

析出強化型銅合金の集合組織制御技術の開発

高 維林¹⁾ 菅原 章²⁾ 木村 崇³⁾

1. 開発背景

近年、電気・電子部品用コネクタは、小型化、多極化、形状の複雑化が進み、これらに用いられる銅合金材料も薄肉、細幅化され、より高い強度、電気伝導性が必要となっている。それと同時に、複雑な形状に成形加工されることから、優れた曲げ加工性を有することが強く求められる⁽¹⁾。

一般的に銅合金の強化手段として、固溶強化、析出強化、加工硬化、結晶粒径微細化が良く利用され、これらを組み合わせることで、高強度化は可能となるものの、強度の増加に伴い曲げ加工性の低下が避けられない。また、圧延製品である銅合金素材は、曲げ加工性に異方性(いわゆる Good Way と Bad Way)が存在し、特に強度が高いほどその異方性が顕著になる。こうした高強度化に伴う曲げ加工性の低下およびその異方性の増加が、高強度銅合金の開発、実用化のネックであると言っても過言ではない。

近年、曲げ加工性およびその異方性に対し、集合組織の影響が極めて大きいことが、数多く報告されており⁽²⁾⁻⁽⁴⁾、特定の成分を有する合金に対し、特定方位を制御することにより、曲げ加工性を向上させる報告が散見される⁽²⁾⁽⁵⁾。

しかしながら、銅および銅合金の集合組織生成機構は、長年の研究にも関わらず、純銅および黄銅に代表される固溶強化型合金など、ごく一部の成分系で明らかになっているのみである。例えば、圧延集合組織の主方位は、純銅の場合{112}<111>(C方位)で、黄銅の場合{110}<112>(B方位)である。再結晶集合組織の主方位は、純銅の場合{100}<001>(Cube方位)で、黄銅の場合{113}<211>(厳密には{225}<734>方位)である。その他の固溶強化型合金は、成分に応じて、純銅型か黄銅型かに分類されている程度であり、析出強化型銅合金における集合組織生成機構やその制御に関する報告例は皆無の状態である。析出型銅合金は、強度、導電率のバランスに優れることから、ばね、コネクタ、リードフレームなど、電気、電子部品用として広く用いられており、高

強度化と曲げ加工性の両立が集合組織の制御によって可能となれば、電子機器の小型化への多大なる貢献が期待できる。

著者らは、代表的な析出強化型銅合金である Cu-Ni-Si 系合金(いわゆるコルソン合金)を用いて、同一成分で面心立方(fcc)合金集合組織中に存在する代表的な方位成分を制御可能な集合組織制御技術を開発した。また、この集合組織制御技術を活用することにより開発した2種類の異なる特徴を有する新合金 NB164 と C7035-XE も合わせて紹介する。

2. 集合組織制御技術の開発

良く知られているように、Cu, Al, Ni, γ -Fe, Ag などの面心立方金属(fcc)多結晶体の集合組織は、主に{112}<111>(C方位), {123}<412>(S方位), {110}<112>(B方位), {100}<001>(Cube方位), {113}<211>, {120}<001>の六方位成分で構成される。圧延板表面(圧延面)の標準逆極点図(図1)に示すように、圧延加工により発達する方位と再結晶により発達する方位に分けられる。

圧延集合組織(C, S, B方位)の生成機構は、圧延中のすべり変形による結晶回転によるものであり比較的明確である。すなわち、合金元素の固溶量の増加(または圧延率の増加)によって、C方位→S方位→B方位(純銅型→黄銅型)に変化する。

一方、再結晶集合組織の生成機構は、純銅のCube方位と黄銅の{113}<211>でさえ、十分に解明されていない。{120}<001>方位も近年の著者らの研究により、限定された工程条件で発見されたものである⁽²⁾。このように銅合金において集合組織を制御するためには、再結晶集合組織を制御する必要がある。

著者らは、析出強化型銅合金の場合、溶体化(再結晶)処理中に生成する再結晶集合組織は、溶体化処理前の母相中の合金元素の固溶量、析出物の寸法や分布、転位密度に強く依存することを発見した。この発見で得られた知見をもとに、(I)適切な合金成分設計、(II)最終溶体化処理前の適切な熱処理および圧延工程を組み合わせる(以下、集合組織制御工程)ことで、最終溶体化(再結晶)処理で生じる再結晶方位の集合度を連続的に変化させることができる集合組織制御技術を開発した。

集合組織の制御例を示すと、铸塊(Cu-1.6%Ni-0.4%Si-0.5%Sn-0.4%Zn, mass%)を熱間圧延、冷間圧延した後に、集合組織制御工程(工程条件が異なる①～⑤工程)を経て、最

* DOWA メタルテック株式会社 技術センター:

1) 主席研究員 2) センター長 3) 主任研究員

Development of Texture Control Technique for Precipitation-hardened Copper Alloys; Weilin Gao, Akira Sugawara, Takashi Kimura (Technology Center, DOWA METALTECH Co., LTD.)

