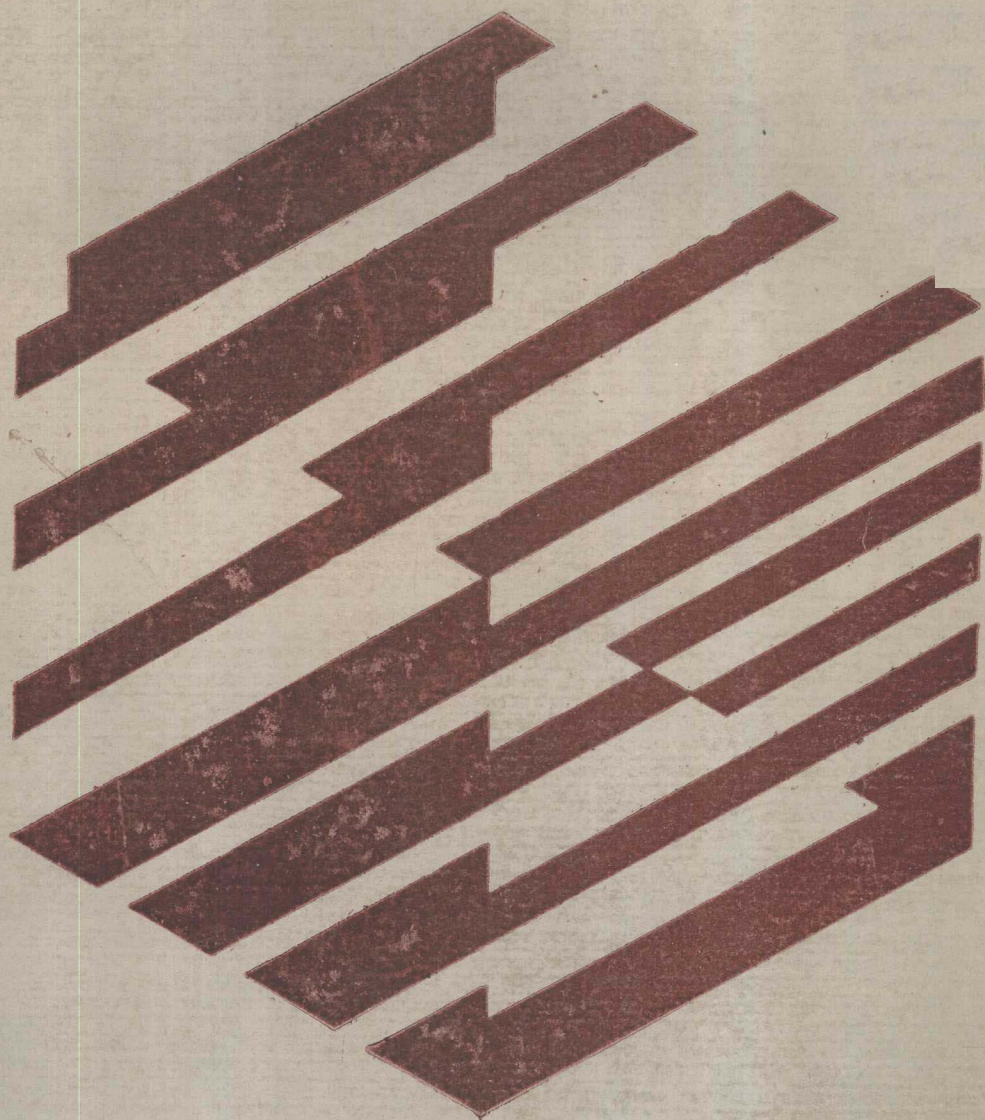


英 R.G.威瑟海德 著

82.36
WSH

纤维增强塑料工艺

王顺亭 汪勤学 周 师 编译



武汉工业大学出版社

纤维增强塑料工艺

〔英〕R.G.威瑟海德 著

王顺亭 汪勤学 周 师 编译
张光远 校

武汉工业大学出版社

1989年·武汉

内 容 简 介

本书是关于玻璃钢基础知识、成型工艺和应用技术的编译书。其中论述了玻璃纤维及其它无机纤维的特性,纤维增强材料的性能、生产和应用,也介绍了不饱和聚酯树脂及辅助剂的生产使用。

