コネクタ用スズめっきに必要な物性及び評価

瀧 川 雄 輝 ^a

^a 石原ケミカル(株)(〒 652-0806 兵庫県神戸市兵庫区西柳原町 5-26)

Physical Properties and Evaluation Required for Tin-plated Connector

Yuki TAKIGAWA ^a

^a Ishihara Chemical Co., LTD.(5-26, Nishi-yanagiwara-cho, Hyogo-ku, Kobe-shi, Hyogo 652-0806)

Keywords : Electro Plating, Connector, Evaluation Method

1. はじめに

コネクタとは、複数の電子回路(ケーブル間や回路基板間、モジュール-回路基板間等)を電気的に接続するために使用される部品の総称で、様々な電子機器、家電、産業機械、自動車、通信周辺機器等の内部に組み込まれている。機器部品の組み立て工程に、はんだ付けや圧着等の接合を用いる場合は接続部を分離、再接続することは困難であるが、コネクタを使用することにより手や治具を用いて安全かつ容易に脱着可能であることは利点の一つである。上記理由からも、昨今の電子機器の組み立てにはコネクタは必要不可欠な要素となっている。

本稿ではそのコネクタにめっきを施したスズ皮膜に要求される(1)ウイスカ特性、(2)はんだ濡れ性、(3)挿抜性、(4)接触抵抗、(5)微摺動摩擦特性、(6)耐熱性・リフロー性、(7)界面制御の7種類の物性とその評価方法を中心に解説する。

2. 現 状

コネクタを構成する部品は、一般に電気を導通させる金属部分とその周りの樹脂モールドやプラスチックなど非導電性材料を使用した部分に分けられる。導通の役割を担う金属部分としては主に銅または銅合金(リン青銅・ベリリウム銅・黄銅等)が用いられているが、酸化及び腐食を防止するためにその上に金属めっきを施すことが多い。めっき種としては

金めっきが最も多く、ついでスズめっき・リフローズめっきが多い。但し、求められる物性に応じてスズ合金めっきを施す場合もある。

図1に2015年のコネクタ製品の用途別の生産額の割合を示す¹⁾。コネクタの仕様・用途としては基板用のコネクタ及び車載用のコネクタの生産額が大部分を占めており、その中でもワイヤーハーネス(WH)用を含む車載用コネクタの需要は今後も増加する見通しとなっている。

3. 要求物性及び評価方法

3. 1 ウイスカ特性

ウイスカとは、金属表面にほぼ同じ太さの針状に伸びた金属の単結晶を指し、スズウイスカにおいても同様の現象が見られる。近年コネクタの多極化、小型・軽量化によって端子の間隔が狭くなっており、このスズウイスカによって端子間の短絡を引き起こす可能性がある。故に電子機器の信頼性を確保する上でもウイスカの抑制対策が最も重要な課題となっている。一般に、スズウイスカにはめっき皮膜の内部の応力が要因となって発生するもの(内部応力型)と外部からの圧力によって成長するもの(外部応力型)に大別される。内部応力型に関しては、下地めっき処理またはスズ合金めっき化を行うことで抑制できることが確認されている。一方、コネクタ部品については内部応力型よりも、嵌合の際に発生する負荷が大きく影響する外部応力型のウイスカが発生することが多く、このウイスカに関しては内部応力型で行う抑制方法では効果は得られない。外部応力型ウイスカの試験評価を行うには大きく分けて3つの負荷試験方法がある^{2)~4)}。次項からはその具体例を記載する。

3. 1. 1 アクリル板による負荷試験

図2に示すように評価サンプルのめっき面に透明アクリル板を押しあて加圧することにより、接触部付近のめっき部位から数十時間で大量のスズウイスカの発生が確認できる。

図3に、下地ニッケルめっきを1μm、その後スズ(リフローズ含む)及び実製品で採用されているスズ合金めっきをそれぞれ3μm施したリン青銅コネクタを上記方法で加圧した

図1 日系企業によるコネクタ生産額比率(2015年)
※ P&J/他とはプラグジャック及びその他コネクタを示す。

(加圧量：1.2 N・m，保持時間 280 h，保管温度 25℃)際に発生したウィスカ及びその最大長を示す。試験皮膜がそれぞれ無光沢～半光沢～光沢と異なるため，スズ皮膜とスズ合金皮膜のウィスカ抑制の相対比較は困難ではあるが，スズ皮膜と比較すると Bi，Ag，Cu を含有したスズ合金皮膜はウィスカ抑制の効果が確認される。さらに，リフローズ皮膜は均一な膜厚で鏡面状に溶解していることが前提となるが，合金スズ皮膜よりもさらに良好な結果が得られた。なお，この試験法は応力負荷の調節が難しく，他の試験方法に比べ加圧精度は高くないが，ウィスカ抑制を目的としためっき開発において各条件の優位性を簡易に確認する方法として有効である。

