



ベリリウム銅合金に代わる高強度高導電性材料

High-Strength and High-Conductive Material to Replace Copper-Beryllium Alloys

赤田 匠*
Takumi Akada

泉田 寛
Hiromu Izumida

渡邊 隆志
Takashi Watanabe

岩本 力俊
Katsutoshi Iwamoto

自動車や電子部品等の様々な分野において銅合金は幅広く適用されている。中でもベリリウム銅合金は、その人体や環境への影響が懸念されており、材料の置換えが要求されている。しかし、ベリリウム銅合金は優れた特性を有しており、代替材による置換えは一部に留まっている。そこで、住友電工スチールワイヤー(株)は鋼芯の表面に銅を厚く被覆した厚銅覆鋼線を開発した。厚銅覆鋼線は鋼線の強度・耐へたり性と銅の導電性を両立させた材料であり、鋼芯の強度調整と銅の被覆率を変更することで容易に特性をデザインすることが可能である。実際に機械特性評価を実施したところ、ベリリウム銅合金と同等以上の特性を発現可能であることが確認された。本報では、厚銅覆鋼線の各機械特性評価結果について述べる。

Copper alloys are widely used in the automotive, electronics, and various other sectors. Among these alloys, beryllium-copper alloys need to be replaced with other materials due to concerns over their effects on human health and the environment. However, they have excellent properties that have slowed the replacement. From this view point, Sumitomo (SEI) Steel Wire Corporation has developed a new steel wire, by covering the surfaces of the steel core with a thick layer of copper. This wire provides the strength and yield resistance of steel wire and the conductivity of copper. Moreover, by using different percentages of steel core and copper, the material's properties can be designed with ease. In fact, evaluations have revealed that the wire has mechanical properties comparable to or better than those of beryllium-copper alloys. This paper presents the results of mechanical property tests conducted on the wire.

キーワード：ベリリウム銅、銅覆鋼線、耐力力緩和特性、疲労特性

1. 緒言

銅合金は自動車や情報通信機器分野において、導電性やばね性等が要求される部品用途へ幅広く使用されている。中でもベリリウム銅合金は他の銅合金に比べて強度が高く、かつ耐力力緩和特性^{*1}にも優れており、高いばね性を有する。そのため、ベリリウム銅合金しか適用できない部品用途も数多く存在している。近年、様々な優れた銅合金が開発されているものの、ベリリウム銅合金の非常に優れた特性を上回することは難しく、ベリリウム銅合金の完全な置換えに至ってはしない。

そもそもベリリウム銅合金はその名の通り、化学成分として人体に有毒であるベリリウムを含有している。実際にベリリウム銅合金は、現在は対象から除外されたもののRoHS指令^{*2}において一時有害物質として規制の対象とされていた。その他REACH規則^{*3}においてもベリリウム化合物としてSVHC^{*4}に指定される可能性も決してゼロではない。そのような状況の中、ベリリウム銅合金の置換えは銅合金開発における大きな課題の一つであると言える。

2. ベリリウム銅合金代替における課題

図1に一般銅合金線材の引張強さと導電率の関係を示す。ここでベリリウム銅の引張強さが最も高いことがわかり、その化学成分や熱処理によって広い特性範囲をカバーすることも可能である。加えて、ベリリウム銅合金は強化機構が時効析出型^{*6}であるため耐力力緩和特性にも優れている⁽¹⁾。

