

超小型コネクタ用高強度銅合金(C7035)の開発

菅原 章¹⁾ 高 維林²⁾ 鈴木基彦²⁾
 須田 久^{**} Peter W. Robinson^{***}

1. 緒 言

情報通信機器や自動車電装品の小型軽量化に伴い、コネクタも小型化、多極化、高密度実装化が進み、ばね材料として使用される銅系素材は、より薄肉化され、高い耐力、導電性が必要となっている。また、複雑な形状に成形加工できる曲げ加工性、高温環境下やジュール熱など熱影響によるばねの保持力の低下に対抗する耐力緩和特性も重要となってきた⁽¹⁾⁽²⁾。加えて価格、リサイクル性、環境負荷、グローバル調達性なども重要である。

特に最近のCPUソケットや車載向けの超小型コネクタ向けに、0.2%耐力が850 MPa以上、導電率は35%IACS以上、板厚の2倍以下の小さい曲げ半径で曲げることができ、150°Cの温度で優れた耐力緩和特性を示し、且つ価格面、リサイクル性、環境負荷、グローバル調達性に優れた材料開発が切望されていた。

2. 高強度銅合金の現状と開発課題

高強度銅合金として、Cu-Be系合金、Cu-Ti系銅合金、Cu-Ni-Sn系銅合金、Cu-Sn-P系銅合金などが挙げられる。

Cu-Be系合金(ベリリウム銅)は、銅合金の中で最高レベルの強度を有するが、コストと環境負荷の観点から敬遠される傾向にある。Cu-Ti系銅合金(チタン銅)およびCu-Ni-Sn系銅合金は、固溶元素が母相内で周期的に濃度変動する変調

構造(スピノーダル構造)による強化機構を有し強度が高いものの、導電率が十数%IACS程度と低いという欠点がある。

Cu-Sn-P系銅合金(りん青銅)は、強度は前述合金よりも低い、曲げ加工性、コストの面に優れていることから広範囲で使用されている。しかし、導電率が十数%IACS程度と低いこと、耐力緩和性が劣るため、近年の電気電子部品の小型化、高集積化や大電流化に対応できなくなっている。

一方、Cu-Ni-Si系合金(コルソン合金)は、強度と導電性のバランスに優れた材料として、リードフレームやコネクタ材料として広く使用されている。特性は、例えば、溶体化処理、時効処理、冷間圧延、低温焼鈍などの加工熱処理工程や条件を最適化することにより、30~50%IACSと比較的高い導電率を維持しながら、700 MPa以上の0.2%耐力を得ることができる。しかしながら、更なる強度の向上(例えば850 MPa以上の0.2%耐力を達成すること)は、強度と導電率、強度と曲げ加工性、曲げ加工性と耐力緩和特性などのトレードオフの関係から、達成するのは非常に困難であった。

Cu-Ni-Si系銅合金における高強度化の手段としては、Ni、Siの多量添加による析出量の増大、仕上げ圧延(加工)率を大きくし加工ひずみの増大、溶体化処理時の結晶粒微細化などがある。

Ni、Si添加量の増加は、導電率の低下を引き起こすだけでなく、添加量が一定量(例えば、3 mass%のNi、0.7 mass%のSi)以上になると、強度の増加が飽和し、850 MPa以上の0.2%耐力を達成することは導電率、曲げ加工性、コストとのトレードオフから困難であった。

仕上げ圧延率を上げる対策も曲げ加工性、特に圧延方向を曲げ軸とする曲げ(Bad way曲げ)加工性が著しく悪化し、結晶粒微細化は、粒界面積の増加に伴い銅合金中の原子拡散が加速するため、Cu-Ni-Si系銅合金の耐力緩和性を著しく低下させ⁽³⁾、これらの手法では目標を達成できなかった。

3. 本合金開発のコンセプトと有用性

Olin Brass社(現 Global Brass and Copper社)は、Cu-Ni-

* DOWA メタルテック株式会社技術センター:

1)センター長 2)主任研究員

** DOWA オーリンメタル株式会社技術部: マネージャー

*** Director, Metals Research Laboratories: Global Brass and Copper Inc.

Development of High Strength Copper Alloy(C7035) for Microminiature Connectors; Akira Sugawara*, Weilin Gao*, Motohiko Suzuki*, Hisashi Suda** and Peter W. Robinson*** (*DOWA METALTECH Co., LTD., **Dowa-Olin Metal Corporation, ***Global Brass and Copper Inc.)