2012年10月29日受理

終溶体化(再結晶)処理(平均結晶粒径: 10 μm 程度に調整), 時効処理を行なった. 最終溶体化処理後の圧延板表面逆極点図のEBSP測定結果を図2に示す. 主方位が $\{100\}$, $\{113\}$, $\{120\}$ 中の一つのみ(①, ③, ⑤), または二つが共存(②, ④)する材料を得ることができた. 更に, 強度の向上や異方性の調整などが必要であれば, 最終溶体化処理後または時効処理後に適切な圧延率で圧延加工すれば, 圧延集合組織の方位成分(C, S, B方位)が制御できる. また, この集合組織制御技術によって得られた5種類の板材は, 特に曲げ加工性やその異方性が異なり, 用途に適した集合組織を選定すれば, 工程条件を合わせ込むことで, 曲げ加工性が優れた材料を得ることができる⁽⁶⁾.

3. 集合組織制御技術の有用性

集合組織制御技術の確立は, 用途と要求特性に応じた新合金の開発や既存合金の改良などに応用でき, 今後の発展性も期待できる. 更に, 特殊な製造設備や工程を必要とせず, コスト面でも有利である.

以下に本技術を用いた具体的な新合金開発例を紹介する.

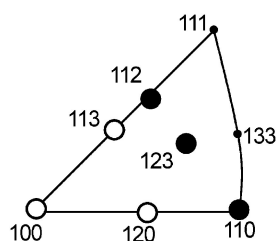


図1 圧延板表面の標準逆極点図.
(●: 圧延方位, ○: 再結晶方位)

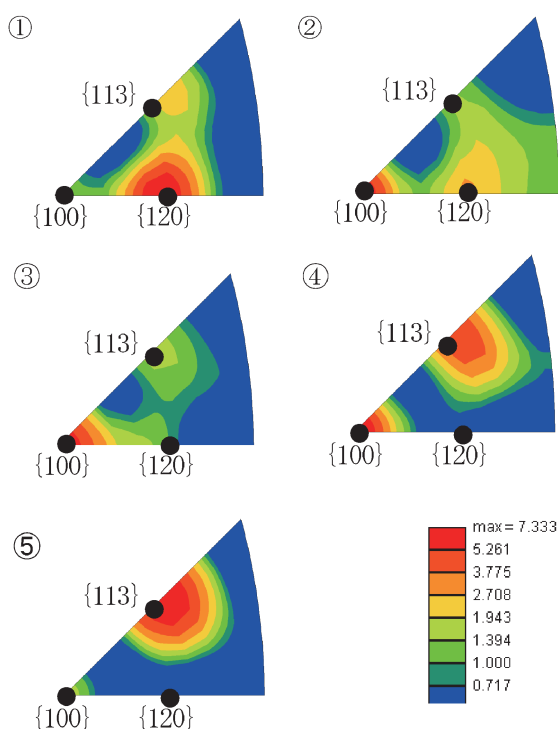


図2 溶体化処理後の圧延板表面逆極点図のEBSP測定結果.

(1) ノッチ曲げ加工性に優れた銅合金(NB164)の開発

近年, 車載用コネクタは小型化, 高密度実装が進んでいる. 特に小型めす端子は, 一般的にはばねを内蔵した箱形の構造をとる(図3). 端子の小型化に伴い, 箱を形成するために板厚も薄くなるとともに, めす端子の口径が小さくなることから, ばね部も細くなり, 断面積が小さくなるため, 材料に対するばね性(耐力)の要求が高まることとなる.

高強度かつ小型化端子の寸法と形状精度を向上するためには, 板材の厚さ方向に板厚 1/3~1/2 程度のノッチ加工(線打ち)後に曲げ加工する加工方法(すなわち, ノッチング曲げ加工)が一般的に採用されている. ノッチング曲げ加工は, 曲げ位置の確保やスプリングバックの低減により, 端子の寸法, 形状精度の向上には極めて有効な加工方法であるが, このような厳しい曲げ加工に対し, 既存の耐力 600 MPa 以上の銅合金では対応することが極めて困難であった.

