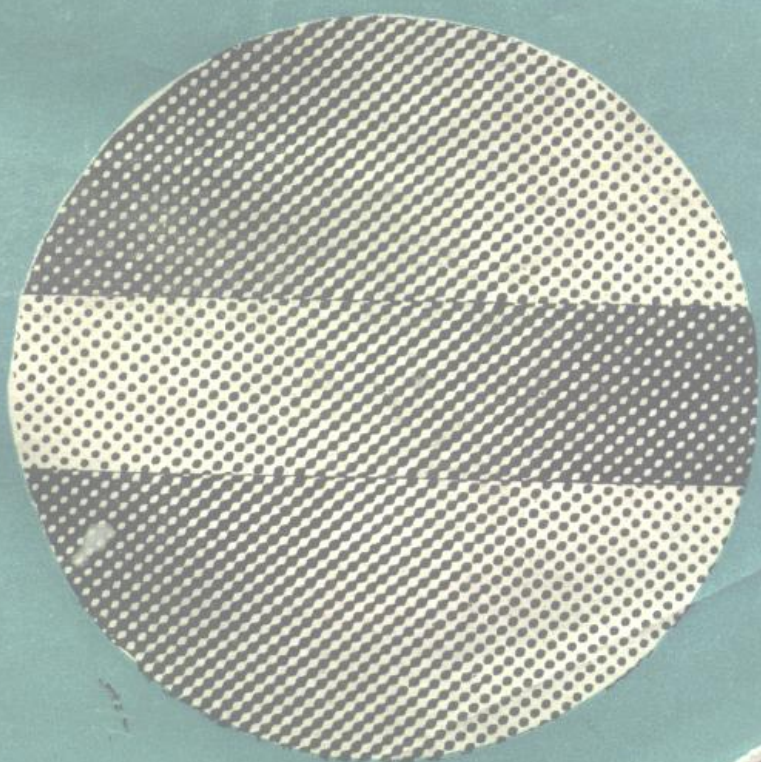


镀镍和镀铬 新技术

〔英〕 J. K. 丹尼斯 著
T. E. 萨奇



镀镍和镀铬新技术

J.K. 丹尼斯
〔英〕 著
T.E. 萨奇

孙大梁 张玉华 苏效轼 译
陈仲伟 翟金坤 孙大梁 校

科学技术文献出版社

内 容 简 介

本书主要包括用于工业镍沉积层的电镀槽液和阳极电镀光亮镍、电镀镍溶液的控制和净化、电镀层的物理机械特性以及测试方法,电镀铬、镍+铬镀层的厚度和腐蚀试验,装饰性镍+铬镀层的组合。自催化镍的沉积、塑料上的电镀、镍合金的沉积、难镀金属上的电镀、高速电镀等方面的内容。可供从事金属表面处理的工程技术人员,工艺师以及高等院校师生参考;也可作为冶金和化学工业方面的教科书。

21132/17
J. K. Dennis, T. E. Such

Nickel and Chromium Plating

Butterworths 1986

镀镍和镀铬新技术

J. K. 丹尼斯

[英] 著

T. E. 萨奇

孙大梁 张玉华 苏效轼 译

陈仲伟 翟金坤 孙大梁 校

科学技术文献出版社出版

(北京复兴路15号)

