

# 柱塞挤出机的应用和发展

李建立 刘继红 王伟明

(北京化工大学塑料机械及塑料工程研究所,北京 100029)

**摘要** 回顾柱塞挤出机的发展历史,介绍非连续式柱塞推压机、连续式柱塞推压机和柱塞冲压式挤出机的发展现状、结构特点和应用,指出柱塞挤出机经历着一个由非连续成型到连续成型的发展过程,今后将朝着高速高产方向继续发展。

**关键词** 柱塞推压机 柱塞冲压式挤出机 应用 发展

挤出成型是借助螺杆或柱塞的挤压作用,使受热熔化的物料强行通过型孔或模头而成为具有特定截面的连续制品的一种加工方法。柱塞挤出成型主要用于要求加工压力高或不宜采用螺杆挤出的工艺中。传统的液压式柱塞挤出机因其柱塞运动速度慢、频率低,物料完全是借助柱塞的强大推压力而前进的,故被称为柱塞推压机。早期的单柱塞推压机的加工过程是非连续的,近年来出现了一些连续式柱塞推压机,它们采用双柱塞或将螺杆、柱塞并用以尽量削弱加料的断续性对挤出过程的影响。新近出现了一种机械式柱塞挤出机,其显著特征是柱塞运动频率很高,物料主要被源源不断加入的新物料推向前进,因其主要利用了冲压原理,所以被称为柱塞冲压式挤出机。

## 1 非连续式柱塞推压机

### 1.1 发展历史

1795年J. Bramah发明了世界上第一台柱塞挤出机<sup>[1]</sup>,它是一个手动的柱塞和机头组件,用于连续制造铅管。此后的几十年间这种挤出机主要用于生产铅管和加工面条。继1845年英国人R. Broom-an申请用挤出法生产古塔波胶电线的专利之后<sup>[2]</sup>,挤出法开始越来越多地用于生产绝缘电线和电缆。早期用于电缆工业的挤出机不论是手动、机械还是液压的,全都为柱塞式,并且挤出机的主要加工对象是古塔波胶和橡胶。1870年,柱塞挤出机用于湿法挤出赛璐珞<sup>[3]</sup>,开始用于塑料加工。19世纪末,用柱塞挤出机间断性地挤出英法间埋在英吉利海峡的海底电缆<sup>[4]</sup>,这是这种设备真正用于塑料的挤出成型加工,在此之前只是利用柱塞的推压力挤出物料,不涉及物料的塑化,塑化是在挤出前独立进行的。在1935年第一台采用电热圈加热的现代螺杆挤出机出现之前<sup>[2,4]</sup>,无论在实验研究中还是在工业生产中柱塞挤出机和螺杆挤出机都是并存的。现代螺

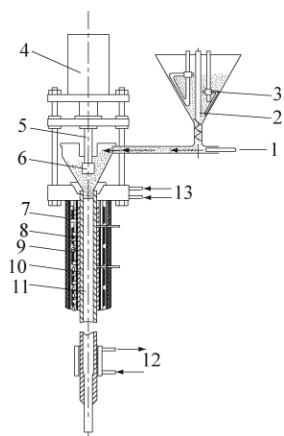
杆挤出机出现之后表现出对塑料加工的良好适应性,使得资历比它老的柱塞挤出机几乎被淘汰。但随着科学技术的不断发展,材料的品种越来越多,出现了许多螺杆挤出机无法加工的原料,特别是当聚四氟乙烯(PTFE)和超高分子量聚乙烯(UHMWPE)出现之后,柱塞挤出机又受到了人们的重视。近年来柱塞挤出机主要是伴随着PTFE和UHMWPE的成型加工而迅速发展起来的。

