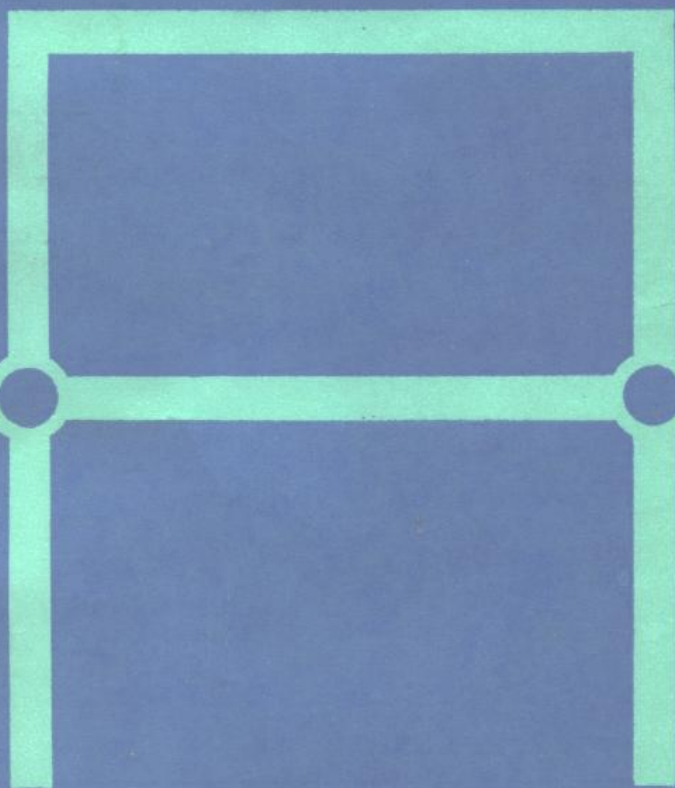


电子金属材料选用指南



冶金工业出版社

电子金属材料选用指南

〔日〕坂本光雄 著

刘茂林 译

律润章 校

冶金工业出版社

内 容 简 介

本书介绍了各种铜合金导体材料、弹性材料、贵金属接点及接触材料、封接材料、磁性材料、复合材料、钎焊料、电阻合金、电镀材料及新型实用铜、镍合金的主要特性及应用范围，以及电气材料的腐蚀现象。这些内容将有助于加强从事电子金属材料的研究、生产和使用的工程技术人员之间的合作与对材料的了解，从而能够更加有效而合理地利用各种电子金属材料。

本书可供从事电子金属材料的研制、生产、设计和使用的工程技术人员使用，也可作为大专院校有关专业师生的参考书。

电子金属材料选用指南

〔日〕坂本光雄 著

刘茂林 译

律润章 校

*

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街嵩祝院北巷99号)

新华书店北京发行所发行

轻工业出版社印刷厂印刷

*

850×1168 1/32 印张 8 1/8 字数 212 千字

1987年3月第一版 1987年3月第一次印刷

印数00,001~3,600册

统一书号：15062·4378 定价2.25元

译者的话

本书的原著者坂本光雄长期从事材料的应用研究，他在本书中从使用者的立场出发，对电气、电子工业领域所使用的金属材料的特性、适用范围、设计要点、使用时注意事项以及有关材料科学发展动向等作了简明的介绍。全书以图表为主，加上文字解说，通俗易懂、便于查阅。

在翻译本书时对原著叙述不够确切之处，根据作者最近提供的资料，作了必要的修正；对不够明确的地方加了译注；将原第十章改为附录。由于译者水平所限，错误在所难免，恳请读者批评指正。

本书由律润章同志校对，翻译过程中得到北京有色金属研究总院贵金属研究组邓安林、林蟠文、孟树昆、姜斌等同志的大力支持与帮助，在此表示感谢。

刘茂林

1983年11月25日

39773

序

随着技术革新的进展，电气、电子装置的应用已经扩大到所有的产业部门，近代电子设备的发展以高可靠性和长寿命为中心展开了激烈的国际竞争。如何通过降低成本来确保制品的经济性已成为电子金属材料发展的关键。

