

研究简报

微胶囊碳酸氢钠合成工艺及热分解特性的研究

熊 鹏¹, 罗 丹¹, 裴响林¹, 董代强¹, 付 海¹, 何 力^{2*}, 龚 维^{1,2*}

(1. 贵州师范大学 材料与建筑工程学院, 贵阳 550025;

2. 国家复合改性聚合物材料工程技术研究中心, 贵阳 550014)

摘要:利用环氧树脂(EP)对碳酸氢钠(SB)进行包覆合成微胶囊碳酸氢钠,通过红外光谱仪(FTIR)、扫描电子显微镜(SEM)、差示扫描量热计(DSC)和热重分析仪(TG)等表征手段,分析了合成反应温度、环氧树脂与碳酸氢钠的质量比对微胶囊碳酸氢钠的结构、表面形貌特征以及热分解特性的影响。结果表明:当反应温度为70℃,环氧树脂与碳酸氢钠的质量比为1:5时,碳酸氢钠的改性效果较理想,表面形貌比较规整,起始分解温度由118℃提高至154.9℃,分解温度区间从46.3℃缩短到24.8℃;使用微胶囊碳酸氢钠制备的微发泡聚丙烯材料,发泡质量较理想。

关键词:碳酸氢钠;微胶囊;环氧树脂;分解温度

在工业化日益发展的今天,发泡材料因其多孔结构及轻量化、冲击韧性好、比强度高且具备缓冲、隔热、吸音等性能而广泛应用于建筑、包装、汽车、家电、组织支架、交通等领域^[1~4]。发泡剂作为发泡材料制备过程中的重要助剂,对材料的发泡效果起到了至关重要的作用。无机发泡剂中的碳酸盐类环保、使用安全、吸热分解效果好、扩散速度快^[5]。碳酸氢钠作为典型的无机吸热型发泡剂,因其具有发气量大,原料易得,价格低廉等优点得到了较为广泛的应用^[6,7]。但是碳酸氢钠发泡剂的分解温度低、分解温度范围宽,就导致其适用性不强,且不利于形成均匀细小的泡孔^[8]。因此,对碳酸氢钠进行改性研究成为了一个热点话题。

目前,碳酸氢钠的改性有学者做了相关研究。Zhang等^[6]研究了不同改性剂对碳酸氢钠热分解效应的影响,发现处理后样品的起始分解温度、最高分解温度、终止分解温度均有不同的提高,而且发泡温度范围明显变窄。Yao等^[7]用柠檬酸作为改性剂,使用溶液包覆法改性碳酸氢钠。改性后碳酸氢钠的初始分解温度由112.6℃提高到146.9℃,吸热峰温度由150.5℃提高到165.9℃,分解温度范围由56.2℃缩小到31.5℃。曹贤武等^[8]使用硬脂酸、芥酸酰胺等5种改性剂对碳酸氢钠进行改性。他们发现:不同的改性剂和包覆方法对其热分解特性的提升作用不同,其中使用硬脂酸熔融包覆的改性效果最好,当碳酸氢钠与硬脂酸的质量比为1:0.5时,起始分解温度由115℃提高至178℃,分解区间由61℃缩短至25℃。

杨贵昌等^[9]使用芥酸酰胺和硬脂酸锌改性碳酸氢钠。结果表明:使用芥酸酰胺和硬脂酸锌改性后,碳酸氢钠发泡剂的分解温度可以从76℃提高至131℃,分解温度区间从76~90℃拓宽至131~204℃。以上研究都对碳酸氢钠进行了改性,均能使碳酸氢钠分解温度和分解区间发生一定的改变。但是他们大多采用有机酸对碳酸氢钠进行改性,成果处于实验室阶段,对扩宽碳酸氢钠的使用范围存在一定的局限性。如果能够给碳酸氢钠涂布一层隔热的环氧树脂,使其形成“核-壳”结构的微胶囊碳酸氢钠,在微胶囊

10.14028/j.cnki.1003-3726.2021.02.005

收稿:2019-11-13;修回:2020-12-02;

基金项目:贵州省百层次人才项目黔科合人才([2016] 5673号),黔科服企([2018]4010号),大学生创新计划项目(201810663013111),省级教改项目([2018]SJG第11号);

作者简介:熊鹏(1996-),男,学士,研究方向为高分子材料。E-mail:2209092497@qq.com;

* 通讯联系人:龚维,教授,E-mail: gw20030501@163.com;何力,教授,E-mail: prcheli@163.com.

