

图书在版编目 (CIP) 数据

木塑复合材料与制品/王清文, 王伟宏等编著.
北京: 化学工业出版社, 2006. 8
ISBN 7-5025-9323-3

I. 木… II. ①王…②王… III. 木材: 复合材料 IV. ①S781②TB332

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 106723 号

木塑复合材料与制品

王清文 王伟宏 等编著

责任编辑: 丁尚林

文字编辑: 徐雪华

责任校对: 凌亚男

封面设计: 尹琳琳

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

新华书店北京发行所经销

印刷 大厂聚鑫印刷有限责任公司

装订 三河市延风装订厂

开本 850mm×1168mm 1/32 印张 10 $\frac{1}{4}$ 字数 273 千字

2007 年 1 月第 1 版 2007 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-9323-3

定 价: 35.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换



前言

木塑复合材料是“生物质-聚合物复合材料”的俗称，为生物质与聚合物复合而形成的复合材料，最初由木材和塑料用合成树脂制得。生物质是由生物细胞或者其代谢产物构成的天然有机高分子材料，主要包括木材、竹藤材、灌木、芦苇等各种草类、农作物秸秆，以及各种农林加工剩余物等，它们的共同特点是由纤维素、半纤维素和木质素三种主要天然有机高分子化合物和含量较少但种类繁多的抽提物组成。生物质作为材料使用时称为生物质材料，绝大部分具有木质化了的纤维状细胞结构，所以常称为木质纤维材料（lignocellulosics），蕴藏量巨大，是唯一可自然再生的基础材料。用于生产木塑复合材料的聚合物原料包括各种合成树脂、塑料、橡胶、合成纤维，以及这些高分子材料制品的废弃物等。可见，木塑复合材料的原料来源极其广泛，尤其值得注意的是，它可以利用废旧塑料和废弃木质纤维材料为原料，可见其生态环境意义不容忽视。

由于综合了木质纤维材料与聚合物材料的双重优势，木塑复合材料具有优良的综合性能，其力学强度好，抗冲击强度高，热伸缩性低于塑料，耐水和耐潮湿性能明显优于木材，尺寸稳定性好，耐磨、耐化学腐蚀、耐虫蛀、防腐朽，兼具木材和塑料的双重加工性能，既可采用挤出、热压等塑料或木质人造板工艺进行成型生产，也可采用锯、刨、旋切、磨削、砂光、胶合、轧花、印刷等木材或塑料的加工方法进行加工和后期处理，在建筑和装饰材料（地板、柱子、门窗、线条等），交通运输（工业托盘、汽车内衬件、火车地板等），家具、园林景观等方面用途广泛并且需求量大，应用范围已开始扩展到

木材和塑料以外的新领域。

以木质纤维材料和热塑性塑料为原料通过挤出成型等工艺制造的木塑复合材料及其制品，废弃后可回收再生并循环利用；对于多次循环利用后降解严重的木塑复合材料，可作为燃料或者裂解的原料用于能源生产。这种将材料与能源相结合的生物质资源利用模式，是一种集约化、高附加值的利用模式，是生物质和“白色污染”资源化高效利用的重要途径，完全符合循环经济和建设节约型社会的要求。

近年来，在“863”、“948”、国家自然科学基金等项目的支持下，东北林业大学针对木塑复合材的各种成型加工工艺、原材料改性技术、界面结合机理、制品的性能以及老化行为等，从基础理论、应用技术和产品开发等方面开展了较为系统的研究。在现有研究成果的基础上，作者参考了大量国内外相关文献编写此书，希望对发展木塑复合材料产业有所裨益。

全书共分9章，其中第1章由王清文教授和王伟宏副教授执笔，第2、7、8章由王伟宏副教授执笔，第3章由郭垂根博士执笔，第4章由宋永明博士执笔，第5、6、9章由许民副教授执笔。全书由王清文教授统稿。

