

Cu-Sn 合金線の熱処理特性と調質導体電線の特性評価

Performance Test of Cu-Sn Alloy Cables with Refining Conductors

新井 龍一
Ryuichi ARAI

植田 慎之介
Shinnosuke UEDA

仲津 照人
Teruhito NAKATSU

小泉 勉
Tsutomu KOIZUMI

藤田 道朝
Michitomo FUJITA

産業用設備や車載用途でも小型軽量化や配策スペースの減少に伴い、電線においても細径で高強度、高導電率かつ高耐久性が要求されている。今回、一般的には硬質線材として利用されている固溶強化型である Cu-Sn 合金の熱処理特性を調査して、調質導体を作製した。得られた調質 Cu-Sn 導体を用いた電線の評価をし、強度と耐久性に優れる結果が得られた。

The electric wires used for industry and automobile are required to have small diameter, high strength, high conductivity, and high durability in order to reduce weight and space for arrangement. In this study, we investigated the heat treatment properties of Cu-Sn alloy conductors, which are generally used as hard wire. And, we have been developed the refining Cu-Sn conductor by optimization of the heat treatment conditions. As a result of investigating the characteristics of the refining Cu-Sn conductor, it was clear that the electric wire with the refining conductor has the advantages such as high strength and high durability.

1. はじめに

近年、多くの製品が小型軽量化を目指しており、それに伴い、電線においても配策スペースの制限や軽量化を目的に細径化が求められている。一般的な導体としては無酸素銅 (OFC) やタフピッチ銅 (TPC) などの純銅が使用されているが、細径化するにあたり導体の破断荷重は低下してしまう。細径かつ強度が必要な配策部では、強度を確保するために銅合金線が利用されている。

強度と導電率のバランスがよい合金としては固溶強化型である Cu-Sn 合金、Cu-Mg 合金や Cu-Ag 合金、析出強化型のコルソン合金などがある。一般的に固溶強化型である合金は加工による転位強化と合わせて強度を上昇させるために硬材として主に用いられ、析出強化型では熱処理により強度に加えて延性ととのバランスが必要なものに用いられる。

その中でも Cu-Sn 合金は耐熱性向上のために銅に 0.1% 程度の Sn を添加したものや、トロリー線用途向けに耐摩耗性向上目的で開発された 0.3% 程度の Sn を添加した合金が知られている。連続鋳造圧延法による荒引線 (WR) の大量生産も可能なことから主要な導電性希薄銅合金として古くから利用されている¹⁾。また、近年では細径高強度用電線の導体材料としても利用されている。しかし、Cu-Sn 合金などの固溶型合金では伸び特性の制御が難しく、特に加工度が大きくなる細径線においては伸び特性を調質によ

り制御して使用されることは少ない。

今後、様々な産業用電線分野において、軽量化、細径化の要求が進むと考えられることから、今回、Cu-Sn 合金での調質導体の特性評価を実施するために焼鈍特性を調査した。また、Cu-Sn 合金の調質導体にて電線を作製し各種評価を実施したので報告する。

2. 調査内容

供試材として導電性を必要とする一般的な Cu-Sn 合金の組成範囲である Cu-0.10, 0.20, 0.30wt%Sn 導体を作製した。純度 99.99% の無酸素銅と Sn を原料とし、黒鉛坩堝中で溶解させ、横型連続鋳造機にて ϕ 12 mm の WR を作製した。その後、 ϕ 0.17 mm まで伸線加工を施し供試材とした。供試材は下記の式 (1) で求められる冷間加工度が $\eta = 8.5$ となり、強加工の部類に入る。

$$\text{加工度 } \eta = \ln (\text{加工前断面積} / \text{加工後断面積}) \quad (1)$$

焼鈍方法は試料の酸化を防ぐために真空封入し、試料が設定温度に到達してからの時間を保持時間とし、所定時間に到達したら取り出して室温冷却をした。

表 1 に焼鈍条件を示す。等時軟化曲線 (1 h の熱処理) ならびに等温軟化曲線を取得することで、焼鈍特性を把握するとともに調質導体を得る条件を調査した。

表 1 焼鈍条件

	等時軟化特性	等温軟化特性
保持温度 (°C)	200, 250, 300, 350, 400, 450	300
保持時間 (h)	1	1, 2, 4, 8

線材試料の評価として、機械特性である引張強さ、伸びは、ゲージ長 250 mm にてインストロン型引張試験機を用いて引張試験を行い、導電率はダブルブリッジ法により電気抵抗測定を行い算出した。組織観察は走査型電子顕微鏡 (SEM : Scanning Electron Microscope) にて実施した。

電線評価としては Cu-Sn 導体に PVC 被覆を施した電線を作製し、疲労特性として 90° 屈曲試験を荷重 150 g, マンドレル径 D=2.5 mm で実施し、屈曲までの破断回数で評価した。

