

双重组份高速熔融纺丝: 聚酯(PET)/丙纶(PP) 纺丝的纤维结构形成机理

TAKESHI KIKUTANI¹, J. RADHAKRISHNAN¹孙明宝² 孙世元² 译

(日本东京工业大学有机聚合材料系)(青岛大学纺织服装学院 青岛 266071)

〔摘要〕 PET(作芯层)和PP(作皮层)进行双组份纺丝;并研究了单组份、双组份(PET/PP)纺丝时纤维的结构形成。相对于单组份纺丝时,PET的趋向度和结晶度得到提高,然而PP却保持很小的趋向率,并在很高的卷绕速度下具有准六方晶体的结晶结构。为了阐明在双组份纺丝中两组份间的相互作用,进行了部分数字的模拟。用牛顿液体模型进行的模拟结果表明:相对于单组份纺丝时,PET的凝固应力提高了,而PP的凝固应力下降了。这是由于在它们的伸长粘度(或称延伸粘度)的温度依赖性间的差异造成的。用上层对流的麦克斯韦液体模型作为结构等式,表明如果PET组份固化比PP早,在丝条中PP会发生应力松弛。根据结构特性结果和模拟结果,得到如下结论,即在纺丝过程中在两组份间伸长粘性和固化温度的差异是影响两组份相互作用的主要因素。

前言

由于在许多特性纤维产品中的应用,例如卷曲变形纤维、用作热粘合的纤维、导电纤维、超细纤维^[1]、异型纤维等,用两种聚合物共同抗压出具有设计规定的截面布置的单丝,这种双组份熔融纺丝技术已取得相当的经济效益。关于单组份纺丝的不同方面的信息有很多^{[2][3]},而关于双组份纺丝,已出版的关于纺丝加工的信息很少。在文献中,大多数关于双组份纺丝的报道大多关注于早期对两连续相间的界面^[4-10]和丝条稳定性的分析^{[11][12]}。

众所周知,纤维的结构主要在高速纺丝时形成,初生纤维的结构和性能主要依赖于熔融的聚合物在丝条中的热学和力学作用。当两种聚合物共同挤压成形时,希望每种聚合物的热学和力学经历都不同于单组份纺

丝时的经历。由于两成份相互作用,这将导致纤维结构形成明显的差异。因此,通过选择一个合适的聚合物的组合,改善高速纺纤维的结构是可行的。然而,相对于加工条件,清楚理解结构形成的重要机理对于纤维结构形成以及初生纤维的性能的有效控制是非常必要的。

在单组份纺丝中,数字模型和加工模拟对演化纤维结构形成机理是非常有用的^[13]^[14]。虽然关于双组份纺丝的数字模拟出版的著作^{[15]、[16]}很少,但是到目前为止,很少有人尝试去理解在皮芯型双组份纤维的高速熔融纺丝中纤维结构的形成机理。

在该研究工作中,用两个不同的挤压机、一个环形的冲模共同挤压两种聚合物来生产PET/PP皮芯型双组份纤维。详细研究了用一个气流喷射器在不同的纺丝温度下形成的

初生纤维的结构。进行了双组份纺丝的部分数字的模拟, 并且根据纤维结构性能数据和模拟结果, 来探讨一种纤维结构形成机理。

1 实验

1.1 双组份纺丝

在 290℃ 下, 用两套挤压系统、经一个环形喷丝板, 挤压作为芯层的 PET 熔体和作为皮层的 PP 来生产 PET ($[\eta] = 0.65 \text{ dl/g}$) 和 PP (MFR = 40) 的双组分皮芯型复合纤维。每一套挤压系统有一个挤压机和—个齿轮泵组成。聚合物在喷丝头内汇合, 同轴结合的聚合物通过 24 孔、直径为 0.3mm 的喷丝板挤压。各孔的流量设定在 10g/min, PET/PP 的组成比选择为 10: 0、7: 3、5: 5、4: 6、0: 10。挤出的丝由一个在喷丝板下方距离 1.5 米的气流喷射器向下牵伸。纺丝速度通过改变在气流喷射器上的气压而不同。纺丝设备如图 1 所示。

1.2 初生纤维的性能

1.2.1 线密度

初生纤维的线密度通过称量 10 米由 24

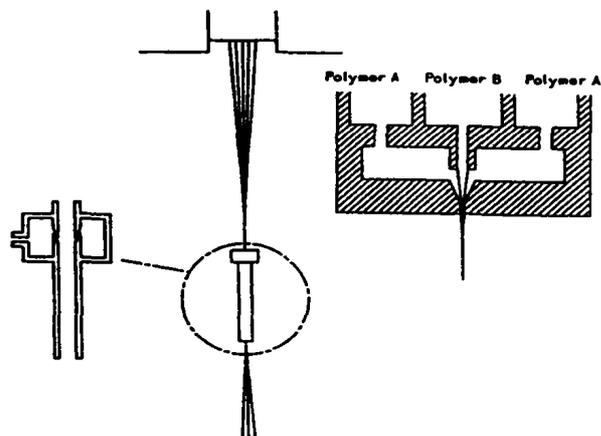


图 1 纺丝设备简图

1.2.3 广角 X 射线分析

用一个滤镍波的 CuK α X 光放射源 (Rigaku Denki), 获得初生纤维的广角 X 衍射 (WAXD) 图。

根长丝组成的纤维束的重量来测定。纺丝速度 (v) 根据线密度 (q) 和流量 (w) 基于公式 $v = w/q$ 来估计。

1.2.2 双折射

在双组份纤维中, 皮层和芯层的折射用装有偏振滤波器的干涉显微镜 (Carl Zeiss Jena), 根据一种方法 (在别处介绍^[17]) 进行测量。用显微镜观察到的双组份纤维的干涉条纹如图 2 所示。皮层和芯层的折射率 n_{out} 和 n_{in} 由下面的公式得出:

$$a_{out}/A * \lambda/2 = (n_{out} - N)(R_{out}^2 - R_{in}^2)^{1/2} \quad (1)$$

$$a_{in}/A * \lambda/2 = (n_{out} - N)(R_{out} - R_{in}) + (n_{in} - N)R_{in} \quad (2)$$

