

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2020.04.017

铯钨青铜改性 PVC 薄膜隔热和红外线阻隔性能

唐国凤¹, 阳范文¹, 冯泳婷¹, 李荣荣¹, 宋佳奇¹, 陈晓琳¹, 黄鑫¹, 魏悦姿¹,
章喜明¹, 田秀梅¹, 陈晓明¹, 周苗², 邓健能³, 李道斌³

(1. 广州医科大学基础医学院生物医学工程系, 广州 511436; 2. 广州医科大学附属口腔医院, 广州 510500;
3. 南通海珀玛科技股份有限公司, 江苏南通 226017)

摘要:以丙烯酸酯共聚物和铯钨青铜纳米粉体为主要组分, 添加 PVPK-20, D626, K-80, K-92, K-63, K-61 作为分散剂, 采用球磨法制备铯钨青铜浆料, 将其添加在 PVC 中制备具有隔热和红外线阻隔功能的薄膜。系统研究了研磨时间、分散剂种类和用量对铯钨青铜浆料的均一性和稳定性的影响, K-61 的分散效果最好; 在研磨时间相同的情况下, 随着分散剂 K-61 用量的增加, 铯钨青铜浆料的均一性和稳定性逐渐变好, 当其用量超过 4% 时可获得良好的分散效果。在此基础上研究铯钨青铜浆料对 PVC 薄膜隔热和红外线阻隔性能的影响, 在研磨时间相同情况下, 随浆料中 K-61 用量的增加, PVC 薄膜的红外线阻隔率增大, 太阳能总透射比和可见光透射率减小。PVC 中添加 1.3% 的浆料 (K-61 用量为 4%, 研磨 72 h) 所制薄膜在 950 nm, 1400 nm 和全红外波段的红外线阻隔率分别为 52.4%, 60.1% 和 58.4%, 太阳能总透射比为 0.531, 红外灯照射 1 min 温度上升 6.3℃, 可见光透射率为 68.5%, 在玻璃门窗隔热节能领域具有良好的应用前景。

关键词: 铯钨青铜; 球磨; 分散; 红外线阻隔; 隔热性能

中图分类号: TB34, TQ324 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2020)04-0099-06

Thermal Insulation and Infrared Barrier Properties of PVC Films Modified by Cesium Tungsten Bronze

Tang Guofeng¹, Yang Fanwen¹, Feng Yongting¹, Li Rongrong¹, Song Jiaqi¹, Chen Xiaolin¹, Huang Xin¹, Wei Yuezi¹,
Zhang Ximing¹, Tian Xiumei¹, Chen Xiaoming¹, Zhou Miao², Deng Jianneng³, Li Daobin³

(1. Department of Biomedical Engineering, School of Basic Medical Sciences, Guangzhou Medical University, Guangzhou 511436, China;
2. Stomatological Hospital of Guangzhou Medical University, Guangzhou 510500, China; 3. Nantong Hairma Sci. & Tec. Co. Ltd., Nantong 226017, China)

Abstract: Cesium tungsten bronze slurry was prepared by ball milling method with acrylate copolymer and cesium tungsten bronze nano-powder as main components and PVPK-20, D626, K-80, K-92, K-63 and K-61 as dispersants. The heat insulation and infrared barrier properties of the slurry was studied by adding it into PVC. The effects of milling time, the type and content of dispersant on the homogeneity and stability of cesium tungsten bronze slurry were systematically studied. K-61 has the best dispersion effect. Under the same milling time, with the increase of the content of dispersant K-61, the homogeneity and stability of slurry gradually improved. When the content of dispersant K-61 exceeds 4%, a good dispersion effect could be obtained. On this basis, the influence of different slurry on the heat insulation and infrared barrier properties of PVC film was studied. When the slurry was added to PVC, the infrared barrier rate of the film increased with the increase of K-61 content in the slurry, and the total solar transmittance and transmittance decreased under the same milling time for slurry. When 1.3% slurry (K-61 content is 4%, milling for 72 h) is added to the PVC film, the infrared barrier at 950 nm is 52.4%, the infrared barrier of the film at 1400 nm is 60.1%, the total infrared barrier is 58.4%, the total solar energy transmission ratio is 0.531, the temperature of infrared lamp irradiation for 1 min rises by 6.3℃, and the visible light transmittance is 68.5%, which has a good application prospect in the field of heat insulation and energy saving of glass doors and windows.

