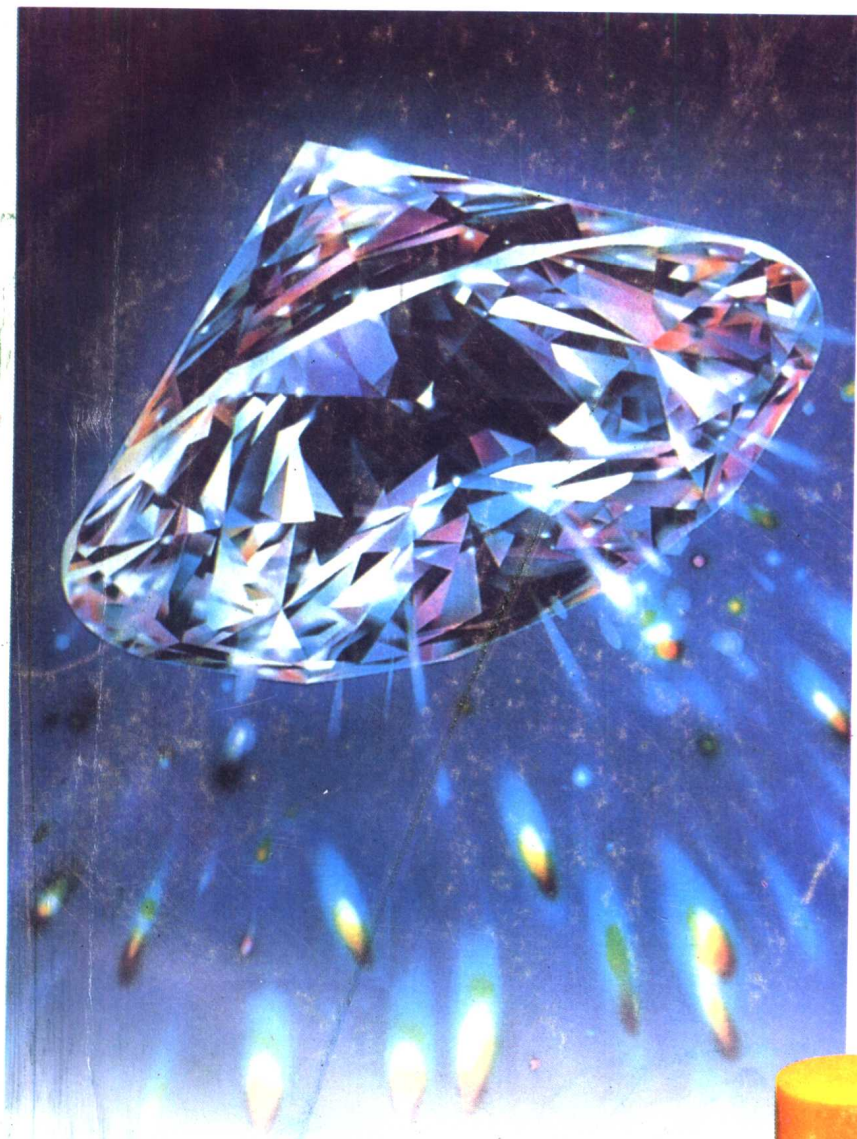


高等学校试用教材

复合材料工艺及设备



刘雄亚 谢怀勤 主编



TB3

48

学出版社

高等学校试用教材

复合材料工艺及设备

刘雄亚 谢怀勤 主编

武汉工业大学出版社

内容提要

本书是经全国高等学校复合材料类专业教学指导委员会审查通过的复合材料专业大学本科教学用书。

本书参考了各校现有复合材料工艺讲义,总结了国内外研究和生产中的最新成果,系统地介绍了以树脂基复合材料为重点的各类复合材料(包括无机非金属基和金属基复合材料)的成型工艺原理、方法及设备。

本书除作高等学校复合材料专业教材外,也可供从事复合材料研究和生产的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

复合材料工艺及设备/刘雄亚著. —武汉:武汉工业大学出版社,1997.5 重印

ISBN 7-5629-0938-5

I. 复…

II. 刘…

III. ①复合材料-生产工艺②复合材料-生产-设备

IV. TB33

武汉工业大学出版社出版发行(武汉市武昌珞珈路14号)

全国各地新华书店经销

武汉工业大学出版社核工业中南309印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:29.25 插页:1 字数:662千字

1994年10月第1版 1997年5月第2次印刷

印数:4001—9000册 定价:24.00元

(本书若有印装质量问题,请向承印厂调换)