### 1.2 发展现状

柱塞推压机有卧式和立式两种。卧式柱塞推压机的优点是操作、运输、安装方便,但它主要用于加工棒材或实心制品,若加工中空制品,则因模具芯棒不易固定而使得加工精度难以保证。立式柱塞推压机的最大特点是占地面积小、操作简便、柱塞和模具的对中性好且不易偏移,生产出的制品精度高。其缺点是需要将设备安置在相当于二三层楼的高度位置上才能生产出较长的制品<sup>[5,6]</sup>。

图1所示为一种立式柱塞推压机的结构图<sup>[7]</sup>。它由加料、烧结和冷却三部分组成,主要用于制造薄壁管、小直径棒材、包覆电线及由棒材轧辊成料带等。其加工原理是将粉料加入料室,然后由柱塞施加高压将粉料压实并输送到烧结装置,在烧结装置物料被加热到熔点以上,熔融后成为一体,继而进入冷却系统进行冷却定型。成型压力靠物料与机筒之间的摩擦力和机头阻力来保证。柱塞与机筒之间有0.15~0.30 mm的径向间隙<sup>[8]</sup>,在压缩物料时气体可通过这个间隙经由料室排出。

Philips Scientific公司制造了三种规格的卧式柱塞推压机<sup>[5,6]</sup>,年生产能力分别为10、25 t和70 t。该公司最新设计的柱塞推压机上配有一套往复液压油缸系统,可使模芯与物料一起向前浮动,降低了由



1—压缩空气; 2—加料螺杆; 3—搅拌器; 4—油缸; 5—柱塞杆;  
6—柱塞头; 7—绝热层; 8—加热器; 9—加热器支承管;  
10—模管; 11—口模; 12—冷却水; 13—热电偶

图1 立式柱塞推压机结构图

于活塞反复冲击而作用在物料上的剪切力和摩擦力。该设备可用来生产薄壁管材。

1984 年北京助剂二厂从德国 P. M 公司引进卧式柱塞推压机, 它由液压传动系统、机筒、柱塞、口模、加热器、冷却平台、切割机及微处理器等部分组成<sup>[5,6]</sup>。其加热器设在口模上, 分四段, 只需更换口模即可生产不同的制品。柱塞每 10 s 往复运动一次。物料在机筒中冷压成型后, 前移至口模内加热。口模尾端有水冷却系统, 制品冷却定型后被牵引辊引至冷却平台, 切割机按需要的规格尺寸进行切割。该设备可生产 30 ~ 200 mm 的 UHMWPE 棒材及截面为 50 mm × 1 mm、50 mm × 4 mm 的板材。

德国 WK 公司有 15 年的柱塞挤出机制造历史, 所生产的柱塞挤出机和糊浆挤出机已越来越完善。该公司的立式柱塞推压机主要用于生产 PTFE 管材或棒材, 型号有 FRE75、FRE100、FRE150、FRE320 等多种, 管材和棒材规格为 4 ~ 320 mm, 管材壁厚可薄至 5 mm。据称该系列挤出机也可用于加工 UHMWPE。2003 年以来, WK 公司通过与奥地利 KMS 公司联合, 不仅可以提供生产塑料棒材、管材、型材的柱塞推压挤出机及糊浆挤出机, 而且还可提供生产 PTFE 线缆涂料的整条加工线<sup>[5,6]</sup>。

在我国, PTFE 的柱塞推压挤出工艺首先由上海化工厂于 1974 年研究成功, 并制造了用于生产较大口径 PTFE 长管的柱塞推压机。辽宁阜新红旗塑料机械厂在 1993 年研制出“FSTJ-100 型氟塑料推压机”, 在此基础上, 该厂又于 1999 年前后开发出用于 UHMWPE 挤出成型的 STJ 系列柱塞推压机。青岛远东工程塑料有限公司和中国轻工总会塑料应用研

究所也在参照国外技术的基础上研制出 ZSTJ 系列大口径薄壁 UHMWPE 管材连续挤出成型机组, 采用了“型坯的正位移移动成型”原理<sup>[5,9,10]</sup>。

