

黃銅与青銅的焊接

全国各地修造船工艺推广交流委员会編

32/24



國防工業出版社

7
3

黃銅與青銅的焊接

全國各地區修造船工藝推廣交流委員會編

內 容 簡 介

本汇编系根据1963年召开的“铜合金焊接与堆焊会议”的资料编写而成的。汇编中总结了修造船业比较常用的黄铜与青铜的焊接、焊补和堆焊的经验，其中包括：黄铜的氧-乙炔焰气焊、金属极手弧焊和钨极氩弧焊；用氧-乙炔焰在钢上堆焊黄铜、熔铜堆焊；铝青铜的焊接及其在钢上的堆焊、锡青铜氩弧焊等。

本汇编供从事有色金属焊接的科研、工艺和教学人员阅读。

黃 銅 与 青 銅 的 焊 接

全国各地修造船工艺推广交流委员会编

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第074号

国防工业出版社印刷厂印装 内部发行

*

787×1092 1/16 印张 5 5/8 129 千字

1966年3月第一版 1966年3月第一次印刷 印数：0,001—3,000册

统一书号：N15034·1089 定价：（科六）0.75元

目 录

前言·····	3
第一篇 黄铜的焊接与焊补·····	5
第一章 黄铜的可焊性·····	5
第二章 黄铜氧乙炔焰气焊·····	12
第三章 黄铜的金属极手弧焊·····	19
第四章 黄铜钨极氩弧焊·····	26
第五章 黄铜碳极电弧焊·····	38
第二篇 黄铜的堆焊·····	41
第一章 用氧乙炔焰在钢上堆焊黄铜·····	41
第二章 用气体熔剂在钢上堆焊黄铜·····	54
第三章 熔铜堆焊·····	64
第三篇 青铜的焊接与堆焊·····	73
第一章 青铜的可焊性·····	73
第二章 Бр. АМц 9-2 青铜金属极电弧焊接·····	76
第三章 Бр. ОЦН 3-7-5-1 青铜的氩弧焊·····	82
第四章 Бр. ОФ 10-1、Бр. ОЦ 10-2 青铜的焊接·····	83
第五章 Бр. АМц 9-2 青铜在钢上堆焊·····	85

第一篇 黃銅的焊接与焊补

第一章 黃銅的可焊性

§ 1 常用黃銅的性能

黃銅具有良好的加工性能、耐蝕性能和機械性能（強度），還有耐低溫的特性（即達到零下很低溫度時仍具有常溫那樣的機械性能）。它的導電、導熱性也較好。它的成本與銅等有色金屬相比要低得多。因此，黃銅在工業上用得極廣。

黃銅的金相組織從圖1的Cu-Zn合金狀態圖可看出，是由五個包晶反應組成的。當Zn量低於39%為 α 相固溶體，增至50%以內為 β 相固溶體。 ϵ 、 η 兩相在現有牌號黃銅中是不存在的，少量脆性 γ 相偶爾會出現。 α 相塑性很好， β 相強度較高。由於鑄造和焊接是不平衡過程，所以一般黃銅都不是單相組織，而成 $\alpha + \beta$ （以 α 為主）組織（以塑性為主）或 $\beta + \alpha$ （以 β 為主）組織（以強度為主）。

