

中航工业检测及焊接人员资格鉴定与认证
系列培训教材

航空非金属材料性能测试技术

4 胶黏剂

航空非金属材料性能鉴委会
喻国生 杨国腾 章菊华

组织编写
编 著



化学工业出版社

中航工业检测及焊接人员资格鉴定与认证
系列培训教材

航空非金属材料性能测试技术

4 胶黏剂

航空非金属材料性能鉴委会 组织编写
喻国生 杨国腾 章菊华 编 著



化学工业出版社

本书系统介绍了胶黏剂的成分、制备、性能、用途与测试技术，重点阐述了胶黏剂质量控制的各项标准测试方法。性能测试涵盖了物理及化学性能、工艺性能、力学性能和耐环境性能。测试方法的介绍着重于标准测试方法，以及与国内外标准测试方法的比较。并对试验结果的影响因素进行了分析讨论。本书是航空非金属材料性能测试技术培训教材，同时也适用于胶黏剂技术人员及分析测试人员阅读。

图书在版编目 (CIP) 数据

航空非金属材料性能测试技术. 4. 胶黏剂/喻国生, 杨国腾, 章菊华编著. —北京: 化学工业出版社, 2014. 3

ISBN 978-7-122-19713-9

I. ①航… II. ①喻… ②杨… ③章… III. ①航空材料-非金属材料-性能检测②航空材料-胶粘剂-性能检测 IV. ①V250.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 022006 号

责任编辑: 李晓红

文字编辑: 张 艳

责任校对: 吴 静

装帧设计: 王晓宇

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市宇新装订厂

710mm×1000mm 1/16 印张 12 $\frac{3}{4}$ 字数 233 千字 2014 年 8 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686)

售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 48.00 元

版权所有 违者必究

编审委员会

主 任 李 伟

副主任 李 莉 陶春虎

成 员（以姓氏笔画为序）

于 浩	王宇魁	王 斌	尹泰伟	叶 勇
史亦韦	闫秀芬	吕 健	刘昌奎	刘晓燕
刘 嘉	何玉怀	何 军	李 伟	李秀芬
李 泽	李 剑	李 莉	武振林	杨国腾
杨春晟	杨胜春	张世林	张田仓	张学军
张银东	苗蓉丽	欧阳小琴	季 忠	金冬岩
胡成江	侯丽华	徐友良	郭广平	郭子静
陶春虎	黄玉光	章菊华	熊 瑛	

编审委员会秘书处

主 任 宋晓辉

成 员	马 瑞	马文利	任学冬	李 彦	李 轩
	宋晓辉	张文扬	周静怡	赵 梦	盖依冰
	焦泽辉	谢文博	程 琴		

公元前 2025 年的汉谟拉比法典，就提出了对制造有缺陷产品的工匠给予严厉的处罚，当然，在今天的以人为本的文明世界看来是不能予以实施的。即使在当时，汉谟拉比法典在总体上并没有得到真正有效的实施，其主要原因在于没有理化检测及评定的技术和方法用以评价产品的质量以及责任的归属。从公元前 2025 年到世界工业革命前，对产品质量问题处罚的重要特征是以产品质量造成的后果和负责人为对象的，而对产品制造过程和产品质量的辨识只能靠零星、分散、宏观的经验世代相传。由于理化检测和评估技术的极度落后，汉谟拉比法典并没有解决如何判别造成质量问题和失效的具体原因的问题。

近代工业革命给人类带来了巨大物质文明，也不可避免地给人类带来了前所未有的灾难。约在 160 多年前，人们首先遇到了越来越多的蒸汽锅炉爆炸事件。在分析这些失效事故的经验教训中，英国于 1862 年建立了世界上第一个蒸汽锅炉监察局，把理化检测和失效分析作为仲裁事故的法律手段和提高产品质量的技术手段。随后在工业化国家中，对产品进行检测和分析的机构相继出现。而材料和结构的检测开始受到重视则是近半个世纪的事情。第二次世界大战及后来的大量事故与故障，推动了力学、无损、物理、化学和失效分析的快速发展，如断裂力学、损伤力学等新兴学科的诞生以及扫描电镜、透射电镜、无损检测、化学分析等大量的先进分析设备等的應用。

