

77.821

8705113

机械设备维修丛书

刷镀工艺与镀层质量

《机械设备维修丛书》 主编
编辑委员会
张 绍 先 编著

天津科学技术出版社

内 容 提 要

本书是根据全面推广刷镀技术的需要而编写的。书中详尽介绍了各种镀液的性能与应用范围，刷镀工艺要点以及影响镀层质量的主要因素，对镀层质量检验也作了简要介绍。

前 言

机械维修是国民经济维持再生产的必要手段，是节约能源和资源的重要途径，是四化建设的重要保证。做好机械维修工作，能使机械设备在整个寿命期内维修的费用低，创造的价值高，从而获得最佳经济效益。

我们组织编写这套《机械设备维修丛书》，目的在于帮助机械设备维修行业的工程技术人员和工人通过自学了解基础知识和维修的新工艺、新技术，以提高维修机械的能力，促进我国机械维修事业的发展。

这套丛书系约请国内机械维修方面的专家和科技人员，选择自己有较深研究或有较丰富实践经验的专题分册编写。内容力求理论联系实际、层次分明、文字简练、通俗易懂，使具有初中以上文化程度的工人就能独立自学运用。

本丛书由工程机械维修研究会推选的《机械维修丛书》编辑委员会组织编写与审定。对本丛书的意见和建议请函告《工程机械》编辑部（地址：天津市丁字沽三号路）。

工程机械维修研究会《机械
设备维修丛书》编辑委员会

目 录

一、刷镀技术的应用与推广	(1)
1. 刷镀原理	(1)
2. 刷镀的主要特点	(2)
3. 刷镀技术的应用	(4)
二、刷镀溶液	(11)
1. 刷镀溶液的分类	(11)
2. 预处理溶液	(13)
3. 金属电镀溶液	(16)
4. 退镀液	(33)
5. 刷镀溶液的质量检验	(34)
6. 使用刷镀溶液的注意事项	(36)
7. 刷镀溶液的保存	(38)
8. 刷镀溶液主要工艺参数的确定	(39)
9. 刷镀溶液的选用	(42)
三、刷镀工艺要点	(45)
1. 镀前预处理	(45)
2. 刷镀工艺过程	(51)
3. 镀后处理	(56)
4. 常用金属材料的刷镀工艺	(57)
5. 刷镀工艺应用说明	(66)
6. 刷镀过程中应注意的几个问题	(68)

四、影响镀层质量的因素	(71)
1. 刷镀工艺对镀层质量的影响	(71)
2. 镀笔对镀层质量的影响	(81)
3. 刷镀溶液对镀层质量的影响	(89)
4. 其他因素对镀层质量的影响	(91)
5. 镀层强化	(93)
五、镀层质量检验	(101)
1. 外观检验	(101)
2. 镀层与基体金属结合强度的检验	(102)
3. 镀层厚度检验	(104)
4. 镀层脆性检验	(104)
5. 镀层硬度测定	(105)
6. 镀层应力测定	(106)
附表	(107)
1. 预处理溶液的性质、主要工艺参数及应用范围	(107)
2. 金属电镀溶液的性质、工艺参数及应用范围	(108)
3. 退镀溶液的性质、工艺参数及应用范围	(117)
4. 钝化溶液的应用范围	(118)
5. 阳极规格、常用镀笔型号及适用范围	(119)
6. ZKD系列刷镀电源技术指标	(122)
7. 常用镀液单一镀层安全厚度与工艺厚度	(123)

一、刷镀技术的应用与推广

刷镀技术是近几年发展起来的一项电镀新技术。它具有设备简单、操作方便、镀积速度快、结合强度高、节省材料、节省能源、应用范围广、经济效益大等优点。对于大型机械的不解体现场修理或野外抢修，更有突出的实用价值。

关于刷镀的定义可参阅国家标准GB3138-82，其内容与国际标准ISO2080-73的有关规定完全一致。

1. 刷镀原理

刷镀的主要设备与工具是：一台专用的直流电源、一套可以更换的阳极镀笔和多种可供选用的预处理溶液、金属电镀液和退镀液等。

作业时，石墨阳极上用脱脂棉包裹作为吸附内层，用涤棉针织布包裹作为外层。将包裹好的镀笔浸透预处理溶液或金属电镀液，按要求接上电源，即可向工件的待镀表面擦拭。刷镀金属电镀液时，镀笔接电源正极，工件接电源负极。刷镀过程中，吸满镀液的镀笔（阳极）与工件（阴极）的待镀表面作相对运动，镀笔与工件之间始终存在一层金属镀液形成的液膜。电流由镀笔经液膜层到达工件表面，形成回路。由于金属电镀溶液中的金属离子以水合离子或络离子的形式存在，溶液中带正电荷的水合离子或络离子便从溶液中移至工件表面。金属离子放电，沉积到工件待镀表面，形成金属镀层。

