

螺杆组合对阻燃 HIPS 产品性能及能耗影响的研究

俞长庚, 赵宗华

(天华化工机械及自动化研究设计院有限公司, 甘肃 兰州 730060)

摘要: 采用不同长径比的双螺杆挤出机制备 HIPS 阻燃料, 对阻燃 HIPS 的阻燃性能进行了比较, 通过测量挤出机的功率来计算其能耗并测试了试样的抗拉强度。结果表明, 在一定的长径比范围内, 大长径比耗能相对最低, 能够节省大量能源, 有利于工业化生产。

关键词: HIPS; 长径比; 能耗; 螺杆组合

中图分类号: TQ320.66

文献标识码: B

文章编号: 1009-797X(2024)07-0051-05

DOI: 10.13520/j.cnki.rpte.2024.07.012

高抗冲聚苯乙烯 (HIPS) 是聚苯乙烯 (PS) 的改性品种, 通常含有 5%~15% 的丁苯或顺丁橡胶, 它改善了通用聚苯乙烯 (PS) 冲击强度低、低温强度差的缺点, 具有良好的尺寸稳定性、电绝缘性和刚性, 且加工性能优良。目前工业级别的阻燃 HIPS 可用于制造电气元件, 例如计算机壳体、电视机壳体、小型电气构件、冰箱门及衬里, 同时在家具、建筑等行业中也有着广泛的应用^[1]。

纯 HIPS 很容易燃烧, 同时产生带有毒性的黑烟^[2]。越来越广泛的应用领域要求其具有良好的阻燃性能, 而且达到阻燃效果的同时不会大幅度影响基材的物理机械性能, 否则将失去使用的价值。随着科技进步和生活质量的提高, 人们的安全意识越来越强, HIPS 在居民住宅、家电、管道等方面有广泛的应用, 这使得树脂的阻燃特性显得尤为重要。而大多数的阻燃填充剂需要与 HIPS 熔融共混形成合金以增强其阻燃性, 于是一种必要的加工手段——共混挤出被广泛的应用于这一材料的加工。

啮合同向双螺杆挤出机具有输送效率高、分散混合能力强、自洁性能好、较窄的停留时间分布、较长的停留时间和良好的适应性等优点, 广泛应用于不同塑料之间、塑料与橡胶之间的共混改性, 各种添加剂与塑料共混、玻璃纤维、碳纤维增强塑料等等, 是聚合物改性连续混合设备的首选。

共混法生产阻燃 HIPS 是比较通用的加工方法,

而且简单易行。本次实验在操作工艺条件基本一致、实验物料相同的情况下, 研究了不同长径比下, 采用啮合同向双螺杆挤出机, 在对阻燃 HIPS 物料进行实验时, 挤出机能耗及相应挤出试样抗拉强度的影响, 进而能找出不同挤出机长径比与能耗之间的关系及影响, 对工业化生产具有一定的指导意义。

1 实验部分

1.1 实验材料

HIPS 阻燃料: 市售。

1.2 实验设备

啮合同向旋转双螺杆挤出机: SHJ-38 (长径比可调), 天华化工机械及自动化研究设计院有限公司; 熔融流动速率仪: 深圳新三思材料检测有限公司; 3286-20 功率表: 日本 HIOKI; 冲击实验机: RESIL25, 意大利 CEAST 公司。

1.2.1 主要技术参数

主要技术参数见表 1。

表 1 SHJ-38 型双螺杆挤出机组主要参数

| 螺杆直径 /mm | 长径比 | 加热区段 /个 | 最高转速 / (r·min ⁻¹) | 主电机功率 /kW | 生产能力 / (kg·h ⁻¹) |
|----------|-------|---------|-------------------------------|-----------|------------------------------|
| 38 | 36/44 | 8/10 | 600 | 37 | 20~120 |

作者简介: 俞长庚 (1984-), 男, 本科, 高级工程师, 主要从事双螺杆挤出机设备及工艺研究工作。

收稿日期: 2023-09-20

1.2.2 性能测试与表征

在每次的挤出稳定过程中测量挤出机组的实际消耗功率。单产能好由式(1)进行计算。

$$\text{单产能耗} = \Sigma P_i / Q \quad (1)$$

式中：

P_i — 每次测得的总功率(包括主电机、加热器等)，

kW；

Q — 进料量，kg/h。

2 结果与讨论

2.1 螺杆和筒体设计

啮合同向双螺杆挤出机最显著的特点是螺杆和筒体都采用“积木式”设计。螺杆由套装在芯轴上的若干螺纹元件组成，螺纹元件按不同功能又分为输送元件、捏合块、齿形混合盘、挡环等；筒体也是由不同筒体段(全封闭、带排气口、带加料口)组成。