實用黃銅的含鋅量低於50%。鋅對黃銅的物理性能和機械性能的影響分別示於圖2及圖3。

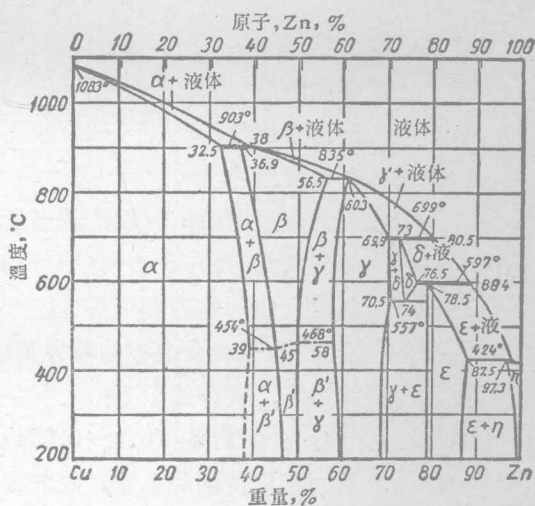


圖1 Cu-Zn系狀態圖

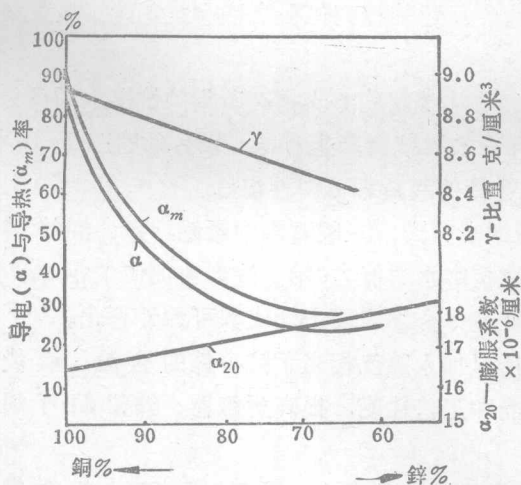


圖2 鋅對黃銅物理性能影響

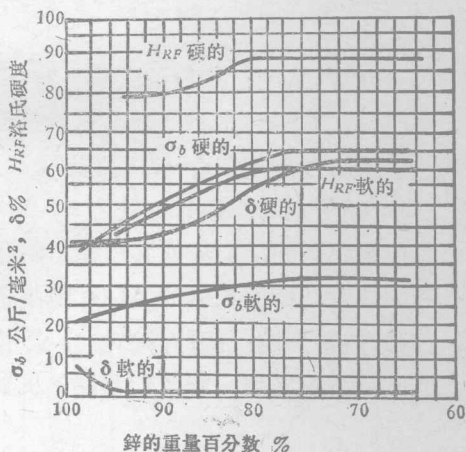


圖3 鋅對黃銅機械性能影響

σ_b —拉力強度公斤/毫米²； δ —延伸率%； H_{RF} —洛氏硬度；硬的指鑄造黃銅；軟的指壓力加工黃銅。

很清楚，提高含鋅量使黃銅的傳導性迅速下降，膨脹系數略有增大，拉力強度和硬度提高很快，而塑性降低，同時對可焊性不利。為了抵制其不利作用及獲取其他特殊性能，往往在黃銅中加入第三種合金元素。這些合金元素一般不會使黃銅形成特殊組織，只是溶於 α 或 β 相內使其性能稍有變化，但能改變原有黃銅內 α 與 β 相的比例，亦即起到了加減鋅量的作用。因而，就出現了將這些元素對黃銅的影響“折換”成鋅的作用的“虛設鋅當量”或稱“海茵當量”的概念。常用黃銅的性能和成分列於表1，通常加入的合金元素及其當量值如下：

Si=12; Al=6; Sn=2; Pb=1; Fe=0.9; Mn=0.5; Ni=-1.3; Mg=2。

加入合金元素後的黃銅的鋅當量可按下列式計算：

$$F = \frac{B + \sum C\eta_c}{A + B + \sum C\eta_c} \%$$

式中 A——銅含量；

B——鋅含量；

C——合金元素含量；

η_c ——合金元素當量；

F——加入合金元素後的黃銅的鋅當量。

計算出F值後，便可從Cu-Zn狀態圖(圖1)查得該黃銅的大致組織(即 α 與 β 相的比例)，從而可以粗略地判斷出它的性能和可焊性。

加入合金元素的Cu-Zn合金稱為特種黃銅。合金元素除對其強度等有影响外，還改變了耐蝕、焊接等性能，現分述於下：

(1) 鐵的影響：少量的鐵(0.1~0.2%)與鋅生成高熔點的 $\text{Fe}_3\text{Zn}_{10}$ 化合物，成為凝固時的晶核，從而細化黃銅的晶粒。鐵能提高強度、硬度，降低延伸率。鐵的含量多時需與錳配合使用，這可以提高耐海水的腐蝕能力。

(2) 錳的影響：錳的當量為0.5，所以加入錳對組織沒有多大的影響，但能顯著地改善機械性能，尤其是含鋅量多的黃銅效果更大。錳還能提高熱穩定性和抗蝕性。錳黃銅的可焊性很好。

(3) 錫的影響：加錫的黃銅又稱海軍黃銅，因為錫能大大提高黃銅的抗海水的腐蝕能力。錫略能增加強度，但當錫含量提高到2%左右時就會產生 α 與 β 以外的第三脆性相，因此一般錫的含量均在1~1.5%以內。上述含量的錫黃銅可焊性很好。

(4) 鋁的影響：鋁的當量為6，對組織影響很大，一般黃銅中含鋁增多，則鋅要減少。鋁能強化 α 相，但降低其塑性。鋁能提高抗海水的能力，鋁量過多會促使 γ 相的產生。另外在焊接時，由於難溶的 Al_2O_3 薄膜覆蓋在液體金屬表面上而使其可焊性惡化。

(5) 鎳的影響：鎳的鋅當量為負值，所以加入鎳就相當於減少鋅的含量。鎳能大大加寬 α 固溶體區域，能改善黃銅的機械性能和工藝性能，提高耐蝕性。鎳黃銅可焊性很好。

(6) 鉛的影響：鉛不溶於黃銅而分布在固溶體的晶界上，因而加入鉛(一般含量在2%以內)的主要目的是為了改善黃銅的切削性能。鉛對機械性能無多大影響，唯使塑性稍微降低和使可焊性變差。

表 1 常用黄铜的性能与成分

序 号	牌 号	机 械 性 能			化 学 成 分								物 理 性 能					
		σ_b	σ_s	δ (%)	Cu	Zn	Mn	Fe	Al	Sn	Ni	Pb	Si	杂质总量	H_B	α_{20}	T_H	γ
1	JI62	36 (32.8)	11 (12)	49 (35.5)	60.5~63.5	余 量								0.5	56	20.6	905	8.43
2	JI060-1	38 (35)	18	37 (25)	59~61.1	余 量				1.0~1.5				1.0		19.3	900	8.45
3	JI062-1	38 (35)	18	37 (25)	61~63	余 量				0.7~1.1				0.3	82	19.3	906	8.45
4	JI058-2	44 (36)	(15.6)	36 (24)	57~60	余 量	1~2							1.2	100	21.2	880	8.5
5	JIH56-3				54-58	余 量		0.5~1.5	20.5		2~3						890	
6	JI059-1	42 (34)	24	36~50 (27)	57~60	余 量		<0.5				0.8~1.9		0.75	81	19	885	8.4
7	JI055-3-1	45~48		15~20	53~58	余 量	3~4	0.5~1.5						2.0	100		890	
8	JI059-1-1	45 (46)	17 (18)	(25)	57~60	余 量	0.5~0.8	0.6~1.2	0.1~0.2	0.3~0.7						22	900	8.5
9	JI067-5-2-5	>62		>12	67~70	余 量	2~3	2~3	5~6					0.25	90			
10	JI080-3	>30	16	>15	78~81	余 量							2.5~4.0		90~110	17	900	8.6

