

工程机械维修新技术丛书



刷镀技术 实用指南

梁志杰 臧永华 编著
中国建筑工业出版社

工程机械维修新技术丛书

刷镀技术实用指南

梁志杰 臧永华 编著



中国建筑工业出版社

本书是《工程机械维修新技术丛书》之一分册，由装甲兵工程学院机械零件修复研究中心在研究、应用、推广刷镀技术的实践基础上编写的。它包括：刷镀技术的原理、特点和设备，有关刷镀工艺中的表面准备、镀层结构设计、镀液选择、典型材料工艺、镀层检验等方面的问题和应用经验。本书对于应用刷镀技术修复、装饰、防护和强化机械零件具有实用指导意义，可供机械维修及其它企业的工人和工程技术人员、大专院校有关专业师生阅读，也可作为本专业培训教材。

* *

工程机械维修新技术丛书

主 编 徐滨士

副主编 朱绍华 黄天桂

工程机械维修新技术丛书

刷 镀 技 术 实 用 指 南

梁志杰 臧永华 编著

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本：850×1168毫米 1/32 印张：9³/₈ 字数：250 千字

1988年8月第一版 1988年8月第一次印刷

印数：1—12,280册 定价：2.55元

ISBN7-112-00151-X/TG·1

统一书号：15040·5463

前 言

刷镀，就基本原理来说，与有槽电镀有许多相似处，它们都属于电化学的结晶过程。但是，刷镀与有槽电镀又有许多不同点，例如刷镀镀层的强化效应比有槽电镀层要大，刷镀层的硬度和耐磨性比相应的电镀层高。同时，刷镀技术所用的设备、场地比有槽电镀简单，因而刷镀设备可以方便地运送到修复现场施镀，对环境的污染也大大低于有槽电镀。刷镀技术的这些特点使它迅速地得到发展，并获得了广泛的应用。目前，不仅可以在金属表面刷镀金属镀层，而且在非金属表面（如塑料、陶瓷、玻璃、木材等）也可以刷镀金属镀层。因此，它已广泛应用于机械、电子、仪器仪表、航空、船舶、车辆、国防、化工、轻工等行业产品的修复、防护和装饰等方面。除此之外，刷镀还应用于建筑物、文物、艺术品、首饰的修缮和装饰。当前，刷镀技术已经成为金属表面工程的重要技术之一，它在零件表面修复和强化方面发挥了重要作用。

为了进一步推广刷镀技术，扩大应用范围，使它在国家建设中发挥更大的作用，同时也应广大刷镀工作者的迫切要求，我们将多年来从事刷镀技术研究、应用和推广工作中的成果和经验进行了初步总结，编写成这本《刷镀技术应用指南》，献给读者。

本书深入浅出地阐述了刷镀原理、设备、镀液和工艺，还详细地介绍了刷镀过程中各道工序中应注意的问题以及应用方面的经验。在刷镀应用实例一章中记叙了我们多年来亲自实践和指导过的典型实例。在这些实例中详细介绍了各种常用材料、各种几何形状和尺寸的零件的刷镀方案的选择、镀前准备、阳极设计制作、刷镀现场准备和组织、镀层的测量以及各工序中应注意的问

题。我们相信这些实践经验对广大读者都是有益的。

本书由梁志杰、臧永华编著。本书稿经徐滨士教授主审，朱绍华、黄天桂两同志对书稿进行了认真审阅。此外，刘世参、马世宁、韩文政等同志参加了修改和部分编写工作。编写出版过程中，还得到了装甲兵工程学院工艺教研室、装甲兵第六四五工厂和马玉金、赵昌业、魏孝信、陈卫民、朱敏等同志的支持和帮助，在此，谨表谢意。

刷镀技术还在继续发展，广大刷镀工作者的水平也在不断提高，限于目前我们的水平，本书一定会有不足之处、恳请读者给予批评、指正。

编 者

1987年7月

目 录

第一章 刷镀技术.....	1
一、概述	1
二、刷镀的基本原理	2
三、刷镀技术的特点与用途	3
四、刷镀设备	5
第二章 表面准备.....	31
一、概述	31
二、表面准备方法的选择	32
三、镀前表面加工	33
四、表面除油	37
五、非镀表面的保护	42
六、表面除锈	42
第三章 工艺规范与参数的选择.....	46
一、概述	46
二、电源设备输出参数的选择原则	46
三、镀笔与工件的相对运动速度	48
四、镀笔与工件间的运动方式和运动轨迹	51
五、温度的控制	53
六、镀液的选择	55
七、工艺规范的选择	59
第四章 镀层结构设计.....	67
一、概述	67
二、刷镀层的分类	67
三、镀层的选择原则与结构设计	72
第五章 不同材料上的刷镀工艺.....	81
一、概述	81