### 1.3 结构特点和加工能力

以 STJ 系列柱塞推压机为例说明其结构特点和加工能力。

STJ 系列柱塞推压机<sup>[5,10]</sup> 主要由内芯液压缸、柱塞液压缸、电磁振动加料器、模具、液压站和控制柜组成。其设计特点如下:

(1) 立式结构及四重运动 整机采用立式结构, 以克服卧式加工设备存在的喂料不均、不能生产薄壁管材及大口径管材与棒材的弊端。采用柱塞上行、喂料、上下移动型芯等四重运动, 增加了物料的流动性及充模的可靠性, 降低了挤出阻力。

(2) 特殊设计的模具结构 模具是柱塞推压机的主要组成部分之一, 是保证制品质量的关键所在。该机采用特殊设计的模具结构, 以使模具在整个加工过程中隔离空气, 避免物料的高温氧化和降解。另外, 管材模具无分流梭, 芯棒无支承架, 这使物料挤出阻力大为减小, 不产生熔接痕。

(3) 特殊设计的加热与冷却系统 在加料段设置必要的冷却装置, 以保证所加粉料不结团, 有足够的流动性, 能顺利进入模具型腔。由于柱塞推压过程中产生的剪切热和摩擦热很少, 远不能满足物料熔融所需的热量, 为此该机设置了四段外加热及两段内加热, 以提供物料熔融所需的热量。同时该机在制品出口部位设置了冷却装置, 以保证制品得到充分冷却和定型。

STJ 系列柱塞推压机可加工最大直径 500 mm、壁厚最薄仅 3 mm 的大口径 UHMWPE 管材, 其主要技术性能指标、管材的生产效率和管材质量均已达到国际先进水平。表 1 列出了 STJ 系列立式柱塞推压机和德国 WK 公司的同类产品 (FRE 系列) 的技术参数<sup>[5,10]</sup>。

用 STJ 系列柱塞推压机生产 UHMWPE 管材时, 在同样挤出线速度情况下, 因管材壁厚不同, 实际挤出量也不同。表 2 给出了在挤出线速度为 5 m/h 时的实际挤出量<sup>[5,10]</sup> (UHMWPE 的密度按 0.94 g/cm<sup>3</sup> 计算)。

### 1.4 其它应用

除用于塑料塑化挤出之外, 柱塞推压机从发明至今还有一些特殊用途, 例如挤出一些金属、陶瓷、石墨、蜡、带耐熔涂层的电焊条等制品。另外, 许多

表 1 立式柱塞推压机的主要技术参数

| 项 目                     | 型号                  |                     |                     |         |
|-------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------|
|                         | STJ-100/<br>FRE-100 | STJ-130/<br>FRE-150 | STJ-300/<br>FRE-320 | STJ-400 |
| 最大压制力/kN                | 100/100             | 100/100             | 300/300             | 500     |
| 液压电机功率/kW               | 11/11               | 11/11               | 22/22               | 37      |
| 加热功率/kW                 | 12/12               | 12/12               | 15/18               | 18      |
| 冷却方式                    | 水                   | 水                   | 水                   | 水       |
| 冷却介质温度/℃ ≤              | 15                  | 15                  | 15                  | 15      |
| 管材直径/mm ≤               | 100/100             | 130/150             | 320/320             | 400     |
| 管材壁厚/mm                 | 3 ~25 / ≥5          |                     |                     |         |
| 挤出线速度/m·h <sup>-1</sup> | 2.5 ~5/8            |                     |                     |         |

表 2 不同规格管材的实际挤出量

| 项 目                      | 外径 ×壁厚/mm <sup>2</sup> |         |          |          |
|--------------------------|------------------------|---------|----------|----------|
|                          | 146 ×4.5               | 89 ×6.5 | 108 ×6.5 | 320 ×8.0 |
| 实际挤出量/kg·h <sup>-1</sup> | 9.4                    | 8.0     | 9.7      | 36.8     |

