

塑料成型加工实用技术讲座(第四讲)

挤出成型发展现状^{*}

高峰 李海梅 申长雨

(郑州大学橡塑模具国家工程研究中心, 郑州 450002)

摘要 回顾挤出成型的发展历程, 从原料、工艺、设备等方面介绍挤出成型工艺特点及成型技术的现状及其最新进展, 并总结了挤出成型技术和加工设备的发展趋势。

关键词 挤出成型 技术进展 新工艺

挤出成型是聚合物加工中出现较早的一门技术, 在塑料加工中占有重要的地位。经过 100 多年的发展, 挤出成型制品已占塑料制品总量的 1/3 以上。在广泛的生产实践中, 挤出成型的理论和技术得到不断的深化和拓展; 可加工的聚合物种类、制品结构和制品形式越来越多; 挤出工艺得到不断的发展; 挤出成型的设备得以不断改进和创新, 设备越来越大、大型化、高效率化、精密化、智能化及专用化; 计算机技术在挤出成型加工中的应用越来越广泛、深入。

面对日益发展变化的挤出成型加工, 笔者拟对挤出成型技术作一全面的介绍, 在回顾挤出成型发展历程的基础上, 介绍挤出成型的工艺和技术特点, 以及新的成型工艺, 并展望了挤出成型的发展趋势。

1 挤出成型的发展历程

挤出成型技术作为聚合物加工技术之一, 是伴随聚合物加工工业的发展而发展的。挤出成型的发展历程可以分为三个阶段:

(1) 萌芽时期 1845 年, R. Brooman 最早用挤出成型法生产包覆电线。当时的挤出机为柱塞式, 操作由手动逐步过渡到机械式和液压式, 生产过程是间歇式的。

(2) 杆式挤出机阶段 19 世纪 80 年代后, 开始出现螺杆式挤出机, 由德国开始批量制造, 并不断地发展和改进螺杆结构。这时期的挤出机螺杆长径比为 3~5, 难以满足热塑性塑料塑化的要求, 只适合于生产橡胶制品。

(3) 现代挤出机时代 1935 年德国 Paul Tr ster 公司制造出第一台热塑性挤出机^[1], 从此挤出机发展到了一个新阶段即现代挤出机时代。这一阶段的特征是挤出机采用直接电加热、空气冷却、自动温控的装置和无级变速的传动装置, 螺杆的长径比开始超过 10。

现代挤出机技术的出现和进一步的发展, 使得可加工的聚合物种类、制品结构、制品形式越来越多, 挤出工艺不断改进, 成型设备不断出新, 研究开发新产品、新工艺的手段不断加强。目前用挤出成型法可以生产出各种各样的制品, 除传统的 PVC 管材, 包覆电缆, PPS、PP 和 ABS 片材、板材以外, 还有 PVC 型材、交联聚乙烯管材、铝塑复合管、PP-R 管材、双向拉伸聚丙烯(BOPP)薄膜、多层共挤复合膜, 各种发泡制

品等。此外, 可以运用挤出加工手段制备改性聚合物材料。此间发展的新技术有共混增强、增韧技术, 辐射改性技术, 纳米复合技术, 以及其它一些新型改性技术。在设备方面, 出现了各种结构与功能的挤出机和生产线: 如混炼型螺杆、排气式挤出机, 双螺杆、多螺杆挤出机, 反应式挤出机, 组合式挤出机, 以及适应高分子材料物理与化学特性而建立的成型装置和具备各种制品所需的专门功能、能够实施成型步骤的挤出生产线辅机等, 以追求简便、控制精确、节能高效、清洁生产为目标而不断改进的新型设备。

2 挤出成型过程及设备^[2]