Keywords: cesium tungsten bronze; ball milling; dispersion; infrared barrier; heat insulation performance

基金项目: 广东省本科高校创新创业教改项目 (2018A073856), 广医大 - 南通海珀玛 2019 年度横向项目

通讯作者: 阳范文, 博士, 教授, 主要从事生物医学高分子材料研究与应用 E-mail: yangfanwen@163.com

收稿日期: 2020-02-15

引用格式: 唐国凤, 阳范文, 冯泳婷, 等. 铯钨青铜改性 PVC 薄膜隔热和红外线阻隔性能 [J]. 工程塑料应用, 2020, 48(4): 99-104.

Tang Guofeng, Yang Fanwen, Feng Yongting, et al. Thermal insulation and infrared barrier properties of PVC films modified by cesium tungsten bronze[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(4): 99-104.

太阳光谱主要包括3个波段:200~400 nm的紫外线波段、400~760 nm的可见光波段和760~2500 nm的红外线波段,分别占太阳光能量的3%、44%和53%^[1]。夏季阳光强烈,太阳光透过玻璃进入室内、车内导致温度大幅上升,严重影响居住和车辆乘坐舒适性。其中,红外波段的能量占比最大,也是太阳光照射处温度升高的主要能量来源^[2-3]。通过玻璃贴膜的方法阻隔红外线并保持较高的可见光透过率,可避免室内和车内温度的大幅度上升^[4-5],为人们提供一个舒适的生活、工作和乘坐环境,在交通工具和建筑物节能方面具有良好的应用前景。

对红外线有阻隔或者屏蔽性能的材料有稀土六硼化物^[6]、氧化锡锑(ATO)^[7]、氧化铟锡(ITO)^[8]、锌铝氧化物(ZAO)^[9],这些化合物可以屏蔽波长大于1500 nm的近红外光,但不能屏蔽紫外线和波长小于1500 nm的红外线。近几年研究发现,铈青铜是掺杂有碱金属、碱土金属、稀土金属的三氧化钨化合物,存在局域表面等离子体共振效应和小极化子吸收机制^[10],具有良好的近红外屏蔽性能,可屏蔽波长为780~2500 nm的红外辐射^[11-13]。与六硼化物,以及ATO、ITO和ZAO等材料相比,铈青铜纳米粒子的显著优势在于其在整个红外线波段均具有良好的屏蔽能力,而且无毒、价格低廉^[14]。Chen Huanjun等^[15]研究发现,纳米粒子的透明隔热性能表现出明显的尺寸效应,即晶体的透明隔热性能随晶体尺寸减小而明显增强。然而,由于铈青铜的密度大,很容易沉淀,纳米粒子具有很高的表面活性,加工过程极易团聚而导致透明性和隔热性能下降。目前常采用机械分散方法减小颗粒尺寸,然后采用表面改性方法降低其表面自由能,才能获得良好的分散效果^[16-17]。

笔者探索了球磨分散铈青铜粉体的方法,研究了分散剂种类和用量、研磨时间等因素对铈青铜分散性的影响,并将其用于制备聚氯乙烯(PVC)隔热薄膜,可为制备红外线阻隔性能优异、可见光透射率高的门窗隔热产品提供理论指导。

1 实验部分

1.1 主要原材料

铈青铜纳米粉体:粒径为10~20 nm,上海纳琳威纳米科技(上海)有限公司;

丙烯酸酯共聚物:M325,南通海珥玛科技股份有限公司;

PVC粉:S-70,聚合度为1300,台塑工业(宁波)

有限公司;

增塑剂:HM-828,南通海珥玛科技股份有限公司;

热稳定剂:HW-303,南通海珥玛科技股份有限公司;

分散剂:PVPK-20,攻碧克新材料科技(上海)有限公司;

超级分散剂:D626,Evonik公司;

分散剂:K-80, K-92, K-61:广州市海珥玛植物油有限公司。

1.2 主要仪器与设备

球磨机:YXQM-2L型,长沙米淇仪器设备有限公司;

转矩流变仪:RT01-55/20型,广州市普同实验分析仪器有限公司;

