

文章编号:1001-3849(2012)01-0018-05

电铸技术及其在电子产品中的应用

刘仁志

(武汉风帆表面工程有限公司,湖北 武汉 430015)

摘要: 电铸技术一直被认为是电镀技术中的一个分支,并且主要用于精密模具的制造。实际上电铸技术在现代制造中已经不只是用于模具制造,而且也是一种直接的产品制造新方法,并且在有些领域具有不可替代性,是一项很有发展空间的电化学工艺技术。特别是在电子产品领域,更是如此。

关键词: 电铸; 精密铸造; 电子产品

中图分类号: O643 **文献标识码:** A

Electroforming Technology and Its Application in Electronic Products Manufacturing

LIU Ren-zhi

(Wuhan Fengfan Surface Engineering Co., Ltd, Wuhan 430015, China)

Abstract: Electroforming had been considered as a branch of electroplating technologies, and was mainly used in precision mould manufacturing. In fact, it was not only used in mould manufacturing but also was a new technology in other products manufacturing, and was irreplaceable in some area. So it is an electrochemical technology with more room for development, particularly in electronic products manufacturing.

Keywords: electroforming; precision casting; electronic products

引言

电铸一直作为电镀技术的一个分支发挥着独特的作用。由于以往电铸的应用局限于模具、模版制造等一个相对专业的领域,使电镀工作者对其既感到熟悉,又觉得陌生。所谓熟悉,是因为电铸的基本原理和设备与电镀几乎完全一样;说陌生,则是因为电镀企业很少接触电铸加工的实际运作,对电铸的具体工艺并不是很了解。实际上,电铸是电沉积技术的三大应用领域之一,并且可以说是电沉积技术中其他两个应用领域即电镀和电冶金(也叫湿法冶金)的综合。随着现代制造技术的快速发展,电铸技术的重要性日益显示出来,已经从原来主要是用于模具制造的领域,向现代制造的许多领

域扩展。同时,一些从事电镀加工的企业也开始承接电铸加工业务,特别是电子产品的制造,已经较多地采用着电铸技术,了解和掌握电铸技术的工艺特点,已经是一种趋势。本文拟就电铸技术的概况和应用加以简要的介绍,以供同仁参考。

1 电铸技术概要

1.1 电铸简史

电铸是利用电沉积方法在作为阴极的原型上进行加厚电镀,从而复制出与原型一样的制品的方法。利用电铸法获得的制品可以是模具的模腔,也可以是成型的产品,还可以是一种专业型材。广义地说,为获得一定结构的较厚镀层的电沉积过程,都可以叫做电铸。

收稿日期: 2011-04-26

电铸最早是由俄国的雅柯比院士于1837年发明的,此后,将电铸技术用于实际生产最早也是在俄国开始的,在1841年的俄国,已经有人对石蜡或石膏进行导电化处理后,用来制作工艺品铜电铸的模具,至今已经有160多年的历史^[1]。19世纪的电铸是以铜电铸为主,限于印刷胎版的复制和雕像、浮雕等工艺品的制作,到20世纪初期,铁的电铸渐渐取代铜成为主流,应用也扩大到橡胶和塑料模具的制作,到20世纪后半期,镍取代铁而成为电铸的主流,应用也扩大到录音原盘、波导管、铸造和注塑模、压模、金属薄膜、金属网格、印制线路板和工艺美术品等诸多方面。

采用电铸制作注塑或压塑模具已经是当代精密模具加工的重要方法之一。一些异型的构件和难以用机械方法精确制作的原型,采用电铸成型法都能精确地复制出原型的模样。电铸不仅能制造用于生产高精度产品的型腔,而且还能生产表面为皮革纹理的大型模腔,例如长度超过10 m的汽车组件^[2]。

1.2 电铸的特点

电铸与电镀的原理基本相同,工艺也相近,但是对镀层的作用和要求不同。电镀对镀层的外观质量要求很严格,特别是装饰性电镀,外观质量是首要的质量指标,同时要求镀层与基体有良好的结合力。而电铸就不一样。就模具制造的应用而言,电铸对镀层的外表面基本不做要求,所要求的是镀层与基体接触的内表面,必须能完全复制原型的表面状态。因为电铸的目的,就是要用所复制的模具来批量制作出和原型一样的产品,因而对镀层的外观基本不作要求,对镀层的结合力,则要求镀层容易从基体上整体脱离下来。

