

超高分子量聚乙烯增强聚丙烯共混体系的力学性能、 亚微相态和增韧机理的研究进展^{*}

金日光, 汪晓东^{**}, 武德珍, 励杭泉

(北京化工大学材料科学与工程学院新型高分子材料的制备与加工北京重点实验室, 北京 100029)

摘要: 综述了作者所在课题小组在超高分子量聚乙烯(UHMWPE)增韧增强聚丙烯(PP)共混体系研究领域中所取得的成果、研究进展及增韧增强机理。该成果将为提高通用型塑料PP的综合力学性能提出一种新的方法及机理, 从而实现通用塑料高性能化和工程塑料化的目标。

关键词: 超高分子量聚乙烯; 聚丙烯; 力学性能; 亚微相态; 增韧增强机理

引言

通用塑料的高性能化、工程塑料化是聚合物科学与工程研究领域最重要的追求目标之一。塑料增韧是其中一个主要的手段。最常用且最有效的增韧手段就是在被增韧基体中引入柔性聚合物, 当体系受到外力冲击时, 通过引发橡胶粒子周围基体的银纹及剪切屈服从而大量吸收冲击能, 从而提高基体的韧性, 典型的例子是橡胶增韧塑料。但这一类方法也存在致命的弱点, 即虽然塑料基体的韧性提高了, 但往往造成强度、模量、硬度等力学性能的下降。因此, 如何提高基体材料的综合力学性能仍然是急待解决的重要课题^[1]。

目前从塑料工业领域中聚丙烯(PP)的工程塑料化到结构材料化仍是关注的热点之一。PP价廉易得, 性能较好, 应用领域极其广泛, 但也存在着韧性差的严重缺陷, 尤其是低温脆性较大, 因为高结晶度而导致对缺口敏感, 从而大大限制了PP作为工程材料和结构材料的应用。通常通过在PP中引入橡胶可以极大地提高其韧性, 这些橡胶包括三元乙丙橡胶(EPDM)、乙丙橡胶(EPR)、苯乙烯-丁二烯-苯乙烯热塑性弹性体(SBS)等, 上述增韧体系目前均已实现工业化, 并在汽车、仪表、家用电器、建材等领域得到广泛应用, 但增韧后带来的强度、模量等的下降仍然需用其它手段来弥补^[2~5]。

本课题组在1992年承担国家自然科学基金项目“超高分子量聚乙烯原位自增韧机理的研究”课题的研究时, 首先提出采用具有高强度、高模量和超韧性的超高分子量聚乙烯(UHMWPE)增韧聚丙烯的研究思路, 其理论依据是通过超长分子链聚合物与被增韧基体的原位亚微观复合, 以达到增韧增强目的的设计。根据这一理论, 如果在一种聚合物基体中引入另一种超长链聚合物, 利用其超长分子链在基体中形成的物理缠结及串锁的骨架结构, 可为基体提供机械强度和韧性。当材料受到外力作用时, 通过基体中这种缠结和串锁的骨架吸收并传递冲击能, 以起到增强增韧作用。这是一种不同于一般橡胶增韧塑料机制的崭新的“原位复合”增韧机理。

UHMWPE具有极高的分子量(在一百至五百万之间), 且分子链极长, 其强度、韧性、热稳定性及耐磨性等性能相当突出。显然UHMWPE具备了长程缠结并通过串晶形成物理交联区的必要条件是理想的原位复合增韧材料^[6, 7]。但其加工性因极高的分子量而变得很差, 本课题在研究过程中, 采用具有高剪切力的四螺杆挤出机制备来增韧共混合金的方法, 成功地解决UHMWPE流动性差、难以分散的问题, 扫描

^{*} 本项目获1999年科学技术部国家科学技术进步奖三等奖;

作者简介: 金日光(1933-), 男, 吉林人, 北京化工大学教授、博士生导师, 研究方向为高性能聚合物合金及生物材料;

^{**} 联系人

电子显微镜观察表明 UHMWPE 在 PP 基体中已达到亚微观水平的均匀分散,使共混合金的韧性、拉伸强度及模量、弯曲强度及模量都得到综合性的提高。这一综合力学性能优异的合金材料被开发成功之后,已经大量应用于汽车摩托车等各种领域,取得了巨大的经济效益,因而在 1999 年获得了国家科学技术进步奖三等奖。本研究的结果将为拓宽 PP 材料的工程塑料化途径,降低 PP 共混合金的成本,提供重要的依据。

1 共混模式对力学性能的影响

为了使 UHMWPE 在 PP 基体中获得良好的分散效果,作者在实验中采用了剪切力强的四螺杆挤出机来制备共混合金样品,并将其混合效果与双螺杆挤出机制备的样品进行对比,图 1 显示了分别采用普通双螺杆挤出机和四螺杆挤出机制备的共混物的缺口冲击强度。可以发现这两种共混物的冲击强度都被提高,但采用四螺杆挤出机制备的共混物的冲击强度的提高幅度要显著高于双螺杆挤出机的值,提高幅度几乎是纯 PP 的一倍,且两者的冲击强度都分别出现在 UHMWPE 含量为 15%(wt)和 10%(wt)时存在极大值。同样从图 2 至图 4 中可以发现^[8,9],采用四螺杆挤出机制备的共混物的拉伸性能及弯曲性能比纯 PP 的有所提高,且提高幅度远大于双螺杆挤出机制备的共混物,而其变化趋势与冲击强度的相同。

众所周知,熔融挤出共混方法是通过混炼设备的剪切和捏合分散作用使不同聚合物分子之间相互扩散和对流激化,以达到均匀混合的效果。由于 UHMWPE 本身特有的超长分子链和极高的熔体粘度,在熔融状态下,其流动性能极差,因此采用双螺杆挤出机很难将如此高粘度的聚合物均匀分散在 PP 基体中,导致共混效果不佳。尽管如此,UHMWPE 仍然凭借其超长分子链与 PP 发生部分缠结作用,而高粘度又阻碍了缠结的分离,这使得共混物的力学性能有小幅提高。而对于采用具有高剪切分散作用力的四螺杆挤出机制备的共混物,UHMWPE 在 PP 基体中获得了较好的分散效果,因此力学性能的提高幅度大大增加。显然,共混效果越好,可以混合的 UHMWPE 量也就越多,因此,四螺杆挤出机所制备的共混物的力学性能峰值要高于双螺杆挤出机制备的共混物。以上实验结果表面,对于 UHMWPE 这样的高粘度聚合物,四螺杆挤出机是制备它与其它聚合物的共混物的最有效工具。

