

电镀污泥中 有价值金属提取技术

DIANDU WUNI ZHONG YOUJIA JINSHU TIQU JISHU

熊道陵 李 英 李金辉 编著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

014010130

X781.1
05

江西理工大学优秀学术著作出版基金资助

电镀污泥中 有价金属提取技术

熊道陵 李 英 李金辉 编著



北 京
冶金工业出版社 X781.1
2013 05



北航

C1696405

081910210

内 容 提 要

本书共分为9章。第1章介绍了电镀基础知识及电镀行业的发展；第2章介绍了电镀污泥概况；第3章介绍了电镀污泥中金属与非金属元素的分析测定方法；第4~8章分别介绍电镀污泥中的有价金属铁、铜、铬、镍、锌的提取技术；第9章介绍了电镀污泥中有价金属提取工厂实例。

本书可供从事电镀污泥处理、电镀废水处理及其资源化工程的设计人员、科研人员及管理人员等参考，也可供高等院校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

电镀污泥中有价金属提取技术/熊道陵, 李英, 李金辉编著. —
北京: 冶金工业出版社, 2013. 10

ISBN 978-7-5024-6369-4

I. ①电… II. ①熊… ②李… ③李… III. ①电镀污泥—
有价金属—金属提取 IV. ①X781.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 217942 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjcb@cnmip.com.cn

责任编辑 杨秋奎 美术编辑 彭子赫 版式设计 孙跃红

责任校对 李 娜 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-6369-4

冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销; 北京慧美印刷有限公司印刷

2013 年 10 月第 1 版, 2013 年 10 月第 1 次印刷

169mm×239mm; 19 印张; 370 千字; 291 页

58.00 元

冶金工业出版社投稿电话: (010)64027932 投稿邮箱: tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社发行部 电话: (010)64044283 传真: (010)64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号(100010) 电话: (010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

前 言

电镀污泥是电镀行业中废水处理后产生的含重金属污泥废弃物，被列入国家危险废物名单中的第十七类危险废物。电镀废水的有价重金属最终会转移到电镀污泥中。对这些电镀污泥若置之不理，不仅会对环境和人体健康造成极大的危害，而且也会造成资源浪费。近些年，国内外的学者们在这方面做了很多工作，不断进行电镀污泥的减量化、无害化、资源化研究，取得了许多阶段性的成果。本书综合国内外先进技术，重点对电镀污泥中常见的有价金属提取技术进行论述，希望能为相关领域的研究者及技术人员提供新思路，为整个社会创造良好的经济效益、社会效益及环境效益。

本书是基于全国乃至全世界环境污染、资源二次利用的问题而提出的，详细介绍了电镀行业、电镀污泥处理的概况，总结了电镀污泥中金属与非金属元素的分析测定方法，重点对电镀污泥中铁、铜、铬、镍、锌的提取技术、相关原理及国内外先进技术路线进行总结归纳，按照相关标准设计了一个工厂，实现理论与实践的结合。

全书共分为9章：第1章介绍了电镀基础知识及电镀行业的发展，对电镀的工作原理、材料的分类及性质、镀前及镀后工艺的影响、电镀废液的处理方法及电镀行业的发展概况分别讲述；第2章介绍了电镀污泥的概况，对电镀污泥的来源、成分及性质进行分类，总结目前国内国外电镀污泥处理现状，对实验用电镀污泥的预处理方式进行总结，为后续有价金属的回收奠定了基础；第3章是对电镀污泥中金属与非金属元素的分析测定，主要对不同元素分析时可能用的仪器设备及相关原理进行阐述，为整个分析测定步骤提供可靠依据；第4~8章分别对有价金属铁、铜、铬、镍、锌的提取技术进行探究，从资源概况、

分析测定方法、提取技术三个方面进行讨论,对每种提取方法的原理、工艺流程及工业应用进行了详细的论述;第9章是电镀污泥中有价金属提取工厂实例,根据以上8章理论知识的介绍,从经济效益、社会效益、清洁生产、环境评价等角度考虑,自行设计工厂及技术路线图,真正达到工业生产的目。

