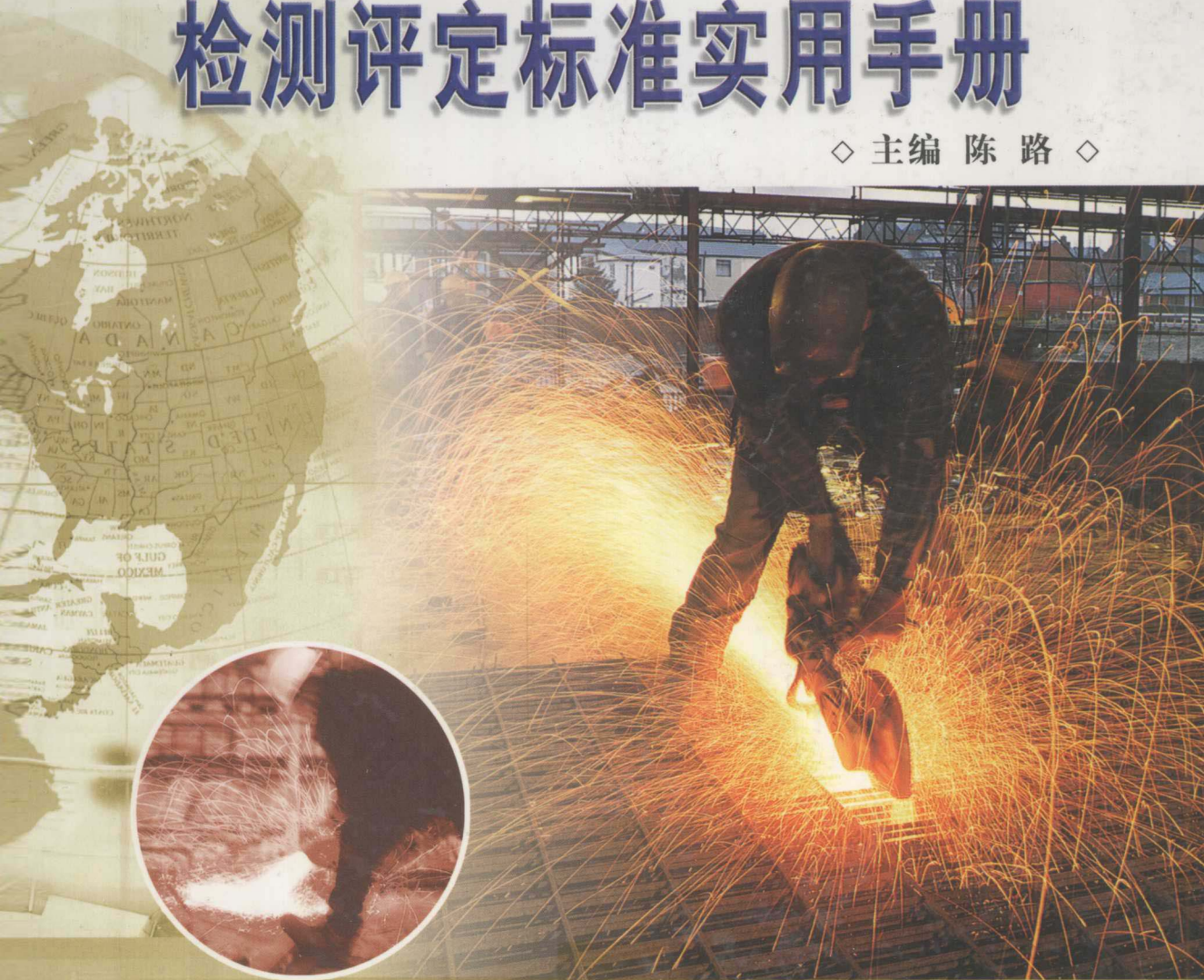


工程焊接技术与质量试验 检测评定标准实用手册

◇ 主编 陈路 ◇



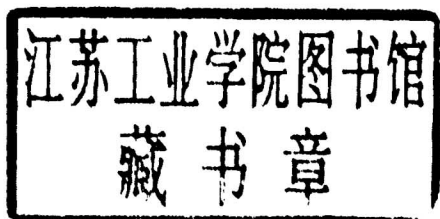
北京电子出版物出版中心

工程焊接技术与质量试验 检测评定标准实用手册

主编 陈 路

下

卷



北京电子出版物出版中心

对 焊

对焊可分为电阻对焊和闪光对焊两种。将工件装配成对接接头，使其端面紧密接触，利用电阻加热至塑性状态，然后迅速施加顶锻力使之完成焊接的方法叫电阻对焊。工件装配成对接接头，接通电源，并使其端面逐渐移近达到局部接触；利用电阻加热这些接触点（产生闪光），使端面金属熔化，直至端部在一定深度范围内达到预定温度时，迅速施加顶锻力完成焊接的方法叫闪光对焊。闪光对焊又分为连续闪光焊和预热闪光焊。

第一节 原理、特点及应用范围

一、对焊原理

（一）电阻对焊原理

先将两焊件的焊接面对齐装配成对接接头且压紧，并通以很大的焊接电流。由于焊件接触电阻较焊件内的电阻大得多，大部分热量就集中在焊接面附近，从而迅速使焊接区加热到塑性状态。断电后立即施加顶锻压力，使两焊件接触面的焊接区产生塑性变形，两焊件间金属原子在高温高压下相互扩散，形成牢固的接头。

（二）闪光对焊原理

在闭合焊接电源后，将夹在电极中的两焊件移近到相互接触状态，但不能压紧，这时两焊件仅有一些点接触，接触电阻很大。当电流通过时，由于接触电阻大和电流密度大，因此迅速将接触处的金属加热熔化，形成一些熔化金属的“过梁”。见图 5-3-1。形成的过梁在焊接电流的作用下，被迅速

