

含氟丙烯酸酯树脂高疏流体包装膜的制备

卢丹, 熊伟斌

(武汉信息传播职业技术学院, 武汉 430223)

摘要: **目的** 制备含氟丙烯酸酯树脂高疏流体包装膜。**方法** 采用悬浮聚合法, 以甲基丙烯酸甲酯(MMA)、甲基丙烯酸六氟丁酯(HFMA)或甲基丙烯酸十二氟庚酯(DFMA)为单体, 过氧化二苯甲酰(BPO)为引发剂, 十二烷基苯磺酸钠(SDBS)为分散剂, 在温度为 $(78\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 、转速为 300 r/min 的条件下, 制备一系列低表面能的含氟丙烯酸酯树脂膜, 并通过红外光谱、SEM 扫描接触角和热重分析等进行相关测试与探讨。**结果** 引发剂 BPO 为反应物总质量的 1%, 以 HFMA/MMA 体系为单体, 且两者质量比为 1:1 时, 液体在合成含氟丙烯酸酯树脂膜上接触角最大, 蒸馏水的接触角高达 164.3° 。**结论** 合成的含氟丙烯酸酯树脂膜样品具有高疏流体性能, 可用于制备疏水疏奶制品的内包装膜。

关键词: 包装材料; 含氟丙烯酸酯树脂; 高疏流体性能; 接触角

中图分类号: TB484.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)21-0046-07

Preparation of a Fluorine-containing Acrylate Resin High-lyophobic Packaging Film

LU Dan, XIONG Wei-bin

(Wuhan Vocational College of Communications and Publishing, Wuhan 430223, China)

ABSTRACT: The work aims to prepare a fluorine-containing acrylate resin high-lyophobic packaging film. Through a suspension polymerization method, a series of fluorine-containing acrylate resin films having low surface energy were prepared, with methyl methacrylate (MMA), hexafluorobutyl methacrylate (HFMA) or dodecafluoroheptyl methacrylate (DFMA) as a monomer, dibenzoyl peroxide (BPO) as an initiator and sodium dodecyl benzene sulfonate (SDBS) as a dispersant at $(78\pm 2)^{\circ}\text{C}$ and a rotation speed of 300 r/min. The relevant tests and discussions were carried out through infrared spectroscopy (IR), SEM contact angle and thermal gravity analysis (TG), etc. With HFMA/MMA system as a monomer, when the initiator BPO was 1% of the total reactant mass and the mass ratio of HFMA/MMA was 1:1, the contact angle of the liquid on the synthetic fluorine-containing acrylate resin film was the largest, and the distilled water had a contact angle of 164.3° . The synthetic fluorine-containing acrylate resin film sample has high-lyophobic property and can be used to prepare inner packaging films of hydrophobic and milk-repellent products.

KEY WORDS: packaging materials; fluorine-containing acrylate resin; high-lyophobic property; contact angle

目前, 我国奶制品内包装材料一般分为两类, 即纸塑铝复合材料和多层共挤薄膜。前者表面能很高, 其表面张力高于 72 mN/m , 且铝箔分子之间是金属键, 后者表面张力为 $30\sim 34\text{ mN/m}$, 2 种材料在降低奶制品残留量方面均不理想。文中的合成含氟丙烯酸酯类高疏流体包装膜是指对水、奶制品等液体有很好的防粘污性能的包装膜, 该类包装膜具有很低的表面能, 液滴在其上有着很大的接触角, 致使液滴无法在该膜上稳定存在, 因此该包装膜很难被液体润湿。该

包装膜具有的疏水疏奶制品等功能可以有效减少奶制品的挂壁量。

文中合成的含氟丙烯酸酯树脂, 含有非极性的含氟基团和极性的丙烯酸酯类基团, 其中的丙烯酸酯类基团对有极性及无极性的底材的润湿性都很好, 朝底材表面取向; 含氟基团对有极性的底材的润湿性差, 朝空气方向取向和伸展, 占据聚合物与空气界面, 从而大大降低了聚合物的表面能^[1-2]; C—F 的键能大, 很稳定, 其侧链包覆主链的结构对聚合物内部分子形

收稿日期: 2017-05-04

作者简介: 卢丹 (1986—), 女, 武汉信息传播职业技术学院助教, 主要研究方向为包装材料、包装结构设计等。

成很好的“屏蔽保护”,使聚合物经久耐用^[3]。该含氟丙烯酸酯聚合物中的氟碳链长为 3,小于 4,根据美国 3M 公司的报道,它不能够在人体内积累,并且没有生物累积性^[4-6]。聚合物中—CH₂CF₂—受热易断裂,不会给环境带来负荷,降解性能优良,对环境无污染、无毒性。含氟丙烯酸酯树脂的这些优点,都为解决牛奶包装中牛奶挂壁问题提供了大量依据。