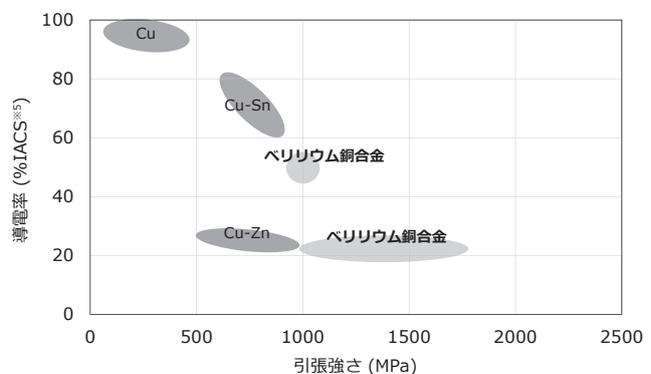


図1 一般銅合金線材の引張強さと導電率の関係

以上のことから、ベリリウム銅合金の代替材には①引張強さと導電率のバランスに優れ、かつ幅広い特性範囲を持つ、②ベリリウム銅以上の耐応力緩和特性の二点が要求される。

3. 厚銅覆鋼線開発

3-1 厚銅覆鋼線のコンセプト

そこで当社研究開発部門において、金属材料中最高強度を誇るピアノ線^{※7}に銅を厚く被覆することで、既存の銅合金の強度と導電率のバランスを遥かに凌駕する材料（厚銅覆鋼線）を開発した。写真1に厚銅覆鋼線の横断面組織観察結果を示す。このとき、本材料は銅層の厚みを変更することで自由に強度と導電率のバランスを変化させることができる。このようなコンセプトの材料は当社でも過去に開発が試みられてはいたものの実用化には至っていなかった⁽²⁾。

更に耐応力緩和特性を付与することを目的として、当社オリジナルばね用鋼線である高Si含有型Si-Cr鋼線“VHS”（以下、VHSと記述）を鋼線芯材に用いて開発を行った。このVHSは弁ばね用オイルテンパー線^{※8}として開発された鋼種であり⁽³⁾、硬引線とした場合も優れた耐熱性を持った材料である。表1に今回評価を行ったピアノ線B種とVHSの化学成分表を示す。

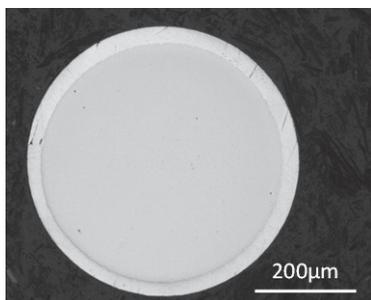


写真1 厚銅覆鋼線の横断面組織

表1 ピアノ線B種、VHSの化学成分表

	C	Si	Mn	Cu	Cr	V
ピアノ線B種	0.80-0.85	0.12-0.32	0.30-0.60	≤0.20	-	-
VHS	0.63-0.68	1.80-2.20	0.70-0.90	-	0.50-0.80	0.05-0.15

4. ベリリウム銅合金代替材としての特性評価

4-1 低温焼鈍し後の引張および導電率特性

図2は芯材にピアノ線B種とVHSをそれぞれ芯材に用い、導電率を20%IACS^{※5}とした厚銅覆鋼線の低温焼鈍し

後の引張強さ、降伏応力を示している。ピアノ線B種材は低温焼鈍しによって引張強さ、降伏応力ともに減少傾向となることがわかる。これは鋼線芯材の低温焼鈍しによる強度上昇に比べて、被覆した銅層が焼なまされることによる強度低下が大きいことが原因と考えられる。一方、VHS材は低温焼鈍しによって歪時効が生じ、引張強さ、降伏応力ともに上昇した後、焼鈍し温度が高温になるにつれて減少していくことがわかる。

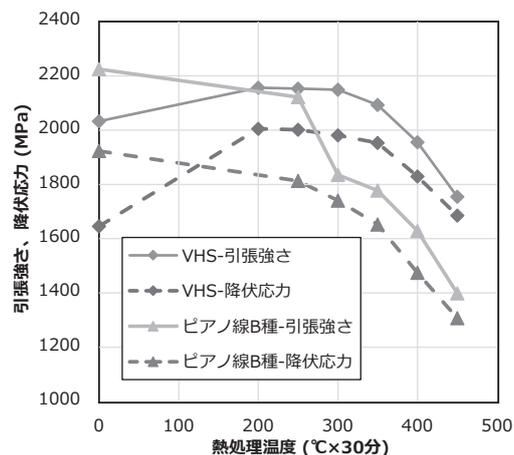


図2 ピアノ線B種及びVHS材の低温焼鈍し後の引張強さ、降伏応力

次に、VHSを芯材に用いて、導電率を20（以下、VHS-L材）および50（以下、VHS-H材）%IACSとした厚銅被覆鋼線の低温焼鈍し後の引張強さ、降伏応力を図3に、導電率を図4に示す。引張強さ、降伏応力について、上述のように、VHS-L材では一旦上昇した後に減少傾向にある。一方、VHS-H材に関しては、降伏応力はVHS-L材と同様の傾向にあるものの、引張強さは焼鈍し温度の上昇に伴い減少