结构中环氧树脂起到了包覆绝热的作用。由于包覆层环氧树脂的阻隔作用,碳酸氢钠需要更高的温度才能分解,分解区间也因此变窄,对于聚合物材料发泡具有一定促进作用。

本文采用环氧树脂对碳酸氢钠进行原位聚合包覆制备了微胶囊碳酸氢钠,探究了反应温度、环氧树脂和碳酸氢钠的质量比对微胶囊碳酸氢钠形貌和热分解特性的影响,获得理想的改性碳酸氢钠,为发泡聚合物材料开发提供指导。

1 实验部分

1.1 主要原料

碳酸氢钠,分析纯,阿拉丁试剂有限公司;环氧树脂,E51,阿拉丁试剂有限公司;无水乙醇,分析纯,天津大茂化学试剂厂;石油醚,分析纯,天津市富宇精细化工有限公司;十二烷基苯磺酸钠,分析纯,阿拉丁试剂有限公司;三亚乙基四胺,分析纯,阿拉丁试剂有限公司;2-4-6-三(二甲氨基甲基)苯酚,分析纯,麦克林试剂公司。

1.2 样品制备

1.2.1 微胶囊碳酸氢钠的制备 将碳酸氢钠干燥、球磨,并用标准筛子选出 200 目的碳酸氢钠备用。按表 1 的配比,称取适量的环氧树脂于三口烧瓶中,并加入 100mL 无水乙醇溶剂,于超声波清洗机(SB-800 DTD,宁波新芝生物科技股份有限公司)超声作用下使其充分溶解,加入适量的碳酸氢钠,室温反应 10min,加入固化剂三亚乙基四胺(10%(wt))和分散剂十二烷基苯磺酸钠(10%(wt)),室温下继续搅拌 30min 后,使其分散均匀,加热到 70℃恒温反应 8h 后。取样,抽滤,用无水乙醇和蒸馏水各清洗 3 次,置于干燥烘箱中 48h 后,即可得到微胶囊碳酸氢钠。

表 1 各种样品配比
Table 1 Various sample proportions

编号	EP : SB	EP 质量/g	SB 质量/g	固化剂/g	分散剂/g
A1	1 : 1	1	1	0.1	0.1
A2	1 : 3	1	3	0.3	0.3
A3	1 : 5	1	5	0.5	0.5
A4	1 : 7	1	7	0.7	0.7
A5	1 : 9	1	9	0.9	0.9

1.2.2 聚丙烯发泡材料的的制备 将碳酸氢钠和微胶囊碳酸氢钠与 PP 材料以质量比 15 : 85 的比例混合均匀后,于注塑成型机(BT80V-11 型,博创股份有限公司)中进行二次开模注塑发泡,其注塑工艺为:温度分别为 190℃、189℃、186℃、184℃,速度 95%,压力 40MPa,时间 35s,制备得到哑铃状的 PP 发泡材料。

1.3 测试与表征

1.3.1 DSC 测试 取 5mg~10mg 的 SB 和 EP@SB 样品,于差示扫描量热仪(Q10 型,美国 Perkin-Elmer 公司),在氮气气氛下,以升温速率为 10℃/min 升温到 40℃,恒温 10min,再升温到 300℃。

1.3.2 TG 测试 取 5mg~10mg 的 SB 和 EP@SB 样品,于热重分析仪(Q10 型,美国 Perkin-Elmer 公司),在氮气气氛下,以升温速率为 10℃/min 升温到 40℃,恒温 10min,再升温到 600℃。

