

[苏] Г. А. САДАКОВ 著

陈钧武 江永安 译

孙 起 校



电 铸 技 术

兵器工业出版社

TQ153.4

364428

S 01

电 铸 技 术

〔苏〕 Г. А. САДАКОВ 著

陈钧武 江永安 译

孙 起 校



兵器工业出版社

(京)新登字049号

内 容 简 介

电铸是用电沉积金属或合金的方法制取产品的特种加工工艺。由于它的独特加工技巧，使其在金属成形领域中具有日益重要的地位。

本书是当今国内外介绍电铸技术最为完整的一本专著。书中对电铸成形技术所涉及的各方面问题都做了比较详细的叙述。本书取材丰富，论述通俗易懂，实用性强，很适于从事电铸成形、电镀和电化学加工的工程技术人员和产品设计人员及工人使用，也可供大专院校师生参考。

电铸技术

〔苏〕Г. А. САДАКОВ 著

陈钧武 江永安 译

孙 起 校

兵器工业出版社 出版发行

(北京市海淀区车道沟10号)

各地新华书店经销

孙中印刷厂印装

开本：787×1092 1/32 印张：11.56 字数：256.9千字

1992年8月第1版 1992年8月第1次印刷

印数：1—3000 定价：8.50元

ISBN 7-80038-466-7/TG·34

译 者 的 话

当今，电铸在国内的应用日渐普及，它在金属电沉积领域中的地位也日渐突出。虽然在国内常有用电铸方法制造产品的文章发表，但大都局限于加工工艺的范畴。兵器工业出版社已出版的《工业电铸》一书也是侧重于介绍用电铸制造产品的工艺方法，其内容也有局限性。Г. А. 萨达科夫 (Г. А. САДАКОВ) 所著《电铸技术》一书对各种芯模材料的性能和处理方法、电铸金属与合金的工艺条件及其性能、电铸设备、性能检测、电铸产品的加工工艺等都作了比较系统的介绍。可以认为，该书是当今国内外在这一领域中比较好的一本专著。我们希望该书的翻译出版能对从事电铸研究与生产的人员有所裨益。

本书第8章将印制板电镀、连续电镀等也列入电铸的范畴，显然是不恰当的。但本着尊重原著的精神，我们未作变更。另外，对书中一些错误与不当之处，我们力求给以更正。

由于电铸涉及的专业面广，而我们的水平又有限，译文中难免有不当之处，敬请读者批评指正。

原 书 前 言

众所周知，电铸已有约 150 年的历史，但是，它在工业中得到广泛应用却是始于 50~60 年代。在开始的第一阶段，它的应用仅限于制造铅印版、雕像和浮雕。电铸发展的第二阶段，则是以其大规模的工业应用为特征，如制造唱片压模与波导管，塑料注塑模与压塑模，网材与箔材，导管与特殊喷管，印制板，艺术品和复杂结构的产品等。

用电铸法制得的零件可比任何其它方法制得的零件具有更高的精度，它能复制出芯模上非常微小的细节，有可能制造用其它方法不能制造的或制造成本非常昂贵、具有复杂形状的产品。电铸可以由一个唯一的零件（芯模）复制得到一批零件。用可能是相当贵重的芯模得到一定数量的拷贝，同样，该拷贝还可再用来得到新的芯模，这样，便可提高生产速度。由于生产的要求，人们对使用具有特殊性能的金属和合金制品产生了兴趣，而在许多情况下，这些金属与合金只能用电铸方法才能制得。

当人们对电铸工艺的认识还很不充分时，电铸往往被人们看成是一门未来的技术，当然，电铸的最新水平是由现代材料学、物理化学、电化学以及当今技术装备所取得的成就来决定的。