加热到沸点而引起蒸发,形成过梁爆破,使金属微粒从接触面以很高的初速度(约 50m/s)作火状射出,即进入闪光阶段。随着动电极的缓慢推进,过梁不断产生和爆破,同时焊件逐渐缩短,接触面的温度也逐渐升高,过梁爆破速度逐渐加快,动电极的移动速度也必须逐渐加快,直到焊接面形成一层液态金属,并在一定深度上使金属达到塑性变形温度,这时就可以进入顶锻阶段。在顶锻阶段必须对焊件施加足够的顶锻压力,使接口间隙迅速减小,过梁停止爆破。然后切断焊接电流。在顶锻力的作用下挤出接触面的液态金属及氧化物等杂质,使洁净的塑性金属紧密接触,并使接头部位产生一定的塑性变形,形成共晶晶粒,获得牢固的焊接接头。预热闪光对焊则是在闪光阶段前先以断续的电流脉冲加热焊件,然后再进入闪光和顶锻阶段。

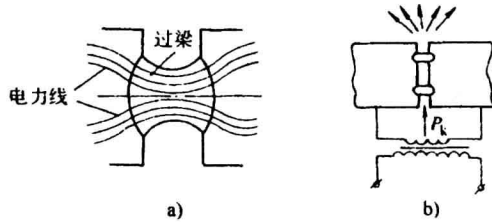


图 5-3-1 闪光对焊时过梁示意图

a) 过梁 b) 闪光过程

二、对焊特点

(一) 电阻对焊的特点

电阻对焊是先加压力后通电,焊件电阻的析热占很大比例,温度沿轴向分布较平缓。在可焊范围内,不论截面大小,均可在同一瞬间完成整个端面的对接。最高温度始终低于熔点温度,约为熔点的 90% 。只存在接口的塑性变形而几乎无烧损,焊件焊后缩短量较小,接头表面较光滑。缺点是对焊的接触面加工要求较高,且只能焊接延伸率较好的材料。

(二) 闪光对焊的特点

(1) 闪光对焊是先接通焊接电流后使焊件接触形成闪光,最后再加顶锻压力并逐渐增加顶锻压力。

(2) 预热闪光对焊与连续闪光对焊相比,具有如下特点:

- ① 可用功率较小的焊机焊接大断面焊件。
- ② 降低焊后的冷却速度,有利于防止淬火钢接头在冷却时产生淬火组织

和裂纹。

③缩短闪光阶段的时间，减少闪光数量，可以节约贵重金属。

④缺点是焊接周期长，预热控制困难，影响接头质量的稳定，另外还使焊件接过程自动化更加复杂。

(3) 闪光对焊时，两焊件的截面形状必须一致，尺寸差别应加以严格控制，一般来说直径差别不大于 15%，厚度差别不大于 10%。

三、对焊的应用范围

(1) 可焊 $\phi 0.4\text{mm}$ 的金属丝，最大可焊截面积超过 100000mm^2 的钢坯（电阻对焊对 250mm^2 以下的焊件）。

(2) 所有的钢件和有色金属件基本上都可以对焊。

第二节 对焊设备

一、对焊机的分类

(1) 按对焊机的结构形式分为弹簧顶锻式对焊机、杠杆挤压弹簧顶锻式对焊机、电动凸轮顶锻对焊机、气压顶锻式对焊机，电容贮能自动对焊机。

(2) 按用途分为通用对焊机和专用对焊机。

(3) 按机械化程度分为手动、半机械化和机械化对焊机。

(4) 按工艺方法分为电阻对焊机和闪光对焊机。

二、对焊机的组成

对焊机包括机架、静夹具、动夹具、闪光和顶锻机构、阻焊变压器和级数调节组，以及配套的电气控制箱。

(一) 静夹具

通常固定安装在机架上并与机架上的电气绝缘。大多数焊机中还有活动调节部件，以保证电极和工件焊接时对准中心线。

(二) 动夹具

安装在活动导轨上并与闪光和顶锻机构相连接。夹具座由于承受很大的

钳口夹紧力，一般用铸件或焊件结构件。两个夹具上的导电钳口分别与阻焊变压器的次级输出端相连。钳口一方面夹持焊件，另外要向焊件传递焊接电流。

（三）阻焊变压器

对焊机的阻焊变压器和其他类型电阻焊机的阻焊变压器相类似。它的初级线圈与次级调节组通过电磁接触器或由晶闸管组成的电子断续器和电网相连接。还可以配合热量控制器来进行预热或焊后热处理。

（四）闪光和顶锻机构

其类型取决于焊机的大小和使用的要求。有的采用电动机驱动凸轮机构，中等功率的对焊机采用气压—液压联合闪光和顶锻机构。大功率对焊机采用液压传动机构，最简单的对焊机采用手工操作的杠杆扩力机构。

三、对焊机的型号及技术数据见表 5-3-1

四、焊机的使用

- （1）焊机在安装前必须仔细检查各种元件是在运输中受损伤。
- （2）严防焊机受潮破坏绝缘，焊机必须可靠接地。
- （3）按规定注油。
- （4）空车检查气路、水路和电路是否正常。
- （5）施焊时应注意安全。
- （6）焊后应随时清除钳口及周围的金属末、屑。

第三节 对焊工艺

一、焊前准备

（一）电阻对焊的焊前准备

（1）两焊件的端面形状和尺寸应相同，否则难以保证两焊件的加热和塑性变形一致。

(2) 焊件的端面以及与夹具接触面必须清理干净，否则，端面的氧化物和脏物会直接影响接头的质量。与夹具接触的工件表面的氧化物和脏物会增大接触处电阻，使焊件表面烧伤、夹具磨损加快及增大功率消耗。可用砂布、砂轮、钢丝刷等机械方法清理，也可使用化学清洗方法（如酸洗）。