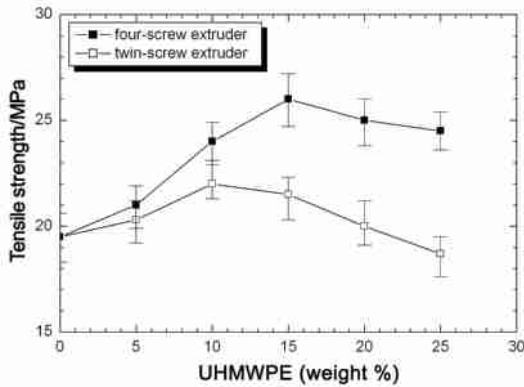


图 2 共混物的拉伸强度随 UHMWPE 含量变化的关系
Figure 2 Tensile strength of binary blends as a function of UHMWPE content

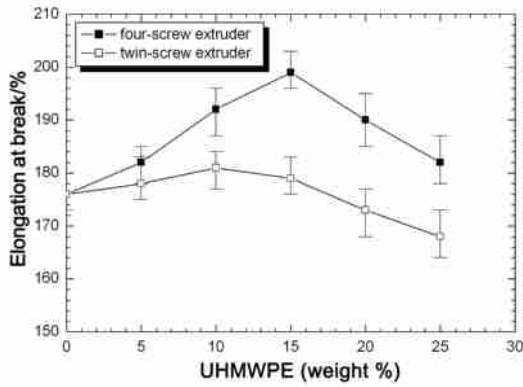


图 3 共混物的断裂伸长率随 UHMWPE 含量变化的关系
Figure 3 Elongation at break of binary blends as a function of UHMWPE content

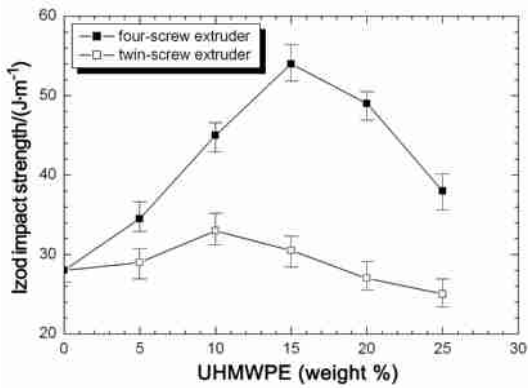


图 1 共混物的缺口冲击强度随 UHMWPE 含量变化的关系
Figure 1 Notched Izod impact strength of binary blends as a function of UHMWPE content

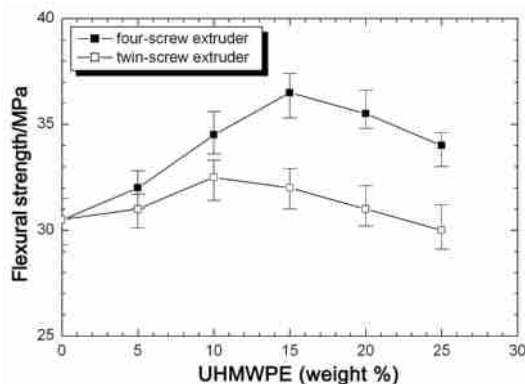


图 4 共混物的弯曲强度随 UHMWPE 含量变化的关系

Figure 4 Flexural strength at break of binary blends as a function of UHMWPE content

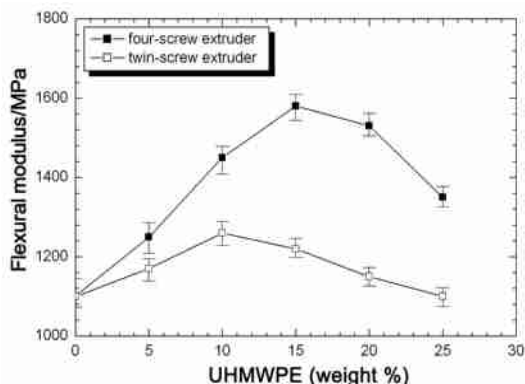


图 5 共混物的弯曲模量随 UHMWPE 含量变化的关系

Figure 5 Flexural modulus at break of binary blends as a function of UHMWPE content

2 EPDM 对力学性能的影响

四螺杆挤出机制备的 PP/UHMWPE 共混物的韧性虽有提高,但提高的幅度并不令人满意,其主要原因可能是由于 PP 与 UHMWPE 相容性较差有关,因此作者在体系中加入 EPDM 试图提高其界面粘结性。图 5 至图 7 显示了四螺杆挤出机制备的 PP/UHMWPE/EPDM 三元共混物的力学性能^[10]。可以发现当 5%(wt) 的 EPDM 加入纯 PP 时,共混物的冲击强度几乎没有提高,但拉伸强度和弯曲性能却比纯 PP 有所下降。虽然 EPDM 是 PP 良好的增韧剂,但单独添加如此少含量的 EPDM 并不能对 PP 起到增韧效果。可是 EPDM 作为第三组分被加入 PP/UHMWPE 共混物中时,三元共混物的缺口冲击强度要比相应二元共混物的冲击强度提高幅度更为显著,几乎相当于纯 PP 的四倍。与此同时,拉伸强度、断裂伸长率、弯曲强度和弯曲模也比二元共混物的相应数据有显著提高。与二元共混物一样,三元共混物的力学性能都在 UHMWPE 含量为 15%(wt) 时达到极大值。从以上数据可以得出结论,共混物力学性能的提高并不是来源于 EPDM 本身的增韧作用,而是 EPDM 对 PP 和 UHMWPE 的增容作用,不仅减轻 PP 与 UHMWPE 两相间的排斥,而且促进了 UHMWPE 在 PP 基体中的分散性^[11]。

