

38—42

丙纶BCF在热空气变形中的受热过程 与物理性质变化

祝伟中* 王善元

TQ 342.62

(中国纺织大学变形纱研究室, 上海, 200051)

分析了丙纶BCF在热空气变形时的传热情况。对变形管内丝温的理论计算表明: 变形管内丝表面和丝芯温度均以相似的规律——近似指数规律变化, 丝在变形管内所达到的温度, 超过了丝的软化点而低于丝的熔点。另外, 还研究了经BCF变形后丙纶部分物理性质的变化情况。

关键词: 丙纶BCF 热空气变形 传热 物理性质

对粗旦丝的变形, 采用热流介质是一种有效的方法。在热流变形时, 熔融纺丝后的丝(或POY)经二道热拉伸后进入热流变形喷嘴, 在喷嘴内, 丝受到热、力的综合作用, 出喷嘴后丝迅速冷却, 经网络再卷绕成筒子。

关于热定型前后高聚物性质的变化, 已经有许多研究^[1-3]。热流变形作为一种特殊变形手段, 在加工过程中也处于温度、应力的不断变化之中。从某种意义上说, 热流变形过程是一个热定型过程。本文将主要讨论在热流变形时丝的受热以及变形后丝的某些物理特性的变化。文中以丙纶为例进行讨论。

1 丙纶BCF单丝的受热

1.1 变形管内丙纶丝的受热计算

以一步法BCF工艺为例。假设, 经热拉伸后, 丙纶单丝以温度 T_0 进入喷嘴, 在喷嘴内受到温度为 T_a 的热气流的作用, 然后经填充管进入空气冷却、定型。丝在变形管内停留时间为 t_0 。这里, t_0 随生产速度、热空气压力、喷嘴结构等条件不同而改变。

为讨论方便, 把丝看成静止的, 热空气高速流经丝的周围而加热丝。并作如下假设:

- 热空气在变形管内的温度 T_a 处处相等;
- 在管内有足够的热空气对丝的作用宽度, 可以忽略沿丝长度方向上的热传导;
- 丝表面温度随时间的变化规律 $\phi(t)$ 为指数函数;
- 丝的截面为圆形。

根据假设, 可得传热示意图(见图1)。显然, 丝温分布是半径 r 和作用时间 t 的函数。

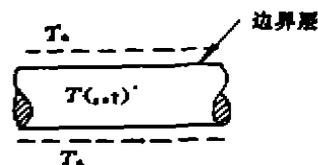


图1 丝受热示意图

收稿日期: 1990-12-03

修改稿收到日期: 1991-09-26

*目前工作单位: 无锡轻工业学院纺织工程系

$$T = T(r, t) \quad (1)$$

$$0 \leq r \leq R \quad 0 \leq t \leq t_0$$

式中 T —— 丝半径在某一时刻的温度;
 r —— 丝的半径坐标;
 R —— 丝的半径;
 t —— 时间坐标, 丝进入热空气的瞬间为坐标零点。

$$T(r=0) = T_a - (T_a - T_0) \left\{ \frac{e^{-t/\tau}}{J_0(R/\sqrt{\alpha\tau})} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2e^{-\lambda_n^2 t/R^2}}{\lambda_n J_1(\lambda_n)(1 - \lambda_n^2 \alpha\tau/R^2)} \right\} \quad (3)$$

丝表面温度为:

$$T(r=R) = T_a - (T_a - T_0)e^{-t/\tau} \quad (4)$$

式中 J_0, J_1 —— 贝塞尔函数;
 λ_n —— 贝塞尔函数 $J_0(x) = 0$ 的特征根;
 τ —— 丝和热空气之间传热参数;
 $\alpha = K/(\rho \cdot C_p)$;
 K —— 导热系数, 丙纶为 $7.19 \text{ J}/(\text{m} \cdot \text{K} \cdot \text{s})$;
 C_p —— 比热容, 丙纶为 $2.090 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$;
 ρ —— 密度, 丙纶为 $910 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。

利用计算机, 可算出变形管内丝温随时间的变化情况, 如图 2 所示。在图 2 中, $T_a = 220^\circ\text{C}$, $T_0 = 135^\circ\text{C}$, $\tau = 1/55 \text{ s}$, $\alpha = 3.7802 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, $R = 0.0216 \text{ mm}$ (相当于丙纶单丝纤度为 13.33 dtex)。