(3) 电阻对焊接头易产生氧化物夹杂，对于焊接质量要求高的稀有金属、某些合金钢和有色金属时，可采用氩、氦等保护气体来解决。

(二) 闪光对焊的焊前准备

(1) 闪光对焊时，由于端部金属在闪光时被烧掉，所以对端面清理要求不高，但对夹具和焊件接触面的清理要求应和电阻对焊相同。

(2) 对大截面焊件进行闪光对焊时，最好将一个焊件的端部倒角，使电流密度增大，以利于激发闪光。

(3) 两焊件断面形状和尺寸应基本相同，其直径之差不应大于 15%，其他形状不应大于 10%。对焊接头均设计成等截面的对接接头，见图 5-3-2。

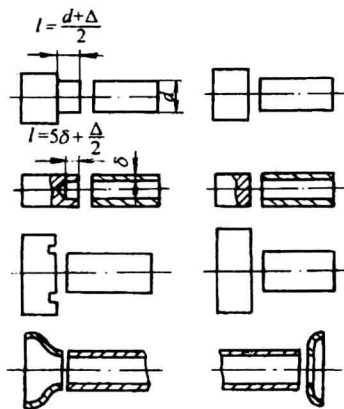


图 5-3-2 常用对接接头

d-直径 δ-壁厚 Δ-总留量

表 5-3-1 部分对焊机的型号及技术数据

型号	额定容量 (kV·A)	电源电压 (A)	次级空载 电压 (V)	最大焊接截面 (低碳钢) (mm ²)	说明
UN-16	16	380	1.76~3.52	—	铜、铝管接头自动对焊机，可焊 φ10×1mm 的焊件
UN-100-2	100	380	4.05~8.1	100 2000 (预热)	自动连续闪光对焊机

型号	额定容量 (kV·A)	电源电压 (A)	次级空载 电压 (V)	最大焊接截面 (低碳钢) (mm ²)	说明
UN-160	160	380	5~9.04	φ14~φ18mm 2000	自动预热闪光对焊机,可焊低、中碳钢及合金钢的棒材、型材、工具等
UN1-0.4	0.4	220	0.5~1.5	φ0.5~φ2mm	焊接黑色金属丝导线
UN1-1.6	1.6	220/380	1.0~2.0	φ1~φ5mm	可焊φ为1~5mm的低碳钢丝及铜、铝丝等,焊接过程自动进行
UN1-5	5	380	1.6~3.2	φ3~φ8mm	可焊φ2.5~φ6mm的铜铝等线材
UN2-16	16	220/380	1.76~3.52	300	可焊低、中碳钢、合金钢及有色金属(铜、铝及其合金)
UN2-40	40	220/380	3.52~7.04	600	电阻对焊或闪光对焊,可焊低、中碳钢,部分合金钢及有色金属(铜、铝合金)
UN-63	63	380	4.5~7.6	1000	电阻对焊或闪光对焊,可焊低、中碳钢、合金钢、有色金属
UNC-40	40	380	3.25~7.04	180	自行车接头自动对焊机
UNC-125	125	380	5.43~10.86	300	自动连续闪光车圈对焊机
UNG-63	63	380	4.22~8.54	—	连续闪光钢窗对焊机
UNG-100-1	100	380	6.6~11.8	200	空腹钢窗对焊机
UNG-100-2	100	380	6.6~11.8	400	实腹钢窗对焊机
UNG-125	125	380	5.43~10.86	300	自动连续闪光钢窗对焊机
UNG-160	160	380	7.91~10.85	1500	可焊钢窗、门、架的专用设备
UNT-100	100	380	4.05~8.10	φ14~φ20mm	自动连续闪光链条对焊机
UNY-80	80	380	3.8~7.6	150	连续闪光对焊机,可焊棒材、管材、工具、异形截面

二、对焊工艺参数

(一) 电阻对焊工艺参数

包括：伸出长度、焊接电流、焊接通电时间、焊接压力和顶锻压力。

1. 伸长长度

指的是焊件伸出夹具电极端面的长度。选择伸出长度时应从两个方面考虑：一是顶锻时焊件的稳定性，二是向夹具散热。如过长则压弯，过短则向夹具散热增加，造成焊件冷却过快，导致产生塑性变形的困难。伸出长度应根据不同金属材质来决定。如低碳钢为 $(0.5 \sim 1) D$ ，铝和黄铜为 $(1 \sim 2) D$ ，铜为 $(1.5 \sim 2.5) D$ （其中 D 为焊件的直径）。

