

# 液晶聚芳酯纤维轴压缩变形的研究

肖 长 发

(天津纺织工学院)

**【摘要】** 本文研究了对羟基苯甲酸(HBA)与2-羟基-6-萘甲酸(HNA)共聚酯纤维的轴压缩变形行为。将纤维试样用树脂包埋进行轴向压缩变形。借助偏光显微镜、扫描电子显微镜及X射线衍射等方法对纤维的变形机理进行了分析研究。结果表明,压缩变形使纤维沿轴向出现许多变形带。变形带与纤维轴的夹角随压缩程度增大而增大,最后趋于 $90^\circ$ 并导致纤维破坏。

对羟基苯甲酸(HBA)与2-羟基-6-萘甲酸(HNA)共聚合可形成热致性向列型液晶聚芳酯P(HBA/HNA),经液晶纺丝制成高性能纤维,其结构与物性关系的研究受到人们重视<sup>[1]</sup>。然而,至今还没有关于P(HBA/HNA)纤维压缩变形方面的研究报道。通常柔性高分子如聚乙烯、聚丙烯、聚酰胺、聚酯以及溶液纺丝成形的刚性高分子PPTA纤维等在受到轴压缩、弯曲或再拉伸时发生变形并最终导致破断<sup>[2~4]</sup>。本研究借助偏光显微镜、电子显微镜以及X-射线衍射等方法对P(HBA/HNA)纤维轴压缩变形机理进行了分析和探讨。

## 一、实验部分

试样为HBA/HNA(约70/30,摩尔比)共聚酯经熔融液晶纺丝所得纤维<sup>[1]</sup>。将纤维试样装入含2-羟基丙基丙烯酸甲酯溶液的圆筒状塑料小盒中,聚合后取出呈长8毫米、直径7.5毫米左右棒状物,用岛津AUTO-GRAPH IS-2000压力机以1.5mm/min速度沿纤维轴

方向压缩至变形。再将试样放入二甲基亚砜中约24小时使树脂溶胀并除去,用丙酮浸渍24小时后空气中干燥直至测试使用。

用偏光显微镜观察压缩变形前后纤维试样的结构变化。分别将试样如图1所示置于视野最强的对角位(a)和视野最弱的消光位(b)进行观察。用日立S-510型扫描电子显微镜观察压缩变形前后纤维试样的表面形貌。用理学D-1A型X-射线衍射仪测定试样的结构变化。采用CuK $\alpha$ 辐射、Ni滤波。

## 二、实验结果与讨论

图2为P(HBA/HNA)熔融液晶纺丝后纤维的偏光显微镜照片。图2

(a)为对角位方向,(b)为消光位方向。可以看出,即使在消光位视野也并不完全暗黑,可观察到极微弱的明亮区域(图2b)。这部分可能与未形成液晶的高熔点成分,如HBA的均聚物有关。由

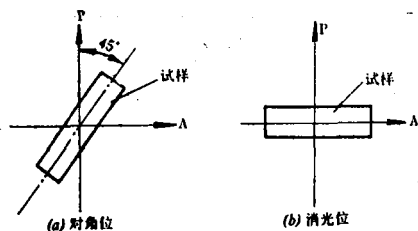


图1 试样与起偏器(P)、检偏器(A)的相互位置

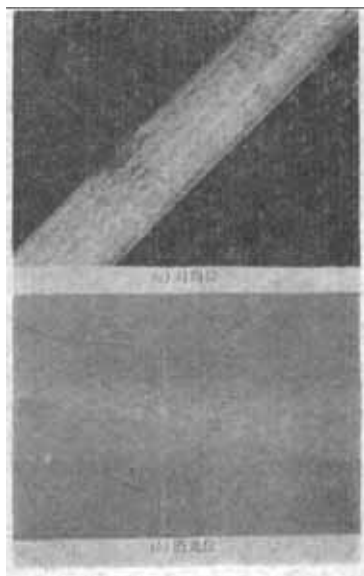


图2 P(HBA/HNA)纤维偏光显微镜照片

于它的相畴尺寸小,当纺丝熔体流经喷丝孔道时未充分发生拉伸流动取向,呈无规随机分布,用X—射线衍射法也不能检测出其结构特征。

图3是压缩变形率12%纤维试样的偏光显微镜照片。可见,沿纤维轴方向出现许多近似周期性分布,宽度约0.5~0.6微米、与纤维轴约成50~60°夹角的锯齿状变形带(图3a)。变形带附近还有不少变形程度较弱的扭曲或挫屈的结构组织。在消光位(图3b)也能观察到与对角位相对应的明暗相间的锯齿形模样。表明在外力作用下,P(HBA/HNA)共聚芳酯纤维的刚性大分子链沿纤维轴方向发生挫屈变形,变形程度的强弱基本与压缩变形试样的部位无关,呈均匀分布。