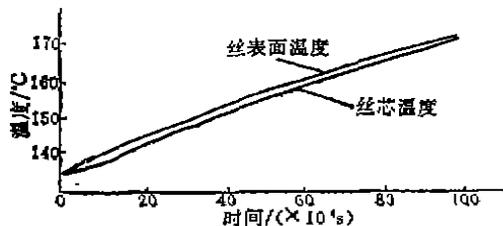


图 2 丝温随时间的变化规律

从图 2 可以看出:

a. 随时间增加, 丝芯、丝表面温度以近

这样我们可建立丝内部的热传导方程:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2)$$

$$0 \leq r \leq R \quad 0 \leq t \leq t_0$$

根据假设及边界条件, 解偏微分方程 (2) 并计算得丝芯温度为:

似指数规律迅速升高。由于单丝较细, 使丝芯和丝表面的温差较小, 故可近似认为, 整根丝以指数规律升温。

b. 丝进入变形管 $6.5-7.5 \text{ ms}$ 的时间内, 丝温将达到 $160-165^\circ\text{C}$, 接近丙纶软化点。

另外, 从公式 (3), (4) 中可知, 当热空气温度 T_a , 丝初始温度 T_0 以及喷嘴内热空气压力增加时, 丝温会有所增加。

1.2 关于参数 τ 的讨论

参数 τ 是一具有时间量纲的反映热空气和丝之间传热情况的参数。 τ 越大, 丝和热空气之间的热交换越慢。对于热流变形, 较小的 τ , 意味着丝升温快, 加热效率高, 从而可提高生产速度。一般而言, τ 值主要由被加热材料的性质、气流性质等决定。在假捻变形中, τ 值约在 $1/10-1/20$ [5,6]。

在 BCF 工艺中, 由于气流强烈湍动, 丝在变形管内散开等原因, 热空气和丝之间形成了极为良好的传热, 使 τ 值较小。根据现有资料推算 [6], τ 值约在 $1/40-1/70$ 之间。这也是我们希望 BCF 变形管内流场紊乱、湍流度大的原因之一。

2 丝在 BCF 喷嘴内各阶段停留时间估算

2.1 丝在变形管内停留时间估算

以 Plantex BCF 变形喷嘴为例。其正常

生产速度约为 1.2 km/min, 变形管长度约为 0.14 m, 故丝在变形管内平均停留时间计算为:

$$t = 0.14 / (1200/60) = 0.007 \text{ (s)}$$

由于BCF变形加工为积极喂入, 非积极输出, 再加上丝的热收缩、卷曲等原因, 使丝在变形管内实际停留时间有所延长, 故实际滞留时间约 7—8 ms。

2.2 丝在堵塞管内停留时间

在正常加工时, 丝塞速度较快, 不易测量。为此, 我们将喂入速度降低为 210 m/min 和 620 m/min, 测量丝塞上一点通过堵塞管 132 mm 长度的时间, 20 次测量的平均值分别为 4.153 s 和 1.550 s, 相应丝塞的平均速度为 1.91 m/min 和 5.11 m/min。即: 丝喂入速度和丝塞速度之比约为 109.9 和 121.33。经预算, 在正常加工时, 丝喂入速度和丝塞速度的比值在 120 左右, 从而丝塞速度在正常生产时 (喂入速度为 1.2 km/min) 约为 10 m/min, 即丝在堵塞管内停留时间约为 1.1 s。

3 丙纶在BCF变形时的受热情况

综合上面理论分析和实验结果, 对一步法 BCF 工艺, 在正常生产时, 丙纶以 100℃ 左右的温度进入喷嘴。在变形管内与热空气相遇, 温度以近似指数规律在 7—8 ms 内迅速上升。在出变形管时, 温度将达到丝的软

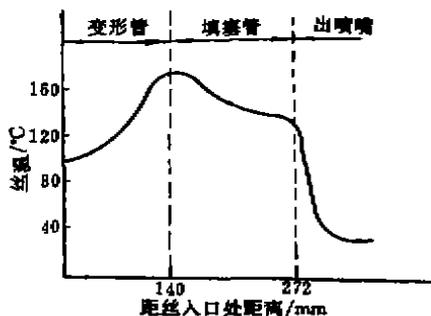


图3 丙纶在BCF加工时温度变化

化点, 进入堵塞管后, 温度下降, 在约 1.1 s 的时间内丝温下降 40—50℃。出喷嘴后, 丝在室温空气的强迫冷却下, 温度迅速下降。图 3 为丝温在变形喷嘴内各阶段的变化情况。

