

塑料特种挤出装备研究现状和发展

江波 许澍华 李 翱

(北京化工大学机电工程学院,北京 100029)

摘要 结合特种挤出技术与装备的研究实践,对国内外特种挤出技术的研究现状和发展趋势进行了述评。重点介绍了最新研制成功的双螺杆挤出机、往复式销钉螺杆挤出机、串联式磨盘螺杆挤出机、微型高速低粘度单螺杆挤出机和熔体齿轮泵挤出机的结构特点和应用领域,并对今后研究方向提出了建议。

关键词 特种挤出技术 装备 研究

在我国塑料加工业中,几乎 $1/3 \sim 1/2$ 的塑料制品是通过挤出成型制得的。作为塑料机械的第二大类产品,挤出成型机组的产量和销售额占塑料机械的 20% ~25%。据统计,2000 年我国挤出机组产量为 7 784 台,其中,同向平行双螺杆挤出机 844 台、异向平行及锥形双螺杆挤出机 1 255 台;出口 1 625 台,创汇 0.15 亿美元,产品的总体技术水平相当于工业先进国家 20 世纪 80 年代的水平。当然也不乏一批具备 90 年代乃至当今国际领先水平的产品,但专用性强的新技术装备如特种挤出机组绝大部分还需依赖进口^[1]。

1 塑料特种挤出技术及装备

随着新型高分子材料和新型加工工艺的不断出现,传统的常规单螺杆挤出机已不能完全满足生产要求,于是特种单螺杆挤出机应运而生。经过多年的研究和生产实践,其结构和性能日趋完善,在高分子材料成型加工中发挥出愈来愈大的作用。目前较为成熟的特种挤出机有特种单螺杆挤出机和特种多螺杆挤出机。

1.1 特种单螺杆挤出机

1.1.1 单螺杆排气挤出机^[2]

单螺杆排气挤出机的应用范围为:(1)挤出吸湿性较强的物料(如尼龙、聚甲基丙烯酸甲酯等)和要求除湿较严格的制品;(2)对含一定水分、溶剂和单体的物料直接挤出造粒;(3)对添加各种助剂(如防老剂、增塑剂)的预混料挤出造粒;(4)对螺杆高速回转时易卷入空气的松散物料挤出造粒。这种挤出机的典型例子是北京化工大学研制成功的螺杆直径 12 mm、螺杆转速 1200 r/min、总机重 3.5 kg 的 12 mm 微型高速低粘度单螺杆挤出机^[3]。

单螺杆排气挤出机的研究方向,其一是在理论上主要着眼于排气机理的研究(气泡的形成、长大及破碎过程数学模型的描述和理论计算);其二是在结构设计方面注重于多阶排气挤出机和微型挤出机的开发研究。

1.1.2 串联式磨盘螺杆挤出机^[4]

串联式磨盘螺杆挤出机的主要特点是:(1)在加料段采用大直径螺杆,增强了螺杆的刚性和强度,适用于大功率、高扭矩挤出;(2)采用深槽、大直径螺杆加料,可大幅度增加产量;(3)采用多组磨盘反复研磨物料,其破碎、分散、剪切、混合、塑化性能卓越;(4)采用组合式结构,磨盘和螺杆元件的

形状及组合形式可以多种多样,适用范围广;(5)采用可调式磨盘间隙,适用于多种物料的加工。北京化工大学最新研制成功的 CPJ 75/135 串联式磨盘螺杆挤出机具有上述特点,它主要适用于橡胶、塑料及陶瓷等各类材料的连续混炼;制取其它螺杆挤出机无法加工的特种高分子合金材料和高填充的物料,例如软硬 PVC 混料;电子复写、传真用调色涂料;陶瓷、塑料和各种有机混料;磁钢、导电塑料、热熔涂料、高粘度工程塑料、电池的电极及粉末涂料等。

1.1.3 往复式销钉螺杆挤出机^[5]

