

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2012.10.012

开槽机筒单螺杆挤出机的对比研究^{*}

贾明印,薛平,金晓明,潘龙

(北京化工大学塑料机械及塑料工程研究所,北京 100029)

摘要: 针对轴向直槽机筒单螺杆挤出机和螺旋沟槽机筒单螺杆挤出机的结构、固体输送机理和优缺点进行了对比分析,并对其比产量和比能耗进行了对比实验研究。结果表明,通过正确的沟槽结构设计,可实现螺旋沟槽机筒单螺杆挤出机固体输送段的正位移输送,螺旋沟槽机筒单螺杆挤出机在比产量、比能耗等挤出性能指标方面均优于轴向直槽机筒单螺杆挤出机。

关键词: 轴向直槽;螺旋沟槽;单螺杆挤出机;开槽机筒

中图分类号: TQ325.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2012)10-0050-04

Comparative Research on Grooved Barrel Single Screw Extruders

Jia Mingyin, Xue Ping, Jin Xiaoming, Pan Long

(Institute of Plastics Machinery and Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: The structure, solids conveying mechanism, advantages and disadvantages of axial grooved barrel single screw extruder and helical grooved barrel single screw extruder were researched and the experiments of specific throughput and specific energy consumption of the two kinds of extruders were made. The results showed that positive displacement conveying of solid conveying section could be made by helical grooved barrel single screw extruder based on optimized groove structure design and the extrusion performance of helical grooved barrel single screw extruder, such as specific throughput and specific energy consumption, was better than that of the axial grooved barrel single screw extruder.

Keywords: axial groove; helical groove; single screw extruders; grooved barrel

挤出成型具有生产效率高、适应性强、用途广等优点,几乎适应于所有高分子材料的加工。而单螺杆挤出机作为聚合物挤出成型加工中最基本的装备之一,一直以来都得到了足够的重视。在单螺杆挤出理论中,固体输送量决定着单螺杆挤出机的产量,且固体输送段消耗的功率比较大,在某些情况下,甚至达到整根螺杆消耗功率的60%左右。因此,单螺杆挤出机固体输送段的性能直接决定了单螺杆挤出机的生产效率和挤出特性。

单螺杆挤出机中应用最多的是光滑机筒,光滑机筒挤出机的固体输送机理为摩擦拖曳输送,其缺点主要包括:(1)对物料性能要求苛刻,难以实现高黏度、低摩擦系数物料的输送和稳定挤出;(2)产量低,固体输送段建压能力差;(3)比能耗大。针对上述缺陷,德国亚琛工业大学塑料加工研究所和BASF的研究人员对如何提高固体输送率进行了一系列研究^[1-2],率先于20世纪70年代提出了基于强制输送的IKV固体输送理论,并设计了相应的IKV挤出机。IKV挤出机是最早的沟槽机筒挤出机,其

典型结构特征在于机筒加料段内壁开设有轴向直槽,通过在机筒加料套内壁开槽将物料输送过程中的动力由物料与机筒间的外摩擦力转化为物料与物料间的内摩擦力,有效增大了固体塞输送的动力,提高了输送效率。随后研究者又发明了机筒开设螺旋沟槽的单螺杆挤出机^[3-4],使单螺杆挤出机的比产量(Q_1')、比能耗(N_1)上升一个新的台阶。

笔者针对轴向直槽机筒单螺杆挤出机和螺旋沟槽机筒单螺杆挤出机的结构特点、固体输送机理和优缺点进行了详细的对比分析,并对其挤出性能进行了对比研究。

1 轴向直槽机筒单螺杆挤出机

1.1 结构特点

固体输送机筒或机筒衬套内壁开设纵向沟槽,纵向沟槽的长度为 $3 \sim 5D$ (D 为螺杆直径),沟槽深度大于颗粒的最大尺寸,数值与螺杆直径有关,

^{*} 中央高校基金项目(53720)

联系人:贾明印,博士,主要从事高分子材料成型与设备研究

收稿日期:2012-08-19

沿纵向在固体输送段末端逐渐减小为零,沟槽数目大约是螺杆直径的 $1/10$,结构示意图如图 1 所示。沟槽横向截面形状一般为三角形、半圆形、矩形、倒梯形、锯齿形,其中以矩形沟槽为主。

