

航空发动机工艺可靠性影响因素分析及改进措施

刘志强*, 刘慧娟, 王刚, 王桂华

中航工业沈阳发动机设计研究所, 辽宁 沈阳 110015

摘要: 工艺可靠性是设计可靠性的延伸, 航空发动机各部件的设计最终要通过制造、装配等工艺来实现。以实际的航空发动机及零部件为例, 从材料、制造和装配工艺等方面分析了影响航空发动机工艺可靠性的因素, 并提出了提高工艺可靠性的改进措施。

关键词: 航空发动机; 工艺可靠性; 影响因素; 改进措施;

中图分类号: V240.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-5453 (2014) 04-0033-03

航空发动机是一种复杂的热力旋转机械,其可靠性直接关系到飞机的作战性能和飞行安全。航空发动机的可靠性不但是设计出来的,同时也是制造和管理出来的。在研制过程中,航空发动机的可靠性问题考虑得越早,全寿命周期费用越低。产品的设计与工艺是紧密相连、相互影响的两个环节。设计规定了产品的可靠性等指标要求,而工艺决定了设计的指标能否实现^[1]。因此,在航空发动机的设计和制造过程中,应充分考虑各种工艺因素对可靠性的影响并采取控制措施,以提高工艺水平,确保发动机的可靠性指标达到设计要求。

1 工艺可靠性影响因素分析

由于受设计、材料、制造和装配等技术、设计与工艺结合、结构设计人员对工艺要求的考虑等多种因素的影响,航空发动机的工艺可靠性问题愈显突出。根据发动机故障统计结果,材料、制造、装配等工艺相关的故障约占70%。这说明,工艺可靠性问题已成为影响航空发动机可靠性的重要因素。航空发动机工艺可靠性主要受以下几个方面的影响:

1.1 材料

材料一直是影响发动机研制的瓶颈。随着航空发动机性能要求的提高,其工作环境更加苛刻,材料可靠性问题也更为

突出。以GH4169高温合金为例,同样成分配比的材料,其组织的均匀性、加工性能、表面质量、机加后的稳定性和经济性(以刀具的磨损程度、材料利用率衡量)等均会有较大差距。某型发动机在研制过程中因材料工艺问题曾发生多起故障,例如高压四级盘在试车过程中发生盘破裂故障,其直接原因是工艺因素导致锻造工艺过程更改,造成模锻毛坯件存在穿透性、大面积的宏观缺陷,且无损检测时该缺陷没有在盘件加工制造过程检测剔除,导致该盘件在较低应力下发生瞬时破坏。由于根部亚表面存在缺陷,导致某高压压气机一级转子叶片在试车中发生高周疲劳断裂;某高压压气机二级静子叶片内端衬套因材料的热稳定性差,从而出现裂纹故障。由于喷涂粉末均匀性差以及喷涂工艺过程控制不规范等原因,某高压涡轮用封严涂层曾多次发生过脱落及磨叶片现象。

1.2 制造

航空发动机零部件的制造一直是新技术、新工艺应用的重点领域,也是制约新一代航空发动机发展的关键。航空发动机的制造工艺通常具有材料难加工、形状与结构复杂、加工精度高等特点^[2],对航空发动机的可靠性和安全性影响较大。随着航空科学技术的发展,航空发动机的精密制坯、切削、焊接、特种加工等关键制造工艺取得突破,并且数字化设计制造能力初步形成。

收稿日期:2013-08-14; 退修日期:2013-09-30; 录用日期:2013-10-26

*通讯作者: Tel.: 024-24281592-809 E-mail:liuzq7538@163.com

引用格式: LIU zhiqiang, LIU huijuan, WANG gang, WANG guihua. Factor analysis and improvement measures for aero-engine process reliability[J]. Aeronautical Science & Technology, 2014, 25(04): 33-35. 刘志强, 刘慧娟, 王刚, 王桂华. 航空发动机工艺可靠性影响因素分析及改进措施[J]. 航空科学技术, 2014, 25(04): 33-35.

