

工业电铸

К. М. Вансовская 著
Г. А. Волянюк

林能春 邓传玉 译
江永安 孙 起 校

兵器工业出版社

工 业 电 铸

[苏] К. М. Вансовская

著

Г. А. Волянюк

林能春 邓传玉 译

江永安 孙 起 校

15406

兵器工业出版社

内 容 简 介

电铸是通过电沉积金属或合金的方法制取精密制品的过程。用此法对制造形状复杂、薄壁、高精度的整体零件具有特殊的意义。由于它的显著的技术与经济效果而广泛应用于许多工业及技术领域。工业电铸是一门有价值而又有趣的金属成形技术。

本书是苏联介绍工业电铸的专业丛书之一，通俗易懂，实用价值很高。可供从事工业电铸、电沉积或电解成形、电镀、电化学加工的工人、工程师、工艺人员、设计人员及专业教学人员的参考。

工 业 电 铸

[苏]К. М. Вансовская

著

Г. А. Волянюк

林能春 邓传玉 译

江永安 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

北京通县向阳印刷厂印装

开本：787×1092 1/32 印张：3.8125 字数：82千字

1991年7月第1版 1991年7月第1次印刷

印数：1—2200 定价：2.75元

ISBN 7-80038-307-5/TG·20

译 者 的 话

电铸技术是一门很有发展前途的制造技术，优点很多，特别适合大量“复制”精密产品的需要。它的“拷贝”能力特别强。

鉴于国内尚未出版过电铸技术的专著，有关电铸的文章散见于有关电镀方面的期刊、书籍或手册内，所以我们选择了这本实用性非常强的小册子，将其全文译出，抛砖引玉。相信技术水平更高、内容更丰富的这类书籍定会不断出现在国内书坛！

《工业电铸》是苏联出版的“电镀技术丛书”之一，从50年代起曾五次（1955年、1975年、1981年、1985年及1986年）再版。再版的内容不是对老版简单地重复，而是大量补充新内容。老版中已有详细介绍或已有结论的，在新版中有的仅简单提一下，一笔带过。此点，请读者注意。

我们的俄文水平本来就不高，又搁置30年不用，生疏、遗忘的程度可想而知。虽然我们在翻译此书中对俄文及技术进行了推敲，但错误难免，有不当之处敬请读者指正。

1990年11月9日于北京

原 书 前 言

近20年来，由于对使用具有特殊性能的金属与合金制造的新型制品的需求，国内外对工业电铸技术的兴趣日益增长。

电铸技术在金属与合金电沉积领域内所取得的成就，使得人们有可能获得具有各种性能，如物理、机械性能，电磁性能和耐蚀性能的电铸制品。这就反映了电铸技术作为适应未来科学技术革命需要的一种新工艺的重要作用。

用电铸方法制造整体性零件的进一步完善，使电铸技术本身获得了一系列的特点，这些特点促使其形成了一种独立的加工方法，即电解成形法。尽管目前还难于准确地区分电铸与电解成形之间的界限，但是，仍然可以在各个领域内列举出一系列运用电铸技术的优越性高精度地复制母模表面的实例。例如唱片模版、印刷用电铸版、皮革压印辊、金属网、艺术品复制等的生产均是。在电解成形中，不仅必须获得精确的电沉积表面，而且还要求获得具有特殊理化、机械性能的一定尺寸的制品。因此，值得特别注意的是这样一些问题，诸如母模结构、沉积金属的成份与沉积工艺规范的选择等，以保证获得所要求的沉积物。

书中列举了电铸技术在工业中的应用实例。

目 录

一、电铸技术的一般概念.....	(1)
二、电铸母模.....	(3)
1. 母模的一般概念.....	(3)
2. 非破坏性母模.....	(5)
3. 破坏性母模.....	(8)
4. 可变形母模.....	(9)
5. 沉积物与母模的分离.....	(10)
三、沉积前母模表面的准备.....	(11)
6. 金属母模的表面准备.....	(11)
7. 非金属母模的表面准备.....	(13)
四、电铸用电解液.....	(16)
8. 对电解液的要求.....	(16)
9. 铜电解液.....	(17)
10. 镍电解液	(20)
11. 铁电解液	(25)
12. 合金电解液	(30)
五、电沉积金属与合金的物理—机械性能和组织.....	(42)
13. 铜的性能与组织	(42)
14. 镍的性能与组织	(48)
15. 铁的性能与组织	(58)
16. 合金的性能与组织	(62)
六、电铸技术在工业中的应用实例.....	(73)
17. 留声机唱片原版与模版的制造	(73)
18. 滤网、滤带、金属箔	(79)