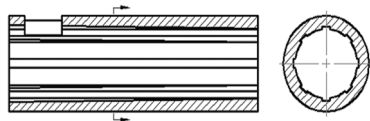


图1 开设轴向直槽的机筒衬套结构示意图

1.2 输送机理

机筒开设轴向直槽,因沟槽深度一般大于固相粒子直径,沟槽螺棱推力小于固相之间的内摩擦力,固相必然在沟槽与螺槽的界面处被剪断,剪断面如图 2 所示。

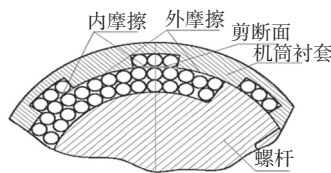


图2 固体输送段机筒开设轴向直槽的输送模型

因此,固体输送段机筒开设直槽的单螺杆挤出机的固体输送机理与光滑机筒挤出机一样,均为摩擦拖曳输送。因固体塞被剪断,沟槽界面处的摩擦力为固相与固相之间内摩擦力,沟槽之间的机筒面为固相与机筒之间的外摩擦力,因此,剪断面处的摩擦力一部分为外摩擦力,一部分为内摩擦力,剪断面类似单螺杆挤出机的机筒面,剪断面的摩擦系数可等效为机筒的摩擦系数。因此,机筒开设轴向直槽的单螺杆挤出机的等效机筒摩擦系数为^[5]:

$$f_z = \frac{f_b(\pi D_b - nb) + f_i nb}{\pi D_b} = f_b + \frac{nb}{\pi D_b}(f_i - f_b) \quad (1)$$

式中: f_z 为机筒等效摩擦系数; n 为机筒衬套开设的沟槽数目; b 为沟槽宽度; D_b 为螺杆外径; f_b 为塑料固相与机筒的摩擦系数; f_i 为塑料固相与固相之间的内摩擦系数。

在摩擦拖曳输送中,输送动力为等效机筒面的摩擦拖曳力,因固相的内摩擦系数约为外摩擦系数的 5 倍^[5],当机筒开设轴向直槽后,机筒的等效摩擦系数可显著提高,因此,输送动力得到加强,输送效率得到提高,这也是机筒开设轴向直槽可提高单螺杆挤出机固体输送效率的根本原因。

1.3 优缺点

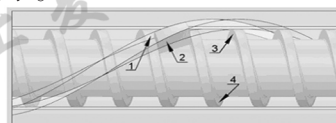
当机筒开设轴向直槽后,机筒等效摩擦系数增加,输送动力增强,由此带来固体输送产量高、建压

能力强、挤出稳定性好等一系列优点。但存在以下缺点:(1)物料在输送过程中受到强烈的剪切作用,导致固体输送段产生大量的摩擦耗散热,固体输送段需要强制冷却,加大了额外的能耗;(2)物料输送中产生的高剪切、高摩擦热,导致对不同加工物料的适应性差;(3)因固体塞内部受到较大的周向剪切,固体输送段压力梯度太大,导致机筒加料衬套磨损大,设备成本增加;(4)虽然产量较大,但挤出机整体的 Q_1' 减小, N_1 加大,不节能。

2 螺旋沟槽机筒单螺杆挤出机

2.1 结构特点

固体输送机筒或机筒衬套内壁开设螺旋沟槽,沟槽螺纹旋向与螺杆螺纹旋向相反。沟槽螺纹升角范围为 $0^\circ < \theta < 90^\circ$,一般情况下取 $30^\circ < \theta < 60^\circ$,沟槽深度小于粒子直径,沟槽宽度大于粒子直径,螺棱较窄,沟槽数目在满足机筒衬套强度的要求下尽量较多,沟槽横向截面形状以矩形沟槽为主。结构示意图如图 3 所示。



1,2—沟槽螺棱推进面及背面; 3,4—螺槽螺棱推进面及背面

图3 固体输送段机筒开设螺旋沟槽的结构示意图

2.2 输送机理

固体输送段机筒开设螺旋沟槽时,因沟槽深度小于粒子直径,固体塞一部分嵌在机筒衬套沟槽内,一部分嵌在螺杆螺槽内,如图 3 所示。当螺杆旋转时,固体塞在机筒衬套沟槽螺棱推进面和螺杆螺棱推进面的共同推动下,类似在相对转动的平行弧板间沿衬套沟槽螺旋角方向运动,只要固体塞不会在沟槽和螺槽界面处发生剪切,固体塞将整体沿沟槽螺旋角方向运动,从而实现正位移输送。