为了满足先进航空发动机研制的需要,航空发动机制造商亟需解决空心钛合金叶片超塑成形/扩散连接、整体叶盘高效低成本加工制造、纤维增强复合材料构件、复杂气冷单晶涡轮叶片、钛合金和高温合金机匣高效精密铸造等制造工艺。

1.3 装配

装配是航空发动机在制造过程中的最后环节。发动机装配过程是将加工制造合格的全部零部件按照一定的程序,通过各种不同的连接形式、合理的装配方法组装成完全达到设计技术要求的过程。装配质量直接影响发动机的可靠性和安全性。装配工艺要保证航空发动机的各个零部件具有规定的配合精度和可靠连接,并最终要求达到设计所规定的使用功能^[3]。

以发动机的外部管路为例。由于外部管路是发动机装配的最后环节,管路需要适应所有部件、附件的累计公差而导致管路频率特性发生变化,同时由于管路系统复杂、制造精度不一致、装配工艺不完善等原因,造成管路渗漏、焊缝裂纹或断裂、振动大、碰磨等故障模式时有发生。

2 提高航空发动机工艺可靠性的措施

航空发动机可靠性能否达到设计目标,很大程度上取决于其工艺可靠性技术水平的高低。为了降低航空发动机的故障率,提高其工艺可靠性,建议采用以下几点措施:

2.1 加强工艺可靠性管理

发动机的质量通过设计来实现,通过工艺来保证。因此,必须将工艺与设计同等对待。工艺可靠性管理是开展工艺可靠性工作的前提。首先要明确工艺可靠性工作的目标和任务,确保相关工作的落实与跟踪。其次,加强人才队伍建设,组建合理的工作团队,开展相关培训。再次,加强工艺规范研究,固化工艺,形成实际制造和生产能力并提高生产的一致性,以科学的工艺管理理念为指导,以先进的工艺设备为支撑,不断提高航空发动机工艺水平。

2.2 推动设计与工艺协同

目前,航空发动机的设计和工艺之间存在一定脱节,结构设计人员设计时对工艺要求考虑不够全面,而工艺人员对结构设计参与不够。发动机研制是一项复杂的系统工程,建议组建协同工作组,采用基于协同工作平台,使工艺人员能够提前参与到发动机研制过程中,共享发动机设计阶段的相关信息,提前完成设计工艺审查。加强厂所工艺、设计的深度交流,开展联合工艺评审。关键件、重要件的设计应充分汲取、考虑工艺方面的建议和要求,提高设计的工艺性。在关键工艺的编制过程中,设计人员参与并提出建议和要求。

2.3 开展FMECA

工艺失效模式、影响及危害性分析(FMECA)是一项提高发动机工艺可靠性的重要措施。通过开展工艺FMECA,识别工艺过程潜在的薄弱环节,分析并确定它们对工艺过程、产品的影响,提出措施以消除或控制工艺过程中的缺陷。工艺FMECA 应与设计同步开展,随设计更新迭代。工艺FMECA通常的实施流程见图1。

在工艺FMECA的开展过程中,应充分利用相似生产工艺或工序中积累的故障模式、原因、严酷度等级、发生概率等信息,并加强工艺数据库的建设,为有效开展工艺FMECA提供支持^[4]。同时,对潜在的故障模式采取的措施及验证情况要及时有效的跟踪反馈,监督落实情况,加强分析流程的闭环管理。

2.4 采用虚拟装配等仿真技术

虚拟装配是在虚拟环境中,利用虚拟现实技术将设计的三维模型进行预装配,在满足产品性能与功能的条件下,通过分析、评价、规划、仿真等改进产品的设计和装配,实现产品可装配

