

侯 进 编著

GUNDU GONGYI JISHU YU YINGYONG

滚镀工艺技术 与应用



化学工业出版社

侯 进 编著

GUNDU GONGYI JISHU YU YINGYONG

滚镀工艺技术 与应用



化学工业出版社

· 北京 ·

冶金工业出版社

定价：28.00元

滚镀是电镀加工的一种常用方式。本书首先对滚镀的特征、优缺点、工艺及设备等内容进行了较为全面的总结,提出混合周期带来的缺陷和滚筒封闭结构带来的缺陷是其两大重要缺陷。然后以如何采取措施及采取何种措施为主要任务,逐次展开对全书的叙述。书中主要从滚镀的工艺控制和槽外控制两个角度着手,提出改善滚镀两大缺陷可采取的具体措施,还对当前滚镀技术中存在的诸多难点和热点进行了深度剖析和论述,并对近些年发展较快的振动电镀技术专章进行了全面总结。

本书适合滚镀生产及装备制造的技术人员阅读,也可供高等院校电镀专业、表面处理专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

滚镀工艺技术与应用/侯进编著. —北京:化学工业出版社, 2010.6

ISBN 978-7-122-08373-9

I. 滚… II. 侯… III. 电镀-工艺学 IV. TQ153

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 075114 号

责任编辑:段志兵
责任校对:陈 静

文字编辑:孙凤英
装帧设计:张 辉

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市万龙印装有限公司

720mm×1000mm 1/16 印张21 $\frac{3}{4}$ 字数432千字 2010年7月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686)

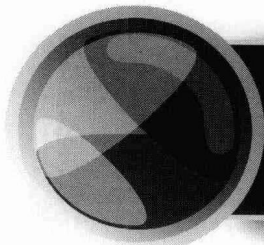
售后服务:010-64518899

网 址:<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:58.00 元

版权所有 违者必究



序 一

很高兴读到《滚镀工艺技术与应用》一书，可喜可贺。虽然近期出版了很多电镀书籍，但基本上都是有关挂镀内容的。这是国内第一本滚镀专业书籍，我记不起来国外有没有出版过有关滚镀内容的书。本书的出版对小零件（如电子产品的接插件、片式元件、钎铁硼、标准件等）电镀能够起到较好的技术指导作用。

难能可贵的是，书中向读者揭示了目前滚镀技术中所存在的问题，如滚镀的混合周期、结构缺陷、电流密度的定量控制等，并为解决这些问题提出了多方面应对措施。这对促进滚镀技术的良性发展具有重要的意义。

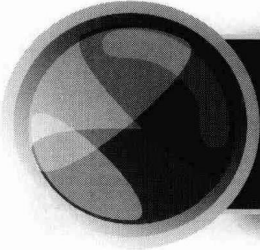
其次，书中向读者展示了包括滚镀的基础、理论、工艺、应用、设备等在内的多方面内容，不仅全面，而且很多内容都非常深刻、实用、富有新意，从而使目前凌乱的滚镀知识系统化、条理化。

另外，书中还对滚镀常用的镀种如滚镀锌、镍、铜、金、银及合金等进行了较为详细的介绍，并指出它们与普通挂镀工艺的不同。

总之，本书的出版为滚镀工艺技术奠定了一定的基础，并对滚镀工程技术人员和技术工人具有较高的参考价值。

本书作者为中国电子电镀专家委员会第七届委员，第八届、第九届常务委员，第十届副主任委员，是一位诚实、敬业、真心为大家做事的年轻专家，多年来一直关心和支持着电子电镀的兴衰与发展，为学会做出了很大的付出。希望作者在现有成绩的基础上继续努力，为行业做出更大的贡献！

蒋宇侨
于深圳



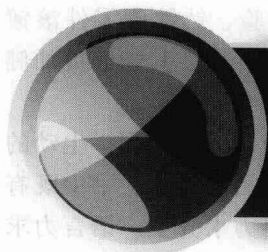
序 二

滚镀作为电镀加工的一种常用方式，自 20 世纪 50 年代以来发展异常迅速，在现代电镀生产中已占有半壁江山，在标准件、仪器仪表、电子元器件以及一些不宜实施挂镀的小零件的电镀中占有绝对的地位。与挂镀相比，无论是在工艺上，还是在设备上，滚镀都有自己的特点和要求。但是，至今有关滚镀理论、工艺、装备等方面内容的文献著作均是针对滚镀中某一问题的，尚无一部全面介绍滚镀内容的专著。