注: (1)机械性能栏内, 括号内的数值系指铸造, 余指压力加工。(2) α_{20} —线膨胀系数 $\times 10^{-6}$; T_H —熔点 $^{\circ}\text{C}$; γ —比重 克/厘米³。

(7) 硅的影响: 硅的当量值很大 (12), 所以含硅的黄铜即使含锌量低也会出现双相组织。硅能改善黄铜的机械性能和铸造性能。黄铜熔焊时, 硅与氧形成 SiO_2 能阻止锌的烧损和减弱氢的危害作用, 从而改善了可焊性。硅量过多会产生脆性组织, 故一般含量低于4.5%。

§2 黄铜焊接的问题与困难

黄铜的物理化学性能与碳素钢有显著的差别。焊接黄铜首先碰到的困难是它的导热性和热容量大, 因而要求用功率大的热源, 并常需预热, 随之而来的问题是热影响区扩大, 组织容易变坏; 此外, 由于膨胀系数大而使小工件产生严重的变形, 刚度大的工件, 则因内应力的增大使接头脆弱部分发生裂缝等, 这就使焊接工艺变得比较复杂。

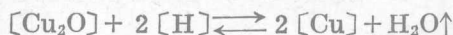
锌的烧损、焊缝金属多孔性和裂缝是黄铜焊接中最突出的也是研究与讨论得最多的困难问题, 弄清这些问题, 无论在理论上或生产实践上都有很大的意义。近几年来由于生产上对黄铜材料的迫切需要和大量应用, 促使我们去注意这些问题。现就工作中积累的一些经验和一些实验数据, 提出如下看法, 供参考。

1. 焊缝气孔: 实践证明, 焊接黄铜时经常会在焊缝内部或者表面产生不同形状的气孔, 目前对产生原因有三种解释:

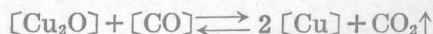
(1) 黄铜在焊接热源的高温作用下, 使熔点为 419°C 、沸点为 907°C 的锌大量蒸发成蒸汽, 从而形成焊缝的气孔。

(2) 由熔池金属内的氧化亚铜 (Cu_2O) 与 H_2 、 CO 等气体还原反应引起的所谓“反应气孔”。

例如,



或



生成的水蒸汽和二氧化碳不溶于金属内, 而在树枝状结晶组织的边界上析出成为气孔。

(3) 液态熔池高温时溶入的气体(主要是氢), 在凝固时溶解度发生激变(减小), 来不及逸出而引起的所谓“扩散气孔”。

对于第一种解释, 实际上被愈来愈多的人否定了, 但也有部分人持有不同观点。我们认为这在理论上和实践中都已证明锌蒸发与烧损本身不可能引起气孔。

根据气孔形成的机理, 焊缝内构成气孔的条件必须满足 P_r (生成气泡的气体内部压力) $> P_{\text{外}}$ (对气泡的外压力), 也即此时蒸汽压至少应大于外界的大气压。锌在不同温度时的蒸汽压可用下式比较精确地算出:

$$\lg P = 2.881 - \frac{\Delta\phi}{4.575T}$$

式中 P —— 纯锌蒸汽压;

$\Delta\phi$ —— 锌蒸发时的自由能变化;

T —— 蒸发时的绝对温度。

计算表明, 1000°C 时的黄铜熔池锌蒸汽压是 0.7 大气压, 近于结晶温度 (950°C) 时不到 0.43 大气压, 而形成气孔的条件是, 在黄铜熔池结晶终了时锌的蒸汽压大于大气压, 否则产生锌蒸汽的气泡就会被粉碎而由液态金属所充填。实际的情形是锌蒸汽压低于大气压,

因此气孔必然不会形成。

实践也证明，热源温度极高的手弧焊和埋弧焊，尽管锌的烧损达60~70%，但焊缝还是密致的，相反热源温度较低的氧乙炔焰焊，锌损失低于5%却常有气孔。

但是，这里必须指出，锌蒸发本身固然不会引起气孔，可是在一定的条件下却会促使焊缝出现多孔现象。锌的这种“促进(间接)作用”有不同的解释，我们认为主要是蒸发的锌与熔池上部气氛中的氧迅速反应生成 ZnO 而挥发掉，致使焊接区气氛内氧化性减弱，从而提高了氢的相对浓度，这样便形成了氢气孔。例如用 ЛАМНЖ 67-5-2-2 焊条多层焊接 ЛМНЖ55-3-1 材料时，气孔总发生在第一层内，这说明由于第一层基体金属内锌的烧损多，而以后几层由于锌的含量愈来愈少，烧损也逐渐减少，因而就不会产生气孔。特别要指出的是，这种“促进”作用只有在焊接区气氛内有 H_2 存在时才能发生。实践证明，当用惰性气体保护焊或埋弧焊时，由于气氛内不存在或极少存在 H_2 ，所以不会产生气孔。同样，氧乙炔焰焊的经验也证明，在锌蒸发相同的情况下，当火焰用氧化焰 ($O_2: C_2H_2 = 1.3 \sim 1.4$) 时就没有气孔，而用中性焰或还原焰时则出现气孔。认为锌蒸发直接会引起气孔的观点，其错误就在于把锌的“促进”作用看作直接作用了。

还需指出，锌蒸发后氧化成 ZnO 是起双重作用的，一个作用是可能促使气孔生成，另一作用是熔池表面形成熔点为 $1800^\circ C$ 以上的 ZnO 薄膜能起到阻止锌继续烧损和 H_2 进入熔池的有利作用。至于哪个作用是主要的，要视焊接气氛的成分等条件而定。