感谢化学工业出版社对本书出版给予的大力支持，同时，向参考文献的作者们表示衷心感谢。

限于作者的经验与学识，书中疏漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

编著者

2006年7月于东北林业大学



目录

■第1章 绪论	1
1.1 发展木塑复合材的意义	2
1.2 木塑复合材的发展进程	4
1.3 木塑复合材加工	7
1.4 木塑复合材的应用	11
1.5 木塑复合材料的发展趋势	15
参考文献	20
■第2章 木塑复合材的原料	22
2.1 塑料原料	22
2.1.1 聚乙烯	23
2.1.2 聚丙烯	27
2.1.3 聚氯乙烯	31
2.1.4 聚苯乙烯类塑料	34
2.1.5 ABS 塑料	37
2.2 木材及农业植物纤维原料	41
2.2.1 木材原料	41
2.2.2 非木材植物纤维原料	48
2.3 偶联剂和添加剂	53
2.3.1 偶联剂	54
2.3.2 添加剂	58
2.4 WPC 配方研究实例	67
参考文献	69

■第3章 木塑复合材基础理论与研究方法 ————— 71

3.1 木塑复合材的界面结合理论	71
3.1.1 木塑复合材界面的形成	72
3.1.2 界面结合理论	73
3.1.3 影响木塑复合材界面结合强度的因素	77
3.2 改善木塑复合材界面相容性的途径	78
3.2.1 木质纤维材料的预处理及表面改性	79
3.2.2 添加合适的界面改性剂	82
3.2.3 塑料基体的改性	85
3.3 成型过程中物料的流变行为	88
3.3.1 聚物流体的剪切流动	88
3.3.2 聚物流体的拉伸流动	94
3.3.3 聚合物熔体的黏性流动与弹性	95
3.4 木塑复合材的研究方法	100
3.4.1 扫描电子显微镜	101
3.4.2 动态热机械分析 (DMA)	103
3.4.3 傅里叶变换红外光谱分析 (FTIR)	107
3.4.4 光电子能谱分析 (ESCA)	109
参考文献	112

■第4章 木塑复合材的挤出成型技术 ————— 115

4.1 概述	115
4.2 原材料的预处理	116
4.2.1 木质纤维材料的预处理	116
4.2.2 塑料原料预处理	123
4.3 混合	131
4.3.1 混合的分类	131
4.3.2 混合机理	132
4.3.3 混合质量	133
4.3.4 木塑复合材原料的混合	134
4.4 挤出成型设备及工艺	139

4.4.1	单螺杆挤出机	139
4.4.2	双螺杆挤出机	153
4.4.3	挤出成型工艺	163
4.5	木塑复合材料挤出成型的主要影响因素	167
4.5.1	挤出成型工艺的主要影响因素	167
4.5.2	影响制品性能的主要因素	169
	参考文献	180

第5章 木塑复合材的热压成型技术 183

5.1	概述	183
5.2	原材料的预处理	183
5.2.1	木质纤维材料	184
5.2.2	热固性树脂与热塑性树脂基体	187
5.2.3	偶联剂	196
5.2.4	引发剂	198
5.3	热压成型工艺	198
5.3.1	热压成型工艺流程	198
5.3.2	成型原理	201
5.3.3	基料和增强材料的粘接原理及条件	201
5.3.4	树脂基体和增强纤维(碎料)的黏合原理	203
5.4	木材纤维与不同聚合物材料复合的性能	205
5.5	木材纤维与回收废旧聚合物复合材料的性能	209
5.5.1	加入偶联剂 ₁ 的工艺研究和影响因素	209
5.5.2	加入偶联剂 ₂ 的工艺研究和影响因素	217
5.6	偶联剂对复合材料性能的影响	225
5.7	热压成型木塑复合板材技术的应用与发展前景	226
	参考文献	227

第6章 木塑复合材的模压制造技术 229

6.1	模压的成型原理	230
6.2	模压的成型方法	231
6.2.1	压缩成型方式	231

6.2.2	模压的工艺流程	232
6.2.3	模压工艺流程的类型	232
6.2.4	沃扎利特工艺流程介绍	235
6.3	模压制品的性能	237
6.4	模压技术的应用	237
	参考文献	238

■第7章 木塑复合材料的性能 ————— 239

7.1	WPC 材料的一般物理力学性能	240
7.1.1	木/塑复合材与实木性能的比较	240
7.1.2	木纤维形态对 WPC 性能的影响	241
7.1.3	非木材纤维/塑料复合材的性能	242
7.1.4	对 WPC 性能的改进	243
7.2	WPC 的耐老化性能	246
7.2.1	紫外老化对 WPC 的破坏作用	247
7.2.2	潮湿对 WPC 性能的影响	254
7.2.3	WPC 的冻融稳定性	257
7.2.4	生物降解对 WPC 性能的影响	259
7.3	其他性能	262
7.3.1	WPC 的蠕变性能	263
7.3.2	其他性能	265
	参考文献	265

