

‘銅及び銅合金’

日本 森永卓一著

共立出版株式会社1955年第一版

*

銅及銅合金

金宪真譯 刘雅庭校

*

国防工業出版社出版

北京市書刊出版業營業許可證出字第074号

国防工业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

*

850×1168 $1/32$ 印張 $4\frac{11}{16}$ 119千字

1963年5月第一版 1963年5月第一次印刷 印数: 0,001—3,250册

統一書号: 15034·619 定价: (10-4)0.85元

目 录

第一章 銅	5
§1 銅的規格和使用量	5
§2 无氧銅	6
§3 銅的各种性质	11
第二章 銅及銅合金概論	12
§1 一般說明	12
§2 α 銅固溶体	16
§3 溶解度曲綫与第二組織	18
§4 杂质的影响	20
§5 时效硬化	26
§6 β 相的共析轉变	28
第三章 熔化及鑄造	30
§1 熔化法	30
§2 鑄造法	33
§3 連續鑄造法	38
§4 去鉛法	44
第四章 压延	46
§1 压延及压延装置	46
§2 冷压延的各种問題	53
§3 板材的方向性	59
§4 連續測厚法	61
第五章 压挤	63
第六章 制綫	66
第七章 拉伸	68
第八章 热处理	73
§1 基本型的热处理	73
§2 应力时效	74
§3 再結晶与二次再結晶	76

§ 4 扩散	78
§ 5 抑制結晶成长及退火脆性	79
§ 6 低溫退火	80
§ 7 光亮退火	82
§ 8 紅銹	85
第九章 銅合金各論	87
§ 1 黃銅	87
§ 2 无錫硅青銅	93
§ 3 磷青銅	95
§ 4 鋁青銅	98
§ 5 鉍青銅	103
§ 6 銅-鎳合金及对本合金添加鋁或錫的合金	107
§ 7 洋白銅	109
§ 8 銅-鎳-硅系合金	113
§ 9 其他的銅合金	115
第十章 导电用銅合金	119
附表	122
附录 日本工业規格摘录	126

銅 及 銅 合 金

森 永 卓 一 著

金 宪 真 译 刘 雅 庭 校



‘銅及び銅合金’

日本 森永卓一著

共立出版株式会社1955年第一版

*

銅及銅合金

金宪真譯 刘雅庭校

*

国防工業出版社出版

北京市書刊出版業營業許可證出字第074号

国防工业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

*

850×1168 $1/32$ 印張 $4\frac{11}{16}$ 119千字

1963年5月第一版 1963年5月第一次印刷 印数: 0,001—3,250册

統一書号: 15034·619 定价: (10-4)0.85元

目 录

第一章 銅	5
§1 銅的規格和使用量	5
§2 无氧銅	6
§3 銅的各种性质	11
第二章 銅及銅合金概論	12
§1 一般說明	12
§2 α 銅固溶体	16
§3 溶解度曲綫与第二組織	18
§4 杂质的影响	20
§5 时效硬化	26
§6 β 相的共析轉变	28
第三章 熔化及鑄造	30
§1 熔化法	30
§2 鑄造法	33
§3 連續鑄造法	38
§4 去鉛法	44
第四章 压延	46
§1 压延及压延装置	46
§2 冷压延的各种問題	53
§3 板材的方向性	59
§4 連續測厚法	61
第五章 压挤	63
第六章 制綫	66
第七章 拉伸	68
第八章 热处理	73
§1 基本型的热处理	73
§2 应力时效	74
§3 再結晶与二次再結晶	76

§ 4 扩散	78
§ 5 抑制結晶成长及退火脆性	79
§ 6 低溫退火	80
§ 7 光亮退火	82
§ 8 紅銹	85
第九章 銅合金各論	87
§ 1 黃銅	87
§ 2 无錫硅青銅	93
§ 3 磷青銅	95
§ 4 鋁青銅	98
§ 5 鉍青銅	103
§ 6 銅-鎳合金及对本合金添加鋁或錫的合金	107
§ 7 洋白銅	109
§ 8 銅-鎳-硅系合金	113
§ 9 其他的銅合金	115
第十章 导电用銅合金	119
附表	122
附录 日本工业規格摘录	126

