

第4章 热喷涂修复技术

柳台夫

第1节 概述

热喷涂是近代各种喷涂、喷熔技术的总称。热喷涂技术是把丝状或粉末状材料加热到软化或熔化状态，并进一步雾化、加速，然后沉积到零件表面上形成覆盖层的一门技术。覆盖层按工况需要，可分别具有耐磨、耐蚀、抗高温氧化等性能。喷涂层与基体的结合虽然有些是显微焊接、显微扩散、原子间金属键的引力作用，但主要还是机械结合，因而结合强度不高，约为 $5\sim 50\text{N/mm}^2$ 。喷熔层与基体的结合虽然基体也不熔，但在覆盖层重熔过程中，与基体互熔、扩散结合，形成完全的冶金结合，由于扩散和熔解作用，结合强度高，约为 $300\sim 700\text{N/mm}^2$ 。

(一) 热喷涂的分类及特点

按熔化喷涂（喷熔）材料所使用的基本能量形式。喷涂方法分为、电弧喷涂、等离子喷涂、火焰喷涂（含爆炸喷涂、超音速喷涂）等；喷熔方法主要有火焰粉末喷熔和等离子粉末喷熔等。喷涂材料有丝状和粉末状。

等离子堆焊，属焊接范畴，目前习惯上称做等离子喷焊，也常用做修复技术。

几种喷涂和喷熔工艺特点比较见表4-1-1和4-1-2。

热喷涂工艺优点如下：

- 1) 适用材料广。各种金属乃至非金属的表面都可以利用热喷涂工艺获得特定性能的覆盖层。
- 2) 喷涂材料广。金属及其合金、陶瓷材料有机树脂都可以做为喷涂材料。
- 3) 工艺简单、沉积快、生产效率高。
- 4) 被喷涂零件的尺寸不限，不象电镀那样有

表4-1-1 几种热喷涂工艺特点的比较

	火焰喷涂	电弧喷涂	等离子喷涂	爆炸喷涂
典型涂层孔隙率 (%)	10~15	10~15	1~10	1~2
典型粘接强度 (N/mm^2)	7.1	10.2	30.6	61.2
优点	成本低，沉积效率高，操作简便	成本低，沉积速度高	孔隙率低，能喷薄壁易变形件，热影响区小，粘附强度高	孔隙率很低，粘附强度极高
缺点	孔隙率高，粘附强度差	孔隙率高，喷涂材料仅限于导电丝材，活性材料不能喷涂	成本高	成本极高，沉积速度慢

表4-1-2 火焰粉末喷熔和等离子粉末喷熔的比较

方法	特点	稀释率 (%)	熔敷系数 (kg/min)	单层喷熔的最小厚度 (mm)	优缺点
火焰粉末喷熔		1~10	0.45~6.8	0.8	稀释率低，可喷熔较薄的均匀层，方法简便、灵活，生产率低，劳动强度大
等离子粉末喷熔		5~30	0.45~6.8	0.8	质量好，易实现机械化成本较高

镀槽尺寸的局限。

5) 基材材料变形小。喷涂过程整体零件的温升不太高, 一般控制在 $70\sim 80^{\circ}\text{C}$, 故变形小。

6) 火焰喷涂设备简单, 重量轻, 工艺简便, 可十分方便地用于现场修复。

7) 涂层厚度从 0.05mm 至几毫米。另外, 喷涂层系多孔组织, 易存油, 润滑性好。

热喷涂工艺缺点如下:

1) 喷涂层结合强度不很高。但如工艺得当, 一般工件经喷涂后均能满足工艺需要。

2) 镀层孔隙多, 虽利于润滑但不利于防腐蚀。

3) 喷涂时雾点分散, 飞溅损失严重, 金属附着率低。

4) 喷涂工艺过程中有毛糙处理工序, 会降低零件的强度和刚度。

5) 热喷涂覆盖层的质量主要靠工艺来保证, 目前暂无有效的无损检测方法, 因而应用受到限制。

(二) 热喷涂在机修中的应用

1) 修复旧件, 恢复磨损工件的名义尺寸。如机床主轴、曲轴、凸轮轴轴颈, 电动机转子轴, 以及机床导轨和溜板等经热喷涂修复后, 既节约钢材, 又延长寿命, 还大大减少备件库存。

2) 修复铸件的缺陷, 如修复大铸件加工完毕时发现的砂眼气孔等。

3) 修复或制造减磨材料轴瓦, 如在轴瓦上喷一层磷青铜或铝青铜, 可大大提高其耐磨性。

4) 增强金属结构件或零部件的耐腐蚀或耐高温等性能, 如盐浴容器, 燃气轮机经喷涂铝后, 寿命大大延长了。

第2节 热喷涂设备 及工艺装备

(一) 电弧喷涂设备

电弧喷涂设备主要由直流电焊机、控制箱、空

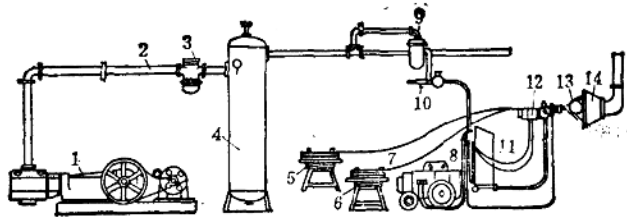


图4-2-1 SCDP-3型电弧喷涂整套设备

- 1—空气压缩机 2—冷凝器 3—油水分离器 4—储气筒
5、6—钢丝盘架 7—金属丝 8—电焊机 9—空气过滤器
10—空气压力调节器 11—控制箱 12—电弧喷涂枪
13—工件 14—吸尘斗

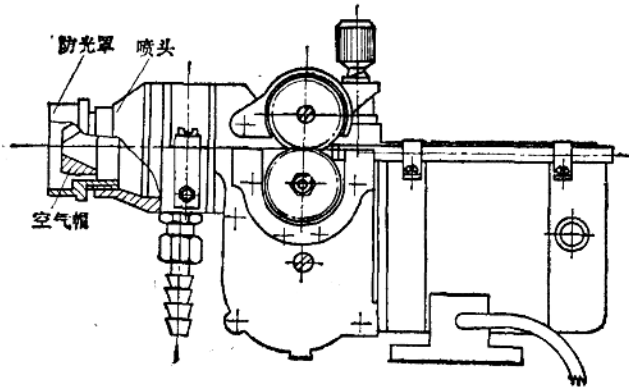


图4-2-2 SCDP-3型电弧喷涂枪

气压缩机及供气装置、电喷枪等组成, 见图4-2-1。SCDP-3型电弧喷涂枪(图4-2-2)的技术规范见表4-2-1。

表4-2-1 SCDP-3型固定式电弧喷涂枪
的主要技术规范

项 目	数 据	
型式	ZCDP-3固定式	
操作方式	固定装置, 工作运动	
动力	40/90W、220V串激普通单相电动机	
调速方式	用可控硅控制电压的大小, 对电动机供电, 达到无极调速送丝	
重量	喷枪	$\leq 6\text{kg}$
	成套	$\leq 40\text{kg}$
外形尺寸	喷枪	$320 \times 104 \times 165\text{mm}$
	成套	$434 \times 360 \times 190\text{mm}$
使用金属丝范围	$\phi 1.6 \sim 1.8\text{mm}$ (钢或不锈钢)	

(续)

项	目	数	据
电弧特性	电流类别	直流	
	工作电流	100~170 A (常用100~120)	
	工作电压	30~56 V, 随上述电流范围的大小而变动	
压缩空气工作压力		0.5~0.7 MPa	
压缩空气消耗量		0.8~1.4 kg/min	
额定金属丝最高喷量		用80号2×φ1.8钢丝时5.5 kg/h	
		用80号2×φ1.6钢丝时4.3 kg/h	
火花有效角度		≤10°	
喷射颗粒直径		5~5.3 μm (喷射在水中沉淀后测量)	
引力		≥196 N	

