

表面技术在飞机结构修理中的应用

Application of Surface Technology in Aircraft Structure Repair

中国民航飞行学院航空工程学院 秦文峰



秦文峰

博士,主要从事表面维修技术与复合材料结构修理相关的教学与科研。

飞机在服役过程中,由于受环境和各种应力的作用,其结构和附件会发生腐蚀和损伤。而这些腐蚀或损伤往往是从结构局部表面开始,然后进一步向构件内部扩展或延伸,如腐蚀从结构表面开始,磨损在结构表面发生,疲劳裂纹产生由表面向结构内部延伸^[1]。飞机结构或附件的磨损和腐蚀需及时得到修复,否则不仅带来经济上的严重损失,更会危及到飞机的持续适航性,严重可能危害到

在飞机结构维修过程中合理运用表面技术对飞机结构表面进行修复,不仅可以恢复飞机结构原有的功能特性,还可以使飞机结构具有比基体材料更优异的性能,如更高的耐磨性、抗腐蚀性和耐高温性。

飞机运行的安全。如何高效、快速、经济地修复受损的结构表面,对飞机结构维修技术提出了严峻的挑战。

表面技术是指表面经过预处理后,通过表面涂覆、表面改性、表面处理及复合技术,改变固体金属材料表面或非金属材料表面的形貌、化学成分、组织结构和应力状况等,以获得所需要的表面性能的技术^[2]。在飞机结构维修过程中合理运用表面技术对飞机结构表面进行修复,不仅可以恢复飞机结构原有的功能特性,还可以使飞机结构具有比基体材料更优异的性能,如更高的耐磨性、抗腐蚀性和耐高温性。表面技术在飞机结构修理中研究和推广,既可以有效修复飞机损伤结构表面,又可在节能、节材方面发挥巨大作用,有力地推动飞机维修技术的发展。

飞机结构修理中常用的表面技术

表面技术通常包括表面涂覆、表

面改性和表面处理。表面涂覆是在基质材料表面上制备涂覆层,涂覆层的材料成分、组织结构和应力按照需要制备,达到改善性能的目的,包括:电化学沉积(电镀和电刷镀)、化学液相沉积(化学镀)、气相沉积(物理气相沉积—真空蒸发镀、溅射镀、离子镀,化学气相沉积含等离子体增强化学气相沉积)、热喷涂(火焰喷涂、电弧喷涂、等离子喷涂等)、堆焊、热浸涂、涂装、分子自组装等。表面改性是通过改变基质材料的化学成分,达到改善性能的目的,不附加膜层,包括:扩散渗入(化学热处理)、离子注入、转化膜等。表面处理是不改变表面材质的化学成分,只改变基质材料的组织结构及应力,达到改善性能的目的,不附加膜层,包括:表面淬火热处理、表面变形处理(包括喷丸)以及表面纳米加工技术等^[3]。由于表面技术包含许多内容,本文仅简单介绍4种在飞机维修中常用的表面技术。