锌蒸发使熔池沸腾带来对焊缝多孔性的影响也有两种情况，一方面它可使熔池内的 H_2 等气体容易逸出，另一方面又增大了液态金属与气体的接触面，使熔池更易吸收 H_2 等气体，从而助长了多孔性的产生。哪个是主要的，同样要视焊接气氛的成分等而定。

总的看来，要消除这种气孔的根本办法是杜绝焊接气氛中的氢气来源。

第二种解释在焊接纯铜时可能性较大，但焊接黄铜时，我们认为可能性较小。因为产生这类气孔首先得有氧化亚铜 (Cu_2O)，而在黄铜中由于铜的活泼性不大，首先氧化的总是锌等其他合金元素，所以 Cu_2O 是不易产生的。实践也证明，焊缝金属组织中极少发现有 Cu_2O ，碳弧焊黄铜也未曾发现过气孔。这种反应气孔生成的过程表明，如果金属中不含有 $[H]$ ，类似的水蒸汽就不会产生，因此可以认为 H_2 是焊接黄铜产生气孔的主要原因。当然氢的来源是很多的，要取得密致的焊缝，最正确有效的途径是消灭焊接区的一切氢气来源(例如焊接材料表面的清理，焙烘、采用氧化焰加强熔池保护等等)，此外，在工艺上采取延缓熔池冷却速度等措施也有一定效果。

2. 锌的烧损：黄铜中的锌在焊接热源高温作用下会发生大量的烧损，致使焊缝金属化学成分发生改变，相应地机械、耐蚀等性能亦改变。因此，研究锌的烧损对取得所要求的优质接头是很重要的。

锌的烧损系由二部分组成：蒸发及氧化。究竟哪一部分为主，曾引起过不少的争论。基于实践经验，我们认为锌的烧损主要是因高温蒸发而引起的，根据各种焊接方法的锌烧损的测定(表2)，发现熔铜堆焊和氧乙炔焰焊的烧损最少，氩弧焊其次，金属极手弧焊较高，自动焊达60~70%。测定结果表明，热源温度愈高烧损愈严重，电弧焊大于气焊的原因是显而易见的，自动焊高于手弧焊是因前者电流密度大、热量集中、温度更高之故。自动焊时，我们发现大量的锌蒸汽冲破气穴和50毫米高度的熔剂层而进入大气，可见其

蒸汽压是很大的。这正如鋅蒸汽压与溫度的关系式所表示的那样，溫度愈高，蒸汽压愈大（1600℃时达 76 大气压），鋅燒損愈严重。如果认为鋅燒損主要是氧化引起的，那就不能解釋熔池区沒有氧气存在的氬弧焊燒損情况比氧乙炔焰焊严重的事实了。

当然，氧化也能燒損一部分鋅，但終究不多。焊接时一般鋅的燒損过程是先蒸发后氧化，蒸发的鋅与氧反应生成 ZnO 薄膜，当达到一定厚度时覆盖在熔池表面，能起到阻碍鋅繼續蒸发的作用。这一原理已經用于生产，例如氧乙炔焰焊时为减少鋅的燒損，采用氧化焰就是一个例子。

表 2 不同焊接法的鋅燒損率

序 号	焊 接 方 法	焊 芯 牌 号	基体金屬牌号	焊 芯 含 鋅	焊 縫 含 鋅	燒 損 率
1	熔銅堆焊	Л162	Ст. 3	38.10	37.84	0.7
2	氧乙炔焰焊	ЛМnЖ55-3-1	ЛМnЖ55-3-1	41.03	39.93	2.68
3	鎢极氬弧焊	ЛМnЖ55-3-1	ЛМnЖ55-3-1	43.01	34.91	18.84
4	手工碳弧焊	ЛМnЖ55-3-1	ЛМnЖ55-3-1	43.01	30.22	29.7
5	金屬极手弧焊	Л1АМnЖ67-5-2-2	ЛМnЖ55-3-1	19.49	11.35	41.7
6	金屬极手弧焊	ЛК80-3	ЛК80-3	16.5	12.8	22.42
7	埋弧自动焊	ЛЮ62-1	Ст. 3	36.95	11.68	68.4

注：燒損率 = $\frac{\text{焊芯含Zn量} - \text{焊縫含Zn量}}{\text{焊芯含Zn量}} \%$ 。

鋅氧化成的白色烟霧妨碍焊工对熔池的觀察，吸入后还有害健康。因此必須在生产中采取措施使鋅减少到最低程度，例如，尽量采用焊接热源溫度低的方法，增大焊速以免熔池过热；使用含鋅量低的或不含鋅的异种焊芯作填充金屬；熔剂塗料或焊芯內加入一些合金元素（如硅），使熔池表面覆盖一层密致的氧化物（ SiO_2 , ZnO ），以减少鋅蒸发等等。

必須指出，用电弧焊焊接黃銅，鋅的燒損是不能完全避免的，有人建議以提高焊芯內的含鋅量的办法来弥补鋅的燒損。但实验証明，鋅的过渡系数极小，不但达不到目的，反而使鋅的燒損更加严重，使焊接工艺恶化。基于实验資料，我們认为采用加入合金元素的低鋅焊芯来补偿因鋅燒損而造成的性能下降，是简单有效的方法。例如我們已成功以低鋅的 Л1АМnЖ 67-5-2-2 焊条焊接了高鋅的 ЛМnЖ 55-3-1 黃銅，焊后接头质量并不低于基体金屬。