往复式销钉螺杆挤出机即布斯连续混炼机(简称 Buss 机),是生产塑料粉料和涂料的理想设备,适用于工程塑料、电线电缆、软硬 PVC、热固性塑料、各种色母料的配混、造粒和成型。尤其在加工那些要求混炼质量高而又对剪切和加热较敏感的物料时,显示出“三低一高”(低压力、低剪切、低温升和高混炼质量)的优势。北京化工大学最新研制的 WXJ-45 往复式销钉螺杆挤出机就是其典型例子。

今后对往复式销钉螺杆挤出机的研究课题为:其一是对往复式销钉螺杆挤出机螺杆运动过程进行仿真研究;其二是对物料在往复式销钉螺杆挤出机内的流动进行数值模拟。

1.1.4 发泡挤出机

发泡挤出机用来挤出各种发泡片材、网材、管材、棒材等。

1.1.5 带熔体齿轮泵的挤出机^[6]

带熔体齿轮泵的挤出机的主要特点为:(1)挤出机螺杆末端阻力小,因而挤出货量、挤出温度低,不但可减小驱动功率和加热功率,而且能降低能耗,减少挤出机的磨损并增加推力轴承的寿命;(2)由于计量挤出由熔体齿轮泵完成,因而压力及挤出量波动小,挤出制品尺寸精度高;(3)挤出量可由熔体齿轮泵进行线性控制。例如,北京化工大学开发研制的 28 mm × 28 mm 熔体齿轮泵挤出机就是其中一例,主要用于纤维纺丝、树脂造粒,以及薄片、管材、异型材及电线电缆的精密挤出成型。

1.1.6 塑料电磁动态塑化挤出机^[7]

华南理工大学发明并研制成功的塑料电磁动态塑化挤

出机也是一种新型的特种单螺杆挤出机,已获得多国专利,目前已投入系列化生产。

1.2 多螺杆挤出机

顾名思义,多螺杆挤出机是指有两根以上螺杆的挤出机,例如双螺杆挤出机、三螺杆挤出机、四螺杆挤出机、行星螺杆挤出机。目前,应用最广泛、最有代表性的机型为同向双螺杆挤出机和异向旋转锥形双螺杆挤出机。

1.2.1 同向平行双螺杆挤出机^[8]

同向平行排气式双螺杆挤出机的应用领域为:(1)对含一定水分、溶剂和单体的物料直接进行清洗、凝固、挤压、脱水干燥和造粒;(2)对含各种添加剂的聚合物进行填充、共混、增强、排气、脱挥发分、均化和造粒;(3)对粉末涂料、色母料、催化剂、油漆、食品、纸浆等进行分散、混合;(4)对特种物料进行混合与成型。

北京化工大学等科研机构在双螺杆混炼技术与装备方面进行的主要研究工作是:在理论研究方面,(1)剖析双螺杆挤出机的四大技术难点,即啮合机理、混合性能、排气效果、挤出能力;(2)建立双螺杆流场分析的数学物理模型,求解物料在双螺杆挤出机内的速度场、压力场、粘度场、流线、温度场的分布;(3)对双螺杆几何造型和啮合状态进行仿真研究^[9];(4)运用系统工程原理对不同功能段螺纹元件进行特殊设计和优化组合;(5)进行排气机理的研究。在测试技术研究方面,采用激光散斑法测定推力轴承微变形量和压力分布状况,并用三维有限元法对主要受力元件进行力学计算,实现了我国双螺杆挤出机传动箱核心部件——串列式推力轴承组国产化。在结构机理研究方面,对机组的塑化系统、传动系统、机头、主推轴承组、快速更换滤网装置以及水环切粒装置等六个核心部件进行了研究,其中组合式推力轴承组、双圆柱螺杆挤出机的双对齿轮啮合传动装置、直角式带过滤筒的挤出机头及过滤网快换装置等多项技术分别获得了国家专利。在拓宽功能与应用领域的研究方面,(1)成功地实现了若干种对国防建设和经济建设有重要作用的特殊材料诸如火炸药、电炭、电极材料、氟塑料等的混炼和挤出成型;(2)实现了含 70% 重晶石粉、E/VAC 物料的宽幅(宽 1.4 m、厚 3 ~6 mm)板材的一步法挤出成型;(3)利用三级排气技术对含 70% 溶剂的粘合剂进行脱挥发分处理,使挤出物的溶剂含量小于 0.2%;(4)使高粘度的含 60% ~70% 无机填料的 LLDPE 阻燃料实现低温挤出;(5)采用 L/D 比为 48 的双螺杆挤出机对含 70% 淀粉的 PE 降解料进行挤出造粒;(6)用双螺杆挤出机实现了对环保型塑木复合材料托盘的一步法挤出成型。