许多金属材料作为重要的结构材料虽然一直广泛地应用于电子设备、通讯装置以及计测仪表为主的精密设备，但是这些设备、装置的制造厂家，对材料部门没有给予应有的重视往往忽视了材料的有效利用。其原因或许是用户对材料特性认识不够，或许是材料制造厂家没有掌握好电气设备用材料的要求以及对供给用户的材料特性缺乏周密的考虑。但是材料的改进和因材施教无论对设计或制品都将产生有益的作用。

作者20余年来站在使用者的立场，对材料的使用进行了研究，深感处于技术革新低潮的今天，通过掌握材料的适用性来有效地利用材料是很必要的。

本书根据日本综合电子出版社的意见，把以前各种场合发表过的有关电子金属材料的技术资料，整理成通俗易懂的数据手册，以图表加解说，以使非专业技术人员也能充分理解，便于查阅。如果此书能对读者有所帮助，将感到分外的高兴。

另外，借此机会对本书所列用的许多文献及书刊的作者深表谢意。

坂本光雄

1977年12月

目 录

第一章 导体材料	1
第一节 纯铜及高铜合金概说.....	1
第二节 纯铜的特性比较.....	4
第三节 高铜合金特性概说.....	5
第四节 铍铜合金的特性.....	9
第五节 铜铁合金的特性.....	10
第六节 实用铜合金概说.....	15
第七节 铜合金其他特性概说.....	29
第二章 弹簧用合金	36
第一节 弹性材料的分类.....	36
第二节 弹性材料的热处理.....	39
第三节 弹性弯曲极限值与硬度.....	46
第四节 弹簧特性的变化.....	48
第五节 耐热性与耐热弹簧材料.....	51
第六节 镍铍合金特性.....	57
第七节 弹簧材料设计要点.....	60
第三章 接点及接触材料——贵金属及其合金	68
第一节 接点及接触材料的分类.....	68
第二节 贵金属的物理性质.....	68
第三节 贵金属合金的物理性质.....	72
第四节 接点材料的表面现象.....	79
第五节 滑动接触材料的表面现象.....	84
第六节 电接点材料的选择与使用.....	86
第七节 滑动接触材料的选择与使用.....	91
第八节 电镀接点.....	95
第九节 滑动接点及设计要点.....	99

第四章 镍及镍基合金	103
第一节 纯镍的种类与特性.....	103
第二节 封接合金的种类和特性.....	105
第三节 封接方式与技术.....	110
第四节 镍铁系软磁合金.....	117
第五节 硬磁及半硬磁合金.....	124
第六节 不锈钢概说.....	125
第七节 电气设备用不锈钢的种类与特性.....	137
第八节 不锈钢的耐蚀性、耐热性、耐氧化性.....	141
第五章 复合材料	152
第一节 复合材料的种类.....	152
第二节 复合材料的特性.....	155
第三节 包层复合材料的基础.....	165
第四节 包复材料的特性(特别是接触弹簧用包复材料).....	167
第五节 包复材料应用指南.....	175
第六章 钎焊合金及电阻合金	178
第一节 钎焊合金概说.....	178
第二节 Sn-Pb系软钎焊合金的种类和特性.....	178
第三节 银基钎焊合金的种类与特性.....	185
第四节 工业用金基钎焊合金的种类与特性.....	189
第五节 电阻材料的种类与特性.....	196
第六节 金系高电阻合金.....	201
第七节 发热体用电阻合金.....	205
第七章 电气材料的腐蚀现象	206
第一节 腐蚀科学的基础.....	206
第二节 腐蚀的一般形态.....	206
第三节 对耐腐蚀性的评价.....	209
第四节 电子仪器、部件材料的腐蚀故障.....	214
第五节 防蚀技术概说.....	214
第八章 电气功能用电镀材料	219

