

无机纳米粒子在环氧树脂增韧改性中的应用

张小华 徐伟箭*

(湖南大学化学化工学院, 长沙 410082)

摘要: 无机纳米粒子能够给聚合物赋以卓越的综合性能, 为此, 纳米材料在聚合物改性中的应用已成为聚合物改性领域中的一个研究热点。本文就近年来在环氧树脂增韧改性中应用的无机纳米粒子的种类、环氧树脂/无机纳米复合材料的制备方法及其应用研究进展进行了综述。

关键词: 无机纳米粒子; 环氧树脂; 增韧改性

环氧树脂自从 1947 年问世以来已经经历了半个多世纪的发展过程, 作为塑料用四大主要合成树脂品种之一, 它的产量和应用仍在热固性塑料领域中占有重要的地位, 而且日益受到人们的重视, 广泛应用于塑料工业、涂料工业、机械、化工、国防等许多领域。环氧树脂具有优良的机械性能、电性能、粘接性能、耐热性、耐溶剂性以及易成型加工、成本低廉等优点, 近年来其应用更是拓展到胶粘剂、集成电路、电子元器件封装材料及纤维强化材料等各个领域。但环氧树脂固化物仍然存在着质脆、冲击强度低以及容易产生应力开裂的缺点, 限制了它在复杂环境下的使用。针对这些不足, 国内外科研工作者对其进行了大量的增韧改性研究, 改性方法日新月异, 从过去的橡胶类弹性体增韧改性发展到现在的化学共聚法、互穿网络法、液晶聚合物改性等。而随着无机粒子微细化技术和粒子表面处理技术的发展, 特别是近年来纳米级无机粒子的出现, 为高分子材料的改性提供了新的方法和途径, 并掀起了采用无机纳米材料对环氧树脂进行增韧改性的研究热潮, 以突破以往采用橡胶类弹性体对聚合物增韧的传统做法, 毕竟弹性体增韧是以牺牲材料宝贵的刚性、尺寸稳定性以及耐热性等为代价的。本文主要介绍无机纳米粒子在环氧树脂增韧改性中的应用研究进展。

1 环氧树脂改性用无机纳米粒子

纳米粒子是指粒径在 $1\sim 100\text{nm}$ 之间的粒子, 是由数目极少的原子或分子组成的原子群或分子群, 一般称数微米大小的粒子为微粒, $0.1\mu\text{m}$ 的粒子为亚微粒, 更细的粒子为超微粒。纳米粒子就属于超微粒范畴, 它介于宏观物质和微观原子分子的中间领域, 既非微观系统又非宏观系统, 而是一种典型的介观系统^[1]。它具有许多新的特性, 主要特点是粒子的比表面积很大, 表面原子占有率高, 表面具有不饱和键或悬空键的特殊结构, 因此纳米粒子具有非常大的表面活性。加有纳米粒子的环氧树脂, 其结构完全不同于加粗晶粒子(如白炭黑等)的环氧树脂。粗晶粒子一般作为补强剂加入, 它主要分布在高分子材料的链间; 而纳米材料的独特的活性使得它很容易与环氧树脂分子发生键合作用, 提高了分子间的键力, 同时还有一部分纳米颗粒仍然分布在高分子链的空隙中, 与粗晶颗粒相比较表现出很高的流动性。而关于无机纳米粒子对环氧树脂增强的同时又能增韧的作用机理, 一般认为有三个方面^[2]: (1) 在变形中, 无机粒子的存在产生应力集中效应, 引发粒子周围的树脂基体屈服, 从而吸收大量变形功, 产生增韧; (2) 刚性无机粒子在大的拉应力作用下不会产生大的伸长变形, 为此基体和无机粒子的界面的部分脱粘形成空穴, 使裂纹钝化, 阻碍裂纹扩展成破坏性裂缝而起到增韧作用; (3) 纳米粒子的比表面积大, 表面的物理和化学缺陷越多, 粒子与高分子链发生物理或化学结合的机会就越多, 因而与基体接触面积增大, 材料受冲击

基金项目: 湖南省自然科学基金及湖南大学化学生物传感与计量学国家重点实验室资助;

作者简介: 张小华, 女, (1972-), 在职博士, 研究方向为功能高分子的合成与应用研究。

* 通讯联系人

时,会产生更多的微裂纹,吸收更多的冲击能。正是由于无机纳米粒子对聚合物的增强增韧克服了传统弹性体在增韧聚合物的同时使其刚度和强度降低的缺点,无机纳米粒子在环氧树脂及其它多种聚合物改性中已有着日益广泛的应用。

