



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

飞机材料与 结构检测技术

Aircraft Materials and Structures Testing Technology

初铭强 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

飞机材料与 结构检测技术

Aircraft Materials and Structures Testing Technology

初铭强 等编著



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

内容提要

民用航空器采用的所有材料、结构和制造工艺都需进行大量、全面、系统的性能测试,以保证这些材料用于民用航空器结构时,能够满足最基本的安全性要求。本书共分 6 个章节,介绍了飞机材料及结构的检测技术以及部分检测过程。

本书可供航空专业的研究生以及初入航空领域的年轻工作者阅读参考。希望通过阅读本书,能够使读者初步了解飞机从材料到结构的基本检测技术和应用,以及民机航空业的一些检测实际案例。

图书在版编目(CIP)数据

飞机材料与结构检测技术/初铭强等编著. —上海:上海交通大学出版社,2016
(大飞机出版工程)
ISBN 978-7-313-16297-7

I. ①飞… II. ①初… III. ①飞机—航空材料—复合材料结构—检测 IV. ①V25

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 309759 号

飞机材料与结构检测技术

编 著: 初铭强 等	地 址: 上海市番禺路 951 号
出版发行: 上海交通大学出版社	电 话: 021-64071208
邮政编码: 200030	
出 版 人: 郑益慧	
印 制: 苏州市越洋印刷有限公司	经 销: 全国新华书店
开 本: 787mm×1092mm 1/16	印 张: 27.75
字 数: 530 千字	
版 次: 2016 年 12 月第 1 版	印 次: 2016 年 12 月第 1 次印刷
书 号: ISBN 978-7-313-16297-7/V	
定 价: 158.00 元	

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: 0512-68180638

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运用,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。

纪涌芳

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,也将得益于借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,注重民机结构设计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、中航工业成飞民机公司、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。



2016年3月25日

前 言

近年来,随着世界经济的发展,民用飞机已成为现代社会人们出行的主要交通工具,世界民航工业由此而迅速发展。波音和空客公司分别研制了 B787, A380 和 A350 等先进民用飞机,以满足国际上日益增长的市场需求。中国的民机发展正在以迅猛的速度,努力步入国际行列,如中国的商用民机 ARJ21 已正式投入运营;C919 也将进入首飞适航阶段;中国的宽体客机 C929 已经通过论证,正式立项。从当前世界最先进的干线客机波音 B787 和空客 A380 及 A350 上面,可以清晰地了解世界民机技术的发展轨迹。在材料、结构和结构完整性设计方面,将突出轻质、高效、长寿命、低成本、高可靠性等指标,广泛应用复合材料、钛合金、铝锂合金等新材料作为飞机机体结构的材料。

一代飞机,一种新材料被推广应用。而飞机上每一种新材料的研制和应用,都需要通过大量全面性能测试和分析,以确定材料及工艺。每一种材料的筛选和替代,同样需要进行系统性能测试及对比分析,以评价材料优劣。对于飞机材料基准值的确定,更是需要对材料进行多炉批次性能测试,确保其数据可靠。此外,结构设计许用值,结构设计与验证等,同样需要完成大量的测试与分析,特别是适航验证与试飞的过程,更是需要对各测试环节和分析结果的有效性进行全面审核。通过了,飞机才可正式投入批生产。即便飞机正式批生产了,仍然需要对入厂材料进行不同炉批次的性能抽检甚至全检。

正确地理解和应用各种不同材料和结构的测试方法及标准,对于科学的评价飞机材料和结构的性能以及内部质量,深层次地认识材料的成分,组织与性能的内在规律,包括对材料的正确使用,飞机结构安全性都具有重要的实际意义。

无论是材料的化学分析,物理冶金测试技术以及各种材料,结构力学性能的测试技术都将要求精度越来越高,检测速度越来越快。因而检测技术需要程序化,规范化,标准化。

本书是由上海交通大学出版社组织出版的“大飞机出版工程”系列丛书之一,由上海飞机制造有限公司和上海交通大学作者联合编著。上海飞机制造有限公司(以下简称上飞公司)主要负责材料检测技术的编著工作,上海交通大学(以下简称上交)负责结构检测的编著工作。本书的主要定位读者是航空专业的研究生以及初入航空领域的年轻工作者。希望通过阅读本书,能够使读者初步了解飞机从材料到结构的基本检测技术和应用,以及民机航空业的一些检测实际案例。

