

塑料电磁动态挤出机中挤出压力对振动强度的响应^{*}

瞿金平

陈学锋

(华南理工大学聚合物新型成型装备国家工程研究中心,广州 510640) (顺德职业技术学院机电工程系,顺德 528300)

摘要 采用自行修正的 Tanner 本构方程,对塑料电磁动态塑化挤出机中挤出压力对振动力场的响应进行了研究,建立了振动力场下挤出压力响应的理论模型,分析了振动力场作用下挤出压力降低的原因,并从实验方面进行了验证,结果表明,理论分析的结论是基本合理的。

关键词 熔体输送 本构方程 振动力场 挤出压力

在挤出成型过程中,将周期性振动力场引入聚合物塑化挤出全过程后,对熔体输送和挤出过程产生了巨大影响^[1]。笔者现在 Maxwell 本构方程的基础上对 Tanner 本构方程^[2,3]进行自行修正,从理论上分析振动力场作用下挤出压力降低的原因,并以自行研制的 SJDD-260 型电磁动态挤出机为依托,通过实验予以验证,结果证明,理论结论与实验结果基本一致,具有一定的合理性。

1 振动力场作用下熔体输送流场数学模型的建立

在建立数学模型时需作如下假设:在熔体输送段,物料已全部熔化,熔体不可压缩;忽略螺槽曲率的影响,螺距和螺槽的深度不变;螺槽宽和螺槽深度之比大于 10 ($W/H > 10$),忽略螺槽侧壁对流动的影响,且沿螺槽深度方向无流动;熔体为等温流动且熔体热物理性能不变;料筒运动,螺杆静止。根据以上假设,熔体在螺槽中的流场为:

$$\bar{v} = \bar{u}(y, t) \bar{e}_x + 0 \bar{e}_y + \bar{v}_z(y, t) \bar{e}_z \quad (1)$$

此时,连续方程自动满足,简化后的运动方程可表示为:

$$\rho \frac{\bar{u}}{t} = -\frac{\bar{p}}{x} + \frac{\bar{\tau}_y}{y} \quad (2a)$$

$$\rho \frac{\bar{u}}{t} = -\frac{\bar{p}}{z} + \frac{\bar{\tau}_y}{y} \quad (2b)$$

相应的边界条件为:

$$\bar{u}|_{y=0} = \bar{v}_z|_{y=0} = 0 \quad (3a)$$

$$\bar{u}(H) = \bar{u}|_{y=H} = \bar{u}^0 + \bar{u}^*(H, t) \quad (3b)$$

$$\bar{v}_z(H) = \bar{v}_z|_{y=H} = \bar{v}_z^0 + \bar{v}_z^*(H, t) \quad (3c)$$

$$\bar{u}^0 = \bar{u}^0 \sin \theta = \pi D \bar{N} \sin \theta \quad (3d)$$

$$\bar{v}_z^0 = \bar{v}_z^0 \cos \theta = \pi D \bar{N} \cos \theta \quad (3e)$$

式中: $\bar{N}$ ——料筒平均转速, r/min;

D ——螺杆直径, mm;

θ ——螺杆螺旋角, (°);

$\bar{u}^0$ —— X 方向的平均速度, m/s;

$\bar{u}^*$ —— X 方向的脉动速度, m/s;

$\bar{v}_z^0$ —— Z 方向的平均速度, m/s;

$\bar{v}_z^*$ —— Z 方向的脉动速度, m/s。

在周期性振动力场作用下,剪切速率亦呈周期性变化,在 Maxwell 线性本构方程中,将粘度 η 换成依赖于剪切速率 $\bar{\gamma}$ 的 $\eta(\bar{\gamma})$, 假设松弛时间 λ 与 $\bar{\gamma}$ 无关,则可得 Tanner 本构方程为:

$$\bar{\tau} + \lambda \frac{\bar{\tau}}{t} = \eta(\bar{\gamma}) \bar{\gamma} \quad (4)$$

