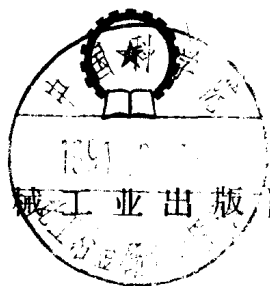


电 刷 镀 技 术 便 览

林春华 葛祥荣 编著



机械工业出版社

前 言

电刷镀是电化学表面加工的新技术。它渊源于电镀又有别于电镀。

近年来,国内许多研究者进行了大量的研究工作。在研究的深度和实践应用的广度等方面都走在世界的前列。国家在“六五”和“七五”期间在全国重点推广应用电刷镀技术,获得17亿元以上的直接经济效益,解决了许多技术难题。

本书是作者根据长期从事电刷镀研究和应用的实践,并参考了国内外有关著作和资料编写而成。内容涉及电刷镀原理、电源设备、镀液、工具和辅具、工艺过程、镀层性能、废水处理、应用实践、经济性和安全操作等十个方面。数据力求详细准确。可供从事电刷镀生产的工人理论学习和指导实践用,也可供从事电刷镀生产、科研、教学和工程设计的技术人员参考。

电刷镀技术具有广泛用途,已从修复发展到表面强化、耐蚀和精饰等方面。本书中列举了几百个例子,读者可以举一反三。近来,电刷镀的表面准备工艺已移植到化学镀、热喷涂、焊接、粘接和油漆涂装技术中;利用电刷镀工艺制备非晶态合金层和复合镀层,为设计和制造业提供了新视野。这些是电刷镀技术的重要新进展,书中虽有涉猎,但篇幅和份量尚嫌不足,只能留待以后补充,希望读者谅解。

由于作者水平有限,本书不妥之处,敬请批评指正。

本书的主要参考资料列于书末。向已列出和未列出的各资料的作者们表示感谢!

作者

1989.6

目 录

第一章 电刷镀技术概况	1
第二章 电刷镀电源	5
第一节 电刷镀工艺对电源的要求	5
第二节 电刷镀电源的主电路	6
第三节 控制回路	10
第四节 TD 系列电刷镀电源	17
第三章 电刷镀溶液	28
第一节 电刷镀溶液的分类及特点	28
第二节 表面准备溶液	29
第三节 沉积金属溶液的评定方法	34
第四节 镍电刷镀液	42
一、特殊镍镀液	43
二、快速镍镀液	45
三、低应力镍镀液	47
四、镍-钨合金镀液	49
五、半光亮镍镀液	52
六、其它镍电刷镀液	53
第五节 钴电刷镀液	55
一、酸性钴镀液	55
二、其它钴镀液	57
第六节 铁电刷镀液	57
一、快速铁镀液	58
二、半光亮铁镀液	60
三、快速铁镍钴合金镀液	60
第七节 铜电刷镀液	62
一、快速铜镀液	62
二、碱性铜镀液	65
三、厚沉积碱性铜镀液	66
第八节 软金属电刷镀液	68

一、锡电刷镀液	68
二、锌电刷镀液	72
三、铜电刷镀液	75
四、锡电刷镀液	78
第九节 铬电刷镀液	79
第十节 贵金属电刷镀液及不合格贵金属镀层的退除和回收方法	81
一、金电刷镀液	81
二、铑电刷镀液	82
三、钯电刷镀液	83
四、银电刷镀液	83
五、不合格的金、银、铂、钯、铜镀层的退除和回收方法	84
第十一节 复合电刷镀液	88
第十二节 常用金属的无电解镀溶液	92
一、镍无电解镀溶液	93
二、铜无电解镀溶液	94
三、钴无电解镀溶液	95
第十三节 常用金属(镀层)的退除液、钝化液和抛光液	95
一、退除镍、铜、锡镀层的溶液	95
二、铝、铜、锌、银的钝化液	97
三、常用金属的抛光液	106
第十四节 电刷镀溶液的保管和使用	112
第四章 电刷镀用的工具、辅具和辅助材料	117
第一节 镀笔(阳极、导电柄)	117
一、阳极	118
二、导电柄	125
三、阳极和导电柄的组合	131
四、镀笔的使用和保养	131
第二节 包裹阳极的材料及其应用	134
一、棉花和化学纤维	134
二、包套	135
三、其它包裹材料	136
四、包裹阳极材料的进展	137