《滚镀工艺技术与应用》一书的作者有着近二十年从事滚镀设备的研究、开发和生产制造的经验，对滚镀生产工艺和设备均有较深的了解。作者在书中对滚镀过程中滚筒结构的影响，滚镀受镀件运动、镀件材质的影响，滚镀溶液及工艺条件等作了较全面的论述，有理论，有实践，还有一些实例，内容丰富，通俗易懂，不失为一部全面的、极有价值的专业著作。

《滚镀工艺技术与应用》一书值得广大电镀同行，特别是从事滚镀生产及装备制造的技术人员一读。

张宏祥
于天津大学



前言

滚镀承担了小零件电镀加工的绝大部分任务,加工量约占整个电镀加工的50%,范围涉及诸如紧固件、冲压件、水暖件、电子元器件及其他类似的大批量镀件等。滚镀的镀种包括镀锌、铜、镍、锡、铬、金、银及合金等几十种,一般只要能用于挂镀的电镀工艺就能用于滚镀。所以,滚镀在电镀企业中应用非常普遍,其重要性与挂镀几乎不相上下。并且,滚镀与小零件挂镀相比优势非常明显,例如,可大大提高劳动生产效率、镀层表面质量好、镀层厚度波动性小、占地面积小等。

但滚镀同时也存在不少问题。例如,滚镀过程中产生零件的混合周期,混合周期对滚镀的电镀时间和镀层厚度波动性均产生重要影响;滚筒的封闭结构造成滚镀镀层沉积速度慢、镀液分散能力和深镀能力下降及槽电压较高等结构缺陷;间接导电方式造成滚镀时槽电压升高、电流传输不平稳、各零件上电流分布不均匀等;难以定量控制镀件表面的电流密度,这给滚镀生产带来极大不便;滚镀的溶液组分变化快,溶液带出量多,零件的形状、大小和镀层厚度受到限制等。凡此种种,使得滚镀在电沉积条件、镀液成分及工艺条件控制、设备条件、稳定生产等方面均比挂镀复杂且困难得多。

但目前行业中有关滚镀的知识和内容是散落的、混乱的,所以有必要对多年来滚镀技术发展过程中取得的宝贵经验与成果、存在的问题与对策等进行归纳、总结并整理成册。

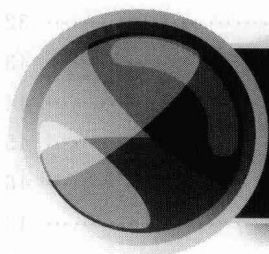
书中首先对滚镀的特征、优缺点及分类等内容进行较为全面的总结,在肯定滚镀劳动生产效率高、镀层表面质量好等优越性的同时,提出混合周期带来的缺陷和滚筒封闭结构带来的缺陷是其两大重要缺陷。两大缺陷对滚镀生产效率和产品质量的提高造成严重影响,使滚镀的优越性不能得以充分发挥,所以应积极采取措施加以解决或改善。然后以如何采取措施及采取何种措施为主要任务,逐次展开对全书的叙述,并始终将滚镀混合周期和结构缺陷两大内容中所蕴涵的道理贯穿于整本书中。力图为治疗滚镀的两大“顽疾”找到一副良药,以充分发挥其劳动生产效率高的优越性,从而更好地服务于生产。书中主要从滚镀的工艺控制和槽外控制两个角度着手,提出改善滚镀两大缺陷可采取的具体措施,如开发性能优良的滚镀专用添加剂、采用细长形滚筒、改进筒壁开孔、向滚筒内循环喷流、采用振动电镀等,并论证了两个角度在改善滚镀缺陷所起作用中的主次关系。还对当前滚镀技术中存在的诸多难点和热点进行了深度剖析和论述,如滚镀的主盐浓度、滚镀电流密度控制

方法、滚镀酸铜、滚镀铬、“滚筒眼子印”、滚镀的赫尔槽试验、钹铁硼零件滚镀等。并对近些年发展较快的振动电镀技术专章进行了全面总结，以使其能够更加健康地发展，充分发挥其滚镀技术改革中的“排头兵”作用。