第一节	贵金属的电镀与应用	219
第二节	金合金电镀与应用	220
第三节	锡电镀与应用	221
第四节	锡电镀与须晶	222
第五节	磁性镀层	224
第九章	具有新特点的实用合金	225
第一节	耐热铜铁钴合金 (CA195)	225
第二节	耐氧化的铜铝硅钴合金 (CA638)	227
第三节	低价格铜铝钴锌合金 (CA688或S23)	232
第四节	高性能镍钹合金 (440合金)	235
第五节	斯皮诺达尔分解型铜镍铬合金 (CA719)	238
附录		243
参考文献		249

第一章 导体材料

第一节 纯铜及高铜合金概说

1. 表1.1示出了具有代表性的纯铜及高铜合金的物理性质。高导电的纯铜大致分为无氧铜 (OFE) 和含氧的韧铜 (ETP) 两类。高铜合金是指含铜量低于99.3%，高于96%而又不属于其他种类的铜合金。

2. 作为导体材料，最重要的性质是电阻率。1923年由设在罗马的国际电气工业委员会所规定的标准软铜的电阻率为1.7241微欧·厘米。通常导电率的表示方法是將这种国际标准软铜的导电率作为100%，其他材料的导电率和它进行比较，以“%IACS”单位来表示。

3. 通常工业上所使用的纯铜除无氧铜、韧铜外，还有脱氧铜。由于在生产脱氧铜时使用脱氧剂，因而微量的脱氧剂残留于铜内，使导电率有所下降，但它的优点是含氧量少，不发生氢脆，并且价格低廉。

4. 图 1.1 示出了杂质含量对纯铜电阻率提高的影响。由图可知，铜中含有微量杂质时，多数杂质元素都会使导电率显著下降。

5. 高铜合金，其导电率较高，并且与纯铜相比，是一种强度高的合金或者耐热性好的合金。为了能改善耐热特性又不致降低导电率，可在固溶体成分范围内添加使电阻率增加较少的元素。

6. 上述添加元素在添加量的范围内和铜发生固溶，并且根据两者原子半径差的大小可以推测出对耐热性的影响。即两种原子半径比愈大的金属组成的合金，其固溶体的再结晶温度就愈高，就能提高耐热性。

7. 表1.2示出了铜的添加元素及其影响。银是最常用的元

表 1.1 纯铜及高铜合金的组成和特性

特 性	CA101	CA110	CA113	CA150	CA162	CA172	CA194	CA195
	(ORE) 99.99Cu	(ETP) 99.90Cu	(STP) 99.90Cu 0.027As	(Zr-Cu) 99.80Cu 0.10~ 0.20Zr	(Cd-Cu) 99.80Cu ^① 0.70~ 1.20Cd	(Be-Cu) 99.50Cu ^② 1.80~2.0Be 0.2~0.3Co	(Fe-Cu) 97.0Cu 2.1~2.6Fe 0.20Zn	(Fe-Co-Cu) 97.0Cu 1.3~1.7Fe 0.6~1.0Co 0.4~0.7Sn
密度 (克/厘米 ³)	8.91	8.91	8.89	—	—	8.26	8.80	8.91
熔点 (°C)	1,065~1,083	1,065~1,083	~1,082	—	—	871~982	~1,089	—
导热率 (卡/厘米·秒·°C)	0.93	0.93	0.93	0.82	—	0.26~0.31	0.625	0.455
热膨胀系数~300°C (×10 ⁻⁶ /°C)	16.5	17.7	17	19.5	—	17	16.3	17.0
电阻率 (微欧·厘米)	1.72	1.73	1.76	—	—	7.8~5.7	2.65	—
导电率 (%IACS)	102	100	98	90	—	22~30	65	50
比热 (卡/克·°C)	0.092	0.092	0.092	—	—	0.10	—	—
弹性模量 (公斤/毫米 ²)	12,400	11,900	12,650	13,090	—	13,400	12,300	13,000
刚性模量 (公斤/毫米 ²)	—	3,930	4,220	—	—	5,100	—	—

