

300M钢刷镀镉性能及在 某型飞机起落架修理中的应用

曹强¹, 汤智慧², 程宗辉¹, 詹中伟², 彭超²

(1. 国营芜湖机械厂, 安徽 芜湖 241007;

2. 北京航空材料研究院 航空材料先进腐蚀与防护航空科技重点实验室, 北京 100095)

摘要: 目的 研究刷镀镉工艺在300M钢起落架的工程应用和镀层性能。方法 采用两种不同的刷镀镉溶液在300M钢表面实现外观质量良好的电刷镀镉层, 利用扫描电镜、盐雾箱及力学拉伸机等对镀层显微组织、厚度、结合力、耐腐蚀性能和氢脆性能进行测试, 并对起落架零件电刷镀修复进行工艺应用研究。结果 选用的两种镀液均可在300M表面获得质量稳定, 厚度、结合力符合技术要求的电刷镀镉层。该镀层中性盐雾性能超过500 h, 氢脆性能合格。结论 刷镀镉工艺可成功应用于某型机起落架零件电刷镀钛镀层的修复。

关键词: 300M钢; 电刷镀镉; 耐腐蚀; 氢脆; 起落架修复

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2016.01.008

中图分类号: TJ07; TG174.461 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2016)01-0039-06

Performance of Electric-brush Plating Cadmium on 300M Steel and Application in Landing Gear Repair for a Certain Type of Aircraft

CAO Qiang¹, TANG Zhi-hui², CHENG Zong-hui¹, ZHAN Zhong-wei², PENG Chao²

(1. No. 5720 Factory of PLA, Wuhu 241007, China;

2. Aviation Key Laboratory of Science and Technology on Advanced Corrosion and Protection for Aviation Material, Beijing Institute of Aeronautical Materials, Beijing 100095, China)

ABSTRACT: Objective To investigate the engineering application and coating performance about technology of brush cadmium plating of 300M steel in the undercarriage. **Methods** Cadmium coating with good appearance quality was obtained with two different kinds of brush cadmium plating solutions. The microstructure, thickness, binding force, corrosion resistance, property against hydrogen embrittlement of the cadmium coating were tested by SEM, salt-fog cabinet, mechanics experimental machine and so on. Application study of this technology in brushing electroplating of the undercarriage parts. **Results** Both of the electroplating solutions used could obtain cadmium coatings with stable quality as well as thickness and bonding force that met the technical requirements on the surface of 300M. The neutral salt spray performance of the cadmium coating was over 500 hours, and the property against hydrogen embrittlement was also qualified. **Conclusion** The technology of brush cadmium plating can be successfully used in repair of

收稿日期: 2015-08-17; 修订日期: 2015-09-08

Received: 2015-08-17; Revised: 2015-09-08

作者简介: 曹强(1962—),男,安徽芜湖人,高级工程师,主要研究方向飞机修理表面工程及无损检测技术。

Biography: CAO Qiang(1962—), Male, from Wuhu, Anhui, Senior engineer, Research focus: surface engineering and NDT.

undercarriage parts for a certain type of aircraft.

KEY WORDS: 300M Steel; electric-brush plating cadmium; anti-corrosion property; hydrogen brittleness; landing gear repair

超高强度钢因其具有高的比强度、良好的疲劳性能和工艺性能在航空产品中得到了广泛应用,如国产先进战机起落架大多采用了300M钢进行制造^[1-2]。为了提高300M钢的抗腐蚀性能,采用了电镀镉工艺进行防护。

由于使用环境恶劣,飞机服役过程中,部分300M钢零件镉镀层难免出现不同程度的腐蚀。如国产某型三代机在进行第一次大修时,300M钢起落架凹槽、凹坑等部位在去除表面漆层后发现大量腐蚀。这主要是因为凹陷区域在电镀过程中容易聚集气泡,镀层较薄,从而成为薄弱点而发生腐蚀,这些腐蚀区域的镀层则需要进行修复。

电刷镀技术属于特种电镀技术,是电镀技术的新发展^[3-6]。目前国内外都已经采用了电刷镀工艺对零件部分区域进行镀层修复、补镀,甚至用于装备再制造中^[7-11]。在飞机起落架的修复中,电刷镀工艺也发挥了重要的作用^[12-13],其中低氢脆刷镀工艺是应用最广泛的工艺之一。刘佑厚等^[14]早在20世纪90年代就开展了低氢脆刷镀工艺的研究。颜华等^[15]研究了刷镀技术在飞机高强度钢结构件表面损伤修复中的应用,实验结果表明,该工艺操作简单,质量稳定。刘鹏等^[16]在A100钢表面进行了刷镀工艺及性能研究,发现刷镀镉镀层具有很高的耐蚀性能。张旭等^[17]在4340钢表面进行了电刷镀修复工艺的应用研究,取得了良好的效果。