■第8章 木塑复合材制品 ————— 270

8.1	建筑工程中的制品	273
8.1.1	铺板与护栏材料	273
8.1.2	民用建筑装饰材料	275
8.1.3	房屋盖板及挡板	276
8.1.4	园林景观材料	278
8.1.5	木塑复合材在建筑模板中的应用	278
8.2	汽车工业中的制品	281
8.3	包装中的制品	283

8.4 其他方面的制品	287
参考文献	288

■ **第9章 塑合木** **289**

9.1 塑合木的研究动态及生产概况	290
9.1.1 塑合木的发展简史	290
9.1.2 塑合木的研究状况	291
9.1.3 塑合木的研究方法	294
9.1.4 塑合木存在的问题和展望	295
9.2 塑合木的性能	297
9.3 单体与添加剂	298
9.4 聚合处理方法	301
9.4.1 辐射法	301
9.4.2 触媒法	301
9.4.3 举例说明我国一些研制或生产单位制造 塑合木的方法	302
9.5 塑合木的检验	308
9.6 塑合木的新探索	309
9.6.1 以降低成本为目的的新技术新工艺	309
9.6.2 产生的实际问题及解决办法	310
9.6.3 塑合木产品性能	312
参考文献	313

第1章

绪论

木塑复合材料，简称木塑复合材（wood-plastic composites，缩写为 WPC），在美国材料试验协会标准（ASTM）中给出的定义是“一种主要由木材或者纤维素为基础材料与塑料（也可以是多种塑料）制成的复合材料”。WPC 的产生可以回溯到 20 世纪初期，当时有人发明了一种主要由酚醛树脂和木粉构成的复合材料，被称为 Bakelite，这种材料被 Rolls Royce 公司用来制造变速杆的把手，由此开辟了木塑复合材的商业市场（Gordon, 1988）。在那以后的几十年里，一直采用热固性塑料（树脂）制造木塑复合材，它起着黏结植物材料的作用。20 世纪 60 年代起，人们采用乙烯基单体或含有碳碳双键的预聚物浸注处理实体木材，然后采用高能射线或自由基引发剂引发聚合物，形成高性能的木塑复合材料，通常称为塑合木（wood-polymer composites，也缩写为 WPC）。

热塑性塑料可用来制造很多不同形状的商品，如牛奶罐、食品袋、民用扣板等，将它用于 WPC 的制造也已经有几十年的历史了，但直到最近几年才迅速发展起来。从 1990 年初以来北美的木塑复合材市场的年均增长率达到了两位数（中国塑木网，2006），当前北美的木塑复合材市场需求量为 70 万吨/年，其中装饰市场占据了约 35 万吨/年的份额，其次是窗框，约占据 7 万吨/年的份额。2002~2003 年，欧洲的木塑材料产量增加了一倍，达到 3 万吨/年。如今，木塑复合材（WPC）几乎成为木材-

热塑性塑料复合材的专有名词 (Clemons, 2002)。与热固性塑料不同的是, 热塑性塑料是以连续相存在于复合材料内, 而植物纤维 (或粉) 则起着填充和增强作用。本书也以 WPC 作为木材-热塑性塑料复合材的缩写, 对其基础理论、生产技术、产品性能及应用进行较为详细的介绍。

用于制造木塑复合材料的热塑性塑料主要有聚乙烯 (PE)、聚丙烯 (PP) 等聚烯烃和聚苯乙烯 (PS)、聚氯乙烯 (PVC), 包括新料、回收料以及二者的混合料。纤维部分最初是以木材为主要原料, 近几年也正向其他植物纤维材料拓展, 如木屑、稻壳、麦秸等资源丰富的天然植物纤维材料。可见, 木塑复合材实际上已成为以各种植物纤维和各种不同塑料为主要原料, 通过一定工艺而制成的一类新型复合材料。

