

# 航空热处理、表面处理的现状及展望

航空航天部科学技术研究院

莫龙生

热处理和表面处理是零件加工制造过程中的重要环节,它对零件材料的组织结构、表面状态、理化性能以及使用寿命等都有决定性影响。在航空领域,对飞机和发动机等的零部件的安全可靠性有特殊严格的要求,热、表处理的影响作用因而就更加突出。然而,这种影响一般不能直接在成品零件上检测出来,稍有疏忽就会带来严重的隐患,这就要求对工艺参数的确定以及设备的精度控制有严格的技术保证,也就是对工艺的预先研究以及设备的技术改造要有严格的技术要求。由于各种主、客观条件的限制,多年来我们航空部门在热、表处理的预研以及技术改造方面投入较少,就部内大多数厂、所、院校而言,其研究及生产的设备条件还停留在 50、60 年代的水平,从整体上看基本面貌没有根本改观。这种状况显然与突飞猛进的航空技术不相适应,实际上已影响到国内新机研制以及转包生产的承接。

但是,由于广大科技人员和工人的努力,在航空热处理和表面处理技术领域还是取得了一些可喜成绩,有的成果还比较突出。下面是对航空热处理、表面处理技术发展现状的评述和展望。

## 一、航空热处理技术

目前,部内绝大部分单位的热处理设备都是空气加热炉,炉温均匀性及仪表控温精度较低,零件热处理后的氧化、脱碳、变形等都较严重,也常发生材料的组织性能不合格现象。热处理设备的技术改造虽已起步,“航空制件热处理质量控制标准”(HB5354-86)的制订也为热处理技术改造明确了技术要求,一些工厂结合型号研制及转包生产任务陆续添置了真空淬火炉、空气循环炉、保护气氛炉等新设备。但是,由于我国航空热处理技术基础较差,短期内还不可能完全改变面貌。几年来热处理工艺的预研工作主要集中在真空热处理、可控渗碳以及氮基可控气氛保护热处理等几个方面。在真空热处理技术方面,基本上解决了常用的超高强度钢与高温合金的真空热处理工艺规范及其伴随的增碳等问题的控制技术,在一些型号飞机的起落架、梁、轴、叶片等重要受力部件的生产中已开始应用,为提高这些零件的热处理质量、发挥材料的性能潜力、减少变形及后续机加工量、防止氢脆等方面起到十分重要的保证作用,也为干线飞机等新型号机种的重要零部件真空热处理工艺参数的确定奠定了基础。此外,还为新的大型立式真空热处理炉的研制提供了重要的设计依据。在可控渗碳方面,结合我国的国情探索出在井式炉内用空气加有机液体直立式气氛可控渗碳工艺,采用氧探头与微机控制仪相配合的控制系统,碳势控制精度达到 $<\pm$

0.05%C,温度控制精度 $<\pm 1^{\circ}\text{C}$ ,为国内实现较高质量的可控渗碳工艺开拓了新路,其设备改造的投资以及工艺运行的成本远低于从国外引进的设备和工艺技术,在一些工厂中推广应用取得很好的经济技术效益。可控保护气氛热处理早已成为一些工业发达国家的主要热处理手段,几乎占全部热处理量的 70~80%。但是在我国由于保护气氛气源供应的困难,长期没能满意地解决实用技术问题。“七五”期间部内科技人员研究出采用空分法碳分子筛制氮技术与甲醇等有机溶剂相配合的氮基可控保护气氛热处理技术,顺利地解决了气源问题,在保护气氛热处理的应用技术上有较大突破,可控保护气氛热处理技术为在部内、国内推广应用开拓了广阔的前景。