(二) 等离子喷涂设备

等离子喷涂设备主要包括等离子喷涂枪、送粉器、硅整流直流电源、控制系统和水冷却系统等,

见图4-2-3。等离子成套喷涂设备有GDP-2、GDP-3、GDP-35、GDP-50、GDP-80等型号。后三种型号的等离子喷涂设备的参数见表4-2-2。

表4-2-3是各种类型等离子喷涂枪的技术参数。等离子喷涂枪的结构主要有枪体、喷嘴、钨钨电极、气、水、电连接管等,见图4-2-4。

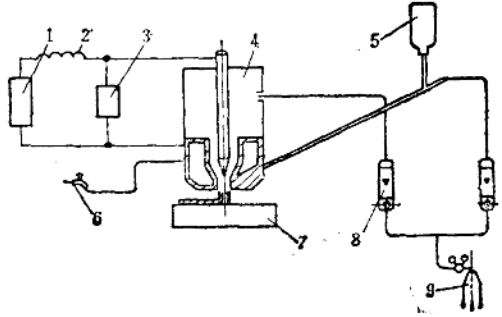


图4-2-3 等离子喷涂设备示意图

1—硅整流直流电源 2—扼流圈 3—高频发生器
4—等离子喷涂枪 5—送粉器 6—冷却水源
7—工件 8—气体流量计 9—气源

表4-2-2 等离子喷涂设备的参数

型号	数值	参数	标准功率 (kW)	输入电压 (V)	额定直流空载电压 (V)		额定直流电流 (A)		电弧工作电压 (V)		控制电流调节范围 (A)		高频起弧电压 (V)
					高压档	低压档	高压档	低压档	高压档	低压档	高压档	低压档	
GDP-35			35	380 ± 10%	≥165	≥90	150~450	≤100	≤60	0~20	≥5000		
GDP-50		50	≤500		≤900	≤100	≤55	0~20					
GDP-80		80	≥165		氩80~1000 氮150~1000	≤80	0~5						

表4-2-3 各种类型等离子喷涂枪的技术参数

型号	最大功率 (kW)	电 流 (A)	电 压 (V)	工作气体	控制形式	送粉类型	可喷粉末	功 用	研制单位及 制造厂	备 注
771-AB	40	400~500	80~100	N ₂ 或N ₂ +H ₂ Ar+H ₂		内外送粉			九江等离子喷涂厂	
781	50	500	90~100	N ₂ 或N ₂ +H ₂ Ar+H ₂	自动控制 制装有微 型开关	内外送粉			九江等离子喷涂厂	
PQ-1S	80	1000	80	N ₂ +H ₂ , Ar+ H ₂ Ar+N ₂			各种粉末	可喷外圆、 平面、型面	航空部625所	手提式
PQ-1J	80	1000	80	N ₂ +H ₂ , Ar+ H ₂ Ar+N ₂			各种粉末	可喷外圆、 平面、型面	航空部625所	
PQ-1N	40	500	80	N ₂ +H ₂ Ar+H ₂			各种粉末	可喷φ102mm 米以上的内孔	航空部625所	

(续)

型 号	最大功率 (kW)	电 流 (A)	电 压 (V)	工作气体	控制形式	送粉类型	可喷粉末	功 用	研制单位及 制 造 厂	备 注
PQ-2N	38.5	500	80	$N_2 + H_2$ $Ar + H_2$			各种粉末	可喷 $\phi 60\text{mm}$ 以上的内孔	航空部625所	
PQ-3N	40	500	80	$N_2 + H_2$ $Ar + H_2$			各种粉末	可喷 $\phi 45\text{mm}$ 以上的内孔	航空部625所	
771B						外送粉	低熔点粉末		江苏泰兴机械厂	
771A						内送粉	高熔点粉末		江苏泰兴机械厂	
3M								可喷大内孔	江苏泰兴机械厂	
78A						内送粉	高熔点粉末		上海喷涂机械厂	
78B						外送粉	低熔点粉末		上海喷涂机械厂	
79Y								可喷内孔	上海喷涂机械厂	
79G									上海喷涂机械厂	固定式
大功率 等离子喷 枪	80	800~ 1000	80~ 100	$Ar + H_2$ 气压0.7MPa 流量 $3\text{m}^3/\text{h}$			特别适于 喷 Al_2O_3 、 WC等材料	空载电压 210V	沈阳工业大学	冷却水 压力0.8 MPa 流量30 升/分L/ min

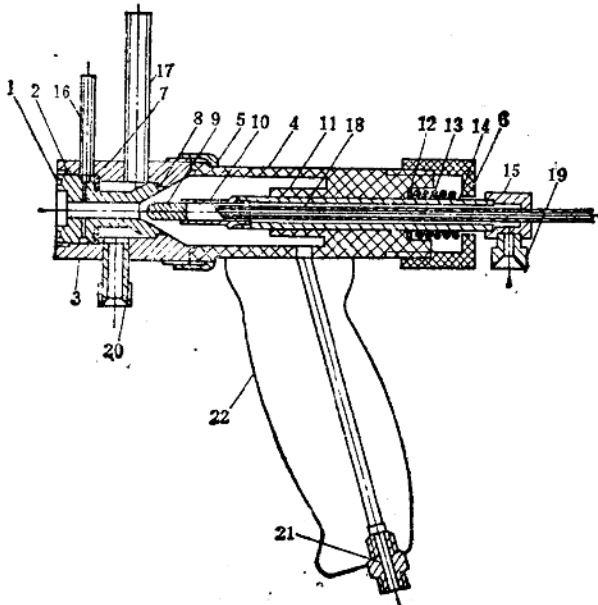


图4-2-4 等离子喷涂枪

- 1—压板 2—阳极喷嘴 3—阳极外套 4—喷枪壳体 5—正负极拉紧螺母
6—阴极调节套 7—喷嘴前密封圈 8—喷嘴后密封圈 9—钨钨棒（阴极）
10—阴极座 11—阴极杆 12—弹簧垫片 13—调节弹簧 14—弹簧扣环
15—阴极后座 16—送粉管 17—阳极出水管 18—阴极出水管 19—阴
极水、电接头 20—阳极水、电接头 21—主气流接头 22—手柄

(三) 丝火焰喷涂设备

丝火焰喷涂装置如图 4-2-5 示, 其原理如图 4-2-6。

丝火焰喷涂的关键设备是射吸式气体金属喷涂枪(简称气喷枪), 它分高速、中速两种。喷涂材

料熔点在 750°C 以上的选用中速喷枪; 750°C 以下的则用高速喷枪。型号为SQP-1和ZQP-1气喷枪的性能和技术数据见表4-2-4, 其结构见图4-2-7和图4-2-8。该类气喷枪必须用瓶装乙炔。可喷涂钢、铝、铜、铝、不锈钢等材料。

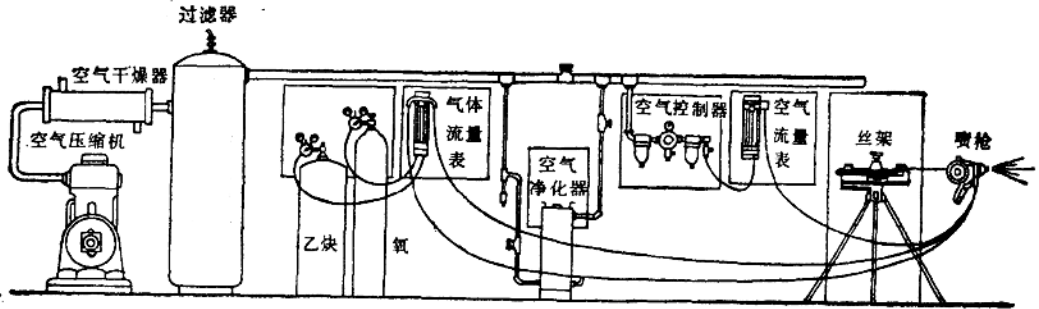


图4-2-5 丝火焰喷涂装置连接示意图

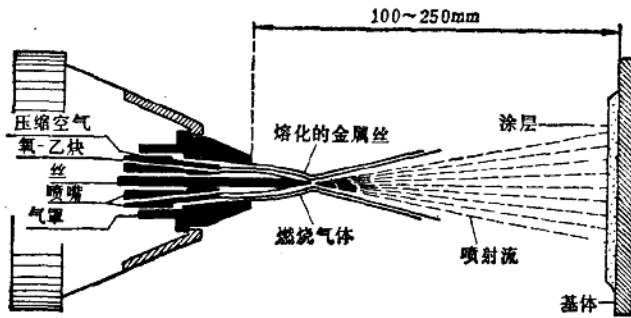


图4-2-6 丝火焰喷涂原理示意图

表4-2-4 两种气喷枪的性能和技术数据

项 目	型 号		
	SQP-1	ZQP-1	
操作方式	手持、固定两用	手持、固定两用	
动力源	压缩空气吹动气轮	压缩空气推动蜗轮	
调速方式	离心力—离合器	离合器	
使用热源	氧炔焰	氧炔焰	
重量 (kg)	≤ 1.9	≤ 2.5	
外形尺寸 (mm)	90×180×215	165×122×225	
气体表压力 (MPa)	氧	0.4~0.5	0.195~0.16
	乙炔	0.04~0.07	0.10~0.11
	压缩空气	0.4~0.6	0.4~0.6