1.1 纳米 SiO₂

纳米 SiO₂ 是不定型的白色粉末(指团聚状态),其分子结构中存在大量不饱和的残键和不同键合状态的羟基,分子结构呈三维链状结构。这种结构可与树脂的某些基团发生键合作用,从而大大改善材料的硬度和强度;同时纳米 SiO₂ 颗粒由于尺寸小,当采用适当的方式与树脂复合时将分布在高分子键的空隙中,而其又具有较高的流动性,这使得由此而形成的树脂/纳米 SiO₂ 复合材料强度、韧性、延展性均大大提高。刘竞超等^[3]通过超声波分散和偶联剂处理的方法使纳米 SiO₂ 粒子在环氧树脂中充分分散,制得了环氧树脂/纳米 SiO₂ 复合材料。研究表明,纳米 SiO₂ 粒子对环氧树脂/*N,N*-二甲基苄胺、环氧树脂/甲基四氢苯酐体系都有不同程度的增韧,而且纳米 SiO₂ 粒子的添加量影响其增韧效果,当其用量分别为 5%、3%时,效果最为明显。其中对环氧树脂/*N,N*-二甲基苄胺体系冲击强度提高 94%,断裂伸长率提高 46%,拉伸强度也有所提高。郑亚萍^[4]在以 SiO₂ 作为增强材料制备纳米复合材料的研究中也指出:在一定含量范围内,经过表面处理、良好分散于基体中的纳米 SiO₂ 粒子,可使环氧树脂的冲击强度、拉伸强度及拉伸模量等都大幅度的提高,SiO₂ 的用量对环氧树脂性能的影响如表 1 所示。

表 1 纳米 SiO₂ 的用量对环氧树脂性能的影响

Table 1 Effect of weight ratio of nanometer-size on properties of epoxy resin			
SiO ₂ /CYD-128 重量比 g/g	冲击强度/(kJ·m ⁻²)	拉伸强度/MPa	拉伸模量/GPa
0/100	10.20	35.33	3.17
1/100	12.14	38.33	3.43
2/100	13.01	40.78	3.55
3/100	15.94	75.68	3.57
4/100	12.68	32.23	3.24
5/100	10.80	38.63	3.19

由表 1 可以看出,随着含量的增加,环氧树脂纳米复合材料的强度、韧性增加,但不呈线性关系。

1.2 层状硅酸盐粘土

目前研究较多并具有实际应用前景的层状硅酸盐是 2:1 型粘土矿物,如钠蒙脱土、锂蒙脱土和海泡石等可用于制备聚合物/纳米复合材料用层状硅酸盐。其结构单元^[5]是由一片铝氧八面体夹在两片硅氧四面体之间靠共用氧原子而形成的层状结构,每个结构单元的尺度为 1nm 厚、长 x 宽为 100x100nm² 的片层,层间有可交换性阳离子,如 Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺ 等,它们在极性溶液中或者其它体系中可与无机金属离子或有机阳离子等交换,从而修饰硅酸盐层间表面形成具有不同性能的无机和有机粘土。这些已被修饰的层状硅酸盐粘土以纳米级微块分散在聚合物中,形成无机和有机混杂的复合材料,其综合性能明显优于单一的聚合物材料性能,在聚合物/纳米复合材料制备等领域中得到广泛应用。LeBaron 等^[6]就层状硅酸盐粘土能够大大改善环氧、聚酰胺等热固性体系的强度和韧性的一系列研究工作进行了综述。目前,在环氧树脂/层状硅酸盐粘土纳米复合材料的研究领域中,以美国康奈尔大学的 Giannelis、密歇根州立大学的 Pinnavaia 和瑞典的 Kormmann 等领导的三个课题组最为活跃,国内浙江大学、中科院化学所、河北工业大学等单位对此也在进行深入的研究^[7]。这些研究工作主要包括以下几个方面:即对用于制备环氧树脂/粘土纳米复合材料的层状硅酸盐粘土表面的有机化改性的研究;环氧树脂/粘土纳米复合材料的制备方法的研究;环氧树脂/粘土纳米复合材料的综合性能的研究等。

