

銅及び銅合金の特性と利用

Properties and Application of Copper and Copper Alloys

村 上 陽 太 郎*

Yotaro Murakami

1. はじめに

資源やエネルギーに恵まれない我が国が、現在のよ
うな繁栄を維持してゆくためには、産業の振興が唯一
の途であって、技術革新によって、絶えず活力を産業
に与えてゆくことが、何よりも重要であるという認識
が定着してきている。

最近の先端工業は、エネルギー、情報、材料の3本
の柱を基本に成立しているとよく云われる。これらの
3本の柱は互に独立ではなく、相互に密接なかかわり
合いを持っている。特に材料の重要性が強く認識され
るようになってきた。新しいアイデアが生れ、より高
性能の機器を作ろうとすれば、もはや既存の材料では
間に合わない。新しい素材が強く求められる所以であ
る。中でも銅をはじめとする金属材料は、電気伝導性、
熱伝導性、強靱性、耐熱性、耐食性など、各素材に特
有な多くの優れた特性をもち、多方面に利用され、産
業の発展を支えてきた。最近は、上記のような省資源、
省エネルギーの厳しい要請によって、機器の軽量化、
効率の一層の向上が望まれ、各種金属材料の性能の飛
躍的な改良、開発が強く望まれている。

銅は、鉄鋼やプラスチックなどの安価な材料と比較
すると価格が高いと考えられ勝ちであるが、これら
の材料では簡単には代替できない優れた性能を持って
いる。特に高い電気伝導性とすぐれた熱伝導度、耐食
性の良好なこと、接合性が容易で信頼性が高いことな
ど、競合材料の追随を許さない。しかし、アルミニウ
ムやプラスチックなどの競合材料の追撃も激しい。
銅産業が健全な発展を継続してゆくためには、確かな
技術的基盤を基礎にして、銅の特性にふさわしい銅材
料の改良、新素材の開発を押し進めて、競合材料から
の攻撃を防衛し、未開拓の新分野の探索が続けられ、
新しい市場を開拓してゆくことが必要であろう。

人間生活の豊から未来のために銅のもつ優れた特性
が活用されねばならない。新しい発展の分野を念頭
において銅及び銅合金の最近の開発の状況について述
べてみたい。

2. 新合金開発の金属組織学的指導原理¹⁾

金属材料基礎学の進展と精緻な実験技術と研究機器
の出現によって、材料内部のミクロ的な構造・組織が
原子のスケールで急速に明確になってきた。強さ、靱
性その他のマクロ的な材料特性とミクロ的構造とのつ
ながりが、益々解明されている。その結果新材料の改
良・開発に対する金属組織学的指導原理が多数に蓄積
されてきており、要求される性能が定まれば、それ
に対応する材料の組織制御は、かなりの程度まで可能に
なっている。

既に述べたように銅は、他の元素にはない優れた特
性をもっている。電気伝導度と熱伝導性は最大の特徴
で、その他耐食性に優れ、美しい色調を有している。
ハンダ付け性などの接合が容易で、高い信頼性の保証
ができる。表1に銅の特性とその特性を活かした用途
及び対応する合金を分類して示した。第一義的にはこ
の方向に利用の拡大をはからねばならない。金属組織
学的には、合金化をすすめ、その相変態を利用するこ
とが、合金開発の要諦である。幸運にも銅合金には、
従来我々が知っているほとんどすべての相変態が起こ
ることが知られている。表2²⁾にこれらを利用度の大き
い順序に上欄から下欄へ示した。従来時効析出機構
が高力銅合金の開発に利用されてきたが、最近マル
テンサイト変態が、後述するように形状記憶合金
(Shape memory alloy, SMA と略称)、制振合金に
利用されている。マッシュ変態、非晶質などの利用は
未だ積極的に開拓されていないが、利用に値しないと
決められたわけでもない。念頭においておくことが大
切である。規則—不規則変態は、独立して利用されな
いが、上記の変態に随伴して生じる場合にも重要であ

