

紧固件

制备与典型失效案例

■ 姜招喜 许宗凡 张挺 刘昌奎 主编



国防工业出版社

National Defense Industry Press

紧固件制备与典型 失效案例

姜招喜 许宗凡 张挺 刘昌奎 主编

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书介绍了紧固件标准、加工制造与特种工艺,理化检测与材料应用;紧固件与材料的典型金相组织;紧固件与材料的各类宏观缺陷与断口形貌特征,以及紧固件的失效分析及预防。重点介绍了紧固件与材料的各类典型失效案例分析,并分别对疲劳、氢脆、热处理、加工工艺、装配、使用等方面的典型失效案例进行了综合分析,找出导致失效的原因,提出预防措施。

本书内容丰富、涉及面广,金相组织、故障缺陷形貌特征等图片丰富,具有典型性,实用性强。本书对从事紧固件的设计、研制、生产及管理、试验与分析的技术人员具有很好的参考价值和较高的应用价值,同时对提升紧固件的金相试验技术与失效分析水平具有较好的指导作用。

本书还可作为大专院校相关专业的师生、使用紧固件的企业、机械制造行业及相关领域的设计人员、工程技术人员、质量管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

紧固件制备与典型失效案例/姜招喜等主编. —北京:
国防工业出版社,2015.7
ISBN 978-7-118-10216-1

I. ①紧... II. ①姜... III. ①紧固件—制备②紧
固件—失效分析—案例 IV. ①TH131

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 159732 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

三河市鼎鑫印务有限公司

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 36 字数 810 千字

2015 年 7 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 128.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)88540777

发行邮购: (010)88540776

发行传真: (010)88540755

发行业务: (010)88540717

编 审 委 员 会

主 任 姜招喜 陶春虎

副主任 许宗凡 张 挺 刘昌奎 郦 剑

主 编 姜招喜 许宗凡 张 挺 刘昌奎

主 审 陶春虎 郦 剑

编 委 (按姓氏笔画排序)

马 玲 王 君 王 慧 冯 梅

刘 勇 刘海波 许 裕 伍卫东

孙国峰 张青春 李云川 陈琦峰

张林涛 张安琪 罗 芸 金万军

周沈湘 胡成江 胡煜良 祝新伟

唐文忠 凌 婷

序 言

紧固件是所有机械产品中必不可少的基础零部件,如一架军用飞机,所用螺栓、螺钉、铆钉等紧固件的数量可高达几十万件,其重要性不言而喻。或许一些人认为,这些零部件的用量虽然数目惊人,但其失效造成的损害程度可能不大。实际情况可能让人们大跌眼镜,1985年某热电厂的重大事故,就是因为螺栓的疲劳断裂所致;因螺栓、铆钉的脱落打坏航空发动机的案例每年都几乎发生。仅就2014年中国航空工业集团公司失效分析中心和中國商飛機失效分析中心完成的600余项失效件的分析报告中,紧固件的失效分析所占比例高达10%。

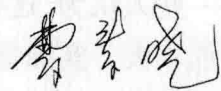
虽然不同类型的材料和不同的零部件失效都具有一定的共性和规律可循,但各类零件受力方式和使用环境有着各自的特点,其失效形式、特点和原因有很大差别,系统总结这些零件制造工艺的特殊性和损伤失效的规律,对于产品的安全可靠使用具有重要的科学意义和实用的工程价值。

由国家标准件产品质量监督检验中心及海盐国检检测技术有限公司组织撰写的《紧固件制备与典型失效案例》一书,系统介绍了紧固件的标准、加工制造及特种工艺、选材与试验,全面详实地阐述了紧固件所用材料及其宏观、微观组织及常见缺陷,给出了大量紧固件失效的形貌特征,深入分析了紧固件的失效模式、特征和原因,介绍了针对紧固件失效的分析思路和方法,并针对具体失效案例给出了结论以及深刻启示。