文中选用两种刷镀镉溶液在300M钢表面制备了镉镀层,对刷镀层的外观、厚度、镀层结合力、耐蚀性和氢脆性能进行了测试评价,并针对某型机起落架腐蚀区域进行了电刷镀修复,确定了修复工艺。

1 实验

1.1 实验材料和试样

试样基材采用超高强度300M钢,硬度为51~53HRC,其化学成分(以质量分数计)为:C 0.38%~0.43%,Ni 1.65%~2.00%,Cr 0.70%~0.95%,Mo 0.30%~0.50%,V 0.05%~0.10%,Mn 0.60%~0.90%,P ≤0.010%,S ≤0.010%,Si 1.45%~1.80%,Cu ≤0.35%。实验采用两种试样,镀层外观、厚度、结合力、

耐蚀性能测试试样尺寸为100 mm×50 mm×3 mm,氢脆试验试样按照HB 5067.1—2005《镀覆工艺氢脆试验 第1部分:机械方法》进行加工。

实验采用的刷镀溶液分别为北京航空材料研究院生产的LHC低氢脆刷镀镉溶液和美国Sifco公司的5070刷镀镉溶液。电刷镀工艺按照Q/6SZ 1171—2001《高强度钢零件低氢脆刷镀镉工艺》的规定进行。开展电刷镀修复应用的某型机起落架为300M钢基材,硬度为51~53HRC,原始防护工艺为电镀镉。

1.2 测试方法

刷镀层外观采用目视检查方式,厚度采用FEI Quanta600型环境扫描电子显微镜进行金相测量。刷镀层结合力采用划格法进行。在试样表面刷镀层上,用切割刀具按同一方向划3~4条间距为1 mm的平行线,深达基体金属,再按垂直方向划4~5条间距为1 mm的平行线,这样可形成多个1 mm²的方格,划格后涂层无任何剥落为结合力合格。

刷镀层的耐蚀性能测试采用中性盐雾实验的方式。中性盐雾实验利用Q-panel盐雾箱参照ASTM B117进行,盐雾溶液中NaCl的质量分数为5%,每24 h检查1次,500 h后结束测试。

氢脆性能按照HB 5067.1—2005《镀覆工艺氢脆试验 第1部分:机械方法》进行,采用标准氢脆试样200 h持续加载的方式进行考核。

2 结果与讨论

2.1 电刷镀镉层的外观和显微形貌

分别采用LHC低氢脆刷镀镉溶液和5070刷镀镉溶液制备的镉层外观形貌如图1所示。总体来说,两种镀层结晶细致均匀,镀层完整,可完全覆盖试样,并且镀层表面没有出现起泡、剥落、麻点、烧焦等现象,但镀层会出现标准允许的颜色差异。

分别采用LHC低氢脆刷镀镉溶液和5070刷镀镉溶液制备的镉层截面形貌如图2所示。在同种工艺条件下,LHC刷镀溶液获得的镀层厚度约为13.2 μm,5070刷镀溶液则可获得17.5 μm的镀层厚度,但伴随了较大的孔隙率。