热压成型机:BL-6170-A型,东莞宝轮精密检测仪器有限公司;

隔热膜温度测试仪:LS300型,深圳市林上科技有限公司;

太阳膜测试仪:LS182型,深圳林上科技有限公司。

1.3 铈青铜浆料的制备

将铈青铜纳米粉体、分散剂和丙烯酸酯共聚物按配方称量,然后采用球磨机利用氧化锆球进行研磨,转速为200 r/min,研磨程序设定方式为:研磨30 min、停10 min为一个循环,不断循环研磨。根据配方和研究需要,研磨总时间设定为4~72 h。

1.4 铈青铜改性PVC薄膜的制备

按配方称量配料,先将HM-828与研磨好的铈青铜浆料混合均匀,然后添加PVC粉和热稳定剂HM-W303预混均匀,之后加料到转矩流变仪进行熔融共混,在温度180℃、转速50 r/min的条件下熔融共混5 min。

称取10 g熔融共混后的样料,使用热压成型机制备厚度为150 μm的薄膜样品,热压工艺过程具体参数:温度190℃,预热5 min,热压1 min,待片冷却至37℃取出。

1.5 性能测试

(1) 铈青铜浆料分散稳定性测试。

铈青铜浆料研磨达到设定时间后,用塑料离心管取样6~7 mL,静置一段时间后观察溶液是否分层并拍照记录。

(2) 隔热性能测试。

将 PVC 隔热薄膜样品放在隔热膜温度测试仪的测试用玻璃板上,插上电源,按红色“复位 / 测试”键开始测试,测试时间为 1 min,待 1 min 测试完毕后仪器会自动关掉红外灯,记录开始测试和红外灯照射 1 min 后的温差值。温差值越小代表薄膜隔热性能越好。再按一次“复位 / 测试”键开始仪器复位,待两边的温度基本相同后,进行第 2 次测试。重复测试 3 次,取平均值。

(3) 阻隔性能测试。

打开太阳膜测试仪开关,将薄膜样品放置在测试槽内,立即显示被测物的太阳能总透射比、红外线阻隔率和可见光透过率的数值。选择拨码开关,测试波长为 950,1400 nm 的红外线阻隔率。重复测试 3 次,取平均值。

2 结果与讨论

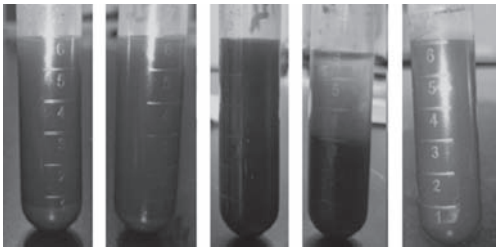
2.1 铈钨青铜浆料的分散稳定性分析

(1) 分散剂种类对铈钨青铜浆料分散稳定性的影响。

在研磨 4 h 条件下,研究不同分散剂对铈钨青铜浆料分散稳定性的影响,实验配方列于表 1。研磨好的浆料静置 9 h 的照片如图 1 所示。

表 1 使用不同分散剂的铈钨青铜浆料的配方 %

材料	编号				
	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]
丙烯酸酯共聚物	76	76	76	76	76
铈钨青铜纳米粉体	20	20	20	20	20
分散剂 PVPK-20	4				
超级分散剂 D626		4			
分散剂 K-80			4		
分散剂 K-92				4	
分散剂 K-61					4
小计	100	100	100	100	100



a—1[#]; b—2[#]; c—3[#]; d—4[#]; e—5[#]

图 1 添加不同分散剂的铈钨青铜浆料静置 9 h 后的照片

从图 1 可知,研磨好的浆料静置 9 h 后外观呈现明显差异,添加分散剂 K-92 的 4[#] 配方分层最严重,添加分散剂 PVPK-20 和超级分散剂 D626 的 1[#],2[#] 配方出现明显分层,添加分散剂 K-80 的 3[#] 配方出现轻微分层,添加分散剂 K-61 的 5[#] 配方基本