这里采用悬浮聚合法^[7],通过比较选取适当的原料(含氟单体和丙烯酸酯类),并制备一系列的含氟丙烯酸酯树脂。为了获得最佳性能的含氟丙烯酸酯树脂,对方案进行合理设计并探讨引发剂用量、含氟单体用量、不同类型的含氟单体及其用量对液体在含氟丙烯酸酯树脂膜上接触角大小的影响,并通过红外表征来确定合成的产物。

1 实验

1.1 试剂和仪器

主要试剂:过氧化二苯甲酰(BPO),AR,甲基丙烯酸甲酯(MMA),CP,国药集团化学试剂有限公司;甲基丙烯酸六氟丁酯(HFMA),AR,甲基丙烯酸十二氟庚酯(DFMA),AR,哈尔滨雪佳氟硅化学有限公司。其中 HFMA,DFMA 和 MMA 需要进行减压蒸馏脱除单体内的阻聚剂,BPO 需要精

制,用氯仿和甲醇的混合溶剂进行重结晶即可,其他原料和试剂可以直接使用。

主要仪器:DSA100 型光学接触角测量仪,德国 Kruss 公司;60-SXB 型傅里叶变换红外分光光度计,美国 Nicolet 公司;QUANTA 200 型扫描电镜,荷兰 FEI 公司;Diamond TG/DTA 6300 综合热分析仪,美国 PerkinElmer 公司。

1.2 含氟丙烯酸酯树脂的合成

1.2.1 路线

聚合物 A 的合成路线见图 1a,其中, x, y 分别为聚合物 A 所对应的反应单体的反应系数。聚合物 B 的合成路线见图 1b,其中, m, n 分别为聚合物 B 所对应的反应单体的反应系数。

1.2.2 步骤

1.2.2.1 聚合物 A 的合成

向四口烧瓶中加入少量分散剂十二烷基磺酸钠(SDBS)和 90 g 蒸馏水,将该四口烧瓶置于水浴锅中并装上搅拌杆、温度计和冷凝管,通入氮气作为保护气,压力略高于大气压。然后水浴加热,温度控制在 78 ℃ 左右。打开搅拌装置,调节转速使之达到 350 r/min (250 mL 的搅拌杆),机械搅拌 0.5 h 使分散剂活化并分散均匀^[8]。

