

ABS 树脂研究进展

于志省*

(中国石油化工股份有限公司上海石油化工研究院 中国石油化工集团公司

三采用表面活性剂重点实验室,上海 201208)

摘要:聚(丙烯腈-丁二烯-苯乙烯)三元共聚物即 ABS 树脂具有优异的机械性能、热稳定性能、耐化学性能、美学性能和加工性能等因而被广泛应用。本文综述了国内外 ABS 树脂的生产工艺和制备方法,指出了连续本体聚合具有优势,但仍要与乳液聚合长期竞争、共存,并重点阐述了 ABS 树脂的增韧改性用橡胶品种及其增韧机理,最后讨论了仪器化冲击试验机在材料尤其是 ABS 领域中的应用状况及前景,指出将显微技术与仪器化冲击手段结合可深层次地评价树脂材料的动态断裂过程与机理。

关键词: ABS 树脂;生成工艺;橡胶增韧;增韧机理;仪器化冲击

聚(丙烯腈-丁二烯-苯乙烯)共聚物(ABS)是一种典型的两相结构的三组分热塑性树脂,由聚(苯乙烯-丙烯腈)共聚物即 SAN 连续相和分散的聚丁二烯橡胶相组成。橡胶粒子通过与部分单体接枝以形成与非接枝 SAN 基体间必要的界面粘结力,并促使胶粒均匀分散于基体中。ABS 树脂各组分赋予其各自独特的性能,其中,丙烯腈(AN)组分赋予树脂耐化学性、耐候性、耐热性、硬度及拉伸强度;丁二烯(BD)组分赋予树脂韧性和耐低温性能(低温耐冲击强度);苯乙烯(St)组分则赋予树脂优良的电性能、加工性能和表面光泽性等^[1]。正是因其优异的机械性能、高的热稳定性能和耐化学性能、优良的美学性能以及好的加工性能而被广泛地应用于电子和大型电器、小型电器、交通运输(如仪表盘、车轮罩等部件)、轻工领域(如箱包、玩具和板材)等。

1 ABS 生产工艺

高断裂韧性是 ABS 树脂得以广泛应用的决定性因素之一。虽然通过橡胶相的添加或改性可能损害其部分的机械性能,如模量、加工性等,但可以此达到其韧性的提高。为此,人们通过很多增韧方法以优化其断裂韧性且尽可能少地损害其它性能。通常情况下,可以通过将橡胶与 SAN 共聚物共混(掺混)或在橡胶存在时,AN 和 St 单体以本体聚合、乳液聚合、悬浮聚合工艺及其联合工艺方法进行共聚合反应来制备 ABS 树脂。

ABS 最早由美国合成橡胶公司于 1947 年用共混法开发成功。该法工艺简单,但产品耐老化性差,低温抗冲击性能低劣,加工性能也较差。1954 年,美国 Borg-Warner 公司将 AN 和 St 在聚丁二烯胶乳中进行接枝聚合,制成了乳液接枝型 ABS(主导产品 CyclolacTM 牌号),并首先实现了工业化生产。它的开发成功为后来 ABS 树脂产业的蓬勃发展奠定了坚实的基础。之后,英、法、德、日等国纷纷引进 ABS 技术并建厂,经过不断研究和开发,使 ABS 生产技术得到了不断完善和发展。该法具有较大的可调节性、质量均一、低成本,当前仍被一些国家(主要是发展中国家)采用,然而该工艺甚为复杂,对环境污染严重。无污染物(乳化剂)、低三废生成的连续本体法 ABS 工艺,逐渐得到青睐。与乳液法工艺对比的本体 ABS 工艺的简易流程图如图 1 所示。近几十年来,很多专利文献报道了人们致力于本体工艺的最优化和生产设备的改进等方面的研究^[2]。

近几年,国内本体 ABS 生产也有较快发展。中国石化高桥石化分公司采用美国道化学公司连续本

收稿:2011-07-06; 修回:2011-09-07;

作者简介:于志省(1983-),男,博士,工程师,主要从事功能性聚合物材料的合成与性能研究, Tel:021-68462197-6251, E-mail: yvzx_sshy@sinopec.com.

