

熔融挤压快速成型系统的喷头结构分析

刘 斌 吴明星 谢 毅

(华南理工大学聚合物成型加工工程教育部重点实验室, 聚合物新型成型装备国家工程研究中心, 广州 510640)

摘要 分别从进料装置、塑化装置、喷嘴和双喷头等方面对目前市场上熔融挤压快速成型系统的喷头结构进行详细剖析,找出它们的特点及存在的问题。通过对不同喷头结构进行研究和分析,不但可以改进和完善熔融挤压快速成型工艺,同时能推进该工艺的商业化与应用。

关键词 熔融挤压成型 喷头结构 喷嘴

熔融沉积成型是一种重要的快速成型方法。该工艺首先将材料(塑料丝料、粒料或粉料)通过加热或其它方式变成熔融或半熔融状态,然后通过喷嘴进行分层堆积成型。根据成型时材料的形态,熔融沉积成型一般可分为熔融喷射和熔融挤压两种成型方式^[1]。其中,熔融挤压快速成型是主要的形式,其特点在于原型件是由熔融材料通过喷嘴挤出逐层堆积而成的。在成型过程中,材料在喷头中被加热熔化,并通过喷嘴以一定压力挤出,喷头沿零件截面轮廓和填充轨迹运动时挤出熔融材料,从而成型一层,然后工作台下落一层厚度,再进行下一层的堆积,直至原型件堆积完成^[2]。目前,熔融挤压快速成型的喷头结构主要有柱塞式和螺杆式两种^[3]。

喷头是实现熔融沉积成型的关键部件,也是实现堆积成型的核心^[4],根据需要可采用单喷头和双喷头。熔融挤压快速成型系统的喷头结构一般包括驱动装置、控制装置、进料装置、塑化装置和喷嘴等部件。驱动装置主要为成型提供动力源,为原料的添加和熔料的挤出提供驱动力,从而保证熔料能顺利地由喷嘴挤出;控制装置则控制物料的加入速度,并控制加热温度,保证熔料定时定量定温地从喷嘴口挤出;进料装置保证丝状或颗粒状物料能顺利加入料筒;塑化装置保证物料均匀塑化;喷嘴是物料熔体流经的最后通道,物料熔体经喷嘴后在工作台上成型原型件。

熔融挤压快速成型系统各种喷头结构的驱动装置和控制装置一般类似,其不同之处主要体现在进料装置、塑化装置和喷嘴等方面。笔者重点从这几方面对各类熔融挤压快速成型系统的喷头结构进行分析。

1 单喷头

1.1 进料装置

用于熔融挤压快速成型的原料一般为丝料或粒

料,根据原料形态不同采用的进料装置也不尽相同。

(1) 丝料的进料方式

当原料为丝料时,进料装置的基本方式是利用由两个或多个电机驱动的摩擦轮或皮带提供驱动力,将丝料送入塑化装置熔化。

美国 Stratasys 公司开发的熔丝沉积成型进料装置结构如图 1 所示^[5]。该进料装置结构简单,丝料在两个驱动轮的摩擦推动作用向前运动,其中一个驱动轮由电机驱动。由于两驱动轮间距一定,这就对丝料的直径非常敏感。若丝料直径大,则夹紧驱动力就大;反之,驱动力就小,并可能引起不能进料的现象。

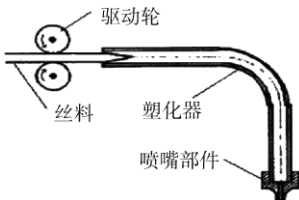
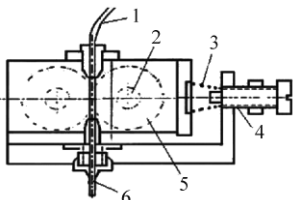


图 1 美国 Stratasys 公司开发的熔丝沉积成型进料装置

颜永年等^[5]开发的弹簧挤压摩擦轮送料装置如图 2 所示。该装置采用可调直流电机来驱动摩擦轮,并通过压力弹簧将丝料压紧在两个摩擦轮之间。两摩擦轮是活动结构,其间距可调,压紧力可通过螺母调节,这就解决了图 1 喷头结构中进料装置的缺