4 BCF变形加工后丙纶的物理性质

BCF 变形加工时, 丝不仅受到热的作用, 而且承受变化张力的作用。正是张力、热的同时作用, 使丝的物理性质发生了较大变化。

4.1 BCF变形后结晶度、晶粒尺寸的变化

我们测定了BCF变形前后丙纶粉末试样的X衍射强度。扫描角度 6°—36°, 并利用计算机对X衍射曲线进行分峰, 其中无定型曲线采用三次曲线^[7]:

$$Y = (-4 + 2.117X - 0.080X^2 + 0.00083X^3) \cdot K$$

式中 X —— 衍射角 2θ ,

Y —— 衍射强度。

衍射峰采用高斯-柯西曲线, 分峰后合成曲线与原始曲线的拟合误差控制在 1.5% 以下。表 1 为经过计算机分峰后计算得到的结果。

表1 BCF变形前后丙纶结晶度、晶粒尺寸变化

取样情况	结晶度 X_c %	晶粒尺寸/nm			
		110	040	130	急冷晶体
变形前	66.932	5.70	5.06	4.82	4.28
变形后	71.907	5.10	3.85	6.28	3.63

注: 采样办法为将丝取出并冷却, 两个试样冷却条件相同。

从表 1 看出, 在BCF变形过程中, 结晶度增加, 除 130 晶面外, 晶粒尺寸均有所下降。

在BCF变形加工时, 由于丝温被升高至软化点, 使丙纶内部产生再结晶, 使结晶度增加。在这一再结晶过程中, 本来由完善晶

体及其外围不完善结晶所组成的较大晶粒变成完善结晶更多、尺寸较小的结晶。从而形成BCF变形后结晶度增加、晶粒尺寸减小的现象。

4.2 BCF变形后结晶取向的特点

在等规聚丙烯中， α 、 β 晶体占绝大多数，且聚丙烯分子链平行于 α 、 β 晶体的C轴。为此，我们选择 α 、 β 晶体晶轴C的取向作为BCF纱的结晶取向，并用 $\cos^2\phi_{c,z}$ 的均方根平均值 $\langle\cos^2\phi_{c,z}\rangle$ 来表示晶体中分子对Z轴的取向程度。由于(0,0,l)晶面对X射线反射较弱，一般用其它晶面较强的衍射来间接计算，根据有关研究^[8]，得到：

$$\langle\cos^2\phi_{c,z}\rangle = 1 - 1.099\langle\cos^2\phi_{110,z}\rangle - 0.901\langle\cos^2\phi_{040,z}\rangle$$

式中

$$\langle\cos^2\phi_{hkl,z}\rangle = \frac{\int_0^{\pi/2} I(\phi)\sin\phi\cos^2\phi d\phi}{\int_0^{\pi/2} I(\phi)\sin\phi d\phi}$$

$I(\phi)$ ——扫描而得的X衍射强度；

ϕ ——扫描角度。

分别扫描丙纶 14° 、 16.8° 两晶峰（即110、040两晶面）的反射，并对扫描曲线进行计算^[8]，结果见表2。

表2 BCF变形前后丙纶结晶取向变化情况

取样情况	$\langle\cos^2\phi_{110,z}\rangle$	$\langle\cos^2\phi_{040,z}\rangle$	$\langle\cos^2\phi_{c,z}\rangle$
变形前	0.432600	0.453883	0.115642
变形后	0.539045	0.505112	0

注：取样情况同表1。

从表2可看出，在进入BCF变形喷嘴前，丝由于受到热拉伸，其晶区取向较高。丝经变形管进入填塞管，在无张力状态下由较高温度冷却，从而丝的结晶取向迅速下降。

4.3 丙纶BCF的强伸性能

图4为丙纶在BCF变形加工前后的强伸曲线比较。从图中可以看出：变形后的BCF

在拉伸开始时有一曲线平坦区oa，其相对

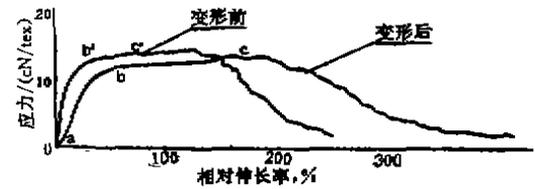


图4 丙纶在BCF变形前后拉伸曲线比较

a. 卷曲伸直点； b. 屈服点；
c. 最高强力点(断裂点)

试验条件：岛津AG-10A强力仪拉伸BCF及未经变形的丙纶丝，拉伸隔距50mm，拉伸速度100mm/min，丝的纤度为111.11 tex/80f。

伸长约在3%—4%，这是由于BCF卷曲被拉直的缘故。变形后BCF的初始模量较低，屈服点b处的伸长略大，强力略小，断裂应力与未变形丙纶丝相近，但变形后BCF的断裂伸长，断裂功较大。