19.精密的磁场零件	(85)
20.压模成型零件	(99)
21.球面镜、球形瓶、牙用假牙床	(111)
参考文献.....	(113)

一、电铸技术的一般概念

电铸就是通过金属电沉积的方法制取精密复制件的过程〔2、12、18〕。但是，近年来，在制造精密复制件的同时，广泛采用的方法不是以追求脱出复制件为目的，而是直接电铸加工成形为整体零件。因此，更确切的定义应该是：“电铸是用电沉积的方法加工或复制物体”。

电镀与电铸的区别在于：电镀是沉积金属与阴极基体牢固地结合；而电铸则是沉积金属最后要与基体金属完全分离。在电镀与电铸工艺之间存在着明显的差别，这种差别首先反映在为沉积的进行所采取的表面准备方面。电镀时，为了保证镀层金属与基体金属牢固结合，沉积应在经过专门处理的除去氧化皮和油污的表面上进行。与此相反，电铸时，为保证金属复制件最后易于脱离金属母模，沉积应在镀复有一种被称为分离层的特殊薄膜的表面上进行。

电铸时，由于铸层很厚，必须采用不同于电镀时所采用的那种电解液和工艺规范，以保证金属迅速沉积。此外，电铸时，对沉积金属的组织与机械性能要求甚严，例如对内应力的要求，力求其内应力保持在最低限度，尤其是当金属从电解液中开始沉积到导电层极薄的母模上的初始时刻，更是如此。

在电铸工艺中，在基本电解工序前，安排一道电化学处理工序，称之为“预铸”。预铸系指往导电层或分离层上预沉积一层金属，直至完全覆盖为止。预铸工序用电解液的成份

和电解规范与主要电解液的成份和电解规范截然不同。

如前所述，电铸工艺在现代化生产中不仅用来从物体表面制取精确的复制件，而且还可以用来加工具有特殊理化性能和一定形状与尺寸的制品。因此应特别注意母模的结构以及金属与合金的选择，以保证获得所要求的沉积物的性能。

所以，电铸时，对一般电镀工艺所不具备的以下几种工序应给以极大的重视，如母模制造，镀复导电层（或分离层），金属预沉积（预铸），金属在主要电解液中快速沉积，加工去除工艺预存量、节瘤和母模的另一些地方镀上的多余金属以及脱模等工序。

在机器和仪表行业，利用电铸模型压制塑料齿轮、圆环及反射器等等。在留声机唱片生产中，电铸工艺被广泛用来制造镍模版。

在无线电和电子工业中，广泛采用电铸技术制造波导管和金属箔。采用电铸技术的方法亦可制造各种直径的管子、蓄电池盒、喷嘴及其它零件。电铸技术为航空及航天工业制造形状复杂精密度高的轻型薄壁空心零件提供了宽广的可能性，例如可以制造飞机螺旋桨防冰装置的端头和保护罩、皮托管、文氏管、火箭发动机的零件、气动力试验装置、火箭隔板、低温压力容器、反射器、波纹管等。

各种工业部门需要大量各式各样的网状制品（筛网、格子、无缝网管、电须刀刀网、带孔套筒）。用电铸方法可以获得需要和各种高强度零件配合的孔的精确尺寸，并保证加工过程的完全自动化。电铸技术被广泛用来制造日用品，如水罐、台灯罩、纪念牌、题字牌、果汁过滤器、钢笔套、饰品附件、别针、钮扣、浮雕装饰品和纪念章。

二、电铸母模

1. 母模的一般概念

电铸母模是为复制成品而专门制作的一种模型。在母模的制作中，存在着两种原则上不同的方法：1)按照实物制作一个过渡性的实物复制件，即母模。电沉积层从母模上剥离后，完全与实物相符；2)直接按照图纸加工。在个别情况下，零件与制品本身就可作为母模。

