

销钉式挤出机的结构特点及挤出机理分析

魏新利

(郑州工业大学化工系)

摘 要: 本文简要介绍了销钉式挤出机的结构特点, 并结合其结构特点重点介绍了销钉式挤出机对胶料的塑化与混炼机理, 挤出量提高的机理以及功耗降低的原因, 同时还介绍了销钉式挤出机设计中的一些问题。

关键词: 销钉 挤出机 机理 设计

中图分类号: TQ 330 · 44

销钉式挤出机是国外七十年代中期开发的新型橡胶挤出机, 它不但具有普通冷喂料挤出机的优点, 而且它的塑化程度和均匀度好、生产能力大、排胶温度低、动力消耗和单位能耗低, 于是很受橡胶厂的欢迎而迅速得到推广应用, 很有完全取代热喂料挤出机的趋势。

1 结构特点

销钉式挤出机的结构特点是, 在机筒上安装 4~16 排、每排 6~12 枚销钉, 销钉穿过机筒朝螺杆中心呈辐射状固定在机筒上。如图 1 所示。由于销钉从机筒壁一直插到接近螺杆的根径, 螺杆上对应于销钉的部位开有环槽, 这样在螺杆转动时, 销钉不会妨碍螺杆的转动。销钉的排数和每排钉的个数及销钉的大小、长短均视挤出机的规格大小和使用要求而定。

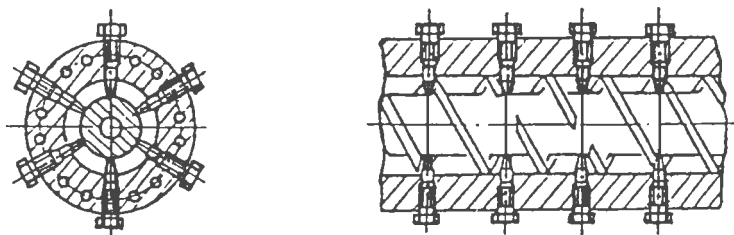


图 1 机筒及销钉位置结构

2 销钉机筒对胶料的塑化与混炼机理

销钉机筒结构不但使其保留通用挤出机螺杆与机筒对胶料的剪切、塑化作用, 而且由于销钉的插入改变了常规挤出机螺槽中胶料的运动状态和剪切生热过程。首先是使胶流在螺槽中突然改变流向, 并被销钉切割分流, 同时流过销钉两侧面的胶料被挤压拉长使其呈扇形面延伸展开, 将胶料翻转出新的表面。在同一截面内如有 8 个销钉, 则胶流同时被分割成 16 股, 然后再汇合, 当进入第二截面的销钉组时, 又被重新分割、重新汇合, 如此反复前进反复分合翻搅地流过所有销钉截面, 显著提高了胶料的塑化程度和塑化均匀性。另外, 常规挤出机处于横流中心的胶料束往往得不到分流搅拌而形成一个混合塑化较差的核心, 如图 2 (a) 的 "A" 所示, 特别是当胶料有硬块时, 这个核心更易形成。在螺纹沟槽中插入销钉后, 就会破坏这个核心。每当核心通过销钉时, 便向销钉左右分流, 螺杆每转一周, 胶料便会受到一排销钉的多次分割与搅拌, 如图 2