电铸也不同于电解冶金。电解冶金只要求获得还原态的金属结晶,并要求镀层有高的纯度。而电铸则对沉积的纯度没有严格要求,有时为了提高其硬度,还要在镀层中加入提高其机械性能的合金成分。概括起来,电铸有如下特点:

1) 高仿真性。电铸可以精密地复制出原型的细部,尺寸误差很小,仅为 $\pm 0.25 \mu\text{m}$ 左右;模具内表面的粗糙度很低,可以达到镜面光亮,因此,可以以较低的成本和较高的效率制造形状复杂的模具。

2) 应用领域宽。电铸既可以用于各种模具的

型腔制造,也可以用于修复性电铸,还可以直接用于制造产品构件,同时也可以用于制作特殊的材料,特别是一些微小、复杂零件的制造,可以用电铸的方式进行。

3) 材料的选择范围宽。电铸加工所需要的原型可以是金属原型,也可以是非金属原型,且无论是金属还是非金属,都有很多材料可供选择。比如金属从铜、铝、铁到锡、铅、锌以及它们的合金,都可以用于原型制作。而非金属材料则有更多的选择,从各种树脂、塑料到石膏、石蜡等,这些非金属材料原型可以采用非金属电镀技术获得导电的表面。

电铸成型物所用的材料也有多种选择。从理论上讲凡是电镀已经有的镀种,基本上都可以用于电铸。当然从实用的角度,电铸所用的材料主要是镍、铜、铁以及它们的合金等。随着电沉积技术的进步和产品开发的需要,一些新的镀种也可以用于电铸来制造所需要的产品。

4) 节约和高效。无论是从制造模具的角度还是制造产品的角度,电铸采用的都是加法工艺,即将材料根据需要沉积出来,而不是像通常的机械加工中的减法工艺,需要从整块材料中减去多余的部分,从而可以节约宝贵的金属资源。由于可以采用嵌入工艺,可以在非模型部位采用低价值的材料,可批量制作原型或重复使用原型,因而可以批量生产,使效率得到提升。

2 电铸工艺概况

2.1 电铸的工艺流程

电铸的流程可以分为四大部分,这就是原型的选定或制作、电铸前处理、电铸和电铸后处理。每一个部分又都包括完成这个部分的多个子流程或工序。原型的选定前实际上还有一个原型设计的过程,在设计确定以后,才是原型的选定,包括如下流程:原型脱模方式的确定→原型材料的确定→原型的制造→检验→安装挂具。

金属原型电铸前处理工艺流程:除油→水洗→酸蚀→水洗→活化(预浸)→水洗。

非金属原型电铸前处理工艺流程:表面整理→除油→水洗→敏化→水洗→蒸馏水洗→活化→水洗→化学镀铜(或镍)→水洗→检验。

电铸流程:预镀→电铸→水洗→检验。

无加镀工序的后处理流程: 抛光或钝化处理→清洗→干燥。

有加镀的后处理流程: 除蜡(除油)→水洗→活化→镀铬(或化学镀镍)→水洗→干燥。

2.2 电铸的原型

对于电铸过程来说,首先要确定原型,因为电铸是在原型上进行的。因此,如何选定原型和如何根据设计要求制作原型是电铸的关键。

原型根据其所用材料的不同而分为金属原型和非金属原型两大类。根据功能的不同又分为一次性原型和反复使用性原型两大类。采用什么样的原型要根据所加工产品的结构、造型、产品材料和适合的加工工艺来确定。当然,在需方有明确要求的情况下,完全可以按照需要进行原型的设计和制作。对于选定了的原型形式,要采用相应的方法按设计意图加工成原型,以便用于电铸。