母模材料的选择及其设计与制造是电铸工艺中最关键的阶段。母模可用不同的材料制造——金属、合金、塑料、蜡、石膏、木材、玻璃等。

随着需被电铸加工的零件形状的不同，母模可分为非破坏性的和破坏性的两种。非破坏性的母模通用于形状简单的制品。对于形状复杂的制品，较常采用破坏性母模。但是，目前愈来愈常采用非破坏性组合(可拆卸式)母模复制复杂断面的制品。

设计母模时，应避免出现锐角、尖棱和深槽。这是因为电沉积过程中，沉积金属在阴极表面分布不均，于是在锐角和尖棱处形成树枝状金属节瘤，而在凹槽处则相反，沉积层非常薄。在脱模时的动力作用下，由于“角部薄弱”零件容易破坏(见图1)。为了预防角部薄弱，轮廓应该倒圆，同时，外部尖角处最小半径约为1 mm，内部尖角处最小半径应不

小于被加工零件的壁厚。有时在锐角处嵌入一个镶块，该镶块后来与金属沉积层贴合在一起。

缓解角部薄弱的另一种方法是钎焊沉积金属层。随着电解液分散能力的提高，其角部薄弱现象也将有所改善。

在制造由若干部分组成的母模时，各部分应仔细研合，接缝处的间隙不得超过0.01mm，否则，在接缝处得不到连续的沉积层。

为了保证零件容易脱模，在非破坏性母模上应沿脱模方向考虑0.025mm以下的脱模斜度。如果零件结构不允许有这种斜度，则母模应该用热膨胀系数低的材料制作，以便用加热的方法保证沉积物和母模具有不同的膨胀程度。

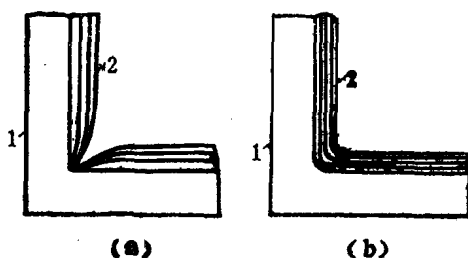


图1 (a)交角处无圆角半径的母模；(b)带有圆角半径的母模。

1—母模；2—电铸沉积物。

用电铸加工形状复杂的零件时，有必要采用不导电的屏蔽装置及辅助阳极。在母模上应设计安置该屏蔽装置和辅助阳极的专用部位。为了完成旨在对增长过多的铸层进行剪切、磨削及其它类型的机械加工，在装夹母模时，这些专门的部位也是必要的。有时，为了便于脱模时施加机械力，也有必要考虑设计这种专门的部位。

复制件表面的粗糙度取决于母模表面的粗糙度。此外，还必须考虑到，母模表面粗糙度愈小，得到的电铸零件愈容易剥离和卸下。母模材料的选择取决于被电铸工件的尺寸公差及其对质量的要求。对于公差要求严格的零件，其母模应用硬质材料制作，这种材料无论在母模制造方面还是在其进一步的使用过程中，都不致变形和收缩。选择非破坏性母模材料的主要准则是保证容易脱模和使用寿命高。因此，必须考虑所选取的材料的机械性能和物理、化学性能。

对母模的机械性能应引起充分的重视。母模的材料应具有足够的硬度、塑性、韧性和耐磨性。母模材料理化性能的选择，应以保证其能经受住溶液的侵蚀作用，不受腐蚀破坏，不与复制件的材料产生相互作用为原则。用来制造母模的材料应该具有在表面形成钝化膜的能力，以阻止基体与沉积金属相互粘着。在选择母模材料时必须考虑其价格和稀有程度。因为电铸制品的价格和电铸方法主要取决于母模的造价。自然，如果能用铸造或冲压的方法制造母模，其成本必然大大下降。反之，如果采用机加方法制造母模，其成本必然随之增高。

2. 非破坏性母模

非破坏性母模可采用各种不同材料制造，例如：耐腐蚀钢、铜、镍、钛合金、玻璃、塑料。这些材料应具有足够的机械强度和耐腐蚀性能，而且经多次脱模不应受磨损。用这类材料制造母模，采用机加方法通常会使其成本大大增高，因此，只有在大量生产中使用，这种方法才较为合理。