著者らの詳細調査の結果, ノッチング後に曲げ加工性が低下する原因は, ノッチ加工部での加工硬化が大きく, 延性が低下し, その後の曲げ加工時に割れを生じやすくなっていることが判明した. fcc 金属単結晶を単軸(引張・圧縮)変形する場合の変形し易さは Schmid 因子で示され(図4), Schmid 因子が大きい方位(例えば $\{120\}$ 方位)が変形し易い方位(降伏応力, 加工硬化率ともに小さい方位)であり, 板表面(圧延面)に $\{120\}$ 方位密度を高めた集合組織制御をすることで, ノッチ加工時の加工硬化が小さく, ノッチング曲げ加工に有利な材料が得られると考えられる.

そこで, 集合組織制御技術を利用した $\{120\}\langle 001\rangle$ が主方位となる集合組織を有する, ノッチング曲げ加工性に優れた新合金(商品名 NB164, Cu-1.6%Ni-0.4%Si-0.5%Sn-0.4%Zn, mass%)を開発した⁽²⁾. NB164(質別: EH, 板厚: 0.15 mm)の基礎特性は, 導電率41%IACS, 引張強さ 748 MPa, 0.2%耐力 719 MPa である. EBSP 測定による最終製品の圧延板表面の逆極点図を通常工程品と比較して図5に示す. 開発品を使用し, ノッチング曲げ加工により成形した車載用小型めす端子の箱形部断面写真, ならびにノッチ曲げ加工部の表面写真を図6に示す(比較として通常工程品におけるノッチ曲げ加工部表面写真も示す).

(2) 超高強度銅合金(C7035-XE)の開発

スマートフォン, タブレット端末等の携帯情報通信機器の小型化, 高密度実装化に伴い, ばね, コネクタ材料として使

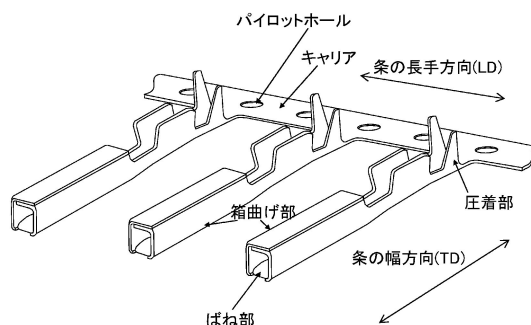


図3 車載用小型めす端子の模式図.

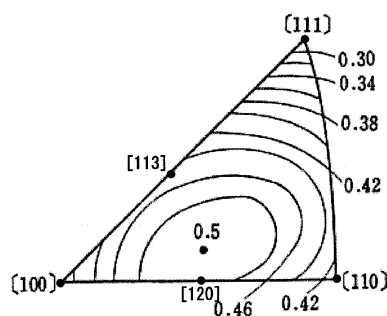


図4 fcc 金属の結晶方位と Schmid 因子.

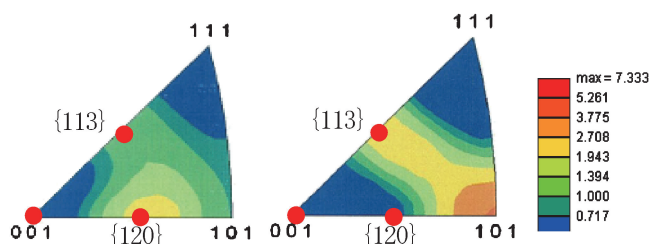


図5 最終製品の圧延板表面の逆極点図のEBSP 測定結果. (左:開発品 右:通常工程品)

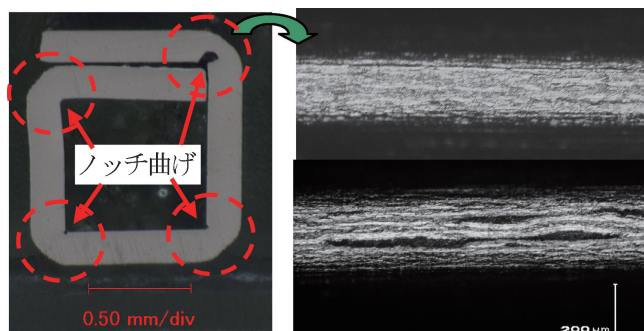


図6 (左)開発品の箱形端子の断面写真, (右)ノッチ曲げ部の表面写真(上:開発品 下:通常工程品).