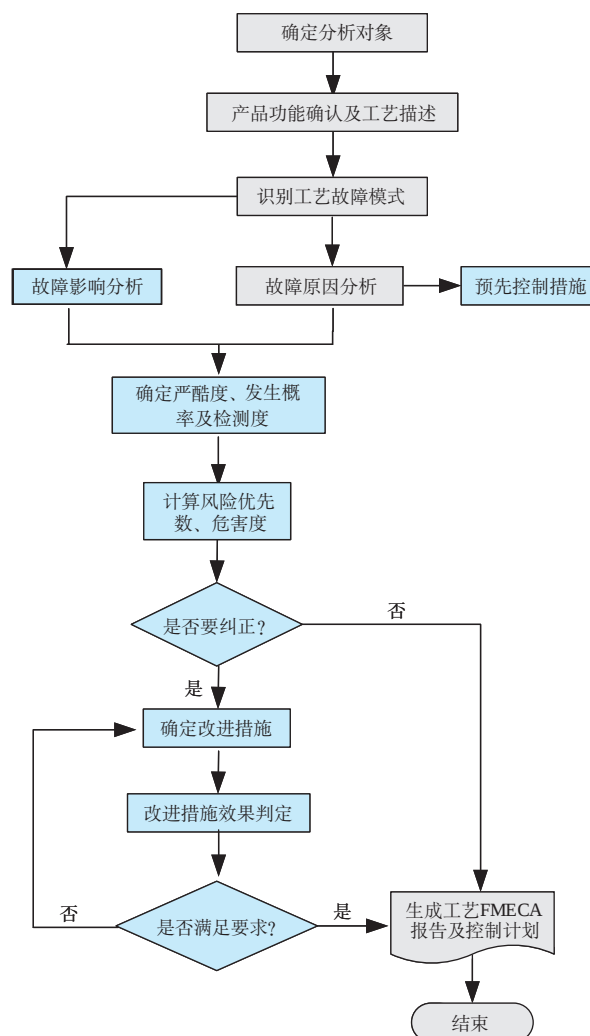


图1 工艺FMECA实施流程

Fig.1 Implementation process of FMECA for process

性和经济性^[5]。在航空发动机装配过程中应用虚拟装配技术,对解决航空发动机装配周期长、装配质量不稳定、生产能力低等问题具有重要的意义。随着信息化技术的不断提高,虚拟装配等仿真技术将成为提高航空发动机工艺可靠性的一种重要工具。

2.5 新材料、新工艺预先研究和试验

当前,新材料、新工艺在航空发动机上得到了大量应用。如果缺少充分的预先研究和试验验证,将会给航空发动机的研制带来一定风险。因此,在工程应用前应对新材料、新工艺开展专项攻关,进行充分的专项试验验证,在达到工程应用的技术成熟度等级后方可应用于型号研制。

3 结束语

航空发动机的工艺可靠性是与性能、质量、可生产性、维修性等进行综合权衡的结果。要提高航空发动机的工艺可靠性,应该加强对工艺可靠性的认识,分析影响工艺可靠性的因素,推动结构设计与工艺的协同,切实开展工艺FMECA,强化仿真技术的研究与应用,增加新工艺和新材料的试验验证。 **AST**

参考文献

- [1] 蒋平.机械制造的工艺可靠性研究[D].长沙:国防科学技术大学,2010.
- JIANG Ping.Research on Process Reliability for Manufacturing [D].Changshan:National University of Defense Technology, 2010.(in Chinese)
- [2] 王良.我国航空发动机制造技术的现状与挑战[J].航空制造技

术,2008 (25):32-37.

WANG Liang.Current Status and Challenge of Chinese Aeroengine Manufacturing Technology[J].Aeronautical Manufacturing Technology, 2008 (25):32-37.(in Chinese)

- [3] 徐延锋.航空发动机装配数字化关键技术研究[实现[D].西安:西北工业大学,2006.
- XU Yanfeng. Research on Key Technology for Digital Assembly Based on Aero-engine[D].Xi'an:Northwestern Poly-technical University, 2006.(in Chinese)
- [4] 中国人民解放军总装备部.GJB/Z 1391—2006故障模式、影响及危害性分析指南[S].北京:中国人民解放军总装备部,2006.
- General Armament Department of People's Liberation Army of China.GJB/Z 1391—2006 Guide to failure mode,effects and criticality analysis[S].Beijing:General Armament Department of People's Liberation Army of China, 2006.(in Chinese)
- [5] 戴云,陈道炯.虚拟装配技术在飞机发动机装配中的应用[J].科技信息,2011 (30):117.
- DAI Yun,CHEN Daojiong.The Application of the Virtual Assembly Technology in the Aeroengine[J].ScienceTechnology &Information, 2011 (30):117.(in Chinese)

作者简介

刘志强(1982—) 男,硕士,工程师。主要研究方向:航空发动机可靠性设计、分析与管理。

Tel: 024-24281592-809 E-mail: liuzq7538@163.com

Factor Analysis and Improvement Measures for Aero-engine Process Reliability

LIU Zhiqiang*, LIU Huijuan, WANG Gang, WANG Guihua
AVIC Shenyang Aero-engine Design Institute, Shenyang 110015, China

Abstract: Process Reliability is an extension of design reliability, the design of aero-engine components is achieved finally through manufacturing and assembly processes. Actual aero-engines and components are taken as examples, from material, manufacturing and assembly process and other aspects, the factors that affect the reliability of aero-engine were analyzed, and the measures were proposed to improve process reliability of aero-engine.

Key Words: aero-engine; process reliability; effect factors; improvement measures

Received: 2013-08-14; Revises: 2013-09-30; Accepted: 2013-10-26

* Corresponding author. Tel.: 024-24281592-809 E-mail: liuzq7538@163.com