

对木基聚合物复合材料的批判性评论：加工、性能和前景

马尼卡姆巴拉吉, 甘尼桑·拉梅什, 德瓦拉詹·萨西卡拉
土木工程系, 印度泰米尔纳德邦

摘要: 废物回收是当今促进该国循环经济研究的关键方面之一。从建筑和拆除结构中回收木材并将其与塑料结合形成木材聚合物复合材料(WPC), 其使用范围非常广泛。这种再生复合材料在非生物潜力、全球变暖潜力和温室潜力方面对环境的影响非常低。WPC的加工可以很容易地使用与其最终应用相对应的预定强度值来完成。然而, 传统聚合物复合材料制造技术(如注塑和挤出)的使用范围非常有限。许多流变表征技术被用于评估配方和工艺参数对最终WPC质量的影响。对使用的WPC和添加剂的材料配方进行审查将非常有趣。还可以使用木质素、单宁等生物基粘合剂制造木材复合材料。各种研究人员还讨论了完全替代合成粘合剂作为生物基粘合剂的细微差别, 只有完全了解生物基粘合剂的配方因素才能做到这一点。木质复合材料在许多非结构和结构应用中发挥着重要作用, 例如建筑、地板、窗户和门板。目前的审查侧重于WPC的加工以及木粉等添加剂以及WPC的各种特性, 如机械、结构和形态特性。本综述还重点介绍了木基复合材料在汽车、船舶、国防和结构应用等各个领域的应用。

关键字: 木材复合材料; 可生物降解聚合物; 木粉; 木材粘合剂; 表征; 加工; 应用

A Critical Review on Wood-Based Polymer Composites: Processing, Properties, and Prospects

Manickam Balaji, Ganesan Ramesh, Devarajan Sasikala
Department of Civil Engineering, Tamil Nadu, India

Abstract: Waste recycling is one of the key aspects in current day studies to boost the country's circular economy. Recycling wood from construction and demolished structures and combining it with plastics forms wood-polymer composites (WPC) which have a very wide scope of usage. Such recycled composites have very low environmental impact in terms of abiotic potential, global warming potential, and greenhouse potential. Processing of WPCs can be easily done with predetermined strength values that correspond to its end application. Yet, the usage of conventional polymer composite manufacturing techniques such as injection molding and extrusion has very limited scope. Many rheological characterization techniques are being followed to evaluate the influence of formulation and process parameters over the quality of final WPCs. It will be very much interesting to carry out a review on the material formulation of WPCs and additives used. Manufacturing of wood composites can also be made by using bio-based adhesives such as lignin, tannin, and so on. Nuances in complete replacement of synthetic adhesives as bio-based adhesives are also discussed by various researchers which can be done only by complete understanding of formulating factors of bio-based adhesives. Wood composites play a significant role in many non-structural and structural applications such as construction, floorings, windows, and door panels. The current review focuses on the processing of WPCs along with additives such as wood flour and various properties of WPCs such as mechanical, structural, and morphological properties. Applications of wood-based composites in various sectors such as automotive, marine, defense, and structural applications are also highlighted in this review.

Keywords: wood composites, biodegradable polymers, wood flour, wood adhesives, characterization, processing, applications

引言:

硬木复合材料是热固性材料, 其中包含粉末或微纤维形式的小木材。它们用于分散相的各种应用。木材-聚合物复合材料(WPC)是由一种或多种天然材料或面粉制成的物质或物品, 但由一种或多种聚合物(例如聚酰胺、人造丝或乳胶)组成。与木材相比, 它们廉价而优越的效率, 以及更高的可持续发展、低吸湿性、对生态影响(如昆虫和真菌)的坚固性、整个生命周期内的高维数据稳定性和高相对刚度, 吸引了近几十年来制造商和研究人员的关注。天然材料和面粉来源于多种来源并含有多种聚合物。作为天然木材的替代品(例如, 用于围栏、地板和装饰板), 它们在潮湿的工作场所或木纤维与液体相互作用的任何地方特别有用: 水不溶性聚丙烯(PP)可分离并保护可溶性纤维, 至少在一定程度上提高了耐用性并降低了对维修计划的需求。此外, 它们在音响和电机行业的适用性也非常显著。使用硬木作为填料的主要好处是节省成本并提高其提供的合成复合材料的环境特性。第一点是不言自明的, 因为硬木颗粒通常是低成本材料, 通常来自农业或商业剩余物。此外, 相当一部分源自煤的准物质正在被更环保的成分所取代, 通常高达 60 wt. 或 70 wt.% 的更具生态可持续性的元素, 而如果单体确实是一种天然衍生的可回收塑料, 则可以进一步增强生态优势。