现代的注塑机也仍采用柱塞推压机构作为注射部件。在这些应用中,柱塞推压机因柱塞正向位移产生的均一稳定的高压和整个过程中很小的剪切、摩擦效应而充分发挥了它独有的优点。柱塞推压机的几种常见用途如下:

(1) 固态挤出 固态挤出<sup>[11]</sup>是使聚合物在低于熔点的条件下被挤出模头,这需要很高的压力,而柱塞的正向位移能产生非常高的压力,因而能满足使用要求。固态挤出一般使用单柱塞推压机。挤出时模头内的聚合物发生巨大形变,使分子严重取向,取向效果远大于熔融加工,因此可使性能大大提高。固态挤出有直接固态挤出和静液压挤出两种。前者是将预成型的实心圆棒放入机筒,柱塞直接接触固体物料,推动物料从口模挤出。后者挤出的压力由柱塞经润滑液传递至料锭。料锭形状必须与模口相配合,以防止润滑液漏失。

(2) 造粒 粉体造粒技术<sup>[12]</sup>是粉体处理过程的最主要分支。随着环保需求和生产过程自动化程度的提高,粉状产品粒状化已成为世界粉体后处理技术的必然趋势。挤压法是目前我国粉体工业中压力成型法造粒的主要方法。挤压法造粒设备根据工作原理和结构可分为真空压杆造粒机、单(双)螺杆挤压造粒机、模型冲压机、柱塞推压机、辊筒挤压机、对辊齿轮造粒机等。对于要求特殊形状(如环状、三叶草形、多孔状等)颗粒的粉体造粒,一般采用柱塞推压机来实现。目前我国对于造粒的柱塞推压机的研究日趋完善,柱塞直径在 50 ~250 mm 范围内可选,颗粒直径在 2 ~20 mm 范围内可选,可实现的颗粒形状超过 20 种。

(3) 湿法挤出 柱塞推压机有一个无法替代的保留用途,就是用于硝酸纤维素等的“湿法”挤出<sup>[2]</sup>。硝酸纤维素易着火,过热时有危险,其加工过程必须在湿态、相当低的温度、最小的压缩作用和摩擦效应情况下进行。因此,自硝酸纤维素第一次被挤出以来,总是以含溶剂的料团或胶状形式进行加工。摩擦效应是普通螺杆挤出机的特性,对硝酸纤维素是危险的,即使对已成为溶剂软化状混合料的硝酸纤维素来讲也是如此。虽然可以使用转速很低的类似低压泵的螺杆挤出机进行硝酸纤维素的“湿法”挤出,但效果仍没有柱塞推压机好。

2 连续式柱塞推压机

2.1 早期双柱塞推压机

1980 年日本池贝铁公司公布的新式双柱塞推压机使用两个柱塞进行往复运动,减少了加工时间,还克服了热降解,使挤出的棒材更加密实。1993 年 Werner & Pfleiderer 公司推出的双油缸/双柱塞推压机可将 UHMWPE 和 PTFE 加工成不同壁厚的制品<sup>[13]</sup>。