项 目	型 号	
	SQP-1	ZQP-1
气体消耗量 (m ³ /min)	氧 0.04	0.8~1.2
	乙炔 0.01	1.0~1.55
	压缩空气 1.0	0.6~0.7
金属丝直径 (mm)	φ 2.34 (中速)	φ 2.34
	φ 3.175 (高速)	φ 3.175 (最大) φ 1.47 (最小)
火花束角度	≤4°	3°~6°
喷涂效率 (kg/h)	钢 1.8(用 φ 2.34 80°钢丝)	钢 2.7 (φ 2.34 80°钢丝)
	铝 2.7(φ 3.0铝丝)	铝 2.54 (用 φ 3硬铝丝)
	锌 8.2(φ 3.0锌丝)	硬锌 11.2 (用 φ 3硬硬锌丝)

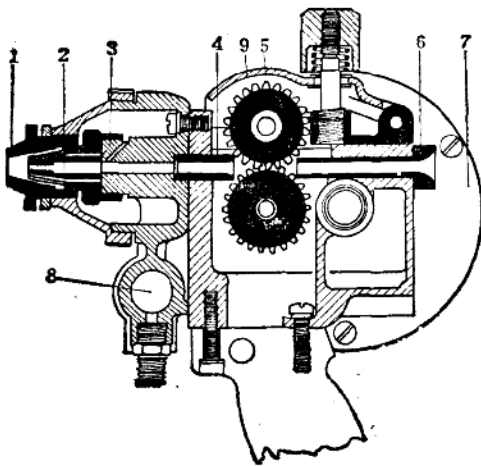


图4-2-7 中速自动调节式气体喷涂枪

1—空气帽 2—喷嘴 (中间为金属丝引道, 周围有6或8孔为火焰喷道) 3—混合头 4—前导管 (金属丝经此送入喷嘴) 5—拨丝轮 (夹持金属丝前进) 6—后导管 (金属丝在这里引进) 7—汽轮机壳 (内有高速汽轮和自动调速装置) 8—总阀 (氧气、乙炔和空气配气用) 9—压盖

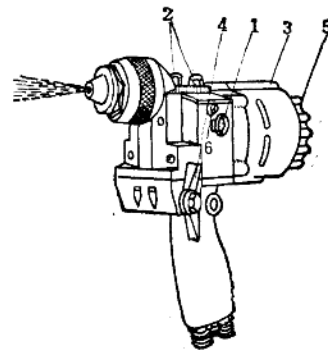


图4-2-8 SQP-1型气喷枪

1—喷嘴 2—送丝滚轮 3—后导管
4—扳机手柄 5—调速旋盘

(四) 粉末火焰喷涂 (喷熔) 设备

图4-2-9为粉末火焰喷涂装置示意图, 其原理见图4-2-10。

粉末氧炔焰喷涂枪 (简称喷涂枪) 的结构与气焊用的焊炬类似, 只是多一套粉末送装装置 (粉罐), 主要型号有QSH-4、SPH-E、SPH-2/h 等。几种喷涂枪的技术数据见表4-2-5。

值得指出的是, 喷涂喷熔两用枪制造方便、结构简单、操作灵活、适应性强。如QSH-4两用枪即在割炬GH-300基础上改制的。

喷熔枪分有一步法枪和第二步法枪。规格有中小型喷熔 (俗称喷焊) 枪和大型喷焊枪。中小型喷熔枪的产品规格见表4-2-6。大型喷熔枪结构图见图4-2-11, 产品规格见表4-2-7。

所谓第二步法喷熔即“先喷后熔”。第一步是把

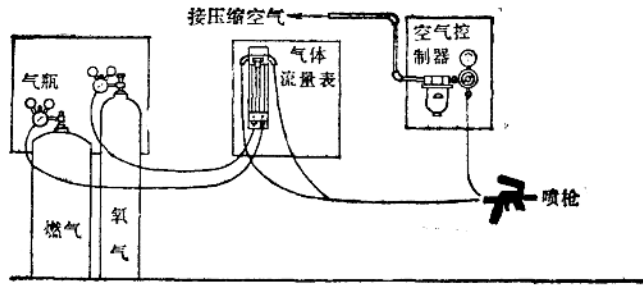


图4-2-9 粉末火焰喷涂装置连接示意图

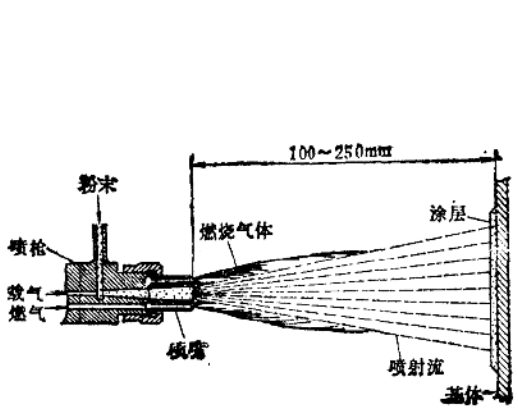


图4-2-10 粉末火焰喷涂原理图

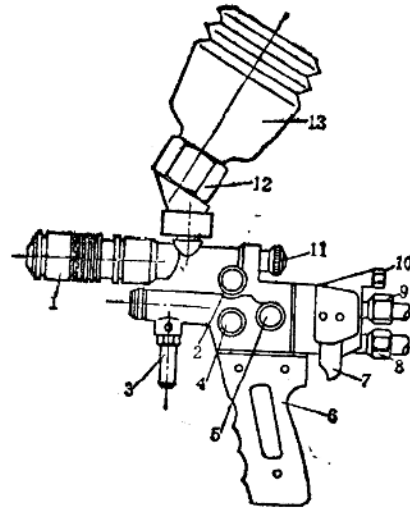


图4-2-11 SPH-E型大型喷枪

- 1—喷嘴 2—送粉气体控制阀 3—支柱 4—乙炔阀
5—氧气阀 6—手柄 7—气体快速关闭安全阀
8—乙炔进口 9—氧气进口 10—补充的送粉气进口
11—粉末流量阀 12—可调方位粉斗座 13—贮粉缸

表4-2-5 粉末氧炔焰喷涂枪的技术数据

型号	气体使用压力 (MPa)		送粉量 (kg/h)	备注
	O ₂	C ₂ H ₂		
SPH-E	0.5~0.6	>0.05	6~8	均为喷涂, 喷熔两用枪
SPHT-6/h	0.40~0.5	>0.04	4~6	
SPHT-8/h	0.45~0.55	>0.04	6~8	
QSP-4	0.4	0.01~0.02	2.05~6.35	

表4-2-6 中小型喷熔枪的产品规格

型 号	喷嘴号	气 体 压 力 (MPa)		气 体 消 耗 量 (m ³ /h)		合金粉末 消耗量 (kg/h)	喷焊枪重量 (kg)
		氧 气	乙 炔	氧 气	乙 炔		
SPH-1/h	1	0.20	0.05以上	0.14~0.15	160~180	0.6~1.0	0.55
	2	0.25	0.05以上	0.22~0.24	260~280		
	3	0.30	0.05以上	0.35~0.37	410~430		
SPH-2/h	1	0.30	0.05以上	0.50~0.65	650~780	1.2~2.0	0.59
	2	0.35	0.05以上	0.70~0.80	800~1000		
	3	0.40	0.05以上	0.90~1.10	1000~1200		
SPH-4/h	1	0.40	0.05以上	1.65~1.75	1800~2000	2.4~4.0	1.10
	2	0.45	0.05以上	1.85~1.95	2100~2300		