中国科学技术情报研究所印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行 各地新华书店经售

※

850×1168毫米 32开本 14.375印张 377千字

1990年6月第1版 1990年6月第1次印刷

印数: 1—2200册

科技新书目: 215—091

ISBN 7-5023-1202-1/TQ·9

定 价: 15.00元

译 者 的 话

镀镍从问世到现在已有150年的历史，镀铬比镀镍约晚 20 年出现。长期以来，镍镀层和铬镀层以及全光亮镍加铬镀层体系在表面处理中占有十分重要的地位，其加工的工作量仅次于居首位的镀锌。在70年代和80年代前半期，出现了世界性表面精饰概念的变化。一部分镍铬镀层从白里带蓝锃亮的精饰代之以“黑黝黝”的色调（如：黑铬、黑镍或黑钝化等其它黑化方法）或亮度柔和的“麻溜溜”的外表（如缎面镍）。同时，高装饰性的镍加铬镀层需求量锐减，但功能性方面的应用迅速增加。譬如，经常采用电镀镍（或铜）制造出用其它方法无法加工的零部件，在国防或高精尖的产品以及新产品的试制上都少不了它。刷镀工艺是深入到各行各业对机件修复的一项新颖而快速的手段，当它接通手提式或推车式直流电源后，利用装有吸水包套的镀笔蘸以镍或镍合金镀液后，在现场对损坏的零部件进行修复，恢复其原有使用价值，减少停机损失、避免设备报废，对企业创造财富有重要意义。另外，多种镍合金（如：镍钴、镍铁等）镀层在电子计算机的记忆元件上起到磁性材料的重要作用。锌镍（含Ni10—15%）合金镀层的抗蚀性比纯锌大5—6倍，是很有发展前途的耐蚀性镀种。镍钯合金镀层可以在电子器件的接点材料上代替镀金，节约昂贵的黄金。镍铁合金（含Fe 20—30%）的镀层同样可以镀铬，节约了镍材。还有镍与碳化硅或氧化铝等硬质颗粒材料所构成的复合镀层，可明显地提高气缸等摩擦机械的耐磨性，延长产品的使用寿命。镍与石墨、二硫化钼或聚四氟乙烯微粒等构成的复合镀层，可起到优异的减摩润滑作用。不用电源的自催化镀镍磷或镍硼合金（常称化学镀镍）能够镀敷复杂形状的零件，使镀层内外均匀，起到良好的防护作用，若镀层经中温（250—

400℃) 热处理后更可提高其硬度, 相当于镀硬铬的耐磨性, 它还经常用于塑料制品金属化的底层。由于塑料电镀的问世, 对美化产品或增加塑料产品的功能性带来了广阔的前途。快速电镀也是发展中的新动向, 镀液的湍流或加以激光等措施, 使沉积速度加快几倍或几十倍, 大大提高了现有的生产效率。难镀金属(如: 铝、镁、钛、钨、钼、钽等金属及合金) 的电镀也提供了可能性等。

国内翻译的电镀资料中, 美国和日本的居多, 英国的较少。英国的电镀有着悠久的历史, 它的第一个镀镍专利于1840年就授予了J. Shore氏, 而美国的第一个镀镍专利于1869年才授予I. Adams氏, 比英国晚19年。为此, 有意译出一本英国的电镀专题书, 以供多方借鉴。本书是根据1986年英国出版的《Nickel and chromium plating》第二版本翻译的。作者是英国Auston大学冶金及生产工程系J. K. Dennis教授与英国开宁电镀公司(W. Canning & Co. Ltd) 发展研究部主任T. E. Such先生。Auston大学设有电化学专业, 是英国培养电镀科技人员的基地之一。开宁公司是当前世界上最老的电镀公司, 创始于1784年, 已有200多年的历史, 专门从事开发研究与供应电镀设备、电镀液及辅助液原材料。要问英国的电镀水平如何, 开宁公司是代表性的窗口。本书是英国电镀领域里的代表性著作, 前面所列举的内容在书中均有专题章节作系统阐述, 并经常辅以电镜照片来说明。正如作者在序言里所说的那样, 我们也希望我国电镀工业的新秀读了以后, 觉得这本书对他们有帮助; 电镀工业的行家们会发现本书使他们在这一专门技术领域内跟上时代发展的步伐。

本书由北京电冰箱压缩机厂高级工程师孙大梁、中国科学技术情报研究所副研究员张玉华、中国专利局编辑苏效轼等译, 北京广播器材厂高级工程师陈仲伟、北京航空学院副教授翟金坤审校。由于专业水平有限, 难免还有差错之处, 祈望读者提出批评指正。