原型的制作有很多方法,包括手工制作原型,机械加工制作原型,利用快速成型技术制作原型和从成品上翻制原型等^[3]。

2.3 电铸常用的镀种

用于电铸的镀种基本上是单金属电铸液。如镀铜、镀镍、镀锌、镀铬或镀银等。但是有些电铸也采用合金电镀技术,以满足某些产品的技术要求。每个镀种又因所用镀液的组成不同而又分为若干种类。进行分类的理由是不同的镀种或同一镀种的不同镀液,所电铸出的金属的物理性质有所不同。几种常用的电铸液列举如下:

2.3.1 铜电铸液的种类

1) 酸性硫酸铜镀液。以硫酸铜和硫酸为镀液的电铸液,是最基本的镀液。镀层呈暗红色或红铜色,为了改善镀层的性能,也有加入无机和有机添加剂,使镀层的结晶细化。由于电铸对外观要求不高,因此这种电铸铜仍然在采用,特别是电铸层的脆性比较敏感时,多采用有添加物的纯铜镀液。

2) 酸性硫酸铜光亮镀液。在硫酸铜和硫酸的镀液中加入光亮剂的光亮镀液,可以获得全光亮的镀层,由于这种镀层的结晶非常细致,因此已经在电铸中比较普遍地采用。

3) 氟硼化物镀液。氟硼化物镀铜液的主要优点是可以在较大的电流密度下工作,但是氟化物由于属于对环境有污染的受限使用的化工原料,这种

镀液的采用将受到一定限制。

4) 焦磷酸盐镀液。焦磷酸盐镀铜液的最大优点是分散能力好,可以对形状复杂的制件进行电铸。但其电流效率比酸性镀液略低,且络合剂的废水处理比较麻烦,成本比酸性镀铜高。

5) 氨基磺酸盐镀液。这是可以在较大电流密度下工作的高速电铸铜镀液,但是化学原材料的成本较高,废水处理比硫酸盐镀铜复杂。

2.3.2 镍电铸液的种类

1) 瓦特型镀镍。最基本的镀镍液,可以获得硬度较低的镀层,但电流密度不是很高,因而沉积速度不高。

2) 全氯化物镀镍。全氯化物镀液可以有较高的电流密度,且阳极的溶解性能很好,以保证在高电流密度沉积下金属离子的及时补充。

3) 氟硼化物镀镍。氟硼化物镀液是为了提高电沉积物的效率而设计的镀液,但现在已经不多用,主要是涉及到废水处理的问题。

4) 氯化铵镀镍。是与全氯化物类似的镀液,可能有更好一些的镀层分散性能和抗杂质性能。

5) 氨基磺酸盐镀镍。这是用得较多的高速镍电铸液,可以在较高电流密度下工作而镀层的脆性较小。

2.3.3 铁电铸液的种类

1) 氟硼化物镀铁。氟硼化物铁电铸液的稳定性高,镀层结晶细致,但存在氟离子污染问题,使用受到一定限制。

2) 氯化物镀铁。氯化物镀铁是比较简单的镀铁工艺,存在三价铁影响的问题,也即镀液的稳定性问题,加入各种添加剂可以改善镀层性能和提高镀液稳定性。

3) 氨基磺酸盐镀铁。氨基磺酸盐镀铁是稳定性较高且电沉积效率也较高的电铸液,镀液的成本要比氯化物高。

3 电铸技术的应用

3.1 模具制造中的应用

无论是传统制造还是现代制造,模具都是为了提高生产效率的极为重要的批量和重复生产的工具,因此,从模具制造水平,可以衡量其工业技术水平,而电铸正是模具制造中的一项重要技术,也是

电铸的最重要的应用领域之一。

采用机械或人工的方法制作模具型腔,很难达到原设计的逼真度和精确度,而采用电铸的方法,则可以从精确制作的原型上逼真地复制出与原型一样的型腔,从而获得高精密度的模具。这在录音原盘的制作等对失真要求控制极为严格的产品方面有重要价值,因而电胎版、录音原盘或异型模具等都要用到电铸技术,特别是现代大量采用的精密塑料制品的加工模具,几乎都是通过电铸制造的。