五、阳极的包裹	138
第三节 溶液的运送、回收装备及用具	140
一、输液泵	140
二、溶液分配器	141
三、简易供液器具	141
四、其它用具	142
第四节 测量工具	143
第五节 加工和打磨工具	145
一、砂带磨削	145
二、电动、风动砂轮	147
三、MYP 系列模具研磨抛光机	148
四、磨石和砂布(纸)	150
第六节 省力化、机械化装置和工装夹具	153
一、镀笔的夹持装置	153
二、镀深孔和小孔的装置	155
三、工装	155
四、省力化和机械化电刷镀装置	157
第七节 其它材料与配套件	162
一、遮蔽材料	162
二、堵塞材料	164
三、工辅具和辅助材料的配套	164
第五章 电刷镀工艺	169
第一节 电刷镀工艺的一般问题	169
一、一些规定	169
二、工件和阳极的相对运动和接触压力	172
三、镀液和工件的温度	174
四、镀层的厚度控制和计算	175
五、工件表面的镀前处理和过渡层	176
六、工作镀层	181
七、无电擦拭和闪镀	181
八、镀液的运送	183
九、在已有镀层上继续加厚镀层	186
十、镀层剥离的原因及克服方法	187

十一、镀层的加工	189
第二节 常用金属材料的电刷镀工艺	191
一、电刷镀工艺对金属材料的分类	191
二、低碳钢类金属的电刷镀工艺	192
三、中、高碳钢类金属的电刷镀工艺	193
四、铸钢、铸铁类金属的电刷镀工艺	194
五、镍、镍不锈钢、热强钢类金属的电刷镀工艺	195
六、铬、铬钢类金属的电刷镀工艺	196
七、铝及铝合金类金属的电刷镀工艺	197
八、铜、黄铜类金属的电刷镀工艺	197
九、锌、锡、铅、镉类金属的电刷镀工艺	197
十、贵金属的电刷镀工艺	197
第三节 难镀金属的电刷镀工艺	200
一、镁和镁合金的电刷镀工艺	200
二、半导体材料的电刷镀工艺	200
三、高熔点金属(钨、钽、钼等)的电刷镀工艺	201
四、铁素体类材料的电刷镀工艺	202
五、氮化表面的电刷镀工艺	202
六、复合表面的电刷镀工艺	202
七、碳和石墨的电刷镀工艺	204
八、确定特殊的金属材料电刷镀工艺的步骤	204
第四节 非金属材料的电刷镀工艺	205
一、镀前处理	205
二、获得金属膜(层)的方法	213
第五节 提高电刷镀生产率的途径	218
一、提高电刷镀的成功率	218
二、选择合适的镀层	218
三、改善电刷镀工艺	219
四、合理地确定镀层厚度	220
第六节 工件表面白色组织及其对电刷镀的影响	220
一、工件表面白色组织的形貌和特点	220
二、产生白色组织的原因	222
三、白色组织的影响及克服办法	223

第七节 电刷镀时工件表面的电火花烧伤	224
一、电火花烧伤的定义	224
二、电刷镀时工件表面电火花烧伤的特点	225
三、电火花烧伤的危害性	227
四、克服电火花烧伤的办法	227
第八节 金属工件的再次电刷镀修复	230
第九节 电刷镀的省力化操作	232
一、省力化操作及其意义	232
二、电刷镀省力化操作的内容	232
第十节 电刷镀工艺型式的进展	239
一、传统的电刷镀工艺形式	239
二、流镀	239
三、珩磨镀	242
四、使用电刷镀液的局部槽镀	243
五、在镀液槽内的电刷镀	243
六、脉冲电刷镀	244
七、电喷镀	245
八、无电解刷镀和无电解喷镀	245
第六章 电刷镀层的性能及测量方法	246
第一节 电刷镀层的金相组织	246
一、电刷镀层的宏观形貌	246
二、电刷镀层的微观形貌	253
第二节 电刷镀层的结合强度	258
一、镀层的结合机理	258
二、电刷镀层结合强度检测方法	262
第三节 电刷镀层的硬度	273
一、电刷镀层硬度的特点	274
二、电刷镀层硬化的机理	276
三、电刷镀层硬度的测量方法	277
第四节 电刷镀层对基体金属“氢脆”和“镉脆”的影响	280
一、氢脆的机理及测试方法	280
二、“镉脆”的机理及防止方法	287
第五节 镍镀层对基体金属疲劳强度的影响	289