1.3 纳米 CaCO₃

纳米 CaCO₃ 材料来源易得、价格较低,具有毒性低、污染小、白度较高、填充量大及混炼加工性能好等特点。早在四五十年代日本就率先将纳米 CaCO₃ 投入工业化生产,其产品白燕华 CC、CCR 和 DD 等已成功应用于橡胶、塑料、油墨、造纸、涂料等行业,其中橡胶制品加工中用量最大的浅色填料之一就是纳米

CaCO_3 , 同时塑料工业则是纳米 CaCO_3 的另一个重要应用领域^[8]。用纳米 CaCO_3 作为塑料填充剂可减少树脂用量, 大大降低成本, 而且制品的抗张强度、伸长率等性能指标均有所提高, 起到补强剂的作用, 还可以提高塑料加工时的流变性和挤出速度, 改善塑料加工性能。鲁云华等^[9]对纳米 CaCO_3 /环氧树脂复合材料的机械性能进行了研究, 结果表明: 纳米 CaCO_3 的添加使环氧树脂复合材料的拉伸强度和冲击强度同时得到了提高, 尤其是链锁状纳米 CaCO_3 , 当其填充质量分数为 1% 时, 拉伸强度和冲击强度达最大值, 分别提高了 80.46% 和 129.46%; 刘建林等^[10]采用 CaCO_3 纳米颗粒均匀溶混于环氧树脂中制得环氧树脂/ CaCO_3 纳米复合材料, 在对其宏观力学性能及光学性能进行研究的过程中同样发现, 掺杂纳米 CaCO_3 后实现了材料的增强增韧, 而且对材料的光透性能没有影响。

1.4 纳米 TiO_2

TiO_2 最为常见的应用是作为油漆、涂料中的颜料, 此外它还可用作化妆品中的遮光剂、催化剂的载体和制备半导体材料等, 这些应用主要归因于 TiO_2 对紫外光强的吸收能力。而当 TiO_2 的晶体粒径达到纳米级后, 上述这些功能将会得到极大改善乃至产生突破性的变化。随着近年来纳米 TiO_2 在制备和后续处理工艺、结构与性能关系等方面研究的发展, 其应用领域也大为开拓。有研究报道^[11]: 纳米 TiO_2 是一种低密度的无规网络结构, 由纳米尺寸的骨架结构连接所有的纳米晶体粒子和亚稳原子团簇, 而骨架和晶粒包围着许多纳米尺寸的空洞。这个巨大的网状结构之中分布着错综复杂的通道和孔穴, 丰富的孔穴通道使它的原子总数中有 40% 以上处于表面态而不是界面态, 由此纳米 TiO_2 呈现出很高的表面活性, 再加上它对紫外光的强吸收, 这使得纳米 TiO_2 具有极强的光催化活性。利用纳米 TiO_2 作为光催化剂处理含有机污染物的废水被认为是最有效的处理手段, 成为目前国内外开拓纳米 TiO_2 应用领域的主要研究热点^[12]。而对于纳米二氧化钛在涂料和聚合物物理及力学性能改性中的研究与应用则是二氧化钛应用的一个全新领域。Ng 及 Schadler 等^[13]研究了纳米 TiO_2 填充环氧树脂复合材料的性质: 纳米尺度的 TiO_2 于 60℃ 加入环氧树脂中, 经超声波处理后加入 1, 3-亚苯基二胺作为固化剂。与微米尺度的 TiO_2 填充的环氧树脂复合材料相比, 纳米填充的复合材料的应变-疲劳强度提高了 15%; 同时在抗刮涂方面, 纳米 TiO_2 对环氧树脂也呈现出显著的效果。林安、程学群等采用类酯化反应的方法制得表面化学改性的纳米 TiO_2 , 并将其应用于环氧树脂涂料中, 发现其能显著提高涂料的抗冲击性、耐划痕性和柔韧性等^[14]。

1.5 纳米 Al_2O_3 ^[15]