公式中, a_{out} 和 a_{in} 是在皮层与芯层界面间和纤维中心分别测得的干涉条纹的位移; R_{out} 、 R_{in} 是皮、芯层的半径; N 是浸渍液体的折射率; λ 为入射光的波长。除去外层组份的阻碍影响, 式(2)可以测定芯层单一组份的折射率。皮层和芯层的干涉可作为在平行和垂直于纤维轴向的折射率的差异。

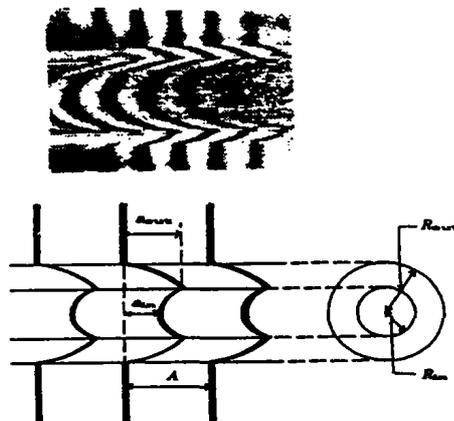


图 2 用干涉显微镜观察到的高速纺双组分纤维典型的光学显微照片和干涉图案

2 结果和讨论

2.1 纺丝速度

施加于气流喷射器的气压和 PET/PP 双组份纺丝速度之间的关系与 PET 和 PP 单组

份纺丝时二者之间的关系在图 3 中做了比较。随着气压的增大,各流量都增加。但是, PET/PP 纺丝的速度低于对应的单组份纺丝时的速度。

单组份和双组份初生纤维的典型图片在图 4 中进行了比较。有必要指出在 PET/PP 双组份纺丝中,同时纺的 24 根长丝在它从气流喷射器出来时结合在一起(然而,单组份纺丝时,PP 或 PET 是彼此分离的)形成一丝束。相对于单组份纺丝时,较低的 PET/

PP 纺丝速度,可能是由于丝束的形成,因为它导致长丝表面积的增加,并且最终导致由气流喷射器施加的空气牵伸力的下降。

考虑到在这项研究中的纺丝条件,在喷丝板下 1.5 米(气流喷射器在这里)运动着的长丝温度希望接近于环境温度。这表明双组份纺丝的外层 PP 在冷却到室温后仍可在丝条中保持熔融或橡胶状态。这个观察现象表明在双组份纺丝时,PP 组份的结构形成明显不同于 PP 单组份纺丝时的结构形成。

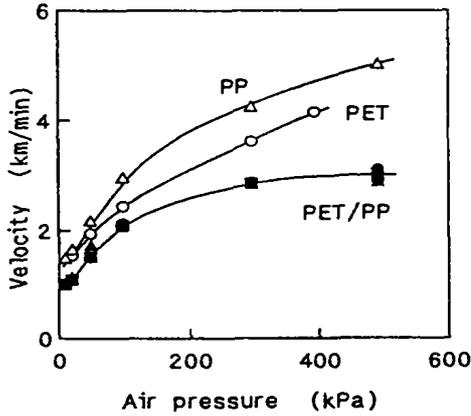


图 3 纺丝速度与气压的关系
PET/PP = (○)10:0, (●)7:3, (■)5:5, (▲)4:6, (△)0:10

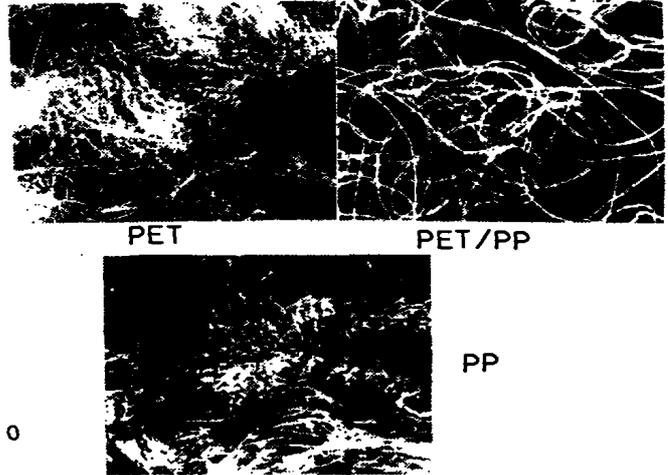


图 4 单组份和双组份初生纤维的外观图片

2.2 初生纤维的结构特点

图 5(a) 和 (b) 显示的是在双组份纤维中, PET 和 PP 各自相对于单组份纺丝时的干涉图。按照以前的报道^{[11][12]}, 单组份 PET、PP 纤维的干涉随着纺丝速度的增加而增大。在 PET/PP 双组份纤维中, PET 的干涉随纺丝速度的增加而增加, 而且远大于其单组份纺丝时的增加。并用 PET 的干涉随其组成比例减少而增大。另一方面, PP 组份的干涉远小于对应单组份纤维。换句话说, 在 PET/PP 双组份中, 相对于单组份纤维, PET 的分子趋向度得到提高, 而 PP 的分子趋向度仍保持很低。

