



呼伦贝尔学院学术著作出版基金资助出版

PVC木塑复合材料

白晓艳 著



北京交通大学出版社
<http://www.bjtu.cn>

PVC 木塑复合材料

白晓艳 著

北京交通大学出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书内容主要包括 PVC 木塑复合材料的发展历史与发展趋势, PVC 木塑复合材料的主要原料、助剂的种类及使用、成型设备与工艺、界面改性研究、阻燃抑烟改性等内容。

本书结合多年的研究实践,通过理论阐述、测试数据分析、插入相关表格与图片等方式介绍 PVC 木塑复合材料的加工原料、加工工艺、改性等知识。书中系统地介绍了制造木塑复合材料所用原料的种类、性能及其在产品中的作用;在材料界面改性方面主要阐述了界面改性对材料弯曲、压缩、拉伸、吸水性等物理、力学性能的影响和变化规律;讨论了 PVC 木塑复合材料的制备方法与工艺;对近年来引起企业和学术领域关注的热点问题,如材料的燃烧性能、抗氧化性能及流变性能等进行了详细地阐述。

本书可供从事木塑复合材料生产、应用、产品检验和科学研究等工作的工程技术人员、科研人员和管理人员阅读参考,也可供相关专业的大学生和研究生阅读。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

PVC 木塑复合材料/白晓艳著. — 北京:北京交通大学出版社, 2014. 4
ISBN 978-7-5121-1871-3

I. ① P… II. ① 白… III. ① 木材-复合材料 IV. ① S781
② TB332

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 053012 号

责任编辑:田秀青

出版发行:北京交通大学出版社

电话:010-51686414

北京市海淀区高粱桥斜街 44 号 邮编:100044

印刷者:北京艺堂印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:170×235 印张:10.75 字数:150 千字

版 次:2014 年 4 月第 1 版 2014 年 4 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-5121-1871-3/S·2

印 数:1~1 500 册

定 价:39.00 元

本书如有质量问题,请向北京交通大学出版社质监组反映。

投诉电话:010-51686043, 51686008; 传真:010-62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn。

前 言

木塑复合材料就是以废弃的木质纤维和塑料为主要原料，经过热压或挤出成型方法制备的一种复合材料，其最大优点是没有甲醛释放问题，是一种环保材料。PVC 木塑复合材料的原料主要为木粉、植物秸秆等木质纤维及聚氯乙烯树脂，同时还包括一些加工助剂。在木材资源日益短缺的情况下，木塑复合材料的加工对寻求实体木材的替代材料具有重要意义，同时也是废弃塑料再生利用的有效途径之一。PVC 木塑复合材料这种新兴的环保材料，在世界范围得到越来越多的关注和认可，其生产量和使用量都在逐年快速增加。

本书在现有研究成果的基础上，从 PVC 木塑复合材料的主要原料、加工设备、性能测试、材料改性等几方面，结合多年的研究实践，以通俗易懂的语言和简洁明了的方式，系统地介绍了制造木塑复合材料所用原料（木质纤维材料、塑料和加工助剂）的种类、性能及其在产品中的作用；在材料界面改性能方面阐述界面改性对材料弯曲、压缩、拉伸、吸水性能等物理力学性能的主要影响因素和变化规律；讨论了 PVC 木塑复合材料的制备方法与工艺；对近几年引起企业和学术领域关注的热点问题，如材料的燃烧性能、抗氧化性能及流变性能等，进行了详细地阐述。全书以大量的数据和丰富的例证作支撑材料，理论分析深入，实用性强。希望对从事木塑生产、应用和研究的人员有所帮助和启发。

