



大飞机出版工程
总主编 顾诵芬

民机先进制造工艺技术系列
主编 林忠钦

民用飞机 热表特种工艺技术

Heat and Surface Treatment Processes for
Civil Aircraft

陈洁 等编著



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

民机先进制造工艺技术系列

主 编 林忠钦

民用飞机 热表特种工艺技术

Heat and Surface Treatment Processes for
Civil Aircraft

陈 洁 等编著



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内容提要

本书是由上海飞机制造有限公司和中航工业成飞民机公司的科研技术团队合作撰写的一本关于民用飞机热表特种工艺技术的专著。本书除了包含表面处理、热处理等技术要点,以及国内外实际应用现状及今后的发展趋势,还特别加入了适航审定对热表特种工艺技术的要求。

本书适合航空领域的研究生、制造企业工艺技术人员和设计院所工程设计人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

民用飞机热表特种工艺技术/陈洁等编著. —上海:上海交通大学出版社,2016

(大飞机出版工程)

ISBN 978-7-313-16294-6

I. ①民… II. ①陈… III. ①民用飞机—热喷涂 IV. ①V267

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 314658 号

民用飞机热表特种工艺技术

编 著:陈 洁 等

出版发行:上海交通大学出版社

邮政编码:200030

出 版 人:郑益慧

印 制:上海盛通时代印刷有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

字 数:447 千字

版 次:2016 年 12 月第 1 版

书 号:ISBN 978-7-313-16294-6/V

定 价:138.00 元

地 址:上海市番禺路 951 号

电 话:021-64071208

经 销:全国新华书店

印 张:23.5

印 次:2016 年 12 月第 1 次印刷

版权所有 侵权必究

告读者:如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话:021-61453770

大飞机出版工程

丛书编委会

总主编

顾诵芬（中国航空工业集团公司科技委副主任、中国科学院和中国工程院院士）

副总主编

金壮龙（中国商用飞机有限责任公司董事长）

马德秀（上海交通大学原党委书记、教授）

编委（按姓氏笔画排序）

王礼恒（中国航天科技集团公司科技委主任、中国工程院院士）

王宗光（上海交通大学原党委书记、教授）

刘洪（上海交通大学航空航天学院副院长、教授）

许金泉（上海交通大学船舶海洋与建筑工程学院教授）

杨育中（中国航空工业集团公司原副总经理、研究员）

吴光辉（中国商用飞机有限责任公司副总经理、总设计师、研究员）

汪海（上海市航空材料与结构检测中心主任、研究员）

沈元康（中国民用航空局原副局长、研究员）

陈刚（上海交通大学原副校长、教授）

陈迎春（中国商用飞机有限责任公司常务副总设计师、研究员）

林忠钦（上海交通大学常务副校长、中国工程院院士）

金兴明（上海市政府副秘书长、研究员）

金德琨（中国航空工业集团公司科技委委员、研究员）

崔德刚（中国航空工业集团公司科技委委员、研究员）

敬忠良（上海交通大学航空航天学院常务副院长、教授）

傅山（上海交通大学电子信息与电气工程学院研究员）

编 委 会

主 编

林忠钦(上海交通大学常务副校长、中国工程院院士)

副主编

姜丽萍(中国商飞上海飞机制造有限公司总工程师、研究员)

编 委(按姓氏笔画排序)

习俊通(上海交通大学机械与动力学院副院长、教授)

万 敏(北京航空航天大学飞行器制造工程系主任、教授)

毛荫风(中国商飞上海飞机制造有限公司原总工程师、研究员)

孙宝德(上海交通大学材料科学与工程学院院长、教授)

刘卫平(中国商飞上海飞机制造有限公司副总工程师、研究员)

汪 海(上海市航空材料与结构检测中心主任、研究员)

陈 洁(中国商飞上海飞机制造有限公司总冶金师、研究员)

来新民(上海交通大学机械与动力工程学院机械系主任、教授)

陈 磊(中国商飞上海飞机制造有限公司副总工程师、航研所所长、研究员)

张 平(成飞民机公司副总经理、技术中心主任、研究员)

张卫红(西北工业大学副校长、教授)

赵万生(上海交通大学密歇根学院副院长、教授)

倪 军(美国密歇根大学机械工程系教授、上海交通大学密歇根学院院长、教授)