为了对 Tanner 本构方程进行适当修正,笔者将 $\eta(\bar{\gamma})$ 表示为:

$$\eta(\bar{\gamma}) = \eta(1 + A_c \cos \alpha)^{n-1} \quad (5)$$

最后修正的 Tanner 本构方程为:

$$\bar{\tau}_y + \lambda \frac{\bar{\tau}_y}{t} = \eta(1 + A_c \cos \alpha)^{n-1} \frac{\bar{v}_z}{y} \quad (6a)$$

$$\bar{\tau}_y + \lambda \frac{\bar{\tau}_y}{t} = \eta(1 + A_c \cos \alpha)^{n-1} \frac{\bar{v}_z}{y} \quad (6b)$$

式中 η 是熔体作纯剪切流动时的粘度。

对运动方程(2),考虑速度稳态解($t \rightarrow \infty$ 时),可表示为:

$$\frac{\bar{p}}{x} = \frac{\bar{\tau}_y}{y} \quad (7a)$$

$$\frac{\bar{p}}{z} = \frac{\bar{\tau}_y}{y} \quad (7b)$$

结合(7)式与修正的 Tanner 本构方程(6),并进行无量纲化处理,然后利用二项式公式,经相应推导可得压力梯度的近似解 $\bar{p}$ 为:

$$\bar{p} = 3\left(\frac{1}{2} - \bar{Q}\right) [n(n-1)A_c^2 + 4] l \cos \theta \quad (8)$$

式中: $\bar{Q}$ ——无量纲平均流率;

l ——无量纲流道长度;

* 国家自然科学基金项目(29634030,29904001)

收稿日期:2003-12-04

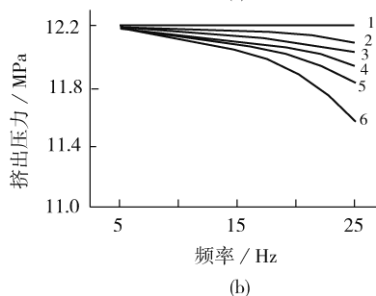
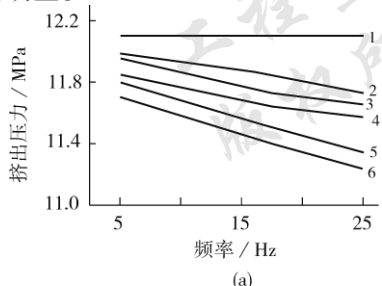
A_c ——振动强度。

2 振动力场下挤出压力响应的实验验证及讨论

笔者在 SJDD-260 型塑料电磁动态挤出机上就振动力场对聚丙烯 (PP) 和低密度聚乙烯 (LDPE) 挤出过程的影响进行了实验研究, 分别得到了 PP 和 LDPE 在螺杆转速为 60 r/min 时的挤出压力, 螺杆轴向振动振幅为 0 (稳态挤出)、0.05、0.10、0.15、0.20、0.25 mm, 频率为 5、10、15、20、25 Hz。对 PP 料, 挤出口模温度恒定为 220℃; 对 LDPE 料, 挤出口模温度恒定为 165℃。

2.1 实验结果分析

图 1 示出挤出 PP 料时在螺杆转速 60 r/min 下挤出压力与振动强度之间的关系。从图 1 可知, 振幅不为 0 时, 所有曲线均在稳态挤出时的直线之下, 这说明引入振动力场可使挤出压力降低; 随着频率的增加, 当振幅不变时, 挤出压力近似线性减小; 当振幅增加时, 近似直线的斜率绝对值增大, 即挤出压力的减小速度增快, 这说明在较大振幅时挤出压力随频率增加而降低得更迅速, 这种趋势在螺杆转速高时更为明显。



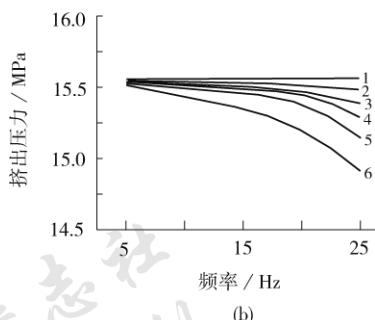
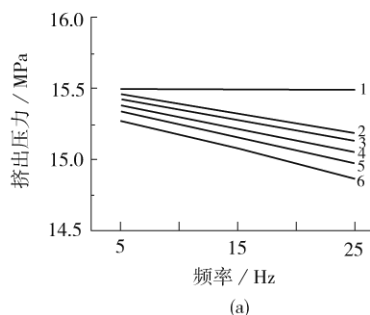
a—实验值; b—理论值