本书的主要作者分别长期从事紧固件研制、生产、使用以及分析、检测,具有丰富的工程经验和有关紧固件的专门知识,是该领域的科技专家。全书没有大量介绍深入的理论知识,但给出了从大量工程实践中总结的规律与经验,典型案例涉及面广,内容丰富,实用性强。值得从事紧固件制造企业的设计和管理人员、紧固件使用的技术人员、紧固件检验检测机构以及失效分析机构的科技人员借鉴和参考,对提高紧固件制备以及试验与分析的业务水平将起到很大的作用。

本书的几位主要作者和审定人员分别来自国家标准件产品质量监督检验中心、海盐国检检测技术有限公司、浙江大学、中航工业北京航空材料研究院以及中航工业标准件制造有限责任公司,体现了企业与科研院所及高校合作的优势,使得理论与实践很好结合,科研与生产相互促进。

相信本书的出版将积极推动我国紧固件研制、生产、检测、失效分析水平和使用可靠性的提高。



2015. 1. 30

前 言

紧固件是工业之米,是各行业必不可少的基础零部件,广泛应用于各种机械产品与装备。紧固件在生产和工程使用过程中,经常会出现故障和失效,需要及时进行分析,找到原因并提出改进或预防措施。紧固件产品失效机理及其预防的研究是紧固件制造企业和使用单位面临的重要问题,也是紧固件检测试验机构的工作重点。正确掌握紧固件的设计、选材、加工、试验、使用、分析等技术,对提高紧固件的质量具有越来越紧迫的重要作用。为此,要求科研、生产与使用人员要掌握紧固件的制作和使用的规律性和特殊性,包括适当的加工与试验方法、正确的失效分析与预防措施,经济高效地生产制作和合理使用紧固件。

为了不断提高紧固件研制、生产与使用的水平,快速提升自主创新能力,打造高水平的科研队伍,国家标准件产品质量监督检验中心及海盐国检检测技术有限公司,组织国内相关专家和长期从事紧固件研制、生产、试验与分析的管理人员、工程技术人员、试验与分析人员等编写了《紧固件制备与典型失效案例》一书,以增加企业的知识资本并提升竞争优势,进一步提高紧固件制备以及试验与分析业务水平。

第1章~第10章,主要介绍了紧固件的标准、加工制造及特种工艺、选材与试验,并阐述了紧固件及所用材料,紧固件的产品与半成品的宏观与微观组织,相关的热处理工艺。同时介绍了常见的各类紧固件与所用材料的常见缺陷,常见的失效特征与形貌。还介绍了紧固件产品的失效类型,失效分析方法,产品失效的原因以及预防措施。第11章~第16章,分别对紧固件及材料的疲劳、氢脆、热处理、加工工艺、装配、使用等方面的典型失效案例进行了系统的分析。并对每一失效案例从故障的损伤发生、累积、发展、破坏等过程,进行了宏观和微观分析,诊断出导致失效的原因,提出失效机理与预防措施。

本书系统介绍了紧固件的金相组织,常见缺陷以及典型断口的特征与形貌,失效紧固件断口形貌;紧固件的失效分析方法与预防措施;对各类典型失效案例的分析,提出了分析思路和方法。典型失效案例涉及面广、内容丰富;对失效案例的分析具有全面性与实用性强的特点;分析理论正确,预防措施有效。

本书是紧固件制造企业的设计及管理人员、使用单位的技术人员、紧固件检测试验机构的理化检验人员以及失效分析人员的一本综合技术业务学习资料,对技术业务水平和分析能力的提高起到较大的作用。

全书分为五篇 16 章,主要由姜招喜、许宗凡、张挺、刘昌奎撰稿,张青春、冯梅、王慧、孙国峰、陈琦峰、刘海波、张林涛、张安琪、凌婷、刘勇、王君、许裕、金万军、罗芸、李云川、唐文忠、伍卫东、胡成江、胡煜良、祝新伟、周沈湘、马玲等参加了部分内容的撰写。全书的总体构思和设想以及框架由姜招喜负责,许宗凡和刘昌奎负责统稿,全书由陶春虎研究员、酆剑教授审定。