另一方面, 作为补充剂的纤维有一些缺点。首先, 可供选择的矩阵选择有限。由于天然纤维成分木质素及其衍生物(半纤维素和纤维素)分别在 100、195 和 250 °C 的温度下出现氧气时会变质, 因此普遍认为只有熔点低于 195 °C 的塑料适合在此实现中使用。实际上, 唯一的申请者是所谓的必需品, 其中包括密度较大的聚乙烯(PE)以及中碳不同版本、聚己内酯(PCL)、聚氯乙烯(塑料)、聚苯乙烯泡沫塑料(PS), 以及作为其PCL, 包括此类注塑塑料以及丙烯腈-苯乙烯丙烯酸酯(ASA)和PE。作为额外的选择, 一些可生物降解的塑料, 如聚乳酸(PLA), 可以用作基体材料, 热塑性聚氨酯聚合物也已成功用作基体材料。当然, 如果使用棉花或纤维素纳米晶体代替天然纤维, 将有更多种类的聚合物基质可供选择。

只有在材料配方中加入昂贵的偶联剂时, 复合材料的刚度和强度才能令人满意; 这些添加剂是增强木片和聚氨酯之间的互操作性所必需的, 否则它们也可能无法传达任何相关的合成相似性。这样做是为了在天然纤维之间产生负载转移接触, 这是有效的。由于WPC通常很脆, 因此它们的组合物中经常包含增韧剂, 包括苯乙

烯和丁二烯橡胶(SBR)、乙烯-丙烯单体皮革(EPDM)或塑料弹性体。木纤维和聚合物基体之间的巨大影响对于增强木塑复合材料的物理特性至关重要。但是, 由于木制品的固有特性和聚合物的润湿性, 这两个因素是完全不一致的。通过以物理或化学方式调整聚合物或木纤维, 或通过应用增容剂/偶联物质, 可以增强复合材料的相容性。行为和粘合化学品有可能显著提高WPC的功效。使用正确招募的配对实体, 很少有作者声称WPC的拉伸和弯曲强度可以增加2到4倍, 具体取决于测试方法, 刚度可以增加多达40%, 抗冲击性可以至少增加一倍, 并且密度并且吸水率可以增加2到4个时间点, 取决于吸收的持续时间。

由于WPC天然由多种材料组成, 因此可以推测, 在复合材料中重新利用混合废塑料比将其作为真正的原材料再利用更容易, 并且与使用传统的女性聚合物相比, 这将带来环境效益。在WPC中使用可回收塑料来制造更好的可回收产品也引起了众多研究人员的兴趣, 他们认为可生物降解的聚合物具有用于新产品的巨大潜力。然而, 虽然已经证明行为改性可以改善木塑复合材料的特性, 但很少有人关注分析几种粘合剂的潜力和后果。在存在添加剂废塑料的情况下, 多种聚合物的不混溶性, 以及天然木材和聚合物基体的固有相容性, 给WPC中混合生物塑料的利用带来了挑战。另一方面, WPC中使用的相容剂主要是马来酸/马来酸接枝后挡板, 这在由PE和PP混合物制成的WPC中表现出更好的特性。如前所述, 样式可能会有所不同; 键合聚烯烃也可再次用于共聚物的交联, 这表明在源自塑料废料组合的WPC中使用对苯二甲酸酯化合物可能会导致性能提升。

WPC的另一个缺点是它们具有很强的可燃性, 必须对其进行处理以防止火灾。在混合过程中将阻燃剂(FR)加入到WPC中, 这是改善WPC阻燃质量的最有效技术。在阻燃剂领域, 聚磷酸铵(APP)是一种标准的、高效且广泛使用的大气阻燃剂, 已被用于提高木塑复合材料(WPC)的阻燃质量。在提高APP对WPC的阻燃效果方面, 将弹性石墨片、SiO₂或CaCO₃等物质与APP结合, 以获得WPC的有效阻燃性。可膨胀石墨、SiO₂或CaCO₃也与APP合并, 以获得WPC的最佳阻燃性。据报道, 除APP外, 铝粉和硫酸镁等其他无机添加剂也是WPC的有效阻燃剂。已经开发了额外的有机阻燃剂, 通过提高含碳量来提高WPC的阻隔特性。另一方面, 如前所述, 通常需要大剂量的上述机械或生物阻燃剂才能达到可接受的耐火水平。这些阻燃剂与聚合物基体的不相容性导致所得WPC的冲击强度硬度降低, 断裂

韧性增加。因此,平衡 WPC 的阻燃性和其他品质的技术进步至关重要。在先前的研究中,声称纳米填料的引入可以增强聚合物复合材料的阻燃性,同时还可以改善这些复合材料的机械特性和耐热性。