1.3.3 微观形貌表征 取少量干燥好的 SB 和 EP@SB 样品均匀涂在导电胶上,进行喷金处理,置于扫描电镜(KYKY-EM6200,北京中科技仪股份有限公司)中进行微观形貌表征。

1.3.4 比表面测试 以氮气为吸附质,采用 BET 吸附理论的静态容量法测定 SB 和 EP@SB 样品的比表面积,并根据所得数据计算作图。

1.3.5 泡孔结构表征 将微胶囊碳酸氢钠发泡 PP 材料用液氮冷却并脆断,然后在断口处作喷金处理,最后置于扫描电镜(KYKY-EM6200,北京中科技仪股份有限公司)中进行泡孔结构观察,拍下不同倍数照片。

2 结果分析

2.1 微胶囊碳酸氢钠合成工艺中反应温度的影响

图 1 是合成微胶囊碳酸氢钠反应温度的影响曲线。由图 1(a)示出,随着合成反应温度的升高,合成微胶囊碳酸氢钠的反应时间逐渐缩短。当环氧树脂的固化温度为 40℃时,反应时间为 12h;反应温度为 70℃时,反应时间减小到 7h;继续升高温度到达 80℃,反应时间变为 6h。说明了合成反应温度的提高有利于加快环氧树脂和固化剂的聚合反应速率,减少反应时间。由图 1(b)可知,在合成温度为 40℃~70℃条件下,通过环氧树脂改性的碳酸氢钠分解温度都有明显的提高,失重率约为 28%,热重分析表明微胶囊碳酸氢钠可以有效提升其分解温度^[10]。当合成温度为 80℃时,虽然碳酸氢钠的分解温度高,但是其失重率却仅为 4%,其原因可能是一方面高温下碳酸氢钠发生分解,导致其含量减少;另一方面也有可能是环氧树脂发生了降解^[10]。合成温度为 40℃、50℃、60℃时反应的时间较长,分解温度提高的效果不理想。因此,在合成温度为 70℃时,微胶囊碳酸氢钠的改性效果较理想。

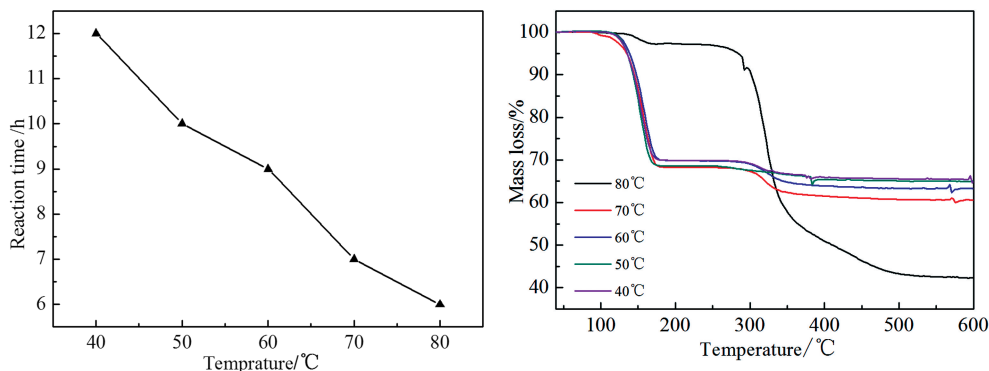


图 1 合成反应温度的影响曲线

(a) 合成温度与固化时间曲线;(b) 不同合成温度微胶囊碳酸氢钠的 TG 曲线

Figure 1 Influence curve of reaction temperature

(a) Curve of synthesis temperature and curing time; (b) TG curves of microcapsule sodium bicarbonate at different temperatures