刷镀与槽镀一样，金属镀层的形成可分为以下几步：

(1) 溶液中带正电荷的金属水合离子或金属络离子向阳极扩散；

(2) 阴极的金属离子得到电子后，放电生成金属原子（即： $M^{+n} + ne \rightarrow M$ ）；

(3) 金属离子金属化，即金属原子排列形成一定形式的金属晶格。

电镀过程中，金属离子受直流电作用，在阴极上放电形成电沉积，又称电结晶。结晶核心的形成和成长的速度决定了所得晶粒的大小，对镀层性能影响极大。如果晶核形成速度较快而成长速度较慢，则生成的晶核数多，晶粒较细，镀层性能较好；反之，晶粒粗大，则镀层性能不好。在电结晶过程中，人们总是希望晶核形成的速度大于其成长的速度。刷镀过程中，阴极和阳极有相对运动，电流密度与金属离子浓度在工件表面各处均不断变化，有利于提高晶核形成的速度，可以达到细化晶粒，提高镀层性能的目的。

2. 刷镀的主要特点

刷镀与槽镀相比，有以下特点：

(1) 电镀方式简化 刷镀是采用擦拭的方式完成电镀操作的，不用镀槽，因而扩大了电镀在机械零件修理上的应用范围。主要优点是：

① 不需镀积的零件表面不必用大量绝缘材料保护。

② 被镀零件尺寸可以不受限制。

③ 修复零件时，凡是镀笔触及之处，均可镀上，特别适用于修复盲孔、深孔、键槽等难修部位。

④复杂组件只要局部分解即可方便地修理，减少了拆装工时，提高了修理效率。

⑤有利于控制镀层厚度。刷镀时，操作者只要控制好工作电压，掌握好相对运动速度，就可获得厚度均匀的镀层，而且可用不均匀电镀的方法矫正零件表面的锥度和不圆度，镀层尺寸能严格控制在公差范围内。刷镀一般不需要机械加工。

(2) 多种自消耗镀液 刷镀技术采用不溶性阳极。电镀时，工件待镀表面沉积的金属离子主要依靠镀液提供。这种自消耗镀液的优点是：

①平时不需要进行化验调整。

②镀液品种多且无需更多专用设备。由于镀液品种多，只有一套设备即可镀积许多种单一金属或合金镀层。同一类型的金属镀液可以获得不同特点的镀层。例如，镍镀液就有10余种，有的沉积速度高，有的可获得致密度高的镀层，有的可获得光亮美观、抗腐蚀性能好的镀层，有的镀液能获得低应力镀层，有的耐磨性好等。可以根据需要，任意选择不同镀液，从而得到所需要的镀层。

③刷镀镀液的应用范围广。某些单金属电镀液，可根据使用说明书规定，按一定比例，配制成多品种合金镀液，去刷镀合金镀层。

(3) 工艺特点

①采用电化学除油与电化学活化进行表面预处理，具有高效优质和快速的特点。预处理溶液除了专用的电化学除油液外，还有可适应不同金属表面钝化特点的活化液。

②阳极镀笔与阴极工件有相对运动。允许使用比槽镀大几倍到几十倍的电流密度（刷镀电流密度可达 $500\text{A}/\text{dm}^2$ ，

一般也在 $300\sim 400\text{A/dm}^2$ 之间)。可以获得均匀、致密和结合良好的镀层。镀积速度比槽镀快 $5\sim 50$ 倍。

(4) 电镀设备简单 刷镀所用设备主要是电源和镀笔。与槽镀相比,结构简单,应用范围广。特别适用于野外维修机械零件,对于不解体修理和局部修理也很有实际意义。

3. 刷镀技术的应用

刷镀技术应用于机械维修还是近几年的事。由于这种电镀方法设备简单,适应性强,可以获得各种不同性能的镀层,所以有着广阔的应用前景。例如,需要获得薄厚度、高性能的镀层时;需要局部不解体现场修理时;大型、精密或造型复杂零件不能应用其它修理方法时;加工贵重零件不慎超差时,凡此种种,运用刷镀技术修复可以得到非常满意的效果,充分地展现出刷镀技术的优越性。不过,对于生产批量大的中小型简单零件和需要镀装饰性镀层或尺寸镀层的零件,刷镀的优越性就不显著了。所以,刷镀还不能完全代替槽镀。