建筑产品的使用寿命相对较长,外墙的使用寿命为 30 至 50 年。如果材料甚至在其使用寿命结束时进行回收,这在今天的 WPC 理论上已经可以实现,但尚未在工业上实施,那么这对资源的保护会产生更积极的影响。除了技术标准外,与可持续性相关的方面可能是建筑规划师选择用于户外用途的创新 WPC 材料的另一个原因,例如外墙的制造。目前的综述重点介绍了 WPCs 的各种加工方法、WPCs 的性能和木基粘合剂、它们的表征方法以及 WPCs 的应用。本文还讨论了再生木材复合材料的生命周期评估和成本分析。

一、WPC 的加工

热塑性或热固性聚合物基质似乎确实在 WPC 中用木材进行了增强,WPC 也是两相材料。根据成品的可用性和所需特性,增强木材可以采用任何形式(纤维、颗粒、锯末或木片)。除了棕榈叶和农业废弃物之外,WPC 还可以由多种材料制成。基于用于结合木材的聚合物,WPC 可能没有生态责任。由于在 WPC 中没有广泛使用热固性聚合物,热塑性塑料及其可回收性似乎对环境更有利。为了增加两种材料的粘合力,热塑性木材的润湿需要加热。难用塑料的熔化而是软化温度不应超过热混合过程中木材的分解温度。聚烯烃,包括聚苯乙烯、高级和低级 PE、PP 和聚氯乙烯,是唯一符合上述标准的热塑性塑料。确保聚合物熔体以均匀的方式分散在整个木材颗粒中也对复合过程提出了挑战。产品的外观和表面处理质量受其混合程度的影响。在短纤维增强复合材料的情况下,共混程度是一个关键参数,可能对成品的机械特性产生负面影响。由于无效或过度混合,木材和塑料纤维被严重损坏。生产 WPC 的主要方法是热塑性方法,包括单螺杆挤出、双螺杆挤出、注塑成型等。除了实心或中空的主体部分和覆盖物、薄膜和泡沫外,还提供这些产品。

首先,组合组件(木材/热塑性塑料),然后将它们传送到第二阶段,在第二阶段使用各种方法来形成除一致型材之外的各种形式的 WPC。关于成品的隐私属性,每种技术都有自己的一组隐私参数。在一体式托盘的生产过程中,挤出比注塑成型具有优势,因为注塑成型会因高速注塑过程中产生的过多热量而燃烧木纤维。另一方面,挤压过程由于其较低的剪切力而产生较少的热量。当涉及到成品形状时,挤压精通各种模具设计。

复合材料的特性与许多变量有关,包括木材浓度、偶联剂以及冲击改性剂。第一步是在 50℃ 的温度下将 WF 干燥 12 小时,导致干燥颗粒质量的 20-30% 的水含量。即使在干燥后没有添加任何额外的水,WFs 也确实是在旋转研磨机中研磨。由于被研磨成细粉状,WF 被保留在 60 目筛网中。因此,在用于复合材料制造之前,WF 在这样的炉中在 100℃ 下干燥一天以去除水分(1-2%)。之后,使用 60 目筛网收集细粉状 WF。在制造之前,让 WF 在 100℃ 的炉子中干燥一天,以消除 1-2% 的任何残留水分。在 30 mm 同向旋转双螺杆挤出机中加工后,WF、基质和偶联剂的长径比为 30:1。对于每个区域,桶保持在 170、180、185 或 190℃。挤出机模头保持在 200℃ 的温度。挤出后,将样品置于水浴中并造粒。在实际加工之前,将颗粒放入密闭袋中,然后在烘箱中干燥至含水量为 1-2%。首先,从这里的进料区到模具区,样品被加热到 180-200℃。样品的处理时间约为 20 秒,压力为 4-5 MPa。根据 ASTM D 618 标准,样品似乎在 23℃ 和 50% 的湿度水平下受到影响。

热压技术

有关热压的文献表明,该工艺主要用于生产实验室样品。最高温度不应超过 210℃,对于平均尺寸可达 300 mm × 300 mm 的试样,压力可达 50 吨。随着温度、压力和持续时间的增加,接触角增加,吸水率下降。随着材料密度的增加,机械强度也增加,WPC 表面看起来更均匀。该方法不仅适用于从复合颗粒生产 WPC 零件,而且还可用于预制 WPC 板材的后续调理。显然,通过术后高压热压可以进一步优化材料性能,这将对户外应用产生积极影响。一些作者报告了在热压机中加热材料然后在冷压机中压缩的单独过程。为了将该工艺用于 WPC 半成品的工业“热成型”,显然可以以类似的方式将几个单独的工艺连接在一起。在这方面,该工艺似乎优于上述热水和紫外线调节。