振幅: 1—0.00 mm; 2—0.05 mm; 3—0.10 mm;

4—0.15 mm; 5—0.20 mm; 6—0.25 mm

图 1 挤出 PP 时振动强度与挤出压力的关系
(口模温度 220℃)

图 2 示出挤出 LDPE 料时在螺杆转速 60 r/min 下振动强度与挤出压力之间的关系。从图 2 可以看出, 与挤出 PP 料的规律类似, 所不同的是, 在相同振幅、相同频率时, LDPE 的挤出压力比 PP 的挤出



a—实验值; b—理论值

振幅: 1—0.00 mm; 2—0.05 mm; 3—0.10 mm;

4—0.15 mm; 5—0.20 mm; 6—0.25 mm

图 2 挤出 LDPE 时振动强度与挤出压力的关系
(口模温度 165℃)

压力大。

2.2 理论与实验对比

在上述理论分析时只能计算熔体输送段的压力差。由于所使用的挤出机的螺杆为普通型输送螺杆, 假定固体输送段的初压为大气压, 并认为理论挤出压力近似等于熔体输送段的压力。

从图 1、图 2 可见, 理论值与实验值随着振动强度的变化趋势基本一致, 但理论曲线在实验曲线之上, 即在其它条件相同时, 理论值大于实验值, 造成两者差异的原因很多, 其主要原因在于理论计算要求出熔体输送段的压力差, 但又不知道熔体输送段开始的压力, 理论挤出压力是按上述方法近似推算出来的, 而实测的是口模处的压力, 因此造成一定误差; 再加上在描述流场时所作的各种假设, 以及在推导数学计算公式时为了简化推导过程而进行的一些简化, 也对理论分析的精度产生影响。

3 结论

由上述理论分析和实验研究可知, 在挤出过程中螺杆的振动对熔体的输送过程产生了深刻影响; 振动会使挤出压力明显降低, 并且在加工不同物料、施加不同振动强度时挤出压力降低的程度有所不同; 通过理论与实验的对比可知, 理论分析能在一定程度上反映振动力场对聚合物挤出加工过程的影响

规律。

参考文献

- 1 瞿金平. 振动力场作用下聚合物熔体输送和挤出过程及其行为与响应: [博士论文]. 成都: 四川大学, 1999.

- 2 江体乾. 工业流变学. 北京: 化学工业出版社, 1995. 218
- 3 Bird R B, Armstrong R C, Hassager O. Dynamics of Polymeric Liquids. Volume 1: Fluid Mechanics. 2nd ed. New York: Wiley & Sons, 1987. 351, 409

RESPONSE OF EXTRUSION PRESSURE TO VIBRATION STRENGTH IN PLASTIC ELECTROMAGNETISM DYNAMIC EXTRUDER

Qu Jinping

(The National Engineering Center of Novel Equipment for Polymer Processing, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Chen Xuefeng

(Department of Mechanical and Electrical Engineering, Shunde Professional and Technical College, Shunde 528300, China)

ABSTRACT By using the self-amend Tanner constitutive equation, the response of extrusion pressure to vibrating force field in plastic electromagnetism dynamic extruder was studied. Theoretical model of the response of extrusion pressure to the vibrating force field was established. The falling reason of extrusion pressure was analyzed when the vibrating force field was forced. And the experiment was carried out. The results showed that the theoretical conclusion was attested to be right.

KEYWORDS melt transporting, constitutive equation, vibrating force field, extrusion pressure

我国聚合物基复合材料五年增长近3倍

我国聚合物基复合材料发展快速, 去年产量达 92 万 t, 比 1998 年增长近 3 倍。

聚合物基复合材料三大品种去年基本保持 10% 以上的增长速度。其中, 热固性玻璃钢 (FRP, 即纤维增强塑料) 产量达到 62 万 t, 比上年增加 6 万 t; 热塑性玻璃钢产量达到 19 万 t, 比上年增加 2 万 t; 环氧/玻璃布覆铜板产量达到 11 万 t, 比上年增加 1.5 万 t。