由于兼有木材和塑料的优点, 木塑复合材及其制品因而具备一系列独特的优良特性: ①耐虫蛀、耐老化、耐腐蚀, 吸水性小, 不会吸水变形, 使用寿命长; ②类似木质的外观, 但比木材尺寸稳定性好, 不会产生裂缝、翘曲且无木材疤痕, 有类似木材的二次加工性, 可切割、粘贴、用钉子或螺栓连接固定; ③比塑料硬度高, 具有热塑性塑料的加工性, 能重复使用和回收再利用, 有利于环境保护。随着挤出设备和挤出技术的发展, 人们又通过木塑复合微孔发泡技术制得木塑复合微孔发泡材料。它比不发泡材料具有更高的冲击强度、更高的韧性、更长的疲劳寿命、更好的热稳定性和更低的密度, 从而进一步拓宽了木塑复合材料制品的应用范围 (江波等, 2005)。

1.1 发展木塑复合材的意义

现代生活中人们对塑料的依赖性越来越强, 从简单的生活器具到昂贵的家用电器, 从日常办公用品到尖端科学仪器, 无处不昭示着塑料的存在。然而, 人们在享受便利生活、感叹科技发达的同时, 又被挥之不去的白色污染所困扰。

世界合成树脂的年产量已达 2 亿吨, 在现有的城市固体废弃

物中，塑料的比例已达到 15%~20%，而其中大部分是一次性使用的各类塑料包装制品。塑料废弃物的处理已不仅是塑料工业的问题，而且成为国际社会广泛关注的公害。在城市塑料固体废物处理方面，目前主要采用填埋、焚烧和回收再利用三种方法。因国情不同，各国各异，美国以填埋为主，欧洲、日本以焚烧为主。采用填埋处理，因塑料制品质大体轻，且不易腐烂，会导致填埋地成为软质地基，今后很难利用。采用焚烧处理，因塑料发热量大，易损伤炉子。此外，焚烧后产生大量温室气体，对全球生态环境不利，有些塑料在焚烧时还会释放出有害气体而污染大气。采用回收利用的方法，由于耗费人工，回收成本高，且缺乏相应的回收渠道，目前世界回收利用仅占全部塑料消费量的 15% 左右。不过，由于世界石油资源有限，从节约地球资源的角度考虑，塑料的回收利用具有重大的意义。为此，目前世界各国都投入大量人力、物力，开发各种废旧塑料回收利用的关键技术，致力于降低塑料回收利用的成本和开发其合适的应用领域。

我国改革开放初期塑料制品的产量只有 104 万吨，目前已达到 3600 万吨，其中五大热塑性塑料（PE、PP、PVC、PS 和共聚物 ABS）3400 万吨。2005 年用于包装的塑料制品约 800 万吨，农用薄膜 130 万吨。2005 年中国出口塑料制品约 1200 万吨，实际的合成树脂消费量约为 2400 万吨，可回收的消费后的塑料约为 800 万吨（中国再生塑料网，2006）。在生产量激增的同时，塑料回收、分类、利用的能力与发达国家相比却存在很大差距，塑料污染给我国带来的污染尤其严重。

此外，由于目前全球森林资源日渐枯竭，各国环境保护的意识不断高涨，要求限伐、禁伐森林的法令不断颁布，对于木材的利用提出了更高的要求。一方面尽量减少木材的采伐量，推进寻找木材的替代品，另一方面要提高木材的利用率。在传统木材的使用中有 25%~35% 属于“废料”，如何将这些边角料加以利用，提高木材工业利用效率备受人们的关注（江波等，2005）。

在这种形势下，WPC 产品恰好为废旧塑料的循环利用提供了良好的出路，它的代木作用又对节省木材资源起到了不容忽视

的作用。木塑复合材料产品充分体现了可再生资源的有效利用与石油产品的循环利用，它的再次兴起对于缓解当前木材与石油资源紧缺、废弃物回收利用困难、环境污染严重等亟待解决问题，具有十分重要的意义。

从生物质资源利用的角度看，发展木塑复合材意义重大。生物质利用的主要途径有两条，即生态环境材料（生物质材料）和可再生能源（生物质能）。将木材及其加工剩余物和秸秆等生物质材料与塑料、橡胶、合成纤维等聚合物材料及其废旧制品材料复合，制造高性能的 WPC，是生物质高效利用的有效途径。以生物质材料纤维或粉末为原料制造的 WPC 制品，废弃后可回收再生并循环利用；对于多次循环利用后降解严重的 WPC，可作为燃料或者裂解的原料用于能源生产。可见，生物质→WPC（循环利用）→生物质能源，这种生物质资源利用模式是一种集约、产业链长、附加值高的高效利用模式，完全符合发展循环经济和建设节约型社会的要求。

