

# 航空焊接工程综合试验技术的现状及发展

Current Status and Development of Welding Engineering Comprehensive Experiment Technology in Aviation Industry

中航工业西安航空发动机(集团)有限公司 李立武



李立武

毕业于北京航空航天大学焊接专业,研究员,国际焊接工程师(IWE),中国焊接学会计算机应用专业委员会委员,西航特种制造技术研究中心副主任、焊接一级专家。长期从事焊接技术工作,获省部级以上科技成果8项,国防专利3项,发表论文11篇。

焊接学科是一门实践性很强的学科,焊接试验是深入研究焊接内在规律,发展焊接基础理论及发明新材

航空焊接工程综合试验与其他行业焊接工程试验相比较,焊接技术人员涉及的焊接材料品种更加繁多、焊接方法更加全面、焊接工艺更加严谨,同时要求焊接产品的质量更好,性能要求更高,产品的工作条件更加严酷。

料、新工艺、新设备的主要手段,同时也是提高焊接技术、保证焊接产品和结构质量的重要基础。

## 航空焊接工程综合试验技术

### 1 航空焊接工程综合试验的概念

焊接试验有许多分类方法,例如,按照试验的目的可以分为探索性试验和验证性试验;按照试验者与研究对象的关系可以分为直接试验和间接试验;按照量与质的关系可以分为定性试验和定量试验等。航空焊接工程综合试验则是按照试验

规模和内涵相对于焊接基本试验划分出来的一类试验。

航空焊接工程综合试验与其他行业焊接工程试验相比较,焊接技术人员涉及的焊接材料品种更加繁多、焊接方法更加全面、焊接工艺更加严谨,同时要求焊接产品的质量更好,性能要求更高,产品的工作条件更加严酷。为了与焊接研究中的综合试验相区别,对于航空焊接工程实际中的综合试验称之为“航空焊接工程综合试验”,它具有以下特点:

(1)规模大、内容复杂、试验周期短。

- (2) 具有“系统”特征。
- (3) 可实现规范化。
- (4) 与实际生产密切结合。

## 2 发展航空焊接工程综合试验的重要性

在各种工业领域中,焊接产品的开发可以概括为图 1 所示的过程。焊接技术发展到现在,已经成为现代工业生产中不可缺少的加工工艺之一。航空焊接工程综合试验在解决航空产品焊接生产关键问题、改进产品设计和工艺、确保焊接产品质量以及提高生产率等方面起着重要的作用,更与产品的质量息息相关。许多知名的大型发动机生产厂家都有自己独立的焊接实验机构,如 R·R 实验室等。掌握并加强焊接工程综合试验技术对于从事航空动力产品的企业来讲无疑是十分重要的。

## 3 航空焊接工程综合试验的主要内容

### (1) 焊接性试验。

随着航空发动机推重比的不断提高,焊接产品的工况日趋严酷,进行焊接性试验便成了一项不可缺少的工作。主要包括 2 个方面:一是针对接头结合性能的工艺焊接性试验;二是针对接头使用性能的使用焊接性试验。此外,为了掌握金属材料的化学成分、力学性能、缺陷状况等自然情况,以便进行焊接性分析,在上述 2 方面试验之前还要进行一些相关的基础试验。概括起来,焊接性试验由以下 3 部分组成。

- 基础试验:母材的化学成分分析;母材的力学性能试验,包括拉伸、弯曲、冲击试验等;母材的缺陷检验。

- 工艺焊接性试验:焊接金相试验和硬度试验;焊接接头无损检测;其中焊接裂纹敏感性试验是工艺焊接性试验的主体,包括:热裂纹试验、冷裂纹试验、层状撕裂试验、再热裂纹试验和应力腐蚀裂纹试验等。

- 使用焊接性试验:焊接接头力学性能试验、焊接接头断裂韧性试验、特殊要求试验,如耐磨损、耐腐蚀试验、高温强度试验等。在选择试验方法时应遵循以下原则:尽可能地接近产品的结构条件和使用条件,以产生与实际接头相同的组织;具有较好的再现性和试验精度;经济简便。