适于中小型玻璃钢企业培训技术工人使用,也可作为中等专业学校复合材料专业教学参考书。

纤维增强塑料工艺

原著 [英] R.G. 威瑟海德

编译 王顺亭 汪勤学 周 师

审校 张光远

责任编辑 曹文聪 段 超

* * * * *

武汉工业大学出版社出版、发行

(武昌珞狮路14号)

各地新华书店经销

武汉工业大学出版社印刷厂印装

* * * * *

开本: 787×1092 1/16 字数: 450千字

印张: 18 印数: 1—2100册

1989年10月第1版 1989年10月第1次印刷

ISBN7-5629-0229-1/TQ·0009

定价: 7.00元

编 译 者 的 话

纤维增强塑料(FRP)具有轻质高强、设计自由度大、成型简便、热性能、电性能和耐化学性能优异等特点。因此,FRP自1958年引入我国以来,已获得了深入的研究和广泛的应用。特别是从八十年代初开始,我国乡镇玻璃钢企业如雨后春笋般发展壮大起来。

但与美、英、日等发达国家相比,我国的纤维增强塑料工业,无论是制造技术、设备、还是产量和质量,都仍然相当落后。

鉴于这种现状,我们将英国学者R.G.威瑟海德编著的这本《纤维增强塑料工艺》译介给国内读者。本书系统地阐述了纤维增强塑料的成型工艺、设备、原材料类型与选用等内容,同时,反映了欧洲七十年代末的纤维增强塑料水平。译者衷心希望本书能够为推动我国玻璃钢工业的迅速发展起到一定作用。

由于时间紧迫,编译器水平有限,书中错误和疏漏在所难免,希望各位同行不吝指正。

编译器 1988年11月1日

目 录

1 概述	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 为何使用FRP	(1)
1.3 FRP的一般特征	(2)
1.4 树脂基体	(3)
1.5 增强材料	(4)
1.6 成型工艺	(5)
1.7 FRP制品性能设计和质量控制中的关键问题	(5)
2 纤维增强塑料设计	(7)
2.1 引言	(7)
2.2 设计	(7)
2.3 平板	(10)
2.4 建筑板及包层板	(10)
2.5 空心结构	(10)
2.6 FRP 制品设计时应当考虑的关键问题	(11)
2.7 FRP 制品设计资料	(12)
2.8 在设计FRP 车间平面布局时应考虑的关键问题	(16)
3 模具	(17)
3.1 引言	(17)
3.2 石膏模	(17)
3.3 木模	(18)
3.4 玻璃钢模	(18)
3.5 环氧树脂模具	(20)
3.6 钢模	(22)
3.7 其他模具	(23)
3.8 敞模成型用模具的制造	(24)
3.9 冷压成型用成型模的制造	(29)
4 成型工艺	(32)
4.1 引言	(32)
4.2 接触成型——湿法铺层	(33)
4.3 真空袋成型	(41)
4.4 压力袋成型	(42)
4.5 树脂注射或树脂传递成型	(42)

4.6	压力注射	(44)
4.7	真空浸渍及注射	(44)
4.8	泡沫夹芯成型	(46)
4.9	冷压成型	(47)
4.10	热压/对模成型	(48)
4.11	传递成型	(50)
4.12	注射成型	(50)
4.13	纤维缠绕工艺	(51)
4.14	离心成型	(53)
4.15	连续板材成型	(54)
4.16	挤拉成型	(55)
4.17	夹层结构	(56)
4.18	预型料成型	(57)
4.19	毛刺去除和表面精整	(58)
4.20	FRP 制品二次加工注意事项	(58)
5	玻璃钢制品常见缺陷	(60)
5.1	引言	(60)
5.2	聚酯基制品的一般缺陷	(60)
5.3	胶衣层制备中的主要缺陷及解决办法	(64)
5.4	手糊成型作业中的主要缺陷及解决办法	(67)
5.5	喷射成型工艺中的主要缺陷及解决办法	(72)
5.6	模压成型作业及制品中的缺陷及解决办法	(75)
5.7	冷模压成型作业中的主要缺陷及解决办法	(76)
5.8	树脂注射成型缺陷	(78)
5.9	真空成型制品的缺陷	(79)
5.10	纤维缠绕成型制品的缺陷	(79)
5.11	离心浇铸成型缺陷	(80)
5.12	环氧树脂系统的缺陷	(81)
6	纤维增强塑料的粘接与连接	(82)
6.1	引言	(82)
6.2	粘接剂粘接	(82)
6.3	机械连接	(84)
7	FRP 结构的维护及修补	(85)
7.1	引言	(85)
7.2	维护	(85)
7.3	玻璃钢结构的修补	(85)
8	现地成型	(88)
8.1	引言	(88)
8.2	钢结构	(89)