没有观察到分层,说明分散剂 K-61 对铈钨青铜纳米粉体的分散性能最好,研磨所得浆料最稳定。

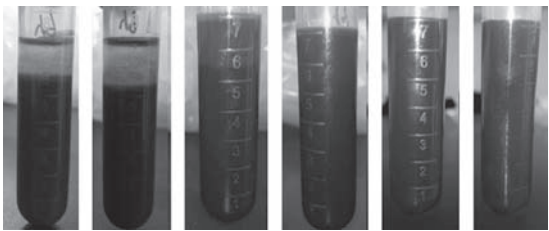
产生上述现象的原因在于:铈钨青铜纳米粉体的密度为 7~8 g/cm³,在溶液中很容易沉淀,当分散剂对铈钨青铜纳米粉体的包覆效应强弱不同时,会导致分层存在差异。分散剂一般是由亲水端和亲油端构成,如果分散剂的亲水端与铈钨青铜纳米粉体存在较强的作用力,其亲油端能与丙烯酸酯共聚物较好相容,在溶液中可产生一定悬浮效应,从而形成均一、稳定的溶液,故不会发生分层现象;反之,如果分散剂与铈钨青铜纳米粉体的作用力较弱,或者产生了一定的作用力,但与丙烯酸酯共聚物的相容性不佳,很容易出现分层现象。

(2) 分散剂用量对铈钨青铜浆料分散稳定性的影响。

改变分散剂 K-61 的用量,按表 2 配方配料,研磨 4 h,研究分散剂 K-61 用量对铈钨青铜浆料分散稳定性的影响,研磨好的浆料静置 15 h 后拍照,结果如图 2 所示。

表 2 添加不同用量分散剂 K-61 的铈钨青铜浆料配方 %

材料	编号					
	6 [#]	7 [#]	8 [#]	9 [#]	10 [#]	11 [#]
丙烯酸酯共聚物	79	78	77	76	75	74
铈钨青铜纳米粉体	20	20	20	20	20	20
分散剂 K-61	1	2	3	4	5	6
小计	100	100	100	100	100	100



(a) (b) (c) (d) (e) (f)
a—6[#]; b—7[#]; c—8[#]; d—9[#]; e—10[#]; f—11[#]

图 2 添加不同用量分散剂 K-61 的铈钨青铜浆料静置 15 h 后的照片

从图 2 可知,当分散剂 K-61 的用量 ≤ 2% 时,6[#],7[#] 配方制备的浆料静置 15 h 后上层呈透明状、下层呈黑色,出现了明显的分层,说明研磨的分散稳定性效果比较差;当 K-61 用量增加到 3% 时,8[#] 配方制备的浆料静置 15 h 后,虽然出现了分层,但上层变得模糊,说明分散稳定性效果有所改善;当 K-61 用量 ≥ 4% 时,9[#]~11[#] 配方制备的浆料静置 15 h 后,没有出现明显的分层现象,说明此时铈钨青铜纳米粉体已经分散得比较理想,并能在溶液中形成均一、稳定的浆料。由于分散剂价格比较贵,从

成本考虑,分散剂 K-61 用量为 4% 具有较高的性价比。

在研磨作用下,铈钨青铜纳米粉体从团聚的大颗粒变成小颗粒,由于铈钨青铜纳米粉体很容易沉淀,虽然分散剂 K-61 的分散效果比较好,但是当浆料中的分散剂含量较少时,在铈钨青铜纳米粉体表面包覆的数量较少,产生的悬浮效应比较弱,故容易产生分层;随着 K-61 用量的增加,在其表面包覆的数量增加,产生的悬浮效应增强,故浆料的稳定性变好。

(3) 研磨时间对铈钨青铜浆料分散稳定性的影响。

为了进一步提高性价比,考察分散剂 K-61 用量较低情况下能否通过延长研磨时间提高浆料的分散稳定性,选择 7[#] 配方 (K-61 用量为 2%) 和 9[#] 配方 (K-61 用量为 4%) 研磨 6~72 h,间隔一定时间取样,静置 15 h 后观察浆料的情况,结果如图 3 所示。