根据特定的物料、配方和将要制备混合物性能的要求，通过科学组合，将不同类型、不同数目的螺纹

元件和筒体元件按一定顺序组合起来，进而高效地完成特定的混合任务。通过改变螺纹元件和筒体元件的组合顺序，实现对不同物料、配方的最佳使用效果，达到一机多用、一机多能的目的。

此外，螺纹元件和筒体“积木式”设计的另一优点是可以局部更换磨损的螺纹元件和筒体元件，避免了整个螺杆或筒体的报废，大大降低了维修成本和维修时间。

模块化设计的筒体，可以通过法兰或拉杆连接，通常小型机(螺杆直径30 mm及以下)采用拉杆连接。筒体通常嵌入高耐磨合金衬套(如双金属衬套)以提高筒体内表面的耐磨性能。为实现精确的温度控制，每个机筒上都设有单独的加热/冷却结构，从而实现冷却与加热功能的最佳组合。

根据不同的长径比，本次实验排列了两种螺杆组合，依次编号为1#、2#，如图1、图2所示。同时，表2列出了1#、2#螺杆组合下各个功能区段螺纹元件规格及螺杆的总长度。

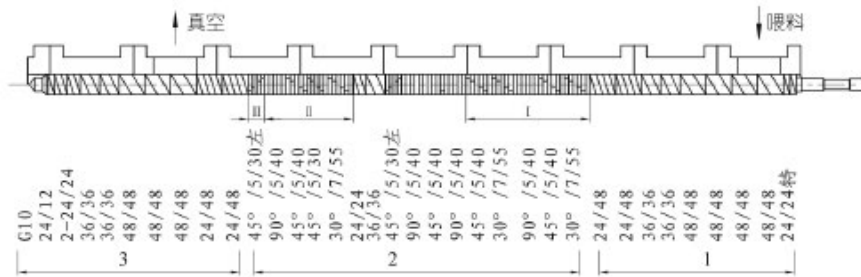


图1 L/D=36 螺杆组合

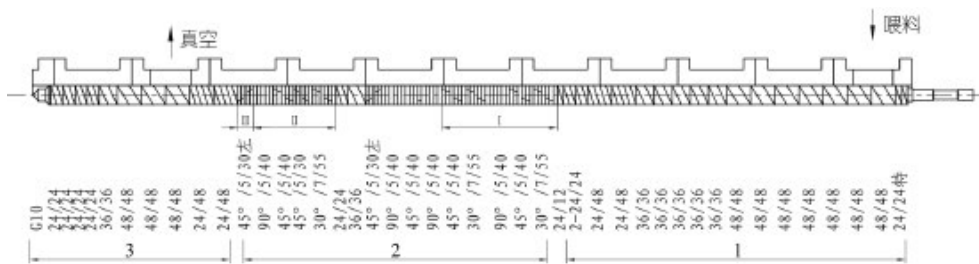


图2 L/D=44 螺杆组合

HIPS 由于加入 SBS 等弹性体进行抗冲击改性，分子内部已经接枝、交联共聚反应后极大的增强了分子结构，并且要加入进行共混改性的阻燃剂是含有四氟的粉末状，相较于纯 PS 加工难度增加。因此我们设计的组合排列中有大段的捏合块进行剪切混合，以使阻燃剂能够与 HIPS 充分混合。近年来的研究表明，在双螺杆挤出过程中聚合物体系的混合主要发生在熔

