

http://pmse.scu.edu.cn

聚双环戊二烯高温形状记忆聚合物的制备及性能

曾麟钦¹, 赵洪萱¹, 张学君², 孙加龙², 王梁彬³, 张洪吉¹

(1. 江南大学 化学与材料工程学院 合成与生物胶体教育部重点实验室, 江苏 无锡 214122;

2. 德纳新材料(茂名)有限公司, 广东 茂名 525000; 3. 茂名绿色化工研究院, 广东 茂名 525000)

摘要:利用 Grubbs 二代催化剂使双环戊二烯(DCPD)发生开环易位聚合(ROMP)反应,制得具有形状记忆性能的聚双环戊二烯(PDCPD)。采用红外光谱、差示扫描量热分析、热重分析和微机控制电子万能试验机对样品进行了表征和测试。考察了催化剂含量对固化时间、凝胶含量及形状记忆性能的影响。探究了在不同的高温场景下 PDCPD 的形状记忆行为。结果表明,制备的形状记忆聚双环戊二烯样品拉伸强度最高达 51.0 MPa(3%催化剂用量),玻璃化转变温度最高达到 163.6 °C(5%催化剂用量),热分解温度高达 420 °C,在 220 °C 温度场景下,其形状固定率和形状回复率均达到 99%,展现出了高温场景下应用的可能。

关键词:高温;形状记忆;开环易位聚合;聚双环戊二烯;玻璃化转变温度

中图分类号:TQ317 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-7555(2026)01-0010-08

智能材料是当前研究的热点,而形状记忆材料是一个重要的分支。形状记忆材料(Shape memory materials, SMMs)是指具有一定初始形状的材料在一定外部条件下形变并固定成另外一种临时形状后,通过热、光、电、磁等物理刺激或者化学刺激后又恢复成初始形状的材料^[1]。在诸多的形状记忆材料中,形状记忆聚合物(Shape memory polymers, SMPs)由于具有质量轻、柔性大、可变形程度大、耐腐蚀性能好、加工条件简单等优点,在航空航天、生物医疗、柔性电子设备、4D 打印及包装工程等领域中有着极大的应用前景^[2-4]。

根据响应方式的不同,SMPs 可以分为热致型、光致型、电致型、磁致型和化学感应型 SMPs^[5-7]。其中,热致型 SMPs 是目前研究最为广泛和深入的 SMP 材料。热致型形状记忆高分子材料,是指由于温度改变而发生形状记忆和恢复过程的形状记忆材料。关于热致型形状记忆聚合物的机理,普遍认为与聚合物的玻璃化转变温度(T_g)相关。在 SMP 结

构中存在 2 相,分别是记忆初始形状的固定相和随温度变化能可逆固化和软化的可逆相。当温度在玻璃化转变温度以下时,聚合物处于玻璃态,高分子链段被冻结;当温度高于 T_g 时,链段开始运动,高分子聚合物处于高弹态,此时给予外力,使材料可逆相发生形变至临时形状,然后保持外力维持形变,使温度下降至 T_g 以下,分子链段再次被冻结,材料被赋予的临时形状保留下来。一旦温度再次达到 T_g 以上,分子链段被解冻开始运动,在固定相的作用下,逐渐回复到初始形状^[8-10]。Tian 等^[11]将热塑性聚酰亚胺(TPI)和石蜡在混合机中混合,加热并加入交联剂,使 TPI 发生硫化交联,获得 TPI 相交联的 TPI/石蜡(TPI/P)聚合物材料。由于 TPI 与石蜡的熔融温度和结晶温度差异较大,所以聚合物材料表现出三重形状记忆行为,并且可通过改变 TPI 的交联密度及石蜡或 TPI 的结晶度来调节其形状记忆行为。在 75 °C, 37 °C 和 0 °C 对材料进行了形状记忆性能测试,当材料达到不同的变形温度时,能够快速回复到当

doi: 10.16865/j.cnki.1000-7555.2025.0232

收稿日期: 2024-12-16

基金项目: 扬帆计划“项目(MMGCI-2022YFJH-J-002)

通讯联系人: 张洪吉, 主要从事功能/智能材料的研究, E-mail: hongjizhang@jiangnan.edu.cn

时记忆的形状,表现出了良好的形变能力。Sayan 等^[12]用聚丁二烯(PB)和丙烯酸十八烷基酯合成了一种新型半结晶形状记忆聚合物。调整工艺参数,优化后的样品在室温显现出优异的形状记忆性能:形状固定率达到 99% 以上,形状回复率达到 96%。