在本书的撰写过程中,得到了浙江大学,中航工业北京航空材料研究院,中航工业标准件制造有限责任公司的大力支持。国家标准件产品质量监督检验中心同仁们对本书的撰写做了大量的工作。

曹春晓院士在百忙中为本书作序。

在此,向所有为本书做出贡献的同志们表示衷心感谢。

本书在编写过程中引用了大量文献著作资料,列入了参考文献目录,但有的文献因工作疏漏未列入参考文献目录中,编审委员会向本书所有引用了文献的作者表示衷心感谢。

受工作和认识的局限,本书在撰写过程中难免有不妥之处,敬请谅解,并请在使用过程中提出宝贵意见,以便今后进一步补充与完善。

编审委员会

2015. 1

目 录

第一篇 紧固件的标准、制造工艺、试验与材料应用

第一章 紧固件的标准、加工制造与特种工艺	3
1.1 概述	3
1.2 紧固件的标准体系	5
1.2.1 紧固件的标准	6
1.2.2 紧固件的标准化	6
1.2.3 紧固件标准的分类	6
1.2.4 紧固件标准的技术要求	7
1.2.5 紧固件标准体系的应用	9
1.3 紧固件常用基础技术标准目录	9
1.4 紧固件的加工制造	10
1.4.1 紧固件的分类、结构特点与工作条件	10
1.4.2 紧固件的加工制造	11
1.5 紧固件的特种工艺	17
1.5.1 特种紧固件的特种工艺	18
1.5.2 常用紧固件的特种工艺	19
第二章 紧固件的理化检测	21
2.1 紧固件的机械性能检测	21
2.1.1 特种紧固件的机械性能	22
2.1.2 常用紧固件机械性能	29
2.1.3 紧固件的硬度与性能	31
2.2 紧固件的金相试验检测	31
2.2.1 金相试样的加工制备	31
2.2.2 特种紧固件的金相检测	33
2.2.3 常用紧固件的金相检测	36
2.3 紧固件的化学分析	36
2.3.1 特种紧固件原材料化学分析	36
2.3.2 特种紧固件氢含量分析	38

2.3.3	常用紧固件原材料化学元素分析	39
第三章	紧固件用材简介	42
3.1	特种紧固件采用的材料	42
3.1.1	高温合金	42
3.1.2	不锈钢	45
3.1.3	合金结构钢与碳素结构钢	45
3.1.4	钛合金	46
3.1.5	铝合金	47
3.1.6	铜合金	48
3.2	常用紧固件冷镦专用丝材	49
3.3	特种紧固件主要材料牌号	49
3.4	常用紧固件材料牌号	50
第二篇 紧固件金相组织图谱与热处理工艺		
第四章	紧固件的金相组织	55
4.1	金相试验中常见的组织	55
4.1.1	钢中常见金相组织的定义	55
4.1.2	钢中常见金相组织的形貌特征	56
4.2	钢铁材料的热处理与组织转变	61
4.2.1	钢在加热时的组织转变	61
4.2.2	钢在冷却时的组织转变	62
4.3	钢铁材料不同热处理状态下的金相组织	65
4.3.1	工业纯铁退火	65
4.3.2	碳钢退火	66
4.3.3	T8 钢正火(退火)	68
4.3.4	碳钢淬火	68
4.3.5	65Mn 钢不同温度等温淬火	70
4.3.6	碳钢、合金钢淬火回火	71
4.3.7	不锈钢固溶处理	72
4.4	钢铁材料化学热处理后的的金相组织	73
4.4.1	15 钢的渗碳后退火	73
4.4.2	40Cr 钢软氮化	73
第五章	紧固件螺栓的金相组织与热处理工艺	74
5.1	特种紧固件螺栓的金相组织与热处理工艺	74