第一章 銅

§1 銅的規格和使用量

日本工业規格H2101 (1950) 規定銅的規格如表1。

表1 日本工业規格規定的純度

种 別	化 学 成 分 (%)						
	Cu	As	Sb	Bi	Pb	S	Fe
1号銅	>99.94	<0.003	<0.01	<0.005	<0.005	<0.010	<0.01
2号銅	>99.85	<0.003	<0.01	<0.005	<0.005	<0.010	<0.01
3号銅	>99.60	<0.03	<0.03	<0.02	<0.02	<0.015	<0.02
4号銅	>99.30	—	—	—	—	—	—

銅 (Cu) 的成分是用电解法定量，規定 Ag 含量算入 Cu 成分之內。1号銅是剛电解的电解銅 (即指尙未熔成銅錠的銅)。2号銅是重熔电解銅鑄成的銅錠。3号銅是用干式冶炼法所得的精制銅錠。4号銅是用廢料再制的銅錠。4号銅或廢料銅材加工厂●的主要原料。1943年美国生产的再生金屬数量按廢料种类分类示于表2。

表2 再生金屬量 (1943)

新 廢 料 (吨)		旧 廢 料 (吨)	
Cu基	643623	Cu基	425264
Al基	13348	Al基	1664
Ni基	1555	Ni基	409
Sn基	—	Sn基	184
共	658526	共	427521
总 共	1086047		

● 日本所謂銅加工厂，包括拉制鋼絲，压延或压制銅板，銅条和銅管等的工厂。——譯者

按使用工厂类别再生金属的使用量示于表3，大部分再生金属被铜加工厂使用。日本月产铜加工品约7000吨，其中约四分之三是使用再生原料或废铜。

表3 各种工厂再生金属使用量

使用工厂	使用量 (吨)
铜加工厂	912782
钢铁工厂	1021
轻合金工厂	19396
化学工厂	13019
其他合金工厂	1946
冶炼工厂	122464
其他工厂	15419
总 共	1086047

表4是1947年至1952年9月日本的铜材生产量与原料消费的变化状况。

表4 1947~1952年9月铜材生产量和原料消费量

年 度	铜材生产量		青 铜	合 计	原料消费量				合 计
	铜系	黄铜系			电解铜	锌	废铜	黄铜 废料	
1947	11710	40495	1110	53315	10668	10308	14748	36636	72360
1948	14962	48501	1647	65110	11412	11052	21048	49308	92820
1949	14962	54526	1838	71056	8052	7212	29004	59724	103992
1950	17089	53921	2079	73089	4692	5028	43404	66048	119172
1951	22362	59648	2687	84697	19392	8628	38388	67860	134268
1952 1~9月	17130	47242	1402	65774	15384	8635	27883	53523	105425

§2 无氧铜 (OFHC)

普通电解铜的纯度约为99.95%左右，其中含氧(O₂)量约为0.03~0.05%。然而如图1铜-氧(Cu-O)系合金状态图所示：当含有0.4%O₂时，在1065°C为共晶点。而铜(Cu)内所含的氧(O₂)就成为氧化亚铜(Cu₂O)。上述的含氧量正相当于

0.27~0.45%的氧化亚铜，它存在于晶界，损害各种性能。为了使电解铜成型，须进行熔化，重熔时因铜被氧化而增加氧化亚铜的浓度。为除去氧采用鲜木搅拌还原法（Poling）。一般是在氧化反应终了时进行搅拌，使残留的二氧化硫（SO₂）与熔液内的氧化亚铜同时减少，然后进行铸造。因这些操作皆在空气中进行，不免再由空气中吸收氧，所以为了满足工业上的需要，必须再行脱氧操作。但是经过鲜木搅拌还原法完全脱氧后，熔铜中的氮（N₂）和氢（H₂）势将增加，这是我们所不希望的。图2所示即为熔铜中的氧与氢的关系，当氧减至0.05%以下时，熔铜中的氢即由0.00004%急剧增加。氢的增加是因铸铜发生气孔和氢脆病（Hydrogen shortness），而且由于熔铜中气体含量的增加，有使炉渣中的锑（Sb）和砷（As）返回熔铜中而发生脆化的危险。另一方面，也考虑到一般使用的脱氧剂是磷（P），虽然磷能使含氧量减到0.01%左右，但要除尽残留的磷是有相当困难的；并且因为残留的磷对于铜的导电性很有害，所以在制造导电性材料时，用磷脱氧是不适当的。

