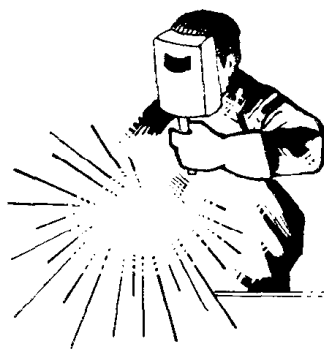


铜 及 铜 合 金 的 焊 接

顾 曾 迪 编 著

焊工



机 械 工 业 出 版 社

一 铜及铜合金的基本知识

1 铜及铜合金的种类及性能 工业用的纯铜称为紫铜。根据用途的不同，在紫铜中加入各种合金元素，可制成铜合金，常用的铜合金有黄铜、青铜两类。

一、紫铜 紫铜具有极高的导电性、导热性、优良的可塑性，在冷、热状态下可加工成各种规格的铜板、铜棒、铜管，在低温下紫铜仍能保持较高的塑性，因此在制冷设备中用得较多。但是，在 $400\sim 700^{\circ}\text{C}$ 的高温下，紫铜的强度及塑性显著降低，这是它的缺点。

在冶炼紫铜的过程中，不可避免地会带入一些杂质（如铝、铋、铅、硫、氧、锡、锌、铁、镍及磷等），这些杂质都可以在一定程度上降低紫铜的导电性，以磷最为显著。磷又是铜及铜合金的一个良好的脱氧元素。在紫铜中，存在含量不高的磷，对于紫铜的焊接是有利的。

铜中的杂质铅可与铜形成熔点约 326°C 的低熔点共晶，而杂质硫、氧分别与铜形成硫化亚铜 (Cu_2S) 和氧化亚铜 (Cu_2O)。硫化亚铜和铜构成熔点为 1067°C 的共晶 ($\text{Cu} + \text{Cu}_2\text{S}$)；氧化亚铜和铜构成熔点为 1064°C 的共晶 ($\text{Cu} + \text{Cu}_2\text{O}$)。这些低熔点的共晶（脆性化合物）在拉应力的作用下，晶粒间容易发生破裂，导致焊缝裂缝。由于杂质对铜起着有害的作用，所以工业用的紫铜要求杂质含量不得超过一定数值，而紫铜等级的区别就在于杂质含量的多少。

根据含氧量的不同，紫铜可分为普通工业紫铜（牌号有 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 ）、脱氧紫铜（ TU ）和无氧紫铜（ TU_1 、 TU_2 ）。普通

工业紫铜的含氧量在 0.02~0.1%。脱氧紫铜（以磷、硅、锰等元素作脱氧剂）的含氧量在 0.01% 以下，高纯度的紫铜通过真空熔炼，而获得的无氧紫铜，其含氧量在 0.003% 以下。

紫铜的一些物理、机械性能数据如下：熔点 1083℃，比重 (20℃) 8.96 克/厘米³，导热系数 0.94 卡/厘米·秒·℃，线膨胀系数 (0~100℃) $17 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ，电阻系数 (20℃) 0.0168 欧姆·毫米²/米。

轧制并经退火的紫铜抗拉强度 24 公斤/毫米²，延伸率 30%，冲击值 17.9 公斤·米/厘米²。冷加工变形后的紫铜抗拉强度为 40~50 公斤/毫米²，延伸率 6%。

在退火状态（软状态）下的紫铜强度低、塑性高。经冷加工变形后（硬状态），强度提高，抗拉强度由 24 公斤/毫米²增至 40~50 公斤/毫米²，但塑性显著降低，如延伸率由 50% 降至 6%。紫铜的冷作硬化效应可由 550~600℃ 的退火工序消除掉，使塑性得以完全恢复。

二、黄铜的牌号和性能 铜和锌的合金称为普通黄铜，其颜色随含锌量的增加由黄红色变为淡黄色。在普通黄铜中加入合金元素，不仅使铜的强度增高，并能改善其塑性。普通黄铜的强度、硬度和耐腐蚀性都比紫铜高，能承受热压、冷压加工。

