

反应挤出聚烯烃接枝改性研究进展

金 慧, 盛 京*, 原续波

(天津大学材料科学与工程学院, 天津 300072)

摘要: 聚烯烃通过接枝改性可以有效地扩大其应用范围。本文简介了近几年反应挤出中聚烯烃接枝体系的组成和接枝机理, 讨论了影响因素及其存在的副反应, 同时介绍了接枝产物在增容改性等方面的应用。

关键词: 聚烯烃; 反应挤出; 熔融接枝

引言

反应挤出(reactive extrusion)是指在聚合物和/或可聚合单体的连续挤出过程中完成一系列化学反应的操作过程^[1]。反应挤出是近20年来迅速发展起来的高新技术, 它利用单/双螺杆挤出机加工高粘度聚合物的独特功能, 对挤出机螺杆螺筒上的各个区段进行独立的温度、物料停留时间和剪切强度的控制, 使物料在各个区段传输过程中, 完成固体输送、增压熔融、物料混合、熔体加压、化学反应、排除副产物和未反应单体、熔体输送和泵出成型等一系列化工单元操作, 是理想的高熔体粘度聚合物熔融反应加工方法。目前反应挤出技术已经广泛应用于聚合物降解^[2~5]、接枝^[6, 7]、本体聚合^[8]、交联^[9]及反应性共混^[10]等方面, 在聚合物制备、功能化及高性能化学改性等领域发挥了重要作用, 是高分子材料反应加工学科的重要组成部分。

以聚丙烯(PP)和聚乙烯(PE)为代表的聚烯烃是用途广泛的通用塑料, 具有产量大、价格低、耐水、耐化学药品, 以及成型工艺好等优点, 在高分子材料中占有十分重要的地位。但由于它们是非极性材料, 与其他聚合物或填料共混时, 界面作用力差。同时, PE和PP的熔点较低, 热变形温度低, 尺寸稳定性不好, 给实际应用带来了很多的限制。通过与极性不饱和单体进行接枝, 在聚烯烃分子链上引入极性基团, 可以改善其性能上的不足, 同时又增加新的性质, 是一种简单有效的聚烯烃改性方法。聚烯烃接枝改性方法主要有: 溶液接枝^[11]、熔融接枝^[12]、固相接枝^[13]、辐射接枝^[14, 15]、悬浮接枝^[16]等。其中熔融接枝主要是在挤出机和密炼机中操作, 它们有相似的反应过程。挤出机中的熔融接枝不仅能灵活设计具有特性的高分子材料, 而且无溶剂回收, 减少设备费用, 可以方便、经济地在聚合物分子链上接枝不同的官能团, 改善原有聚合物的染色性、吸湿性、粘接性、反应活性及与其它聚合物的相容性等, 从而开发性能更优的高分子材料。美、日、欧等已有大量的专利报道, 并开始有商品出售。国内有多家科研单位, 大专院校, 生产企业从事类似研究工作^[17]。本文主要综述近几年挤出机中聚烯烃接枝改性的研究情况。

1 聚烯烃接枝的单体

反应挤出中, 聚烯烃接枝的单体主要有酸性官能团单体、碱性官能团单体和其它单体。酸性官能团单体主要有: 马来酸酐(MAH)^[18, 19]、丙烯酸(AA)^[20, 21]、甲基丙烯酸(MA)、富马酸(FA)^[22]、衣康酸(IA)^[23]、异氰酸酯^[24]等; 碱性官能团单体主要有: 甲基丙烯酸缩水甘油酯(GMA)^[25~27]、唑啉基化合物^[28]等。另外还有官能化过氧化物^[29]、不饱和硅烷^[9]、苯乙烯(St)等。

马来酸酐(MAH)是聚烯烃接枝反应最常用的单体。由于聚烯烃的熔融接枝温度一般高于马来酸酐均聚的上限温度, 因此很少形成马来酸酐的均聚物或在聚烯烃分子链上形成较长的马来酸酐支链, 通常