用12X18H10T和12X18H9T牌号的耐腐蚀钢制造非破

坏性母模最为普遍。这种母模在与电解液接触时具有较高的耐腐蚀性，无需分离层，因为其表面有一层自然的氧化膜。

12X18H10T 钢的缺点在于其粘性高硬度低，难于机械加工。除此之外，这种钢无磁性，且不能淬火。用这种牌号的钢制造母模，一般难于达到较低限度的表面粗糙度和精确的尺寸。耐腐蚀钢母模的缺点还在于其价格较高。因此，这类母模只有在酸性电解液情况下才使用，以避免母模被腐蚀。

在可以使用碱性电解液的情况下，适于采用 40X13、30X13、20X13、Y8 等牌号的铬钢、工具钢和 10、20、45 号结构钢制造母模。由于铬钢和工具钢硬度高，可使母模制造简化。此外，普通铬钢和工具钢价格远低于耐腐蚀钢，而且易于淬火。

工具钢的缺点在于其在各种电解液中的耐腐蚀性能低，因此，母模表面需要有一保护层，保护金属不受腐蚀。一般牌号的钢要求在其表面镀复一分离层，以保证沉积物与母模易于分离。最常采用的分离层是镀以 $2\sim 5\mu\text{m}$ 厚的铬层。

在某些情况下，用普通碳钢和铬钢制造的母模，其表面镀一薄层紫铜，用于碱性电解液，对母模表面无有害影响。这一紫铜镀层成为一种独特的保护层，保护母模不受酸性电解液的作用。保护层的厚度可根据工艺确定为 $30\sim 50\mu\text{m}$ 。

钛合金与耐腐蚀钢一样，其表面有一层钝化膜，形成天然的分层，可以阻止沉积物与基体牢固结合。

钛合金的主要优点在于其强度高，可以用它制作小截面的长母模。钛合金在一系列的电解液中具有很高的耐蚀性。钛合金母模的另一个优点是重量轻，这一点对于大型零件的制造尤为重要。缺点是价格昂贵，加工困难。

如果要求母模必需用热膨胀系数低的材料制造时，可以采用镍合金(因瓦铁-镍合金和科伐铁-镍-钴合金)。

表面精度要求高的母模可用紫铜和铜合金(黄铜、青铜)制造。这类材料最常用来制造精密电解成形用母模。因为紫铜和铜合金在电解过程中易受腐蚀，所以用这类金属制造的母模，表面应镀铬，以便防止腐蚀和提高硬度并获得分离层，铬层厚度不小于 $10\mu\text{m}$ 。紫铜和铜合金母模的缺点是机械性能不高，价格昂贵。

近来，开始采用铝合金，如硬铝制作非破坏性母模。铝合金母模的主要优点在于容易进行各种机械加工，亦可铸造。

铝母模重量轻，这一点对制造大型零件尤为可贵。

铝母模的缺点是硬度低，因此，只有当零件尺寸偏差允许在几微米范围内时才使用非破坏性铝制母模。

非破坏性母模还可用玻璃和聚合材料制造。用玻璃母模电铸的零件(反射器、球面镜零件)，其粗糙度可以达到最低限度。玻璃母模的主要缺点是制造费用高，材料脆。

近来开始采用各种塑料制作非破坏性母模，从而大大地降低了电铸制品的价格。塑料母模的优点在于其不同溶液中的化学稳定性，并可用注塑或压塑的方法制造。塑料母模的缺点是机械强度低，除此之外，由于材料容易收缩，塑料母模不能用于电铸尺寸公差要求严格的零件。

用来制造这类母模的塑料，通常为环氧树脂与脲醛树脂的混合物。用导电性塑料制造母模具有很重要的意义，这样就不需要再专门镀复导电层。近来，人们采用硅氧橡胶作为母模材料，这种材料具有一系列的优点，即能在室温下硬化，收缩率与疏松度很低，在电解液中稳定，容易导电化，