1989年3月

原著者序

第一版序言

本书是为科学工作者、工艺师以及专业学生编写的；他们可能有不同的背景，但都希望获得那些重要的工业性镀镍与镀铬工艺过程所依据的基础知识。其范围包括沉积的方法和从水溶液中（用或不用电流）得到这些金属镀层的性质的论述；这些镀层既可以单独使用，也可以叠加起来使用（当今进行的镀铬大部分就属于后面的情况）。本书的重点放在用于沉积这些金属的现代技术；无论它是装饰防护方面还是工程方面的应用。然而，在第1章中对陈旧的工艺作了简要的描述，使人感觉到是现行实践的一个基本的和有趣的入门。

我们期望业已在这个领域内进行工作的科学工作者将会觉得，我们对这门现代技术的评述对他们是有裨益的；无论他们是从事基本原理或应用方面的研究，还是致力于工业方面的应用。必须指出，本书打算提供这样一种标准的资料，即也适用于工业冶金或化学方面学位大学肄业生阅读和作为大学毕业生成为专科科学硕士在腐蚀和防护方面的教材。本书对正在上学的学生被诸如金属精饰学会、腐蚀技术协会、皇家化学学会和冶金学家协会等团体授与资格证书是有帮助的。因此，我们列入了有关的化学、电化学和冶金方面的理论，这些知识对充分理解所阐述的工艺是十分重要的。大部分添加剂产生光亮镍镀层的有机化合物的重要特性概括在附录1中，以便让读者更容易地了解这些添加剂的作用，以免他们被这些工艺的专利性和存在的大量专利搞乱。与电镀生产有关人员从现在可

以得到的替换性电镀工艺及可以用来控制溶液和由这些溶液形成的镀层的技术中取得很多帮助。有关分析方法的附录对 1 升烧杯或 1000 加仑槽子的电镀都是有幫助的。鉴于 SI 制（国际单位制）的到来，所以在本书中尽量使用这种单位，但在看起来合乎需要的地方仍少量沿用习惯单位。

我们编写本书的主要原因是填补存在于金属精饰文献中的空缺。我们认为，除了工作入门以外，缺少一本赶上时代的论述镀镍和镀铬的英国教科书。这种状况可能促使进入这个领域内的新手认为电镀与其说是一门科学还不如说是一门技艺。本书的题材在以前的一些出版物中也看到过，但通常是以主要建立在特定的科学训练的基础（作者受过这方面的培训）这样一种有限的方式处理的。金属沉积不能简单地归入任何一门纯科学范围内，因为它涉及到电解液（化学）和金属沉积层（冶金学）性质这两个方面，而且，当然所得到的工艺过程不同于这两者（电化学）。我们认为，我们的经验结合起来不仅使我们能编写一本适宜于初次接触这种技术的人们的教科书，而且通过尽可能评论所有发表在广泛的、分散的报告中的最重要的资料，包括近期的那些报告，使本书也适合于这个领域内有经验的人员。本书还包括了某些尚未发表的工作和很多新的光学电镜照片。

我们希望能达到这样一个目的，即为读者提供从一本书中获得详细的有关镀镍和镀铬的科学资料的机会，而过去得到的只是分散的和系统的教科书。

I . K . D .

T . E . S .