为进一步提高普通黄铜的机械性能、耐腐蚀性能和工艺性能，在铜—锌合金中加入锡、锰、铅、硅、铝、镍或铁等元素后，就成为特殊黄铜，如锡黄铜、锰黄铜、铅黄铜、硅黄铜、铝黄铜、镍黄铜、铁黄铜等。

根据工艺性能、机械性能和用途的不同，黄铜可分为压力加工用黄铜和铸造黄铜两类，参见表 1。

黄铜以字母“H”编号，在普通黄铜“H”后的数字表示铜的平均含量，特殊黄铜在“H”后还要注明所加入主要元素的化学符号，然后在铜的平均含量后，列出所加入元素的平均含量，

表1 常用黄铜的牌号及性能

类别	牌 号	代 号	材料状态或铸造方法	机 械 性 能		
				抗拉强度 (公斤/毫米 ²)	延伸率 (%)	硬度 (HB)
压力加工用黄铜	68黄铜	H68	软	32	55	—
			硬	66	3	150
	62黄铜	H62	软	33	49	56
			硬	60	3	164
	62-1 锡黄铜	HSn 62-1	软	40	40	—
			硬	70	4	—
	58-2 锰黄铜	HMn 58-2	软	40	40	85
			硬	70	10	175
	59-1-1 铁黄铜	HFe 59-1-1	软	45	50	88
			硬	70	10	160
	80-3 硅黄铜	HSi 80-3	软	30	58	—
			硬	60	4	—
铸造用黄铜	80-3 铸硅黄铜	ZHSi 80-3	金属模	30	15	110
			砂模	25	10	100
	58-2-2 铸锰黄铜	ZHMn 58-2-2	金属模	35	8	80
			砂模	25	10	70
	55-3-1 铸锰黄铜	ZHMn 55-3-1	金属模	50	10	100
			砂模	45	15	90
	66-6-3-2 铸铝黄铜	ZAl 66-6-3-2	金属模	65	7	160
			砂模	60	7	—

例如 HMn 58-2 表示含铜量为 58%，含锰量为 2% 的锰黄铜。

经冷加工（冲压、弯曲等）或焊接后的黄铜，由于存在内应力，在湿气、氨或海水等腐蚀介质的作用下容易发生腐蚀裂缝。为防止上述现象，冷加工或焊接后的黄铜必须进行退火，以消除内应力，退火温度为 300~400℃。

三、青铜的牌号和性能 凡不以锌为主要组成而以锡、铝、硅、铅或铍等元素组成的铜合金，称为青铜。常用的青铜有锡青铜、铝青铜、硅青铜、铍青铜等。在上述青铜中有时还加入其他少量的合金元素，如锌、磷、镍、钛及锰，以改善合金的性能。

青铜具有较高的机械性能、耐磨性、铸造性能和耐腐蚀性能，常用来铸造各种耐磨、耐蚀（耐酸、碱、蒸汽等）的零件，如轴套、轴瓦、阀体、泵壳、蜗轮等。

青铜可分为压力加工用的青铜和铸造用的青铜，在工业上应用较多的属铸造青铜。青铜的牌号和性能见表 2。

青铜以字母“Q”编号，字母后标以主要合金元素的化学符号及平均含量，并在最后还标出其他合金元素的平均含量，余量为铜。例如 QSn 3-7-5-1，表示含锡 3%、含锌 7%、含铅 5%、含镍 1% 的锡锌铅镍青铜。

锡青铜含锡量一般不超过 10~12%，含锡量过高，就会降低其塑性，所以锡青铜一般用于铸造，只有含锡量小于 6~8% 时，才可以进行压力加工。

铝青铜是锡青铜的一种代用品，其机械性能随着铝含量的不同而有所改变，当铝含量增加时，强度提高而延伸率逐渐降低。铝含量超过 11% 时，由于出现较多的脆性相，会导致铝青铜塑性的急剧下降。因此，实际生产上应用的铝青铜，其铝含量一般在 10% 左右，这种成分的合金具有一定的强度，可用以铸造各种要求较高的耐磨、耐蚀零件。