* 関西大学工学部金属工学科教授・京都大学名誉教授

〒564 吹田市山手町3-3-35

表1 銅の特性を利用した用途拡大の方向

銅の特性	用途	合金
電気伝導度が大きい	電気用材料 耐熱・高電気伝導性 高温・高電気伝導性	低濃度耐熱合金 アルミナ分散強化銅 時効硬化性合金
熱伝導性が良い (接合性が良い)	ラジエーター用 太陽熱利用 (ヒートパイプ) 住宅用, 建築用	低濃度耐熱合金 純銅薄肉ストリップおよび管
耐食性が優れている (美しい色調)	熱交換器用管用 化学プロセス装置用 海洋開発用, 建築用	耐食性合金
熱弾性マルテンサイト	形状記憶(温度調節, 温度変化の機械力への変換など) 騒音防止	形状記憶合金 制振合金

表2 銅合金における相変態と合金の開発

相変態の種類	合金系	合金の特性
時効析出	Cu-Be, Cu-Cr, Cu-Zr, Cu-Cr-Zr, Cu-Co, Cu-Fe	高強度・高電気伝導性
スピノーダル分解 (変調構造)	Cu-Ni-Fe, Cu-Ni-Co, Cu-Ni-Cr, Cu-Ni-Sn, Cu-Be, Cu-Ti, Cu-Ni, Cu-Pd	高強度・高電気伝導性
マルテンサイト変態	Cu-Zn-Cu, Cu-Zn-Sn, Cu-Al-Ni, Cu-Al-Zn, Cu-Zn-Ni	形状記憶, 高減衰能
マッシュ変態	Cu-Zn, Cu-Al Cu-Ga	
ペーナイト変態	Cu-Zn	
規則化	Cu-Zn, Cu-Al	
非晶質	Cu-Zr, Cu-Ti	

る。

表3には、表1、2に関連して、合金開発に必要な金属組織学的機構とそれらを利用している合金の種類を対比して示した。最近銅合金の独特の用途として注目を集めている集積回路(IC)のリードフレームには、

表3 合金開発の基礎機構

合金の種類	金属組織学的機構
(1) 耐熱・高電気伝導合金	固溶体強化, 析出強化, 加工硬化, 粒子分散強化, 繊維複合強化
(2) 高強度・高電気伝導合金	時効析出
(3) 高強度合金	時効析出, スピノーダル分解, オーダリング
(4) 耐食性・高強度合金	固溶体強化
(5) 機能的合金 (形状記憶合金) (制振合金)	熱弾性マルテンサイト変態
(6) その他 (超塑性合金) (非晶質合金)	結晶粒微細化, 液体急冷凝固

高い電気伝導度(80 IACS%以上)で、Fe-Ni42合金なみの強度をもった、耐熱・高電気伝導性合金が要求されているが、その開発には固溶体強化、加工硬化、析出強化、粒子分散強化、繊維複合強化等が考えられる。高強度・高耐熱性と高電気伝導性を両立させることには、理論上に本質的な困難さがあるので、相互のバランスをどのようにするかを考慮しなければならない。一方、電気伝導性を高めるには、有実な固溶元素をできるだけ少なくする必要がある。上述のように高強度合金としては、時効析出機構が利用されてきたが、最近では酸化物分散強化銅やスピノーダル分解(変調構造)機構の利用が考えられている。

3. 時効硬化性銅合金

合金の強化法として、時効析出現象の利用が最も有効で一般的な方法である。透過型電子顕微鏡(TEM)観察と制限視野電子線回折法(SAD)によって、析出相の大きさ、種類、分散度を比較的容易に調べることができ、合金開発の指導原理が確立されてきたため、強度と電気伝導度とのバランスを取ることが可能になり、高電気伝導度から、中程度、低い伝導度の3段階の銅合金の多数開発された。電気伝導度の低下に反比例して、強度、耐熱性は向上する。

時効性銅合金として、ベリリウム銅(代表的な合金の組成: Cu-1.9Be-0.3Co或はNi), Cu-Cr(0.8Cr), Cu-Cr-Zr(0.6Cr, 0.3Zr)などは、古くから有名であるが、表4に比較的新しい時効性銅合金の特性を示した。これらは何れも米国及び欧州において新しい考え方で開発されたものである。

表4 比較的新しい時効性銅合金の特性

標準組成	状態	特性			合金の名称, 製造会社
		引張強さ MH/m ²	伸び %	電気伝導度 % ICAS	
Cu-0.04 Ag-0.10 Mg-0.06P	板(0.4mm)時効硬化	550	2	88	Super Silver Copper, Copper Range Co.
	半硬質	415	10	90	
	軟質	275	32	94	
Cu-0.03 Mg-0.03 Zr	線(軟) 2mm	230	25	95	AMAX社
	20%加工	330	6	92	
	40% "	355	6	91	
	90% "	460	4	89	
Cu-2.3 Fe-0.1P	板(1~2mm)				CDA 194 Alloy (High Strength Modified Copper), Olin Corp.
	軟質	340	27	65~68	
	硬質	445	4	62	
	バネ硬質	520	2	60	
Cu-5% Sn-1%Mg (700°C焼入, 80%冷 間圧延, 375°C, 4h 時効)	板 焼入, 冷間加工, 時効	770	5	42	Tin Research Institute