典型的挤出成型过程是, 将固态粉状或粒状聚合物物料通过料斗加入挤出机中, 在自重和螺杆的转动下使物料进入料筒, 在料筒内被加热, 熔融塑化, 通过螺杆加压将熔融的物料经口模挤出, 在牵引力的作用下, 经过冷却、定型形成制品的最终形状。在挤出成型过程中, 其核心为螺杆式挤出机、口模和辅机。挤出机根据螺杆的数量可分为单螺杆挤出机、双螺杆挤出机和多螺杆挤出机。单螺杆挤出机由于设计简单、制造容易、价格便宜而被广泛使用, 是用量最多的挤出机。它是由一根阿基米德螺杆在加热料筒中旋转而成, 这种挤出机的主要技术参数有螺杆直径、螺杆长径比、螺杆转速、驱动电机功率、料筒加热功率、生产能力等。螺杆的几何形状对于挤出机的性能有极为重要的影响, 其中螺杆直径标志着挤出机的挤出力; 螺杆的长径比表示着挤出机塑化的能力和质量; 螺杆的转速直接影响挤出力量和熔体物料的流动性。为了克服单螺杆挤出机混炼效果差、不适合粉料加工、生产效率低等缺点, 双螺杆挤出机问世并得到广泛使用。双螺杆挤出机的螺杆由两根相互啮合或相切的螺杆组成, 根据两根螺杆的位置可以分为啮合型和非啮合型; 根据螺杆的旋转方向, 可以分为同向和逆向旋转两类; 按照两根螺杆轴线的关系可分为平行双螺杆和锥形双螺杆挤出机。双螺杆挤出机主要用于热敏性塑料(如 PVC)的挤出成型和特种聚合物加工(如共混、反应挤出)。多螺杆挤出机的应用相对较少, 主

^{*} 国家“十五”重点科技攻关项目(2001BA203B16-02)、河南省自然科学基金项目(004060400)、河南省中青年骨干教师项目

要有行星螺杆挤出机和四螺杆挤出机。这种挤出机的特点是大幅度增加了螺杆对物料的捏合、挤压、剪切和搅拌次数;物料在料筒内的分散性好、停留时间短、生产效率高。多螺杆挤出机主要用于对热敏性塑料的加工。

3 常见的挤出成型工艺及挤出成型制品

通过不同的挤出工艺和不同的成型设备可以成型不同的制品。

3.1 挤出造粒

聚合物造粒是制品生产的一个中间过程,挤出造粒是一种最常用的方法。这一方法产品质量稳定、自动化程度高、生产效率高。通过造粒可以对聚合物进行改性和进行不同聚合物的共混,在聚合物中填充填料、添加增强材料或制作色母料,以及回收利用废旧塑料等。

3.2 管材挤出

挤出法可以生产多种塑料管材,这些管材被广泛用于各种液体、气体或固体的输送,如建筑给水管、排水管、燃气管、护套管、农业灌溉管及工业用管等。在管材种类上可分为硬管、软管、单层管、双层管、多层管、复合管(如铝塑复合管)、发泡管及波纹管等。

3.3 板材、片材和薄膜的挤出成型

挤出法生产的板材和片材可以作为结构材料和包装材料及热成型制品的原材料。挤出法可以生产厚度 0.02 ~20 mm 的薄膜、片材和板材。挤出成型板材和片材的原材料主要是热塑性塑料,也可以是填充、共混改性、发泡材料等。在种类上可分为单层或多层复合板、平面或波纹状、异型截面以及发泡板和片材等。另外,通过挤出流延平膜法可以成型各种薄膜,通过平面向拉伸法可生产 PS 薄膜、多层共挤膜和平膜等。

3.4 异型材挤出

异型材挤出是指用挤出法生产截面不规则的聚合物制品,如建筑业中的门、窗框、装饰条,汽车和其它工业中的一些装饰或密封条等。其突出特点是截面的形状复杂。异型材的种类有异型管材、中空异型材、隔室式异型材、开放式异型材、共挤出异型材、镶嵌式和包覆异型材及发泡异型材等。