表 2 常用青铜的牌号及性能

类别	牌 号	代 号	材料状态或铸造方法	机 械 性 能		
				抗拉强度 (公斤/毫米 ²)	延伸率 (%)	硬度 (HB)
压力加工用青铜	4-3	QSn	软	35	40	60
	锡青铜	4-3	硬	55	4	160
	4-4-2.5	QSn	软	30~35	35~45	60
	锡青铜	4-4-2.5	硬	55~65	2~4	160~180
	6.5-0.4	QSn	软	35~45	60~70	70~90
	锡青铜	6.5-0.4	硬	70~80	7.5~12	160~200
铸造用青铜	10-2	ZQSn	砂模	25~35	10~35	75~90
	铸锡锌青铜	10-2	金属模	20~25	2~10	90~105
	8-12	ZQSn	砂模	15~18	3~8	70~100
	铸锡铅青铜	8-12	金属模	15~20	3~8	80~120
	3-7-5-1	ZQSn	砂模	18	8	60
	铸锡锌铅镍青铜	3-7-5-1	金属模	21	5	60
	10-4-4	ZQAl	砂模	—	—	—
	铸铝铁镍青铜	10-4-4	金属模	65	5~10	170~200
	9-4	ZQAl	砂模	40	10	110
	铸铝铁青铜	9-4	金属模	30~50	10~20	120~140
	10-3-1.5	ZQAl	砂模	50	10~20	120~140
	铸铝铁锰青铜	10-3-1.5	金属模	50	10~20	120~140
	9-2	ZQAl	砂模	40	20	80
	铸铝锰青铜	9-2	金属模	40	20	90~120

含有少量锰的铝锰青铜，具有良好的热态和冷态压力加工性能及较高的流动性，但这种合金的线收缩系数比锡青铜要大些。

2 铜及铜合金的焊接特性 由于铜及铜合金具有独特的物理、化学性能，它们的焊接既不同于钢材，也不同于铝材。为了获得优良的焊接接头，必须首先对铜及铜合金焊接的基本问题有所认识。

一、紫铜的导热性特好，常温下紫铜的导热系数比碳钢约大八倍，要把紫铜焊件局部加热到熔化温度是有一定困难的，因此在焊接时要采用能量集中的热源，否则大量的热能被工件散失掉，使焊件坡口处达不到熔化温度，以致形成未焊透的缺陷。随着板材厚度的增加，这一情况越显严重。焊接紫铜时焊件应进行充分的预热，即使是热能集中的熔化极自动氩弧焊及等离子弧焊也同样需要预热，不过预热温度可适当降低些。

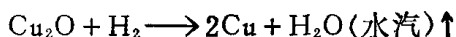
二、铜及铜合金焊接时常会出现裂缝，裂缝的位置在焊缝、熔合线及热影响区。裂缝呈晶间破坏，从断面上可看到明显的氧化色。

焊接熔池中有一定氧含量时，在结晶过程中氧以氧化亚铜(Cu_2O)形式出现，并与 α 铜组成共晶(α 铜 + Cu_2O)，其熔点为 1064°C 。含有杂质铅的合金，由于铅不溶于固态铜，因而铅与铜生成熔点约 326°C 的低熔点共晶体。在结晶后期，这些共晶体以液态形式分布在固态 α 铜的晶粒边界，割断了固体晶粒间的联系，显著地降低了铜及铜合金的高温强度。

由于在晶粒间存在着低熔点共晶体(脆性化合物)和偏析物，使晶间结合力受到削弱，金属的塑性显著下降，加上铜及铜合金的热膨胀系数比较大，焊接热影响区宽，在焊缝冷却、凝固过程中必将产生较大的焊接内应力。处于高温状态下的铜及铜合金接头强度、塑性显著降低的时刻，与工件中焊接内应力的作用时刻