总之,在选择试验方法时应对上述几个方面作综合考虑。此外,由于每一种试验方法都有其针对性和局限性,因此往往需要同时选择 2 种或多种方法互相配合、互相补充才会切合实际。

### (2) 焊接工艺评定试验。

焊接工艺评定有 2 个目的:一是验证所拟定的焊接工艺是否正确,二是评价施工单位能否焊出符合有关要求的焊接接头。这个环节是焊接产品制造过程中不可缺少的组成部

影响,已被许多国家所接受。但是,遗憾的是我国的航空工业发展到今天,还没有制定统一的焊接工艺评定标准。

### (3) 焊接材料质量评定试验。

焊接材料不仅会影响焊接过程的稳定性,而且还会影响焊缝的外观质量和内在质量。对于使用厂,其目的是通过试验复验焊接材料的质量。

### (4) 焊接电源性能试验。

焊接电源及其性能好坏会直接影响焊接电弧的稳定燃烧和焊接过程的顺利进行,关系到熔池行为和结晶过程,热温度场变化等,因此也是保证焊接产品质量因素之一。电源性能试验可分为:安全性能试验、电气性能试验、环境条件可靠性试验、焊接工艺性能试验。

### (5) 焊工操作技能评定试验。

世界各工业先进国家都十分重

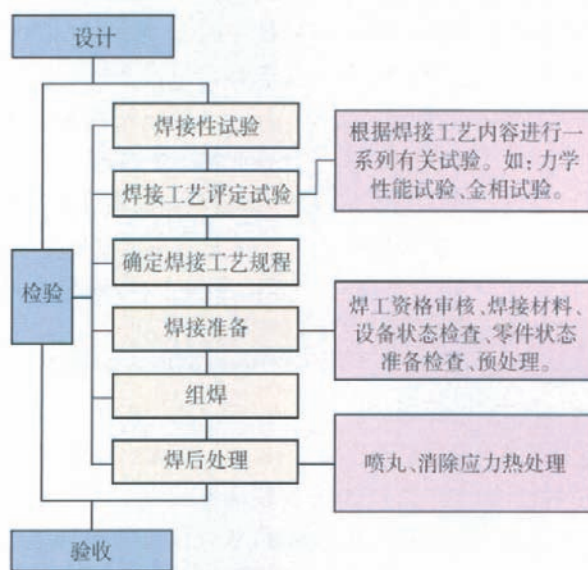


图1 焊接产品开发过程

分。世界上各工业发达国家,如美国、日本、德国、英国等,对于重要的焊接结构都制定了焊接工艺评定标准或法规。尤其是美国 ASME《锅炉及压力容器规范》中的第 IX 篇“焊接及钎焊评定”标准,在世界上有很大

视对焊工进行培训和考试。例如,美国在 ASME 规范第 IX 篇《焊接和钎焊评定》中,详细规定了对焊工焊接操作技能进行评定的方法和要求。德国为了搞好焊工的培训和考试制定了 DIN8560 标准,并专门成立了

焊接培训中心。由于焊工考试工作如此重要,我国也成立了航空航天焊工考核委员会,制定了专门焊工考试规程 HB5299。

#### (6) 焊接产品失效分析试验。

焊接产品失效的情况千差万别,影响因素错综复杂,进行焊接产品失效分析不可能有统一固定的模式,但是,还是具有一定规律可循,一般来说,大体包括以下几个阶段。

- 调查研究、收集资料:这是失效分析的第一步。通过调查研究、收集资料可以使人们了解产生失效的来龙去脉,掌握第一手资料,从而抓住要害,简化分析的工作量。主要包括调查失效现场以及失效背景 2 个方面。

- 检查外观、选取试样:在失效分析中,正确地选取试样是非常重要的,它会直接影响最终分析结果的准确性。

- 失效分析试验:这是失效分析的主体,常用的试验方法有断口分析试验、金相分析试验、无损检测、化学成分分析试验、材料性能试验、故障模拟试验。

- 得出结论、制定措施:这是失效分析工作的最终归宿。要求分析人员善于对所得到的资料进行整理、对比、分析、提炼、抓住主要矛盾,才能得出正确的结论。做出结论以后,接着就要提出改进的措施,写出分析报告,并反馈给有关部门,经过最终可行性论证通过后付诸实施,核查结果并加以验证,无误后,纳入规程,用来指导后续生产。

