

中國
工程師手冊

機械類

上

中國
工程師手冊
機械類
中

中國

工程師手冊

機械類

下

第二十三篇

熔 接 工 程

目 錄

頁

第一章 緒言

第二章 硬焊

- 2•1 硬焊之加熱方式分類23— 2
- 2•2 硬焊之施工23— 4
- 2•3 硬焊焊料23— 5
- 2•4 硬焊之典型配當23—12

第三章 電阻熔接

- 3•1 電阻熔接之理論基礎23—14
- 3•2 電阻熔接裝備23—15
- 3•3 電阻熔接方法23—17
- 3•4 電阻熔接母材之適應性23—26

第四章 電弧熔接

- 4•1 電焊基本裝備23—27
- 4•2 電焊接合形式、焊接方法、及方位23—30
- 4•3 電焊施工23—32
- 4•4 電焊條23—40

第五章 氣焊及切割

- 5•1 定義23—44
- 5•2 氣焊分類23—44
- 5•3 氧氣—乙炔氣熔接23—45

第六章 熔接成果之檢驗

6•1 破壞性檢驗	23—54
6•2 非破壞性檢驗	23—54
6•3 影響熔接成果之有害因素	23—57

第二十三篇

熔 接 工 程

李 常 聲

第一章 緒 言

熔接又名焊接，是用適當配合的加熱和加壓的方法，使兩件金屬材料沿其接觸面局部熔合，相互滲透結晶，達到金屬原子間結合的目的，因而結構成爲一個連續剛體。物質受熱後，其微粒的活動性必顯著增強，被接合材料的原子間彼此更容易發生擴散，也容易恢復金屬鍵的結合。對某些金屬言，加熱之溫度必須達到其熔點以上，此時混合，重結晶及晶粒成長的現象會自然進行，最後完成熔接；對其他金屬言則溫度不須如此之高，在接近室溫狀態下，施以外力，使兩片材料間因擠壓而發生塑性變形，由於其間原子相互靠攏，突破了境界，此時晶粒間的吸附作用和相互擴散滲透的易於進行，亦可自然的完成熔接；因此，在溫度與壓力的不同條件下，除非少數性格迥異者外，大多數金屬間均可設法施實熔接。只是施工環境、加壓、加熱的方式及時間、焊料及設備等之不同，和熔接效果之差異而已。

熔接工程之施實，其理論基礎牽涉甚廣，舉凡理化、熱傳、金相、冶金、材料科學、結構力學、彈塑性力學以及破裂力學等，均佔有很重要的地位；再由於施工進行中產生了移動性或固定性的局部高溫，而材料的熔合、冷卻、結晶、擴散、凝結及熱量的傳遞均與時間因素息息相關，其內應力、內應變和結構邊界上的反作用力，甚至材料本身最後的機械性質等等的變化，均是複雜而值得研究的問題。

第二章 硬 焊 (brazing)

硬焊俗稱銅焊，又名硬鑲焊，是利用非鐵金屬合金做焊料 (filler metal)，將配合良好之母材 (base metal) 組件密合後，沿其接觸面均勻加熱，因填料合金之熔點均較母材為低，故當溫度漸升時，預置或後加之焊料必先行熔化，因其流動性之增加，乃因毛細管作用滲入母材高溫密接面之縫隙中，冷卻後即完成焊接。焊料合金之熔點在 427°C 以上的熔接，定義之為硬焊，否則稱之為軟焊 (soldering)，如錫焊者，不屬於熔接工程範疇。

2.1 硬焊之加熱方式分類

2.1.1 噴燈焊或氣氣焊 (torch brazing)

用可燃性氣體經噴燈或氣炬燃燒供熱，可用之氣體約有下列四組

- 空氣—汽油 熱量小，施用於薄件者為佳，若母材較厚，則使用氧性焰，以觸高加熱率。
- 空氣—乙炔氣 適用於合金類硬焊或銅焊。
- 氧氣—乙炔氣 熱量大，用還原性火焰，大件材料之硬焊多用之，但應避免局部過熱之發生。
- 氧氣—其他可燃性氣體 水煤氣、沼氣等均可供給高溫火焰，適用合金類硬焊。

2.1.2 雙炭極電弧硬焊 (twin carbon arc brazing)

利用一對炭極，引生電弧供熱，加熱快而集中，操作時特別小心，避免局部過熱。

2.1.3 爐硬焊 (furnace brazing)

焊件及焊料裝爐於爐內，用烘爐間接加熱，溫度視焊料而定，此法適於小件大量生產及自動操作。

2.1.4 感應硬焊 (induction brazing)