热压法是在一定厚度的金属模具中加热 WPC 颗粒,该厚度大致对应于样品的厚度。夏莱特等人。使用该方生产 100 mm × 100 mm × 2 mm 的树脂粘合木纤维板,在 60 kN 压力和 80℃ 温度下生产 2 h 直到树脂粘合剂固化。Ghani 和 Ahmad 使用了冷热压工艺。他们首先将稻壳和 PE 制成的 WPC 复合物粉碎,然后在 140℃ 下将它们压入 14 mm × 14 mm × 3 mm 的模具中,并保持 14 分钟以形成小试板,然后将其压实并作为“冷压机”冷却”在室温下 1.8 吨压力下。对于热压,重要的是在颗粒和热金属板之间插入蜡纸。这是否对随后的表面质量产生扭曲影响尚不清楚。Benthien 和 Thoemen 在颗粒压机中

使用 190 °C 至 210 °C 的 PP-WPC 温度, 但高于此温度的温度会分解木纤维, 这会对机械强度产生负面影响。

添加剂的使用

除了木材和热塑性塑料, WPC 还含有少量的偶联剂和润滑剂。这些添加剂有助于复合材料更好地工作。通过提供多种功能, 添加剂寻求改善最终产品的性能。疏水性聚合物和亲水性木材之间的界面结合在 WPC 的制造中至关重要。偶联剂 因为应力在界面处的基体和纤维之间转换, 复合材料的完整机械性能取决于界面粘合。化学处理是改善粘合的一种方法; 常用的偶联剂有碱、乙醚、硅烷等。用硅烷处理纤维是可行的, 因为硅烷链的一端与亲水性纤维反应, 而另一端更喜欢与疏水性聚合物反应, 从而在两端之间形成化学桥。硅烷上的烷氧基簇水解成水首先产生硅烷醇 (Si-OH) 基团, 然后它可以与纤维表面上的羟基反应形成氢键或共价键。由于它们具有广泛的应用范围, 因此对这些硅烷进行了最广泛的研究。硅烷和基体之间的共价键已被证明可以增强天然纤维的疏水性和 WPC 的强度。WPC 主要使用润滑剂作为添加剂制成。为了确保在 WPC 生产过程中熔体均匀移动到设备和模具中, 必须在熔化过程中将润滑剂添加到 WPC 混合物中。这是由于塑料的高粘度。由于过度润滑会导致木/塑料界面连接不足, 其特点是润滑量应保持在最低限度, 以避免此问题并为木纤维复合材料选择合适的处理方式。氧化 PE 润滑剂满足许多聚合物系统中的润滑剂要求。

生物粘合剂的木材复合材料

最近, 发表了对木材复合材料及其生产过程中使用的聚合物粘合剂的出色和更新的评论, 以及对木材复合材料及其生产中使用的聚合物粘合剂的更新评论。尽管由于供应原因, 传统的油性胶粘剂仍然在木材复合材料行业中占主导地位, 但审查发现进展几乎令人难以置信, 而由知识分子决定的发展是由许多外部约束引起的。更严格的政府法规、消费者意识以及由此产生的行业推动更环保材料的推动, 以及最终推动行业减少甚至减少对石化产品的依赖, 正在减少或消除甲醛和其他毒素, 由于石油储量实际或预期的未来减少以及纯转基因产品原材料价值的上升。

UF 树脂作为一种木基复合粘合剂, 已与各种淀粉浓度、酯化淀粉、氧化淀粉进行反应共混。已发现 UF-淀粉混合物可提高防水性、甲醛释放量和低脆性。已发现, 在酯化淀粉结合的 UF 中, UF 粘合强度与合成树脂粘合剂体系相当, 游离甲醛含量低于 0.3%。淀粉胶对人体安全, 可用于木材胶粘。当超滤树脂与改性淀粉相互作用

时, 它们会形成网状结构, 从而提高淀粉胶的耐水性并减少干燥时间。即使在上述系统中使用淀粉代替部分超滤, 甲醛排放量也可以减少并维持成本。

已经使用不同的交联剂来增强 UF-淀粉组合胶的性能特征。交联剂异氰酸酯用于改性淀粉粘合剂。羧甲基纤维素 (CMC) 和淀粉胶粘剂是聚乙烯醇、硼砂和用于木材复合材料的体系, 异氰酸酯可作为交联剂, 以及不同的固体组分、异氰酸酯添加剂, 以及 PVA 和丙烯酸乳液等添加剂都有都研究了它们对淀粉粘合强度和耐水性的影响。为了提高淀粉的耐水性和粘合强度, 添加了添加剂和异氰酸酯。将玉米淀粉-UF 共混物框架与六甲氧基甲基三聚氰胺 (HMMM) 交联产生了一种对生态负责的木材粘合剂。几种用于内部使用的市售脲醛胶合板粘合剂具有与此类似的机械特性。