3. 裂縫問題：焊接銅与青銅合金时，常常在焊縫区出現裂縫。經分析，这些裂縫多半是由于晶間出現 $Cu_2O + Cu$ 低熔点共晶物或 Sn、Pb 等低熔点杂质偏析而引起的，即所謂晶間裂縫。焊接黃銅时这类裂縫（在焊縫区）极少見到，这是因为黃銅結晶区間較小，不易偏析，而且各种活潑元素含量較多不易产生类似 $Cu_{20} + Cu$ 低共熔物。但黃銅容易在热影响区（有时是焊縫区）产生冷裂縫。这是由于黃銅膨脹系数大，本身强度高（如 Л1АМnЖ 67-5-2-2 为銅的三倍），在焊接不均匀加热条件下造成很大的內应力，若此时某一断面較弱或原来存在着鑄造缺陷等就会形成裂縫。在修复螺旋桨缺陷时，裂縫多半发生在桨叶的根部（厚度和剛度大）和端部（最薄，膨脹最厉害），见图 4。

防止这类裂縫的基本原則是减小內应力，增大材料的可塑性。例如采用預热，合理地

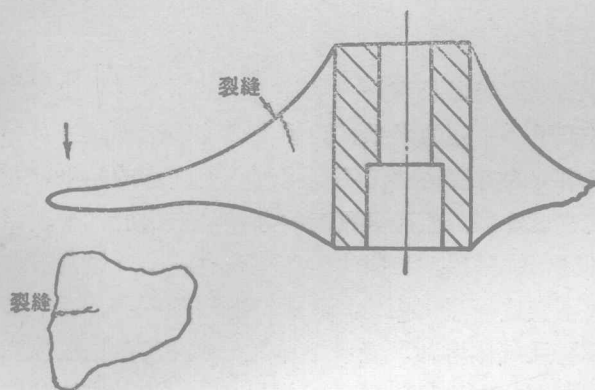


图4 修复螺旋桨时出现的裂缝

主要之点归纳于表3), 因此各有其适用范围。这些方法就整个黄铜焊接技术来看, 它们是相互补充而不是彼此排斥的, 在不同的材料牌号、结构形式、生产条件之下, 这些方法都显示出不同的优缺点, 所以, 焊接方法的选择应该根据具体条件进行考虑。例如, 在黄铜焊补和焊接方面采用惰性气体保护焊是较合理的; 对于铸件的焊补以采用金属极手弧焊较为恰当; 黄铜堆焊则应尽可能采用熔铜堆焊方法; 氧乙炔焰焊用在小型薄件、高锌黄铜上有突出的优点。这些方法因为在生产上各有其使用对象, 所以都得到研究和发展, 例如在氧乙炔焰焊的基础上创造出了气体熔剂焊; 电弧焊方面则研究出了更新的优质的焊条和焊剂。

表3 各种焊接方法的优缺点及适应范围

序号	焊接方法	优点	缺点	适用范围
1	熔铜堆焊	1. 元素烧损少 2. 质量较好 3. 设备简单、操作容易 4. 生产率高	1. 切削加工裕量大, 耗时多 2. 辅助钢材消耗多	1. 大工件的平面堆焊 2. 代替各种铜套结构的镶嵌
2	氧乙炔焰焊	1. 元素烧损少, 焊着率高 2. 设备简单, 使用方便	1. 对焊工技术要求高 2. 质量较不稳定 3. 变形较大	1. 薄壁件焊接与修补 2. 小工件堆焊 3. 对化学成分有要求的高锌材料
3	碳弧焊	1. 设备简单 2. 质量尚好	1. 填充材料消耗较多 2. 操作较手弧焊复杂, 对焊工技术要求高	1. 铸件修补 2. 部分黄铜结构的焊接
4	金属极手弧焊	1. 设备简单 2. 操作方便、灵活机动 3. 保证质量	1. 锌烧损较大, 焊着率低, 机械性能易受影响 2. 烟雾多、观察熔池不易, 并对人体有害, 需通风装置	1. 各种铸件焊补 2. 对化学成分要求不严的结构焊接
5	惰性气体保护焊	1. 焊补及焊接质量优异 2. 工艺性能较好, 不需预热	1. 需专用设备 2. 成本略贵 3. 只适用于室内焊接	1. 黄铜铸件的焊补 2. 黄铜结构焊接 3. 铜上堆焊
6	埋弧自动焊	1. 生产率较高	1. 锌烧损严重, 成分不易控制 2. 焊接过程较难掌握	1. 原件焊接 2. 铜件上堆焊

布置焊道与焊接程序, 以及采用塑性较好的焊条等工艺措施便可达到此目的。总之, 我们认为黄铜裂缝不是一个严重的问题。

§3 現用的各种焊接方法的比較及其选择

目前在实际生产中焊接黄铜的方法很多, 有氧乙炔焰焊、碳弧焊、金属极手弧焊、埋弧自动焊、惰性气体保护焊、钎焊等等。各种方法都有其优缺点 (主

第二章 黃銅氧乙炔焰氣焊

由于黃銅具有良好的導熱性和導電性、大的線膨脹系數，以及在高溫下容易吸收氣體和容易發生鋅的蒸發，這就給它的焊接帶來了一系列的困難。為了克服這些困難，許多焊接工作者用過各種焊接方法作了試驗，其中有的方法目前仍不能得到完全滿意的結果。

氣焊是最古老的方法之一，它已為其它更廉、生產率更高的電加熱方法所代替。但用氣焊焊接黃銅，到目前為止，在世界各國仍被採用。我國的生產實踐也證明氣焊黃銅是有生命力的，尤其在保證化學成分近似或不變這一點上更為其它焊接方法所不及。近年來工業上生產了一些焊接性能良好的含硅焊絲及氣體熔劑，能保證焊縫金屬結實，機械性能良好，化學成分近似或不變，使氣焊這一古老的方法又獲得了新的生命力。這種方法的缺點是氧乙炔氣太貴，焊大厚度的工件時生產率低，焊接時熱量不集中，會引起較大的焊接變形。但對於各種黃銅板制作的薄壁容器，形狀複雜的各種管子、法蘭等，這種方法仍然是必不可少的。其次氣焊設備簡單，大小工廠都有；採用氣焊也比較方便靈活，適用範圍廣泛。如果將焊工的技术水平加以提高，能充分掌握黃銅的焊接特性，則此種焊接方法仍是值得推廣的。