2.2 微胶囊碳酸氢钠热分解特性的分析

2.2.1 EP@SB 和 SB 的 DSC 分析 图 2 是微胶囊碳酸氢钠的 DSC 曲线。结合图 2 和表 2 可知,纯碳酸氢钠起始分解温度 T_0 为 117℃,最大吸热峰温度 T_p 为 153.4℃,终止分解温度 T_f 为 199.7℃,分解区间 ΔT 为 82.7℃。当 EP:SB=1:1 时,初始分解温度 T_0 为 120.1℃,吸热峰峰值温度 T_p 为 159.4℃,微胶囊分解区间缩短至 76.6℃;当 EP:SB=1:3 时分解温度增加到 122.0℃,吸热峰峰值温度为 161.3℃,微胶囊分解区间缩短到 72.8℃。此时合成的效果并不理想,主要是环氧树脂自交联现象严重,导致在碳酸钠表面包覆得不均匀。当 EP:SB=1:5 时,起始分解温度 T_0 升高至 153.5℃,吸热峰峰值温度为 170.5℃,微胶囊分解区间 ΔT 为 40.4℃。此时,起始分解温度 T_0 较之纯碳酸氢钠升高了 36.5℃;而最大吸热峰温度 T_p 则升高了 17.1℃,分解区间缩短了 42.3℃。环氧的包覆效果较理想,分解温度提高明显,主要是碳酸氢钠表面的环氧层分布均匀,外层分解放热后,由于热传递作用内层吸收热量,使得内层的吸热温度增加,分解温度提高^[11]。当 EP:SB 的重量百分比分别为 1:7、1:9 时,随着环氧树脂占比的减少,包覆量减少使得部分碳酸氢钠裸露在外,导致起始分解温度提高效果不好,吸热峰温度增加较少。因此,环氧树脂与碳酸氢钠的质量比为 1:5 时,合成的微胶囊碳酸氢钠的热分解特性较理想。

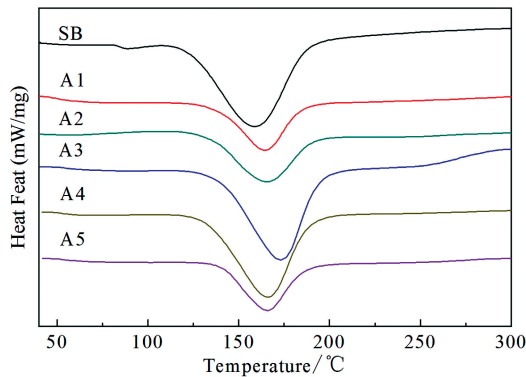


图 2 微胶囊碳酸氢钠的 DSC 曲线

Figure 2 DSC curve of microcapsule sodium bicarbonate

表 2 微胶囊碳酸氢钠的 DSC 数据

Table 2 DSC data of microcapsule sodium bicarbonate

样品	EP : SB	$T_0/^\circ\text{C}$	$T_p/^\circ\text{C}$	$T_f/^\circ\text{C}$	$\Delta T/^\circ\text{C}$
SB	—	117	153.4	199.7	82.7
A1	1 : 1	120.1	159.4	195.7	76.6
A2	1 : 3	122.0	161.3	194.8	72.8
A3	1 : 5	153.5	170.5	193.9	40.4
A4	1 : 7	135.0	156.4	193.8	68.8
A5	1 : 9	130.1	157.4	194.8	76.7