基金项目: 基金项目: 国家自然科学基金重大项目(50390090);

作者简介: 金慧(1980—), 女, 现为天津大学材料科学与工程学院在读硕士研究生, 主要从事高分子材料结构与性能的研究。

*联系人, shengxu@public.tpt.tj.cn

以单个或两个马来酸酐分子的短支链形式存在。马来酸酐分子中酸酐官能团的存在使其双键的反应活性降低,为了增加接枝率必须增加过氧化物引发剂的用量,带来严重的降解或交联副反应。甲基丙烯酸缩水甘油酯(GMA)不含有羧基,不腐蚀设备,无刺激性气味,沸点较高(204℃),不易挥发,该化合物带有环氧基团较为活泼,在一定条件下可开环与羧基、羟基、胺基等官能团反应,形成偶联结构,但易自聚,接枝率一般比较低^[29]。苯乙烯类的单体也可以用作某些聚合物反应挤出接枝的单体。由于苯乙烯类单体的接枝效率较低,需要导入大量的苯乙烯单体以增加接枝效率,同时生成了一定量的均聚物。在聚丙烯、聚乙烯上接枝少量的苯乙烯可以显著改善该类材料的耐磨性,增加自润滑性^[17]。

聚烯烃与含羧基单体接枝得到的产物,易于热氧化,影响材料使用性能,接枝的羧基基团通过中和反应,可以提高聚烯烃和热塑性塑料共混时的热稳定性,Krivoguz等^[23]在单螺杆挤出机中制备LDPE-g-IA接枝物时,在初始反应物中分别加入四种中和剂:Zn(OH)₂、ZnO、Mg(OH)₂、MgO,DSC测试结果表明,中和剂的加入提高了接枝产物热稳定性和热抗氧化性,而且单体接枝效率得到提高。

目前越来越多地使用共单体(通常加入富电子单体)来接枝聚烯烃。一般要求共单体对聚合物大分子自由基有较高的反应活性,产生的共单体自由基能够容易和接枝单体反应。苯乙烯为使用最多的第二单体,有研究表明,在制备PP-g-GMA接枝物时加入苯乙烯可以在提高接枝率的同时明显降低PP降解程度^[31]。

Tan等^[23]使用苯乙烯作为第二单体,和富马酸与PP熔融接枝,发现苯乙烯的加入提高富马酸的接枝率,同时降低PP降解程度。Tan认为,苯乙烯先和PP大分子自由基反应,产生了苯乙基自由基,该自由基再和富马酸单体共聚。

Graebing^[31]采用反应挤出的方法接枝三丙烯酸季戊四醇酯单体时,加入共反应物二硫化四乙基秋兰姆,制得长支链的聚丙烯。二硫化四乙基秋兰姆通过热降解产生两种二硫代氨基甲酸盐自由基,可以和PP大分子自由基反应,反应具有可逆性,自由基瞬时浓度降低,有利于支化反应。

Xie^[6]研究了单螺杆挤出机中双单体体系(GMA-St和HEMA-St)与PP熔融接枝反应。研究发现,苯乙烯加入后,可使单体(GMA/HEMA)接枝率提高近四倍,同时降低PP主链β-断裂程度,获得的PP不仅具有很好的极性,而且保持良好的机械性能。Xie认为单体易和形成的苯乙烯大分子自由基共聚反应,提高单体接枝率,同时St是PP的良溶剂,更多的PP大分子自由基参与接枝反应,降低了β-断裂程度。

在挤出过程中加入过氧化物和带官能团(例如酐、环氧基团等)单体熔融接枝聚烯烃,是一种常用的聚烯烃改性方法。然而,聚乙烯的交联,聚丙烯的降解等副反应会降低它们的加工性能和机械性能。Yao^[32]等用辐射接枝方法制备官能化的线性低密度聚乙烯(LLDPE):用γ-射线照射LLDPE,然后将照射的聚乙烯和含官能团的乙烯基单体(如马来酸酐、丙烯酸等)在挤出机中挤出,获得高接枝率、低凝胶含量的聚乙烯。