本书第1章概论由初铭强执笔;第2章飞机材料与结构检测的标准与执行由王磊、丁红瑜执笔;第3章飞机材料与结构检测技术及设备由顾卓伦、包学伟、张会清、周金秋、王旭、庄桂增、刘奎、张忠华、张晓静执笔;第4章飞机材料的检测实况由刘岩岩、包学伟、周金秋、王旭、庄桂增、刘奎、张忠华执笔;第5章飞机元件,组合件及全尺寸的检测的前9节由张晓静执笔,后一节由陈秀华执笔;第6章飞机特种情况的检测由余音执笔。

本书在编审修订过程中,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以及相关领导和同志的支持和鼓励。特此致谢!此外,还要感谢为本书校对提供帮助的张增焕同志,以及为本书的编审和出版付出辛苦的上海交大出版社钱方针、王珍等人。

目前,正值我国大型飞机项目进入工程制造阶段。希望本书对我国的航空事业发展会起到积极的推动作用,同时对年轻的航空工作者(飞机设计师和工程师等)提供有益的帮助。由于时间和作者的能力有限,书中存在的谬误、不足之处,恳请读者批评指正。

编著者

2016年10月

术 语 表

比热容(specific thermal capacity)——热容量是物体温度升高 1℃ 所吸收的热量。比热容是单位质量的热容量,即单位质量的物质温度升高 1℃ 可吸收的热量。

波谱仪(wave dispersive spectroscopy)——波谱仪是根据不同元素的特征 X 射线具有不同波长的特点来对样品进行成分分析的。

磁性(magnetism)——磁性是物质在磁场中因磁场与物质相互作用而显示的磁化学性。

残余应力(residual stress)——残余应力是材料及其制品内部存在的一种内应力,它是指产生应力的各种因素不存在时,由于不均匀的塑性变形和不均匀的相变的影响,在物体内部依然存在并自身保持平衡的应力。

电子能谱分析(electron spectroscopy)——电子能谱分析方法是基于电磁辐射或运动实物粒子(电子、离子、原子等)照射或轰击材料产生的电子能谱(电子产生额对能量的分布)进行材料分析的方法。

电子探针显微分析(electron probe microanalysis)——它靠光学成像进行定位,广泛应用于平坦表面微区成分定量或定性分析。

电阻(resistance)——电阻是电路中流过的直流电流与外加电压的比例系数。

非金属夹杂物(nonmetallic inclusions)——杂质颗粒(通常为氧化物、硫化物、硅酸盐等),它们或机械性嵌入,或在金属的凝固以及固态金属随后的反应过程中形成。

晶粒度(grain size)——晶粒度表示晶粒大小的程度,钢的晶粒度一般是指钢材经不同温度奥氏体后,在室温下所得到的实际晶粒的大小。

晶间腐蚀(intergranular corrosion)——沿着或紧靠金属的晶界发生的腐蚀。

密度(density)——密度是材料最基本的物理性质,材料的致密程度是产品质量或工艺考核的主要技术指标。

能谱仪(energy dispersive spectrometer)——能谱仪是根据不同元素的 X 射线具有不同的能量这一特点来对检测的 X 射线进行分散展谱,实现对微区成分分析的。

疲劳断裂(fatigue fracture)——零件在承受低于材料的拉伸应力的情况下,受交变或波动应力,或交变应变的作用,使结构从局部开始的永久性损伤称为疲劳

断裂。

热导率(thermal conductance)——热传导是热能传递的一种形式,物质的热传递能力可用热导率来表征。

热电效应(thermoelectricity domino effect)——热电效应是许多工程材料中的自由电子在外界电、热作用下可逆运动过程的反映,是材料的基本物理现象之一,其特征参数与材料的电导率和热导率相关。

热辐射(thermal radiate)——热辐射是指由组成热辐射体的电子、离子、原子和分子的热振动而不断地发射能量的过程。

热膨胀系数(coefficient of thermal expansion)——热膨胀是指物体温度改变时其尺寸和形状发生变化的特性。热膨胀系数是表征物体热膨胀特性的物理参数。

扫描电镜(scanning electron microscopy)——扫描电子显微镜简称扫描电镜。它利用聚焦得非常细的高能电子束在试样上扫描,激发出各种物理信息。通过对这些信息的接收、放大和显示成像,以便对试样表面进行分析。

失效分析(failure analysis)——当各类机械产品或其构件、元件丧失其应有的功能时,则称该产品或构件、元件失效。失效分析是对丧失功能的原因、性质所进行的试验分析活动。

弹性(elastic)——弹性是物体在外力作用下改变其形状和大小而外力卸除后因回复原始形状和大小的特性。

透射电镜(transmission electron microscopy)——透射电子显微镜是以电子束为光源,利用电磁透镜,使电子束折射而聚焦成像。用于分析金属薄膜样品,可达到零点几纳米。

