

低温下纳米 TiO_2 制备研究进展

王彬¹, 闫军¹, 杜仕国¹, 崔海萍²

(1. 军械工程学院三系, 河北 石家庄 050003; 2. 军械工程学院基础部, 河北 石家庄 050003)

[摘要] 纳米 TiO_2 作为一种光催化材料在多种领域内具有极为广泛的用途。然而传统的制备工艺一般需要高温烧结, 制备这类材料需要耐高温的基底, 这就限制了其使用范围。另外, 高温烧结易使晶粒长大, 限制了其光催化活性, 因此低温下制备 TiO_2 材料具有重要的意义。综述了在低温下纳米 TiO_2 的制备方法, 主要包括水热合成法、低温液相法、脉冲沉淀技术、微波水热晶化法和自组装方法。分别评述了这些制备方法的具体特点和有待解决的问题。

[关键词] 纳米 TiO_2 ; 低温制备; 研究现状

[中图分类号] TQ042

[文献标识码] A

[文章编号] 1001-3660(2007)06-0066-04

The Development of the Nanometer TiO_2 Preparation at Low Temperature

WANG Bin¹, YAN Jun¹, DU Shi-guo¹, CUI Hai-ping²

(1. the 3rd Department of Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

(2. Physics and Chemistry Section of Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

[Abstract] Titanium dioxide thin film as a kind of solely catalytic material has extensive application in several fields. However, the traditional preparation technology needs the high temperature sintering normally, this kind of film needs high temperature resistant base, which has restricted its scope of application. Additionally, the high temperature sintering makes crystal grain grow up easily; it is active to have restricted smooth photocatalysis. This article represents the method of preparing nanometer titanium dioxide at low temperature, and individually corresponding features and problems are analyzed. Existing state of the study, especially the main tendency in future is also described.

[Key words] Nanometer TiO_2 ; Preparation at low temperature; Tendency

0 引言

半导体 TiO_2 作为 1 种廉价有效的光催化剂, 其制备和性能研究受到人们的广泛关注^[1-5]。锐钛矿和金红石是 TiO_2 的 2 种重要晶相。锐钛矿型 TiO_2 由于具有好的光催化活性而广泛应用于光催化领域。与锐钛矿型 TiO_2 相比, 金红石型 TiO_2 虽然光催化能力不高, 但因其具有更好的物理化学稳定性、高的光折射率、很强的遮盖力和着色力, 广泛应用于光学材料研究、涂料、化妆品等多个领域^[6]。

传统 TiO_2 材料的合成方法主要有溶胶-凝胶法^[7]、物理或化学气相沉积法、电化学法等。其中, 溶胶-凝胶法是目前研究得最多的制备方法, 也是制备 TiO_2 最常用的方法。但溶胶-凝胶法在后处理过程中需要高温烧结, 不能在不耐高温的基底材料(如 PET 等有机聚合物)上制备。因此, 在实际应用中有一定的限制。目前在不耐高温的基底材料上制备 TiO_2 材料的方法包括: 1) 化学气相沉积方法(CVD)^[8-9], 可以在任何耐热基体上

制备 TiO_2 材料, 得到的材料品质优良。但该方法所需设备较复杂, 并需严格控制工艺参数, 成本较高; 2) 物理气相沉积法(PVD)法, 制备的材料性能优良, 是工业上广泛应用的方法之一。但该方法的缺点是制备过程需要真空系统、设备价格昂贵、制备成本也较高, 因此, 要实现大规模的工业应用还有一定困难; 3) 粘接剂法, 是用粘接剂将 TiO_2 颗粒粘接到基材上制备 TiO_2 材料的方法。该方法的主要优点是可以在不耐热的载体(如塑料)上或面积较大的载体(如建筑内墙)上承载光催化剂, 其难点在于: 在不损失所要制备 TiO_2 材料的光催化活性的前提下, 如何使所制备材料具有适当的硬度和粘接强度而不破坏所使用的粘接剂, 所以该方法的关键点在于选择适当的粘结剂。