5.1.1	结构钢螺栓	74
5.1.2	不锈钢螺栓	76
5.1.3	高温合金螺栓	78
5.1.4	钛合金螺栓	83
5.1.5	铝合金螺栓	84
5.2	常用紧固件螺栓的金相组织与热处理工艺	86
5.2.1	碳素钢螺栓	87
5.2.2	合金结构钢螺栓	88
5.3	特种紧固件螺栓常用原材料的金相组织	91
5.3.1	结构钢螺栓原材料	91
5.3.2	不锈钢螺栓原材料	93
5.3.3	高温合金螺栓原材料	94
5.3.4	钛合金螺栓原材料	98
5.3.5	铝合金螺栓原材料	99
5.3.6	铜合金螺栓原材料	100
5.4	常用紧固件螺栓原材料的金相组织	100
第六章 特种紧固件成品和半成品的金相组织与热处理工艺		102
6.1	结构钢紧固件成品和半成品的金相组织与热处理工艺	102
6.1.1	38Cr 钢丝套	102
6.1.2	20A 钢螺栓(大)、30CrMnSi 钢沉头螺栓半成品	102
6.1.3	40CrNiMo 钢异形螺母(12 角螺母)成品	104
6.1.4	30CrMnSi 钢镀锌螺栓、30CrMnSi 钢自锁螺母	105
6.1.5	65Si2MnWA 钢压弹簧圈	105
6.1.6	ML18 钢螺母成品、ML18 钢螺母未热处理半成品、20 钢锁片	106
6.1.7	30CrMnSiNi2 钢六角螺栓和沉头螺栓	108
6.1.8	ML16CrSiNi 钢长托板螺母、镀锌四角托板螺母、两角小托板螺母	109
6.1.9	30CrMnSiA 钢高锁螺栓成品及半成品	110
6.1.10	40CrNiMoA 钢收口螺母	111
6.2	不锈钢紧固件成品和半成品的金相组织与热处理工艺	112
6.2.1	1Cr11Ni2W2MoV 不锈钢螺母	112
6.2.2	1Cr12Ni2WMoVNb 不锈钢半成品、成品螺栓	113
6.2.3	1Cr12Ni3MoVN 不锈钢螺母	114
6.2.4	1Cr11Ni2W2MoV 不锈钢圆柱销	114
6.2.5	1Cr11Ni2W2MoV 不锈钢螺母热处理	115
6.3	高温合金紧固件成品和半成品金相组织与热处理工艺	116

6.3.1	A286 合金十二角螺栓	116
6.3.2	GH2132 合金半成品(固溶热处理)螺栓	117
6.3.3	GH2132 合金螺母	118
6.3.4	GH2132 合金六角螺母	118
6.3.5	GH4169 合金十二角、六角半成品(固溶处理)螺栓	119
6.3.6	GH4169 合金十二角螺栓	120
6.3.7	GH2696 合金螺母	121
6.3.8	A286 合金托板螺母	121
6.4	铝合金紧固件成品及半成品的金相组织与热处理工艺	122
6.4.1	7C04 合金紧固件	122
6.4.2	2A01 合金铆钉	123
6.4.3	2A01 合金空心铆钉	124
6.4.4	7075 高强合金螺栓	125
6.4.5	2A10 合金铆钉	125
6.4.6	2A10 合金高锁螺母	126
6.4.7	2A10 合金高锁螺母、2A09 合金套管	127
6.5	铜合金紧固件金相组织	127
6.5.1	H62 螺栓	127
6.5.2	HPb59-1 合金螺母	128
6.6	特种紧固件及材料常用的相关热处理技术文件	129

第三篇 紧固件的缺陷与断口形貌

第七章	紧固件的宏观缺陷与断口形貌	133
7.1	紧固件原材料问题造成裂纹	133
7.2	紧固件淬火裂纹	139
7.3	紧固件因加工工艺或安装不当造成的开裂及缺陷	143
7.4	紧固件因装配应力过大造成的裂纹	147
7.5	紧固件脆性断裂	151
7.6	紧固件疲劳断裂	157
7.7	紧固件应力腐蚀开裂	160
第八章	紧固件常见缺陷的金相形貌	162
8.1	紧固件原材料显微缺陷	162
8.2	紧固件常见夹杂物缺陷	173
8.3	紧固件的热处理缺陷	175
8.4	成形工艺不当造成的缺陷	189