1.2.2 异向旋转平行双螺杆挤出机

与单螺杆挤出机相比,异向双螺杆挤出机具有很多优点:(1)加料容易。由于双螺杆挤出机是靠正位移原理输送物料,因此可加入粘度很高或很低的物料,以及带状料、糊状料、粉料等;(2)物料在机中停留时间短,滞留时间分布窄;(3)优异的排气性能;(4)优异的混合、塑化效果;(5)比功耗

低。异向旋转平行双螺杆挤出机的应用领域为:螺杆直径大于 80 mm 的机种,主要用于大型塑料管材、型材、板材的挤出成型;螺杆直径在 30 mm 左右的机种,多用于实验室等场合。

1.2.3 异向旋转锥形双螺杆挤出机

高效双锥形挤出机是目前锥形双螺杆挤出机的最新机型,其挤出产量较同规格普通机型高出 1 倍甚至 1 倍以上。其主要特点为:螺杆大端与小端直径之比大于 2,螺槽深度沿螺杆全长渐变,螺杆长度比双锥形挤出机的长一些。这样使物料在加料段置于外加热作用下的时间延长,能充分地吸收热量,加快升温,促进塑化。目前螺杆直径为 55 ~ 80 mm 的异向双螺杆挤出机多采用锥形双螺杆机,主要用于 PVC 类异型材、管材、板材的挤出成型。北京化工大学已成功地将锥形双螺杆挤出机用于炸药、电炭、电极材料等的挤出成型,并研制了 80 mm/156 mm 炭素材料锥形双螺杆挤出机^[10]。

2 特种挤出成型装备发展趋势

2.1 高速、高产化

长期以来,作为挤出成型装备主要性能指标的“高速、高产”一直是挤出成型机发展的主要方向,高的产出与价格比不仅是企业家最为关心的,而且也是科技工作者梦寐以求的目标。以 90 mm 单螺杆挤出机为例,从 1961 年的产量 90 kg/h 发展到 1995 年的 600 kg/h,34 年间产量提高了 5.7 倍。WP 公司 1995 年生产的 ZSK MC 型同向平行双螺杆挤出机到 2001 年发展为 ZSK MV 型,6 年间螺杆转速从 600 r/min 提高到 1800 r/min,产量相应提高了 2.5 倍。

挤出机的“高速、高产”固然可使投资者以较低的投入获得较大的产出和高额的回报,但从技术角度看,随着挤出机螺杆转速的高速化也带来一系列需要解决的难题:比如,物料在螺杆内停留时间的减少导致物料混炼塑化不均;物料经受过度剪切造成物料急骤升温 and 热分解;挤出稳定性难以控制造成挤出物几何尺寸波动,必须提高相关的辅助装置和控制系统的精度;螺杆与机筒的磨损加剧,需要采用高耐磨及超高耐磨材质;减速器与轴承在高速运转下如何提高其寿命等。

2.2 高效、多功能化

挤出机的高效性能主要体现在高产出、低能耗、低制造成本方面。在 2001 年 10 月德国举办的 15 届国际橡塑展览会上展出的 ZSK 系列同向平行双螺杆挤出机单耗(即名义比功率)均小于 0.1 kW · h/kg,而国内的挤出机单耗为 0.15 ~0.16 kW · h/kg。在功能方面,螺杆挤出机已不仅仅用于高分子材料的挤出成型和混炼加工,它的用途已拓宽到食品、饲料、电碳、电极、火炸药、建材、包装、纸浆、陶瓷等领域。此外,将混炼造粒与挤出成型工序合二为一的一步法挤出工艺也值得引起重视,因为这种工艺在缩短工艺流程、节省能耗、减少设备投资和占地面积、减少操作人员等方面比传统的两步法工艺具有明显的优势。