然而,目前大多数热致型形状记忆聚合物由于材料自身热性能的影响,使用的场景温度较低,不能满足航空航天、新能源、国防等领域需要在高温环境中使用的需求,因此,耐高温的形状记忆聚合物是现阶段的一大挑战^[13]。目前研究较为深入的高温形状记忆聚合物有聚酰亚胺和聚醚醚酮等。Yang 等^[14]以苯并噁唑(BOA)为刚性单体,与柔性二胺(ODA)共聚,制备了高温形状记忆聚酰亚胺,材料的 T_g 达到 280 °C,5% 热分解温度超过 569 °C,在多次形状记

忆循环中保持高固定率(>98%)和高回复率(>97%);程乙木^[15]通过高刚性的联苯基团及高柔性的多苯醚基团的联合作用,改善了聚醚醚酮的形状记忆性能,热分解温度达到 500 °C 以上,形状记忆率达到 97.25%,形状回复率达到 93.04%。但聚酰亚胺和聚醚醚酮聚合物合成工艺复杂,价格相对较高。

双环戊二烯(DCPD)是现代石油裂解制乙烯副产的 C5 馏分中重要的组成部分,具有产量大、价格低廉的特点,结构中存在大量环状结构,利于提高聚合物的热稳定性^[16-18]。本文利用 Grubbs 二代催化剂使双环戊二烯发生开环易位聚合(Ring-opening metathesis polymerization, ROMP),制备了交联型聚合物 PDCPD,对其热性能及形状记忆行为进行了研究。

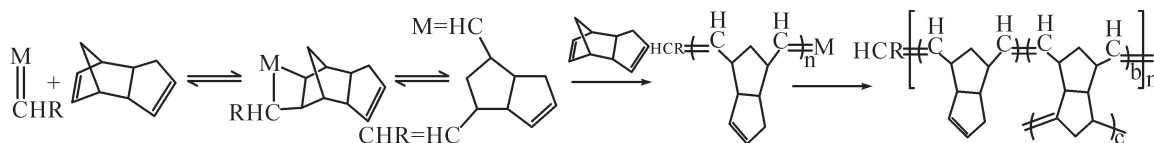


Fig. 1 Synthetic route of polydicyclopentadiene

1 实验部分

1.1 试剂与仪器

双环戊二烯: $\geq 97\%$, Macklin; Grubbs 二代催化剂: Macklin。

可调式混匀仪: SCI-VS, 美国赛洛捷克公司; 红外光谱仪: Nicolet iS50, 美国赛默飞世尔科技公司; 热重分析仪: TGA 2, 瑞典梅特勒-托利多公司; 差示扫描量热仪: DSC 3, 瑞典梅特勒-托利多公司; 微机控制电子万能试验机: MTS E44.304, 美特斯工业系统(中国)有限公司。

1.2 实验过程

由于双环戊二烯的熔点为 33.6 °C, 常温为固态, 不利于进行实验操作, 故在实验前将其在 60 °C 加热熔化为液态备用。

按照 DCPD 与 Grubbs 二代催化剂质量比分别为 1%, 2%, 3%, 4% 与 5% 取一定量 DCPD 与 Grubbs 二代催化剂, 加入离心管内, 使用可调式混匀仪使其混合均匀, 然后倒入直条型和哑铃型模具中, 除去模具中的气泡, 转移至 60 °C 电热恒温鼓风干燥

箱内进行加热升温, 使其固化, 固化完成后得到可用于性能测试的 PDCPD 样条。

1.3 测试与表征

1.3.1 红外光谱分析: 采用傅里叶变换红外光谱仪(FT-IR)进行红外光谱分析。将液体 DCPD 样品采用涂膜法进行全反射测试; 将固体 PDCPD 样品研磨成粉末, 以溴化钾(KBr)作为分散剂, 压片制样, 进行透射测试。扫描波数范围为 500-4000 cm^{-1} 。

1.3.2 催化剂用量对 DCPD 固化时间的影响测试: 在一定量的 DCPD 中按照不同比例加入 Grubbs 二代催化剂, 升温进行固化, 计量其固化所需要的时间。

1.3.3 催化剂用量对 PDCPD 凝胶含量的影响: 对不同催化剂用量制备的 PDCPD 样条进行称量, 记录其原始质量, 并分别浸泡在良溶剂丙酮中, 每隔 2 d 将其取出, 烘干称量其剩余质量, 直至其质量稳定不变, 剩余质量与原始质量之比即为 PDCPD 的凝胶含量。