前 言

复合材料是材料科学中一支新秀,它广泛用于国民经济的各个领域,对尖端科学技术的发展起到了重大作用。

根据国内外复合材料工业和科学的发展现状,从创建复合材料学科理论的高度出发,以培养复合材料工业和研究实用人才入手,由刘雄亚教授首先提出,经复材专业教学指导委员会讨论通过,国家教委和国家建材局批准,首批编写《复合材料学》,《复合材料原理》,《复合材料结构设计基础》,《复合材料工艺及设备》,《复合材料实验技术》,《复合材料聚合物基体》六本书作为复合材料与工程专业的必修课教材。

《复合材料工艺及设备》系统地介绍了各类复合材料的工艺原理、成型方法及生产设备。根据复合材料工业的发展现状,本书总结了国内外的最新成就,重点介绍树脂基复合材料的各种成型方法,生产设备及连接加工等。对金属基和无机非金属基复合材料也作了较详细地介绍。

本书由北京航空航天大学伍必兴副教授和国防科技大学肖翠蓉副教授任主审。

参加编写的有武汉工业大学刘雄亚(1、10、11、12、13章、合写9、14章),哈尔滨建工学院谢怀勤(2、4、5、7、8章),哈尔滨建工学院王荣国(第2章第6节),武汉工业大学张垣(3、6章、合写9、14章),国防科技大学郝元恺(15章),武汉工业大学单松高(16章)。全书由刘雄亚统一定稿。

本书除作大学教材外,亦可供从事复合材料研究和生产的工程技术人员参考。由于作者水平所限,不妥之处请读者指正。

编者

1993年6月

目 录

1 绪论	(1)
1.1 复合材料发展概况	(1)
1.2 复合材料的基本性能	(5)
1.3 复合材料的成型工艺	(6)
1.4 选择成型工艺方法的原则	(7)
1.5 本课程的任务及教学方法	(9)
2 手糊成型工艺及设备	(11)
2.1 原材料选择	(11)
2.2 手糊成型模具与脱模剂	(15)
2.3 手糊工艺过程	(22)
2.4 喷射成型工艺及设备	(32)
2.5 热压釜	(40)
2.6 树脂传递模塑与反应注射模塑	(46)
3 夹层结构成型工艺及设备	(56)
3.1 概述	(56)
3.2 蜂窝夹层结构制造工艺及设备	(57)
3.3 泡沫塑料夹层结构制造工艺及设备	(64)
4 模压成型工艺	(73)
4.1 概述	(73)
4.2 模压料	(74)
4.3 SMC 成型工艺	(82)
4.4 模压工艺	(96)
5 模压成型模具与液压机	(106)
5.1 概述	(106)
5.2 压模结构与分类	(110)
5.3 压模结构设计	(114)
5.4 压模的强度计算	(121)
5.5 电加热装置及其功率计算	(125)
5.6 液压机	(128)
6 层压工艺及设备	(135)
6.1 概述	(135)
6.2 胶布制备工艺及设备	(136)
6.3 层压工艺及设备	(146)
6.4 玻璃钢卷管工艺及设备	(156)
7 缠绕成型工艺	(159)
7.1 概述	(159)
7.2 芯模	(162)

7.3 缠绕规律	(169)
7.4 缠绕工艺设计	(180)
7.5 定长管非测地线稳定缠绕	(193)
7.6 锥体缠绕	(195)
8 缠绕设备	(200)
8.1 概述	(200)
8.2 小车环链式缠绕机的总体结构	(205)
8.3 小车环链式缠绕机运动分析	(209)
8.4 小车环链式缠绕机的设计计算	(217)
8.5 各类机械控制缠绕机传动系统设计举例	(225)
8.6 固化炉	(234)
9 其它成型工艺及设备	(243)
9.1 概述	(243)
9.2 连续制管工艺及设备	(243)
9.3 拉挤成型工艺及设备	(253)
9.4 连续制板工艺及设备	(262)
9.5 离心法制管工艺及设备	(267)
10 热塑性复合材料及其工艺理论基础	(272)
10.1 热塑性复合材料的发展概况	(272)
10.2 热塑性复合材料成型工艺理论基础	(279)
11 挤出成型工艺及设备	(290)
11.1 热塑性复合材料粒料生产工艺及设备	(290)
11.2 影响热塑性复合材料性能的因素	(296)
11.3 FRTP 挤出成型工艺	(299)
11.4 FRTP 管挤出成型工艺	(302)
11.5 挤出成型设备	(304)
12 注射成型工艺及设备	(322)
12.1 概述	(322)
12.2 注射成型工艺	(323)
12.3 注射成型设备	(337)
13 热塑性片状模塑料及其制品冲压成型工艺及设备	(350)
13.1 概述	(350)
13.2 热塑性片状模塑料的生产工艺及设备	(353)
13.3 热塑性复合材料制品冲压成型工艺及设备	(356)
14 无机非金属基复合材料成型工艺及设备	(360)
14.1 概述	(360)
14.2 水泥基复合材料	(364)
14.3 陶瓷基复合材料	(377)
15 金属基复合材料成型工艺及设备	(390)
15.1 概述	(390)
15.2 原材料	(394)
15.3 金属基复合材料的复合工艺及设备	(396)