书中在阐述某种道理或解释某项问题时，无论复杂还是简单，总是列举生动的事例加以说明和佐证，尽量做到有理有据，既讲清道理，又不枯燥无味。书中既有入门，又有提高，既有理论，又有应用。内容力求丰富，资料力求齐全。语言力求精练、简洁，但不失通俗，以适合不同层次的读者阅读，尽力为从事滚镀工作的同行提供一本有价值的参考书。然而，虽然笔者自认为已足够努力，但因受水平所限，且书中不少观点及论述等系初次提出，可能尚存在较大争议，所以不完善之处在所难免，恳请广大读者、专家能够理解，并批评指正。

本书在编写过程中，张宏祥教授逐段逐句审阅了原稿，并提出许多宝贵意见，付出了艰辛的劳动。德高望重的蒋宇侨高级工程师和张宏祥教授同时为本书作序，并均勉励笔者继续为行业的发展而努力，这使笔者感到莫大的荣幸和鼓舞！另外，侯得舜高级工程师为本书收集了大量丰富翔实的资料，刘淑兰教授给笔者予以电化学理论方面的指导，向荣高级工程师、沈品华高级工程师、许维源高级工程师、熊刚教授等也对笔者进行了多方面指导，任雅勋高级工程师、刘伟高级工程师审阅了书中的某些章节并提出宝贵意见，笔者在此一并表示衷心的感谢！

侯 进



目 录

第一章 滚镀的基本概念	1
第一节 什么是滚镀	2
一、滚镀的概念	2
二、滚镀的特征	3
第二节 滚镀的分类	5
一、卧式滚镀	5
二、倾斜式滚镀	7
三、振动电镀	9
四、不同滚镀方式的对比	10
第三节 滚镀的优缺点	12
一、滚镀的优点	12
二、滚镀的缺陷	13
三、改善滚镀缺陷的措施	14
第二章 滚镀的镀液成分和工艺条件	16
第一节 滚镀的镀液类型	17
一、两种镀液类型的优缺点	17
二、滚镀镀液类型的选择	17
第二节 滚镀溶液的主盐	18
一、滚镀溶液主盐的特点	18
二、影响滚镀主盐含量的因素	20
第三节 滚镀溶液的添加剂	24
一、电镀添加剂的作用	24
二、滚镀添加剂的特点	24
第四节 滚镀溶液的导电盐和缓冲剂	27
一、滚镀溶液的导电盐	27
二、滚镀溶液的缓冲剂	29
第五节 滚镀的电流密度	30
一、滚镀电流密度的难点	30

二、滚镀电流密度控制方法	32
第六节 滚镀溶液的温度	43
一、滚镀溶液温升快的原因	44
二、滚镀溶液温升快的危害	45
第七节 滚镀溶液的 pH 值和滚筒转速	46
一、滚镀溶液的 pH 值	46
二、滚筒转速	47
第三章 滚镀的混合周期和结构缺陷	49
第一节 混合周期对电镀时间的影响	50
第二节 混合周期对镀层厚度波动性的影响	51
一、厚度变异系数	51
二、对镀层厚度波动性的影响	53
三、混合周期关系式	54
第三节 滚镀的结构缺陷 (一)——镀层沉积速度慢	55
一、金属电沉积过程	55
二、滚镀的沉积速度	57
三、若干实例	58
第四节 滚镀的结构缺陷 (二)——镀液分散能力和深镀能力下降	60
一、电流在阴极表面的分布	60
二、滚镀的分散能力	62
三、滚镀的深镀能力	63
四、若干实例	64
第五节 滚镀的结构缺陷 (三)——槽电压高	65
一、槽电压高的原因	65
二、槽电压高的弊端	66
第四章 滚镀单金属	67
第一节 滚镀锌	68
一、概述	68
二、氯化钾滚镀锌	68
三、氰化滚镀锌	75
四、锌酸盐滚镀锌	75
五、镀后处理	77
第二节 滚镀镍	80
一、滚镀暗镍	80
二、滚镀亮镍	83

