

第5回 銅合金系ばね材料の種類とその特性

日本ベルパーツ(株) 國峯 辰雄

通信用リレー、スイッチには、はじめ黄銅のばね材料が使用されていたが戦後になると洋白、りん青銅、ベリリウム銅、銅-ニッケル合金などのばね材料が使用されるようになり、その種類も多い。用途は、ばね、コネクタ、端子、リードフレーム等で全ての産業分野で使用されている。

1. 特徴と動向

銅合金ばね材料の特徴は、電気伝導性、非磁性、加工性と強さとの調和が取れていることである。ばね性を得るには、りん青銅や洋白では、200~300℃の低温焼きなまし、ベリリウム銅や銅チタンでは、300℃前後の析出硬化処理を板、線材とも冷間加工後に行う必要がある。これらの熱処理から銅合金ばね材料は、低温焼きなまし型、析出硬化型に分類されることもある。一方、リレー・スイッチは、使用面で大量生産を行うことから部品加工後の無調整ができる高品質の材料が要求されている。これを解決する手段として、西畑が提唱したTension Annealing(TA)法が広く適用されている。現在、この加工法は、接点やはんだを積層した複合材料にも使用されている。今後、通信・電子分野で要求する銅合金系ばね材料は、Fig.1に示すDの範囲で電気伝導度と強さが大きいこと。また、150℃前後までの環境におけるばねのヘタリ(応力緩和率)が小さく、信頼性の高い材料が要求される。

JIS H 3130では、寸法0.16mm以上のばね用ベリリウム銅、りん青銅、洋白の板および条の特性が規格化されており、ばね性評価法としてばね限界値試験法も規格化されている。しかし、近年、機器に用いられる寸法は、益々薄くなり0.1mm以下の極薄板が多量に使用されているにもかかわらず、特性やばね性評価試験法の統一規格が無いのは問題であると考えられる。また、21世紀の銅合金ばね材料については、極薄板の疲労、ばね性に関する試験法の確立や材料表面の清浄度、複合化が課題であると考えられる。

2. りん青銅ばね材料

りん青銅は、銅を主成分とし、これに錫(Sn)

を加え燐(P)で脱酸した三元合金である。強さは、Sn含有量が多くなるにつれて、また、加工率が大きくなるにつれて高くなる加工硬化型銅合金ばね材料である。りん青銅として実用されているSn含有量は、2~9%で、このSnの量に応じて低錫りん青銅(Sn3~5.5%)、りん青銅(Sn5.5~7%)、ばね用りん青銅(Sn7~9%)に区別されている。Snが低いものは軟らかく加工性に優れ、電気伝導度も比較的高い。Snが増加するにつれて引張強さおよび伸びも増加し強靱性が増大してくる。また、良好なばね性を得るためには、冷間加工後に必ず低温焼きなまし(Low-temperature annealing)をしなければならない。

Fig.2, 3は、Sn8.55%、板厚0.12mm、加工率20、40、60、80、90%の90°方向試料の焼きなまし温度と引張強さおよびばね限界値の関係を示す。

りん青銅の電気伝導度(IACS)は、主元素であるSn、Pの含有量によって異なるが11~23%の範囲、ヤング率は、Sn含有量、加工率、焼きなまし温度により異なるが概ね90~120GPaの範囲にある。

りん青銅が多く用いられものにコネクタ材で、自動車、家電品、通信機器、工作機械などの電氣的接続を行う機構部品である。その材質は、C5111、5102、5191、5212、5210までの広範囲が使われている。

3. 洋白ばね材料

洋白は、古くから洋銀と呼ばれ、JISでもNickel silver(洋白)なる名称を採用している。成分は、Ni5~35%、Cu45~63%、Zn15~35%で、特にばね用は、Ni16.5~19.5%、Cu54~58%、残Znで、色は銀白色をしている。40年前は、電話交換機のワイヤスプリングリレーのばねに線材が多量に用いられていた。しかし、大気汚染の影響で応力腐食割れによるばね折損が発生し、現在ではばねよりも眼鏡のフレームやスプーン、フォークなどに用いられている。強さは、りん青銅よりも大きい。Fig.4は、強圧延した各種銅合金のばね熱処理温度とばね限界値の関係を示す。