目前世界上生产的 Al_2O_3 除大部分用于电解生产金属铝外, 还有一部分是非冶金用氧化铝, 约占氧化铝总量的 10%。氧化铝按照粒径可分为标准粒氧化铝、粗粒氧化铝、细微粒氧化铝和纳米氧化铝, 不同类型的氧化铝各具特定的性能而用于不同的领域。纳米 Al_2O_3 的熔点、起始烧结温度和晶化温度都低于常规 Al_2O_3 , 常规 Al_2O_3 烧结温度在 2073~2173K, 而纳米 Al_2O_3 在一定条件下烧结温度在 1423~1773K 时致密度可达 99.7%。用纳米 Al_2O_3 粉体制成的精密陶瓷具有类似金属的良好塑性和奇异的韧性, 解决了陶瓷脆性的问题。而纳米 Al_2O_3 在聚合物和环氧树脂改性中的应用研究也取得进展。如将纳米 Al_2O_3 粒子填充在橡胶中可以提高其介电性、耐磨性和材料的耐高温冲击韧性。张立德等^[16]在实验室制得纳米 α - Al_2O_3 与环氧树脂的复合材料, 使其模量增加, 当粒径为 27nm 时, 添加 1%(wt)~5%(wt), 环氧树脂的玻璃化转变温度提高, 模量达极大值。纳米 Al_2O_3 与其它填料一起填充聚合物还可能产生协同效应。Hussain 等^[17]在 C 纤/环氧树脂复合体中加入纳米 Al_2O_3 粒子, 使得材料的杨氏模量、弯曲强度、断裂韧性、层间剪切强度都大大提高。

1.6 纳米 ZnO ^[18]

纳米 ZnO 也是用于聚合物增韧改性中的一种主流产品, 它在纤维、纺织及服饰中的应用, 有防紫外线、吸收红外线、抗菌、防毒、防臭、降温或者保暖等许多奇异功能。纳米 ZnO 用作橡胶制品补强剂, 大大增强制品的抗磨、耐撕裂和机械性能, 以制造出高耐磨的橡胶制品。此外, 纳米 ZnO 还用于制造高档油漆、涂料、塑料等。

另外, 目前已生产和应用的环氧树脂改性用无机纳米粒子还有 SiC 、 ZrO_2 、 TiN 等。尽管采用无机纳米

粒子增韧改性环氧树脂的研究已相当广泛,但其工艺都还不是很成熟和稳定。由于无机纳米粒子粒径特小、比表面积大,极其容易团聚,环氧树脂/无机纳米复合材料的广泛应用所面临的重大问题仍然是如何解决纳米粒子的团聚,使其尽可能均匀地分散在聚合物材料体系中,以得到增强增韧的高性能环氧树脂复合材料。

2 无机纳米粒子增韧环氧树脂复合材料的制备技术

采用无机纳米粒子对环氧树脂增韧的研究制备技术最常用的有四种:共混、溶胶-凝胶、插层及在位分散聚合技术。采用不同的制备技术制得的复合材料的结构不相同,同时无机纳米粒子对环氧树脂体系的改性也体现出不同的行为。

2.1 共混技术^[5]

共混技术是制备纳米复合材料最简单的技术,适合各种形态的纳米粒子。就共混方式而言共混法可分为溶液共混、乳液共混、熔融共混及机械共混等四种。共混技术将纳米粒子与材料的合成分步进行有利于纳米粒子形态和尺寸的控制,其难点是粒子的分散问题。为防止粒子的团聚,共混前往往对纳米粒子表面进行各种处理,包括表面覆盖改性、局部活性改性、外膜层改性及机械化学改性等。

2.2 溶胶-凝胶技术

由溶胶-凝胶技术获得有机/无机复合物的合成方法及其复合物的特性在十多年前就引起了广泛的关注^[19~22]。溶胶-凝胶技术是在聚合物存在的前提下,在共溶体系中控制体系 pH 值、溶剂、反应物浓度、催化剂用量及温度等因素^[23],使无机纳米粒子的前驱物如原硅酸酯或金属烷氧基化合物等水解,得溶胶,进而凝胶化,干燥制得纳米材料。而由溶胶-凝胶技术合成环氧树脂/无机纳米复合材料通常有两种方法:其一是将溶胶-凝胶过程制得的多孔无机材料浸渍于单体中,使其吸附单体,然后进行缩合即可得到互穿网络型的有机/无机复合材料,如 Sungtack 等^[24]使用溶胶-凝胶法制备了互穿网络聚合物;其二是在溶胶-凝胶过程中直接引入聚合物,即在缩聚过程中加入带有可与 Si—OH 基团缩合的官能团的高分子,从而在无机相和有机相之间形成化学键,最终得到均一的有机/无机复合高分子材料,关于有机相与无机相之间形成的氢键或其它弱的作用力对溶胶-凝胶法制得的纳米复合材料的结构与性能的影响 Joseph 等^[25]已作了深入的研究。Ying 等^[26]采用双酚 A 环氧与己二酸反应形成不同相对分子量的线性环氧树脂预聚体,在四氢呋喃中溶解环氧树脂预聚体和 TEOS,通过盐酸催化水解和缩聚,在室温下直接得到透明的复合材料。其热分析结果表明:随着 SiO₂ 的含量增加,复合材料的玻璃化温度、初始分解温度都逐步提高;复合材料的拉伸强度也有了明显的提高。