16	复合材料连接与机械加工.....	(423)
16.1	概述	(423)
16.2	复合材料胶接连接	(423)
16.3	复合材料的机械连接	(440)
16.4	热塑性复合材料焊接连接	(444)
16.5	复合材料的机械加工	(449)

1 绪 论

1.1 复合材料(Composite Material)发展概况

复合材料(CM)是指将两种或两种以上的不同材料,用适当的方法复合成一种新材料,其性能比单一材料性能优越。复合材料根据其所用基体材料不同,分为金属基复合材料;无机非金属基复合材料和树脂基复合材料三大类。由于三类复合材料的基体材料性能不同,其生产工艺和基本性能差别很大。

1.1.1 国外发展概况

从国外复合材料的发展历史来看,树脂基复合材料(我国称玻璃钢)已经历了 50 多年的研究与发展,目前已形成了集科研、试制、生产、设计、检测、应用等完整的工业体系。在发达国家,各种树脂基复合材料的原材料配套、工艺装备、研究应用及系列产品的开发等日趋成熟,目前正处在大发展的新阶段。金属基复合材料和无机非金属基复合材料虽然已有 20 多年的发展历史,但进展速度较慢,目前仍处在研究和试制应用阶段,尚未形成工业体系和工业生产能力,故本书重点介绍树脂基复合材料,其它两类复合材料仅作一般介绍。

树脂基复合材料自 1932 年在美国诞生之后,至今已有 50 多年的发展历史,1940~1945 年(二次大战期间)美国首次用玻璃纤维增强聚酯树脂,以手糊工艺制造军用雷达罩和远航飞机油箱,为复合材料在军事工业中的应用开辟了道路。1944 年美空军第一次用玻璃钢夹层结构制造飞机机身、机翼;1946 年纤维缠绕成型在美国取得专利;1950 年真空袋和压力袋压成型工艺研究成功,使手糊产品质量得到提高,并试制成功直升飞机的螺旋桨;1949 年研制成功玻璃纤维预混料,利用传统的对模法压制成表面光洁的玻璃钢零件;60 年代美国用纤维缠绕工艺研制成功“北极星 A”导弹发动机壳体,此后高压容器及压力管相继问世,各种型号的机械式和计算机控制的缠绕机定型生产。为了提高手糊成型工艺的生产率,在此期间,玻璃纤维-聚酯树脂喷射成型工艺得到了发展和应用,使生产效率提高了 2~4 倍,1961 年德国研制成功片状模塑料(SMC),使模压成型工艺达到新水平(中压、中温、大台面制品);1963 年玻璃钢板材开始工业化生产,美、法、日等国先后建起了高产量、大宽幅连续生产线,并研制成功透明玻璃钢及其夹层结构板材;1965 年美国和日本用 SMC 压制汽车部件、浴盆、船上构件等。拉挤成型工艺始于 50 年代,60 年代中期实现了连续化生产,除棒材外,还生产细管、方形、工字形、槽形等截面制品,到了 70 年代,拉挤技术有了重大突破,近年来发展更快,已出现了专门生产拉挤设备的工厂,目前美国生产的拉挤成型机组最先进,其制品断面 76cm×20cm,并设计有环向缠绕机构;进入 70 年代,树脂反应注射成型(RIM)和增强树脂反应注射成型(RRIM)研究成功,改善了手糊工艺,使产品两面光洁,已用于生产卫生洁具、汽车零件等。60 年代,热塑性复合材料得到发展,其生产工艺主要是注射成型和挤出成型,只用于生产短纤维增强塑料。1972 年美国 PPG 公司,研究成功了热塑性片状模塑料,1975 年投入生产,其最大特点是成型周期短,废料可回收利用。80 年代法国研究成功湿法生产热塑性片状模塑料(GMT),这种热塑性片状模塑料成功的用于汽车制造业,发