本书得到了江西理工大学优秀学术著作出版基金、国家自然科学基金基金(51364014)和江西省科技厅项目(20122BAB213011,20132BAB216021)的资助,以及各位同仁对编写工作的大力支持,作者谨在此一并表示衷心的感谢。

由于作者水平所限,书中不妥之处,恳请广大读者及同行不吝指教。

作 者

2013.6

冶金工业出版社部分图书推荐

书 名	定价 (元)
稀土金属材料	140.00
贵金属生产技术实用手册 (上册)	240.00
贵金属生产技术实用手册 (下册)	260.00
稀有金属手册 (上)	199.00
稀有金属手册 (下)	199.00
铝冶炼生产技术手册 (上册)	239.00
铝冶炼生产技术手册 (下册)	229.00
镁合金制备与加工技术手册	128.00
铜加工技术实用手册	268.00
贵金属合金相图及化合物结构参数	198.00
镁质材料生产与应用	160.00
现代有色金属提取冶金技术丛书	
稀散金属提取冶金	79.00
萃取冶金	185.00
金银提取冶金	66.00
铂	109.00
钛	168.00
现代铝电解	108.00
高纯金属材料	69.00
废铬资源再利用技术	36.00
冶金工业节能与余热利用技术指南	58.00
钢铁工业烟尘减排与回收利用技术指南	58.00
冶金工业节水减排与废水回用技术指南	即将出版
金属材料力学性能 (本科教材)	29.00
非高炉炼铁工艺与理论 (第2版)	39.00



北航

C1696405

目 录

1 电镀基础知识及电镀行业的发展	1
1.1 电镀的基本概念及工作原理	1
1.2 镀层的选用原则及分类	2
1.2.1 镀层的选用原则	2
1.2.2 镀层的分类	3
1.3 电镀材料的分类	6
1.4 电镀基体材料的分类	7
1.4.1 钢铁基体材料	7
1.4.2 塑料基体材料	8
1.5 镀前、镀后处理	13
1.5.1 镀前处理	14
1.5.2 镀后处理	32
1.6 电镀废液的处理	34
1.6.1 电镀废液处理的基本原则	34
1.6.2 电镀废液净化的方法	35
1.7 电镀行业概况	43
参考文献	46
2 电镀污泥概况	47
2.1 电镀污泥的来源、成分及性质	47
2.1.1 电镀污泥的来源	47
2.1.2 电镀污泥的成分	48
2.1.3 电镀污泥的性质	48
2.2 电镀污泥处理现状	48
2.2.1 电镀污泥的无害化处理及综合利用	49
2.2.2 电镀污泥的处理技术	50
2.3 实验用电镀污泥的预处理	55
2.3.1 电镀污泥的干化	55

2.3.2 电镀污泥的研磨和筛分	56
2.3.3 电镀污泥样品的保存	56
2.3.4 电镀污泥中目标产物的浸提	56
参考文献	56
3 电镀污泥中金属与非金属元素的分析测定	59
3.1 金属元素分析测定	59
3.1.1 定性分析	59
3.1.2 定量分析	62
3.1.3 分析结果准确度提高的方法	65
3.1.4 重金属元素测定	67
3.2 非金属元素分析测定	71
3.2.1 总氮的测定	71
3.2.2 总磷的测定	71
3.3 元素测定常用仪器	71
3.3.1 高频电感耦合等离子体原子发射光谱仪	72
3.3.2 电感耦合等离子体质谱仪	73
3.3.3 X 射线荧光光谱仪	74
3.3.4 原子吸收光谱仪	76
3.3.5 原子荧光光谱仪	77
3.3.6 紫外-可见光谱仪	78
3.3.7 傅里叶变换红外光谱仪	80
3.3.8 分子荧光光谱仪	81
参考文献	82
4 有价金属铁的提取技术	84
4.1 铁及铁资源概述	84
4.1.1 铁的物理化学性质	84
4.1.2 铁资源概述	86
4.2 铁的分析测定方法	86
4.2.1 铁的定性检验	86
4.2.2 铁的定量检验	87
4.3 铁的提取技术	91
4.3.1 溶剂萃取法	92
4.3.2 磁选机分选法	94