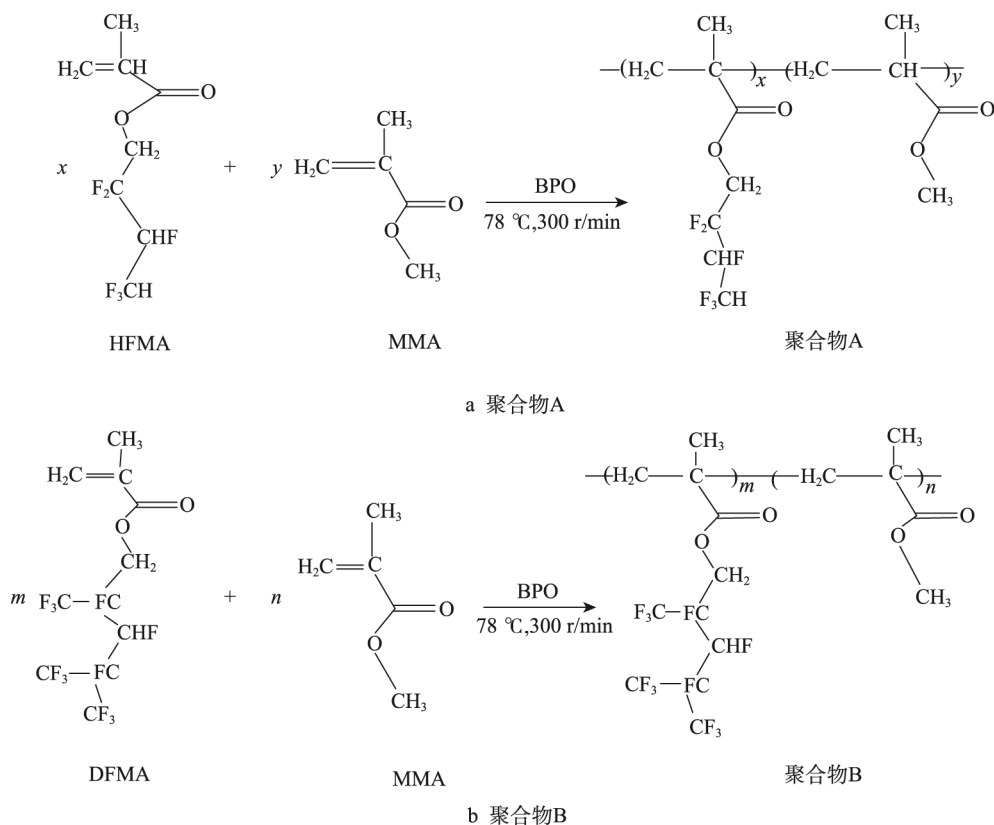


图 1 聚合物 A 和 B 的合成路线

Fig.1 Synthetic route of polymer A and polymer B

称取一定量(0.04, 0.06, 0.08, 0.1, 0.12, 0.14 g)的引发剂过氧化二苯甲酰(BPO)于试管中,再称取不同质量比(1:4, 1:3, 1:2, 1:1, 2:1, 3:1, 4:1)的HFMA和MMA至该试管,使之总质量为10 g,用保鲜膜密封试管口。将试管置于数控功率可调的超声波清洗机中进行超声处理,使BPO完全溶解。然后将此时的溶液加入四口烧瓶中,使之反应至完全,约8~10 h。室温冷却,用过滤装置进行过滤,并洗涤得白色或透明的固体,有的呈珠状颗粒,有的呈块状,该固体为聚合物A,并将滤液倒入废液缸^[9-10]。

1.2.2.2 聚合物B的合成

称取质量比分别为1:4, 1:3, 1:2, 1:1, 2:1, 3:1, 4:1的DFMA和MMA,采用与上述合成聚合物A相同的方法合成聚合物B。

1.2.3 高疏流体包装膜的制备

取少量聚合物放入三口烧瓶中,将其置于水浴锅中,插上冷凝管,放入磁子,向三口烧瓶中加入适量乙醇和四氢呋喃混合溶剂,打开冷凝水,通入氮气作为保护气,压力略高于大气压,水浴加热,磁力搅拌。其中磁子的作用是使三口烧瓶中的液体受热均匀,防止底部因温度不均而导致的剧烈沸腾甚至暴沸。当加入的树脂完全溶解后,用塑料滴管取适量该溶液分别铺在载玻片上,在室温下自然晾干,形成高疏流体包装膜样张。

1.2.4 性能与表征

取少量HFMA与MMA质量比为1:1的含氟丙烯酸酯树脂样品放入石英坩埚内,然后再加入一定量的KBr(质量分数为1%的样品和99%的KBr),在红外干燥灯下研磨制成粉末状,烘干并使其混合均匀。将混合均匀的上述粉末压片,在Nicolet 60-SXB型傅里叶变换红外光谱(FTIR)上进行测试并收集光谱。此外,合成的丙烯酸树脂膜镀金在QUANTA 200型扫描电镜上进行表征,采用DSA 100型光学接触角仪测定膜的接触角。称取2 mg含氟丙烯酸酯树脂于Al₂O₃坩埚中,在Diamond TG-DTA 6300上进行热重分析。从室温开始加热至600℃左右,升温速度为10℃/min,流动氮气为载气。

2 结果与讨论

2.1 配方研究

2.1.1 引发剂用量

这里设计不同用量的引发剂进行对比实验分析,以便找到较佳的配方,从而制备出高性能的高疏流体含氟丙烯酸酯树脂膜。引发剂的质量分数一般为0.2%~2%,因此这里讨论了该区间的6个不同质量分数(0.45%, 0.65%, 0.80%, 1.00%, 1.25%, 1.45%)

的引发剂对含氟丙烯酸酯树脂膜接触角的影响,这2种含氟丙烯酸树脂膜分别是由HFMA/MMA和DFMA/MMA合成,根据相关文献^[1]的研究成果,将2种单体的质量比选择为1:1,所得结果见图2。

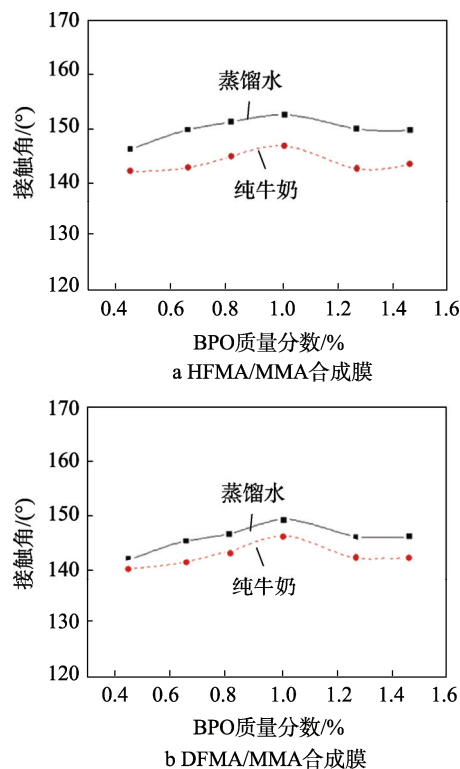


图2 引发剂BPO用量对含氟丙烯酸酯树脂膜接触角的影响
Fig.2 Effect of the amount of initiator BPO on the contact angle of fluorinated acrylate resin film