1.3.4 DSC 分析: 采用差示扫描量热仪(DSC)

PDCPD 样条的热性能。在氮气气氛 (50 mL/min) 下,以 10 °C/min 的升温速率从 30 °C 升温至 220 °C。

1.3.5 热失重分析:采用热重分析仪 (TGA) 分析 PDCPD 样条的热稳定性。在氮气气氛 (50 mL/min) 下,以 10 °C/min 的升温速率从 50 °C 升温至 800 °C。

1.3.6 力学性能测试:力学性能按照国标 GB/T2567—2008 进行测试,采用微机控制电子万能试验机测试 PDCPD 样条的拉伸性能与弯曲性能。拉伸速率为 20 mm/min,弯曲速率为 4 mm/min。

1.3.7 形状记忆性能测试:将 PDCPD 样条在一定温度加热 20 min,然后迅速施加外力给予其 90° 形变,并在保持外力的状态下,迅速降温至室温使其固定,撤销外力测量其固定角度 (θ_f),最后再将样条升温待其自发回复,并测量回复后角度 (θ_r)。按照式 (1, 2) 计算其形状固定率 (R_f) 和形状回复率 (R_r)

$$R_f = \frac{\theta_f}{90^\circ} \quad (1)$$

$$R_r = \frac{\theta_f - \theta_r}{\theta_f} \quad (2)$$

2 结果与讨论

2.1 聚合物结构分析

采用红外光谱对 DCPD 单体及其聚合物 PDCPD 进行红外表征。红外谱图如 Fig.2 所示,可以发现,在 3003 cm^{-1} 和 972 cm^{-1} 处,PDCPD 曲线上出现了新吸收峰,3003 cm^{-1} 处的峰归属于非环烯烃结构中 C—H 键的伸缩振动峰,972 cm^{-1} 处的峰归属于非环烯烃结构中 C—H 键的变形振动峰。这些特征信号说明 DCPD 聚合成 PDCPD 后,结构中出现了非环烯烃结构单元,同时也证明发生了 ROMP 反应。3050 cm^{-1} 处 DCPD 和 PDCPD 曲线上都出现了较强的吸收峰,该峰归属于环烯烃中 =C—H 碳氢键的伸缩振动吸收,说明 PDCPD 中仍然保留着大量环戊烯环,其符合 ROMP 的特点;相较于 DCPD 曲线,PDCPD 曲线上 1620 cm^{-1} 处的吸收峰和 1570 cm^{-1} 处的吸收峰分别呈现增强和减弱的趋势,这 2 个峰归属于非环 C=C 键的伸缩振动和环 C=C 键的伸缩振动。证明成功聚合制备了 PDCPD。

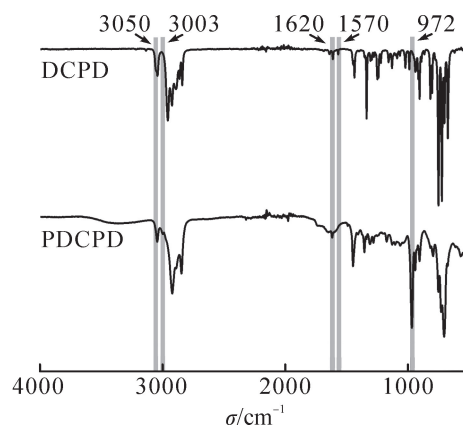


Fig. 2 FT-IR spectra of DCPD and PDCPD

2.2 催化剂用量对 DCPD 聚合的影响

2.2.1 催化剂用量对 DCPD 固化时间的影响:探究了不同比例的催化剂用量对 DCPD 固化时间的影响,结果如 Fig.3 所示。可以看出,当催化剂比例为 1‰ 时,DCPD 固化用时 3.5 min,随着催化剂比例逐渐提高,DCPD 固化时间逐渐缩短,当催化剂比例提升至 5‰~6‰ 时,DCPD 的固化时间缩短至 1.2 min 左右并趋于稳定。

