

開発裏話～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. 開発の背景

近年、電気・電子部品用コネクタは、省スペース、高密度実装に対応するため、小型化、低背化、形状の複雑化が進んでいる。このコネクタ用材料には高い電気伝導性を有し、強度に優れる銅合金が多く使用されているが、コネクタの小型化に伴い材料は薄肉化すると同時に、薄肉化を補う「高い強度」、限られたスペースに収納するための複雑な曲げ加工が可能な「優れた曲げ加工性」を兼ね備えることが要求される¹⁾。

銅合金の強化手段として、固溶強化、析出強化、加工硬化、結晶粒径微細化などが良く利用され、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が低下してしまう。車載用コネクタやスマートフォンなどの民生用コネクタにおいて、小型化、狭ピッチ化が進む中で、次世代のコネクタ用材料として高い強度と優れた曲げ加工性を併せ持つ銅合金の開発が切望されていた。

2. 開発の経過と着眼点

金属材料の強化機構に関しては多くの研究・報告がなされているが、曲げ加工性に関する系統的な研究は意外に少ない。また、曲げ加工性に影響する因子として、合金成分、結晶粒径、結晶方位分布(集合組織)、転位密度、析出物(サイズ、量、分布)、無析出物帯(PFZ)等多くが挙げられるが、それぞれの影響度が明確でないことから、曲げ加工性を改善する上で注目すべき因子を定めることが困難であった。具体的には、全ての因子の影響を網羅しようとする膨大な試験量となってしまう、また、各因子は互いに連動するため、単一の因子の影響を抜き出すことは困難であった(例えば、再結晶処理の条件を調整し、結晶粒径を調整した場合、集合組織、析出状態も変わってしまう)。

悩みが続くそんなある日のこと、ある銅合金条材を切断してスクラップ缶に捨てようとした際に、手で曲げるとすぐ破断するスクラップと、繰り返し曲げても破断しないスクラップがあることに気がついた。同じ材料なのになぜこんなにも違うのか? 元の材料は同じ、違うのは材料の方向だけだ! 異

方性、つまり集合組織の影響が大きいに違いない!!

この推測を実証するための一般的な手法は、各方位を有する単結晶を作り、方位の影響を調査することである。しかし、曲げ試験が可能なサイズの銅合金単結晶を製作することは容易でなく、何か簡単な方法がないか検討した。そこで思いついたのが、実機で铸造した大型インゴットからのサンプル採取である。粒径 10 mm 程度の等軸晶領域から試料を切り出し、EBSP で各結晶粒の方位を測定することで、目標とする方位を有する曲げ試験片を容易に作製することができた²⁾。

この手法を用いて銅合金(fcc 金属)の代表的な集合組織である 5 方位について、それぞれの方位の結晶粒を有する曲げ試験片を作製し、曲げ試験を行った。曲げ加工後の表面写真を図 1 に示す。同一合金において、結晶方位や曲げ方向の違いにより、曲げ加工性が大きく異なることを実証することに成功した。

曲げ加工性に結晶方位の影響が大きいことは分かったものの、いよいよ最大の難関に直面した。それは「銅合金において組成を変えずに、集合組織を制御することができるのか?」ということだ。良く知られているように、銅および銅合金の集合組織は、長年の研究にも関わらず、純銅及び黄銅に代表される固溶強化型合金などのごく一部の成分系で明らかになっているのみであり、その他の合金は、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る。また、再結晶集合組織の生成機構については、統一的な基礎理論がなく、「核配向説」と「配向成長説」の両説の紛争が今も続いている³⁾。現段階では集合組織の制御方法を確立する上で、理論的なアプローチは困難であったが、純銅型、黄銅型の集合組織の研究における一つの定説、すなわち両者の違いは固溶元素による積層欠陥エネルギー(SFE)の差によるものとする理論に着目した。そこで析出型銅合金において、熱処理条件を調整し、添加した合金元素のほぼ全量を固溶させた状態から、最大限に析出させた状態まで変化させることによって、黄銅型から純銅型へと集合組織を連続的に制御できるのではないかと考えた。この考え方に基づいて、試行錯誤し、実験を繰り返した結果、「析出強化型銅合金の集合組織制御技術の開発」に成功した。

* DOWA メタルテック株式会社 金属加工事業部: 1)技術センター 主席研究員 2)取締役事業部長 3)技術センター 課長
Development of Texture Control Technique for Precipitation-Hardened Copper Alloys; Weilin Gao, Akira Sugawara, Takashi Kimura (Metal Processing Business Unit, DOWA METALTECH Co., LTD., Iwata)
Keywords: *precipitation-hardened alloy, texture control, high strength, bend formability*
(まてりあ第52巻1号26-28頁「新技術・新製品」掲載)
2014年2月4日受理[doi:10.2320/materia.53.222]