黄卫东(西北工业大学凝固技术国家重点实验室主任、教授)

黄 翔(南京航空航天大学航空宇航制造工程系主任、教授)

武高辉(哈尔滨工业大学金属基复合材料与工程研究所所长、教授)

总 序

国务院在 2007 年 2 月底批准了大型飞机研制重大科技专项正式立项,得到全国上下各方面的关注。“大型飞机”工程项目作为创新型国家的标志工程重新燃起我们国家和人民共同承载着“航空报国梦”的巨大热情。对于所有从事航空事业的工作者,这是历史赋予的使命和挑战。

1903 年 12 月 17 日,美国莱特兄弟制作的世界第一架有动力、可操纵、比重大于空气的载人飞行器试飞成功,标志着人类飞行的梦想变成了现实。飞机作为 20 世纪最重大的科技成果之一,是人类科技创新能力与工业化生产形式相结合的产物,也是现代科学技术的集大成者。军事和民生对飞机的需求促进了飞机迅速而不间断的发展和应用,体现了当代科学技术的最新成果;而航空领域的持续探索和不断创新,为诸多学科的发展和相关技术的突破提供了强劲动力。航空工业已经成为知识密集、技术密集、高附加值、低消耗的产业。

从大型飞机工程项目开始论证到确定为《国家中长期科学和技术发展规划纲要》的十六个重大专项之一,直至立项通过,不仅使全国上下重视起我国自主航空事业,而且使我们的人民、政府理解了我国航空事业半个世纪发展的艰辛和成绩。大型飞机重大专项正式立项和启动使我们的民用航空进入新纪元。经过 50 多年的风雨历程,当今中国的航空工业已经步入了科学、理性的发展轨道。大型客机项目其产业链长、辐射面宽、对国家综合实力带动性强,在国民经济发展和科学技术进步中发挥着重要作用,我国的航空工业迎来了新的发展机遇。

大型飞机的研制承载着中国几代航空人的梦想,在 2016 年造出与波音 B737 和

空客 A320 改进型一样先进的“国产大飞机”已经成为每个航空人心中奋斗的目标。然而,大型飞机覆盖了机械、电子、材料、冶金、仪器仪表、化工等几乎所有工业门类,集成了数学、空气动力学、材料学、人机工程学、自动控制学等多种学科,是一个复杂的科技创新系统。为了迎接新形势下理论、技术和工程等方面的严峻挑战,迫切需要引入、借鉴国外的优秀出版物和数据资料,总结、巩固我们的经验和成果,编著一套以“大飞机”为主题的丛书,借以推动服务“大型飞机”作为推动服务整个航空科学的切入点,同时对于促进我国航空事业的发展和加快航空紧缺人才的培养,具有十分重要的现实意义和深远的历史意义。

2008 年 5 月,中国商用飞机有限公司成立之初,上海交通大学出版社就开始酝酿“大飞机出版工程”,这是一项非常适合“大飞机”研制工作时宜的事业。新中国第一位飞机设计宗师——徐舜寿同志在领导我们研制中国第一架喷气式歼击教练机——歼教 1 时,亲自撰写了《飞机性能及算法》,及时编译了第一部《英汉航空工程名词字典》,翻译出版了《飞机构造学》《飞机强度学》,从理论上保证了我们飞机研制工作。我本人作为航空事业发展 50 年的见证人,欣然接受了上海交通大学出版社的邀请担任该丛书的主编,希望为我国的“大型飞机”研制发展出一份力。出版社同时也邀请了王礼恒院士、金德琨研究员、吴光辉总设计师、陈迎春副总设计师等航空领域专家撰写专著、精选书目,承担翻译、审校等工作,以确保这套“大飞机”丛书具有高品质和重大的社会价值,为我国的大飞机研制以及学科发展提供参考和智力支持。

编著这套丛书,一是总结整理 50 多年来航空科学技术的重要成果及宝贵经验;二是优化航空专业技术教材体系,为飞机设计技术人员培养提供一套系统、全面的教科书,满足人才培养对教材的迫切需求;三是为大飞机研制提供有力的技术保障;四是将许多专家、教授、学者广博的学识见解和丰富的实践经验总结继承下来,旨在从系统性、完整性和实用性角度出发,把丰富的实践经验进一步理论化、科学化,形成具有我国特色的“大飞机”理论与实践相结合的知识体系。