本书在著作过程中参考了国内外一些专家学者的论文及资料，在此表示感谢。由于编者水平有限，书中如有疏漏，恳请各位读者不吝指教。

编 者

2014 年 3 月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 木塑复合材料研究现状	1
1.2 PVC 木塑复合材料国内外研究进展	5
1.3 发展木塑复合材料的意义	9
1.3.1 发展木塑复合材料是资源综合利用的有效途径	9
1.3.2 木塑复合材料在节能环保工作中的引领和标志作用	11
1.3.3 中国木塑复合材料发展存在的问题	13
1.4 中国木塑复合材料的发展趋势	14
参考文献	17
第2章 PVC 木塑复合材料的主要组分	21
2.1 聚氯乙烯树脂	21
2.1.1 聚氯乙烯树脂的分类	21
2.1.2 聚氯乙烯的结构特点	23
2.1.3 聚氯乙烯的物理、化学性质	24
2.2 木质纤维	25
2.2.1 木质纤维原料的分类	26
2.2.2 木质纤维的化学结构	27
2.2.3 纤维素的化学性质	32
参考文献	33
第3章 PVC 木塑复合材料的主要加工助剂	35
3.1 聚氯乙烯热稳定剂	35

3.2 我国聚氯乙烯热稳定剂的发展趋势	39
3.3 增塑剂	42
3.3.1 增塑剂的作用	42
3.3.2 增塑剂的分类	43
3.3.3 增塑剂的作用机理	43
3.3.4 增塑剂的结构、种类和作用	44
3.3.5 增塑剂对 PVC 木塑复合材料性能的影响	49
3.4 偶联剂	51
3.4.1 偶联剂的作用	51
3.4.2 偶联剂的分类	52
3.4.3 PVC 木塑复合材料偶联剂的选择	54
3.4.4 偶联剂对 PVC 木塑复合材料性能的影响	54
3.5 抗冲击改性剂	55
3.5.1 抗冲击改性剂的种类	55
3.5.2 ACR 对 PVC 木塑复合材料性能的影响	60
3.5.3 CPE 对 PVC 木塑复合材料性能的影响	62
3.6 AC 发泡剂的应用及其作用机理	63
3.6.1 发泡剂的种类及应用	63
3.6.2 AC 发泡剂发泡机理	64
3.6.3 发泡 PVC 木塑复合材料的研究	65
3.6.4 PVC/木粉复合材料发泡方法及发泡机理	68
3.6.5 AC 发泡剂的改性研究	70
3.6.6 发泡剂用量对 PVC/木粉复合材料断面微观 结构的影响	75
3.6.7 改性 AC 发泡剂用量对 PVC/木粉复合材料机械 性能的影响	76
参考文献	77

第4章 PVC 木塑复合材料的界面改性	81
4.1 PVC 木塑复合材料的界面	81
4.1.1 界面效应与界面结合	81
4.1.2 提高界面相容性的方法	83
4.2 木质纤维的处理	86
4.2.1 木粉的预处理	86
4.2.2 木粉的改性处理方法	87
4.2.3 木粉/PVC 复合材料的挤出工艺流程	88
4.3 木粉/PVC 复合材料性能测试方法	88
4.4 木粉不同改性处理对 PVC/木粉复合材料性能的影响	89
4.5 木粉改性方法对低发泡木粉/PVC 复合材料力学性能的影响	92
4.6 低发泡木粉/PVC 复合材料断面形态 SEM 分析	93
4.7 发泡剂用量对 PVC 木塑复合材料性能的影响	98
4.8 发泡调节剂 ZB-530 用量对低发泡木粉/PVC 复合材料性能的影响	99
4.8.1 发泡调节剂的作用	99
4.8.2 发泡调节剂 ZB-530 用量对微孔形态的影响	100
4.8.3 发泡调节剂 ZB-530 对材料物理力学性能的影响	101
4.9 木粉粒径对低发泡木粉/PVC 复合材料微孔形态的影响	103
4.10 低发泡木粉/PVC 复合材料熔体流变性能研究	104
4.10.1 发泡木粉/PVC 复合材料熔体线性黏弹性范围的确定	105
4.10.2 低发泡木粉/PVC 复合材料熔体的频率扫描	106
参考文献	108