8.3	混凝土结构	(92)
8.4	木结构	(94)
8.5	混凝土、钢或热塑性塑料管道的修补	(94)
8.6	现场贮罐制造	(95)
9	聚酯树脂	(96)
9.1	引言	(96)
9.2	聚酯树脂	(96)
9.3	工用树脂	(100)
10	不饱和聚酯树脂用引发剂、促进剂和阻聚剂	(120)
10.1	引言	(120)
10.2	固化反应	(120)
10.3	引发剂或催化剂	(122)
10.4	促进剂或加速剂	(135)
10.5	阻聚剂	(137)
11	环氧树脂	(138)
11.1	引言	(138)
11.2	树脂	(139)
11.3	稀释剂	(142)
11.4	如何选择环氧树脂	(144)
11.5	市场供应树脂	(145)
12	环氧树脂固化剂	(151)
12.1	引言	(151)
12.2	固化剂的选择	(152)
12.3	胺类固化剂	(152)
12.4	酸酐固化剂及其促进剂	(158)
12.5	聚酰胺	(162)
12.6	其他固化剂	(163)
12.7	几种典型层积系统	(165)
13	其他树脂系统	(168)
13.1	引言	(168)
13.2	呋喃树脂	(168)
13.3	乙烯基酯树脂	(170)
13.4	弗瑞德尔—柯拉夫兹树脂	(172)
13.5	硅树脂	(173)
13.6	聚酰亚胺树脂	(175)
13.7	酚醛树脂	(175)
13.8	蜜胺甲醛和脲甲醛树脂	(175)
14	树脂的选定基准及购进时的检查项目	(176)
14.1	FRP成型模用胶衣树脂	(176)

14.2	胶衣层制备树脂	(176)
14.3	手糊成型用树脂	(176)
14.4	喷射成型用树脂	(177)
14.5	冷压成型用树脂	(177)
14.6	预型料对模成型用树脂	(177)
14.7	SMC	(177)
14.8	BMC	(178)
14.9	树脂与助剂的贮存保管注意事项	(178)
15	增强材料	(179)
15.1	引言	(179)
15.2	表面薄纱	(180)
15.3	玻璃纤维增强材料	(180)
15.4	碳纤维	(198)
15.5	芳香族聚酰胺纤维	(201)
15.6	其他增强材料	(202)
16	FRP用玻璃纤维的选定基准以及购进、贮藏和保管上的注意事项	(204)
16.1	无捻粗纱	(204)
16.2	短切纤维毡	(204)
16.3	无捻粗纱布	(205)
16.4	玻璃布	(205)
16.5	表面毡	(205)
16.6	保管注意事项	(206)
17	团状模塑料、片状模塑料、预浸渍料及预型料	(208)
17.1	引言	(208)
17.2	团状模塑料	(208)
17.3	片状模塑料	(209)
17.4	预浸渍料	(210)
17.5	SMC成型作业中材料及成型工艺的管理注意事 项	(211)
17.6	BMC成型作业中材料及成型工艺的管理注意事 项	(220)
17.7	预型对模(PF-MD)成型材料及成型工艺管理注意事 项	(227)
18	填料和颜料	(236)
18.1	引言	(236)
18.2	矿物填料	(238)
18.3	玻璃填料	(240)
18.4	金属氧化物填料	(241)
18.5	金属粉末填料	(242)
18.6	其他填料	(242)
18.7	触变添加剂	(244)
18.8	阻燃性填料	(244)