注：表中数值为20°C时的值。
①②均为Cu与主成分的合计。——译者

素，添加少量银就能提高耐热性而不致使导电率下降。

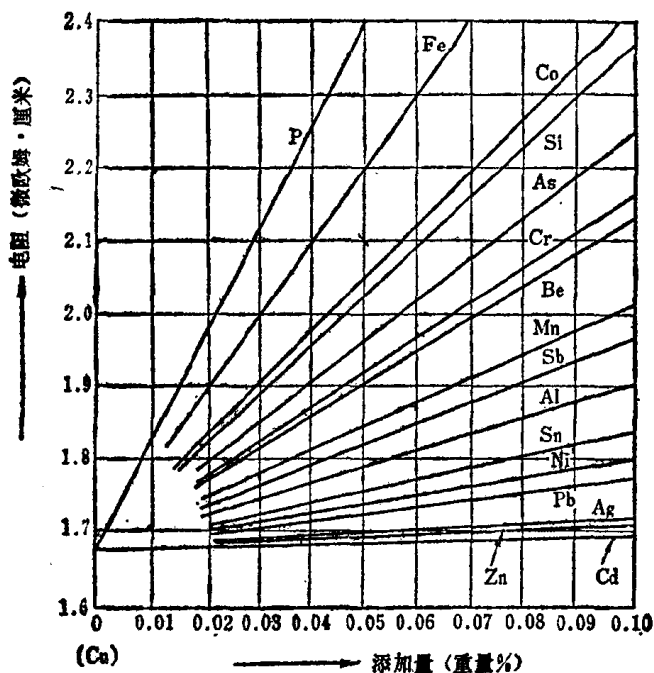


图 1.1 添加元素对纯铜 (OFE) 电阻的影响
OFHC—无氧铜 ETP—电气铜

表 1.2 铜的添加元素及其影响

元 素	固 溶 度 (20℃, 重量%)	$\frac{R_{杂质}}{R_{铜}}$ (%) ①	电阻率的增加② (微欧·厘米/10ppm含量)
Ag	0.1	113	0.00020
Al	9.4	112	0.00225
Be	0.2	89	0.00451
Cd	<0.5	122	0.00016
Cr	0.03	101	0.00481
Ni	100.0	99	0.00135
P	0.5	134	0.01323
Si	3.0	119	0.00687
Sn	1.2	132	0.00155
Zn	30.0	109	0.00034
Zr	≈0	124	—

① R为原子半径；② 1ppm = 百万分之一。——译者

第二节 纯铜的特性比较

1. 无氧铜与韧铜在机械性质上的基本差异是无氧铜具有单相的性质，韧铜则是铜和氧的两相系，而氧通常以铜的氧化物夹杂的形式存在。在变形时这种氧化物夹杂的存在起导致应力集中的空穴的作用。

2. 另一方面，无氧铜因无氧化物夹杂，同时又因它有很高的韧性，所以具有良好的冲击强度和疲劳强度。而韧铜经过加工，其中铜的氧化物粒子完全与空洞一样，使实际有效断面面积减少，无氧铜则不存在这个问题。

3. 美国麻省理工学院的Backofen等人按下式计算应力破坏时空洞和夹杂物的影响。

$$\epsilon_f = \ln \frac{A_0}{A_f} = \ln \frac{n \cdot W}{n \cdot a} = \ln \frac{1}{\frac{a}{W}} = \ln \frac{1}{\rho} \textcircled{\bullet}$$

式中 ϵ_f ——破坏变形量；
 A_0 ——原始面积；
 A_f ——最终面积；
 a ——空洞面积；
 W ——断面完整部分的面积；
 n ——空洞与粒子数；
 ρ ——粒子密度。