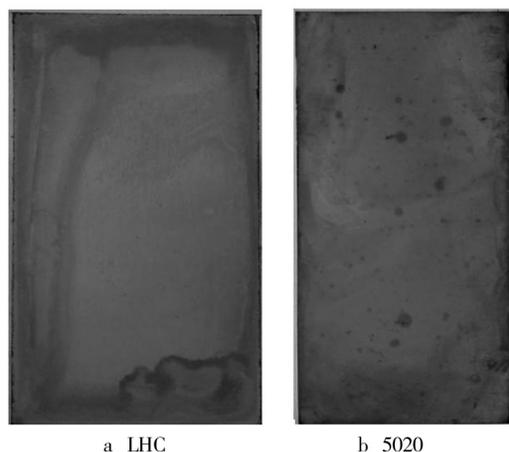


图1 不同刷镀镉溶液制备的镉层

Fig.1 Cd coatings prepared with two types of brush-plating solutions

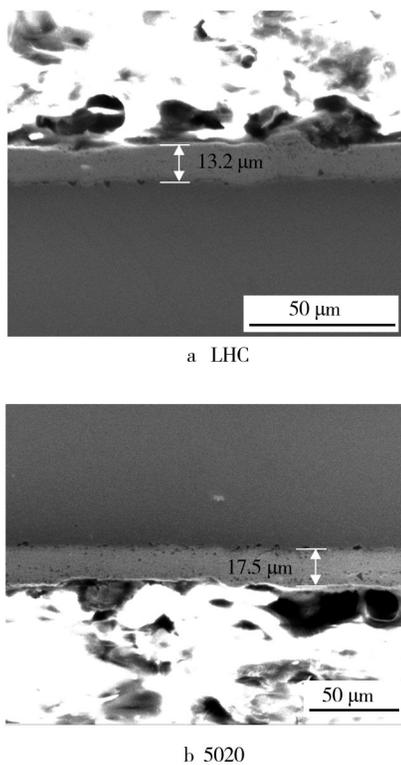


图2 不同刷镀镉溶液制备的镉层显微形貌

Fig.2 Microstructure of Cd coatings prepared using two types of brush-plating solutions

2.2 镀层结合力

采用划格法对镀层结合力进行考核后显示,两种刷镀溶液获得的镀层均没有出现起皮、剥落或与基体分离的现象,如图3所示。这表明电刷镀镉具有很好的结合性能,适用于电镀镉钛的修复。

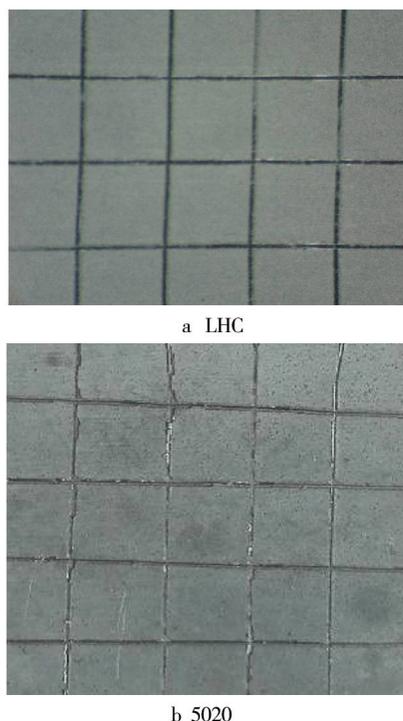


图3 不同刷镀镉溶液制备的镉层结合力测试结果

Fig.3 Results of adherence testing of Cd coatings prepared using two types of brush-plating solutions

2.3 镀层耐腐蚀性能

按照 ASTM B117 采用中性盐雾试验方法对两种不同溶液制备的电刷镀镉层进行了耐蚀性检测,检测结果见表1。结果显示,两种方法获得的镀层经过 96 h 盐雾试验后未见白色锈蚀,经 500 h 盐雾试验后无任何红锈产生(如图4所示),表现出了优良的耐腐蚀性能,可以满足零件的修复要求。

表1 耐蚀性测试结果

Table 1 Corrosion resistance test results

刷镀镉溶液	时间/h	表面状态	是否符合要求
LHC 刷镀液	96	无白锈	符合
	500	无红锈	符合
Sifco-5070 刷镀液	96	无白锈	符合
	500	无红锈	符合

2.4 镀层氢脆性能

按照 HB 5067.1—2005 采用拉伸试验进行氢脆测试。采用 12 根带缺口的 300M 钢圆棒氢脆试样(平均缺口抗拉强度为 2811 MPa),分别用两种刷镀镉溶液进行表面刷镀。然后对其施加相当于缺口抗拉强度

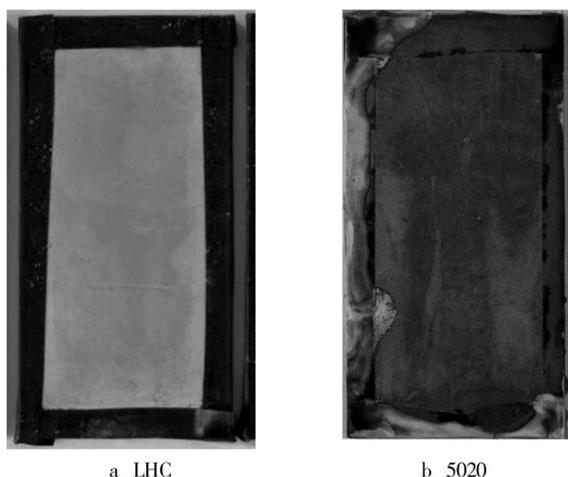


图4 不同刷镀镉溶液制备的镉层盐雾测试结果(500 h)