第5章 PVC 木塑复合材料的成型加工工艺	110
5.1 加工设备	110

5.1.1	混料机	110
5.1.2	挤出机	111
5.1.3	发泡 PVC 木塑复合材料挤出设备应满足的要求	114
5.2	PVC 木塑复合材料的成型工艺	115
5.2.1	木粉/PVC 复合材料加工工艺流程	115
5.2.2	发泡木粉/PVC 复合材料加工中原料的混合工艺	116
5.2.3	挤出技术参数设置对加工性能的影响	117
5.3	挤出技术参数设置对加工性能的影响	120
5.4	低发泡木粉/PVC 复合材料挤出发泡过程	122
	参考文献	125
第 6 章	PVC 木塑复合材料的阻燃抑烟性能	126
6.1	概述	126
6.2	PVC 木塑复合材料燃烧和热解性能测试方法	130
6.2.1	实验设备	130
6.2.2	样品性能测试	131
6.3	PVC 木塑复合材料及其组分热解过程分析	132
6.3.1	PVC 木塑复合材料及其组分的热重分析	132
6.3.2	PVC 木塑复合材料及其组分的热解产物分析	133
6.3.3	木粉/PVC 复合材料中木粉对 PVC 热解机理的影响	136
6.3.4	过渡金属氧化物对木粉/PVC 复合材料热解 行为的影响	138
6.3.5	硼化合物对 WF-PVC 复合材料热降解行为的影响	140
6.4	PVC 木塑复合材料燃烧性能	142
6.4.1	样品基本配方	142
6.4.2	木粉对 PVC 燃烧过程影响的锥形量热仪测试	142
6.5	过渡金属氧化物对木粉/PVC 复合材料阻燃抑烟性能影响	146

6.6 硼化合物对 WF-PVC 复合材料燃烧过程的影响	152
6.6.1 硼化合物对 WF-PVC 复合材料燃烧过程影响的锥形量 热仪研究	152
6.6.2 硼化合物对 WF-PVC 复合材料阻燃抑烟作用 机理研究	155
参考文献	157



第 1 章

绪 论

1.1 木塑复合材料研究现状

木塑复合材料 (Wood-Plastic Composites, WPC), 简称木塑, 在美国材料试验协会标准 (ASTM) 中给出的定义为 “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”^[1]。

木塑复合材料是以聚乙烯 (PE)、聚丙烯 (PP)、聚氯乙烯 (PVC) 等热塑性塑料及植物纤维粉为原料。热塑性塑料可采用新塑料或工业、生活废弃的各种塑料, 植物纤维粉可采用木材加工的下脚料、麦秆、棉秆、稻壳粉等加工而成, 因此木塑复合材料的研制和广泛应用有助于减缓塑料废弃物的公害污染, 也有助于减少农业废弃物焚烧给环境带来的压力。木塑复合材料的生产和使用不会向周围环境散发危害人类健康的挥发物, 材料本身还可以回收进行二次利用, 因此它是一种全新的绿色环保复合材料。

目前世界上最大的木塑复合材料市场是在北美地区, 我国近几年来也加大了木塑复合材料方面的研究工作。目前木塑复合材料研究重点主要集中在木粉的预处理、复合材料的增韧增强及回收废旧塑料的应用等几个方面^[2]。在如何保证拉伸、弯曲和冲击强度等物理机械性能与硬木相当的前提下, 尽量降低生产成本, 以满足大规模工业生产的需要一直是摆在科研人员面前的课题。结合我国实际情况, 根据市场需求吸收、



借鉴、消化国外先进的工艺和技术是发展木塑复合材料的主要方向。木塑复合材料将以资源循环型、绿色环保新型产品的崭新姿态迎来一个新的大发展时期。PVC 与其他通用塑料 PE、PP 相比,用它制得的 PVC 木塑材料有着更好的机械性能和可着色性,因此日益受到人们的重视。