第二版序言

自从1972年以来，镀镍和镀铬工业发生了影响深远的变化，主要表现在车辆和许多其它耐用消费品上作为装饰目的的光亮镍加铬电镀层的使用大为减少。但是，这种情形通过日益增加的镍镀层在各种工程应用方面的使用而部分地得到补偿。

因此，我们不仅要让第一版赶上时代，而且把补充的重点放在某些方法上，这些方法在第一版发表以来的14年内获得了更多的工业使用。特别是自催化（化学镀）镍沉积、在铝及其它难镀基体上的镀镍，还有塑料电镀和高速电镀等方面较小程度的应用。它们中的每一个，现在都成为独立的篇章。另外，自从第一版问世以来，作为装饰和功能应用的各种镍合金的沉积有了很大发展，因此，觉得有必要把这个课题另辟新章。其它课题，诸如复合镀层和刷镀等，现在也已列入本书，虽然它们在每年镀镍的总量中仅占很小的百分比。通常它们用在非常需要而其它技术又不能适应的地方。

附加材料的列入显然加长了本书的篇幅。如果不从第一版中删去某些材料，就会变得更长，因此，取消了以前的第2章和附录。第2章的大部分内容涉及从电解质水溶液沉积的电化学，这方面的资料可以从许多其它教科书中得到。对任何一个希望研究发表的专利的人，附录1的内容都是可以获得的，并且可以赶上时代，而附录2的分析方法则包含在论述这个课题的书籍和报告中。在许多标准参考著作中，给出了附录3所列的金属性质。

我们希望，电镀工业的新手会觉得本书是有帮助的；电镀工业的行家会发现这个修订本使他们保持在这个专门技术领域内的最新发展方面跟上时代。

最后，我们对所有供给资料或审阅原稿的人表示感谢。

J. K. D. T. E. S.

目 录

第 一 章	前言和历史的回顾·····	(1)
第 二 章	电镀的金相特性·····	(14)
第 三 章	工业镀镍用的镀液与阳极·····	(42)
第 四 章	工程应用·····	(65)
第 五 章	光亮镍电镀·····	(91)
第 六 章	镀镍溶液的控制与净化·····	(132)
第 七 章	电镀层的物理特性和机械特性及测试方法·····	(161)
第 八 章	镀铬·····	(209)
第 九 章	镍加铬镀层的厚度和腐蚀试验·····	(243)
第 十 章	装饰镍和铬镀层组合·····	(272)
第十一章	自催化镀镍·····	(319)
第十二章	塑料电镀·····	(339)
第十三章	镍合金的电镀·····	(373)
第十四章	难镀金属上的电镀·····	(396)
第十五章	高速电镀·····	(431)

第一章 前言和历史的回顾

要给基底金属提供一层薄薄的，具有某种（或某几种）优良的表面涂层，最理想的手段是采用电镀金属的方法。例如，镀敷了一种合适的电镀层，那么就可以采用更便宜和更结实的基底金属，也能达到良好的抗腐蚀的目的。

电镀镍就是上述一类金属中所包括的典型金属。为了装饰和保护的目的，它常镀敷到廉价的钢冲压件上，或是锌压铸件或铝合金上。压铸是大批量生产与原件的尺寸严格一致的复制件的一种很经济的手段，但是所用的合金没有某种形式的保护层就不适合在腐蚀性的气氛中使用。1980年资本主义国家电镀工业中消耗的60,000吨镍材中，约有90%都用于可廉价生产或更结实的基底金属上镀以薄的具有抗腐蚀并常有装饰作用的镀层。这种类型的镍层，大部分随后要镀以铬，以形成大家所熟悉的镍加铬镀层体系。

当在镍固有的灰暗外观并不重要的条件下，镍镀层可以作为抗腐蚀而单独使用，但镍层主要还是提供装饰和保护两方面的作用。如果要求得到光亮的外观，那么在镀铬之前，必须将暗淡无光的镀层抛光到高光洁度，由于抛光操作非常昂贵，用作装饰作用的一大部分镀镍现在是在全光亮的条件下电镀的。这种镀层是从含有无机成分加上有机化学物质的溶液中获得。这些添加物质不仅能改变镍镀层的结构，使之不再需要抛光，而且许多添加物质还具有填补刮擦痕迹（即所谓“整平”作用）的特性，这种特性也能够消除或减少基底金属所要求的抛光工作量。不同种类的这些溶液能给出光亮平滑的镀层，并且构成了现在工业应用中的绝大部分镀镍液。