表4-2-7 大型喷熔枪的产品规格

喷 焊 枪		喷嘴 形式	孔径及个数		气 压 (MPa)		气 体 消 耗 量 (m ³ /h)			送粉量 (kg/h)	总长度 (mm)	生产 的 厂家
型 号	喷嘴号		预热孔	喷粉孔	氧气	乙 炔	氧 气	乙 炔	送粉氧			
SPHT-6/h	1	环 形	环 形	φ 2.5	0.4	0.04以上	0.9~1.2	0.78~1.0	1.20~1.70	4~6	210	②
	2	梅 花 形	φ 0.7×12	φ 2.8	0.45		0.5~0.8	0.43~0.70	0.80~1.80			
	3	梅 花 形	φ 0.8×12	φ 3.0	0.50		1.0~1.3	0.86~1.15	1.30~2.30			
SPHT-8/h	1	环 形	环 形	φ 2.8	0.45	0.04以上	0.9~1.2	0.78~1.0	1.20~2.20	6~8	390	②
	2	梅 花 形	φ 0.8×12	φ 3.0	0.50		1.0~1.3	0.86~1.15	1.30~2.30			
	3	梅 花 形	φ 0.8×12	φ 3.2	0.55		1.0~1.4	0.9~1.20	1.30~2.40			
SPH-C	1	—	φ 1.2×5	—	0.50	0.05~0.10	1.3~1.6	1.1~1.4	—	4~6	730~ 780	②
	2	—	φ 1.2×7	—	0.55		1.9~2.2	1.6~1.9	—			
	3	—	φ 1.2×9	—	0.60		2.5~2.8	2.1~2.4	—			
SPH-D	1	—	φ 1.0×10	—	0.50	0.05~0.10	1.6~1.9	1.40~1.65	—	4~6	730 780	②
	2	—	φ 1.2×10	—	0.60		2.7~3.0	2.35~2.60	—			
SPH-E	—	—	—	—	0.5~0.6	0.05以上	—	—	—	6~8	—	①

注：生产厂家数字代号：①——上海喷涂机械厂；②——上海焊割工具厂。

表4-2-8 重熔枪的产品规格

型 号	喷嘴号	喷嘴孔径 (mm)	气 体 压 力 (MPa)		气 体 消 耗 量 (m ³ /h)		长 度 (mm)	重 量 (kg)
			氧 气	乙 炔	氧 气	乙 炔		
SCR-100	1	0.8×13	0.40	0.05~0.1	1.4~1.6	1.3~1.5	580	0.910
	2	1.0×13	0.50	0.05~0.1	2.7~2.9	2.4~2.6	645	0.940
	3	1.2×13	0.60	0.05~0.1	4.1~4.3	3.7~3.9	710	0.970
SPH-C	大 号	—	0.45	0.07	4500 L/h	2500 L/h	—	—
	中 号	—	0.45	0.05	2680 L/h	1200 L/h	—	—
	小 号	—	0.4	0.05	1200 L/h	534 L/h	—	—

粉末喷涂到基体材料表面上；第二步用另外的热源对喷涂层进行重熔处理。重熔处理用大型焊炬或重熔枪均可。重熔枪 SPH-C 和 SCR-100（上海焊割工具厂产品）的产品规格见表 4-2-8。重熔枪还可用于大面积喷涂前的预热。

(五) 热喷涂工艺装备

热喷涂常用的几种工艺方法如前所述，各自专用的工艺装备则不再详述。下面介绍几种工艺方法所通用的工艺装备——工件粗化处理设备，即喷砂机 and 电火花拉毛机。

喷砂机有吸式和压式两种吸式喷砂机适于小型零件，主要以氧化铝作为磨料。压缩空气压力为 0.5~0.63MPa。压式喷砂的压缩空气压力为 0.14~0.28MPa。氧化铝砂粒和吸式相同，粒度以 18~24 目或 60~80 目为宜。

电火花拉毛机主要用于淬硬热处理过的工件粗化处理，实际是一个简单的交流变压器。初级电压 380/220V，电流 9/15, 5A；次级电压 4~9V，电流 100~340A。铁芯材料选用 D43 热轧硅钢片；磁导体结构选用“日”字型，铁芯厚度 84mm。绕组为 1V/匝。初级绕组采用的是 $\phi 2.02\text{mm}$ 双玻璃丝包线，单根绕 330 匝，层间用 0.1mm 青壳纸绝缘；次级绕组采用 $3.05 \times 7.4\text{mm}$ 双玻璃线三根并绕 2 匝、3 匝、4 匝线圈各一只，然后将三只线圈串联，成为一只 9 匝的线圈。三只线圈串接点即为抽头线。层间采用 0.5mm 黄纸板绝缘。为便于冷却，线圈和线圈的间隙约 10mm。

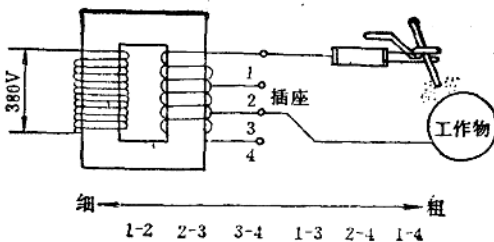


图4-2-12 电火花拉毛机工作图

工作时，工件接一个电极，另一电极为手持镍条，两个电极接触与分开时产生电火花，并有一部分镍熔融在工件表面上，于是工件便被拉毛，成为被灼烧的凹凸而带有泡沫状的毛糙表面。图4-2-12所

示即电火花拉毛机的工作图。次级线圈上的四个抽头，1、2接法电流最小；1、4接法电流最大。

第3节 热喷涂工艺

影响热喷涂涂层质量的因素很多，与喷涂喷熔种类有关。实践证明，只要严格执行工艺操作规程，注意下列工艺因素，涂层质量可以得到保证。

(一) 工件表面的准备

1. 凹切

凹切是指为提供容纳热喷涂层的空间在基体材料或零件上车掉或磨掉的尺寸。当轴的磨损不平时，为省工省料，可分步凹切，见图 4-3-1，轴端头按图 4-3-2 和图 4-3-3 的正确方法处理。

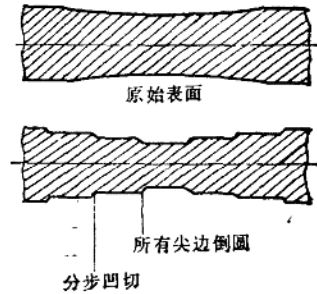


图4-3-1 分步凹切

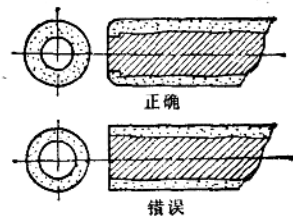


图4-3-2 通过轴端头的涂层

轴类零件的凹切深度为涂层精加工后的厚度。为满足精加工要求，涂层厚度应为凹切深度加上精加工余量。轴类零件最小涂层厚度见表 4-3-1。精加工余量与加工方法、涂层表面粗糙度及均匀程度有关。车削加工时精加工余量留 0.3~0.6mm 就足够了；磨削加工时，可酌情减少。紧配合件喷涂时，一般不留磨损余量。轴类零件喷涂步骤见图 4-3-4。

当零件有气孔或表面缺陷时，应采用一些正确

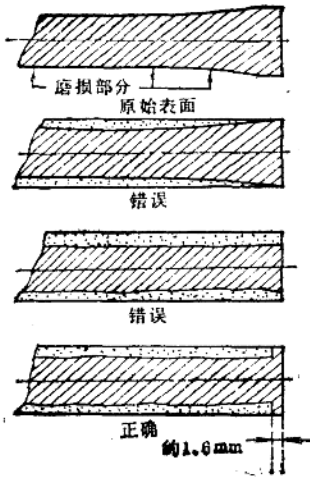


图4-3-3 轴端头的凹切肩部

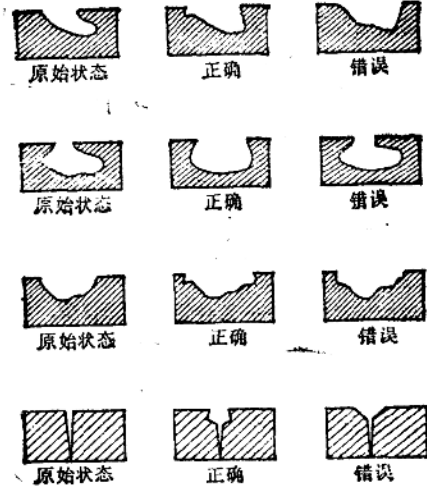


图4-3-5 修补气孔和裂纹的凹切方法

表4-3-1 普通轴类零件的最小涂层厚度

轴的直径 (mm)	最小涂层厚度 (在半径方向上, mm)
≤25	0.25
25~50	0.37
50~75	0.50
75~100	0.62
100~125	0.75
125~150	0.87
≥150	1.00