人类利用植物纤维与树脂进行复合的研究已有较长的历史,最早是采用植物纤维以粉状形式作为填料加入到热固性塑料中。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 Roll Royce 公司用来制造变速杆的把手,由此开辟了黏结植物材料的作用。1907 年 Leoh Bend^[3]利用热固性酚醛树脂与木粉复合首先制备了一种复合材料,所制得的纤维板作为房屋等建筑材料得到应用。由于木粉和塑料的相容性差,当木粉含量增大时所得的复合材料性能较差,改善材料的界面相容性一直是后续研究的主要目标之一。1963 年, Bridge Ford 发明了一种催化体系,将不饱和单体接枝到木材纤维上以改善木材纤维和塑料的相容性,形成高性能的木塑复合材料,通常称为塑合木。1968 年, Mayer 最早将偶联剂应用于木塑复合材料中^[4]。从 20 世纪 80 年代开始,偶联剂成为木塑复合材料的研究热点。此期间产生了一系列的偶联剂专利,其中包括异氰酸酯和马来酸(MA)、马来酸酐改性聚丙烯(MAPP)等 40 多种偶联剂。目前最为常用的是 MAPP 和 PMPPIC。与此同时,各种热塑性塑料都成为木塑复合材料研究的对象,如聚丙烯(PP)、聚乙烯(PE)、聚氯乙烯(PVC)、聚苯乙烯(PS)等被作为基体制备各种木塑复合材料。木塑复合材料的研究和使用在国外始于 20 世纪 80 年代,在北美和欧洲的使用量较大。主要用作户外铺板、景观材料、栏杆扶手及室内装饰材料,对其研究和应用较为深入和成熟。

我国木塑复合材料方面的研究起步较晚。20 世纪 80 年代中期,福建林学院^[5]等率先在国内进行 WPC 的研究,对木粉和废旧塑料的复合进行了初步的探索研究并开发了几种产品。进入 90 年代以后,我国的科研工作者在木塑复合材料方面做了大量的工作,对各种树脂基体的复合



材料、界面相容性、挤出加工的实现等问题都进行了大量的研究。浙江大学^[6]等研究了乙烯-丙烯酸共聚物(EAA)对线型低密度聚乙烯(LLDPE)/木粉复合材料力学性能影响,发现EAA对体系有良好的增容作用。北京化工大学等^[7]研究了木粉/HDPE复合材料的力学性能与流动性能,考察了木粉含量、粒度、界面相容剂用量对复合材料的力学性能、流动性的影响。四川大学制备了秸秆填充PVC^[8]、PP^[9]复合材料,从复合材料的力学性能、流动性、微观结构等方面进行了研究,发现所选处理剂对复合材料的性能有较好的改善作用。在废弃报纸纤维利用方面,研究了废报纸填充聚丙烯材料^[10],通过加入MAPP来改善报纸与PP基体的相容性,并针对报纸填充之后材料变脆的问题,用EPDM和乙烯醋酸乙烯共聚物(EVA)对材料进行增韧,均取得了显著的效果。在木粉填充聚氯乙烯发泡体系研究方面,采用铝酸酯和丙烯酸丁酯处理木粉可以提高复合材料的力学性能^[11]。东北林业大学开展了热塑性木塑复合材料发泡性能、阻燃抑烟性能^[12]和加工工艺及流变性能^[13]等方面的研究。

国内外目前已经开发出PE/木粉、PS/木粉、PP/木粉、PVC/木粉等木塑复合材料及制品。2011年木塑复合材料在全球的总产量已超过150万吨,其中,北美约100万吨,中国约20万吨,日本接近10万吨,德国7万多吨。据相关机构统计,2009—2014年,欧洲木塑复合材料市场的平均增长速度将超过15%^[14]。目前中国木塑复合材料用量平均增速高达30%。中国资源综合利用协会木塑复合材料专业委员会在《木塑产业“十二五”发展规划纲要》专题研讨会上公布“十二五”期间木塑复合材料制品生产将大幅度提高,年产量有望达到500万吨左右,产值超过600亿元。木塑复合材料增长率的市场调研结果显示,到2013年预期增长率可达22%。英国Bristol应用市场信息咨询公司提出,房屋建材和室内装饰部分的增幅预期最大,而应用主导依旧是户外地板^[15]。