目 录

电镀技术中的专用术语	(1)
本书所用部分符号	(3)
第1章 电镀的基本概况	(5)
第2章 芯模的材料与设计	(10)
第3章 芯模表面的改性处理	(38)
3.1 芯模表面的预处理	(38)
3.2 分离层	(41)
3.2.1 无机分离层	(41)
3.2.2 有机分离层	(43)
3.3 导电层	(44)
3.3.1 化学还原的金属层	(44)
3.3.2 涂覆粉末或悬浮体形成导电层	(82)
3.3.3 涂覆硫化物膜层	(82)
第4章 电沉积金属	(85)
4.1 电解液的物理化学性能	(85)
4.1.1 硫酸盐镀铜电解液	(85)
4.1.2 硫酸盐镀镍电解液	(86)
4.1.3 氨基磺酸盐镀镍电解液	(86)
4.2 电沉积镍、钴、铁	(92)
4.2.1 电沉积镍	(93)
4.2.2 电沉积钴	(151)
4.2.3 电沉积铁	(155)
4.2.4 铁族金属电沉积机理	(166)

4·3	电沉积铜	(181)
4·4	电沉积金和银	(196)
第5章	电沉积合金	(199)
5·1	电沉积镍钴合金	(199)
5·2	电沉积镍铁合金	(224)
5·3	电沉积钴铁合金	(238)
5·4	电沉积镍锰、镍钴锰合金	(246)
5·5	电沉积含磷、硼、硅和钨的合金	(253)
5·5·1	镍磷合金	(253)
5·5·2	钴磷合金	(256)
5·5·3	镍硼合金	(257)
5·5·4	钴硼合金	(260)
5·5·5	含硅和钨的合金	(263)
5·6	阴离子中元素还原形成合金的机理	(271)
第6章	电铸车间设备	(276)
6·1	制造芯模的设备	(277)
6·2	芯模表面改性处理的设备	(280)
6·3	电铸加厚拷贝的设备	(282)
6·4	电铸加厚拷贝的自动线	(287)
6·5	制造设备、挂具、辅具和屏蔽物的材料	(289)
6·6	阳极类型	(289)
6·7	装挂芯模的挂具	(290)
6·8	电铸的辅助设备	(291)
第7章	电铸生产中的检测与控制	(297)
7·1	电解液工作状态的检测	(298)
7·1·1	成分分析	(298)
7·1·2	pH值的测定	(299)

7·1·3	表面张力的测定	(299)
7·1·4	应力的测定	(299)
7·1·5	分散能力的测定	(300)
7·1·6	电流效率的测定	(301)
7·1·7	电导及电极极化的测定	(301)
7·2	镍电解液中杂质的去除	(301)
7·2·1	过滤	(302)
7·2·2	活性炭处理	(303)
7·2·3	用硅藻土进行过滤与吸附	(308)
7·2·4	用高锰酸钾进行处理	(308)
7·2·5	用过氧化氢进行处理	(309)
7·2·6	用亚硫酸酐进行处理	(309)
7·2·7	用氯气进行处理	(309)
7·2·8	选择性电解净化	(310)
7·2·9	有机杂质的处理	(316)
7·3	铜电解液的净化	(317)
7·4	芯模和拷贝的质量检验	(318)
7·5	芯模和拷贝的缺陷	(321)
第8章	电铸的工业应用	(324)
8·1	电铸加厚拷贝的工艺	(324)
8·2	电铸在工业中应用的途径与分类	(329)
8·3	制造拷贝与芯模不分离的产品的电铸工艺	(330)
8·4	制造由一个拷贝构成产品的电铸工艺	(334)
8·5	制造由几个拷贝装配成产品的电铸工艺	(340)
8·6	以拷贝作为产品功能件的电铸工艺	(342)
8·7	电铸装配工艺	(347)

8 • 8 经济可行性分析.....	(348)
第9章 电铸时芯模和拷贝的腐蚀与破坏.....	(349)
结束语.....	(357)
参考文献.....	(359)