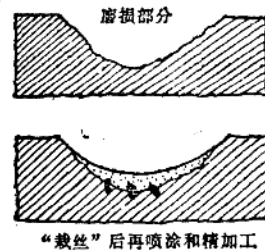


图4-3-6 在磨损的表面上“裁丝”

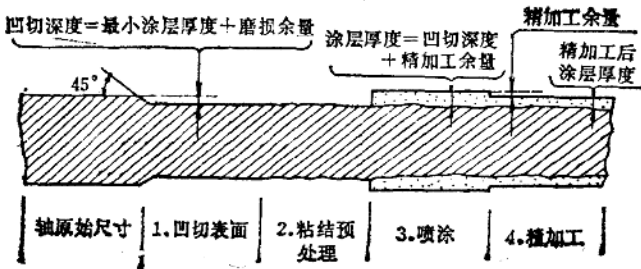


图4-3-4 喷涂轴类零件的四个步骤

的处理方法加以处理, 参照图 4-3-5。为加强涂层结合力, 可采用裁丝法再热喷涂, 见图 4-3-6。为减少涂层边缘的收缩应力, 可在棱角处开槽, 槽宽要大于槽深, 参见图 4-3-7。

此外, 为保证喷涂层的粘结性良好, 要求被喷涂零件表面有不小于 45° 的喷涂冲击, 为此被喷涂表面的棱角和尖边都应圆滑过渡, 倒圆半径不小于

0.8mm。

2. 清理

清理即清除油污、铁锈、漆层, 使工件表面洁净。四氯化碳除油效果较好, 不会在零件上残留下薄膜, 但四氯化碳对人体有害, 操作时要谨慎。火焰烘烤除油适合于多孔状铸件的清理, 其中, 氧炔焰烘烤除油最常用。有时为除油至净, 需反复多次烘烤除油, 才能获得

满意效果。值得注意的是, 加热除油后工件表面往往生有氧化皮、锈蚀之类的硬沉积物, 所以, 除油后工件表面一定要用喷砂或砂纸打光才行。

3. 表面粗化

常用的粗化方法有喷砂、开槽、车螺纹、滚花等, 这些方法可单用或并用。

喷砂可用多角铁丸或氧化铝砂。喷砂后应尽快

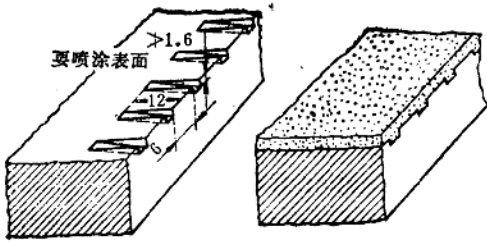


图4-3-7 平面上喷涂时边缘开槽的情况

热喷涂，一般间隔不得超过两小时，活性材料不得超过半小时，在这段时间内零件应置于清洁干燥的环境中。值得注意的是喷砂用压缩空气必须清洁。

开槽、车螺纹、滚花等粗化方法以 R_a 6.3~12.5 μ m 为宜，机加工过程不加润滑剂和冷却液。

硬度较高的工件表面可用电火花拉毛机进行粗化。图4-2-12的1、2接法电流最小，适于细螺纹；1、4接头电流最大，适用于粗螺纹。拉毛时，将镍丝在螺纹上面先作纵向移动，使整个表面全部拉毛，然后在轴的两端、键槽和油孔的边缘用点触方法再拉毛一遍。对薄涂层工件慎用此法。

直接喷钼也是一种粗化方法。此法不削弱原工件的强度，又可以多次喷涂，但钼丝昂贵，且不能与紫铜、黄铜、青铜、镀铬层和氮化钢等基体表面相结合。

4. 非喷涂部位的屏蔽保护

保护零件的非喷涂部位的方法通常有以下几种：

(1) 胶带保护 胶带由不燃的玻璃布或铝箔涂以耐热胶制成。该胶必须保证在喷涂的高温下不流淌、不污染工件。胶带保护法适用于形状复杂、制作夹具进行保护困难的工件。

(2) 化合物保护 该化合物一般为流体状态，便于涂刷，并且事后还容易除掉。常用的有硅油溶剂、有机硅树脂、水玻璃等。

(3) 机械保护 即用屏蔽材料（玻璃布和石棉布等）将非喷涂部位遮蔽起来。必要时，应按零件形状制作相应夹具进行保护，注意夹具材料要有一定强度，且不得使用低熔点合金，以免污染涂层。有油孔、键槽的工件，喷涂前要将油孔及键槽用石墨块堵堵，键槽堵孔一般至平即可，也可高出基面1.5mm左右。

总之，工件表面的制备必须认真对待。擦伤和

疲劳层必须除掉，油污锈蚀务必除净，此外还要进行相应的粗化处理，才能保证热喷涂质量。喷涂比喷熔的工件表面制备要更严格些，才能获得满意的效果。

(二) 热喷涂的工艺参数

热喷涂按其种类不同，工艺参数也不同，但它们的共同点有以下几个：

(1) 热源 火焰喷涂中，基本不用丙烷、天然气、氢气等作为燃气，因为这些燃气与氧燃烧时火焰温度很低，达不到应有的火焰能率，从而喷射粒子的速度满足不了工艺需要。

氧炔焰喷涂时使用氧与乙炔比例约为1:1的中性焰，温度约3100 $^{\circ}$ C，氧化焰最高温度可达3317 $^{\circ}$ C，但很少达此温度；电弧喷涂最高温度5538~6649 $^{\circ}$ C；等离子喷涂最高温度为11093 $^{\circ}$ C。可见对快速加热和提高粒子传送速度来说，等离子喷涂最佳、电弧喷涂层次、氧炔焰喷涂最差。

(2) 喷涂材料 电弧喷涂和丝火焰喷涂时，喷涂材料金属丝直径与热源功率要匹配，以获得最佳涂层。粉末火焰喷涂和等离子喷涂时，粉末粒度的大小、载气的流量及粉末传送速度都有要求。火焰喷涂时，粉末粒度以不同大小充分混合均匀分布的使用效果最佳。否则，粒子太细则其在飞行过程中速度骤减，沉积效率和涂层密度都较低；粒子太大，则要求较多的热量和较长的加热时间，因而影响喷涂功率和载气的流量。送粉气体（载气）的流量以把粉末送入火焰中心为适度。载气流量小则粉末透过火焰中心落下流失；载气流量大则粉末送不到火焰中心就飞溅散失。

(3) 喷涂距离 喷枪到工件的距离直接影响喷涂粒子和基体撞击时的速度和温度。火焰喷涂的喷涂距离一般为100~200mm；等离子喷涂取50~100mm；电弧喷涂为180~200mm。

(4) 喷涂角度 喷涂角度即喷射流锥面的中心与基体被喷表面之间的夹角。喷涂角度以90 $^{\circ}$ 为最佳，但无论如何，喷涂角度不得小于45 $^{\circ}$ ，否则会产生阴影效应，见图4-3-8。

(5) 喷涂的面速度 面速度即基体表面与喷枪的相对速度，一般取30.5~100m/min。喷涂操作中，为防止产生局部热点和表面氧化，应采用较高的面速度。面速度的控制宜自动或半自动化，或喷枪移动或基体移动。大面积喷涂时，每个行程的

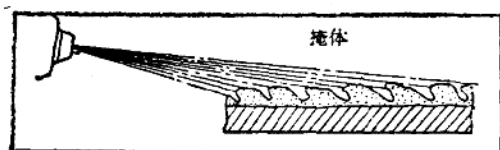


图4-3-8 由于喷涂角度太小而产生的阴影效应

宽度要充分搭迭，以保证喷涂层的平坦。

(6) 预热温度 大多数情况下，喷涂前都应对工件喷涂部位稍加预热，旨在除掉基体表面的潮气、降低涂层收缩应力，避免涂层产生裂纹。预热往往用氧炔焰的中性焰或轻微碳化焰进行，温度控制在 $70\sim 150^{\circ}\text{C}$ ，最高不得超过 270°C 。