展速度很快。离心浇铸成型工艺,60年代始于瑞士,80年代得到发展,英国用此法生产10m长玻璃钢电线杆,而用离心法生产大口径有负压管道(Hobas),用于城市给水工程,技术经济效益十分显著。生产方法的改进和创新,主要是为了提高产品质量、产量及降低成本,到目前为止,玻璃钢的生产方法已有近20种之多,而且新的生产方法还在不断出现。

关于复合材料的开发应用,各国的发展途径有所不同。美国首先在军工方面应用,二次世界大战后,逐渐转以民用为主。西欧各国则直接从发展民用复合材料产品开始(如波形板、防腐管道、卫生洁具等)兼顾军工。就全世界而言,目前已形成了从原材料、成型工艺、机械设备、产品种类及性能检验等较完整的工业体系,与其它工业相比,发展很快。到1974年全世界的复合材料产量已达百万吨。进入80年代后,随着热塑性复合材料(FRTP)的开发和应用,CM的增长速度更快,以美国为例,1984~1989年热固性复合材料增长率为5.5%,热塑性复合材料的增长率为13.2%。

根据1990年的统计,全世界树脂基复合材料制品种类为36000多种,总产量达390万吨,其中热塑性复合材料产量为80多万吨。各主要国家的CM产量如表1-1所示。表1-2和表1-3为美国及日本1991~1992年FRP产量。

主要国家1990年CM产量

表1-1

国 家	种 类	热固性复合材料(万t)		热塑性复合材料(万t)	
美 国		117		33.3	
西 欧		118.5		30	
日 本		45.4		18.9	
中 国		10.3		0.3	

注:中国产量中未包括台湾产量

美国近两年FRP产量(t)

表1-2

品 种	年 份		所占份额% (1992年)	与前年比%
	1991年	1992年		
航天、航空、军用	17600	15200	1.3	86
器具、办公用品	61500	64400	5.8	105
建 筑	190900	213500	18.9	112
消 费 品	67600	68600	6.1	101
耐腐蚀设备	161400	155000	13.7	96
电器、电子	105000	111500	9.8	106
船 艇	125000	136900	12.0	109
陆地交通	310100	328200	29.0	106
其 它	33500	38900	3.4	116
总 计	1072600	1132000	100	105.5

日本近两年 FRP 产量(t)

表 1-3

品 种	年 份	1991 年	1992 年	所占份额 % (1992 年)	与前年比 %
建 材		37900	36900	8.1	98
建 筑		199400	188500	41.3	97
船		39800	34400	7.5	86
汽 车		25000	26500	5.8	106
贮 罐		49700	52000	11.4	105
工业材料		54900	57900	12.7	106
杂 品		40400	47900	10.5	118
其 它		12500	12600	2.7	101
总 计		454100	456700	100	100.6

随着复合材料工业的发展,各种复合材料制品广泛地应用于国民经济的各个领域,解决了工程中的技术难题,对促进国民经济建设和国防建设,发挥了重要作用。

(1)在建筑工业中,CM 广泛用于各种轻型结构房屋、建筑装饰及雕塑、卫生洁具、冷却塔、贮水箱、波形瓦、门及窗构件、落水系统和地面等。

(2)在化学工业中,CM 主要用于各种防腐蚀管、罐、泵、阀门、贮槽及各种防腐设备的衬里等。

(3)在交通运输方面,如汽车制造工业中,CM 主要用于各种车身构件、引擎罩、仪表盘、车门、地板、座椅、冷藏车、消防车、运输槽车等;在铁路运输中用于客车车箱、车门窗、水箱、卫生间、座椅、冷藏车、贮罐车、集装箱及各种通讯线路器材等。

(4)在造船工业中,CM 用于生产各种工作艇、渔船、交通船、摩托艇、扫雷艇、潜水艇、救生艇、游艇及船上舾装件等。

(5)在电器工业中,CM 用于生产层压板、复铜板、绝缘管、电机护环、槽楔、绝缘子、路灯灯具、电线杆、带电操作工具等。

(6)在军械及航空工业中,主要用于生产引信体、子弹、弹壳(教练弹)、炮弹护环、枪托、火箭发射筒、火炮护罩、雷达罩、飞机平尾、垂尾、机身蒙皮、减速板、机翼、机身口盖、直升机旋翼等。