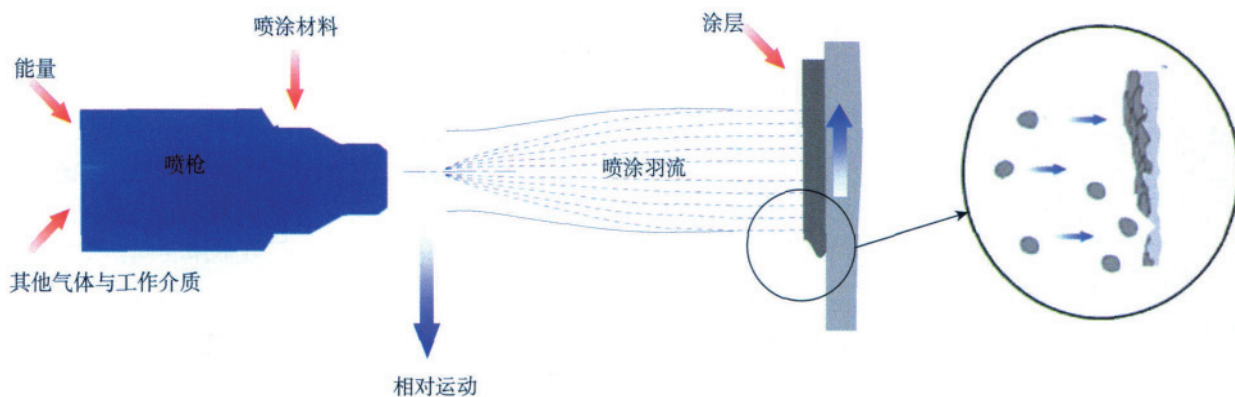


图1 热喷涂过程示意图

(1) 电刷镀技术。

电刷镀是将表面处理好的工件与专用的直流电源的负极相连,作为刷镀的阴极;镀笔与电源的正极连接,作为刷镀的阳极。刷镀时,使包套中浸满电镀液的镀笔以一定的相对运动速度在被镀零件表面上移动,并保持适当的压力。这样,在镀笔与被镀零件接触的那些部分,镀液中的金属离子在电场力的作用下扩散到零件表面,在表面获得电子被还原成金属原子,这些金属原子沉积结晶就形成了镀层。随着刷镀时间的延长,镀层逐渐增厚,直至达到需要的厚度,因此对于磨损的零部件,电刷镀修复技术显得更有生命力。该技术具有工艺简单、镀层种类多、沉积快、性能优良等特点。

(2) 化学镀技术。

化学镀是一种不需要通电,依据氧化还原反应原理,利用强还原剂在含有金属离子的溶液中,将金属离子还原成金属而沉积在各种材料表面形成致密镀层的方法。化学镀根据镀液不同,常分为化学镀银、镀镍、镀铜、镀钴、镀镍磷液、镀镍磷硼液等。化学镀技术以其工艺简便、节能、环保日益受到人们的关注。化学镀使用范围很广、镀层均匀、装饰性好,在防护性能方面,能提高产品的耐蚀性和使用寿命;在功能性方面,能提高加工件的耐磨导电性,润滑性能等特殊功能,因而成为全世界表面处理技

术的一个新发展里程碑。

(3) 阳极化处理技术。

金属材料浸入适当的电解质溶液中作为阳极,通电处理使表面形成氧化膜,此过程称为阳极化。金属材料在经过阳极化处理后,其耐腐蚀性、硬度、耐磨性、耐热性等性能都大幅度提高。阳极氧化的电解液可以分为酸性、碱性液以及非水溶液,当前工业上以酸性为主。酸性电解液包括硫酸、铬酸、草酸磷酸等。

(4) 热喷涂技术。

热喷涂技术是利用热源将喷涂材料加热至熔化或半熔化状态,并以一定的速度喷射沉积到经过预处理的基体表面形成涂层的方法,图1为热喷涂过程示意图。热喷涂有多种工艺方法,如等离子喷涂、电弧喷涂、火焰喷涂和爆炸喷涂等。热喷涂技术具有工艺灵活、适用范围广、基体与喷涂材料广泛、工艺加工的工件受热较少、产生的应力变形小、生产效率高等特点。

热喷涂技术应用十分广泛,选择不同性能的涂层材料和不同的工艺方法,可制备热障、可磨耗封严、耐磨密封、抗高温氧化、导电绝缘以及远红外辐射等功能涂层。涂层材料几乎涉及到所有固态工程材料,包括金属、金属合金、陶瓷、金属陶瓷、塑料及其他的复合材料。热喷涂技术广泛应用于航空航天、冶金、能源、石油化工、机械制造、交通运输、轻工机械