目前,木塑复合材料的加工技术主要是沿用塑料加工技术,产品也主要应用于建筑行业,主要制品有门窗型材、家具及栅栏。木塑复合材



料这种新兴的环保材料产品在世界范围得到越来越多的关注和认同,其生产量和使用量都在逐年快速增加。木塑复合材料主要用在对结构性能要求较低的场所,如包装托盘、园林景观等行业,约占木塑总量的75%,我国目前已经成功应用于2008年北京奥运会、残奥会以及2010年的上海世博会^[16]。

目前木塑复合材料研究的重点主要是木粉的预处理、复合材料的增韧增强、材料的吸水性及回收废旧塑料的应用等几个方面。随着木塑复合材料应用领域的拓宽,木塑复合材料在阻燃抑烟方面的研究也得到关注。用于木塑复合材料阻燃的阻燃剂以铝-镁系及氢氧化铝 $[\text{Al}(\text{OH})_3]$ 和氢氧化镁 $[\text{Mg}(\text{OH})_2]$ 为主^[16]。这类物质具有热稳定性好、无毒、不挥发、不产生腐蚀性气体、发烟量小等优点。但其在高分子材料中填充量大于50%时才能使材料具有一定的阻燃效果。

膨胀型阻燃体系因其高效低毒的特性而受到广泛的关注。膨胀型阻燃剂是一类通常以P、N、C为主要元素,由酸源(脱水剂)、气源(膨胀剂)和碳源(成炭剂)三部分组成的复合型阻燃剂,可用于多种易燃聚合物材料。膨胀型阻燃剂是近年来国内外广为关注的新型复合型阻燃剂,符合未来阻燃剂的研究开发方向。因此,作为新的无卤阻燃体系,膨胀阻燃技术已成为非常活跃的阻燃研究领域之一,其在木塑复合材料中的应用也是新近研究的热点。典型的膨胀阻燃体系为季戊四醇、聚磷酸胺和三聚氰胺的复合体系,但是该复合体系单独应用到PVC基木塑复合材料中,添加少量时效果不明显,添加量过大(30~40份),不仅增加了成本而且严重降低了材料的力学性能。

南京聚锋新材料有限公司^[17]用膨胀型阻燃剂阻燃聚丙烯(PP)基木塑复合材料,氧指数达到了25%~36%,大大拓展了木塑复合材料的应用范围。由于膨胀型阻燃剂成本很高,采用新的思路以降低阻燃型木塑复合材料的生产成本是近几年的研究热点。上海杰事杰新材料有限公司^[18]首先采用水溶性的含磷阻燃剂和含氮阻燃剂,制备出无卤阻燃纤维素,利用其作为木塑复合材料的增量剂、增强剂和阻燃剂。阻燃处理后



材料的极限氧指数达到 28% ~ 32%，且力学性能也有所提高。王清文^[19]将 APP 和淀粉作为阻燃剂，利用 APP 分解产生的气体和成炭剂脱水降解产生的气体作为气源剂，研究了木塑复合材料的阻燃性能。结果表明，木塑复合材料的平均热释放速率、产烟量及一氧化碳产率都有所降低；且材料的点燃时间长，燃烧中不发生熔滴，成本低，力学性能没有下降。

为了解决 APP 作为阻燃剂主体不适合成型加工温度要求高等问题，王清文^[20]用焦磷酸三聚氰胺盐或聚磷酸三聚氰胺盐替代 APP 制备了木塑复合材料，该材料烟雾小，力学性能和阻燃性能好，适于成型加工温度要求较高的木塑复合材料。

作为新兴环保材料，WPC 备受关注，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。对 WPC 材料的耐候性、抗生物降解、阻燃抑烟性能的研究逐渐成为研究热点。近几年来，木塑复合材料在我国也逐渐兴起，高等院校和科研单位率先展开研究。国内目前生产木塑复合材料的企业已有近百家，部分产品已走向国际市场。东北林业大学木塑复合材料课题组已经开展了近十年的木塑研究，得到国家 863 计划、948 计划、国家自然科学基金及相关部门和地方政府资金等多渠道的支持，在理论研究、技术开发和推广方面取得了系列成果并积累了一定经验，同时始终密切关注国内外技术发展动态。

