

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2020.09.013

3D 打印用双组分丙烯酸酯光敏树脂制备与性能

徐豪¹, 黄丽婕^{1,2}, 何鹏², 苏少珍³, 零平³

(1. 广西大学轻工与食品工程学院, 南宁 530004; 2. 广西清洁化制浆造纸与污染控制重点实验室, 南宁 530004;

3. 广西春景环保科技有限公司, 南宁 530004)

摘要:以二官能度纯丙烯酸酯(2-AE)和六官能度聚氨酯丙烯酸酯(6-PUA)为基础树脂,三缩丙二醇双丙烯酸酯(TPGDA)为活性稀释剂,2-羟基-2-甲基-1-苯基-1-丙酮(HMPP)为光引发剂,采用自由基聚合的光固化方式制备可用于 3D 打印的双组分光敏树脂,研究光敏树脂中低聚物的稀释比例、两种低聚物的质量比以及光引发剂用量对于光固化树脂性能的影响。确定体系中各组分的质量比为 2-AE:6-PUA:TPGDA:HMPP=12.8:25.6:57.6:4 时,光敏树脂的邵氏硬度(D)为 90.5,凝胶含量为 99.22%,线收缩率为(2.26±0.03)%,断裂伸长率为 4.97%,拉伸强度为 28.98 MPa,拉伸弹性模量为 841.11 MPa。

关键词:二官能度丙烯酸酯;六官能度聚氨酯丙烯酸酯;光敏树脂;3D 打印;凝胶含量;力学性能

中图分类号:TQ324.8 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-3539(2020)09-0072-06

Preparation and Properties of Two Component Acrylate Photosensitive Resin for 3D Printing

Xu Hao¹, Huang Lijie^{1,2}, He Peng², Su Shaozhen³, Ling Ping³

(1. College of Light Industry and Food Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China;

2. Guangxi Key Laboratory of Clean Pulp & Papermaking and Pollution Control, Nanning 530004, China;

3. Guangxi Chunjing Environmental Protection Technology Co., Ltd., Nanning 530004, China)

Abstract: Free radical UV-cured two component resin applied to UV-cured 3D printing was developed with difunctional acrylate (2-AE) and hexafunctional polyurethane acrylate (6-PUA) as photosensitive prepolymers, tripropylene glycol diacrylate (TPGDA) as active diluent and 2-hydroxy-2-methyl-1-phenyl-1-acetone (HMPP) as photoinitiator. The influences of the dilution ratio of the oligomer, the mass ratio of the two oligomers and the amount of photoinitiator on the properties of the UV curable resin were investigated. The results show that the optimum mass ratio of 2-AE:6-PUA:TPGDA:HMPP is 12.8:25.6:57.6:4, the Shore hardness (D), gel content, liner shrinkage, elongation at break, tensile strength, tensile elastic modulus of the developed resin are 90.5, 99.22%, (2.26±0.03)%, 4.97%, 28.98 MPa, 841.11 MPa, respectively.

Keywords: difunctional acrylate; hexafunctional polyurethane acrylate; photosensitive resin; 3D printing; gel content; mechanical property

在 3D 打印中,要求光敏树脂黏度在 200~600 mPa·s 之间,收缩率低于 7%,凝胶含量高于 85%^[1-2],光敏树脂中的光引发剂受到紫外光的辐照后产生初级活性自由基,引发体系中的单体和低聚物发生自由基聚合,形成网状聚合物,呈现为固态^[3]。光固化树脂作为一种高性能材料,在 3D 打

印领域得到了广泛的应用^[4-5],例如包装印刷、电子通信、汽车工业、医疗卫生等领域^[6]。由于光敏树脂成型件力学性能不足,精度不够,限制了其在实际中的应用。所以有关 3D 打印用光敏树脂的合成与改性的报道屡见不鲜^[7-10]。DSM 公司^[11-12]推出可用于汽车和电子领域的 Somos Next 光固化树

基金项目:南宁市科学研究与技术开发计划项目(20195215),2020 年度广西高校中青年教师科研基础能力提升项目(2020KY01012),广西清洁化制浆造纸与污染控制重点实验室开放基金(ZR201806-6),广西科技计划项目(桂科 AB18221126)

通讯作者:黄丽婕,副研究员,主要研究方向为生物质与高分子材料 E-mail:jiely165@163.com

收稿日期:2020-07-07

引用格式:徐豪,黄丽婕,何鹏,等.3D 打印用双组分丙烯酸酯光敏树脂制备与性能[J].工程塑料应用,2020,48(9):72-77.