4. 韧铜的加工硬化率大于无氧铜，但因韧性差异，无氧铜冲击强度较韧铜高。

如图1.2所示，各种纯铜的冲击特性有显著差别，即使同是韧铜，其冲击强度也随 Cu_2O 含量的增加有急剧下降的倾向。

①原书为 \ln ，系 \ln 之误。——译者

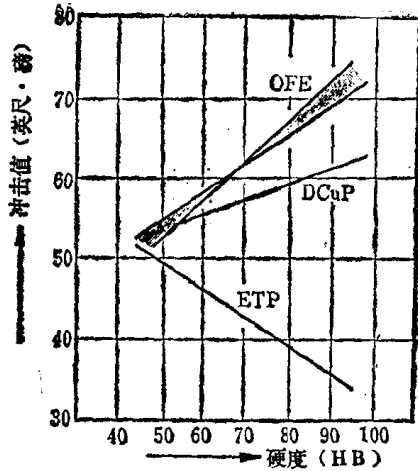


图 1.2 各种纯铜的冲击值和硬度的关系
 OFE—无氧铜；DCuP—磷脱氧铜板；ETP—韧铜

5. 图1.3与图1.4示出了冷加工度对温度特性的影响。共同的规律是抗拉强度随冷加工度大小成比例地增加，相反，其再结晶温度则与冷加工度大小成反比，向低温一侧移动。这一现象说明对材料进行退火时必须注意根据材料状态来确定软化退火的温度。例如，对1/4H材和EH材^①使用同一温度和相同的退火时间的话这时如果前者的硬度合适，则后者就过软。

6. 关于延伸率，在经平整光轧后(冷加工度10%以下)最易出现晶粒粗大的延伸现象。

第三节 高铜合金特性概说

1. 在固溶度范围内添加元素的影响，如表1.2所示。最常用的银的添加量与耐软化特性^②的关系，如图1.5所示，随着银含量的增加耐热性相应提高。但是导电率则随银含量增加而下降，当加工率低于60%时，导电率几乎不受加工影响。

① 1/4H和EH分别表示不同冷变形度的加工材1/4硬度和特硬质状态。——译者

② 这里耐软化特性是指软化温度(再结晶温度)而言的。——译者

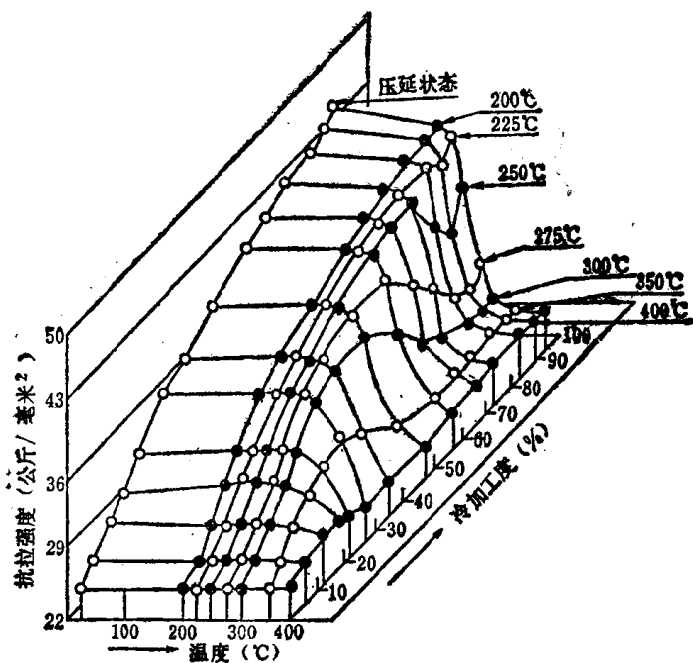


图 1.3 纯铜 (OFE) 的加工度与温度特性 (抗拉强度)