“大飞机”丛书主要涵盖了总体气动、航空发动机、结构强度、航电、制造等专业方向,知识领域覆盖我国国产大飞机的关键技术。图书类别分为译著、专著、教材、工具书等几个模块;其内容既包括领域内专家们最先进的理论方法和技术成果,也

包括来自飞机设计第一线的理论和实践成果。如:2009年出版的荷兰原福克飞机公司总师撰写的 *Aerodynamic Design of Transport Aircraft* (《运输类飞机的空气动力设计》), 由美国堪萨斯大学 2008 年出版的 *Aircraft Propulsion* (《飞机推进》) 等国外最新科技的结晶; 国内《民用飞机总体设计》等总体阐述之作和《涡量动力学》《民用飞机气动设计》等专业细分的著作; 也有《民机设计 1000 问》《英汉航空双向词典》等工具类图书。

该套图书得到国家出版基金资助, 体现了国家对“大型飞机项目”以及“大飞机出版工程”这套丛书的高度重视。这套丛书承担着记载与弘扬科技成就、积累和传播科技知识的使命, 凝结了国内外航空领域专业人士的智慧和成果, 具有较强的系统性、完整性、实用性和技术前瞻性, 既可作为实际工作指导用书, 亦可作为相关专业人员的学习参考用书。期望这套丛书能够有益于航空领域里人才的培养, 有益于航空工业的发展, 有益于大飞机的成功研制。同时, 希望能为大飞机工程吸引更多的读者来关心航空、支持航空和热爱航空, 并投身于中国航空事业做出一点贡献。

顾诵芬

2009 年 12 月 15 日

序

制造业是国民经济的主体,是立国之本、兴国之器、强国之基。《中国制造 2025》提出,坚持创新驱动、智能转型、强化基础、绿色发展,加快从制造大国转向制造强国。航空装备,作为重点发展的十大领域之一,目前正处于产业深化变革期;加快大型飞机研制,是航空装备发展的重中之重,也是我国民机制造技术追赶腾飞的机会和挑战。

民机制造涉及新材料成形、精密特征加工、复杂结构装配等工艺,先进制造技术是保证民机安全性、经济性、舒适性、环保性的关键。我国从运-7、新支线 ARJ21-700 到正在研制的 C919、宽体飞机,开展了大量的工艺试验和技术攻关,正在探索一条符合我国民机产业发展的技术路线,逐步建立起满足适航要求的技术平台和工艺规范。伴随着 ARJ21 和 C919 的研制,正在加强铝锂合金成形加工、复合材料整体机身制造、智能自动化柔性装配等技术方面的投入,以期在宽体飞机等后续型号的有序可控生产奠定基础。但与航空技术先进国家相比,我们仍有较大差距。

民机制造技术的提升,有赖于国内五十多年民机制造的宝贵经验和重要成果的总结,也将得益于鉴国外的优秀出版物和数据资料引进。因此有必要编著一套以“民机先进制造工艺技术”为主题的丛书,服务于在研大型飞机以及后续型号的开发,同时促进我国制造业技术的发展和紧缺人才的培养。

本系列图书筹备于 2012 年,启动于 2013 年,为了保证本系列图书的品质,先后召开三次编委会会议和图书撰写会议,进行了丛书框架的顶层设计、提纲样章的评审。在编写过程中,力求突出以下几个特点:①注重时效性,内容上侧重在目前民机

研制过程中关键工艺;②注重前沿性,特别是与国外先进技术差距大的方面;③关注设计,注重民机结构与制造问题的系统解决;④强调复合材料制造工艺,体现民机先进材料发展的趋势。

该系列丛书内容涵盖航空复合材料结构制造技术、构件先进成形技术、自动化装配技术、热表特种工艺技术、材料和工艺检测技术等面向民机制造领域前沿的关键性技术方向,力求达到结构的系统性,内容的相对完整性,并适当结合工程应用。丛书反映了学科的近期和未来的可能发展,注意包含相对成熟的内容。

