

鋼及鋼合金焊接

廖中平 尹嘉慶 李國雄 編

铜及铜合金焊接

浙江省工业设备安装公司 编

内 容 简 介

本书以总结焊工的操作经验为主,介绍铜及铜合金的气焊、碳弧焊及电焊的操作技术,对有关焊接的基础知识,铜及铜合金的性能,及其与异种金属的焊接方法也作了介绍,并结合化工生产列举了一些焊接实例。

本书可供化工基本建设安装单位和生产厂矿的焊工学习,也可供技术人员参考。

铜及铜合金焊接

浙江省工业设备安装公司 编

*

化学工业出版社 出版

(北京和平里七区十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

开本787×1092¹/₃₂印张3¹/₄字数70千字印数1-30 650

1979年10月北京第1版1979年10月北京第1次印刷

书号15063·3123定价0.28元

目 录

一、铜及铜合金的性质和用途	1
(一) 工业纯铜(紫铜)	1
(二) 黄铜	4
(三) 青铜	8
(四) 白铜	10
二、气焊	12
(一) 气焊的特点与应用	12
(二) 气焊用的设备及工具	14
(三) 焊前准备	23
(四) 焊接工艺	31
1. 纯铜板材各种位置的焊接	31
2. 管子焊接	38
3. 黄铜焊接	40
4. 青铜的焊接	42
5. 焊后处理	43
(五) 铜及铜合金与异种金属的焊接	43
1. 纯铜与黄铜的焊接	43
2. 黄铜与低碳钢的焊接	44
3. 纯铜与低碳钢的焊接	45
4. 纯铜与铸铁的焊接	45
5. 纯铜与不锈钢的焊接	46
(六) 焊接实例	47
1. 多芯铜线与铜板的焊接	47
2. 糠醛设备铜板衬里	48

3. 红旗牌压缩机注油管的焊接	48
4. 铜制容器的焊接	49
三、碳或石墨电极电弧焊	53
(一) 碳或石墨电极电弧焊的特点及应用	53
(二) 碳弧焊的工具及设备	54
(三) 焊前准备	58
(四) 焊接工艺	65
1. 纯铜板材的焊接	65
2. 铜与异种金属的焊接	76
3. 焊接实例	85
四、电焊	88
(一) 电焊的特点及应用	88
(二) 焊接工具及设备	89
(三) 焊前准备	89
(四) 焊接工艺	93
1. 焊件组对及对引熄弧的要求	93
2. 铜板材平焊	94
3. 铜板材立焊	95
4. 铜板材横焊	95
5. 铜管材固定横焊	96
6. 铜管材转动焊	96
7. 铜管材半固定焊	97
(五) 铜合金的焊接	97
1. 黄铜板材及管材的焊接	97
2. 锡青铜的焊接	97
3. 铝青铜的焊接	98
(六) 紫铜及黄铜焊后清理和热处理	98
(七) 焊接实例	98

一、铜及铜合金的性质和用途

铜及铜合金是工业上重要的金属材料。它们具有良好的导电性、导热性、延展性和优良的低温机械性能；在非氧化性酸中耐腐蚀。铜及铜合金广泛地应用在电力、石油、化工、机械、国防工业、轻工业、农业等部门，它的用途仅次于钢铁和铝。

根据所含的合金元素，铜及铜合金可分工业纯铜、黄铜、白铜和青铜等。铜是比较稀缺的材料，我们在使用时要做到精打细算，节约用料。

(一) 工业纯铜（紫铜）

铜的化学符号为 Cu，原子量为 63.75，色泽呈紫红色，故称紫铜。铜的导电性很高，导热性好，仅次于银；可以焊接和钎焊；耐腐蚀性好。在潮湿空气中铜表面生成黑绿色的碱式碳酸铜，俗称绿锈或铜锈。铜不论在热状态或冷状态下都有非常高的塑性，但机械强度和硬度较低。通过冷加工可以提高铜的强度（一般可达 40~50 公斤/毫米²）和硬度，但此时塑性明显降低（约降低 6%），导电率下降 1~3%。冷加工后的铜经 550~600℃ 退火，可使塑性完全恢复。