18.9	颜料和染料	(244)
19	其他辅助材料	(245)
19.1	内润滑剂	(245)
19.2	表面皮膜形成材料	(245)
19.3	光稳定剂	(246)
19.4	脱膜剂和密封剂	(246)
19.5	芯材	(247)
19.6	偶联剂	(248)
20	层积工具与设备	(249)
20.1	引言	(249)
20.2	通用设备	(249)
20.3	聚酯树脂系统用喷射设备	(251)
20.4	玻璃毡浸渍设备	(252)
20.5	胶衣布施设备	(253)
20.6	树脂注射设备	(253)
20.7	环氧树脂喷射设备	(253)
20.8	环氧树脂计量设备	(254)
20.9	呋喃喷射设备	(254)
21	操作及安全注意事项	(255)
21.1	引言	(255)
21.2	一般注意事项	(255)
21.3	玻璃纤维	(256)
21.4	环氧树脂	(259)
21.5	固化剂	(260)
21.6	呋喃树脂	(260)
21.7	聚酯树脂	(261)
21.8	过氧化物引发剂	(261)
21.9	填料和颜料	(262)
21.10	防护膏和洗涤膏	(262)
22	稳定质量提高成型效率的关键问题	(263)
22.1	标准化	(263)
22.2	各类标准的教育及训练	(263)
22.3	各类标准的实施	(263)
22.4	实施结果的检查	(263)
22.5	对工艺异常问题的处理	(263)
22.6	处理后续检查	(264)
23	手糊成型作业人员的培训	(264)
23.1	培训的意义	(264)
23.2	作业分析	(264)

23.3	作业说明及作业人员的技术要求细则.....	(265)
23.4	缺陷解析.....	(265)
23.5	质量规格.....	(268)
23.6	安全及卫生注意事项.....	(268)
23.7	新工选拔与录用.....	(268)
23.8	培训计划制定.....	(268)
23.9	作业等级.....	(270)
24	喷射成型作业人员的培训	(271)
24.1	喷射成型工艺的特征.....	(271)
24.2	喷射成型工艺的经济性.....	(271)
24.3	引入喷射成型之际的训练.....	(273)
25	试验规范	(273)
25.1	引言.....	(273)
25.2	化学性能.....	(274)
25.3	阻燃与发烟试验.....	(275)
25.4	机械性能.....	(276)
25.5	物理性能.....	(276)
25.6	热性能.....	(277)
25.7	电气性能.....	(278)
25.8	其他试验规范.....	(279)

1 概 述

1.1 引 言

在过去的30多年中,纤维增强热固性树脂获得了突飞猛进的发展。目前,它们的应用已经十分普及,举目可见。

数年以前,人们常可听到说某某物品是用“玻璃纤维”制造的。今天,尽管这一术语仍在使用着,但更常用的则是玻璃钢(GRP)。人们常常听说某某人拥有一条GRP船云云。GRP最常用来表示玻璃纤维增强聚酯,同时它也用于代表其他玻璃纤维增强塑料。随着其他纤维增强材料用量的不断增长,又衍生出一个新术语——FRP。它表示包括热塑性塑料和热固性塑料的纤维增强塑料。但本书中FRP仅用来表示由纤维状材料增强的热固性树脂。

纤维增强树脂系统是一种复合材料,其中包含呈网状结构分散的增强纤维和使之粘为一体的热固性树脂基体。其中也可能含有其他材料,象填料和颜料等,但它们不属于复合材料的必备组份。一般,所用树脂为粘稠液体,当与相应引发剂或固化剂混合后,能交联成坚硬的不溶不熔固体。以预引发树脂(即加有引发剂的树脂)浸渍布或毡状纤维材料,然后令树脂固化,便制成复合材料或层积制品。这一过程在一敞开或封闭的模具内进行。所得制品为充分固化的模制品,其外观便是模具初始表面的真实写照。

一般,使用玻璃纤维增强的制品称为层积制品,而使用碳纤维增强的制品则称为碳纤维复合材料。

1.2 为何使用FRP?