2.2.2 EP@SB 和 SB 的 TG 分析 图 3 是微胶囊碳酸氢钠的 TG 曲线,表 3 是微胶囊碳酸氢钠的 TG 热力学参数。由图 3 可知纯碳酸氢钠的起始分解温度 T_0 为 118°C ,终止分解温度 T_f 为 164.3°C ,分解的温度区间 ΔT 为 46.3°C ,失重率 L 为 31.4% ;当 EP : SB=1 : 1 时,起始分解温度 T_0 提升至 126.6°C ,终止分解温度 T_f 也随之提升为 167.6°C ,而分解温度区间 ΔT 则缩短为 41°C ,质量损失仅为 29.5% 。当 EP : SB=1 : 3 时,微胶囊碳酸氢钠的分解温度与纯碳酸氢钠相比提高了 15.5°C ,分解温度减小了 6.1°C 。环氧树脂改性碳酸氢钠的效果并不明显,可能是由于环氧树脂的量过多,在溶液中的交联密度大,少部分附在碳酸氢钠的壁上,导致其改性效果不明显。当 EP : SB 为 1 : 5 时,微胶囊碳酸氢钠的起始分解温度由 118°C 提高至 154.9°C ,提高了 36.9°C ;温度区间由 46.3°C 缩短到 24.8°C ,缩短了 21.5°C ;质量损失为 32.1% 。其改性的效果较显著,说明此时环氧树脂刚好均匀的包覆在碳酸氢钠表面,在环氧树脂的绝热作用下使碳酸氢钠的分解温度提高,受包覆层阻隔作用的影响使得碳酸氢钠的分解温度区间变窄。当环氧树脂与碳酸氢钠质量比分别为 1 : 7、1 : 9 时,微胶囊碳酸氢钠的起始分解温度分别提高了 14.7°C 、 9.1°C ,分解温度区间减小了 7.9°C 、 7.2°C ,说明质量比为 1 : 7、1 : 9 时改性的效果不是很理想,主要是由于碳酸氢钠的量过多,环氧树脂的量较少,导致环氧包覆层分布不均匀影响了其包覆效果。因此,环氧树脂和碳酸氢钠的质量比为 1 : 5 时,微胶囊碳酸氢钠的热分解特性改变较显著,改性效果较理想。

将图 3 的 TG 和图 2 的 DSC 曲线对比可以得出:EP 与 SB 的同一质量比测得的 TG 失重温度范围与 DSC 吸热温度范围基本相近,但是观察到多数 TG 曲线测得的起始失重温度一般要比 DSC 曲线测得的起始吸热温度要高一些,这可能是因为一方面气体的溢出要略迟于分解吸热反应,另一方面由于改性剂的包覆作用使其在热分解较为缓慢的初期抑制了气体的溢出^[8]。由热重数据分析可知环氧树脂的包覆可以有效提升碳酸氢钠的分解温度,缩短分解区间。

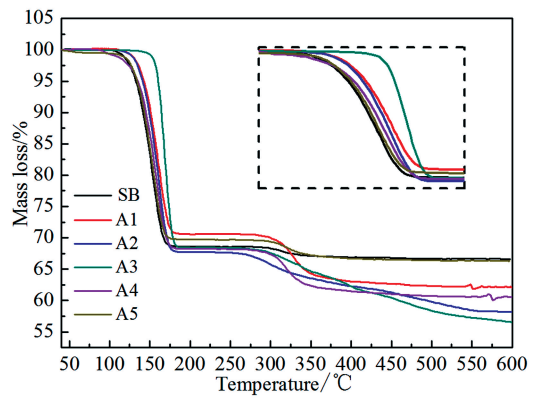


图 3 微胶囊碳酸氢钠的 TG 曲线

Figure 3 TG curve of microcapsule sodium bicarbonate

表 3 微胶囊碳酸氢钠的 TG 热力学参数

Table 3 TG thermodynamic parameters of microcapsule sodium bicarbonate

样品	EP : SB	$T_0/^\circ\text{C}$	$T_i/^\circ\text{C}$	$\Delta T/^\circ\text{C}$	$L/\%$
SB	—	118	164.3	46.3	31.4
A1	1 : 1	126.6	167.6	41	29.5
A2	1 : 3	133.5	173.7	40.2	32.4
A3	1 : 5	154.9	179.7	24.8	32.1
A4	1 : 7	132.7	171.1	38.4	32.3
A5	1 : 9	127.1	166.8	39.7	30.4