传统制备 TiO_2 纳米材料的方法一般需要经过 500℃ 以上高温处理, 才能获得晶型, 存在制备过程温度高、能耗大等缺点。因此能否在低温或常温下制备 TiO_2 纳米材料是今后研究的必然趋势和发展的必然方向, 对 TiO_2 纳米材料的制备工业将会产生革命性的影响。本文对报道的几种低温或常温下制备 TiO_2 纳米材料的方法作了阐述和比较。

1 低温下纳米 TiO_2 制备工艺以及特点

1.1 水热反应低温制备高活性 TiO_2 材料

水热合成法是制备氧化物纳米晶的重要方法, 该法是在密

[收稿日期] 2007-07-05

[基金项目] 国家自然科学基金(50572122); 军械工程学院基金(YJXXM0626)资助项目

[作者简介] 王彬(1982-), 男, 河北唐山人, 硕士, 主要从事军用化工新材料研究。

闭体系中,以水或水-有机溶剂混合体系为溶剂,在一定温度及溶剂的自生压力下,原始混合物进行反应,通常是在不锈钢反应釜内进行。在这个密闭体系中,其压力主要依赖于体系的组成和温度。在水热条件下发生粒子成核和生长,生成可控形貌和大小的超细粉体,制得的粉体具有晶粒发育完整、晶粒粒径小且分布均匀、无团聚、不需煅烧过程等特点。

赵晓红等^[10]以三氯化钛水溶液及蒸馏水为主要原料,在不锈钢水热反应器中恒温陈化(65~120℃,11~144h),将所得的沉淀离心、蒸馏水洗涤数次,然后在80℃左右进行干燥即可获得TiO₂晶体粉末。余家国等^[11]的相关研究结果表明,通过水热方法不需要经过任何热处理就能制备结晶良好的锐钛矿相TiO₂粉末,160℃水热反应3h或180℃水热反应2h制备的TiO₂光催化剂显示出高的光催化活性,其光催化活性比DegussaP25高3倍多。

魏雨等^[12]利用TiCl₄为原料,通过水解、静置11d,离心分离、远红外干燥箱中烘干,直接获得了金红石型TiO₂纳米晶须。通过XRD谱,证明产物为纯相金红石,透射电镜照片表明绝大多数粒子长度超过100nm,直径为6~8nm,相应的选区电子衍射图证明针形晶须为单晶。

Wang C C等^[13]以钛酸异丙酯(TTIP)为原料,采用溶胶-凝胶合成及水热后处理(80~240℃)的方法制备了锐钛矿及金红石晶相的纳米粉末,考察了H₂O与TTIP的用量比值、酸度及水热处理温度、时间等反应条件对产物形貌的影响。

1.2 低温液相法制备TiO₂纳米材料

Gao Yanfeng等^[14]提出一种制备纳米TiO₂的新方法:首先通过H₂TiO₃、NH₃·H₂O和H₂O₂得到过氧钛酸盐溶液作为后续反应的起始原料,把这种原料在接近室温的条件下干燥就可以得到无定型的TiO₂粉末,在300℃干燥可以得到锐钛矿型TiO₂粉末,在850℃下干燥可以得到金红石型TiO₂粉末。这种方法简单、条件温和,应用在TiO₂合成工艺有广泛的前景。

Yang Shaofeng等^[15]在室温常压的酸性条件下制备了金红石型纳米TiO₂颗粒,避免了由锐钛矿型向金红石型的转变过程。此制备过程包括2个阶段:沉淀过程和成溶胶过程。沉淀过程中的Ti⁴⁺经过重新定向排列,在成溶胶过程中形成晶体。其研究结果表明:低的成胶温度有助于金红石型TiO₂的形成,与此同时,在成胶温度高于70℃时将伴随着锐钛矿型TiO₂出现。而纳米TiO₂颗粒的结构和尺寸也受到沉淀过程的影响。在室温酸性条件下金红石型TiO₂的形成机理可以由“生长单元”理论加以证实。