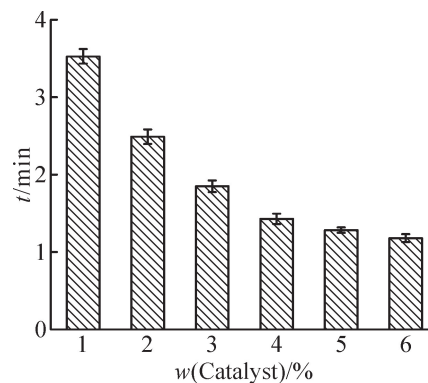


Fig. 3 Effect of catalyst dosage on curing time of DCPD

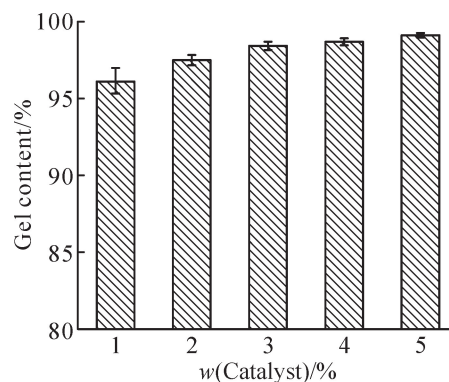


Fig. 4 Effect of catalyst dosage on gel content of PDCPD

2.2.2 催化剂用量对 PDCPD 凝胶含量的影响:采用溶胀法对 PDCPD 的凝胶含量进行了测试,不同催化剂用量的 PDCPD 样品的凝胶含量如 Fig.4 所示。随着催化剂用量提高,PDCPD 的凝胶含量呈现升高趋势,当催化剂用量为 5‰时,样品的凝胶含量达到 98.97%。这表明样品的交联程度随着催化剂用量的提高而提高。

2.3 聚合物热性能分析

2.3.1 DSC 分析:采用差示扫描量热仪分析了系列 PDCPD 样品的玻璃化转变温度, T_g 是影响形状记忆高分子材料使用温度的关键因素。

从 Fig.5 可以看出,1‰催化剂用量的 PDCPD 其 T_g 约为 136.0 °C,随着催化剂用量的上升,PDCPD 的玻璃化转变温度呈现升高的趋势,当催化剂含量为 3‰~5‰时,其 T_g 升高至 160 °C 左右。

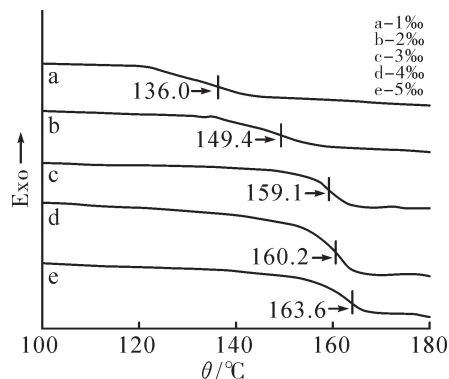


Fig. 5 DSC curves of PDCPD with different dosages of catalyst

2.3.2 热失重分析:采用热重分析仪分析了系列 PDCPD 样品的热分解过程,其 TGA 曲线和 DTG 曲线如 Fig.6 所示。由图可以得出,样品在失重 5%, 10% 和 50% 的温度 $T_{d5\%}$, $T_{d10\%}$ 和 $T_{d50\%}$ 等数据列于 Tab.1 中。

Tab. 1 Thermal mass loss temperature of samples with different dosages of catalyst

w(Catalyst)/‰	$T_{d5\%}/^{\circ}\text{C}$	$T_{d10\%}/^{\circ}\text{C}$	$T_{d50\%}/^{\circ}\text{C}$
1	368.5	451.2	474.2
2	437.8	453.0	475.8
3	441.0	454.3	473.2
4	442.0	453.5	476.0
5	446.0	454.0	476.5

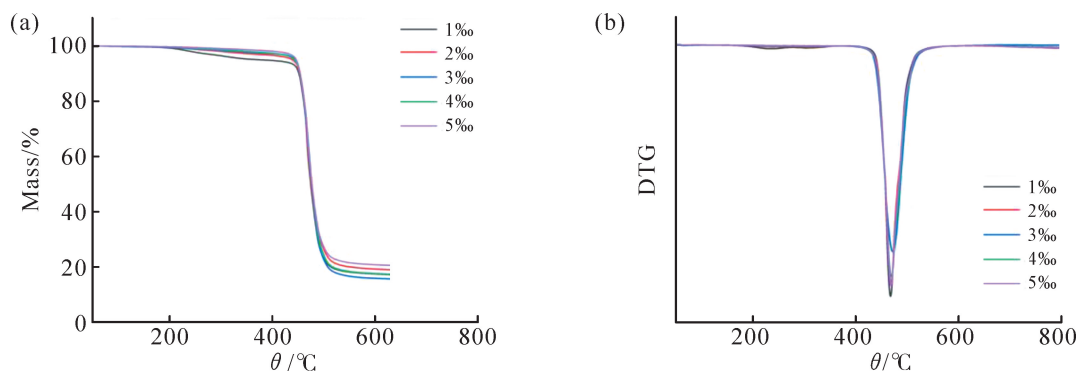


Fig. 6 (a) TGA and (b) DTG curves of PDCPD with different dosages of catalyst

由热分解曲线可以看出,对于不同催化剂用量的 PDCPD,其失重曲线的变化趋势大致相同,由 DTG 曲线可以看出,样品的热分解过程主要集中在 2 个温度范围,首先,在 200~300 °C 范围内出现了较小的热失重峰,这是体系内剩余的少量未完全反应