毋庸置疑，产品的质量可靠性要从设计入手。但就设计而言，损伤容限设计思想的实施就需要由无损检测和设计用力学性能作为保证，产品从设计开始就应考虑结构和产品的可检性，需要大量的材料性能数据作为设计输入的重要依据。

就材料的研制而言，首先要检测材料的化学成分和微观组织是否符合材料的设计要求，性能是否达到最初的基本设想。而化学成分、组织结构与性能之间的协调关系更是研制高性能材料的基础，对于材料中可能存在的缺陷，更需要无损检测的识别并通过力学损伤的研究提供判别标准。

就构件制造而言，一个复杂或大型结构需要通过焊接来实现，要求在结构设计时就对材料可焊性和工艺可实施性进行评估，使选材具有可焊性，焊接结构具有可实施性，焊接接头缺陷具有可检测性，焊接操作者具有相应的技能水平，这样才能获得性能可靠的构件。

检测和焊接技术在材料的工程应用中的作用更加重要。失效分析作为服役行为

和对材料研制的反馈作用已被广泛认识，材料成熟度中也已经考虑了材料失效模式是否明确；完善的力学性能是损伤容限设计的基础，材料的可焊性、无损检测和失效模式不仅是损伤容限设计的保证，也是产品安全和可靠使用的保证。

因此，理化检测作为对材料的物理化学特性进行测量和表征的科学，焊接作为构件制造的重要方法，在现代军工产品质量控制中具有非常重要的地位和作用，是武器装备发展的重要基础技术。理化检测和焊接技术涉及的范围极其广泛，理论性与实践性并重，在军工产品制造和质量控制中发挥着越来越重要的作用。近年来，随着国防工业的快速发展，材料和产品的复杂程度日益提高，对产品安全性的保证要求越来越严格；同时，理化检测和焊接新技术日新月异，先进的检测和焊接设备大量应用，对理化检测和焊接从业人员的知识、技能水平和实践经验都提出了更高的要求。

为贯彻《军工产品质量管理条例》和 GJB《理化试验质量控制规范》，提高理化检测及焊接人员的技术水平，加强理化实验室的科学管理和航空产品及科研质量控制，中国航空工业集团公司成立了“中国航空工业集团公司检测及焊接人员资格认证管理中心”，下设物理冶金、分析化学、材料力学性能、非金属材料性能、无损检测、失效分析和焊工七个专业人员资格鉴定委员会，负责组织中航工业理化检测和焊接人员的专业培训、考核与资格证的发放工作。为指导培训和考核工作的开展，中国航空工业集团公司检测及焊接人员资格认证管理中心组织有关专家编写了“中航工业检测及焊接人员资格鉴定与认证系列培训教材”。

这套教材由长期从事该项工作的专家结合航空工业的理化检测和焊接技术的需求和特点精心编写而成，包括了上述七个专业的培训内容。教材全面、系统地体现了航空工业对各级理化检测和焊接人员的要求，力求重点突出，强调实用性而又注意保持教材的系统性。

这套教材的编写得到了中航工业质量安全部领导的大力支持和帮助，也得到了行业内多家单位的支持和协助，在此一并表示感谢。

**中国航空工业集团公司
检测及焊接人员资格认证管理中心**

以高分子为基础的非金属材料,包括复合材料、橡胶、密封剂、塑料、纺织材料、胶黏剂、油料、涂料 8 类材料,由于具有密度小、重量轻等优点,在飞机、火箭等航空、航天器上的应用日益广泛和重要。以复合材料为例,在 B787 的飞机结构重量中占 50% 以上,在 A380 飞机上占 25% 以上,且应用于机翼、机身、垂尾、平尾、地板梁、整流罩、部分舱门、发动机机匣等重要部位。橡胶密封件用于飞机、航天器的液压系统、滑油系统、燃油系统、环境控制系统等,需在使用温度、系统压力等作用下具有良好的密封稳定性,否则影响飞行器的可靠性,甚至发生重大飞行事故,如美国挑战者号航天飞机就因密封圈失效造成了空中爆炸。密封剂是飞机整体油箱的关键材料,燃料性能更是飞机飞行安全的保证,等等。总之,非金属材料作为重要功能材料或结构材料,其性能直接决定了飞行器的飞行安全性和经济性。