また、所定条件で端子を圧着装着した後に、静的強度として引張試験、動的強度として耐衝撃性の評価をした。耐衝撃性の評価では電線の片端に所定荷重の錘をつけて一定の高さから垂直落下させ、導体破断時の自由落下エネルギー量にて評価をおこなった。

3. 調査結果

3.1 Cu-Sn 合金の焼鈍特性

図 1 に導電率の焼鈍特性を示す。各 Sn 濃度の伸線加工材の導電率は Sn 濃度によって初期の導電率は 77 ~ 89% IACS であり、Sn 濃度と比例したものになっている。焼鈍特性は 200°C の時点ですでに回復傾向にある。いずれの試料も 300 ~ 350°C でほぼ飽和状態となっており、0.1 ~ 0.3wt%Sn で導電率の回復傾向には差は見られない。

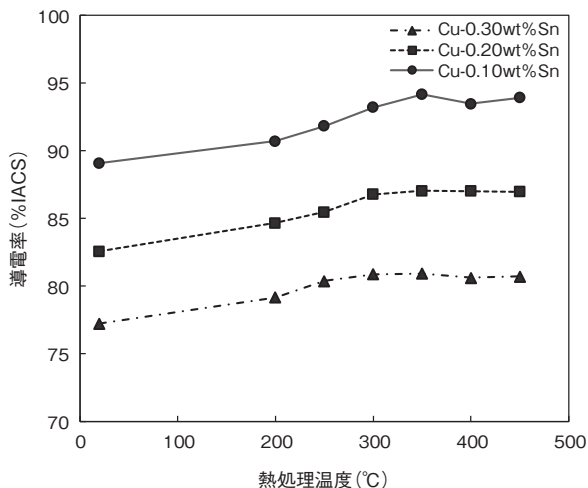


図 1 等時焼鈍特性 (導電率)

図 2 の等時焼鈍特性より、引張強度は 250°C から低下傾向となり 350 ~ 400°C で軟化が完了している。伸びは 300 ~ 350°C で急激な増加傾向を示し 350°C では 20%前後まで回復する傾向となっている。図 3 の 300°C における等温焼鈍特性では時間とともに強度が低下し、伸びが増加する傾向がみられるが、Sn 濃度が高い程、伸びの回復が遅い傾向にあり、Sn 濃度による回復傾向への差が確認できる。

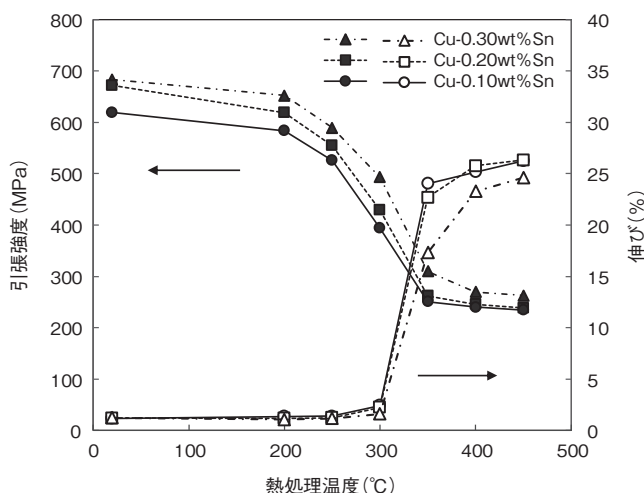


図 2 等時焼鈍特性 (引張強さ、伸び)

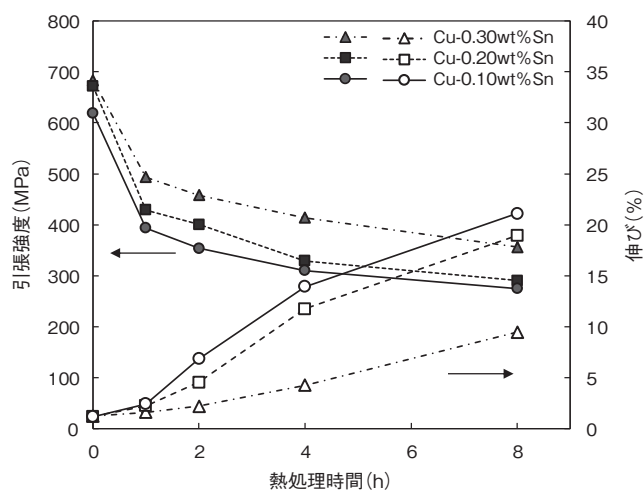


図 3 等温焼鈍特性 (300°C)

図 4 の引張強度と伸びの関係から φ 0.17 mm の Cu-Sn 合金線では引張強度 400 ~ 350 MPa で伸び 5 ~ 10% 程度が得られることが分かる。また、0.1 ~ 0.3wt%Sn においては引張強度と伸びは Sn 濃度が高い程、強度も伸びも高い傾向にある。