1.2 PVC 木塑复合材料国内外研究进展

目前国内外已经开发出 PE/木粉、PS/木粉、PP/木粉、PVC/木粉等木塑复合材料及制品。我国开展木塑复合材料研究起步较晚，主要是对 PE 木塑复合材料进行研究，对 PVC 木塑复合材料深入研究的报道较少，商业化的产品主要是用于装饰材料的发泡 PVC 木塑复合材料，但相关产品的开发也少有报道。



PVC/木粉复合材料的优点主要是力学强度高、不易受强酸强碱的腐蚀,利用木粉等农林废弃物,经济环保。在包装、承重等领域可以代替木材使用,在建筑、装饰和汽车领域有发展优势。随着 PVC 消费领域的拓展,PVC/木粉复合材料具有潜在的、更广泛的应用领域。目前,PVC/木粉复合材料制品的性能,特别是当用于承受冲击或加载结构的工业场合的应用还存在诸多问题。此外,PVC 木塑复合材料较未填充塑料脆性大、冲击强度低,密度一般比纯塑料和木材要高,这主要是由于木纤维在加工过程中被压缩致密所致。面对这种问题,常采用低发泡技术改善 PVC/木粉复合材料冲击性能,降低表观密度。微孔发泡塑料是由 Martini^[21]等 1981 年首先研制出的。其设计思想是通过制造一种泡孔径比聚合物中所有已存在的微隙都要小的泡沫材料,达到既降低材料成本又能提高性能的目的。微孔直径为 $0.1 \sim 10 \mu\text{m}$ 、微孔密度为 $10^9 \sim 10^{15}$ 个/ cm^3 的泡沫塑料称为微孔塑料 (Microcellular Plastics)。与未发泡的塑料相比,微孔塑料除密度可降低 $5\% \sim 95\%$ 外,还具有冲击强度高、韧性高、比刚度高、疲劳寿命长、介电常数低、热传导因数低等优点。将微发泡的思想应用到 PVC/木粉复合材料加工中,不仅可以提高孔隙率降低复合材料的密度,还可以改善材料的力学性能。在 PVC 树脂中加入木纤维可以降低材料的成本,同时赋予复合材料以木质感,但是由于在熔体中加入了纤维成分,其熔体黏度增加,熔体的流动性和对气泡的包裹能力降低,使 PVC/木粉复合材料获得高的孔隙率难度较大。国内外学者发表的关于木塑复合材料尤其是 PVC 基木塑复合材料发泡的研究成果主要体现以下方面。

发泡 PVC/木纤维复合材料的孔隙率是受材料的组成和发泡工艺控制的,材料的拉伸和冲击性能对微孔形态的变化敏感,发泡过程中试样获得的气体饱和度是影响材料结构和性能的重要因素;研究表明,通过间歇成型工艺获得 PVC/木纤维微孔发泡塑料,材料中增塑剂含量、表面改性处理、发泡时间、发泡温度等条件对发泡率、泡孔形态及制品物理机械性能产生影响,泡孔形态和纤维表面处理对拉伸性能和冲击性能影响



较大^[22-24]。

用硅烷偶联剂处理木粉,在PVC/木粉复合材料中发现木粉经处理后会降低试样气体渗透能力;在一定的木粉用量范围内,复合材料的拉伸强度随木粉含量的增加而增加,并且木粉用硅烷偶联剂处理使得这种趋势更明显,但是,这种处理方法对动态力学性能影响不大^[25]。

用木粉中的水分作发泡剂来发泡成型硬质聚氯乙烯PVC/木粉复合材料,研究表明木纤维中水分含量和AC发泡剂含量之间没有协同增效作用;加入丙烯酸可明显降低制品密度,而且如果丙烯酸用量合适并且机头温度设定合理,在不用任何化学发泡剂的情况下也可以使硬质PVC/木粉复合材料发泡成型^[26]。

