擦力の小さなピークはすずの凝着摩擦の繰り返しによって引き起こされたと推定される。新リフローめっき（低摩擦仕様）では、すずの厚さを減少させてすずの凝着摩擦を抑制することにより、さらなる低摩擦とばらつき抑制を実現している。

すずめっきの微摺動摩擦試験時の接触抵抗の挙動を図16に示す。新リフローめっき（低摩擦仕様）はすずの厚さを減らすことにより、新リフローめっきよりも1stピークをより一層低減している。

160°Cで1,000 h保持した後のすずめっきの接触抵抗を

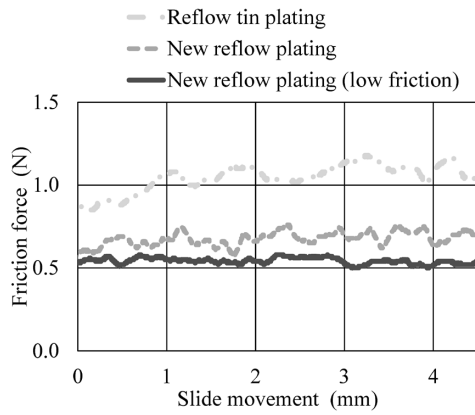


図15 すずめっきの摩擦力プロファイル
Fig.15 Change of friction force of tin plating

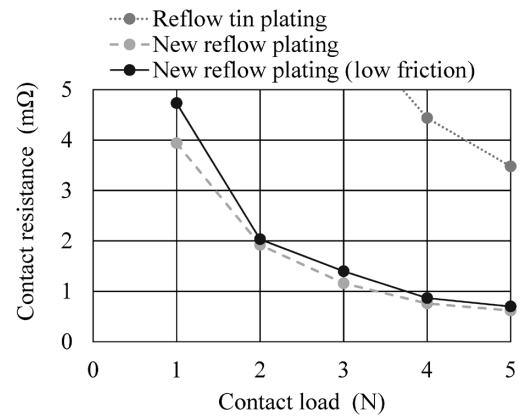


図17 160°C × 1,000 h 保持後の接触荷重と接触抵抗の関係
Fig.17 Relationship between contact load and contact resistance before and after 160°C × 1,000 h annealing

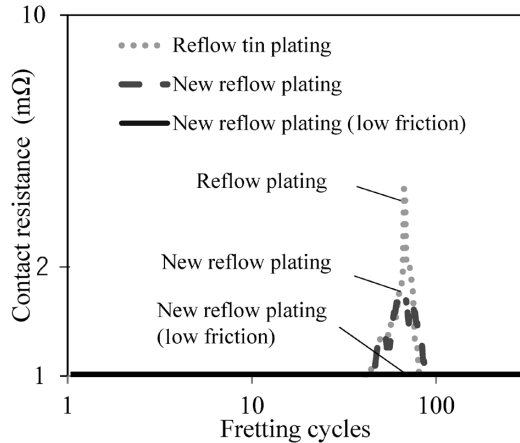


図16 すずめっきの微摺動摩耗試験中の接触抵抗の挙動
Fig.16 Changes of contact resistance of reflow plating

図17に示す。新リフローめっき（低摩擦仕様）は新リフローめっきより荷重1 Nにおける接触抵抗がわずかに高いものの、リフローすずめっきよりも耐熱性を確保している。これは、3層構造により銅の拡散を抑制したためである。

新リフローめっき（低摩擦仕様）は、挿入力規格がとくに厳しい用途や耐微摺動摩耗性が要求される用途に適している。

むすび = 新リフローめっきは、耐熱性、耐微摺動摩耗性、端子挿入性を従来のリフローすずめっきより向上させためっきであり、自動車端子用のすずめっきとして広がりつつある。このたび、新リフローめっきの新たなバリエーションとして耐熱仕様と低摩擦仕様を追加した。これらを活用し、使用環境に適したすずめっきを提案していく。

参考文献

- 1) 鶴 将嘉ほか. R&D神戸製鋼技報. 2012, Vol.62, No.2, p.59-62.
- 2) コネクタ最新技術'99 編集委員会. コネクタ最新技術'99. 初版. (株)日本アドバンステクノロジー, 1999, p.1-3.
- 3) 玉井輝雄ほか. 信学技報 IEICE Technical Report. EMD2008-2, p.7-12.
- 4) 泉 重郎. ESPEC技術情報誌. 1997, No.9, p.5-11.
- 5) 澤田 滋. SEIテクニカルレビュー. 2010, Vol.177, p.36-42.
- 6) 坂本 浩. R&D神戸製鋼技報. 2019, Vol.69, No.1, p.19-24.
- 7) ゲ・ヴェ サムソフ. 最新酸化物便覧 - 物理的・化学的性質 -. 第2改訂増補版. 日・ソ通信社, 1979, p.209.
- 8) 原 利久ほか. R&D神戸製鋼技報. 2004, Vol.54, No.1, p.9-12.
- 9) 山本雄二ほか. トライボロジー. 第2版. (株)オーム社, 2010, p.41-42, p.193-194.