螺旋沟槽机筒的固体输送过程类似剪刀模型,螺杆螺棱推进面和衬套螺棱推进面类似剪刀的两刃,固体塞类似被剪的板,剪刀两刃之夹角 α 与两螺棱推进面的夹角 $180^\circ - (\varphi + \theta)$ 类似(φ 和 θ 分别为螺杆和螺旋沟槽的螺旋升角)。对剪板而言,两刃夹角 α 越大,板则打滑而不能剪断,两刃夹角 α 越小,板则不打滑而容易被剪断。对于固体输送而言,要求两螺棱推进面的夹角 $180^\circ - (\varphi + \theta)$ 大,不使固体塞被剪切而让其打滑;当然,两螺棱推进面的夹角也不是越大越好,太大会影响固体输送流率。

机筒开设螺旋沟槽的核心思想是避免固体塞

发生周向剪切,实现单螺杆挤出机由拖曳输送向正位移输送转变。要想避免固体塞在分界面处被剪断,实现整体固体塞沿沟槽方向正位移输送,则应满足如下边界条件: $\tau \leq p \cdot f_i$,即分界面上的剪切力 τ 小于界面内摩擦力 f_i 。因此,机筒开设螺旋沟槽时,沟槽固相和螺槽固相能否整体实现正位移输送,主要由界面剪切力决定。不同剪断面对应的输送机理如图 4 所示。

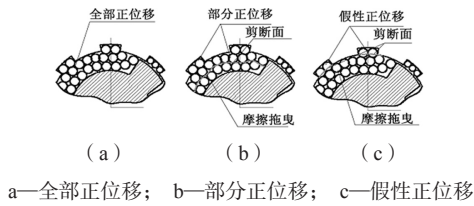


图 4 螺旋沟槽机筒不同剪断面对应的输送机理

若界面剪切力满足边界条件,如图 4a 所示,则沟槽物料与螺槽物料为整体输送,输送机理为正位移输送;若分界面处不满足正位移输送的边界条件,如图 4b 所示,固体塞在界面处发生剪断,则剪断面上层物料将随螺杆运动,是普通的摩擦拖曳输送,输送动力是界面内摩擦力,剪断面上层物料由于结构尺寸限制,只能卡在衬套沟槽和螺杆螺槽内,上层物料必然为正位移输送。此种情况下,剪断面处的界面相当于下层物料的机筒面,因简单面处均是内摩擦力,则下层物料的等效机筒摩擦系数完全为内摩擦系数,输送能力大大增强。总体上,因剪断面上层物料为正位移输送,剪断面上层物料为摩擦拖曳输送,这种情况可称为部分正位移输送。若界面剪切力大于粒子的抗剪强度,则粒子将在沟槽处被剪断,如图 4c 所示,在此情况下,只有沟槽内的物料为正位移输送,沟槽以下均为摩擦拖曳输送,这种输送情形可称为假性正位移,这是较差的结构设计,在实际结构设计中应该避免的。

图 5 为螺旋沟槽机简单螺杆挤出机在固体输送段末端得到的固体塞输送实物图。

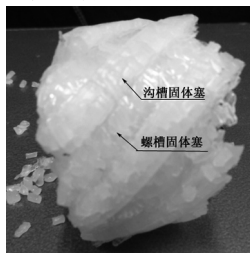


图 5 螺旋沟槽机简单螺杆挤出机的固体塞输送实物图

从图中可以看出,固体塞在输送过程中,沟槽固相和螺槽固相没有发生剪切断裂,

沟槽中的固体塞与螺槽中的固体塞在机筒衬套沟槽推进面推力和螺杆螺槽推进面推力的作用下作为整体沿机筒衬套沟槽螺旋角方向向前输送。这也充分证明,通过合理的结构设计,螺旋沟槽机简单螺杆挤出机固体段可以实现正位移输送。

2.3 优缺点

通过螺旋沟槽机筒的合理设计,可实现单螺杆挤出过程的正位移输送,从而有效克服传统摩擦拖曳输送带来的缺陷,其优点包括:(1)因固体塞不会发生周向剪切,而且沟槽和螺槽均有输送,因此 Q_1' 大, N_1 小;(2)建压能力强,而且压力梯度平缓;(3)挤出稳定性好。