(b) 所示，从而强化了捏炼。因而销钉机筒挤出机挤出的质量高、致密性好、光洁性好。

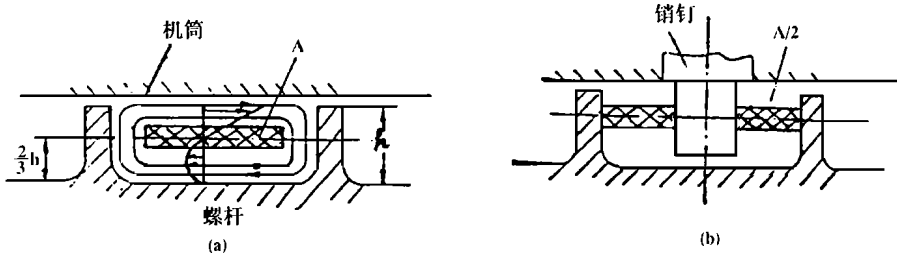


图 2 销钉对胶料的作用原理

3 销钉机筒增大产量的机理

由固体输送理论可知，在挤出机内物料输送流量可用下式表示^[1]：

$$Q = \pi \cdot n \cdot H \cdot D_b (D_b - H) [\operatorname{tg} \Phi \cdot \operatorname{tg} \theta / (\operatorname{tg} \Phi + \operatorname{tg} \theta)] \tag{1}$$

- 式中 Q —容积流量， m^3/S ；
 D_b —机筒内径， m ；
 H —螺纹根部与机筒内表面距离， m ；
 Φ —方向角， $(^\circ)$ ；
 θ —机筒内表面处螺纹升角， $(^\circ)$ ；
 n —螺杆转速， r/min 。

方向角 Φ 通过力和力矩平衡方程式求得，其表达式为：

$$\operatorname{Sin} \Phi = \frac{1 + K^2 - M^2 - KM}{1 + K} \tag{2}$$

其中 $K = \frac{D_s}{D_b} \cdot \frac{\operatorname{Sin} \theta + f_s \operatorname{Cos} \theta}{\operatorname{Cos} \theta - f_s \operatorname{Sin} \theta}$
 $M = \frac{2H}{W_b} \cdot \frac{f_s}{f_b} \cdot \operatorname{Sin} \theta \cdot (K + \frac{D}{D_b \operatorname{ctg} \theta}) + \frac{W_s}{W_b} \cdot \frac{f_s}{f_b} \cdot \operatorname{Sin} \theta \cdot (K + \frac{D_s}{D_b} \operatorname{ctg} \theta) + \frac{W}{W_b} \cdot \frac{H}{Z_b} \cdot f_b \cdot \operatorname{Sin} \theta (K + \frac{D}{D_b \operatorname{ctg} \theta} \ln \frac{p}{p_0}) \tag{3}$

- 式中 D_s —螺杆根径平均直径， m ；
 W_b —机筒内表面处垂直于螺峰的螺纹沟槽宽度， m ；
 W_s —螺杆根径处垂直于螺峰的螺纹沟槽宽度， m ；
 W —垂直于螺峰的螺纹沟槽宽度平均值， m ；
 f_b —胶料与机筒内表面的摩擦系数；
 f_s —胶料与螺杆表面的摩擦系数；
 θ —螺杆根径处螺纹升角， $(^\circ)$ ；
 θ —螺纹升角的平均值 $(^\circ)$ ；
 Z_b —计算段的螺纹长度， m ；
 D —螺杆直径的平均值， m ；
 D_s —螺杆螺纹根部直径， m ；
 p —固定输送段终止处胶料的单位压力， MPa ；
 p_0 —加料口处胶料的单位压力， MPa 。

由式 (1) 可见, 挤出量与螺杆转速成正比。销钉式冷喂料挤出机在挤出过程中, 由于销钉插入到胶料中间, 有利于胶料中热量的导出, 从而大大减小了胶料的热积聚, 因此能在获得均匀塑化效果的同时避免过度的温升, 有利于降低排胶温度, 从而可使螺杆转速适当提高, 因而可提高排胶量。