4 挤出成型新工艺

随着聚合物加工的高效率和应用领域的不断扩大和延伸,挤出成型制品的种类不断出新,挤出成型的新工艺层出不穷。为了满足工业和建筑用管材在耐压、耐温、抗开裂方面的更高要求,人们研制了以特种纤维为骨架的复合管、以多孔金属管为骨架的复合管、铝塑复合管、PE-X 管、PP-R 管及 UHMWPE 管等。为扩大可成型材料的范围和增加挤出制品的类型,在传统的挤出成型技术基础上不断发展,形成一些新技术,其中主要有反应挤出工艺、固态挤出工艺、和共挤出工艺等。

4.1 反应挤出工艺^[3]

反应挤出工艺是 20 世纪 60 年代后才兴起的一种新技术,因可以使聚合物性能多样化、功能化,生产连续、工艺操

作简单和经济实用而普遍受到重视。它是连续地将单体聚合并对现有聚合物进行改性的一种方法。该工艺的最大特点是将聚合物的改性、合成与聚合物加工这些传统工艺分开的操作联合起来。

反应挤出机一般有较大的长径比、多个加料口和特殊的螺杆结构。反应物由各个不同的加料位置加入到挤出机中,固体物料从料斗加入,粘性流体或气体反应物按反应顺序沿机筒各点通过注入口加料。通过螺杆的旋转将物料向前输送,在一定的反应温度下,物料在混合过程中充分反应,在适当的位置处除去反应过程产生的挥发物,反应完全的聚合物经口模被挤出,冷却、固化、造粒或直接挤出成型为制品。

反应挤出机的特点是:①熔融进料预处理容易;②混合分散性和分布性优异;③温度控制稳定;④可控制整个停留时间的分布;⑤可连续加工;⑥分段性;⑦未反应单体和副产品易除去;⑧具有对后反应的限制能力;⑨可进行粘流熔融输送;⑩可连续制造异型制品。

反应挤出加工主要应用于聚合物的降解、合成、接枝、增容等。比如在反应挤出过程中,通过向 PP 中加入适量的过氧化物,使 PP 主链断裂,歧化终止,由断裂产生的大分子自由基制得用一般方法难以制得的熔体粘度低、分子量分布窄、分子量小的可用于满足薄膜挤出、薄壁注射制品要求的 PP。以特制的双螺杆挤出机为反应器,采用己内酰胺阴离子快速聚合原理直接反应成型,可实现单体-聚合物-制品一体化,用此工艺制得的 PA6 的强度为普通 PA6 的 120%,而韧性为普通 PA6 的 3 倍以上,将该双螺杆挤出机与成型装置相连,可直接制得 PA6 制品,大大缩短成型周期,降低成本。在极性聚合物分子链上接枝极性官能团,可赋予制品一些特殊的性能,这种接枝物在塑料改性、复合材料制备等方面有着广泛的应用,如通过硅烷交联或辐射交联反应挤出生成的 PE-X 管材具有耐高温、耐高压、柔软性好、耐化学药品性优良、蠕变性能较好、耐应力开裂性好等优点。在聚合物增容方面,在加入增容剂 PE-g-MAH 的 PE/CaCO₃ 共混物中,CaCO₃ 粒径一致且分布均匀,使共混物的拉伸强度明显提高,断裂伸长率变化较小,MFR 略有下降。

反应挤出成型技术是近年来发展的旨在实现高附加值、低成本的高新技术,已经引起世界化学和聚合物材料科学与工程界的广泛关注,在工业方面发展很快。与原有的挤出成型技术相比,其明显的优点是:①节约加工中的能耗;②避免了重复加热;③降低了原料成本。④在反应挤出阶段,可在生产线上及时调整单体、原料的物性,以保证最终制品的质量。

4.2 固态挤出工艺

固态挤出是使聚合物在低于熔点的条件下被挤出口模。固态挤出一般使用单柱塞挤出机,柱塞式挤出机为间歇式操作。柱塞的移动产生正向位移和非常高的压力。挤出时口模内的聚合物发生很大的形变,使得分子严重取向,其效果远大于熔融加工,从而使制品的力学性能大幅度提高。固态挤出有两种方法:一种是直接固态挤出,另一种是静液压挤