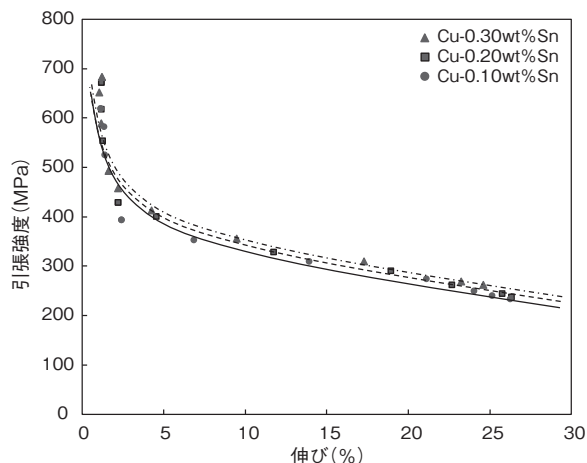
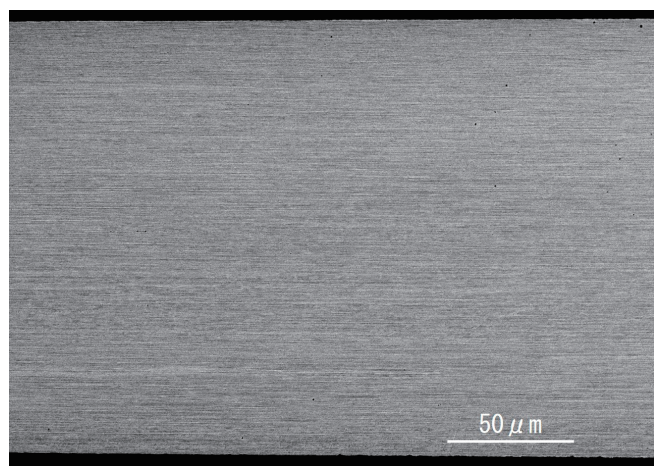
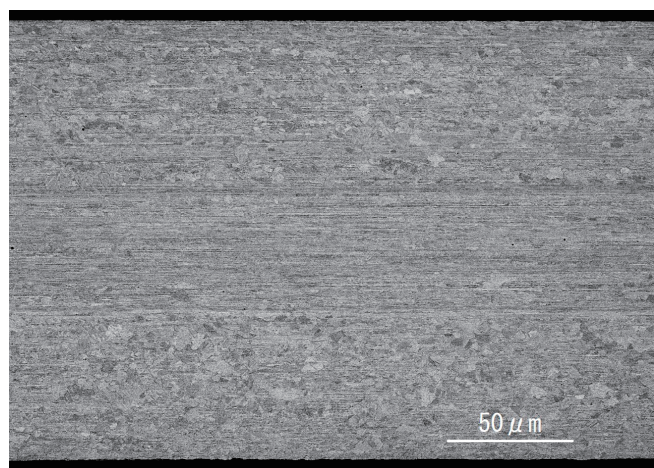


図 4 強度 - 伸びトレードオフ曲線

図5にCu-0.3wt%Sn線の伸線後ならびに焼鈍後試料の長手方向断面組織のSEM写真を示す。伸線材では長手方向に伸びた伸線加工組織となっている。一方、伸び10%の特性が得られている300℃×8hの熱処理試料では表層付近では等軸晶状の結晶粒が明確にみられるが、中央付近では長手方向に伸びたままの組織形状をしている。調質材における金属組織の状態は再結晶組織と加工組織が混在している状態となっている。強度に影響のある加工組織と伸び特性に影響を与える再結晶組織の割合に応じた強度と伸び特性が得られると考えられる。



(a)伸線加工材



(b)300℃×8h焼鈍材

図5 Cu-0.30wt%Sn 導体 断面組織 SEM 写真

3.2 電線評価

Cu-Sn合金の調質導体における電線特性評価を実施するにあたり、代表としてCu-0.30wt%Sn導体を使用し、焼鈍条件を制御して調質導体の圧縮撚線を作製した。また、Cu-Sn調質導体にはPVC樹脂を被覆厚さ0.2mmで押出被覆して、絶縁電線を作製した。

3.2.1 導体特性

表2に導体構造ならびに各特性を示す。撚線における調質導体は電気用タフピッチ硬銅線(C1100W)と同等な強度を確保しつつ、伸びは10%以上の導体特性が得られた。

表2 導体構造, 各特性

構造	Cu-Sn		TPC (C1100 W)	
	硬質導体	調質導体	硬銅線	軟銅線
構造	7/0.16		—	
導体外径 (mm)	0.46		—	
引張強度 (MPa)	710	375	≥ 345	≥ 195
伸び (%)	2	11	—	≥ 15
導体抵抗 (Ω /km)	160	153	—	—

