

(技術資料)

硬さ測定による車載端子用銅合金の応力緩和特性の評価

Evaluation of Stress Relaxation Characteristics of Copper Alloys for Automotive Electrical Terminals by Hardness Measurement



野村幸矢 (博士 (工学))
Dr. Koya NOMURA

It is important to evaluate the thermal stability of copper alloys used for automotive electric terminals. A study has been conducted on how to prevent the performance deterioration of electrical contacts exposed to elevated temperatures for a long period of time. This report outlines the losses of electrical contact integrity and contact force, due to stress relaxation characteristics, of electric contacts. In particular, this paper reports on a method of measuring hardness to detect the stress relaxation in miniature terminals, whose occurrence has been difficult to identify. Hardness can increase or decrease from its initial value due to residual stress that generates contact pressure. This increase and decrease change as stress relaxation proceeds. This has been confirmed with a U-shaped bending contact. It has also been verified that the change in hardness is almost equal to the stress relaxation rate measured with a copper plate.

ま え が き = 自動車電装品の接続端子には銅合金の薄板が用いられる。端子の電気接点は銅合金の弾性力を利用して形成される。この弾性接触力は応力緩和現象により時間経過とともに低下していく。このため、端子の接触信頼性を高めるうえで応力緩和現象の把握が重要になる。

そこでここでは、小型端子でも適用できる可能性を持つ硬さの変化による応力緩和率測定を試みについて紹介する。

1. 検出原理

残留応力あるいは弾性変形で生じた内部応力を硬さで測定する方法はこれまでに詳細に検討されている^{1)~3)}。図1にその原理を示す。表面に圧縮の応力が作用しているときは、硬さ測定用の圧子の侵入が阻まれる。このため、材料に応力が作用していないときに比べて圧痕は小さくなり硬さの測定値は大きい。いっぽう、表面に引張応力が作用しているときは圧子挿入時の抵抗が小さくなり、応力が作用していないときに比べて圧痕(あっこん)は大きくなって硬さ測定値は小さくなる。したがって、

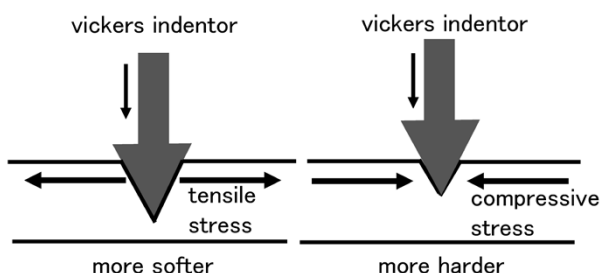


図1 硬さ測定と残留応力の関係

Fig. 1 Relationship between hardness measurement and residual stress

おす端子とめす端子を嵌合(かんごう)した直後に端子全体を樹脂埋め込みなどで固定し、研磨によって材料断面を露出させて応力が作用している部分の硬さ分布を測定すれば、それが端子の応力分布を反映することになる。このような応力測定方法に関してはヌープ硬さの感度が高いことが報告³⁾されているが、ヌープ硬さはめっきなどの薄膜に適した硬さ測定法である。このときの圧痕は深さが浅く、圧痕サイズの読み取りに熟練を要するので、今回は材料の硬さ測定に適したマイクロビッカース硬さを採用した。

応力緩和率の測定方法は、まずおす端子とめす端子の嵌合状態で断面硬さを測定する。ついで、それとは別の嵌合組み合わせ品を応力緩和現象が促進される温度で所定の時間だけ加熱する。この間にめす端子のばね部は応力緩和が進行する。すると材料断面に生じていた応力は減少し、そこに硬さ圧子を押し込んで硬さ測定すれば、ばね部の緊張状態は緩和されているので挿入前の硬さに近づく。嵌合前の硬さと応力緩和前後の硬さを比較することで応力緩和の程度を評価できる。

2. 供試材および試験片作製

供試材には当社の自動車端子向け銅合金C50715(KLF[®]注)-5)を用いた。板厚は0.25mm、質別はH、基本的な特性は引張強さが560MPa、0.2%耐力が530MPa、破断伸びが10%である。板の断面硬さはHV170である。伸銅協会技術標準JCBA T309に準拠した方法で150℃×1,000時間後に測定した板材のままの応力緩和率は44%で