纯铜制成各种半成品（管、棒、线、条、带、板、箔等），常用于制造电气设备、化工设备、机械零件等。我国纯铜材料的牌号见表 1-1。

表 1-1 纯铜加工产品牌号、成分和用途举例

组别	牌 号	代 号	主要成分 铜 不小于%	杂质含量, 不大于%				用途 举例
				Bi	Pb	O ₂	总 和	
纯 铜	一 号 铜	T1	99.95	0.002	0.005	0.02	0.05	} 导电用 材料
	二 号 铜	T2	99.90	0.002	0.005	0.06	0.1	
	三 号 铜	T3	99.70	0.002	0.01	0.1	0.3	} 一般用 材料
	四 号 铜	T4	99.50	0.003	0.05	0.1	0.5	
无 氧 铜	一号无氧铜	TU ₁	99.97	0.002	0.005	0.003	0.03	} 真空仪 器仪表 用材料
	二号无氧铜	TU ₂	99.95	0.002	0.005	0.003	0.05	
	磷脱氧铜	TUP	99.5	0.003	0.01	0.01 及P<0.04	0.49	焊接用 材料
	锰脱氧铜	TUM _n	99.6	0.002	0.007	Mn 0.1~ 0.3	0.30	电子管 用材料

1. 纯铜的机械性能和物理性能

比重: 8.9克/厘米³

熔点: 1083℃

沸点: 2310~2360℃

20℃线膨胀系数: 16.5×10^{-6}

20℃导电率: 101.6%

导热系数: 0.923千卡/厘米·秒·度

抗拉强度: 24公斤/毫米²

延伸率: 50%

冲击韧性: 17.9公斤·米/厘米²

布氏硬度: 45

2. 杂质对铜性质的影响

铜的含量最高可达99.999%以上，这种高纯度的铜，一般做为科学研究等用途。普通工程中所用的纯铜含量一般在99.95%以上，其余是杂质。几种主要杂质对纯铜焊接性能的影响如下。

① 铋与铅是纯铜中的主要杂质，它不溶于固态铜中，可使铜的机械性能变坏，会使铜产生热脆性，在焊接过程中而形成裂纹。必须限制铋与铅在铜中的含量，要求铋小于0.002%，铅小于0.005%。

② 磷在固态铜中溶解有限，它能显著降低铜的导电性和导热性，但对铜的机械性质有良好的影响，熔炼时能提高铜的流动性，焊接时可作还原剂，但含量过多，会使焊缝金属产生气孔和裂纹。

③ 硫能溶解在熔融的铜中，硫的存在使铜的熔点降低，形成硫化铜脆性化合物，使铜塑性降低。含硫 $>0.1\%$ 时，铜就会有热脆性，焊接时热状态就产生裂纹。

3. 纯铜的焊接性能

纯铜有较高的导热性（比低碳钢导热系数约大8倍），若加热热源不足，常时间加热也不易使铜熔化。而随着温度的升高，它的结晶组织变为粗大，相互间连接能力降低。尤其在接近熔点时，铜与氧形成氧化亚铜（ Cu_2O ）与铜（ Cu ）的共晶体。这种共晶体又有吸收氢和一氧化碳的能力，生成水蒸汽附着在熔融的金属中，在冷却时由于过多的气体来不及逸出，造成焊缝金属中的气孔和微小的裂纹，这种现象通称为“氢病”。

铜的线膨胀系数大，受热后易产生应力及变形，因此，在焊接过程中或焊后，焊缝处容易出现裂纹现象。

由于铜具有这些特性，焊接时就有必要采取预热和保温，并用较快的速度进行焊接，这样使焊缝金属很快达到熔化温度，不使晶粒粗大。在焊接过程中必要时投入一定数量的还原剂（焊药），便于清除焊缝中氧、氢、一氧化碳、硫等杂质。另外应尽量避免重复加热的焊接方法。一般焊后进行热处理，就可以得到良好的接头质量。