根据下面给出的 Lorentz - Lorenz(洛伦

茨 - 洛伦兹)公式, Lorentz(洛伦茨)密度 $(n^2 - 1)/(n^2 + 2)$ 和密度 d 有线性关系:

$$(n^2 - 1)/(n^2 + 2) * M/d = 4/3\pi Np \quad (3)$$
 这里 M 是分子量; N 是 Avogadro(阿伏伽德罗)值; P 为克分子极化度。平均折射率 n 可

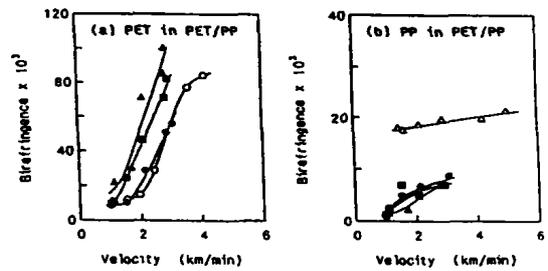


图 5 (a)PET, (b)PP 在单组分和双组分纤维中双折射与纺丝速度的关系 PET/PP = (○)10:0, (●)7:3, (■)5:5, (▲)4:6, (△)0:10

由平行、垂直方向测得的折射率由以下公式求得：

$$n^2 = (n_{para}^2 + 2n_{perp}^2) / 3 \quad (4)$$

在 PET/PP 双组份和单组份纺丝中，测得的 PET 的 Lorentz 密度用图 6 表示。PET 单组份纺丝中 Lorentz 密度在卷绕速度大约 4km/min 时开始增加，这表明导致分子趋向的结晶的开始。相对于单组份纺丝，PET 在 PET/PP 双组份纺丝中的 Lorentz 密度在很小的卷绕速度下有很大的增加。这个观察到的现象表明，在双组份纺丝中 PET 组份提高了结晶度，也提高了分子趋向度。

PET 和 PP 组份各自提高或降低的结构特性也来自于 WAXD 的研究。在图 7 中 WAXD 图的验证表明，在 PET/PP 中，PET 的导致趋向度的结晶在大约 3km/min 时已开始，它低于单组份纺丝时卷绕速度。然而，PP 甚至在很高的速度范围内显示出一个准六方晶体结构，而在这个速度范围内单组份纺丝时，PP 具有很高趋向度的单斜晶结构。

以上的分析清楚地表明了单组份纺丝和双组份纺丝时结构形成的差异。在目前的 PET/PP 纺丝中，PET 组份被改善很高的分

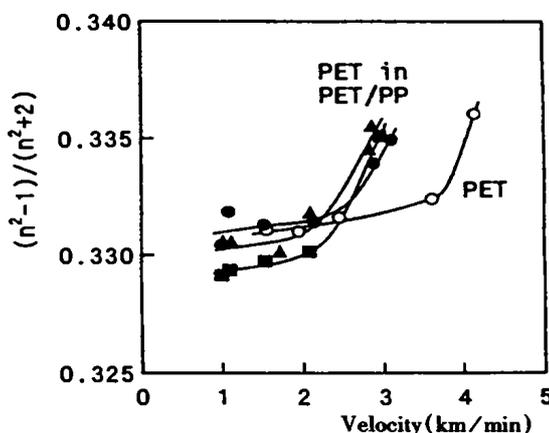


图 6 Lorentz 密度与在 PET/PP 中 PET 纺丝速度的关系曲线 PET/PP = (○)10:0, (●)7:3, (■)5:5, (▲)4:6, (△)0:10

子趋向度和结晶度可在比较大的卷绕速度下实现；然而，PP 仍保持很低的趋向状态，具有准六方晶体结构。在图 4 中，PET/PP 双组份长丝的粘结很明显是由皮层 PP 结晶度的下降引起的。