二、刷镀的一般工艺过程	81
三、黑色金属材料上的刷镀工艺	82
四、有色金属材料上的刷镀工艺	93
五、其它金属材料上的刷镀工艺	97
六、非金属材料上的刷镀工艺	99
第六章 刷镀溶液	106
一、概述	106
二、表面预处理溶液	107
三、镀镍溶液	112
四、镀铜溶液	122
五、镀铁溶液	126
六、镀钴溶液	127
七、镀锌溶液	129
八、镀锡溶液	131
九、镀铅溶液	133
十、镀镉溶液	133
十一、镀金溶液	136
十二、镀银溶液	137
十三、镀铬溶液	138
十四、镀铟、镓、铋、铊、铂溶液	139
十五、镀合金溶液	141
十六、溶液用量的估算	146
十七、溶液的存放与回收	146
十八、废液的处理	147
第七章 镀层加工	151
一、磨削加工	151
二、车削加工	153
三、镀层的钳工刮削和研磨	154
第八章 刷镀层金相分析	157
一、刷镀层表面形貌分析	157
二、刷镀层的组织分析	161
第九章 镀层检验	171
一、镀层的检验项目	171

二、试样制备	172
三、镀层的外观检查	173
四、刷镀层的结合强度检测方法 with 标准	173
五、孔隙率的测定	181
六、硬度的测定	186
七、刷镀层耐磨性的测定	189
八、加热温度与镀层硬度关系曲线的测定	192
九、镀层内应力的测定	195
十、镀层氢脆性的测定	199
十一、镀层耐腐蚀性的测定	202
第十章 镀液检验	205
一、检验项目	205
二、pH值的测定	205
三、金属离子含量的测定	206
四、比重的测定	209
五、电流效率的测定	209
六、电导率的测定	210
七、极化曲线的测定	212
八、表面张力的测定	215
九、耗电系数的测定	216
十、沉积速度的测定	217
第十一章 刷镀应用实例	218
一、特大型造纸烘缸的刷镀 (低碳钢)	218
二、炼钢炉筒的刷镀 (中碳钢)	224
三、刷镀修复1500t石墨电极挤压机 (铸钢)	229
四、应用刷镀修复机床导轨的工艺 (灰口铸铁)	239
五、刷镀技术在大修民主德国进口DKZ6300双柱立式车床中的应 用	250
六、刷镀在修复橡胶机械中的应用	257
七、刷镀技术在修复和强化模具中的应用 (中碳合金钢)	260
八、矩形花键的刷镀修复工艺	264
九、铸铝箱体的刷镀工艺 (铝合金)	267
十、曲轴的刷镀修复工艺 (球墨铸铁)	269

十一、新轴瓦的强化处理刷镀工艺（铜合金）	271
附录一 刷镀人员的劳动安全与防护	273
附录二 国产系列刷镀溶液的性质及主要工艺参数	274
附录三 常用刷镀工件的各种几何形状表面积计算公式	282
附录四 刷镀技术操作记录卡	284

第一章 刷 镀 技 术

一、概 述

刷镀是依靠一个与阳极接触的垫或刷提供电镀需要的电解液，电镀时，垫或刷在被镀的阴极上移动^①的一种电镀方法。

刷镀最初是电镀工人用来修补槽镀零件缺陷的一种方法。它是用一块棉团将阳极包裹起来，蘸上槽镀液，在工件缺陷处擦拭。而现在的刷镀技术与过去那种简单的修补法已大不相同了。它有了适用于各种不同用途的专用镀液、专用阳极与包裹材料，各种型号的镀笔和一系列专用电源，已经发展成为一项新技术。这种技术的特点是：设备简单，操作方便，安全可靠；溶液种类多，镀积速度快，应用范围广；镀层与基体结合强度高；镀后工件不变形，一般不需机械加工。它不仅能用于零件的维修，而且能用于零件的表面强化，防腐和装饰。所以在工程车辆、航空、机械、电子、建筑、船舶、石油等各行业中日趋广泛应用。