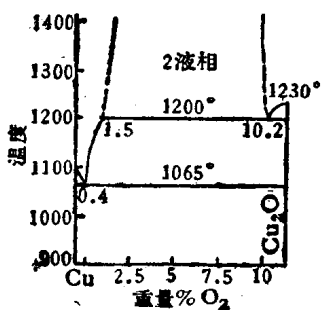


图1 Cu-O系状态图。

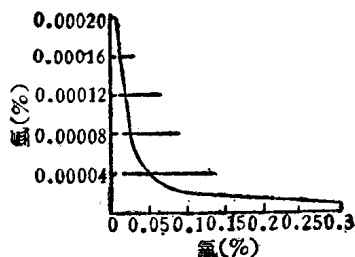


图2 熔铜中O₂量与H₂量的关系。

如上所述，为了除去熔铜中的氧、氮和氢，单用以前的除气体方法，是不易解决的。但自无氧铜（OFHC 即 Oxygen Free High Conductivity Copper）的制造法确立以后，已得到初步解决。

这个方法是在1932年由 U. S. Metals Refining 公司实行

的。即以木炭末还原熔融铜中的氧化亚铜，而且在鑄造完毕前不使与空气接触，可以说这是把潑尔西（Percy）法应用于工业生产中的一种方法。其装置的概略示于图 3。

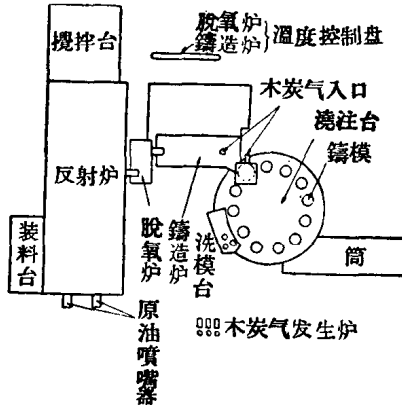


图 3 潑尔西法。

此法是将电解铜装入柴油反射炉，待熔化后进行脱氧，并使氧化亚铜量不超过0.27~0.47%以上。此項操作須連續进行，熔融铜(1150°C)就通过用木炭遮断空气的耐火材料所制成的通道，而流入脱氧炉。这种脱氧炉也是用木炭末填满，当熔铜通过木炭层中，就能将所含的氧消除。同时，并将发生炉的木炭气导入炉内，使完全遮断熔铜与空气的接触。其次，将经过脱氧的熔铜导入鑄造炉内，在炉的入口、出口和澆注口也都导入木炭气使与空气完全遮断。鑄模是水冷式竖模，装置于旋轉澆鑄台上，随着台的旋轉，逐次的进行澆鑄。此項設計使熔铜通过各部分时，都能受到发生炉的木炭气的保护。該公司从1942年以后，将图3的设备改造成成为图4所示的电炉熔炼法。此法是将电解铜于特殊的低频率电炉内熔化，在随时能够调节的还原气中进行澆鑄。这种电炉是有2个炉身，炉底部是用3个变流器接联，熔铜流过其中，即熔铜通过变流器中的导管从一方流入他方。因炉体是按放在如图4所