窦焰等^[16]提出利用体积比为1:7.4:4的钛酸丁酯(TNB)、乙醇和硝酸室温制备锐钛矿型TiO₂纳米材料的方法。控制钛酸丁酯与硝酸比为1:4,恒温回流2h得到透明的溶胶。采用浸渍提拉法(提拉速度为6cm/min)在经过预处理的玻片表面上涂膜^[17-19]。XRD表征结果显示,60℃热处理后TiO₂纳米粒子为锐钛矿型,SEM、TEM图谱显示其平均粒径为10~20nm,且具有良好的成膜性。制备的TiO₂纳米薄膜具有光催化氧化脱色活性高、亲水性好、附着力强、耐腐蚀性好等特点。

彤建娜等^[20]以TiCl₄为原料,加入氨水得到Ti(OH)₄的浑浊液,然后通过加入H₂O₂溶液、采用油浴加热合成的方式低温制备了纳米级的TiO₂粒子,粒子在水溶液中的分散相对均匀,

主要以锐钛矿晶型存在。其研究表明:随着热处理温度的升高,锐钛矿晶型的XRD峰度增强,结晶更加完善,在不同温度下得到的各样品的晶粒相差不大,都在7nm左右。这种水溶液在低温干燥所得的TiO₂粉末具有较大的比表面积和良好的光催化性能。

彭人勇等^[21]以TiCl₄和氨水为原料,低温下成功地制得了TiO₂溶胶。TEM和XRD测试分析结果表明:颗粒粒径在10nm以下,晶型为单一的锐钛矿型,随温度升高,结晶度提高。降解实验结果表明,在温度等于或大于80℃时,回流制得的溶胶具有良好的光催化活性。所得溶胶在碱性条件下不稳定,但在酸性环境和空气中较稳定,可以长期储存。

Yan Hu等研究者^[22]提出在室温下、酸性溶液中水解钛酸丁酯来制备锐钛矿型TiO₂溶胶,通过控制回流得到不同类型的胶体。研究了不同pH值对形成TiO₂溶胶粒子的晶型、形态以及大小的影响。在室温的环境中,可以通过浸渍涂布的方法使所制TiO₂溶胶沉积在石英玻璃上从而得到晶态的TiO₂薄膜,基底的薄膜厚度可以通过连续浸渍的方法使其增加。

1.3 脉冲沉淀技术制备TiO₂涂层

Lackner J M等^[23]采用脉冲沉淀技术在室温下制备TiO₂涂层。研究了不同的沉淀条件对涂层结构的影响,通过X-ray衍射发现涂层的结构处于单斜晶β-TiO₂和无定型TiO₂的阶段。由于作为TiO₂涂层的基底物具有高粘结性和光滑的表面,TiO₂涂层的摩擦因数大约为0.55,磨损速率低于10⁻¹⁵m³/(N·m),表明用脉冲激光沉淀法制备的TiO₂涂层在磨损保护方面的应用有良好的前景。

Sharma A K等^[24]提出在室温下以玻璃和硅为基础,用激发原子脉冲激光制备TiO₂薄膜。AES显示在不同波长的脉冲激光下沉积形成的薄膜具有不同的晶型,退火处理的薄膜在波长1064nm脉冲激光下是锐钛矿-板钛矿或金红石-板钛矿型。然而没有经过退火处理所得到的3种晶型在波长为355nm脉冲激光下消融。之所以得到不同的晶型是由于不同的TiO₂晶型的等离子体激发温度不同造成。

1.4 微波水热晶化制备纳米TiO₂光催化剂

种法国等^[25]提出室温下微波水热晶化制备纳米TiO₂的工艺,以TiCl₄、KOH和三乙醇胺(TEA)反应得到Ti(OH)₄白色胶体,将胶体移至微波加热反应釜中,加入一定量的去离子水,进行微波水热晶化反应。结果表明:随着反应釜内压力的升高,锐钛矿型TiO₂的含量也升高;反应时间越长,结晶度越高,晶粒发育越完整,同时,随着反应时间的增长,晶粒的粒径也变大。将微波场引入到水热反应中,能使水热反应釜均匀迅速地升温,大大消除了温度梯度的影响,同时有可能使沉淀相在瞬间萌发成核,TiO₂胶体颗粒迅速地发生晶化,在3.5h以内形成了粒径为纳米级的锐钛矿型晶粒。水热反应温度越高,水热晶化反应速度越快,晶粒发育也越完整,但是所制备的TiO₂颗粒之间存在着较严重的团聚现象。另外,微波水热法制备的锐钛矿型TiO₂表现出的光催化活性高于以溶胶-凝胶法制备的TiO₂。