3. 1. 2 圧子による荷重試験法

図 4 に示す装置は一定の重りを備えた各種(球状，円柱状，コネクタ接点状)圧子でスズ皮膜を圧迫し，圧痕周辺に発生するウィスカを測定評価するものである。外部応力型ウィスカが確認されて以降，基礎的な試験方法として採用されてお

図 2 アクリル板による試験装置

図 3 スズ系皮膜におけるアクリル板での加圧試験後のウィスカ SEM 像(左図)とその最大長(右図)

図 4 圧子による荷重装置

り，電子情報技術産業協会(JEITA)や日本電子回路工業会(JPCA)などの工業界において標準化が進んでいる。図 5 は圧痕試験(200 gf，保持時間 240 h)後のスズ皮膜とスズ-ビスマス皮膜の最大ウィスカ長の比較結果を示す。3.1.1 で実施した試験結果と同様の傾向が確認され，スズの合金化がウィスカ対策として有効であることがわかる。本試験方法は，得られるデータ量は多くないが，応力負荷状態を荷重や圧子形状などで制御できるため，外部応力によるウィスカ発生，成長予測の解析に有用な試験方法ともいえる。

3. 1. 3 コネクタ部品と基板の嵌合試験

本試験法は，図 6 に示すようなコネクタ端子とフレキシブル基板の勘合時に勘合接点で発生するウィスカを評価する⁵⁾。実際の製品の使用状態でウィスカを確認することができるため，特定部品の組み合わせによるウィスカ発生評価判断に用いられる。また，確認部品の接点数に応じてサンプル数が多く得られることでウィスカ発生，成長の傾向をとらえる場合に有効である。ただし，コネクタ部品の接点形状や接点圧力または相手材の硬さにより，めっき皮膜にかかる外部応力が変化するため，めっき皮膜自身の耐ウィスカ性を判断するにはそれらの影響を考慮する必要がある。

3. 2 はんだ濡れ性

端子・コネクタ部品とプリント基板の接続には，はんだ付けが行われているが，材料のはんだ濡れ性(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・コネクタ部品がプリント基板から外れるなどの問題が生じる。コネクタのは

図 5 スズ及びスズ-ビスマス皮膜の荷重試験結果

図6 コネクタ端子とフレキシブル基板勘合時の構造例
(JEITA ET-7305 資料より)

んだ濡れ性の評価としては、濡れ広がり法やメニスコグラフ法が用いられている⁶⁾。特に、メニスコグラフ法はゼロクロスタイムや濡れ応力を数値として把握でき、信頼性の高い評価方法である。はんだ濡れ性は、はんだ付けの前処理段階として用いられるフラックスやスズ皮膜の表面粒子の形状、酸化状態、膜厚等に影響される。図7は膜厚を変化させて作製したコネクタのプレッシャークーラー試験(105℃, 100%, 4h)後のはんだ濡れ性(ゼロクロスタイム)を示す。はんだ濡れ性は膜厚5μm以上で安定し良好な傾向を示すが、後述の挿抜特性は悪化するため、他の表面特性への考慮も必要である。また、図8に示すように、実際の測定サンプルのはんだ浸漬箇所を観察し、はんだはじき等が無いかどうかを確認する場合もある。この評価法は多種の製品のはんだ濡れ性を簡易的に評価する上で重要である。

3.3 挿抜性

前述のように近年ハイブリッド自動車や電気自動車の増加によって、自動車一台あたりに使用されるワイヤーハーネスの数が増大している。従ってそれらを中継するためのコネクタ一つ当たりの極数や接触荷重が増大している。そのため、組み立ての際に作業者がコネクタを手作業で差込むときの挿入力も増大し負担が大きくなっている。

挿抜性についてはコネクタ端子の形状や嵌合方法に影響されるが、コネクタに施されるめっき皮膜の金属種にも影響さ

図7 膜厚変化によるPCT後のゼロクロスタイム

れる。端子の挿入力は、具体的には材料表面の硬さ、摩擦係数、端子の接圧等によって決まるため、スズ皮膜表面の硬度及び摩擦係数を測定することにより評価することができる。硬度の測定にはマイクロビッカース硬度計、摩擦係数の測定には一般に表面性測定機を用いる。皮膜硬度の維持として3.1.1で選択したスズ及び各スズ合金めっきを銅板(C1100P)に5μm施し、めっき初期から10日経過毎に皮膜硬度を測定(5gf, 保持時間20秒)した。皮膜硬度と経時日数による関係を図9に示す。また、図10に、無光沢スズと光沢はんだめっきを施した銅板(C1100P)試験片に任意の荷重を加えた鋼球を接触させ、一定速度で摺動した際の摺動回数と摩擦係数の関係を示す。一般に光沢はんだ皮膜のグレインサイズは0.05μm以下の微細な粒子であり、表面の凹凸も無光沢スズ皮膜に比べて小さいこと、ならびに皮膜が硬いことから静・動摩擦係数共に低い結果が得られている。