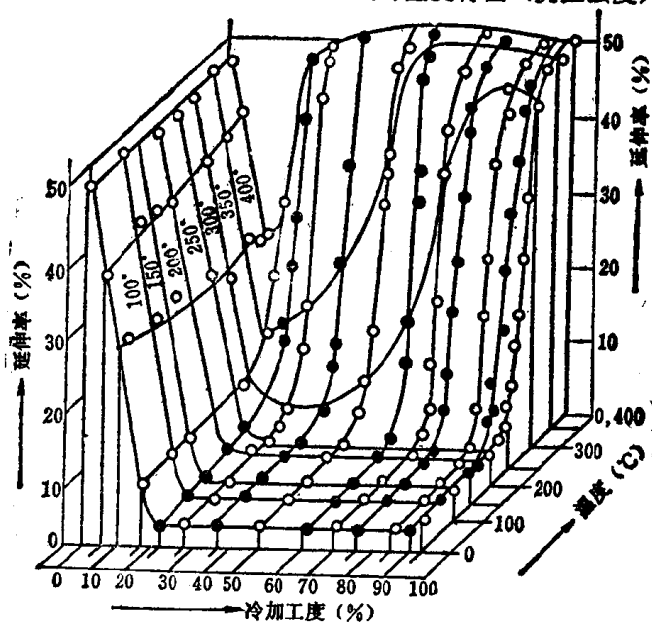


图 1.4 纯铜 (OFE) 的加工度与温度特性 (延伸率)

2. 因此，如果以提高抗拉强度为目的，通常添加银0.5%左右，加工率控制在60%以下，所得到的300℃下的耐热强度值可为纯铜的1.3倍，而导电率只减少5%左右。

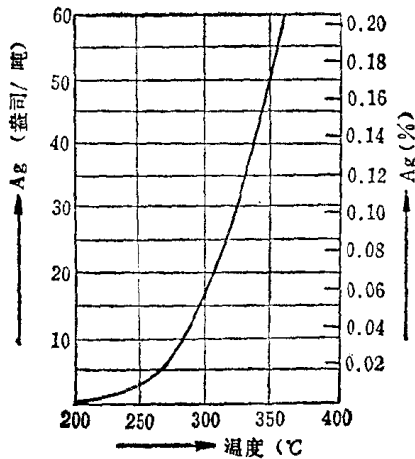


图 1.5 纯铜 (OFE) 中银的添加量与再结晶温度的关系

3. 图1.6表示无氧铜和添加银的无氧铜改变蠕变速率时的蠕变强度。一般无氧铜、韧铜，通过冷轧后其蠕变强度都增加，但另一方面也产生了因冷轧而使再结晶速度加快的缺点。添加银时由于再结晶温度上升，高温下的蠕变速率下降，这一现象可由图中清楚地看出。

4. 一般为了提高铜系合金的耐热性，首先是添加少量的银，而当要求更高温度时，则使用其他添加元素。若将这些结果进行归类表示，则如图1.7所示。

5. Cd-Cu合金是添加约1% Cd的铜合金，利用低温退火可以提高强度而导电率降低不多，其耐软化特性与Ag-Cu合金大致相同（镉由于公害现在不太使用）。

6. 时效硬化后Zr-Cu合金的导电率达90~95%，与Ag-Cu合金相近，而且再结晶温度在500℃以上，与Cr-Cu合金相同。最近，例如电镀存储器芯线有时要求耐热700℃以上，针对这种情况，研制出了微粒弥散型合金。

Cu-Al₂O₃合金是最一般的合金。最近已研制出铈氧化物弥散的Cu-ZrO₂合金,这是一种在高温下应力松弛特性优良,同时经济性和其他特性等都良好的技术经济效果优良的合金,已使用于架空连线。图1.8表示这类合金的特性。微粒弥散型合金将在后面复合材料一项中详述。