Fig.4 Results of salt spray testing of Cd coatings prepared using two types of brush-plating solutions(500 h)

75%的力进行200 h持续拉伸,测试结果见表2。经过200 h持续加载后,12根刷镀镉的试样均未发生断裂,证明两种刷镀镉溶液及刷镀工艺均满足氢脆要求,适用于超高强度钢起落架零件的镀层修复。

表2 氢脆性能测试结果

Table 2 Hydrogen brittleness test results

刷镀溶液	试样号	试样缺口直径/mm	平均缺口抗拉强度/MPa	加载力/N	加载结果
LHC 刷镀液	M473	4.507	2811	33 623	200 h未断裂
	M464	4.499		33 504	200 h未断裂
	M476	4.523		33 862	200 h未断裂
	M457	4.502		33 548	200 h未断裂
	M417	4.504		33 578	200 h未断裂
	M427	4.496		33 459	200 h未断裂
Sifco-5070 刷镀液	M158	4.519	2811	33 814	200 h未断裂
	M256	4.521		33 844	200 h未断裂
	M15	4.520		33 829	200 h未断裂
	M75	4.516		33 769	200 h未断裂
	M69	4.517		33 784	200 h未断裂
	M33	4.522		33 859	200 h未断裂

2.5 起落架电刷镀镉修复工艺应用

国产某新型三代机大修时目视检查发现,主起落架多个凹槽、凹坑部位表面均出现不同程度的腐蚀,如图5所示。该起落架材料为300M钢,表面为电镀镉钛层。现采用电刷镀镉工艺进行修复应用。刷镀镉的工艺程序一般为:镀前表面准备→屏蔽→刷镀→冷

水洗→钝化→冷水洗→干燥→镀层质量检查,共8个步骤。针对上述起落架凹陷部位,具体修复工艺实施如下。

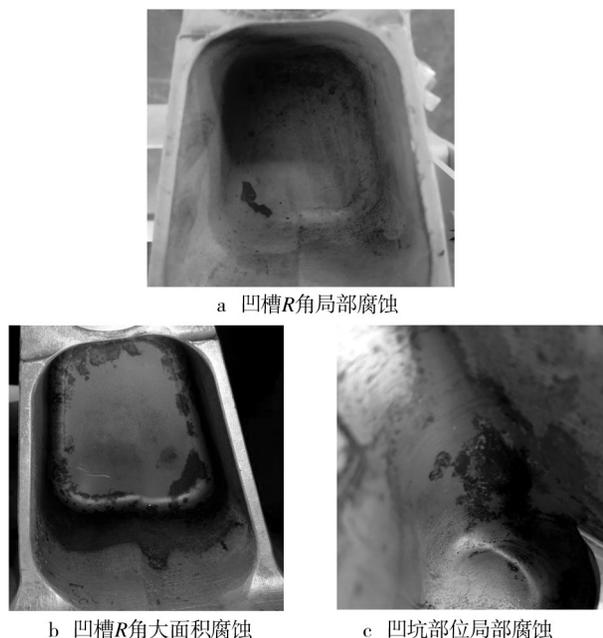


图5 起落架凹陷区域腐蚀情况(300M钢)

Fig.5 Corrosion in sag region of landing gear(300M steel)

1) 镀前表面准备。对于待修部位产生的红色腐蚀产物,首先采用吹砂的方式去除锈蚀,再用有机溶剂清洗的方法对其进行前处理。吹砂采用120目的刚玉砂,吹砂时将周边部位保护起来。有机溶剂清洗使用干净的脱脂棉蘸取丙酮或无水乙醇,擦干净待修表面,前处理之后的表面能保持水膜连续30 s以上。

2) 屏蔽。针对待修部位的凹坑区域,采取了先刷侧镀面、再刷镀底面的方法进行。因此首先将底面区域用胶带保护起来,边缘留出3~5 mm宽的过渡区(如图6所示),以使刷镀层与相邻区域表面平滑过渡,同时防止胶带边缘沉积过快而引起毛刺。待侧面刷镀完毕后,用胶带将其保护起来,再刷镀底面,在此过程中,通过胶带屏蔽避免过渡区域被重复刷镀。