体法生产技术在漕泾建设 200kt/a ABS 装置,已于 2007 年 1 月投产,这是过去十多年来世界新建的首套连续本体法 ABS 装置,也是目前世界最大的连续本体 ABS 生产装置。该装置拥有 3 条生产线,每条能力为 75kt/a。辽宁华锦化工集团公司(原盘锦乙烯)也选用道化学连续本体技术新建了 140kt/a 的 ABS 装置。从长远来看,这将一定程度上缓解国内对进口产品的依赖性。中国石油吉林石化公司则引进了日本三井东亚公司连续本体法 ABS 生产工艺。上海华谊本体聚合技术开发公司经多年的技术攻关、项目建设、联动试车并成功试生产出本体法 ABS 产品,填补了国内空白,形成了自主知识产权的工业生产技术。中化国际(控股)股份有限公司亦在消化引进技术的基础上,自主开发了连续本体法生产工艺,简化生产流程,减少三废污染,节省投资。

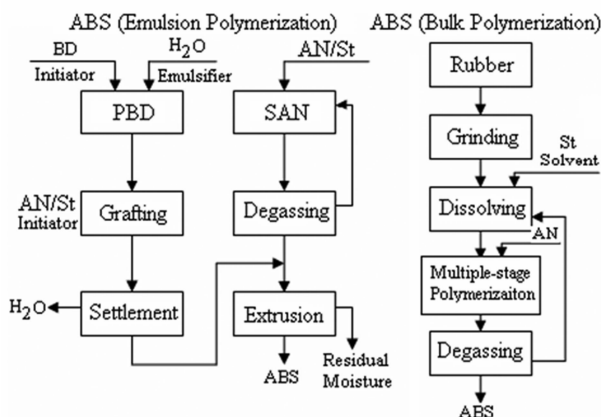


图 1 乳液法与本体法 ABS 工艺的比较

Figure 1 Comparison of emulsion and bulk technologies of ABS

尽管 ABS 本体工艺在生产成本和环保方面具有优势,但本体生产装置的建设费用较高,且其产品在某些方面还有局限性。因此,在今后的很长一段时期,乳液法和连续本体法生产工艺将形成长期竞争与共存的局面。如果能将乳液法 ABS 与本体法 ABS 有机结合,势必会使两者的优势互补。

2 增韧改性用橡胶

从理论上讲,丁二烯类聚合物、丁二烯与苯乙烯或与丙烯腈、丙烯酸烷基酯、丙烯酰胺类单体的共聚物或嵌段共聚物等,均可作为本体法苯乙烯系增韧树脂的接枝用橡胶。非交联橡胶种类包括丁二烯的均聚物如高顺胶和低顺胶、天然橡胶、丁二烯—苯乙烯嵌段橡胶、丁二烯—丙烯酸酯橡胶等。

2.1 聚丁二烯橡胶

早期的增韧改性剂曾选用聚丁二烯橡胶(BR)、丁基橡胶(NR)或丁苯橡胶(SBR)^[3],上世纪 70 年代后期开发了溶液粘度和凝胶含量均较低的高顺胶^[4],用于生产各种牌号的高抗冲聚苯乙烯(HIPS)。随后,在降低锂系低顺胶溶液粘度方面也取得了重要进展,使其用于制备高抗冲、高光泽 HIPS 成为可能。从弹性和耐低温性来讲,高顺胶具有较低的玻璃化转变温度和极少的短支链,因而用其制备的增韧树脂抗冲性能要优于用低顺胶生产的,弹性好有利于提高树脂的冲击强度。低顺胶色泽好,杂质低,无异味,质量均一,特别适于本体连续聚合反应过程;另外,其乙烯基结构含量高,交联度和支化能力亦较高,分子结构易于调节、可控,极易满足增韧用胶的要求,当其作增韧剂时,可减少引发剂的用量,易于控制增韧树脂的胶粒大小和凝胶含量,抗蠕变性能优良,在制备特殊性能树脂时更具特色。高顺胶和低顺胶独特的性能使其在增韧聚合物材料中发挥着各自的优势,但目前以低顺胶居多,如美国的道化学公司、Cosden Oil 化学公司、Gulf Oil 化学品公司、Monsanto 公司和日本三井东压公司等。

国内外已实现工业化生产的增韧专用聚丁二烯橡胶大多是锂系低顺胶和钴系高顺胶,如美国道化学公司、日本 Zeon 公司等均生产专用钴系橡胶。镍系高顺胶仅有日本 JSR 的 BR-02 系列和燕化橡胶厂的 BR9004 系列。稀土顺丁胶与镍系顺丁胶相比,不仅具有更高的顺式结构含量和高线性分子链结构,而且