的 DCPD 单体或者低分子量的聚合物造成的。420~500 °C 范围内出现了 1 个较大的热失重平台,这是由于 PDCPD 热分解,样品损失的质量大部分都是在这个温度发生的,可以说 PDCPD 样品的热分解温度在 420 °C 以上,具有较为优异的耐高温性能。

2.4 聚合物力学性能分析

2.4.1 拉伸性能分析:测试了不同催化剂用量的 PDCPD 样条的拉伸性能,其应力-应变曲线如 Fig.7 所示。可以看出,随着催化剂用量由 1‰增至 5‰,PDCPD 的拉伸强度呈现先增大后减小的趋势,当催化剂用量由 1‰增加至 3‰,PDCPD 样条的拉伸强度呈增大趋势,最高可达到 51.0 MPa;随着催化剂用量

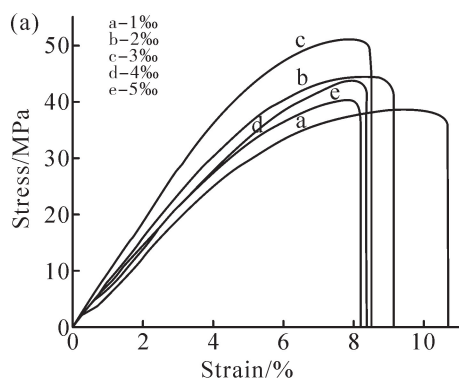


Fig. 7 (a) Tensile stress-strain curves of PDCPD with different dosages of catalyst; (b) PDCPD spline weight lifting demonstration

2.4.2 弯曲性能分析:另外,测试了不同催化剂用量 PDCPD 样条的弯曲性能,其应力-应变曲线如 Fig.8 所示。可以看出,其弯曲性能趋势与拉伸性能相吻合,催化剂用量增加,样条的交联度增大,外力作用时分子链段自由移动的空间减小,故弯曲强度先增

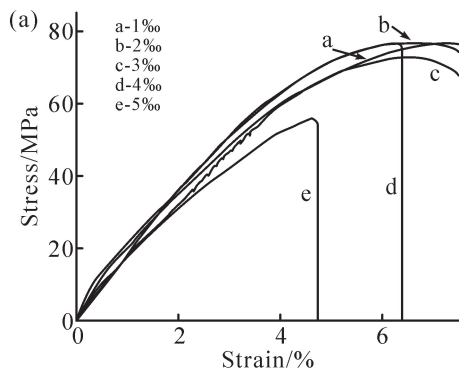


Fig. 8 (a) Bending stress-strain curves of PDCPD with different dosages of catalyst; (b) schematic diagram of PDCPD spline bending

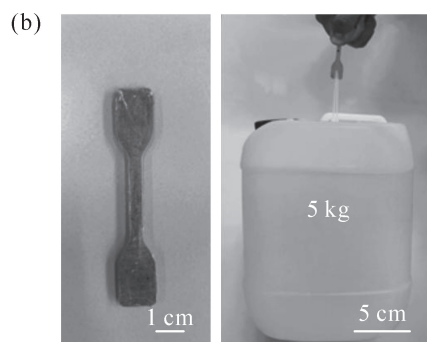
2.5 形状记忆行为分析

对 PDCPD 样条进行了形状记忆行为测试,其变形固定回复过程如 Fig.9 所示。

2.5.1 温度对 PDCPD 形状记忆性能的影响:测试了不同催化剂含量 PDCPD 样条在不同温度场景下的形状记忆性能,其固定率和回复率变化趋势如 Fig.10 所示。

可以看出,随着温度的升高,PDCPD 样品的固

继续增加,PDCPD 样条的拉伸强度开始减小,这可能是由于催化剂用量较大时,样条的交联度较大,链段活动空间相对较少,受到外力时内部链段不能自由移动,其断裂伸长率随之呈现减小的趋势;利用该 PDCPD 样条(平直段长 20.0 mm,宽 4.0 mm,厚 2.0 mm)进行了提重演示,提起质量为 5kg 的重物,样条未出现断裂或开裂现象。



大后减小,这说明适宜的交联程度有助于平衡 PDCPD 样条的综合力学性能;另外,对样条进行了弯曲演示,在较大的弯曲角度下,样条未出现断裂或开裂现象,展示了 PDCPD 在较高的 T_g 温度下仍具有一定的韧性。