2.3 大型化和精密化

在挤出成型装备中,一般中小型通用机种我国均能生产。2000年我国所进口的1817台挤出成型机绝大部分是大型的、精密的机种。挤出成型设备的大型化可以降低生产成本,这一点在双螺杆造粒机组、吹膜机组、管材挤出机组等方面的优势更为明显。在特种挤出成型装备方面,应重点发展为国家重点建设服务的重大技术装备,比如,为大型乙烯工程配套的大型挤压造粒机组长期一直依靠进口,必须加快国产化进程,满足石化工业发展的需要。而精密化可以提高产品的含氧量,如多层共挤复合薄膜等制品均需精密挤出,而作为精密挤出重要部件的熔体齿轮泵目前国内尚不能制造,必须加大力度进行开发研究。

2.4 模块化和专业化

实行挤出成型装备生产的“模块化”、“专业化”已是大势所趋。“模块化”生产可以适应不同用户的特殊要求,缩短新产品的研究开发周期,争取更大的市场份额;而“专业化”生产可以将挤出成型装备的各个系统模块部件安排定点生产甚至进行全球采购,这对保证整机质量、降低成本、加速资金周转是有利的。在我国,挤出机的螺杆、机筒、减速器、加热冷却系统、润滑系统、加料系统、控制系统均有定点工厂专业生产,这无疑是正确的。

2.5 智能化和网络化

世界工业发达国家的挤出机已普遍采用现代电子和计算机控制技术,操作台设有荧光屏监测,对整个挤出过程的工艺参数如熔体压力及温度、各段机身温度、主螺杆和喂料螺杆转速、喂料量,各种原料的配比,以及电机的电流电压等参数进行在线检测,并采用微机闭环控制。有的公司已采用网上远程演播、监测、诊断等手段,对挤出成型生产线进行网络控制。这对保证工艺条件的稳定、提高产品的精度是有利的。

3 对我国塑料特种挤出成型装备开发研究的几点建议

(1) 开发新型挤出混炼技术与装备。目前国际上用于高聚物共混改性的新型混炼装备机种主要有同向平行双螺杆挤出机、往复式销钉螺杆挤出机和串联式磨盘挤出机三大类。其中中小型同向平行双螺杆挤出机国内已能生产,但万吨级大型混炼挤压造粒机组全部依靠进口,2010年前我国用于该机种的引进外汇预计约需4.5亿美元。往复式销钉螺杆挤出机和串联式磨盘挤出机是制取高填充、高附加值高聚物合金的必要装置,这些设备我国还刚处于制造样机阶段,市场上几乎全部为进口产品。

(2) 开发研究挤出大口径管材的异向平行双螺杆挤出机组、钢塑复合管材挤出机组、500 mm以上大型双壁波纹管挤出成型机组,以及特种塑料管材专用挤出机组。

(3) 开发研究复合挤出成型技术和装备。最近,多层共挤的超宽土工膜、包装用拉伸拉幅平膜、建筑用复合瓦楞板、芯层发泡板材和管材的市场需求量很大。对与此相关的成型技术和装备的开发研究必须引起足够的重视。

(4) 研究开发废弃塑料的回收和再生利用技术与装备。塑料制品对自然环境造成的“白色污染”已影响我国国民经济的可持续发展,因此必须加强废弃塑料的回收和再生利用技术与装备的研究工作,将那些回收困难或再生利用耗费过大的塑料制品制成具有降解功能的材料加以利用。

(5) 对常规塑料加工设备进行更新换代、提高产量与效率 and 自控水平的研究。目前国外塑料异型材的挤出速度为4~8 m/min、双向拉伸薄膜牵引速度为450 m/min,而国内相应的速度则仅为1.5~2.5 m/min和120 m/min,差距很大。对现有设备进行更新换代的改造,投资少,可以起到立竿见影的效果。