4.3.3	化学沉淀法	95
4.3.4	吸附法	98
4.3.5	结晶法	100
4.3.6	电解法	103
4.3.7	生物处理法	104
4.3.8	膜分离法	105
参考文献		109
5	有价金属铜的提取技术	111
5.1	铜及铜资源概述	111
5.1.1	铜的物理化学性质	111
5.1.2	铜及铜产品的分类	112
5.1.3	铜的主要用途	113
5.2	铜的分析测定方法	114
5.2.1	碘量法	114
5.2.2	原子吸收光谱法	115
5.2.3	二乙胺基二硫代甲酸钠萃取光度法	117
5.2.4	紫外-可见分光光度法	117
5.2.5	其他光度分析法	118
5.3	铜的提取技术	120
5.3.1	浸出	120
5.3.2	分步沉淀法	123
5.3.3	结晶法	129
5.3.4	置换法	135
5.3.5	液膜法	141
5.3.6	溶剂萃取法	148
5.3.7	吸附法	156
参考文献		159
6	有价金属铬的提取技术	162
6.1	铬及铬资源概述	162
6.1.1	铬的物理化学性质	162
6.1.2	重金属铬的危害及限定标准	164
6.1.3	铬矿分布	165
6.2	铬的分析测定方法	166

6.2.1	Cr ⁶⁺ 的测定方法	166
6.2.2	总铬的测定方法	169
6.2.3	铬的仪器测定方法	171
6.3	铬的提取技术	175
6.3.1	铬的提取技术的研究和发展	175
6.3.2	酸浸—氧化法	177
6.3.3	中温焙烧—钠化氧化法	177
6.3.4	氨络合转化—铁氧体法	179
6.3.5	酸浸—H ₂ O ₂ 还原法	179
6.3.6	高温碱性氧化法	181
6.3.7	溶剂萃取法	183
6.3.8	电解回收法	185
6.3.9	微生物法	185
6.3.10	冶炼回收法	185
	参考文献	186
7	有价金属镍的提取技术	190
7.1	镍及镍资源概况	190
7.1.1	镍的物理化学性质	190
7.1.2	国内外镀镍研究进展	190
7.1.3	环境中镍离子的来源及影响	192
7.1.4	含镍电镀废水的排放标准	193
7.2	镍的分析测定方法	193
7.2.1	滴定法	193
7.2.2	质量法	194
7.2.3	分光光度法	194
7.2.4	原子吸收光谱法	195
7.2.5	电化学分析法	196
7.2.6	分子荧光光谱法	196
7.2.7	电感耦合等离子体原子发射光谱 (质谱) 法	196
7.2.8	其他方法	196
7.3	镍的提取技术	197
7.3.1	浸出法	197
7.3.2	膜分离法	203
7.3.3	结晶法	206
7.3.4	铁氧体沉淀法	209

7.3.5 硫化物沉淀法	210
7.3.6 螯合沉淀法	212
7.3.7 混凝沉淀法	213
7.3.8 催化还原法	214
7.3.9 气浮法	215
7.3.10 离子交换法	217
7.3.11 电解法	221
7.3.12 溶剂萃取法	224
7.3.13 吸附法	225
7.3.14 生物法	236
参考文献	243
8 有价金属锌的提取技术	247
8.1 锌及含锌电镀废水概述	247
8.1.1 锌的物理化学性质	247
8.1.2 含锌电镀废水的来源、危害及治理现状	248
8.2 锌的分析测定方法	249
8.2.1 滴定法	249
8.2.2 原子吸收分光光度法	249
8.2.3 催化褪色光度法	250
8.2.4 催化光度法	250
8.2.5 双硫腺分光光度法	251
8.2.6 双波长分光光度法	252
8.3 锌的提取技术	252
8.3.1 中和沉淀法	252
8.3.2 硫化物沉淀法	253
8.3.3 铁氧体沉淀法	253
8.3.4 絮凝沉降法	254
8.3.5 离子交换法	255
8.3.6 膜分离法	255
8.3.7 溶剂萃取法	257
8.3.8 吸附法	263
8.3.9 电解法	271
8.3.10 生物法	272
8.3.11 植物修复法	277