融阶段，而不是熔融结束后的熔体输送区^[3-4]。所以在设计螺杆组合时在熔融阶段增加了剪切元件，以提高共混物的混合效果。

两种组合的区别在于 44 长径比多了两段输送单元。这意味着物料将经过更长时间的熔融输送(1段)后再进入塑化段进行混合塑化(2段)。

从组合图中可以看到，预混合后的 HIPS 采用“饥

表 2 1#、2# 螺杆组合区段螺纹元件及螺杆总长度表

| 编号 | 螺杆组合 | | | | 螺杆总长度/mm |
|----|---|---|---|--|----------|
| | 加料段 | 塑化段 | 混合段 | 挤出段 | |
| 1# | 24/24 特, 3-48/48, 2-36/36, 2-24/48 | 30°/7/55, 45°/5/40, 90°/5/40, 30°/7/55, 45°/5/40, 90°/5/40, 45°/5/40, 90°/5/40, 45°/5/30 左, 36/36, 24/24 | 30°/7/55, 45°/5/30, 45°/5/40, 90°/5/40, 45°/5/30 左 | 2-24/48, 3-48/48, 2-36/36, 2-24/24, 24/12 | 1 391 |
| | | 24/241) 特, 7-48/48, 5-36/36, 2-24/48, 2-24/24, 24/12 | 30°/7/55 ^[2] , 45°/5/40, 90°/5/40, 30°/7/55, 45°/5/40, 90°/5/40, 45°/5/40, 90°/5/40, 45°/5/30 左, 36/36, 24/24 | 30°/7/55, 45°/5/30, 45°/5/40, 90°/5/40, 45°/5/30 左 | |
| 2# | | | | | 1 703 |

注：(1) 24/24 表示导程为 24 mm、长度为 24 mm 的输送螺纹元件；(2) 30°/7/55 表示相邻两个盘齿间的错列角为 30°、盘片数为 7、总厚度为 55 mm 的捏合元件，其他 螺杆构型的标识类似。

俄式”喂料（即螺纹槽半充满状态）方式进入螺杆后，经由输送 - 剪切熔融 - 混合 - 输送挤出的过程完成改性。

组合图 1、图 2 中的第 1 段为预热输送段，均由螺纹元件组成，螺纹元件螺距由宽变窄。起始的大螺距、深螺槽有助于吃料，经过一段的输送熔融，再由螺距变窄的螺纹逐渐填充紧密以方便下一阶段的混合。

组合图 1、图 2 中的第 2 段为啮合段，由啮合元件组成，其中有一小节螺纹元件组成的输送过渡区。图视中的 I 段在啮合段区域中为分散段，它将对阻燃剂进行分散并将其和受热熔融的 HIPS 进行初步的混

合。II 是分布段，它对 I 段输送过来的初步混合料进行进一步的粒子级的分布，使阻燃剂充分、均匀的分布于 HIPS 熔体中，并保证阻燃剂不发生团聚。III 段是反向捏合块，他的作用是将物料送返进行再剪切并短暂堆积物料形成压力以排除气体。

组合图 1、图 2 中的第 3 段为排料输送段。将混合好的物料经大导程螺纹输送后由小导程螺纹堆积压实，从而造成压力将物料挤出筒体。

2.2 实验部分

2.2.1 物理性能

实验的实际操作参数如表 3 所示。

表 3 挤出机操作参数

| 项目 | 温度 | | | | | | | | | | 螺杆转速/(kg·h ⁻¹) | 喂料量/(kg·h ⁻¹) |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|----------------------------|---------------------------|
| | 1 区 | 2 区 | 3 区 | 4 区 | 5 区 | 6 区 | 7 区 | 8 区 | 9 区 | 10 区 | | |
| A | 175 | 175 | 175 | 175 | 180 | 180 | 195 | 195 | 190 | 190 | 200 | 12 |
| B | 175 | 175 | 175 | 175 | 180 | 180 | 195 | 195 | 190 | 190 | 200 | 23 |

长径比 36 和 44 的螺杆组合分别对应 A、B 两种加工条件。A、B 两种加工温度是基于 HIPS 的熔融软化温度做出的。由于此物料的难加工性，螺杆转速太低，两根螺杆的捏合盘间缺乏足够的剪切会影响到物料的熔融混合；转速过高，捏合盘间又会因过度剪切

产生大量的剪切热，从而影响到物料的物理结构，因此，我们选择了比较适中的转速条件。

表 4 显示了几种样品的燃烧表象和熔体指数数据，并且附上了熔体指数趋势图，可以直观的看到熔指走势。

表 4 产品性能表

| | 原料 | 44 | 44 (加过滤) | 36 | 36 (加过滤) |
|----------------------------------|-----------|-------|----------|-------|-----------------|
| 发烟 | 大量黑烟漂浮物 | 大量黑烟 | 大量黑烟漂浮物 | 大量黑烟 | 大量黑烟 |
| 燃烧 | 燃着不熄，明亮火焰 | 离火即灭 | 离火后非立即熄灭 | 离火即灭 | 离火即灭（不如非过滤熄灭及时） |
| 熔体指数/[g·(10 min) ⁻¹] | | 1.935 | 2.192 | 1.650 | 1.849 |
| 冲击强度/(kJ·m ⁻²) | | 12 | | 9 | |