感應硬焊亦稱電熱爐焊，能源來自高週波之電流；高週波線圈電流經過母材附近，使母材因過感而生感應電動勢，但母材與預置之焊料間因間隙存在，電阻

較大，故在該間隙處產生熱量，將焊料溶化，填滿高溫之母材間隙，冷卻後完成銜接，感應硬焊其熱效應的滲透深度與通過線圈內之電流頻率成反比，頻率越高則深度越淺，欲深度大則頻率要低，此時需要之電流甚大，感應線圈應較粗，並加冷卻設備。線圈之形式及大小可因需要自行設計，圖 2-1 可供參考。

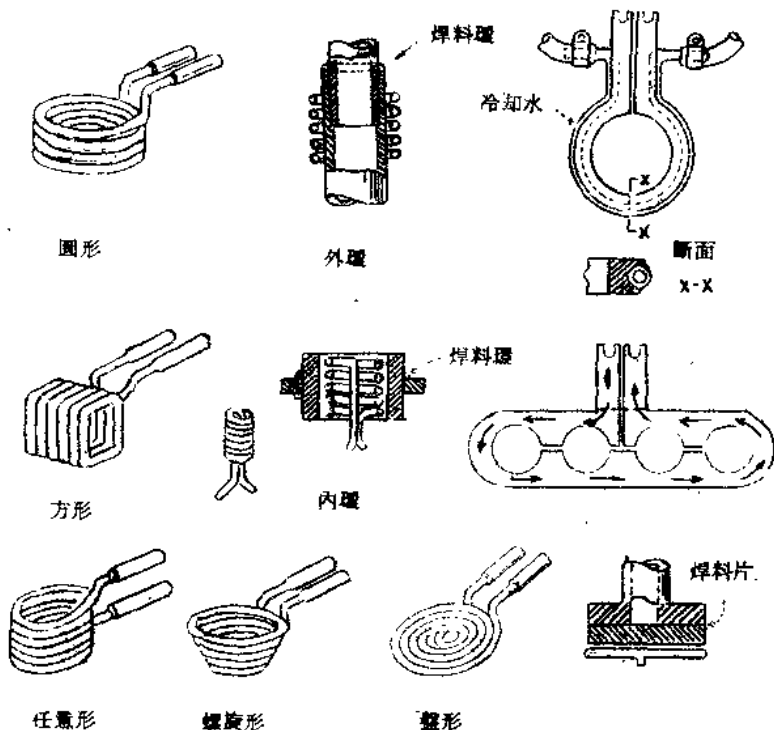


圖 2-1 硬焊感應線圈

高週波電源約有三類，其頻率及功率範圍如下：

- 馬達發電機組 (M-G set) 1000~12,000 CPS, 50~1000 kW.
- 協振火花間隙式 (resonant spark gap) 15,000~60,000 CPS, 3-40 kW.
- 真空管振盪式 (vacuum tube oscillator) 100,000~1,000,000

CPS, 40~100 kW。

2.1.5 電阻硬焊 (resistance brazing)

用大電阻，耐高溫之材料做電極，相對抵緊欲施焊之母材，母材為電路之一部份，當電流通過時，電極本身因大電阻而首達紅熱狀態，此時大量熱能傳至母材，其溫度足可使焊料先行熔解，滲入隙縫中，冷卻後完成熔接，此法運用能量之效率甚高，損失小；電極規格約有三種：

- a. 電阻 0.00028 ohm/cm，電流密度許可值 234 amp./cm²
- b. 電阻 0.00048 ohm/cm，電流密度許可值 188 amp./cm²
- b. 電阻 0.00072 ohm/cm，電流密度許可值 125 amp./cm²

電阻硬焊施實凡例中，最大接觸面積可達 2,300 cm²，使用電流約 30,000 安培。

2.1.6 熱浸硬焊 (dip brazing)

將組件浸入熔化之高溫焊料溶液中，必要時母材組件可先行預熱，此法之施工對小件大量生產有利。

2.1.7 塊段硬焊 (block brazing)

將高溫大質量之熱塊依次置於先行預置焊料之母材上，使傳熱至焊料完成熔接，此法對特殊之工作有用之，但需時甚久，凡影響精度。

2.1.8 熔澆硬焊 (flow brazing)