(7)CM 用于体育用品中的各种体育器材。如撑竿、弓箭、球拍、雪橇、赛车、滑板、赛艇、皮艇、划桨等。

(8)农渔业方面有各种 CM 温室(蔬菜、花卉、水产养殖、粮食干燥、养鸡、养猪等)、粮仓、饲料仓、化粪池、水渠、喷雾器、花盆、牛奶运送车、粪便运输车等。

(9)在机械制造业中,CM 的用途很广:有玻璃钢叶片、风机、造纸机械配件(打浆机部件、导辊和案辊)、柴油机部件、纺织机部件、化纤机械部件(过滤器、离心罐、套片等)、贮能飞轮、消声设备、磁选机筒身、轴套、煤矿机械部件、泵、铸模、食品机械部件、齿轮、法兰圈、皮带

轮和防护罩等。

应该认识到,上述用途仅是树脂基复合材料产品应用的部分举例,由于复合材料的性能可以根据使用条件进行设计,其应用领域十分广阔,新的技术经济效益好的产品,还有待进一步研究开发,其前景是无可限量的。表 1-4 为几个主要国家在汽车、建筑和造船工业中复合材料用量比较。

主要国家在汽车、建筑和造船工业中复合材料(玻璃钢)用量比较 表 1-4

美 国	汽车工业(26%)	建筑业(18.6%)	造船业(17%)
西 欧	电子工业(21.3%)	汽车工业(21.1%)	建筑业(13.8%)
日 本	建筑业(40.1%)	工业材料(15%)	防腐工程(12%)
加拿大	汽车工业(29.3%)	造船业(26.3%)	建筑业(16%)

注:括号内为占总产量的百分比。

国外军工产品的用量约占总产量的 1%~2%。

金属基复合材料自 60 年代末美国首次研究成功 B/AL 复合材料,并用此代替铝合金制造航天飞行器桁架支柱以来,深受各先进国家的重视,由于金属基复合材料具有高比强、高比模、耐高温、导热、导电、膨胀系数小、尺寸稳定性好等优异性能,在航天、航空、汽车领域有广阔的应用前景,并已成为国际上十分重视的先进材料。它可以在 600℃~800℃ 温度条件下长期使用。但由于其制造和加工复杂、成本太贵,目前还没有普遍应用,尚处于研制阶段,还没有形成工业化批量生产能力。

无机非金属基复合材料分为高性能陶瓷基复合材料和一般无机粘接剂基复合材料两类。陶瓷基复合材料属耐高温结构材料,具有高硬度、耐磨损、耐腐蚀等特点。以莫来石碳化硅复合材料为例,其常温强度为 600MPa,在 1300℃ 条件下,强度仍保留在 500MPa 以上。耐高温、高强陶瓷复合材料的应用领域主要是航空燃气轮机发动机。这种材料目前尚处于试验室研究阶段,未形成工业化生产,但发展前景很大。无机粘接剂基复合材料种类很多,如玻璃纤维增强 AS 复合材料;玻璃纤维增强铜磷酸盐复合材料;抗碱玻纤增强水泥复合材料;玻纤增强氯氧镁复合材料及玻纤增强石膏复合材料等。这类复合材料的研究历史已有 40 多年,其最大特点是轻质高强、防火、价廉。但是,由于玻纤的耐碱性没有解决,很长一段时间得不到发展,自 1968 年英国研究出抗碱玻纤之后,玻璃纤维增强水泥复合材料才得到推广应用,目前已工业化生产,并特别受到建筑业的重视。

1.1.2 我国发展概况

2000 多年前我国就已开始研究用漆、麻、竹和丝等制成复合材料,并用它制造成容器、果盘、戈、弓等制品,只是后来没有发展,仅保留有福建的漆器、漆雕等工艺品。用玻璃纤维增强树脂这种现代复合材料,在我国始于 1958 年。这是原建材部赖际发部长 1956 年访苏回来后发起的,并为其取名“玻璃钢”。玻璃钢在我国是以军工产品起家的,但也注意到了民需品。1958 年我国以手糊工艺研制了玻璃钢船,以层压和卷制工艺研制了玻璃钢板、管和火箭筒等。1960 年在北京、上海和哈尔滨成立了研究机构,1961 年研制成玻璃钢耐烧蚀端头。1962 年引进不饱和聚酯树脂和蜂窝成型机及喷射成型机,研究飞机螺旋桨及风洞叶片。1962 年研究缠绕工艺,并生产一批氧气瓶等压力容器。1970 年用手糊夹层结构板制造了 44m 大型