由于铜的流动性好，比重较大，熔化的铜熔液极易流失，故在单面平焊时，应尽量采用垫板。这时焊缝底面可得到均匀充分的焊透。在焊后锤击焊缝及热影响区，可使焊缝金属的紧密性加强，并使结晶组织变细，消除内应力等。

（二）黄 铜

铜和锌的合金叫黄铜（或称普通黄铜）。它的色泽随着含锌量的不同有很大变化。当含锌量为3%以下时呈红色；含锌量为10%时带黄红色；含锌量为15%时呈淡橙色；含锌量为20%时带绿黄色；含锌量为30~35%时呈金黄色；含锌量为55%时呈淡黄色。

黄铜耐腐蚀性高，冷、热加工性能好，焊接性能也较好，机械性能和铸造性能比纯铜好，价格比纯铜便宜。我国黄铜产品以管、棒、板，各种半成品成批供应。它的用途很广，在工业上主要用来制造阀门、热交换设备、轴承等零件。普通黄铜的化学成分及用途见表1-2。

为了改变黄铜的性能也可以加入其它元素如铝、镍、锰等，称为铝黄铜，镍黄铜等，这一类黄铜称为特殊黄铜，见表1-3。下面主要介绍普通黄铜的性能。

1. 黄铜的机械性能和物理性能

比重：8.5~8.85克/厘米³

表 1-2 普通黄铜的化学成分及用途

材 料 名 称	主要成分, %		杂质含量, 不大于%					制 品 种 类	用 途	
	铜 Cu	锌 Zn	铅 Pb	铁 Fe	锡 Sb	铋 Bi	磷 P			总 和
96黄铜	95~97	余量	0.03	0.10	0.005	0.002	0.01	0.2	管	散热器、冷凝器的管道
90黄铜	88~91	余量	0.03	0.10	0.005	0.002	0.01	0.3	板、带、扁、型	奖章、家具、艺术品
80黄铜	79~81	余量	0.03	0.10	0.005	0.002	0.01	0.3	板、带、线	造纸工业用金属网
70黄铜	69~72	余量	0.03	0.07	0.002	0.002	0.005	0.3	条、带	同68黄铜
68黄铜	67~70	余量	0.03	0.07	0.002	0.002	0.005	0.3	板、带、管	弹壳、冷凝器管以及各 工业部门用的其它零件
62黄铜	60.5~63.5	余量	0.08	0.15	0.005	0.002	0.01	0.5	条、板、带、线	散热器、垫圈、弹簧、 各网、螺钉及其它

表 1-3 特殊黄铜的化学成分及用途

材 料 名 称	主 要 成 分 ， %							制 品 种 类	用 途	
	铜 Cu	锌 Zn	铝 Al	锰 Mn	锡 Sn	硅 Si	镍 Ni			铅 Pb
铝黄铜	76~79	余量	1.75~2.5	—	—	—	—	—	板、带、棒、管	海轮冷凝器管，及 其它耐蚀零件
锰黄铜	57~60	余量	—	1~2	—	—	—	—	条、棒	轴承套及其它耐磨 零件
硅黄铜	63.5~66.5	余量	—	—	—	1~2	—	—	板、条管	耐磨锡青铜的代用 品
锡黄铜	69~71	余量	—	—	1~1.5	—	—	—	管	海轮用管材、冷凝 器管
镍黄铜	64~67	余量	—	—	—	—	5~6.5	—	板、带、管	制造压力计管、锡 磷青铜和德银的代用 品
铅黄铜	57~60	余量	—	—	—	—	—	0.8~1.9	板、条、棒、带、线	适于以热冲压和切 削方法制作的零件

熔点：880~1070℃

20℃线膨胀系数 (17~20) × 10⁻⁶

导热系数：约0.3千卡/厘米·秒·℃

抗拉强度：19~38公斤/毫米²

冲击韧性：7~22公斤·米/厘米²

布氏硬度：50

黄铜的机械性能与物理性能随着含锌量的不同而有显著的变化，例如90黄铜熔点是900~950℃而62黄铜的熔点为880℃，而90黄铜抗拉强度为19公斤/毫米²，62黄铜的抗拉强度为30公斤/毫米²，因此黄铜的性能变化大，使用范围广。