前面结构已经阐明 UHMWPE 作为基体的骨架,对 PP 起到增韧作用的同时,拉伸和弯曲强度也同时加强。而添加弹性体 EPDM 后,共混物的拉伸和弯曲强度不但没有下降,反而也随冲击强度一起提高。这证明了通过 EPDM 提高了两相界面粘结性后,使作为骨架的 UHMWPE 能够更多地吸收体系的冲击能,使力学性能得到综合提高。

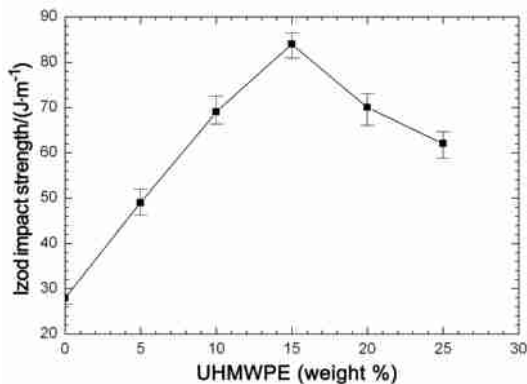


图 6 EPDM 对共混物的缺口冲击强度的影响

Figure 6 Effect of EPDM on notched Izod impact strength as a function of UHMWPE content

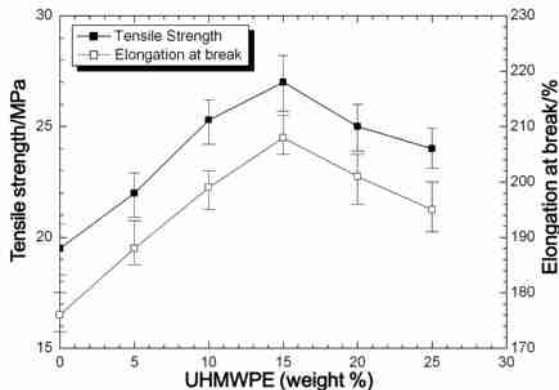


图 7 EPDM 对共混物的拉伸性能的影响

Figure 7 Effect of EPDM on tensile properties as a function of UHMWPE content

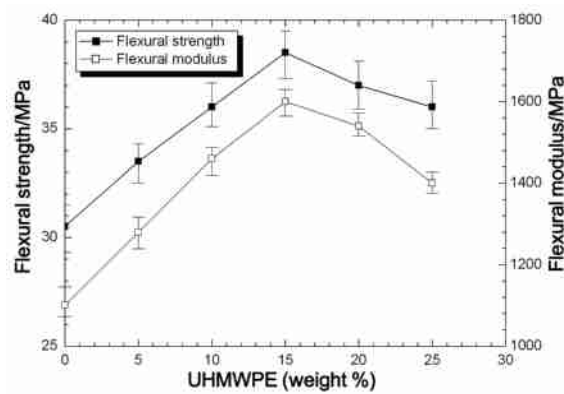


图 8 EPDM 对共混物的弯曲性能的影响

Figure 8 Effect of EPDM on flexural tensile properties as a function of UHMWPE content

3 亚微相态观察

图 9 显示了采用双螺杆挤出机制备的 PP/UHMWPE 二元共混物冲击样条断裂面的 SEM 照片^[9, 10, 12]。可以发现纯 PP 断裂面表面光滑, 基体形变很小, 呈现典型的脆性断裂, 这与纯 PP 的低韧性是一致的。而采用双螺杆挤出机将 PP 与 UHMWPE 共混后, 其冲击样条的断裂面基体的形变增加, 其中能够发现一些未完全与基体融合的白色颗粒, 这表明采用双螺杆挤出机不能使 UHMWPE 完全均匀分散在 PP 基体中。而基体形变程度的增加也正好在力学性能中也得到反映, 但提高的幅度有限。从图 9 中共混物的断裂形貌来看, 分散相与基体的界面并不明显, 这表明体系韧性及力学性能的提高并不是传统增韧机理可以解释的。

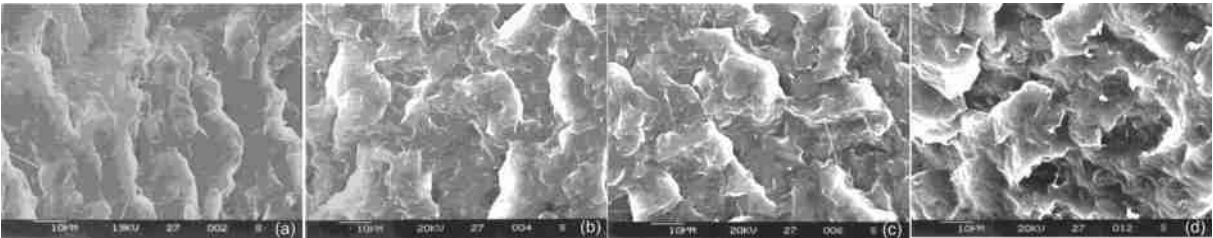


图 9 双螺杆挤出机制备的二元共混物的 SEM 照片, PP/UHMWPE 的重量比为:

(a) 100/0; (b) 90/10; (c) 85/15; (d) 80/20

Figure 9 SEM micrographs of the PP/UHMWPE binary blends prepared by the twin-screw extruder at weight ratio of:

(a) 100/0; (b) 90/10; (c) 85/15; (d) 80/20

图 10 显示了采用四螺杆挤出机制备的 PP/UHMWPE 二元共混物冲击样条断裂面的 SEM 照片。可以注意到, 其冲击断裂面的形态与采用双螺杆挤出机制备的样品完全不同。在断裂面中形变加大的同时, 可以发现分布均匀且尺寸非常细微的小颗粒, 颗粒直径约在 0.3 μm 左右, 其尺寸随 UHMWPE 含量增加而减小, 并在 UHMWPE 含量为 15%(wt) 时达到最细化。但当 UHMWPE 含量增加到 20%(wt), 颗粒直径反而增加, 这表明四螺杆挤出机对高含量的 UHMWPE 的分散作用也减弱。从图 10 中分散相尺寸及形态而言, 与传统的橡胶增韧塑料相比, 前者的颗粒直径远远小于一般橡胶在基体中的分散相 2~3 μm 粒径。由于基体的形变幅度增加不大, 而体系的韧性及其它力学性能增加显著, 这表明基体中颗粒在材料断裂时吸收了大量的冲击能。可以断定, 这些微颗粒是 UHMWPE 的微晶体, 而 UHMWPE 的非晶部分已经与 PP 基体完全融合(这将在 TEM 中被证明), 因此, 可以认为 UHMWPE 在 PP 基体中形成了一种松散的网络结构, UHMWPE 含量越高, 网络密度越大, 这种网络结构在样品断裂时承担了吸收大量冲击能的作用, 因此体系出现明显的增韧效果。但是当 UHMWPE 含量超过 15%(wt) 时, 由于 UHMWPE 本身极高粘度的原因, 导致很难分散在 PP 基体中, 因此从图中的放大照片可以发现微晶体部分尺寸增加, 分散效果变差, 从而使得材料的增韧效果变差。此外, 对比图 9 和图 10, 也表明四螺杆挤出机对 UHMWPE 的分散作用远

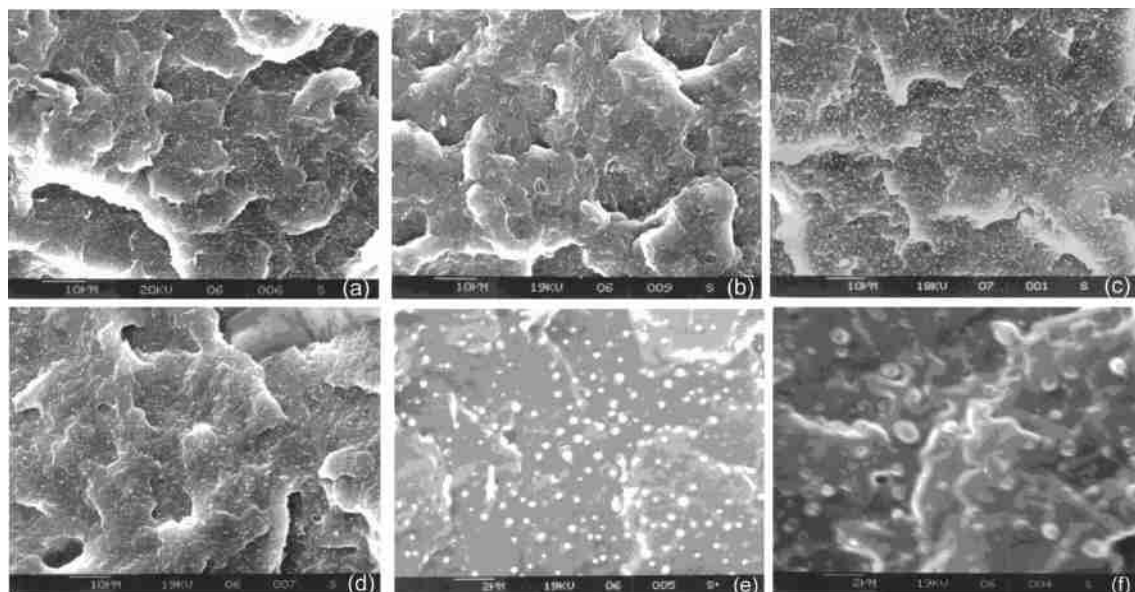


图 10 四螺杆挤出机制备的二元共混物的 SEM 照片, PP \ UHMWPE 的重量比为:

(a) 95/5, (b) 90/10, (c, e) 85/15, (d, f) 80/20

Figure 10 SEM micrographs of the PP/UHMWPE binary blends prepared by the four-screw extruder at weight ratio of:

(a) 95/5, (b) 90/10, (c, e) 85/15, (d, f) 80/20

大于双螺杆挤出机。

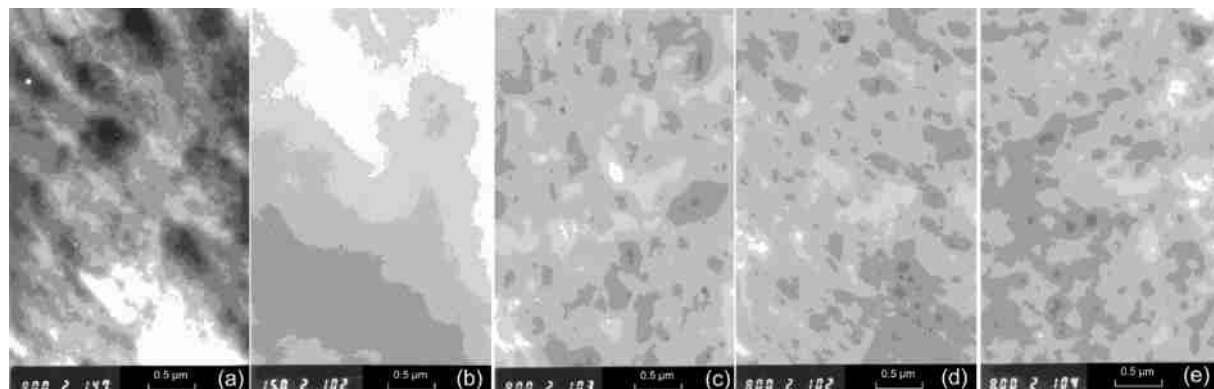


图 11 四螺杆挤出机制备的二元共混物的 SEM 照片, PP/UHMWPE 的重量比为:

(a) 100/0; (b) 0/100; (c) 95/5; (d) 85/15; (e) 80/20

Figure 11 TEM micrographs of the PP/UHMWPE binary blends prepared by the four-screw extruder at weight ratio of:

(a) 100/0; (b) 0/100; (c) 95/5; (d) 85/15; (e) 80/20

众所周知, PP/PE 共混体系的 TEM 亚微相态观察历来是一个难题。因为两者不含双键, 不能被 OsO_4 染色, 但两者的极性接近、分子间作用力相差无几, 因而都能被 RuO_4 染色。因此很难进行 TEM 观察。作者在研究中发现, 对于 UHMWPE 而言, 只要控制染色速度就能对共混物中的一种组成进行染色^[13]。图 11 显示了相同染色速度下 PP/UHMWPE 及其共混物的 TEM 照片^[9, 10, 12], 可以发现, 对于纯聚合物, 在本实验的染色速度下 UHMWPE 的无定形部分可被染色, 而 PP 不能被染色。从共混物的 TEM 照片可以发现, 虽然 UHMWPE 含量仅有 5%(wt) 至 20%(wt), 但其所占据的面积却超过了 50%。显然这与普通的分散相分布的形式不同, 如果是 UHMWPE 是以普通的“海-岛”结构形式分散在基体中, 它不可能占据如此多的体积, 显然, 可以断定 UHMWPE 是以双连续相的形式分布在 PP 基体中, SEM 只反映在 UHMWPE 的结晶体部分, 而在微晶体周围还存在大量的无定形部分, TEM 正好反映了这些无定形部分, 显然由于 UHMWPE 超长的分子链结构, 使无定形部分在基体中的分布更为广泛。正是由于这种由 UHMWPE 在基体中形成的网络结构, 使其超长分子链网络构成了基体中的骨架, 为基体提供机械强度, 同时通过链段构

象的转变和微晶粒的拉伸取向,对基体起到增强增韧作用。

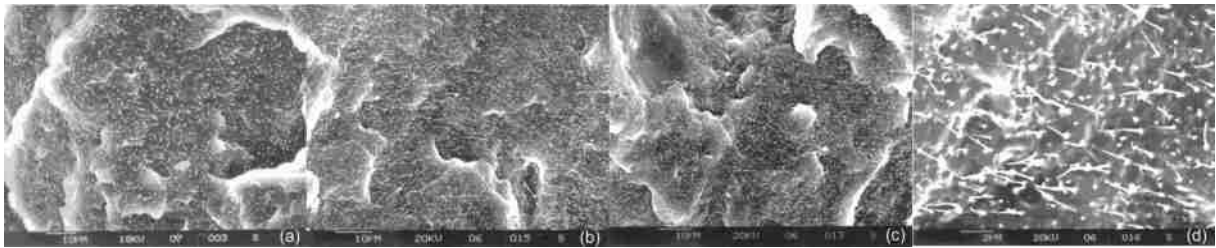


图 12 四螺杆挤出机制备的三元共混物的 SEM 照片, PP/UHMWPE/EPDM 的重量比为:
(a) 90/10/5 (b, d) 85/15/5; (c) 80/20/5

Figure 12 SEM micrographs of the PP/UHMWPE/EPDM ternary blends prepared by the four-screw extruder at weight ratio of:
(a) 90/10/5 (b, d) 85/15/5; (c) 80/20/5

图 12 显示了采用四螺杆挤出机制备的三元共混物的冲击样条断裂面的 SEM 照片^[14]。从中可以发现,分散相颗粒在基体中的形态与二元共混物中情况有很大的差异,其中三元共混物中的分散相颗粒发生了取向,随着 UHMWPE 含量增加,取向程度也增加,而当 UHMWPE 含量达到 20%(wt) 取向程度反而减少。显著 EPDM 的加入增加了 PP 与 UHMWPE 的无定形部分的界面粘结性,当体系受到外力作用时,正是这种提高的界面粘结性,使得 UHMWPE 随基体一起发生形变,而导致 UHMWPE 本身发生取向。这正是导致三元共混物的韧性及其它力学性能比相同 UHMWPE 含量的二元共混物提高幅度更加显著。这与共混物力学性能所反映的结果是一致的。

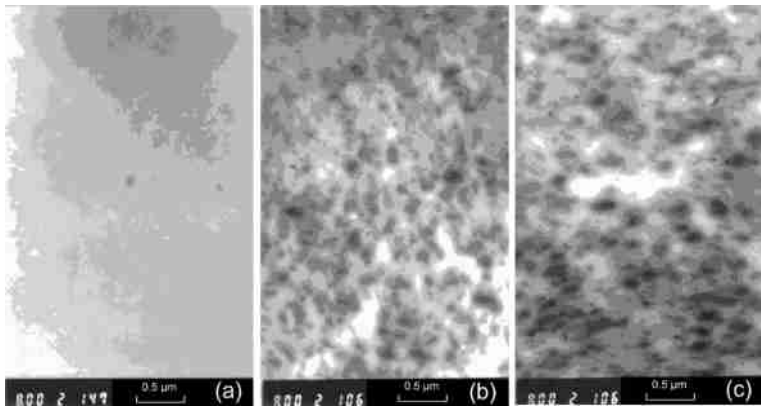


图 13 四螺杆挤出机制备的三元共混物的 TEM 照片, PP \UHMWPE \EPDM 的重量比为:
(a) 0/0/100 (b) 90/10/5; (c) 85/15/5

Figure 13 TEM micrographs of the PP/UHMWPE/EPDM ternary blends prepared by the four-screw extruder at weight ratio of:
(a) 0/0/100, (b) 90/10/5, (c) 85/15/5

图 13 的三元共混物的 TEM 照片也证实了以上的推断。可以发现,在固定染色速度下,仅 UHMWPE 可被染色,共混物中浅色背景为 PP 和 EPDM 部分,而深色部分为 UHMWPE 的无定形部分。从图中可以看到,共混物中随 EPDM 的加入,深色部分与浅色部分的过渡区域增加,表明 EPDM 在 PP 与 UHMWPE 的无定形区域之间形成了一个弹性体过渡层,它提高了两个塑料相界面的相容性,正是这种相容过渡区域的存在,使 UHMWPE 对基体中承载外力作用的能力大大提高,从而更有效地对体系起到增韧增强作用。

4 热性能分析

分别对采用双螺杆和四螺杆挤出机制备的 PP/UHMWPE 二元共混物进行 DSC 热分析测试,图 14 和图 15 分别显示各自的 DSC 谱图^[19],其热分析结果列于表 1 中。上述分析结果表明,纯 PP 和 UHMWPE 显示了单一的熔融峰,而采用四螺杆挤出机制备的二元共混物中存在两个熔融峰,其中 PP 相的熔融峰位置与纯 PP 几乎相同,熔融焓也几乎相同。而另一个温度较你的峰与 UHMWPE 相对应,但与纯 UHMWPE 相比,其共混物中熔融温度和熔融焓都呈现显著的下降,这表明,当 UHMWPE 与 PP 共混后,其结晶结构发