玻璃钢雷达罩。1972年在武汉工业大学、上海华东化工学院、哈尔滨建筑工程学院三校设立了复合材料专业,为我国复合材料工业培养了大批高级技术人才,1975年成立了现在的玻璃钢学会(原名玻璃钢/复合材料专业委员会),今年是第十届学术年会。1980年成立了复合材料学会,现已召开了七届学术年会。两会的学术刊物分别是“玻璃钢/复合材料”和“复合材料学报”。1971年以前我国的复合材料工业主要是军工产品,70年代后开始转向民用,到1981年我国的CM产量为1.5万t,1986年产量达6.5万t,增加了3.3倍,年均增长率为13%。1987年以后,受原材料和经济调整的影响,增长速度放慢,但仍能稳步增长。在此期间,各地大量引进国外先进技术。如在原材料方面,引进了池窑拉丝、短切毡、表面毡、缠绕纱、喷射纱及各种牌号聚酯和环氧树脂等生产技术;在成型工艺方面,引进了缠绕管、缶生产线11条,拉挤工艺生产线6条,SMC生产线10条,连续制板机组3条,树脂传递模塑(RTM)成型机组,喷射成型技术,树脂注射成型技术及渔竿生产线等先进工艺及设备,形成了从研究、设计、生产及原材料配套的较完整的工业体系,截止1991年底,我国复合材料生产工厂已达1500多家,遍及全国各地(除西藏),产品品种1600多种,总产量达10万t/年。主要用于建筑、防腐、轻工、交通运输、造船等工业领域。

金属基复合材料和陶瓷基复合材料在我国始于70年代末期。十几年来我国在碳化硅增强铝、晶须增强陶瓷等研究方面取得了很大进展,其研究成果已接近世界先进水平,但在生产应用方面,尚未形成生产能力。预计“八五”期间,金属基复合材料有望走出试验室形成小批量生产能力。

无机非金属复合材料在我国的发展历史较长。早在1958年就曾出现过玻纤增强水泥的研究应用高潮。但因玻纤防腐问题没有解决,很快就停止下来。1983年中国建筑材料研究院首次试制成功抗碱玻纤增强硫铝酸盐低碱水泥复合材料,1988年武汉工业大学研究成功高性能玻纤增强氯氧镁复合材料,使我国无机非金属复合材料研究提高到国际先进水平,目前上述两种复合材料已形成了工业化生产规模,并已在建筑工程中用于墙板、防火门、水箱、通风管道、卫生间、吊顶、装饰板、粮仓、温室框架、艺术制品等。

1.2 复合材料的基本性能

复合材料的最大特点是其性能具有可设计性。影响复合材料性能的因素很多,主要取决于增强材料的性能、含量及分布状况,基体材料的性能和含量,以及它们之间的界面结合情况等。因此,不论对那一类复合材料,就是同一类复合材料的性能也不是一个定值。根据所选择的工艺和材料设计,性能往往差异很大。例如手糊聚酯玻璃钢(玻纤/聚酯树脂复合材料)的密度可在 $1.4\text{g}/\text{cm}^3 \sim 2.2\text{g}/\text{cm}^3$ 范围变化,拉伸强度可以在 $70\text{MPa} \sim 350\text{MPa}$ 范围变动。这就是说复合材料的性能是根据使用条件要求进行设计的。但在使用温度和材料硬度方面,三类复合材料有着明显的区别。如树脂基复合材料的使用温度一般为 $60^\circ\text{C} \sim 250^\circ\text{C}$;金属基复合材料为 $400^\circ\text{C} \sim 600^\circ\text{C}$;陶瓷基复合材料为 $1000^\circ\text{C} \sim 1500^\circ\text{C}$ 。CM的硬度主要取决于基体材料性能,一般硬度为陶瓷基复合材料大于金属基复合材料大于树脂基复合材料。

为了对复合材料的性能有个粗略的概念,现将三类复合材料的主要性能列于表1-5中。

复合材料主要性能

表1-5

种 类 性 能	树脂基复合材料		金属基复合材料		无机非金属基复合材料	
	热塑性	热固性	轻金属	复合材料	陶瓷基	胶粘剂基
密 度 (g/cm^3)	1.1~1.6	1.0~2.2	1.9~4.5	1.9~4.0	3.0~5.5	1.8~2.1
使用温度 ($^{\circ}\text{C}$)	80~250	80~260	200~400	400~600	1000~1500	200~400
燃烧性能	燃	燃	不燃	不燃	不燃	不燃
拉伸强度 (MPa)	65~300	140~1300	68~1200	530~1400	70~900	40~150
拉伸模量 (MPa)	$(6\sim13)\times10^4$	$(6\sim62)\times10^4$	$(4\sim6.5)\times10^5$	$(1.9\sim2.2)\times10^5$	$(4\sim6.5)\times10^6$	$(3\sim5)\times10^4$