在一定范围内,液体(蒸馏水与纯牛奶)在含氟丙烯酸酯树脂膜上的接触角随引发剂BPO用量的增加先增大后减小。当引发剂BPO质量分数约为1.0%时,液体(蒸馏水与纯牛奶)在含氟丙烯酸酯树脂膜上的接触角取得最大值。在该范围内,该实验选用引发剂BPO用量为总反应物质量的1.0%。

2.1.2 单体用量

2.1.2.1 不同HFMA和MMA质量比

加入单体HFMA与MMA的总质量不变,改变单体HFMA与MMA的质量比,进行一系列的对比实验,讨论单体HFMA与MMA的质量比对含氟丙烯酸酯树脂膜接触角的影响。这里设定单体HFMA与MMA质量比分别为1:4, 1:3, 1:2, 1:1, 2:1, 3:1, 4:1,所得结果见图3。

当单体HFMA和MMA的质量比为1:4, 1:3时,在载玻片上铺成的含氟丙烯酸酯树脂膜发生龟裂现象,且容易卷曲,说明这2种含氟丙烯酸酯树脂膜收缩性较大。可认为是因为单体HFMA与MMA参与反应比例差别较大,导致反应产物差别较大,造成相容性较差,最终使得含氟丙烯酸酯树脂膜出现龟裂。

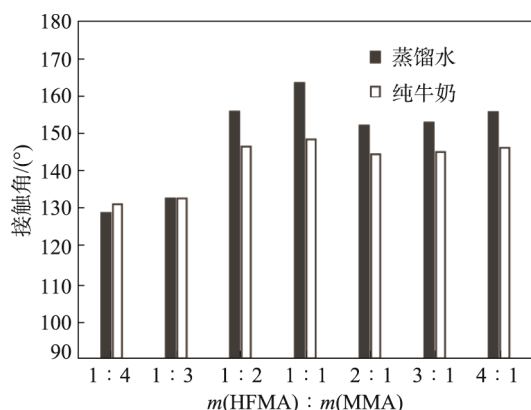


图3 不同 HFMA 和 MMA 质量比对接触角的影响

Fig.3 Effect of different $m(\text{HFMA}):m(\text{MMA})$ ratio on the contact angle of fluorinated acrylate resin film

在一定范围内,液体(蒸馏水与纯牛奶)在含氟丙烯酸酯树脂膜上的接触角随HFMA和MMA质量比的增大先增大后减小;在该范围内,当HFMA和MMA质量比为1:1时,液体(蒸馏水与纯牛奶)在含氟丙烯酸酯树脂膜上的接触角取得最大值。因此,在该范围内,HFMA和MMA质量比为1:1时的单体配比最佳。

2.1.2.2 不同 DFMA 和 MMA 质量比

选用DFMA和MMA的不同质量比(1:4, 1:3, 1:2, 1:1, 2:1, 3:1, 4:1)进行实验,结果见图4。当单体DFMA和MMA的质量比为1:4, 1:3时,溶解时有絮状产生,在载玻片上铺膜时容易堆积,不能顺利铺展,因此无法形成质地均匀的膜,说明这2种含氟丙烯酸酯树脂在同样配比的四氢呋喃和乙醇混合溶剂中的溶解度较大,导致了大分子的析出,影响了含氟丙烯酸酯树脂膜的外观。当单体DFMA和MMA的质量比为3:1, 4:1时,膜不易干燥,膜外观较平整,但很薄,说明这2种含氟丙烯酸酯树脂在同样配比的四氢呋喃和乙醇混合溶剂中的溶解度较小,可认为与氟原子稳定的结构有关,致使当DFMA添加量较大时不易溶解于溶剂中。

在一定范围内,液体(蒸馏水与纯牛奶)在含氟丙烯酸酯树脂膜上的接触角随HFMA和MMA质量比的

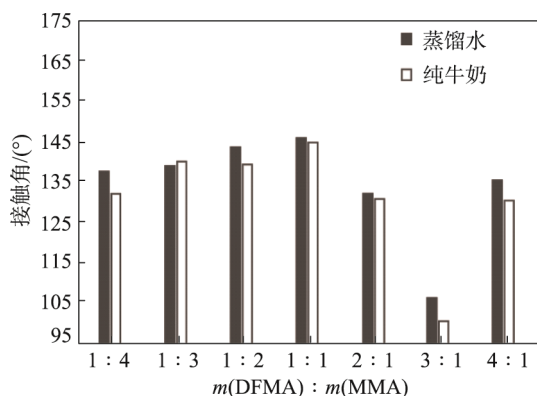


图4 不同 DFMA 和 MMA 质量比对接触角的影响

Fig.4 Effect of different $m(\text{DFMA}):m(\text{MMA})$ ratio on the contact angle of fluorinated acrylate resin film