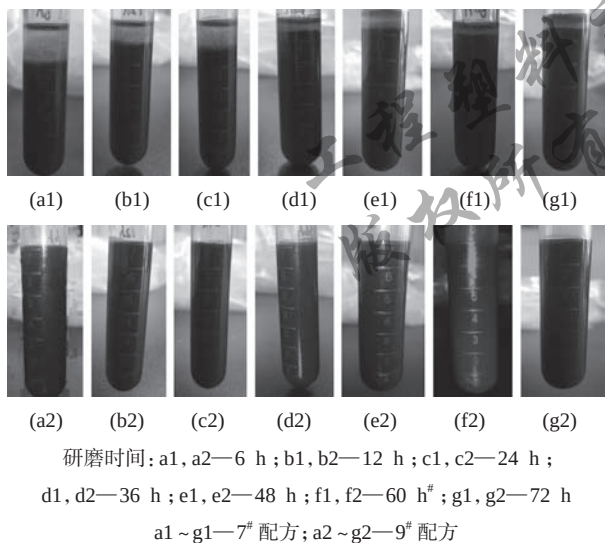


图 3 添加分散剂 K-61 的铈钨青铜浆料不同研磨时间下静置 15 h 后的照片

对于 7[#] 配方,研磨 6 h、静置 15 h 后,铈钨青铜浆料分层非常严重;随着研磨时间延长,静置 15 h 后,铈钨青铜浆料分层现象有所改善,但效果不太理想,即使研磨 72 h 后仍然存在明显的分层。说明 K-61 用量为 2% 时无法达到良好的分散效果。而对于 9[#] 配方,研磨 6 h、静置 15 h 后,铈钨青铜浆料没有发现任何分层的现象;随着研磨时间延长,浆料都能保持良好的稳定性和均一性。

通过上述实验证实,要制备分散稳定性良好的浆料,必须有足够数量的分散剂包覆在铈钨青铜纳

米粉体表面并产生较好的悬浮效应。对于本研究体系而言,分散剂 K-61 的最佳用量为 4%。

2.2 铈钨青铜改性 PVC 薄膜的隔热性能分析

为了比较不同铈钨青铜浆料对 PVC 薄膜红外线阻隔性能的影响,将研磨出来的 6[#]~11[#] 铈钨青铜浆料立即按表 3 配方制备铈钨青铜改性 PVC 薄膜,研究其对红外线加热的隔热性能差异。

表 3 铈钨青铜改性 PVC 隔热薄膜配方

材料	编号					
	12 [#]	13 [#]	14 [#]	15 [#]	16 [#]	17 [#]
PVC 粉	61.33	61.33	61.33	61.33	61.33	61.33
热稳定剂	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37
增塑剂	37	37	37	37	37	37
6 [#] 浆料 (研磨 72 h)	1.3					
7 [#] 浆料 (研磨 72 h)		1.3				
8 [#] 浆料 (研磨 72 h)			1.3			
9 [#] 浆料 (研磨 72 h)				1.3		
10 [#] 浆料 (研磨 4 h)					1.3	
11 [#] 浆料 (研磨 4 h)						1.3
小计	100	100	100	100	100	100

采用隔热膜温度测试仪测试铈钨青铜改性 PVC 薄膜照射 1 min 时的升温情况,结果如图 4 所示。

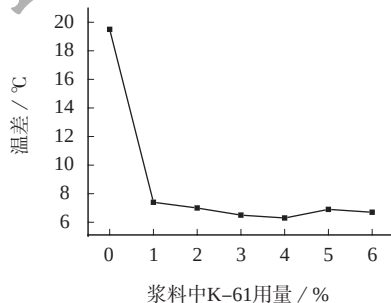


图 4 添加不同用量分散剂 K-61 的 PVC 薄膜的温差

由图 4 可看出,未添加铈钨青铜浆料时,空白 PVC 薄膜的温差为 19.5 °C;在研磨时间为 72 h 条件下,随着添加的 6[#]~9[#] 浆料中 K-61 用量 (1%~4%) 的增加,12[#]~15[#] 配方制备的 PVC 薄膜的温差逐步降低。9[#] 浆料中 K-61 用量为 4%,添加 9[#] 浆料的 15[#] 配方制备的 PVC 薄膜的温差达到最小值,为 6.3 °C;6[#] 浆料中 K-61 用量为 1%,添加 6[#] 浆料的 12[#] 配方制备的 PVC 薄膜的温差为 7.4 °C,前者与后者相比下降了 14.9%。在研磨时间为 4 h 条件下,10[#],11[#] 浆料中的 K-61 用量分别为 5%,6%,添加 10[#],11[#] 浆料的 16[#],17[#] 配方制备的 PVC 薄膜的温差分别为 6.9 °C 和 6.7 °C,温差随分散剂含量增加也呈下降趋势。添加 10[#] 和 11[#] 浆料的 16[#],17[#] 配方制备的 PVC 薄膜的温差比添加 9[#] 浆料的 15[#] 配方制备的 PVC 薄膜的温差略大,可能与研磨时间比