5 结语

a. 在BCF变形加工时，具有较高温度的丙纶由于受到热气流的作用，丝温在7—8ms的时间内迅速上升至丙纶软化点左右，然后在约1.1s的时间内缓慢降温。在出变形喷嘴后，丝温急剧下降。由于丝在受热的同时，又受到气流等力的作用，使BCF的结晶度、结晶取向、晶粒尺寸以及强伸性能等有所变化。

b. 在BCF变形时，处于软化点左右的丝在气流力作用下，受到类似热拉伸的作用。然后又由于填塞而处于高温无张力状态之下，使丝的结晶度增加，结晶取向下降，晶粒尺寸变小。

c. 由于卷曲存在，以及内部结构的变化，使BCF强伸曲线在起始位置有3%—4%的卷曲伸长部分。与普通丙纶相比，BCF的初始模量、屈服点处强力较低，屈服点处伸长、断裂伸长较大，但断裂强力变化不大。在最高强力点后，曲线呈锯齿状。

d. 在BCF加工时，如热气流作用时

间、填塞时间较长,气流温度高,气流紊乱,即BCF变形作用越充分,则BCF结晶度增加、结晶取向下降、晶粒变小的程度也较大,成纱的卷曲较明显。而初始模量、屈服点强力降低较多,断裂伸长也增加较多。

参 考 文 献

- 1 Wang Shanyuan. *J. of East China Inst. of Text. Science and Technology*, 1984, (1), 35
- 2 Wang Shanyuan, et al. *J. of China Text. Univ.*, 1988, (1), 45
- 3 Gupta V B and Satishkumar. *J. Appl. Poly. Sci.*, 1981, 29, 1865
- 4 Alan, Chapman J. *Heat Transfer*. Macmillian Co. 1957
- 5 Egambaram T, et al. *Text. Res. J.*, 1974, 44, 823
- 6 《纺织译丛》, 1989, (3), 32
- 7 Hindeleh A M and Johnson D J. *Polymer*, 1974, (15), 697
- 8 Leroy E. Alexander. *X-ray Diffraction Methods in polymer Science*. Wiley-Interscience John Wiley & Sons Inc. 1959
- 9 祝伟中, 王善元等. 《中国纺织大学学报》, 1991, (4, 5): 42

THE HEATING PROCESS AND THE CHANGE OF PHYSICAL BEHAVIOUR OF PP BCF YARN DURING HOT-AIR TEXTURING

Zhu Weizhong and Wang Shanyuan

(China Textile University, Shanghai)

ABSTRACT

The heat transfer during the hot-air texturing of pp BCF yarn was analysed. The theoretic calculation for the yarn temperature in the texturing tube shows that the surface and core temperatures of the yarn in the tube change with power law approximately. The highest temperature of the yarn in the tube is higher than the soft. pt. of the yarn and lower than the melting point. Additionally, the change of physical behaviour of PP after BCF texturing is also investigated.

Key Words, PP BCF yarn; hot-air texturing; heat transfer; physical behaviour of PP

· 国外消息 ·

聚酯酯系高弹性丝

日本《纤维工业杂志(纺织界)》1990年2月号报道,帝人公司开发了非聚氨酯系高弹性丝,比一般叫斯潘德克斯的聚氨酯系高弹性丝氨纶的耐热性和耐碱性好。在纺丝和加工技术等方面有30项专利在申请中,期待着与涤纶一起使用。从1990年2月开始试生产游泳衣和滑雪衣,10月份商品化生产。

新型高弹性丝商品名叫“莱克柴”,由聚酯酯系高分子构成。断面呈特殊的梅钵状,其强度与以往的氨纶丝大致相同,但在130℃时的耐热强度保

持率为85%(斯潘德克斯为60%),耐碱强度保持率为92%(斯潘德克斯为35%),这两项指标都很高。断裂伸长率600%以上。

与涤纶混用,因为在120—130℃下能够染色,所以出现了涤纶进入运动衣等市场的可能性。由于耐氯耐碱性好,游泳衣等不易掉色,强度高。

生产由松山事业所负责,现有产品4.4tex,将来生产2.2—34tex的全系列产品。从加工技术上可与涤纶等一起使用,做成织物出售。价格与以往的斯潘德克斯同等程度,计划两年后将月产25t莱克柴丝,5—6年后扩大到月产100t,而成为大型材料。

(本刊通讯员 王勉诚供稿)