本系列图书由中国商飞上海飞机制造有限公司、中航工业成都飞机工业(集团)有限责任公司、沈阳飞机设计研究所、北京航空制造工程研究所、中国飞机强度研究所、沈阳铸造研究所、北京航空航天大学、南京航空航天大学、西北工业大学、上海交通大学、西安交通大学、清华大学、哈尔滨工业大学和南昌航空航天大学等单位的航空制造工艺专家担任编委及主要撰写专家。他们都有很高的学术造诣,丰富的实践经验,在形成系列图书的指导思想、确定丛书的覆盖范围和内容、审定编写大纲、确保整套丛书质量中,发挥了不可替代的作用。在图书编著中,他们融入了自己长期科研、实践中获得的经验、发现和创新,构成了本系列图书最大的特色。

本系列图书得到2016年国家出版基金的资助,充分体现了国家对“大飞机工程”的高度重视,希望该套图书的出版能够真正服务到国产大飞机的制造中去。我衷心感谢每一位参与本系列图书的编著人员,以及所有直接或间接参与本系列图书审校工作的专家学者,还有上海交通大学出版社的“大飞机出版工程”项目组,正是在所有工作人员的共同努力下,这套图书终于完整地呈现在读者的面前。我衷心希望本系列图书能切实有利于我国民机制造工艺技术的提升,切实有利于民机制造行业人才的培养。

林忠钦

2016年3月25日

前 言

航空工件的工作条件十分严酷,工作时承受着多种应力,如机械应力、热应力、化学应力等。以起落架刹车盘为例,它们承受着盘片与盘片之间挤压带来的静载荷;盘片与盘片之间摩擦造成的热应力;温度与载荷结合带来的蠕变;高温氧化、燃气腐蚀及其他污染造成的化学应力。随着航空工业的迅猛发展,对飞机工件的工作寿命要求不断增加,已从半个世纪以前的 100 小时增长到现在的几万小时以上。长期使用(特别是高温、高应力下)会使工件材料组织和性能发生剧烈变化。如此复杂的工作条件,必然对材料和工艺提出越来越高的要求。

近数十年来技术和经济的迅速发展,使原本“豪华”的航空旅行的飞机逐步变成今天大众的通勤工具。如今,每天有数十万人要登上 7 万个航班班次的客机,在全球 4 000 多座机场起降。随着民机工业的兴起,尤其是美国波音公司和欧洲空中客车公司相继推出的新项目 B787 和 A350 飞机的竞争,以及中国商飞公司推出的聚全国之力研制的 C919 飞机的异军突起,促使民机制造技术,尤其是影响工件内部质量的特种工艺技术发展进入了新阶段。

本书的目的在于向广大航空专业的学生或航空从业科技人员介绍特种工艺的定义、种类、各类技术的基本原理与工艺方法,国内外实际应用现状及今后的发展趋势。由于飞机制造技术,尤其是能影响工件内部质量的特种工艺制造技术是保证飞机产品质量稳定的最重要环节,编者希望能通过本书帮助相关从业人员了解和掌握传统特种工艺技术方法,采集、鉴别航空制造领域的具有前瞻性、先导性和探索性的信息,通过分析、综合、评估和科学抽象,把握飞机制造特种工艺技术的未来发展趋势。

民用航空领域特种工艺种类繁多,锻造、铸造、粉末冶金、焊接、热处理、表面处理、胶接、复合材料成型以及其他非金属材料成型工艺等,都属于特种工艺的范畴。

这其中,热处理和表面处理是民用飞机不可或缺的技术手段,在民用航空领域使用最为频繁,几乎没有零件不需要经过热处理和表面处理就直接使用的。因此,本书主要介绍热处理和表面处理专业方向的工艺技术。这些专业方向各有特点,技术背景和应用领域各异,而且在传统工艺的基础上,这些专业方向都涌现出一系列新兴技术。按专业方向分篇,每篇首章概述一个专业方向的分类及特征、应用范围、国内外应用现状及发展动态,然后分章详细介绍该专业方向领域相关传统工艺和新兴技术的基本原理、设备、工艺及其在航空工业中的应用。最后一章以适航对质量管理体系的功能要求为基础,结合企业实际,较为系统地介绍了民用航空制造企业的特种工艺质量控制的做法。

本书是上海飞机制造有限公司(上飞公司)编审组出版的民用飞机相关技术丛书之一。成都飞机工业(集团)有限责任公司(以下简称中航工业成飞)的王利华、姚兰等人参与了电镀、钢的热处理和民用航空产品特种工艺控制等章节的编著工作。在编审修订过程中,得到了上海交通大学林忠钦院士、上飞公司姜丽萍总工程师、上飞公司原总工程师毛荫风、上飞公司原总冶金师陈进春、上飞公司原副总工程师蒋艰及成飞公司相关领导和同志的支持和鼓励。正是有这些专家们对本书进行把关,提供了宝贵意见,对于书中缺点和错误之处给予批评指正,本书最终才能得以顺利撰写完成,特此致谢!