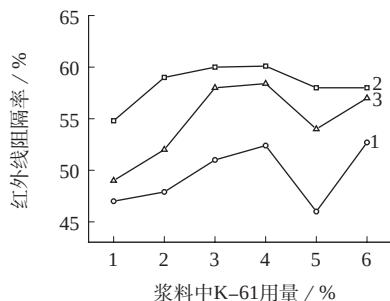
较短、分散没有达到最佳状态有关。

总体而言,添加浆料后 PVC 薄膜的温差比空白对照样低 12℃ 以上。随着分散剂含量的增加,温差逐渐减小,隔热效果提高,说明 PVC 薄膜中添加含有铈钨青铜的浆料可获得良好的隔热效果。

2.3 铈钨青铜改性 PVC 薄膜的红外线阻隔性能分析

(1) 红外线阻隔率。

添加不同用量分散剂 K-61 的 PVC 薄膜的红外线阻隔率如图 5 所示。



波长: 1—950 nm ; 2—1400 nm ; 3—全红外波段

图5 添加不同用量分散剂 K-61 的 PVC 薄膜的红外线阻隔率

由图 5 可以看出,研磨时间为 72 h 时,随着添加的 6[#]~9[#] 浆料中 K-61 用量 (1%~4%) 的增加,12[#]~15[#] 配方制备的 PVC 薄膜在 950 nm, 1400 nm 和全红外波段的红外线阻隔率增大; 9[#] 浆料中 K-61 用量为 4%, 添加 9[#] 浆料的 15[#] 配方制备的 PVC 薄膜的红外阻隔率达到最大值, 950 nm, 1400 nm 和全红外波段的红外线阻隔率分别达到 52.4%, 60.1% 和 58.4%。说明分散剂用量增加, 有利于铈钨青铜纳米粉体分散为更小的颗粒, 从而提高红外线阻隔效率。研磨时间仅为 4 h 时, 添加 10[#] 和 11[#] 浆料 (K-61 用量分别为 5%, 6%) 的 16[#], 17[#] 配方制备的 PVC 薄膜在 950 nm, 1400 nm 和全红外波段的红外线阻隔率也随着分散剂用量增加而增大。说明增加分散剂用量有利于铈钨青铜纳米粉体的分散, 是提高红外线阻隔效率的关键因素之一。对比用 15[#] 和 16[#] 配方制备的 PVC 薄膜的红外线阻隔率可知, 延长研磨时间可提高红外线阻隔率。