(7) 冷却 为防止过热和较大变形，在喷涂全过程中，基体的整体温度应保持在 $70\sim 80^{\circ}\text{C}$ 以下。为此，方法有三：1)控制喷涂面速度；2)增加冷却介质（如冷却空气流）；3)间歇喷涂，但间歇时间不得太长。

(三) 热喷涂操作

1. 电弧喷涂

(1) 喷涂规范的选择及其要求 喷涂质量的好坏，不仅和粗化、洁净很有关系，而且和材料及各种有关参数都有很大关系。因此，在喷涂加工中，除选用适当的工艺规范之外，操作方法也是很重要的。

1) 材料

① 喷涂用材料一般应考虑喷涂后涂层硬度高一些，且不易碎裂。所用钢丝表面应光洁、无锈、无油，以防止导电不良，影响电弧。因此用于曲轴、直轴的喷涂时，最宜选用碳份高而收缩率小的一种，一般用的是70号或80号高碳钢丝，其直径为 $\phi 1.6\sim \phi 1.8\text{mm}$ 。

② 烘缸滚筒上喷不锈钢选用材料一般为 $1\text{Cr}18\text{Ni}9\text{Ti}$ ，最理想的是超低碳不锈钢。这和焊接的要求和理论相同。

2) 工件线速度和喷枪的移动量 溶解的金属被压缩空气喷射到工件表面时，金属微粒的温度虽然减低了不少，但仍较高，加上电弧的热气流喷射，所以如果集中地向某一点喷涂，这一点的温度会相当高（甚至会发蓝转到发红）。冷却后，这一点的涂层即行碎裂，而在相邻处将有大量的碳灰和夹杂

物出现，所以，喷涂时喷枪必须具有一定的线速度和移动量。但当工件速度太快时，喷涂点切线处成滑射角如图4-3-9所示，这样对喷涂层附着力有影响，应适当减低速度，同时喷枪的喷射角度应向工件转动方向成一仰角。喷枪移动太快时，涂层产生螺旋线，使最终的涂层产生象螺纹式的夹夹层，并且喷出的涂层厚薄不一，所以移动量应比喷涂的火花宽度略小一些。

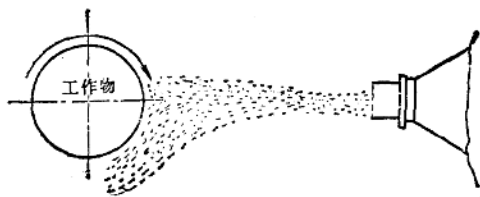


图4-3-9 工件速度太快时的情况

一般 $\phi 70\sim 100\text{mm}$ 轴颈的曲轴直轴的线速度可以选在 $7\sim 12\text{m}/\text{min}$ ，喷枪移动量 $5\sim 10\text{mm}/\text{r}$ （工件）。1m左、右直径的烘缸滚筒喷不锈钢时，工件线速度在 $60\text{m}/\text{min}$ 左右，喷涂移动在 $18\sim 22\text{mm}/\text{r}$ 。

3) 喷涂距离 喷涂距离一般在 $180\sim 200\text{mm}$ 。喷出的金属微粒的温度随枪口与工件表面的距离的增加而减低，距离越近，收缩力越大（对圆的工件则附着强度越高），反之则收缩力越小。所以在圆柱体上喷涂时，工件温度掌握在 $70\sim 80^{\circ}\text{C}$ 时，可以适当缩短距离。

4) 空气压力 工作时一般为 0.55MPa 。气流速度越高，喷涂时空气压力越高，喷出的金属微粒越细致，对工件的撞击也越猛烈，这样促使金属涂层相互撞击嵌合越好，喷涂层的附着力也随之增高。但它也有一个缺陷，即空气压力过高时，微粒保持塑性状态时间越短，使涂层和工件与涂层本身之间嵌合作用下降，又将降低附着温度和涂层本身强度。所以在喷涂时若提高空气压力，则同时必须缩短其喷射距离，一般缩短到温度不超过工件温度在 $(70\sim 80^{\circ}\text{C})$ 时为宜。

5) 喷涂用电源 用直流电流时电弧焊的飞溅现象较小，电弧也较稳定。而喷涂用的是裸线作电极，要使喷涂连续进行，电弧必须稳定不断。同时铁渣飞溅厉害时，飞溅物易于堵塞喷口，因此喷涂以采用直流电流为宜。

由于各种直流焊机的外特性不同，在喷涂时的

电流、电压规范也不同，取何种数值恰当较难确定（一般焊机的工作电流在100~130 A，电压在30~56 V之间），须视直流焊机的特性去调整而定；

① 先将焊机上的调流手盘调整到最低档（控制箱上的电压表有低的空载电压）；

② 喷枪送丝速度选择在2 m/min（即播丝轮20 r/min）左右，使两根钢丝在喷头前面短路交叉，再关闭电动机，停止送丝；

③ 先转动“连锁开关”至一半处，视空气通路后，空气压力是否高于0.4 MPa。当高于0.4 MPa时，则可将“连锁开关”全开，这时可见控制箱上电压表降至“0”值，而电流表上指针很高，喷枪上交叉的钢丝未熔化；

④ 立即调整焊机，由最低档向高档处逐渐调整，直到有一束短暂的火花喷出（同时听到一个微弱的爆烈声）将交叉的钢丝熔断，成为断路。这时，电压上升到这台焊机在使用SCNP-3型喷枪时的空载电压；

⑤ 开动电机连续喷射，当喷出的涂层有少许片状亮斑或火花（不是电弧区），白亮刺眼，可稍许将焊机向低档处调整。这样，就可确定这台焊机的工作电流、电压是喷涂时的恰当参数。

6) 钢丝的给进速度的调节 送丝速度的快慢虽然不会使两根钢丝的聚焦点有所变动，但太快与太慢会产生两种不良现象。太快，则熔解区域（点）伸出空气帽口的外面太远，受到帽沿口空气的扩散作用使钢丝变粗而不够集中；太慢，则熔解区域缩入空气帽里，使钢丝提前熔成液体，这样，飞溅到焊缝邻近的钢点也会牢固地粘结在工件上面。此外，还会在空气帽内粘结，造成火花束偏歪，甚至使两根钢丝短路而把头部零件烧毁。调节到两根钢丝的熔解区（点）刚刚在空气帽口的外面或与其齐平，这是保证涂层质量和保护喷头正常使用的要素之一。

(2) 喷涂操作

1) 喷涂一般工件时，应先由工件两端开始喷射，然后由一端向另一端往复喷射，如图4-3-10。喷涂大型工件时最好向一个方向移动喷枪，而不是往复来回地喷射。因为往复喷射时会把碳化物很不均匀地带到工件上（涂层表面），使涂层产生夹层，而且工件两端在短时内受到两次加温，会产生涂层碎裂。

2) 若一次喷涂层太厚，易使涂层应力累积增

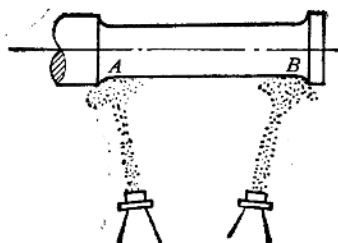


图4-3-10 喷枪移位（从A→B，再从B→A）

加，容易碎裂，可分数次进行喷涂（即采取间隙喷涂法）。但应注意再喷涂的涂层在面的交界处有稍许夹层，它对附着力有些影响，因此停喷时的尺寸范围应在标准尺寸以下，如已到标准和加工余量处，均应一次喷好，不宜间断。