1.2 木塑复合材的发展进程

将木粉作为填料与塑料复合而成的木塑复合材料早在二战时期就出现了，但是由于木粉和塑料的相容性差，所以当木粉的比例过大时所得复合材料的性能较差，改善材料的界面相容性一直是后续研究的主要内容之一。木材-热塑性塑料复合材料的商业应用始于 20 世纪 50 年代中期，到 70 年代，WPC 作为一种现代概念在意大利重新兴起。1973 年，Sonnesson Plast AB 公司销售了商品名为 Sonwood® 的 PVC-木粉复合材料，它首先是由木粉和 PVC 复合制成片状，然后挤塑成型。同一时期，一种被称为 Woodstock® 的 WPC 在意大利产生，它是使用 50% 的木粉和 50% 的聚丙烯（PP）混合而成，然后被挤塑成薄的单板，再加热模压成型，最后被用做福特汽车的内衬板材。木塑复合材料优异的性能以及传统的塑料生产加工方式使得 Woodstock® 产品具有价格低廉、强度好、硬度高等特点，至今仍然被广泛使用。进

入 80 年代以后,木塑复合材料逐渐成为研究热点。从 90 年代开始,WPC 进入快速发展时期,尤其在美国和加拿大等国家迅速流行起来(肖泽芳等,2003),估计有超过 55~60 家企业生产 WPC(塑木网,2005)。据美国 Principia Partners 咨询公司研究预测,到 2007 年世界木塑复合材料市场将超过 14 亿美元,且在 2010 年前将保持良好增长势态。预计到 2010 年前将以 19% 的速度增长,远远高于同期塑料工业的总体增长率(慧聪网,2005)。从 21 世纪开始,WPC 生产技术被引入印度、新加坡、马来西亚、日本和中国等国家。现在,WPC 已经被越来越多的消费者认识、接受和渴望拥有。

如何提高两相组分的相容性和改进制造工艺一直是 WPC 的研究重点。1963 年,Bridgford 发明了一种含有铁阳离子和过氧化氢的催化反应系统,将不饱和的单体接枝到木材纤维上,来改善木材纤维和塑料之间的相容性,其他研究者进一步发展了此方法(Lu 等,2000)。从 20 世纪 80 年代开始,偶联剂成为 WPC 的研究热点。从 1980 年到 1990 年产生了一系列的偶联剂专利,其中包括异氰酸酯和马来酸酐(MA)、邻苯二甲酸酐、聚亚甲基聚苯基异氰酸酯(PMPPI C)、马来酸酐接枝聚丙烯(MAPP)、马来酸酐改性的苯乙烯-乙烯-丁二烯(SEBS-MA)、硅酸盐类等 40 多种偶联剂(Lu et al, 2000)。这些偶联剂可分为有机偶联剂、无机偶联剂、有机-无机偶联剂三大类。由于偶联剂价格昂贵,在 WPC 的生产成本中大约占 30%,自 20 世纪 90 年代后,在保持 WPC 良好性能的前提下如何降低偶联剂成本进而降 WPC 产品制造成本成为新的研究目标(肖泽芳等,2003)。现在,世界各地几乎都有研究机构在进行有关 WPC 的应用基础研究。

作为新兴环保材料,WPC 受到了诸多赞誉,然而部分产品经过长时间使用后显现出的缺陷多少使人们略感失望,木材组分的吸湿性及生物性不可避免地影响到 WPC 的耐老化性。另一条研究路线日渐明朗地集中于 WPC 耐候性、抗生物降解、阻燃等方面。