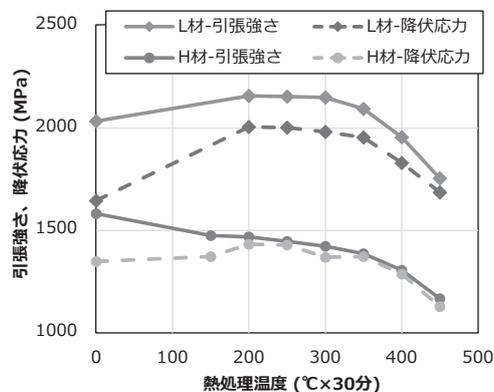


図3 VHS-L、H材の低温焼鈍し後の引張強さ、降伏応力

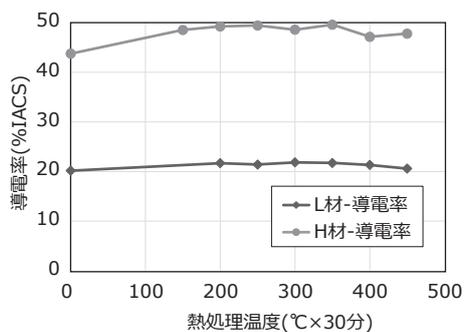


図4 VHS-L, H材の低温焼鈍し後の導電率

していく傾向が確認された。これは導電率の向上、即ち銅層の厚みが厚くなるにつれて、焼鈍し時の銅層の強度低下が鋼線芯材の強度上昇よりも大きくなったためだと考えられる。図4の導電率について、VHS-L, H材ともに焼鈍しによって導電率が上昇することがわかる。特にVHS-H材は焼鈍しによって5%IACS以上の導電率が上昇した。厚銅被覆鋼線は銅被覆後に加工を行うのだが、このとき銅層に転位が導入される。焼なまし時、銅の再結晶により導入された転位が解放されることで導電率が上昇し⁽⁴⁾、より導電率が高く、銅層が厚いVHS-H材においてより顕著にその影響が確認されたと考えられる。

4-2 強度-導電率バランス

4-1にて調査した厚銅被覆鋼線の引張強さと導電率に関して、図5に再度既存銅合金と比較した結果を示す。厚銅被覆鋼線は各ベリリウム銅合金に比べて高い引張強さと導電率のバランスを有していることがわかる。加えて、本報では高強度と高導電率型の二つの材料について図示したが、厚銅被覆鋼線は鋼線芯材と銅層の比率を変更することで、上記両特性の中間範囲の特性を持つ材料を作製することができる。

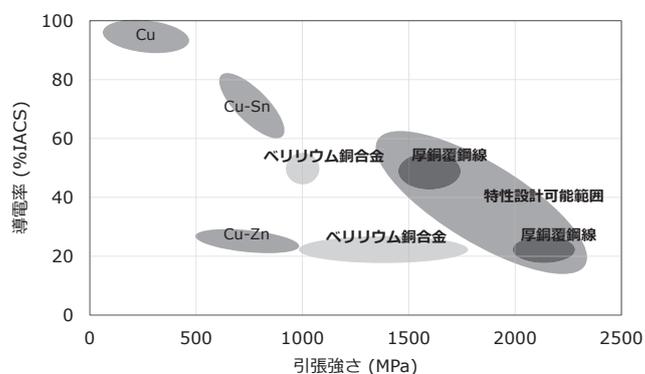


図5 厚銅覆鋼線の強度-導電率バランス

4-3 耐応力緩和特性

図6にピアノ線B種及びVHS-L材の耐応力緩和特性の試験結果を示す。試験は150~400°C-30分の熱処理後、せん断応力700MPaを負荷して150°C-24時間保持の条件で行った。図6では各材料の試験後の残留せん断歪^{*9}を示している。このとき、ベリリウム銅合金で同様の試験を行った際の最小残留せん断歪は0.05である。したがって、ピアノ線B種材では350°C以上、VHS-L材では300°C以上の熱処理によってベリリウム銅合金以上の耐応力緩和特性を有することがわかる。