生了显著的变化,在基体中 UHMWPE 被大量 PP 包围,由于其本身极高的粘度而分子链很难运动形成大的晶体,而只能沿分子链形成一些微小的晶体,因而导致了熔点和熔融焓的下降。而在主熔融峰的一侧还有一个小峰,位置在 131℃左右,表明 UHMWPE 结晶结构至少有两种,只是第二种含量较小。随着基体中 UHMWPE 含量增加,熔点和和熔融焓略有增加,表明 UHMWPE 含量的增加导致其相筹的相对集中,形成结晶体的几率也增加了。此外,也导致了另一个结晶结构含量的增加,所以位置在 131℃附近的第二熔融峰的峰高增加。

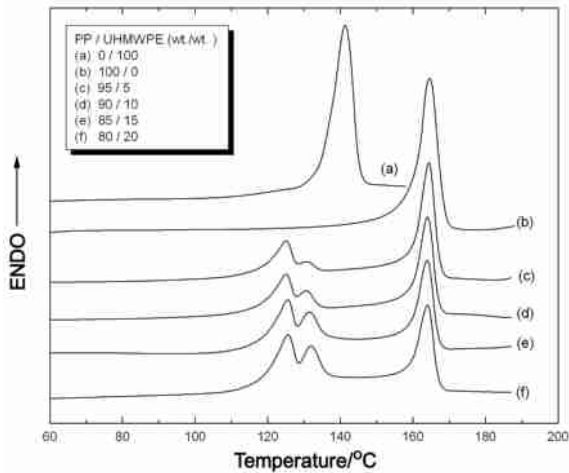


图 14 四螺杆挤出机制备共混物的 DSC 谱图
Figure 14 DSC heating traces of PP, UHMWPE,
and their blends prepared by the
four-screw extruder

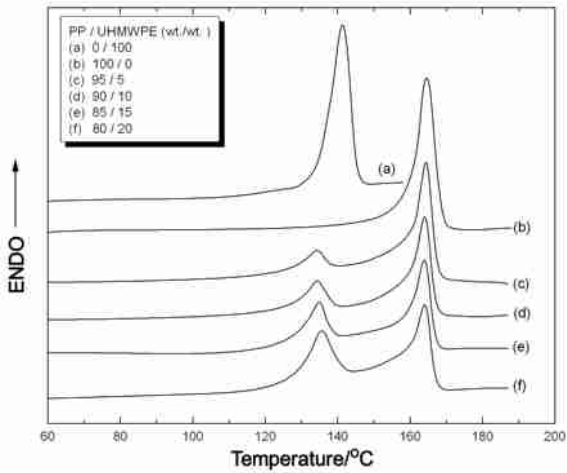


图 15 双螺杆挤出机制备共混物的 DSC 谱图
Figure 15 DSC heating traces of PP, UHMWPE,
and their blends prepared by the
twin-screw extruder

而从双螺杆挤出机制备的共混物的热分析数据可以发现,虽然 UHMWPE 的熔点和熔融峰也出现下降,但下降幅度远不如四螺杆挤出机制备的共混物,这表明由于普通双螺杆挤出机的分散能力不如四螺杆挤出机,UHMWPE 不能均匀分散在 PP 基体中,UHMWPE 在基体中形成的结晶体结构较大,结晶度下降程度也远小于四螺杆挤出机制备的共混物。以上结果与亚微形态观察的结果相佐证,并且也证明了双螺杆挤出机对 UHMWPE 与 PP 的共混效果不如四螺杆挤出机。

表 1 DSC 所测试的采用四螺杆和双螺杆挤出机制备的共混物的热性能
Table 1 The thermal properties of the PP, UHMWPE and their blends from DSC analysis

Blending sample (wt/wt) PP/UHMWPE	(<i>T</i> _m) _{PP} / °C	(Δ <i>H</i> _m) _{PP} ^a / (J·g ⁻¹)	(<i>T</i> _m) _{UHMWPE} / °C	(Δ <i>H</i> _m) _{UHMWPE} ^a / (J·g ⁻¹)
100/0	165.1	137.69	—	—
0/100	—	—	141.4	189.29
95/5 ^b	165.2	136.92	123.2	126.47
90/10 ^b	164.9	134.85	123.7	128.15
85/15 ^b	165.3	136.87	124.3	131.79
80/20 ^b	164.4	135.69	124.9	135.33
95/5 ^c	164.6	134.62	132.8	149.12
90/10 ^c	164.8	132.58	133.2	151.47
85/15 ^c	164.3	135.73	133.9	153.86
80/20 ^c	164.5	133.29	134.4	158.72

^a表中 PP 与 UHMWPE 的熔融热测量值被共混物中各自含量相除;
^b共混物由四螺杆挤出机制备;
^c共混物由双螺杆挤出机制备。

5 流变性能

流变性能将提示 PP 与 UHMWPE 分子链在熔体中的相互作用关系。图 16 和图 17 分别显示了采用四螺杆挤出机制备的二元和三元共混物的表观熔体粘度随剪切速率变化的关系曲线^[10-15]。首先可以发现,不论是纯树脂还是共混物,其熔体都是塑性流体。对于二元共混物,当 UHMWPE 含量为 5%(wt) 时,共混物的熔体粘度出现下降。随着 UHMWPE 含量的增加,熔体粘度逐渐上升,当含量达到 15%(wt) 时,粘度已经接近纯 PP 的值。同时,熔体粘度对组成的依赖性受到剪切速率影响很大,在低剪切速率下,UHMWPE 加入后引起的熔体下降幅度较明显,可在高剪切速率下,粘度对组成的依赖性消失了。此外,可以观察到,熔体粘度对组成的依赖性也受到温度的影响,温度越高这种依赖性就越强。对于二元聚合物共混物,其熔体粘度的变化主要来自于熔体中两种不同分子链的缠结和解缠结作用。当 PP 中引入 UHMWPE 后,由于两种链段结构的差异而导致两者之间排斥,这会导致分子链间解缠结作用强于缠结作用,这种解缠结作用在低剪切速率下更为明显,因此导致粘度明显下降。当剪切速率提高时,两相界面随剪切作用的增强而变得模糊,不同链段间相互溶合的程度加深,缠结作用增加,因此粘度下降幅度变小。当熔体中 UHMWPE 含量增加时,会导致其超长分子链与 PP 基体分子链间缠结作用的增加,甚至形成互锁结构,这会导致熔体粘度的增加。此外温度对粘度对组成的依赖性的影响,可归结于温度对分子链段运动的影响,显然温度越高,熔体中链段运动越剧烈,造成不同链段间排斥作用越强烈,因此粘度对组成的依赖性也就越强烈。