我国从 20 世纪 80 年代开始对 WPC 进行研究。福建林学院杨庆贤等对木粉和废旧塑料的复合进行了初步的探索,并开发出几种产品,这可能是我国在木材-热塑性塑料复合材料研究方面迈出的第一步。80 年代末,中国林科院木材工业研究所开始了对木材纤维和 PP 纤维复合材料的研究,研究的内容包括材料的力学性能改善、加工设备、生产工艺。他们在木材纤维和聚丙烯纤维复合中采用酚醛胶(PF)作为胶黏剂,来提高材料的结合能力;对材料使用了处理剂进行预处理,以改善材料间相容性。其目标产品是汽车的门衬板,采用了空气铺装热压成型的加工方法,工艺与中密度纤维板的生产方式相似。随后,中国林科院木材工业研究所又对材料的力学性能、工艺影响参数、木材与塑料之间相容性的提高等内容进行了研究(中国林科院木工所木质纤维复合材料专题组,1997,1998a,1998b)。

在提高材料间的相容性方面,中国林科院木材工业研究所对木材和苯乙烯(PS)接枝共聚过程中官能团和表面极性的变化进行了研究(阎昊鹏等,1998),使用顺丁烯二酸酐和丁二酸酐经过酯化反应来降低表面极性,效果良好。上海交通大学高分子材料研究所用马来酸酐接枝聚丙烯作为偶联剂应用于纸粉或纤维素填充的 PP 体系中,并对提高材料相容性的机理进行了分析(张祥福等,1998)。廖兵等(1996)以氢氧化钠和丙烯腈接枝改性木纤维对 PVC/木纤维复合材料的力学性能的影响进行了研究。我国台北学者(黄彦三等,2000;Peng et al,1994)也同步开展了 WPC 的研究,但是对木粉和废弃塑料复合材料的研究较早,力图通过这种 WPC 来解决台北的废塑料问题。

最近几年,在国家各类重要科研课题如“863”、“948”、“自然科学基金”中,对 WPC 的相关研究都给予了大额度的支持,中国林科院、东北林业大学、南京林业大学、北京化工大学等科研单位在基础研究、加工技术开发等方面展开了相关工作,取得重要成果,加速了 WPC 的产业化进程。

在产品商业化方面,加拿大未来技术有限公司于 1998 年将木塑材料技术在我国出售;安徽蒙城县铝塑型材有限公司与蒙城

县铝塑研究所合作,研究建设的木塑材料生产线并申请了国家专利;无锡南丰塑业有限公司研制的组合式木塑托盘通过了由中国包装协会组织的技术鉴定,并申请了国家专利。北京化工大学和北汽对福田汽车进行了 WPC 产品专用设备的开发。此外,山东、浙江等也有企业对木塑材料的生产工艺及专用设备进行研究开发(肖泽芳等,2003)。目前,我国安徽、江苏、广东、辽宁等省已经有数十家企业生产 WPC 产品。

1.3 木塑复合材料加工

虽然利用优质的木材和塑料作为原材料生产 WPC 更容易获得优质产品,但从资源和环保角度看,WPC 的原料来源应该以木材加工剩余物、废旧木材、秸秆和回收的塑料为主。由于资源状况和市场需求不同,各国的 WPC 产品发展思路有一定差异。在美国,木质基材料是城市垃圾的主要成分,约占废品总质量的 40%;第二大废品——塑料约占垃圾质量的 10%,但体积上占 30%(U. S. Congress, Office of Technology Assessment)。其他发达国家与美国情况类似,因此,美国等发达国家更重视研究废弃木材和原生塑料的复合。由于人均木材资源匮乏,我国在 20 世纪 70 年代就提出用塑料替代部分木制材料,尤其是在包装材料方面,塑料已成为使用量最大的原料([www. ntem. com. cn](http://www.ntem.com.cn), 2002)。丢弃的一次性餐盒、水杯、塑料袋、编织袋、食品袋等造成资源的严重浪费,并构成了对环境的威胁。因此,利用回收材料制造 WPC 对于我国特别重要的意义。其实,除了包装材料等一次性制品外,其他塑料制品都存在废弃后的回收再利用问题,由于塑料难以自然降解,所以理论上废旧塑料会越来越多,这就为 WPC 提供了丰富的廉价原料的来源。

废旧塑料究竟是否为制造 WPC 的合适原料?这是一个极为重要的问题。为了回答这个问题,科学家们进行了大量的研究,结果表明(Liang et al, 1994; Yongquist et al, 1995; Hedenberg et al, 1995),由降解不严重的回收塑料与木材复合而成的