(2) 太阳能总透射比。

太阳能总透射比是指通过透光围护结构 (门窗或透光幕墙) 的太阳辐射室内的热量与投射到透光围护结构 (门窗或透光幕墙) 外表面上的太阳辐射量的比值。

添加不同用量分散剂 K-61 的 PVC 薄膜的太阳能总透射比如图 6 所示。

由图 6 可以看出, 研磨时间为 72 h 时, 随着添

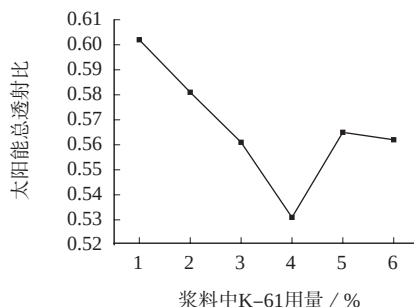


图 6 添加不同用量分散剂 K-61 的 PVC 薄膜的太阳能总透射比。随着 6[#]~9[#] 浆料中 K-61 用量 (1%~4%) 的增加, 12[#]~15[#] 配方制备的 PVC 薄膜的太阳能总透射比逐步降低; 9[#] 浆料中 K-61 用量为 4%, 添加 9[#] 浆料的 15[#] 配方制备的 PVC 薄膜的太阳能总透射比达到最小值, 为 0.531; 6[#] 浆料中 K-61 用量为 1%, 添加 6[#] 浆料的 12[#] 配方制备的 PVC 薄膜的太阳能总透射比为 0.602, 前者与后者相比下降了 11.8%。说明随着分散剂用量增加, 穿透 PVC 薄膜的太阳能减少, 阻隔效果更好。在研磨时间为 4 h 情况下, 添加 10[#] 和 11[#] 浆料 (K-61 用量分别为 5%, 6%) 的 16[#] 和 17[#] 配方制备的 PVC 薄膜的太阳能总透射比也随着分散剂用量增加而降低。10[#] 和 11[#] 浆料因为研磨时间比较短, 铈钨青铜纳米粉体的分散可能不够理想, 故添加 10[#] 和 11[#] 浆料的 16[#] 和 17[#] 配方制备的 PVC 薄膜的太阳能总透射比较添加 9[#] 浆料的 15[#] 配方制备的 PVC 薄膜大。

(3) 可见光透射率。

添加不同用量分散剂 K-61 的 PVC 薄膜的可见光透射率如图 7 所示。

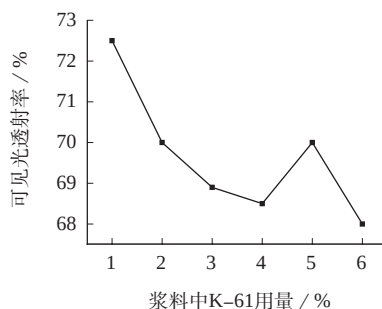


图7 添加不同用量分散剂 K-61 的 PVC 薄膜的可见光透射率

由图 7 可知, 研磨时间为 72 h 时, 6[#]~9[#] 浆料, 随着分散剂 K-61 含量增加, 添加 6[#]~9[#] 浆料的 12[#]~15[#] 配方制备的 PVC 薄膜的可见光透射率逐步降低; 9[#] 浆料中 K-61 用量为 4%, 添加 9[#] 浆料的 15[#] 配方制备的 PVC 薄膜的可见光透射率达到最小值, 为 68.5%; 6[#] 浆料中 K-61 用量为 1%, 添加 6[#] 浆料的 12[#] 配方制备的 PVC 薄膜的可见光透射率为

72.5%,前者与后者相比降低4%。在研磨时间为4 h情况下,添加10[#]和11[#]浆料的16[#]和17[#]配方制备的PVC薄膜的可见光透过率随着分散剂用量增加而降低。从理论上分析,浆料中的分散剂用量增加,铈钨青铜纳米粉体在浆料中分散效果更好,可见光透过率应该提高。然而,实际的情况是可见光透过率反而降低,其原因可能是部分铈钨青铜纳米粉体研磨后的粒径尚未达到可见光波长以下所致。

3 结论

(1) 分散剂种类对铈钨青铜纳米粉体在丙烯酸酯共聚物中分散稳定性的影响最大,分散剂K-61的分散稳定性效果最好。

(2) 在研磨时间相同的情况下,随着分散剂K-61用量增加,铈钨青铜浆料的均一性和稳定性逐渐改善,当其用量 $\geq 4\%$ 时可获得良好的分散稳定性效果。

(3) 添加研磨时间相同的浆料制备的PVC薄膜,其红外线阻隔率随着浆料中K-61用量增加而增大,温差、太阳能总透射比和可见光透射率随之减小。

(4) 在PVC薄膜中添加1.3%的浆料(K-61用量为4%,研磨72 h),950 nm的红外线阻隔率为52.4%,1400 nm的红外线阻隔率为60.1%,全红外波段的红外线阻隔率为58.4%,红外灯照射1 min温度上升6.3℃,可见光透射率为68.5%,太阳能总透射比为0.531。该浆料在玻璃门窗隔热节能领域具有良好的应用前景。