將熔化之高溫焊料，繼續傾澆於母材之焊縫上，至母材達到所須之溫度為止。

2.2 硬焊之施工

硬焊施工過程中，密接面之表面清潔最為重要，在加熱前應施用 75% 的硼砂與 25% 的硼酸之混合膏劑，或其他鹼性鹽類為焊藥 (flux)，此種焊藥可以除去密接面上之油污及氧化物，並可防止高溫材料之氧化，促進焊料之流動性；密接面之各種接合型式及焊料之預置如圖 2-2 所示；以 BAg-x 為焊料之銀焊標準，其密合面間隙約在 0.025~0.075 m.m. 之間者，可得最大之焊接強度，間隙過大時不但浪費焊料，強度反而減低，太空乘具結構土常使用之鋁、鈦、鎳及鎳等合金材料，其熔接亦多採用硬焊。

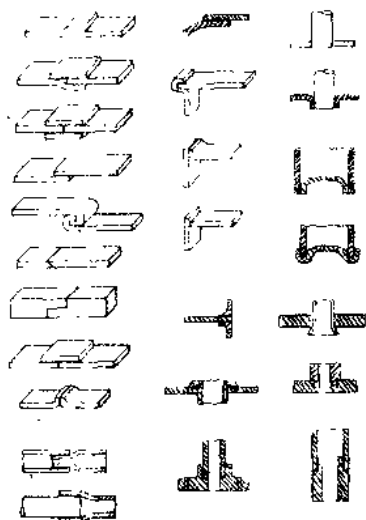


圖 2.2 硬焊接合形狀

2.3 硬焊焊料

硬焊焊料名目繁多成份各異，目的在滿足不同之連接上的需求，大多以其中主要成份為主體而分類編號，國際間均以大寫英文字母 B 為代號之字頭，其後再附以主要成份及等級。

2.3.1 銀焊料

中國國家標準 (CNS) 將銀焊料分成 8 級，其主要成份、熔點、流動點及外觀如表 2.1 所示，施焊溫度約在流點溫度至超過該溫度 100 度之間；焊料多以條狀供應，共分三型：

- a. X 型 厚度 ≤ 0.5 mm 寬度 ≤ 76 mm
- b. A 型 厚度 ≤ 0.07 mm 寬度 ≤ 19 mm
- c. B 型 厚度 ≤ 0.7 mm 寬度 ≤ 6.4 mm

表 2.1 中 3 級銀焊料又有條狀及桿狀，4 級與 6 級有圓線狀，及 5 級有

六角形，八角形等斷面之區分，其長度則於冷軋時為需要而定；用於焊接精巧之器具應採用薄狀焊料，含銀量較高者強度亦高，0 級焊料以軟焊為主；1 級為一般使用，渦輪葉片之硬焊亦多採用；2 級含銀率高，用於需要高強度，耐試驗及美觀外觀者；3 級僅同於焊接黃銅及銅合金，不適於鐵合金；4 級及 6 級則適用銅、鐵、鎳及其合金；6 A 級與 4 級物理性質相似，但熔點範圍較廣，當 4 級不合用時，可用 6 A 替代，該級銀焊料可硬焊鐵素鋼，產生 4900 kg/cm^2 之抗拉強度；5 級焊料可適用於 4、6 級所需者，並可專用於不允許有焊接公差而需要填充之硬焊。

表 2-1 CNS 表焊料規格

等 級	化 學 成 分 (%)						其他元素 (最大量)
	銀	銅	鋅	磷	鎳	錫	
0	19.0至21.0	44.0至46.0	33.0至37.0	—	—	—	0.15
1	44.0至46.0	29.0至31.0	23.0至27.0	—	—	—	0.15
2	64.0至66.0	19.0至21.0	13.0至17.0	—	—	—	0.15
3	14.5至15.5	79.0至81.0	—	4.75至5.25	—	—	0.15
4	49.0至51.0	14.5至16.5	14.5至18.5	—	17.0至19.0	—	0.15
5	49.0至51.0	14.5至16.5	13.5至17.5	—	15.0至17.0	2.5至3.5	0.15
6	49.0至51.0	14.5至16.5	23.0至27.0	—	9.0至11.0	—	0.15
6 A	49.0至51.0	17.0至19.0	20.0至24.0	—	9.0至11.0	—	0.15

等級	熔 點 ($^{\circ}\text{C}$)	流 點 ($^{\circ}\text{C}$)	顏 色
0	775	815	黃 色
1	675	745	接近白 色
2	695	720	白 色
3	650	705	灰 白 色
4	627	635	黃 白 色
5	645	688	黃 白 色
6	630	641	黃 白 色
6 A	627	640	黃 白 色