物理性能(physics capability)——金属材料的物理性能包括力学、热学、电学、磁学、光学、声学 and 原子物理等方面的性能指标,是材料基本特性在这些方面量值化的表现,是衡量材料优劣的具体数据。

显微分析(microanalysis)——显微分析是利用显微镜对金相样品进行观察、辨认以确定金属的结构、组织状态和分布的一种分析方法。

显微硬度(micro penetration hardness)——用低负荷装置刻凹痕,然后用高倍显微镜观察而获得的硬度。

X射线衍射分析(X-ray diffraction)——X射线衍射分析法是研究材料的物相和晶体结构的主要方法。

重量分析法(gravimetric analysis)——将待测组分与试样中的其他组分分离,并转化为一定的称量形式,然后称量以测定被测组分含量的定量分析方法。

滴定分析法(titrimetry)——将一种已知准确浓度的试剂溶液,滴加到待测物质的溶液中,直到化学反应完成为止,依据试剂与待测物质间的化学计量关系,通过测量所消耗已知浓度的试剂溶液的体积,求得待测组分的量的分析方法。

分光光度法(spectrophotometric method)——通过被测溶液选择性吸收可见光或紫外光而定量测定被测成分的分析方法。

电化学分析法(electrochemical analysis)——在零电流下,利用电极电位和溶液中某种离子的活度之间的关系来测定被测物质活度的一种电化学分析方法。

光谱(spectrometry)——由波长或频率顺序排列的电磁辐射,按外形或强度随波长分布轮廓,可分为线光谱、带光谱和连续光谱三类。

谱线(spectral line)——经历一次电磁跃迁的原子所发射或吸收的电磁辐射,此辐射形成一个峰,用峰值波长来表征谱线,并对应于发射或吸收谱线轮廓的最大值。

原子发射光谱(atomic emission spectrometry)——处于激发态的待测元素原子或离子回到低能态时发射的特征谱线,是原子的光学电子在原子内能级之间跃迁产生的线状光谱,反映原子及其离子的性质。

特征光谱(characteristic spectrum)——每一种物质的发射或吸收光谱有其固定的特征(波长及强度分布的不同),即确定的物质有其确定的光谱。

光谱干板(spectrographic plate)——光谱分析时记录光谱的专用感光板,主要由感光层和片基两部分组成,部分干板还涂有防晕层。

基态(ground state)——自由原子、离子或分子内能最低的能级状态,通常将此能级的能量定为零。

电子跃迁(electronic transition)——一个原子、离子或分子的一个电子从能级 E_1 到另一个能级 E_2 的过程。

光源(light source)——能使样品蒸发并使原子或离子激发而发生光辐射的装置。

等离子体(plasma)——物质处于气态,大部分已经电离,并且发射和吸收辐射。

电感耦合等离子体(inductively coupled plasma)——由高频电磁场感应所产生的等离子体。

X 射线(X-ray)——是一种电磁波,它具有微粒性和波动性,其波长范围在 $(0.01 \sim 10)\text{mm}$ 。短波边以 γ 射线为界,长波边与真空紫外线区域相邻。

X 射线荧光光谱法(X-Ray fluorescence spectrometry)——根据特征 X 谱线的波长或光量子能量来鉴别物质中所含元素的分析方法。

电感耦合等离子体质谱(inductively coupled plasma mass spectrometry)——以电感耦合等离子体为离子源,以质谱仪进行检测的无机多元素分析技术。

原子吸收光谱法(atomic absorption spectrometry)——基于从光源发射的待测元素的特征辐射通过样品蒸气时,被蒸气中待测元素的自由基态原子吸收,测量自由基态原子对光辐射的吸收程度,推算出样品中待测元素的浓度的方法。