本书以上飞公司总冶金师陈洁同志为主编,各章作者分工如下:

- | | |
|------------|---------------------|
| 1 绪论 | 易俊兰、孙中刚 |
| 2 表面处理 | 易俊兰、王利华(中航工业成飞)、宋袁曾 |
| 2.1 电镀 | 王利华(中航工业成飞)、易俊兰 |
| 2.2 阳极氧化 | 易俊兰 |
| 2.3 化学转化 | 宋袁曾 |
| 2.4 有机涂层涂覆 | 宋袁曾 |
| 2.5 热喷涂 | 易俊兰 |
| 3 热处理 | 孙中刚、黄 洁 |
| 3.1 钢的热处理 | 孙中刚、姚 兰(中航工业成飞) |
| 3.2 铝合金热处理 | 孙中刚、王 程 |
| 3.3 钛合金热处理 | 孙中刚 |

3.4 民机零件热处理的质量控制与检验 刘晓晗、施美圆、黄 洁

3.5 民机新型热处理技术及其发展趋势 付小强、马 超

4 民用航空产品特种工艺控制 易俊兰、王利华(中航工业成飞)

此外,还要感谢为本书撰写提供素材的袁佶、鲍冠生、顾伟(中航工业成飞)、罗庆(中航工业成飞)、普学仁(中航工业成飞)等,为本书打印、校对提供帮助的吴宏亮、秦锐、毛景、张增焕、王欣晶等,以及为本书的编审和出版付出辛勤劳动和汗水的上飞公司装配中心副主任李汝鹏、上飞公司制造中心主任孙小峰和上海交大出版社钱方针、陈昕伊、王珍等。

编著者

2016 年 10 月

目 录

1 绪论	1
1.1 特种工艺技术概述	1
1.1.1 特种工艺的定义	1
1.1.2 特种工艺的特点	1
1.1.3 特种工艺质量控制的基本内容	2
1.2 民用飞机对特种工艺技术的控制要求	3
1.2.1 特种工艺技术控制对民用飞机的重要性	3
1.2.2 特种工艺技术质量控制要求	3
1.2.3 国内外航空领域特种工艺技术质量控制现状	4
1.3 民用飞机热表特种工艺技术分类及发展趋势	6
1.3.1 热表特种工艺技术的地位和作用	6
1.3.2 民用飞机领域热处理和表面处理特种工艺技术分类	7
1.3.3 民用飞机领域热处理和表面处理特种工艺技术发展趋势	7
参考文献	8
2 表面处理	9
2.1 电镀	9
2.1.1 概述	9
2.1.2 航空制造领域电镀技术的工艺方法与质量要求	18
2.1.3 航空制造领域新兴电镀技术	40
2.2 阳极氧化	46
2.2.1 概述	46
2.2.2 航空制造领域阳极氧化技术的工艺方法与质量要求	53
2.2.3 航空制造领域新兴阳极氧化技术	73
2.3 化学转化	82
2.3.1 概述	82

- 2.3.2 航空制造领域化学转化技术的工艺方法与质量要求 90
- 2.3.3 航空制造领域新兴化学转化技术 114
- 2.4 有机涂层涂覆 124
 - 2.4.1 概述 124
 - 2.4.2 航空制造领域有机涂层涂覆的工艺方法与质量要求 134
 - 2.4.3 航空制造领域新兴有机涂层及涂覆技术 155
- 2.5 热喷涂 165
 - 2.5.1 概述 166
 - 2.5.2 航空制造领域热喷涂技术的工艺方法与质量要求 178
 - 2.5.3 航空制造领域新兴热喷涂技术 186
- 参考文献 200