具有良好的耐低温性能及强拉伸性能,尤其具有良好的抗湿滑性能和低滚动阻力,广泛地应用于轮胎行业,但是由于其溶液粘度相对较高,目前仅在 HIPS 中得到应用。贾忠明等^[5,6]对稀土催化体系下二烯烃单体在苯乙烯溶液中的高选择性活性聚合做了较为系统的研究,成功地合成出可直接用于原位本体增韧苯乙烯系脆性树脂用的稀土顺丁胶—苯乙烯溶液,所得 ABS 增韧树脂的微观形态呈规整网络状结构、抗冲击强度高达 336J/m。该聚合工艺的流程图如图 2 所示,它省略了传统工艺中须将橡胶从溶剂中析出、干燥、粉碎再溶解于聚合单体的复杂工序,将稀土顺丁胶液直接用于树脂的增韧改性,大大地简化了工艺流程,节约了成本。总的来看,从发展的角度并结合国情考虑,树脂改性用增韧橡胶应优先使用高顺胶,合理利用自身优势,并大力开展低顺胶研发,以逐步替换进口低顺胶并打破技术垄断。

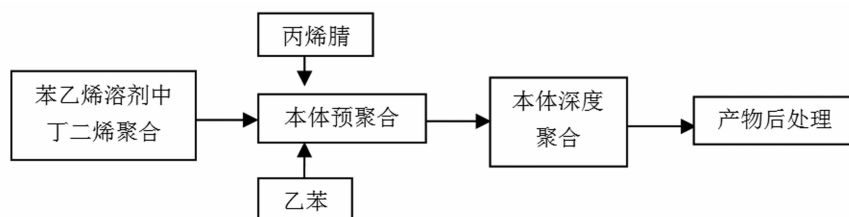


图 2 原位本体法苯乙烯系增韧树脂聚合工艺流程

Figure 2 Process flow of toughened styrenic resin via *in-situ* bulk polymerization

2.2 丁苯共聚物橡胶

为满足对具有更高性能和新的特性产品的需求,国外已有部分厂家开发和生产用于增韧的丁二烯-苯乙烯共聚物橡胶如 SBR 和热塑性橡胶苯乙烯-丁二烯-苯乙烯嵌段聚合物(SBS),并应用该类橡胶生产出高光泽 HIPS、高透明 HIPS、光泽性和抗冲击强度优异的 ABS 等高档次产品以及一些共混改性的专用产品。苯乙烯-丁二烯嵌段共聚物作接枝橡胶具有其独特的优点,其中的聚苯乙烯嵌段可以起到“贮存”引发剂的作用,从而使接枝反应器内嵌段共聚物的接枝反应速率比丁二烯均聚物来得快。所用橡胶的分子量越小,相反转生成的橡胶粒子越小。

目前,国外生产的专用 SBR 和 SBS 热塑性橡胶有美国 Firestone 公司生产的 Stereon、德国拜耳公司生产的 BunaBL 和 BunaSL、日本旭化成公司生产的 Asaprene、意大利 Enichem 公司生产的 EuroPreneSOL 等。国内丁苯橡胶生产厂家绝大多数采用乳聚工艺,少数厂家采用溶聚工艺,可同时生产丁苯橡胶和 SBS 热塑性橡胶。适用于 HIPS 的丁苯橡胶一般是指溶聚丁苯橡胶,通常用于制备特殊牌号如超高光泽 HIPS。

2.3 SIBR 集成橡胶

作为一种新型的苯乙烯/异戊二烯/丁二烯三元共聚物(SIBR),其兼具低滚动阻力和高抗湿滑性与耐磨性的特点,成为迄今为止性能最为全面的聚二烯烃类橡胶。自 Nordsiek 等^[7]提出“集成橡胶”的概念之后,各大公司如德国的 Huls 公司、美国的 Goodyear、俄罗斯的合成橡胶科学研究院、日本的横滨橡胶株式会社等纷纷研发星型 SIBR。