然而，这并不意味着降低镍镀层在其它使用上的重要性。确实，它们在经济上是很重要的。通常，一层薄薄的镍镀层，它作为

阳极金属来说，在重量和费用上都是非常小的，但可以用来修复昂贵的零部件，否则就会报废。还有大的涉及到昂贵的机加工和热处理的工程部件，损坏了，磨损了或加工超差了，这可能只发生在其表面上的一个小小的部位上，那么就可以用镍累积在这些部位以恢复其原始尺寸，从而得到补救。如果需要很厚的镍层，那么这种修复工作就需电镀上比所要求的还要多的镍，然后再机加工到所要求的尺寸。很明显，这种操作是否经济合算，还要看与重新制造一个新部件所花成本相比较而定。

厚的镍镀层给金属表面所增加的优点还不只是能更好地抗腐蚀，而且从特定类型的镍镀层还能得到更强的抗磨损性能。这些优点现在已用在许多新的和修复性的部件上（这些问题将要在第四章里讨论）。镍镀层的高超耐磨损特性还可以再电镀一层厚的铬层来进一步增强，这就是工程师们所说的硬铬层。

电铸，就是用电镀的方法制造整个零部件。镍是用电铸方面最常见的金属，因为镍可以镀成有韧性，低应力并具有中等硬度的形式。电铸件的硬度与强度都高，在环境温度及提高温度条件下都是如此，它可以由专门的溶液来生产，由这种溶液可以镀出改变了结构的镀层，这种结构的改变可由溶液中加入无机的或有机的化学物质，或是由溶液中加入其它合金成分的金属来完成。有时候，电铸件的厚的外皮再盖上一层更厚的铜层，铜虽然比镍更软，但可以比大多数类型的镍液镀得更快。在电铸镍壳上覆盖金属的另一种更快的方法是向外壳上浇铸一层低熔点合金，或是用火焰喷镀具有较高熔点的合适的合金。电铸件的工作表面还可以在芯膜取出以后，再镀以铬。

镍作为功能上的应用，不论是作为电镀层，或是作为电铸制品，正在稳步增长，这一方面是因为这种金属电镀层所固有的优点，或者是因为它的性质还可被各种技术改变得适宜于设计工程师和生产工程师的要求。如在第四章上所述，这种性能的多样性使得电镀模具可用来浇铸金属和玻璃，以及模注塑料。用镍来电铸筛网

也是一门发展的工业，因为这样制成的网，按其孔眼尺寸和形状，可以有非常广泛的用途。

已经说过，1972年到1976年间，欧洲电铸镍市场规模增长了一倍，并且以后仍继续不断地增长。这种增长，部分地补偿了镍电镀作为光亮镀层的传统使用量的下降，这种下降的部分原因是，世界工业品出口量虽只是在写本文时才明显地减少，但是早在目前所发生的贸易衰退之前就已经发生了。私人汽车和家庭耐用品光亮精饰的部件的数目与大小，作为一种政策性的趋势，已在减少。这种政策部分地是受到了要改成黑色或彩色的精饰面的愿望的影响，部分地是受到了对汽车的新的安全要求的影响，但也是企图降低加工成本的结果。这些因素综合在一起，就造成了作为装饰镀镍层使用的增加，过去10年中，这种金属作为电镀用的世界用量仍然是稳定的。

我们将注意到，对大部分装饰或抗腐蚀来说，在许多工程应用中，或有时在电铸时，镀镍都带一层铬层。因此，不可能把镀铬和镀镍分离开，所以尽管本文是讨论镍的电镀，但只要有关系，我们也要讨论铬的电镀。