刷镀技术在大量的应用推广过程中，已获得了显著的经济效益。该项成果被授予国家级科学技术进步一等奖。为了更广泛地推广应用这项新技术，国家经委决定在“六五”计划重点推广的基础上，继续将其列为“七五”计划期间国家重点推广项目之一。可以相信，随着各行业现代化发展的需要，刷镀技术将会有更大的发展，并将取得更好的效果。

① 摘自国标GB3138—82。

二、刷镀的基本原理

刷镀使用专门研制的系列刷镀溶液、各种形式的镀笔和阳极，以及专用的直流电源。工作时，工件接电源的负极，镀笔接电源的正极，靠包裹着的浸满溶液的阳极在工件表面擦拭，溶液中的金属离子在零件表面与阳极相接触的各点上发生放电结晶，并随时间增长镀层逐渐加厚。由于工件与镀笔有一定的相对运动速度，因而对镀层上的各点来说，是一个断续结晶过程。刷镀工作原理如图1-1所示。

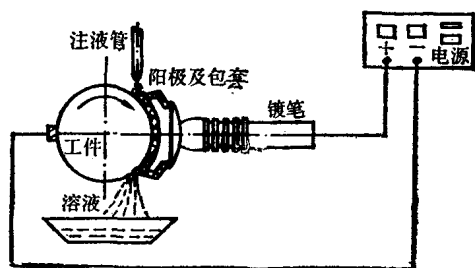


图 1-1 刷镀工作原理示意图

刷镀层的沉积结晶原理与有槽电镀层的结晶原理是相同的。其结晶过程分为两个步骤进行：

(1) 溶液中金属离子在阴极上放电，变为中性质点（分子或原子）；

(2) 原子在晶格中分配排列——晶核的生成和长大是同时进行的。

金属离子在阴极表面放电变为中性质点后，并不直接进入晶格，而是沿着晶体表面进行着不规则的热运动。在运动时，可能遇到许多相同的质点，这些质点就聚集形成晶核沉积在阴极表面上。当质点积聚小于一定的临界尺寸时，将是不稳定的，会自动分解恢复原来的状态；当质点积聚超过一定的临界尺寸时，则晶核就继续长大成为晶粒。随着刷镀过程的持续进行，新的晶核不断

产生并长大成为晶粒，各晶粒相互连接长成一片，便形成了镀层。

离子的放电，只能在阴极表面上发生，而不可能在离开阴极的地方发生，并且离子在阴极表面上各点的放电难易也不一样。即在工件与阳极的整个接触面上，晶体的成长并不是均匀地进行，而仅在整个面上迅速移动的活跃部分进行。这些被称为成长面上的活跃部分就是晶体的顶角和棱角处。因为这些尖端处的电流密度和静电引力都比晶体其它部分大得多，同时位于晶体顶点和棱角处的原子最不饱和，最为活泼，并有较高的吸附能力。当表面有一镀层形成后，其上的棱角和阶面又成为新的活跃部分，金属离子又在其上形成晶核，并不断长大，形成新的镀层。随着时间的增加，镀层就不断加厚，直至镀成所需要的尺寸。

三、刷镀技术的特点与用途

(一) 刷镀技术的特点

刷镀具有以下特点：

1. 设备简单，不需要镀槽，便于携带，适用于野外及现场修复。尤其对于大型、精密设备的现场不解体修复更具有实用价值。

2. 工艺简单，操作灵活，不需要镀的部位不要用很多的材料保护。

3. 操作过程中，阴极与阳极之间有相对的运动，故允许使用较高的电流密度，一般为 $300 \sim 400 \text{ A/dm}^2$ ，最大可达 $500 \sim 600 \text{ A/dm}^2$ 。它比槽镀使用的电流密度大几倍到几十倍。