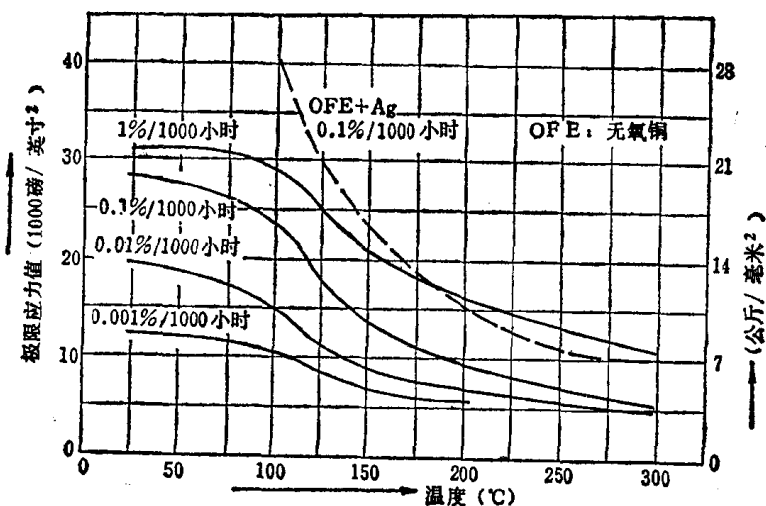


图 1.6 纯铜 (OFE) 的温度和应力值极限的关系

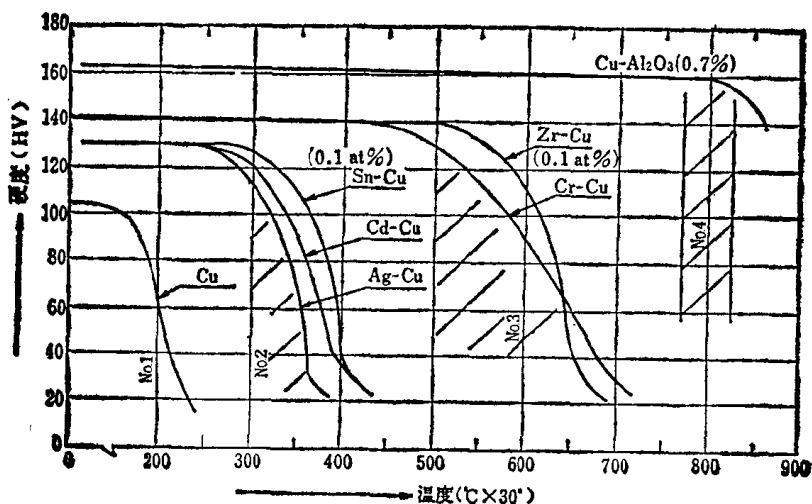


图 1.7 导电的高铜合金的耐热性分类

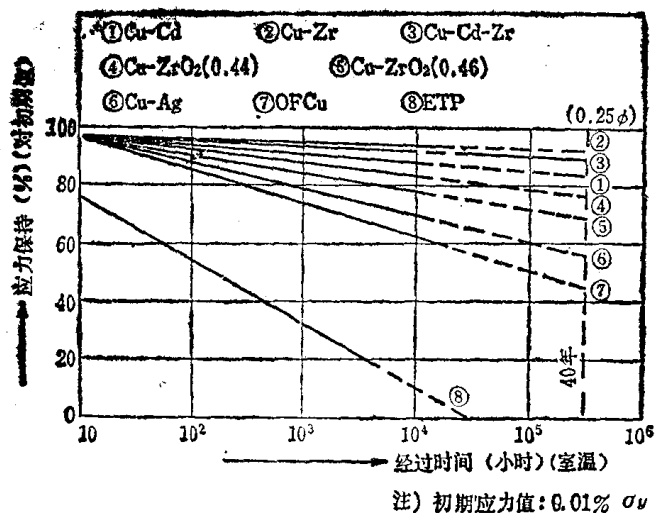


图 1.8 93°C时应力松弛特性比较
初期应力值为0.01% σ_v

第四节 铍铜合金的特性

1. 在铜中添加铍使铜系合金呈现显著析出硬化特性。在Be-Cu相图中，铍对铜的固溶度因温度而显著不同，在864°C左右时为2.1%，400°C时为0.4%，常温时则为0.2%以下。因此，根据高温下Cu能够固溶多量的Be，而随着温度下降，其固溶度减少的现象，通过对Be-Cu合金进行急冷（固溶处理）和其后的加热（时效硬化处理）使过饱和的铍以Cu-Be化合物的形式析出而发生硬化现象。

2. Be-Cu合金有以下几种，即：

(1) 高强度合金

170合金 (1.7%Be, 0.3%Co)

172合金 (2.0%Be, 0.3%Co)

(2) 高导电合金

175合金 (2.5%Co, 0.5%Be)

176合金 (1.6%Co, 1.0%Ag, 0.4%Be)