木材复合材料的后处理

为了了解 WPC 基于应用的开发, 了解处理 WPC 所涉及的各种后处理过程非常重要。两种主要方法占主导地位: 使用紫外线 (UV) 辐射和使用沸水进行后处理。紫外灯也用于证明 WPC 在气候室中的耐老化性。研究文献提供了相对较多的关于该主题的研究, 并且他们报告了显着的颜色变化, 因为材料的褪色和变亮以及相应的长曝光时间。Chaochanchaikul 等人。在波长为 313 nm 的紫外线灯下, 人工风化 720 小时后接触角降低, 从而导致 WPC 表面的疏水性降低。这首先与 Khan 等人相矛盾。然而, 这表明塑料表面的初始疏水性随着时间的暴露而逆转, 这可以通过增加光氧化和粗糙度来解释。彭等人。在这种情况下, 报告了表面上明显的微裂纹。

对紫外辐照 WPC 的研究表明, 该材料不仅由于辐照能量而升温, 而且对来自聚合物链的交联的基本机械材料性能具有积极影响。这甚至会提高 WPC 在户外应用中的性能, 至少在其早期使用阶段是这样。然而, 更重要的是, 在相应高剂量和曝光时间的紫外线照射下, 可以达到塑性变形可行的温度。然而, 在迄今为止关于紫外线调节 WPC 的研究文献中, 这从来都不是一个核心问题, 这就是为什么缺乏关于表面和材料温度作为强度和持续时间函数的更精确信息的原因。因此, 以“后加热”过程为目的对该主题的调查将补充现有文献。然而, 通过紫外线灯加热材料需要时间, 如果过于密集, 可能会产生破坏性影响。

目前关于 WPC 样品沸腾测试的研究文献一致报道, 在大气压下最高加热温度为 100 °C, 最长持续时间为 2 小时。由于木纤维的吸湿性, 这导致材料的吸水性和膨胀性显着提高。外部聚合物层也被破坏, 这有利于后面

的纤维吸收水分。几乎没有报道其他机械和物理材料特性如何对热水浸泡作出反应。至少在粗糙度的情况下,可以假设显着增加。由于 100 °C 或超压下 120 °C 的最高温度有限, WPC 的雕刻成型似乎更加困难。文献中的少量信息将证明对沸水储存引起的物理和时间依赖性材料行为的进一步研究是合理的,但对于工业热成型而言,较长的调节时间似乎不太实用。

材料测试标准 DIN EN 15534-1 明确提到了在沸水中调理 WPC,用于证明表面质量,特别是用于合成树脂涂料涂层或与单板粘合。沸水可以达到的最高温度为 100 °C,这最初限制了 WPC 的加热。在高压下烹饪(通常在准备食物时用于蒸汽压力锅炉)会产生高达 120 °C 的温度。这已经允许 WPC 发生塑性变形。然而,研究文献很少报道这种调节过程。Alnajjar 等人。对 WPC-60Wood/40PE 进行了沸腾试验。作者证明,与低于室温的水浸泡相比,煮沸 2 小时后 WPC 样品的吸水率高出 30% 至 50%。Mohamed 等人报道了类似的结果。在 WPC-70Spruce/30PE 上。Li 等人更详细地研究了吸水率增加的原因。在 WPC-50 竹子/50PE 上。作者发现,沸腾会破坏纤维与基质的结合,从而促进更深的纤维吸水并使表面更粗糙。

二、WPC 的特性

使用注射成型工艺和挤出来制备 WFC。以 WF 加载作为函数进行机械和热力学性质的研究。使用扫描电子显微镜 (SEM) 和差示扫描量热法 (DSC) 等表征技术将纤维/基体界面的形态与纤维-硅烷热化学气相沉积处理对 WF 和马来酸酐 (MA) 接枝共聚技术。使用诸如 Halpin-Tsai/Tsai-Pagano 微机械模型等复合材料刚度的理论模型来比较结果,以研究 MA 对纤维/基体界面的增强以及硅烷偶联剂的诱导现象学效应。

机械性能

几位研究人员建议,提高天然纤维增强复合材料的机械性能的一种可能解决方案是纤维与无机填料的杂化。WPC 的机械性能可能不受纤维类型的显着影响,但据报道,纤维的类型以及木质素、纤维素和半纤维素的含量对机械性能有很大的影响。WF 的加入提高了复合材料的力学性能,但同时也提高了材料的燃烧速度。