而对于三元共混物,虽然也可以观察到共混物粘度随 UHMWPE 的加入而下降的现象,但其下降幅度已经非常微弱,而粘度对组成的依赖性及温度对这种依赖性的影响也远不如二元共混物。这主要原因是 EPDM 对 PP 和 UHMWPE 之间的增容作用造成的,因为 EPDM 与 PP 及 UHMWPE 分子链间都具有吸引作用,因而导致异种分子链间的排斥作用下降,因此,使得粘度对组成的依赖性明显减少。流变性能考察再一次证实了 EPDM 对 PP 与 UHMWPE 之间增容效果。

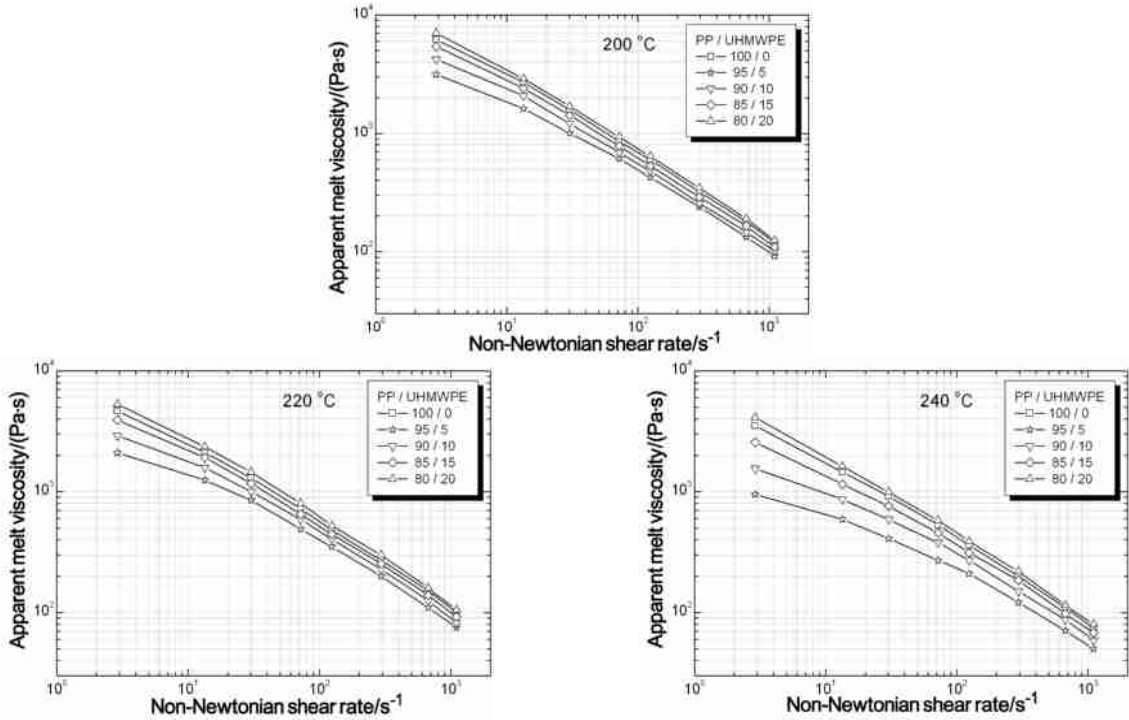


图 16 不同温度下二元共混物的熔体粘度随剪切速率变化的关系曲线

Figure 16 Plots of apparent melt viscosity versus non-Newtonian shear rate for PP/UHMWPE binary blends at various temperatures