在双组份纺丝中，相当大的结构形成差异可能归因于共同挤压成单丝的双组份间的相互作用。为了得到在双组份纺丝中结构形成机理的理解、认识，进行了部分数字的模

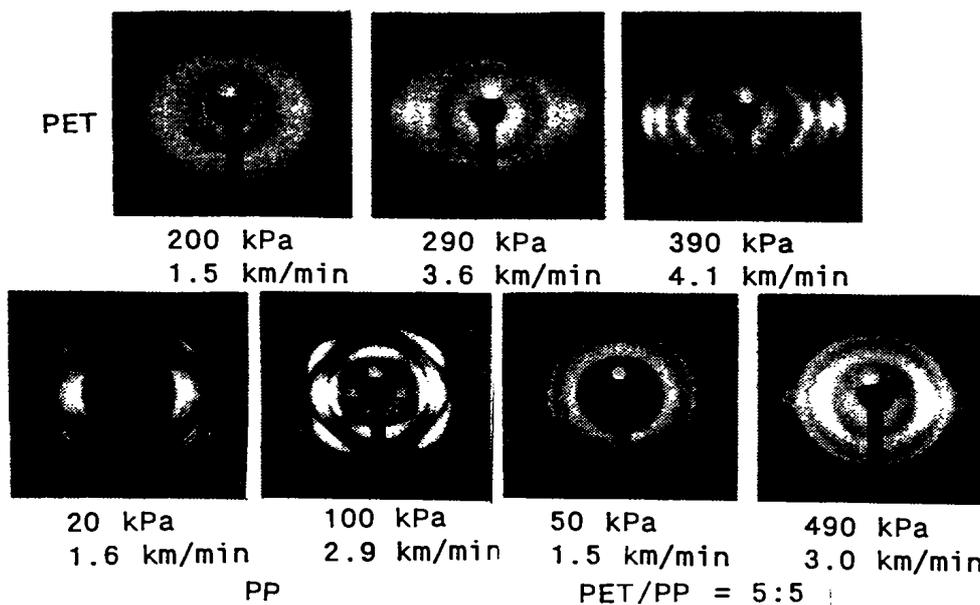


图 7 单组分纤维和双组分纤维的 WAXD 图比较

拟。

3 部分数字模型

3.1 牛顿液体模型

一种稳定状态的单组份纺丝模型 (另外

详细介绍 [13]、[18]、[20]、[21]) 扩展成为双组份纺丝模型。假设在双组份长丝截面上没有温度、速度分布, 对双组份纺丝模拟的公式如下表示:

$$\text{质量守恒公式: } w = w_1 + w_2 = (\rho_1 A_1 + \rho_2 A_2) v \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{动量守恒公式: } dF/dx &= dF_1/dx + dF_2/dx \\ &= (w_1 + w_2)(v/dx - g/v) + \pi D \tau_r \end{aligned} \quad (6)$$

$$D = [2(A_1 + A_2)/\pi]^{1/2}$$

$$\text{能量守恒公式: } dT/dx = -\pi Dh / (C_{p1}u_1 + C_{p2}u_2) * (T - T_a) \quad (7)$$

$$\text{结构公式: } dv/dx = (F_1 + F_2) / (A_1 \eta_1 + A_2 \eta_2) \quad (8)$$

这里 f 、 v 、 D 和 T 分别表示丝条的张力、轴向速度、直径以及和喷丝板距离为 x 时的温度。 W 为流量、 A 是截面积。 ρ 、 η 和 C_p 分别是密度、伸长粘度和聚合物的热量。下标 1 和 2 表示在双组份纺丝中的两组份。 g 是由于引力产生的加速度, τ_r 为长丝表面上和空气摩擦力有关的切应力; h 为热量转换率; T_a 为室温 (环境温度)。

单组份纺丝和双组份纺丝的模拟是在假设 PP 和 PET 为具有图 8 中所示伸长粘性的

温度依赖性的牛顿液体的前提下进行的 [18]、[22]。给出了许多根据尺寸概数进行的在线测量和得出纺丝中张力的经验公式。PP 和 PET 的数据由各自的 MFR 的 30、 η 为 0.69dl/g 的材料得出。由于这些数据并非远远偏离于用于该项研究的聚合物的数据, 图 8 中的数据可以认为能代表所用材料的性能。

在该项实验中, 我们把 70°C 作为聚合物 PP、PET 的固化温度。在模拟中用到的其他公式和参数如下:

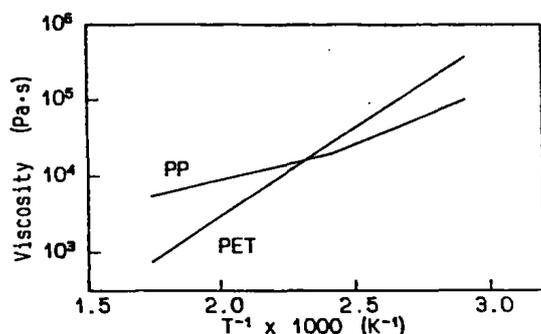


图 8 用于模拟的 PET、PP 的伸长粘度的温度依赖性

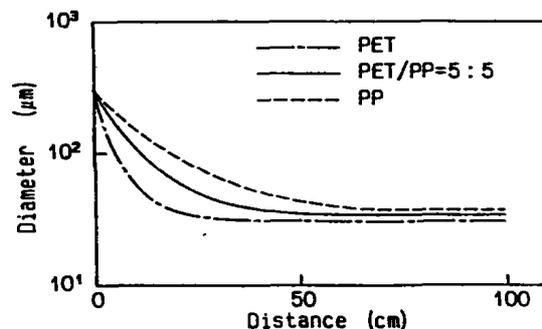


图 9 在卷绕速度为 1 千米/分钟时 PET 和 PP 纤维和 /PP=5:5 的双组分纤维的预测直径

(a) 纺丝条件、原料性能、空气动力学的公式、用来模拟的参数

纺丝条件

流量 $W = 1.0 \text{ g/min}$

喷丝孔直径 $D_0 = 0.3 \text{ mm}$

纺丝温度 $T_0 = 290^\circ\text{C}$

环境温度 $T_0 = 20^\circ\text{C}$

(b) 材料性能

密度

PET $\rho = 1.356 - 5.0 \times 10^{-4} (\text{g/cm}^3)$

PP $\rho = 0.921 - 4.8 \times 10^{-4} (\text{g/cm}^3)$

热量

PET $C_p = 1.25 + 2.5 \times 10^{-3}T [J/(gK)]$

PP $C_p = 2.72 [J/(gK)]$

(c) 热交换和空气摩擦的公式和参数

热交换率 $h = kaNu/D$

Nusselt 值 $Nu = 0.42Re^{0.334}$

空气摩擦力 $\tau_f = (1/2)\rho av^2 C_f$

空气摩擦效率 $C_f = 0.37Re^{-0.61}$

Reynolds 值 $Re = DV/V_a$

空气的热传导率 $K_a = 28mJ/(msK)$

空气密度 $\rho_a = 1.2kg/m^3$

空气的运动粘度 $V_a = 16mm^2/S$

在卷绕速度为 1Km/min 时, PP、PET 和 PET/PP 的预计直径概数在图 9 中表示。

PET/PP 的直径概数在 PP、PET 单组份纺丝之间。在丝条中聚合物变细的特性除了许多参数外, 取决于伸长粘性的温度依赖性和聚合物的热量 C_p 。在单组份纺丝时, PET 具有很高伸长粘性的活动能量和很小的 C_p , 在靠近喷丝板位置固化, 并且相对于很低活动能量和很高 C_p 的 PP, 显示出很明显的细化特性。当这两种聚合物共同挤压成皮芯型单丝时, 在两者间发现的变细的特性, 可能是由于两种组份的性能的相加。