由于 SIBR 集成橡胶优异的性能,人们对其作为弹性体增韧剂方面引发了广泛关注,使其在通用树脂改性方面得以开发和应用。李杨等^[8]首次采用特殊结构的 SIBR 为增韧剂制备出抗冲强度高达 380J/m 而强度和模量不损失、形态结构呈立体网状(或水立方)结构的 HIPS,打破了传统的“海—岛”结构,丰富了橡胶增韧材料的微观结构形态,见图 3(a)。该研究组^[9,10]还采用活性阴离子聚合技术合成出适于苯乙烯系树脂增韧改性用的不同分子结构参数的 SIBR 三元橡胶,并对其增韧 HIPS、ABS 的聚合反应动力学、相转变过程及其结构与性能等的影响规律进行了系统的研究,发现无规型 SIBR、嵌段型 SIBR 增韧 ABS 的形态分别呈“网状”和“等高线”结构[见图 3(b)],冲击强度高达 360~470J/m。

3 增韧机理

在 ABS 树脂改性方面,增韧效率与许多结构和外在条件等参数有关,如橡胶的组成、尺寸、浓度、丙

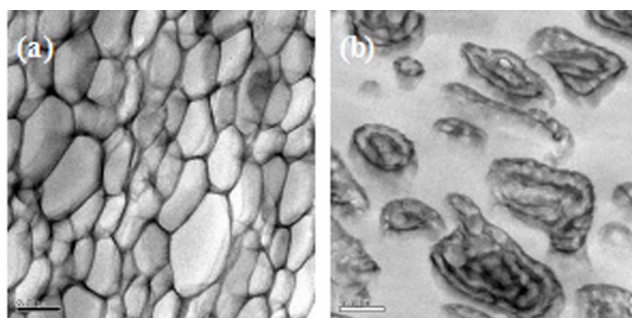


图 3 SIBR 增韧苯乙烯系树脂的微观形态(a) HIPS; (b) ABS

Figure 3 Morphology of styrenic resins toughened by SIBR (a) HIPS; (b) ABS

烯腈含量、接枝水平、橡胶相体积分数、基体分子量、交联度、应变速率、变形温度和易形成空穴等。其中，橡胶相的含量、尺寸、结构和性能极大地影响着橡胶增韧材料的韧性和强度。用 5%~20% 的橡胶来增韧脆性塑料，可使其冲击强度提高几倍乃至几十倍，如表 1 所示。

表 1 脆性塑料增韧前后性能的比较

Table 1 Comparison of impact properties of brittle plastic before and after toughening

聚合物	PS	HIPS	ABS	PVC	增韧 PVC
冲击强度/(J·m ⁻¹)	13.1~21.0	26.2~210	52.4~419	21.0~52.4	524~1572

在不同的冲击载荷作用下，聚合物材料一般地会产生 4 种破坏类型：(1)脆性破坏；(2)轻微开裂；(3)屈服；(4)延性破坏。上述 4 类破坏方式之间的区别并不明显，且会发生某种程度的重叠现象。从文献资料来看，有关 HIPS 或 ABS 的增韧理论主要有以下几类：能量直接吸收理论、多重银纹理论、银纹-剪切带理论、银纹支化理论、逾渗理论、微空洞理论、有机刚性粒子增韧理论、无机刚性粒子增韧理论等。彭静等^[11]详细综述了橡胶增韧塑料机理方面的研究、发展与现状，重点探讨了橡胶增韧机理有关脆韧转变的定量研究。

只有通过掌握和控制影响 ABS 机械性能的重要参数，生产者才能根据其应用的需要来设计他们的产品。大量的工作都致力于分析和评估 ABS 树脂的增韧机理和断裂行为，对此，研究者还提出了不同的理论加以解释，包括橡胶粒子分散冲击能量、橡胶粒子周围空穴化引发应力释放、胶粒诱发裂纹支化、裂纹终止于胶粒、基体银纹化和剪切屈服等等。其中，由于局部的应力集中，紧邻胶粒周围发生银纹化和剪切屈服(局部的塑性形变机理)成为两种主要的增韧机理，并被广泛的接受。小橡胶颗粒易于形成空穴现象和剪切，而大橡胶粒子则倾向于产生较多的银纹^[12]，且这两种机制过程均被认为对增韧有利。

Margolina 和 Wu^[13]证实了当两相界面距离处于临界值时，材料将以剪切屈服方式发生脆-韧转变，并认为小粒子是更好的增韧剂。Pearson 和 Yee^[14]则认为小粒子能够通过空穴引发剪切带的方式促使断裂韧性的急剧增加，而大粒子则以粒子架桥-裂纹偏转机制仅能产生中等程度的韧性增长；并且，由于大粒子处于高流体静应力存在的塑性区的外围而不易发生空穴化。另外，Lazzeri 和 Bucknall^[15]提出了橡胶粒子空穴化的模型，认为仅可在粒径大于 0.25 μm 的橡胶颗粒内部形成空穴化。