关于这一问题,众说纷纭,各不相同:既有简言述之的,也有长篇大论的。其实,对于FRP这类材料而言,人们不应希求用只言片语说明问题。

如果首先讨论玻璃纤维增强聚酯,其优点可以归纳如下:

- (1) 热固性;
- (2) 优异的比强度和刚性;
- (3) 制品尺寸大小不限;
- (4) 制造简便;
- (5) 制造工艺多种多样;
- (6) 投资小——手糊成型;
- (7) 设计自由度广阔;
- (8) 优异的耐水性;
- (9) 耐化学腐蚀性;
- (10) 耐气候性;

- (11) 可自由着色;
- (12) 阻燃性——需要时;
- (13) 透明/半透明——需要时;
- (14) 良好的电性能和热性能。

类似的评价亦适用于玻璃纤维增强环氧树脂系统, 不过这时固化和操作特性及固化物性能稍有不同。

就碳纤维增强树脂系统而言, 由于这种复合材料呈现黑色, 因此上述某些优点便不具备。然而, 这种复合材料的比强度和比弹性模量远远高于其他包括金属在内的材料。因此, 这种复合材料在用于需要减轻重量的场合时, 对于设计者有着巨大的吸引力。

与任何材料选择过程都密切相关的另一因素是成本。就FRP而言, 由于主要树脂——聚酯和环氧——均来自于原油, 因此其成本便与原油的价格息息相关。从世界性的原油紧缺以及油价持续上涨的情况来看, FRP的成本将继续上升。FRP消费的这种局面何时改观, 取决于其他一系列经济因素。当然, 在某些地区, 可能会出现由于FRP定价昂贵而销路不畅的情形。然而一般而论, FRP的前景并不会象有些人想象的那样暗淡无光。

1.3 FRP的一般特征

FRP虽具有许多优异性能, 但它绝非万能材料。应该充分认识FRP的特征及性能极限, 并在设计时扬长避短, 统筹考虑。

现将FRP的一般特征列举如下:

- (1) FRP属非均质各向异性材料, 但毡层积品、预混料等可以看成宏观各向同性材料。
- (2) 受力发生粘弹性变形, 弹性区与塑性区无法区分, 不存在比例极限。但在实际中, 可以假定一个类似比例极限的数值。
- (3) 材料力学强度及弹性模量范围很广。
- (4) 材料力学性能主要随玻璃纤维含量、环境、户外曝露时间等变化。
- (5) 比强度高, 比弹性模量低。
- (6) 弹性冲击强度大, 塑性冲击强度小。
- (7) 常温下亦存在蠕变, 但当初期应变为1%左右时, 蠕变所致附加应变实用中可以忽略不计。不过, 就无捻粗纱布及玻璃布层积品而言, 当在与纤维主向成45°的方向上施加荷载时, 蠕变非常大, 这点必须引起注意。
- (8) 蠕变极限可推定为静态强度的40%左右。
- (9) 10^7 次的疲劳强度(双振弯曲)大约为拉伸强度的25~35%, 为弯曲强度的20~30%。
- (10) 平均应力对疲劳强度的影响比金属还大。
- (11) 对于切口强度的影响, 圆形切口小而V形切口大。
- (12) 试件具有的强度离散系数, 一般, 玻璃布FRP(模压成型)为0.03, 玻璃布FRP(手糊成型)0.05, 毡FRP(手糊成型)0.07, 而批量制品的将是上述数值的1.2~2⁰倍。

- (13) 表面硬度低, 易于划伤
- (14) 耐摩耗性一般较差。
- (15) 可具备阻燃性或自熄性, 但燃烧时冒黑烟、发橙光、有异臭。
- (16) 如果使用特殊类型耐热性树脂, 可以抵抗200℃的高温, 但对一般耐热性树脂和通用型树脂而言, 其常用上限温度分别为100℃和60℃。
- (17) 延展性小。在孔洞、颈缩、尖角部位等应力集中区, 将发生应力缓和现象, 这一点在确定安全系数时应予以考虑。
- (18) 由于最大弹性应变能高, 故耐冲击性好, 较小的变形可以恢复。
- (19) 象木材一样, 导热系数较低。
- (20) 热膨胀系数大致与钢或铝合金接近。
- (21) 电绝缘性良好。
- (22) 电磁波穿透性良好。
- (23) 不生锈, 不腐烂, 一般耐化学腐蚀性优良。但除特殊级品外, 耐碱性一律较差。
- (24) 可制得透明FRP, 可自由着色。
- (25) 振动衰减性良好。
- (26) 造形自由度大, 形状、色彩可自由选择。
- (27) 借助波纹、加强肋、夹层结构等可使制品获得要求的强度和弹性模量。
- (28) 各种部件、构件均可在主体成型中一并装配, 因此脱模后的工时大幅度缩减。
- (29) 易于修补和保养。