增大先增大后减小。在DFMA和MMA质量比为3:1时,出现液体(蒸馏水与纯牛奶)在含氟丙烯酸酯树脂膜上的接触角急剧减小的现象。当DFMA和MMA的质量比为1:1时,液体(蒸馏水与纯牛奶)在含氟丙烯酸酯树脂膜上的接触角取得最大值。在该范围内,DFMA和MMA的质量比为1:1时为最佳配比。

2.1.3 不同单体

不同含氟单体对含氟丙烯酸酯树脂膜接触角的影响见图5,单体侧链含氟链长对含氟丙烯酸酯树脂性能影响明显^[11-15],这是因为不同的氟链长会直接影响氟原子在含氟丙烯酸酯树脂膜表面的富集程度。在该范围内,当 HFMA/MMA 体系与 DFMA/MMA 体系的质量比值小于1时,膜表面的氟原子未达到饱和状态,因此氟链长是影响接触角大小的主要因素。较长的含氟侧链与主链间的作用力小,利于其脱离主链的束缚并向膜表面伸展,使氟原子在膜表面富集,因而液体(蒸馏水与纯牛奶)在 DFMA/MMA 体系下形成的含氟丙烯酸酯树脂膜上的接触角比 HFMA/MMA 体系形成的更大。同样质量的 HFMA 比 DFMA 的物质的量大,随着单体比例的增加,氟原子在表面富集的效果超过了氟链长的影响,因此

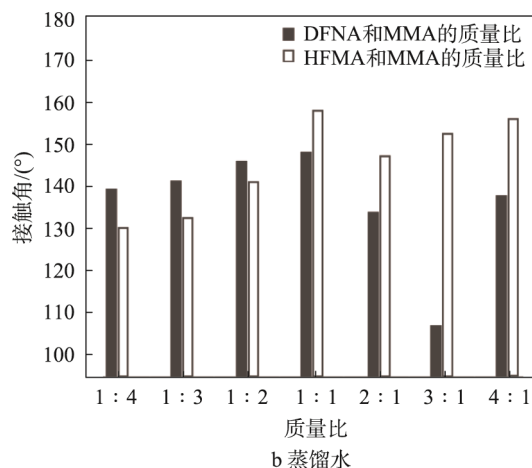
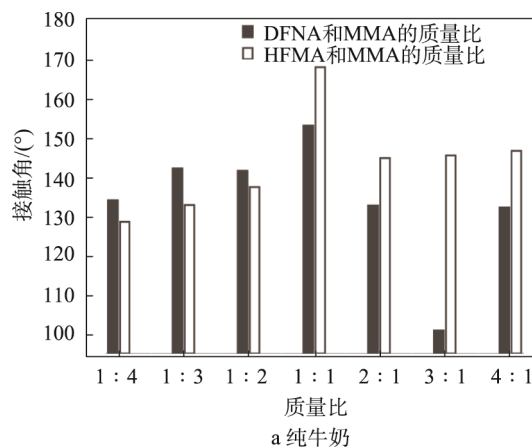


图5 不同单体对接触角的影响

Fig.5 Effect of different monomers on the contact angle of fluorine-containing acrylate resin film

HFMA/MMA 体系较 DFMA/MMA 体系的表面能低。同时, H—F 间的氢键作用加强, 这在一定程度上限制了氟原子向含氟丙烯酸酯树脂膜表面的富集, 导致该膜表面的氟原子减少, 因此当 HFMA/MMA 体系与 DFMA/MMA 体系的质量比值大于或等于 1 时, 液体(蒸馏水与纯牛奶)在 DFMA/MMA 体系下形成的含氟丙烯酸酯树脂膜上的接触角较在 HFMA/MMA 体系形成的更小。通过比较, 以下选择 HFMA/MMA 体系为研究对象。

综上所述, 文中实验制备的含氟丙烯酸树脂膜的配方为: 单体采用 HFMA/MMA 体系, 且 HFMA/MMA 质量比为 1 : 1, 引发剂 BPO 的质量分数为 1.0%。

2.2 红外光谱分析

HFMA 和 MMA 质量比为 1 : 1 的含氟丙烯酸酯树脂的傅里叶变换红外光谱见图 6。经分析可知, 3000 和 2950 cm^{-1} 处为聚酯中 2 个 $-\text{CH}_2-$ 的吸收峰; 2360 cm^{-1} 处为 $\text{F}-\text{C}-\text{F}$ 倍频的吸收峰; 1730 cm^{-1} 处是酯基的 $\text{C}=\text{O}$ 吸收峰; 1450 和 1390 cm^{-1} 处为甲基丙烯酸甲酯的特征吸收峰; 1190 cm^{-1} 处为 $-\text{CF}_2-$ 基团的特征吸收峰; 964 和 839 cm^{-1} 处为甲基丙烯酸六氟丁酯的特征吸收峰; 685 cm^{-1} 处为 $-\text{CF}-$ 的吸收峰, 这表明氟单体参加了共聚反应。