断后伸长率: 断后标距的残余伸长与原始标距之比的百分率。

断面收缩率：断裂后试样横截面积的最大缩减量与原始横截面积之比的百分率。

抗拉强度：相应最大力 F_m 对应的应力。

最大力：对于无明显屈服(不连续屈服)的金属材料,为试验期间的最大力,对于有不连续屈服的金属材料,在加工硬化开始之后,试样所承受的最大力。

应力：试验期间任一时刻的力除以试样原始横截面积之商。

屈服强度：当金属材料呈现屈服现象时,在试验期间达到塑性变形发生而力不增加的应力点,应区分上屈服强度和下屈服强度。

硬度：金属在表面上的不大体积内抗变形或者破裂的能力。

冲击值：当用试样的缺口处的横截面积 FN 去除 AK 时,既得到所谓冲击值(或冲击韧性值)。

最大应力 $\sigma_{\max}$ ：有最大代数值的应力。

最小应力 $\sigma_{\min}$ ：具有最小代数值的应力。

平均应力 σ_m ：最大应力与最小应力的平均值。

应力幅 σ_a ：最大应力与最小应力差之半。

应力比 R ：最小应力与最大应力之比值。

试验频率：单位时间内的加载次数由试验频率表示,通常以 1 秒钟内载荷交变的次数表示。

蠕变：指在恒定温度和恒定载荷作用下,材料随时间产生变形的现象。

力学性能(mechanical properties)——材料在不同环境(温度、介质、湿度)下,承受各种外加载荷(拉伸、压缩、弯曲、扭转、冲击、交变应力等)时所表现出的力学特征。

高倍组织(macrostructure)——将用适当方法(如浸蚀)处理后的金属试样的磨面或其复型或用适当方法制成的薄膜置于光学显微镜或电子显微镜下观察到的组织。

低倍组织(microstructure)——相对高倍组织的一种叫法,在低倍状态下观察到的宏观组织形貌。

拉伸试验(tensile test)——在承受轴向拉伸载荷下测定材料特性的试验方法,是材料力学性能试验的基本方法之一。

弯曲试验(bending test)——测定材料承受弯曲载荷时的力学特性的试验,是材料力学性能试验的基本方法之一。

硬度(hardness)——材料局部抵抗硬物压入其表面的能力。

断裂韧性(fracture toughness)——材料抵抗裂纹扩展断裂的韧性性能,是材料抵抗脆性破坏的韧性参数。

化学浸蚀(chemical etching)——利用化学试剂的溶液,借助于化学或电化作用

用显示金属的组织。

疏松(loosen)——又称显微缩松,是铸件凝固缓慢的区域因微观补缩通道堵塞而在枝晶间及枝晶的晶臂之间形成的细小空洞。

偏析(segregation)——合金中各组成元素在结晶时分布不均匀的现象。

晶粒度(grain size)——表示晶粒大小的尺度。

非金属夹杂物(non-metallic inclusions)——主要可分为外来非金属夹杂物和内在非金属夹杂物两大类,外来非金属夹杂物是钢冶炼、浇铸过程中炉渣及耐火材料侵蚀剥落后进入钢液而形成的,内在非金属夹杂物主要是冶炼、浇铸过程中物理化学反应的生成物。

脱碳(decarburization)——钢加热时表面碳含量降低的现象。

机械抛光(mechanical polishing)——在专用的抛光机上进行抛光,靠极细的抛光粉和磨面间产生的相对磨削和滚压作用来消除磨痕。

标距(gauge length)——用来测定试样应变或长度变化的试样部分原始长度。

屈服强度(yield strength)——金属材料发生屈服现象时的屈服极限,亦即抵抗微量塑性变形的应力。

规定塑性延伸强度(non-proportional extension)——对于无明显屈服的金属材料,规定以产生一定残余变形的应力值为其屈服极限。亦即规定非比例延伸强度,是非比例延伸率等于规定引伸计标距百分率时的应力。

抗拉强度(tensile strength)——表征材料最大均匀塑性变形的抗力,是试样断裂前承受的最大应力。

洛氏硬度试验(Rockwell hardness test)——用标准型压头在先后两次对被试材料表面施加试验力(初试验力 F_0 与总试验力 $F_0 + F_1$),在试验力的作用下压头压入试样表面。在总试验力保持一定时间后,卸除主试验力 F_1 ,保留初试验力 F_0 的情况下测量压入深度,以总试验力下压入深度与在初试验力下的压入深度之差(即残余压入深度)来表征硬度的高低。

布氏硬度试验(Brinell hardness test)——用一定大小的试验力 F 把直径为 D 的压头压入被测金属的表面,保持规定时间后卸除试验力,测量压痕平均直径 d ,然后按公式计算出布氏硬度值。

夏比摆锤冲击试验(Charpy pendulum impact test)——用以测定金属材料抗缺口敏感性的试验。通过制备一定形状和尺寸的金属试样,使其具有 U 型或 V 型缺口,在冲击试验机上以举起的摆锤对试样进行一次冲击,使试样沿缺口冲断,用折断时摆锤重新升起的高度差计算试样的吸收功。

复合材料(composite Materials)——由两种或两种以上材料独立物理相通过复合工艺组合而成的新型材料,其中,连续相称为基体,分散相称为增强体。它既能保留原组成材料的主要特色,并通过复合效应获得原组分所不具备的性能。可以通过