Xu Hao, Huang Lijie, He Peng, et al. Preparation and properties of two component acrylate photosensitive resin for 3D printing[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(9): 72-77.

脂,黏度为 1000 mPa·s,断裂伸长率为 9%,拉伸弹性模量为 117.6 MPa,拉伸强度为 41.86 MPa,其韧性与刚度俱佳,可达到聚碳酸酯类材料的水平。S. C. Lapin 等^[13]报道了一种由芳香族和脂肪族环氧树脂组成的混杂型光敏树脂,调节体系中各组分比例可改变体系的黏度(100~3000 mPa·s),以应对不同的应用场景。韩琳琳等^[14]以脂肪族聚氨酯丙烯酸酯、活性稀释剂三缩丙二醇双丙烯酸酯(TPGDA)和光引发剂 2-甲基-1-(4-甲硫基苯基)-2-吗啉-1-丙酮为原料制备了一种光敏树脂,确定了最优配方,得到的膜的拉伸强度为 5.93 MPa,断裂伸长率为 13.4%。张志明等^[15]按照双酚 A 环氧树脂丙烯酸酯树脂:活性稀释剂 TPGDA:光引发剂 BDK=70:26:4(质量比)制备了一种光敏树脂,该光敏树脂的收缩率为 5.05%,凝胶含量为 92.25%,较双酚 A 型光敏树脂的性能有所提升,可用于 3D 打印。

笔者采用二官能度纯丙烯酸酯、六官能度聚氨酯丙烯酸酯、活性稀释剂 TPGDA 和光引发剂 2-羟基-2-甲基-1-苯基-1-丙酮(HMPP)为主要原料制备自由基型双组分光敏树脂,采用单因素法,以光敏树脂硬度、凝胶含量、力学性能为指标,优化自由基型双组分光敏树脂体系中两种低聚物的质量比、活性稀释剂和光引发剂用量,探索最佳工艺参数,以此获得凝胶含量高、力学性能好的 3D 打印用光固化树脂。

1 实验部分

1.1 主要原料

二官能度纯丙烯酸酯(2-AE)、六官能度聚氨酯丙烯酸酯(6-PUA)和 TPGDA:工业级,南京嘉中化工科技有限公司;

HMPP:工业级,上海引昌新材料有限公司;

丙酮:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

无水乙醇:分析纯,天津市北辰方正试剂厂。

1.2 主要仪器与设备

万能材料试验机:3367 型,美国 Instron 公司;

索氏提取器:SXT-06 型,上海洪纪仪器设备有限公司;

超声波清洗器:KQ3200E 型,昆山市超声仪器有限公司;

数显恒温磁力搅拌器:HJ-4A 型,江苏金怡仪器科技有限公司;

新型数字测厚仪:100-230 VAC 型,美国 TMI

仪器集团;

邵氏硬度计:D 型,乐清市艾德堡仪器有限公司;

旋转黏度计:NDJ-79 型,上海精晖仪器设备有限公司;

电子分析天平:ME204E 型,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;

电子数显卡尺:量程为 15 mm,桂林量具刃具有限责任公司;

聚四氟乙烯模具:尺寸 10 mm×80 mm×5 mm,自制;

紫外固化灯:TL 60W/10R 型,光源波长范围为 350~400 nm,主波长为 365 nm,飞利浦照明有限公司。

1.3 光敏树脂试样的制备

将 2-AE、6-PUA、TPGDA 和 HMPP 按照质量比 2-AE:6-PUA:TPGDA:HMPP=12.8:25.6:57.6:4 于 50 mL 烧杯中,置于磁力搅拌器上于 60℃避光搅拌 2 h,然后超声 30 min,得到无色透明液态光敏树脂,置于暗处,备用。