一、试验数据	289
二、分析与讨论	293
三、结语	297
第六节 电刷镀层的耐腐蚀性	297
一、金属的腐蚀和防护	297
二、电刷镀层的耐蚀性	299
第七节 钢-镍组合镀层和铜-镍组合镀层的抗粘附磨损性能	307
一、试样上的镀层方案	307
二、钢-镍组合镀层和铜-镍组合镀层的抗粘附磨损性能	308
三、齿轮模拟试验及铁谱分析结果	316
第八节 从摩擦学角度选择电刷镀层	318
一、基体金属和电刷镀层的表面特性和表面接触	320
二、金属间摩擦磨损及其镀层的选择	325
三、电刷镀在其它耐磨表面处理中的应用	345
第九节 镍镀层对磁粉探伤和超声波探伤的影响	347
一、表面裂纹对电刷镀的影响	347
二、镍镀层对磁粉探伤精度的影响	347
三、镍镀层对超声波探伤精度的影响	349
第十节 电刷镀层的内应力	349
一、内应力对电刷镀层的影响	350
二、产生内应力的机理	351
三、影响内应力的因素及克服方法	352
四、内应力的测量方法	354
第十一节 电刷镀层的孔隙	355
一、电刷镀层孔隙的特点	355
二、孔隙对电刷镀层的影响及克服办法	356
三、镀层孔隙的检测方法	358
第七章 电刷镀废水处理	362
第一节 电刷镀废水的来源	362
一、工件表面清洗产生的废水	362
二、工件表面和镀层表面活化产生的废水	362
三、更换镀层时产生的废水	363

四、清洗镀具和阳极产生的废水	363
五、废弃镀液	364
六、操作故障产生的废水	364
七、检验和处理镀层产生的废水	364
八、废水处理过程中产生的二次废水	365
第二节 电刷镀废水的特点	365
一、废水的数量小	365
二、废水的种类多	365
三、废水中含有较多的配位剂和添加剂	366
四、废水中金属离子含量高	366
五、混杂和不确定性	366
六、产生废水的地点相当分散	367
第三节 电刷镀废水的危害	367
一、铬的危害	367
二、镍的危害	368
三、铜的危害	369
四、锌的危害	369
五、铅的危害	369
六、镉的危害	369
七、银的危害	370
八、汞的危害	370
九、铍的危害	371
十、钴的危害	371
十一、氟化物的危害	371
十二、硼酸的危害	371
十三、有机物的危害	372
第四节 电刷镀废水处理方法的简论	373
一、电解法	373
二、化学沉淀法	388
三、离子交换法	405
四、活性炭法	409
第五节 电刷镀废水处理的实践	412
一、电解回收贵金属	412

二、废镀液的再生回用	413
三、焚烧法	415
四、高浓度电刷镀混合废水的处理	416
第八章 电刷镀经济效益的计算方法	419
第九章 电刷镀安全操作	424
第十章 电刷镀技术的应用	427
第一节 静配合表面的强化处理和维修	427
一、电刷镀强化和维修静配合表面的优点	427
二、电刷镀强化和维修静配合面的镀层选择	430
三、电刷镀强化和维修静配合面的应用	431
第二节 滑动面的强化处理和维修	432
一、滑动面的强化处理和维修的特点	432
二、电刷镀在滑动面的强化处理和维修中的应用	433
三、滑动面强化处理和维修的镀层选择	434
第三节 划痕、擦伤和凹坑的修复	434
一、电刷镀修复划痕、擦伤和凹坑的优点	434
二、电刷镀修复划痕、擦伤和凹坑的镀层选择	435
三、划痕、擦伤和凹坑修复的注意事项	436
第四节 改善基体表面的物理和化学性能	436
一、防渗碳和防氮化	436
二、防氧化	438
三、改善导电性	438
四、提高导磁性	439
五、改善金属表面的焊接性能	439
六、提高表面膜(层)的结合强度	439
七、防腐蚀	440
八、装饰	440
九、电解腐蚀	441
第五节 电刷镀在铁道机车车辆方面的应用	441
一、电刷镀在内燃机车部门的应用	441
二、电刷镀在蒸汽机车上的应用	448
三、机车车辆零部件电刷镀实例	451
第六节 电刷镀在机床和设备中的应用	461