以及生物工程等国民经济各个领域。

表面技术在飞机结构修理中的应用

1 在飞机镁合金结构维修中的应用

航空工业中使用的镁合金的表面防护多采用化学氧化后涂漆的方法,这种表面膜薄而软,在使用过程中很容易被划伤、擦伤或磨损,从而导致表面局部损坏或因此造成超差而不得不报废、更换。针对镁合金特点,有研究者在试验研究基础上总结出一套镁合金表面只电净、不活化的电刷镀工艺,并应用该工艺对某航空维修生产单位飞机的镁合金零部件表面实施了刷镀层修复与保护。只要严格控制刷镀工艺,就能保证镀层与镁合金基体间的结合力;同时,由于在潮湿环境,镁合金基体极易与镀层金属形成原电池,导致电化学腐蚀和明显的选择性腐蚀,因而采用电刷镀修复表面缺陷时,镀层应达到足够厚度,而且镀后在表面刷上油漆,修复后刷镀层质量完全能满足生产使用要求^[4]。如采用化学氧化层一底漆一面漆三层防腐修复工艺,原位修复飞机镁合金零部件表面腐蚀,能有效地防止飞机腐蚀的进一步发展,防止因腐蚀而引起的零部件失效,从而增加飞机返厂大修的时间间隔。这种工艺过程简单、操作方便、成本低、效益高、修复质量可靠,不但适用于飞机镁合金零部件腐蚀的修复,对其他

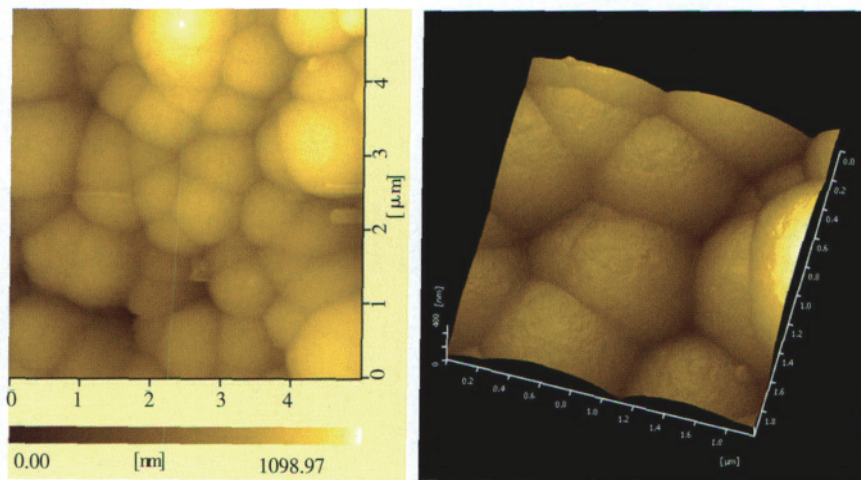


图2 化学镀Ni-P合金的原子显微镜图片

设备镁合金件腐蚀的修复也有参考价值,有较强的实用性和通用性^[5]。

2 在飞机铝合金结构维修中的应用

当铝及铝合金浸入酸性或碱性清洗液时,氧化膜很容易被溶解,露出的金属基体又很快被氧化,从而导致铝合金表面电镀困难,铝及铝合金镀层结合力很差或难以镀上。为解决飞机上硬铝材料零件局部损伤后的修复难题,研究人员采用电刷镀技术在飞机铝合金零部件表面的局部划伤进行了修复^[6],探讨了快速修复的工艺流程及工艺规范,对修复后零件的硬度、结合力和耐磨性进行了测定。经表面处理后,镀层硬度 625 HV,刷镀层磨损量为 18.5 mg/h,新零件磨损量为 23.8 mg/h,镀层结合力良好,无起皮、脱落现象。飞机硬铝构件表面划伤的电刷镀修复工艺流程简单、操作方便、成本低,镀层与基体金属的结合强度高,镀层质量满足性能要求,有较好的推广价值。为了改善铝合金的性能,笔者采用化学镀对铝合金表面进行了修复,处理后的样品具有更高的硬度和更强的抗腐蚀性能^[7]。图 2 是处理后的样品的原子显微镜照片。

