

钛及钛合金表面金属电沉积的预处理问题

屠振密, 朱永明, 李 宁, 胡会利, 于元春

(哈尔滨工业大学 海洋学院应用化学系, 山东 威海 264209)

摘 要: 目前钛及钛合金在国民经济和国防工业上的应用越来越广泛, 为了提高和改善其使用特性, 需要对其进行表面处理。金属表面电沉积是最常用且比较有效的方法, 通过金属表面电沉积就可以提高和改善其功能性、装饰性、耐腐蚀性以及涂覆层的结合强度。金属电沉积的关键是预处理问题, 而预处理的关键是在其表面形成适宜的“活性膜”。电沉积层的性质取决于电解液的组成以及温度、pH 值、电流密度、电沉积时间等因素。

关键词: 钛及钛合金; 金属电沉积; 应用; 发展

中图分类号: TG174.451

文献标识码: A

文章编号: 1007-9289(2010)01-0024-06

Pretreatment on Electrodepositing of Titanium and Titanium Alloys

TU Zhen-mi, ZHU Yong-ming, LI Ning, HU Hui-li, YU Yuan-chun

(Department of Applied Chemistry, Harbin Institute of Technology at Weihai, Shandong Weihai 264209)

Abstract: Titanium and titanium alloys are used more and more widely in national economics and defense industry currently. To improve the application characteristics, some surface treatments are adopted. Electrodeposition of metal is a common and convenient method. By electrodeposition of metal, the functionality, decorate properties, anticorrosion and the bonding force with top layer can be enhanced. Pretreatment plays an important role in electrodeposition, and forming proper “active film” is the key process for pretreatment. The performance of electrodeposition deposit layer depends on some parameters, such as the electrolyte compositions, temperature, pH value, current density, deposit time and so on.

Key words: titanium and titanium alloy; electrodeposition of metal; application; advances

0 引 言

钛及钛合金具有很多优异的物理和化学特性, 如比强度高、低密度、热稳定性好、耐腐蚀性优良等特点, 已在国民经济中得到大量应用, 特别是在国防工业方面如航空航天领域等受到极大关注^[1-3]。但由于钛及钛合金耐磨性能差、表面易擦伤和咬死、导电和焊接性能差等缺点, 限制了钛及钛合金的应用范围, 通常在钛及钛合金表面需要进行表面处理, 而金属电沉积则是表面处理的重要手段之一, 可以在其表面进行单金属电沉积、合金电沉积、纳米电沉积以及金属复合电沉积等。由于钛及其合金是活性金属, 很容易和氧生成一系列稳定的氧化物, 这种氧化膜在氧化性或中性介质中比较稳定, 故有良好的耐蚀性^[4-7]。这层膜层遭到破坏后能迅速

恢复, 因而在其表面上进行金属电沉积, 往往结合力不好, 故在金属电沉积前的预处理显得非常重要^[5-8]。

通常在钛及其合金表面上进行金属电沉积需经过脱脂→净化→浸蚀→活化→金属电沉积→热处理等工序。一般仅经过酸蚀和活化处理, 就进行金属电沉积, 往往得不到结合力良好的沉积层。为了提高电沉积层与基体的结合力, 还要将电沉积工件在电炉中进行热处理。即使经过以上复杂的处理工序, 得到的金属电沉积层的结合强度, 往往还不能满足要求。近几年来研究和开发了在钛及其合金表面上直接电沉积技术, 该技术不仅保证了钛及钛合金表面上电沉积层的结合强度, 还简化了工艺流程, 该技术的关键步骤是表面活化及活化膜处理。

1 钛及钛合金表面预处理与金属电沉积

为了保证钛及钛合金表面的电沉积层与基体

收稿日期: 2009-10-11; 修回日期: 2009-11-23

作者简介: 屠振密 (1928—), 男(汉), 河北辛集人, 教授。

具有较好的结合力, 通常在钛及其合金表面上进行的工艺流程如下:

脱脂→净化和粗化→浸蚀→活化→金属电沉积→热处理。

通常采取以下措施: 首先对钛及钛合金表面进行脱脂; 清洗干净后用酸浸蚀, 除去表面的氧化膜; 继之将表面进行活化处理, 使表面处于活化状态; 然后在其表面进行金属电沉积; 最后进行热处理^[8-11]可进一步提高镀层的结合强度。

1.1 脱脂

当钛及钛合金表面有油污和油脂时, 必须进行脱脂处理。最简单的方法是浸渍脱脂, 但浸渍脱脂仅适用于工件不太脏、形状简单、表面光洁等情况, 多数情况下为了达到更好的脱脂效果, 需采用电解脱脂。

脱脂彻底与否的最简单检验方法是水膜破裂检验, 脱脂彻底的清洁表面应在酸洗之后洗净时工件表面均匀覆盖水膜、无水珠或水膜破裂。如果工件上有水珠或水膜破裂, 则需重新处理。需要指出的是, 上面提到的措施许多适用于各种基材, 但对于钛及钛合金基材来说, 更需要特别重视。

1.2 净化和粗化

净化主要除去钛及钛合金表面的污染物, 可用弱酸性溶液如稀盐酸喷淋或浸蚀, 同时也可将表面

的氧化物薄膜去除。

粗化其目的是将表面净化、粗化、去氧化膜, 该项措施有利于提高镀层的结合强度。可采用砂纸打磨、抛光、喷砂或喷丸, 采用喷砂不仅去除钛基体表面的氧化层, 且能粗化表面, 有助于镀层与基体的机械结合, 但对于某些要求表面光洁度或配合精度的工件, 不宜采用此工序, 可以采用滚磨或光饰处理^[9-12]。

1.3 浸蚀

通常钛及钛合金表面都存在一薄层氧化膜, 而在锻造、轧制或热处理等过程中, 表面会产生一层氧化皮, 在氧化皮下面还有一层“污染层”。对于不同工艺成型的工件, 选用的浸蚀工艺也不同^[12-14]。选用合理的酸浸溶液, 可以使酸浸后的钛合金中氢含量变化不大, 而在酸浸溶液中氧化性酸占相当大的比例。因为在有足够的氧化剂存在时, 氧能与酸洗时生成的氢作用避免氢渗入钛合金基体中。用硝酸和氢氟酸酸洗时, HNO_3/HF 不小于 10 为佳。

浸蚀的主要目的是除去钛合金表面的钝化膜, 一般采用浓度较高的 $\text{HNO}_3\text{-HF}$ 溶液, 加入一定量的过氧化氢有利于快速去除氧化膜, 且不易过腐蚀。目前所使用的酸浸溶液主要由不同组分的酸组成, 在此基础上添加少量辅助的成分, 表 1 是一些常用的酸浸的工艺。

表 1 部分酸浸工艺^[13,15-17] (mL/L)
Table 1 Some acid etching technologies^[13,15-17] (mL/L)

溶液组成及工艺条件	1	2	3	4	5	6
氢氟酸(HF)40%	25~35	50~70	5 g/L		1份(体积)	4 %~6 %(质量分数)
盐酸(HCl)37%	40~50			50 %		94 %~96 %(质量分数)
硝酸(HNO ₃)65%		50~100	400 g/L		3份(体积)	
过氧化氢(H ₂ O ₂)30%		100~200				
三氯化钛(TiCl ₃) 15%~20%				10~20		
添加剂TL-i				1~2 g/L		
工作温度/℃	室温	室温	室温	室温	室温	室温
时间	30~45s	5~10 min		15 min	冒红烟为止	2 min