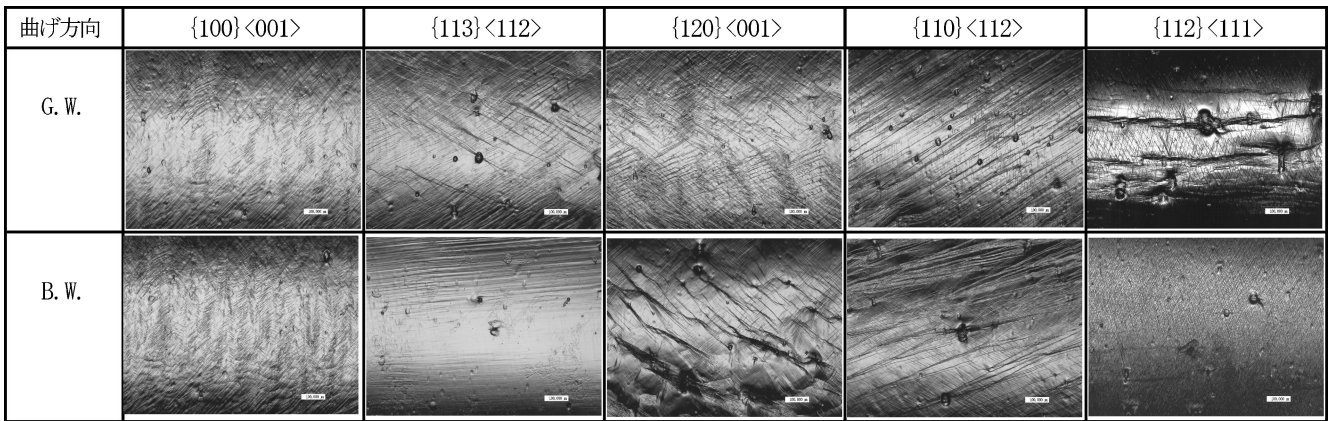


図1 各結晶方位および曲げ方向による曲げ加工後の表面写真。

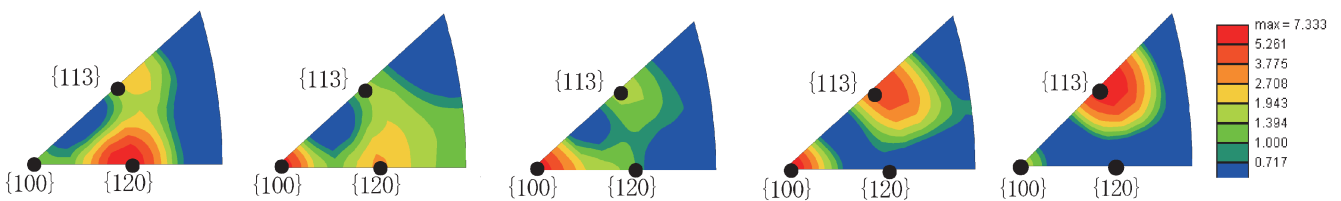


図2 Cu-Ni-Si系開発合金の溶体化処理後の圧延板表面逆極点図のEBSP測定結果。

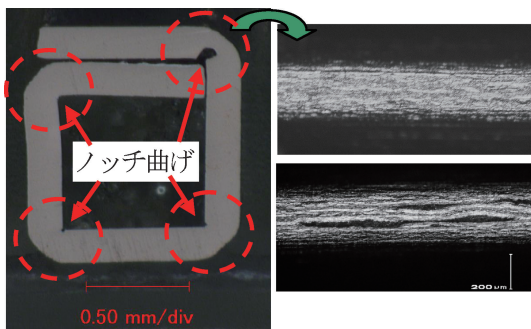


図3 (左) Cu-Ni-Si系開発合金の箱形端子の断面写真。(右) ノッチ曲げ部の表面写真(上: 開発工程品 下: 通常工程品)。

3. 開発技術の特徴

開発した技術を用いることで、代表的な析出強化型銅合金であるCu-Ni-Si系合金(コルソン合金)において、同一の成分で面心立方合金に存在する代表的な方位成分を制御することが可能となった。その一例として、{100}、{113}、{120}の三つの再結晶方位の集合度を連続的に変化させた例を図2に示す。また、この集合組織制御技術を用い、異なる特徴を有する新合金NB164とC7035XEを開発、量産化している。

NB164(Cu-1.6%Ni-0.4%Si-0.5%Sn-0.4%Zn, mass%)は、{120}<001>が主方位となる集合組織制御により、引張強さ748 MPaを有し、且つ極めて優れたノッチ曲げ加工性を示す。図3はノッチング後に90°曲げ加工した車載用小型めす端子の断面および曲げ部表面写真である。通常工程品と比較し、開発工程品はノッチ曲げ部の表面が麗美であり、ノッチ曲げ加工性が大幅に向上している。

C7035XE(Cu-2.4%Ni-1.3%Co-0.9%Si, mass%)は、曲

表1 C7035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

げ加工性及び等方性に優れるCube方位({100}<001>)が主方位となるよう集合組織を制御した超高強度銅合金である。代表的な特性を表1に示す。1 GPaを越す引張強さと内側曲げ半径ゼロを可能とする曲げ加工性が両立している。

4. 開発を振り返って

開発当初は、銅合金の強度と曲げ加工性の両立は極めて困難な課題であり、どこまで向上できるか自信がなかった。しかし、Expert Systemの思想、すなわち、複合系において最も影響の大きいと思われる要素、可能性が高いと思われる手法に注目し、アプローチすることで、開発に成功することができた。本集合組織制御技術は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、その価値は大きいと自負している。

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, 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.
- (3) 古林英一: 再結晶と材料組織, 内田老鶴圃, (2000).