三、滚镀双层镍	88
四、深孔镀镍	93
五、柠檬酸盐滚镀镍	96
六、滚镀黑镍	97
七、镀后防锈处理	98
八、化学滚镀镍	99
第三节 滚镀铜	101
一、滚镀氰铜	102
二、滚镀焦铜	104
三、滚镀酸铜	105
四、滚镀无氰碱铜	106
第四节 滚镀锡	108
一、光亮滚镀锡工艺规范	109
二、镀液成分和工艺条件	109
三、亚光锡工艺规范	111
四、操作注意事项	112
第五节 滚镀铬	113
一、滚镀铬技术难点	113
二、滚镀铬工艺规范	115
三、镀液成分和工艺条件	115
四、操作注意事项	117
五、滚镀硬铬	119
第六节 滚镀金	120
一、酸性镀金工艺规范	120
二、镀液配制与维护	121
三、滚镀金的底镀层	122
四、镀后处理	123
五、脉冲滚镀金	124
第七节 滚镀银	125
一、氰化镀银工艺规范	125
二、滚镀硬银	128
三、复合滚镀银	129
四、脉冲滚镀银	129
第五章 滚镀合金	132
第一节 滚镀锌基合金	133
一、滚镀锌铁合金	133

二、滚镀锌镍合金	137
三、滚镀锌铁钴合金	140
第二节 滚镀铜基合金	140
一、滚镀低锡铜锡合金（黄铜锡）	141
二、滚镀高锡铜锡合金（白铜锡）	142
三、滚镀铜锌合金（黄铜）	143
四、滚镀仿金	143
五、滚镀古铜色	146
第三节 滚镀锡基合金	147
一、滚镀锡钴（锌）合金（代铬）	147
二、滚镀锡铅合金	149
三、滚镀锡锌（锑）合金	149
第四节 滚镀镍基合金	151
一、滚镀镍铁合金	151
二、滚镀镍钴合金	153
第六章 改善滚镀缺陷的措施	154
第一节 概述	155
第二节 减小混合周期影响的措施	156
一、滚筒横截面形状	156
二、滚筒尺寸	157
三、滚筒转速	158
四、滚筒大小	162
五、滚筒装载量	166
六、采用振动电镀	167
第三节 改善滚镀结构缺陷的措施（一）——改进筒壁开孔	168
一、筒壁开方孔	168
二、筒壁开网孔	174
三、筒壁开槽孔	177
四、滚筒两端开孔	178
五、不同筒壁开孔方式对比	178
第四节 改善滚镀结构缺陷的措施（二）——向滚筒内循环喷流	179
一、概述	179
二、喷流系统的结构	180
三、喷流系统的作用机理	182
四、应用效果	184
第五节 改善滚镀结构缺陷的措施（三）——采用振动电镀	187

第六节 滚筒眼子印产生的原因和解决办法	189
一、滚筒眼子印产生的原因	189
二、滚筒眼子印的解决办法	194
第七节 滚镀溶液的降温措施	202
一、槽内冷却管冷却	202
二、槽外换热器冷却	204
第七章 滚镀的试验和镀液分析	205
第一节 赫尔槽试验	206
一、赫尔槽的结构与规格	206
二、赫尔槽阴极上的电流分布	207
三、赫尔槽试验的应用	208
四、赫尔槽试验的操作方法	210
五、赫尔槽试验的优缺点	211
第二节 滚镀的赫尔槽试验（一）——确定滚镀的电流密度	211
一、采用按全部镀件面积计的方法时	212
二、采用按镀件有效受镀面积计的方法时	212
第三节 滚镀的赫尔槽试验（二）——处理镀液故障	215
一、概述	215
二、标准试片的制作	216
三、故障的分析与排除	217
第四节 小型滚镀试验	221
一、用于滚镀技术研究	221
二、用于滚镀生产现场管理	223
第五节 滚镀溶液分析方法	224
第八章 振动电镀	227
第一节 概述	228
第二节 振动电镀的特征和优缺点	229
一、振动电镀的特征	229
二、振动电镀的优缺点	231
第三节 振动电镀应用举例	232
一、片式元件振镀	232
二、接插件振镀	233
三、集成电路封盖振镀	234
四、焊片、接线柱等超薄小零件振镀	239
五、制冷器件导流条振镀	240

