

超高分子量聚乙烯基复合材料导热性能研究

林凌剑, 盖国胜, 杨玉芬

(清华大学 材料科学与工程系, 北京 100084)

摘要:采用纳米铜作为子颗粒,利用颗粒复合化系统,以机械冲击的方法将纳米铜颗粒嵌入式包覆于超高分子量聚乙烯颗粒(UHMWPE)表面,利用热压成型技术制备导热型复合材料。采用导热系数测定仪测试其导热系数,分析纳米铜添加量对导热效果的影响。结果表明:在相同的实验条件下,当纳米铜添加质量分数为 6.8% 时,复合材料的导热系数达到了 0.85 W/(m·K),比纯 UHMWPE 提高了 124%。

关键词:超高分子量聚乙烯;纳米粒子;复合材料;导热性能

中图分类号:TQ325.1 **文献标志码:**A

文章编号:1008-5548(2010)06-0033-03

Research on Thermal Conductivity of Ultra-high Molecular Weight Polyethylene Composites

Lin Lingjian, Gai Guosheng, Yang Yufen

(Department of Materials Science and Engineering, Tsinghua University,
Beijing 100084, China)

Abstract: The nano-sized copper (Cu) particles with high thermal conductivity was added in ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE). Using the particles composite system (PCS), the surfaces of UHMWPE particles were coated with nano-sized copper (Cu) particles by mechanical impact. The heat conducting composite materials were prepared by heat compression molding. The thermal conductivities of different nano-composites were measured by heat conductive instrument. The influences of different nano-sized copper (Cu) particles contents on thermal conductivity were analyzed. The results showed that the thermal conductivity of UHMWPE nano-composites was advanced by 124%. It was 0.85 W/(m·K), when the mass ratio of 6.8% nano-sized copper (Cu) particles was added under the identical experimental conditions.

Key words: ultra-high molecular weight polyethylene; nano-sized particles; composites; thermal conductivity

超高分子量聚乙烯(UHMWPE)是一种具有优异性能的热塑性工程塑料,具有良好的耐磨性、耐冲击

性、耐化学性等物化性能^[1-2]。但其强度低,导热系数小,使用温度范围窄^[3],85℃左右就会发生热变形,使用温度一般不超过 100℃,这些远不能满足某些工程领域的需要。因此往往需要通过物理或化学方法对 UHMWPE 进行改性处理,以提高其强度或导热系数。目前 UHMWPE 基复合材料的力学性能和成型加工等方面的改性研究^[4-6]已取得很大的进展,而关于其导热性能的改性研究较少,薛俊^[2]等用经偶联剂处理的金属铜粉改性 UHMWPE 复合材料,导热系数比纯 UHMWPE 提升了约 34.3%。

颗粒复合化系统(PCS)是采用干式、机械方法对微粒子进行复合,制备具有某种特性的复合粉体。该系统利用高速运动的转子产生的高速气流携带粒子作高速运动,在强冲击力作用下,在短时间内由于母颗粒塑性变形使子颗粒嵌入颗粒表面,在机械力化学作用下,局部温升导致子颗粒与母颗粒之间产生化学键合作用,从而使子颗粒牢牢粘附于母颗粒表面,形成牢固的复合粒子。在复合化的同时可以完成对不规则颗粒的球形化。调整操作参数可实现颗粒的连续(子颗粒间无间隙)或不连续(子颗粒间有一定间隙)的包覆^[7]。该处理过程中不使用任何溶剂,后续产品也无须干燥。该系统可用于各种粉体的交叉组合,制备高附加值功能性复合颗粒。

本文中选用纳米 Cu 粉对 UHMWPE 进行复合改性,研究纳米 Cu 粒子在 UHMWPE 颗粒表面的包覆效果,以及复合材料的导热系数与 Cu 粒子添加量的关系。

1 原料和设备

原料:超高分子量聚乙烯(UHMWPE),北京助剂二厂,粒度小于 830 μm,相对分子质量为 400 万;纳米铜粉,北京纳辰纳米材料公司,平均粒度 50 nm。

颗粒复合化系统(PCS)是我国自主知识产权技术,由清华大学粉体工程研究室在国内最早开发的,现已成功用于复合粒子的制备、粉体的整形。本研究涉及的其他主要设备及仪器有:QLB-50 型平板硫化机,南京橡塑机械有限公司;RTC-C 型导热系数仪,无锡荣华电子仪器制造有限公司;BT-9300H 型激光粒