随着螺纹根部与机筒内表面距离 H 的增加 (即螺纹深度的增加), 挤出量也将提高。由于销钉式挤出机螺杆的螺纹深度比普通冷喂料机要深得多, 所以排胶量将增加。

从式 (1) 还可见, 随着方向角 Φ 的增加, 排胶量也将增加。方向角 Φ 与 K 、 M 系数有关, 见 (2) 式。在螺杆和机筒几何参数一定的情况下, K 、 M 减小, 将使 Φ 增加。由于销钉式挤出机螺杆螺纹比较深, 所以螺杆根径平均值 D_s 较小, 因而 K 较小。另外, 由 (3) 式知, 当机筒内壁与胶料的摩擦系 f_b 增大、螺杆表面与胶料的摩擦系数 f_s 减小时, 可导致 M 值变小, Φ 值增加。为了减小螺杆与胶料的摩擦系数, 常采用减小螺杆粗糙度的办法。为了增大机筒内表面与胶料的摩擦系数, 常在加料段机筒内壁采用沟槽系统或强制温控等方式。而当机筒在加料段装上销钉时, 插入胶料中的销钉犹如“钉耙”一样嵌入物料中, 相当于增大了机筒内壁与胶料的摩擦系数。当螺杆转动时, 胶料则以很大的方向角运动。由于固体输送率的增加, 在加料段内即可建立较高的压力, 有利于物料的推进。就增大机筒内壁对胶料的摩擦阻力而言, 销钉排数越多, 排布越密, “钉耙”作用越明显。但是, 销钉排数越多, 螺杆螺纹的凹槽也越多, 将导致胶料沿凹槽回流量的增加。另外, 销钉过多时, 将减少螺槽的有效容积, 所以销钉排数, 每排销钉的个数及销钉直径大小应适当。

在塑化段机筒上设置销钉, 其作用亦如“钉耙”, 可在一定程度上阻止胶料在机筒内壁的打滑和回流, 从而提高排胶量。

具资料介绍和实测结果, 一般销钉式挤出机比普通式冷喂料挤出机的挤出量可提高 20%~70%。

4 销钉式挤出机功耗降低的原因

在一定假设和简化条件下^[1], 可以导出挤出机螺杆挤出段的功率消耗计算式

$$N = \frac{\pi^2 \cdot D_b^3 \cdot n^2 \cdot \mu \cdot L}{H} + \frac{Q_d \cdot 4p}{\cos^2 \theta} + \frac{\pi \cdot D_b^2 \cdot n^2 \cdot e' \cdot \mu' \cdot L}{\delta_g \theta} \tag{4}$$

- 式中 μ —螺纹沟槽中胶料的粘度, $\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$;
 μ' —间隙中胶料的粘度, $\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$;
 L —螺杆挤出段的长度, m ;
 Q_d —胶料顺流流量, m^3/s ;
 θ —螺纹升角, $(^\circ)$;
 δ —机筒与螺棱的间隙, m ;
 e' —螺棱轴向宽度; m 。

其余符号意义同前。

由 (4) 式可见, 当排胶量一定时, 功耗与螺杆螺纹深度成反比, 由于销钉式挤出机的 H 较大, 故功耗将成比例降低; 由于销钉式挤出机排胶量大, 故在相同排胶量时, 螺杆直径将减小, 因功耗与螺杆直径的三次方和二次方成正比, 故功耗也将大大降低; 另外, 由于销钉式挤出机使得胶料粘度比普通挤出机下降约 50%^[2], 故由 (4) 式可见, 功耗随胶料粘度成正比下降。

另据资料及实测结果也证明这一点^[3]。

德国 Berstorff 公司的广告资料称, 试验口型 (截面 $100 \times 15 = 1500\text{mm}^2$) 的功率消耗为 $0.069 \sim 0.078\text{kwh/kg}$ 。国产销钉挤出机实际挤出结果为: 胎面胶 (口型截面 910mm^2) $0.0674 \sim 0.1072\text{kwh/kg}$, 轮胎钢圈胶 (口型截面为 820mm^2) $0.0731 \sim 0.0941\text{kwh/kg}$, 丁基内胎胶 (口型截面为 768mm^2) $0.0781 \sim 0.0910\text{kwh/kg}$ 。进口日本的普通冷喂料挤出机挤出自行车胎面、内胎和帘布胶的实测消耗为 0.15kwh/kg 左右, 前苏联国家标准规定冷喂料挤出的消耗为 $0.2 \sim 0.3\text{kwh/kg}$ 。由此可见无论是国外的宣传资料, 还是国内的实测结果均证明销钉式冷喂料挤出机具有低能耗的优点。