1.5 自组装方法制备TiO₂材料

自组装方法制备薄膜或涂层材料的主要途径就是利用功能化表面对无机物在表面的沉积进行诱导。表面功能化就是使基

片上带有有机功能基团,利用它来调节和控制前驱体在表面上的成核和生长。现有的表面功能化方法包括:LB(Langmuir-Blodgett)膜法、自组装膜层(Self-assembled Monolayers)法、聚合物表面的化学改性、超分子自组合法(Supra molecular Assemblies)、固定生物分子法等。其中,自组装膜层法由于无需特殊设备,制备过程简单,并且能够通过精密的化学控制得到多种多样具有特殊相互作用的表面,因此在薄膜和涂层材料研究中最常见。

Caruso F 等人^[26]用聚苯乙烯微球作为模板,以水溶性的钛的无机物为前驱体,以阳离子性的己二烯二甲基氯化铵作为自组装介质,用层层自组合法制得了具有核-壳结构的 TiO₂ 微球,通过此法可轻易控制壳层厚度。

宋秀芹等^[27]以 TiCl₄ 为原料、无水乙醇为溶剂,冰醋酸为抑制剂,采用逐层自组装技术与溶胶-凝胶技术相结合的实验方法,制备表面粒度和表面层厚度可控的循环利用性和再生性能良好的纳米结构 TiO₂ 复合颗粒。

Seok S I^[28]提出纳米 TiO₂ 粒子可以通过限制硅溶胶-凝胶基底上 Ti 溶液的水解制得。这种方法包括 2 步:第 1 步是作为固定母体的硅凝胶的制备,第 2 步是在连续温度 80℃ 下 Ti 溶液的水解。硅凝胶可以在室温下通过硅酸和钛原料的混合制得。发现在自由溶液状态下、80℃ 时, TiO₂ 晶体的尺寸不断增加,而在以硅凝胶为基底中其尺寸为一固定值。

Nannan Tao 等^[29]在室温下制备核-壳结构的 TiO₂/钙硅石复合物,其核结构的钙硅石尺寸可达到 200~300nm,包覆在核结构上的金红石 TiO₂ 薄膜厚度为 10~20nm。在 HNO₃ 溶液中溶解无定型的 TiO₂/钙硅石,通过添加诱导剂 SnO₂ 使金红石型 TiO₂ 直接沉淀在钙硅石的表面上。当加入的 SnO₂ 的量超过 18% 时,可以得到完全的金红石 TiO₂/钙硅石,当加入的量少于 12% 时,可以得到锐钛矿 TiO₂/钙硅石。

C. Malatesta、A. Tepore^[30]等提出了室温下制备有机薄膜镶嵌 TiO₂ 纳米颗粒的新方法。这种方法是基于 Langmuir-Blodgett 标准程序为基础的。在水溶液中 TiO(C₂O₄)₂²⁻ 溶解后,借助分光镜发现纳米 TiO₂ 颗粒分散在溶液中。Langmuir-Blodgett 薄膜的 X-ray 电子光谱表明这些颗粒会逐渐转移到薄膜内部。

2 结 语

随着科研工作者的努力,纳米 TiO₂ 材料的低温制备已取得了很大进展,能够在非耐热性基材(如聚合物薄膜)上制备晶态 TiO₂ 涂层,所得到的锐钛矿及金红石相 TiO₂ 材料的光催化性能已接近传统高温后处理产品。但目前仍存在许多问题,如进一步提高晶态 TiO₂ 的产率及晶化度,改善 TiO₂ 与基材的结合力,提高 TiO₂ 涂层的稳定性和使用寿命;进一步拓宽基材使用的范围以满足各种场合的使用要求;研究不同掺杂对室温制备的影响规律以及在金属基体上制备 TiO₂ 材料等,这些工作都值得进一步研究。