2.3 微胶囊碳酸氢钠形貌的分析

图 4 为环氧树脂包覆改性前后碳酸氢钠的微观形貌图。从图 4(a)中可知,碳酸氢钠粒子表面极为粗糙,不仅有类似毛刺的突起物,而且表面的棱角也比较尖锐^[11~14]。图 4(b)经环氧改性后的微胶囊碳酸氢钠,表面更加光滑明亮,棱角也变得圆滑了许多,形貌较规整,规则的碳酸氢钠表面形貌特征将有利于提高其在发泡体系材料中的分散性,从而改善发泡材料中泡孔的均匀性,进一步改善发泡质量(如图 6 所示)。

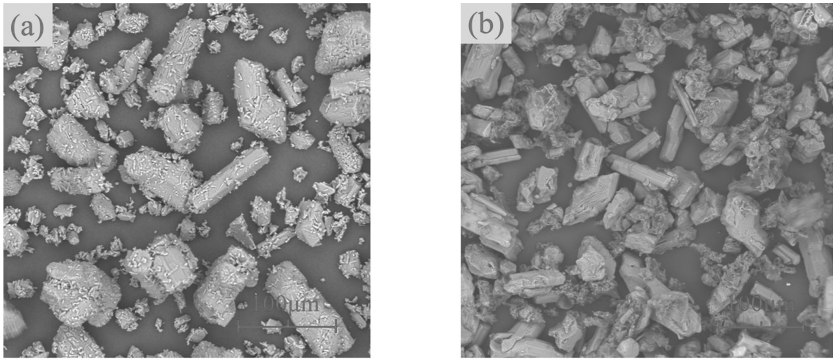


图 4 SB 和 EP@SB 的 SEM 照片

(a) 纯 SB; (b) 微胶囊 SB

Figure 4 SEM photos of SB and EP@SB

(a) Pure SB; (b) Microcapsule SB

2.4 微胶囊碳酸氢钠比表面的分析

图 5(a)为碳酸氢钠的等温吸附曲线,其中比表面积根据等温吸附曲线和 BET 方程计算得出。由图 5(b)可知,碳酸氢钠的比表面积为 $1.59\text{m}^2/\text{g}$,比表面积较小。其原因是粒子之间通过相互吸引的方式来降低表面能,使得粒子之间发生严重的团聚现象,分散性差,使得比表面积较小^[15]。当质量比 EP : SB=1 : 1 时,比表面积为 $1.34\text{m}^2/\text{g}$,此时碳酸氢钠的比表面积较小,体系的分散有所改善。质量比 EP : SB=1 : 3 时,比表面积上升至 $3.67\text{m}^2/\text{g}$,这是因为改性后的碳酸氢钠表面包覆了一层环氧树脂,从而使其和别的物质可以很好的相容,能够较好的分散。当 EP : SB=1 : 5 时,比表面积最高为 $5.43\text{m}^2/\text{g}$,改性后碳酸氢钠粒子由于表面包覆了一层环氧树脂从而降低了其表面能,使得粒子处于稳定状态,颗粒之间较为分散,比表面积有所增大^[16]。当 EP : SB=1 : 7 和 EP : SB=1 : 9 时,比表面积分别为 $3.10\text{m}^2/\text{g}$ 和 $3.27\text{m}^2/\text{g}$,此时比表面积的变化是由于环氧树脂质量占比减少,存在碳酸氢钠裸露未被包覆所导致。经分析可知 EP : SB=1 : 5 时,微胶囊碳酸氢钠的比表面积最大,添加到聚合物材料中分散性能较好,用于发泡时提升了泡孔的均匀程度和泡孔密度,从而改善了发泡质量。