航空非金属材料的性能测试,作为航空工业的重要技术基础,是确保装机产品质量,实施产品质量控制的重要手段。

中航工业非金属性能鉴定委员会(以下简称鉴委会)是“中国航空工业集团公司检测及焊接人员资格认证管理中心”下属的 7 个专业人员资格鉴定委员会之一,其主要任务是依据 HB7475《航空非金属性能检测人员的资格鉴定》对从事航空非金属材料性能测试的人员进行技术培训和资格考核。鉴委会成立于 1989 年,25 年来为国内航空工业培训并考核了数千名非金属材料性能检测人员,同时也有来自包括航天、兵器、核工业、空军修理厂、汽车制造业等行业的检测人员。

为配合培训和考核工作的开展,20 世纪 90 年代初,鉴委会的张向宇、杨利东、邵毓俊、杜灵玄、周以珪、陈慧敏等同志编写了《非金属性能检测丛书》,包括《复合材料测试》、《塑料测试》、《胶黏剂测试》、《橡胶测试》、《密封剂测试》、《特种纺织品及性能检测》、《涂料测试》、《油料测试》8 个分册,在对检测人员的培训和资格鉴定过程中发挥了重要作用。随着航空工业的发展,新材料、新技术、新设备的不断涌现,需要重新编写培训教材。从 2002 年开始,鉴委会编制了新的培训教材,并随后逐年进行修订,更新。在此基础上,2011 年对教材再次进行全面更新,经过近 3 年的试用和完善,完成了这套《航空非金属材料性能测试技术》的编著。

《航空非金属材料性能测试技术》按材料类别分为 5 个分册,包括《橡胶与密封剂》、《塑料与纺织材料》、《胶黏剂》、《油料与涂料》和《复合材料》,与新修订的 HB7475《航空非金属性能检测人员的资格鉴定》的专业划分相适宜,也与各航空企

业内测试专业的设置相符合。各分册的章节设置大致相同，简要介绍了材料的结构、组成等基础知识，工艺特征、性能测试等专业知识；重点阐述了材料的性能测试方法，包括试验原理、试验方法、操作步骤要求、数据处理、试验异常处理和案例分析等，旨在提高检测人员的检测水平和对实验数据处理、分析能力，其知识结构和深度符合 HB7475 的要求。

《航空非金属材料性能测试技术》是为中航工业航空非金属材料性能检测人员技术培训、考核和资格鉴定工作编写的，也可作供其他从事非金属材料性能检测的专业人员学习和参考。编著者均为中航工业科研院所及飞机、发动机厂的专业人员，有着 20 多年从事航空非金属材料性能测试的技术、学术实践和培训教学经验。

《胶黏剂》分册全面介绍了有关胶黏剂的基础知识、物理及化学性能试验、工艺性能试验、力学性能试验、耐环境性能试验等。重点讲述了胶黏剂的性能测试方法，包括试验原理、试验方法、操作步骤要求、数据处理、影响因素等。试验方法基本覆盖了航空、航天对该材料要求的各项性能，并与国外相应的试验方法进行了比较。

本分册在编写过程中，参考了国内外的相关著作、文章和标准，从中得到了许多启发和帮助；同时，北京航空材料研究院橡胶与密封研究所所长刘嘉研究员给予了大力支持，在此一并表示感谢。

由于水平有限，书中难免有疏漏和错误之处，敬请读者批评指正。

编 者
2014 年 5 月

1 基础知识	1
1.1 概述	1
1.2 胶接技术在航空领域的发展与应用	1
1.3 胶接连接的特点	3
1.4 胶黏剂的组成	4
1.4.1 基料	5
1.4.2 固化剂或硫化剂	6
1.4.3 填充剂	7
1.4.4 增塑剂与增韧剂	9
1.4.5 偶联剂	11
1.4.6 稀释剂	12
1.4.7 促进剂	13
1.4.8 触变剂	14
1.4.9 其他	14
1.5 胶黏剂的分类	14
1.5.1 常用分类法	14
1.5.2 按国标分类	15
1.5.3 按航空材料分类	15
1.6 胶接的基本概念	16
1.6.1 胶接作用的形成	16
1.6.2 胶接理论	19
1.6.3 影响粘接力的因素	20
1.7 胶黏剂的特性、用途和胶接技术	22
1.7.1 胶黏剂种类	22
1.7.2 胶接技术	49
1.8 胶黏剂试验方法通则	68
1.8.1 取样	68
1.8.2 试验材料与表面预处理	71
1.8.3 试样制备	76
1.8.4 试验条件	82