2. 焊接电流

焊接电流常以电流密度的形式来表示，它是决定焊件加热的主要参数，电流密度大则焊接通电时间短，如电流密度太大则容易产生未焊缝，电流密度小则会使接口端面严重氧化，接头区晶粒粗大，影响接头强度。对于不同的材质和截面尺寸应采用不同的电流密度，如导热性好的材料应采用较大的电流密度，如焊接直径增加时可适当降低电流密度。

3. 焊接通电时间

这也是决定焊件加热的主要参数。它应和焊接电流配合。通电时间太短则容易产生未焊缝，通电时间太长则氧化严重。

4. 焊接压力和顶锻压力

它们对接头处的产热和塑性变形都有影响。如减小焊接压力则有利于产热，但不利于塑性变形，反之则相反。因此，应采用较小的焊接压力进行加热，而采用较大的顶锻压力进行顶锻。但焊接压力不宜太低，否则会产生飞溅，增加端面氧化。

(二) 闪光对焊的工艺参数

包括：伸出长度、闪光电流、闪光速度、闪光留量、顶锻压力、顶锻电流、顶锻留量、顶锻速度、夹具夹持力、预热温度、预热时间等。

1. 伸出长度

在一般情况下，棒材和厚壁管材为 $(0.7 \sim 1.0) D$ （ D 为直径或边长）。

2. 闪光留量

闪光对焊时，考虑工作因闪光烧化缩短而预留的长度。选择闪光留量时应满足在闪光结束时整个焊件端面有一层熔化金属，同时在一定深度上到达塑性变形温度。闪光留量过小，会影响焊接质量，过大会浪费金属材料，降

低生产率。另外，在选择闪光留量时，预热闪光对焊比连续闪光对焊小 30%~50%。

3. 闪光电流

闪光对焊时，闪光阶段通过焊件的电流，其大小取决于被焊金属的物理性能、闪光速度、焊件端面的面积和形状，以及加热状态。随着闪光速度的增加，闪光电流随之增加。

4. 闪光速度

具有足够大的闪光速度才能保证闪光的强烈和稳定。但闪光速度过大，会使加热区过窄，增加塑性变形的困难。闪光速度大，焊接电流大，增大过梁爆破后的火口深度，因而降低接头质量。闪光速度应根据被焊材料的特点，是否有预热等情况来考虑，如导电、导热性好的材料闪光速度应较大。

5. 顶锻压力

一般采用顶锻压强来表示。顶锻压强的大小应保证能挤出接口内的液态金属，并在接头处产生一定的塑性变形。顶锻压强过大则变形量过大，会降低接头冲击韧性；顶锻压强过低则变形不足，接头强度下降。高温强度大的金属需要较大的顶锻压强，导热性好的金属也需要较大的顶锻压强。

6. 顶锻电流

闪光对焊和电阻对焊时，在顶锻阶段通过焊件的电流，称为顶锻电流。它与焊接时的闪光电流有关。

7. 顶锻留量

考虑工件因顶锻缩短而预留的长度。顶锻留量的大小影响到液态金属的排除和塑性变形的大小。顶锻留量过大，降低接头的冲击韧性，过小，使液态金属残留在接口中，易形成疏松、缩孔、裂纹等缺陷。顶锻留量应随着焊件断面积的增大而增加。