[参 考 文 献]

[1] Lucarelli L, Nadtochenko V, Kiwi J. Environmental photochemistry

quantitative adsorption and FTIR studies during the TiO₂-photocatalyzed degradation of orange II [J]. Langmuir, 2000, 16(3): 1102-1108

- [2] Aquid M, Munner M. Semiconductormediated photocatalysed degradation of an anthraquinone dye, Remazol Brilliant Blue R under sunlight and artificial light source [J]. Dyes Pigments, 2002, 53(3): 237-249
- [3] Enriquez R, Pichat P. Interactions of humic acid, quinoline, and TiO₂ in water in relation to quinoine photocatalytic removal [J]. Langmuir, 2001, 17(20): 6132-6137
- [4] Wang K H, JHsieh Y H, Chao P W, et al. The photocatalytic degradation of trichloroethane by chemical vapor deposition method prepared titanium dioxide catalyst [J]. J. Hazard. Mater., 2002, 95(1/2): 161-174
- [5] 徐建春, 储伟, 王安, 等. 受控水解法制备纳米 TiO₂ 光催化剂及其结构性能[J]. 化学研究与应用, 2005, 1(3): 389-391
- [6] Kim K J, Benkstein K D, Lagemaat I, et al. Characteristics of low temperature annealed TiO₂ films deposited by precipitation from hydrolyzed TiCl₄ solution [J]. Chem. Mater., 2002, 14(3): 1042-1047
- [7] 丁子上, 翁文剑. 溶胶-凝胶技术制备材料进展[J]. 硅酸盐学报, 1993, 21(5): 443-449
- [8] 武正策. 减压法制备 TiO₂ 薄膜及影响因素的研究[J]. 太原理工大学学报, 1999, 30(5): 505-507
- [9] Byun D, Jin Y, Kim Bumjoon, et al. Photocatalytic TiO₂ deposition by chemical vapor deposition [J]. Hazard Mater., 2000, 73(2): 199-206
- [10] 赵晓红, 张渊明, 胡军文, 等. 低温水热法制备高活性纳米金红石相二氧化钛[J]. 2006, 22(3): 546-550
- [11] 余家国, 熊建峰, 程蓓. 高活性二氧化钛光催化剂的低温水热合成[J]. 催化学报, 2005, 26(9): 745-749
- [12] 魏雨, 于静, 林玉龙, 等. 低温液相制备金红石型 TiO₂ 纳米晶须[J]. 高等学校化学学报, 2004, 25(11): 1996-1997
- [13] Wang C C, Ying Y J. Sol-gel synthesis and hydrothermal processing of anatase and rutile titania nanocrystals [J]. Chem. Mater., 1999, 11: 3113-3120
- [14] Gao Yanfeng, Yoshitake Masuda, Wonseon Seo, et al. TiO₂ nanoparticles prepared using an aqueous peroxotitanate solution [J]. Ceramics International, 2004, 30(7): 1365-1368
- [15] Yang Shaofeng, Liu Yanhua, Guo Yupeng, et al. Materials preparation of rutile titania nanocrystals by liquid method at room temperature [J]. Chemistry and Physics, 2003, 77(2): 501-506
- [16] 窦焰, 崔鹏, 方向红. 低温液相法制备锐钛矿型 TiO₂ 纳米薄膜[J]. 化学与生物工程, 2006, 22(3): 13-15
- [17] Angelopoulos M, Astunas G E, Emer S P, et al. Polyaniline solution, film and oxidation state [J]. Mol Cryst, 1988, 160: 151
- [18] MacDiarmid A G. Synthetic metals: a novel role for organic polymers [J]. Synth Met, 2002, 125: 11-22
- [19] 王利祥, 王佛松. 导电聚苯胺的研究进展(I) [J]. 应用化学, 1990, 7(5): 2-5
- [20] 彤建娜, 赵修建, 刘保顺, 等. 锐钛矿型 TiO₂ 水溶胶的低温制备[J]. 无机化学学报, 2006, 22(3): 546-550
- [21] 彭人勇, 吕新莲. 锐钛矿型纳米 TiO₂ 溶胶的低温制备及其光催化活性评价[J]. 湿法冶金, 2006, 25(1): 22-25
- [22] Yan Hu, Yuan Chunwei. Low-temperature preparation of photocatalytic TiO₂ thin films anatase sols [J]. Journal of Crystal Growth, 2005, 274(3/4): 563-568