电铸制模的最大优点是快速和准确。对于一个形状复杂的塑料制件,采用机械的方法用金属材料加工,不仅费时费工,还难以完全真实地复制出原设计构想。但是电铸可以先用易加工材料比如木材、石膏或石蜡等,精确地制出原型,再在这个原型上电铸,一个与原型完全一样的模腔就这样制作了出来。更重要的是,现在可以利用CAD和CAM技术,在电脑中对造型进行三维设计,然后再用与电脑联接的自动成型装置快速地制出原型,这种技术与电铸的结合,使新品上市的周期大大缩短。

3.2 现代制造中的应用

随着现代制造业的快速发展,电铸技术的应用从模具制造发展到新型材料和产品的制造,例如金属薄膜、金属网格、线路图形制造及波导管制造等诸多方面。现在,铜、镍、金、铂及银等都可以做为电铸加工的材料,在半导体、CD(MD)或DVD等的磁信息记录、光电子、微电子及DNA增幅器等超精细加工中,都已经有了应用。电铸已经成为电子技术时代的重要加工手段,电铸还是获得一些特殊材料、构件和直接生产特殊结构产品的加工方法。有些制品如果没有电铸法加工,用机械加工的方法制作将很困难,有些制品甚至除了电铸,没有其他办法可以加工出来,比如微波异形波导、泡沫型多孔电池电极片及电动剃须刀网罩等。

采用连续电铸的方法制作特殊金属材料的箔材已经是很成熟的工艺。印制线路板用的铜箔也是采用这种方法加工制作的。波导用的异形管材和特殊电极材料的电铸也都可以看作是型材加工的过程。作为生产铜箔的连续电铸设备与普通电铸设备的最大区别,是连续电铸的阴极在工作中始终是在缓慢地旋转,同时在阴极上形成初始的镀层并达到所需要的厚度后,要从阴极上剥离出料头由

与阴极转速同步的牵引收料卷边电铸边收卷,从而实现连续电铸。

手机电池、笔记本电脑电池、随身听电池及数码相机电池等已经是家喻户晓的电子产品,决定电池寿命的一个很重要的参数是电池内电极的表面积,为了增加电池电极的表面积而采用泡沫镍电极,就是电铸技术制造的。

电铸技术还在医学、考古学、工艺品和艺术品制造等方面有着多种应用实例,其在微电子制造中的应用,更是不可替代。随着微电子产品和微型机器人的出现,以精密加工、微细加工和纳米加工等为代表的精密工程越来越引起人们的关注^[4]。比如计算机芯片、磁盘和磁头及复印机的感光鼓等都要经过超精密加工才能达到要求。民用产品中的许多产品,如隐形眼镜就是用超精密数控车床加工而成的。

但是,随着微细制品的超精细要求越来越高,靠机械方法已经无法加工出类似半导体集成器件的微型结构件。这时,在用树脂制成的异形微空间内或蚀刻出的模腔内利用电铸成型法制做微型金属结构件就成为重要的微加工方法。这种加工方法的原理类似于印制线路板的孔金属化过程,是在非金属或金属腔体的内壁生成电铸层,在去掉外表面的原型后,就可以获得与模腔造型一样的金属阳模成品,采用这种方法已经可以制作微型陀螺仪制件、光纤光导制件等微加工制品。而微控制系统和微型机器人也都是现代科技和工业各领域必不可少的高科技技术工具,这些高科技工具的构件,不少都要用到电铸制造技术。

3.3 电铸技术展望

3.3.1 模具应用进一步普及

可以预期的是,电铸将成为一门独立的专业加工技术,并在更多的领域里获得应用。首先是将有更多塑料制品采用电铸法制做模具,而此前大多数塑料加工模具是机械加工和依靠高级技工手工开出来的,这种相对落后的模具加工方法导致我们的塑料制品的外观、表面粗糙度等都与世界先进水平有着明显的差距。同时,机械加工方法是减法加工,从产品的下料到制造需要预留许多加工余量,还有许多切削废料产生,是一种比较浪费资源的加工方法。随着电铸模具的采用,这种状况已经有了

很大改善,采用电铸的方法制作模具,比用传统的机械加工和人工修饰的方法制作模具更为有效,不仅提高了制作模具的效率,成本也会更低,而且电铸制品更符合原设计的造型和结构要求,这些优点将使其他工业制品也将扩大采用电铸模的份额。