-拉伸和弯曲性能使用 Instron 测试仪(型号: 4201)、Zwick/Rowell 型号 Z010、万能试验机 (UTM) 测量 WPC 的机械性能,如拉伸强度、断裂伸长率、韧性、断裂能和杨氏模量)遵循 ASTM D638、ISO 527-2 标准,十字头速度为 10 mm/min。标准尺寸为长 20 毫米、宽 12.5 毫米、厚 3 毫米。使用冲击测试仪(型号: TMI

43-01)按照 ASTM D 256 标准测试样品的冲击强度。根据 ASTM D 790 和 ASTM D 7264 标准,在 Zwick/Rowell 型号 Z010 UTM 中以 10 kN 的负载能力在室温下进行弯曲测试。根据 ASTM D 790-86 标准,制备尺寸为 70 × 12 × 3 mm³ 的试样,用于在室温下在 UTM 中以 1 mm/min 和 0.5 mm 的十字头速度进行三点弯曲试验和压缩试验/分钟分别。2 mm/min 的十字头速度、140 mm 的支撑跨度和尺寸为 200 mm × 30 mm × 10 mm 的方板试样是四点弯曲试验的要求和参数。为了通过应变率评估杨氏模量,使用了应变仪。在进行所有机械测量时,考虑了 23 ± 1 °C 的恒温和 50 ± 5% 的相对湿度。

分析了复合材料的拉伸强度、拉伸模量和断裂应变。十字头速度和时间的乘积给出了用于计算应变率的位移。所有制备的样品的纵横比近似为 2,形状为正方形。硫化钼蜡用于润滑试样的精密加工平行面。该图描绘了所有 WF 组合物的强度和刚度随时间的巨大下降。由于复合材料的亲水性,纤维和基体之间的界面粘附力大大降低。由于界面结合不良,这间接影响了纤维和基体之间的应力传递。当纤维素和水分子之间形成新的键时,分子内的氢键被稀释。

物理性质

在确定用于外部应用的 WPC 的决定性材料特性时,机械参数最初是显而易见的。先前的研究主要表明,对于 WPC 作为外墙的木质材料,机械强度是决定性的,尤其是弯曲和紧固机制。然而,这些特性大多与 WPC 的吸湿特性相关。在 WPC 的情况下,与木纤维含量固定的高生物部分对物理性能有负面影响,这反过来又会反馈到机械阻力值。最后,还有光学标准,可以用材料改变颜色和形状的趋势来表示,而这反过来又是湿材料行为的结果。显然,物理参数对于热塑性成型的“后加热”WPC 材料表征具有很高的信息价值。在评估 WPC 的物理行为时,很少有突出的物理特性(如吸水能力和材料密度)起主要作用。

-吸水行为

WPC 材料的吸水率增加会显着降低耐久性,从而使外墙应用效率低下。WPC 元件是否吸水以及吸水量取决于表面质量。正如已经用接触角方法显示的那样,润湿性表明了水分的渗透程度。然而,对吸水性的研究还必须显示水在材料中扩散的速度以及何时发生饱和。测定吸水率的方法由测试标准 ASTM D 570 定义,其中吸水率表示为样品重量随时间的实际变化百分比。对在 105 °C 烘箱干燥 24 h 的试样进行吸水试验。在 23 ± 2 °C 的常温下,将试样浸入水中 2h,然后用布擦去表面的水份,然

后称重。2小时后再次重复该过程并在24小时后称重。MAPP和PP/WF复合材料2小时和24小时的水浸试验结果遵循相同的吸水率增加模式,因为WF的含量由于其亲水性而增加。然而,木材样品的结果正好相反,因为它具有疏水性,而吸水率可能更多,因为随着木材含量的增加会出现更多的斑点。管腔的存在、氢键位点以及增强体和基体之间的界面间隙等属性是WF复合材料吸水的主要原因。

热性能

评估WPC的热性能,例如热重分析(TGA)、差示扫描量热法(DSC)和可燃性或阻燃性行为,目前被认为是重要的,因为大多数WPC都经受户外应用和一些受温度影响的环境。

-热重分析

TGA用于研究WF、基体及其所得复合材料的热行为。根据ASTME1131-08标准,在流动的氮气气氛下以10℃/min的加热速率在35℃和700℃之间使用15mg质量的样品进行测试。TGA/DTA测量在Netzsch STA 409 TG分析仪上进行。将样品切成小块并在室温下在真空中调节24小时。WPC的降解通常发生在氮和氧气中的大温度范围内。然而,与聚合物基体相比,WPCs在氮气气氛中的一些质量损失发生在30-160℃、170-230℃和410-590℃的温度范围内,而聚合物基体的质量损失主要发生在从310℃至490℃。木材在200至350℃的温度范围内降解归因于半纤维素和纤维素的分解,而在250至500℃的温度范围内,可归因于木质素的分解。木材和聚合物基质降解重叠在200℃和350℃之间,这意味着无法实现木材和基质的阶梯分离。然而,当WF在200℃至390℃之间降解时,基质在390℃至500℃之间降解,最后,通过将惰性气氛变为氧化气氛,WPCs的炭燃烧无残留。