一、导轨的维修和强化	461
二、立柱和柱塞的维修	462
三、机床和设备零部件电刷镀实例	468
第七节 电刷镀在电机和电力部门的应用	468
一、汽轮发电机缸体平面的修复	468
二、大型发电机转子轴的修复	469
三、励磁机整流子的修复	469
四、改善导体的接触电阻	473
五、电刷镀在发电机、电动机和电力部门应用实例	473
第八节 电刷镀在汽车部门的应用	476
一、电刷镀技术使汽车的维护和保养工作变得快捷和有效	476
二、电刷镀技术提高了汽车大修作业中零部件的标准化互换 率	477
三、电刷镀解决特殊结构零件的修复	477
四、电刷镀有助于解决汽车零配件供应问题	481
五、电刷镀在汽车行业应用实例	481
第九节 电刷镀在坦克、农机和工程机械部门的应用	481
第十节 电刷镀在飞机方面的应用	485
第十一节 电刷镀在模具、量具方面的应用	487
一、电刷镀在模具的修理和强化方面的应用	487
二、电刷镀在量具方面的应用	489
三、电刷镀在模具和量具方面的应用实例	491
第十二节 电刷镀在矿山、石油和冶金设备方面的应用	491
一、进口机组磨损件的修复	491
二、石油钻机磨损件的修复	492
三、煤矿主扇轴的修复	493
四、用普通材料代替特殊材料制造零件	493
五、油田抽油泵缸套的修复和强化	493
六、在石油矿场机具耐蚀耐磨方面的应用	494
七、电刷镀在矿山、石油和冶金设备方面应用实例	498
第十三节 电刷镀在纺织、印染、造纸和印刷工业中的应用	498
一、纺织机械的电刷镀维修保养	498
二、印刷机械的电刷镀维修	500

三、造纸机械的电刷镀维修和强化	501
四、电刷镀在纺织、印染、造纸和印刷工业方面的应用实例	504
第十四节 电刷镀在船舶和军舰方面的应用	504
第十五节 电刷镀技术在印刷线路板上的应用	507
一、应用范围	507
二、工艺规范	508
第十六节 电刷镀技术在工艺品及其它方面的应用	511
一、电刷镀装饰工艺品	511
二、电刷镀装饰和修复建筑物	511
三、电刷镀在其它方面的应用	512
主要参考文献	514
附录	516
一、中华人民共和国铁道部部标准 TB1756—86《常用金属电刷 镀通用技术条件》	516
二、部分金属离子常用配位剂	523
三、电刷镀溶液编号命名法	524
四、电刷镀常用试剂的性质和用途	526
五、碱、空气和水对金属的作用	539
六、酸类对金属的影响	539
七、1 μ m厚镀层的质量	540
八、常用金属元素的电化当量	541
九、电刷镀电源标准	542
十、部分金属的密度	549
十一、化合物中金属的百分含量(%) (理论值)	550
十二、硬度换算表	554

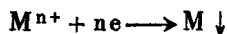
第一章 电刷镀技术概况

近年来，电刷镀技术在世界范围内获得广泛应用，在所有的工业部门都有大量成功的实例。在中国，自1980年推广用电刷镀技术以来，已取得17亿元以上的经济效益。用电刷镀技术顺利地解决了各工业部门的大量技术难题。

电刷镀是应用电化学沉积的原理，在能导电的工件表面的选定部位，快速沉积金属镀层的新技术。主要用于修复工件的尺寸和几何精度，强化工件表面提高使用寿命，改善工件表面的理化性能完成相关的工艺过程。

电刷镀设备包括专用电源、专用镀液、镀具、各种辅具和辅助材料。

电刷镀时，设备的工作方式如图1-1所示。直流电源的负极通过电缆线与工件连接，正极通过电缆线与镀具（导电柄和阳极的组合物）连接。镀具前端的阳极包裹棉套，与工件表面轻轻接触，镀液不断地添加到阳极和工件表面之间，在电场作用下，镀液中的金属离子定向迁移到工件表面，在工件表面上获得电子，还原成金属原子