定率和回复率都呈现上升趋势。通过 DSC 分析可知,1‰和 2‰催化剂用量的 PDCPD,其玻璃化转变温度为 136.0 °C 和 149.4 °C,在测试温度下,聚合物链段都处于“解冻”状态,其固定和回复都表现出较好的性能,随温度变化的趋势较小;而 3‰~5‰催化剂用量的 PDCPD,其交联程度较高,玻璃化转变温度更高,160 °C 时聚合物链段并未完全处于“解冻”状态,故其固定率和回复率表现不如 1‰和 2‰催化剂

用量的 PDCPD,但随着温度上升,链段运动更加活跃,形状回复率和回复速率得以提升。

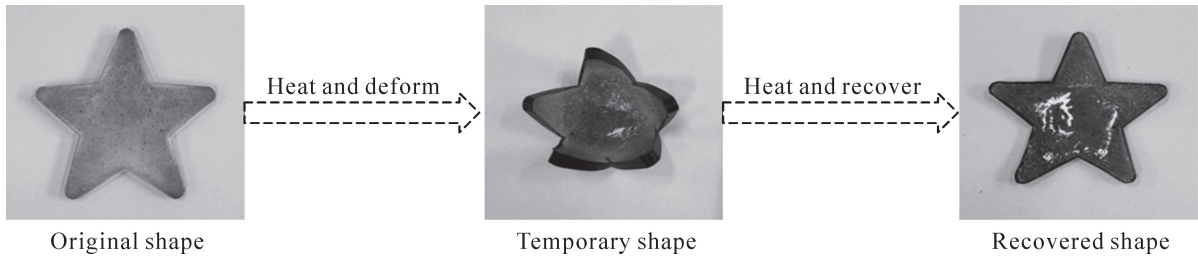


Fig. 9 Schematic diagram of PDCPD shape memory behavior

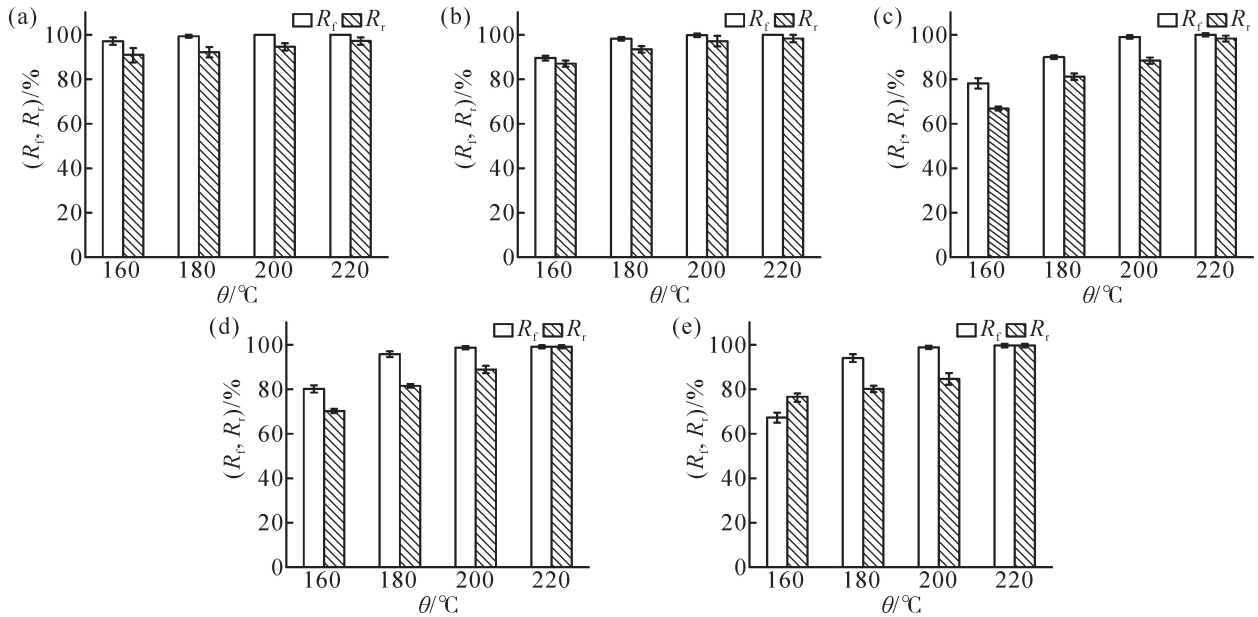


Fig. 10 Shape memory rate and recovery rate of PDCPD with different dosages of catalyst at gradient temperature: (a) 1‰; (b) 2‰; (c) 3‰; (d) 4‰; (e) 5‰