三、WPC的生命周期评估

包括WPC在内的各种来源的生态影响评估一直在使用生命周期评估(LCA)技术来分析可能的前瞻性影响或机制。对先前关于WPC的LCA研究的回顾可分为两类:(i)试图将WPC与其他成分(例如木材)进行比较的研究,以及(ii)评估由各种原材料生产的WPC的生态后果的研究资源(原始材料与再加工材料)。Sommerhuber等人研究了由原始材料和回收(废物)材料生产的WPC对环境的影响。主要的未加工物质是原始木材和废木材,两者都含有HDPE和回收的HDPE。他们发现,用再加工材料和废料生产的WPC对环境的影响低于用原始资源生产的WPC。Vantsi和Karki研究了由

原生木材、纯玻璃纤维或再加工矿棉制成的WPC,以及由原生木材和原生或回收PP制成的WPC。当使用再生矿棉而不是原生玻璃纤维时,WPC的生态影响显著降低。这些环境影响包括全球变暖、酸化和富营养化,以及非生物耗竭潜力。已发现回收PP可降低全球变暖和非生物资源枯竭的风险。先前关于评估WPC生态影响的研究,例如上面引用的研究,侧重于WPC产品的生态影响,而不是WPC制造作为CDW管理解决方案的一部分的生态影响。

结果LCA被认为对于确定使用特定托盘对整个系统的影响至关重要,已从以前的研究中省略,包括上面引用的那些。研究归因以及相应的LCA发现和结论之间的区别,以及它们在涉及废物回收的情况下的适用性是至关重要的。以前的所有研究都假设所有托盘在其整个生命周期中都能同样出色地完成。由不同物质制成的托盘具有不同的预期寿命、维修时间和回收率,在任何研究都没有考虑到这些;从初始阶段到最终阶段,LCA都包含了生命末期(EoL)护理的概念。LCA的最终结果可能会受到EoL分配方法差异的显著影响。

WPC的环境影响可以使用两种LCA方法之一进行评估。归因LCA(ALCA)检查进入和退出产品生命周期及其子系统的物理流对环境的影响。相应的LCA(CLCA)检查生产系统以及与之相连的系统,这些系统预计会在产品的生产、消费和回收过程中发生变化。ALCA采用从摇篮到坟墓的方法,考虑产品生命周期的所有方面,从最初使用生态系统中的原始资源(如自然产生的流)到最终处置,包括排放到大气和水中。

某些因素,例如原材料可靠性(例如,可能的污染物)、可及性、对生成的WPC的要求、利用WPC衍生产品(例如木材和塑料)的生命周期结束阶段、各种物理和机械特性在进行的一些LCA分析中,没有考虑WPC类型和生产方法的改进。这为更多的调查打开了大门。看到WPC在其使用寿命结束时如何逐渐减少是令人着迷的。只有在制造过程中才能回收CDW WPC。EoL WPC材料恢复受到限制,因为作物尚未流行。这就提出了一个问题,即这种技术是否只能通过一个循环来延长这些物质的寿命,或者,如果采用先进的回收框架,它是否可以提供一种向循环经济发展的技术。

四、WPC的应用

WPC的实际应用取决于纤维素的亲水性,这会导致吸湿和分散问题。WPC的主要应用包括建筑、航空航天和汽车工业,但它们也用于包装,用于制备各种家居用品、家具、办公用品和其他相关物品。在大多数这些应

用中, 它们被用作结构材料, 其中木基增强材料的承载能力起着重要作用。这取决于增强木质材料的颗粒特性以及木质增强材料和基体之间的界面粘合力。

WPC 主要用于交通材料、家具制造、建筑和军事应用。WPC 在许多其他工程应用中也正成为更重要的材料。此外, WPC 还用于土木、船舶和汽车工程应用。由于木质原材料的进步、它们在 WPC 生产过程中的耐用性和机械特性, 其他一些户外应用也被添加到列表中, 包括电线杆、栅栏、甲板和建筑外部木制品。与其他传统复合材料和单独的木质材料相比, WPC 也被认为是最可持续和质量最丰富的。木质地板被认为是 WPC 的最高应用量, 它包括复合地板、拼花地板和实木地板的顶级单板。主要是胡桃木、枫木、红橡木和白蜡木是用于复合地板的木材类型。WPC 的专利运动应用包括层压滑雪板、高尔夫球场的球杆头、曲棍球棒、棒球棒、弓箭和枪托。在乐器方面, WPC 用于制造风笛吹奏者、长笛吹嘴、管乐器和弦乐器指板。为了制造防刮家具, 使用了 WPC 和木饰面。产品包括桌面、写字台、钟面、牌匾和刀柄。扶手是 WPC 的另一类小体积应用。扶手是商业应用, 主要安装在商场、百货公司和机场等各种场所, 用于提高强度、美观和易于维护。从上述所有讨论中可以看出, WPC 主要用于更广泛的低密度和中等密度应用。