§1 氣 焊 分 類

目前氣焊黃銅有三種方法：

1. 一般氣焊法。即用焊絲隨時浸沾熔劑或將熔劑塗在焊絲上，這是最古老的一種方法。這種方法有許多缺點，主要的是：熔劑加入不均勻，沒有一定的劑量；焊接過程不穩定；不能充分保護熔池以免鋅蒸發。如果焊接工藝不當，就容易出現氣孔，降低焊接接合的質量。因此，若要使用這種方法，則先要培訓焊工，提高其理論水平與實際技能，改進加入熔劑的方法，這樣才能提高焊接質量，滿足要求。這種方法的優點是方便、簡單、靈活、適用範圍廣。

2. 粉末氣體熔劑焊接。這種方法的特点是用氮氣或壓縮空氣將粉末熔劑直接輸送入焊槍的火焰內，以改進上述一般氣焊時熔劑加入不均勻、沒有一定劑量的缺點，它適于焊接大厚度的工件及補焊大厚度的鑄件缺陷。其缺點是需要特殊的熔劑供給裝置及特殊設計的焊槍，還需要氮氣或壓縮空氣。此外，焊槍的構造複雜，除了粉末熔劑通過它以外，還要用水冷卻，因而增加了它的重量，使焊工容易疲勞。

3. 氣體熔劑焊接（請參閱本書氣體熔劑在鋼上堆焊黃銅一章）。

§2 火焰的構造和性質

氧乙炔火焰的構造主要是由混合氣體中氧與乙炔的比例 $\left(\beta = \frac{O_2}{C_2H_2}\right)$ 來決定。根據混合氣體中不同的比例通常把火焰分為正常焰、氧化焰和增碳焰三種。在正常火焰（圖6）中又可以明顯地看到三個不同的區域：1. 焰心，2. 中層（還原區），3. 火舌（氧化區）。

氧乙炔之比 $\beta = \frac{O_2}{C_2H_2} = 1.1 \sim 1.2$ 時叫正常焰，它具有輪廓鮮明的焰心，其端部勻調成圓形（如圖5a）是火焰的基本形式。其中氧乙炔之比配合適當，火焰中可燃氣體完全燃

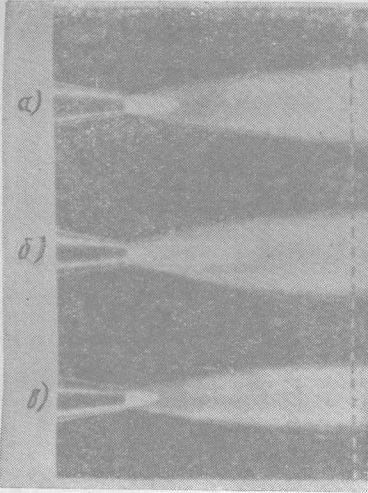


图5 氧乙炔焰的外形

α —正常焰； δ —增炭焰； β —氧化焰。

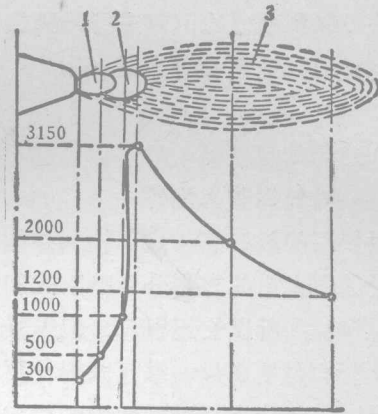


图6 正常氧乙炔焰的构造及其温度分布曲线

1—焰心；2—还原区；3—火舌。

烧成 CO_2 和 H_2O 。火焰温度较高。

氧乙炔之比 β 在1.1以下时火焰具有增炭的性质，同时燃烧区域的尺寸增大，焰心发出出现黄色的羽毛状（如图5 δ ）。多余的乙炔发生分解： $\text{C}_2\text{H}_2 \rightarrow 2\text{C} + \text{H}_2$ 。形成的炭可能为熔化金属所吸收，而氢则可能为熔池所吸收而形成气孔。增炭焰具有较低的温度，这影响着焊接过程的迅速进行。

氧乙炔之比 β 在1.3以上时火焰具有氧化性质，焰心缩短变得尖锐（如图5 ϵ ），其温度较其它两种火焰均高，这能加速焊接过程，提高劳动生产率。但这种火焰能氧化金属，在焊接黄铜时，能在熔池表面生成一层氧化物的薄膜，防止锌的蒸发及氢的溶解，这正是焊接黄铜所需要的火焰。

火焰各部分的化学成分是很不一致的，它决定于混合气体的成分和火焰吸入空气的程度。对焊接过程来说最值得注意的是靠近焰心的中层的成分，根据许多计算及光谱分析得出的结果如下：

1. 当混合气体中氧与乙炔的体积比 $\beta = 1.1 \sim 1.2$ 时，火焰中层里 CO 和 H_2 的含量达最大值， CO 的成分是60~66%而 H_2 是34~40%。
2. 随着比例 β 的增大，火焰中层里 CO 和 H_2 的含量减少而 CO_2 和 H_2O 的含量增加。
3. 火焰中原子氢的含量较分子氢的含量多。
4. 随着内部焰心在纵的和横的方向上的逐渐消失， CO 和 H_2 的数量逐渐减少，而 CO_2 、 H_2O 和 N_2 的数量逐渐增加。
5. 火焰中部还原层的长度是不很大的，当混合气体中的比例正常时（ $\beta = 1.1 \sim 1.2$ ）总共只有几毫米，当火焰中氧的含量过剩时这个长度变得更小。