2	物理及化学性能试验	87
2.1	pH 值	87
2.1.1	概述	87
2.1.2	广泛试纸法 (比色法)	88
2.1.3	酸度计法	88
2.2	腐蚀性	90
2.2.1	概述	90
2.2.2	厌氧胶腐蚀试验	93
2.2.3	胶黏剂应力腐蚀试验	94
2.2.4	胶黏带电腐蚀试验	94
2.2.5	其他胶黏剂的腐蚀试验	94
2.3	胶黏剂不挥发物含量试验	96
2.3.1	原理	96
2.3.2	仪器设备	96
2.3.3	试验步骤要点	96
2.3.4	试验结果评定	96
2.3.5	影响因素	97
2.4	黏度试验	98
2.4.1	概述	98
2.4.2	旋转黏度计法	98
2.4.3	毛细管黏度计法	100
2.4.4	涂-4 黏度计法	102
2.5	密度与相对密度试验	104
2.5.1	重量杯法	104
2.5.2	比重瓶法	105
2.5.3	比重杯法	106
3	工艺性能试验	108
3.1	适用期试验	108
3.1.1	原理	108
3.1.2	仪器	108
3.1.3	试验步骤要点	109
3.1.4	试验结果计算与表示	109
3.1.5	影响因素	109
3.2	贮存期试验	110
3.2.1	原理	110

3.2.2	取样	110
3.2.3	仪器设备	110
3.2.4	试验条件	110
3.2.5	试验步骤要点	110
3.2.6	试验结果计算与表示	111
3.2.7	影响因素	111
3.3	涂胶量试验	111
3.3.1	概述	111
3.3.2	原理	111
3.3.3	仪器设备	111
3.3.4	试验步骤要点	111
3.3.5	试验结果计算与表示	112
4	力学性能试验	113
4.1	剪切强度试验	114
4.1.1	拉伸剪切强度试验 (刚性材料对刚性材料)	114
4.1.2	压缩剪切强度试验	123
4.1.3	厌氧胶静剪切强度试验	125
4.1.4	套接扭转剪切强度试验	126
4.1.5	套接压缩剪切强度试验	127
4.1.6	管剪强度试验	128
4.2	拉伸强度试验	130
4.2.1	拉伸强度试验 (条形和棒状)	131
4.2.2	不均匀拉伸试验	133
4.2.3	不对称拉伸试验	135
4.2.4	高温拉伸强度试验 (菌状试样)	137
4.2.5	喷涂用拉伸强度试验	139
4.3	剥离强度试验	141
4.3.1	概述	141
4.3.2	T剥离强度试验 (金属-金属)	142
4.3.3	180°剥离强度试验	146
4.3.4	90°剥离强度试验	148
4.3.5	浮辊剥离强度试验	151
4.3.6	爬鼓剥离强度试验	153
4.4	冲击强度试验	154
4.4.1	剪切冲击强度试验	154

4.4.2	弯曲冲击强度试验	157
4.4.3	T剥离冲击强度试验	158
4.5	橡胶胶黏剂力学性能试验	158
4.5.1	橡胶与金属粘合强度试验	158
4.5.2	橡胶与金属粘接 180°剥离试验	161
4.6	扭矩强度试验	164
4.6.1	原理	164
4.6.2	仪器设备	164
4.6.3	试件与试样制备	164
4.6.4	试验步骤要点	165
4.6.5	试验结果计算与表示	165
4.6.6	影响因素	165
5	耐环境性能试验	167
5.1	概述	167
5.2	耐介质试验	168
5.2.1	概述	168
5.2.2	原理	168
5.2.3	仪器设备	168
5.2.4	试验条件	169
5.2.5	试验步骤要点	169
5.2.6	试验结果计算与表示	169
5.2.7	影响因素	170
5.3	耐水性试验	171
5.3.1	概述	171
5.3.2	胶黏剂的湿热试验	172
5.3.3	胶黏剂恒温蒸汽浴法	173
5.3.4	胶黏剂恒温水浸试验	173
5.4	海水浸泡试验	174
5.5	胶黏剂盐雾试验	174
5.5.1	盐雾试验箱	175
5.5.2	试验步骤要点	175
5.5.3	影响因素	176
5.6	热性能试验	176
5.6.1	胶黏剂不同温度下的热强度试验	177
5.6.2	胶黏剂高低温交变试验	179