3) 中途断弧或开、关喷枪时，喷枪口不宜对着工件。因开、关喷枪时有粗粒喷出；而在正常喷涂断弧时，如不立即将喷枪离开工件，冷空气会击碎涂层。

4) 喷好的圆柱体工件，应让其继续运转，自行冷却，以防冷却不匀，使涂层碎裂。

5) 喷涂时，如中途转动机械停止，须立即将喷枪移开工件，否则涂层局部迅速堆厚，产生高温，导致碎裂。

6) 操作者应带防紫外线的有色眼镜，且应立于喷枪后面操作。

(3) 喷涂时的故障及其消除方法 列于表4-3-2。

2. 丝火焰喷涂（简称气喷涂）

(1) ZQP-1型丝火焰喷涂

1) 准备工作

① 乙炔、氧气和空气的准备 在使用氧气及乙炔前，应将调节器及橡皮管在接装到喷枪以前空吹一吹，这样可以避免杂物被送到喷枪里去。

压缩空气经过冷凝滤清，确保没有可见的水汽和油雾后用橡皮管接到喷枪上去。

三种气体全部接好以后，将喷枪总阀开足，然后调节气体压力，氧气压力应调到0.12 MPa，乙炔压力调到0.11 MPa，空气压力调到0.45 MPa然后关闭总阀。

② 金属丝的准备 将合乎规格（表面清洁无锈，直径一般为2.3 mm，软金属为3 mm）的金属

表4-3-2 电弧喷涂时的故障及其消除方法

故 障	产 生 原 因	消 除 方 法
1. 电弧不稳定	(1) 由于喷涂用的是裸体金属线材, 电压太低时, 金属丝稍一扭动, 易于断弧 (2) 电流低时熔解金属丝的热量不够, 即行断弧 (3) 前导管出口扩大, 失去了强制两根金属丝交叉在指定焦点的作用 (4) 使用金属丝太细 (与 (3) 情况相同) (5) 金属丝有锈斑或有过多的油脂, 使导电断续, 引弧较困难 (6) 电位器磨损 (7) 直流焊机或电路间短路, 铜丝盘架有故障等 (8) 送丝摆丝轮部有磨损, 使金属丝打滑 (9) 送丝摆丝轮上有较多油脂或金属屑末, 使金属丝打滑 (10) 喷枪上电动机碳刷太短, 或弹簧太松太紧	使电弧电压保持在35~40V左右 使电流保持在100~130A左右 将前导管旋转120°再用, 或更换新导管 选用 ϕ 1.8或1.7金属丝 擦去锈斑, 抹去油脂 换新 检查修理 换新 洗净刷除油脂和屑末 换新, 将弹簧调紧
2. 火花散阔	(1) 空气帽口扩大或单面烧损 (2) 输送金属丝太快, 熔解区 (点) 在空气帽口外面较远 (3) 空气压力低	换新 将输送速度调慢, 使交叉点在空气帽帽口外0.5~1.0mm处或与空气帽口平齐 提高或调整至0.5~0.55MPa
3. 火花偏吹	(1) 有金属氧化物堵塞在空气帽口的一边 (2) 由于直流“+”、“-”极关系, 熔解金属丝有先后。当两根金属丝输送太慢, 使熔解区 (点) 落入空气帽豁口里面, 熔解时产生偏斜角	降低电焊机电压电流, 或将空气帽向里旋进一点 略增加输送速度, 使熔解区 (点) 与空气帽口齐平或伸出0.5~1.0毫米。同时也可以提高空气压力, 使偏斜的微粒被追约束束集中喷射
4. 电弧大, 金属飞溅	(1) 电压高时, 使两根金属丝未接近熔解区 (点) 即行熔解, 电弧光反射大, 促使金属微粒乱吹 (2) 压缩空气压力低, 使金属微粒无法约束集中, 火花四散	降低电压 提高空气压力或将空气帽口向外旋
5. 涂层粗糙	(1) 空气压力太低 (2) 金属丝输送太快 (3) 空气帽旋得太近 (4) 喷枪离工件过远	提高压力 减慢速度 将空气帽旋出少许 缩短距离
6. 涂层变色	(1) 电流过高 (2) 工件线速度低或喷枪移动慢 (3) 工件小或薄, 而喷涂温度超出70~80°C	降低电流在100~110A之间 提高线速度, 增加移动量 可采用间隔喷涂或用空气边吹边喷
7. 烧毁前导管和喷头	(1) 前导管拉出过多, 使两个电极容易短路 (2) 电流太高或电压太高 (3) 空气管路内堵塞或压力太低	调整两根前导管的间隙在2.9~3.0mm之间 将电焊机的调节旋钮向低处调整 检查管路或提高压力, 必要时加大进控制箱的空气管路直径

丝成圈地放在金属丝架上。拉出一个头并校直一段，以锉刀锉去毛头。打开喷枪压盖，从后导管将金属丝塞进，经过前导管及喷嘴，伸出空气帽外约10mm。

合上压盖并旋紧制紧钮。

此时喷枪的准备工作已基本完成。

2) 校枪和喷射 在喷射以前，喷枪应试运转一次。当开启总阀时，空气涡轮应该没有任何阻碍地飞转起来，“调节部分”也应能随意调节快慢。单阀扳动时也应感到轻重适中。经过这样的试运转以后，就可进行喷涂了。

3) 点火 将喷枪上的总阀向下开足三秒钟，然后回到45°左右位置，用打火机在喷枪前引火，喷枪正常时，一下就能点着。点火时喷枪不能指向工件，以免有一层黑灰熏在镀层上。

点着后立即开启全部总阀。

4) 金属丝进给速度的调节和火焰的最后调节 这一工序最为重要。它决定着镀层的质量和喷射

的效率。将氧气压力微微提高或减少以得中性火焰，这时立刻发现火花特别浓而集中，颜色呈淡红色。再将调节圈缓慢地顺转，以提高金属丝的进给速度，直到金属丝趋于熔解，然后倒转，直到火花浓密集中为止。这就是效率最高、质量最好的现象，也就是可燃气体的热能被充分利用的现象。这样就可以向工件进行喷镀，在工件长度内均匀地来回喷射直达要求为止。

5) 技术参数 喷口与工件距离——喷钨，70~80mm；喷钢，100~150mm；喷铝、锌150~200mm；喷其他材料，100~150mm。

一般 $\phi 70\sim 100\text{mm}$ 圆柱工件的线速度5~12m/min，喷枪移动量3~10mm/r(工件)。

1米左右直径的烘缸滚筒喷不锈钢的工件线速度在30~60m/min，喷枪移动量5~15mm/r(工件)。

6) 喷涂时的故障及其消除方法 列于表4-3-

3。

表4-3-3 丝火焰喷涂时的故障及其消除方法

故 障	产 生 原 因	消 除 方 法
1.点不着火	(1) 氧气表上的读数不可靠，与实际压力有出入 (2) 喷嘴小眼堵塞 (3) 混合室的环形槽不洁 (4) 总网上的润滑油太多，预先开启的凹槽堵塞 (5) 空气压力太高 (6) 乙炔气内有水份 (7) 混合室内透气孔堵塞 (8) 乙炔或氧气皮管内有外来物的堵塞 (9) 乙炔压力虽有0.11MPa，但因皮管太长，中途阻力太大，到喷枪时没有0.11MPa	应用其他表核对一下 清理洁净 清理洁净 清理洁净 降低至0.4MPa，或少开总阀，限制空气流量 将乙炔发生器内几个滤清设备拆下清洗烘干 清理透气孔 倒吹皮管或拆下清洗 皮管长度最好不要超过5m
2.点火后火焰忽亮忽暗	(1) 氧气压力太低 (2) 金属丝卡住或送进量不均匀	徐徐增加氧气压力，至火花浓而有力为止 金属丝卡住，可左右旋转即能送进。送丝轮上有过多的油渍，宜用细钢丝刷清除之
3.回火	(1) 喷嘴与喷嘴座有外来物阻碍或润滑油已吹去，或螺帽没有压紧（有巨大的爆炸声） (2) 氧气压力太高或太低，太高时有爆炸声发生，太低时先有嘘叫声而后再发生小爆炸声 (3) 金属丝进给太慢，以致混合气体在未出空气帽前已把金属丝熔解，形成尖端氧化，使空气帽内火焰反射，金属丝尖端熔成饼状，覆盖或部分粘着于喷嘴头上，盖没喷嘴小孔	立即关闭总阀，停三、四秒钟。如再点火时仍回火，则需拆下喷嘴研磨，加润滑油再装配，润滑油宜少，调节适当 适当调节氧气 立即关闭总阀，将压盖制紧螺丝松开，抽出金属丝，拆下空气帽，并清理帽内粘着的氧化铁。清理喷嘴可能粘着的金属粒屑，必要时以通针疏通小孔