注: 4号溶液适合用于纯钛; 5号适用于纯钛及钛合金。

1.4 活化处理

活化的主要目的是将钛及钛合金表面的氧化膜除掉, 使表面呈活性状态, 可以通过浸蚀使表面活化, 也可单独进行活化, 如通常在 40 %~60 % (体

积分数) 的盐酸溶液中一定时间浸渍进行活化。通常纯钛比较容易活化, 而钛合金表面较难活化, 在钛合金表面活化液中需要加入氢氟酸。

通常经过酸蚀和活化处理后, 钛及钛合金呈现

银白色活性钛基表面,在其上进行金属电沉积后,可将电沉积工件在电炉中进行热处理以进一步改善电沉积层的结合强度,但往往还不能满足要求。

2 钛及钛合金表面“活化膜”处理与金属直接电沉积

近几年来研究和开发了在钛及其合金表面上直接电沉积技术^[20,21],该技术不仅保证了钛及钛合金表面上电沉积层的结合强度,还简化了工艺流程,关键步骤是表面活化及“活化膜”处理。

钛及钛合金表面的氧化膜除去并不困难,关键是能够将钛合金表面氧化膜除去的同时,还可以生成一层薄的转化膜或金属膜层,并具有一定的活性,使得钛基体在金属电沉积前不被重新氧化,就能使钛及钛合金表面得到良好结合强度的金属电沉积层。

还可以将活化和成膜在溶液中一次完成,如在氢氟酸和甲酰胺溶液中,既活化了表面,又能形成深灰的活性新膜层^[16],即氢化钛膜(TiH₂)。

2.1 活化处理

通常纯钛比较容易活化,而钛合金表面较难活化,则在钛合金表面活化液中必需加入氢氟酸。活化处理使用的溶液类型比较多,大致可分为两种类型:

(1) 第一类是不含氢氟酸的溶液^[14]

①主要是盐酸(HCl)溶液,含量多为40%~60%(体积分数),在室温下进行;②盐酸(HCl)和硫酸(H₂SO₄)的混合溶液,在室温下进行;③硝酸(HNO₃)

和硫酸(H₂SO₄)的混合溶液,在室温下进行。

(2) 第二类是含氢氟酸的活化溶液^[19]

①氢氟酸(HF)溶液 50 g/L,室温下活化 30 s;②氢氟酸(HF)+硝酸(HNO₃),室温下工作;③氢氟酸(HF)+氟化锌(ZnF₂)+乙二醇溶液;④氢氟酸(HF)40%+硝酸(HNO₃)+过氧化氢(H₂O₂),室温。

2.2 表面“活性膜”处理

在钛及钛合金表面生成“活性膜”的方法较多,如氢化钛膜法、氟化钛膜法、电解活化膜法和浸活性金属膜法等。

2.2.1 形成氢化钛膜法

将钛及钛合金置于混合酸中进行氢化处理,使钛表面与氢结合形成一层灰黑色的连续膜层,此膜层可保护基体在电沉积前不被氧化,同时,能使基体金属得到良好的沉积镀层。下面介绍几种氢化钛膜形成工艺^[20-23],见表 2。

屠振密等^[16,21]曾对纯钛(TA₂)和钛合金(TC₄)上直接电镀进行了研究,工件经浸蚀后,采用活性成膜处理后,可直接进行金属电沉积。作者曾经“活性膜”处理后直接电镀镍、铜、铬等金属,均能得到结合强度很好的金属沉积层。

“活性膜”(TiH₂膜)层表面为灰暗色,它起到了防护和结合两方面的作用^[22,23]:

(1) 钛是很活泼的金属,其外层电子构型为 3d²4s²时很容易失去外层的 4 个电子。因此,钛在空气或水中都会很快氧化形成一层致密的氧化膜(钝化膜),这是钛上镀覆难以得到良好结合力的主要原因。

表 2 形成氢化钛膜的几种工艺 (mL/L)
Table 2 Technologies of forming titanium hydride (mL/L)

溶液组成及工艺	1	2	3	4	5
盐酸(HCl) 37%	500				350
氢氟酸(HF)30%		40~50	37.5 g/L	150	
酰胺或其衍生物		600~800		850	
氯化钛(TiCl ₃)18%	10~20				
二氟化胺(NH ₄ HF ₂)			5 g/L		
添加剂 A(润湿剂)	1~2		水 360 mL		
添加剂 B(羧酸盐)		2~3			
硫酸(H ₂ SO ₄)					650
工作温度/℃	室温	室温	室温	室温	室温
时间/min	灰黑色为止	灰黑色为止	10	10	60~90
膜层特点	灰黑色	灰黑色			