3 民用飞机金属材料的热处理 205

- 3.1 钢的热处理 205
 - 3.1.1 民用飞机用钢的种类及其特点 205
 - 3.1.2 钢的热处理原理及基本工艺特点 208
 - 3.1.3 民用飞机常用钢的典型热处理工艺 222
 - 3.1.4 钢的热处理工艺常见故障及排除方法 235
- 3.2 铝合金热处理 237
 - 3.2.1 民用飞机用铝合金种类及其特点 237
 - 3.2.2 铝合金热处理原理及基本工艺特点 243
 - 3.2.3 民用飞机常用铝合金的典型热处理工艺 251
 - 3.2.4 铝合金热处理工艺常见故障及排除方法 264
- 3.3 钛合金热处理 267
 - 3.3.1 民用飞机用钛合金的分类及其特点 267
 - 3.3.2 钛合金热处理基本原理 269
 - 3.3.3 钛合金典型热处理工艺 276
 - 3.3.4 典型钛合金热处理工艺常见故障及排除方法 283
- 3.4 民机零件热处理的质量控制与检验 286
 - 3.4.1 热处理的工艺特点及制订原则 286
 - 3.4.2 民机零件热处理过程控制 288
 - 3.4.3 民机热处理质量控制及检测方法 289
- 3.5 民机新型热处理技术及其发展趋势 299
 - 3.5.1 真空热处理技术 300
 - 3.5.2 保护气氛热处理 305
 - 3.5.3 其他热处理技术 308

3.5.4 计算机辅助热处理技术 310

参考文献 311

4 民用航空产品的特种工艺控制 314

4.1 民用航空适航管理中的特种工艺控制要求 314

4.1.1 适航性要求的内涵 314

4.1.2 适航审定规章中的特种工艺控制要求 315

4.2 民用航空质量管理中的特种工艺控制要求 321

4.2.1 国际航空质量管理体系标准要求 321

4.2.2 AS9100 标准对特殊过程(特种工艺)控制的要求 322

4.3 质量和适航管理体系运行中落实对特种工艺的质量控制 323

4.3.1 质量顶层文件落实 AS9100 标准要求 323

4.3.2 在特殊过程(特种工艺)中贯彻落实 AS9100 标准要求 324

4.4 主制造商对供应商特种工艺质量控制要求 326

4.4.1 主制造商加强供应商特种工艺质量控制的必要性 326

4.4.2 主制造商加强供应商特种工艺质量控制的关注点 328

4.4.3 主制造商加强供应商特种工艺质量控制的控制方式 329

参考文献 343

全书参考文献 344

缩略词 346

索引 347

1 绪 论

1.1 特种工艺技术概述

1.1.1 特种工艺的定义

特种工艺是指对材料进行一系列经精确控制的工艺处理,使其产生物理、化学或冶金性能的变化,若非经破坏性试验,仅从外观无法衡量是否符合规范要求的工艺。这样的工艺形成的产品不易直观或经济地测量其内在质量,要求预先鉴定过程能力,通过一系列严格控制的工序进行处理或加工。

航空产品的许多主要受力构件都要通过特种工艺方法加工而成。这些零部件内部如果存在缺陷,轻则会引发飞机各系统工作失效,重则可导致机毁人亡。正是因为特种工艺具有控制环节多、操作要求严格,偏差潜伏不易发现、涉及面广、危害性大的特点,加之其质量检测的局限性,所以必须对航空产品特种工艺项目采取一系列特殊手段来加以严格控制。

1.1.2 特种工艺的特点

1.1.2.1 加工过程中材料的组织结构和性能发生变化

特种工艺加工过程不同于机械加工。机械加工过程中,原材料或毛坯的内部组织结构和性能并不发生变化,而在特种工艺加工过程中,不仅改变了原材料的形状和尺寸,而且还发生金属组织结构和性能的变化。例如,热处理可以提高硬度、强度等综合性能,锻造和铸造可以改变金属组织,提高材料的强度和韧性;喷丸处理可以通过改变零件表层应力状态而提高其抗疲劳强度;表面处理可以提高零件表面的硬度等。但是,在特种工艺的加工过程中,在改善组织结构、提高性能的同时,也会出现降低性能的组织结构变化和一系列缺陷,如疏松、偏析、过热、裂纹、脆化、晶界腐蚀。这些缺陷都会在不同程度上影响零件的强度。

1.1.2.2 质量检测的局限性

对特种工艺加工过程中所产生的缺陷,一般采用两种办法进行检测:一是进行破坏性试验;二是采用无损检验(非破坏性试验)。但这两种检测方法都有其局限性,不能百分之百地发现缺陷。