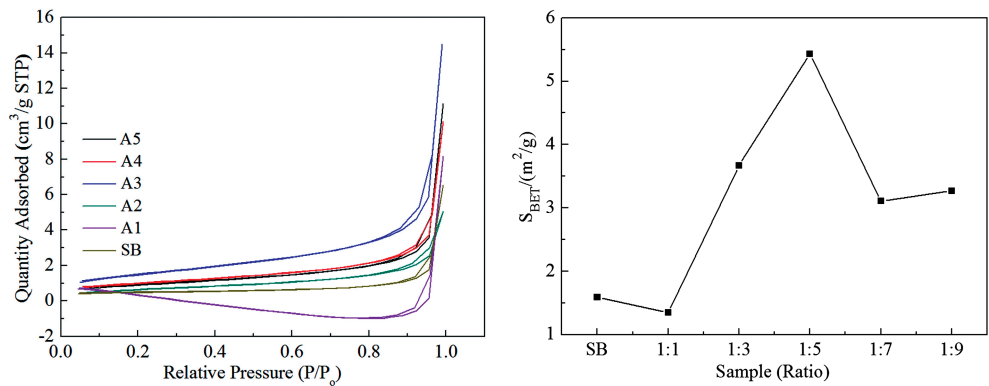


图 5 微胶囊碳酸氢钠的比表面分析
(a) 等温吸附曲线;(b) 比表面积

Figure 5 Specific surface analysis of microcapsule sodium bicarbonate:
(a) Isotherm adsorption curve;(b) Specific surface area

2.5 微胶囊碳酸氢钠在聚丙烯中发泡质量的分析

图 6 是碳酸氢钠在 PP 材料中发泡的泡孔结构图。由图 6(a)能够明显观察到 PP 发泡材料的泡孔孔径较大、形状不规则、分布不均匀,有合并泡孔、泡孔塌陷的现象。这是由于纯碳酸氢钠的分解温度过低、分解区间过窄,导致碳酸氢钠受热瞬间分解并产生大量气体,泡孔内气体压力大于 PP 材料表面张力而产生的泡孔破裂或并泡。而图 6(b)是改性碳酸氢钠发泡的泡孔结构,可以看出发泡质量得到了极大改善,泡孔尺寸较小、泡孔形状比较规则、泡孔分布均匀致密。发泡效果较好,适用于热塑性聚合物材料的发泡。

3 结论

- (1)当反应温度为 70°C ,环氧树脂与碳酸氢钠质量比为 1 : 5 时碳酸氢钠的改性效果较理想,比表面积由 $1.59\text{m}^2/\text{g}$ 增加到 $5.43\text{m}^2/\text{g}$,微胶囊碳酸氢钠在基体材料中的分散性能得到较大的改善,提高发泡聚合物材料的泡孔密度。
- (2)环氧树脂与碳酸氢钠质量比为 1 : 5 时,微胶囊碳酸氢钠的热分解特性较理想,分解温度由 118°C 提高至 154.9°C ,分解温度区间从 46.3°C 缩短到 24.8°C ,用于聚丙烯材料的发泡,气泡孔直径明显减小,泡孔密度增加,发泡质量获得改善。
- (3)环氧树脂包覆改性的微胶囊碳酸氢钠,其表面更加光滑明亮,棱角圆滑,形貌较规整,规则的碳酸

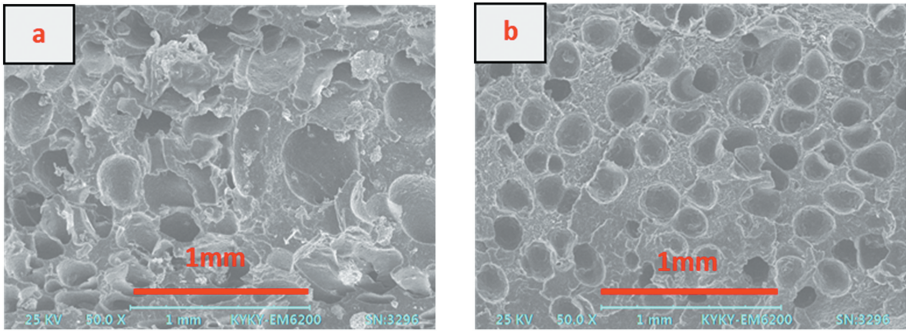


图 6 SB 和 EP@SB 在 PP 材料中发泡的泡孔结构图
(a) 纯 SB 泡孔结构;(b) 微胶囊 SB 泡孔结构

Figure 6 Cellular structure of SB and EP@SB foaming in PP material
(a) Cellular structure of pure SB; (b) Cellular structure of microcapsule SB

氢钠形貌可以提高其在发泡体系材料中的分散性,从而改善发泡材料中泡孔的均匀性及发泡质量。

参考文献：

[1] 刘伟, 庞永艳, 吴明辉, 覃康培, 黄朋科, 刘丽, 郑文革. 高分子通报, 2018, 3:12~23.