米国の Copper Range Co. で開発された Super Silver Copper⁴⁾(SSCと略称)は, 0.04~0.09% Agを含む従来の Ag入り銅の耐熱性向上の目的で, MgとPを Mg_3P_2 の比になるようにした時効析出型合金で, その標準組成は, Cu 99.6% min., Mg 0.10~0.12%, P 0.04~0.08%, Ag 0.04% min. で, 強度が高く, 85% ICAS の電気伝導度を持っている。適当な冷間加工と加熱のサイクルを加えることによって, Cuマトリックス中に, サブミクロンの大きさの Mg_3P_2 粒子を析出させ, これに適当な温間又は冷間加工を加えることによって転位下部組織を導入する。図-1に焼入後427°Cの時効によって析出した Mg_3P_2 粒子を示した。直径50~100nmの大きさである。これらの分散粒子は転位ならびに亜粒界, 結晶粒界をピン止めし, 425°Cの高温でも, 短時間の加熱に耐える。

American Metal Climax, Inc. から高伝導性の耐熱合金⁵⁾の発表されている。1つは表4に示した組成で, 350~450°Cまでの耐熱性を有し, 他は, Cu-0.06 Mg-0.15Zr-0.4Cr合金で450~650°Cで優れた耐熱性を示す。これは従来の Cu-Cr-Zr合金が基礎になっているが, Mg添加に特徴がある。Mgは脱酸剤としても作用して合金の清浄化に役立ち, 低含有量の Zr添加の調節を容易にし, Mg自身が固溶体中に残存しても導電性をさほどに損わない。さらに合金中の Zrの析出を遅滞させる効果があるため, 溶体化処理を行わなくても, 通常の熱間加工後の冷却速度で Zr, Cr, Mgは固

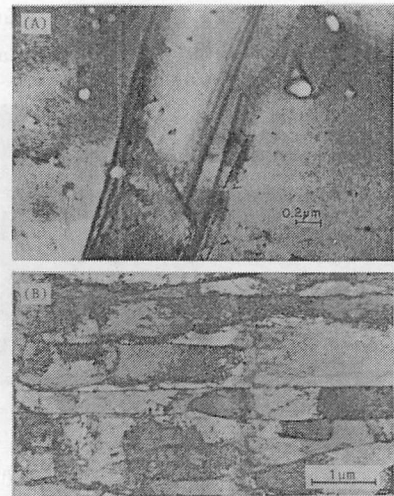


図-1 SSC合金における Mg_3P_2 粒子の析出, 427°C時効(A) 454°C×3hrの焼純後も回復組織を示し長く伸びたSub-grain組織を示している(B)

溶され, 焼入性がよい利点がある。

表4には, 添加元素量を高め, 強度に重点を置いた電導度の低い時効性合金として, Olin Corp. で開発された Fe入りの High Strength Modified (HSMと略称) Copper も興味深い。その標準組成は⁶⁾表中に示してある。Cu-Fe 2元系状態図において, Cu中のFeの最大固溶度は, 包晶反応温度1,096°Cで4 wt.%である。Feは包晶微細化効果で鋳塊の結晶粒の微細化に役立つ上に, Pと金属間化合物 Fe_3P を形成し, マト

リックス中に微細に析出して強化に寄与する。Pは少量(0.1%程度)添加されるZnと共に脱酸剤の役割を担った。この合金は表に示すように、Cuの強度を30%以上も向上させ、導電率は65~70% IACSと黄銅の2倍、一般りん青銅の4倍以上も高い値を示す。その他応力腐食割れには安全で、溶接性、ハンダ付け性も銅と同程度で、再結晶温度も350~500°Cと高く、HSM Coppの名にふさわしい性能を有している。