称取 1.20 g 上述制备的光敏树脂加入聚四氟乙烯模具中,在水平的桌面流延成膜,然后将其放置在紫外灯下 10 cm 处照射 3 min,固化结束后取出,待用。

1.4 性能测试与结构表征

黏度按照 GB/T 22235-2008 测试,测量温度为 25℃。

硬度按照 GB/T 2411-2008 测试,测试前用无水乙醇洗涤固化后的光敏树脂 2~3 次,放入烘箱中于 60℃烘 0.5 h,冷却至 25℃。

拉伸性能按照 GB/T 1040.3-2006 测试,拉伸速率为 10 mm/min。

凝胶含量测试:参考文献[16],采用索氏提取法,以丙酮为提取剂测定光敏树脂固化后的凝胶含量。固化后光敏树脂膜裁剪成直径 0.5 cm 的圆形,用滤纸包好并放入装有丙酮的索氏提取器中,于 80℃提取 12 h,提取结束后将其取出置于通风橱中 12 h,放入烘箱 60℃烘 2 h,冷却至 25℃,按式(1)计算凝胶含量:

$$\text{凝胶含量} = (m_2 / m_1) \times 100\% \quad (1)$$

式中: m_2 ——烘干后固化光敏树脂的质量, g;

m_1 ——初始固化后光敏树脂的质量, g。

线收缩率测试:将固化后的光敏树脂试样从模

具中取出,测量试样的实际长度和模具长度,按式

(2) 计算线收缩率:

$$\text{线收缩率} = [(L_0 - L_1) / L_0] \times 100\% \quad (2)$$

式中: L_0 ——模具的长度, cm;

L_1 ——固化后光敏树脂试样的长度, cm。

2 结果与讨论

2.1 低聚物稀释比例对光敏树脂性能的影响

不同 2-AE 与 TPGDA 质量比的光敏树脂的黏度如图 1 所示。

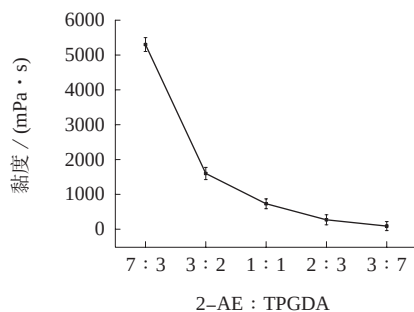


图1 不同 2-AE 与 TPGDA 质量比的光敏树脂的黏度

从图 1 可以看出,随着稀释剂 TPGDA 比例的增加,体系的黏度急剧降低。2-AE 和 TPGDA 都是丙烯酸酯类化合物,具有相似相溶性,实验结果表明,TPGDA 是一种稀释能力较强、稀释效果较好的活性稀释剂。当体系中 2-AE 和 TPGDA 的质量比为 7 : 3 时,体系的黏度大于 5000 mPa · s,液态树脂的流动性能较差,加工性能不佳。当体系中 2-AE 和 TPGDA 的质量比为 3 : 7 时,体系的黏度为 90 mPa · s,液态树脂的流动性能极好,但不利于涂膜固化。当 2-AE 和 TPGDA 的质量比为 2 : 3 时,液态光敏树脂体系拥有较理想的黏度和较好的加工性能,此时的黏度为 270 mPa · s。

2.2 低聚物配比对光敏树脂性能的影响

固定 2-AE 和 TPGDA 的质量比为 2 : 3,控制体系中光引发剂的质量分数为 4%,固化时间为 3 min,调节两种低聚物的质量比,探究低聚物比对光敏树脂性能的影响。

(1) 凝胶含量。

不同 2-AE 与 6-PUA 质量比的光敏树脂的凝胶含量如图 2 所示。

从图 2 可以看出,随着 6-PUA 含量的增加,体系的凝胶含量不断增大。当体系中 2-AE 和 6-PUA 的质量比为 3 : 1 时,体系的固化凝胶含量为 83.19%,较未加入 6-PUA 的光敏树脂体系的凝胶含量 (79.21%) 提高了 3.98%。当体系中 2-AE 和