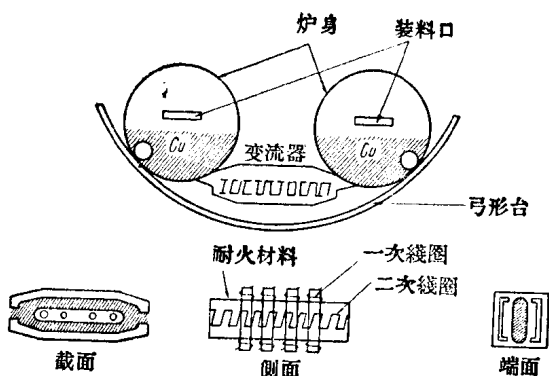


图4 經改造的潑尔西法。

示的弓形台上，只要将台傾斜，熔銅就能随着傾斜方向流动。加热方法是在一次綫圈通电后，在感应沟还流的熔銅即起二次导体作用，于是在熔銅比較小的截面上所起的感应电流就能发生热而熔化电解銅。熔銅被导入鑄造炉，用威尔布兰特·貝那得 (Weiblund Benard) 連續鑄造机鑄成銅錠。

以上述方法鑄成的銅錠，其組成成份如表5所示。

表5 (%)

銅	氧	錫	砷	鎳	鉻	鐵	鉛
99.98	0.0000	0.0028	0.0008	痕迹	0.0000	0.0015	0.0004
鎳	磷	硒	硅	銀	硫	碲	合計
0.0016	0.0000	0.0020	0.0015	0.0020	0.0025	0.0011	99.9962

經显微鏡檢查无氧銅与普通銅不同之点即在于不含有氧化亚銅。普通銅如在还原气中加热到 400°C 以上，就发生所謂氫脆病，即发生裂紋及小气泡而有脆性。但无氧銅就沒有这种缺点。将冷拉銅綫在各种溫度退火，它的拉力强度、延伸率、断面收縮率和晶粒度示于图5。

軟化溫度：无氧銅較普通銅約高 100°C。断面收縮率：普通

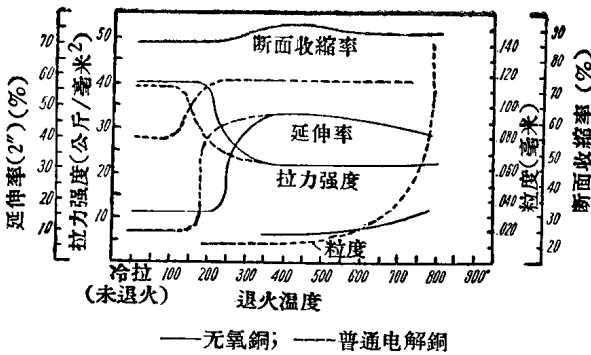


图5 无氧铜与普通铜各种性质的比较 (I)。

铜为73%，无氧铜为90%。晶粒度：电解铜由接近750°C处急剧增大，普通铜在800°C时，仍是直线地增加[●]。无氧铜与普通铜的常温加工率对各种性质的影响示于图6。两种铜的拉力强度

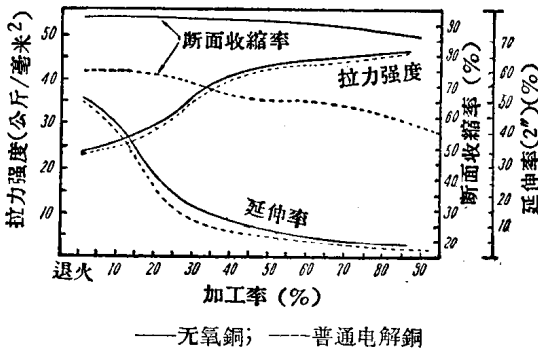


图6 无氧铜与普通铜各种性质的比较 (II)。

与延伸率无大差别，加工率到30%时，拉力强度增长，而延伸率急剧减低。如加工率超过30%，这些倾向虽也相同，但其增加和减少的比例转缓些。而断面收缩率有显著的差别，在退火状态，其相差额在10%以上，以后，随着加工率的增加，差额也增大。当加工率为90%时无氧铜的断面收缩率为87%，而普通铜为56%，由此可见，无氧铜具有优良的冷加工性能。