收稿日期:2010-02-25,修回日期:2010-05-10。

基金项目:国家自然科学基金项目,编号:50974079。

第一作者简介:林凌剑(1986-),男,硕士研究生,主要从事导热复合材料相关方面的研究。E-mail:linlj08@mails.tsinghua.edu.cn。

通信作者:盖国胜(1958-),男,博士,教授,主要从事粉体技术方面的相关研究。电话:010-62771473,E-mail:gaigs@tsinghua.edu.cn。

度仪, 丹东市百特仪器有限公司; FEI Quanta 200F 型场发射扫描电子显微镜, FEI 公司。

2 结果与讨论

2.1 制备 UHMWPE 基复合材料粉体

根据 PCS 的技术特点, 理论上按式(1)确定母颗粒和子颗粒的混合比(假定母颗粒与子颗粒均为球形颗粒)^[8]:

$$Z = \rho' d'^3 / 4 \rho'' d'' d^2, \quad (1)$$

式中: Z 为母颗粒与子颗粒最佳理论质量比; ρ' 为母颗粒密度; d' 为母颗粒平均直径; ρ'' 为子颗粒密度; d'' 为子颗粒平均直径; d 未改性后复合颗粒平均直径。

由激光粒度仪测得超高分子量聚乙烯的平均粒径为 140 μm , 厂家提供的纳米 Cu 粉平均粒径为 0.05 μm , 纳米 Cu 粉的相对密度为 8.96 g/cm^3 , UHMWPE 的相对密度为 0.94 g/cm^3 。将以上数据代入式(1), 预测本实验理论上所需的 UHMWPE 与纳米 Cu 粉的质量比

为 75 : 1, 即纳米铜粉的质量分数为 1.3%, UHMWPE 的质量分数为 98.7%。由于这只是在单层包覆下的理想状态, 为了便于对比, 在同样的实验条件下将进行 7 组不同配比的实验, 即 Cu 的质量分数分别为 1.3%、2.3%、3.3%、3.8%、4.3%、4.8%、6.8%。

称取不同配比的纳米 Cu 粉和 UHMWPE 共 200 g, 投入 PCS 中, 设转子转速为 4 000 r/min , 处理 15 min, 采用氩气作为保护气氛以避免纳米 Cu 粉的氧化, 制得复合粉体。

2.2 模压制备片状复合材料

采用平板硫化机对样品进行模压固化制备薄片。UHMWPE 基复合粉体每模 8 g, 在 7.5 MPa、210 $^{\circ}\text{C}$ 条件下进行模压, 保温保压 30 min, 并自然冷却到 40 $^{\circ}\text{C}$ 以下。

2.3 微观形貌表征

将复合粉体置于场发射扫描电镜下观察, 其图像如图 1 所示。由于纳米 Cu 颗粒过小, 只能在倍数较高的条件下观察复合颗粒表面的局部形貌。可以看出:

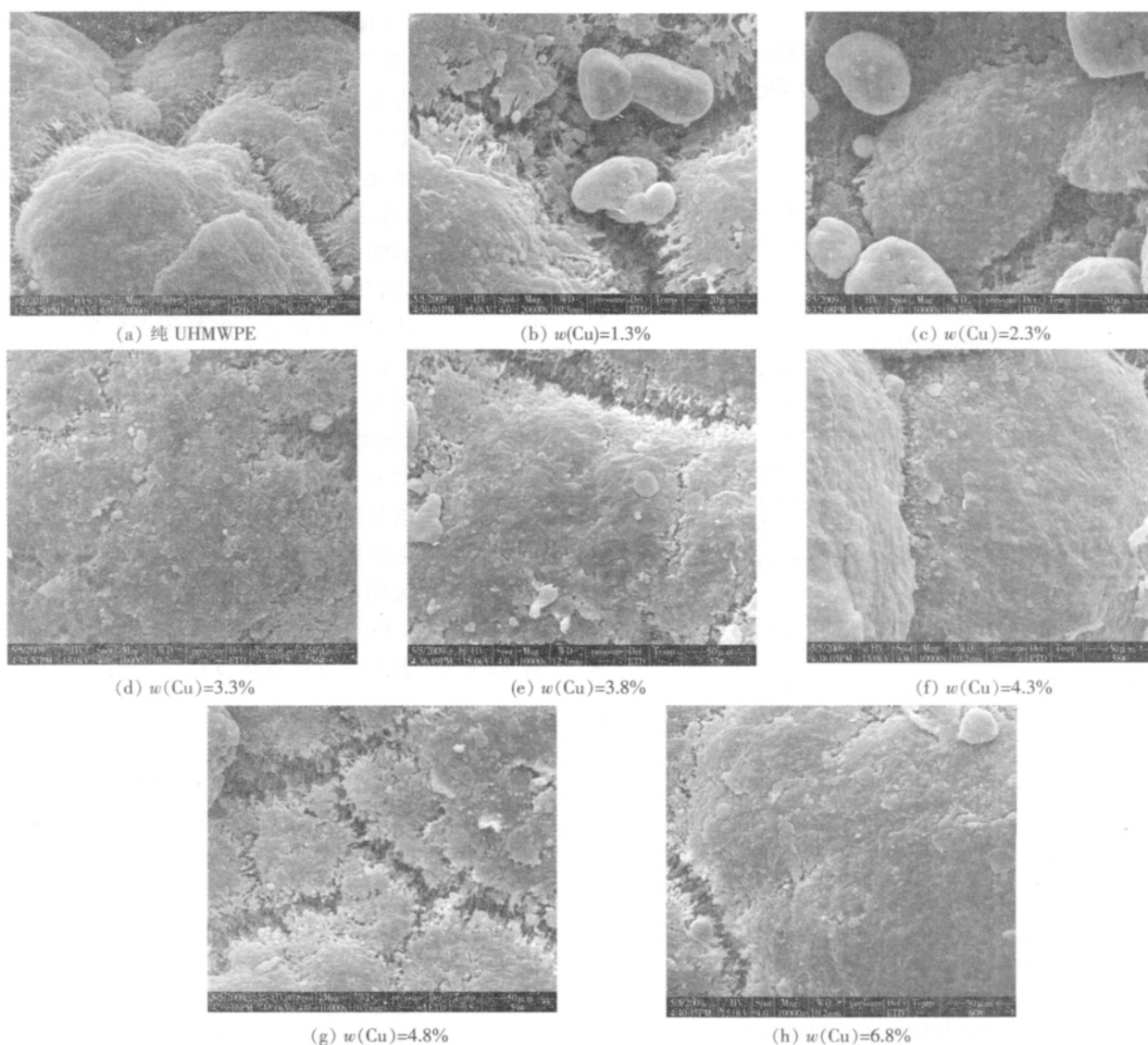


图 1 纳米 Cu 粉包覆 UHMWPE 颗粒的场发射扫描电镜图像

Fig.1 FESEM images of UHMWPE particles coated by Cu nano-particles

UHMWPE 颗粒表面包覆了细小的纳米 Cu 颗粒,当纳米 Cu 的质量分数达到 4.3%时,UHMWPE 颗粒表面被完全包覆,部分区域甚至已出现多层包覆,继续增加纳米 Cu 粉含量,微观形貌并无明显变化。因此,利用 PCS 能够实现纳米 Cu 颗粒在 UHMWPE 颗粒表面的良好的包覆效果。

2.4 导热系数

利用导热系数仪测量复合样品薄片的导热系数,测量结果分别如表 1 和图 2 所示。可以看出:1)随着纳米 Cu 粉含量的增加,复合材料的导热系数明显提高,导热曲线呈现类似于“S”型图样;2)当纳米 Cu 粉质量分数为 1.3%时,复合材料的导热系数从初始的 0.38 W/(m·K)增加到 0.54 W/(m·K),提高了约 42%,这是因为利用 PCS 实现导热性能良好的纳米 Cu 粉在 UHMWPE 颗粒表面包覆,纳米 Cu 粉可以在 UHMW-

PE 基体中形成三维导通网络结构,提高了复合材料的导热性能;3)随着纳米 Cu 粉含量的增加,复合材料的导热系数平缓增加,当质量分数为 4.3%时,复合材料的导热系数大幅增加,导热系数为 0.83 W/(m·K),提高了约 118%,继续增加 Cu 质量分数至 6.8%时,导热系数为 0.85 W/(m·K),提高了约 124%,但与添加量 4.3%相比增幅已不明显;4)在 PCS 冲击作用下,纳米 Cu 粒子在 UHMWPE 颗粒表面包覆均匀,出现导通的 Cu 相,即形成导热网络,这从根本上提高了复合材料的导热性能。