参考文献	277
9 电镀污泥中有价金属提取工厂实例	281
9.1 有价金属提取工艺流程	281
9.2 电镀污泥中有价金属提取工艺所需设备	281
9.2.1 主要工艺设备	281
9.2.2 配备监控仪器与设备	282
9.3 经济效益分析	283
9.3.1 电镀污泥资源化中试试验	283
9.3.2 生产成本	283
9.3.3 直接效益	283
9.4 社会效益分析	284
9.5 清洁生产	285
9.5.1 清洁生产的意义	285
9.5.2 电镀企业清洁生产的内容	285
9.6 环境评价分析	286
9.6.1 环境评价重点	286
9.6.2 环境评价范围	286
9.6.3 环境评价采用的主要技术方法	286
9.6.4 环境影响因子识别和评价因子筛选	287
9.6.5 环境空气质量现状评价	289
9.6.6 环境经济损益分析	290
参考文献	291

1 电镀基础知识及电镀行业的发展

1.1 电镀的基本概念及工作原理

电镀被定义为一种电沉积过程，是利用电极通过电流，使金属附着于物体表面上。对这个过程形象的说法，就是给金属或非金属基体穿上一件金属“外衣”，这层金属“外衣”就称为电镀层。在进行电镀时，将被镀件接在阴极与电源的负极相连，要镀覆的金属接在阳极与电源正极相连；然后，把它们一起放在电镀槽中。电镀槽中盛有电镀液，电镀液由含有镀覆金属的离子、导电的盐类、缓冲剂、pH 值调节剂和添加剂等的水溶液组成。当直流电源和电镀槽接通时，就有电流通过，阳极的金属形成金属离子进入电镀液，以保持被镀覆的金属离子的浓度。电镀液中欲镀的金属离子在电位差的作用下便在阴极上沉积下来，形成镀层。

在有些情况下，如镀铬，是采用铅、铅铋合金制成的不溶性阳极，它只起传递电子、导通电流的作用。电解液中的铬离子浓度需依靠定期地向镀液中加入铬化合物来维持。电镀时，阳极材料的质量、电镀液的成分、温度、电流密度、通电时间、搅拌强度、析出的杂质、电源波形等都会影响镀层的质量，需要适时进行控制。

电镀的发展过程可以从以下几个方面做出讨论：

(1) 从电源设备来说，早期多用蓄电池和直流发电机，之后出现了硒或硅整流器及可控硅电源设备，现在又有开关电源等新型直流电源和大功率油浸温度控制电镀电源设备。在供电方式上，由过去的直流电发展到现在的周期换向电流、交直流叠加和脉冲电流。

(2) 从操作方式上来看，以前多采用手工操作，劳动强度大、生产效率低，现在逐步采用机械化和自动化设备。各种各样的电镀机器已在我国各地投入使用，使用自动线的电镀加工企业数量已经超过使用半自动线和手动线的企业数量。电镀自动线完成各类电镀工序几乎不需要手工操作，而是通过机械和电气装置自动地完成全部电镀工序过程，可以大幅度提高劳动生产率、稳定产品质量、降低工人劳动强度，并可改善劳动条件。自动线的广泛使用，说明我国电镀行业的质量提升和档次提升。

(3) 从电镀品种来说，常用的单金属电镀有 10 多种，合金电镀有 20 多种，

而进行过研究的合金镀层有 250 多种。电镀品种繁多,所用的电解液需要一一对应,只有很好地控制工艺规范,才能得到合格的镀层。

电镀的目的是在基材上镀上金属镀层,改变基材表面的特性或尺寸。例如赋予金属光泽,物品的防锈、防止磨耗,提高导电度、润滑性、强度、耐热性、耐候性,热处理使之防止渗碳、氮化,尺寸错误或磨耗的零件修补。20 世纪以来,电镀工艺作为重要的表面工程技术,其工业化程度不断提高,汽车、机械装备、船舶、航空、航天、电子、轻工业等领域对产品表面的处理都离不开电镀。随着我国社会主义建设事业的发展,黑色金属、有色金属及非金属材料零件的数量不断增加,电镀已从一般的装饰防护向高耐腐蚀及功能性方向发展,电镀行业有着巨大的发展机遇。