为提高飞机蒙皮的维修质量,有人对飞机蒙皮表面进行了铈转化膜表面改性技术^[8]。他们通过检测氧化膜的膜重和耐腐蚀性,初步确定了配方的主要成分和工艺参数,采

取正交试验法,优化了铈盐改性溶液的配方。在最佳工艺条件下,用铈盐氧化液制备的转化膜的耐腐蚀能满足飞机蒙皮维修的要求。

直 9 的尾桨叶采用全复合材料结构,但是在叶根套采用的是铝合金材料。由于叶片在运行过程中频繁做轴向往复运动,叶根套是一个极易磨损件。叶根套的摩擦部位采用硬质阳极化处理,但是由于硬质阳极化层中存在许多的微裂纹,致使硬质阳极化的疲劳性能较差,容易剥落。在修理的时候,有必要将硬质阳极化层改为等离子喷镀涂层。在喷涂之间也应对零件进行喷砂处理^[2]。

3 在飞机钢结构维修中的应用

飞机发动机架和作动筒等许多零部件的材料为 30CrMnSiA,即飞机钢。在飞机的使用过程中,其表面会出现划伤、磨损、腐蚀、压坑等现象,必须及时予以修复。为此,有人研究了电刷镀修复飞机 30CrMnSiA 钢件的工艺规范,解决了 30CrMnSiA 钢制电镀修复易产生氢脆的难题^[9]。飞机上有许多同样或类似的材料组成的零件,采用电刷镀技术修复,不仅工艺简单、方便迅速、成本低,而且质量完全能满足要求。综合利用摩擦电喷镀技术和 n—Al₂O₃ / Ni-W 纳米复合刷镀技术也可以有效修复 30CrMnSiA 飞机钢^[10]。采用这种修理方法,表

面修复层完全满足修复要求,提高了飞机作动筒等部件修复面的耐磨性能和镀层结合强度,而且耐腐蚀性能良好,同时也解决了氢脆问题。n—Al₂O₃ / Ni—Cr 镀层也被用来修复飞机钢表面,有研究人员通过分析飞机起落架作动筒内壁磨损失效的原因,采用 n—Al₂O₃ / Ni—Cr 复合刷镀技术,对磨损部位进行修复,提高了镀层与基体、镀层与工作层间的结合力。修复层的硬度及耐磨性与原件相当,该修复方法简单、可靠,节省了资源成本^[11]。

飞机襟翼作动筒用于控制飞机的升降动作,是重要的控制部件,而作动筒的活塞则是其中的关键部件,由 18Cr2Ni4W A 高强度钢制成,表面采用法兰处理。工作过程中,活塞在高压下作往复运动,活塞端部会被磨损或划伤,如果超过规定的配合间隙 0.025 ~ 0.185mm 时,会导致漏油,影响作动筒性能,威胁飞行安全。为解决飞机襟翼作动筒磨损失效活塞的修复问题,可以采用电刷镀镍—钨镀层进行修复。研究人员通过对飞机襟翼作动筒活塞失效原因的分析,提出了修复该零件的新工艺,采用电刷镀特殊 Ni—W 镀层体系,提高了镀层与基体、镀层与工作层的结合力。当镀层厚度为 28 μm 时,镀层硬度达到 705 HV; 网格剥离试验表明,镀层无脱落,附着力良好;弯曲试验表明,镀层无脱落;杯突高度为 5.1 mm; 镀层磨损量为 0.118 mg / 次,与基体 (0.119 mg / 次) 耐磨损性相当。采用这种工艺,可以获得满足修复磨损活塞要求的镀层^[12]。

4 在复合材料修理金属结构中的应用

随着复合材料在飞机上的发展,飞机上越来越多地采用粘结修理。飞机金属构件受到损伤后,可以采用胶接的复合材料加强件能减缓或停止疲劳裂纹扩展,替换由于腐蚀而耗蚀的结构区域,并从结构上增强小

裕量或负裕量的区域。为了提高胶接的润湿性和粘接力,以及疲劳寿命,结构件表面处理是胶粘贴修补前的一个重要工序。表面处理好坏直接关系到胶贴的剪切强度(粘贴修补质量)和修补结构的疲劳耐久性。结构件表面处理需要用物理或化学的方法进行处理,增加湿润性和附着力,但是表面过于粗糙反而会降低胶接强度,因为在胶接过程中容易留下气孔,影响质量。