出。在直接固态挤出中,预成型的实心圆棒状物料被放入料筒,柱塞直接接触固体物料,推动物料从口模中挤出。在静液压挤出中,挤出所需的压力由柱塞经润滑油传递至料锭,料锭形状与口模相配合以防止润滑油漏失。

由于单柱塞挤出机的料筒截面积远大于口模截面积,因此,挤压料锭通过口模时需要足够的压力,在力的作用下固态物料产生形变和分子取向。固态挤出中,将料筒截面积与口模截面积之比定义为挤出比。在高挤出比的情况下,基本上不产生熔融挤出中的离模膨胀,因而挤出物的尺寸与口模尺寸相等。固态挤出 HDPE 的力学性能优于熔融挤出的 HDPE,其拉伸强度约与碳素钢相同。固态挤出的基本过程不连续,不能用普通的聚合物加工设备成型,而且需要很高的压力才能实现挤出。

4.3 共挤出工艺^[4]

共挤出技术在塑料制品上的应用可使制品多样化或多功能化,从而提高制品档次。共挤出工艺由两台以上挤出机完成,可以增大挤出制品的截面积,组成特殊结构和不同颜色、不同材料的复合制品,使制品获得最佳性能。

共挤出技术按照共挤物料的特性可分为软硬共挤、芯部发泡共挤、废料共挤、双色共挤等。由三台挤出机共挤出制得 PVC 发泡管材的生产线,比两台挤出机共挤的方式控制挤出工艺条件更准确,内外层和芯部发泡层的厚度尺寸更精确,因此,可以获得更优异的管材性能。

随农用薄膜、包装薄膜功能发展的需要,共挤出吹塑薄膜趋于向多台挤出机、多层化发展。目前多层共挤出吹塑膜可达 9 层。多层共挤对各种聚合物的流变性能、相粘合性能、各挤出机之间的相互匹配有很高的要求,机头流道的设计与制造更为关键。

5 挤出成型工艺的发展趋势

5.1 挤出制品的大型化^[5]

(1) 管材 随着塑料管材应用领域的不断扩大,管材生产正朝着高性能、大口径方向发展。管材高性能依赖于聚合物新品种、聚合物的改性和管材成型设备的改进。目前国内可生产的用作给排水管、市政工程污水管的 PVC-U 管材,其管径已达 630 mm,而国外可达到 1 000 mm。国外的 HDPE 燃气管的管径最大达到 1 600 mm,HDPE 输水管的管径可达 2 500 mm。

(2) 薄膜 为减少拼幅在铺设中的工作量,人们希望农用棚膜、地膜能加大幅宽。目前国内挤出吹塑棚膜最大幅宽为 14 m,而国外可达 25 m。国内 BOPP 膜可加工成厚度为 10 ~18 μm ,膜宽 9 m。德国 Batterfeld 公司的三层共挤膜幅宽可达 6 100 mm。宽幅膜能更广泛地适应各种包装的需要,同时由于幅宽增大,可减少平膜由于切边形成的边角膜与成品膜之间的比例,增大成品率,降低成本。因此流延膜和双向拉伸膜均向宽幅方向发展。

(3) 板材、片材 广泛用作工业衬垫、绝缘、建筑材料和广告制作的板材,以及食品包装、医药、工业包装的片材,也

正根据市场需要向特殊性能和宽幅面发展。目前我国生产的板材宽度可达 2 500 mm,板厚为 55 mm;共挤出 PVC 发泡板宽度为 2 000 mm,其中的发泡层的厚度为 20 mm。