2. 黄铜的焊接性能

黄铜在焊接时主要困难是铜合金中锌的蒸发(锌在906℃时开始蒸发)，由于锌的蒸发，容易产生多气孔的焊缝。为了减少锌的蒸发，焊接时应尽可能采用快速度，这就要求加大热源的热量，但热量的增大又反过来造成锌的烧损。因此，一般可使工件预热再进行焊接。最好采用一次单面焊成，因黄铜的熔化温度比纯铜较低，容易焊透。尽可能避免再补焊或在反面焊接，因再次加温会使黄铜中的锌加剧蒸发，晶粒增长，可能在焊缝和热影响区出现热裂纹。为了增加焊缝的塑性和强度，一般在冷态下锤击焊缝，有时将焊缝加固部分锤击使和基本金属平齐。经锤击后，进行热处理，这可以使焊缝金属组织细密和消减硬化的影响。

焊接黄铜时，会产生白色的氧化锌气体，对人身体健康有害，因此从事长时间的黄铜焊接工作，特别在密闭、不通风的容器或室内时，最好采取防毒和通风措施。

(三) 青 铜

青铜是铜与锡、铝、硅等元素的合金通常分别称为锡青铜、铝青铜、硅青铜等，这里主要介绍锡青铜。锡青铜具有较高的耐磨性、机械性能和耐蚀性，弹性和焊接性能都很好，它的线收缩系数小。它的色泽随锡的增加而起变化。当含锡量为11%时，带红黄色，含锡量为15%时呈橙黄色，含锡量为26%时，带苍白黄色，含锡量为50%时，带黄苍白色。铸造锡青铜的化学成分、用途见表1-4。

1. 青铜的机械性能与物理性能

比重：8.8克/厘米³

熔点：1060℃

线膨胀系数： 18×10^{-6} (20~100℃)

导热系数：0.20卡/厘米·秒·℃

抗拉强度：35公斤/毫米²

延伸率：40%

布氏硬度：56~70

2. 青铜的焊接性能

锡青铜焊接时，当温度增高，锡极易蒸发或氧化成二氧化锡 (SnO₂)，在焊缝金属中很难除去，在焊缝中形成气孔和夹杂物，故在焊接时，可利用含磷的青铜焊条，同时投入还原剂清除氧化物，气焊时不可使用氧气过剩的火焰。

青铜在加热状态下，脆性大，焊接时应防止冲击和震动。在局部加热时由于内应力的关系可能出现裂纹，焊接前最好预热，预热后的焊件也要禁止震动。铝青铜焊接时，铝与氧化合成难熔的氧化铝 (Al₂O₃)，为了清除氧化铝可采用铝合金焊接时的还原剂。硅青铜焊接时，硅与氧化合成二氧

表 1-4 铸造锡青铜化学成分及用途

材 料 名 称	主 要 成 分 ， %					用 途	
	锡 Sn	铜 Cu	锌 Zn	铅 Pb	镍 Ni		磷 P
锡 锌 铅 镍 青 铜	2.5~4.5	余 量	6.0~9.5	3~6	0.5~1.5	—	在压力25公斤以下的蒸汽、海水和淡水中工作的管配件
锡 锌 铅 青 铜	4~6	余 量	4~6	4~6	—	—	耐磨零件
锡 磷 青 铜	9~11	余 量	—	—	—	0.8~1.2	主要用途的轴承、齿轮和轴套
锡 铅 镍 青 铜	10~12	余 量	—	3	4	—	在高压和高温下工作的重要零件、飞机发动机排气阀的导管
锡 铅 青 铜	4~5	余 量	—	23~26	—	—	高单位压力用的轴承、轴套、油涨圈