另外, 如不能透彻地了解制品用途、目的、必备功能等, 并根据综合平衡的观点选择适宜的原材料, 则很难获得稳定的企业收益。

对FRP而言, 不仅要有效利用其成型工艺的广泛性和简易性、基体材料的多样性, 还应考虑复合材料的复合效果等, 通过为一种制品赋予多种功能的方式, 达到降低综合成本的目的。

另一方面, 评价FRP制品, 不能只看初期特性, 还应根据寿命、可信性、保养管理性等综合质量进行比较。使用户方面对FRP这些特征能够充分认识, 这对于维持制品的适当价格是必要的。

1.4 树脂基体

这里只概略地介绍常用树脂, 本书后面将对其进行详尽的阐述。

迄今为止, 在所有层积树脂中, 使用最广泛的是聚酯树脂。这类树脂是由二元或多元醇与二元或多元酸发生反应而生成的不饱和聚合物材料, 一般溶于某种液态单体如苯乙烯中。通过这种方式可以制得一系列此类树脂。从而在很大范围内满足制造和使用要求。这类树脂的基本特性在于它们是不饱和的, 因而能够通过不饱和键交联或固化, 结果生成坚硬、不熔、不溶的热固性固体。这一过程可借助有机过氧化物引发剂在室温或加热下实现。这一反应属于自由基聚合反应。通过使用不饱和单体如苯乙烯, 使之与系统交联, 于是在固化过程中, 已不存在需要排除的溶剂或其他挥发性材料。

另一类最重要的树脂是环氧树脂。这类树脂不仅在化学结构上，而且在聚合方法上都不不同于不饱和聚酯树脂。此类树脂本体可呈低分子量液体或低熔点固体。它们与固化剂或硬化剂反应即形成交联结构。由于此类树脂与固化剂的反应遵循一般化学反应过程，因此，体系中要有足够的固化剂量，以使每个环氧树脂分子都能发生交联。常用典型固化剂有多胺类和有机酸酐类。固化可在常温或升温下进行，固化过程中无挥发物放出。环氧树脂优于聚酯树脂的一个特点是其固化收缩较低（1~2%）。根据固化反应类型不同，聚酯树脂通常产生5~8%的固化收缩。

第三类重要的树脂是乙烯基酯树脂。这类树脂带有部分环氧树脂的化学骨架，而固化遵循聚酯树脂的机理。通常，环氧树脂与某种不饱和有机酸反应便可转变为聚酯树脂。所得聚合物溶于苯乙烯，其使用方法与聚酯树脂十分相似。这种树脂的优点在于既具有聚酯树脂优良的工艺性，又具有环氧树脂优异的耐化学腐蚀性，后者是由于分子中酯基减少的缘故。

第四类是呋喃树脂。这类树脂最初曾用于制备耐酸水泥，但随着固化系统的改进和发展，现在亦可用于层积成型中。呋喃树脂是糠醇聚合物与反应性稀释剂糠醛的混合物。交联借助于酸固化剂。所得聚合物呈黑色。与其他层积树脂相比，固化呋喃树脂的主要优点表现在其特有的耐化学腐蚀性，如对全氯乙烯和冰醋酸之类的材料的耐化学腐蚀性。固化呋喃树脂在燃烧条件下亦显示出很低的发烟性。

最后，本书还将涉及弗瑞德尔—柯拉夫兹（Friedel-Crafts）聚合物——XYLOK树脂。XYLOK是艾尔布拉特和威尔逊（Albright & Wilson）公司的商品名。这种树脂是芳烷基醚和苯酚的缩聚产物，其结构与酚醛树脂类似。采用六胺作固化剂，通过加热和可控后固化即可固化。彻底固化后它们赋予复合材料以良好的热稳定性和优良的电性能。

其他树脂如酚醛树脂、硅酮、聚酰亚胺和脲醛树脂等亦有使用。本书对其中某些树脂一带而过，而对另一些将稍加详述。这些树脂全都用于热压成型工艺。

1.5 增强材料

增强材料系指用于增强固化树脂系统的纤维状材料。尽管任何纤维状材料都可能用作增强材料，但实际可用的纤维品种很有限。纤维长度在3mm（如DMC）到几百米（如纤维缠绕工艺）之间变化。