航空热处理今后的发展前景由于受各方面条件的限制,预计很难在短期内达到有根本性的改观。技术改造仍只能结合型号或转包生产任务逐步展开,新设备、新技术的建立必须主要立足国内,并且主要依靠部内的技术力量解决。引进国外先进设备和技术只能是少量的,国内尚未掌握或无条件实现的关键设备和技术。至于热处理技术的预研工作,除在上述几个方面继续深入研究并进一步发展完善外,还应在真空加压气淬技术、激光热处理技术等一些新的领域开展应用研究,并把工艺研究与设备研制结合起来,以满足新机研制的更高质量要求,并为技术改造建立技术基础,发挥指导作用。

## 二、航空表面处理技术

随着科学技术的发展,表面处理技术已远远超出原来电镀、阳极化的旧概念,发展成包括多种物理、化学手段的表面改性技术。例如电泳沉积、热渗(包括固渗、液渗、气渗)、热浸、物理气相沉积(包括真空蒸镀、离子镀、电子束蒸发沉积、溅射沉积等)、化学气相沉积、热喷涂(包括火焰喷涂、电弧喷涂、等离子喷涂、超音速喷涂等)、离子注入等。也有人把表面喷丸强化技术归纳在内。由此也提出用“表面技术”、“涂层技术”、“表面薄膜技术”等新概念来取代“表面处理”。

在航空领域,从整机到零件的安全可靠性和使用寿命都需依赖表面处理技术来保证。从引进的国外机种分析中可见,所有与寿命、安全性有关的零件全部都采取表面防护措施,几乎无一例外,而且随着机种性能的提高,不断有新的表面技术被采纳应用。相比之下,国内的航空表面处理技术不但在研究开发方面还十分薄弱,而且对已有的技术成果的应用也没有得到应有的重视,致使不少机种的许多重要零部件仍处于“赤膊上阵”的境地。这种“拼”材料的作法是十分危险的,难怪有的外国同行感叹地说:“你们

的胆子真大!”,显然这不是出于赞美。造成这种状况的原因是多方面的,但人们对表面处理的重要性认识不足无疑是一个重要因素。实际上,从“七五”期间一些单位应用表面技术解决重大技术关键的实例中就可以得到一些有益的启迪:

在研制某型号发动机过程中遇到推力达不到设计要求的难题,虽然从设计、加工等几方面采取措施,但效果不理想,发动机推力一直在设计指标的下限徘徊。后来采用等离子喷涂涡轮外环高温封严涂层与其他措施相配合,使发动机推力一下子提高到设计指标的中限,终于较好地解决了这个技术难题。此项涂层技术工艺比较简单,成本也很低廉,然而却解决了发动机研制中的重大关键问题,为该型号发动机的设计定型立下汗马功劳。

海军用飞机发动机由于工作环境条件的影响,使用中经常出现严重的腐蚀损坏现象,尤其在南方海域执勤的飞机和发动机腐蚀更为严重。某型号发动机在空军部队中使用的返修寿命应为 200h,但在海军的南方基地往往飞行 20~30h 就出现严重锈斑,致使发动机飞行 100h 就必须提前返厂修理。修理中该类发动机的前 4 级压气机叶片都因锈蚀严重需全部更换新叶片,后几级叶片的更换率也很高。其他零部件,如镁合金附件机匣有时还会出现腐蚀穿孔现象,甚至在基地库存的新发动机开箱时就发现有锈斑。这些情况不仅造成经济和时间上的巨大损失,而且还威胁飞机的安全可靠,严重影响部队的战斗力。为了解决这个问题,某发动机公司在一些研究所的协助下,对发动机的部分重要零部件采用 9 项防护涂层技术,其中包括防腐蚀、抗高温氧化、防水以及耐磨等各种功能的涂层。带防护涂层的发动机在南方基地飞行 200h (历时 3 年) 后返厂分解检查,结果表明,除压气机一、二级转子叶片有少量轻微锈斑外,其他防护的零件均完好无损,不需修理便可继续使用;而带锈斑的叶片也均可经修复后继续使用。如果将一、二级转子叶片的防护涂层再作些改进和提高,对未防护的其他零件也选用适宜的防护措施,则发动机的返修寿命还可进一步延长。公司还准备将这些涂层技术引用到其他型号的发动机上,以期延长它们的返修寿命及提高安全可靠。采用这些涂层技术所需的成本(包括研制费用)与延长发动机寿命一倍乃至几倍的效益相比是微不足道的,其经济技术效益及社会效益都是显而易见的。这种事半功倍、一本万利的措施完全符合我们这个经济不富裕国家的基本方针,理应得到普遍的重视和大力推广。这里所用的 9 项涂层技术大部分都是早年的预研成果,它们都在其他型号机种上通过长期试车或试用考验,比较成熟。这就为能在短时间内顺利地移植应用这些技术奠定了基础,从中也可以体会到预研工作的重要性以及预研先行的必要性。