2.5.2 温度对 PDCPD 回复速率的影响:测试了 3 个不同温度下 PDCPD 样条的回复速率,不同催化剂用量的 PDCPD 由于其玻璃化转变温度不相同,在不同温度表现出不同的回复行为,其回复趋势见 Fig.11。

在 140 °C,只有催化剂用量 1‰的 PDCPD 样条发生了回复行为,这是由于只有此样条的玻璃化转变温度低于 140 °C,其他样条由于温度没有达到其

T_g ,分子链未解冻,故没有发生回复;当温度升高至 180 °C,各个样条都表现出回复行为,但是由于 T_g 不同,各样条表现出不同的回复程度;在 220 °C,由于场景温度均大于样条的 T_g ,各样条都表现出较好的回复行为。可以看出,随着场景温度升高,PDCPD 的回复速率都呈现加快趋势。

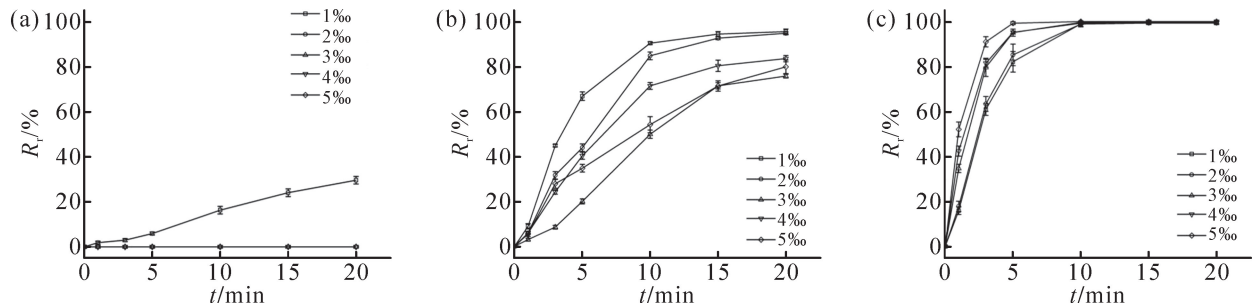


Fig. 11 Effect of temperature on shape recovery rate of PDCPD: (a) 140 °C; (b) 180 °C; (c) 220 °C