- [23] Lackner J M, Waldhauser W, Ebner R, et al. Pulsed laser deposition of titanium oxide coatings at room temperature-structural mechanical and tribological properties [J]. Surface and Coatings Technology, 2004, 180/181: 585-590
- [24] Sharma A K, Thareja R K, Ulrike Willer, et al. Phase transformation in room temperature pulsed laser deposited TiO_2 thin films [J]. Applied Surface Science, 2003, 206(1-4): 137-148
- [25] 种法国, 赵景联. 微波水热晶化制备纳米二氧化钛光催化剂[J]. 高校化学工程学报, 2006, 20(1): 138-141
- [26] Caruso F. Studies on alkali thickening and film forming abilities of carboxylated polymer emulsion [J]. Chem Eur, 2000, 6:413
- [27] 宋秀芹, 张雪红, 王新, 等. 纳米结构 $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ 的逐层自组装[J]. 化学学报, 2003, 9: 123-126
- [28] Seok S I, Joo Hyun Kim. TiO_2 nanoparticles formed in silica sol-gel matrix [J]. Materials Chemistry and Physics, 2004, 86(1): 176-179
- [29] Tao Nannan, Zhao Jingzhe, Guo Yupeng, et al. Preparation and characteristics of core-shell rutile titania/wallastonite at room temperature [J]. Materials Chemistry and Physics, 2004, 82(1): 58-62
- [30] Malatesta C, Tepore A, Valli L, et al. X-Ray photoelectron spectroscopy characterisation of Langmuir-Blodgett films containing TiO_2 nanoparticles grown by room-temperature hydrolysis of $\text{TiO}(\text{C}_2\text{O}_4)_2^{2-}$ [J]. Thin Solid Films, 2002, 422(1/2): 112-119

(上接第65页)

除。在用 $1\mu\text{m}$ 粒径的3种金刚石精微粉抛光硬质合金(WC-6%Co)时,在经过1min抛光后,动态多晶粉可磨去 $0.8\mu\text{m}$,静态单晶粉只能磨去 $0.4\mu\text{m}$,而天然单晶粉只磨去 $0.3\mu\text{m}$ 。动态多晶粉的这种优势在硬度高的宝玉、宝石和光学镜面研磨过程中更为明显。而研磨较软的材料如3041不锈钢时,其切削能力优势并不明显。

2) 具有优质抛光效果。用 $1\mu\text{m}$ 动态多晶精粉对蓝宝石抛光时,30s后,原曾用天然金刚石($15\mu\text{m}$)抛光后表面留下许多道痕的宝石表面已基本没有了道痕。磨1min后,在放大350倍的显微镜下就找不到任何道痕了,但是用同样 $1\mu\text{m}$ 大小的天然和人造单晶精粉去抛光,多长时间也消除不了原有的道痕。因为在微粉的各国国标分级中,允许有3%的大于该级别的微粉存在。如 $1\mu\text{m}$ 的精粉,允许粗粒的最大尺寸为 $1.4\mu\text{m}$ 。虽然只有3%,但由于单晶颗粒的抗压强度很大,在抛光的压力下会造成被抛面的几道刻痕。这样,中国的蓝宝石档次就上不去,外销就受影响。对于要求精度极高的天文望远镜镜头,其抛光质量的要求更高,能担当此项任务的当属动态合成的多晶金刚石粉。它在抛光受压时,其中3%的粗粒子因强度较单晶低,会被压碎成更小的粒子,新的裂面具有更多的锋利的切削棱。既保证了加工面质量,又提高了研磨切削加工效率。