8.5	紧固件的金相低倍缺陷	196
第九章	紧固件断口扫描电镜形貌	200
9.1	紧固件疲劳断裂断口	200
9.2	紧固件螺栓(钉)氢脆断口	210
9.3	紧固件热处理缺陷造成断裂的断口	221
9.4	装配应力过大断裂的断口	225
9.5	应力腐蚀断裂断口	228
9.6	机加工工艺缺陷造成断裂的断口	229
9.7	高温合金螺栓早期断裂断口	230

第四篇 紧固件的失效分析与预防

第十章	紧固件的失效分析与预防	235
10.1	紧固件的受力分析	235
10.1.1	螺栓的拉伸与扭转应力分析	235
10.1.2	螺栓疲劳应力分析	236
10.1.3	螺栓和螺母紧固时的受力分析	237
10.2	紧固件失效的基本类型及特征	237
10.2.1	紧固件塑性变形断裂及特征	237
10.2.2	紧固件脆性断裂及特征	237
10.2.3	紧固件疲劳断裂及特征	238
10.2.4	紧固件氢脆断裂及特征	238
10.3	紧固件失效的原因分析	239
10.3.1	材料性能低引起的紧固件失效	239
10.3.2	装配力过大导致失效	240
10.3.3	选材不当导致失效	240
10.3.4	机械加工工艺不当导致失效	241
10.3.5	热处理工艺不当导致失效	241
10.3.6	表面处理工艺不当导致失效	242
10.4	紧固件常见的制造工艺缺陷	242
10.4.1	紧固件因原材料缺陷原因造成的产品缺陷	242
10.4.2	紧固件成形工艺与加工工艺不当造成缺陷	244
10.4.3	热处理工艺不当造成的产品缺陷	245
10.4.4	表面处理工艺不当造成的产品缺陷	246
10.5	紧固件的失效分析方法	246
10.6	预防紧固件失效的方法与技术措施	248

10.6.1 预防紧固件失效的方法	248
10.6.2 预防紧固件失效的技术措施	249

第五篇 紧固件常见典型失效案例分析

第十一章 紧固件疲劳断裂失效案例	255
------------------	-----

11.1 塔吊固定螺栓断裂	255
11.2 夹子弹簧疲劳断裂	259
11.3 40Cr 钢固定螺栓断裂	262
11.4 10.9 级 40Cr 钢轮毂螺栓断裂	266
11.5 40Cr 钢六角头螺栓断裂	270
11.6 塔吊基础 40Cr 钢高强度螺栓断裂	274
11.7 35CrMo 钢车轮毂螺栓断裂	278
11.8 40Cr 钢差速器紧固螺栓断裂	284
11.9 42CrMo 钢双头螺栓断裂	288
11.10 40Cr 钢齿轮箱端盖螺栓断裂	292
11.11 55CrSi 钢传动阀弹簧断裂	294
11.12 电梯扶手 45 钢驱动轴断裂	300
11.13 35CrMo 钢动车底座六方螺栓断裂	306
11.14 45 钢发电车螺栓断裂	310
11.15 某矿机 35CrMo 钢双头螺栓断裂	316
11.16 40Cr 钢连杆与连杆螺栓断裂	320
11.17 SCM435 钢皮带张紧轮螺栓断裂	327
11.18 SAE 9254 钢弹簧断裂	331
11.19 40Cr 钢转向臂下端轴断裂	339