螺旋沟槽机简单螺杆挤出机能够大幅度提高单螺杆挤出机的产量,但是伴随着固体输送产量的大幅提高,后续功能段无法实现高固体输送效率下物料的有效熔融,易造成熔融质量和混炼效果差的缺陷。

3 挤出性能对比

Q_1' 、 N_1 、 P_{w1} (固体输送段的实验能耗)和 m_1 (固体输送段的实验产量)是反映单螺杆挤出机挤出性能的主要评价指标,单螺杆挤出机机筒开设螺旋沟槽和轴向直槽的挤出性能分别如表 1 和表 2 所示。

表 1 螺旋沟槽机筒的挤出性能

$n / \text{r} \cdot \text{min}^{-1}$	螺旋沟槽参数			
	P_{w1} / kW	$m_1 / \text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$	$Q_1' / (\text{kg} / \text{h}) \cdot (\text{r} / \text{min})^{-1}$	$N_1 / \text{kW} \cdot (\text{kg} / \text{h})^{-1}$
10	1.41	6.75	0.68	0.21
20	2.31	13.1	0.66	0.18
30	3.25	16.2	0.54	0.20
40	4.41	23.8	0.60	0.19

表 2 轴向直槽机筒的挤出性能

$n / \text{r} \cdot \text{min}^{-1}$	轴向直槽参数			
	P_{w1} / kW	$m_1 / \text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$	$Q_1' / (\text{kg} / \text{h}) \cdot (\text{r} / \text{min})^{-1}$	$N_1 / \text{kW} \cdot (\text{kg} / \text{h})^{-1}$
10	1.95	5.5	0.55	0.35
20	3.35	11.3	0.56	0.30
30	4.29	14.3	0.48	0.30
40	5.51	20	0.50	0.28

其中,螺杆结构参数为:螺杆直径为 45 mm,螺槽深度为 3.2 mm,螺棱宽度为 4.5 mm,螺杆长度为 261 mm,螺杆仅有固体输送段组成;螺旋沟槽衬套的结构参数为:螺纹升角为 45°,沟槽深度 2 mm,沟槽宽度由 8.5 mm 逐渐过渡为 7.7 mm,螺棱宽度为 5.5 mm,沟槽头数为 8;轴向直槽衬套结构参数为:沟槽深 1.5 mm,沟槽宽度为 8 mm,螺棱宽度为

9.6 mm,沟槽头数8。原料为燕山石化 PE-LD 607,原料粒径为3.0 mm,通过造粒得到粒径为1.0 mm颗粒。为验证机筒开设螺旋沟槽和轴向直槽的单螺杆挤出机的输送机理,在实验中,螺旋沟槽机筒衬套的实验原料粒径为3.0 mm,轴向直槽机筒衬套的实验原料粒径为1.0 mm。

从表1和表2可以看出,相同的螺杆转速下,机筒开设螺旋沟槽的单螺杆挤出机的 Q_1' 均大于轴向直槽机筒挤出机,而 N_1 均小于轴向直槽机筒挤出机,这充分说明机筒开设螺旋沟槽的优势。因为二者沟槽结构不同,输送机理不同,由此带来挤出性能的巨大差异。另外,转速越高,这种性能差距越大。

4 结论

机筒开设轴向直槽的单螺杆挤出机的输送机

日本拟生产塑料电动车,单次充电可驶350公里

由于美国杜邦公司采用了轻质材料和独特的车轮电机系统,其合作伙伴日本SIM Drive公司的电动汽车原型车的行驶里程数得到显著提升:单次充电可行驶350公里,且从0公里加速至96公里只需5.4 s。

杜邦高能聚合物事业部亚太区域总监詹姆斯称该项目显示了尼龙这样的轻质高能材料如何能够把作用发挥到极致,让设计师无需增加金属的量,就能为电动汽车和混合动力车赋予更多的创新可能。

SIM Drive的相关人士表示,他们的目标是,打造出在性能和舒适上不亚于传统汽油驱动汽车的电动汽车。例如,SIM-WIL在加速上不输于中型跑车,车厢内部空间和豪华轿车差不多,但车身尺寸仅相当于微型汽车。