4. ベリリウム銅の代替合金の開発

ベリリウム銅は性能的にはほぼ完璧な合金であるが、合金元素であるBeが高価で資源的にも問題があり、毒性も強いことなどから、これを新しい合金で代替しようとする研究も活発である。米国のBell研究所⁷⁾で開発されたスピノーダル(Spinodal)分解を利用したCu-9%Ni-6%Sn合金は引張強さ1,170~1,310Mpa、0.01%永久伸びの耐力は1,035~1,105Mpa、伸びは3.5%で、ベリリウム銅に十分比肩し得る性能を有している。筆者は、ベリリウム代替合金の超急凝固法による研究を行っているが図-2はこの組成の合金を、as-splat後、

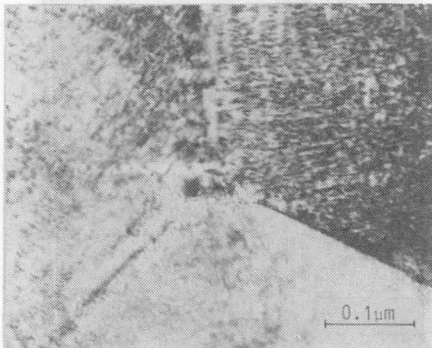


図-2 Cu-9%Ni-6%Sn合金のas-splat後350°C×2h時効処理材の透過型電子顕微鏡写真。変調構造を示している。

350°C×2hの時効処理材のTEM写真(明視野像)で、ツイード模様の変調構造が見られる。また英国のInternational Tin Research InstituteではCu-Sn-Mg系合金⁸⁾の研究が行われた。Cu-5%Sn-1%Mg合金の時効熱処理と特性が表4に示してある。Amaz Base Materials R&D Inc.では、Cu-2.5%Ti合金が開発されている。450°Cの時効処理後90%の冷間圧延を加えた合金は、引張強さ1,035Mpa、伸び10%、電気伝導率15% IACSの性質を示し、非磁性、非発火性が要求され、且ベリリウム銅の不向き用途に

利用される。この方向の研究はさらに進める必要がある。

5. 新しいリードフレーム用銅合金の開発⁹⁾¹⁰⁾

ICの量産と集積度の著しい向上によって、数mm~数cm角のシリコン・チップをのせる図-3¹¹⁾のようなリードフレームには、精密加工技術の進歩と相まって、厳しい特性が要求される。初期に専ら利用されたCo-Ni-Fe系のコバル合金は、昭和53年後半のCo価格の急騰によって、しばらくの間にFe-42%Niの42 Alloyに代替された。そして最近では、熱設計上、電気抵抗の小さい、熱伝導の良好な銅合金への転換が望まれている。

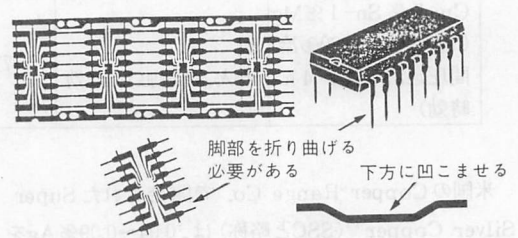


図-3 リードフレームの一般的な形状 (Zarlingo and Scottによる¹¹⁾)

表5¹¹⁾に最近開発された新しいリードフレーム用銅合金の特性を42合金と比較して示した。何れも高い軟化温度と適当な強度、熱伝導度、熱膨張係数をもち、繰返し曲げ疲労回数も良好な値をもっている。

Olin Brass社のC195合金は、FeCoP化合物相粒子を30~60nmの微細粒子として析出させ、冷間加工による転位下部組織を併用したものである。三井金属鉱業が開発しているML21合金¹²⁾は、0.7%Fe、0.3%Tiに0.05%Mg或はNiを添加したもので、Fe₂Ti相の微細粒子が、Bimodal Precipitate組織を呈し、温間加工と析出処理によって、優れたマイクロ組織を呈し耐熱性と強度を得ている。KLF-I合金は神戸製鋼が開発した合金で、Cu-Ni-Si系で、CuマトリックスにNi-Si系金属間化合物を微細に析出させたもので、Ni:Siの比を4:1を標準としている。

三菱電機のMF202合金はCu-Sn系、玉川機械金属のTamac 5はCu-Fe系で、前者はSnの固溶体強化を、後者は、Fe_xP化合物の析出強化型である。強度と電気伝導性はやや低い。

Olin Brass社のC151合金は、Zr入り合金で、Zr High Conductivity, ZHCの名称が示すように、90% IACS以上の導電率を保持し、優れた耐軟化性、耐