8. 顶锻速度

顶锻速度应越快越好。顶锻速度取决于焊件材料的性能，如焊接奥氏体钢的最小顶锻速度大约是珠光体钢的两倍。导热性好的金属需要较高的顶锻速度。

9. 夹具夹持力

必须保证在整个焊接过程中不打滑，它与顶锻压力和焊件与夹具间的摩擦力有关。

10. 预热温度

预热闪光对焊的预热温度应根据断面积的大小和材料的性质来选择，对低碳钢而言，一般不超过 700~900℃，随着断面的增大预热温度相应提高。

11. 预热时间

预热时间取决于焊机的功率、断面积和金属的性能，以及所需的预热温

度。

三、常用金属材料的对焊工艺参数

(1) 电阻对焊工艺参数见表 5-3-2、表 5-3-3、表 5-3-4。

表 5-3-2 电阻对焊工艺参数

焊件材料	截面积 (mm)	伸出长度 (单侧) (mm)	电流密度 (A/mm ²)	焊接时间 (s)	压强 (MPa)	顶锻留量 (mm)	
						有电	无电
低碳钢	25	6	200	0.6	10~20	0.5	0.9
	50	8	160	0.8	10~20	0.5	0.9
	100	10	140	1.0	10~20	0.5	1.0
	250	12	90	1.5	10~20	1.0	1.8
铜	25	5.7	70~20	—	30	1.0	1.0
	100	12.5				1.5	1.5
	500	30				2.0	2.0
黄铜	25	5	50~150	—	—	1.0	1.0
	100	7.5				1.5	1.5
	500	15				2.0	2.0
铝	25	5	40~120	—	15	2.0	2.0
	100	7.5				2.5	2.5
	500	15				4.0	4.0

表 5-3-3 线材电阻对焊工艺参数

焊件材料	直径 (mm)	伸出长度 (mm)	焊接电流 (A)	焊接时间 (s)	顶锻压力 (N)	顶锻留量 (mm)	
						有电	无电
碳钢	0.8	3	300	0.3	20	0.2	0.6
	2.0	6	750	1.0	80	0.5	1.5
	3.0	6	1200	1.3	140	0.8	2.2
铜	2.0	7	1500	0.2	100	0.5	1.5
铝	2.0	5	900	0.3	50	0.5	1.5
镍铬合金	1.8	6	400	0.7	80	0.4	1.4

表 5-3-4 低碳钢棒材电阻对焊工艺参数

端面积 (mm ²)	伸出长度 (mm)	电流密度 (A/mm ²)	焊接时间 (s)	焊接压强 (MPa)	顶锻留量 (mm)	
					有电	无电
25	6	200	0.6	10~20	0.5	0.9
50	8	160	0.8	10~20	0.5	0.9
100	10	140	1.0	10~20	0.5	1.0
250	12	90	1.5	10~20	1.0	1.8

(2) 闪光对焊工艺参数见表 5-3-5~表 5-3-9。

表 5-3-5 低碳钢棒材闪光对焊工艺参数

直径 (或短边) (mm)	伸出长度 (mm)	闪光留量 (mm)	闪光时间 (s)	顶锻留量 (mm)
5	4.5	3	1.50	1
6	5.5	3.5	1.90	1.3
8	6.5	4	2.25	1.5
10	8.5	5	3.25	2
12	11	6.5	4.25	2.5
14	12	7	5.00	2.8
16	14	8	6.75	3
18	15	9	7.50	3.3
20	17	10	9.00	3.6
25	21	12.5	13.00	4.0
30	25	15	20.00	4.6
40	33	20	45.00	6.0
50	41	25	90.00	6.6

表 5-3-6 锅炉管子闪光对焊工艺参数

焊件材料	管径×壁厚 (mm)	伸出长度 (mm)	闪光留量 (mm)	顶锻留量 (mm)		闪光时间 (s)
				有电	无电	
20	32×3	25	10	2	2	5
	38×3.5					
	60×3	35	10	2	2	5
	60×5				3	6
12Cr-MoV	42×5	30	10	4	2	6