据该公司知情人士介绍,塑料材料对汽车减重的意义重大,具体包括在动力总成,聚碳酸酯窗户和绝缘塑料及其他应用上。该公司希望与塑料产业的合作更加紧密,并表示其研究才刚刚开始。(搜狐网)

迪拜睡眠用品厂商建最先进聚氨酯泡沫工厂

为巩固积极扩张计划,迪拜睡眠用品厂商Intercoil International近日宣布计划在2012年四季度在哈伊马角新建最先进的生产工厂。工厂位于哈伊马角Al Ghail工业区,占地930平方米。项目第一期投资额超过了2千万迪拉姆,新建了最先进的聚氨酯泡沫生产工厂,占地9300平方米。这座工厂将在今年12月投产,据称该工厂使用的是最先进的泡沫生产技术,包括了全自动计算机长数据块处理系统。这些技术很大程度上提高了产能,有助于生产出高质量的聚氨酯泡沫。

哈伊马角的工厂是Intercoil积极扩张计划的一部分,公司还打算在未来的5年内在印度和埃及扩建生产设备。Intercoil还计划每年至少在2个新的国家扩建工厂,目前公司在8个国家都有工厂,产品出口至22个国家。

理仍为摩擦拖曳输送,通过正确的沟槽结构设计,可实现螺旋沟槽机筒单螺杆挤出机的正位移输送。螺旋沟槽机筒单螺杆挤出机在 Q_1' 、 N_1 等挤出性能指标方面均远优于轴向直槽机筒单螺杆挤出机。

参考文献

- [1] Potente H.Methods of calculating grooved extruder feed sections [J].Kunststoffe-German Plastics,1985,75(7):25-26.
- [2] Sikora J W.The effect of the feed section groove taper angle on the performance of a single-screw extruder [J].Polymer Engineering and Science,2001,41(9):1636-1643.
- [3] 潘龙,贾明印,薛平,等.螺旋沟槽单螺杆挤出机双螺棱推动模型的研究[J].中国塑料,2010,24(11):94-99.
- [4] 贾明印,薛平,苗立荣,等.单螺杆挤出机螺旋沟槽固体段产量的实验研究[J].当代化工,2012,41(1):4-6.
- [5] 朱复华.挤出理论及应用[M].北京:中国轻工业出版社,2001.

Intercoil 总经理 Mr.HassanAl Hazeem 对于积极扩张是这样理解的,Intercoil正在逐渐强大,我们正逐渐在海湾合作委员会或是更广阔的领域内获得市场领导地位。随着世界范围内需求的不断增加,提高产能是重中之重。哈伊马角的工厂所执行的标准是可以和美国及欧洲那些跨国企业的标准相媲美的。对新技术的投资使得工厂能够实现节能、减排、空间利用率最大化。(环球聚氨酯网)

东丽开发出聚乳酸比例超过50%生物树脂

日本东丽8月28日发布了由聚乳酸和ABS(丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物)混合而成的植物性树脂的新产品,预定2012年9月上市。

新产品中聚乳酸所占比重从原来的30%提高到了50%~70%。据东丽介绍,日本聚乳酸树脂的产量在2011年约为1000 t,东丽2012年度的销售目标为100 t,2015年度达到1000 t。

东丽通过在聚乳酸中添加ABS提高了材料的强度和耐热性。在以往产品中的聚乳酸质量比例只有30%。东丽此次通过添加相容剂,使植物性树脂中的聚乳酸质量比例从原来的30%提高到了50%~70%。新产品还解决了聚乳酸比例高的树脂难以加工的问题,该开发品与以往产品一样,能够在40~60℃下成型,且成型时间也很短。(中国色母粒网)

杜邦猛攻汽车轻量化

汽车轻量化在节能、降低摩擦以及减少排放等方面效果卓越。据杜邦全球汽车开发与支持中心测算,汽车总质量减轻50千克,就能提升2%的燃油经济性,同时在行驶中每千米降低5克二氧化碳的排放量。

杜邦以其百年材料行业的积淀,研制出比金属零部件降低30%~50%质量及成本的轻量化材料,适合应用于气缸盖、油底盖、涡轮增压系统进气管等动力总成系统。轻量化材质进入量产阶段,将为汽车产业节能减排带来光明的前景。(腾讯网)