表5 新しいリードフレーム用銅合金の特性と42 Alloyとの比較

合金名	製造会社	標準組成 (重量%)	引張強さ (kgf/mm ²)	軟化温度 (°C)	繰返曲げ疲労回数 (0-90-0, 250g)	熱膨張係数 (20~500°C) 10 ⁻⁹ /°C	熱伝導度 Cal/cm/cm/sec/°C	電気伝導度 % IASC
C 195	Olin Brass	Fe 1.50, Co 0.8 Sn 0.6, P 0.1	61	425	5.0	16.9	0.47	50
C 151 (ZHC)	Olin Brass	Zr 0.05~0.15	39	425	7.5	17.6	0.82	95
ML-21	三井金属鉱業	Fe 0.7, Ti 0.3 Mg (Ni) 0.05	68	545	4.4	17.6	0.61	70
KLF-1	神戸製鋼	Ni 3.0, Si 0.7	60	425	5.0	17.0	0.53	55
Tomac-5	玉川機械金属	Sn 1.25, Fe 0.75 P 0.05	50	400	4.5	17.0	0.33	40
EFTEC-45	古河電工	Fe 2.4, Zn 0.5	50	530	—	16.3	0.63	65
MF 202	三菱電機	Sn 2.0, Ni 0.2 P 0.05	54	350	6.5	17.0	0.37	30
42 Alloy		Ni 42, Fe 残	48			0.7	0.04	26

表6 Al-0.4wt% Al₂O₃分散強化銅の機械的性質

形状	状態	引張強さ kgf/mm ²	0.2% 耐力 kgf/mm ²	比例限 kgf/mm ²	伸び (51mm)%	硬さ ロック ウェルB	導電率 % IACS
ロッドおよび バー	焼鈍のまま	47	37		19	74	89
	82%冷間加工	56	52		10	80	87
	427°C, 1時間暴露後	50	43	35	14		
	927°C, 1時間暴露後	45	38	31	15		
ストリップ 0.81mm厚	焼鈍のまま	58	55		7.0		
	427°C, 1時間暴露後	54	52		9.4		
	927°C, 1時間暴露後	46	39		12.7		

食性、耐水素脆性有している。Cu₃Zrの微細析出粒子のピン止め効果によるものである。以上の合金は何れも合金開発の指導原理に合ったマイクロ組織を有しているが、時効析出機構を基礎にしているため、その性能には限界があるように思われる。これらに対して、アルミナ分散型強化銅は、高い電気伝導度と耐熱性の両立に最も理にかなった合金である。その理由を説明すれば次のようになる。強度を増大させるに有効な、Snなどの添加による固溶体強化は、電気抵抗の増大につながる。マトリックスから固溶元素を追い出して析出させる析出硬化型合金は電気伝導度の向上には有利であるが、析出処理温度に近い、それ以上の温度では、析出粒子の粗大化と再固溶が起こるので耐熱性には限界が生じるのである。しかし酸化物などの粒子を内部酸化法と粉末冶金法でマトリックスに分散させる方法を用いると、微細分散酸化物は十分高温まで安定に存在するし、固溶元素も含まないため高導電性と耐熱性を両立させることができる。米国のGlidden Metals社が¹³⁾ Al₂O₃粒子を分散した耐熱合金を発表してい

る。Cu-Al合金をガス・アトマイズ法で粉末にし、これを内部酸化させてAl₂O₃粒子をマトリックスに分散させ、粉末を緻密化した後、押出法で製造する。Al₂O₃はマトリックスに全く固溶しないので、電気抵抗はAl₂O₃粒子の断面積だけの増加にとどまり、表6に示すように85~92%の高い導電率が得られ、また分散粒子によって再結晶及び結晶粒成長が阻止され、この表に示すような良好な耐熱性が示される。しかし、Al₂O₃は極めて硬い物質であるので、精密なリードフレームの打抜きに対して金型寿命に及ぼす影響の問題が残る。解決しなければならない点も少なくないと思われる。

6. 銅基形状記憶合金の開発・利用の現状¹⁴⁾

最近、形状記憶合金(Shape Memory Alloy, SMAと略称する)がよく話題にのぼるようになってきた。形状記憶効果(SME)は、1963年米国の当時のNaval Ordnance LaboratoryのW. J. Buehlerらによって、多結晶のNiTi合金(NiとTiを約50at%宛配合して作った金属間化合物)において最初に発見された。この合金