2.3 插层技术

该技术是根据层状无机物在一定驱动力作用下能碎裂成纳米尺寸的结构微区,其片层间距一般为纳米级,可容纳单体和聚合物分子的原理而形成的。1987 年,日本的 Okada 等^[27]首次报道了用插层法制备尼龙 6/粘土纳米复合材料,并实现了无机纳米相均匀分散以及无机/有机强界面结合、自组装。自此,此类聚合物/层状无机纳米复合材料备受关注。利用插层技术可以制成包含交替的无机、有机层的复合材料,它可让聚合物嵌入夹层,形成“插层型(intercalated)纳米复合材料”,也可使片层均匀分散于聚合物中形成“剥离型(exfoliated)纳米复合材料”^[5],其结构如图 1 所示。

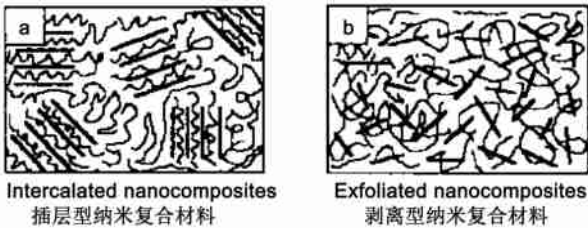


图 1 聚合物/层状无机纳米复合材料结构示意图

Figure 1 Diagram of structure of polymer-layered inorganic particulates nanocomposites

根据插层形式不同插层技术又可分为插层聚合、溶液或乳液插层及熔体插层三种。插层技术中常用的层状无机填料有:云母类硅酸盐类、磷酸盐类、石墨、金属氧化物及二硫化物等,其中使用最多的为云母类硅酸盐类粘土片层如蒙脱土(MMT)。Kornmann 等^[28]采用十八铵盐对蒙脱土进行改性,考察了蒙脱土的离子交换容量(CEC)对环氧树脂/粘土纳米复合材料的合成与结构的影响。而 Ole 等^[29]则采用广角 X 射线扫描(WAXS)、原子力显微镜(AFM)等方法对经十八铵盐离子交换的蒙脱土改性后的环氧树脂复合材料的表面形态和机械性能进行了系统的研究。添加适量的改性蒙脱土使复合材料的弹性模量、拉伸强度和硬度都有提高。

2.4 原位分散聚合技术

日本中原佳子^[30]在 1988 年合成了带孔道的 SiO_2 微粒,然后在孔道中进行单体的聚合,进一步将此复合微粒填充到聚合物基体中,并就其对聚合物增韧方面的改性进行了研究。这为制备聚合物/无机纳米复合材料提供了一条新颖的思路,即原位分散聚合技术。该技术应用在位填充,使纳米粒子在单体中均匀分散,然后进行聚合反应。由于聚合物单体分子较小、粘度低,无机纳米粒子表面经有效改性后容易均匀分散,保持了纳米粒子的纳米特性,同时又保证了体系的均匀性和各项性能的稳定性。作为制备纳米复合材料的一种新型方法,原位分散聚合技术在环氧增韧改性方面的应用还有待进一步的研究。