重点是关于镍的电镀，但第十一章将要讨论以化学还原方法的自催化镀镍（化学镀镍），因为这是一种有价值的、正在广泛应用的方法。当制品形状复杂时，由于电镀过程的本身的原因，不能在整个制品的表面上得到均匀的镍镀层时，化学镀镍则能给制品镀上均匀的镀层，镀上的镍合金的性质通常也都是优良的。

虽然相对来说，电镀是一门年轻的学科，只有180年的历史，但第一次电镀镍是在150年之前，电镀铬还要晚20年。然而，这种技术只有在最近70年才有很大的进展。这些进展，再加上早期开创性的工作，都是工业上目前所应用这种方法的极为生动的历史序曲。

电镀镍的历史

电镀镍的叙述首见于1837年，G. Bird氏^[1]电解氯化镍或硫酸镍溶液几小时后，在铂电极上获得了一层金属镍。1840年，工业上镀镍的第一件专利授给了英国J. Shore氏^[2]，他确定了硝酸镍的溶液。不久以后，几个研究人员公布了他们的实验结果。英国的Smee氏（1841），法国的Ruolz氏（1843）和德国的Bottger氏（1843），都是首批研究者。Ruolz氏使用了氯化镍或硝酸镍，而Bottger氏公布的结果，首次叙述了基于酸式硫酸铵的溶液，这个溶液是从以后70年中主要用于工业的溶液，只是有了些变化。然而，G. Gore氏（1855）似乎首次公布了中性硫酸镍铵电镀液的细节^[3]（硫酸镍铵通俗地称之为双镍盐）。Beiquere氏也于1862年公布了工艺过程。使用的浓度为70—80克/升，当然，也可能使用过量的氨。因此，虽然于1858—1860^[4]年间在哈佛大学的实验室中使用了这个过程，但真正的荣誉或许要给予开发这个过程的美国人I. Adams博士。由于1866年他电镀了煤气喷灯嘴^[5]，所以可以肯定地说，他是第一位使之工业化的人。

1868年，波士顿的W. H. Reming氏使用氯化镍铵溶液开始了工业规模的镀镍，但遇到了运转困难，大概是由于在镀液中使用了过量的氨。他首次叙述了^[6]电解镍阳极的使用及盛有镍块的不溶解的阳极篮（在这个例子中阳极篮由铂制造）的使用，尽管镍块是不纯物，内含5%的铜和近1%的铁。

其间，Adams博士致力于完善他已取得的主要专利的技术，该专利于1869年公布^[7]，是有关硫酸镍铵镀液。由于这专利再加上他经营上的才能，使他的公司实质上垄断了工业镀镍达17年之久。

这种专利要求保护的基本点是，镍溶液应当不含钾、碱、钠、氯化铝、石灰或硝酸，或无任何酸或碱的反应，制备这种溶液的方法已经详细地叙述过。他的竞争者声称，这实质上就暗指必须使用

纯的硫酸镍铵，但Adams氏的专利中涉及到的中和性大概是一个新的重要特征。这种类型的镀液肯定是和Adams氏连在一起，而且，从他首次介绍这种镀液开始，镍的电镀才第一次成为工业上能行得通的操作。因为这一点，并且因为Adams氏大力宣传，镍的电镀成为当时整个工业世界都能用的技术。

1869年秋天，Adams氏访问了欧洲，并在欧洲出售他的技术。在利物浦（英国）马上就建立了一个小的实验性镀槽，不久（在12月），A. Gaiffe氏就在巴黎建立了一个2000升的镀槽。1870年春天，在伯明翰又建造了一个同样大小的镀槽，这一点可以在Bouse和Muncher两人的著作中找到。因为1873年他们报告说他们用了从美国进口的Adams溶液，并用含有6—10%铁的铸镍阳极。为了能得到良好的镀层，要用多达15小时的电镀时间。1873年，Adams氏就一项基于利用硫酸镍的电镀方法取得了专利。1878年，Weston氏就添加硼酸取得了专利，而1879年Powell氏就添加柠檬酸和苯甲酸作为添加剂取得了一项专利。