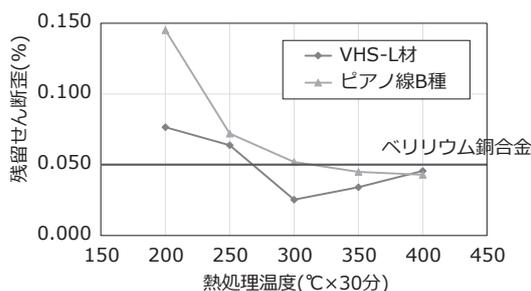


図6 VHS-L, ピアノ線B種材の耐応力緩和特性

以上の結果から、厚銅被覆鋼線は強度-導電率バランス及び耐応力緩和特性においてベリリウム銅合金以上の特性を持つことが確認された。

5. 結 言

上記の結果から、当社開発材である厚銅被覆鋼線は鋼線芯材として銅を被覆するという単純なコンセプトながら、各機械特性においてベリリウム銅合金を上回ることが確認できた。当社では2015年1月に販売を開始した、鋼線芯材にγ相黄銅^{*10}をめっきすることで高機能性を付与した「スミスパークガンマ」⁽⁶⁾を始めとして、新規材料の開発に成功しており、今後も従来にない特性を有する材料開発へ挑戦していく。

尚、本材料は住友電工スチールワイヤー(株)より、自動車・電子機器部品用として一部サンプル供試を開始しており、今後様々なアプリケーションへの適用を期待している。

用語集

※1 耐力緩和特性

使用環境雰囲気下で材料に一定変位で荷重を負荷し、一定時間保持した後、材料にどれだけ永久ひずみが残るかを確認する試験であり、試験後の永久ひずみが小さいほど耐力緩和特性に優れている。

※2 RoHS指令

欧州連合による、電子・電気機器への有害物質の使用を制限する規制。他に鉛、水銀、カドミウム等を含有する製品の使用が制限されている。

※3 REACH規則

欧州連合における科学物質の登録、評価、認可、制限を目的とした規則。

※4 SVHC

REACH規則における高懸念物質。SVHCに指定されると欧州域内での使用に特別な許可が必要とされる。

※5 %IACS

純銅を基準とした導電率を表す単位であり、%IACS (International Annealed Copper Standard) = (対象物質の導電率) / (焼鈍標準軟銅の導電率) で表される。

※6 時効析出型

時効(熱処理)による析出物が強度を担うこと。時効により転位が消滅するため、転位を強化因子とする加工硬化型や、固溶強化型に比べて一般に耐力緩和特性に優れる。

※7 ピアノ線

実用金属材料の中でも最も汎用的かつ高強度な鋼線材料。楽器だけでなく、ばねなどにも用いられる。

※8 オイルテンパー線

焼入焼戻し処理により、機械特性を調質した線材。ピアノ線に比べて耐疲労特性などに優れる。

※9 残留せん断歪

ばね用材料の耐へたり性評価に用いられる指標。試験前後で材料に残るせん断方向のひずみ。

※10 γ 相黄銅

亜鉛含有量が約60~70%程度の黄銅。その他、亜鉛の含有率によって α 相、 β 相黄銅がある。

・スミスパークは、住友電気工業(株)の登録商標です。

参考文献

- (1) 落合敏正、ばね論文集第40号、p.33-40 (1995)
- (2) 沢田澄夫、篠田武彦、高橋雄二、ばね論文集、p.33-39 (1966)
- (3) 泉田寛、松本断、村井照幸、SEIテクニカルレビュー第188号、p.20-24 (2016)
- (4) 日本金属学会 編、「非鉄材料」、p.62-64 (1987)
- (5) 西畑三樹男、材料第14号、p.820-826 (1965)
- (6) 杉村和昭、岩本力俊、泉田寛、SEIテクニカルレビュー第187号、p.80-85 (2015)

執筆者

赤田 匠* : アドバンストマテリアル研究所



泉田 寛 : アドバンストマテリアル研究所
グループ長



渡邊 隆志 : 住友電工スチールワイヤー(株)
精密ワイヤー技術部



岩本 力俊 : 住友電工スチールワイヤー(株)
開発企画室



*主執筆者