5 销钉式挤出机设计中的一些问题

销钉式挤出机的设计主要是机筒和螺杆的设计。如销钉在机筒上的安装部位, 沿机筒轴向的排数, 每排的间隔, 每排销钉的个数, 销钉的直径和形状以及与之相配合的螺杆结构形式等。

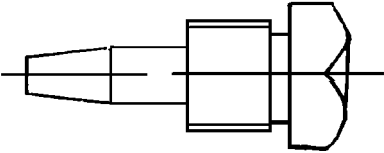


图 3 圆锥形销钉

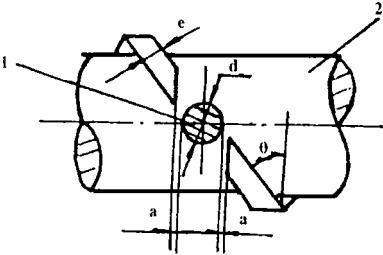


图 4 销钉与螺纹凹槽的相对位置

1. 机筒销机; 2. 螺杆

销钉机筒的结构形式将由挤出机的用途和性能要求决定, 销钉形状多呈圆柱或圆锥形(如图 3), 其直径大小由销钉强度和螺杆螺纹允许的凹槽宽度决定。一般说来, 为了使胶料在螺槽中稳定、匀速流动, 应使每一排销钉在螺槽中所占体积与螺纹凹槽体积大致相等。以图 4 所示矩形螺纹结构为例, 可以导出销钉直径 (圆锥形销钉指平均直径) d 的计算式。

$$d = \frac{zei\beta}{n\tau\sin\theta} \left(1 + \frac{1}{1 + \frac{2an\tau\sin\theta}{\beta_i}} \right)$$

(5)

式中 d —销钉直径, mm;

β — $\beta = \frac{h}{b}$, h 为螺纹深度, b 为销钉插入深度;

n —每排销钉个数;

e —螺棱法向宽度, mm;

i —螺纹头数;

a —销钉与螺纹凹槽的轴向间隙, mm。

由此式得出的销钉直径值还应进行强度校核。由于结构的限制, 每排销钉个数一般为 $6 \sim 12$ 枚, 销钉与螺纹凹槽间隙 a 可由胶料特性而定, 一般为 $2\text{mm} \sim 4\text{mm}$ 左右, 销钉端部与螺杆根部间隙为 $1\text{mm} \sim 2\text{mm}$ 。销钉在机筒上的安装部位、排数及相配合的螺杆结构形式应由挤出机的用途决定, 一般为 $4 \sim 16$ 排。德国生产的冷喂料销钉式挤出机的销钉排数与每排个数见表 1。

表 1 销钉式挤出机的销钉排数与个数

特征 \ 型号	GE90KS GE120KS GE150KS GE200KS GE250KS GE300KS					
	GE90KS	GE120KS	GE150KS	GE200KS	GE250KS	GE300KS
销钉排数	4~8	6~10	8~12	8~16	8~16	8~16
每排销钉个数	6	6	8	8	10	12

螺杆结构形式对胶料的塑化、捏炼起着决定性作用，根据不同的胶料，采用不同结构的螺杆。德国 Berstorff 公司生产的三种典型螺杆如图 5 所示。图 5 (a) 中的螺纹与普通螺杆的螺纹一样，只是在螺杆压缩段的机筒上装有销钉。图 5 (b) 中的螺杆，除了压缩段具有销钉槽外，在喂料段为四头复合螺纹，具有较大的螺纹升角，由大导程的四头浅槽螺旋复加稍小导程的双头深窄螺旋，形成复合结构，增强吃料能力。图 5 (c) 的螺杆，除了具有图 5 (b) 螺杆的特点外，还增加了一段主副螺纹，具有强力的分流、搅拌和剪切作用，分流搅拌靠销钉完成，强力剪切则是靠主副螺纹完成。应用最多的是图 5 (b) 中的 II 型螺杆，约占 80%。