● 此处文字与图有矛盾，译者是按原文译的，校者是按图改的。——校者

§3 鋼的各种性质

1 物理性质

原子量	63.57	
原子体积	7.11厘米 ³	
結晶构造	面心立方晶格	
	$a = 3.60758 \text{ \AA}$	
比重 (20°)	8.923 (X射綫)	8.94 (实测)
	1083°C (固体)	8.32
	1083°C (液体)	7.93
綫膨脹系数	$16.5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$	
熔点	1083°C	
沸点	2360°C	
比热	退火材 0.0926 卡/克°C	
	拉制綫材 0.0938 卡/克°C	
熔化潜热	50.6卡/克	
熔化时容积变化	4.05 %	
导热系数 (20°C)	0.923卡/厘米·秒·°C	
硬度 (摩氏)	3.0	
比电阻 (20°C)	1.683×10^{-6} 欧姆厘米	
	1.724×10^{-6} 欧姆厘米 (市售鋼)	
	1.56×10^{-6} 欧姆厘米 (自然結晶鋼)	

2 机械性质 鋼的机械性质，是根据杂质含量，热处理和加工等处理状态的不同，而有极大的变化。今将二三研究者用1号銅所做軋制材的退火試驗結果，列举如下：

拉力强度	22.7~24.1 公斤/毫米 ²
延伸率	49~60 %
断面收縮率	93~70 %
俟佐冲击值 (Izod)	5.8 公斤-米
疲劳极限	±8.5 公斤/毫米 ²
彈性系数	12100~12300 公斤/毫米 ²
波桑比 [●] (Poisson's ratio)	0.33±0.01

● 对同样直径的棒，进行拉伸或压缩，今以棒的轴向的单位长的拉伸度为 α ，而以徑向的压缩度为 β ，則 $\sigma = \beta/\alpha$ ，此 σ 根据物质的种类为常数，名为波桑比。——譯者

3 化学性质 銅在常溫干燥空气中，表面不生变化，若放在二氧化碳（ CO_2 ）气体中，表面就变成綠色的碱性碳酸銅。因水也含有二氧化碳气体，所以浸于水中，也与放在空气中呈同样现象。对氨（ NH_3 ）盐的水溶液虽比較强，如放在氧或其他氧化力較强的物质中，就要被溶解。即如氧化力强的硝酸（ HNO_3 ）就能使之溶解。如有氧存在时，根据上述理由，稀盐酸和稀硫酸也能溶解。含有杂质少而且充分去氧的純銅就有相当强的耐蝕性，可用作化学工业的材料。

第二章 銅及銅合金概論

§1 一般說明

銅合金是以銅为主体，按照用途添加适量的其他金屬元素所制成。銅合金具有良好的高溫及低溫加工性，易于焊接及鈎焊，而且具有良好的导电性、导热性和耐蝕性，是人所共知的有用合金。但此类合金的有用的性质，大多数由于它是固溶体，而固溶体的性质又是以銅的特性为基础的。但上述性质往往能發揮从組成金屬的性质所不能推定的特性，但这应认为是特例。为了保持銅所具有的特性，必須不降低它的展延性、导电性、导热性和耐蝕性等，并在銅中添加与銅能成为固溶体的金屬元素，以补充其过于柔軟的缺点，使成为强韧的合金，同时还必須改善其耐蝕性。

根据上述想法已做出了很多种銅合金。在論述实用合金問題以前，因为銅有不同的用途，在杂质含量及其他問題上要受到一定限制，今將銅在用途上所受的限制，总括示于表6。

真空管材料有两种，其一是用显微鏡檢查认为沒有氧化亚銅的无氧銅。印刷用銅板有两种：第一种是照相凸板用的；第二种是照相凹板用的，两种都以表面平滑为重要条件，而且各部的质量必須一样，受蝕性均匀。焊接第一种及第二种都是經過脫