なお、往復回数が少ない条件で摩擦係数が増大(特に無光沢スズ皮膜)するのはスズ皮膜の削れやスズ同士の凝着が起るため一次的に摩擦係数が増大したものと考えられる。

3.4 接触抵抗

コネクタの最も重要な機能は、電気信号や電力を劣化させることなく伝達することである。そのため、コネクタを使用

図8 はんだ濡れ面積評価法

図 10 無光沢スズ及び光沢はんだ皮膜の摺動回数における静・動摩擦係数の推移

図 9 経時日数における皮膜硬度推移

図 11 スズ及びスズ合金皮膜における荷重変化による接触抵抗値

する装置類の寿命を長期化させるためには接触抵抗を低く保つことが重要となる。接触抵抗は接触する金属間に存在する酸化膜などの皮膜による抵抗(皮膜抵抗)と、電流が集中することによる抵抗(集中抵抗)の和で示される。皮膜抵抗は酸化皮膜の電気比抵抗や厚さに依存する。集中抵抗は実際の接触面積に依存し、接圧、めっき皮膜の硬さ、及び酸化皮膜の硬さに依存する。図 11 に 3.1.1 で選択したスズ及び各スズ合金皮膜の接触抵抗と測定時の荷重の関係を示す。いずれのめっき皮膜も低荷重の場合に抵抗値が高い結果となっているのは、表面に形成された酸化膜の影響及び接触面積が狭いことが要因であると考えられる。

3.5 微摺動摩耗特性

微摺動摩耗現象とは、接点に振動や衝撃などが加わって微小な摺動が起きたとき、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大を抑えるため、コネクタ接点部の荷重を低減させることが望まれている。そのため、これまで問題にならなかった振動や衝撃、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。近年、自動車のエンジンルームに電子部品が搭載されることが多くなり、エンジンや路面状態による振動や熱伸縮によるコネクタ接点部の摺動が発生しやすくなっており、摺動摩耗の低減が今後重要な課題になると考えられている。微摺動摩耗特性を測定する際には専用の微摺動摩耗特性試験機を用いる場合が多いが、具体的にはサ

ンプルに一定荷重を掛け、任意の摺動周波数、摺動距離において摺動回数毎の接触抵抗を測定することで評価することができる⁷⁾。

3.6 耐熱性・リフロー性

コネクタの実装工程において、熱の過負荷によってスズ皮膜の溶融時に変色やヨリ(皮膜の凹凸)等の問題が発生する場合がある。スズ皮膜の耐熱性及びリフロー性の簡易評価方法をそれぞれ記載する。耐熱試験においては 150～180℃の恒温炉内に数時間～数百時間コネクタを放置し、光沢抜け・変色等の外観の評価を行う。また、リフロー性の評価としては 250～300℃の条件下で数分間ホットプレートもしくは熱風炉を用いて繰り返し加熱し、皮膜表面の光沢性、変色、はじきを確認する方法がある。また、実際のリフロー実装時の工程(昇温→プレヒート→本加熱→冷却)を再現するためにリフローシミュレーター装置を用いて、実装温度や時間変化によるリフロー外観の評価を行う場合もある。光沢性については粒径(粒子の大きさ)や部材の熱伝導率や形状によって最適な温度、時間等が異なるため、部材毎に最適条件の検証を行うことが望ましい。

3.7 界面制御

コネクタの種類によっては勘合部分など必要な部分にのみ皮膜特性を付与させるために、部分めっきを施すことも少なくない。部分めっきには、液面の制御による方法、めっきを施したい部分にノズル状の噴射口からめっき液を直接噴射す

る方法、めっき皮膜の不要な部分をマスキングする方法などがある。部分めっきの場合、めっき皮膜の付き回りと呼ばれる膜厚分布が重要になるために、めっき部と非めっき部の境界面の幅や膜厚分布を測定することで界面の精度を評価することができる。この界面精度についてはめっき液と素材の界面張力にも影響する。

4. 今 後

前述のように自動車の電装化の進展に伴ってユニット電子部品搭載数は増大し、それらを結ぶ電気配線及びコネクタも同様に増大してきている。しかし、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氣的信頼性に至るまでさまざまな要求があり、周波数特性等、上記で挙げた

物性以外についても考慮して開発を進めていく必要がある。

(Received December 9, 2016)

文 献

- 1) 産業情報調査会 ; 2015年版コネクター市場, p.2 (2015).
- 2) 辻 清貴 ; 表面技術, **58**, 406 (2007).
- 3) 森内裕之 ; 表面技術, **59**, 218 (2008).
- 4) 気賀智也, 浅井 正, 水口由紀子, 村上洋介, 田中伸史, 富谷茂隆 ; エレクトロニクス実装学会誌, **11**, 356 (2008).
- 5) JEITA ET-7305 : 2010, 錫ウイスカ抑制鉛フリー材料選定のガイドライン
- 6) 藤間貞行 ; 表面技術, **63**, 660 (2012).
- 7) 鶴 将嘉, 畚野 章 ; *Kobe Steel Engineering Reports*, **62**, (2), 59 (2012).