六、缝衣针振镀	241
七、其他零件振镀	242
第四节 振动电镀机械的设计	243
一、概述	243
二、振动机械动态设计内容	244
三、电镀用振动机设计内容	246
四、振筛的设计	246
第五节 振动电镀设备类型	249
一、根据振荡器形式分类	249
二、根据工作槽数量分类	251
三、振动烘干装置	255
第六节 振动电镀若干问题	256
一、振动电镀的选择	256
二、振动电镀工艺	257
三、振动电镀设备使用与维护	258
第九章 特殊零件滚镀举例	262
第一节 钹铁硼零件滚镀	263
一、概述	263
二、镀前处理	264
三、化学浸镀	266
四、滚镀锌	266
五、滚镀镍	268
六、化学滚镀镍	270
七、电镀设备	271
第二节 锌合金压铸件滚镀	275
一、表面光整	275
二、除油	275
三、酸洗或去膜	276
四、活化或预浸	276
五、预镀	276
第三节 电池壳滚镀	278
一、工艺流程	278
二、镀前处理	278
三、滚镀镍	279
四、镀后处理	280
第四节 其他特殊零件滚镀	281

一、片式元件滚镀	281
二、接插件滚镀	283
三、塑料零件滚镀	284
四、辐条滚镀	286
第十章 滚镀设备	289
第一节 卧式滚筒	290
一、滚筒尺寸	290
二、筒壁开孔	291
三、滚筒内阴极导电装置	293
四、滚筒开门	296
五、滚筒材质	299
六、滚筒浸没方式	302
七、滚筒驱动方式	305
第二节 滚镀单机	307
一、微型滚镀机	307
二、单体式滚镀机	308
三、升降式滚镀机	309
四、翻斗式滚镀机	309
五、化学镀膜滚镀机	310
六、镀铬滚镀机	311
七、流化床电镀机	313
第三节 滚镀一体机	314
一、组成	314
二、优点	315
第四节 滚镀自动线	316
一、直线式滚镀自动线	316
二、环形滚镀自动线	319
参考文献	320
附录 部分相关电镀设备、材料厂商信息	322



第一章

滚镀的基本概念

第一节 什么是滚镀

一、滚镀的概念

通常情况下电镀有两种方式，一种是挂镀，一种是滚镀。挂镀也叫吊镀，是将零件装在挂具上进行镀层沉积处理的一种电镀方式，一般用于大尺寸零件（如车圈）的电镀。而对于因形状、大小等因素影响无法或不宜装挂的小零件（如小螺丝），则一般采用滚镀。滚镀严格讲叫滚筒电镀，它是将一定数量的小零件置于专用滚筒内，在滚动状态下以间接导电方式使零件表面沉积上各种金属或合金镀层，以达到表面防护、装饰或功能性目的的一种电镀方式。

典型的滚镀过程是这样的：将经过镀前处理的小零件装进滚筒内，零件靠自身重力将滚筒内的阴极导电装置紧紧压住，以保证零件受镀时所需要的电流能够顺利传输。然后，滚筒以一定速度按一定方向旋转，零件在滚筒内受到旋转作用后不停地翻滚、跌落。同时，金属离子受到电场作用后在零件表面还原为金属镀层，滚筒外新鲜溶液连续不断地通过滚筒壁板上无数的小孔补充到滚筒内，而滚筒内的溶液及电镀过程中产生的气体也通过这些小孔不断地排出筒外。

但在滚镀发明之前，小零件电镀只能采用挂镀。挂镀需要将零件一个一个地装或绑在挂具上，费时、费力、费人工，且镀层质量欠佳，如出现“挂具印”，或表面光洁度不够等。另外，一种叫做筐镀的特殊挂镀也会经常被采用，它是将小零件放在一个金属丝做成的小筐或底部镶有电极的塑料筐内，然后挂到阴极棒上电镀的一种方式。这种方式在电镀过程中，为使各零件尽可能均匀受镀，需要不时摘下小筐对零件进行翻动，或用一根非金属棒搅动筐内的零件。因此操作类似淘米或炒菜，所以也有人形象地称之为淘镀或炒镀。但即使这样，镀层质量同样难以令人满意，主要表现为各零件的镀层厚度及表面质量等波动较大，且劳动力同样受到对零件进行搅动、翻动等烦琐操作的束缚，劳动生产效率不能提高。