相重合时，在接头的脆弱部分就形成裂缝。

在焊接工业紫铜及脱氧紫铜时，还可能由于氢气的作用而形成裂缝。氢在高温下容易溶入液态铜中，并与氧化亚铜（ Cu_2O ）发生如下化学反应：



随着焊接过程的进行，焊缝金属开始冷却凝固，熔池中所形成的水汽力图向外逸出，但由于水汽的扩散能力低，它常聚集在晶粒边界的小间隙中或氢气孔集中处造成很大的压力，削弱了焊缝金属的晶间结合力而形成裂缝。

在紫铜及某些铜合金焊接结构中，也可出现热影响区裂缝。其原因是热影响区母材被加热到 1064°C 以上的高温时，原来分散的氧化亚铜与 α 铜的共晶被重新加热熔化，低熔点的共晶体聚集于粗大的晶粒边界，从而为裂缝的形成提供了条件。

为防止裂缝必须注意以下二点：

1) 严格控制母材及焊缝中氧、铅、铋、硫等有害杂质的含量，如在脱氧紫铜中氧 $< 0.01\%$ 、铋 $< 0.003\%$ 、铅 $< 0.01\%$ 、硫 $< 0.01\%$ 。同时，应减少焊接熔池中的氢含量。磷含量过高时，也容易使焊缝产生裂缝。

2) 采用热量较集中的焊接方法，选择合理的装配、焊接顺序及焊接规范，并尽可能降低接头的刚性。

三、在铜及铜合金的焊缝中，常会出现气孔缺陷。紫铜焊缝金属中的气孔主要是由氢气引起的。当铜中有一定的氧含量或在紫铜中溶解有一氧化碳气体时，也可能由水汽及二氧化碳气体引起气孔。

每 100 克液态铜在 1100°C 时，可溶解 16 立方厘米的氢气，但在凝固冷却过程中，氢在铜中的溶解度迅速减少，例如：在 600°C 时仅为 0.3 立方厘米。随着温度的降低，大量的氢气要向外

逸出，由于铜的导热性特好，焊缝金属冷却、结晶速度很快，因此溶解在焊缝金属中的氢气往往来不及析出，而聚集于焊缝内部，构成气孔。

焊接工业紫铜时，在焊缝晶粒边界上含有一定量的氧化亚铜。随着熔池温度的提高，焊缝中氢含量增加，聚集在晶粒边界上的氢气与氧化亚铜发生反应形成水汽。水汽不溶于铜，在铜中的扩散能力很差，因此当结晶条件不利于水汽逸出时也会引起气孔。

铜合金焊接时的气孔倾向性比紫铜要大得多。一般气孔分布在焊缝中心及接近熔合线处。

为防止气孔的产生必须注意以下几点：

- 1) 严格控制氧、氢的来源，在焊前仔细清除工件和焊丝表面上吸附的水分。
- 2) 采用焊前预热等措施，以降低焊缝金属的冷却速度。
- 3) 向焊缝加入硅、铝、钛、锰、锡、锆等脱氧元素。
- 4) 在焊条药皮中加入适量的萤石可达到脱氢的效果。已经烘干的焊条与焊剂，必须做到随用随取，以防再次吸潮。
- 5) 气焊时不宜采用碳化焰。

四、焊接紫铜及铜合金时，存在接头机械性能降低的倾向。在铜合金焊接时，或多或少地会发生铜的氧化及合金元素的蒸发、烧损。氧化生成的氧化亚铜和 α 铜的共晶体处于晶粒间界，削弱了金属间的结合能力。而低熔点的合金元素（如锌、锡、铅、铝、镉等）受到氧化、烧损后，不仅降低了合金元素的含量，而且还会形成脆硬的夹杂物（如铝、锡氧化后生成的三氧化二铝、二氧化锡等）、气孔及未焊透等缺陷。低熔点的共晶及各种焊接缺陷，降低了焊接接头的强度、塑性、耐腐蚀性及导电性等。