表 6

用途种类	化 学 成 分 (%)						制品形状
	Cu	Pb	S	O ₂	P	其 他	
真空管用 (普通)	>99.90	<0.005	<0.010	<0.06	—	—	板、棒、綫、管
真空管用 (无氧)	>99.92	<0.005	<0.010	—	—	—	板、棒、綫、管
印刷第一种	>99.3	—	—	—	—	{ Ni<0.2 Ag<0.1 Cd<0.5	板
印刷第二种	>99.5	—	—	—	—	—	板
焊接第一种	>99.9	—	—	—	0.001~ 0.0030	—	板、管
焊接第二种	>99.5	—	—	—	0.001~ 0.0040	—	板、管
印染銅輓用	余量	0.01~ 0.10	—	0.01~ 0.07	—	{ Ni<0.10 As0.02~ 0.04 Fe<0.30	管
一般用	>99.5	—	—	—	—	—	板、条、綫、棒 板
	>99.0	—	—	—	—	—	

氧处理,磷的殘留量极少,所以得到沒有氢脆病的具有优秀焊接性能的材料,印染輓用的銅管須有适当的硬度和容易雕刻,所以添加鉛(Pb)、鎳(Ni)及砷(As),并使殘留少量的鉄(Fe)及氧(O₂)。

銅合金按照日本工业規格(JIS)的分类示于表7。

茲按照用途种类說明表7如下:黃銅板主要用于仪表类及家庭用具等;黃銅帶用作深冲用材料;黃銅圓綫用于金屬网;黃銅管用于家俱类和热交換器。此等用途,只限于用第一种和第二种黃銅。一般用的鍛造零件使用第三种黃銅,其杂质含量,限定鉄(Fe)、錫(Sn)、鉛(Pb)之和在3.5%以下。鉛黃銅又称为易切削黃銅,有第一种、第二种和綫,这种黃銅有良好的机械加工性能、成形性及耐蝕性等特长。海軍黃銅主要在制造凝結器及船舶零件方面有广大用途,在成分上与第一种凝結器用黃銅相似;不过后者含銅量高,杂质限量比前者低。丹銅也是一种黃銅,含銅量較高,杂质鉄(Fe)、鉛(Pb)的限量与第一种黃銅相同,可充作深冲

种 类	化 学 成				
	铜	锌	铅	铁	锡
第一种黄铜	68.0~72.0	余量	<0.10	<0.50	—
第二种黄铜	63.0~67.0	余量	<0.20	<0.50	—
第三种黄铜	58.0~62.0	余量	<0.30	<0.80	—
第一种铅黄铜	57.0~62.0	余量	0.3~1.5	<1.5	
第二种铅黄铜	57.0~62.0	余量	1.5~3.0	<1.5	
海軍黃銅	61.0~64.0	余量	<0.10		0.7~1.5
丹 銅	89.0~91.0	余量	<0.10	<0.50	—
第一种高强黄铜	56.0~61.0	余量	<0.10	<1.0	<1.0
第二种高强黄铜	56.0~60.0	余量	<0.10	<1.0	<1.5
第三种高强黄铜	55.0~59.0	余量	<0.10	<1.5	<1.0
无錫硅青銅	余量	14.0~16.0	<0.5		—
特殊鋁青銅	余量	—		2.0~5.0	—
第一种凝結器用黃銅	69.0~72.0	余量	<0.60		1.0~1.5
第二种凝結器用黃銅	76.0~80.0	余量	<0.65		—
第三种凝結器用黃銅	77.2~80.0	余量	<0.65		—
硅 青 銅	余量	—	<1.0		0.5~1.5
彈簧用磷青銅	余量	—			7.0~9.0
第一种磷青銅	余量	—	<0.6		2.0~5.0
第二种磷青銅	余量	—	<0.6		5.0~7.0
第一种洋白銅	70.0~75.0	余量	<1.5		
第二种洋白銅	61.0~67.0	余量	<1.5		
第三种洋白銅	59.0~65.0	余量	<1.5		
第四种洋白銅	62.0~68.0	余量	<1.5		
彈簧用洋白銅	54.0~58.0	余量	<0.1	<0.35	