综上所述，在 ABS 树脂中，橡胶增韧的机理主要是多重银纹和剪切带，取得理想增韧效果的橡胶粒径为 0.1~1.0 μm，通常乳液法控制在 0.3 μm 左右。此外，橡胶粒子中必须有一定的交联程度，否则在 ABS 树脂的成型加工过程中会发生橡胶粒子的拉长、变形和聚并，使制品的冲击强度和外观变差。从增韧理论还可看出，在橡胶上还必须有一定的接枝程度，一般而言，获得理想增韧效果需要的接枝率随橡胶粒径的增大而增大。

与此同时，对断裂机理的分析技术也得到了改进和大幅提高，如 J-R 曲线分析方法、恒定真应变速率检测方法、仪器化 Charpy/Izod 冲击试验方法、TEM/SAXS 结合技术，以及计算机半自动模型方法等，为断裂分析与评价提供了更多精确可靠的信息，并证实甚至修正了以往所取得的结果或结论。在 Turner

等^[16]提出了一系列分析方法和理论之后, Vu-Khanh^[17]、Bernal^[18]也分别建立了表征和分析不同增韧材料的冲击断裂能量和断裂韧性的模型。李杨课题组^[19]采用仪器化 Izod 冲击试验方法和万能材料试验机来测定合成树脂材料的缺口冲击强度和拉伸性能, 将仪器化冲击过程曲线与 TEM 和 SEM 分别观测到的树脂微观形态和冲击断面的断裂行为相结合, 探究了不同冲击位移或时间时的断裂行为特征—裂纹衍生和裂纹扩展阶段中能量的消耗方式、冲击力的变化以及韧性改性的机理等。

4 仪器化冲击试验机的应用

材料在冲击条件下的破坏过程, 不仅能够为研究者提供其破坏性的数据结果, 还可以被看成是作为高分子材料最重要的性能指标之一的抗冲击性能的主要来源。因此, 鉴于学术性的意义和实际应用方面的考虑, 人们对材料的冲击断裂行为进行了广泛地开发与研究。然而, 除了它的重要性外, 材料的抗冲击性能无疑成为迄今为止最不易明确分析且最难详细对其表述的物理机械性能之一。

由于常规冲击试验机如悬臂梁(Izod)冲击法、简支梁(Charpy)冲击法以及落锤(Gardner)冲击法等, 结构简单、功能单一, 人们只能从这些试验方法中获得(缺口)冲击强度的积分值和/或试样在断裂过程中所消耗的能量这一简单参数, 而对冲击试样在冲击过程中所发生的一系列重要信息却无从知晓, 甚至对那些表现出不同冲击力—位移曲线却具有等当量的冲击强度(如等当量的总能量值)的材料, 极易产生误解。尤其是当欲理解聚合物的结构、韧性变形机理以及脆性—韧性转变等之间的关系时, 上述冲击方法便显得更为困难。也就是在这种背景下, 仪器化冲击试验方法被开发出来, 并在冶金、航天、核能、造船等领域都获得了广泛的应用, 取得了丰富的成果。

仪器化冲击试验机的机械部分和传统的冲击试验机相似。不同的是, 它与适当的电子仪器配合后, 力传感器能够将冲击过程中试样作用域冲击头上的力信号连续记录下来, 从而实现冲击过程的动态监测。仪器化冲击试验机的结构框图如图 4 所示。