3.2 电镀和化学镀中复合镀层表面的增强微粒

金刚石微粉作为增强相用于电镀和化学镀层可使产品耐磨性大为增强,这方面的应用已逐渐增多^[46]。但是国内应用的都是静态合成的单晶微粒,而单晶粒子的平滑表面、较规则的外形常使其同电镀基体金属间的机械结合不牢固,使用时很易剥落。用动态合成的金刚石精粉作电镀层的增强相,国外有所报道^[7],效果较好。国内迄今只有笔者1篇研究文章,介绍过用含有纳米晶结构的金刚石精粉来作银镀层的增强相^[8]。从图1a可知动态合成的微粉表面凹凸不平。在电镀银基复合材料表层中,它与银基体接触面大,接合牢固,使用时不会轻易剥落。我们在制作金相样品时发现单晶金刚石都剥落了,而纳米结构体金刚石都牢固接合在样品表面(详见文献[8])。2种金刚石微粒在银镀层中对电磨损率影响的试验结果比较,如图3所示。

试验表明,在各项电镀参数相同时,若电镀接触负荷电流相同,静态合成的单晶金刚石和银复合镀层比动态合成的多晶金刚石和银复合镀层的电磨损率大得多,在电接触电流较大时更明显。其机理主要是:

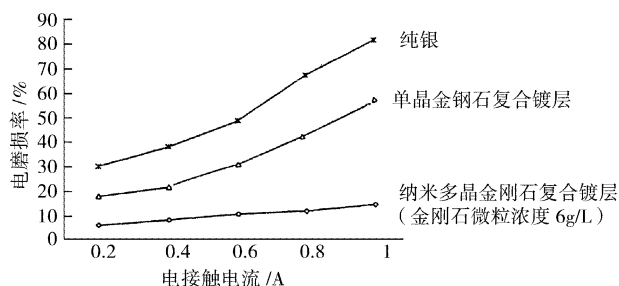


图3 两种金刚石微粒在银镀层中对电磨损率的影响
Figure 3 The influence of two sorts of diamonds on the electro-abrasive ratio of silver composite coatings

- 1) 多晶金刚石与基体结合强度大,使镀层整体硬度增加,耐磨性提高,减少了触头的机械磨损。
- 2) 金刚石粒子弥散分布在银基体上,使接触电弧由集中电弧变为分散细弧、减少了电磨损。
- 3) 金刚石优良的导热率,使触头散热快、熔蚀少^[4]。显然,多晶金刚石精微粒用作银基电接触镀层的增强粒子,具有良好的应用前景。

随着科学技术在我国的日益发展,相信动态法合成的纳米晶金刚石微粉将在材料的表面工程应用中得到开发与发展。

[参考文献]

- [1] 吴元康. 爆炸法合成人造金刚石[J]. 人工晶体, 1984, 13(1): 41-45
- [2] 吴元康, 张谨平. 冲击合成金刚石中的纳米级多晶结构[J]. 磨料、磨具与磨削, 1994, 84(1): 10-14
- [3] 余焜. 材料结构分析基础[M]. 北京: 科学出版社, 2000. 184-189
- [4] 王光祖, 院兴国. 超硬材料[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 1996. 275-284, 293
- [5] Bergmann O R, Bailey N F, Coverly H B. Polishing performance of polycrystalline diamond produced by explosive shock synthesis [J]. Metallography, 1982, 15: 121-139
- [6] 郭鹤桐, 张三元. 复合镀层[M]. 天津: 天津大学出版社, 1991. 214-262
- [7] Archibald L C, E Belon P R. Electrocomposite a new opportunity for metal finishers [J]. Metal Finishing, 1992, 90(2): 512-519
- [8] 吴元康, 余焜, 熊晓辉, 等. 纳米晶金刚石结构粒子增强银基电接触复合镀层的研究[J]. 电镀与涂饰, 2002, 21(3): 6-11