大约在1880年，Pfanhauser氏在维也纳，Canning公司在伯明翰制成了电镀用的镍盐。在Canning公司1889年出版的头一本手册中，描述了每升100克的双镍盐制成的中性镀液的制备方法。在与手册同时出版的目录中，也列上了单镍盐（硫酸镍）。

Canning公司在他们1891年的目录中公布，它们的盐和阳极中没有铜和铁。在19世纪90年代，用硼酸作缓冲剂，用氯化物作为阳极腐蚀剂，更普通一些，但还远不是普遍采用。虽然1900年Canning公司列出了双镍盐和单镍盐，硼酸，柠檬酸和氯化钠适用于电镀镍，但他们仍然选用中性硫酸镍铵溶液，这是在室温及低电流密度下应用的，要求电镀时间是4—5小时。Langbein和Pfanhauser两人在当时的著作中说，只在他们的某些配方中才用硼酸和氯化物。然而，1906年Bancroft氏强调，在镍镀液中必须要有氯化物离子，以保证阳极的腐蚀充分。Foerster氏在1897年和1905年早已描述过在高电流密度下于热的溶液中使用硫酸镍或氯化物。

1910年, Canning公司提出了一种获得专利的混合物, 含有硫酸镍。这种混合物在不超过16°C的温度下使用, 浓度为237克/升, 并且可以在两倍于双镍盐情况的电流密度下工作, 但它说必需要有一个伏特计和一个安培计, 并要99%纯度的阳极。虽然这种镀液的组分没有公开发表, 但它基本上类似于威斯康辛大学的O.P. Watts教授1916年提出的配方。Watts氏发表了一种镀液的配方^[10]。这种配方经受了时间的考验, 甚至现在的大部分工业上的电镀操作中仍在使⽤, 只有很小的一点改变。他建议在今后使⽤更高的电流密度时, 加热使⽤以下的溶液:

硫酸镍 $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	240克/升
氯化镍 $\text{NiCl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	20克/升
硼酸 H_3BO_3	20克/升

Watts教授全面地描述了这种溶液优于双镍盐方式之处, 故这种溶液及其改进型就用了他的名字来命名。Watts教授强烈建议这种镀液要用热的, 但他并没有提到搅拌问题。因此, 虽然Watts型镀液及其可变量, 通常是其中一种、两种或三种的浓度增加。随着时间的推移已逐渐被接受, 作为工业电镀过程——亮镍和暗镍——但到目前为止, 英国和美国在搅拌的具体做法上还是不同的。到20世纪20年代末, 英国的电镀人员开始采用空气搅拌, 但直到30年后, 这种做法在美国才得到普及。

1931年, 从比较了两篇同时代的文章后, 就可以看到英国和美国最好的具体做法有何异同。欧洲作者^[11]在文章中赞扬使⽤空气搅拌同时要过滤, 而美国人^[12]则担心搅拌会造成故障。然而, 在1931年欧洲和美国大部分的镍镀液还仍是在室温下操作, 并且没有搅拌。

表1.1给出了典型的操作条件, 我们将注意到, 在该表中按pH标尺上给出了酸度值。用pH值来控制镀镍液, 是1921年首先提出来的, 到20年代末, 就成为一种普通的工业方法了。

英国和美国都使⽤Watts型镀液, 用这种类型的镀液, 现在已

表1.1 从前所用的镀镍操作条件

国 家	温 度	电 流 密 度	pH 值
英 国	32—35℃	2—2.5安培/分米 ²	5.6—5.8
美 国	50—55℃	3—4安培/分米 ²	5.2—5.5