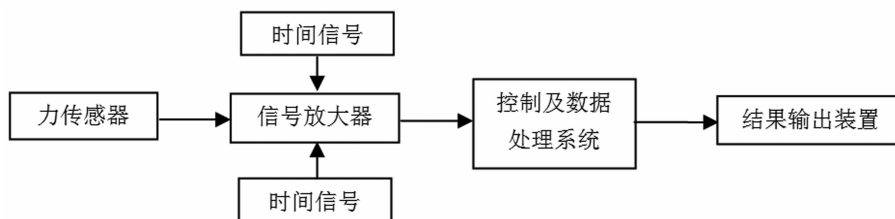


图 4 仪器化冲击试验机的结构框图

Figure 4 Structure frame of instrumented impact tester

在过去的几十年里, 仪器化冲击试验被重点开展并应用于材料的冲击性能检测方面, 在试样受冲击断裂之前甚至在冲击的整个过程中, 施加于试样上的负载(冲击力)对时间或位移的函数被连续地记录下来, 对材料的冲击性能评价便从定性向定量层面发生了质的飞跃。因此, 在工业生产和科学研究中, 广泛地采用仪器化冲击试验来对不同增韧改性热塑性塑料的冲击断裂特性和破坏机理等参数进行评定。它们不仅可以给出比材料性能某一单独计算数值更多、更完整的表述, 还分别考察了包含在裂纹增长过程中互不依赖的不同能量组分, 如弹性、塑性变形能, 裂纹扩展能等等, 并对抵抗稳态裂纹衍生、稳态裂纹增长和失稳裂纹增长等给予单独的评价。因而, 仪器化悬臂梁冲击试验或落锤冲击试验已经成为现今最好也是最有用的通用冲击试验方法。

在高分子领域的工业生产中, 仪器化冲击试验机首先主要是被用来控制产品的质量, 用仪器化落重冲击试验机可以直接对制品进行冲击试验, 其试件可以是片材、管材、中空容器、汽车配件、头盔等制品。与传统方法相比, 试件消耗和人为判断误差减小, 数据处理迅速, 因而, 很容易实现产品的质量控制。其次, 还用于加工工艺和产品性能关系的研究中。Arends^[20]用仪器化冲击试验机研究了成型方式对 SBR 改性聚苯乙烯(PS)材料抗冲击性能的影响, 发现从注射成型可得到韧性制品, 而从模压成型将得到脆性制品。另外, 仪器化冲击试验机还被用于聚合物材料抗冲击性能影响因素的研究中, 如测试速度、温度依

赖性、聚合物的分子量以及橡胶含量等。

Rogers 和 Plumtree^[21]采用 Charpy 和 Izod 两种仪器化方法分别对聚苯乙烯树脂作了冲击试验,对比发现可以直接对 Charpy 和 Izod 两种试验结果进行比较,而不依赖于破坏方式。无独有偶,Tai 等^[22]的研究表明仪器化 Charpy 冲击结果要稍低于 Izod 冲击结果,并断定冲击试验方式在聚合物共混材料的冲击断裂行为检测中起着重要作用。基于仪器化冲击试验方法和动态机械热分析方法,Pick 等^[23]研究了旋转注塑线性低密度聚乙烯的热力学松弛行为和冲击性能之间的关系,发现随着温度的变化损耗模量和裂纹衍生能量之间具有相关性,并提出一种可在较宽温度范围内预测材料冲击性能的方法。Arici 等^[24]采用仪器化冲击试验方法,考察了退火处理和微观结构组成对玻璃纤维增强聚亚苯基硫化物的弹性变形、裂纹形成以及裂纹增长的影响规律。

此外,为了制定出一套试样(工程组件等)在仪器化冲击试验中随裂纹破坏的标准,人们针对不同聚合物体系的冲击断裂机理提出了各种各样的观点,如尼龙-6/ABS/亚胺化的丙烯酸类聚合物体系、尼龙-6/马来酸化的乙丙橡胶体系、尼龙-6/马来酸化的苯乙烯-氢化丁二烯-苯乙烯三嵌段共聚物(SEBS)体系等。当试样形成短系带(韧带)时,将发生韧性变形;当试样形成长系带时,将发生脆性破坏。Cheon 等^[25]提出了一种扩展冲击裂纹模型,并对在冲击过程中玻璃纤维复合材料试样的动态断裂载荷和能量吸收特性进行了分析,发现动态载荷的初始斜率与实验结果较好地匹配。其次,对标准抗张应力-应变曲线进行外推法是另外一种测定热塑性树脂在冲击条件下的行为变化的好方法。Duan 等^[26,27]借用有限元分析软件模拟了 ABS 样品的落锤冲击试验,建立了一种应力-应变的主表达式和外推法定理。

当前,对于高分子材料性能方面的研究者和工作者而言,是一个机遇,也是一个挑战。将力学和金属学领域的研究工作和成果有机结合,采用先进的断裂力学试验技术,对高分子材料微观断裂机理进行深入研究,剖析仪器化冲击曲线的不同特征参数,借助试样冲击断面的显微观察手段,从冲击能量特征和微观结构形态的层面,深层次地综合评价和分析试验结果,从而达到对高分子材料断裂过程中的动态机理的深入认识。