还原的金属原子在工件表面上形成镀层。

电刷镀是电镀技术的一种特殊形式。电刷镀时被镀工件不需要进入镀槽，包裹棉套的阳极必须与工件表面接触以便形成局部“槽”。阳极的面积通常都小于被镀表面，为此阳极和工件表面必须相对运动才能在被选定的整个表面上沉积镀层。为了提高生产率，必须使用很大的电流密度。概而言之，阳极（通过包套）与工件表面接触、阳极和选定的局部表面相对运动、使用很大的（一般为槽镀的5~10倍）电流密度是电刷镀技术的三个基本特点。这三个基本特点决定了电刷镀电源、电刷镀溶液、电刷镀工

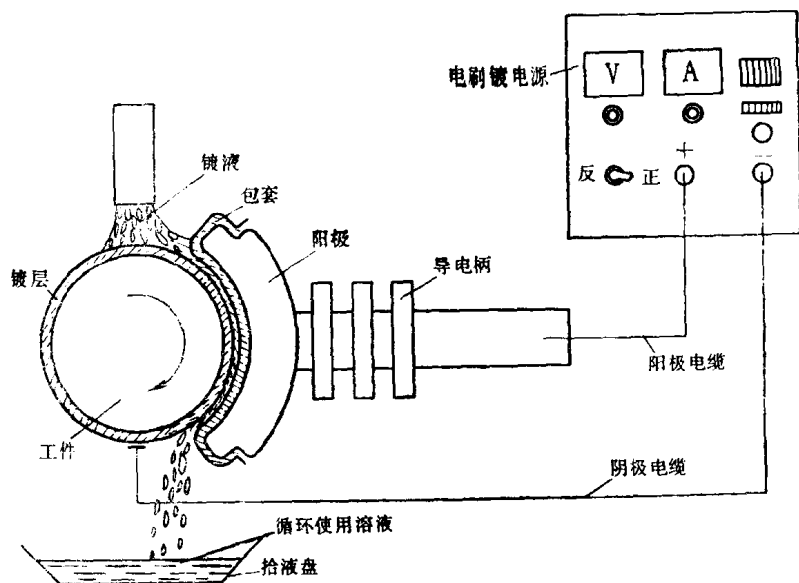


图1-1 电刷镀原理示意图

艺和电刷镀应用的一系列特点。它们主要是镀层性能好、结合牢固、沉积速度快、工件不变形、施工方便容易掌握、对环境污染小、成本低廉、经济效益和技术效果好，具有广泛的适用性等。这些在以后的章节中有详细的描述。

电刷镀是一项古老而又年青的技术。

电刷镀的历史同槽镀的历史一样悠久。当槽镀件局部没镀上或镀层剥落时，人们将镀件靠在阴极极杠上，从电源正极上连接一根导线，包裹棉团，蘸取镀液在工件表面擦抹形成镀层。人们把这种方法叫着擦镀、局部镀、接触镀和刷镀等等。古老的电刷镀有许多致命的弱点，首推镀层结合力差、镀厚能力低和生产率低，因而不能广泛应用，但是它具有省钱和方便等优点，因此，作为一种“手艺”在电镀界世代相传。

经过几代人的相继努力，使电刷镀逐步成为一种“技术”，获得越来越广泛的应用。

1. 专用镀液

专用电净液和活化液，使镀层的结合强度大大提高。

专用的金属镀液系列，使镀层的种类增多和各种力学性能指标优良，生产率和结合强度大大提高。

2. 仿形的石墨阳极和镀笔

不溶性石墨阳极的诞生，使电刷镀的电流密度和生产率大大提高。

3. 专用的电刷镀电源

具有控制镀层厚度和快速过流保护装置的电刷镀电源，使电刷镀作业快捷安全。

4. 各种金属材料的电刷镀工艺流程

确定了电刷镀的基体金属分类方法及每类金属的电刷镀工艺，在庞大的金属材料系中理出了头绪，扩大了电刷镀技术的应用范围。

5. 大量成功的电刷镀范例

现代的电刷镀技术首先在飞机、宇航、军舰等重要部门获得应用，如发动机、起落架、潜望筒、螺旋桨轴等，人们在这方面积累了大量的数据，并用“技术标准”的形式使之规范化。美国的赛来创 (Selectron LTD) 公司和法国的达力克 (Dalic LTD) 公司以及有关部门在电刷镀的应用方面进行了创造性的劳动。重要部门的大量成功电刷镀范例解除了人们的疑虑，使电刷镀技术迅速推广应用。