3) 刷镀。对于待修复的区域,侧面刷镀时采用包缠脱脂棉的圆棒状石墨阳极,用其柱面刷镀凹坑侧面,如图7a所示。凹坑底部刷镀采用包缠脱脂棉的圆饼状石墨阳极,用其端面刷镀凹坑底面,如图7b所示,阳极的大小覆盖1/2~1/3待镀表面。进行刷镀时,采用环形刷镀形式,避免直线往返运动。

4) 水洗、干燥。刷镀完毕后,采用清洁的自来水清洗刷镀区域,应避免溶液流到邻近区域。由于该零件不需进行钝化,所以水洗后分别采用压缩空气和热

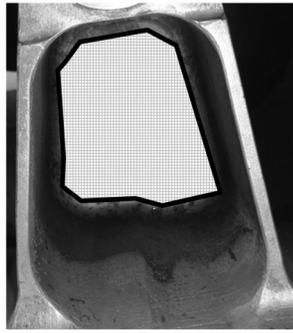


图6 凹坑区域底部的屏蔽

Fig.6 The protection of sag region bottom

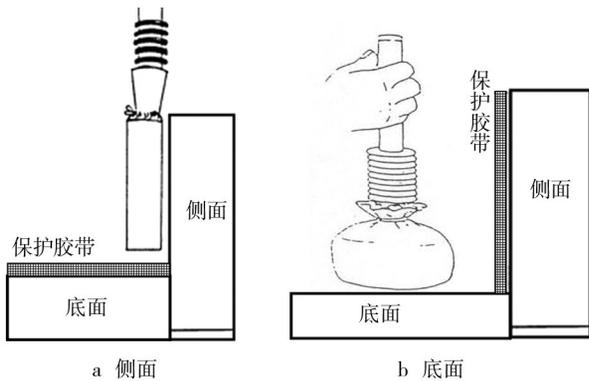
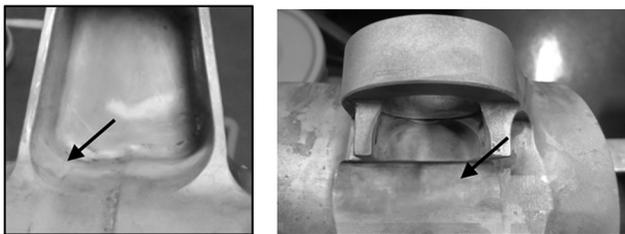


图7 刷镀工艺

Fig.7 The electric-brush plating

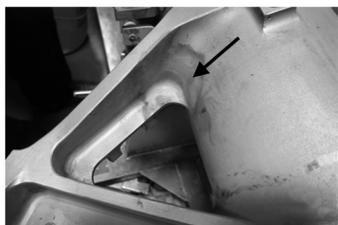
风吹干。

5) 镀层质量检查。电刷镀镉后的起落架修复区域如图8箭头所示。可见刷镀镉层结晶细致均匀,镀层完整,完全覆盖了腐蚀区域,并且镀层表面未出现起泡、剥落、麻点、烧焦等现象,符合某型机起落架电



a 凹槽R角的修复

b 接耳根部的修复



c 凹坑R角的修复

图8 电刷镀修复后的起落架零件不同部位

Fig.8 Landing gear part repaired by electric-brush plating

刷镀镉修复要求。

3 结论

1) LHC低氢脆刷镀镉液和Sifco-5070刷镀镉液均可在300M钢表面获得外观质量良好的电刷镀镉层。

2) 300M钢电刷镀镉工艺质量稳定,厚度、结合力均符合技术要求,中性盐雾500h无红锈,氢脆性能通过200h持久拉伸测试。

3) 采用电刷镀工艺修复的某型机起落架镉钛镀层的腐蚀区域,满足飞机修理技术文件规定的质量要求。

参考文献:

[1] 汤智慧,陆峰,张晓云,等. 航空高强度结构钢及不锈钢防护研究与发展[J]. 航空材料学报,2003,23(S1):261—266.
TANG Zhi-hui, LU Feng, ZHANG Xiao-yun, et al. Development of Surface Protection for Aeronautical High-strength Structural Steel and Stainless Steel[J]. Journal of Aeronautical Materials, 2003, 23(S1): 261—266.