2 聚烯烃接枝的引发剂

挤出机中聚烯烃接枝采用的引发剂一般与其有较好的热力学亲和性,并且分解温度适宜于反应挤出加热过程。接枝和副反应之间的竞争在很大程度上依赖于引发剂种类和浓度。引发剂在聚合物和单体中的反应活性和溶解性对接枝反应和转化率有很大影响。引发剂和单体亲和性越大,接枝效率越低。挤出机中物料停留时间一般为几分钟,因此要求引发剂在加工温度范围内,半衰期应该比挤出机中物料停留时间短,一般为0.2~2min。反应挤出中使用的引发剂通常为过氧化物,常用的包括过氧化二异丙苯(DCP)^[21,23],过氧化苯甲酰(BPO)^[21]和叔丁基类过氧化物如:2,5-二甲基-2,5-双叔丁基过氧基乙炔(YD),过氧化苯甲酸叔丁酯(TPB),双叔丁基过氧基异丙基苯^[24,30],1,1-双叔丁基过氧基-3,3,5-三甲基环己烷(BBTCH)^[26,28],2,5-二甲基-2,5-双叔丁基过氧基-己烷(LUP)^[17,27,33,34]等。

Pesetskii^[25]采用七种有机过氧化物引发剂(DCP、过氧化二叔丁基(TBP)、2,5-二甲基-2,5-双叔丁基过氧基-己烷、2,2-Di(3-methyl-1-butene-3-ylperoxy)-5,5,6-trimethyl bicyclo[2.2.1]heptane、2,2-双叔丁基过氧化-5,5,6-三甲基二环[2.2.1]庚烷、2,5-二甲基-2,5-叔丁基过氧基-3-己炔,双叔丁基过氧基异丙基苯)研究单

螺杆挤出中 IA 和 GMA 与 PP 接枝反应,结果表明双叔丁基过氧基异丙基苯是最适合的引发剂,因为其不仅在 PP 熔体中溶解性好,而且热分解温度变化范围与反应挤出过程一致。

Rao^[34] 在单螺杆挤出机中采用两种不同的引发剂(DCP 和 LUP)引发 *N*-乙烯基吡咯烷酮(NVP)接枝 PP。其扭矩和 MFI 数值表明,DCP 会导致更多链断裂,因为 DCP 半衰期比 LUP 短,形成的初级自由基导致更多 β -断裂。

3 聚烯烃接枝反应的机理

聚烯烃熔融接枝反应是通过自由基聚合来实现的,关于接枝机理,目前研究最多的是 MAH。对 MAH 接枝 PP 反应机理(PP 链上接枝点,接枝单元数目,单体自聚反应等方面)存在着一定争议,目前对于该机理研究已取得进展。

关于接枝点研究主要有两种理论:一种理论认为接枝点在 PP 主链叔/仲碳原子上。Gaylord 等^[35] 最早指出,MAH 的接枝反应只能发生在 PP 分子链叔碳原子上。另一种理论认为接枝点在 PP 链末端。Roover 等^[36] 认为 β -断裂优先发生,故 MAH 通常接枝到 PP 链末端。Zhu 等^[37] 首次用 Monte Carlo 模拟方法研究高温条件下马来酸酐接枝聚丙烯中的接枝点问题,模拟结果表明:单体浓度低时,大部分单体接枝到 PP 链末端;单体浓度高时,单体主要接枝到叔碳上,这个结论解决了有关 PP 主链上接枝点的争论。在单体自聚和接枝单元数目方面,Gaylord 等^[35] 认为接枝的 MAH 可以是单个分子,也可以是一小段均聚物。Roover 等^[36] 认为熔融接枝过程存在 MAH 均聚现象,而 Heinen^[38] 指出由于 MAH 的聚合上限温度为 165 °C,因此在 190 °C 熔融接枝条件下,MAH 不能均聚,接枝的 MAH 为一个单元。目前部分文献认为高温条件下,MAH 不可能发生自聚反应^[19,39]。Shi 等^[39] 提出较为详细的反应机理:引发剂热分解产生的自由基能与 MAH 单体和 PP 分子链都反应;在此反应挤出条件下 MAH 不可能发生自聚反应;MAH 自由基能歧化终止或作为链转移剂;叔碳大分子自由基既能发生 β -断裂又能作为单体接枝点,仲碳大分子自由基既能偶合终止又能作为单体接枝点。近来 Güldoğan 等^[19] 提出与 Shi 相似的反应机理。