此外，铜及铜合金没有相变，所以焊缝和热影响区的晶粒粗大，以致在一定程度上影响到接头的机械性能。

紫铜的焊接接头强度约为母材的 80~90%，而延伸率和冷弯角的降低更为显著。

为提高铜及铜合金焊接接头的机械性能，必须注意以下几点：

1) 严格控制焊缝中的有害杂质，并通过焊丝、焊条等途径向焊接熔池添加钛、铝、磷、硅、锰、铬、镍、铁等合金元素，保证接头具有一定的塑性和强度。

2) 焊前仔细清除工件坡口、焊丝表面上的氧化物及吸附的水分。在焊接过程中防止熔池和金属熔滴受到氧化。

3) 在紫铜气焊、碳弧焊时采用硼砂、硼酸为主的焊粉。铝青铜气焊、碳弧焊时则用氯化盐和氟化盐组成的焊粉。

为防止黄铜中锌的氧化、蒸发，建议采用含硅的填充金属，由在焊接过程中生成的致密氧化硅薄膜层，阻止锌的蒸发和氧化，并有效地防止氢气的溶入。锡青铜气焊、碳弧焊时，锡青铜中的锡易氧化，为此可采用磷、硅脱氧的焊丝，并用硼砂、硼酸作焊粉。

4) 选择焊接规范参数时应尽量设法提高焊接速度，以减少熔池金属处于高温下的时间。

5) 为改善接头的塑性，必要时焊后将工件进行退火处理。

二 铜及铜合金的焊接方法

1 铜及铜合金的焊接方法 铜和铜合金的焊接方法很多，如氧-乙炔气焊、碳弧焊、手工电弧焊、埋弧自动焊、钨极手工氩弧焊、熔化极自动氩弧焊、等离子弧焊、钎焊、超声波点、滚焊、扩散焊、真空电子束焊、接触点、滚焊和激光焊等。它们各有不同的应用场合，必须根据铜及铜合金的种类、焊件厚度、产品结构形状、生产条件、对焊接生产率、接头质量的要求等加以选择。

现将常用的几种焊接方法分述如下：

一、氧-乙炔气焊 它是最古老的一种焊接方法，但在铜及铜合金的焊接方面仍占一定的地位。尤其是用以焊接黄铜，可以防止锌的蒸发、烧损，是其他焊接方法所无法相比的优点。

氧-乙炔气焊的火焰能率低，工件达到熔化温度的时间 长，焊前热影响区的晶粒长大倾向较严重，经受较长时间加热的热影响区，不可避免地会引起低熔点共晶体的析出，从而导致气孔、裂缝等缺陷。

这种方法一般用在非重要的薄板结构上和铜合金铸件的焊补场合。

二、碳弧焊 是铜及铜合金的常用焊接方法之一。与气焊相比，这种方法的电弧热量及生产率较高。为减少焊接热影响区尺寸，碳弧焊时应选用功率较大的焊机，并选择大电流、高电压的焊接规范。

碳弧焊的焊接质量不够稳定，而且碳弧的弧光辐射很强烈，在焊接过程中还会析出有害气体，所以在生产应用上受到一定的限制。

三、手工电弧焊 这种方法设备简单，生产率比气焊高。但金属飞溅大、焊接烟雾多，并对操作技术的要求较高。焊接时，稍有疏忽就会引起焊缝气孔、咬边、未焊透等缺陷，致使接头的机械性能降低。

四、钨极手工氩弧焊 又称不熔化极手工氩弧焊，在英、美等西方国家，这种方法已成为铜及铜合金焊接的主要工艺方法，在国内也获得了较为广泛的应用。

钨极手工氩弧焊的电弧热量比较集中，在氩气保护下的电弧燃烧较稳定，金属熔滴的飞溅及焊缝金属中的夹杂物少，因此不但焊缝成形美观，而且焊接接头的强度、塑性也高，适用于薄板