得到亮镍层。然而，工业上首次光亮镀镍似乎是由双镍盐溶液得到的，大概这种溶液含有少量的镉来作为光亮剂。Canning 公司在他们1910年的目录中，肯定叙述了一种叫做Veleto的镀镍方法，这种方法据说是能在5到10分钟内给出极端光亮的镀层，而无须进一步抛光，并在最多30分钟的任何时间内，可给出最亮和最白的镀层。这可能就是所说的1912年在伯明翰Elkingtons氏所用的同一类型的溶液^[13]。我们马上就能发现，少量锌盐的添加剂具有同样的光亮效果。其它研究人员表明，葡萄糖、甘油、tragacanth胶（可能是tragacanth黄蓍胶之误——译注）和阿拉伯胶也有助于产生光亮的镍层。这种镍层只有在非常薄时才非常亮，并且由于太脆，故其广泛应用受到了限制。在这两方面，芳香族的磺酸盐证明能给出更优异的光亮度。Luts和Westbrook两人就这些组分首次取得了专利权^[14]。然而，Schlötter氏在1934年前把他的方法推向市场之前，亮镍还没有成为各类制品大批量生产的一种工业现实。Schlötter氏的镀液及其改良型镀液很快为工业界所采纳。1936年提出了另一种镀亮镍的方法，这种方法是基于一种镍钴合金的共沉积。它是对有机型方法的一次严重挑战，但由于成本较高而已逐渐消失了，它的优点是具有非常好的延展性。

镍钴合金镀液的消失，造成了目前市场为有机型光亮剂所统治。许多研究工作，使得1934年Eckelmann氏首次假设与理想的亮镍电镀过程的许多特性得以实现，这些研究工作，大大地改善了这些有机光亮剂（这些发展将在第五章里讨论）。可以说，第一个真

正有整平能力的溶液就是在1945年提出来的，但它只能得到半光亮的镀层，还需要抛光。不久以后，又研究出了有整平性的而且是全光亮的方法，现在大多数工业用镀镍都用这些方法。半光亮的整平镀层是双层镍镀层的主要部分，从而改进了其抗腐蚀性能。在光亮度和整平性方面，光亮整平过程可能已经达到了其极限程度，现在研究的趋向是要给出所要求的各种性质，但要没有给出脆性，应力和灰暗度的不利影响，灰暗问题在低电流密度区出现是特别使人头痛的事。如果电解过程中有机化合物分解，这些缺点就更加突出，以后我们还要讨论。

除Watts型镀液之外的许多其它的镀液也在实验室中研究过，并已有文献报道。然而，除了基于氨基磺酸镍的镀液之外，或处于更次要程度的基于氟硼酸镍等，其它的溶液看来没有什么主要的优点，即使对特殊的应用来讲也是这样。因此，虽然Watts型镀液用了70年了，看来上述这些溶液还是不能代替Watts型镀液。Watts氏溶液已构成了镍铁合金电镀所用的那些镀液的基础。在70年代（20世纪）初期，镍铁合金电镀又被重新提出用以生产廉价的光亮而整平的镀层，代替纯镍电镀，因此在市场的某些领域已占据了一定的地位。

尽管为了工程目的，首次使用厚镍电镀时就用的是双镍盐溶液，但这种溶液很快就被Watts型镀液代替了，到现在，Watts型镀液仍是工业电镀中用得最普遍的，尽管氨基磺酸镍溶液现在也广泛地应用着。当需要的时候，由这两种溶液的任何一种得到的镀层性质，都可以用共沉积硬的颗粒而改变，形成所谓“复合”镀层。然而，工业上所采用的技术在很大程度上还依靠着早期的开创性的工作。第一次世界大战期间，英国陆军和空军的工厂就采用各种金属——铁、镍、钴和铜——的厚镀层来进行修补及修复工作。Fletcher, Havelock 和 Melare 等人是这个领域中重要的工作人员，和其它人一起负责研制一种更先进的方法对钢件去油和清除氧化层，以便能使厚的镍层有良好的结合。Fletcher 氏特别研制出了钢件在硫酸