表7 注目されている形状記憶合金の組成と特性温度

合金系	組成 (wt%)	Ms (K)	As-Ms(A)
Cu-Al-Ni	A 14~14.5, Ni 3~4.5	133~373	~35
Cu-Zn-Al	Zn 10~27, Al 4~9	179~405	~20
NiTi	Ni 49~51 at%	223~373	~30

は組成NiTiに研究所の頭文字NOLを続けて“NITINOL”，ニチノールと名付けられた。例えばマルテンサイト変態温度 (M_s) が40°C位のニチノール合金線を80°C位の温度でまっすぐに伸しておく。次に室温まで下げてこれを曲げる。これを再び80°C位のお湯の中に漬けると、瞬間的にぴーんとまっすぐに伸びる。すなわち最初の形状を、室温でどんなにかえても再び温度を上げると、もとの記憶している形状に戻るという現象である。

SMEの機構に関しては、この現象の発見以来1970年代にかけて、合金の結晶構造および金属組織の変化から多数の研究が行われた結果、鋼のマルテンサイト変態 (M変態) と同様なM変態の特殊な現象として理解されている。すなわちM変態が温度と応力の変化に対して可逆的に進行する、いわゆる熱弾性型M変態として説明されている。この現象はニチノール以外にも多数の合金系で発見されたが、現在工業的な用途と結びつけられて研究されている合金系は、表7に示すCu-Zn-AlとCu-Ni-Alの2つの合金系である。

SMEの結晶学的な機構に関しては多くのことが判明しているが、専門的すぎるので、その変形挙動について少し説明しておく。図-4¹⁵⁾はCu-Al-Ni合金単結晶のM変態特性温度、 M_s 、 M_f 、 A_s 、 A_f (図中に示してある)に関連した応力-ひずみ曲線である。(a)は A_f より高い温度で、母相が安定である。応力がかかると母相はまず直線的な弾性変形し、降伏後に見かけの塑性変形を示している。しかし、この伸びは応力を除去するともとに戻る。この見かけの塑性変形は応力誘起M変態によるもので、応力除去でもとに戻るのは、母

相が安定な温度域にあるので、Mが逆変態でもとの結晶方位に戻ったためである。このような現象を変態擬弾性 (Pseudoelasticity) 或は超弾性と呼び、ゴムのような性質が示され、SMAの大きな特性である。(d)は M_f 以下の温度域にあるため、合金は完全にMの状態になっているので、これを引張ると、Mの種々の兄弟晶間及び内部双晶間の界面が移動し易いため、僅の応力で変形する。Mはこの温度で安定であるので、外部応力を除去しても、ひずみはそのままに残留する。もしこの合金を母相が安定な A_f 以上に加熱すると、母相に逆変態して最初の結晶方位に戻るの、もとの長さに戻る。これがSMEである。(b)と(c)は中間の状態を示している。

実用合金としては前述のようにNi-Ti系とCu系に別けられる。両者の現在の性能を端的に比較すると、価格は前者の方が高いが、延性、破断強さ、特に疲労強さなど実用面で重視される性質は、Ni-Ti系の方が優れているようで、Ni-Ti系合金では、 10^7 回の疲労限と室温で40kgf/mm² ($M_s \approx -30^\circ\text{C}$)の疲労強度が得られているが、Cu系のCu-Zn-Al系合金では、 10^4 回の繰返しにおける破断応力が10kgf/mm²程度と低く、その改良が望まれている。この主な原因は結晶粒度が大きいためと考えられ、結晶粒微細化と集合組織の形成などを考える必要がある。結晶粒微細化法としては、微量添加元素の効果、種々の熱処理法、急冷凝固粉末を利用する粉末冶金法などが成果を挙げている。この方向の一層の研究が必要である。この外SMEや擬弾性効果は、熱処理や加工履歴によって著しい影響を受け、同じ組成の材料(組成変化はM変態性温度の変化に極めて敏感であるが)でも、著しく変化することが知られている。信頼性の高い、安定な性能の合金を製造するための努力が行われている。

Cu系合金は素材価格が比較的安価であるため、その利用の拡大には有利である。昭和58年度は通産省が伸銅業界の活性化の施策の一つとしてSMAの研究開発に補助金を支出している。Cu系SMAの主流は、Cu-Zn-Al系合金で、米国のRaychem Corp.、英国のDelta Memory Metal Co.(最近販売の中止した)、ベルギーのMetallurgie Hoboken等が製造販売し