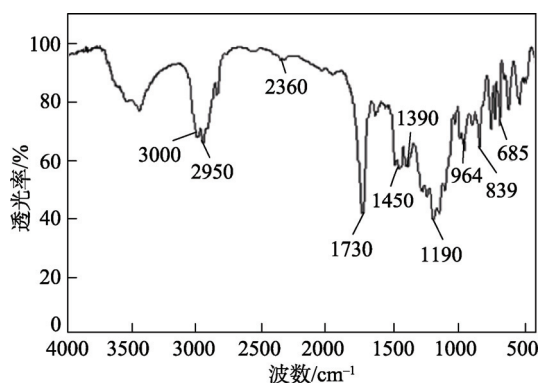


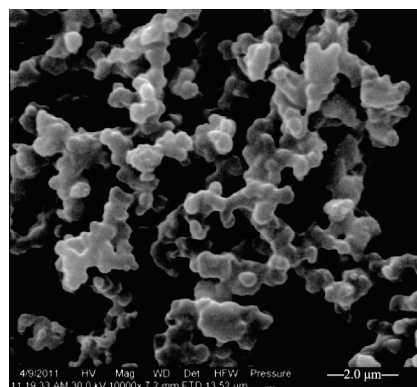
图 6 含氟丙烯酸酯树脂的傅里叶变换红外光谱
Fig.6 FTIR spectra of fluorine-containing acrylate resins

2.3 表面形貌表征

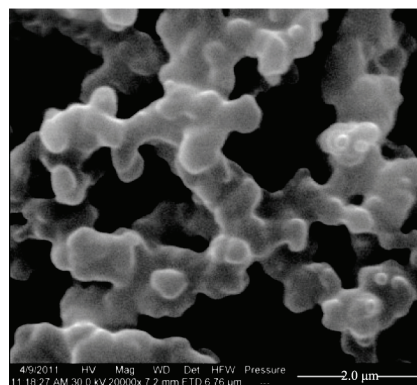
含氟丙烯酸酯树脂膜样品的扫描电子显微镜照片见图 7, 可以观测到高疏流体包装膜表面的微观形态。图 7a 中的膜表面是由凸起和凹陷 2 种结构组成的粗糙表面, 图 7b 中显示凸起部分是由微米尺寸的乳突组成, 且这些乳突结构和大小较一致, 分布也较均匀。图 7c 显示乳突上面分布有纳米尺寸的小凸起, 呈爪状, 与具有高疏水性的荷叶表面微观结构相似。

2.4 接触角

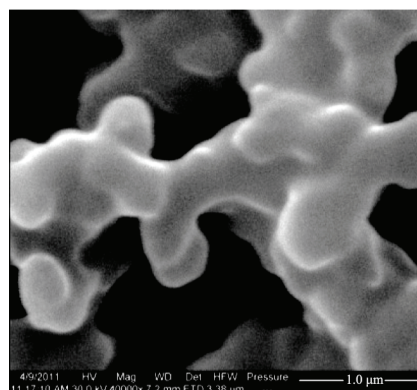
多种液体在不同基材上的接触角数据见表 1, 所选用的基材来源于目前市场上所使用的液态奶制品包装材料。由表 1 可知, 目前所用的液态奶制品包装的接触角一般在 $75^\circ \sim 100^\circ$ 之间, 偶有偏差。



a 放大10 000倍



b 放大20 000倍



c 放大40 000倍

图 7 HFMA 和 MMA 质量比为 1 : 1 的高疏流体包装膜电镜
Fig.7 SEM photo of high-lyophobic packaging film with mass ratio of HFMA to MMA 1 : 1

表 1 液体在不同基材上的接触角

Tab.1 Contact angles of liquid on different substrates ($^\circ$)

种类	塑料袋 (光明纯牛奶)	纸盒装 (蒙牛酸牛奶)	塑料盒盒底 (光明酸牛奶)	塑料盒盒体 (光明酸牛奶)
蒸馏水	93.5	104.2	57.4	79.5
纯牛奶	92.3	90.0	78.1	78.4

不同液体在含氟丙烯酸酯树脂膜上的接触角见图 8, 纯牛奶在含氟丙烯酸酯树脂膜表面的接触角为 150.5° , 蒸馏水在含氟丙烯酸酯树脂膜表面的接触角为 164.3° , 接触角滞后可达 4.4° 。液体(蒸馏水、纯牛奶)在含氟丙烯酸酯树脂膜上的接触角较大。