4 聚烯烃接枝反应的影响因素

反应挤出过程中,影响接枝率的主要因素有:单体和引发剂种类、用量、可溶性,反应温度,加工条件(螺杆转速及构造、挤出产量、停留时间等),加料顺序等。高加工温度可能导致聚烯烃降解,降低引发剂半衰期,影响反应速度。物料在挤出机中停留时间过短,不利于接枝反应进行,而停留时间过长,会引起聚烯烃的降解等副反应。为使单体和引发剂与聚烯烃有效混合,挤出机一般要求具有较强的混合段,螺杆的设计使聚合物与单体及引发剂和其它助剂有最大的接触表面^[40]。

Sun^[30] 以双螺杆挤出机制备 PP-g-GMA 接枝物,证明接枝率与引发剂浓度成正比,而加工参数(螺杆转速、加料速度、挤出产量)通过停留时间分布影响接枝率。螺杆转速和加料速度的提高引起停留时间分布降低,从而导致接枝率降低。Machado 等^[7] 研究双螺杆挤出机中 MA 接枝聚烯烃组分(PE、PP、EPM(乙烯和丙烯的共混物))的影响因素。MA 的接枝含量依赖于加工参数,螺杆几何结构,特别是加工参数对接枝率有重要的影响,低螺杆转速和低挤出产量使 MA 接枝量最大。

Güldoğan 等^[19] 研究双螺杆挤出机中 DCP 引发 PP(粉料和粒料)与 MA 熔融接枝,发现粉料 PP 中 MA 接枝效率要高于粒料,因为粉料 PP 具有较好地初期混合效果和较小扩散阻力。

Bettini 等^[18] 在双螺杆挤出机中制备 PP-g-MA 接枝物,发现引发剂(LUP)用量增大导致单体接枝量增大,相对分子质量降低;MA 浓度低时,相对分子质量降低,浓度高时,相对分子质量增大。MA 用量的变化对单体接枝量几乎没有影响。Pesneau 等^[26] 用双螺杆挤出机制备 LLDPE-g-GMA 时,发现接枝率随着 GMA 和引发剂浓度增大而增大,但接枝效率较低,主要原因是单体自聚。

Hu 等^[24] 用密炼机模拟反应挤出过程,以期得到最大接枝率。采用两种不同的加料顺序:(1)一步加料法,即单体、引发剂、PP 混合后一起加入到反应器;(2)逐步加料法,即先将单体、引发剂混合后分成几份,第一份和 PP 混合后加入到反应器,反应一段时间,剩余的几份按相同的时间间隔加入,实验结果表明

采用逐步加料法得到较高的接枝率和接枝效率。

5 聚烯烃接枝反应中的副反应

在反应挤出中, 聚烯烃接枝反应中存在的副反应主要有自由基引发的交联, 自由基引发的断链, 剪切引发的降解及单体的均聚。不同单体, 其均聚和接枝作用的竞聚率不同, 交联和断链在很大程度上依赖于物质本身和加工条件。