玻璃纤维历来居增强材料主导地位。用于层积成型的玻璃纤维多由E-玻璃或电气级玻璃制造。这是一种高强度低含碱量的玻璃。

碳纤维尤其在需要高强度和刚度的场合，其重要性日益增大。连续碳纤维已可用于增强树脂系统，尽管价格比玻璃纤维昂贵，但碳纤维复合材料超群的比强度和比模量使得它们对于许多用途极有吸收力。其重要用途之一是用于制造高速往复运动构件，这里，减轻重量而不降低强度或刚度将能使一台机器或是运转更快，或是在同一速度下更高效地运转。

丙烯酸和聚酯的各种合成聚合物纤维已可用作表面薄纱。而新近开发的芳胺纤维则在制备高强度、高模量复合材料方面获得了日益增长的应用，在此芳胺纤维仅起着增强材料的作用。

其他一些作为增强材料而得到某些应用的纤维包括：石棉、棉花、剑麻、蚕丝和羊毛等。

1.6 成型工艺

当聚酯树脂最初用于制造玻璃纤维增强复合材料的时候,可以采用的成型技术只有手糊工艺或称“桶刷”技术。久而久之这种局面已经改观,今天,已有多种不同的制造工艺在使用之中。发展这些形形色色的成型工艺是为了改善层积密度、减轻劳动强度、减少混合失误、提高生产效率及其他多种目的。这些成型工艺中的每一种方法在FRP工业的进一步发展中都起着重要的作用。

近年来,发展趋势已由劳动强度高、手糊成型朝向自动化技术迈进。这种趋势今后将持续发展下去,特别对于闭模成型而言更是如此,因为这样才能适应为控制车间空气中苯乙烯含量和避免与树脂系统的直接接触而制定的愈来愈严格的规定。

有些人可能以为这是FRP工业走向衰落的开端,而另一部分人则认为这不过是一个发展中的问题。然而,不论将来的发展趋向如何,手糊和喷射成型,毫无疑问将依然充当重要的角色,因为仍然存在许多情形,在那里,唯有手糊/喷射成型才能提供制造多种制品的实用方法。

1.7 FRP制品性能设计和质量控制中的关键问题

1.7.1 性能设计

工业制品(不仅限于FRP制品)的性能必须综合考虑以下四方面进行设计:

- (1) 狭义性能 一般性质如尺寸、强度、物性和耐久性等。
- (2) 与成本关联的性能 有效利用率、原单位、作业时间、直接人员费、制造间接费等。
- (3) 与消费量有关的性能 产量、可能销售量、原料及辅助材料的购入量等。
- (4) 制品后继性能 售后服务、缺陷处理、维修、市场调查等。

特别应当指出,FRP制品与木材及钢材等不同,后者只需对原材料进行切割、切削、打孔等机械加工然后装配即得制品,而FRP则是以树脂基体和增强材料为原材料而成型为具有所需形状、尺寸、物性、强度等的制品。由此可见,FRP更需要全面而有效的管理。

1.7.2 质量控制

为了制得在上述四方面均具有所要求质量的制品,以下四方面的管理不可缺少:

- (1) 工厂设施、设备的管理;
- (2) 从原材料到制品的设计管理;
- (3) 成型技术、技能的管理;
- (4) 从购入材料到纳入制品的工艺过程管理。

无论如何,对于已成型制品进行严格检查不算上策,应该按照“在成型过程中赋予制品高质量”的原则进行质量控制。

1.7.3 改善质量

一般改进质量控制有以下七个基本步骤:

- (1) 制定质量标准(参照国内外通行标准)。

(2) 制定操作标准,制定其他关联技术标准,如:设备标准、标准作业时间、标准原材料用量等(这一阶段决定制品的标准价格,以此可以讨论合算性)。

(3) 进行各种操作标准的教育和训练。

(4) 实施作业。

(5) 检查是否按照作业标准等技术标准进行操作(记录作业卡片、数据簿、并活用控制图等统计手段)。

(6) 如果操作是依照作业标准等技术标准进行的,则可依旧进行下去,否则,便要采取相应的修正措施(为采取稳妥的措施,应以特征要因一览表等形式整理技术数据)。

(7) 检查修正措施是否得当。必要时,修改标准。特别在实行并改进质量控制时,要鼓励作成型作业记录,通过对其进行控制和分析,究明制品发生缺陷及不良的原因,并采取对策,以防再次发生,还应将其反映在标准细则的修订上。