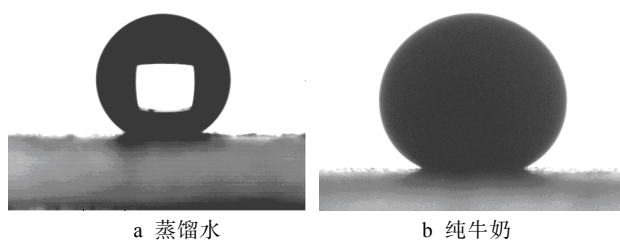


图8 不同液体在含氟丙烯酸酯树脂膜上的接触角
Fig.8 Contact angles of different liquid on fluorine-containing acrylate resin film

通过表1和图8比较可知,蒸馏水和液态奶制品在含氟丙烯酸酯树脂膜上的接触角比其在目前市场上所用的包装材料上的接触角有了极大提高,这和含氟丙烯酸酯树脂膜的外观形貌分析是一致的。这为含氟丙烯酸酯树脂膜作为高疏流体包装膜提供了强有力的支持。

2.5 耐热性能

HFMA和MMA质量比为1:2的含氟丙烯酸酯树脂膜的TG曲线见图9。含氟丙烯酸酯树脂膜在260~400℃之间TG曲线变化很快,说明质量损失迅速。这是由含氟丙烯酸酯树脂在该温度区间快速分解所致,因此可以认为高疏流体包装膜分解温度在200℃左右。对于不需高温加热的奶制品包装来说,高疏流体包装膜在200℃左右的分解温度已经可以制备包装膜。

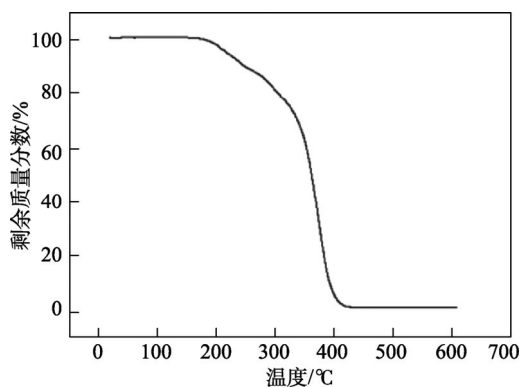


图9 含氟丙烯酸酯树脂膜的TG曲线
Fig.9 TG curve of fluorine-containing acrylate resin film

3 结语

通过上述实验与分析,结果表明成功合成了含氟丙烯酸酯树脂。当选取HFMA/MMA体系为研究对象,且HFMA和MMA的质量比为1:1,引发剂BPO质量分数为1%时,液体在合成的含氟丙烯酸酯树脂膜上接触角最大。通过SEM和TG对高疏流体包装膜进行了表征,并测试了液体在合成丙烯酸树脂膜上的接触角。结果表明,SEM显示了含氟丙烯酸酯树脂高疏流体包装膜的外貌形态,其膜表面凹凸不平,有很多微

纳米级的乳突,这与具有高疏水性的荷叶表面微观结构相似;液体在含氟丙烯酸酯树脂膜上的接触角比在市场现有奶制品包装上的有了极大提高;TG曲线显示,含氟丙烯酸酯树脂高疏流体包装膜的分解温度在200℃左右,对于不需高温加热的奶制品包装来说,该丙烯酸酯树脂可用于制备包装膜。HFMA和MMA质量比为1:1的含氟丙烯酸酯树脂包装膜是一种性能较优良的高疏流体膜,如将其用于液态奶制品包装可有效降低奶制品的挂壁现象。

参考文献:

- [1] 聂教荣,何宜丰,石东风. 含氟丙烯酸酯超疏水膜的制备与性能研究[J]. 胶体与聚合物, 2012, 30(2): 75—77.
NIE Jiao-rong, HE Yi-feng, SHI Dong-feng. Preparation and Characterization of Super-hydrophobic Film of Poly (Fluoride Acrylate)[J]. Chinese Journal of Colloid & Polymer, 2012, 30(2): 75—77.
- [2] BRONIATOWSKI M, DYNAROWICZ-LATKA P, WITKO W. Branching of the Perfluorinated Chain Influences the Liquid-crystalline Properties of Semi-fluorinated Alkanes: Perfluorooctyl and Perfluorooisononyl-n-Alkanes, a Comparative Study[J]. Molecular Crystals and Liquid Crystals, 2006, 460(1): 63—74.
- [3] 王磊磊,陈美玲,杨莉,等. 不同氟含量的苯丙树脂及防污涂料的性能研究[J]. 化工新型材料, 2013, 41(1): 31—33.
WANG Lei-lei, CHEN Mei-ling, YANG Li, et al. Research about the Antifouling Performance of Fluorine Modified Styrene-arylic Resin and Antifouling Coating[J]. New Chemical Materials, 2013, 41(1): 31—33.
- [4] 张杏娟,陈慧琴,皮丕辉,等. 含氟丙烯酸酯共聚物结晶与涂膜表面润湿性能研究[J]. 高校化学工程学报, 2012, 26(1): 112—118.
ZHANG Xing-juan, CHEN Hui-qin, PI Pi-hui, et al. Study on Crystallization and Surface Properties of Fluorinated Acrylate Copolymers[J]. Journal of Chemical Engineering of Chinese Universities, 2012, 26(1): 112—118.
- [5] MARTIN J W, ELLIS D A, MABURY S A. Atmospheric Chemistry of Perfluoroalkanesulfonamides: Kinetic and Product Studies of the OH Radical and Cl Atom Initiated Oxidation of N-Ethyl Perfluorobutanesulfonamide[J]. Environmental Science & Technology, 2006, 40: 864—872.
- [6] LEHMER H J, RAMA R S, NAUDURI D, et al. Synthesis and Structure of Environmentally Relevant Perfluorinated Sulfonamides[J]. Journal of Fluorine Chemistry, 2007, 128(6): 595—607.
- [7] 包建民,许慧,李优鑫. 悬浮聚合法制备功能型甲基丙烯酸酯类聚合物的研究与应用[J]. 化工新型材料, 2016, 44(6): 230—232.

