

# 熔体泵的齿轮轴设计

肖海雁

(汕头海洋第一聚苯树脂有限公司, 汕头 515041)

**摘要** 针对熔体系设计和制造的关键技术——使主要受力件齿轮轴能在重负荷下长期运行, 提出应选择合理的齿轮形式减小熔体系核心运转部件齿轮组件的轴向力, 并对齿轮轴材料选用和材料的特殊处理及如何改善齿轮轴的受力情况等进行了深入讨论。使用证明, 设计制造的齿轮轴可靠性提高, 可确保熔体系的质量。

**关键词** 熔体系 齿轮轴 轴向力 内应力 摩擦力

熔体泵为外啮合式齿轮泵的一种形式, 最主要的功能是将高温聚合物熔体增压和稳压后, 以稳定流量送入挤出模具。熔体泵的出口熔体压力受入口压力波动的影响极小, 用于连续输送 300℃ 左右的聚合物熔体, 泵出口压力为 4 ~30 MPa。熔体泵的应用已受到工业发达国家的广泛关注, 在近十几年来, 已成为塑料制品加工如造粒、挤板、吹膜、挤管、挤出涂覆、型材挤出和连续吹塑等的常用设备。这些应用几乎涉及所有的热塑性树脂、热塑性弹性体及其它聚合物。国际上许多塑料加工和生产的著名厂商都在熔体泵的应用开发方面领先一步。如美国的杜邦、联合碳化物公司, 德国的 WP、巴马格、赫斯特公司和日本的日本制钢所、神户制钢所等<sup>[1]</sup>。

目前国内熔体泵的制造尚处于起步阶段, 与国外相比还有较大差距。如何使熔体泵的主要受力件齿轮轴能在重负载下长期运行, 则是众多厂家设计和制造的关键技术。通常制作齿轮轴既要考虑耐高温、耐磨、耐疲劳和足够的机械强度, 又要兼顾齿轮轴两端轴颈与滑动轴承不能使用通用的润滑油脂进行润滑。因为通常的油脂会污染熔体, 因此只能使用自身输送的熔体来进行润滑。对于齿轮轴的机械强度设计可参照《机械设计手册》中的轴类零件设计要求, 在此不再赘述。笔者现针对该齿轮轴在设计中的几个特殊问题作一探讨。

## 1 选择轴向力较小的齿轮形式

熔体泵的核心运动部件为齿轮组件, 齿轮的旋转和啮合一方面可以挤压齿间的熔体, 使物料从一端输送到另一端, 另一方面齿轮的啮合能封闭低压腔, 有利于提高输出压力。

熔体泵的齿轮组件有直齿轮、斜齿轮和人字形齿轮等多种形式。直齿轮和斜齿轮的制造较容易, 但直齿轮的自洁性差, 而且在较高转速时会产生压

力波动; 而斜齿轮虽然克服了自洁性差和压力波动的问题, 但在工作时不可避免地会产生较大的轴向力, 该力既加剧了齿轮轴与滑动轴承的磨损, 又会导致齿侧间隙熔体的严重剪切, 影响最终塑料制品的质量。为了使熔体泵在重负载的工况下轴向力平衡、运行平稳, 最佳结构的齿轮是人字形齿轮。

目前加工一件人字形齿轮组件的通常做法是分别加工二个斜齿轮及一条齿轮轴, 加工后利用齿轮轮毂与齿轮轴的过盈静配合将二个斜齿轮同时加热至 300℃ 后装入到齿轮轴颈的特定位置, 利用齿轮的热收缩联接成一件人字形齿轮组件。其结构型式如图 1 所示。

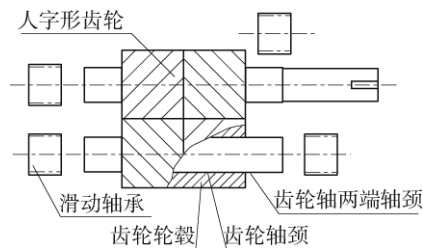


图 1 人字形齿轮组件和滑动轴承结构图

## 2 齿轮轴的材质和处理

所选择的齿轮轴材质除了应满足熔体泵输送的物料产生的载荷外, 还应考虑该泵在 300℃ 高温下连续工作, 理想的材料为经调质热处理的 38CrMoAl 锻钢, 为了改善齿轮轴的耐磨及耐疲劳性, 提高其可靠性, 机加工后还应经盐浴氮化表面处理<sup>[2]</sup>。