3 应用展望

采用无机纳米粒子填充环氧树脂使其韧性、强度、耐湿热性、耐磨性等各方面都得到提高,从而使得环氧树脂进一步高性能化和多功能化,甚至产生许多特异的功能。然而,纳米粒子与环氧树脂之间的复合仍存在不少的问题,其工业化应用的推广主要应从以下几方面入手^[31]:(1)纳米复合材料的新的制备方法,特别是适合于工业化生产的改性环氧树脂材料的制备方法;(2)筛选更多的纳米粒子,使之与环氧树脂结合形成性能优异的复合材料;(3)从机理上研究有机相与无机相之间的相互作用,制备更为均一的环氧树脂纳米复合材料。随着科学技术的进步,纳米级粒子及表面处理技术的成熟,环氧树脂/无机纳米复合材料将在电子元器件、食品包装、燃料罐、汽车、航空等领域显示出更广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] 樊芷芸,等.精细石油化工,2002,(4):50~53.
- [2] 宗志宇,许涌深,等.天津化工,2003,17(2):18~21.
- [3] 刘竞超,等.湘潭大学自然科学学报,1999,(3):36~39.
- [4] 郑亚萍.西北工业大学学报,2002,20(3):494~496.
- [5] 张玉龙,等.纳米技术与纳米塑料.北京:中国轻工业出版社,2002,1.
- [6] LeBaron P C, et al. Appl Clay Sci, 1999, 15, 11~29.
- [7] 傅万里,杨亚辉,等.湘潭大学学报,2000,24(12):170~173.
- [8] 吴绍吟,练恩生.橡胶工业,1999,46:146~151.
- [9] 鲁云华,陈尔凡.沈阳化工学院学报,2003,(4):267~270.
- [10] 刘建林,等.化学工业与工程技术,2003,(3):18~19.
- [11] 中国真空学会 1992 年第一届全国纳米科学与技术学术会议论文集,抚顺.中国真空学会.1992
- [12] 祖庸,等.钛工业进展.1999,(2):23~26.
- [13] Ng C B, Schadler L S, et al. Nanostruct Mater, 1999, 12, 507~510.
- [14] 林安,等.材料保护,2002,35(11):6~7.
- [15] 任冬梅,等.世界有色金属,2001,(11):4~6.
- [16] Zhang L D, Xie C Y, et al. J Alloys and Comp, 1994, 211/212, 390~392.
- [17] Hussain M, Oku Y, et al. Mater Lett, 1996, 26, 177~184.
- [18] 曲信松,等.齐鲁石油化工,2002,30(2):142~145.
- [19] Philipp G, Schmidt H. J Non-Cryst Solids, 1983, 63, 283~292.
- [20] Mark J E, Tang M Y. Macromolecules, 1984, 17, 2616~2619.

(下转第 112 页)

Research Progress in Magnetic Resin Matrix Composites

HUANG Li, ZHENG Yi-ni, LI Xiao-yu^{*}, ZHANG Jin-sheng

(*Department of Material Science and Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China*)

Abstract: The recent research progresses in magnetic resin matrix composites were reviewed in this article. The magnetic resin matrix composites were classified into three kinds: bonded permanent magnet, magnetic polymer microspheres and magnetic ion exchange resins. These three aspects were related.

Key words: Magnetic resin matrix composites; Bonded permanent magnet; Magnetic polymer microspheres; Magnetic ion exchange resins

(上接第 104 页)

- [21] Brennan A B, Wilkes G L. *Polymer*, 1991, 32, 733~739.
- [22] Girard-Reydet E, Lam T M, et al. *Macromol Chem Phys*, 1994, 195, 149~157.
- [23] Novak B M. *Adv Mater*, 1993, 5, 422~429.
- [24] Sungtaek K, Sung H H, Chul R et al. *Polymer*, 2001, 42, 879~887.
- [25] Joseph R, Zhang S, et al. *Macromolecules*, 1996, 29, 1305~1312.
- [26] Ying G H, et al. *J Appl Polym Sci*, 2000, 78, 1179~1190.
- [27] Okada A, Kawasumi M, et al. *Polym Prepr*, 1987, 28, 447~448.
- [28] Kornmann X, Lindberg H, et al. *Polymer*, 2000, 42, 1303~1310.
- [29] Ole B, Russell V, et al. *Polymer*, 2002, 43, 4365~4373.
- [30] 中原佳子, 田中裕子. *色材*, 1988, 61(9), 488~492.
- [31] 胡幼华, 等. *高分子材料科学与工程*, 2003, 19(2), 29~33.

Application of Inorganic Nano-particals in Epoxy Resin Toughening

ZHANG Xiao-hua, XU Wei-jian

(*Institute of Chemistry and Chemical Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China*)

Abstract: Application of inorganic nano-particals in modifying polymer becomes a hot topic due to the superior composite properties of polymer nanocomposites. In this paper, the types of nano-particals utilized in epoxy resin toughening, the preparation methods of epoxy/nanocomposites and their application are reviewed.

Key words: Inorganic nano-particals; Epoxy resin; Toughening