3 结论

1)采用颗粒复合化系统的机械冲击处理工艺,使子颗粒包覆在母颗粒表面,得到核壳型的复合粉体。模压成片后形成的导通网络,使得在较少添加量的条件下获得较高的导热系数。

2)在超高分子量聚乙烯基复合材料中,当纳米 Cu 粉的质量分数为 1.3%时,由于纳米 Cu 颗粒含量少,尚未形成完善的导通网络,导热系数提高了 42%。继续增加纳米 Cu 粉含量,实现完全包覆甚至多层包覆时,形成完整的导通网络,导热系数大幅提高。

表 1 不同 Cu 含量的 UHMWPE 基复合材料的导热系数
Tab.1 Thermal conductivity of UHMWPE composites with different contents of Cu nano-particles

编号	1	2	3	4	5	6	7	8
w(Cu)/%	0	1.3	2.3	3.3	3.8	4.3	4.8	6.8
导热系数 λ/ (W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)	0.38	0.54	0.62	0.66	0.74	0.83	0.83	0.85
[(λ _i -λ ₁)/λ ₁]/%	0	42	63	74	95	118	118	124

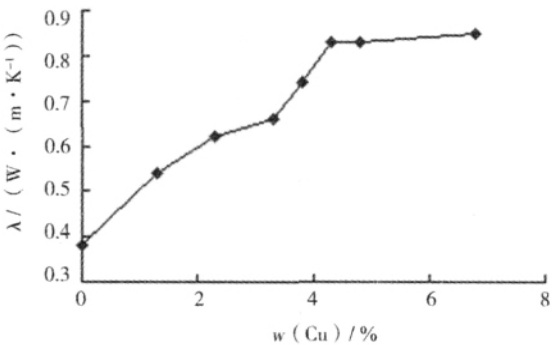


图 2 纳米 Cu 粉含量与复合材料导热系数的关系
Fig.2 Relationship between Cu nano-particles contents and thermal conductivity of UHMWPE composites

参考文献(References):

[1] 赵安赤,陈民. 超高分子量聚乙烯加工的高新技术[J]. 塑料科技, 1997(6): 13-15
[2] 薛俊,陈树存,唐浩奎,等. 超高分子量聚乙烯填料改性的研究[J]. 科技创新导报, 2007(36): 5-7
[3] 王承鹤. 塑料摩擦学——塑料的摩擦,磨损,润滑理论与实践[M]. 北京: 机械工业出版社, 1994
[4] 雷毅,郭建良. 超高分子量聚乙烯的流动改性研究进展[J]. 工程塑料应用, 2005, 33(4): 70-72
[5] 何春霞. 超高分子量聚乙烯及其纳米 Al₂O₃ 填充复合材料摩擦磨损性能研究[J]. 摩擦学学报, 2002, 22(1): 32-35
[6] 仵锋锋,曹平,万琳辉. 超高分子量聚乙烯的力学性能研究及其应用[J]. 金属矿山, 2007(11): 135-136
[7] 谷元. 粉体表面改性技术及其应用[J]. 化工进展, 1994 (1): 33-39

欢迎订阅2011 年《非金属矿开发与应用》杂志

《非金属矿开发与应用》杂志是国家新闻出版署批准出版,由建材工业技术情报研究所、全国非金属矿情报信息网主办的目前国内唯一一本以非金属矿开发利用技术、市场信息为主的信息类刊物。主要栏目有:决策参考、开发利用、新产品新技术、市场动态、非矿价格、进出口数据统计、国外非矿、外企动向、综合信息、为您服务、供求信息等。杂志内容丰富,每期均刊有大量的第一手国内与国外非金属矿技术和市场信息,所刊信息力求快、精、准,已成国内企业和科研院所及有关单位和人员了解国内及国际非金属矿技术与市场信息的一个窗口,深受企业家和科技人员等广大读者的欢迎,已成为从事非金属矿行业有关同仁的得力助手和参谋。

《非金属矿开发与应用》杂志主要发行对象是从事非金属矿的开采、加工生产单位,从事非金属矿研究设计的科研院所、大专院校,非金属矿产品的用户单位,非金属矿开采、加工设备的厂商以及非金属矿产品的经营贸易公司等。

《非金属矿开发与应用》杂志为大 16 开本,正文内容为 56 页码。本刊为双月刊,逢双月出版,全年定价 120 元(含邮费)。

欢迎订阅! 欢迎刊登广告!
本刊地址:北京朝阳区管庄东里甲 1 号建材情报所《非金属矿开发与应用》编辑部
邮编:100024
电话:(010)65748832、51164634
传真:(010)65748832
广告联系人:吴小媛 手机:(0)13651286930