火焰的性质焊工可用肉眼确定。点燃火焰以后，完全打开氧气阀，随后增加乙炔的消耗量至出现羽毛状的绿色焰心，然后减少乙炔的消耗至羽毛状的焰心消失即得到正常焰。再减少乙炔的消耗使焰心逐渐缩短至正常焰焰心的 $2/3$ 或更短一些，即得到焊接黄铜所需要的氧化焰。为了得到氧化焰不应当依靠增加氧气的压力，因为这样混合气体将以过大的

速度从焊枪喷出，使火焰变硬，即使不吹走焊池金属，也将吹破焊池表面所形成的氧化物薄膜，妨碍焊接过程的正常进行，降低焊接质量。气焊工应当充分了解火焰的构造及其各部分的性质，以便有效地加以利用。

§3 焊接设备

一、一般气焊黄铜设备

气焊黄铜的设备和一般焊接钢材的没有差别，都是使用氧乙炔焊枪。现代焊枪根据气体燃料送进混合室的方法分为喷射式和等压式两种。前者只要求供应低、中压乙炔，设备简单制造容易，所以使用很广，但焊接过程中，火焰燃烧不稳定，火焰的性质容易改变，这样容易影响焊接质量。等压式焊枪要求高、中压乙炔，一般乙炔发生器不能供应，设备要求较严格，其优点是火焰燃烧较稳定，成分变化不大，对保证黄铜的焊接质量有很大作用，因此焊接黄铜希望使用等压式焊枪。我国现在所使用的焊枪，绝大多数是喷射式的，燃烧时火焰不稳定，因此在焊接黄铜时要求焊工随时注意观察火焰的变化，一有变化立即加以调节，以保证火焰的稳定性。

二、粉末气体熔剂焊接设备

粉末气体熔剂焊接设备包括两个部分：熔剂供给器；特制焊枪。供给器内装粉末熔剂，吹氮气或压缩空气经过供给器的喷嘴，将熔剂带入焊枪火焰内燃烧。熔剂的消耗量用改变通过喷嘴的气体流量来调节。焊枪是喷射式的，结构比较复杂，熔剂从喷嘴中间的孔流出，氧乙炔混合气体由孔的四周流出。喷嘴用流水冷却。

三、气体熔剂焊设备参看第二篇第二章

§4 焊接材料

一、焊丝

焊丝在焊接过程中作为填充金属往熔池内补充，填满熔池以形成光洁牢固的接头。焊丝的成分，基本上应该近似于基体金属的化学成分，以保证焊缝具有与基体金属近似的性能。因此要求：

(1) 焊丝的化学成分及其熔化温度应当与基体金属近似或相差不大，机械性能和耐蚀性，根据焊接产品的具体要求，应与基体金属相同，甚至超过它。

(2) 焊丝在熔化时应当平静，即锌的蒸发及金属的飞溅要少。

(3) 焊缝金属致密没有气孔夹渣。

(4) 焊接时形成的熔渣应当是易熔的，比重较轻的，并浮于液体熔池的上部，以阻碍锌的蒸发及氢气的溶解，而冷却后熔渣又容易去除。

由于黄铜焊接时锌容易蒸发，所以如用完全与基体金属成分一致的焊丝，焊后锌的成分将会降低。为了补偿锌的烧损，有人推荐用含锌量较高的焊丝，实践证明含锌量高并没有得到预期的效果。焊丝内含锌量愈多，烧损也愈多，反而恶化焊工的劳动条件及施焊条件。用近似含锌量的焊丝而另外加入少量的硅并且用氧化焰焊接，将使锌的烧损及蒸发减至极少（在0.5~1%之间）。含硅黄铜在焊接以后不经锻打，就有较高的机械性能，而且焊缝致密。另外，在焊缝内含有硅，可消除黄铜在200~600℃温度之间的热脆性。也有

資料介紹用含有少量的鋁、錳、鎳等合金的焊絲可得到優質的焊縫金屬，但最常用的還是錒。錒也經常被加入焊絲內使焊縫金屬在海水中具有優良的抗蝕性。另外錒可增加熔融金屬的流動性，因此在焊接管子及容器等閉合焊縫時常用含錒焊絲或含錒錒焊絲，以便改善焊縫金屬的焊接性和流動性，保證焊縫的質量。

對於不含錒黃銅，若用同樣牌號的焊絲焊接同樣牌號的工件，而且要求焊縫的化學成分、機械性能、結實性等和原材料一樣，那麼，使用一般的焊接方法是不能達到預期效果的。在這種情況下可用氣體熔劑進行焊接，一方面可以防止鋅的燒損和蒸發，另一方面也可以得到結實優良的焊縫金屬。