参考文献:

- [1] 黄立本,张立基,赵旭涛. ABS树脂及其应用. 北京:化学工业出版社,2001.
- [2] Sheirs J, Priddy D B. Modern Styrenic Polymers: Polystyrenes and Styrenic Copolymers. New York: John Wiley & Sons Ltd., 2003.
- [3] 姜连升,黄健. 合成橡胶工业,1994,17(5):304~309.
- [4] 王德充. 合成橡胶工业,1994,17(1):52~57.
- [5] 贾忠明. 苯乙烯系增韧树脂本体原位制备技术的研究. 大连:大连理工大学,2009.
- [6] 贾忠明,张学全,李杨,董为民,姜连升,张春庆,王玉荣. 合成橡胶工业,2010,33(1):11~15.
- [7] Nordisek K H. Kautschuk Gummi Kunststoffe,1985,38(3):178~185.
- [8] 李杨,王健,吕占霞,赵锦波,杨力,周爱霞,于国柱. 中国,CN1609126A. 2005-04-27.
- [9] 杜晓旭. 本体法 SIBR 增韧苯乙烯系列树脂的研究. 大连:大连理工大学,2009.
- [10] 于志省,李杨. 高分子学报,2011,已录用.
- [11] 彭静,乔金梁,魏根栓. 高分子通报,2001(5):13~24.
- [12] Bernal C R, Frontini P M, Sforza M, Bibbó M A. J Appl Polym Sci, 1995, 58(1):1~10.
- [13] Wu S. Polymer, 1985, 26(12):1855~1863.
- [14] Pearson R A, Yee A F. J Mater Sci, 1991, 26(14):3828~3844.
- [15] Lazzeri A, Bucknall C B. J Mater Sci, 1993, 28(24):6799~6808.
- [16] Marshall G P, Williams J G, Turner C E. J Mater Sci, 1973, 8(7):949~956.
- [17] Vu-Khanh T, De Charentenay F X. Polym Eng Sci, 1985, 25(13):841~850.
- [18] Bernal C R, Frontini P M. Polym Eng Sci, 1995, 35(21):1705~1712.
- [19] 于志省. 本体法高性能 ABS 树脂的研究. 大连:大连理工大学,2010.
- [20] Arends C B. J Appl Polym Sci, 1965, 9(11):3531~3540.
- [21] Rogers M G, Plumtree A. Polym Test, 1992, 11(1):13~21.
- [22] Tai C M, Li R K Y, Ng C N. Polym Test, 2000, 19(2):143~154.
- [23] Pick L T, Harkin-Jones E. J Mater Des Appl, 2005, 219(1):1~10.

- [24] Arici A, Sinmazçelik T, Çapan L, Yilgor I, Yilgor E. *J Compos Mater*, 2005, 39(1): 21~33.
- [25] Cheon S S, Lim T S, Lee D G. *Compos Struct*, 1999, 46(3): 267~278.
- [26] Duan Y, Saigal A, Greif R, Zimmerman M A. *Polym Eng Sci*, 2002, 42(2): 395~402.
- [27] Duan Y, Saigal A, Greif R, Zimmerman M A. *Polym Eng Sci*, 2003, 43(1): 112~114.

Advances in Research on ABS Resin

YU Zhi-sheng

(Sinopec Key Laboratory of Surfactants for EOR, Shanghai Research Institute of Petrochemical Technology, SINOPEC, Shanghai 201208, China)

Abstract: Poly (acrylonitrile-butadiene-styrene) terpolymer (ABS) resin has been widely used because of its excellent mechanical property, thermal stability, chemical resistance, aesthetic property, processability, etc. In this paper, the manufacturing techniques and preparation methods of ABS resin at home and abroad were summarized, and it points out that the continuous bulk polymerization method has advantages and will compete and coexist with the emulsion polymerization method for a long time. Moreover, the emphasis was put on the rubber types used as toughening modifiers of ABS resin and their toughening mechanism. Finally, the application status and development prospect of the instrumented impact tester in the performance characterization of polymer, especially in ABS field, were also discussed. The dynamic fracture progress and mechanism of resin materials can be deeply evaluated by combining the microscopy and the instrumented impact method.

Key words: ABS resin; Manufacturing technique; Rubber toughening; Toughening mechanism; Instrumented impact