2011年10月28日受理

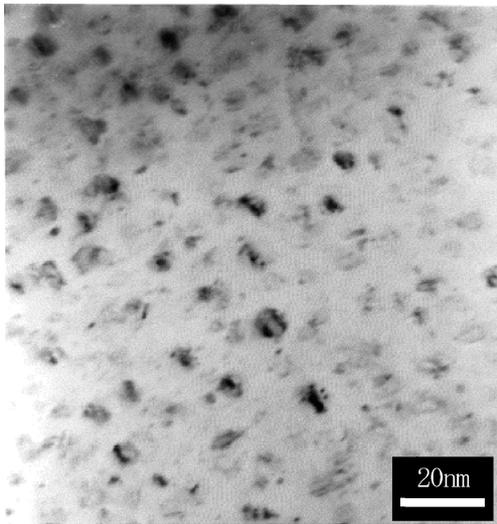


図1 C7035の透過電子顕微鏡(TEM)写真。

Co-Si系合金により、Ni-Co-Si系析出物を微細に析出させ強度と導電率を両立させることができた。しかしながら、曲げ加工性、耐応力緩和特性は不十分であった。そこで、DOWAメタルテック㈱が開発した集合組織制御技術と前述の析出制御技術を組み合わせることにより、完成した合金が高強度C7035である。以下にC7035の開発コンセプトと改善手法、製品の特長、有用性、発展性を説明する。

(1) 析出物制御による強度-導電率の向上

コルソン合金はNi₂Siの析出物を利用しているが、本合金系は、(Ni, Co)₂SiのNi-Co-Si系の析出物が、導電率を維持しつつ強度向上に大きく寄与する⁽⁴⁾ことを見出し、開発に至った。C7035の代表成分は、mass%において、Cu-1.5Ni-1.1Co-0.6Siである。

Ni, Co, Siの含有量および溶体化処理、時効処理、冷間加工、低温焼鈍などのプロセス、条件を最適化し、析出強化、加工硬化により、例えば0.2%耐力850MPa、導電率45% IACSのC7035(質別EH)、0.2%耐力910MPa、導電率38% IACSのC7035(質別SH)を得ることができた。以下に、より高強度な質別SHを例に説明する。

図1にC7035の透過電子顕微鏡(TEM)写真を示す。EDSによる分析したところ、析出物はat%で20~25%Ni, 35~50%Co, 30~35%Siの3元素で構成されている。

(2) 集合組織制御による強度-曲げ加工性の向上

コルソン合金は、高い強度を得ようとするとき曲げ加工性が低下し、両者のトレードオフを断ち切ることができなかった。そこで集合組織を制御することにより、強度を維持したまま、曲げ加工性を向上させることを試みた。具体的には、製造工程の見直し、溶体化処理条件の最適化により、溶体化処理後で曲げ加工性および等方性に優れたCube方位({100}<100>)⁽⁵⁾を面積分率で70%まで高めることに成功した。その後の圧延工程によりCube方位は減少するが、製品で約45%の面積分率が得られており、従来にはない組織を達成した。