在卷绕速度为 1Km/min 的 PET/PP 双组份纺丝时, PET 和 PP 以及对应单组份纺丝时的估计伸长应力在图 10(a)、(b) 中给出。靠近喷丝板时, 在 PET/PP 中施加给 PET

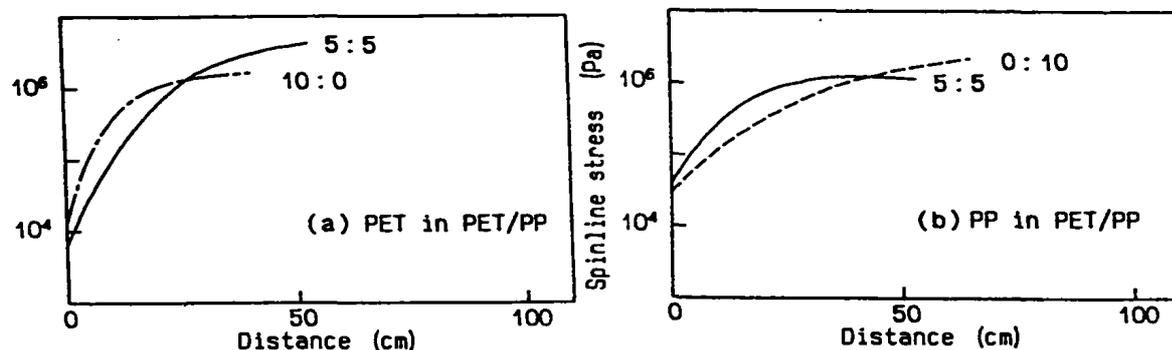


图 10 在卷绕速度为 1 千米/分钟时, 应力变化曲线
 (a) 在单组分和 PET/PP = 5:5 的双组分纤维中的 PET
 (b) 在单组分和 PET/PP = 5:5 的双组分纤维中的 PP

的应力要小于 PET 单组份纺丝时的应力。在这个区域内较低的丝条应力可能是由于丝条被抑制的变形。然而, 丝条应力沿着丝条急剧增加并最终超过其在单组份纺丝时的应力。这个结果符合靠近固化点的尺寸概数图中观察到的丝条变形。相反, 靠近喷丝板时在 PET/PP 纺丝时, PP 的丝条应力高于单组份纺丝时的应力, 随后达到一个最高点。并在靠近固化点 (单组份纺丝时达到较高纺丝应力) 逐渐降低。

Lipscomb^[16]也得到类似的观察结果, 即

在分析空心丝的非等温纺丝时, 他用有温度依赖性的粘性流体代替芯层中的空气, 发现皮层应力达到一个最高值, 并在牵伸区逐渐下降, 这样产生一个与单组份纺丝和用空气做芯时纺空心丝正相反的一个结果。他解释说, 这样的特性的原因为: 如果温度下降, 则芯层粘度比皮层增加的快, 芯层要承受一个更大的摩擦力。

图 11(a) 和 (b) 表示在不同卷绕速度和不同组合流量, 在 PET/PP 中, PET 和 PP 各自的估计固化应力, 对应的单组份固化应力

为了比较也包含在内。和前面观察到的一样,相对于单组份时,PET 在各种卷绕速度下都有一个固化应力的提高,随其组份的减少,固化应力有上升的趋势。另一方面,PP 组份的固化应力比单组份纺丝时小很多。两种纺