图 2 所示为一种双柱塞推压机<sup>[7]</sup>的结构示意图。图 3 是该机往复阀<sup>[7]</sup>控制物料通道的示意图。

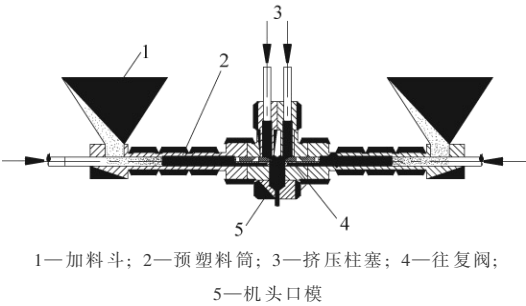


图 2 一种双柱塞推压机结构示意图

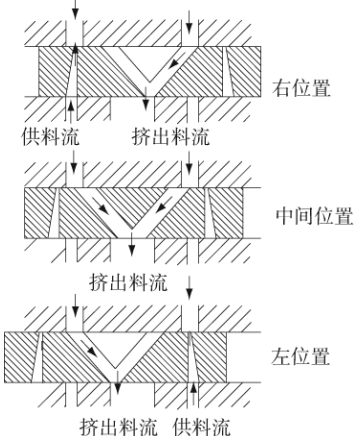


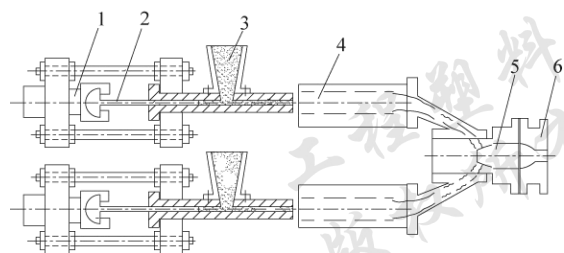
图 3 往复阀控制物料通道示意图

由图 3 可以看出,该机具有左右两个加料系统

和塑化系统。在左右塑化柱塞的作用下, 物料在左右预塑筒中进行塑化并被交替地送到左右推压室中, 然后由左右柱塞高压交替地将熔融料从机头口模中连续地挤出成型。向左右推压室送料和推压时, 物料的通道是通过往复阀来控制的。当右柱塞挤出时往复阀向右移, 堵住了向右推压室送料的通道, 把左右推压室隔开, 但打开了向左推压室送料的通道, 如图 3 中“右位置”所示。当左柱塞挤出时往复阀向左移, 物料的通路如图 3 中“左位置”所示。柱塞的高压推力是由高压往复柱塞泵提供的。

## 2.2 新型双柱塞推压机

我所推出的双柱塞推压机设计方案原理如图 4 所示<sup>[14]</sup>。该设备由大型压力机、加料部、加热部、缓冲部及相位差滞后装置等组成。其加热部采用特殊的薄板结构, 可以实现快速加热。缓冲部是该技术的核心, 其作用主要是减小对口模供料的波动幅度, 增加供料的连续性。



1—油缸; 2—推杆; 3—料斗; 4—加热部;  
5—缓冲部; 6—法兰盘

图 4 新型双柱塞推压机原理图

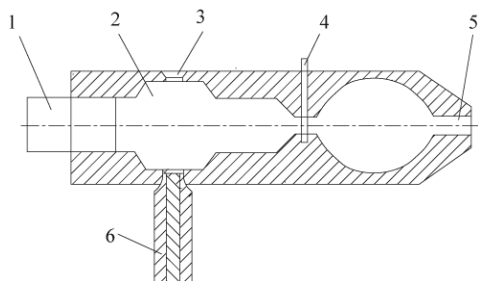
## 2.3 螺杆/柱塞复合式挤出机

该设备综合了螺杆挤出效率高、柱塞挤出无剪切作用且不受树脂分子量高低限制等优点, 能以较高的速度加工任意分子量的 UHMWPE 制品。其原理是利用螺杆挤出机对原料加热快、塑化均匀的优点把 UHMWPE 原料初步加热塑化, 并送到一个临时储料仓, 然后由柱塞把 UHMWPE 料挤入模具成型。其原理如图 5 所示<sup>[14]</sup>。

上述三种连续式柱塞推压机中, 第一种即早期双柱塞推压机提高连续性的方法是通过加倍提高供料频率来实现的; 后两种虽供料方式不同, 实则都是利用缓冲原理来提高挤出连续性的。后两种推压机的效果会更好些, 相位差滞后装置或特殊的进料开关和缓冲部一起减小了对口模供料的脉动, 从而最大限度减少了脉动和竹节现象的产生。