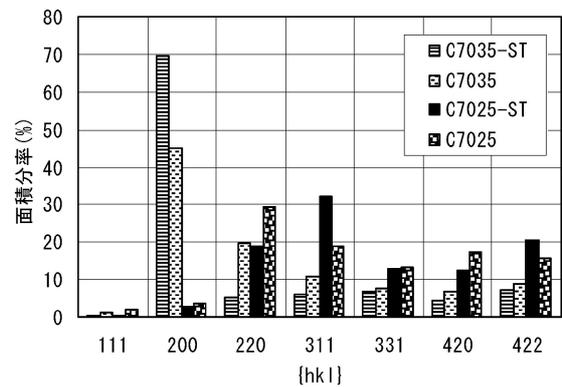


図2 C7035およびC7025の集合組織測定結果。

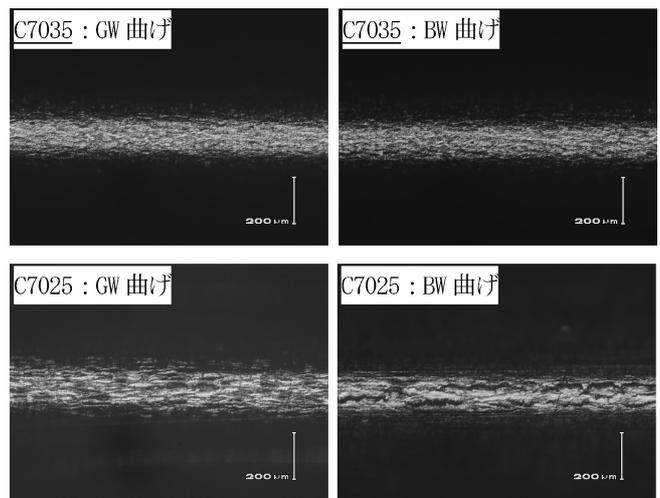


図3 90°W曲げ(板厚 $t=0.1$ mm, 曲げ半径 $R/t=1.0$)後の表面写真(0.2%耐力, C7035: 910 MPa, C7025: 745 MPa)。

図2に、C7035および代表的なコルソン合金であるC7025(代表成分Cu-3.0Ni-0.65Si-0.15Mg)の溶体化処理材(ST)および冷間圧延、低温焼鈍後の最終製品のND面における各方位成分の面積分率をEBSPにより測定した結果を示す。C7025のCube方位の面積分率は5%に満たない。

図3に、C7035およびC7025の90°W曲げ($R/t=1.0$)試験後の表面写真を示す。C7025と比較して、C7035は0.2%耐力が約165MPa高いにも関わらず、GW, BWともに曲げ加工性に優れており、前述の集合組織制御の効果が確認された。

(3) 双晶密度制御による曲げ加工性-耐応力緩和特性の向上

図4に、C7035およびC7025の溶体化処理後の表面組織写真を示す。C7035はCube方位の面積分率が多いため、結晶粒内の双晶がC7025のそれに比べて非常に多い。ほとんどの双晶は、圧延方向と45°または-45°を成していることから、双晶を有する結晶粒は、Cube方位({100}<100>)の結晶粒である。よく知られるように、双晶は粒界エネルギーがほぼゼロの特殊な粒界であり、粒界拡散、粒界破壊、粒界偏析、粒界すべりなどが発生しないので、耐応力緩和特性、曲げ加工性、疲労特性などを著しく向上できる⁽⁶⁾。

C7035の優れた曲げ加工性(図3)と耐応力緩和特性(図5)

は、そのような双晶が高い密度で存在することに起因していると考えられる。また、C7035はCube方位と双晶により優れた曲げ加工性が確保されているため、強度や場合によっては曲げ加工性を向上させる手段である結晶粒微細化を必要としない。

以上より、C7035は高強度(高耐力)且つ適切な導電性、優れた曲げ加工性、耐力緩和特性を同時に達成することができた。

(4) C7035の特性バランスと各種銅合金の比較

C7035(質別EH, SH)の強度(0.2%耐力)、導電率、曲げ加工性(90°W最小曲げ半径)、耐力緩和特性、コスト、環境性などを、現在汎用的に使用されている低ベリリウム銅(C17530)、コルソン合金(C7025)、りん青銅(C5210)と比較し、図6と図7に示す。

図6は、最小曲げ半径(R/t)が2で90°W曲げ可能な導電率-0.2%耐力の関係である。C7035は従来合金より右上に位置し、優れている。図7より、特性間のトレードオフを解決したC7035EH, SHは、他の汎用合金に比較し、特性、コスト、環境負荷なども含めトータルバランスに優れていることがわかる。

また、本開発合金や析出物制御、集合組織や双晶密度などの組織制御に関わる特許を世界各国に出願し、例えば日本特許第4563495号で権利化され、また、開発の過程で生まれた他の優先方位を有する集合組織制御技術(日本特許第4189435号他)などの技術についても出願、権利化が進み、研究成果が特許の面でも大きく展開されている。

4. 開発合金の実績、将来性、発展性

C7035は、前述のように強度、導電率、曲げ加工性、耐力緩和特性に優れ、且つコストと環境面にも優れ、コネクタ材料を一新した銅合金となった。

現在C7035は、世界中で認定、採用され始め、特にCPUソケット、携帯電話用超小型コネクタなどでは確固たる地位を築いている。更に自動車用超小型コネクタの開発も進んでおり、C7035の高い強度と導電率、曲げ加工性、耐力緩和特性のバランスは注目されている。C7035素材の板厚は、0.05~0.15mmと薄いにも関わらず、既に年間500トン以上の販売実績がある。また、最近開発された多くの新銅合金の中でも注目され、販売量の伸びは特筆すべきものである。