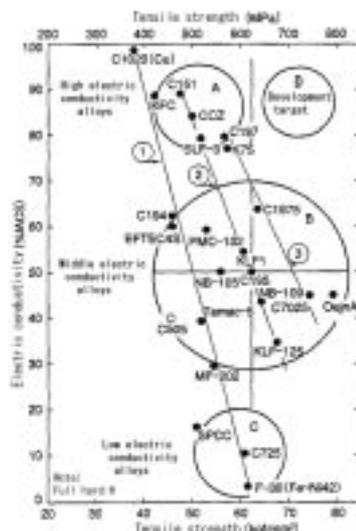


Fig.1 各種銅合金の位置付け

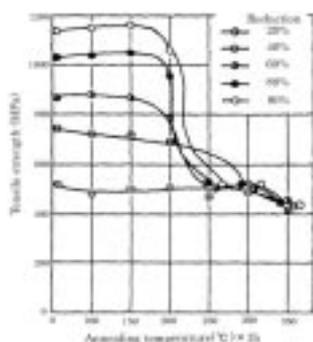


Fig.2 引張強さに及ぼす焼きなまし温度の影響

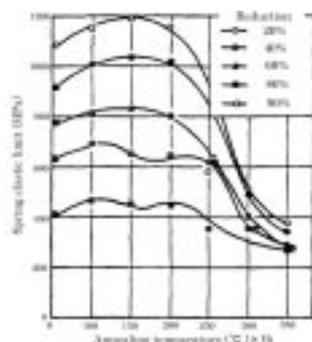


Fig.3 ばね限界値に及ぼす焼きなまし温度の影響

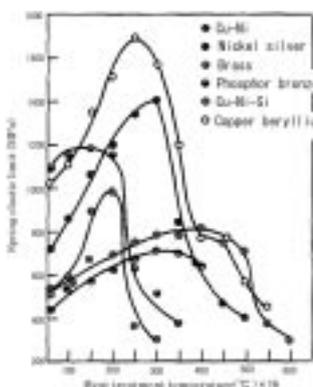


Fig.4 強圧延した各種銅合金のばね限界値

(りん青銅, 板厚: 0.12mm, 90°方向) (りん青銅, 板厚: 0.12mm, 90°方向) (板厚: 0.12mm, 圧延率: 90%)

4. ばね用ベリリウム銅、銅－チタン合金

4.1 ばね用ベリリウム銅

ベリリウム銅は、CuにBeを1.6～2.0%添加した析出硬化型銅合金で、300℃の析出硬化後の引張強さは1000MPa以上を超える。耐食性、耐磨耗性、ばね性などの強さと電気伝導に優れた銅合金である。JISでは、Be1.80～2.00%とBe1.60～1.79%を規定した高強度型ベリリウム銅合金がある。また、Beは比較的高価なことからBe0.3～0.6%の低ベリリウム銅合金(高伝導度型)もある。Table 1にBe-Cu合金の種類を示す。

ベリリウム銅合金は、析出硬化前は軟質であるので複雑な形状、例えばダイヤフラム、ペローなどをはじめ、強さと導電性が要求される継電器、マイクロスイッチ、コネクタ、ソケットなど通信・情報機器、自動車、航空機、宇宙機器などに広く用いられている。また、微小ピッカースの硬さ基準片にも適用されている。

ベリリウム銅合金をばねとして用いるには、必ず析出硬化熱処理を施すことである。Fig.4に示すように析出硬化熱処理後のばね限界値は、鉄鋼に匹敵する。

Table 1 Be-Cu合金の種類

高強度合金	170合金(Be1.7%, Co0.3%)
	172合金(Be2.0%, Co0.3%)
高伝導度合金	175合金(Be0.5%, Co2.5%)
	176合金(Be0.4%, Co1.6%, Ag1.0%)

4.2 銅－チタン合金

銅－チタン合金は、ベリリウム銅合金よりも低価格を狙ったもので、CuにTiを4～5%添加した析出硬化型銅合金である。Table 2にCu-Ti(4.5%)合金の標準特性を示す。