## 3 柱塞冲压式挤出机

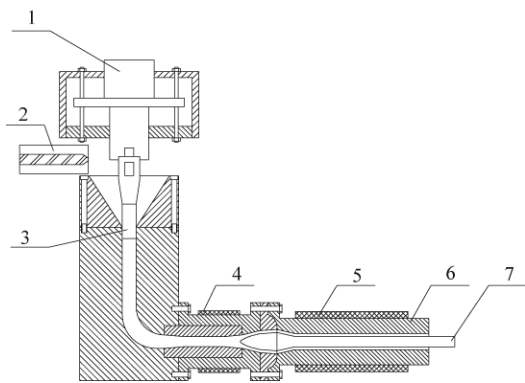
我所在 2001 年推出了柱塞式过氧化物交联聚



1—柱塞; 2—储料仓; 3—进料口; 4—开关;  
5—挤出头; 6—螺杆

图 5 螺杆/柱塞复合式挤出机原理图

乙烯 (PE-X) 管材生产线。该生产线所用主机和上述各种柱塞推压机一样, 柱塞的运动也靠液压传动来实现, 生产效率较低。在此基础上, 我所于 2003 年推出了 RAM-200 型曲柄冲压式 PE-X 管材生产线。该生产线也可用于加工 UHMWPE 和 PTFE 管材, 只需对成型模具作些改动即可。主机结构如图 6 所示。其工作原理是利用曲柄连杆机构带动柱塞做高频冲压运动, 每次柱塞下行冲压时将一小部分粉料压入机筒, 由于柱塞冲压频率很高, 每分钟超过 200 次, 使得物料在机筒内的运动接近连续, 加之 PE-X、UHMWPE、PTFE 等聚合物熔融后具有很高的粘弹性, 便实现了管材的连续挤出成型。该生产线柱塞的行程较小, 物料的输送是靠后加入的物料推着往前移动的。



1—电机; 2—螺旋喂料装置; 3—柱塞; 4—预热区;  
5—加热区; 6—筒体; 7—芯棒

图 6 柱塞冲压式挤出机原理图

用柱塞冲压式挤出机生产 PE-X 管材时, 管材直接在挤出机内完成交联反应, 离开口模时为透明状态, 已具有相当强度, 无需真空定径和蒸煮交联过程。产量大于 30 kg/h, 生产 20 mm × 1.0 mm 的交联管材时线速度可达 2 m/min。

用柱塞推压机加工 UHMWPE 及 PTFE 制品时, 由于在挤出过程中原料与加热部件接触面积小, 所

以加热效率低,这不仅限制了挤出的速度,还使得制品易出现“夹生”现象。而 RAM-200 型柱塞冲压式挤出机的柱塞截面积较小,机筒的直径也较小,所以聚合物的熔融效果较好,且该设备采用的螺旋喂料进一步增加了挤出过程的稳定性。柱塞冲压式挤出机结构简单,设备维护方便,生产的制品质量较均匀,产量较高,是一种应用前景广阔的新式塑料加工机械。

#### 4 结语

柱塞挤出成型是塑料挤出成型的一个重要分支,除可用于加工 PTFE、UHMWPE 等不宜用螺杆挤出机加工的树脂外,还在一些特殊场合发挥着不可替代的作用。柱塞挤出机从发明至今,无论在结构、性能上还是在工作原理上都有了很大进步,目前正向高速化发展,其一是采用一模多腔;其二是提高挤出速度。如采用机械装置实现柱塞的往复运动,将大大提高柱塞的频率,进而提高挤出速度,是一种全新的设计思路。

#### 参考文献

1 Z. 塔莫尔, I. 克莱因. 塑化挤出工程原理. 北京:轻工业出版社,

1984.

2 Fisher E G. 塑料挤出. 北京:轻工业出版社, 1989.

3 李祖德. 塑料加工技术应用手册. 北京:中国物资出版社, 1997.

4 钱知勉. 塑料成型加工手册. 上海:上海科学技术文献出版社, 1995.

5 吴大鸣,任冬云,王伟明. 特种塑料管材. 北京:中国轻工业出版社, 2000.