就力学性能而言,复合材料力学性能取决于增强材料的性能、含量和分布,基体材料的性能和含量。它是可以根据使用条件进行设计,从强度方面来讲,三类复合材料都可以获得较高的强度。

复合材料的耐自然老化性能,取决于基体材料性能和与增强材料的界面粘接。一般来讲其耐老化性能的优劣次序为:陶瓷基复合材料大于金属基复合材料大于树脂基复合材料。树脂基复合材料的耐自然老化性能也可以通过改进树脂配方,增加表面防护层等方法来提高和改善。

三类复合材料的导热性能和优劣比较为:金属基复合材料 $[50\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})\sim65\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})]$;陶瓷基复合材料 $[0.7\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})\sim3.5\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})]$;树脂基复合材料 $[0.35\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})\sim0.45\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})]$ 。

复合材料的耐化学腐蚀性能是通过选择基体材料来实现。一般来讲陶瓷基复合材料和树脂基复合材料的耐化学腐蚀性能比金属基复合材料优越。在树脂基复合材料中不同的树脂基体,其耐化学腐蚀性能也不相同。聚乙烯酯树脂较通用型聚酯树脂有较高的耐化学腐蚀性,有碱纤维较无碱纤维的耐酸介质性能好。

从生产工艺的难易程度和产品成本高低方面分析,树脂基复合材料生产工艺成熟,产品成本最低;金属基复合材料次之;陶瓷基复合材料工艺最复杂,产品成本也最高。但无机粘接剂复合材料的成型工艺与树脂基复合材料相似,且产品成本大大低于树脂基复合材料。

1.3 复合材料的成型工艺

关于成型方法的介绍,这里主要讲树脂基复合材料,随着树脂基复合材料工业迅速发展和日渐完善,新的高效生产方法不断出现,已在生产中采用的成型方法有:

- (1)手糊成型——湿法铺层成型。
- (2)真空袋压法成型。
- (3)压力袋成型。
- (4)树脂注射和树脂传递成型。
- (5)喷射成型。

- (6)真空辅助树脂注射成型。
- (7)夹层结构成型。
- (8)模压成型。
- (9)注射成型。
- (10)挤出成型。
- (11)纤维缠绕成型。
- (12)拉挤成型。
- (13)连续板材成型。
- (14)层压或卷制成型。
- (15)热塑性片状模塑料热冲压成型。
- (16)离心浇铸成型。

上述(9)、(10)、(15)为热塑性树脂基复合材料成型工艺,分别适用于短纤维增强和连续纤维增强热塑性复合材料两类。应该指出,连续纤维增强热塑性复合材料在我国尚属空白,应该引起重视,重点发展。

热固性树脂基复合材料的成型方法很多,但在实际生产中,各种成型方法所占的比例不同。我国目前 80%~90% 的玻璃钢产品是用简单的手糊工艺成型,因而急需提高机械化成型比例。国外各种成型工艺所占比例也因各国情况而异,其应用情况如表 1-6 所示。

各种成型工艺在 CM 生产中比例

表 1-6

成型工艺	占有率(%)	各工艺的产量(1990)万t
模压成型	42.3	139.59
手糊成型	22.1	72.93
拉挤成型	11.1	36.63
喷射成型	9.1	30.03
纤维缠绕	7.2	23.76
离心浇铸	3.0	9.9
RTM 成型	4.0	13.2
其 它	1.2	3.96
总 计	100	330

表中数字对我们发展各种成型工艺有指导意义。模压成型占比例高的原因,是因为近年来 SMC、BMC 发展较快,用模压成型法生产的制品质量稳定,外观好等。手糊成型不论在哪个国家都占有很大比例,仍然是很重要的成型方法,特别是在我们国家,应该重视提高手糊工艺的技术水平,使产品性能和外观质量进一步提高。离心法成型工艺在我国尚处空白,它主要用来生产各种加砂玻璃钢管、缶制品,其最大优点是产品刚度大、成本低,最适用于生产市政建设中的大口径给排水管道。我国应该重视发展这种成型工艺。

1.4 选择成型工艺方法的原则

如何选择成型方法,是组织生产时的首要问题。生产复合材料制品的特点是材料生产和

产品成型同时完成,因此,在选择成型方法时,必须同时满足材料性能、产品质量和经济效益等多种因素的基本要求,具体应考虑:

(1)产品的外形构造和尺寸大小。

(2)材料性能和产品质量要求,如材料的物化性能,产品的强度及表面粗糙度(光洁度)要求等。

(3)生产批量大小及供应时间(允许的生产周期)要求。

(4)企业可能提供的设备条件及资金。

(5)综合经济效益,保证企业盈利。

一般来讲,生产批量大、数量多及外形复杂的小产品,多采用模压成型,如机械零件,电工器材等;对造形简单的大尺寸制品,如浴盆、汽车部件等,适宜采用 SMC 大台面压机成型,亦可用手糊工艺生产小批量产品;对于压力管道及容器,则宜用缠绕工艺;对批量小的大尺寸制品,如船体外壳、大型储槽等,常采用手糊、喷射工艺;对于板材和线型制品,可采用连续成型工艺。

表 1-7 为几种主要成型工艺的特点及条件,供选择成型方法时参考。

主要成型工艺比较						表 1-7	
成型工艺	成型温度(℃)	成型周期	成型压力(MPa)	模具形式及材质	适应产量个/月	优点	缺点
手糊成型	25~40	30min~24h	接触压力	单模,木模,玻璃钢模,水泥模	20~500	1. 产量及产品尺寸不受限制 2. 操作简便,投资少、成本低 3. 合理使用增强材料,在任意部位增厚	1. 操作技术要求高,质量稳定性差 2. 产品只能单面光洁 3. 生产效率低 4. 劳动条件差
袋压成型	25~40	30min~24h	0.1~0.5	阴模、玻璃钢模、木模	20~200	1. 产品两面光洁 2. 适用于中等产量 3. 模具费低 4. 产品质量优于手糊	1. 操作技术要求高 2. 生产效率低 3. 不适用于大制品
喷射成型	20~40	30min~24h	接触压力	单模、玻璃钢模、木模	100~1000	1. 生产效率较手糊高 2. 尺寸大小不受限制,适用大产品 3. 设备简单,可现场施工 4. 产品整体性好	1. 强度低 2. 产品单面光洁 3. 劳动条件差 4. 操作技术高
树脂注射成型	20~40	4min~30min	0.1~0.5	玻璃钢对模、镀金属玻璃钢对模	200~2000	1. 产品两面光洁 2. 适用中批量生产 3. 模具设备费低 4. 能成型形状复杂制品	1. 模具要求高,使用寿命短 2. 纤维含量低 3. 产品强度低

续表 1-7

成型工艺	成型温度 (°C)	成型周期	成型压力 (MPa)	模具形式及材质	适应产量个/月	优点	缺点
模压成型	100~170	4min~30min	3~20	金属模	100~20000	1. 适于大批量生产 2. 产品质量均匀 3. 制品外观质量高, 尺寸精度高 4. 可成型复杂形状产品	1. 设备费用大 2. 模具质量要求高 3. 不适于小批量生产 4. 成型压力大
缠绕成型	20~100		由缠绕张力决定	铝模、钢模	根据产品尺寸大小而异	1. 充分发挥玻璃纤维强度 2. 产品强度高	1. 设备投资大 2. 仅限于生产回转体产品、管带等
连续成型	80~130	连续出产品	0.02~0.2	连续成型机组	大批量定型产品	1. 生产效率高 2. 质量稳定 3. 产品长度不限	1. 设备投资大 2. 只能生产板或线型制品
离心成型	80~100	10min~80min	0.15~0.28	金属模	大批量	1. 生产效率高 2. 制品外表光洁 3. 可加砂、成本低 4. 制品质量高、刚度大	1. 设备投资大 2. 模具要求高 3. 仅限于回转体管、带产品

表 1-8 为主要成型方法的技术经济比较。

主要成型方法的技术经济分析

表 1-8

成型方法	设备投资	生产效率	制品强度	工人技术要求	技术复杂程度	重复生产可能性
手糊成型	1	1	3	10	10	1
袋压成型	3	3	6	7	7	4
喷射成型	4	4	1	10	10	1
模压成型	8	8	7	5	5	8
缠绕成型	6	6	10	4	4	9
连续成型	10	10	5	1	1	10

注: 1—最低; 10—最高。

1.5 本课程的任务及教学方法

本课程是复合材料专业的一门主要专业课。其任务是使学生学习和掌握各种复合材料的成型方法、工艺原理、生产设备等方面的系统知识。通过课堂学习和实践,掌握各种复合材料工艺及设备的原理及技术关键,要求能合理的选择成型工艺和设备,并能组织生产。

复合材料工艺和设备是一门实践性很强的课程,在教学过程中,必须使课堂教学、电化教学、实验、实习参观等密切结合起来,增强学生的理解能力,要注重学生自学能力、动手能力和分析解决问题能力。