PE 主要副反应是交联。由于分子链的线性结构, 在过氧化物作用下, 产生仲碳原子自由基。通常情况下, 交联反应速率大于降解反应速率, 反应结果是聚烯烃大分子发生交联, 形成不同程度的网状结构聚合物。而 PP 主要副反应是降解, 由于分子链上侧甲基的存在, 过氧化物作用下, 产生叔碳原子自由基, 叔碳原子易发生 β -断链, 引发降解。挤出过程中聚烯烃发生支化/交联或降解, 直到引发剂完全消耗。

关于 PE 降解机理, El' darov 等^[3]研究 PE 挤出过程中机械降解和热氧化的内在关系, 认为大分子断裂和增长与温度有关: 低温断裂是因为机械断裂, 中等温度大分子增长是因为烷基自由基与大分子双键反应, 高温断裂是因为异构化作用引起大分子链断裂。

González 等^[2]研究多步反应挤出条件下 PP 降解机理, 发现 PP 化学结构没有变化, 只有少量的羰基基团, 说明 PP 降解主要由链断裂引起热机械降解, 仅有一小部分热氧化降解。Machado^[5]研究过氧化物作用下 PP 降解, 指出 PP 降解为热机械降解, 由链断裂所致, 依赖于螺杆元件施加的应力、温度和过氧化物浓度。

6 聚烯烃接枝物的应用

聚烯烃接枝后, 在非极性主链上引入了极性集团, 其性能得到明显改善, 可以作为相容剂改善塑料合金得相容性, 作为偶联剂提高复合材料的力学性能, 作为胶粘剂提高塑料和金属表面的粘结力。

Yang 等^[41]反应挤出制备线性低密度聚乙烯接枝物(LLDPE-g-AA), 再与 PBT 共混挤出, 因为接枝物中的羧基和 PBT 中的羧基或羟基相互作用, 共混物相容性得到改善, 同时冲击强度和断裂伸长率有所提高, 而拉伸或屈服强度和杨氏模量没有明显变化。

Zhang 等^[42]用反应挤出方法制备 EP-g-AA 接枝物, 并增容 PA/EP 共混物。机械性能测定表明: 弯曲强度、弯曲模量、断裂伸长、杨氏模量、拉伸强度和冲击强度都有相应提高, 而冲击强度和 AA 含量存在一个最优化问题。加入接枝物后分散相粒径明显变小, 少量接枝物可以对 EP 粒径产生很大影响。DSC 热分析表明, PA 熔化热随着接枝物含量增大而降低, 即 PA 结晶度降低, 主要因为随着接枝物加入, 更多 PA 和接枝物原位反应生成 PA-g-EP, 阻碍了 PA 链段运动。

Zhai 等^[41]反应挤出制备 PE-g-MAH 接枝物, 并与 PE/有机蒙脱土制备纳米复合材料。实验发现接枝物有利于提高蒙脱土的分散性。Wang 等^[44]在双螺杆挤出机中将 PP-g-MA 接枝物与 PP/有机粘土纳米材料共混, 发现 MA 的加入有利于提高粘土分散性和材料拉伸模量。