- BAO Jian-min, XU Hui, LI You-xin. Study on Functional Methacrylate-based Polymer Prepared by Suspension Polymerization[J]. New Chemical Materials, 2016, 44(6): 230—232.
- [8] 张铭, 邓仕英, 胡达, 等. 悬浮聚合合法合成高吸油树脂的研究[J]. 化工新型材料, 2016, 44(4): 173—175.
- ZHANG Ming, DENG Shi-ying, HU Da, et al. Study on Synthesis of High Oil Absorbent by Suspension Polymerization[J]. New Chemical Materials, 2016, 44(4): 173—175.
- [9] 李江, 汪国庆, 丁春华, 等. 新型含氟聚合物低表面能防污涂层的研究进展[J]. 机械工程材料, 2015, 39(3): 1—6.
- LI Jiang, WANG Guo-qing, DING Chun-hua, et al. Research Progress of Novel Fluorinated Polymer Low Surface Energy Antifouling Coatings[J]. Materials for Mechanical Engineering, 2015, 39(3): 1—6.
- [10] 桂泰江. 有机硅氟低表面能防污涂料的制备和表征[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2008.
- GUI Tai-jiang. Preparation and Characterization of the Organic Silicone/Fluorine Antifouling Coatings with Low Surface Energy[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2008.
- [11] 王琼燕, 张庆华, 詹晓力, 等. 低表面能侧基含氟聚合物[J]. 化学进展, 2009, 21(10): 2183—2187.
- WANG Qiong-yan, ZHANG Qing-hua, ZHAN Xiao-li, et al. Low Surface Energy Polymer with Fluorinated Side Group[J]. Progress in Chemistry, 2009, 21(10): 2183—2187.
- [12] SAIDI S, GUITTARD F, GUIMON C, et al. Fluorinated Acrylic Polymer: Surface Properties and XPS Investigations[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2006, 99(3): 821—827.
- [13] SAIDI S, GUITTARD F, GUIMON C, et al. Synthesis and Characterization of Copolymers Based on Styrene and Partially Fluorinated Acrylates[J]. European Polymer Journal, 2006, 42(3): 702—710.
- [14] SAIDI S, GUITTARD F, GUIMON C, et al. Fluorinated Comblike Homopolymers: the Effect of Spacer Lengths on Surface Properties[J]. Journal of Applied Polymer Science Part A: Polymer Chemistry, 2005, 43(17): 3737—3747.
- [15] BRACON F, GUITTARD F, GIVENCHY E T, et al. Highly Fluorinated Monomers Precursors of Side-chain Liquid Crystalline Polysiloxanes[J]. Journal of Applied Polymer Science Part A: Polymer Chemistry, 1999, 37(24): 4487—4496.

《纳米材料》特色栏目征稿函

纳米技术作为一种最具有市场应用潜力的新兴科学技术,其潜在的重要性毋庸置疑,纳米技术正成为各国科技界所关注的焦点。在国内,许多科研院所、高等院校也组织科研力量,开展纳米技术的研究工作,并取得了一定的研究成果,纳米技术基础理论研究和新材料开发等应用研究都得到了快速的发展,并且在各领域均得到了广泛的应用。在包装领域,纳米材料也得到了诸多应用。

鉴于此,本刊拟围绕“纳米材料”这一主线,作系列的专项报道。本刊编辑部特邀请纳米材料领域的专家为本栏目撰写稿件,以期进一步提升本刊的学术质量和影响力。稿件以研究论文为主,也可为综述性研究,请通过网站投稿,编辑部将快速处理并优先发表。

编辑部电话: 023-68792294 网址: www.packjour.com

《包装工程》编辑部