表 5-3-7 铜及铜合金闪光对焊工艺参数

焊件材料	铜			
	棒材 d=10	管材 9.5×1.5	板材 44.5×10	
材料规格尺寸 (mm)				
空载电压 (V)	6.1	5.0	10.0	
最大焊接电流 (A)	33000	20000	60000	
伸出长度 (mm)	20	20	—	
闪光留量 (mm)	12	—	—	
闪光时间 (s)	1.5	—	—	
平均闪光速度 (mm/s)	8.0	—	—	
顶锻留量 (mm)	8	—	—	
顶锻速度 (mm/s)	200	—	—	
顶锻压强 (MPa)	380	290	224	
焊件材料	黄铜 (H62 棒材)		黄铜 (H59 棒材)	
	6.5	10	6.5	10
材料规格尺寸 (mm)				
空载电压 (V)	2.17	4.41	2.4	7.5
最大焊接电流 (A)	12500	24500	13500	40000
伸出长度 (mm)	15	22	18	25
闪光留量 (mm)	6	8	7	10
闪光时间 (s)	2.5	3.5	2.0	2.2
平均闪光速度 (mm/s)	2.4	2.3	3.5	4.5
顶锻留量 (mm)	9	13	10	12
顶锻速度 (mm/s)	200~300	200~300	200~300	200~300
顶锻压强 (MPa)	—	230	—	250

表 5-3-8 铝及铝合金闪光对焊工艺参数

直径 (mm)	20	25	30	38
最大焊接电流 (A)	58000	63000	63000	63000
伸出长度 (mm)	38	43	50	65
闪光留量 (mm)	17	20	22	28
闪光时间 (s)	1.7	1.9	2.8	5.0
平均闪光速度 (mm/s)	11.3	10.5	7.9	5.6
顶锻留量 (mm)	13	13	14	15
顶锻速度 (mm/s)	150	150	150	150
顶锻压强 (MPa)	64	170	190	120
有电流顶锻留量 (mm)	6.0	6.0	7.0	7.0

表 5-3-9 铜与铝接头闪光对焊工艺参数

材料规格尺寸 (mm)		φ20	φ25	40 × 50	50 × 10
焊接电流最大值 (A)		63000	63000	58000	63000
伸出长度 (mm)	铜	3	4	3	4
	铝	34	38	30	36
闪光留量 (mm)		17	20	18	20
闪光时间 (s)		1.5	1.9	1.6	1.9
闪光平均速度 (mm/s)		11.3	10.5	11.3	10.5
顶锻留量 (mm)		13	13	6	8
顶锻速度 (mm/s)		100 ~ 120	100 ~ 120	100 ~ 120	100 ~ 120
顶锻压强 (MPa)		190	270	225	268

第 六 篇

针焊实用技术

钎焊工艺基础

第一节 钎焊原理、特点及类型

一、钎焊原理

用液相线温度低于母材固相线温度的钎料，将零件与钎料装配合理后，加热到钎料熔化温度以上，利用液态钎料润湿母材及毛吸现象，填充接头间隙，并与母材相互溶解扩散形成钎焊接头，实现母材不熔化连接。

(一) 液态钎料对固体母材的润湿作用

液体置于固体表面的状态如图 6-1-1 所示。

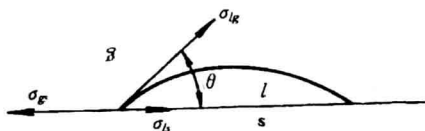


图 6-1-1 液态钎料在固体母材上的状态

g——气体 l——液体 s——固体
 σ ——介面张力 θ ——接触角

气相 g 与固相 s 间界面张力为 σ_{gs} ，液相 l 与固相 s 间界面张力为 σ_{ls} ，液相与气相间界面张力为 σ_{lg} 。稳定平衡状态时，液固相交点切线夹角 θ 的余弦 $\cos\theta = (\sigma_{gs} - \sigma_{ls}) / \sigma_{lg}$ ，表示液相对固体的粘附能力，即润湿能力。当 $\sigma_{gs} > \sigma_{ls}$ 时， $\cos\theta$ 为正值，即 $0^\circ < \theta < 90^\circ$ ，钎料能润湿母材。当 $\sigma_{gs} < \sigma_{ls}$ 时， $\cos\theta$ 为负值，即 $90^\circ < \theta < 180^\circ$ ，钎料不能润湿母材。钎料能否润湿母材，是决定能否进行钎焊的关键因素。为使钎料很好地填充焊缝间隙，得到良好的钎焊接