下图 3 中,1、2、3、4 分别代表 $L/D=36$ 、 $L/D=36$ (加滤网)、 $L/D=44$ 和 $L/D=44$ (加滤网) 四种样品。由图可以看出,样品的熔体指数伴随着长径比的增大而增大,最大达到 17% 的增幅。造成这种情况主要原因是:随着长径比的增大,物料在筒体中预热软化的时间加长,使得 HIPS 中的 PS 均聚物、PS 和丁二烯的接枝共聚物^[5]的分子链在得到足够的能量后充分解链疏松,残留的两相形态粒子(PS 基体、橡胶分散相)^[6]受热活动剧烈,导致整个 HIPS 分子集团内部活动加大,分子链相互作用减少,对外呈现流动性增强,从而使熔融指数增加。

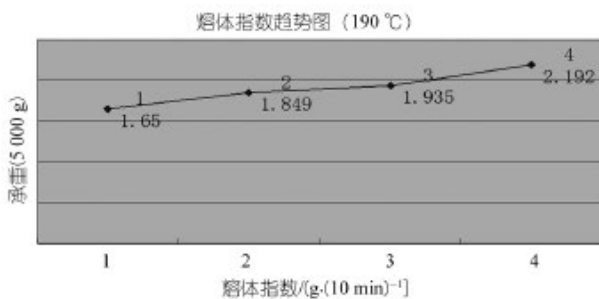


图 3 熔体指数图

同时我们观察到加了滤网(50~300目)的样品熔

指要优于没加滤网的样品。滤网的主要作用是:

- (1) 过滤掉物料中的杂质,以免堵塞模孔。
- (2) 在机头聚集压力,调节机筒内充满度。
- (3) 打碎经剪切混合形成的大分子基团和可能的团聚物料,在出料前进一步对物料进行分散。但由于其只能进行宏观的分散打碎,因此其分散提升效果相对增加长径比的方式较低,增幅只有 12%~13%。

由于 HIPS 的阻燃机理由阻燃剂对 PS 分子进行接枝或分子包裹以达到阻燃的目的,滤网在阻燃剂混入 HIPS 后对混成品又进行分散,使得阻燃剂的包覆性变差,从而使成品的自熄性变差,而改变长径比是在剪切混合前就进行了分子活化,所以对其阻燃性能影响不大。

而抗冲性由于添加了非韧性的阻然剂而造成下降是不可避免的,其降低的幅度控制在我们的要求之内,符合其后续加工的条件。

2.2.2 电能损耗

我们分别对 36 和 44 长径比加工条件下的耗能情况进行了监测和记录。表 5 中列举了操作条件和所得测量数据。相应的温度和转速、喂料等参数详见表 3。

表 5 能耗及单产功耗

| 项目 | 长径比 | 操作参数 | 产量/(kW·h·kg ⁻¹) | 滤网 | 小时能耗/kW·h | 电机功率/kW | 单产功耗/(kW·h·kg ⁻¹) |
|----|-----|------|-----------------------------|----|-----------|---------|-------------------------------|
| 1 | 44 | B | 46 | 有 | 18~20 | ~18.4 | 0.39~0.43 |
| 2 | 36 | B | 46 | 无 | 22~24 | ~22 | 0.47~0.52 |
| 3 | 36 | A | 24 | 有 | 13.7~15 | ~11.9 | 0.57~0.62 |

由上表我们可以看到,单产功耗与长径比的关系:在都加有滤网和相同的主机转速下,长径比为 44 的情况下的单产功耗较长径比为 36 的情况降低约 31%。这主要是因为:要达到材料要求的分散度,所需要的捏合元件的数量基本一定,而选用大长径比时可以待树脂材料经过充分的预热压缩形成熔池后再经过捏合元件组成的混合区,螺杆承受的扭力较小,所消耗的电能耗也较 36 长径比的机型少。

对比 44 长径比机型和 36 长径比机型可以发现:在都加有滤网的情况下 36 长径比机型在产量为 44 长径比机型 52% 时其主电机的实时功率却为 44 长径比的 64%,在主电机功率相同的情况下选用 44 长径比的机型可以获得更高的产量。

一般的经验认为双螺杆长径比越大其单产功耗会越高,通过本次试验之所以取得了相反的结果,我们认为主要是因为本次试验针对的改性材料在加工时需要非常大的剪切力,短的长径比机型在材料到达捏合

区之前没有充分的预热与压缩没有完全形成熔池,聚合物的熔融要经剪切元件将主电机的机械能转变成热能,而这种能量之间的转换效率较低。但是可以预见的是,如果再增大设备的长径比进行试验,单产功耗的减少会出现拐点,即在超过一定的长径比(该种材料改性的最佳长径比)后能耗又会出现增大的趋势。