对金属沉积层无附着力，强度高，有弹性。

3. 破坏性母模

破坏性母模适用于单件生产的电铸。因此，通常选用价格便宜的材料制作。破坏性母模可分为腐蚀型、熔化型、溶解型和机械破坏型四种。

腐蚀型母模最常用铝和铝合金制造，这种材料易溶于氢氧化钠和盐酸(150~200g/L)溶液。

铝合金容易进行机械加工，从而可以保证严格的尺寸公差和较小的表面粗糙度。

铝制腐蚀型母模的缺点是溶解时间长，与其它材料相比，其价格比较高。

用于制作母模的铝合金有高硅铝合金，即Д16、Д17、Д6、Д7、АД1牌号的铝合金。除铝合金之外，腐蚀型母模还可使用锌基合金制造，如IIAM合金，含Zn—78%，Mg—0.2~0.5%，Cu—1%，余量为铝。这种合金能很好地复制母模的外形轮廓，且易于铸造。价格不高的易腐蚀合金IIAM，可在1%的冷盐酸溶液中进行腐蚀。熔化型母模可用这样的材料制造，即这种材料可在比较低的温度条件下熔化去除，且制品本身不致变形。属于这类材料的有易熔合金和蜡的混合物。这种材料具有良好的铸造性能。蜡的混合物在热水或硅酮中熔化后可再次使用，但由于其收缩率大，因此，对尺寸公差要求严格的零件不宜采用。

与蜡制母模相比，易熔合金母模的优点在于其导电性好，收缩率低。大多数易熔合金(熔点60~140°C)，除锡和铅以外，还含有35~50%的铋，这正是镍和铜沉积物变脆的

原因所在。因此，许多文献中建议使用含有92%锡和8%锌的合金。这种合金可以用压模铸造成形，这样得到的母模具有光洁的表面。合金可在250°C温度下从电铸成品中熔出，而且铜、镍制品无变形现象。

蜡制母模既便宜又简单，尤其在大型厚壁零件的生产中得到广泛应用。用来制造母模的蜡，其成份多种多样，如含蜂蜡70%，石蜡10%，石墨16%，松节油4%的混合物；另有一种防缩性混合物，其含松香70%，石蜡10%，蜂蜡20%。这种用于制造母模的材料，在大量生产中可多次重复使用。

溶解型母模可用各种塑料制造，如丙烯酸酯、聚苯乙烯等。塑料母模既可用毛坯直接加工，也可用软化塑料从金属原模上制取复制件，还可采用注塑或压塑的方法获得。

塑料母模经金属电沉积之后，可溶于如三氯乙烷的有机溶剂中。有机玻璃母模在三氯甲烷、丙酮和苯中溶解。聚苯乙烯母模在苯乙烯中溶解。属于这一类的母模还有机械破坏型母模，如用榔头锤击或者借助于液压机(石膏母模)，以及用钻头钻切后用酸性或碱性溶液进行化学溶解的母模。

4. 可变形母模

可变形母模的主要部分是其壳体，它具有一定的弹性，易于从制件中脱出。这种母模通常用聚氯乙烯制作，采用注塑的方法获得所需要的尺寸和形状。壳体内用蜡充填，以保证母模具有一定的硬度和重量。脱模时，先将蜡熔化，然后取出壳体。这种壳体可以多次使用。

这种可变形母模的缺点是只能用于不太精密的零件的电铸。

5. 沉积物与母模的分离

电铸制品与母模的分离方法，首先取决于母模的性质和材料。非破坏性母模可用机械方法与制品分离，例如用各种机械(液压机等)向沉积物一端施加压力或用锐利的刀子、铲凿之类(对于平面零件)使其脱出均可。

除单纯机械方法外，同时也有人采用水加热或用水冷却的方法，但是，这种方法只对母模与制品之间线膨胀系数差别大的情况下较为有效。在某些情况下，制品的分离需要用喷灯加热或将制品放入干冰和有机溶剂的混合物中冷却后分离脱出。

有人提出过一种用电磁力分离电铸制品的方法，这时，母模应该使用弱磁材料制作，或者在非磁性材料制品表面预先镀一层磁性材料。对于小型制品，这种磁性材料的镀层厚度约为 $5\sim 10\mu\text{m}$ 。