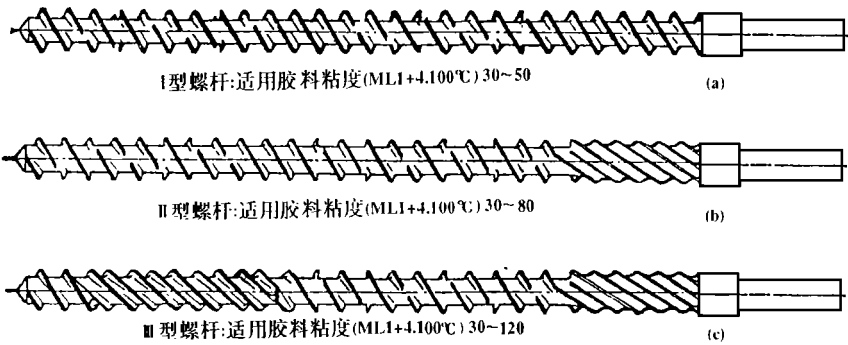


图 5 销钉式挤出机螺杆

销钉在机筒上的安装形式分为固定式与可调式。固定式指销钉在凹槽中的插入深度是一定的；可调式指销钉在凹槽中的插入深度可以根据不同的胶料性能进行调节。但对固定式的销钉也可做成不同长度，来实现不同插入深度的变化。机筒可采用整体式结构或剖分式结构，整体式机筒设计和加工较简单，但螺杆装拆不便。剖分式结构装拆螺杆和销钉方便，但结构复杂，加工精度要求高。为了防止销钉的单向磨损，销钉机筒可做成全对称结构，运行一段时间后，可调头安装，以延长使用寿命。

综上所述，销钉式冷喂料挤出机不但具有普通冷喂料挤出机的优点，而且它的生产能力大，挤出胶料质量高，排胶温度低，单位功耗小，且设计制造难度不太大。因此，销钉式挤出机尽管在国际上才问世二十来年，在国内研究和使用的才十来年来，确得到了比较迅速的发展和推广应用。可以确信，通过设计、制造和用户的共同努力，销钉式冷喂料橡胶挤出机作为新型的橡胶加工通用和专用设备，将对改变和提高橡胶加工装备和工艺水平起到举足轻重的作用。

(下转 78 页)

$$N_3(A, B) = \frac{0.81 \Delta 1}{1 \Delta 1} = 0.81$$
$$N_4(A, B) = \frac{0.81 + 1}{1 + 1} = 0.905$$

参 考 文 献

1 闫家杰, 赵万忠: 模糊数学基础及应用初阶 1993 河南教育出版社

Remark on The Lattice Approximate Degree
Zhao Wanzhong
(Department of mathematice and Dynamics)

Abstract This paper developped definition of latlice approximate degree, So that it ace-
ord completely with axiom of the approximete degree
key words Latlice approximate degree
(上接 56 页)

参 考 文 献

1 杨顺根 白仲元主编. 4橡胶工业手册 16第九分册 2上册 14.化学工业出版社 1992 年19.
2 Gerd Cappelle 著 蔡惠才译 橡胶技术与装备 1989 241421-25
3 阮桂海 橡胶技术与装备 1991 2214.18-23.

The Structure Characteristics and Principle Analysis
about The Pin Barrel Extruder

Wei Xinli
(Zhengzhou university of Technology)

Abstract In this paper a brief introduction to the structure chatacteristics about the
pin barrel extruder is presented. At the same time, the principle of plasticating and mixed
refining for the rubber materials, the principle of raising the output of production and the
cause of reducing exhausted power are discussed in detail. Some structured designing is al-
so investigated.
Keywords pin extruder principle design