1.2 镀层的选用原则及分类

镀层可以提高金属零件在使用环境中的抗蚀性能;装饰零件的外表,使其光亮美观;提高零件的工作性能。具有应用价值的电镀层必须符合以下要求:(1) 镀层与基体之间应有良好的结合力。(2) 镀层在零件的主要表面上,应有比较均匀的厚度和细致的结构。(3) 镀层应具有规定的厚度和尽可能少的孔隙。(4) 镀层应具有规定的各项指标,如表面粗糙度、硬度、色彩以及盐雾试验耐腐蚀性。

1.2.1 镀层的选用原则

每一种镀层都具有独特的性质和用途,在选择镀层时除需考虑镀层的应用性质外,还应考虑加工工艺及成本等问题,具体有:

(1) 零件的工作环境及要求。绝大多数零件的镀层要求有良好的防护性。环境因素是金属材料发生腐蚀的根本条件,如大气环境(工业性大气、海洋性大气)、工作温度、湿度、介质性质、力学条件等,所以环境因素是选择镀层首要的考虑因素。与此同时,还应考虑电性能、磁性能等特定的功能。

(2) 零件的种类与性质。基体材料的种类和物理化学性质对选择镀层的种类和结构有着很大的影响,如钢铁材料在一般性大气中的防护镀层应采用阳极性镀锌层简单结构。由于铜、镍、铬相对于钢铁都是阴极性镀层,要求镀层应有较小的孔隙率和适当的厚度,而且还应根据材料的种类与其相应的前处理工艺,才可以获得与基体结合良好的镀层。

(3) 零件的结构、形状及尺寸公差。结构复杂或带有深孔的零件,应选用覆盖能力及分散能力良好的镀液,否则在凹洼或深孔的表面无法镀上镀层或镀层不均匀。一般情况下,对于较细的管状零件,其内壁很难得到完整的镀层,则通常采用化学镀的方法,能很好地解决这一问题。对于尺寸公差较小、要求严格的

精密零件, 必须采用性能良好的薄层。

(4) 镀层的性能及使用寿命。镀层可以改变基体材料的表面性质, 可以延长零件的使用寿命, 但并非是永久性的。特别是防护性镀层, 经过一定的时间需要进行修复或更换。选用镀层的性质与寿命要和零件的具体要求相适应, 满足预期的目的, 使得零件在使用期内能够安全、可靠地工作^[1]。

1.2.2 镀层的分类

镀层有多种分类方法: 一是按镀层的用途分类; 二是按镀层与基体金属的电化学性质分类; 三是按镀层组成分类。

1.2.2.1 按镀层的用途分类

按镀层的用途不同, 镀层可分为防护性镀层、防护-装饰性镀层和功能性镀层三类。

A 防护性镀层

防护性镀层的主要作用是保护基体金属免受腐蚀, 不规定对产品的装饰要求。通常, 镀锌层、镀锡层、镀镉层及锌基合金镀层属于此类镀层。黑色金属零件在一般大气条件下常用镀锌层来保护, 在海洋性气候条件下常用镀镉层来保护; 当要求镀层薄而抗蚀能力强时, 可用锡镉合金来代替镉镀层; 铜合金制造的航海仪器, 可使用银镉合金保护; 对于接触有机酸的黑色金属零件, 如食品容器, 则用镀锡层来保护, 它不仅防蚀能力强, 而且腐蚀产物对人体无害。

B 防护-装饰性镀层

防护-装饰性镀层不仅保护基体金属, 还使零件美观。主要是在铁金属、非铁金属及塑料上的镀铬层, 如钢的铜-镍-铬层, 锌及钢上的镍-铬层。为了节约镍, 人们已能在钢上镀铜-镍/铁-高硫镍-镍/铁-低固分镍-铬层。与镀铬层相似的锡/镍镀层, 可用于分析天平、化学泵、阀和流量测量仪表上。