WPC 性能同新塑料所制得的 WPC 性能差别不大,木材纤维和 PP、PE 等热塑性塑料的复合材料不仅可以利用回收木纤维和回收塑料来生产,而且其自身还可以回收再利用,具有和与原生材料生产的复合材料相类似的强度和物理性质。生产设备不用经过改动或经过较小的改动即可生产回收材料的复合材料。但是利用回收塑料和回收木纤维生产的复合材料还是面临很多的问题,例如,各种塑料的混合物由于其组分的熔融温度有差别、相容性差等原因,不恰当的工艺往往造成产品的力学性能下降;再如,废旧塑料再生后往往颜色较深,这对于生产浅色产品是一大难题。同样,利用废旧木材为原料也会有类似的问题。可见,利用废旧的原料生产 WPC 是可行的,但需要有更高的科技含量方能获得高质量的产品,从这个意义上说,WPC 的科学研究是永无止境的。

相对于利用原生材料,利用回收材料的产品成本较低。在美国已有专门利用回收材料生产 WPC 的公司,例如弗吉尼亚州温彻斯特的 Trex 公司,一直是 WPC 的大制造商,该公司就主要利用回收塑料和粗糙的木材纤维来生产复合材料。此外还有 Mobile Oil 公司等其他公司,利用废弃阔叶材或者针叶材的加工剩余物(锯末等)和废弃的杂货袋来生产 WPC,主要产品是室外地板块和花园围栏(肖泽芳等,2003)。

在木质材料组元形态方面,除木粉外,单板、大片刨花、细刨花、木纤维等各种不同形态木质单元都已进入与塑料复合的范畴。纤维种类也不再局限于木纤维,而是扩大到了多种天然植物纤维。

在 WPC 生产工艺方面,根据木质纤维材料的组元形态、木材与塑料配比、产品用途和设备条件的不同,木材与塑料复合制造 WPC 的生产工艺主要有三类:塑料加工工艺(挤出、注塑、高温捏合);人造板加工工艺(低温混合、平压或模压成板)和无纺织工艺(长短纤维混杂组坯,模压成型)。

(1) WPC 的塑料加工工艺

这种实现木材与塑料复合的方法,是以塑料加工工艺及设备

为基础,即通过挤出成型、注射成型或捏合机混炼造粒再加工成WPC。此种复合材料加工所用的木质材料主要为木粉,也可以用细的木纤维。为了保证加工过程良好的传质,木质纤维材料的比例一般不超过50%,木粉的比例可适当高些。目前,某些先进技术和设备,已经能够将木纤维(粉)的用量提高到60%以上。据称个别产品的木粉含量高达85%,但脆性较大。

在WPC的塑料加工工艺中,由于挤出工艺具有成本低、生产效率高、质量稳定、可生产型材等优点,近年来成为发展最快的WPC生产工艺。注射成型可以获得形状复杂的产品,但要求木塑复合熔体的流动性好,对于木纤维(粉)添加量较大的WPC生产不适用。

(2) WPC 的人造板加工工艺

人造板加工工艺适合于高比例木质材料含量的木塑复合材料制造。一般木质纤维材料含量在50%以上,甚至可达70%。该工艺的加工过程是首先将木质纤维材料在常温条件下与塑料混合组坯后,再热压形成复合材料。其特点是可加工各种不同木质纤维组元形态的WPC板材及异型产品。如木塑层积复合材料、木纤维-塑料复合板材、木刨花-塑料复合板材等。

木质材料形态可以是多种多样的,除单板、木纤维、木刨花外,纸浆、锯末、木粉甚至砂光粉等都可用来制成不同种类、不同性质的WPC。

所用塑料品种,较为常用的有聚乙烯(PE)、聚氯乙烯(PVC)、聚苯乙烯(PS)以及聚丙烯(PP)等。进入20世纪80年代以后,利用各种废塑料特别是城市废弃物中的塑料来加工木塑复合材料的研究明显增加,这也表明了木塑复合材料技术对于垃圾回收利用、减少环境污染方面的重要意义及应用前景。

(3) WPC 的无纺布工艺

无纺布工艺是20世纪80年代中期发展起来的一种木塑复合技术。其采用的原料主要为木纤维或其他天然植物纤维(如麻纤维)与合成纤维复合。根据不同的用途要求,木纤维可以在复合前用热固性树脂或其他改性剂处理。该工艺的主要特征是将木纤