注: 1 号工艺适合纯钛上直接电镀; 2 号适合钛合金上电镀, 特别对 Ti6Al4V 合金有良好效果。

钛在活化膜处理过程中,在其表面生成了“活性膜”(TiH₂膜)层。对 TiH₂膜研究表明,Ti 和 H 之间形成的化学键有离子键成分,电子云明显的偏向 H,使之带负电,降低了 Ti 的外层电子云密度,即降低了钛的反应活性,使之不易被迅速氧化而形成致密的钝化膜。

(2) 研究表明,TiH₂膜层具有金属性,其外层自由电子具有离域性。TiH₂中钛的 3d 轨道叠加形成能带,由于能量相近,它能与基体金属 Ti 的 3d 能带重叠,从而形成金属键,这样“活性膜”(TiH₂膜)层就利用金属键将镀覆层和基体结合在一起,从而获得了结合力良好的镀覆层。

2.2.2 形成氟化膜法

在含有氟化物(氢氟酸、氟硼酸盐等)的溶液中进行氟化膜处理,可在钛基体表面形成氟化物和氢化钛膜层。该膜层呈暗灰色,其主要成分为 TiF₂和 TiH₂。氟化物膜工艺见表 3。

表 3 几种钛基氟化物膜处理工艺^[7,8,10]

Table 3 Technologies of forming fluoride film on titanium^[7,8,10]

溶液组成 及工艺条件	1	2	3
铬酸钠(Na ₂ CrO ₄)	250 g/L		
氢氟酸(HF)40 %	20 mL/L	150 mL	60 mL
三氧化二铬(Cr ₂ O ₃)		160 g/L	
三氧化二锑(Sb ₂ O ₃)		70 g/L	
铬酐(CrCl ₃)			90 g/L
处理温度/℃	50~70	35~100	70
工作时间/min	10~20	10~15	1.17

在钛基体进行氟硼酸盐处理,能形成一层极薄的氟基薄膜,可粘附于钛表面,防止其再次氧化,当镀覆层沉积在该膜层上后,会加强镀覆层与钛基体的结合强度。

表 3 中 2 号工艺流程为:先采用湿喷砂和硝酸-氢氟酸浸蚀,然后用 2 号工艺在钛表面上沉积出氟化物膜层,其结合强度达 70 MPa 以上,而且在完成各个工序后,钛表面会保持活化态达几天,且不需要镀覆后的热处理,也避免了钛基体的吸氢。

2.2.3 电解活化膜法

可分为阳极氧化成膜法和阴极活化成膜法,通常多采用阳极氧化成膜法,经过阳极氧化后,在钛基体表面生成一层多孔的阳极化膜,在此膜上进行

镀覆,就能得到结合力良好的沉积层。还有人在碱性溶液中(含有氟化钠和氢氧化钠的溶液)得到了多孔阳极化膜;Locke^[25]曾在氢氟酸铬溶液(铬酸和氢氟酸)中阳极氧化得到了阳极氧化活性膜层。

吴申敏等^[26]对钛合金试样在氟化氢-氟化锌-乙二醇溶液中进行阳极和阴极活性成膜研究,然后在此膜上化学镀镍,结合力良好。也可不进行阳极活化(用化学浸蚀取代),仅进行阴极活化膜处理,立即进行化学镀镍,也得到良好效果,其工艺为:氢氟酸(HF)40 % 100~300 mL/L;氟化锌(ZnF₂)20~40 g/L;乙二醇 700~900 mL/L;阴极电流密度:1~2 A/dm²;工作温度:室温;时间:5~15 min;阳极:不锈钢。

王一栋等人^[27]使用文献^[26]中的同一电解液对钛及钛合金进行阳极活电解后,切换阳、阴极电流极化方向,进行阴极电沉积,由此可在钛合金表面获得结合力优良的镀层。