1.7.4 记录项目

应该记录的内容,包括所有对结果分析有建设意义的主要因素,要分门别类加以考虑。

(1) 制品名称、编号。

(2) 成型日期、气候、室温、湿度。

(3) 作业人员(按不同工种分)。

(4) 成型模具编号、成型模具检查结果及检查人、脱模剂、涂布条件。

(5) 树脂品名及总量、促进剂、固化剂、填料的品名及总量、添加剂。

(6) 玻璃纤维品名及总量。

(7) 胶衣层涂布工序:压气机原压、传递及排放抽取检查结果、使用涂布喷枪、涂布方式、涂布量、固化剂含量、固化室温度、湿度、固化时间、固化涂膜检查结果。

(8) 层积工序:树脂、玻璃纤维及其他辅助材料的用量、铺层时间、定型条件、固化条件、二次固化后外观检查结果。

(9) 脱模工序:脱模难易程度、脱模后成型模具及制品外观检查结果。

(10) 制品检查结果:劣质制品的不良之处、应修补制品的修补项目及结果。

根据成型部门的技术力量、管理状态等,由上述十项中选定最小限度必要项目,制定作业卡片例行记录。此外,作业结果应通过由劣质率、废品个数、缺陷数绘制的控制图进行控制。对于管理失控要究明原因,确定对策。

2 纤维增强塑料设计

2.1 引言

纤维增强塑料为制品形状、尺寸和色彩等提供了几乎无限的可能性，其制品外观加工形状也多种多样。例如，夹层结构可用于制造刚性好而质量轻的制品，若采用单向碳纤维作为增强材料，则可获得比强度超群的制品。然而，任何制品在成型之前，都必须首先进行设计。对FRP而言，尽管设计师们有着非常广阔的构思余地，但仍应对所用的材料的成型及固化特性给予充分的注意。本章将叙述在设计FRP制品时所需考虑的一些关键因素。

2.2 设计

首先，用户或设计师要描绘一张制品草图。这张草图将逐步完善而演化为最终的设计，图上标明材料参数和设计容许误差。

影响设计的因素有树脂基体选择、增强材料选择和成型工艺。成型工艺的确定受制品数量、生产速率、成型难易和制品尺寸的制约。另一个需要考虑的因素是将制品运输到目的地所采取的方式。对于特大型制品而言，可能有若干构件必须到现场制造安装。

在许多情况下，最终设计往往是对设计者和成型者的要求进行综合折衷的结果。在这方面，设计者和成型者应当经常沟通，以保证最终制品在考虑到生产效率和制品成本的同时，尽可能地满足原始设计要求。表2-1给出了复合材料的典型性能。

表2-1 纤维增强复合材料的典型性能

材料 \ 性能	玻璃含量 (质量%)	比密度 (比重)	拉伸强度 (MPa)	弯曲强度 (MPa)	弯曲模量 (GPa)	ILSS (MPa)
聚酯DMC	30	1.85	41	124	10	—
环氧DMC	65	1.78	140	300	25	—
聚酯SMC	25	1.85	68	190	10	—
冷模压/短切毡	40	1.5	120	240	11	—
手糊/短切毡	30	1.49	103	194	8	—
喷射成型	28	1.49	103	194	8	—
冷模压/连续毡	20	1.44	90	172	7	—
单向E玻璃/环氧	65	2.0	1000	1400	40	80
玻璃布/短切毡	43	1.5	190	390	11	—
纤维类型	碳含量 (体积%)					
单向碳纤维/环氧 HTM—S型	60	1.6	930	1200	180	70
HTS—S型	60	1.5	1620	1720	131	100
A—S型	60	1.5	1440	1520	115	110
HyfilT型	60	1.5	1300	1600	132	80
皱纹碳布/环氧 TorayT300	60	—	530	940	63	62