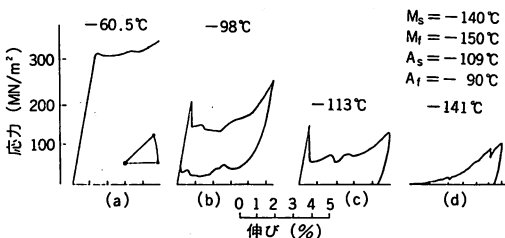


図-4 Cu-14.5%Al-4.4%Ni合金単結晶のマルテンサイト変態特性と関連した応力-ひずみ曲線、ひずみ速度： 4.2×10^{-5} /s (K. Otsuka *et al*)

ている。我が国でも、三菱金属、同和鉱業、住友特殊金属、神戸製鋼、住友金属鉱山、住友電工などで研究開発が進められており、一部は販売もしている。なお住特金ではCu-Al-Be合金を、神鋼ではCu-Al-Ni合金の開発に努力をされているようである。

SMAの用途開発には各方面で努力されているが、(財)大阪科学技術センターでは、昭和57年度から大阪通産局の援助も得て、形状記憶合金用途開発調査研究委員会(委員長;筆者)を発足させ、昭和58年度からは、学・官界と産業界の全国的規模で、広範囲の調査研究の実施、その成果を挙げつつある。

SMAの用途については、各方面で発表も多いので、ここでは述べないが、SMAのような機能材料では、従来の構造材料とは異った点が多いことを留意しなければならない。その性能は合金の組成だけでなく、加工履歴、熱処理などによって微妙に影響を受ける。従って用途に見合った性能が必要で、過大でも過少でも不可である。現在Cu系合金はNi-Ti合金に対して性能は、疲労強さなどで劣っているが、適切な用途はいくつもあるはずである。SMAには多くの可能性が秘められている。その健全な発展を期待したい。

7. おわりに

銅は古い歴史をもった材料であり、古くから人類と密接な関係をもってきた。熱・電気の伝導性では他金属に及ぶものはなく、耐食性に優れ、接合性もよいなど多くの長所をもっている。しかし資源的には、そう恵まれた金属ではない。その特性に見合った適所に適正に利用されるべきである。与えられた紙面の都合で最近の新しい合金開発の分野に限って、その開発の現

状と問題点を述べた。従来の用途を見なおし、競合材料に劣ることがないように性能の改善に努めると共に銅の特性の発揮できる用途に開発を進め、新しいマーケットを拡大すべきであろう。銅および銅合金の研究開発の発展を心より祈る。

参 考 文 献

- 1) 村上陽太郎; 伸銅技術研究会誌, 第20巻(1980), 記念講演「銅合金の進歩」
- 2) T. B. Massalski; Metals Technology, (1980), July, 300.
- 3) R. Biaias, D. Whitwham and O. Dincir; Metall, 30 (1976), 227.
- 4) H. J. Fisher, D. A. Hay and W. L. Finlay; J. Inst. Metals, 98 (1970), 368.
- 5) W. R. Opie, Y. T. Hsu and R. J. Smith; J. Inst. Metals, 98 (1970), 204.
- 6) 粟田昌良, 二塚鍊成; 伸銅技術研究会誌
- 7) J. T. Plewes., Met., Trans., 6 A (1975), 537.
- 8) P. A. Ainsworth, C. J. Thwaites and R. Duckett; Metals Technology, (1974), August, 385.
- 9) T. Kuroyanagi; Proc. 2nd Intern'l Conf. "Present and Future Markets for Copper," Present and Future of Copper Alloys in Electric and Electric Industries, London, 15 Oct. (1980)
- 10) 坂本光雄; 工業レアメタルNo.80, 1983, 63~66.
- 11) S. P. Zaringo and J. R. Scott; Proc. of 1st Ann. Intern'l Electronic Packaging Soc. Cont., Nov. 9 & 10, 1981.
- 12) 山口洋, 山崎周一; 第23回伸銅技術講演会講演概要集, 47~48, 昭和58年11月25日.
- 13) Glidden Metal 社資料(永田公二氏より提共された)
- 14) (財)大阪科学技術センター; 形状記憶合金の用途開発に関する調査研究報告書, 1983年3月.
- 15) K. Otsuka et al.; Acta Met., 24 (1976), 207.