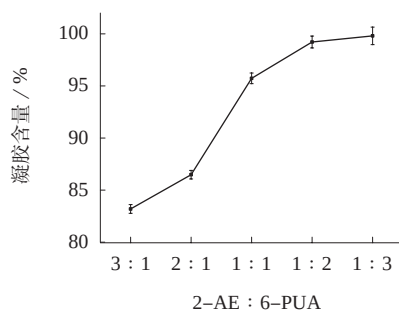


图2 不同 2-AE 与 6-PUA 质量比的光敏树脂的凝胶含量

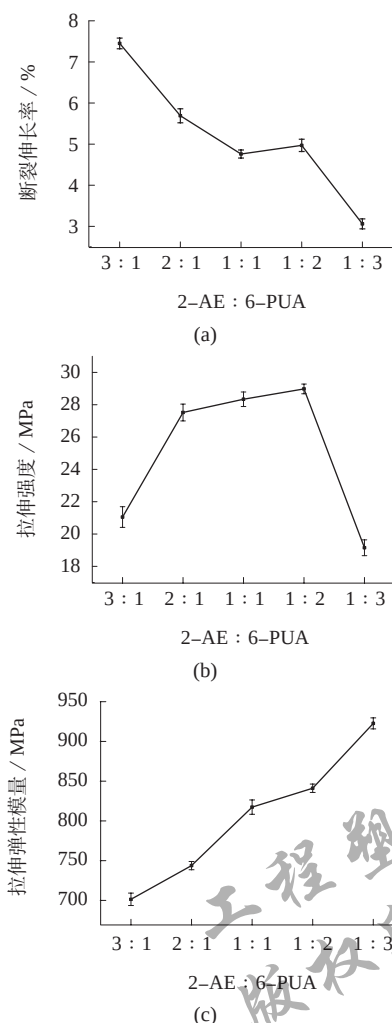
6-PUA 的质量比小于 1 时,体系的凝胶含量都大于 95%,当 2-AE 与 6-PUA 的质量比为 1 : 3 时,体系的凝胶含量可达到 99.81%。这是因为加入的 6-PUA 双键密度大,不饱和度高,反应活性高,因此聚合速度快,可以有效减少光固化体系中氧气的渗透量,从而降低氧气阻聚的干扰,提高体系的固化凝胶含量。所以 2-AE 与 6-PUA 的质量比为 1 : 2 或 1 : 3 为宜。

(2) 力学性能。

不同 2-AE 与 6-PUA 质量比的光敏树脂的力学性能如图 3 所示。

从图 3 可以看出,随着低聚物中 6-PUA 含量的增加,固化树脂片材的断裂伸长率总体呈减小趋势,拉伸强度先增加后减少,拉伸弹性模量则逐渐增大。当体系中 2-AE 和 6-PUA 的质量比为 3 : 1 时,固化树脂片材的断裂伸长率为最大值 (7.45%),拉伸强度为 21.05 MPa,拉伸弹性模量为最小值 (701.39 MPa);而当两者质量比为 1 : 3 时,固化树脂片材的断裂伸长率为最小值 (3.06%),拉伸强度为 19.15 MPa,拉伸弹性模量为最大值 (922.7 MPa)。当两者质量比为 1 : 2 时,固化树脂片材的断裂伸长率为 4.97%,拉伸强度为最大值 (28.98 MPa),拉伸弹性模量为 841.11 MPa。

在固定 2-AE 和 TPGDA 质量比为 2 : 3 条件下,未添加 6-PUA 时,固化树脂的断裂伸长率为 6.48%。由于 6-PUA 为六官能度脂肪族聚氨酯丙烯酸,适量添加 6-PUA 可以增加光敏树脂片材的交联程度,改善固化树脂片材的韧性,增大分子间的摩擦力,提高树脂片材的断裂伸长率。随着加入的 6-PUA 比例的提高,树脂固化时的交联程度会更加紧密,形成复杂的体型聚合物,同时由于氢键的存在,固化树脂的内应力进一步增大,其宏观表现为断裂伸长率变小,拉伸强度增大,拉伸弹性模量也增大。但由于 6-PUA 的分子量较大,分子体积较大,



a—拉伸强度;b—断裂伸长率;c—拉伸弹性模量

图3 不同2-AE与6-PUA质量比的光敏树脂的力学性能

随着体系中其加入量的进一步增加,由于空间位阻效应,体系中聚合反应受阻,导致分子链间出现较多的空隙,树脂片材的拉伸强度降低,固化树脂片材中共价键的密度增加,产生单位变形所需的外力增加,故拉伸弹性模量增大。