用途は、自動車、通信機器などのコネクタ、マイクロスイッチなどである。

5. 銅－ニッケル合金

銅－ニッケル合金(Cupro nickel alloy)は、完全固溶体で、普通Ni含有量が10、20、30%の3種類がある。Ni量10%以下では銅赤色で、Ni20%で白色になることから白銅と呼ばれている。

特徴は、極めて耐食性がよいので、管、高性能復水器、熱交換器などに用いられている。また、100円玉にも使われている。Table 3に物理的性質を示す。

Cu-Ni合金は、加工性が良いので強加工を施すと強さが増

加するため、米国ではばねに使用されたこともある。我が国では、Ni20%の合金にSiを0.5%添加したCu-Ni-Si合金を析出硬化処理してワイヤスプリングのばねに使用した。

Table3 Cu-Ni合金の物理的特性

特性 合金	比重	電気伝導度 (%IACS)	熱膨張係数 ($\sim 300^\circ\text{C}$ $\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$)	電気抵抗率 ($\mu\Omega\cdot\text{cm}$)	ヤング率 (GPa)	剛性率 (GPa)
CA706(10%Ni-Cu)	8.94	9	17.1	19.1	124	47
CA710(20%Ni-Cu)	8.94	6.5	16.4	26.6	138	52
CA715(30%Ni-Cu)	8.94	4.6	16.2	37.5	152	57

6. 銅－ニッケル－錫合金

6.1 725合金

この合金は、米国で開発されたもので、成分は、Ni9%、Sn2%、Fe0.6%、Zn0.5%、Mn0.3%を標準組成としたものである。この合金は、はんだ付け性、ばね性が要求される電子部品への応用を目的として開発され、リレー、スイッチ、リードフレームに適用されている。

6.2 NB109

この合金は、当社が自動車用コネクタ材料として開発した、Cu-Ni-Sn合金でNi1%、Sn0.9%、残Cuを標準組成とし、Ni、Snの添加量からNB109合金と命名したものである。

Table 4には特性、Fig.5には、NB109、りん青銅、黄銅の試験温度423Kでの応力緩和率線図を示す。図からNB109の応力緩和率は、りん青銅の1/2、黄銅の1/3と小さい。特徴は、りん青銅よりも低価格で、強さと電気伝導度の調和が取れたばね材料である。

Table4 NB109合金の特性

溶融温度 ($^\circ\text{C}$)	比重	電気伝導度 (%IACS,20 $^\circ\text{C}$)	線膨張係数 ($10^{-7}/^\circ\text{C}$,20 $\sim 300^\circ\text{C}$)	ヤング率 (Gpa)	引張強さ (MPa)	ばね限界値 (MPa)
1080	8.9	38	17.0	123	510-600	300-500

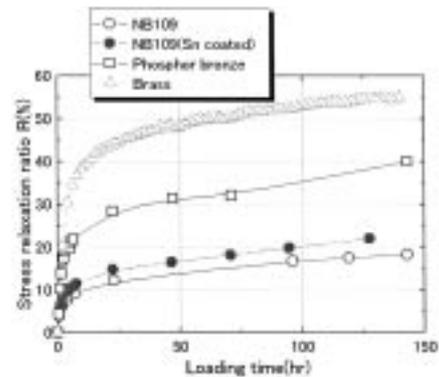


Fig.5 応力緩和率線図

Table 2 Cu-Ti(4.5%)合金の標準特性

質別	硬化処理前			硬化処理後						
	引張強さ (MPa)	伸び (%)	硬さ (HV)	処理条件		引張強さ (MPa)	伸び (%)	硬さ (HV)	ばね限界値 (MPa)	導電率 IACS (%)
				温度 ($^\circ\text{C}$)	時間 (h)					
O	441~539	30<	130~160	485	1.5	784~833	25~30	260~295	637~686	10
1/4H	490~588	10<	170~210	465		833~980	15~25	285~320	735~833	9
H	686~784	—	220~250	400		980~1127	2~5	320~360	1029<	8
EH	833~980	—	250~290	375		1078~1274	2>	360~400	1274<	8