用される銅系材料においては、より高い強度、導電性が必要とされており、具体的には 950 MPa を超える 0.2% 耐力、30% IACS 以上の良好な導電率を有した材料の開発が切望されている。また、実装時には限られたスペースに配置するため複雑な形状に成形加工されることが多く、異方性が小さく優れた曲げ加工性を有することも強く求められている。

Cu-Ni-Si 系銅合金の Ni の一部を Co で置き換えた Cu-Ni-Co-Si 系銅合金 (C7035) が Olin Brass 社 (現 Grobal Brass and Copper 社) および Wieland Werke 社にて共同開発され、850 MPa の 0.2% 耐力、45% IACS の導電率に加え、適度な加工性を有することから、情報通信機器向けのコネクタ材料として使用されている。C7035 は強度、導電率のバランスに優れることから超小型ばね・コネクタ用銅合金として有望であるが、さらに 0.2% 耐力が 950 MPa を超える高強度化、しかも曲げ加工性およびその異方性を同時に改善することは難しいという課題があった⁽⁷⁾。

著者らは Cu-2.4% Ni-1.3% Co-0.9% Si (mass%) を用いて、曲げ加工性および等方性に優れた Cube 方位 ($\{100\} \langle 001 \rangle$) が主方位となる集合組織制御工程を採用し、C7035-XE を開発した。最終製品の圧延板表面の逆極点図の EBSP

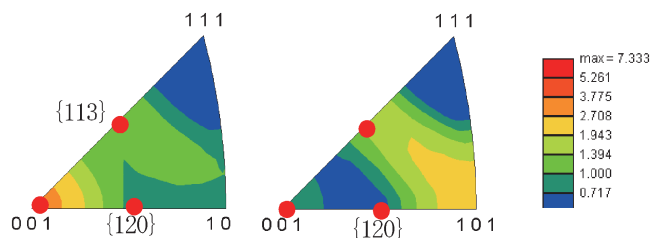


図7 最終製品の圧延板表面の逆極点図のEBSP 測定結果. (左:開発品 右:通常工程品)

表1 最終製品の特性.

	引張強さ (MPa)	0.2%耐力 (MPa)	導電率 (%IACS)	90° W 曲げ MBR/t*	
				G.W.	B.W.
開発品	1016	965	40	0.0	0.0
通常工程品	970	938	41	0.0	2.0

*: 曲げサンプル幅: W = 1.0 mm

測定結果を図7に、代表的な特性を表1に示す。集合組織を制御した開発品は通常工程品と全く異なる結晶方位を有し、高強度 (0.2% 耐力が 950 MPa 以上) であると同時に曲げ加工性および等方性に優れている。今後、情報通信機器向けの超小型ばね・コネクタ用銅合金として、幅広い応用が期待される。

4. 集合組織制御技術開発の実績、将来性、発展性

前述のように、本集合組織制御技術の開発は、前記 Cu-Ni-Si 系、Cu-Ni-Co-Si 系以外に、Cu-Ti 系も適用され、量産化されている。また、本集合組織制御技術に関わる特許を現段階で世界各国に24件出願し、例えば日本特許第4563495号、第4189435号、第4357548号、第4563480号、EU 特許 EP1967596、中国特許 ZL200810004846.7、米国特許 USP8097102 など12件が既に権利化され、研究成果が特許の面でも大きく展開されている。

本集合組織制御技術は、特定の合金組成および特定の方位成分ではなく、同一成分において、製造条件の調整により各方位をほぼ連続的に制御することが可能である。また、本集合組織制御技術は、更に多くの可能性を秘め、用途特性に応じた新合金の開発、既存の銅合金の改良や特性向上にも応用できると考えられ、更に、Al, Ni, γ -Fe などの面心立方金属 (fcc) 系合金に展開できる可能性もあり、その価値は極めて大きいといえる。

文 献

- (1) 菅原 章: 日本金属学会第142回大会講演概要, (2008), 458.
- (2) 高 維林, 須田 久, 成枝宏人, 菅原 章: 銅と銅合金, **48** (2009), 129-134.
- (3) 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), 215-220.
- (4) 伊藤吾朗, 吉田康哲, 八品順平, 山本佳紀: 銅と銅合金, **47** (2008), 38-42.
- (5) 金子 洋, 江口立彦: 銅と銅合金, **50** (2011), 33-37.
- (6) 例えば, 日本特許第4563495号, 第4189435号, 第4357548号.
- (7) 菅原 章, 高 維林, 鈴木基彦, 須田 久, Peper W. Robinson: まてりあ, **51** (2012), 73-75.