(3) 收缩率。

不同2-AE与6-PUA质量比的光敏树脂的线收缩率如图4所示。

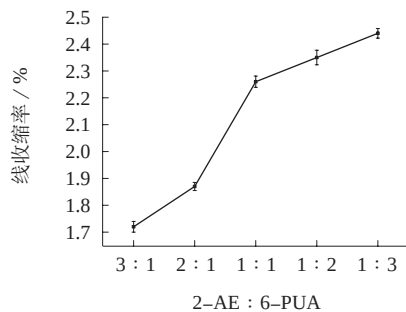


图4 不同2-AE与6-PUA质量比的光敏树脂的线收缩率

从图4可以看出,随着体系中6-PUA含量的增加,体系的线收缩率增大。当2-AE与6-PUA的质量比为3:1时,体系的线收缩率为1.72%,较未加入6-PUA的线收缩率1.61%略有增加;当2-AE与6-PUA的质量比为1:3时,体系的线收缩率最大,达2.44%。由于6-PUA的加入,液态光敏树脂固化时,会有更多的分子间作用力被共价键取代,同时会相互交联,形成复杂的体型化合物结构,从而引起较大的收缩率。

(4) 硬度。

不同2-AE与6-PUA质量比的光敏树脂的硬度如图5所示。

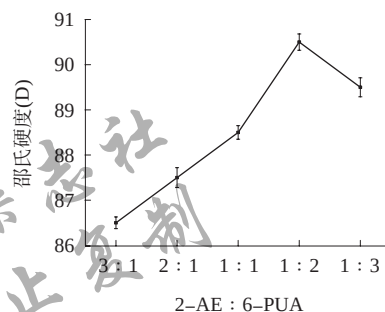


图5 不同2-AE与6-PUA质量比的光敏树脂的硬度

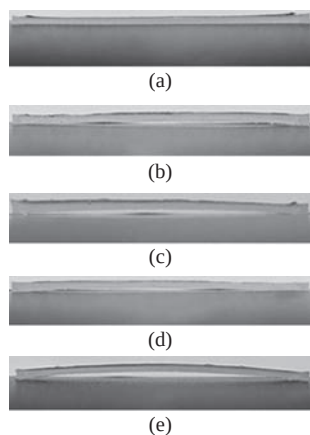
从图5可以看出,随着体系中6-PUA含量的增加,固化后的光敏树脂的硬度呈现先上升后下降的趋势。由于6-PUA加入后,固化树脂的空间交联度增大,形成复杂的体型化合物,同时由于分子间氢键的存在,导致固化树脂片材的硬度有所提升。但由于6-PUA分子体积较大,空间位阻也较大,加入量过多时,反而会使得分子链之间出现较多的空隙,导致固化树脂片材的硬度减小。当2-AE与6-PUA的质量比为1:2时,邵氏硬度(D)取得最大值,为90.5。

2.3 HMPP添加量对光敏树脂性能的影响

固定2-AE和TPGDA的质量比为2:3,2-AE与6-PUA质量比为1:2,固化时间为3 min,调节HMPP的添加量,探究HMPP添加量对固化光敏树脂翘曲程度和凝胶含量的影响。不同HMPP含量的固化树脂试样的线收缩率列于表1,固化树脂试样照片如图6所示。

表1 不同HMPP含量的固化树脂试样的线收缩率 %

HMPP 质量分数	线收缩率
1	2.28 ± 0.05
2	2.27 ± 0.03
3	2.35 ± 0.03
4	2.26 ± 0.03
5	2.44 ± 0.04



HMPP 质量分数: a—1%; b—2%; c—3%; d—4%; e—5%

图6 不同 HMPP 含量的固化树脂试样照片

由表1和图6可知,当体系中 HMPP 的质量分数由1%增加至5%时,试样的线收缩率在 $(2.32 \pm 0.12)\%$ 之间波动。可知光引发剂浓度对光敏树脂的线收缩率的影响不大。主要原因是紫外固化灯的能量分布不均匀,模具中心位置的紫外光辐照能量密度较大,故该位置的树脂固化速率较快,会对四周没有固化的低聚物和活性稀释剂发生“拉扯”作用,造成固化树脂薄片试样翘曲的现象。