脚注) KLFは当社の登録商標である。

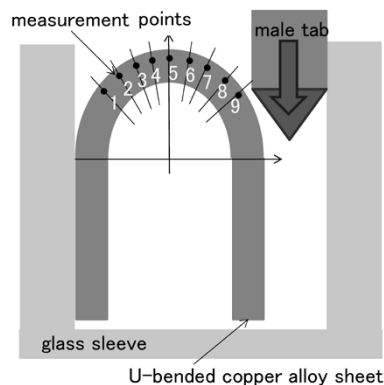


図2 試験セルの構成と測定箇所

Fig. 2 Stress relaxation test cell and hardness measurement points

ある。これは、実端子のばね部を想定して圧延に対して直角方向を長手とする短冊状試験片の測定値である。このような元板から圧延方向に対し直角方向に幅10mmに機械加工で仕上げた短冊状試験片を切り出す。この試験片からさらにU字の180°曲げ試験片を4枚作製した。曲げRは板厚の2倍とした。この曲げのU字部断面で硬さ変化による応力緩和現象を捉える。前述のように、応力緩和試験は測定標準規格が定められているが、その試験に使用した試験片の断面硬さを測定しなかったのは、応力が作用する位置を埋め込み後に正確に捉えにくいためである。この困難は今後解決する予定であるが、U字の曲げ部であれば断面研磨後も頂点を狙った硬さ測定を行いやすい。研磨による残留応力が研磨面に発生しないよう、最終研磨では0.2 μ 砥粒のシリカコロイダル研磨剤を用いて慎重に仕上げた。

今回の試行では、曲げた材料の硬さをそのまま測定すると硬さのばらつきが非常に大きく、評価が難しかった。このため、すべての試験片は曲げた直後にひずみ取りの焼鈍を180℃で30分行った。ついで、上記U字曲げた試験片を用いて以下の要領で応力緩和の試験を行った。図2に示すように、U字曲げた合金板を幅10mm、高さ2mmの矩形に内部がくりぬかれたガラス製の角筒に挿入し、そこへおすタブに見立てた銅合金板(厚さ0.64mm)を挿入して接圧を発生させた。ガラス製角筒は寸法精度の高い分光分析用のガラスセルを用いた。このような試験片を180℃の雰囲気中に30時間さらして応力緩和させたのち、室温に冷却して硬さ測定を行った。

試験片は、(i) 曲げのみ行ったもの、(ii) おすタブ挿入のみ行ったもの、(iii) 応力緩和させたもの、(iv) おすタブ挿入後すぐ引き抜いたものの計4つを準備した。なお(iv)の試験片は、おすタブ挿入により塑性変形していないかの確認のために作成したものである。各試験片は樹脂に埋め込んで断面研磨した。そのうえで図2中に示すように曲げ部表層近くのマイクロビッカース硬さ分布を測定した。硬さ測定の荷重は100gとした。端部の影響を避けるため、端部から圧痕サイズ5個分の距離をおいた内部を測定した。

3. 硬さ分布測定結果

(i) 曲げのみ(おすタブ挿入なし)、(ii) 応力緩和現

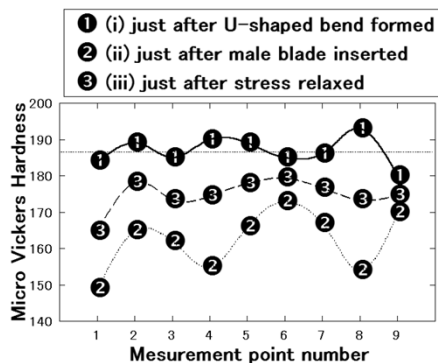


図3 U曲げ外周の硬さ測定結果

Fig. 3 Hardness values of outside line along U-shaped bend curvature

象発生前(おすタブ挿入直後)、(iii) 応力緩和現象進行後の硬さ変化を図3に示す。横軸が図2で示した測定点の位置、縦軸が硬さ測定値である。なお、(iv)の硬さ測定を行ったところ、おすタブ挿入による加工硬化(塑性変形)は発生していなかったため、図3にはその結果はプロットしていない。