[2] 李超, 游峰, 王大威, 刘治田, 蔡雄, 覃卉婷. 高分子通报, 2015, 5:36~42.

[3] 龚维, 李宏, 张纯, 何颖, 何力. 工程塑料应用, 2012, 40(2): 78~82.

[4] 梅泽敏, 何力, 王伟, 尹晓刚, 龚维. 2017, 45(4): 59~63.

[5] 范兰兰, 项庆波, 黄慧姿, 钟硕. 化工管理, 2019,16: 62.

[6] Zhang Z H, Miao R Z, He X D, Lu Z Q. Henan Chem Indus, 2004,5: 19~20.

[7] Yao S J, Zhou Z F, Ye F, Tian Z, Wang S M. Adv Mater Res, 2014,940: 59~62.

[8] 曹贤武, 张轶钧, 伍巍, 吴鹏君. 化工进展, 2012, 31(10):2176~2182.

[9] 杨贵昌, 王灿耀, 易庆锋, 朱国典. 2018,5: 27~34.

[10] 雷麟. 一种环氧包覆碳酸氢钠的制备及其在橡胶配方中的应用. 长沙:湖南师范大学硕士学位论文, 2016.

[11] 刘琳, 张亚楠, 李琳, 王正洲. 高分子材料科学与工程, 2010, 26(9): 136~138.

[12] 姚培, 李树白, 刘洋. 中国塑料, 2017, 31(1): 55~59.

[13] 于守武, 肖淑娟, 赵泽文, 霍晓文, 魏俊富. 化工学报, 2019, 70(6): 2370~2376.

[14] 刘成娟, 陈葵, 纪利俊, 朱家文. 复合材料学报, 2015, 32(3): 728~736.

[15] 邹海魁, 陈建峰, 刘润静, 沈志刚. 中国粉体技术, 2001, 5: 15~19.

[16] 刘立华, 宋云华, 陈建铭, 郭奋. 北京化工大学学报(自然科学版), 2004,3: 31~34.

Study on Synthesis Process and Thermal Decomposition Characteristics of Microcapsule Sodium Bicarbonate

XIONG Peng¹, LUO Dan¹, PEI Xiang-lin¹, DONG Dai-qiang¹, FU Hai¹, HE Li^{2*}, GONG Wei^{1,2*}

(1. College of Materials and Construction Engineering Guizhou Normal University, Guiyang 550025, China;

2. National Engineer Research Center for Compounding and Modification Polymeric Material, Guiyang 550014, China)

Abstract: Using epoxy resin (EP) to coat sodium bicarbonate (SB) to synthesize microcapsule sodium bicarbonate. Through infrared spectroscopy (FTIR), scanning electron microscope (SEM), differential scanning calorimeter (DSC) and thermogravimetric analyzer (TG) and other characterization methods, the synthesis reaction temperature, the quality of epoxy resin and sodium bicarbonate were analyzed the structure, surface morphology and thermal decomposition characteristics of microcapsules sodium bicarbonate. Results show that the reaction temperature is 70°C, the quality of the epoxy resin with sodium bicarbonate ratio of 1 : 5, modification of sodium bicarbonate effect is ideal, the surface morphology is neat, the initial temperature from 118°C to 154.9°C, decomposition temperature range from 46.3°C to 24.8°C. The micro-foamed polypropylene material prepared by using microcapsule sodium bicarbonate has better foaming quality.

Key words: Sodium bicarbonate; Microcapsule; Epoxy resin; Decomposition temperature