1—丝料; 2—可调直流电机; 3—压力弹簧;
4—螺母; 5—摩擦轮; 6—丝料出口

图 2 弹簧挤压摩擦轮送料装置

点。该进料装置的优点是结构简单、轻巧, 可实现连续稳定地进料, 可靠性高。进料速度由电机控制, 并利用电机的启停来实现进料的启停。但由于两摩擦轮与丝料之间的接触面积有限, 使其产生的摩擦驱动力有限, 从而使得进料速度不快。

一般可以采用增加辊的数目或增加与物料的接触面积和摩擦的方法来提高摩擦驱动力。图 3 为一款多辊进料的喷头结构^[6]。该喷头采用多辊共同摩擦驱动的进料方式, 其特点在于由主驱动电机带动 3 个主动辊和 3 个从动辊来共同驱动。3 个主动辊由皮带或链条连接, 并由主驱动电机来驱动。在弹簧的推力作用下, 依靠压板将从动辊压向主动辊, 靠主动辊和从动辊与丝料的摩擦作用将丝料送入塑化装置。

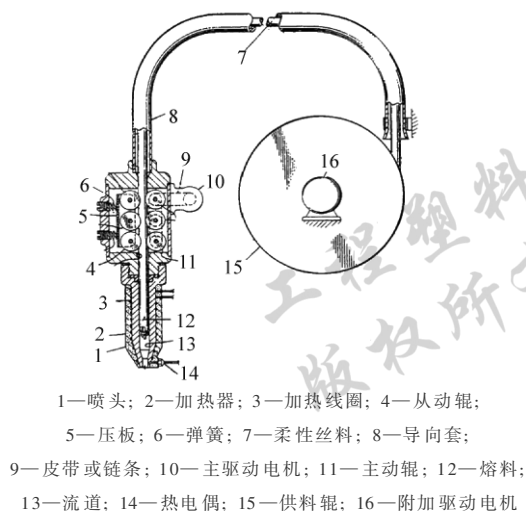


图3 多辊进料的喷头结构

美国 Stratasys 公司开发的带有锥型螺杆的喷头结构如图 4 所示^[7], 其进料装置由齿形带、滑轮、压力盘和驱动电机等部件构成。由于齿形带的存在使摩擦驱动力增大, 从而有利于丝料的进料。

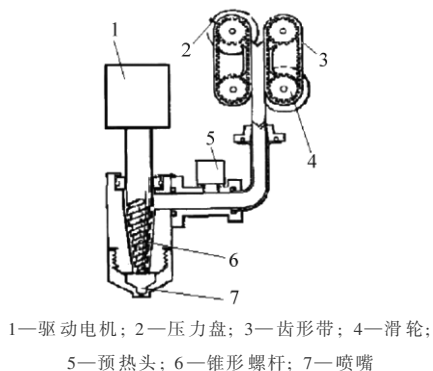


图4 带有锥型螺杆的喷头结构

刘光富等^[7]开发的基于丝料的螺旋挤压喷头

结构如图 5 所示。其进料装置与图 4 相似, 也是通过两辊轮驱动丝料的进料。辊轮之间的距离可以通过另一个辊轮的径向移动来调整, 从而确保丝料被两个辊轮夹紧, 不会打滑; 两辊轮表面装有橡胶套, 这有助于增加辊轮表面与丝料之间的摩擦系数, 从而增加辊轮对丝料的推动力。

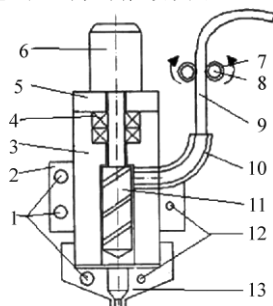


图5 基于丝料的螺旋挤压喷头结构

图 3 和图 5 喷头结构中的丝料与辊的接触面积不如图 4 所示结构的大, 所以驱动力不如后者大。上述进料装置解决了图 2 结构中摩擦轮驱动力小的问题, 也有助于进料系统的稳定。但结构较复杂, 同时增加了喷头的质量和耦合控制的复杂性, 喷头的制造成本也变高。