(6) 加强CAD/CAE/CAM技术在塑料工业中的应用研究。该研究可使橡塑机械的设计从费时、费钱的经验设计直至试车修改的模式提高到准确、快速、高精度的现代化水平,从而使我国的挤出成型装备制造业在激烈的国际竞争中取胜。

(7) 研究在线检测及自动控制技术。工业发达国家的数字、智能控制和激光测试及伺服系统技术已相当成熟,挤出机组可以实现全线联机控制,并与在线检测装置相连,根据采集和储存的信号实现反馈控制,保证了工艺条件的稳定,提高了产品的精度。此外对电器元件的可靠性研究也不容忽视,国产设备故障率较高的一个重要原因就是电控系统的可靠性太差。

(8) 积极发展高效、节能、环保型挤出成型装置,限制发展生产能力过剩的长线产品,淘汰耗能、耗材高和严重污染环境的产品。对以天然植物纤维和废弃塑料为主要原料的木塑复合制品挤出技术与装备的研究应予以足够重视,在生产PS、PE挤出发泡材料中限制使用氟利昂的设备,淘汰超薄型(小于0.015 mm)塑料袋生产设备,研究开发废弃塑料回收处理和再生利用及降解塑料加工的挤出装备。

参考文献

- 1 许政仓.我国塑料机械工业发展评述.见:塑料加工技术及装备发展战略研讨会论文集.北京:中国塑料工程学会塑料工程信息中心,2001.60
- 2 中国轻工总会.轻工业技术装备手册.北京:机械工业出版社,1996.862
- 3 段庆生.微型高速低粘度单螺杆挤出机的研究与计量段理论的研究:[硕士论文].北京:北京化工大学,1996.
- 4 杨静.串联式圆盘螺杆挤出机的研究:[硕士论文].北京:北京化工大学,1999.
- 5 武停启,江波,王春芬.往复式销钉螺杆挤出机设计原理.中国塑料,2002,16(1):73
- 6 江波,李云玲,许澍华,等.聚合物熔体齿轮泵研究.塑料工业,2001,29(4):18
- 7 瞿金平.电磁动态塑化挤出机中聚合物挤出过程研究.见:新世纪中国塑料工业发展论坛论文集.北京:2001.174
- 8 江波,许澍华,李翱.混炼技术和装备的研究现状和发展动向.见:全国橡胶塑料技术与市场研讨会论文集.无锡:全国橡胶塑料设计技术中心,2001.30

9 王丽, 江波. 双螺杆三维实体造型的研究. 塑料工业, 1999, 27 (1): 19

10 李翱, 江波. 碳素材料双螺杆挤压成型技术与装备的研究. 碳素技术, 2001(3): 8

PRESENT SITUATION AND DEVELOPMENT OF PLASTICS EXTRUSION EQUIPMENT RESEARCH

Jiang Bo, Xu Shuhua, Li Ao

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

ABSTRACT Combined with research practice of special type of extrusion technology and equipment, the present situation and development of research into special type of extrusion technology at home and abroad are reviewed. Especially the structural characteristics and application fields of twin-screw extruder, reciprocating pin-screw extruder, series disc-screw extruder, miniature high-speed single screw extruder for low viscosity materials and melt gear pump extruder developed recently are introduced, and some proposals for future direction in the research are put forward.

KEYWORDS special type of extrusion technology, equipment, research

共聚聚丙烯应用前景好

聚丙烯生产成本低, 密度小, 综合力学性能好, 易加工, 热变形温度高, 而且具有良好的化学稳定性和电绝缘性, 因而在汽车、家电、家具、化工、包装等领域得到了广泛应用。全世界聚丙烯年产量已超过 1 000 万 t, 仅次于聚乙烯、聚氯乙烯而位于通用大品种塑料的第三位。

但是, 普通聚丙烯具有韧性差、尺寸稳定性差和易老化等缺点, 限制了其应用范围。而共聚聚丙烯 EPS30R 与国内用量较大、使用普遍的进口共聚聚丙烯 J340、M1250 及 BJ100 相比, 具有强度高、刚性大、耐热、尺寸稳定、加工性能好以及低温韧性极佳的优点, 因此可广泛用于生产周转箱、瓶子、油漆桶、大容器及重负荷包装物等, 也可用于生产管材、板材、电瓶壳等, 还可用作其它高档聚丙烯专用料的基础料。