滚镀的出现使小零件电镀落后的技术状况得到改变，它将电镀工人从烦琐的装挂或筐镀劳动中解放出来，节省了劳动力，提高了劳动生产效率，且镀层质量也大为改观，这在小零件电镀领域无疑有着非常积极的意义。滚镀起源于美国南北战争后，在工业上得到应用为20世纪20年代。最初的滚筒由木制的桶或篮子制成，主要因木材容易得到，经济，且不导电。后来，随着化学、电学及材料科学的发展，出现了滚筒型金属电镀设备，这种设备大约在20世纪30~40年代经过不断发展，逐渐形成今天滚镀设备的基本原型。第二次世界大战后，塑料的应用极大地提高了滚筒的性能、容量及使用寿命，滚镀技术得以快速发展。而第二次世界大战前，滚筒材质主要使用比较原始的塑料或酚醛树脂。

国内滚镀较早出现于 20 世纪 40 年代中后期。迄今关于国内滚镀最早的文字记录有 1947 年 5 月在上海开设的华兴滚镀厂, 当时该厂设备有木制滚筒 2 只和水泥槽 1 只, 镀种有滚镀镍和滚镀铜锡合金。早期的滚镀设备均为手工操作, 生产效率低, 镀种也较少, 一般滚镀镍最多, 另有滚镀黄铜、青铜、锌锡等。大约 20 世纪 60 年代, 随着工业化发展对滚镀设备提出较高的要求, 国内机械化连续滚镀设备开始使用, 但当时的设备仅仅能够手动控制。国内滚镀自动线早在 20 世纪 50 年代, 第一汽车制造厂就开始引进并用于紧固件镀锌, 当时的设备属于机械式环形(倾斜式滚筒)滚镀自动线。直线式滚镀自动线在 20 世纪 60 年代中后期就已经有很多应用, 但之后较长一段时期这种设备大多集中在上海、天津等较大的工业城市使用, 而较为广泛的应用大约应从 20 世纪 90 年代开始。全自动化无人操作滚镀生产线, 国外 20 世纪 70 年代就已经开始使用, 国内近些年也逐渐开始出现并应用, 这使滚镀劳动生产效率高的优越性得到更加充分的发挥。

目前, 滚镀的加工量约占整个电镀加工的 50% 左右, 并涉及镀锌、铜、镍、锡、铬、金、银及合金等几十个镀种。并且, 滚镀的适用范围非常广, 诸如紧固件、冲压件、水暖件、电子元器件及其他类似的大批量镀件等。甚至在电镀界曾流传这样一句话, “只要镀件能装进滚筒就能滚镀”, 这句话虽有点夸大, 但却能形象地说明滚镀在今天电镀工业中所具有的优势。时至今日, 滚镀已发展成为应用非常普遍且几乎与挂镀并驾齐驱的一种电镀方式。



二、滚镀的特征

滚镀一般应具备以下几个基本特征。

1. 滚镀是将分散的小零件集中在滚筒内进行的

小零件挂镀时单独分装悬挂, 当电镀加工量较大时, 需要大量的人工, 劳动生产效率极低。滚镀则将分散的小零件集中起来进行处理, 无需再进行烦琐的装挂操作, 节省了劳动力, 提高了劳动生产效率。将分散的小零件集中在一起的装置叫做滚筒, 滚筒是承载着小零件在不停地翻滚过程中受镀的一个盛料装置。典型的滚筒呈六棱柱状, 水平卧式放置。滚筒壁板的一面开口, 电镀时一定数量的小零件从开口处装进滚筒内, 并占其一定的比例, 然后盖上滚筒盖将开口封闭。滚筒壁板上布满许多小孔, 电镀时零件与阳极间电流的导通、筒内外溶液交换及筒内气体排出等都需要通过这些小孔才能实现。

滚筒内的阴极导电装置一般通过铜线或棒从滚筒两侧的中心轴孔穿出, 然后分别固定在滚筒左右墙板的导电搁脚上。零件在滚筒内靠自身重力与阴极连接。小零件滚镀就是在这样的装置内进行的。滚筒的结构、尺寸、大小、转速、导电方式及开孔率等诸多因素均与滚镀的生产效率和镀层质量等息息相关。所以, 滚筒是整个滚镀技术研究的重点之一。