5.2 挤出成型的高效率

自从挤出成型方法用于生产以来,对于高质量和高效率的追求从未停止过。人们通过不断改进工艺和设备,以高质量为前提提高生产率。几种产量占挤出制品份额很大的制品挤出速度在不断提高。德国直径为 130 mm 的平行双螺杆挤出 PVC-U 管材生产线的挤出产量达 1 200 kg/h;美国的直径为 169 mm 的平行双螺杆挤出 PVC-U 管材生产线的产量达 2 000 kg/h;奥地利的 92 锥形双螺杆挤出机的产量达 1 100 kg/h。吹塑薄膜的牵引速度由原来的不到 100 m/min 提高到 300 ~350 m/min。挤出复合的多层热收缩膜幅宽 2 300 mm,挤出速度达 90 m/min,挤出产量达 200 kg/h。流延膜(三层共挤)的生产线速度达 450 ~610 m/min,幅宽 6.1 m,产量达 450 kg/h;幅宽为 3.2 m 的复合流延拉伸膜生产线速度达 550 m/min;BOPP 薄膜的挤出线速度可达 350 ~400 m/min;挤出涂覆宽 4.2 m 的编织布的挤出线速度可达 60 m/min,涂敷 PP 时的产量可达 455 kg/h;涂敷 PE 时产量为 600 kg/h。挤出结构发泡 PVC 板材的生产量最大可达 600 kg/h;国外通过改进挤出机和定型装置来提高挤出发泡片板(门、窗框 PVC 型材)的挤出速度,其挤出速度可达 6 m/min,产量高达 500 kg/h。

6 挤出成型设备的发展

近年来,高速挤出已经带来了生产效率的大幅度提高。高速、高效、智能化一直是挤出成型设备的发展方向。平行双螺杆挤出机总扭矩大为提高,广泛用于高填充混合、聚合物共混、反应挤出等工艺。螺杆转速趋向于高转速,国外螺杆转速可达 600 ~1 200 r/min。增大长径比是双螺杆挤出机发展的另一个特点。以往的双螺杆长径比为 30 左右,在新型、高效的混合和反应挤出中,将带有加成聚合反应、接枝共聚反应、控制聚合物相对分子质量及相对分子质量分布的过程,聚合物改性,聚合物合金的制备,以及成型在内的多道工序集中在挤出机中完成的情况下,螺杆的长径比已发展为 40 以上,美国 Welding Engineers 公司的双螺杆挤出机的长径比为 48 ~72。影响挤出生产线经济性能的重要因素是产量。以 PVC 异型材的生产为例,20 世纪 70 ~80 年代,用平行双螺杆挤出机生产 PVC 异型材的线速度为 1 ~2 m/min,但是到 90 年代中期,产量急速增长,由于模头和定型技术的发展,线速度从 2 m/min 增加到 4 m/min,这时挤出机的螺杆直径约为 110 mm,长径比为 20 ~23,产量在 150 ~350 kg/h。到 1995 年挤出机的螺杆直径发展为 130 mm,产量在 450 ~500 kg/h。为了继续满足市场的需求,Krauss-Maffei 公司开发了螺杆直径为 160 mm,长径比为 26 的新一代平行双螺杆挤出机,产量增加到 1 000 kg/h。

挤出成型技术的进步集中体现在挤出速度的提高上。目前 PVC-U 异型材和管材的挤出速度已经达到单腔 6 m/

min 以上、双腔 4 m/min; 聚烯烃管材的挤出速度已达到 20 m/min。在双向拉伸技术方面, 双向拉伸薄膜机械的生产速度已经达到 450 m/min 以上, 膜幅宽达到 10 m, 而且可以多层共挤出。

在设备革新方面, 除了增大螺杆直径和长径比之外, 为提高产量, 还采取加大装机扭矩、提高螺杆转速和增加比驱动能等措施。同时为提高制品的质量和生产的稳定性, 各挤出机厂家还在挤出生产线的自动化控制、在线检测和驱动系统的精确同步化方面进行技术上的创新。

可以预料, 未来挤出成型技术的发展方向是, ①减少劳动力和材料消耗, 主要体现在尽量缩短更换产品的时间, 尽可能在生产过程中更换以及自动更换; ②通过增加设备的塑化能力, 加大齿轮扭矩, 进一步加大螺杆的长径比来提高生产效率; ③突破冷却限制。在挤出成型中, 冷却一直在限制