## 航空焊接工程综合试验的现状

### 1 焊接性试验

在焊接基础试验方面,行业各单位装备精良,手段齐全,可满足母材的化学成分分析、力学性能试验,包括拉伸、弯曲、冲击试验以及缺陷检验等方面的需求。

在工艺焊接性试验方面,仅仅能够进行焊接接头的金相试验、硬度试验和焊接接头无损检测。而作为工艺焊接性试验主体的焊接裂纹敏感性试验(包括:热裂纹试验、冷裂纹试验、层状撕裂试验、再热裂纹试验和应力腐蚀裂纹试验等),行业各工厂几乎是空白,主要能力分布在高校和研究所。

在使用焊接性试验方面,目前能够进行焊缝及焊接接头力学性能试验、焊接接头断裂韧性试验、高温强度试验。

在特殊要求试验方面,如耐磨、耐腐蚀试验、振动疲劳试验等方面力量比较薄弱,与新型发动机的研制及批生产的需求相比,还存在差距。

### 2 焊接工艺评定试验

按照 GJB9001A 的强制要求,军用焊接产品的加工,必须通过焊接工艺评定试验。由于工作环境、工作状况的差异性,国内甚至国外还没有形成统一的、适用于航空发动机的焊接工艺评定标准。航空发动机领域的焊接工艺评定试验多年来一直是困扰行业的一个难题。

### 3 焊接材料质量评定试验

无论在标准制度上,还是在分析条件、手段上,可满足焊接材料质量评定试验的需求。

### 4 焊接电源性能试验

无论是 GJB9001A-2001、ISO9001,还是 NADCAP 审核,都对焊接电源的性能鉴定提出明确要求,但是,目前现状仅仅停留在日常维护上。目前管理制度上虽有规定,除阻焊设备外,其他焊接设备基本未进行过实质性的工作。因而,焊接电源在出厂后的使用过程中的性能变化以及这种变化对焊接质量的影响,无疑会增加生产成本,并对焊接质量造成一定威胁。

### 5 焊工操作技能评定试验

行业具有完备的焊工操作技能评定试验机构,严格按照 HB5299 执

行,培养了大批合格焊工,这些焊工中有些甚至通过国外标准规定的技能评定内容,为军品、外贸焊接产品的生产作出了贡献。

## 6 焊接产品失效分析试验

多年来,发动机焊接产品质量事故虽然不多,但也时有发生。相关的分析条件和手段通过近几年的改善、补充已经得到很大的改观,在焊接产品失效分析试验方面也积累了一些经验,但距离系统化、规范化、科学化的标准还存在很大差距。

## 改进方向与建议

纵观航空焊接工程综合试验的方方面面,在焊接性试验、焊接材料性能评定试验、焊工操作技能评定试验方面基础较好,具有一定优势,但是仍然存在空白和些许不足,这些都是当务之急和需要尽快改进的问题。

(1) 加强焊接人员培训,从质和量上保证航空动力产品焊接加工对人力资源的需要。

(2) 努力争取行业和国家投入一定人力、物力,补充必要条件,通过厂、所、院校和用户的大力协同,尽快着手开展航空产品焊接工艺评定工作,保证航空产品焊接质量和使用性能。

(3) 着手展开焊接设备的性能鉴定工作,排除设备因素影响,保证产品焊接质量。

(4) 规范焊接产品失效分析试验的流程、各部门的职责,以便高效、准确分析失效原因,制定对策。建议汇总、编制行业焊接产品失效分析图谱,共享经验和教训。

(5) 加强航空焊接工程综合试验信息化的进程,开展焊接产品计算机数值模拟以及验证工作。开发、推广、采用焊接工艺专家系统、人工智能系统,大大降低生产中的浪费、损失,提高焊接产品的整体水平。

(责编 依然)