6 刘广建. 超高分子量聚乙烯. 北京:化学工业出版社, 2001.

7 北京化工学院, 华南工学院. 塑料机械设计. 北京:轻工业出版社, 1983.

8 石安富,龚云表. 工程塑料——性能·成型·应用. 上海:上海科学技术出版社, 1995.

9 张禹飞,许德华,刘中文. 加工 UHMWPE 的柱塞式挤出机. 工程塑料应用, 1999, 27(11): 26

10 刘中文,张禹飞,刘英俊,等. 超高分子量聚乙烯管材加工技术与应用进展. 中国塑料, 1999, 13(8): 1

11 赵素合. 聚合物加工工程. 北京:中国轻工业出版社, 2001.

12 李建平. 我国粉体造粒技术与设备现状. 中国化工报, 2002-08-21(6)

13 尹岩青,刘法谦,陈桂兰,等. 超高分子量聚乙烯的加工技术. 现代塑料加工应用, 2002, 14(5): 34

14 刘广建,魏晓峰. 双柱塞超高分子量聚乙烯特殊挤出成型工艺研究. 塑料, 2003, 32(6): 55

## APPLICATION AND DEVELOPMENT OF RAM EXTRUDER

Li Jianli, Liu Jihong, Wang Weiming

(Institute of Plastics Machinery and Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

**ABSTRACT** The developing history of ram extruder is reviewed. The up-to-date developments, characteristics, and applications of discontinuous ram extruder, continuous ram extruders and punching plunger extruder are introduced. It is pointed out that the molding method of ram extruder is developing from a discontinuous method to a continuous one, and the ram extruder will continuously go ahead in the direction of high velocity and high output.

**KEYWORDS** ram extruder, punching plunger extruder, application, development

### GE 推广新型热塑性复合材料

由 GE 先进材料公司生产的新型 Rail-Lite 复合材料,是具有良好耐热和阻燃、低排烟密度、低压成型的热塑性复合材料,正在被推荐用于客车内部大型结构面板。GE 宣称,目前他们正与 1 家中国公司合作,这种材料将在中国得到推广。该新型复合材料是采用 GE 的 Utem 聚醚酰亚胺 (PEI) 或 PEI/聚碳酸酯 (PC) 与 42% ~55% 玻璃纤维共混而成,是玻璃纤维毡增强热塑性材料的分支,可用来制造窗遮阳板、天花板、椅背、扶手、托盘、收藏箱和行李架。如采用配套设备,该材料在 0.28 ~0.42 MPa 压力下就可成型,成型期间可对部件夹持和使用夹具,从而节省二次加工成本。(中塑)

### 德制出人造肌肉用新塑料

德国研究人员最近成功开发出一种可用于人造肌肉的新型塑料。这种塑料中添加了肉桂酸,将塑料折叠成某种特别的形状,然后将其暴露于 260 nm 波长的紫外光下,肉桂酸

分子可形成交叉连接,使塑料变成另一种形状。当用波长短于 260 nm 的紫外光照射塑料时,交叉连接断裂,重新变成最初的结构,使塑料恢复原状。

研究人员表示,这是第一种只对光照敏感的变形塑料。以往具有记忆能力的塑料要对温度敏感,因而限制了对它们的可控性。(孙天月)

### 美开发大型热成型部件用新型 TPO

美国 Transmit 技术集团公司最近推出一种能着色、无填充材料的热塑性聚烯烃 (TPO),应用目标是大型热成型部件。这种新材料熔体流动速率为 1 ~3 g/10 min,相对密度小(0.91 g/cm<sup>3</sup>),具有极好的抗冲击性能。表面光泽可调,弯曲强度为 630 ~1260 MPa,使用前不需干燥,成本低于加成核剂的 TPO。试验还表明,该材料在 170℃ 下的耐熔垂性优于一般 TPO,适于热成型加工,可用于汽车座位、大型容器和电器外壳。(毅佳)