溶銅浸漬法による銅覆鋼線の開発と応用

富永晴夫^{*1)} 小椋善夫^{*2)} 高山輝之^{*3)}
宮内賢一^{*4)} 鈴木茂樹^{*5)}

1. はじめに

銅覆鋼線(当社商品名 CS 線)は、鋼線を芯材とし周囲に銅が被覆された複合線材である。鋼の強度と銅の導電性、はんだ付性、耐食性等を兼ね備えており送電線や通信線として使用されてきたが、最近ではダイオード、コンデンサ等のリード線、照明用管球リード線等電気電子部品にも多用されている。日本での生産量は約 6000 トン/年程度で、銅の被覆率(体積%)は、20, 30% が主であり、導電率(% IACS)はそれぞれ 30%, 40% となる。従来、銅覆鋼線の製造法は、電気めっき法⁽¹⁾や、銅テープをロール圧接したり、あるいはパイプ状に成形した後突合わせエッジ部を溶接し嵌合伸線する等のテープクラッド法、銅パイプに鋼線を引込むパイプクラッド法が行われてきた。しかしながら、めっき法は廃液処理問題の外に、銅被覆率を厚くすることに品質的、経済的な制約があり、テープクラッド法は同じく銅被覆率に限界があること、長尺連続線材が得られないこと原材料に高価な銅テープを用いること、さらには、銅-鋼間の結合を高めるために、十分な伸線加工と熱処理を必要とする等の問題点があった。

本報告は、溶銅中に鋼線を通過させて被覆銅を形成させる銅被覆鋼線の連続的な製造方法を、世界でも初めて確立し、実用化した結果⁽²⁾⁻⁽³⁾と、いくつかの新規で特徴ある応用製品の開発結果⁽³⁾⁻⁽⁵⁾について紹介するものである。

2. CS 線製造法の開発

荒引鋼線の連続鍛造圧延方式の一つにディップフォーミング法⁽⁶⁾が知られている。原理は、黒鉛するつばに溶融銅を保持し、るつばの下側から垂直上方へ鋼線を通過させ、溶銅を鋼線に付着凝固させて太らせるもので、健全な鍛造ロッドとするためには、溶銅中の酸素量を約 10

ppm 以下に維持することが必要である。CS 線の新製法開発に際しては、このディップフォーミング法をベースにしたが、コアを鋼線とすることによって多くの問題点が生じた。ここでは、銅付着比の低減化に関する対策の概要を説明する。

(1) 銅付着比についての考察

コアロッドが溶銅中に浸漬されている間に吸収する熱量を Q_a とし、溶銅がコアロッドに付着凝固する際の放出熱量を Q_r し、 $Q_a = Q_r$ とみなすと、付着比は次式で示される。

$$W_m / (W_m + W_c) = \frac{1}{1 + \frac{(T_1 - 1083)C_m + 50}{(T_c - T_p)C}} \quad (1)$$

ここで W_m : 付着銅量(kg)

W_c : コアロッド重量(kg)

T_1 : 溶銅温度($^{\circ}\text{C}$)

T_c : 浸漬後のコアロッド温度($^{\circ}\text{C}$)

T_p : 浸漬前のコアロッド温度($^{\circ}\text{C}$)

C_m : 溶銅比熱(kcal/kg $^{\circ}\text{C}$)

C : コアロッド比熱(kcal/kg $^{\circ}\text{C}$)

50: 銅の溶融潜熱(kcal/kg)

付着比の推定のため T_c を求める必要があり、コアは銅の融点 1083°C の液体にさらされているとみなし、表面での熱伝達により加熱される場合の非定常熱伝導の問題を解くことになり、Heisler 曲線⁽⁷⁾を利用して、コアロッドの温度分布を求め、コア中心からの距離で平均化して T_c とした。他は実測値を用いて、付着比を計算すると実績値とよく一致することが確認されたことから本方法での推定を妥当と判断し各種条件下での付着比を算出し

図1 浸漬時間と銅付着比との関係。

* 藤倉電線株式会社

1) 東京研究所主任研究員 2) 東京研究所所員 3) 東京研究所研究室長 4) 製造本部佐倉工場課長補佐 5) 金属材料事業部課長補佐

Development of Copper Clad Steel Wire by Hot Dip Method and its Applications; H.Tominaga, Y.Ogura, T.Takayama, K.Miyauchi, S.Suzuki (Fujikura Ltd.)
1988年1月25日受理

た．図 1 に 2 種類の鋼線コア径に対して浸漬時間と銅付着比(以降はすべて体積％で表示した)の計算結果と実験結果との比較を示した．浸漬時間をいくら短くしても付着比の低減に限界があることを示している．

(2) コア予熱による銅付着比の低減

浸漬時間がきわめて短くなると凝固銅の厚さにむらが生じ表面のでこぼこが著しくなる．理由はコア表面での熱伝達が均一でないためであり，式(1)の T_p を大きくして，銅厚さを均一な薄層とする目的で，誘導加熱による鋼線予熱を行った．図 2 は予熱温度をかえた時の付着比の計算値と実績値との比較である．鋼線を予熱することにより，付着比の低減，銅凝固層の平滑化，および銅と鋼線との密着結合を強固にすることが可能となった．