3.2.2 耐屈曲性

耐疲労特性として90°屈曲試験を実施した。硬質導体電線では約70回、調質導体電線では約200回と屈曲特性は約3倍近くに改善した(図6)。

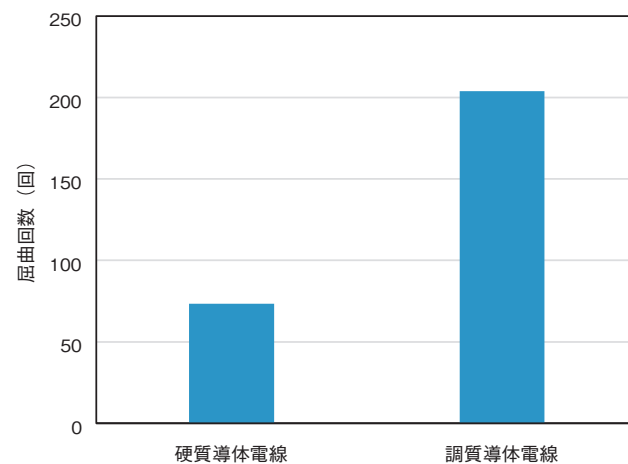


図6 屈曲特性

3.2.3 耐衝撃性

絶縁電線に一般的な自動車用圧着端子を表3の条件で圧着接合し、端子部の引張強度ならびに耐衝撃性の評価を実施した。

調質導体の引張強度は61Nと硬質導体の引張強度83Nより低いものの、耐衝撃性の評価では硬質材と比較して、破断時の落下エネルギーは4倍近く向上している(図7)。調質導体材の耐衝撃性の向上は、強度は硬質導体材と比較して低下しているものの、伸びが向上したことにより衝撃によるエネルギーを吸収できる量が増えたことが要因であると考えられる。

表3 端子圧着条件ならびに引張強度

電線外径 (mm)	硬質導体電線	調質導体電線
	0.91	
導体クリンプ高さ: CCH (mm)	0.79	0.79
絶縁クリンプ高さ: ICH (mm)	1.43	1.42
端子装着後 引張強度 (N)	83	61

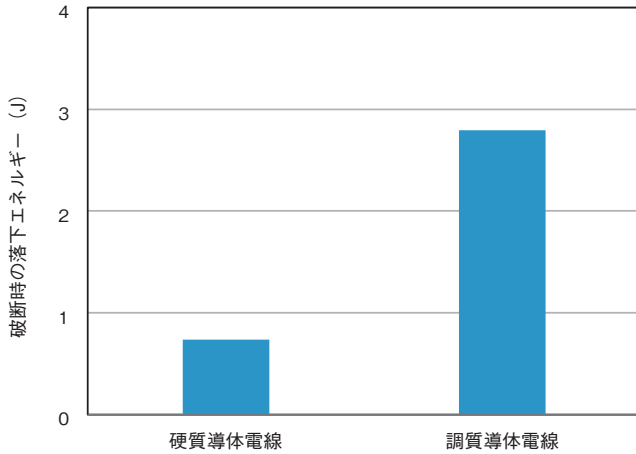


図 7 耐衝撃特性

4. ま と め

Cu-Sn 合金の細径線における熱処理特性を取得した。

0.1 ~ 0.3wt%Sn 濃度の差で熱処理による導体特性の挙動は Sn 濃度が高い程、軟化温度は高くなる傾向を確認した。Cu-Sn 合金では Sn 濃度の上昇とともに強度と伸びの特性が各々上昇傾向にあることが分かった。

Cu-0.3wt%Sn 合金導体に調質処理を施すことによる PVC 被覆電線特性の向上を試みた。各種評価結果より、硬質導体と比較して耐屈曲特性ならびに耐衝撃性に優れた電線を得ることができ、Cu-Sn 合金を導体とした電線の適用用途の拡がりを確認することができた。今後、より耐久性が求められる電線への応用展開を図る。

参 考 文 献

- 1) 銅および銅合金の基礎と工業技術 (改訂版) 日本伸銅協会

昭和電線ケーブルシステム(株)
新井 龍一 (あらい りゅういち)
技術開発センター 先行技術開発課
金属材料の研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)
小泉 勉 (こいずみ つとむ)
技術開発センター 先行技術開発課
金属材料の研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)
仲津 照人 (なかつ てるひと)
技術開発センター 先行技術開発課
金属材料の研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)
植田慎之介 (うえだ しんのすけ)
技術開発センター 先行技術開発課
先行技術開発・商品開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)
藤田 道朝 (ふじた みちとも)
技術開発センター 先行技術開発課 課長
先行技術開発・商品開発に従事