丝情况下,在更高卷绕速度时,差异更大。这些结果符合在图 5 中显示的实验获得的双组份高速纺丝在动态丝条中双组份相互作用的基本概念。

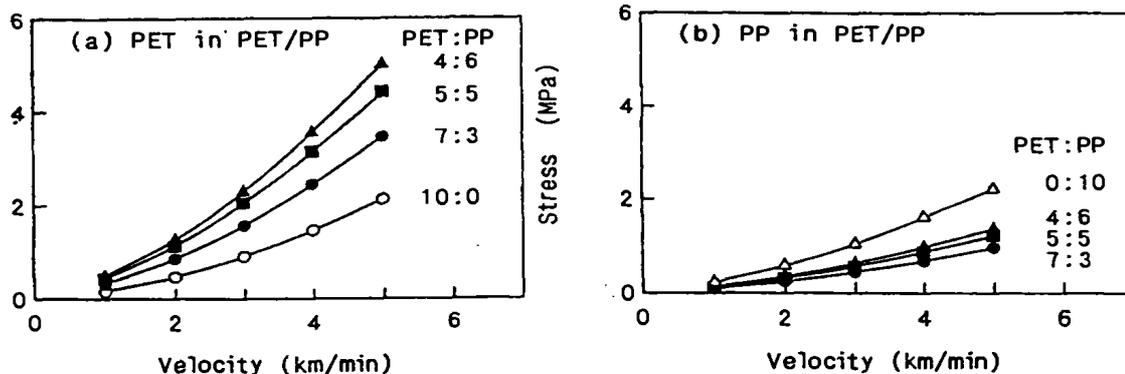


图 11 在不同的组合比例下固化应力与纺丝速度关系曲线
(a) 单组分和双组分纤维中的 PET
(b) 在单组分和双组分纤维中的 PP

和前面提到的一样,在计算中对 PET 和 PP 假设一个相同的固化温度为 70℃,这个温度和 PET 的玻璃化温度相符。在通常纺丝条件下,根据报道,PP 的固化温度也在 70℃左右^[18]。然而,因为 PP 的固化是由于结晶,所以在某些特定条件下,PP 的固化温度会改变很大。因此,在某些条件下,对两种聚合物相同固化温度的假设可能是不充分的。不过,由于如果一种成份在某一温度固化而另一种仍保持熔融状态,因为在这个位置之外,丝条不再变形,后者的伸长应力会突然消失,所以从实际的观点出发,第二种组份有发生应力松弛的可能。为了在计算中考虑到这种情况,应采用一个粘弹性的结构等式。

3.2 上层对流的麦克斯韦模型

体现非等温条件的上层对流麦克斯韦模型由 Marrucci 以下式表示:

$$\sigma + \lambda [\partial \sigma / \partial t + v \cdot \nabla \sigma - (\nabla v) \cdot \sigma - \sigma \cdot (\nabla v) T - \sigma \partial \ln T / \partial t - \sigma (v \cdot \nabla \ln T)]$$

$$= u [\nabla v + (\nabla v)^T] \quad (9)$$

其中,σ 是外加应力;λ 为松弛时间;v 为速度;T 为温度;u 为粘度;t 为时间。在稳定的纺丝条件下,等式(9)简化为以下两组份的等式:

$$\tau + \lambda [v d\tau / dx - 2\tau dv / dx - v \tau d \ln T / dx] = 2u dv / dx \quad (10)$$

$$w + \lambda [v dw / dx + w dv / dx - w d \ln T / dx] = -u dv / dx$$

这里 τ 是轴向应力;w 为纺丝方向的应力;τ - w 为对应的丝条的应力 F/A。

在双组份纺丝条件下,对两种组份,以下等式可由(10),(11)得到:

$$(A_1 / \lambda_1 * \eta_1 + A_2 / \lambda_2 * \eta_2 + 3A_1 \tau_1 + 3A_2 \tau_2 - 2F) dv / dx = v dF / dx + F_1 / \lambda_1 + F_2 / \lambda_2 - FV * 1 / T * dT / dx \quad (12)$$

其中,η = 3u 为伸长粘度,对每一种组份以下等式可得到:
dτ_i / dx

$$= (2\tau_j/v + 2\eta_j/3\lambda_j v) dv/dx - \tau_j / (\lambda_j v + (\tau_j/T) dT/dx) \quad (13)$$

其中, $j = 1, 2$ 代表两种组份。

动量守恒等式、能量守恒等式 (6)、(7) 结合等式 (12)、(13), 双组份纺丝的数值模拟就可以进行。在这些等式中由径向应力差异引起的两组份相互作用忽略不计。像 Denn et al [25] 表示的那样, 由于系统响应力与最初的应力条件有关, 在喷丝板外的 w 被假定为零。由于缺少关于所用聚合物的粘弹性的详细知识, 在图 8 中表示的关系被认为是伸长粘度的温度依赖性, 并在假定温度 290℃ 时假定松弛时间为 2ms 的情况下, 每一种聚合物采用一个不变的模量值。

在这个模拟中, PET 固化温度控制在 70℃。考虑到图 7 中所示的 PP 的准六方晶体的结构, PP 被认为直到被冷却到室温时才

固化。计算的速度和温度概数在图 12 中。双组份纺丝的速度和温度处于两种单组份纺丝的速度和温度之间, 这是一个接近于牛顿液体模型尺寸概数的特性。在图 13(a) 和 (b) 中, 给出了双组份纺丝时 PET 和 PP 的应力概数和单组份时的值。指出在 PET 固化后 PP 才有明显的应力松弛是必要的。

在单组份高速纺丝中, PET 在某一卷绕速度以上开始结晶, 并且固化温度随卷绕速度增加而增大。像在图 6、7 中显示的一样, 在 PET/PP 中, PET 也在 3km/min 以上开始结晶。

为了体现结晶的影响, 模拟是在假设预先确定的结晶温度下丝条突然固化的前提下进行。图 14(a) 和 (b) 表示了卷绕速度为 4km/min 时, PET 固化温度变化对应力形成的影响。当 PET 的固化温度增加到 150℃, PP 的应力松弛比 PET 固化温度设定在 70℃ 时更突出。图 15(a) 和 (b) 总结了设定 PET 固化温度为 70℃、150℃ 时, 对不同的卷绕速度下 PET 和 PP 的固化应力。这个结果表明, 如果 PET 的结晶发生在某一卷绕速度以上, 在这一点, PP 的分子趋向可能达到最充分或达到最大值。在图 15(b) 中, 趋向充分的趋势可在 2-3km/min 以上。我们以前在 PET/PE 双组份纺丝中报道过 PE 的分子趋向在 PET 开