図 2 浸漬時間と銅付着比との関係(予熱あり)．

(3) そ の 他

その他鋼線表面清浄化のための皮剥ダイス材質の最適化と強制冷却法開発，溶銅用るつば周囲の新設計，複合

図 3 CS 線製造設備の概略．

铸造ロッドの均一熱間圧延対策等により技術確立がなされた．図 3 に付着凝固部の模式図を示した．

(4) 本方式の特徴

本方式およびこれによる線材の特徴は次のようにまとめることができる．

- (1) 無酸素銅が被覆されている．
- (2) 銅と銅とは強固に結合されている．
- (3) 銅付着比の制御範囲が広い(20～85 体積％が可能，ただし 85％は工程を 2 回くり返す)．
- (4) 太線径まで可能である(最大で約 17 mm 径)．
- (5) 長尺ロッドで大量生産が可能である．
- (6) 無公害で，しかも安価な製造方式である．

3. CS 線の特性

本方式による代表的な CS 線について機械的および電気的特性を表 1 に示した．それぞれの横断面の状況を図 4 に示した．強度および導電率は表 2 以外でも比較的自由に選ぶことが可能である．

表 1 CS 線の代表的特性．

線 種	2.6 mm 伸線材		2.6 mm 焼鈍材		
	引張強度 (kgf/mm ²)	導 電 率 (%IACS)	引張強度 (kgf/mm ²)	伸 び (%)	導 電 率 (%IACS)
30 CS	100	30	39	26	31
40 CS	90	40	36	28	41
65 CS	75	65	32	30	67
85 CS	50	84	29	30	86

(a) 30 CS

(b) 40 CS

(c) 65 CS

(d) 85 CS

図 4 $\phi 2.6$ mm CS 線の横断面．

表 2 ワイヤ特性の比較.

ワイヤ	引張強度 (kgf/mm ²)	伸び (%)	400°Cでの 高温強度 (kgf/mm ²)	導電率 (%IACS)	加工速度 (mm/min)
黄銅線	100	0.5	16	23	0.80
Znメッキ 黄銅線	52	11.6	16	22	0.90
コンピード ワイヤ	52	1.5	32	53	1.55

4. CS線の応用

銅覆鋼線が従来適用されてきたケーブルや電子部品リード線等に関しては省略し、ここでは過去に例がなく今回初めて開発実用化された2~3の応用例について紹介する。

(1) コンピードワイヤ(ワイヤ電極)⁽⁴⁾⁽⁵⁾

ワイヤ放電加工は、NC制御による複雑形状の加工や超硬合金等の難加工材料の加工が可能であり金型製作等に多用されている。従来ワイヤ電極としては0.1~0.3mmの黄銅線が主として使用されてきたが、CS線の高導電性、高温強度特性に着目し、表面に放電安定のために銅-亜鉛合金皮膜を形成する方法を見出し、高速加工可能で加工時の断線頻度がきわめて少ない新規ワイヤ電極を開発し、コンピードワイヤと称して実用に供している。表2に各種ワイヤと特性を比較して示した。

(2) CSトリ線

従来からトリ線は銅および銅合金が使用されている

図5 CSトリ線の外観.

図6 トリ線摩耗試験の結果(室内試験)⁽⁸⁾.

が、電車運行速度の高速化の要求に応えるため架線張力を高くしてトリ線の波動伝播速度を大きくできる高強度トリ線が望まれていた。この目的のため、(財)鉄道総合技術研究所と共同でCSトリ線を開発した。図5に外観を示した。強度は銅トリ線の約2倍となり、また鋼心を有することにより耐磨耗性に優れることが明らかとなり、東海道新幹線の実線路に架線され実用的評価がはじめられつつある。図6に耐磨耗性に関する実験室評価結果を示した⁽⁸⁾。

(3) 一括めっき燃線導体

電気電子機器の小型高密度化に伴って配線材も著しい屈曲やくり返し曲げを受ける。導体材料も耐屈曲破断性を要求され、従来銅合金が用いられてきたが、はんだ付性が劣る問題点がありCS線が適用された。図7は、CS燃線を一括めっきした導体の例である⁽³⁾。

図7 65CSで製造された一括すずメッキCSより線の横断面.

5. 実 績

4.で紹介した実績例は、径で最大に近い例(トリ線)と最小例(0.1mm前後のコンピードワイヤ)であり、他はすべてこの間の寸法である。従来用途の電線や電子部品にも適用されているが、鋼線の種類と付着比の選択により幅広い特性の組合わせが可能であり、量産性にも優れていることから今後の広範な用途の拡大を期待している。

6. 特 許

製法および新規応用に関する特許で、国内約30件海外4件出願済みで、このうち米国特許1件成立済である。

文 献

- (1) 佐野辰紀, 志賀章二ら: 日本金属学会会報, 25(1986), 322.
- (2) 高山輝之, 富永晴夫ら: 日本金属学会講演概要, (1987・10月), 186.
- (3) 高山輝之, 富永晴夫ら: 藤倉電線技報, 73号(1987, 8), 5.
- (4) 高山輝之, 富永晴夫ら: 藤倉電線技報, 71号(1986, 6), 57.
- (5) 小椋善夫, 富永晴夫ら: 精密工学会秋期大会論文集, (1987, 10), 727.
- (6) R.P.Carreker: J. Metals, 15(1963), 774.
- (7) M.P.Heisler: Trans. ASME, 69(1947), 227.
- (8) RRR (Railway Research Review), (1987, 8), 4.