第十二章 紧固件氢脆断裂失效案例	345
------------------	-----

12.1 40Cr 钢高强度内六角圆柱螺栓断裂	345
12.2 65Mn 钢弹性垫圈开裂	348
12.3 12.9 级 ML40Cr 钢内六角螺栓断裂	352
12.4 发动机底座 40Cr 钢六角头螺栓断裂	355
12.5 SAE 1022 钢自挤螺钉断裂	359
12.6 10.9 级 20MnTiB 钢螺栓断裂	363
12.7 汽车推力杆 20MnTiB 钢螺栓断裂	366
12.8 汽车支架 20MnTiB 钢螺栓断裂	370
12.9 10B21 钢压铆螺钉断裂	373
12.10 三角牙六角头 10B21 钢螺栓断裂	376

第十三章 热处理缺陷造成的紧固件断裂失效案例	380
13.1 SWRCH35K 钢六角头螺栓断裂	380
13.2 40Cr 钢六角头螺栓断裂	383
13.3 SWRCH35K 六角电镀螺栓断裂	387
13.4 45 钢六角螺母开裂失效	391
13.5 20MnTiB 钢内六角圆柱头螺钉断裂	395
13.6 SWRCH35K 钢螺栓头部弧形裂纹	399
13.7 65Mn 钢鞍形弹簧垫圈断裂	403
13.8 60Si2Mn 钢波形垫圈断裂	406
13.9 35 钢内六角圆柱头螺钉安装断裂	408
13.10 40Cr 钢六角头螺栓安装断裂	412
13.11 SWRCH35K 钢六角头螺栓断裂	415
13.12 风电 10 级 45 钢螺母开裂	418
13.13 齿轮箱 25 钢螺栓断裂	422
13.14 35CrMo 钢螺栓断裂	425
第十四章 制造工艺不当造成紧固件失效的案例	430
14.1 50CrV 钢盘形弹簧安装断裂	430
14.2 SWRCH45K 钢四方螺母表面开裂	434
14.3 ML35 钢螺栓头部裂纹缺陷	437
14.4 42CrMo 钢热锻六方大螺栓头下圆角处裂纹缺陷	439
14.5 35 钢卡箍裂纹缺陷	444
14.6 ML08A1CK 钢大扁头方颈螺栓断裂	446
14.7 35 钢六角头带垫螺栓螺纹处的疑似裂纹	448
14.8 40Cr 钢六角头螺栓头杆连接处断裂	450
14.9 挖掘机履带 SCM435 钢螺栓断裂	454
14.10 AISI1022A 钢盘头螺钉断裂	458
14.11 45 钢启动爪螺栓断裂	460
14.12 40Cr 钢热锻螺栓滚丝开裂	463
第十五章 紧固件因装配不当造成的断裂失效案例	467
15.1 SCM435 钢圆柱头螺钉断裂	467
15.2 40Cr 钢六角头螺栓断裂	469
15.3 35CrMo 钢六角头螺栓断裂	471
15.4 40Cr 钢轴承调隙螺栓断裂	473
15.5 Q195 钢焊钉使用过程中断裂	478

第十六章 紧固件原材料缺陷造成的失效案例	483
16.1 35K 钢法兰面螺母冷镦开裂	483
16.2 ASTM194 钢六角螺母安装开裂	485
16.3 35CrMo 钢内六角圆柱头螺栓杆部裂纹	487
16.4 40Cr 钢螺杆表面纵向裂纹	490
16.5 40Cr 钢大扁头方颈螺栓头部裂纹	493
16.6 35K 钢圆头方颈螺栓表面严重脱碳	497
16.7 SWRCH35K 钢六角法兰面螺栓冷镦开裂	500
16.8 42CrMo 钢螺栓使用中断裂	503
16.9 1Cr11Ni2W2MoV 不锈钢螺母表面裂纹	507
16.10 35K 钢螺钉安装断裂	513
附录 1 紧固件常用基础技术与质量控制标准目录	516
附录 2 紧固件材料热处理工艺规范与材料技术条件	521
附录 3 紧固件及材料的金相组织常用浸蚀试剂与方法	544
附录 4 紧固件及材料强度与硬度常用换算表	548
附录 5 常用金属材料的中外牌号对照表	552
附录 6 紧固件相关名称的中英文对照表	558
参考文献	560

第一篇

紧固件的标准、制造工艺、试验与材料应用