因此,我们可以看到像 HIPS 这样的高强度材料在其承受范围内,大的长径比能够给它足够的空间来软化预热,方便剪切块剪切熔融,从而节省大量能源,这对于工业生产有着积极的意义。

3 结论

(1) 大长径比双螺杆(螺纹元件增多)挤出机能够显著改善 HIPS 料的流动性能。其阻燃性能不会受到大的影响。

(2) 机头添加滤网虽然可以改善物料流动性能,但由于滤网使得阻燃剂的包覆性变差,从而使成品的

自熄性变差,对物料自熄性能产生了一定的影响。

(3) 在不超过一定的长径比(该种材料改性的最佳长径比)的情况下,大长径比耗能相对最低,能够节省大量能源,有利于工业化生产。

参考文献:

[1] 桑永,吴昌龙,等.阻燃 HIPS 材料的研制,合成树脂及塑料,2001,18(6):21.
 [2] 李响,徐晓楠,等.高抗冲聚苯乙烯的阻燃研究,塑料,

2004,33:6.
 [3] U Sundararaj, C W Macosko. Morphology development in polymer blends [J]. Polym Eng Sci, 1992 ,32 :1814.
 [4] U Sundararaj, Y Dogri, C W Macosko. Sheet formation in immiscible polymer blends: Model experiments on initial blend morphology [J]. Polymer, 1995, 36: 1957.
 [5] 姚臻,李伯耿,等.高抗冲聚苯乙烯的合成机理与结构、性能,化工生产与技术,1997:3.
 [6] 刘瑾江,张芬玉,等.高抗冲聚苯乙烯的形态及性能,塑料工业,1993:5.

Study on the influence of screw combination on flame retardant performance and energy consumption of HIPS products

Yu Changgeng, Zhao Zonghua

(Tianhua Institute of Chemical Machinery & Automation Co. LTD., Lanzhou 730060, Gansu, China)

Abstract: HIPS flame retardant fuel was prepared using twin-screw extrusion mechanisms with different length to diameter ratios, and the flame retardant performance of HIPS was compared. The energy consumption of HIPS was calculated by measuring the power of the extruder and the tensile strength of the sample was tested. The results indicate that within a certain range of aspect ratios, high aspect ratios have the lowest energy consumption and can save a lot of energy, which is beneficial for industrial production.

Key words: HIPS; length to diameter ratio; energy consumption; screw combination

(R-03)

普利司通官方旗舰店正式登陆京东平台, 打造全新购物体验

Bridgestone's official flagship store has officially landed on JD platform, creating a new shopping experience

2024年6月12日,普利司通携手中国知名电商平台京东,正式上线普利司通官方旗舰店,打造“正品选购、配送安装、售后服务”等一站式电商直供模式,为消费者带来更便捷放心的全新购物体验。

普利司通官方旗舰店上线后,将为消费者提供丰富的轮胎产品选择,覆盖多种车型需求。消费者可以根据自身车型、行驶习惯等个性化因素,快速选购与车辆适配的轮胎产品,轻松完成购物流程。该普利司通官方旗舰店产品均为厂家直供,确保正品货源。消费者还可以实时关注促销活动,享受到更多的优惠和福利。此外,普利司通的专业团队将提供售后服务支持,消费者可以选择通过京东物流直接邮寄到家,也可选择前往附近的普利司通一站式汽车养护中心——车之翼门店或是京东养车授权安装店进行安装服务,确保消费者能够获得满意的购物体验。

普利司通(中国)投资有限公司销售总监王心华表示:“我们非常荣幸能与京东携手合作,共同为本土消费者带来更好的电商平台购物体验。秉持‘以用户为中心’的服务理念,普利司通官方旗舰店此次入驻京东平台,是普利司通强化渠道建设以满足消费者日益多样化购胎需求的又一重大举措,这也是我们今年的业务重点之一。我们相信,通过与京东的深度合作,借助其强大的平台资源,普利司通能够为广大消费者提供更高端、更优质、更贴心的产品和服务。”

普利司通深耕中国市场多年,看好不断增长的中国高端乘用车市场。未来,普利司通将秉持“以卓越品质贡献社会”的企业使命,重点发展在乘用车轮胎领域的优势和竞争力,与更多的电商平台合作,实现资源整合及优势互补,从而为消费者提供品质和价格更优的产品和服务,持续为客户、合作伙伴、员工和社会创造价值。

编自“中国轮胎商务网”

(R-03)