[2] 李志,赵振业. AerMet100钢的研究与发展[J]. 航空材料学报,2006,26(3):265—270.
LI Zhi, ZHAO Zhen-ye. Research and Development of AerMet100 Steel[J]. Journal of Aeronautical Materials, 2006, 26(3): 265—270.

[3] 孙米强. 电刷镀技术的研究及应用进展[J]. 内蒙古石油化工,2006(6):11—12.
SUN Mi-qiang. Progress of Research and Application of Electric-brush Plating Technology[J]. Inner Mongolia Petrochemical, 2006, (6): 11—12.

[4] 马亚军,朱张校. 电刷镀技术研究的最新进展[J]. 表面技术,2001,30(6):5—7.
MA Ya-jun, ZHU Zhang-xiao. Progress of Research of Electric-brush Plating Technology[J]. Surface Technology, 2001, 30(6): 5—7.

[5] 徐立鹏,王晓. 先进电刷镀技术和新型镀层[J]. 科教导刊:电子版,2013(11):131.
XU Li-peng, WANG Xiao. Advanced Brush Plating Technology and New Electroplated Coating[J]. The Guide of Science & Education: Electronic Edition, 2013(11): 131.

[6] 揭晓华,徐江. 电刷镀技术的研究进展[J]. 材料导报,1999(3):26—28.
JIE Xiao-hua, XU Jiang. Research Progress of Electric Brush Plating Technology[J]. Materials Review, 1999(3): 26—28.

[7] 胡振峰,董世运,汪笑鹤,等. 面向装备再制造的纳米复合电刷镀技术的新发展[J]. 中国表面工程,2010,23(1):87—91
HU Zhen-feng, DONG Shi-yun, WANG Xiao-he, et al. New