热固性玻璃钢在我国聚合物基复合材料中占有最大的比例, 而其中占主导地位的是聚酯玻璃钢, 2003 年产量达 60 万 t, 比上年增加 6 万 t。

据介绍, 我国聚合物基复合材料起步于 1958 年。改革开放以来, 发展速度一直很快。与 10 年前相比, 产销规模增长了 4 倍。

目前我国热固性玻璃钢的消费结构为: 建筑占 40%, 管道、容器和化工防腐占 24%, 工业器材占 12%, 陆上车辆与地面辅助设施占 6%, 其它占 18%。主要生产 10 大类产品: ①冷却塔, 年产 3 万台; ②管道、贮罐、压力容器, 其中管道年产量超过 11 万 t, 高压管生产设备增至近 20 台, 整体贮罐最大容积达 1100 m³, 食品罐也已推广, 全国有高压气瓶生产厂 10 多家; ③门窗, 年需求量约 3 亿 m², 2003 年玻璃钢门窗市场容量达 20 万 m², 较上年增长 40%; ④拉挤型材, 除门窗使用中空型材外, 推向市场的还有帐篷杆、油田用抽油杆、格栅型材、电工梯、电机槽楔、中型卡车车厢底板、冷却塔支架及填料支架、地铁第 3 轨保护罩、手机通讯天线罩、光纤增强芯、公共汽车空调导风罩、电器灭弧罩、桥梁底面保护罩等; ⑤建筑与环保产品, 组合式水箱最大容积已达 1300 m³, FRP、人造石/玛瑙浴缸、整体卫生间, 风机、空调器、吸收塔、空气过滤器、蜂窝式除尘机组等日趋推广, 玻璃钢粮仓已在东北推广, 连续板材生产线现有 7 条, 玻璃钢桥建成 10 座;

⑥片状模塑料、团状模塑料制品, 年产量已近 6 万 t, 主要产品有组合式水箱板、电表箱、桌椅、高速公路防眩板、卫星接收天线、防爆型灯罩、汽车保险杠、高低压电器零部件等; ⑦车辆与地面设施产品, 包括火车洗手间地板、双层客车壁板和风管, 长途汽车卫生间、吉普硬顶、轿车车身、卡车驾驶室、公路收费站隔离墩等; ⑧船艇产品, 涉及游艇、全封闭救生艇、渔船、气垫船、水翼船等, 其中渔船长度可达 35 m; ⑨风力发电机叶片, 我国风力发电现有装机总容量为 350 000 kW, 仅为印度的 1/3, 预计到 2005 年可达 1 350 000 kW; ⑩运动与游乐器材, 车架自行车早已生产, 钓鱼竿年产能 8 000 万只, 北京、沈阳、厦门、南京已试产玻璃钢轻型飞机。

热塑性玻璃钢的应用也发展较快。按其基体划分, 产品产量自大至小依次为: PA、PP、PBT、ABS、POM、PC。其中采用挤出与注射成型工艺的主要产品有: ①汽车部件, 包括方向盘总成、仪表盘、座椅、保险杠、燃油箱、隔板、蓄电池托架、后座垫板、风扇叶、分线盒、线圈架等; ②机电产品, 包括机壳、叶轮、螺旋桨、齿轮、接线端子、管道、管件、阀门, 以及电子电气和机械零部件等。另外还有用玻纤毡增强热塑性塑料生产的汽车仪表盘、座椅支架、保险杠、吸能器、脚踏板、轿车前端底板衬里、发动机罩; 用玻璃纤维增强 AS 合金取代 PPO 制造的空调器零部件等。

覆铜板是重要的电子产品, 2003 年的产量为 8 500 万 m², 其中酚醛/纸板与环氧/玻璃布板各占一半。环氧/玻璃布板折算成质量约 11 万 t, 虽然在总量上所占份额不多, 但增长较快。

与世界先进水平比, 我国聚合物基复合材料业还有一定差距。业内人士认为, 当前应着重解决废弃物处理与回收、作业环境改进、新产品及新应用领域的开拓、工艺水准的提升、产品科技含量及附加值的提高等问题, 同时积极推进跨行业发展, 重视原辅材料水平的提高。(雄伟)