表 2-2 鋼焊料規格

鋼焊料 標 號	化 學 成 分 (%)					考 核 值			端 面 色 別	端 面 容 許 差	長 度 容 許 差
	Ag	Cu	Zn	Cd	Ni	Sn	Pb+Fe	固相 溫度 約 °C	液相 溫度 約 °C	施 工 溫度 °C	
BAG-1	44~46	14~16	14~18	23~25	—	—	0.15以下	605	620	620~760	黑
BAG-1A	49~51	14.5~16.5	14.5~18.5	17~19	—	—	0.15以下	625	635	635~760	桃
BAG-2	34~36	25~27	19~23	17~19	—	—	0.15以下	605	700	700~845	茶
BAG-3	49~51	14.5~16.5	13.5~17.5	15~17	2.5~3.5	—	0.15以下	630	690	690~815	赤
BAG-4	30~31	29~31	26~30	—	1.5~2.5	—	0.15以下	670	780	780~900	橙
BAG-5	44~46	29~31	23~27	—	—	—	0.15以下	675	745	745~845	黃
BAG-6	49~51	33~35	14~18	—	—	—	0.15以下	690	775	775~870	綠
BAG-7	55~57	21~23	15~19	—	—	4.5~5.5	0.15以下	620	650	650~760	青
BAG-8	71~73	27~29	—	—	—	—	0.15以下	780	780	780~900	紫

500.

0.8

1.2

1.6

2.0

2.4

3.2

4.0

±0.1

±3

1000

ASTM 將銀焊料自 BAg-1 至 -17 分成 18 級，JIS 則分 9 級；JIS 中 BAg-1A、-3、-5，分別相當於台灣標準之 4、5、1 級銀焊料；JIS 與 ASTM 的 BAg-1 A 亦完全相同；JIS 銀焊料規格如表 2-2 所示，其造形有線、帶、粒、粉各種；其中 1、1 A，兩級流動厚度範圍狹小，適於普通硬焊，焊口淡黃色；2 級流動性佳，熔溫範圍較寬，3 級耐蝕性強，適於不銹鋼硬焊，高炭鋼工具噴刀；4 級流動性更佳，用途同；5、6 兩級為普通電機工程使用；7 級用於不銹鋼器皿及食器工業；8 級流動性最佳，適於電子管、真空管之焊接。

2-3-2 銅焊料

銅及銅合金之硬焊料可分四類，有洋白銅或稱白耳銀（銀）、錳銅、黃銅（鋅）、及磷銅等。其個別等級、成份、規格及施工溫度等如表 2-3、2-4、2-5 及表 2-6 所示，銅焊料之供應有線狀、帶狀、粒狀及粉狀等多種，此外氣焊使用之裸銅條亦可替代之作爲硬焊料使用 ASTM 及 JIS 對磷銅焊料之分級完全相同，用途較廣，施工時 BCuP-1 級，及 -3 級者間隙約須 0.05~0.12 mm，但 1 級者流動性較差，2 級者流動性最佳，其所需間隙約爲 0.02~0.08 mm，4 級及 5 級者所需間隙分別爲 0.025~0.08 mm，及 0.08~0.13 mm。

表 2-3 磷銅焊料規格

磷銅焊料 之種類	化學成分(%)				參考值			施工 色別	棒長
	P	Ag	其他 元素 合計	Cu	固相 溫度 約 °C	液相 溫度 約 °C	施工 溫度 °C		
BCuP-1	4.8~5.3	-			705	900	785~925	白	
BCuP-2	6.8~7.5	-	Pb		705	805	735~840	桃	300
BCuP-3	5.8~6.7	4.7~6.3	Sn Fe	餘 數	640	805	705~815	赤	500
BCuP-4	6.8~7.7	4.7~6.3	0.2 以下		640	720	705~815	黃	
BCuP-5	4.8~5.3	14.5~15.5			640	815	705~815	青	