析出物制御技術、集合組織や双晶密度などの組織制御技術は、更に多くの可能性を秘め、現在0.2%耐力が960MPa、導電率が37%IACS、曲げ加工性、耐力緩和特性もC7035を超える新合金の開発も進行中である。また、本技術は、従来銅合金の改良や特性向上にも応用できると考えられ、その価値は大きいといえる。

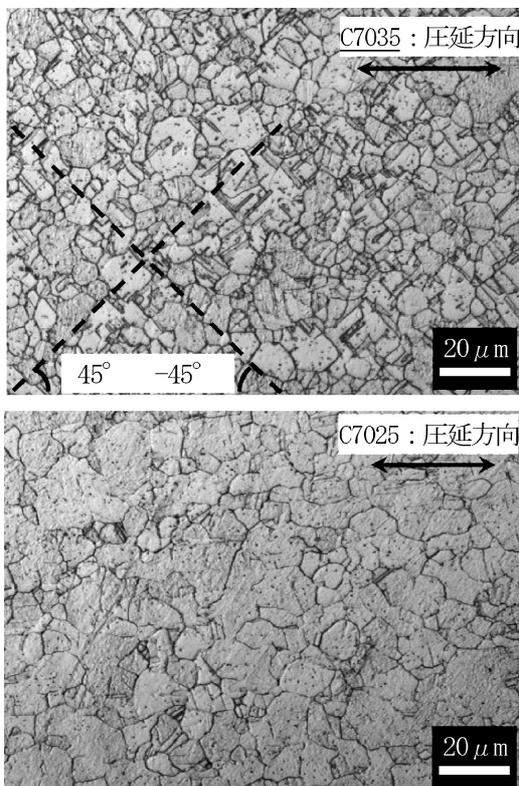


図4 最終溶体化処理後の圧延板材表面組織。

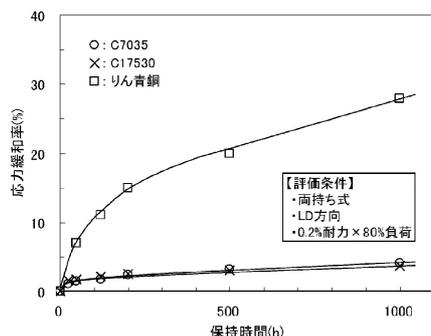


図5 C7035の応力緩和率測定結果。

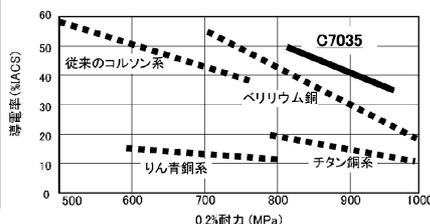


図6 各種銅合金の導電率と0.2%耐力の関係。

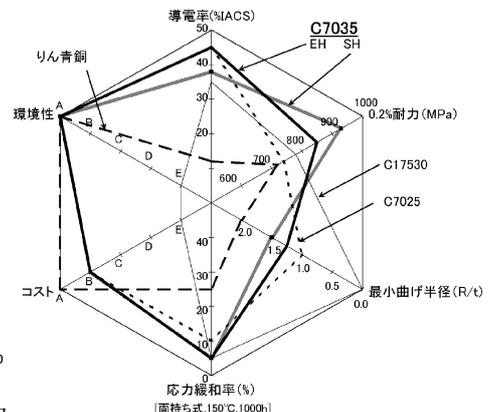


図7 C7035合金と諸合金の比較。

文 献

- (1) 菅原 章, 花 佳武: materi, **37**(1998), 271-273.
- (2) A. Sugawara, H. Narieda and Y. Hana: IICIT Connector Symposium (1999), 125.
- (3) 高 維林, 須田 久, 成枝 宏, 菅原 章: 銅と銅合金, **48**(2009), 129.
- (4) 須田 久, 高 維林, 成枝 宏, 菅原 章: 銅と銅合金, **47**(2008), 56.
- (5) 高 維林, 青山 智胤, 須田 久, 菅原 章, 田中 優樹, 大森 俊洋, 石田 清仁: 銅と銅合金, **50**(2011), 215.
- (6) 古林 英一: 「再結晶と材料組織」, 内田 老鶴園(2000), 22.