4. 镀液中金属离子含量高，所以镀积速度快（比槽镀快 $5 \sim 50$ 倍）。

5. 溶液种类多，应用范围广。目前已有一百多种不同用途的溶液，适用于各个行业不同的需要。

6. 溶液性能稳定，使用时不需要化验和调整；无毒，对环境

污染小；不燃、不爆、储存、运输方便。

7. 配有专用除油和除锈的电解溶液。所以表面预处理效果好，镀层质量高，结合强度大。

8. 有不同型号的镀笔，并配有形状不同、大小不一的不溶性阳极，对各种不同几何形状以及结构复杂的零部件都可修复。某些镀极也可使用可溶性阳极。

9. 修复周期短，费用低，经济效益大。

10. 镀后一般不需要机械加工。

11. 一套设备可在多种材料上刷镀，可以镀几十种镀层。获得复合镀层非常方便，并可用叠层结构得到大厚度镀层。

12. 镀层厚度的均匀性可以控制，既可均匀镀，也可以不均匀镀。

（二）刷镀技术的用途

刷镀技术可用于下列场合：

1. 修补槽镀产品的缺陷。

2. 修复加工超差件及零件的表面磨损，恢复其尺寸精度和几何形状精度。

3. 修复工件表面的划伤、沟槽、凹坑、斑蚀。

4. 强化新品表面，使其有较高的机械性能和较好的物化性能。

5. 制备工件表面的防护层，如要求表面耐腐蚀、抗氧化、耐高温，对铝及铝合金表面进行氧化处理等。

6. 改善材料的钎焊性、导电性、导磁性以及减磨性。

7. 装饰和修复建筑物、文物、工艺美术制品。

8. 修复印刷电路、电气触头、电子元件。

9. 用反向电流刻蚀零件毛刺，动平衡去重。

10. 零件局部防渗碳、防渗氮和防氧化，刷镀喷涂，堆焊层的过渡层等。

11. 完成槽镀难于完成的作业。如：

（1）工件太大或要求特殊而无法槽镀；

(2) 工件难于拆装或拆装运输费用昂贵, 对大型设备现场修理;

(3) 只需局部镀的大件或镀盲孔;

(4) 用于钴、钛和高合金钢的过渡层, 增强槽镀层的结合力;

(5) 工件浸入镀槽会引起其它部位的损坏或污染镀液。

四、刷 镀 设 备

现代的刷镀技术要求有专用的设备和工辅具。它主要包括电源装置, 一整套齐备的镀笔工具和可更换的阳极及包裹材料。还有夹持工件的转胎、输液泵和其它辅助工具。

(一) 电源

1. 对电源的要求

电源是实施刷镀的主要设备, 是用来提供电能的装置。因此, 必须达到下列设计要求:

(1) 首先, 电源必须具备变交流电为直流电的功能。并要求有平直或缓降的外特性(图1-2), 即要求负载电流在较大范围内变化时, 电压的变化很小。

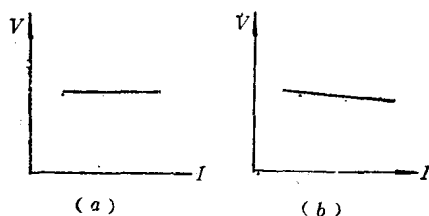


图 1-2 电源外特性

(a) 平直外特性; (b) 缓降外特性

(2) 输出电压应能无级调节, 以满足各道工序和不同溶液的需要。常用电源电压可调节范围为 $0 \sim 30\text{V}$, 大功率电源, 最

高电压可达到50V。

(3) 电源的自调节作用强, 输出电流应能随镀笔和阳极接触面积的改变而自动调节。考虑到零件待镀面积大小的不同, 常把电源按输出电流和电压的最大值分成几个等级(表1-1), 并配套使用。

国产刷镀电源的配套等级与主要用途

表 1-1

配 套 等 级	主 要 用 途
5A 30V	电子、仪表零件, 项链、戒指等首饰及小工艺品的镀金、镀银等
15A 20V	中小型工艺品, 电器元件, 印刷电路板, 量具、卡规、卡尺的修复, 模具的保护和光亮处理等
30A 30V	小型工件的刷镀
60A 30V 75A 30V	中等尺寸零件的刷镀
100A 30V 120A 30V 150A 30V	大中型零件的刷镀
300A 20V 500A 20V	特大型工件的刷镀

(4) 电源应装有直接或间接地测量镀层厚度的装置, 以显示或控制镀层的厚度。

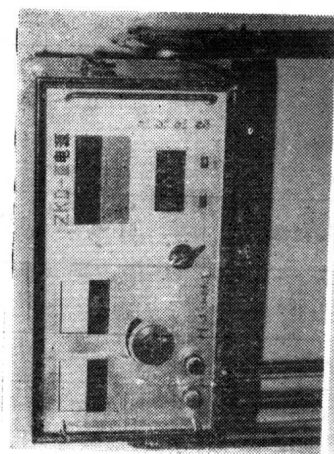
(5) 有过载保护装置。当超载或短路时, 能迅速切断主电路, 保护设备和人身安全。