的横向焊、垂直焊。

它的缺点是在中等厚度、大厚度工件焊接时，需要采用多层焊，随着焊接层数的增加，接头的质量有下降的趋势。此外，不宜在室外露天条件下操作。

五、埋弧自动焊 具有电弧热量集中、设备简单、操作方便、工艺容易掌握、预热温度低、接头机械性能较高等特点，适宜于中等厚度紫铜件的焊接。据介绍，在 30 毫米以下的紫铜板可以实现不预热焊接。

六、熔化极自动氩弧焊 熔化极自动氩弧焊常用于厚板的焊接，它具有电弧功率大、热影响区小、预热温度低、接头质量及焊接生产率高（与钨极手工氩弧焊相比可提高效率三倍以上）等特点。

紫铜采用熔化极自动氩弧焊时，如果操作马虎，在焊缝熔合线上会出现裂缝。

七、等离子弧焊 等离子电弧是在一种特殊的水冷焊枪内产生的。经过“机械压缩”、“电磁收缩”和“热收缩”效应的作用下形成的电弧，具有相当高的能量密度、温度和穿透力。焊接时电弧挺直度好、焊接速度快、变形量小，焊成的焊缝表面光滑、美观、焊接接头的塑性较高。例如，6 毫米厚的紫铜板可在不开坡口、不预热的条件下实现单面单层焊接。常用紫铜、黄铜、青铜、镍白铜对各种焊接方法的适用性及可焊的厚度范围列于表 3。

2 铜及铜合金的焊接材料选择 铜及铜合金的焊接材料，主要指填充焊丝、焊条及焊粉：

一、填充焊丝 在气焊、碳弧焊、钨极手工氩弧焊时，需要用手工添加填充焊丝。焊丝的牌号、成分与焊接工艺性、接头机械性能及耐腐蚀性能等有很大的关系。在选择填充焊丝时，首先必须考虑母材的牌号、板材厚度、产品结构及施工条件等因素。

表 3 铜及铜合金的可焊性及适用的厚度范围

焊接方法	材料牌号及其可焊性				运用的厚度 范围(毫米)
	紫铜	黄铜	青铜	镍白铜	
钨极氩弧焊 (手工、自动)	好	较好	较好	好	1~12
熔化极自动 氩弧焊	好	较好	较好	好	4~50
气焊	差	较好	差	—	0.5~10
碳弧焊	尚可	尚可	较好	—	2~20
手工电弧焊	差	差	尚可	较好	2~10
埋弧自动焊	较好	尚可	较好	—	6~30
等离子弧焊	较好	较好	较好	好	1~16

铜及铜合金焊接用的填充焊丝必须满足以下要求:

1) 良好的脱氧能力 为防止熔池金属的氧化,在铜及铜合金的焊丝中加入钛、锆、铝、硅、锰、磷等脱氧元素,这些元素(特别是钛、锆、铝)对氧、氮等气体的亲和力很大,因此可显著降低焊缝中的气体数量,提高电弧焊、氩弧焊时的电弧稳定性。在铜及铜合金的焊缝中如含有钛 0.12~0.25% 时,可细化金属的晶粒,从而提高了焊缝的强度及塑性。

脱氧元素的加入量不宜过多,例如焊缝中的钛含量超过 0.3%,将出现难熔的氧化物、氮化物薄膜,从而降低了液体金属的流动性,使焊缝脆化。

2) 能获得良好的焊缝成形 在气焊、碳弧焊、钨极手工氩弧焊时,要添加填充焊丝,采用与母材相应的填充焊丝所焊成的焊缝应无气孔、裂缝及其他缺陷。为防止裂缝的产生,焊丝中铅、铋、镉、硫等杂质的含量都应小于 0.01%,焊丝中的含氧量也应小于 0.01%。

3) 紫铜的导电性应接近母材的导电性。含磷的焊丝确有良好的脱氧能力,但过多的磷过渡入焊缝金属时,将引起接头导电性的显著降低,因此有导电性要求的紫铜工件,不宜选用含磷的焊丝,而选用纯度较高的紫铜丝。