用连续挤出工艺制备PVC/木粉复合材料,结果表明:使用放热型发泡剂得到的泡孔要比使用吸热型发泡剂泡孔尺寸小而且均匀;经过发泡后PVC/木粉复合材料的延展性得到了提高,孔隙率可达35%,与此同时也造成拉伸弹性模量和拉伸强度的降低^[27]。

添加抗冲改性剂对发泡PVC/木纤维复合材料的冲击性能产生影响。采用不同种类的抗冲改性剂都会加速发泡过程中的气体流失,不利于气泡核长大,从而抑制了发泡过程的进行,获得的试样孔隙率接近未发泡的试样^[21]。

木粉颗粒对HDPE发泡成核产生影响。在低木粉含量(0.5~5 phr)时,随着木粉含量增加,平均孔径明显降低,孔密度增加,木粉粒径(45~210 μm)对孔直径影响不明显,木粉对HDPE发泡有明显的异相成核作用。而当木粉用量较高时,木粉用量的增加对发泡产生显著的抑制作用^[28]。

HDPE木塑发泡材料孔结构的关系与加工过程中木纤维中的挥发物对泡孔形态的影响有关^[29]。采用串联挤出设备制备HDPE木塑发泡制品,其中木粉中的水分、挥发物对发泡制品性能产生影响^[26]。

采用单螺杆挤出工艺制备硬质PVC木塑复合材料,材料的抗冲击性



依赖于抗冲击改性剂的类型和含量^[30]。

PVC/木粉复合材料与氯化聚乙烯有较好的相容性。由于氯化聚乙烯具有一定的增塑、冲击改性和发泡调节作用，同时价格较低，因而被广泛用于商业 PVC 基木塑复合材料产品配方中，上述研究结果具有参考价值^[31]。

采用模压工艺，用物理发泡法，制备发泡 PVC/木纤维复合材料。木纤维表面改性有利于改善 PVC 与纤维之间的黏合性能，试样的孔隙率、冲击强度、比断裂伸长率等也有一定提高；发泡温度、发泡时间对微孔形态有重要影响^[32]。

用铝酸酯和丙烯酸丁酯偶联剂处理木粉可显著提高木粉/PVC 发泡材料的力学性能；在木粉-PVC 发泡体系中加入一定量的 DOP 增塑剂可以显著改善复合材料的加工性能和力学性能；通过 SEM 观察，使用偶联剂或表面接枝法处理的木粉填充 PVC 复合材料，在木粉和 PVC 之间形成较好的界面层，材料的力学性能提高^[33]。

挤出成型工艺对化学发泡 PVC/木纤维复合材料性能产生影响。采用挤出发泡工艺，螺杆和成型模具等设备具有低温挤出特性^[34]。

抗冲击改性剂氯化聚乙烯 (CPE) 对发泡聚氯乙烯 (PVC)/木粉复合材料熔体流变性能有影响^[35]。在旋转流变仪测试中，随着 ω 的增加，加入 CPE 使样品的损耗角正切明显降低，熔体的弹性响应增加。加入 10 份 CPE 时，发泡 PVC/木粉复合材料的冲击强度提高 20%。

采用热重分析法、锥形量热仪测试及 Py-GC-MS 联机方式研究 CuO 对 PVC/木粉复合材料 (WF-PVC) 热解和燃烧过程烟释放行为的影响。实验结果表明，WF-PVC 热解过程具有 PVC 热解的特性；WF-PVC 燃烧过程中烟释放速率和总烟量低于 PVC，用 CuO 处理 WF-PVC 总烟量降低更显著；Py-GC-MS 分析结果表明，与 PVC 相比，WF-PVC 及用 CuO 处理的 WF-PVC，燃烧气相组分中芳香族化合物含量分别降低 52.29% 和 49.34%；加入 CuO，抑制了气相组分中多环化合物的生成^[36]。