电冰箱专用料 电冰箱、电冰柜的门衬目前主要由 ABS 板材制成, 但 ABS 价格较高, 且耐化学药品性和耐溶剂性较差、易受力开裂, 而 EPS30R 树脂可很好地解决这一问题, 并具有良好的低温韧性。经填充着色的 EPS30R 塑料有望替代 ABS 板材制作电冰箱(柜)门衬。

电冰箱(柜)注塑抽屉专用料 目前以美国陶氏公司的 423VC HIPS 或德国巴斯夫公司的 476HIPS 为主要原料, 但这两种原料耐低温性能较差, 在使用过程中易破碎。而 EPS30R 经过填充改性、着色和提高流动性后, 可制备电冰箱(柜)抽屉的专用料。近年来, 国内电冰箱(柜)的需求增长率为 5% ~6%, 而对一些采用新型材料生产的电冰箱(柜)的需求则增长较快。EPS30R 较好的低温韧性使其在电冰箱(柜)业中的应用前景十分看好。

空调器专用料 空调器的主机外壳目前大多采用铁皮表面喷塑制作而成, 但喷塑铁皮的表面易划损而造成腐蚀生锈, 许多建筑专家、市容环保专家呼吁空调生产企业尽快采用工程塑料、不锈钢、合金等高强度不锈钢新材料制作空调器室外机。日本日立公司推出的气辅注射成型全塑室外主机外壳, 有效地解决了腐蚀生锈这一难题。而 EPS30R 经改性后, 可用作空调器室外主机外壳的专用料。

洗衣机零部件 制作洗衣机零部件的原料以聚丙烯为主, 多数是从日本、新加坡及韩国进口的流动性较高的共聚聚丙烯, 洗衣机的波轮目前以韩国的 BJ730 料为主。EPS30R 具有极好的强度和刚度, 其耐冲击性受温度的影响小, 考虑波轮制品的大小及其使用需求, 用 EPS30R 替代进口料是可行的, 海尔洗衣机的波轮是用该料生产的, 洗衣机的其它小型零部件也可采用该种塑料制作。

啤酒容器 随着生活水平的提高, 人们对啤酒质量的要求越来越高。近年来, 各种啤酒桶如保鲜桶、扎啤桶等应运而生。桶的内胆通常是用 PE 吹塑而成, 外壳一般用 PE 或 ABS 注塑而成, 中间为 PUR 发泡层。鉴于 PE 和 ABS 的冲击韧性及强度等因素, 性能更优的 EPS30R 最适于制作啤酒桶的外壳, 青岛广华啤酒保鲜容器有限公司已将该料成功地应用于啤酒保鲜桶的外壳生产。

汽车内外饰件 汽车工业是我国国民经济发展的四大支柱产业之一, 塑料工业的发展, 使汽车轻量化得以实现, 塑料在汽车上的用量越来越多, 每辆汽车用塑料可高达 150 kg, 其中以聚丙烯为主。

EPS30R 具有良好的冲击韧性和低温性能, 较高的强度和模量, 老化性能也好于均聚聚丙烯/EPDM 共混物, 因此, 经适当改性和着色, 可以作为轿车内饰件和部分外饰件的专用料。

卫生洁具件 随着卫生洁具的发展, 越来越多的塑料件得到应用, 如马桶坐垫等均可采用注塑法制得。EPS30R 经山东美林洁具配套公司试验, 所制产品符合设计要求, 具有推广应用价值。

公共座椅餐座 目前, 体育馆、沙滩、公园、饭店、电影院、火车站及汽车站等公共及休闲场所的休闲座椅、餐座均采用聚丙烯或玻璃钢制成。

由于 EPS30R 无论在低温还是高温下都有较好的韧性, 因此, 如果能用共聚聚丙烯取代聚丙烯或玻璃钢制作用于露天环境的座椅、餐座, 将会有效地提高这些座椅的使用寿命。
(郝飞)