薄板ばね用銅合金の機械的性質に及ぼす錫ホットディップの影響*

國峯辰雄**, 吉岡慎一**, 山中 登***, 林 和治*⁴

Influence of Tin Hot Dipping on Mechanical Properties of Copper Alloy for Flat Spring

Tatsuo KUNIMINE, Shinichi YOSHIOKA, Noboru YAMANAKA and Kazuharu HAYASHI

In this study the effect of newly developed Sn hot dipping process for the surface coating of the copper alloys were examined. The copper alloys tested contain a small amount of Ni and Sn. They have good electrical conductivity and high temperature characteristics and are being used widely for springs in small parts as relays and connectors. Mechanical properties of the hot dipped alloy such as the surface roughness, the spring limit, the tensile strength and Young's modulus at elevated temperatures were measured. The process resulted in much less degradation of the original Cu alloys than the conventional electroplating.

Key Words: Sn hot dipping, Cu-Ni-Sn alloy, Phosphor bronze, Corrosion resistance

1. 緒 言

電子材料, 特に自動車用コネクタおよびばね材料には, 良好な電気伝導性, 接点特性およびはんだ付け性などのほか, 材料強度, 加工性(圧延, 打抜き)などが要求される。これらの条件を満たす材料として, 従来から種々の銅合金(りん青銅, 黄銅, 銅-ニッケル系合金)などが利用されてきているが, 長時間の使用に対して, 変色による接点機能の低下や耐食性の劣化などの問題がなお残されている。近年, 自動車のエンジンおよびその内部の高集積化, 安全装置および居住性に対する著しい電装化が進められた結果, より優れた機械的性質を備えた材料の開発が強く望まれている。一方, 排ガスなどによるエンジンルーム内の温度上昇(約100℃以上)は, コネクタなどの最重要部であるばねの応力緩和と腐食にとって深刻な問題であるが, 従来の実用銅合金では万全な対応ができなくなっている。

そこで本研究は, 従来の電気Snめっきに換え, より簡易な溶融Sn浸漬法(Snホットディップ)により, Cu-Ni-Sn合金およびりん青銅の薄板にSnホットディップを施し, その機械的性質, 加工性および熱処理特性などをディップ前後

の材料で比較, 検討したものである。

2. 実験試料および実験方法

Table 1は試料の化学成分, Table 2はその機械的性質である。

試料の(1)~(4)はCu-Ni-Sn合金, (5)(6)はりん青銅であるが, (1)(3)(5)は圧延加工材の試料, (2)(4)(6)は圧延加工材の試料に片面約2.5μmのSnホットディップをそれぞれ施した6種類である。

なお, 求めた特性は, ばね限界値, ヤング率(シーメンス型両持試験機), 微小ビッカース硬さ, 引張強さ, エリクセン値¹⁾, W曲げ加工, 高温引張強さ²⁾, および表面粗さである。

Table 1 Chemical composition of specimens

Specimen	Chemical composition(mass%)				
	Cu	Sn	P	Ni	Cu+Sn+P
(1)~(4) Cu-Ni-Sn alloy	Rem	1.00	0.059	1.00	—
(5), (6) C5191R-1/2H	93.2	6.57	0.21	—	99.98

原稿受付日 1999年11月17日

* ばね技術研究会 1999年秋季講演会にて発表

** 日本ベルパーツ(株) (Nippon Bell Parts CO., LTD.)

*** (株)原田伸銅所 (Harada Metal Industry CO., LTD.)

*⁴ 東海大学 (Tokai University)

Table 2 Mechanical properties

Specimen	Thickness (mm)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Hardness (HV) ※	Precoating
(1)Cu-Ni-Sn alloy	0.197	571.2	4.55	172.6	—
(2)Cu-Ni-Sn alloy	0.202	546.8	4.53	111.4	Sn Hot dipping
(3)Cu-Ni-Sn alloy	0.249	528.2	4.82	156.4	—
(4)Cu-Ni-Sn alloy	0.254	508.0	5.06	129.6	Sn Hot dipping
(5)C5191R-1/2H	0.198	512.7	24.93	174.6	—
(6)C5191R-1/2H	0.203	518.0	21.73	103.0	Sn Hot dipping

※Measurement load : 2.0N

3. 実験結果

3.1 表面粗さの測定結果

Fig. 1は、Snホットディップの有無の場合の表面粗さの測定結果で、圧延方向に対し、平行方向および直角方向の粗さである。圧延加工材の試料は、Cu-Ni-Sn合金の0°方向が0.3μmまた90°方向が0.6μm、一方、りん青銅の場合は0°および90°方向ともに1.1μm程度の表面粗さであり、Snホットディップを施すと両試料とも表面粗さはかなり平滑になり、直角方向と平行方向の粗さの差がなくなり、それらの粗さは0.2μm程度となる。

3.2 硬さに及ぼすSnホットディップの影響

Fig. 2, 3はSnホットディップの有無の試料表面の硬さを測定荷重0.1~10Nで測定した結果である。圧延加工材の試料の硬さは、Cu-Ni-Sn合金がHV170~180、りん青銅も同様である。Snホットディップ材は測定荷重0.1NでHV50（押込深さ3.18μm）であるが、測定荷重が大きくなると圧延加工材の硬さに近づいている。なお、Cu-Ni-Sn合金は表面硬さが若干低い傾向を示している。

3.3 機械的性質に及ぼすSnホットディップの影響

引張試験はJIS13号B試験片を用いて実施した。Fig. 4に測定結果を示す。Snホットディップ材の引張強さは、わずかに低下する。また、引張試験後の破断面はSn層が剥離することがなく、密着性は極めて良好である。