当固化时间为3 min, 2-AE 和 TPGDA 质量比为2:3, 2-AE 和 6-PUA 的质量比为1:2时,不同 HMPP 含量的光敏树脂的凝胶含量如图7所示。

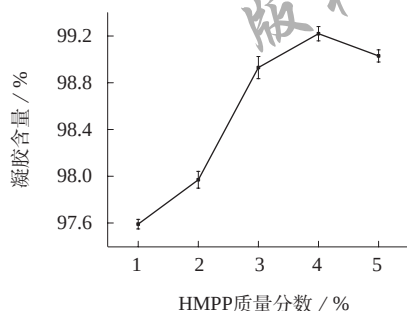


图7 不同 HMPP 含量的光敏树脂的凝胶含量

由图7可以看出,随着 HMPP 含量的增加,凝胶含量出现先增加后减小的趋势。当 HMPP 质量分数为1%时,体系的凝胶含量达97.59%;当 HMPP 质量分数的4%时,凝胶含量达到最高值,为99.22%;当 HMPP 质量分数5%时,凝胶含量下降至99.03%。光引发剂含量越高,固化时间越短^[17]。HMPP 的含量影响体系的反应活性和反应速率,进而影响到体系对抗氧气阻聚的能力和最终的凝胶含量。HMPP 的浓度越高,体系的活性越大,对抗氧气阻聚的能力越强,最终体系的凝胶含量也就越高。当加入过量 HMPP,由于其未参与反应,因此凝胶含

量出现了下降。

3 结论

(1) 以 2-AE 和 6-PUA 为主要树脂原料,以 TPGDA 为活性稀释剂,以 HMPP 为光引发剂,制备了双组分自由基光固化 3D 打印树脂。

(2) 当 2-AE 和 TPGDA 质量比为2:3时,光敏树脂拥有较理想的黏度和较好的加工性能。2-AE 和 6-PUA 的最佳质量比为1:2, HMPP 的最佳用量为4%;在此条件下制备的双组分 3D 打印光敏树脂的凝胶含量为99.22%,邵氏硬度(D)为90.5,线收缩率为 $(2.26 \pm 0.03)\%$,断裂伸长率为4.97%,拉伸强度为28.98 MPa,拉伸弹性模量为841.11 MPa。

参考文献

- [1] Huang Biwu, Cheng Guiliang, Deng Chong, et al. Investigation on some properties of renshape™ SL7545 type photosensitive resin and its application for stereolithography material[J]. Proceedings of the Applied Mechanics & Materials, 2012, 252:220-223.
- [2] Payette A, Ghannoum M, Madore F, et al. Carbamazepine poisoning treated by multiple extracorporeal treatments[J]. Clinical nephrology, 2015, 83(3):184-188.
- [3] 吴丽珍, 邓昌云, 傅兵, 等. 3D 打印用光敏树脂的制备及改性研究进展[J]. 塑料科技, 2017, 45(7):112-119.
Wu Lizhen, Deng Changyun, Fu Bing, et al. Progress on preparation and modification of photosensitive resin used in 3D printing[J]. Plastics Science and Technology, 2017, 45(7):112-119.
- [4] 崔可建, 朱才镇, 轩钦, 等. 3D 打印用光敏树脂的高性能化及功能化研究进展[J]. 高分子通报, 2017(12):28-38.
Cui Kejian, Zhu Caizhen, Xuan Qin, et al. Research developments on high performance and functional photosensitive resin for 3D printing[J]. Polymer Bulletin, 2017(12):28-38.
- [5] 唐林川. 3D 打印高分子材料的研究进展[J]. 当代化工研究, 2016(8):102-103.
Tang Linchuan. Research development of 3D printing high polymer material[J]. Modern Chemical Research, 2016(8):102-103.
- [6] 陈彩珠, 潘汉军. 3D 打印高分子材料研究进展[J]. 工程塑料应用, 2016, 44(9):137-140.
Chen Caizhu, Pan Hanjun. Research progress of 3D Printing polymer materials[J]. Engineering Plastics Application, 2016, 44(9):137-140.
- [7] Zhang Xueqian, Xu Yu, Li Lei, et al. Acrylate-based photosensitive resin for stereolithographic three-dimensional printing[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2019, 136(21):doi:10.1002/app.47487.
- [8] Hocken A, Yang Yi, Beyer F L, et al. Photocurable poly(ethylene glycol) diacrylate resins with variable silica nanoparticle loading[J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2019, 58(32):14 775-14 784.