表 2.4 黃銅焊料規格

黃銅焊料 種 類	化 學 成 分 (%)							參 考 值			端面 色別	棒 徑 容許 差	棒長 容許 差			
	Cu	Sn	Fe	Ni	Pb	Al	Mn	Ag	P	Si				Zn	固相線溫度 約 °C	液相線溫度 約 °C
BCuZn-0	32 ~36	—	0.10 以下	—	0.50 以上	—	—	—	—	—	—	800	820	820 ~870	茶	0.8
BCuZn-1	58 ~62	—	—	—	0.05 以上	0.01 以下	—	—	—	—	—	900	905	905 ~955	黑	1.2
BCuZn-2	57 ~61	0.5 ~1.5	—	—	0.05 以下	0.02 以下	—	—	—	—	—	885	900	900 ~955	綠	1.6
BCuZn-3	56 ~60	1.0 以上	0.25 ~1.25	1.0 以上	0.05 以下	0.01 以下	1.0 以下	—	—	0.25 以下	—	865	885	885 ~955	赤	2.0
BCuZn-4	48 ~55	—	0.10 以下	—	0.50 以下	—	—	—	—	—	餘數	855	870	870 ~925	橙	2.4
BCuZn-5	50 ~53	3.0 ~4.5	0.10 以下	—	0.50 以下	—	—	—	—	—	—	860	875	875 ~925	黃	3.2
BCuZn-6	46 ~50	—	—	9 ~11	0.05 以下	0.02 以下	—	—	0.25 以下	0.25 以下	—	920	935	935 ~980	紫	4.0
BCuZn-7	46 ~49	—	—	10 ~11	—	—	—	0.30 ~1.00	—	0.15 以下	—	920	930	930 ~980	青	± 3

0.8
1.2
1.6
2.0
2.4
3.2
4.0
±0.1

500
1000
± 3

表 2-5 錳鋼焊料規格

編號	Cu	Zn	Mn	溶融點(°C)		抗拉強度 (kg/mm ²)		硬度	色
				液相	固相	施焊部份	焊料		
1	65.5	12	22.4	863	817	—	39.6	175	灰色
2	64	20	16	869	853	23.5	34.0	155	灰黃色
3	58	29	13	845	840	43.3	46.2	190	淺灰色
4	61.4	32	6.6	898	881	—	33.9	137	淺黃色

表 2-6 洋白銅(鎳銅)焊料規格

編號	Cu	Zn	Ni	溶融點(°C)		抗拉強度 (kg/mm ²)		硬度	色
				液相	固相	施焊部份	焊料		
1	53	33.2	13.8	985	972	—	40.0	147	黃白
2	47	42	11	—	—	—	—	—	—
3	45	45	10	—	—	—	—	—	—
4	45	35	20	1036	1016	—	39.4	147	銀白
5	43.5	38	18.5	1020	1003	—	36.6	169	銀白
6	41	42.5	16.5	974	894	24.2	30.4	191	銀白
7	38	50	12	907	873	—	13.9	212	銀灰
8	35	57	8	871	851	13.2	9.5	322	銀灰

2-3-3 鋁焊料

鋁焊料 JIS , ASTM 多一個等級,其他 1—4 級完全相同如表 2-7 所示,其中 0 級,4 級適於氣炬施工,其他各級採用爐焊較宜;鋁焊料棒徑約有 1.6, 2.0, 2.4, 3.2, 5.0, 6.0, 及 8.0 mm 等 8 種。

2.4 硬焊之典型配當

硬焊施工中選用焊料與母材之性質有絕對關係，而其加熱施工方式則與焊料之熔溫及流動性有關。最適當之選擇，始可得理想之接接，下表可供參考。

表 2.8 硬焊標準配當

硬焊方式	適用之焊料	母材
噴燈硬焊或 氣炬硬焊	洋白銅焊料 含 Si 之銅焊料 含 Sn 之磷青銅焊料 無 P 之銀焊料 含 P 之銀焊料 含 Ni 之銀焊料 黃銅焊料 鎳銅焊料 磷銅(BCuP-4)焊料	鋼、鎳及鎳合金 銅 銅 鋼、銅、銅合金、鎳、鎳合金、不銹鋼 銅及銅合金 鋼、鎳及鎳合金 鋼、銅、高銅合金、鎳、鎳合金、不銹鋼 鋼、銅、高銅合金、鎳、鎳合金、不銹鋼 銅及銅合金
爐硬焊	黃銅焊料 銅焊料 含 P 之銀焊料 無 P 之銀焊料 磷銅(BCuP-4)焊料	鋼、銅、高銅合金、鎳、鎳合金、不銹鋼 銅 銅及銅合金 鋼、銅、銅合金、鎳、鎳合金、不銹鋼 銅及銅合金
感應硬焊	洋白銅焊料 無 P 銀焊料 含 P 銀焊料 磷銅焊料	銅、鎳，鎳合金 鋼、銅、銅合金、鎳、鎳合金、不銹鋼 銅及銅合金 銅及銅合金
電阻硬焊	無 P 銀焊料 含 P 銀焊料 磷銅焊料	鋼、銅、銅合金、鎳、鎳合金、不銹鋼 銅、銅合金 銅
熱浸硬焊	無 P 銀焊料 含 P 銀焊料 黃銅焊料	鋼、銅、銅合金、鎳、鎳合金、不銹鋼 鋼、銅合金 銅、金銅合金