焊丝是按化学成分分类的,各种焊丝的编制方法是以“丝”字拼音第一个字母“S”为牌号,“S”字后面用化学元素符号表示焊丝的主要成分,化学符号后面的数字表示顺序号。国产的铜及铜合金焊丝的牌号及化学成分见表4。

表中的SCuZn-5(丝224)焊丝,称硅黄铜焊丝。在该焊丝中加入0.3~0.7%的硅,可以防止锌的蒸发、氧化,降低黄铜焊接时的烟雾,以提高焊缝金属的流动性、抗裂性及耐腐蚀性。

而SCuZn-4(丝222)焊丝是含有铁0.35~1.2%、锡0.7~1.0%及硅0.05~0.15%等合金元素的黄铜焊丝。焊丝中加入铁能提高黄铜的强度、硬度,但塑性有所降低。铁与锌形成的高熔点 Fe_3Zn_{10} 化合物成为凝固时的晶核,促使黄铜焊缝晶粒细化。此外,焊丝的流动性好,有利于消除气孔和得到较满意的机械性能。

表中SCuZn-3(丝221)焊丝含锡0.8~1.2%,称锡黄铜焊丝。焊丝中加入的锡、硅合金元素可提高液体金属的流动性,而硅还可以有效地控制锌的蒸发,以获得满意的机械性能。

SCuZn-1黄铜焊丝适用于在黑色金属上堆焊。

HMn58-2锰黄铜焊丝中含有锰2%左右,锰可提高焊缝金属的硬度、强度、热稳定性和耐腐蚀性。

QA19-2双相铝青铜焊丝中含有铝8~10%,铝是强烈的脱氧元素,用以还原氧化物。在焊缝中加入适量的铝可细化焊缝金属的组织,提高接头的塑性、耐腐蚀性。含铝3%左右的铜合金焊缝,其组织比较细密、塑性高,但强度略有降低。当铜合金焊

表 4 国产的铜及铜合金焊丝 (JB 2736-80)

类别	名称	牌 号	化 学 成 分 (%)									
			主 要 成 分					分			杂质 (不大于)	
			Cu	Sn	Si	Fe	Al	Mn	P	Zn	Pb	总和
铜	铜焊丝	SCu-1	余量	—	—	—	—	—	$\frac{0.2}{0.4}$	—	0.01	0.5
		SCu-2	余量	$\frac{0.8}{1.2}$	$\frac{0.2}{0.5}$	—	—	$\frac{0.2}{0.5}$	<0.1	—	0.01	0.4
黄铜	黄铜焊丝	SCuZn-1	$\frac{60.5}{63.5}$	—	—	—	—	—	—	余量	0.1	0.4
		SCuZn-2	$\frac{59}{61}$	$\frac{1.0}{1.5}$	—	—	—	—	—	余量	0.3	1.0
		SCuZn-3	$\frac{59}{61}$	$\frac{0.8}{1.2}$	$\frac{0.13}{0.35}$	—	—	—	—	余量	0.1	0.5
		SCuZn-4	$\frac{57}{59}$	$\frac{0.7}{1.0}$	$\frac{0.05}{0.15}$	$\frac{0.35}{1.2}$	—	$\frac{0.03}{0.09}$	—	余量	0.2	0.5
		SCuZn-5	$\frac{61}{63}$	—	$\frac{0.3}{0.7}$	—	—	—	—	余量	0.1	0.5
青铜	锡青铜焊丝	SCuSn	余量	~9	—	—	—	—	$\frac{0.15}{0.35}$	—	0.05	0.5
	铝青铜焊丝	SCuAl	余量	—	—	—	7~9	≤2.0	—	—	0.05	0.5
	硅青铜焊丝	SCuSi	余量	—	$\frac{2.75}{3.5}$	—	—	$\frac{1.0}{1.5}$	—	—	0.03	1.1