C 功能性镀层

功能性镀层除具有一定的保护作用外, 主要用于特殊的工作目的。这种镀层种类很多, 细分起来则有导电性镀层、磁性镀层、抗高温氧化镀层、修复性镀层、钎焊性镀层、耐磨和减磨镀层、光学镀层、吸热镀层等。如: 提高与轴颈的相容性和嵌入性的滑动轴承罩镀层, 有铅-锡、铅-铜-锡、铅-铟等复合镀层; 用于耐磨的中、高速柴油机活塞环上的硬铬镀层, 这种镀层也可用在塑料模具上, 具有不粘模具和使用寿命长的特点; 在大型人字齿轮的滑动面上镀铜, 可防止滑动面早期拉毛; 用于防止钢铁基体遭受大气腐蚀的镀锌; 防止渗氮的铜锡镀层; 用于收音机、电视机制造中钎焊并防止钢与铝间的原电池腐蚀的锡-锌镀层; 适用于修复和制造的工程镀层, 有铬、银、铜等, 它们的厚度都比较大, 硬铬层可以厚达 $300\mu\text{m}$ 。

1.2.2.2 按镀层与基体金属的电化学性质分类

按镀层与基体金属的电化学性质不同, 镀层可分为阳极性镀层和阴极性镀层两大类。

A 阳极性镀层

阳极性镀层即镀层金属的活泼性比基体大。在使用条件下, 当镀层完整时对金属基体和外界起隔离作用而保护基体; 当镀层破损后镀层金属又会在电化学腐蚀中充当阳极率先腐蚀而保护基体不受腐蚀, 具有牺牲镀层保护基体的特点。影响镀层性能的主要因素是镀层的厚度。钢铁表面常见阳极性镀层有: (1) 锌镀层。锌镀层在大气条件下对于钢铁零件为阳极性镀层, 经彩色钝化后, 提高了镀层的保护性能并改善了外观。主要用于防止钢铁零件的腐蚀, 其镀层价格低廉, 耐腐蚀性能优良, 应用量大、面广。(2) 镉镀层。镉镀层在海洋和高温大气的环境中, 对钢铁零件为阳极性镀层, 镀层比较稳定, 耐腐蚀性强, 润滑性能好, 在航空及电子工业中应用较为广泛。

B 阴极性镀层

阴极性镀层金属基体的活泼性比金属镀层的大。在使用条件下, 只有镀层完整地将基体包覆起来使之与外界隔离, 才能起到保护基体的作用。如果镀层不完整或有孔隙、破损, 当发生腐蚀时, 基体会先受到腐蚀而损坏, 镀层反而因受到阳极保护而不发生腐蚀, 并且因而使基体腐蚀速度更快。使用阴极性镀层时, 镀层的厚度、孔隙率等都要符合用户的要求。例如, 在钢铁基体上镀锡, 当镀层有缺陷时, 铁、锡形成腐蚀电偶, 但锡的标准电极电位比铁正, 它是阴极, 因而腐蚀电偶作用的结果将导致铁阳极溶解, 而氢在锡阴极上析出。这样一来, 镀层尚存, 而其下面的基体却逐渐被腐蚀, 最终镀层也会脱落下来。因此, 阴极性镀层只有当它完整无缺时, 才能对基体起机械保护作用, 一旦镀层损伤, 不但保护不了基体, 反而加速了基体的腐蚀, 所以阴极性镀层要尽量减少孔隙率。由于金属的电极电位随介质发生变化, 因此镀层究竟属于阳极性镀层还是阴极性镀层, 需视介质而定。例如, 锌镀层对钢铁基体来讲, 在一般条件下是典型的阳极性镀层, 但在 70~80℃ 的热水中, 锌的电位变得比铁正, 因而变成了阴极性镀层; 锡对铁而言, 在一般条件下是阴极性镀层, 但在有机酸中却成为阳极性镀层。并非所有比基体金属电位负的金属都可以用作防护性镀层, 因为镀层在所处的介质中如果不稳定, 将迅速被介质腐蚀, 失去对基体的保护作用。如锌在大气中能成为黑色金属的防护性镀层, 就是由于它既是阳极镀层, 又能形成碱式碳酸锌保护膜, 所以很稳定; 但在海水中, 尽管锌对铁仍是阳极性镀层, 但在氯化物中不稳定, 从而失去保护作用, 所以, 航海船舶上的仪器不能单独用锌镀层来防护, 而是用镉镀层或代镉镀层较好。