结论

从环境和经济的角度来看, 木材聚合物复合材料被认为是一种潜在且有前途的材料, 因为它们涉及使用回收木材或木粉。WPC 以相对较低的成本表现出更好的强度和较高的适销性。WPC 的性能直接受加工和后加工方法的影响。采用适当加工方法制造的 WPC 具有较低的接触角、较少的颜色变化、较好的物理和机械特性以及相对较高的分解温度。填充剂和润滑剂的添加降低了 WPC 中的固体含量并降低了粘度, 从而提高了 WPC 的粘合强度。根据大多数研究, WPC 也是使用生物基粘合剂制造的, 例如淀粉、单宁、木质素和大豆蛋白基粘合剂, 尽管它们的缺点如高粘度低, 粘合强度低, 亲水性高。分析这些缺点并在实验室范围内克服它们对于许多研究人员来说仍然是一项具有挑战性的任务。然而, 上述生物基粘合剂可以减少在 WPC 制造过程中以甲醛排放和挥发性有机化合物形成的形式引起的环境缓解。还对 WPC 进行了生命周期评估研究, 以评估其环境影响, 从结果中发现, 与脲醛和苯酚甲醛等合成树脂相比, 由生物粘合剂制造的 WPC 表现出较小的影响。可以根据得出的结论开展进一步研究, 以开发一种提高 WPC 耐用性和长寿命的评估方法。总体而言, 可以说, 利用回收的木质材

料制造木质聚合物复合材料在生态友好性方面非常可行, 并有助于改善循环经济。同时, 它还节省了原始材料的使用, 从而提高了复合材料生产的可持续性。

参考文献:

- [1]Taylor A.M., Gartner B.L., Morrell J.J., Tsunoda K. Effects of heartwood extractive fractions of *Thuja plicata* and *Chamaecyparis nootkatensis* on wood degradation by termites or fungi. *J. Wood Sci.* 2006;52:147 - 153. doi: 10.1007/s10086-005-0743-6.
- [2]Emons A.M.C., Höfte H., Mulder B.M. Microtubules and cellulose microfibrils: How intimate is their relationship? *Trends Plant Sci.* 2007;12:279 - 281. doi: 10.1016/j.tplants.2007.06.002.
- [3]Berglund L.A., Burgert I. Bioinspired Wood Nanotechnology for Functional Materials. *Adv. Mater.* 2018;30:e1704285. doi: 10.1002/adma.201704285.
- [4]Clemons C. Wood-plastic composites in the United States: The interfacing of two industries. *For. Prod. J.* 2002;52:10 - 18.
- [5]Rowell R.M. Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites. CRC Press; Boca Raton, FL, USA: 2005. Myers, D. 2016. Construction Economics: A New Approach. Taylor & Francis.
- [6]Huang R., Xiong W., Xu X., Wu Q. Thermal expansion behavior of co-extruded wood-plastic composites with glass-fiber reinforced shells. *Bioresources.* 2012;7:5514 - 5526. doi: 10.15376/biores.7.4.5514-5526.
- [7]Ramesh M. Wood flour filled thermoset composites. *Mater. Res. Found.* 2018;38:33 - 65.
- [8]Hietala M., Samuelsson E., Niinimäki J., Oksman K. The effect of pre-softened wood chips on wood fibre aspect ratio and mechanical properties of wood - polymer composites. *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.* 2011;42:2110 - 2116. doi: 10.1016/j.compositesa.2011.09.021.
- [9]Aref I., Nasser R., Ali I., Al-Mefarrej H., Al-Zahrani S. Effects of aqueous extraction on the performance and properties of polypropylene/wood composites from *Phoenix dactylifera* and *Acacia tortilis* wood. *J. Reinf. Plast. Compos.* 2013;32:476 - 489. doi: 10.1177/0731684412454462.
- [10]Batra R., Gopinath G., Zheng J. Damage and failure in low energy impact of fiber-reinforced polymeric composite laminates. *Compos. Struct.* 2012;94:540 - 547. doi: 10.1016/j.compstruct.2011.08.015.