3.3.2 阴模电铸的应用

另一个值得重视的发展将从微加工成型引伸出来的阴模电铸工艺。现在绝大多数电铸的原型都是阳模形式。电铸制品多半是腔体类的,也就是从阳模原型上获得阴模形式的制品,这对于制作型腔模具当然是最好的方法。但是也有一些制品需要从阴模上成长出阳模形式的制品,这时的原型就是阴模。比如泡沫镍电极材料的制作,就是让电沉积物占据泡沫塑料中的空隙,然后去掉作为阴模的泡沫,就制成了从阴模上生长出来的连续金属泡沫镍。从阴模原型上进行电铸存在一定技术难度,要想让金属电沉积物完全填充阴模原型很困难,只有当阴模是开放形式时,才可能完全填充。

目前在微电铸上已经可以做到阴模原型电铸。一些小型标牌、铭牌就采用了阴模电铸模式。另外,微电铸成型加工本身还有很大的发展空间,可以预见,微型机器人的制造将大量采用微电铸技术。微电子器件所需要的微型金属结构也都要用到微电铸加工技术,而这些微电铸加工所采用的是不同于传统电铸的工艺。所谓阴模电铸法则是让电铸层从原型的内表面或者说从阴模的内表面生长起来,最终基本充满阴模,在脱去外面的阴模后,所获得的电铸制品是呈阳模形态的金属制品,这对于作为加工型技术的电铸,是一项重要的技术改进。这里所说的阴模法当然也不是新的发明,阴模法在高浮雕制品的电铸中也都有着实际的用例,这里所说的是在圆雕的阴模内,尤其是基本封闭的腔体内壁生长镀层的方法。如果只生长出一层装饰镀层,那也不是什么很困难的事,但是,如果要形成电铸产品,则要求镀层要有相当的厚度,有时要占据整个空间。比如微电铸中的电铸制品就必须填满整个微孔,阴模完全填充要求在对传质过程、生成的气体的排出及金属结晶形态的控制等方面都要有新的突破。

3.3.3 无模电铸

一个更为令人神往的预测是对无模电铸的期

待。这也许会被电化学专家认为是科学幻想,但是,这种幻想有可能真的会催生出一项杰出的科技成果。

无模电铸之所以有实现的可能,是因为已经出现了一些可以让这种技术成为现实的前沿技术,包括激光技术、CAD/CAM技术及化学镀技术等。将这些技术进行组合,就有可能出现无模电铸技术,而实现这种技术的理论基础也是存在的。我们知道,电结晶过程的理论是建立在一定的电极上的,也就是说电结晶只能在一定的载体上发生,因此如果要想在电铸液中进行电结晶过程,就必须有电极。但是,化学镀技术为我们提供了另一种金属离子获得电子的途径,并且同样可以获得金属的结晶。而化学镀虽然也是在一定的载体上实施才有意义,但是化学镀也存在自催化的情况,当出现某种条件时,化学镀液在没有任何载体的情况下,会自行发生剧烈的还原反应,直至镀液完全分解,这与过饱和溶液中会出现结晶是类似的。对于化学镀来说,当温度过高时,当还原剂过量时,或者当镀液中出现了某种不为人眼所见催化物质时,就相当于出现了达到过饱和状态,这些催化化学镀的因素有时是杂质,有时是光照。

当然,化学镀液的问题是一旦发生自催化过程,这种过程就在全镀液内发生,成为不可控的过程,直到反应终止,这是我们不希望出现的非正常过程。但是这个过程对于无模电铸是一个提示,那就是可以设计出一种镀液,这种镀液是以电结晶为主要工作模式的镀液,但是它又是可以在特定条件下局部被催化而发生化学还原的镀液。就是说,在整体镀液中,某个部分被催化,这个部分就发生金属离子的还原,由于这种自还原只能在很特殊的条件下才能实现,就可以防止一旦某个区域发生了自催化,整个镀液就会被催化的结果。当然要点是不能让这种自催化持续地发生,否则最终会导致整个镀液的自催化而失败。这就要求这个特定区域的化学镀一旦发生,就要接通光导的电化学反应系统,使电化学结晶在先期还原出来的金属结晶上进行,最终形成电铸层。这种特定的区域可以由CAD/CAM技术加以界定,也就是我们可以按需要在镀液内特定的图形内实现由化学镀到电镀的转变,从而实现无模电铸。(下转第25页)