图3 压缩变形率12%纤维偏光显微镜照片



图4 压缩变形率21%纤维偏光显微镜照片

增大变形率,变形带与纤维轴的夹角增大(图4)。由于在变形带周围发生应力集中,使局部区域出现变形带聚积即互相交错的现象



图5 压缩变形率32%偏光显微镜照片

(图4a)。图5是压缩变形率为32%的偏光显微镜观察结果。变形程度明显增大。除大变形带外,相互交错的小变形带也清晰可见。变形带和挫屈部分遍布整个纤维。变形带与纤维轴的夹角趋近90°,高度取向和伸直大分子链所特有的偏光各向异性也随之减弱。如图5所示,对角位与消光位(图5 a与 b)的差异很小。说明随着压缩变形率的增大,大分子主链沿纤维轴方向发生挫屈变形的同时,在纤维经向大分子之间的相互作用减弱,容易发生原纤化,并最终导致纤维破坏。

图6为初级压缩变形的纤维扫描电镜结果。图6a是将纤维试样水平放置在样品台上拍摄的结果。如使样品一端垂直向上倾斜30°,则得图6b所示的结果。容易看出,轴向压缩变形使纤维表面呈挫屈状形态。

压缩变形率32%试样的电镜结果如图7所示。在外界压缩作用下纤维中应力集中部位

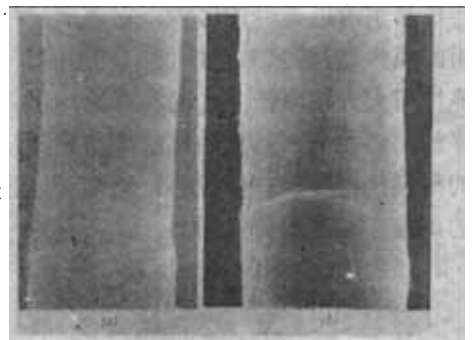


图6 压缩变形率6%纤维扫描电镜照片 (a) 纤维水平置于样品台上; (b) 纤维一端向上倾斜30°。



图7 压缩变形率32%纤维扫描电镜照片

(a) 纤维水平置于样品台上；(b) 纤维一端向上倾斜30°。

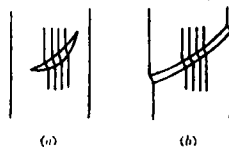
发生明显挫屈变形，聚积起来即形成大的变形带，与偏光显微镜所观察到的明暗相间视野相对应。

如将P(HBA/HNA)纤维长时间高温热处理，则其结晶结构发生变化，即由斜方晶系向单斜晶系转变<sup>[1]</sup>。另外，PPTA纤维在压缩变形过程中，其(200)和(110)晶面发生滑移<sup>[4]</sup>。但在本研究中尚未能得出晶型转变或晶面滑移的实验证据，有待进一步研究。

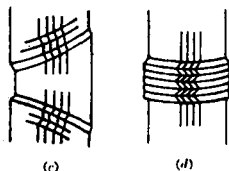
综上所述，可将P(HBA/HNA)共聚芳酯

纤维压缩变形过程归纳如下(参见图8)。

(a) 在外力作用下纤维中局部大分子链发生扭曲或挫屈；



(b) 挫屈部分沿纤维周边扩展，形成变形带；



(c) 在已形成的变形带附近进一步出现应力集中，沿纤维轴径向大分子之间的相互作用减弱，导致变形带出现聚积，使变形程度加剧；

图8 纤维压缩变形过程示意图

(d) 变形带部分逼及纤维整体并与纤维轴趋于直角，发生强烈挫屈或错移，纤维破坏。

### 参 考 资 料

[1] 《纖維学会志》，46,49(1990)。  
 [2] 《J. Polym. Sci., Polym. Phys. Ed》，13, 73 (1975)。  
 [3] 《纖維学会志》，24,101(1968)。  
 [4] 《J. Appl. Polym. Sci》，28, 579 (1983)。