刘光富^[3]还开发了一电二驱的螺旋挤压喷头结构, 如图 6 所示。该结构采用步进电机驱动螺杆, 同时又通过同步齿形带传动机构驱动送料辊, 从而将丝料送入螺旋挤压喷头。其进料装置可用一对辊轮或一辊轮组来摩擦驱动丝料前行。

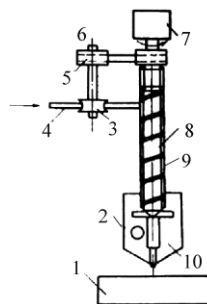
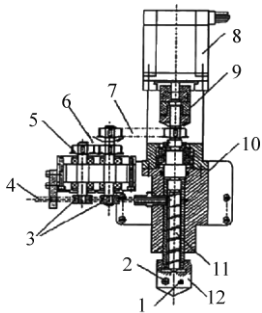


图6 一电二驱的螺旋挤压喷头结构

王运赣^[6]开发的进料装置就是采用辊轮组的形式, 其结构如图 7 所示。步进电机通过联轴器驱动螺杆, 同时又通过两个齿形皮带传动驱动主动送料辊。在弹簧的作用下从动送料辊压向主动送料辊, 从而夹紧丝料, 并将其送入成型头。采用同一步

进电机驱动送丝机构和螺杆,既避免了在喷头安装两套动力装置,同时也解决了喷头质量太大和耦合控制的复杂性问题。



1—热电偶; 2—下电热棒; 3—主动送料辊; 4—丝料;
5、7—齿形皮带传动; 6—送丝机构; 8—步进电机;
9—联轴节; 10—成型头; 11—螺杆; 12—铜质喷嘴

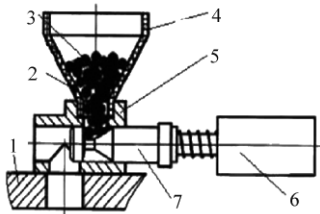
图7 蜗轮组驱动丝料的螺旋挤压喷头结构

(2) 粒料的进料方式

粒料作为熔融沉积成型工艺的原料有较宽的选择范围,并且由于粒料为原料购进形态,不经过拉丝和各种加工过程,有助于保持原料特性,也大大降低了材料的制备成本和贮藏成本,并省去了丝盘防潮防湿、丝盘转运(发送和回收)、送丝管道、送丝机构等一系列装置。但粒料使进料装置变得复杂,并且由于其塑化的难度较大,也给塑化装置提出了较高的要求。

工业上应用的螺杆挤出机一般采用料斗装置,靠粒料的自重加料,但这种方式对于熔融沉积快速成型机来说是不合适的。由于螺杆小型化后进料的不连续现象将更加严重,因此需要用新的方式来实现连续稳定的加料^[8]。

王天明等^[4]开发的推杆加料机构如图8所示。该机构由电磁铁、推杆和转换接头等主要部件组成,靠推杆凹槽在料斗和连接料筒之间的往复连通作用,从而实现粒料的加料。

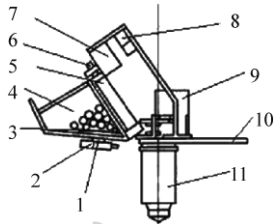


1—连接板; 2—料位检测传感器; 3—粒料; 4—料斗;
5—转换接头; 6—电磁铁; 7—推杆

图8 推杆加料机构

颜永年等^[9]开发的动态跟踪颗粒加料系统结构如图9所示。其工作原理是:加入料斗的粒料在

活化器作用下从静止状态转变为有微小振幅的振跳状态而活化。活化状态的粒料易于产生径向位移,柱塞推杆的推动作用可很好地保证活化的粒料到达要求的位置。粒料易相互推送而形成“架桥”现象,使后续物料不能进入,破拱针就可以插入物料内部消除“架桥”现象。由于活塞和螺杆的双重作用,可以提高物料从喷嘴挤出的速度,从而提高堆积成型的效率。