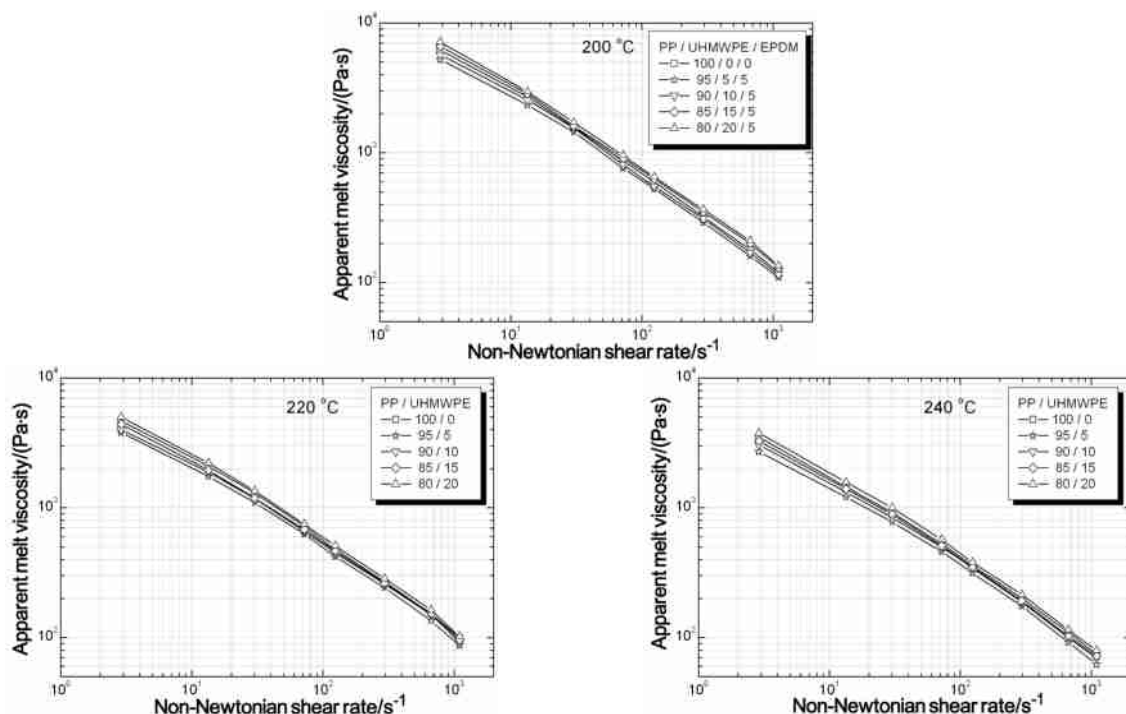


图 17 不同温度下三元共混物的熔体粘度随剪切速率变化的关系曲线

Figure 17 Plots of apparent melt viscosity versus non-Newtonian shear rate for PP/UHMWPE/EPDM ternary blends at various temperatures

6 增韧机理探讨

综合上述实验结果及证据,表明本研究采用的 UHMWPE 增韧增强 PP 体系的机理与传统的“橡胶增韧塑料”及“刚性粒子增韧塑料”的情况都不同^[6]。实验证明 UHMWPE 是以双连续相的结构分布在 PP 基体中,其中 UHMWPE 在基体中的形态是微晶及与其相连的无定形部分,其中无定形部与 PP 基体紧密结合。当体系受到外力作用时,UHMWPE 为共混物提供承受外力的骨架,并通过 UHMWPE 本身的微晶和无定形部分的形变、取向吸收冲击能量。EPDM 的加入提高了 PP 与 UHMWPE 之间两个连续相的界面粘结性,从而提高了网络之间对外力冲击能量的吸收和冲击能的传递效率。从而使共混物的韧性和其它力学性能得到综合性的提高。这就是本文所阐述的“原位复合”增韧机理。当然该理论本身并不完善,目前它只是一个定性的概念,具有一定的局限性,还没有在更多的增韧体系中得到验证。目前它仅存在于研究 PP/UHMWPE 共混体系中。至于它是否能够推广到其它基体与 UHMWPE 的共混体系还有待进一步的验证。

参考文献:

- [1] Bonner J G, Hope P S. editor Polymer Blends and Alloys, London, Chapman & Hall, 1993; 93~105
- [2] Utracki L A. Polym Eng Sci, 1982, 22; 1166
- [3] Starkweather H W, Van-Catledge F A, Macdonald R N. Macromolecule, 1982, 15; 1600
- [4] Mironi-Harpaz I, Narkis M. J Appl Polym Sci, 2001, 81; 104
- [5] Wang K, Zhao C. Polym Eng Sci, 2001, 41; 2249
- [6] Liu G, Chen Y, Li H. J Appl Polym Sci, 2004, 92; 3894
- [7] Liu G, Chen Y, Li H. J Appl Polym Sci, 2004, 94; 977
- [8] 励杭泉,汪晓东,金日光. 中国塑料,1994,7(2),18.
- [9] 汪晓东,励杭泉,金日光. 高分子学报,1994,(4),486.
- [10] Wang X, Jin R, Li H. J Mater Sci Techn, 1995, 11(1), 46

[11] Tadokoro H, Structure of Crystalline Polymers, New York, John & Wiley, 1979: 25-39.
[12] 励杭泉, 汪晓东, 金日光. 高分子材料科学与工程, 1994, 10(1) , 27.
[13] Rabek J F. Experimental Methods of Polymer Chemistry, New York, John & Wiley, 1980: 75~ 88
[14] 汪晓东, 励杭泉, 金日光. 高分子材料科学与工程, 1995, 11(5) , 85
[15] 汪晓东, 励杭泉, 金日光. 高分子材料科学与工程, 1996, 12(3) , 54
[16] 汪晓东, 冯威, 励杭泉, 金日光. 材料研究学报, 1996, 10(6) , 645.

Study and Development on Morphology, Mechanical Properties, and Toughening Mechanism of the Blends based on Polypropylene and Ultrahigh Molecular Weight Polyethylene

JIN Ri-guang, WANG Xiao-dong, WU De-zhen, LI Hang-quan

(*Key Laboratory of Beijing City on Preparation and Processing of Novel Polymer Materials,*

School of Materials Science and Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: This article regards a review on study and development on toughening systems of polypropylene (PP) and ultrahigh molecular weight polyethylene (UHMWPE) . The mechanical properties, morphology, thermal properties, and rheology were evaluated. Thus toughening and reinforcing mechanism were also conducted.

Key words: UHMWPE; PP; Toughening; Morphology; Mechanical properties

(上接第 115 页)

[20] 詹晓力, 翁志学, 黄志明, 潘祖仁. 合成树脂及塑料, 1991, 8(3) : 33~37.
[21] Pan Z R, Fan H, Weng Z X, Huang Z M. Polymer Intem. 1993, 30: 259~ 264.
[22] Pan Z R, Weng Z X, Huang Z M, Chin J Polym Sci, 1999, 17(1) : 13~19.

From Key Problems in PVC Manufacture to Fundamental Research on Polymer Reaction Engineering

PAN Zu-ren

(*Department of Chemical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China*)

Abstract: Fundamental research works of polymer reaction engineering rooted from the key problems in PVC manufacture were carried out along with two main aspects concerning with polymer chemistry, technology and engineering for more than forty years. Polymerization kinetics including rate, degree of polymerization and copolymer composition, microscopic and macroscopic particle formation mechanism, and heat transfer, agitation and mixing, and scale-up technique of reactor were studied in detail. The key problems for developing new types of PVC and related polymers, and for scale-up design of new reactors were easily solved based on the fundamental researches.

Key words: Poly (vinyl chloride) ; Polymerization kinetics; Particle formation mechanism; Heat transfer; Agitation and mixing; Scale-up of polymerization reactor