- Development of Nanocomposite Electro-brush Plating Technique Facing the Equipment Remanufacturing[J]. *China Surface Engineering*, 2010, 23(1): 87—91.
- [8] 徐滨士. 舰船装备再制造防腐技术研究及应用[J]. *中国材料进展*, 2014(7): 405—413.
XU Bin-shi. Research and Application of Anti-corrosion Remanufacture on Ship Equipment[J]. *Materials China*, 2014(7): 405—413.
- [9] 谭俊, 徐滨士. 纳米结构镀层的制备及其应用[J]. *电刷镀技术*, 2003(3): 16—21.
TAN Jun, XU Bin-shi. Preparation and Application of Nano Structured Electroplated Coating[J]. *Electro Brush-Plating Technology*, 2003(3): 16—21.
- [10] 谭俊, 陈建敏, 刘敏, 等. 面向绿色制造与再制造的表面工程[J]. *机械工程学报*, 2011, 47(20): 95—103.
TAN Jun, CHEN Jian-min, LIU Min, et al. Surface Engineering towards Green Manufacturing and Remanufacturing[J]. *Journal of Mechanical Engineering*, 2011, 47(20): 95—103.
- [11] 张小彬, 昌霞, 叶宏, 等. 铸铁电刷镀 Ni-P 和 Ni 镀层性能研究[J]. *表面技术*, 2015, 44(4): 27—31.
ZHANG Xiao-bin, CHANG Xia, YE Hong, et al. Properties of Ni-P and Ni-based Coating on Cast Iron Prepared by Electro-brush Plating[J]. *Surface Technology*, 2015, 44(4): 27—31.
- [12] 夏成宝, 杨后川, 葛文军. 飞机起落架作动筒内壁 n-Al₂O₃/Ni-Cr 复合电刷镀修复[J]. *材料保护*, 2009, 42(7): 57—58.
XIA Cheng-bao, YANG Hou-chuan, GE Wen-jun. Repair of Worn Zone on the Internal Surface of Cylinder of Landing Gear by Brush Plating n-Al₂O₃/Ni-Cr Composite Coating[J]. *Journal of Materials Protection*, 2009, 42(7): 57—58.
- [13] 冯春晓, 李青峰, 扬萍, 等. 飞机起落架作动筒活塞杆的电刷镀修复[J]. *材料保护*, 2003, 36(10): 50—51.
FENG Chun-xiao, LI Qing-feng, YANG Ping, et al. Repairing of Piston Rod in Actuating Cylinder of Airplane Undercarriage by Brush Electroplating [J]. *Journal of Materials Protection*, 2003, 36(10): 50—51.
- [14] 刘佑厚, 井玉兰. 低氢脆(LHE)刷镀镉工艺[J]. *材料保护*, 1994, 27(5): 14—18.
LIU You-hou, JING Yu-lan. Low Hydrogen Embrittlement (LHE) Brush Plating Cadmium Process[J]. *Journal of Materials Protection*, 1994, 27(5): 14—18.
- [15] 颜华, 文庆杰. 高强度钢刷镀镉工艺研究[J]. *涂装与电镀*, 2007(2): 31—32.
YAN Hua, WEN Qing-jie. Study of Brush Plating Cadmium Process for High Tensile Strength Steel[J]. *Painting & Electroplating*, 2007(2): 31—32.
- [16] 刘鹏, 王旭东, 蔡健平, 等. A100 钢低氢脆刷镀镉镀层海洋环境腐蚀行为研究[J]. *材料工程*, 2012(6): 54—68.
LIU Peng, WANG Xu-dong, CAI Jian-ping, et al. Corrosion Behaviour of Low Hydrogen Brittleness Brush Plating Cadmium on A100 Steel in Marine Environment[J]. *Journal of Materials Engineering*, 2012(6): 54—68.
- [17] 张旭, 王锐, 宋玉生, 等. 4340 合金钢电刷镀镉工艺的应用[J]. *腐蚀与防护*, 2014, 35(10): 1037—1039.
ZHANG Xu, WANG Rui, SONG Yu-sheng, et al. Application of Electric-brush Plating Cadmium Process to 4340 Steel[J]. *Corrosion and Protection*, 2014, 35(10): 1037—1039.
-
- (上接第 18 页)
- [8] 丁云飞, 唐珊, 吴会军. 表面微结构对冰粘附强度的影响[J]. *表面技术*, 2015, 44(4): 74—78.
DING Yun-fei, TANG Shan, WU Hui-jun. The Influence of the Surface Microstructure of Ice Adhesion Strength[J]. *Surface Technology*, 2015, 44(4): 74—78.
- [9] 翟兰兰, 凌国平, 酆剑. 金属/高分子涂层附着机理的研究方法[J]. *材料导报*, 2006, 20(S2): 274—277.
ZHUO Lan-lan, LING Guo-ping, LI Jian. The Researches on the Mechanism of the Metal/Polymer Coating Adhesion Method [J]. *Materials Review*, 2006, 20(S2): 274—277.
- [10] 李红玲, 刘双枝. 金属表面无铬替代处理技术的研究进展[J]. *表面技术*, 2013, 42(2): 112—115.
LI Hong-ling, LIU Shuang-zhi. The Research Progress of Metal Surface without Chromium Alternative Process Technology[J]. *Surface Technology*, 2013, 42(2): 112—115.
- [11] JEGDI B V, BAJAT J B, POPI J P, et al. Corrosion Stability of Polyester Coatings on Steel Pretreated with Different Iron-phosphate Coatings[J]. *Progress in Organic Coatings*, 2011, 70(2): 127—133.
- [12] 赵凯, 尹志民, 段佳琦, 等. 时效处理工艺对 1975 合金腐蚀性能的影响[J]. *中国腐蚀与防护学报*, 2013, 33(2): 42—44.
ZHAO Kai, YIN Zhi-min, DUAN Jia-qi, et al. Aging Treatment Process on the Properties of 1975 Alloy Corrosion Effect [J]. *Chinese Journal of Corrosion and Protection*, 2013, 33(2): 42—44.
- [13] BLUM F D, PERERA H, SEDAI B, et al. Development of Hydrophobicity in Silane-treated Diatomaceous Earth Coatings [C]// Abstracts of Papers of the American Chemical Society. Washington: Amer Chemical Soc, 2013.
- [14] 宋相丽, 兰小军, 丁立群, 等. 涂层附着力的测定[J]. *上海涂料*, 2010, 48(12): 52—54.
SONG Xiang-li, LAN Xiao-jun, DING Li-qun, et al. The Determination of Coating Adhesion[J]. *Journal of Shanghai coatings*, 2010, 48(12): 52—54.
- [15] 王雷. 彩涂板涂层附着力时效性研究[D]. 沈阳: 沈阳理工大学, 2009.
WANG Lei. Caitu Coating Adhesion Timeliness Research[D]. Shenyang: Shenyang University of Technology, 2009.