1—弹性垫; 2—活化器; 3—破拱针; 4—料斗; 5—活塞套;
6—活塞; 7—柱塞传动副; 8—送料电机; 9—喷头电机;
10—连接板; 11—喷头

图9 动态跟踪颗粒加料系统结构

1.2 塑化装置

丝料或粒料的塑化是熔融挤压快速成型工艺的一个重要环节,塑化装置的好坏直接影响熔体挤出的速度和成型件的质量。目前,塑化装置的不同主要体现在加热方式上。

对于柱塞式的喷头结构,一般采用单独外加热方式,即在料筒的外面用加热棒或加热圈实现物料的塑化,如图3所示的喷头结构。颜永年等^[5]开发的喷头结构也采用这种加热方式,其结构如图10所示。丝料从塑化器入口进入,经加热圈加热塑化后经喷嘴挤出。加热圈使料筒外侧受热较均匀,可使物料达到较好的塑化效果,从而使成型过程稳定。但这种加热方式不利于熔料的均匀混合。

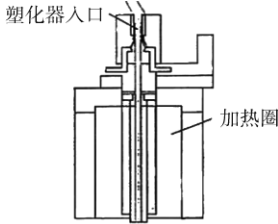
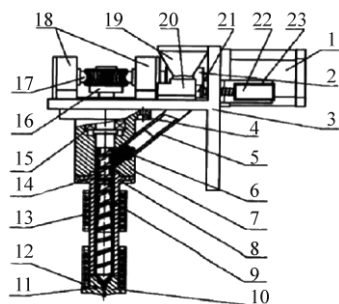


图10 外加热塑化装置

对于螺杆式的喷头结构,除了有外加热方式外,螺杆的转动也能起到混合和剪切塑化的作用。如图4所示的喷头结构,物料经预热头预热后变为熔融态,在未熔融丝料所充当的柱塞作用下被压入料筒,然后经过锥型螺杆的螺旋挤压和外加热元件的加热作用,在较大的挤压作用下从喷嘴挤出。其特点是

加热过程由预加热和料筒加热组成,这就能保证物料的充分塑化。锥型螺杆可以提供较大的挤压作用力,从而保证熔料能顺利地通过较小孔径的喷嘴口。但锥型螺杆对物料的剪切作用较小,只用来挤压输送熔料。图5所示喷头的塑化过程与图4相类似。即丝料在材料通道内先预热成熔融状态,在后面物料的推动下被推进料筒,并在外加热和螺杆的作用下进一步塑化。但与图4所示的结构相比,其预热元件已简化,加热机构也简单。螺杆采用三段式,这样能提供较大的剪切力,有助于物料的塑化,并对熔料有较大的挤压力。但采用加热棒的加热方式易造成料筒受热不均,从而使熔料粘度不尽相同,挤出的料流存在流量波动。若要保证成型过程中所有物料都熔融,则可能出现部分物料受高温分解的情况。

图11为王天明等^[4]开发的基于热塑性粒料的螺杆式喷头结构。其塑化原理是从加料装置加入的粒料经连接料筒自动滑入螺杆送料段的螺槽内,在螺杆的作用下沿螺槽向下运动,在螺杆挤压段内压缩并向下输送,在上加热圈和下加热圈的作用下逐渐变为熔融状态,经过螺杆计量段的充分混合搅拌作用,最后被从喷嘴口挤出。与图5的喷头结构相比,该喷头螺杆的设计形式类似,但省去了预加热部分,并用加热圈代替了加热棒作为外加热元件。这种塑化装置不但结构比较简单,而且用加热圈有利于料筒温度的均匀控制,可使物料达到较好的塑化效果,从而使成型过程稳定,成型件性能均一。



1—控制电机; 2—联轴器; 3—连接板; 4—内六角螺钉;
5—连接料筒; 6—物料; 7—上料筒; 8—下料筒;
9—加料段温度传感器; 10—喷嘴; 11—计量段温度传感器;
12—下加热圈; 13—上加热圈; 14—挤压螺杆; 15—轴承;
16—蜗轮; 17—蜗杆; 18—蜗杆支座; 19—料斗;
20—转换接头; 21—推杆; 22—电磁铁; 23—连接支架