电铸技术中的专用术语

芯模——专门设计制造的一种模型，利用电铸技术可由它制得拷贝。

拷贝——在芯模表面上电沉积金属并与芯模分离后获得的半成品，它经机械加工后可成为产品、器具、或它们的某一部分。

锁合——在电沉积加厚过程中形成的妨碍拷贝与芯模分离的接头。

裹紧层——未安装屏蔽装置前在芯模上镀覆的厚 $10\sim 20\mu\text{m}$ 的第一层金属。

装配式芯模——由几个单独芯模组成并在每次使用之前需进行组装的芯模。

装配式拷贝——由几个部分组装成一个整体进行使用的拷贝，有时经使用后还可再拆开。

穿透性针孔——完全穿过电沉积金属层的针孔。

树枝状结瘤——在拷贝边缘或背面形成的树枝形状的局部过厚沉积层。

强化加厚沉积——在高电流密度下电沉积厚的金属层。

激发沉积（《触发》）——在化学沉积镍、钴的开始时刻，用铝丝与被镀工件接触使化学沉积发生的一种操作技术。

分离层——在芯模表面形成的、防止拷贝与芯模粘接在一起的膜层。

导电层——保证非金属芯模表面具有导电性的材料层。

脱模——使拷贝与芯模分离的操作技术。

脱模面——芯模与拷具之间的分离面。

屏蔽——用于防止芯模的凸起或边缘部位的金属层沉积过厚或产生树枝状结瘤的装置。

本书所用部分符号

- BT —— 电流效率, %
 BT_a —— 阳极电流效率, %
 BT_k —— 阴极电流效率, %
 PC —— 分散能力, %
 i_k 和 i_a —— 阴极和阳极电流密度, A/dm^2
 i_c —— 交换电流密度 A/dm^2
 t —— 电解液或溶液温度, $^{\circ}C$
 σ_b —— 抗拉强度, MPa 或 GPa
 $\sigma_{0.2}$ 和 σ_s —— 屈服强度, MPa 或 GPa
 σ_{-1} —— 疲劳极限, GPa
 δ —— 延伸率, %
 HV —— 硬度, MPa 或 GPa
 E —— 弹性模量, MPa 或 GPa
 P —— 磨损量, mg/cm^2
 σ —— 在沉积层中产生的应力, MPa 或 GPa
 d —— 密度, g/cm^3
 α —— 线膨胀系数, $1/^{\circ}C$
 c —— 比热容, $J/(g \cdot ^{\circ}C)$ 或 $J/(kg \cdot ^{\circ}C)$
 H_c —— 矫顽力, kA/m
 B_r —— 残余磁感应
 B_m —— 最大磁通密度, T
 $B_r/(B_m - H)$ —— 磁滞回线矩形比
 V_{H_2} —— 氢气体积, $cm^3/100g$
 R_a —— 表面粗糙度值, μm