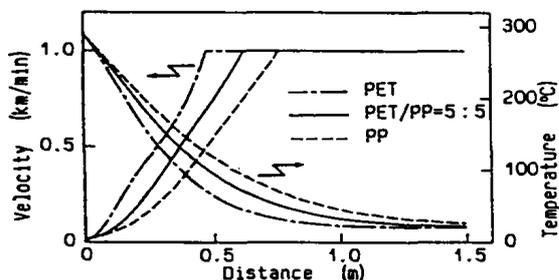


图 12 PET、PP 单组分纤维及 PET/PP=5:5 双组分纤维的预测速度和温度曲线

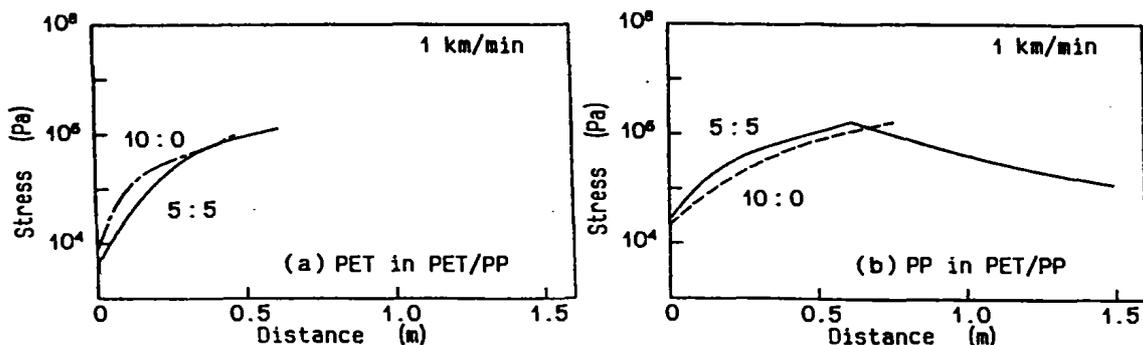


图 13 在卷绕速度为 1 千米/分钟时, 应力曲线
(a) 在单组分和 PET/PP=5:5 的双组分纤维中的 PET; (b) 在单组分和 PET/PP=5:5 的双组分纤维中的 PP;

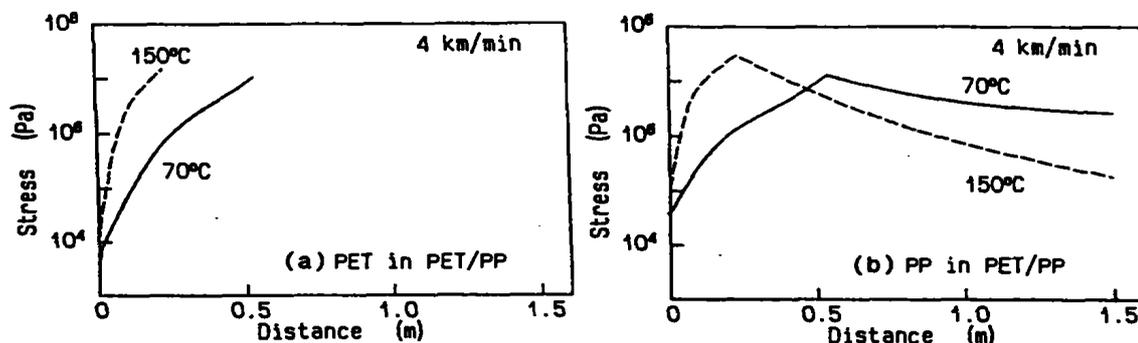


图 14 在卷绕速度为 1 千米/分钟时,应力曲线(PET 固化温度分别为 70°C、150°C)
(a)PET/PP = 5:5 的双组分纤维中的 PET; (b)PET/PP = 5:5 的双组分纤维中的 PP;

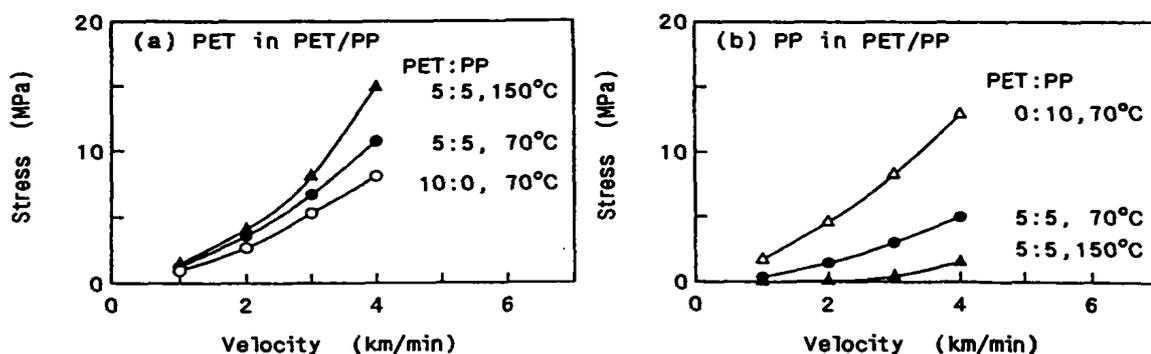


图 15 PET 固化温度分别为 70°C、150°C 时纺丝速度与四条应力关系曲线
(a)在单组分 PET/PP = 5:5 的双组分纤维中的 PET; (b)在单组分和 PET/PP = 5:5 的双组分纤维中的 PP;