图11 基于热塑性粒料的螺杆式喷头结构

1.3 喷嘴结构

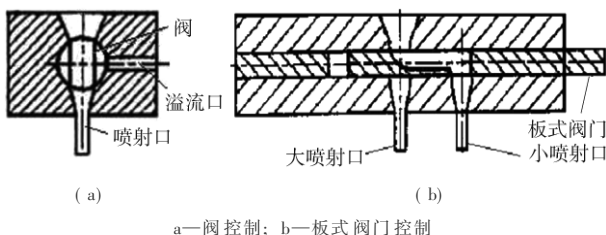
喷嘴是熔料通过的最后通道,使已完全熔融塑化的物料挤出成型,因此,喷嘴设计如结构形式、喷

嘴孔径大小及制造精度等都将影响熔料的挤出压力,将直接关系到能否顺利挤料、挤料速度的大小,以及是否产生“流涎”现象等。

一般采用直通式喷嘴结构。熔料流经这种喷嘴时压力和热量的损失较小,而且不易产生滞料和分解。由于物料受到的挤压力主要来自摩擦辊的摩擦驱动力或螺杆转动产生的挤压推力,若经过喷嘴的阻力过大,将会产生不出料的现象。

对于螺杆式喷头,由于螺杆的作用使挤压力较大,因此可以挤出粘度较大的熔料,并且在挤出过程中可通过螺杆的反转带动物料后退,这样,即使用直通式喷嘴也不会产生“流涎”现象;但对于柱塞式喷头,由于挤压力较小,要求挤出的熔料粘度较小,这样就会出现“流涎”现象。

颜永年等^[5]开发的溢料式喷嘴结构如图12所示。该结构采用了一种新的喷嘴设计方法,即喷嘴采用独立控制阀门的开关动作实现出料的启停,增加稳压溢流阀及溢流通道。在成型过程需要喷料时,喷射阀打开,溢流阀关闭,熔料从喷射阀出口挤出,形成物料路径进行成型。当出料需短时停歇时,喷射阀关闭,溢流阀打开,进料装置继续稳速进行送料,而熔料则从溢流通道流出,且其阻力与喷嘴完全相同,从而保证了喷头内熔料压力恒定。其中,图12a是用阀结构来实现熔料喷射和溢流的转换,而图12b是用板式阀门的推动来实现大喷射口和小喷射口的转换。



a—阀控制; b—板式阀门控制

图12 溢料式喷嘴结构

喷嘴孔的大小一般与出料的速度直接相关。喷嘴孔直径小,压力损失大,这样出料速度就小,成型效率就低。另外,成型件的质量也与喷嘴孔的大小有关。孔径小,挤出料的直径就小,成型件的表面质量就好。

2 双喷头

熔融沉积快速成型工艺决定了它在成型过程中有时需要添加支撑。支撑可以用同一种材料建造,此时只需要一个喷头,即在成型过程中通过控制系统控制喷头的运行速度,使支撑部分变得较为疏松,

从而达到便于剥离和加快成型速度的目的。但由于模型材料和支撑料都是同一种材料,颜色相同,即使密度不同也难以辨认而难于剥离;另外在对支撑料进行剥离时,容易对成型件造成损伤且浪费成型料。

若采用双喷头结构,则可以解决上述问题。成型时,可选取两种不同特性的材料,用两个喷头单独加热和挤出,一个用来挤出模型材料成型零件,另一个用来挤出支撑材料。每个喷头的设计仍按照单喷头来设计。对成型后的三维原型件可以采用物理或化学的方法去除支撑。若选取水溶性材料作支撑,非水溶性材料作模型,则成型完成后可直接将原型件放入水溶液中使支撑材料溶解,可得最终的原型件;若选取低熔点材料作支撑,高熔点材料作模型,成型后加热到支撑材料的熔点温度,可使支撑材料熔化去除,得到最终的原型件^[10]。

对于双喷头结构,成型时若两个喷嘴在同一水平面上,则在喷料时两个喷嘴可能会相互干扰,非工作喷嘴会在涂覆层上留下刮痕等,从而影响原型件的质量。若在双喷头设计时,设计一杠杆机构以实现工作喷嘴与非工作喷嘴之间自动升降转换,从而避免非工作喷嘴对成型面的干扰,可大大降低原型件后处理的复杂程度并提高其表面质量。