Π ——孔隙率, %

n ——反复弯曲次数

D ——扩散系数, m^2/s , 或 cm^2/s

γ ——表面张力, mN/m ,

κ ——电导率, S/m , 或 $\mu\text{S/m}$,

h ——涂层、沉积层、膜层厚度, mm 或 μm

τ ——时间, h , min 或 s

a, b, c ——晶格参数, nm

D_0 ——晶粒尺寸, nm 或 μm

ψ ——断面收缩率, %

μ ——溶液粘度

λ ——热导率, $\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$

φ ——电位, V

ρ ——电阻率, $\Omega \cdot \text{cm}$, 或 $\mu\Omega \cdot \text{m}$

μ ——泊松比

第1章 电铸的基本概况

电铸与电镀同属于电沉积技术（见图1-1）。

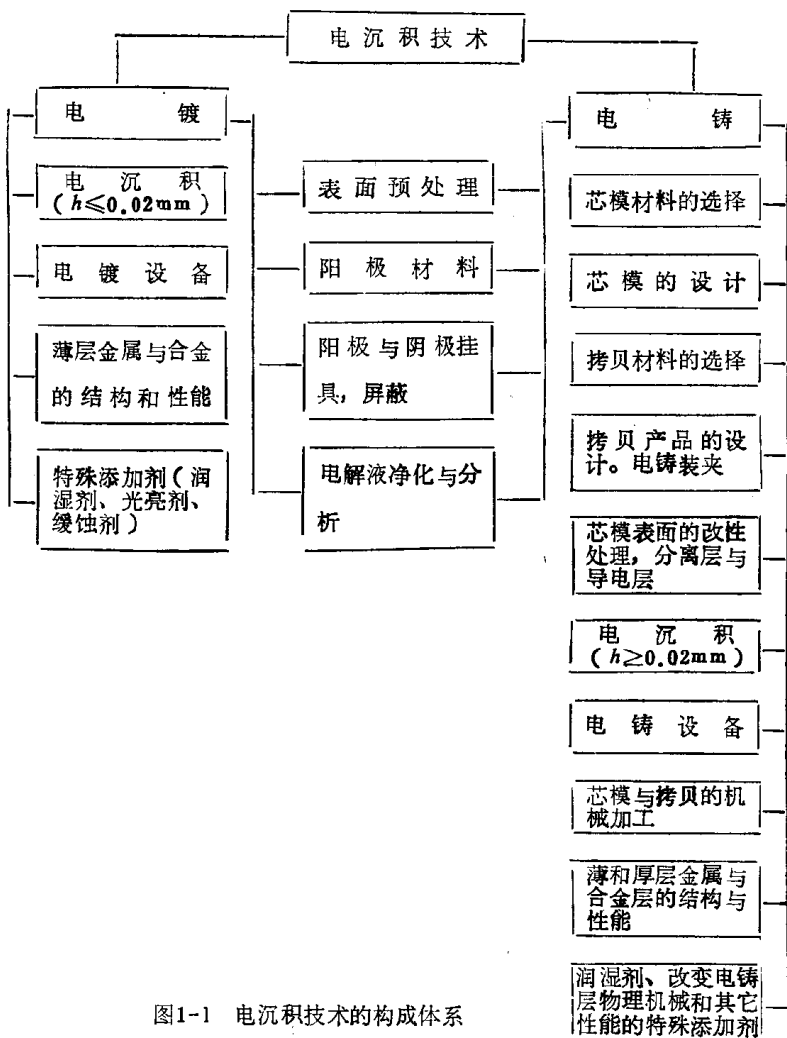


图1-1 电沉积技术的构成体系

电镀和电铸的主要差别在于其实施的工艺方法和对实施过程中其技术要求的不同。当今，在电沉积技术的发展中，人们非常注意对电铸电解液进行净化处理，因为在电铸厚的金属层时，要求在整个厚度上都必须具有均一、等同的铸层性能。

电镀是研究在工件上镀覆防护装饰与功能性金属镀层的工艺，而电铸则是研究电沉积拷贝的工艺以及拷贝与芯模的分离方法、厚层金属与合金层的使用性能与结构。

在许多工业部门（如唱片、网材、箔材、波导管等生产部门），电铸是生产周期中的一个基本环节，而且，它在不同部门中的应用还将进一步扩大。因此，必须进一步加深该工艺在应用电化学中的地位的认识。

在研究电铸问题时，将要使用到有关芯模设计、芯模与拷贝设计和加工时的材料学、真空镀覆、化学和机械法镀覆导电层、形成氧化物和盐类分离层的动力学、两固体相在边界处的粘附力、用作芯模和分离层的有机导电材料、金属与合金电沉积工艺及电沉积薄层与厚层金属的性能以及电铸挂具与设备等诸方面的知识。在实践中应用这些知识通过合理的工艺方法即可制得不同型式（目的）的金属（将来还可能有非金属）拷贝，这种拷贝便是我们所要求的产品或器具，而且这种拷贝是用传统的方法无法制造或者是要花费很大精力才能制得的。