对于铝合金结构件,阳极化表面处理可以清除铝合金板表面原有的自然氧化膜,而生成新的、均匀致密且适于粘接的氧化膜,因而可以导致较高的修补断裂强度。在外场进行表面处理时,可在铝合金表面用砂纸打磨后再进行磷酸无箱阳极化处理,可获得较好的表面质量。波音公司1970年开发出磷酸阳极化作为粘结前处理工艺,使得铝合金即使在高温高湿的条件下,也能保持较高的粘结强度。美国空军已审查批准用

于铝结构胶接加强件的唯一耐久和可靠的表面技术是喷砂(硅烷)处理和使用磷酸阳极化抑制系统(PACS)的磷酸阳极化。

结束语

随着飞机维修领域对维修质量与维修成本的需求的提高,以及表面技术的飞速发展,表面技术在飞机维修中应用比重的将不断扩大。本文仅对当前几种常用表面技术在飞机结构中的应用进行了论述,还有很多新兴的表面技术正在研究和推广中。可以预见,表面技术的迅速发展,新兴的表面技术的涌现,将有力推动飞机结构修理技术和水平的发展,并为航空领域带来巨大的经济效益。

参考文献

- [1] 徐滨士. 表面工程与维修. 北京: 机械工业出版社, 1996.
- [2] 汪定江, 夏成宝. 航空维修表面工程学. 北京: 航空工业出版社, 2006.
- [3] 董允. 现代表面工程技术. 北京: 机械工业出版社, 1999.

械工业出版社, 1999.

[4] 马宗耀, 费敬银, 杨延华. 镁合金表面电刷镀修复工艺与应用. 电镀与精饰, 2009, 31(2): 43-44.

[5] 罗湘燕, 汪定江, 扬苹. 飞机镁合金零部件表面腐蚀的原位修复工艺. 材料保护, 2002, 32(1): 57-58.

[6] 葛文军, 夏成宝, 王东峰. 飞机硬铝构件表面划伤的电刷镀快速修复. 材料保护, 2009, 42(8): 64-65.

[7] 秦文峰, 龙江, 刘峰, 等. 飞机结构铝合金直接化学镀 Ni-P 合金研究. 表面技术, 2009, 38(5): 77-78.

[8] 夏成宝, 吕伯平, 汪定江, 等. 飞机蒙皮表面钼转化膜的制备与性能. 材料保护, 2008, 41(5): 79-80.

[9] 葛文军. 飞机高合金钢零件的电刷镀修复工艺. 表面技术, 2003, 32(2): 55-56.

[10] 冯春晓, 涂明武, 张学民. 飞机钢表面修复新工艺研究. 新技术新工艺, 2009, (7): 120-122.

[11] 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. 材料保护, 2009, 42(7): 57-58.

[12] 夏丹. 襟翼作动筒活塞的电刷镀修复工艺. 材料保护, 2006, 39(5): 71-72.

(责编 小城)



- 世界领先的火花机
- 世界领先的电加工机床用NC控制器
- 世界领先的模块化设计的火花机及线切割机床
- 世界领先的免维护过滤系统
- 世界领先的反电解加工
- 定位精度0.001mm
- 表面粗糙度Ra 0.1 μm
- 加工速度达600mm/min



西班牙欧纳机床股份公司

总部: 埃古斯察区1. 48.200, 杜兰戈. 西班牙巴斯克自治区. Tel: +34 (94) 6200 800
 中国代表处: 深南大道财富广场A座10楼A-B-C. 中国深圳. Tel: +86 (755) 8287 0500
 总代理: 北京利毅中大机械设备有限公司. 昌平区. 中国北京. Tel: +86 (10) 8074 2338

ONA
 leadership | service | support

广告索引号 11-111

2011年第18期·航空制造技术 41