刷镀技术正广泛应用于机械、煤炭、冶金、纺织、化工、航天、船舶、飞机、农林、交通、水电、商业等国民经济各部门。据不完全统计,目前全国已有刷镀设备5000多套,比1982年增长近10倍。刷镀溶液的品种已有50多种。用刷镀技术维修各种大型机械零件,为国家节约了大量资金。

下面介绍刷镀技术在几个方面的应用实例:

(1) 在履带车辆上的应用 某单位1981年运用刷镀技术修复了6种工作条件下的18项履带车辆零件,共21件71个表面。经装车行驶1180公里,机件运转正常、操纵灵活,各密封面均无漏油现象。试车结果表明,镀层与基体结合良好。

1982年，对刷镀修复件又进行了26项29件的试验。共修复表面66个，其中外圆表面17个，占25.6%；平面70个，占30.3%；内圆表面29个，占43.9%。从1982年9月至1984年7月共行驶6725公里，运行正常，各密封部位无漏油现象，机件运转正常，未更换任何零件。试验结果表明：

①刷镀层与基体结合良好 整个试验过程中，无任何起皮剥落现象，镀层抗接触疲劳能力并不低。例如，四个滚针轴承套与滚针接触面，带衬套主动轴与滚针接触的轴颈，以及右凸轮与滚动体接触面等刷镀层与基体结合良好，镍钨50合金镀层可以承受较大的交变应力。

②镀层的耐磨性较好 由两次试车结果可以看出，刷镀快速镍镀层和镍钨50合金镀层具有较高的耐磨性。第二次试车时，与轴承内外圆配合的刷镀试验表面共17项，17件，30个表面。这类零件的材料多属中碳钢、中碳低合金钢或低碳合金钢。采用快速镍或镍钨50合金镀液等特殊镍镀液刷镀工作镀层，结果在30个刷镀面中，有18个保持在新的标准公差之内，12个略超出新品的公差，但距中修免修极限尺寸尚有较大的耐磨裕量。这类表面有的未磨损，有的磨损甚微，一般仍可使用一个中修期或一个大修期。在试验的17个零件中，有5个与新品作了比较，结果表明刷镀件比新品耐磨性高6.5倍。另外，衬套滑配合面、密封环配合面、滚针滚柱接触面和花键表面等镀层结合性能均很好，磨损量也不大，均可继续使用。

由试车考核可见，快速镍镀层和镍钨50合金镀层的耐磨性指标与实验室测试结果很接近。

刷镀技术在修复履带车辆上的应用，说明这项技术在各

种大型车辆的修复上都有实用价值。

实践证明，刷镀在履带车辆上已获得广泛应用，特别适用于野外抢修，以及车体等大型零件、花键等异形零件表面的现场维修。

(2) 在飞机及航天装置上的应用 某单位研制的航天装置上的零件，精度很高，公差为 0.002mm 。要求镀层成分纯度高、应力小、孔隙率低、耐腐蚀性好。原用槽镀，成品率只有 $10\sim 20\%$ 。后改用刷镀，镀了6个零件，镀层厚度 0.06mm ，经用气动测量等仪器鉴定，尺寸精度、同心度、光洁度等都符合要求，镀层性能也符合技术要求，解决了元件生产的难题。

中国民航北京维修基地，用刷镀技术修复飞机零件也取得了明显的效果。

(3) 在机床上的应用 机床导轨的材料为灰铸铁，使用过程中极易划伤。据某机床厂统计，一年内划伤的机床有100多台，占机床总数的 $60\sim 70\%$ 。采用刷镀修复既方便、质量又好。装甲兵技术学院刷镀工艺研究小组，采用刷镀技术已修复机床导轨200多台，有的已经两年使用考核，证明效果良好。

例如，北京重型机床厂1.6米立车导轨发生划伤，划伤宽 $0.5\sim 2\text{mm}$ ，深度为 $0.2\sim 3\text{mm}$ ，修复后使用效果良好，北京市技术交流站为此组织了现场会。