(6) 输出端应设有极性转换装置, 以满足各工序的需要。

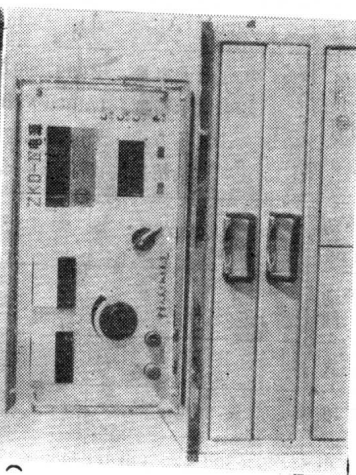
(7) 为适应现场和野外使用, 电源应体积小、重量轻, 工作可靠, 操作简单, 维修方便。

2. 电源组成及各主要组成部分的作用

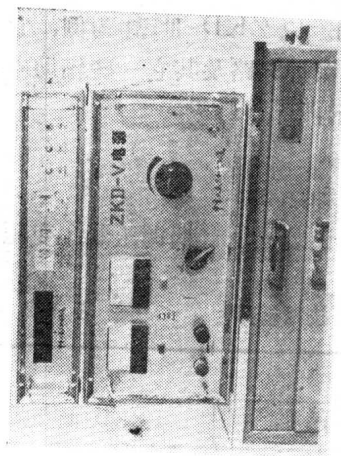
目前, 国内有许多厂家生产刷镀电源, 现以装甲兵工程学院生产的ZKD系列电源为例, 说明其组成部分与作用。



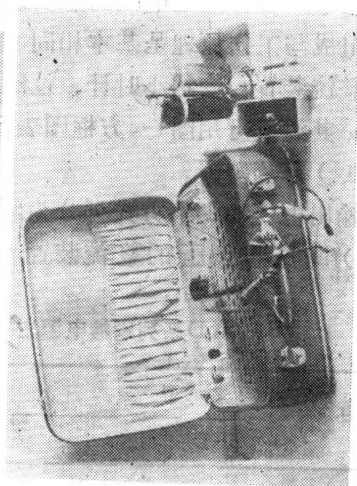
(a)



(b)



(c)



(d)

图 1-3 ZKD系列刷磁电源
(a)ZKD-III型; (b)ZKD-IV型; (c)ZKD-V型; (d)ZKD-VI型

ZKD系列刷镀电源(图1-3)是按输电流和电压的不同分成六个不同型号(各种型号电源的主要技术数据见 表1-2), 它们的各部分组成与工作原理是基本相同的。以 ZKD-Ⅲ 型为例: 它主要由整流装置、安培小时计、过载保护电路及其它一些辅助电路组成。其组成可用图1-4方框图表示:

(1) 整流装置

按输出电压的调节方式可分为两种:

1) 调压器调压的整流装置 该装置由自耦调压器、变压

ZKD系列刷镀电源主要技术指标

表 1-2

项 目	型 号		
	ZKD-I	ZKD-II	ZKD-III
输入电压	220V $\pm$ 10% 50Hz		
直流输出	0 ~ 30V 0 ~ 30A 无级调节	0 ~ 20V 0 ~ 15A 无级调节	0 ~ 30V 0 ~ 60A 无级调节
交流输出	0 ~ 36V 0 ~ 25A	0 ~ 25V 0 ~ 12A	0 ~ 36V 0 ~ 30A
调压器容量	900V·A	300V·A	2000V·A
安培小时计	最大容量: $\pm 999.999\text{A}\cdot\text{h}$ 显示精度: 1/1000A·h 显示方式: 十进制六位荧光数码管 计量精度: 误差 $< 2\%$		
过载保护动作电流	31 ~ 33A	17 ~ 19A	61 ~ 63A
过载保护动作时间	$< 0.02\text{s}$		
工作制式	连续工作		
温 升	$\leq 50^{\circ}\text{C}$	$\leq 40^{\circ}\text{C}$	$\leq 50^{\circ}\text{C}$
体 积	485 $\times$ 330 $\times$ 295(mm)	430 $\times$ 330 $\times$ 250(mm)	510 $\times$ 385 $\times$ 270(mm)
重 量	44kg	19.5kg	56kg