参考文献

- [1] 方雪静,罗海燕,施海亮,等.基于空间外差光谱技术的紫外高分辨率太阳直射光谱测量[J].光学学报,2018,38(6):1-6.
Fang Xuejing, Luo Haiyan, Shi Hailiang, et al. High resolution ultraviolet direct solar spectrum measurement based on spatial heterodyne spectroscopy[J]. Acta Optica Sinica, 2018, 38(6):1-6.
- [2] Bloom R, Zuniga M, Wang Q, et al. Tweeting with sunlight:encoding data on mobile objects[C]//IEEE INFOCOM 2019-IEEE Conference on Computer Communications. New York:IEEE, 2019:1324-1332.
- [3] Isser M, Kranebitter H, Kühn E, et al. High-energy visible light transparency and ultraviolet ray transmission of metallized rescue sheets[J]. Scientific Reports, 2019, 9(1):1-6.
- [4] Fernandes E, Lisboa A. Automotive protective plate for solar rays:US16/543,234[P]. 2019-12-26.
- [5] Howard B, Howard R, Green A. Solar shield apparatus for windshield:US15/986,986[P]. 2019-05-23.
- [6] 汤洪波.六硼化钨与氧化石墨烯共混制备PVB透明隔热薄膜及其光学性能和热稳定性的研究[J].电镀与涂饰,2018,37(14):621-625.
Tang Hongbo. Preparation of transparent LaB₆-GO/PVB heat insulation thin films and study on their optical properties and thermal stability[J]. Electroplating & Finishing, 2018, 37(14):621-625.
- [7] Møllerup S K, Wang S. Isomerization and rearrangement of boriranes:from chemical rarities to functional materials[J]. Science China Materials, 2018, 61(10):1249-1256.
- [8] Pizzanelli S, Forte C, Bronco S, et al. PVB/ATO nanocomposites for glass coating applications:Effects of nanoparticles on the PVB matrix[J]. Coatings, 2019, 9(4):doi:10.3390/coatings9040247.
- [9] 杨功胜.金属掺杂氧化锌薄膜的制备与特性研究[D].延吉:延边大学,2018.
Yang Gongsheng. Preparation and characterization of metal doped zinc oxide films [D]. Yanji: Yanbian University, 2018.
- [10] Shi Fei, Liu Jingxiao, Dong Xiaoli, et al. Hydrothermal synthesis of Cs_xWO₃ and the effects of N₂ annealing on its Microstructure and heat shielding properties[J]. Journal of Materials Science & Technology, 2014, 30(4):342-346.
- [11] 宁雯雯,张笑,常宏宏,等.Cr掺杂对铈钨青铜光学性能的影响[J].现代化工,2019,39(4):137-140.
Ning Wenwen, Zhang Xiao, Chang Honghong, et al. Influence of Cr doping on optical properties of cesium tungsten bronze[J]. Modern Chemical Industry, 2019, 39(4):137-140.
- [12] Gao Qiang, Wu Xiaomei, Cai Ligang. Dual functionality of K_{0.3}WO₃/Ag₂O nanocomposites for smart window:Energy saving and visible photocatalytic self-cleaning performance[J]. Solar Energy Materials and Solar Cells, 2019, 196:111-118.
- [13] Choi J, Moon K, Kang I, et al. Preparation of quaternary tungsten bronze nanoparticles by a thermal decomposition of ammonium metatungstate with oleylamine[J]. Chemical Engineering Journal, 2015, 281:236-242.
- [14] Liu Jingxiao, Ran Shuai, Fan Chuanyang, et al. One pot synthesis of Pt-doped Cs_xWO₃ with improved near infrared shielding for energy-saving film applications[J]. Solar Energy, 2019, 178:17-24.
- [15] Chen Huanjun, Shao Lei, Ming Tian, et al. Understanding the photothermal conversion efficiency of gold nanocrystals[J]. Small, 2010, 6(20):2272-2280.
- [16] 徐文艾,康利涛.铈钨青铜基透明隔热填料研究进展[J].涂料工业,2017,47(1):83-87.
Xu Wenai, Kang Litao. Progress in tungsten bronze-based transparent heat-insulating fillers[J]. Paint & Coatings Industry, 2017, 47(1):83-87.
- [17] 陈亚君,陕绍云,贾庆明,等.纳米锡基隔热透明涂料研究进展[J].化工新型材料,2020,47(12):22-26.
Chen Yajun, Shan Shaoyun, Jia Qingming, et al. Research progress of nano tin based heat insulation transparent coating[J]. New Chemical Materials, 2020, 47(12):22-26.