Fig. 5にはね限界値の測定結果を示す。Snホットディップを施すことによりCu-Ni-Sn合金およびりん青銅ともに10~70MPaの低下がみられる。

Fig. 6にヤング率の測定結果を示す。Cu-Ni-Sn合金の板厚0.2mmのヤング率はSnホットディップでわずかに低下する

Fig. 1 Surface roughness of specimens

Fig. 2 Relation between Vickers hardness and load

Fig. 3 Relation between Vickers hardness and load

Fig. 4 Tensile strength of specimens

Fig. 5 Spring limit of specimens

Fig. 6 Young's modulus of specimens

Fig. 7 Erichsen test of specimens

が、板厚0.25mmのCu-Ni-Sn合金およびりん青銅では増加する傾向がみられる。両者のヤング率は120~140GPaでCu-Ni-Sn合金のほうが大きい。

3.4 W曲げ加工およびエリクセン試験¹⁾の結果

曲げ加工および絞り加工性を知るため、W曲げ加工およびエリクセン試験をそれぞれ行った。Table 3はW曲げ加工

Table 3 W bending test of specimens

R(mm)	Cu-Ni-Sn alloy t=0.20mm		Cu-Ni-Sn alloy t=0.25mm		C5191R-1/2H t=0.20mm	
	Non Dip	Sn Dip	Non Dip	Sn Dip	Non Dip	Sn Dip
0.2	△	△	×	×	○	○
0.4	△	△	△	×	○	○
0.6	○	△	○	△	○	○

○:Normal, △:Wrinkle, ×:Crack

Fig. 8 Relation between tensile strength and temperature for Cu - Ni - Sn alloy

Fig. 9 Relation between tensile strength and temperature for C5191R-1/2H

の結果である。この結果、Cu-Ni-Sn合金はSnホットディップを施すことにより曲げ加工性はやや低下する傾向がみられるが、りん青銅はSnホットディップの影響を受けにくい。

Fig. 7はエリクセン試験における荷重—変位曲線である。両試料ともエリクセン値はSnホットディップのほうがわずかに低い値を示す。

3.5 Snホットディップ材の熱処理特性

(1) 高温引張試験結果

Fig. 8および9は試験温度298~673K、保持時間10minの後、そのままの状態にて引張試験を行った高温引張強さ²⁾の測定結果である。

Cu-Ni-Sn合金は温度とともに引張強さは低下するが、りん青銅はSnホットディップの有無に関係なく、373~473Kで引張強さは増加し、低温焼鈍効果が認められる。

なお、それらの測定後の試料の外観写真をFig. 10および11にそれぞれ示す。

Cu-Ni-Sn合金の圧延加工材の試料は473Kにて試料の変色

Fig. 10 Test piece of Cu-Ni-Sn alloy after the elevated temperature tensile test

が見られ、Snホットディップ材は、523KにてSn層の溶融が確認される。

りん青銅圧延加工材の試料は、423Kから変色が見られたが、低温焼鈍効果が認められる473Kまでは炉内ではなく常温部分での破断となった。Snホットディップ材は、523KにてSn層の溶融が確認される。

(2) 低温焼鈍材のばね限界値の測定結果

Fig.12および13は低温焼鈍温度におけるばね限界値の測

Fig. 12 Relation between spring limit and low annealing temperature

Fig. 11 Test piece of phosphor bronze after the elevated temperature tensile test

定結果である。りん青銅Snホットディップ材ではわずかに低温焼鈍効果が認められる。また、Snホットディップ材において温度523K以上ではばね限界値が増加するのは、Sn層（表面酸化、粗さ）および素材とSn層の拡散などの影響と考えられる。

4. 実験結果のまとめ

板厚0.2および0.25mmのCu-Ni-Sn合金とりん青銅の圧延加工材の試料にSnホットディップ（厚さ片面 $2.5\mu\text{m}$ ）を施し、

Fig. 13 Relation between spring limit and low annealing temperature

それらの機械的特性および高温特性について検討した。

その結果,

- (1) Snホットディップを施すと表面粗さは改善され, 粗さ約 $0.3\mu\text{m}$ 程度の平滑になる。また, Sn層の密着性は良好で引張試験および曲げ加工を施しても剥離しない。
- (2) 高温における引張強さ, ヤング率およびばね限界値に及ぼすSnホットディップの影響はわずかに低下する程度で従来のSn電気めっきのような大きな変化はない。
- (3) Snホットディップを施すと絞り性は, Cu-Ni-Sn合金およびりん青銅ともわずかに低下する。また, 曲げ加工性はCu-Ni-Sn合金でわずかに低下するが, りん青銅はSnホットディップの影響を受けにくい。
- (4) Snホットディップ材の高温(373~573K)における引張強さおよびばね限界値は, りん青銅では, 低温焼鈍効果が認められる。Cu-Ni-Sn合金の高温引張強さは温度とともに低

下する。温度523K以上になるとばね限界値が増加する。

以上の結果より, Snホットディップ銅合金の実用性は高いといえる。本研究についてはさらに応力緩和特性, 熱衝撃および拡散について実験を進めている。

おわりに, 本実験の御指導をいただいた日本ベルパーツ(株)西畑社長, (株)原田伸銅所原田会長および東海大学源馬教授に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 西畑, 有田 編著 テストロニクスとその応用 (1994) P.211 日刊工業新聞社
- 2) 國峯, 吉岡, 松江, 岡部, 高島田 ばね技術研究会春季講演会講演論文集 (1996) P.5