5.6.3	胶黏剂热老化试验	179
5.7	耐应力试验	180
5.7.1	概述	180
5.7.2	胶黏剂持久强度试验	181
5.7.3	胶黏剂蠕变试验	181
5.7.4	疲劳强度试验	185
6	国内外胶黏剂现行测试方法	188
6.1	国内部分胶黏剂测试方法目录	188
6.2	国外部分胶黏剂测试方法目录	190

1

基础知识

1.1 概述

胶黏剂，简称胶，是能把两个物体胶接在一起，并且在结合处有足够强度的物质。用胶黏剂连接两个物体的连接技术称作胶接技术。以高聚物为基体的胶黏剂属于材料学科中的精细化工产品，它是由高分子化学及物理学、材料力学、涂料化学、界面化学等多学科相互渗透与结合而发展起来的一门新兴学科。胶黏剂由于具有其他材料不能替代的独特性能，因此在国民经济各个领域的应用不断扩大，尤其在航空航天工业中，胶黏剂是一种不可缺少的材料。随着飞行器向高性能方向的发展，对胶黏剂的要求也越来越高，从而对胶黏剂性能测试要求也十分迫切。胶黏剂测试涉及材料的化学、物理、力学、热学、电学、燃烧、耐环境、无损检测及安全等性能测试。性能测试对于生产厂控制产品质量、优化材料配方、改进生产工艺、降低生产成本、提高市场竞争能力很有帮助；同时也为用户了解胶接材料特性、合理选材料、正确施工及对材料做出正确评价提供科学依据。胶黏剂性能测试已成为一种专门的测试技术，是胶黏剂生产和科研工作中的一个重要组成部分。

1.2 胶接技术在航空领域的发展与应用

随着科学技术和国民经济的发展，胶黏剂正被广泛应用于各个行业及高科技等领域。我国胶黏剂工艺起步于 20 世纪 50 年代，20 世纪 80 年代形成了第一个生产高潮，近十年有了突飞猛进的发展，开始进入高速发展的新时期。我国从

20 世纪 50 年代末开始研制航空用结构胶（比国外晚了 10~20 年）：首先仿制了尼龙/酚醛有孔蜂窝结构胶，其缺点是耐水性能很差；然后改用了自制的丁腈/酚醛结构胶（耐温 200℃）。20 世纪 70 年代初，成功研制出环氧/丁腈型自力-2 结构胶，并将其用于直-五机旋翼无孔蜂窝后段的胶接，从而有效解决了有孔蜂窝结构开胶等问题；随后开发了多种无孔蜂窝结构胶及其配套胶。20 世纪 80 年代，环氧/聚砒型胶黏剂 SY-14 胶膜研制成功；1984 年，磷酸阳极化耐久铝蜂窝芯研制成功。20 世纪 90 年代，研制出包括胶膜、底胶和发泡胶的中温固化、高温固化结构胶系列，特别是中温固化结构胶的应用使航空技术有了较大的进展。近年来某些主要的飞机制造公司相继建立了胶接生产线：西飞公司的胶接生产线，其面积达 6000m²，热压罐最大直径为 3.6m、长 10m；沈飞公司的铝合金磷酸阳极化工艺取消了含铬酸盐脱氧工序，采用硝酸脱氧，在国际上处于领先地位。近三年来，我国航空等运输用胶黏剂用量的增长率达到 11.8% 左右，由此说明国内航空用胶黏剂的需求量与日俱增。国内自制的胶黏剂很多都不能满足使用要求，因此每年必须进口大量结构胶。