表4和表5分別為各種焊絲的成分與用途，以及應用它們時的工藝條件與焊接接頭的機械性能。

表4 焊絲的成分和用途

牌 号	ГОСТ或ТУ	化 学 成 分 %										应 用 范 围
		成 分				杂 质, 不 大 于						
		Cu	Zn	Si	Sn	Pb	Fe	Sb	Bi	P	总 共	
Л162	ГОСТ 1019-47	60.5~63.5	其余	—	—	0.08	0.15	0.005	0.002	0.01	0.6	焊接普通黄铜 如Л162、Л168等
ЛК 62-05	ТУЛМО 1327-54	60.5~63.5	其余	0.3~0.7	—	0.08	0.15	0.005	0.002	0.01	0.6	焊接普通及硅 黄铜
ЛО 60-1	ГОСТ 1019-47	60.5~63.5	其余	—	1.0~0.5	0.3	0.15	0.005	0.002	0.01	1.0	焊接在海水中 工作的工件
ЛОК 62-04-05	ТУ ВНИИ Автогена	60.5~63.5	其余	0.3~0.7	0.3~0.5	0.08	0.15	0.005	0.002	0.01	0.5	焊接要求流动性 好的普通黄铜, 如 管子的接缝
ЛОК 59-1-03	ТУЛМО 1334-54	58~60	其余	0.2~0.4	0.7~1.1	0.1	0.15	0.005	0.002	0.01	0.3	同 ЛО60-1

表5 推荐的焊接工艺条件及焊接接头的机械性能

焊 絲 牌 號	基 体 金 屬	工 艺 条 件			机 械 性 质			
		焊接位置	火 焰	熔 剂	焊縫抗拉强度极限 (公斤/毫米 ²)	焊接接头抗拉强度极限 (公斤/毫米 ²)	弯曲角度 (度)	冲击韧性 (公斤·米/厘米 ²)
ЛК 62-05	Л62 δ=3~4毫米	任何空間位置	氧-乙炔氧化焰	气体熔剂 粉末气体熔剂 粉末熔剂	40	32	180	7.6
Л62	Л62 δ=3~4毫米	俯焊	氧-乙炔氧化焰	气体熔剂	35	32	180	6.6
ЛО 60-1	ЛО62-1 δ=4毫米	俯焊	氧-乙炔氧化焰	气体熔剂	42	40	180	6.0
ЛОК 62-04-05	Л62 δ=4毫米	俯焊	氧-乙炔氧化焰 氧-乙炔代用品氧化焰	气体熔剂 粉末气体熔剂 粉末熔剂	38	32	180	7.5
ЛОК 59-1-03	ЛО62-1 δ=4毫米	俯焊	氧-乙炔氧化焰 氧-乙炔代用品氧化焰	气体熔剂 粉末气体熔剂 粉末熔剂	41	42	180	6.0

二、熔剂

除了焊絲內含有硼的情形外，用其它焊絲焊接黃銅都需要使用熔剂，其目的在于促使熔化金屬能很好的同基体金屬熔合，并从熔池排除形成的氧化物及非金屬夹杂。此外熔

剂还能在熔池表面上形成熔渣层, 阻止金属的继续氧化, 因此对熔剂的基本要求如下:

(1) 从金属表面排除氧化物薄膜及防止金属继续氧化。

(2) 防止液体金属溶解气体, 同时减少或消除锌的蒸发。

(3) 熔剂必须具有高度的反应能力, 以便使金属氧化物的溶解过程在熔池凝固之前完成。由熔剂所形成的熔渣, 应能很好地保护金属, 使之不受空气中的氧所氧化。

(4) 熔剂的熔点必须较焊丝及基体金属的低, 且比重要小, 以便使所产生的熔渣容易浮到熔池表面上来。

(5) 熔剂不得对金属产生有害的影响, 应能很好地盖在金属表面上。焊缝金属冷却后容易脱渣。

通过熔剂的化学作用及物理溶解作用均能将金属氧化物除去。一般焊接黄铜时所形成的氧化物如 CuO 、 ZnO 、 MnO 是碱性的, 所以熔剂多用酸性的硼砂 ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) 及硼酸 (H_3BO_3)。

在高温下, 这两种物质均分解成 B_2O_3 , 同金属的氧化物形成硼酸盐 $\text{ZnO} \cdot \text{B}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CuO} \cdot \text{B}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MnO} \cdot \text{B}_2\text{O}_3$ 。硼砂内含有结晶水, 受热时析出, 发生气泡, 使焊接区的水蒸汽浓度增加。同时, 当析出结晶水时, 硼砂能自金属表面脱落, 使金属表面暴露而遭受氧化, 因此硼砂使用前必须进行高温脱水。

熔剂的成分(表6)和加熔剂入焊池的方法及剂量等对焊接质量都有很大的影响, 所以应当合理选择熔剂及改进加入的方法, 以保证焊接质量。

§5 焊接工艺

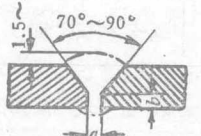
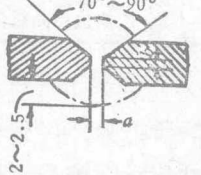
一、焊接接头的型式及坡口准备(表7)

焊接黄铜一般都采用对接接头。角接、搭接、T字接头采用得较少。厚度在2毫米以下的多半是卷边而不加焊丝, 6毫米以

表6 焊接黄铜最常用的熔剂成分

序号	熔剂成分	含量(重量)%	制造方法
1	硼砂 $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	100	焙烘除去结晶水磨碎过筛
2	硼酸 硼砂 磷酸氢钠	35 50 15	混合起来
3	硼砂 硼酸	20 80	—
4	硼酸甲脂 $(\text{CH}_3\text{O})_3\text{B}$ 和 CH_3OH 的混合物	75 25	用特殊方法制成

表7 气焊黄铜时坡口的准备

接头型式	简图	尺寸(毫米)		
		金属厚度	容腔大小(a)	钝边大小(b)
卷边		0.5~1	—	1~2
无坡口单面焊		1~5	0.5~2	—
双面焊		3~6	1~2	—
有工艺垫板		3~5	2~3	—
V型坡口		6~15	2~4	1.5~3
X型坡口		15~25	2~4	2~4