和任何其它领域一样，电铸也要遵循一系列特殊的规律或原则，其内容可归纳如下〔40〕：

1. 芯模材料的选择 芯模材料的选择要考虑到材料科学的当代水平、材料在技术和经济上使用的合理性，同时，还要考虑到材料在物理、化学和机械性能上有如下的要求，

即：

(1) 不管芯模材料的本性如何，其表面应是导电的（在非导体表面上要镀覆导电层）；

(2) 从材料的热物理性能（体积和线膨胀系数、熔点、热导率、热容量、热稳定性、耐寒性）去看，选择的材料在机械和化学加工时的温度作用下，所得芯模不应受到破坏和产生变形。在确定电铸成品的尺寸时，应考虑到材料的体积热膨胀系数能使拷贝与芯模易于分离；

(3) 材料的物理机械性能（密度、抗拉强度、屈服强度、延伸率、弹性模量、冲击韧性、硬度等）应能允许其进行机械加工和能经受使用载荷的作用；

(4) 材料的物理化学性能（抗蚀性、耐浸蚀能力、形成氧化膜的速度、导电层对非导体的附着能力、氢脆性、溶胀性、腐蚀疲劳极限、金属钝化性、跟溶液和电解液的相互作用等）应使芯模能经受溶液的浸蚀作用而不遭受破坏，同时，还不能跟拷贝材料产生相互作用；

(5) 材料的特殊性能（光学性、磁性、表面粗糙度、抗表面渗氢能力、熔点、导电性、绝缘性等）应该予以考虑，因为在某些情况下这些性能可能具有决定性意义，如易熔芯模的熔点；

(6) 材料结构在各种加工工艺条件的作用下不应有所改变。

2. 芯模的设计 对于不能拆开的或由几部份组成的芯模，应该保证在最终电铸后芯模和拷贝之间没有机械“锁合”、没有尖角，应该具有供导电的接触部位。对于多次使用的芯模，脱模时芯模和拷贝之间应该没有楔子。在用机械、抽真空、压缩空气挤压、劈开、热冲击等方法之一脱模时，不应

使芯模和拷贝受到破坏。对于用熔化或溶解脱模的一次性使用芯模，要保证没有尖角且必须预留有电接触部位。

3. 芯模表面的改性处理 在芯模与拷贝边界处要保证它们之间具有所要求的，然而又可使其分离的结合力，为此要在芯模表面镀覆分离层。该分离层的物理化学性质由芯模材料、拷贝和溶液（电解液）的特性所决定。

在非金属芯模表面上可用真空镀、化学沉积、喷镀金属、还原氧化物和在气相中还原有机金属化合物等方法镀覆导电层。

4. 电沉积 制造拷贝（供制造产品或器具用）的材料应从电化学的现有水平、技术经济上的合理性、对材料的物理、化学和机械性能的要求等方面综合考虑而定。拷贝材料在电沉积过程中应保持导电性（或在化学还原金属时应具有催化活性），不能使芯模产生变形和容易脱模，允许进行机械加工和能承受使用载荷的作用。在侵蚀性介质中使用时，拷贝材料不应遭受破坏，也不应改变自己的组织结构。

电解液成分及所含杂质的浓度、电流密度、温度、搅拌程度和阳极材料的质量对电沉积层的物理、机械以及化学性能均有很大的影响。电沉积时，应该遵守下列原则：

拷贝在进行加厚电沉积时，电流密度应逐渐升高，而且重要的是要控制电解液的物理化学性能、金属还原时的电动力学参数和所要求的沉积金属的性能。在某些情况下，亦可采用叠加交流电的方法进行控制。

电沉积层中的应力，应控制在使拷贝的尺寸在加厚电沉积过程中不发生变化、且脱模时拷贝应容易和芯模分离而不能出现损坏现象。

对于电沉积金属和合金拷贝所用电解液的成份和电解条