化硅 (SiO_2) 薄膜, 可以减少其它合金成分的蒸发, 具有最好的可焊性, 青铜焊接后必须进行退火处理。

(四) 白 铜

以镍为主要添加元素的铜合金, 称白铜。它的颜色呈银色或淡灰白色。除镍外, 可加锰、铁、锌、铅、铝等元素而形成各种特种白铜。

白铜有良好的机械性能, 有高的强度、耐蚀性、抗寒性, 焊接性能也较好。应用于医疗器械和精密仪器。我国的白铜产品见表1-5。

1. 白铜的机械性能与物理性能

比重: 8.9克/厘米³

熔点: 1200℃

线膨胀系数: 16×10^{-6} (20℃)

导热系数: 0.089卡/厘米·秒·℃ (20℃)

抗拉强度: 38公斤/毫米²

延伸率: 28%

冲击强度: 9公斤/厘米²

布氏硬度: 70

2. 白铜的焊接性能

镍是白铜的主要合金成分, 镍的熔点为1450℃, 沸点为3075℃, 并有加热到700~800℃时仍不氧化的性能, 因此在焊接白铜的过程中主要防止铜的蒸发和防止氧、碳、硫的破坏作用。白铜的流动性能较好, 焊接时也要依靠投入还原剂和采用较快的焊接速度, 以保证焊缝接头的质量。

总之铜及铜合金的焊接, 只要掌握了它们的性能, 了解各种杂质对它们的影响, 针对不同的材料选择适当的焊接方

表 1-5 白铜的化学成分及用途

组别	材料名称	主要成分, %						用途	
		镍+钴 Ni+Co	铜 Cu	锰 Mn	铝 Al	铁 Fe	锌 Zn		铅 Pb
普通白铜	白铜	4.4~5	余量	—	—	—	—	—	海洋舰艇用的型材、管材
	白铜	15.3~16.3	余量	—	—	—	—	—	用于制造补偿器导线
	白铜	18~20	余量	—	—	—	—	—	医疗工具、网、精密机械、化学工业零件
特种白铜	锰白铜	2~3	余量	11~13	—	—	—	—	即锰铜, 电阻仪器及精密电气测量仪器
	铁白铜	29~30	余量	—	—	0.6~1	—	—	制造冷凝器和恒温器材料
	铝白铜	12~15	余量	—	2.3~3	—	—	—	用于制造高强度零件
	锌白铜	13.5~16.5	余量	—	—	—	18~22	—	精密仪器, 电气器材, 医疗器具等
铜	铅锌白铜	16.5~18	61~64.9	—	—	—	余量	1.6~2	钟表工业用的零件

法，焊接工艺，就能进行铜及铜合金的焊接工作，并能得到满意的焊缝质量。目前石油、化工基本建设单位和生产企业，较普遍采用氧-乙炔焊，碳弧焊，电焊等方法进行铜及铜合金的焊接，下面将逐一介绍。

二、气 焊

(一) 气焊的特点与应用

气焊是用可燃性气体在氧气或空气中燃烧所产生的高温火焰，来熔化金属使其进行连接的一种焊接方法。

气焊用的可燃气体通常采用乙炔气 (C_2H_2)，它和其他可燃性气体 (氢气) 相比，发热量较大，即在氧气中燃烧的火焰温度高 (如乙炔-氧燃烧，火焰中层温度为 $3150^{\circ}C$ ；氢-氧燃烧，火焰中层温度为 $2300^{\circ}C$)，所以气焊一般又称为氧-乙炔焊。氧-乙炔气体容易获得，且经济，设备和工具简单，搬运方便，在化工，机械，冶金等厂矿的设备制造，安装和检修等普遍采用，它更适用于农村人民公社，生产大队的农机修配厂和其他工厂。

氧乙炔焰可分为中性焰 (正常焰)，氧化焰及碳化焰 (还原焰) 三种：

1. 中性焰

氧-乙炔气体混合后达到完全燃烧。燃烧焰心 (白点) 的轮廓能清晰地看出并呈白色，这种火焰在燃烧过程中，没有任何特殊的燃烧物产生，对焊件材料的化学作用最小，见图 2-1 a。

2. 氧化焰

氧-乙炔气体混合后，有过剩的氧气，燃烧焰心 (白