2.2.4 浸锌(或浸锌合金)膜法

当钛及钛合金除去氧化膜之后,在形成新氧化膜之前,用化学法沉积上一层锌膜(浸锌层),可作为其它镀覆层的底层。浸锌可分为一次浸锌和二次浸锌^[7,8],通常一次浸锌的锌膜层比较薄而疏松,且均匀性较差,经硝酸褪除后,第二次浸锌可得到较致密的锌膜层,该膜层有利于镀层与基体的结合。张轲等^[18]将钛及钛合金表面浸蚀后,采用浸锌活化工艺二次浸锌,之后选用碱性化学预镀镍,得到了结合力良好的化学镀层。其所用的工艺为:浸锌活化溶液,氢氟酸(HF)40 % 50~100 mL/L,硫酸锌(ZnSO₄·7H₂O)10~15 g/L;在室温下一次浸锌 60 s,清洗后在 1:1 的硝酸中褪除 15 s,再进行第二次浸锌 30 s;二次浸锌后,进行碱性化学预镀镍。但应注意经浸锌后的表面不能直接进入酸性化学镀溶液中镀覆,否则会引发镀层的溶解,并污染化学镀液,同时也会引起镀层结合力不良。

2.2.5 钛及钛合金直接电沉积的特点

①电沉积工艺简化,易于控制和实现;②镀层的结合强度高,能满足不同金属电沉积的要求;③污染小,可在室温下进行,并能降低能源消耗;④采用“活化膜”工艺不会降低材料表面的光洁度;且渗氢量小,降低了氢脆性;⑤以上工艺不需要镀前特殊预处理,也不需要镀后热处理,就能得到结合力优良的电沉积层。

2.2.6 钛及钛合金上金属电沉积

经过活化及“活化膜”处理后,即可在钛及钛合金上进行金属电沉积,包括电沉积镍、铜、铬、银、铂、纳米镍、纳米合金以及磷酸钙等^[26-41]。

3 钛及钛合金表面金属电沉积的发展

在钛及钛合金表面上进行金属电沉积已得到比较广泛的应用,包括电沉积功能性镀层、装饰性镀层、电子镀层、贵金属镀层和纳米镀层等。为了保证金属沉积层与钛合金基体有良好的结合强度,其关键步骤是预处理工序,而预处理的关键是活化及“活性膜”处理,实践证明在此膜上才能得到结合力优良和质量合格的金属电沉积层^[23,42,43]。

为了提高和改善钛及钛合金表面上金属电沉积的质量,积极研究和开发工艺简单、使用方便、绿色环保和价格便宜的预处理技术是目前发展的方向。就当前钛合金表面处理而言,表面活化及“活性膜”处理技术已具有一定的实践基础,应该进一步继续深入的研究和探索更有效的“活性成膜”技术及理论,将是目前重要的发展方向^[44,45]。

参考文献:

- [1] 瞿群. 钛合金研究新进展及应用现状 [J]. 钛工业进展, 2008, 25(2): 23-27.
- [2] Boyer R R. Titanium for aerospace: Rationale and applications [J]. Advanced Performance Materials, 1995, 2(4): 349-368.
- [3] 彭艳萍. 军用新材料的应用现状及发展趋势 [J]. 材料导报, 2000, 14(1): 13-15.
- [4] 付艳艳, 宋月清, 惠松晓, 等. 航空用钛合金的研究与应用进展 [J]. 稀有金属, 2006, 30(6): 850-856.
- [5] Shibuya Y, Sato M, Sato J, et al. Titanium and titanium alloy member or surface treatment methods [P]. U S Pat. 6221173, 2001/04/24.
- [6] Cotton, James D, Clark Larry P, et al. Titanium alloys on the F-22 fighter airframe [C]. Advanced Materials & Processes, 2002, http://goliath.ecenext.com/coms2/summary_0199-1688907_ITM.
- [7] 何利舰, 张小农. 钛及钛合金表面处理技术新进展 [J]. 上海金属, 2005, 27(3): 39-45.
- [8] 屠振密, 杨哲龙, 张景双. 钛及其合金表面处理与精饰 [J]. 上海电镀, 1986, 15(4): 28-33.
- [9] Mushiake, Moriyuk, Asano Kenichi. Surface treatment method for titanium or titanium alloys [P]. U S Pat. 5051140, 1991: 1-8.
- [10] 何文芳. 钛合金上电镀 [J]. 电镀与环保, 1999, 19(6): 18-20.
- [11] Turner W. Electroplating of titanium titanium base alloys [P]. U S Pat. 4416739, 1978.
- [12] Witte E C. Electrodeposited multilayer coating for titanium [P]. U S Pat. 4904352, 1990.
- [13] Temprano S, Artero B. Method of electrolytically depositing metal on titanium [P]. U S Pat. 4787962, 1988/11/29.
- [14] 张志华, 刘佑厚, 张小云, 等. 钛合金电镀工艺及应用述评 [J]. 腐蚀与防护, 2005, 26(11): 493-496.
- [15] Moh Raqib. Electroless nickel coating on titanium alloy Ti6Al4V [J]. [Canada]. Letter #47579 Journal, 20, 2008. <http://www.finishing.com/475/79.shtml>.
- [16] Zang J S, Yang Z L, Tu Z M, et al. A new process of electroplating on titanium and titanium alloy for aerospace [J]. Trans. I M F, 1996, 74(1): 25-27.
- [17] Zhong-wei ZHAO. Pulsed cathode electrodeposition of hydroxyapatite coatings [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2006, 15(2): 2023-2027.
- [18] 张軻, 刘道新. 钛合金湿法镀前活化预处理工艺的研究 [J]. 材料保护, 2001, 34(10): 42-43.
- [19] Cooper A M, Silva A W. Method for chromium plating titanium alloy [P]. U S Pat. 6039860. 2000/9/21.
- [20] 李萌初, 屠振密, 张景双. 钛上直接电镀机理的研究 [J]. 材料保护, 1991, 24(12): 230-232.
- [21] Yang Z L, An M Z, Tu Z M, et al. Study of the process and mechanism of plating directly on titanium and its alloys [J]. Plating and Surface Finishing, 1997, 12: 68-71.
- [22] 李萌初. 钛和钛合金电镀工艺及活化机理的研究 [D]. 哈尔滨工业大学应用电化学硕士研究生论文, 1988.6.
- [23] 张景双, 李萌初, 屠振密, 等. 钛材表面生成“活性膜”的研究 [J]. 电镀与环保, 1993, 13(5): 3-4.
- [24] Sonoda S, Hetsugi K, Sawasaki Y, et al. Process for treatment of titanium and titanium alloys [P]. U.S. Pat. 4874480, 1989/10.
- [25] Locke M. Chromic acid-fluoride anodizing surface