20 世纪 40 年代起，欧美开始使用胶接技术制造飞机。英国的 DE Havilland 公司将酚醛/缩醛胶黏剂（Redux-775）用于飞机金属结构件的胶接，并在二战中获得成功应用。20 世纪 40 年代中后期，美国开发出丁腈/酚醛胶黏剂（Meltbond4021），其 90℃ 剥离强度超过 20kN/m，且韧性好。20 世纪 50 年代，EP（环氧树脂）胶黏剂使航空结构胶的胶接技术取得了进一步发展，出现了第二代改性 EP 胶黏剂，并成功应用于无孔蜂窝结构。1963 年美国将 300 架 F-4 飞机的有孔蜂窝结构全部改装为无孔蜂窝结构，并将当时新开发的环氧/聚酰胺胶黏剂广泛用于新机种中。由于 175℃ 高温固化的结构胶容易引起铝合金的晶间腐蚀，1965 年中温固化（120℃）环氧/丁腈结构胶（FM-123）研制成功；1968 年抑制腐蚀底胶（BR-127）问世，使防腐蚀性能得到显著改善。

20 世纪 70 年代中期，揭示了胶接结构的基本原理，建立了先进的胶接体系概念，并相继采用环氧/端羧丁腈、环氧/聚砒等耐久性结构胶制造各种飞机，取得了很大的突破。20 世纪 80 年代，复合材料在飞机制造业中获得应用，如波音 737-300 飞机开始采用复合材料部分取代铝蜂窝结构。至 20 世纪后期，国外各机种的机身、尾翼等已大量采用了胶接结构，如：波音 737（胶接数量 210 件，胶接面积 400 m²）；707（224 m²）；747（3200 m²）；F-111；C-141；C-5 和 HJY-86 等用胶量约为数百平方米；L-100（2800 m²），DC-10（2300 m²），伊尔-86（340 m²），A300（50 件，586 m²），A310（70 件，631m²），F100（950m²）；B-58，F-28 和三叉机等胶接面积约占全机 60%~80%。

随着近代科学技术的快速发展，运载火箭、洲际导弹、航天飞机等空间运载工具以及飞机、汽车、船舶等交通工具都朝着质量轻、可靠性好、寿命长和能耗

低等方向发展。这些新的设计理念对胶黏剂的性能提出了更高的要求,即胶黏剂既要具备良好的综合力学性能,还要具备足够的耐热性能。在飞机高速飞行过程中,蜂窝结构件外表面的局部温度可以达到 $260^{\circ}\text{C}\sim 316^{\circ}\text{C}$,其内部温度也可以达到 $200^{\circ}\text{C}\sim 260^{\circ}\text{C}$ 。由于铝合金的最高使用温度是 180°C ,故必须采用钛合金或碳纤维复合材料来制造蜂窝结构件。这种结构的设计要求胶黏剂除了具有耐高温性能外,还必须对钛合金、碳纤维复合材料等具有良好的粘接性能。因此,航空航天等高科技领域对结构胶综合性能的要求越来越高。

21 世纪的民用飞机要求结构材料必须朝着低密度、高强度、高韧性、耐高温、抗氧化、抗腐蚀、抗疲劳以及隐身吸波性好等方向发展,而优良的航空用结构胶在制造满足上述要求的航空结构部件方面具有重要的作用。近年来飞机上所用胶黏剂的品种不断增多、数量不断增大,其中改性 EP (环氧树脂) 胶黏剂占 68%,此外还包括改性 PU (聚氨酯)、聚酰亚胺和双马来酰亚胺等胶黏剂。

1.3 胶接连接的特点

目前,采用胶黏剂进行胶接的连接方法业已成为各部门产品设计指定的连接方法之一,与焊接、机械连接(铆接与螺栓连接)方法相比,它具有如下特点。

(1) **减轻结构重量** 胶接比焊接、铆接及螺栓连接可减少质量 25%~30%。这对增加飞机与导弹的飞行速度,提高航程与有效载重、降低成本都十分有利。如美国航天飞机重量每减少 1kg,其发射成本就可减少 15000 美元;若能使宇宙飞船的设备和材料重量减轻 1kg,就可使推进火箭减轻 500kg;当飞机的机体结构重量减轻 15%,那么在同等燃料消耗的条件下,可使飞行距离和上升速度增加 10%,或缩短起飞前的滑行距离的 15%。