3 结论

在本文中,采用 Grubbs 二代催化剂使双环戊二烯发生 ROMP 反应成功得到了可以在高温场景下使用的形状记忆聚合物材料聚双环戊二烯,FT-IR 表征验证合成成功。通过调整体系中 Grubbs 二代催化剂的用量制备了不同的材料,研究了其一系列性能,发现当催化剂用量为 5%时,DCPD 的固化时间缩短至 1.2 min,PDCPD 中的凝胶含量达到 98.97%,玻璃化转变温度提升至 163.6 °C,热分解温度高达 420 °C;PDCPD 样条的力学性能随着催化剂用量的增加呈现先增强后减弱的趋势,这是由于交联度越大,受外力作用时分子链段自由移动的空间越小。在不同使用温度下,不同催化剂用量制备的 PDCPD 材料展现了不同的温度响应性形状记忆行为。在 160 °C 场景下,低催化剂含量(1%,2%)的 PDCPD 有着较好的形状固定率、回复率表现;5%催化剂含量的 PDCPD 材料,加热至 220 °C 时,其形状固定率($\geq 99\%$)和回复率($\geq 99\%$)才得以完全展示。这些基础研究结果显示,PDCPD 在高温形状记忆聚合物领域有着广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] 张勇波, 童大山, 汪艳. 光热双响应形状记忆聚己内酯的制备与性能[J]. 高分子材料科学与工程, 2024, 40(5): 154-159.
Zhang Y B, Tong D S, Wang Y. Preparation and properties of light-thermal double-response shape memory polycaprolactone[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2024, 40(5): 154-159.
- [2] Dayyoub T, Maksimkin A V, Filippova O V, *et al.* Shape memory polymers as smart materials: a review[J]. Polymers, 2022, 14: 3511.
- [3] Delaey J, Dubruel P, Van V S. Shape-memory polymers for biomedical applications[J]. Advanced Functional Materials, 2020, 30: 1909047.
- [4] 徐为明, 潘毅, 邓瑾妮, 等. 基于联苯结构的可重加工自愈合形状记忆环氧树脂的制备及表征[J]. 高分子材料科学与工程, 2022, 38(1): 27-35.
Xu W M, Pan Y, Deng J N, *et al.* Preparation and characterization of reprocessable self-healing shape memory epoxy resin based on biphenyl structure[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2022, 38(1): 27-35.
- [5] Xia Y, He Y, Zhang F, *et al.* A review of shape memory polymers and composites: mechanisms, materials, and applications[J]. Advanced materials, 2021, 33: 2000713.
- [6] 温红梅, 修雪颖, 和 晗, 等. 形状记忆高分子材料的发展及应用概况[J]. 特种橡胶制品, 2018, 39(5): 64-68.
Wen H M, Xiu X Y, He H, *et al.* Overview of the development and application of shape memory polymer materials[J]. Special Rubber Products, 2018, 39(5): 64-68.
- [7] Ze Q, Kuang X, Wu S, *et al.* Shape memory polymers: magnetic shape memory polymers with integrated multifunctional shape manipulation[J]. Advanced Materials, 2020, 32: 2070025.
- [8] Arvanitakis A I. A constitutive level-set model for shape memory polymers and shape memory polymeric composites[J]. Archive of Applied Mechanics, 2019, 89: 1939-1951.
- [9] Liu C, Qin H, Mather P T. Review of progress in shape-memory polymers[J]. Journal of Materials Chemistry, 2007, 17: 1543-1558.
- [10] Julich G K K, Löwenberg C, Neffe A T, *et al.* Recent trends in the chemistry of shape-memory polymers[J]. Macromolecular Chemistry and Physics, 2013, 214: 527-536.
- [11] Tian M, Gao W, Hu J, *et al.* Multidirectional triple-shape-memory polymer by tunable cross-linking and crystallization[J]. ACS Applied Materials & Interfaces, 2020, 12: 6426-6435.
- [12] Basak S, Cavicchi K A. Structure-property relationships of shape memory, semicrystalline polymers fabricated by in situ polymerization and crosslinking of octadecyl acrylate/polybutadiene blends[J]. Macromolecular Rapid Communications, 2023, 44: 2200404.
- [13] Xiao X, Kong D, Qiu X, *et al.* Shape memory polymers with high and low temperature resistant properties[J]. Scientific Reports, 2015, 5: 14137.
- [14] Yang Z, Song F, Wang Q, *et al.* Shape memory induced structural evolution of high performance copolyimides[J]. Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry, 2016, 54: 3858-3867.
- [15] 程乙木. 耐高温可回收形状记忆聚合物的制备与研究[D]. 长春: 吉林大学, 2024.
Cheng Y M. Preparation and research of high-temperature recyclable shape memory polymers[D]. Changchun: Jilin University, 2024.
- [16] Kovacic S, Slugovc C. Ring-opening metathesis polymerisation derived poly (dicyclopentadiene) based materials[J]. Materials Chemistry Frontiers, 2020, 4: 2235-2255.
- [17] Defauchy V, Le G P Y, Guinault A, *et al.* Kinetic analysis of polydicyclopentadiene oxidation[J]. Polymer Degradation and Stability, 2017, 142: 169-177.
- [18] Chen J, Burns F P, Moffitt M G, *et al.* Thermallycrosslinked functionalized polydicyclopentadiene with a high T_g and tunable surface energy[J]. ACS Omega, 2016, 1: 532-540.

Preparation and Properties of Polydicyclopentadiene High Temperature Shape Memory Polymer

Linquin Zeng¹, Hongxuan Zhao¹, Xuejun Zhang², Jialong Sun², Liangbin Wang³, Hongji Zhang¹
(1. School of Chemical and Material Engineering, Key Laboratory of Synthesis and Biological Colloid, Ministry of Education, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. Dynamic New Materials (Maoming) Co., Ltd., Maoming 525000, China; 3. Maoming Green Chemical Industry Research Institute, Maoming 525000, China)

ABSTRACT: Using Grubbs second-generation catalyst, the ring-opening metathesis polymerization (ROMP) reaction of dicyclopentadiene (DCPD) was carried out to produce poly(dicyclopentadiene) (PDCPD) with shape memory properties. The samples were characterized and tested by FT-IR, DSC, TGA, and a microcomputer-controlled electronic universal testing machine. The effects of catalyst content on curing time, gel content, and shape memory properties were investigated. The shape memory behavior of PDCPD in different high-temperature scenarios was explored. The results show that the prepared shape memory poly(dicyclopentadiene) samples have the maximum tensile strength of 51.0 MPa (3‰ catalyst dosage), the maximum glass transition temperature of 163.6 °C (5‰ catalyst dosage), and a thermal decomposition temperature of up to 420 °C. At a temperature scenario of 220 °C, the shape fixation rate and shape recovery rate both reach 99%, demonstrating the potential for application in high-temperature scenarios.

Keywords: high temperature; shape memory; ring-opening metathesis polymerization; polydicyclopentadiene; glass transition temperature