另外, Pesneau^[29]指出挤出产物中的自聚单体会严重影响共混材料的界面黏附性, 因而提纯后的接枝产物会起到更好的增容作用。

7 展望

反应挤出具有可较大规模生产, 不使用或少使用溶剂, 对人体和环境危害小, 成本低等优点, 用于聚烯烃接枝改性, 具有很好的经济效益。主要存在的问题是: 聚烯烃降解/交联及支化, 单体自聚, 接枝率低, 特别是降解易引起聚烯烃机械性能下降。可以预见, 利用在线的分析方法及其它测试手段研究反应挤出过程动力学问题和反应机理, 有效地抑制副反应发生, 得到性能优异接枝产物将是今后研究的热点。利用反应挤出技术制备功能化聚烯烃材料仍将是高分子材料科学与工程最活跃的课题之一, 并具有广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] Xanthos M. 反应挤出原理与实践. 瞿金平译. 北京: 化学工业出版社, 1999.
- [2] González-González V A, Neira-Velázquez G, Angulo-Sánchez J L. *Polym Degrad Stab*, 1998, 60: 33.
- [3] Ef' darov E G, Mamedo F V, Gof' dberg V M, et al. *Polym Degrad Stab*, 1996, 51: 271.
- [4] Alexy P, Lacik I, Simkova B, et al. *Polym Degrad Stab*, 2004, 85: 823.
- [5] Machado A V, Maia J M, Canevarolo S V, et al. *J Appl Polym Sci*, 2004, 91: 2711.
- [6] Xie X M, Chen N H, Guo B H, Li S. *Polym Int*, 2000, 49: 1677.
- [7] Machado A V, Covas J A. *Adv Polym Tech*, 2004, 23(3): 196.
- [8] Gao S S, Zhang Y, Zheng A N, et al. *Polym Adv Technol*, 2004, 15: 185.
- [9] Huang H, Lu H H, Liu N C. *J Appl Polym Sci*, 2000, 78: 1233.
- [10] Kim S J, Kim D K. *Polym Eng Sci*, 2003, 43(6): 1298.
- [11] Priola A, Bongiovanni R, Gozzelino G. *Eur Polym J*, 1994, 30: 1047.
- [12] Moad G. *Prog Polym Sci*, 1999, 24: 81.
- [13] Picchioni F, Goossens J G P, Duin M V, et al. *J Appl Polym Sci*, 2003, 89: 3279.
- [14] Naguib H F, Aly R O, Sabaa M W, et al. *Polym Test*, 2003, 22(7): 825.
- [15] Vilaplana F, Morera-Escich V, Hierro-Navarro P D, et al. *J Appl Polym Sci*, 2004, 94: 1803.
- [16] Lu B, Chung T C. *J Polym Sci, Part A: Polym Chem*, 2000, 38(8): 1337.
- [17] 吴京, 殷敬华. *塑料*. 2003, 32(1): 31.
- [18] Bettini S H P, Agnelli J A M. *J Appl Polym Sci*, 2002, 85: 2706.
- [19] Güldoğan Y, Eğri S, Rzaev Z M O, et al. *J Appl Polym Sci*, 2004, 92: 3675.
- [20] Yao Z H, Gao Y, Yin J H. *J Appl Polym Sci*, 2002, 86: 2626.
- [21] Rao G S S, Choudhary M S, Naqui M K, et al. *Eur Polym J*, 1996, 32(6): 695.
- [22] Tan R A, Wang W, Hu G H, et al. *Eur Polym J*, 1999, 35(11): 1979.
- [23] Krivoguz Y M, Pesetskii S S, Jurkowski B. *J Appl Polym Sci*, 2003, 89: 828.
- [24] Hu G H, Li H X, Feng L F, et al. *J Appl Polym Sci*, 2003, 88: 1799.
- [25] Pesetskii S S, Jurkowski B, Makarenko O A. *J Appl Polym Sci*, 2002, 86: 64.
- [26] Pesneau I, Champagne M F, Huneault M A. *J Appl Polym Sci*, 2004, 91: 3180.
- [27] Cartier H, Hu G H. *Polym Eng Sci*, 1998, 38(1): 177.
- [28] Anttila U, Voche C, Seppäki J. *J Appl Polym Sci*, 1999, 72(7): 877.
- [29] Assoun L, Maning S C, Moore R B. *Polymer*, 1998, 39(12): 2571.
- [30] Sun Y L, Hu G H, Lambla M. *J Appl Polym Sci*, 1995, 57: 1043.
- [31] Graebbling D. *Macromolecules*, 2002, 35: 4602.
- [32] Yao Z H, Yin J H, Xu J. *Chin Pat Appl*, 00109087. 9(2000).
- [33] Dorscht B M, Tzoganakis C. *J Appl Polym Sci*, 2003, 87: 1116.
- [34] Rao G S S, Jain R C. *J Appl Polym Sci*, 2003, 88: 2173.
- [35] Gaylord N G, Mishra M K. *J Polym Sci: Polym Lett Ed*, 1983, 21: 23.
- [36] Roover B D, Sclavons M, Carlier V, et al. *J Polym Sci, Part A: Polym Chem*, 1995, 33: 829.
- [37] Zhu Y T, An L J, Jiang W. *Macromolecules*, 2003, 36: 3714.
- [38] Heinen W, Rosenmöller C H, Wenzel C B, et al. *Macromolecules*, 1996, 29: 1151.
- [39] Shi D, Yang J J, Yao Z H, et al. *Polymer*, 2001, 42: 5549.
- [40] 刘书银, 陈中华. *高分子材料科学与工程*. 1999, 15(5): 13.
- [41] Yang J H, Shi Dean, Yao Z G, et al. *J Appl Polym Sci*, 2002, 84: 1059.
- [42] Zhang X M, Whang D M, Yin Z H, et al. *J Appl Polym Sci*, 1996, 62: 67.
- [43] Zhai H B, Xu W B, Guo H Y, et al. *Eur Polym J*, 2004, 40(11): 2539.
- [44] Wang Y, Chen F B, Wu K C. *J Appl Polym Sci*, 2004, 93(1): 100.