(2) **接头应力分布均匀,可提高连接强度** 胶接结构承受载荷时应力能够比较均匀地分布在整個胶接面上,应力集中现象不像铆、焊和螺栓连接那样严重,从而可以大大提高构件的疲劳寿命。实验证明,飞机的某些构件由铆接改成胶接之后,疲劳寿命提高了 3 倍~10 倍,与铆接、点焊相比,胶接的剪切强度高 25%以至更多。

(3) **可以连接各种材料** 胶接不仅在金属之间,而且在金属和非金属之间以及非金属之间都能获得良好的连接。连接时,它不受被胶接材料性质、形状的限制,这是其他连接方式所难以胜任的。

(4) **具有灵活的可调合性** 胶黏剂制备过程中,可以根据不同的使用要求,制成导电、导热、导磁等性能。

(5) **具有良好的综合性能** 胶接接头具有密封作用、抗腐蚀性、电绝缘性、耐水性等。此外,胶接结构表面平整光滑,有利于提高空气动

(6) 胶接工艺比较简便 胶接工艺可以同时完成大面积的胶接, 因此在大批生产时可以节省劳动力, 降低成本。

但是胶接技术并不是十全十美的, 目前还处在发展阶段, 与其他连接方式相比, 尚存在以下问题:

① 胶接强度分散性大。制件的胶接技术质量受胶黏剂本身性能、表面处理、涂胶工艺、固化规范、环境条件(温度、湿度等)诸多因素影响, 致使其分散性大, 一般在 20% 左右, 而点焊约为 15%, 铆接只有 8%。

② 非破坏性检查方法尚不完善。胶接构件最终的非破坏性检查方法是从金属材料制件的非破坏性检查方法衍生而来, 如超声穿透法、超声共振法、X 射线法、热学检验法、液晶显色法与全息照相等。由于胶接构件是由不同材质连接起来的, 每种方法都有一定的使用范围, 多数还停留在定量或半定量阶段等。总之, 至今仍没有一个十分满意的无损检测方法, 因而限制了它的应用范围。

③ 在产品胶接时, 对胶接件的表面处理及其胶接应严格按胶接工艺规范全过程进行监控。有些胶接件还要求在真空压力罐中于专用工装夹具中成型。

④ 对胶接接头的力学性能与耐环境性能的研究并不像金属材料研究那么完善与成熟, 从而限制了胶黏剂的应用。

⑤ 使用温度低。胶黏剂的基体材料多为有机高聚物, 一般长期使用温度不超过 150℃, 少数的可在 200℃ 以上长期工作, 但高温条件使用的区间仍然有限。由于胶接件胶接接头的强度随着温度的升高迅速下降, 阻碍了它的使用。

另外, 胶接件的致命缺点是不均匀扯离强度与剥离强度低, 因此它很容易在结合处边缘首先发生破坏, 从而导致胶接接头全部破坏。与金属相比, 由于它大多为有机高聚物, 在光、热、温度、氧、臭氧、水、盐雾、霉菌、辐射与应力等环境的综合因素作用下, 会加快高聚物老化而损坏胶接构件。基于上述原因, 从而大大限制了胶接连接的应用范围。

1.4 胶黏剂的组成

胶黏剂通常都是由多种组分所组成。除了起基本黏附作用的有机或无机高聚物之外, 为了满足它的物理性能、化学性能、力学性能、耐环境性能、工艺性能与使用性能的要求, 通常还要加入其他辅助组分。如为了提高胶黏剂的韧性而加入热塑性树脂或弹性体以及增塑剂; 为了使黏料树脂形成网型与体型结构, 增加胶层的内聚强度而加入固化剂; 为了加快固化速度、降低固化温度而加入固化促进剂与催化剂; 为了赋予胶黏剂一特殊性能, 降低成本而加入填料; 为了改善胶黏剂的流淌性而加入触变剂; 为了提高胶黏剂的胶接强度、耐水性、耐热性与耐