故 障	产 生 原 因	消 除 方 法
3.回火	(4) 空气帽旋得太紧,使喷嘴头与空气帽内间隙太小,造成空气不够吹冷喷嘴与空气箱,金属丝也会在熔解结成饼状	方法与(3)相同,但需将空气帽向外旋出些以增大间隙,至正常为止
4.金属丝送进不畅	(1) 送丝轮油渍太多而打滑 (2) 金属丝锈斑太多 (3) 喷嘴内铜套筒使用日久而缩短缩小 (4) 金属丝弯曲太多	清除油渍 以细砂纸擦拭光亮,并薄薄抹上一层油 以细钢丝抹上些细氧化铝研磨,或更换铜套筒 矫直金属丝

(2) SQP-1型丝火焰喷涂

1) 准备工作 开动空压机,空运行几分钟后,放掉油水分离器和存气筒底部的油水残液,使空气压力保持在0.6MPa。按乙炔发生器的指定方法准备好乙炔和氧气,将喷枪上的阀杆顺转180°,调整乙炔和氧气的压力分别为0.05~0.06 MPa和0.4MPa,然后将阀杆回到0°。

2) 点火前的准备 参见图4-2-8,将支撑1顺转,使一对送丝滚轮2分开。所用线材(例如钢丝、铜丝等)从后导管3塞入,通过喷嘴伸出6~8mm。逆转支撑1螺钉,使一对送丝滚轮2夹紧线材。

3) 点火 将阀杆手柄4顺时针旋转90°(此时感觉到一个钢珠落入凹槽),用打火枪或其他火种在喷枪前面点火,点着后立即将阀杆手柄4旋到180°位置,见图4-3-11,这时就在喷枪前出现火花(有些材料如铝、锌等不会出现明显火花)。

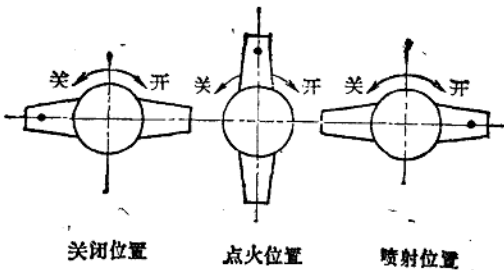


图4-3-11 阀杆手柄在喷涂前后的位置

4) 调节火花的密集度(即熔融材料的细度)

为了达到最高喷涂效率、最好涂层质量,和充分利用可燃气体的热量,必须进行微细调节(调好后就保持下来,以后一般不再要调节)。

微调时只调氧气压力和线材的输送速度,乙炔

和空气的压力不要调节。

如果火花不够浓密,散火较多(以喷钢为例),应首先将氧气压力微微降低;如发现火花太粗,甚至钢丝只发红而不熔化,那就将氧气压力微微升高到火花浓密为止。然后将调速旋盘左旋或右旋使火花进一步浓密,使角度达到最小为止,这表示气体用量和钢丝输送速度取得平衡,恰到好处,此时即可对工件进行正常喷涂。如停喷15min以上,须将所有气体关闭。

表4-3-4示出了SQP-1型气喷枪故障发生原因及消除方法。

3. 粉末氧炔焰喷涂

氧炔焰粉末喷涂设备简单,操作方便,成本低廉,且劳动条件好,因而广泛用于机修等部门。一般地说,只要能利用氧炔焰粉末喷涂的工件,就应优先选用之。

氧炔焰粉末喷涂的操作大部分同于气焊。具体操作过程如下:

(1) 按工件选择喷涂距离和速度 喷涂距离以100~200mm为宜;轴类零件事先要夹持到车床上,按线速度20~30m/min调整车床转速。

(2) 检查喷枪的燃烧系统和送粉系统 燃烧系统的检查即喷枪的射吸能力的检查,这点完全同于割炬焊炬的检查。粉末供给系统的检查方法是:打开送粉氧阀,掀下开关手把,按住粉斗接头,这时应有吸力;堵住喷嘴出粉孔,掀下开关手把,这时应有气流从粉斗接头冲出。

检查正常后,按所需氧和乙炔的压力点火,并调整为最大的中性焰,注意焰心不得离开喷嘴端面。

(3) 装上所需喷涂粉末(事先应烘干、冷后过筛)。

表4-3-4 SQP-1型气喷枪故障发生原因与消除方法

故 障	产 生 原 因	消 除 方 法
1.点不着火	(1) 氧气压力过高 (2) 在点火位置时乙炔流量太小, 原因是推开密封膜的 $\phi 4$ 弹簧疲劳 (3) 混合室中的氧气喷射嘴四个 $\phi 0.5$ 孔其中有几个孔堵塞使氧气倒吹乙炔 (4) 混合室上面的O形密封圈压扁失去弹性, 使三种气体混乱窜气	调整到0.35~0.4MPa 更换新的 用通针清理四个 $\phi 0.5$ 孔 换新
2.能点着火但阀门全开时随着一个小爆声而火焰熄灭	(1) 氧气压力太高 (2) 金属丝在点火时不走, 或全开时走得慢	调整到0.35~0.4MPa 调速手盘放松1~2转
3.点火后, 火焰恍惚(约1~6频率/秒一亮一暗)	(1) 氧气压力太低 (2) 金属丝走得慢 (3) 金属丝卡在喷嘴内	调整到0.35~0.4MPa 调速手盘放松1~2转 用 $\phi 2.3$ 或 $\phi 3.1$ 钻头疏通孔道, 并除去金属丝上的多量油脂
4.火花不集中(散火较多)	(1) 氧气压力太低 (2) 金属丝走得慢	调整到0.4MPa 调速手盘慢慢松开到火花集中为止
5.部分火花向后喷射	(1) 金属丝直径太细	金属丝的直径比喷嘴套管的孔径小0.1mm, 喷嘴标准直径为 $\phi 2.3$ 和 $\phi 3$ mm两种
6.火花偏吹	(1) 空气帽与喷嘴的间隙偏高 (2) 喷嘴套管单边磨损 (3) 空气帽内有部分结渣	微微调节空气帽或将喷嘴和混合室拆下重装 换新或重镶套管 清除结渣
7.金属丝进行不畅	(1) 送丝轮上油垢太多打滑 (2) 送丝轮齿尖磨损 (3) 两个压紧弹簧太松或一紧一松 (4) 金属丝锈斑太多或油垢夹尘土, 使喷嘴套管堵塞 (5) 喷嘴时, 铝丝表面氧化 (6) 刹车片与摩擦圈断油	清洗 翻转送丝轮或换新 调整 清除金属丝上的锈斑和油垢尘土 以布片抹上一层极薄油膜 涂油

(4) 预热 可用焊炬也可用喷涂枪进行预热, 但不开送粉开关。

(5) 喷涂打底层 打底层又叫过渡层, 主要用来加强涂层结合力, 因该粉末价贵, 故不宜喷厚。厚度最佳值为0.1mm, 最大值为0.2mm。常用的打底层粉末产品规格见表4-3-5。其中近年研制的镍包铝、铝包镍、镍钴包铝用得最广, 而尤其以后两种工艺性能和结合强度更好些。

(6) 喷涂工作层 薄涂层工件可只喷过渡层。厚涂层工件则应按工艺需要选择合适的工作层粉末(参见表4-3-6)。注意喷涂厚度要留够加工余量。因工作层粉末不是放热型的, 喷涂距离可比喷过渡层时稍近些。

对小工件和厚涂层工件, 可采用间歇喷涂, 以防工件温升过高。无论打底层还是工作层的喷涂, 都要将喷涂的面速度控制在合理范围内。

过渡层和工作层粉末的粒度以200目左右为宜, 也可不同粒度粉末充分混合后使用。几种不同规格粉末的粒度范围见表4-3-7。

(7) 喷涂层缺陷及其防止措施 见表4-3-8所示。

4. 粉末氧炔焰喷熔

该喷熔工艺分为一步法喷熔和二步法喷熔。

(1) 一步法喷熔的操作 点火前的操作与粉末氧炔焰喷涂相同。点火后调为中性焰或轻微碳化焰(轻微碳化焰适用于钴基、铜基合金粉末)对工