曲げ直後(無負荷状態)では外周はおおむね板材の20%冷間圧延に相当する硬さHV187まで加工硬化している。外周9番はこの硬さよりも低い、これは硬さ測定点が塑性変形の範囲外⁴⁾だったためと推測する。

おすタブを挿入した直後の外周の硬さは挿入前に比べて全測定点で低下しており、おすタブ挿入によってU字曲げの外周には強い引張応力が作用していた。とくに1番、4番、8番に集中していた。この引張応力の分布が生じる原因はまだわかっていないが、異なる銅合金板を用いた場合や板材の最終矯正法の違いで分布は変化することから、材料の局所的領域の弾性的性質⁵⁾が影響しているものと考えられる。

応力緩和後の硬さは、すべての測定箇所曲げ直後の硬さと挿入直後の硬さのほぼ中間の硬さになっていた。曲げ部に作用した緊張状態の約50%が緩和された。なお、内周側の硬さ変化も調査したところ、やはり外周と同様に応力緩和現象が認められた。ただし、外周に比べると曲げ加工による加工硬化量が小さく、また硬さのばらつきが多いなどの違いが見られたが、図3への記載は省略した。

4. 板材の応力緩和率測定値との比較

今回のU字曲げを行ったKLF[®]-5の外周部硬さはひずみ取り焼鈍後で平均HV187であった。この硬さをひずみ取り焼鈍後に得るためには出荷状態のKLF[®]-5に20%の冷間圧延を施す必要があった。KLF[®]-5板材を20%追加圧延して180℃×30分のひずみ取り焼鈍後に伸銅協会技術標準JACB T303の応力緩和試験を行うと、180℃×30時間後の応力緩和率は57%であった。これはU字曲げ部の硬さ分布測定で得られた板断面の緊張状態の緩和率50%と近く、硬さ分布測定で応力緩和率を推定することは可能であると考えられる。

端子内部の応力緩和を硬さ分布で直接測定する方法が確立すれば、端子のワイヤ圧着部やプレスフィット端子の応力緩和現象の評価も可能になる。

5. 硬さ測定による応力緩和測定の課題

材料内部に発生した応力と硬さの関係を示した文献では、引張・圧縮の両応力に対する硬さ変化の校正曲線を取得している^{1), 3)}。しかしながら、本稿で扱った薄板に関しては、圧縮応力を付与した状態で硬さ測定を行うことは非常に困難であり、今後の実験方法の開発が望まれる。また、圧着部やプレスフィット端子断面のように微小な領域の硬さ測定を行うため、ナノインデントとマイクロビッカース硬さ計の中間にある超微小硬度計などの利用や、断面研磨の影響を最小化するための電解研磨による研磨最適化も必要であろう。なお、接圧の減少率予測についてはさらに検討が必要である。これは、接圧算出に必要な弾性率が加工によって減少⁶⁾し、応力緩和試験中の加熱で回復⁷⁾することが考慮されていないためである。今後はこの調査も行う。

今後はこれらの手法を駆使して、端子や接点の信頼性を高める銅合金開発を進めていくとともに、端子メーカーに適切な情報提供を行っていきたい。

むすび=電気接続部の機構はさらに小型化・巧妙化が進み、従来の機械的特性の評価法だけでは信頼性の担保が困難になりつつある。今回は、小型部品の微小接点でも適用できる可能性を持つ硬さ分布取得による耐応力緩和特性の評価方法を紹介した。今後の材料開発では、このような方法に加えて、顧客の使用方法やサイズにマッチした評価法をさらに整備していく考えである。

参考文献

- 1) 香川勝一ほか. 精密加工学会誌. 1990, Vol.36, No.9, p.1698-1704.
- 2) J. Dean et al. Acta Materialia. 2011, Vol.59, p.2749-2761.
- 3) 中村雅勇ほか. 塑性と加工. 1976, Vol.17, No.186, p.582-590.
- 4) 日比野文雄. 曲げ変形の物理学. 裳華房, 2010, p.14-15.
- 5) 荻博次ほか. 金属. 2006, Vol.76, No.6, p.664-670.
- 6) 村上澄男. 連続体損傷工学. 森北出版, 2008, p.62-63.
- 7) 野村幸矢. 日本銅学会第56回講演大会講演概要集. 2016, p.11-12.