(下转第 76 页)

- [4] 庄银凤, 朱晓会, 卢祥炜, 等. 郑州大学材料工程学院本科生毕业论文, 2000.
- [5] 庄银凤, 朱仲祺, 张献坤, 等. 郑州大学材料工程系本科生毕业论文, 1999.
- [6] 庄银凤, 朱仲祺, 朱诚身, 等. 化学研究, 1999, 11(1): 23.
- [7] 庄银凤, 朱仲祺, 陈留伟, 等. 化学研究, 1998, 9(3): 12.
- [8] 庄银凤, 王峰. 郑州大学学报(自然科学版), 1998, 30(4): 72.
- [9] 庄银凤, 郭莉. 郑州大学材料工程系本科生毕业论文, 1999.
- [10] 庄银凤, 郭莉. 郑州大学学报(高教研究版), 2000, (2): 18.
- [11] 庄银凤. 郑州大学学报(高教研究版), 1999, (3): 30.
- [12] 王经武, 赵海亮. 高教研究与管理, 1997, (4): 25.

Study and Practice on MCAI of Polymer Physics

ZHUANG Yin-feng¹, ZHU Xiao-hui²

(1. College of Materials Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450052, China;

2. Zhengzhou Economic Management Institute, Zhengzhou 451191, China)

Abstract: Through evaluation of the course, through standardization, serialization, systematization and media-multilization of the teaching material, coupled with preparation of MCAI course software and computer simulation software and the use of network and combinational use of objective in class teaching, we carried out a study on and practice in multi-media computer assistant instruction (MCAI) of polymer physics. Our efforts resulted in a practical and effective teaching plan for training persons with a solid foundation, a wide range of knowledge, a strong ability and a high quality, thus promoting our course construction a higher level.

Key words: MCAI; Course software; Computer simulation; Course construction; Polymer physics

(上接第 41 页)

A Review on Graft-Modification of Polyolefin by Reactive Extrusion

JIN Hui, SHENG Jing, YUAN Xu-bo

(School of materials science and engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: Modification of polyolefin by melt grafting is an effective way to expand the application of the polyolefin. In this paper, the composition and mechanisms of grafting by reactive extrusion in recent years are briefly introduced, and the influences of different factors as well as side reactions are discussed. Meanwhile, the application of the grafted polyolefin in the compatibilization is also introduced.

Key words: Polyolefin; Reactive extrusion; Melt grafting