作为电镀企业是否允许生产的重要考核指标,对废气经净化处理后再排放,越来越多地应用在电镀生产线中。

多级喷淋净化处理以及负压式吸风净化系统,越来越多地应用在生产线废气处理中,排放口高度为15~20 m,实现废气净化处理,注重排放、降低排放有害废气,是今后电镀生产厂家必走之路。

废气吸风系统中推行插接式风管连接、圆风管输送吸风,高空排放结构,都对吸风系统节能减排带来明显的效果。尤其是生产线设备整体的封闭,除槽体上方设置吸风外,还采取生产线下送风系统,此结构使生产线内的空间环境,保持在清新的状态,给电镀生产操作人员创造了清洁的工作环境,改变了过去落后、陈旧甚至戴着防毒面具工作的恶劣生产环境。

电镀生产线设计理念,不单单只考虑生产线设备是否好用,有效的废气治理,也作为电镀生产线实现清洁生产、节能减排,设计、制造的新的标准。

7 大负荷电流导电装置的改进

过去很多采用大电流电镀时,往往整流器电源设计很大,但是在电流输送到工件的中间环节存在

瓶颈和导电设计不够,或者随着连续长时间工作,由于接触表面氧化造成导电系统形成点、线接触,使电能不能有效的输送到工件上,造成电镀效果很差,还耗费了电能。尤其在镀硬铬生产中,这个现象更为突出。

采取水冷却V型极座的方法,可以确保在大电流电镀过程中,极座的降温,从而确保电流的输入。设计中采用 $<1\text{ A/dm}^2$ 设计的导电锥盘,增加了导电系统与工件之间的电流输送面积,加上导电锥盘内冷却设计,导电盘 $\theta < 40\text{ }^\circ\text{C}$,很好的解决了大电流导电问题,这项技术已广泛应用在电镀生产线中。

综上所述,实行清洁生产、节能减排不是很复杂的事情。在电镀生产线设计中,遵循低碳、环保的理念,采用先进的工艺和三废治理技术,从原材料、电镀设备、电镀工艺及生产过程中注意,加强管理,控制和减少污染物的产生,采用清洁能源降低能源消耗,电镀行业实现清洁生产、节能减排是很有希望的。

参考文献

- [1] 蔡建宏. 电镀清洁生产技术改造宜从何处入手[J]. 电镀与涂饰, 2006, 12(09): 56-60.

(上接第22页)

4 结 语

电铸技术已经是现代制造中一项不可缺少的加工技术。现在很多产品的加工都用到了电铸技术,从日常生活用品、儿童玩具和各种工业产品到汽车、飞机或航天器上的制品,从传统的机械产品到现代的电子和微电子产品,无不要用到电铸技术。

不过,电铸作为一项与电镀几乎有着同样发展历程的技术,至少在我国还没有引起与电镀一样的关注,这也和多年来我国的制造业落后于世界先进水平有关。同时,我国习惯上将电铸看做是电镀的一个特例,是电镀技术在加工制造中的应用。当然,电铸技术现在也已经很好地利用了电镀技术中的所有进步,包括配方技术、添加剂技术、电镀设备

与测试技术等。

随着现代制造特别是电子制造的快速发展,电铸技术作为一种电成型技术将有很大发展空间,值得从事电镀技术的同仁持续加以关注。

参考文献

- [1] 陈国华,王光信. 电化学方法应用[M]. 北京:化学工业出版社, 2003: 160.
- [2] Stoeckhert K, Mennig G. 模具制造手册[M]. 北京:化学工业出版社, 2003: 348-350.
- [3] 刘仁志. 实用电铸技术[M]. 北京:化学工业出版社, 2007: 124-131.
- [4] 安井学など. マイクロマシニングとしてのニッケル電铸技术的应用[J]. 表面技术, 2001, 52(11): 10.