6. 电刷镀的机械化装备

这些装备大大减轻了电刷镀的劳动强度，改善了工作环境，使电刷镀作业容易被操作者接受。

从世界范围来说，电刷镀技术的实践远远走在理论研究的前面。人们还习惯地说“电刷镀的原理和槽镀的相同”，但是电刷镀层的性能和槽镀层的性能有很大差别。槽镀液中许多添加剂，无论从品种还是从数量上都不能适用于电刷镀，在接触，相对运动、间断沉积和大的电流密度下，阴极区的行为等尚未弄清楚……。这些都说明，电刷镀具有独特的规律，需要人们努力探索。电刷镀是一项年青的正在努力开发的新技术。

在我国，60年代有人开始研究电刷镀技术，但是真正以集约化的规模进行研究和应用则是1979年的事。那一年，铁道部科技局和中国铁道学会组织铁道部戚墅堰机车车辆工艺研究所（下称戚所）等四个铁路单位与外国进行技术交流，随后又组织十余个部委及科研单位进行技术讲座。1980年戚所完成了二种电刷镀（当时称涂镀）电源、十种常用镀液（其中三种与中科院上海有机化学研究所合作研制），四种镀笔和大量常用工辅具和辅助材料，常用金属的电刷镀工艺和十余种工况零件的实际运用成果。该项成果获铁道部科技局鉴定，随后在全铁道部推广应用，成立铁道部电刷镀协作组。

1982年戚所与哈尔滨汽轮机厂合作采用电刷镀技术修复了20万kW汽轮机主轴。这一成功的事例和二年来国内推广应用的经验，证明电刷镀是一项具有广泛用途的先进技术，国家经委决定在“六五”期间全国重点推广。1983年在常州市召开了第一次全国电刷镀技术经验交流会，同年九月成立全国电刷镀技术协作组。国家经委决定，“七五”期间继续在全国推广应用。

目前，我国已拥有较完整的电刷镀电源、镀液和工辅具系列，除满足国内需求，还出口到世界20余个国家和地区。在国内已培训2万余名技术人员和技术工人，有的部已设立电刷镀工种。电刷镀技术开发研究工作正在深入开展，戚所和上海有机化学研究所、装甲兵技术学院三单位共获国家科技进步一等奖。各省、市、自治区都成立了电刷镀协作组，都取得了良好效果。

电刷镀已作为一项生产技术在祖国大地上生根开花。

第二章 电 刷 镀 电 源

电刷镀电源除了提供电-化学沉积所必需的直流输出外,还必须满足电刷镀工艺对电源的特殊要求。电刷镀专用电源一般由主回路和控制回路二大部分组成,能较好地满足电刷镀工艺对电压(电流)、极性转换、过流保护、厚度控制等各方面的要求。

第一节 电刷镀工艺对电源的要求

为了满足电刷镀工艺的要求,保证电刷镀作业的质量和充分发挥电刷镀技术的长处,电刷镀技术对电源有一定的要求。

一、直流输出

为了进行电-化学结晶沉积镀层的需要,电刷镀电源应具有直流输出的功能,供给的直流电压(电流)从零到额定值之间能进行无级调节。

二、外特性曲线

电刷镀电源的外特性(伏-安特性)曲线有陡降式和平硬式二种。

1. 恒流式电刷镀电源

该种形式的电源具有陡降的外特性曲线,如图2-1。选定电流值以后,在整个电刷镀过程中,电流值基本不变,电压值随时变化。

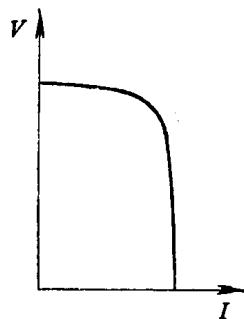


图2-1 恒流式电刷镀电源
陡降外特性曲线

2. 恒压式电刷镀电源

该种形式的电源具有平硬的外特性曲线(图2-2),选定电压值以后,在整个电刷镀过程中电压值变化很小,电流值随工艺