建材部建材机械厂，由武汉购进一台价值14万元的T612A镗床，进厂调试时不慎将侧臂导轨划伤，划痕长 1470mm ，深度 $0.2\sim 0.3\text{mm}$ 。由于找不到合适的修理方法，新机床尚未使用就待修两年。后用刷镀试修，仅半天时间就填补完划伤，

机床立即投入使用。

北京金属结构厂有一台进口的刨边机，导轨长14m。由于长期使用，导轨被铁屑划伤多处，最长处达13m。传统的修理方法是把导轨刨去几毫米再用，这样做拆装运输和加工都费工费时。采用刷镀可以不解体进行修复，既省工又省时。

(4) 在印刷机械上的应用 人民日报社印刷厂一台由日本进口的胶印机滚筒，由于压板条螺钉松脱，致使两个滚筒多处出现压伤和划伤，压伤最严重的部位深3.5mm、宽150mm，严重地影响了生产。用刷镀修复后，很快投入生产，节约资金8000多元。

北京人民机器厂一台出口的胶印机滚筒出现压伤，用刷镀修复后，看不出任何痕迹。该厂过去常用埋钉法修理滚筒压坑，效益低，精度差。一处0.5cm²面积的压坑，用栽钉法需要一天时间才能修好，而使用刷镀则仅需1~2小时就可以镀完，工效提高12倍。

(5) 在发动机上的应用 用刷镀技术修复发动机零件的效果十分显著。北京内燃机总厂用刷镀修复的汽车发动机曲轴，经装机台架试验和试运转，效果很好。

某一科研单位对新研制的转子发动机大圆盘、耳环块、半圆块等40个零件92个表面进行了刷镀，经台架试验，效果很好，计划纳入新机制造工艺。

不少单位用刷镀技术对日本、联邦德国等国外进口的发动机曲轴箱和曲轴成功地进行了修复，为国家节省了外汇。

(6) 在煤矿机上的应用 某煤矿进口了一台MKД-200采煤电动机。由于定子止口防爆面锈蚀，麻坑面积很大，长

期停机待修。该电机座材料为灰铸铁，两端口尺寸精度要求较高，如不及时修复，不仅影响生产任务完成，而且每天给国家损失数十万元。采用现行的几种方法修理都有一定困难，而且给加工和使用带来许多不便。用刷镀修复后，经济效果和工艺性能都十分明显。

门头沟煤矿有一台10kW电机，其主轴连接部位有一带锥度的轴，轴上有键槽。键槽磨宽后需要修复。拆修主轴既费工时，又影响生产，用刷镀进行不解体修复，不到两小时就高质量地完成了修复任务。

(7) 在机械制造上的应用 山西电力修造厂有一根重600kg的吸风机主轴，长4.5m，最后一道工序加工超差。由于轴太长，无法入槽电镀。若在堆焊或喷涂后再车、磨修复，不仅费工费时，而且容易引起变形，难以保证形位公差要求（各圆柱表面对中心线的跳动量不大于0.025mm）。采用刷镀法，不仅按技术要求恢复了尺寸，而且省工省时。

首都钢铁公司机械厂生产一种大模数人字齿轮，直径2m，重4t，价值1.7万元，系香港某公司为美国定的货。1983年10月，在新港准备装船的前一天，发现齿轮根部和齿面有三处1~2mm的铸造砂眼。装甲兵技术学院机械维修中心的人员先用火焰喷熔堵平砂眼，然后由钳工修平，最后进行刷镀，总共半天时间就消除了砂眼痕迹，保证按期装船。该厂还有一种直径1.7m、宽0.7m的大模数人字齿轮，因内孔超差0.05mm而造成报废后，用刷镀修复也获得成功。

(8) 在空气压缩机上的应用 空气压缩机零件（特别是机座）体积大，要求现场快速修复，刷镀技术非常适合这种要求。

天津拖拉机厂动力车间的一个 60m^3 空气压缩机，电枢孔等表面损坏。应用刷镀技术及时进行了修复，很快投入生产。

北京汽车制造厂一台 60m^3 的空气压缩机机座 $\phi 400$ 内孔轴承配合面超差，用刷镀及时进行了修复。

(9) 在造纸机械修理上的应用 哈尔滨造纸三厂有一口直径 3m 、高 2m 的大烘缸，价值三万元。表面被划出十五道长的伤痕，有的长达一周（近 10m ），划痕深度 $0.3\sim 0.5\text{mm}$ 。用刷镀填补烘缸表面划痕，取得了良好的效果。过去修这样的机件是相当困难的，需要把车床移到大烘缸前，用飞刀法车去划痕。这种方法修复工期长，不能保证质量，修理次数也受到限制。刷镀是最理想的修理方法。