- [9] Bhattacharjee N, Parra-Cabrera C, Kim Y T, et al. Desktop-stereolithography 3D-Printing of a poly(dimethylsiloxane)-based material with sylgard-184 properties[J]. Advanced Materials, 2018, 30(22):doi:10.1002/adma.201800001.
- [10] 王涛,林润雄. 丙烯酸酯类光敏树脂的制备及性能表征[J]. 塑料科技, 2019, 47(6):6-11.
Wang Tao, Lin Runxiong. Preparation and characterization of acrylate photosensitive resin[J]. Plastics Science and Technology, 2019, 47(6):6-11.
- [11] 陈庆,曾军堂,陈韦坤. 3D打印塑料材料技术现状和发展趋势[J]. 新材料产业, 2015(6):27-32.
Chen Qing, Zeng Juntang, Chen Weikun. Current situation and development trend of 3D printing plastic material technology[J]. Advanced Materials Industry, 2015(6):27-32.
- [12] 朱丽莎,陈宇明,李鹤飞,等. 3D打印用光敏树脂材料及其在口腔医学领域的应用[J]. 中国组织工程研究, 2018, 22(6):979-984.
Zhu Lisha, Chen Yuming, Li Hefei, et al. Photosensitive resin used for 3D printing and its application in dentistry[J]. Chinese Journal of Tissue Engineering Research, 2018, 22(6):979-984.
- [13] Lapin S C, Sullivan M G. Photosensitive resin composition for rapid prototyping and a process for the manufacture of 3-dimensional objects:US6251557[P]. 2001-06-26.
- [14] 韩琳琳,黄笔武. 自固化脂肪族聚氨酯丙烯酸酯作为光敏齐聚体制备紫外光固化材料及其性能[J]. 南昌大学学报:理科版, 2018, 42(4):343-347.
Han Linlin, Huang Biwu. Preparation and properties of the UV-curing material with aliphatic urethane acrylate as a photosensitive oligomer[J]. Journal of Nanchang University:Natural Science, 2018, 42(4):343-347.
- [15] 张志明,刘秀军,赵高升,等. 双酚F型环氧丙烯酸酯光敏树脂的制备[J]. 精细化工, 2018, 35(3):383-387, 442.
Zhang Zhiming, Liu Xiujun, Zhao Gaosheng, et al. Preparation and characterization of bisphenol F type epoxy acrylate photosensitive resin[J]. Fine Chemicals, 2018, 35(3):383-387, 442.
- [16] 谭湘璐,邓剑如,罗赛,等. 桐油基水性光固化树脂的合成及性能[J]. 精细化工, 2016, 33(8):862-866.
Tan Xianglu, Deng Jianru Luo Sai, et al. Preparation and properties of tung oil-based waterborne UVcurable resin[J]. Fine Chemicals, 2016, 33(8):862-866.
- [17] 褚玉龙,曹从军. UV-LED磁性油墨固化时间影响因素研究[J]. 包装工程, 2018, 39(17):71-74.
Chu Yulong, Cao Congjun. The Influencing factor on curing time of UV-LED magnetic ink[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(17):71-74.

欢迎订阅 2021 年《工程塑料应用》、《化学分析计量》杂志

邮发代号 24-42, 24-138 全国各地邮局均可订阅

欢迎广大读者到当地邮政局(所)订阅 2021 年《工程塑料应用》、《化学分析计量》杂志, 订阅杂志及合订本光盘及过期刊物的读者可直接向杂志社办理订阅。《工程塑料应用》为月刊, 大 16 开本, 每月 10 日出版, 2021 年定价 20 元/期, 全年 240 元。《化学分析计量》为双月刊, 大 16 开本, 单月 20 日出版, 2021 年定价 20 元/期, 全年 120 元。

电话: (0531)85878223 85878057 传真: (0531)85947355