始结晶的卷绕速度下达到明显的最高值。

4 双组份纺丝中纤维的结构形成机理

从上面描述的数字模拟中得出的结果清楚的表明,共同积压成单丝的两聚合物间的相互作用是产生相对于单组份纺丝时在纤维形成中明显差异原因。相互作用可能由于成份聚合物的内在特性间的差异,可以注意到所用的两种聚合物的伸长粘度的温度依赖性是不同的。在目前的情况下,具有较高活动能的 PET 在丝条中可能经受比单组份更高的应力,更高的压力也会提高结晶度和随之提高的趋向度。另一方面,具有很小活动能的 PP 的趋向度形成会受阻。如果在 PP 保持熔融状态时 PET 固化发生,PP 会发生趋向松弛。在高的纺丝速度下,伴随高的

冷却率,受阻的趋向会妨碍 PP 的结晶(即使在靠近室温时),并会引起运动着的长丝的粘结。由于 PP 的玻璃化转换温度低于室温,结晶成准六方晶体结构甚至可以发生在纺丝过程中。

最后,除了上面提到的双组份纺丝时两组相互作用的主要因素,如果两组份的伸长粘性的差异程度很明显,一些另外的因素也应考虑,指出这一点是非常重要的。在高速熔融纺中,因为惯量和空气阻力的原因,丝条的张力随远离喷丝板的距离的增加而增大。这些力作用在动态丝条上的影响因伸长粘性的大小而不同。因此,在两种具有同样活动能明显不同粘度值的两组份间存在相互作用。这些因素将在以后的文章中讨论^[29]。

5 结论

进行了PET(芯层)/PP(皮层)的双组份高速纺丝,并对初生纤维的结构进行了研究。发现在双组份纤维中,PET有比在单组份纺丝中更高的结晶度和趋向度;然而,PP即使在高的卷绕速度下,仍保持低的趋向和准六方晶体结构。用牛顿液体模型进行了部分数字的模拟,取得的结果表明,相对于单组份纺丝,PET的固化应力增加而PP的减少,这主要是由于两组份间的伸长粘性的活动能量间的差异。为了考虑在PET固化温度后的PP组份的应力松弛,用一个上层对流的麦克斯韦模型做结构等式。结果表明,如果PET在PP处于熔融状态时固化,PP会产生相当大的应力松弛。这种松弛的影响会在PET的导致趋向的结晶开始后得到提高。基于结构特性数据和模拟结果,提出了一个双组份高速纺丝的形态形成机理。

参考资料

- 1 T. Nakajima, Ed., *Advanced Fiber Spinning Technology*, Woodhead, Cambridge, 1994.
- 2 A. Ziabicki, *Fundamentals of Fiber Formation*, Wiley, New York, 1976.
- 3 A. Ziabicki and H. Kaway, Eds., *High-speed Fiber Spinning*, Wiley, New York, 1985
- 4 C. D. Han, *J. Appl. Polym. Sci.*, 17, 1289 (1973).
- 5 A. E. Everage, Jr., *Trans. Soc. Rheol.*, 17 (4), 629(1973)
- 6 J. H. Southern and R. L. Ballman, *Appl. Polym. Sci.*, 20, 175(1973).
- 7 D. L. Maclean, *Trans. Soc. Rheol.*, 17(3), 385(1973)
- 8 J. H. Southern and R. L. Ballman, *J. Polym. Sci. Polym. Phys. Ed.*, 13, 863(1975)
- 9 M. c. Williams, *AICHE. J.*, 21, 1204(1975)
- 10 S. Tomioka and M. Kojima, *Sen I Gakk - aishi*, 36, T - 201(1979).
- 11 S. Tomioka and M. Kojima, *Sen I Gakk - aishi*, 35, T - 542(1979).
- 12 W. S. Lee and C. W. Park, *Int. Polym. Process*, ic3359(1994).
- 13 J. Shimizu, N. Okui, and T. Kikutani, *High-speed Fiber Spinning*, A. Ziabicki and H. Kawai, Eds Wiley, New York, 1985, p. 173.
- 14 T. Kikutansi, *Sen I Gakkaishi*, 50, P - 529(1994).
- 15 C. W. Park, *AICHE. J.*, 36, 197(1990).
- 16 G. G. Lipscomb, *Polym. Adv. Tech.*, 5, 745(1994).
- 17 J. Shimizu, N. Okui, and T. Kikutani, *Sen I Gakkaishi*, 37, T - 135(1981).
- 18 J. Cao, T. Kikutani, A. Takaku, and J. S - himizu, *J. Appl. Polym. Sci.*, 37, 2683(1989).
- 19 M. F. Vuks, *Opt. Spectrosc.*, 20, 361(1966).
- 20 S. Kase and T. Matsuo, *J. Polym. Sci. A3*, 2541(1965).
- 21 S. Kase and T. Matsuo, *J. Appl. Polym. Sci.*, 11, 251(1967).
- 22 I. Hamana, *Formation of Fibers and Development of Their Structure*, The Soc. Fiber Sci. Tech., Japan, Kagakudojin, Kyoto, 1969, p. 123
- 23 G. Marrucci, *Trans. Soc. Rheol.*, 16(2), 321(1972)
- 24 R. J. Fisher and M. M. Denn, *AICHEJ.*, 23, 23(1977)
- 25 M. M. Denn, C. J. S. Petrie, and P. Av - enas, *AICHEJ.*, 21, 791(1975)
- 26 D. R. Gregory, *Trans. SOc. Rheol.*, 17 (1), 191(1973).
- 27 K. Fujimoyo, K. Ionara, S. Owaki, and Y. Murase, *Sen I Gakkaishi*, 44, 53(1988).
- 28 T. Kikutani, S. Arikawa, A. Takaku, and N. Okui, *Sen I Gakkaishi*, 51, 408(1995).
- 29 J. Raddhajrishnan, T. Kikutani, and N. Okui, to appear.