(10) 在化纤工业上的应用 天津石油化纤总厂涤纶厂有一个日本进口的连续缩聚反应搅拌设备，1983年7月设备检修时，发现主轴严重磨损，如不及时修复就将影响生产。该主轴全长 5.7m ，重 1.6t ，结构复杂，技术要求高。厂内修理很困难，日本客商认为中国修不了，需用3个月的时间运到日本去修理。该设备每天产值30万元，获利润4万元。如停产三个月就要减少产值2700万元，少盈利360万元。这对国家是一个很大损失，再加上修理费，损失就更大了。装甲兵技术学院刷镀工艺研究小组采用刷镀技术，仅用14个工作日，未进行拆卸即修复，为国家节约了修理费用，减少了停产损失。

(11) 在纺织机械上的应用 纺织机械上有一些零件，如弹性盘、梭心套、导杆等，体积小，易损坏。由于造型复杂，虽是局部磨损，也很难修复。采用刷镀修复，效果很

好。

(12) 在工夹量具上的应用 卡尺、百分尺、塞规等量具的工作面，以及夹具定位元件表面等，尺寸精度高，磨损后很难用其他方法修复。采用刷镀修复不仅可以保证零件的硬度要求和尺寸精度，而且因为这些件一般磨损量不大，所以修复起来又快又好。据北京内燃机总厂估计，用刷镀技术修复全厂塞规，每年可节省6万多元。

总之，刷镀技术在机械零件修复方面的应用越来越广泛，经济效果非常显著。与目前常用的堆焊、槽镀、等离子喷涂等修复方法比较，刷镀技术修理费用最低。

二、刷 镀 溶 液

刷镀溶液是决定镀层质量的关键。随着刷镀技术的进一步推广，镀液品种不断增加，质量也在提高。国外刷镀溶液的品种已有90多种。我国这项技术起步较晚，但近两年来发展很快，镀液品种也有50多种。

1. 刷镀溶液的分类

根据在刷镀技术中所起的作用，刷镀溶液可分为四大类：预处理溶液、金属电镀溶液、退镀液和钝化液。

预处理溶液用于金属工件电镀前的表面处理。包括清洗工件表面油污的电化除油液和去除金属表面氧化膜与疲劳层、活化基体金属表面的活化液。

金属电镀溶液根据其镀层成分可分为单金属电镀液和合金电镀液；根据溶液的性质、沉积速度、镀层的性能与特点

表1 金属电镀溶液的种类

	电镀液名称	电 镀 液 的 品 种
单金属电镀液	镍 镀 液	特殊镍、快速镍、致密快速镍、高堆积镍、黑镍、半光亮镍、低应力镍、酸性镍、中性镍、高温镍等
	铜 镀 液	高速铜、高堆积碱铜、酸铜、碱铜、轴承铜等

续

	电镀液名称	电 镀 液 的 品 种
单 金 属 电 镀 液	钴 镀 液	
	铬 镀 液	
	镉 镀 液	酸性镉、碱性镉、低氢脆镉等
	锡 镀 液	酸性锡、碱性锡等
	锌 镀 液	酸性锌、碱性锌等
	铅 镀 液	
	金 镀 液	
	银 镀 液	
	铜 镀 液	
	铂 镀 液	
	铍 镀 液	
	铌 镀 液	
	钽 镀 液	
合 金 电 镀 液	镍基合金镀液	镍钨合金、镍钨D合金、镍钨50合金、镍钨55合金、镍铁合金、镍钴合金、镍铜合金等。
	锡基合金镀液	锡钴合金、锡镉合金、锡铟合金、锡铅合金等
	铜基合金镀液	铜锌合金、铜锡合金、铜铟合金等。

等，又可细分成许多不同类型（见表1）。

退镀液是用于退除不合格镀层或旧镀层的溶液。根据基体金属和镀层金属的性质有退铬液、退镍液、退铜液和退锌