缝中含铝量达 7~9% 时, 焊缝的塑性提高, 即使是承受高度应力集中的焊接结构仍具有良好的抗裂性能。焊缝中铝的含量过高 (大于 10%), 也会形成氮化物及三氧化二铝薄膜, 并导致接头的脆化。

除上述的标准牌号焊丝外, 各生产单位还自行制造了各种专用的焊丝, 见表 5。

表 5 中第 8 号焊丝的配方中含有镍 3.157%, 镍能强化焊缝金属和改善抗海水腐蚀的能力, 但用含镍焊丝焊接紫铜时有降低接头导电性和导热性的趋势。

国外广泛用于钨极氩弧焊的填充焊丝有硅青铜、锡青铜焊丝。硅青铜焊丝的成分为硅 2.8~4.0%、锰 1.5%、锡 1.5%、锌 1.5% (与我国的 SCuSi 硅青铜焊丝相近似)。

熔化极自动氩弧焊的焊丝, 除可采用上述的二种焊丝外, 还有含铝量为 9~11%、含钛量 1.5% 的铝铁青铜焊丝。后者不但可焊接青铜, 并可用于有色金属和钢的异种材料焊接上。

二、焊粉 正确地选择焊粉, 对提高焊接质量也有很大的关系。在气焊、碳弧焊时, 熔池金属的表面容易氧化生成氧化亚铜 (Cu_2O), 而由于氧化亚铜的存在, 往往引起焊缝气孔、裂缝、夹渣等缺陷。

向焊接熔池导入铜焊粉后, 由铜焊粉中的化合物与氧化亚铜反应, 促使氧化亚铜还原成易熔的液体熔渣, 它浮于熔池及热影响区表面, 以防止焊缝金属免受氧化。用于铜及铜合金焊接的焊粉, 应具备下列条件:

- 1) 能改善熔池金属的流动性, 以保证形成良好的焊缝外形。

- 2) 焊粉的熔点, 必须低于基体金属和填充焊丝的熔点, 而在焊接过程中, 所形成的熔渣比重应比液体金属的比重小, 否则熔渣不易浮起, 残留于焊缝内构成夹渣缺陷。

表 5 非标准的铜及铜合金焊丝举例

序 号	焊丝 组成	主 要 化 学 成 分 (%)							备 注				
		Sn	Si	Mn	P	Fe	Ti	Al	Pb	Ni	Cu	Zn	
1	紫铜	—	0.5	0.5	—	—	—	—	—	—	其余	—	沈阳产
2	紫铜	—	0.3	0.3	<0.01	—	0.3	—	—	—	其余	—	
3	铝-铜	—	0.29	—	—	—	0.335	3.2	—	—	其余	—	曾用于铜-钢的熔化极自动氩弧焊
4	铝-铜	—	0.1	—	—	—	—	6.0~9.0	0.02	—	其余	0.2	曾用于表面堆焊
5	铝-镍-铜	—	0.115	—	—	—	—	3.45	—	3.557	其余	—	
6	铝-铁-铜	—	—	—	—	1.5	—	9.0~11.0	—	—	其余	—	
7	铝-铜	—	0.335	0.13	—	0.56	0.036	3.02	—	—	其余	—	
8	镍-铜	—	0.265	—	—	—	0.33	—	—	3.157	其余	—	曾用于铜-钢的熔化极自动氩弧焊
9	镍-铜	—	0.2~0.3	0.2~0.3	—	<0.5	0.10~0.30	—	—	3.0~3.5	其余	—	
10	锡-铜	4.0~6.0	—	—	0.10~0.35	—	—	0.01	0.02	—	其余	—	可用于青铜、黄铜的铸极、熔化极氩弧焊
11	锡-铜	7.0~9.0	—	—	0.15~0.35	—	—	—	—	—	其余	—	用于铸极氩弧焊
12	硅-锡-铜	1.5	2.8~4.0	1.5	—	0.5	—	0.01	0.02	—	其余	—	适用于硅青铜、黄铜的铸极、熔化极氩弧焊