图13为笔者研究设计的一款螺杆式双喷头自动升降转换装置的示意图。其喷嘴与料筒的连接采用间隙配合,能实现相对滑动。若改变喷嘴工作状

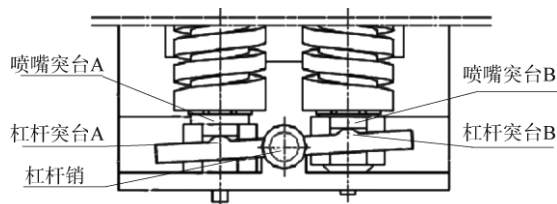


图13 自动升降转换装置的示意图

态时,可先将双喷头移动到特定地方进行喷嘴升降转换。工作喷头中的熔料在进入料筒后,在螺杆旋转推动作用下使熔料增压,从而使喷嘴向下滑动,同时非工作喷头的电机适当反转,将该喷嘴中的熔料回抽一部分以降低非工作喷头内熔料的压力。工作喷头的喷嘴通过杠杆的作用把非工作喷头的喷嘴提升一个较小的高度。

3 结语

通过对喷头结构的进料装置、塑化装置及喷嘴等成型部件的比较分析,找出了它们各自的特点及存在的问题。通过对现有熔融挤压快速成型系统喷头结构的分析,不但可以加深对熔融沉积快速成型工艺的理解,而且能推进和完善该工艺的商业化与应用,也为新的喷头机构的设计提供了一定的参考。

参考文献

- [1] 孔改荣. 熔融挤压堆积快速成型机的设计及理论研究[D]. 北京: 北京化工大学, 2002: 10-11.
- [2] 闫东升. 熔融挤压快速成形机喷头的设计[D]. 北京: 北京化工大学, 2003: 4-8.
- [3] 刘光富. 螺旋挤压台式快速成型机: 中国, 200410053509.9 [P]. 2005-03-02.
- [4] 王天明, 刁俊通, 金焯. 热塑性颗粒体材料的快速成形螺杆挤压喷头装置: 中国, 200410067145. X [P]. 2005-03-02.
- [5] 颜永年, 叶绍英, 吴良伟, 等. 快速成形系统的挤压喷头结构: 中国, 98219118.9 [P]. 1999-12-15.
- [6] 王运赣. 台式快速成形机: 中国, 03239035. X [P]. 2004-10-06.
- [7] 刘光富, 张曙, 王运赣. 快速成形系统的螺杆挤压喷头: 中国, 02216588.6 [P]. 2003-08-06.
- [8] 王天明, 刁俊通, 金焯. 颗粒体进料微型螺旋挤压堆积喷头的设计[J]. 机械工程学报, 2006, 42(9): 178-184.
- [9] 颜永年, 郭戈, 唐果林, 等. 小惯量动态螺旋挤压喷头: 中国, 03136073.4 [P]. 2004-12-08.
- [10] 郭永彪, 范桢, 董祥忠. 基于螺杆挤出塑化熔融沉积先进快速成型技术的探讨[J]. 中国高新技术企业, 2007(10): 61, 67.

ANALYSIS OF SPRAY HEAD STRUCTURE OF FUSED DEPOSITION MODELING FOR RAPID PROTOTYPING

Liu Bin, Wu Mingxing, Xie Yi

(National Engineering Research Center of Novel Equipment for Polymer Processing, The Key Laboratory of Polymer Processing Engineering of Ministry of Education, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

ABSTRACT The feeding mechanism, melting system, nozzle and double spray heads of the current spray head structure of fused deposition molding(FDM) for rapid prototyping are analyzed in detail to find the characteristics and existing limitations. Through the research and analysis of spray head structure of FDM, this technique can be improved and perfected, and the commercial production and application of this technique can be promoted.

KEYWORDS fused deposition modeling, spray head structure, nozzle

“2009 年中国工程塑料复合材料技术研讨会”交流论文正在征集
投稿邮箱: 5947355@sohu.com epa@epa1973.com