“七五”期间在表面处理领域的预研工作投入较少,范围也窄。然而,由于科技工作者的艰苦努力,有的项目还

是取得了长足的进步,如铝合金的有色或无色化学转化膜工艺的质量接近国外阿洛丁溶液化学转化工艺的水平,在一些工厂应用已取得很好的效益;高温合金抗热腐蚀性能的快速评定方法在国内、外都属首创,与常规方法相比不但大大缩短试验时间,而且在设备投资及试验费用方面也节省得多,很适合在工厂条件下采用。其他如 Pt-Al 高温防护涂层工艺、防渗铝涂料、钛合金叶片防粘结涂料等等都为我国航空表面处理领域填补了空白。此外,在磁控溅射沉积高温防护涂层、真空(低压)等离子喷涂技术、离子注入技术、超音速喷涂技术以及真空电弧镀膜技术等方面的研究开发均有突破性进展,现已分别进入工艺试验阶段,可望在“八五”期间陆续得到实际应用。

航空表面处理的技术改造才刚刚起步,今后的任务还十分艰巨。“电镀和化学覆盖工艺质量控制标准”(HB5335-85)以及“金属镀覆和化学覆盖工艺质量控制规范”(GJB480-88)的制订和发布对技术改造起到指导和促进作用。表面处理的技术改造除一些关键的控制设施需引进国外先进技术外,主体设备等主要设施应主要依靠国内的技术力量解决。航空表面处理技术的预研工作应该在发展下列新的工艺技术和新的防护体系等方面投入更多的力量:例如磁控溅射沉积技术、低压等离子喷涂技术、离子注入技术、激光覆层技术等工艺手段以及涡轮叶片的抗高温氧化-隔热涂层、压气机叶片的耐冲刷抗腐蚀涂层、钛合金制件的耐氧化、防烧蚀、抗微震磨损、防腐蚀涂层系列等,在研究这些防护涂层系统的同时,也应该开展相应的能模拟零件工作环境的腐蚀、磨蚀、烧蚀等性能规律的研究以及这些性能检测方法的研究。

热、表处理技术在发展航空事业中的重要作用已越来越受到各级领导的重视,但是,要使这些技术更好更快地向前发展还必须强调部内各单位之间的真诚合作,加强行业管理,统一规划,在新技术的研究开发乃至推广应用过程中,加强单位间的技术交流,集思广益、取长补短,互相支持,使有限的资金投入得到事半功倍的效益。可以期望,在领导部门的支持及广大科技人员、工人的努力下,通过各单位的互相支持和合作,航空热、表处理技术必将会以较快的步伐向先进水平迈进。

\* \* \* \* \*  
(上接第 29 页)

#### 参考文献

1. T. Г. Kpyulehko 等, 亚共晶铝-硅合金的综合变质处理特种铸造及有色合金, 1986. (2).
2. 马永庆等, 消防水带接扣的稀土铸造铝合金的研制, 大连海运学院学报, 1990 (2), P211~215.
3. 联合编写组, 有色合金的熔炼及铸造, 国防工业出版社, 1981.
4. 周玉林等, 稀土对 Al-Si-Cu 合金组织和性能的影响, 特种铸造及有色合金, 1989 (6).