

牺牲 增 环氧树脂

黄金瑞¹, 何周与, 张坤

中国林业科学研究院林产化学工业研究所, 林木生物质低碳高效利用国家工程研究中心, 南京, 210042

*通讯作者邮箱地址: huangjinruiahu@126.com

双酚 A 型环氧树脂因其具有优异的力学、热力学、耐高温、耐腐蚀等性能而被广泛应用于电子、电气、机械制造、航空航天、交通运输等领域中。然而环氧树脂固化后交联度高, 导致其韧性不足、易断裂, 脆性较大, 限制了其更为广泛的应用。因此, 对环氧树脂进行增韧改性显得尤为重要。目前主要通过添加橡胶弹性体、热塑性树脂、超支化聚合物等增韧剂对环氧树脂进行改性是提高其柔韧性的一种有效手段。具有刚性结构的增韧剂可以提高环氧树脂的柔韧性, 但柔韧性改善程度较小。具有柔性结构的增韧剂可以显著提高环氧树脂的柔韧性, 但其他机械性能(如强度和模量)会显著降低。因此, 如何在保持良好的强度和模量下显著提高环氧树脂的柔韧性是一个挑战。

自然界中, 珍珠质、骨骼、牙等天然生物材料因其同时具有非凡的韧性和强度而受到广泛关注。研究发现, 牺牲键是这些天然生物材料集高韧性、高强度为一体的主要原因。受此启发, 本研究工作通过引入牺牲键来增韧环氧树脂。对于具有柔性结构的增韧剂(桐油衍生物), 发现牺牲键可以显著提高环氧树脂的韧性, 同时保持良好的强度和模量。例如, 添加 7.5% 桐油双甘油酯酸(TODGA, TODGA 与环氧树脂形成牺牲 π - π 相互作用)时, 环氧树脂断裂伸长率、韧性和冲击强度分别从 5.9% 提高到 86.6%, 从 2.1 MJ m^{-3} 提高至 19.0 MJ m^{-3} , 从 $4.3 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 到 $5.9 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$, 改性树脂拉伸强度保持在 34.8 MPa。对于刚性结构的环氧增韧剂, 发现牺牲键可以同时提高材料的韧性、强度和模量。例如, 添加 0.01 wt% 的单宁修饰的碳杂化材料(单宁修饰碳杂化材料可与环氧树脂形成多重牺牲 π - π 相互作用)时, 环氧树脂的拉伸强度、杨氏模量、断裂伸长率、I 型断裂韧性(K_{IC})和应变能释放率(G_{IC})分别提高了 23.3%、44.6%、41.2%、114.6% 和 219.3%。

关键词: 环氧树脂, 增韧, 牺牲键, 林产资源

1 本文由中国林科院中央级公益性科研院所基本科研业务费优秀青年创新人才项目(CAFYBB2020QB006)资助。