- treatment for titanium[P]. U S. Pat. 4473446. 1984.
- [26] 吴申敏. 钛合金电镀新工艺及应用 [J]. 上海航天, 1994, (3): 22-24.
- [27] 王一栋, 周海晖, 刘文乐, 等. 钛合金新型电镀工艺的研究 [J]. 电镀与环保, 2007, 27(2): 10-13.
- [28] 张天云, 张景双, 李宁, 等. 铸造钛上直接镀镍工艺研究 [J]. 电镀与环保, 2007, 27(1): 5-8.
- [29] Fornwalt D E, Lomasney G M, Routsis K. Method for electroplating nickel on to titanium alloys [P]. U S Pat.4902388. 1990/2/20.
- [30] 付艳艳, 宋月清, 惠松骁, 等. 钛上电镀铜工艺对镀层性能的影响 [J]. 材料保护, 2000, 33(12): 16-17.
- [31] Anders S. Copper on titanium electroplating [J/OL]. <http://www.finishing.com/10897.shtml> 2008-5-27.
- [32] 周伟岩, 康书文. 钛合金镀铬工艺研究 [J]. 材料保护, 2006, 39(1): 72-73.
- [33] 陈怀超, 韩志忠. 钛合金上直接镀银工艺 [J]. 材料保护, 2002, 35(1): 25-27.
- [34] 杜继红, 李争显, 刘素英, 等. 钛合金镀银的研究 [J]. 表面技术, 2002, 31(5): 40-41.
- [35] 张业明, 方达经, 陈志量, 等. 钛板电沉积铂工艺的研究 [J]. 材料保护, 2008, 41(8): 19-21.
- [36] 韩庆礼, 刘国权, 王永迪, 等. 钛合金表面电镀纳米镍层厚度的优化设计[J]. 材料科学与工艺, 2007, 15(2): 211-217.
- [37] Zhao Z W, Zhang G, Li H G. Preparation of calcium phosphate coating on pure titanium substrate by electrodeposition method [J]. Journal of Central South University of Tchnology, 2004, 11(2): 147-151.
- [38] Lopez H, Weiss P, Layrolle P. An electrodeposition method of calcium phosphate coatings on titanium alloy [J]. Journal of Materials Science:Materials in Medicine, 2007, 18(2): 381-390.
- [39] Kuo M C, Yen S K. The process of electrochemical deposited hydroxyapatite coatings on biomedical titanium at room temperature [J]. Materials Science and Engineering, 2002, C20: 153-160.
- [40] Liu X Y, Chu P K, Ding C X. Surface modification of titanium, titanium alloys and related materials for biomedical applications [J]. Materials Science and Engineering, 2004, R47: 49-121.
- [41] 屠振密. 电沉积纳米晶材料技术 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2008.
- [42] Robert R. Surface treatment method for titanium or titanium alloy [C]. 1991.
- [43] Mushiake M, Asano K. Surface treatment method for titanium or titanium alloy [P]. U S. Pat. 5051140. 1991.
- [44] Finch N J, Bowers J E. AD 0469954. Surface treatment of titanium alloys [C]. 2001, 12-20.
- [45] Lowther S E, Parkand C, St.Clair T L. A novel surface treatment for titanium alloys [C]. NASA, Technical Documentation. 1999: 2.
- 作者地址: 山东威海哈尔滨工业大学 264209
海洋学院应用化学系
Tel: (0631)5687232(o)
E-mail: z.m.tu@263.net
- *****
- 学术动态 •
- ### 第八届全国表面工程学术会议暨第三届表面工程青年学术论坛 4 月在北京召开
- 可持续发展已成为国际社会经济发展的共识和主流, 我国在科学发展观的指导下, 提出建设资源节约型、环境友好型社会的奋斗目标, 而表面工程、再制造工程是实现这一目标的重要技术支撑。为使表面工程与再制造工程学科的发展与国家重大需求更紧密地结合, 有效应对全球金融危机的挑战; 同时也为了回顾二十多年来我国表面工程事业蓬勃发展的历程, 并展望表面工程的美好未来, 促进表面工程的开拓创新, 2010 年 4 月 25~27 日在北京召开第八届全国表面工程学术会议暨第三届表面工程青年学术论坛。
- 会议主题: 表面工程的发展与开拓创新。
- 主办单位: 中国机械工程学会表面工程分会。
- 交流内容: (1)表面工程的历史回顾与展望; (2)表面与界面科学; (3)再制造工程的理论与技术; (4)表面工程的失效分析、寿命评估及检测技术; (5)热喷涂表面工程技术; (6)电化学及微弧氧化表面工程技术; (7)物理气相沉积和化学气相沉积技术; (8)三束表面改性、化学热处理技术; (9)微纳米薄膜与分子薄膜技术; (10)新能源、生物学中的表面工程问题; (11)自动化表面工程技术; (12)涂装、涂饰与防护技术; (13)表面涂层的摩擦、磨损与润滑; (14)表面涂层的防腐机理与应用; (15)表面工程的模拟与仿真技术; (16)表面技术的工程应用; (17)其它表面工程相关研究。
- 秘书处联系方式: 北京丰台杜家坎 21 号装备再制造技术国防科技重点实验室(100072)
- 联系人: 刘燕、曲美霞, (010) 66718540