着生产率的提高。多腔和多线挤出成为提高产量的重要方法; ④在挤出生产线控制系统中不断应用感测技术、控制技术和人工智能技术, 使制品的质量和生产的稳定性得到进一步的提高。

参考文献

- 1 [德] C. 劳温代尔. 塑料挤出. 陈文瑛等译. 北京: 中国轻工业出版社, 1996.
- 2 瞿金平, 胡汉杰. 聚合物成型原理及成型技术. 北京: 化学工业出版社, 2001.
- 3 陈卫丰. 反应性聚合物挤出加工技术及其应用. 塑料科技, 2001 (6): 23
- 4 任杰. 低发泡 PVC 挤出合成木材应用前景展望. 化学建材, 1999, 15(1): 13
- 5 张丽叶. 挤出成型. 北京: 化学工业出版社, 2002. 1

PRESENT SITUATION OF POLYMER EXTRUSION PROCESSING

Gao Feng, Li Haimei, Shen Changyu

(APPT NERC, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

ABSTRACT The developing course of the extrusion is reviewed. A new progress in extrusion process is introduced in the view of raw materials, processing, equipments, etc. Also the development trend of polymer extrusion processing and processing equipments has been summarized.

KEYWORDS extrusion, technique progress, new processing technology, trend

航空百年学术论坛之航空复合材料技术专题论坛征文通知

1903 年 12 月 17 日 10 时 36 分, 莱特兄弟首次实现了人类历史上激动人心的载人动力飞行。飞天梦成真, 今朝满百年。

航空是人类智慧的结晶。航空百年可以说是人类百年科技进步的缩影。为此, 中国航空学会在 2003 年将举办航空百年学术论坛。航空复合材料技术专题论坛是其中一个分论坛。该论坛由山东复合材料学会与中国航空学会复合材料专业分会共同承办。

材料是人类进步的物质基础, 也是航空发展的基石。百年来, 飞机结构从木材、帆布结构发展到以铝合金为代表的轻金属结构和先进复合材料结构。复合材料航空应用至今已有 40 余载, 在航空百年中占有重要地位, 举办航空复合材料技术专题论坛很有意义。

1 论坛主题 我国航空复合材料需求、发展与应用。

2 征文范围

- (1) 航空复合材料技术的战略地位和发展趋势;
- (2) 航空复合材料技术在材料、工艺、设计、测试等方面的新成果、新进展;
- (3) 功能(特别是透波功能、吸波功能)复合材料的最新发展及其应用;
- (4) 航空复合材料低成本技术研究应用进展;
- (5) 用纳米技术提高航空复合材料性能和功能的最新研究成果;
- (6) 复合材料其它方面的最新研发成果。

3 征文要求

- (1) 内容新颖, 主题明确, 反映近期研究成果;
- (2) 不接受已投送在其它会议或国内外期刊上已经录用或发表的论文;
- (3) 文责自负, 论文内容不得涉及保密问题;
- (4) 论文限 5000 字以内;
- (5) 论文打印排版格式请参照《工程塑料应用》杂志。请提供稿件的电子版(软盘或 E-mail)及一份打印稿(包括图表);
- (6) 不退稿件, 请作者自留底稿;
- (7) 论文截稿日期为 2003 年 8 月 30 日。

编委会将在作者提供的论文原稿基础上, 编排印刷《论文集》, 部分优秀论文将在《工程塑料应用》上发表。

4 论坛日程 论坛会期 3 天, 2003 年 10 月中旬在山东举行。会议通知另发。

5 论文接收与有关事宜联系人

应征论文请尽快寄至或发 E-mail 至《工程塑料应用》杂志社, 请注明论坛应征论文。

联系人: 张振 电话: 0531-5947355, 5816706-801
传真: 0531-5947355 5816706-808
通讯地址: 山东济南市 108 信箱杂志社
邮编: 250031 E-mail: master@engplastics.net

山东复合材料学会
中国航空学会复合材料专业分会