1.2.2.3 按镀层组成分类

按镀层组成的不同, 可分为以下几类:

(1) 铬镀层。铬是一种微带天蓝色的银白色金属。电极电位虽很负，但它有很强的钝化性能，在大气中很快钝化，显示出具有贵金属的性质，所以铁零件镀铬层是阴极性镀层。铬层在大气中很稳定，能长期保持其光泽，在碱、硝酸、硫化物、碳酸盐以及有机酸等腐蚀介质中非常稳定，但可溶于盐酸等氢卤酸和热的浓硫酸中。铬层硬度高，耐磨性好，反光能力强，有较好的耐热性。在 500℃ 以下，光泽和硬度均无明显变化；温度大于 500℃ 时，开始氧化变色；大于 700℃ 时，开始变软。由于镀铬层的性能优良，被广泛用作防护-装饰性镀层体系的外表层和功能镀层。

(2) 铜镀层。铜镀层呈粉红色，质柔软，具有良好的延展性、导电性和导热性，易于抛光，经过适当的化学处理可得古铜色、铜绿色、黑色和本色等装饰色彩。铜镀层易在空气中失去光泽，与二氧化碳或氯化物作用，表面生成一层碱式碳酸铜或氯化铜膜层，受到硫化物的作用会生成棕色或黑色硫化铜，因此，作为装饰性的铜镀层需在表面涂覆有机覆盖层。

(3) 镉镀层。镉是银白色有光泽的软质金属，其硬度比锡硬，比锌软，可塑性好，易于锻造和辗压。镉的化学性质与锌相似，但不溶解于碱液中，溶于硝酸和硝酸铵中，在稀硫酸和稀盐酸中溶解很慢。镉蒸气和可溶性镉盐都有毒，必须严格防止镉污染。因为镉价格昂贵，污染后的危害很大，所以通常采用锌镀层或合金镀层来取代镉镀层。目前国内生产中应用较多的镀镉溶液类型有：氨羧络合物、酸性硫酸盐和氰化物。此外，还有焦磷酸盐镀镉、碱性三乙醇胺镀镉和羧基亚乙基二膦酸镀镉等。

(4) 锡镀层。锡具有银白色的外观，相对原子质量为 118.7，密度为 7.3 g/cm³，熔点为 232℃，为 +2 价和 +4 价，其电化当量分别为 2.12g/(A·h) 和 1.107g/(A·h)。锡具有抗腐蚀、无毒、易铁焊、柔软和延展性好等优点。锡镀层有如下特点和用途：1) 化学稳定性高；2) 在电化学中锡的标准电位比铁正，对钢铁来说是阴极性镀层，只有在镀层无孔隙时才能有效地保护基体；3) 锡导电性好，易焊；4) 锡从 -130℃ 起结晶开始发生变异，到 -300℃ 将完全转变为另一种晶型的同素异构体，俗称“锡瘟”，此时已完全失去锡的性质；5) 锡同锌、镉镀层一样，在高温、潮湿和密闭条件下能长成晶须，称为长毛；6) 镀锡后在 232℃ 以上的热油中重溶处理，可获得有光泽的花纹锡层，可作日用品的装饰镀层。

(5) 锌镀层。锌易溶于酸，也能溶于碱，故称它为两性金属。锌在干燥的空气中几乎不发生变化。在潮湿的空气中，锌表面会生成碱式碳酸锌膜。在含二氧化硫、硫化氢以及海洋性气氛中，锌的耐蚀性较差，尤其在高温、高湿含有有机酸的气氛里，锌镀层极易被腐蚀。锌的标准电极电位为 -0.76V，对钢铁基体来说，锌镀层属于阳极性镀层，它主要用于防止钢铁的腐蚀，其防护性能的优劣与