## 3 齿轮轴颈的内应力

选择合适的齿轮轴轴颈与二个斜齿轮(组合后称为人字形齿轮) 轮毂间相互静配合的过盈量是减小齿轮轴颈内应力的关键。由使用经验得知, 若过盈量不够, 泵在运行时会产生齿轮轴与人字形齿轮

之间的轴向串动故障;若过盈量太大,则会造成齿轮轮齿与齿轮轴的配合轴颈间的结合面产生过大的内应力,导致受力表面产生裂纹及裂纹扩张,影响齿轮轴的寿命。

为了求得人字形齿轮包容件与被包容件之间的最佳配合过盈量,下面以驱动电机功率为 22.4 kW,齿轮轴轴颈为 100 mm 为例,采用《机械设计手册》中的“静配合联接设计与计算”对其进行设计<sup>[13]</sup>。

(1) 最小计算过盈量

$$\delta_{in} = 2p d d_2^2 \times 10^4 / E \cdot (d_2^2 - d^2) = 31(\mu m)$$

式中:  $\delta_{in}$ ——最小计算过盈量,  $\mu m$ ;

$p$ ——配合面压力, MPa;

$d$ ——配合面公称直径, cm;

$d_2$ ——包容件外径, cm;

$E$ ——包容件或被包容件(材料相同)的弹性模量, MPa。

(2) 最小配合过盈量

$$\delta_{min} = \delta_{in} + 1.2(R_{21} + R_{22}) \approx 50(\mu m)$$

式中:  $\delta_{min}$ ——最小配合过盈量,  $\mu m$ ;

$R_{21}$ ——被包容件外表面不平度的平均高度,  $\mu m$ ;

$R_{22}$ ——包容件内表面不平度的平均高度,  $\mu m$ 。

(3) 最大计算过盈量

$$\delta_{max} = \delta_{in} - 1.2(R_{21} - R_{22}) \approx 80(\mu m)$$

式中:  $\delta_{max}$ ——最大计算过盈量,  $\mu m$ ;

$\delta_{max}$ ——按被包容件外径的最大值减去包容件内径的最小值确定的最大配合过盈量,  $\mu m$ 。

(4) 压力校核

$$p_{max} = \delta_{max} E (d_2^2 - d^2) \times 10^4 / 2d \cdot d_2 = 57.2 \text{ MPa}$$

式中:  $p_{max}$ ——最大计算过盈量下的配合面压力, MPa。

$p_{max}$ 是在最大过盈量  $\delta_{max}$  为 80  $\mu m$  的情况下求得,该值小于包容件和被包容件材料的屈服强度,因此过盈量为 50 ~80  $\mu m$  是在满足传递扭矩的情况下,齿轮轴内应力较小时的过盈量数值。

经使用验证,按包容件加工后得到的实测孔径选配被包容件过盈量,采用过盈量 50 ~70  $\mu m$  既能使齿轮轴在低应力状态下工作,又能使齿轮轴在传递驱动电机功率为 22.4 kW 时不产生轴向串动或相对转动,而且齿轮轴外径公差  $\pm 10 \mu m$  为经济加

工精度,可以节省加工成本。

4 齿轮轴两端轴颈的摩擦力

齿轮轴两端轴颈的摩擦阻力是由齿轮轴两端轴颈与各自的滑动轴承相对运行产生的,齿轮轴两端轴颈与滑动轴承的型式见图 1。若齿轮轴两端轴颈与滑动轴承的配合偏紧,则会引起齿轮轴润滑不良,从而产生过大的摩擦力,导致滑动轴承寿命缩短和因齿轮轴受力过大而断裂;反之,若两者的配合偏松,滑动轴承的寿命也很短,轴承的破坏会增大齿轮轴的摩擦力。这是因为熔体泵以所输送的塑料介质为润滑剂来润滑齿轮轴两端轴颈与滑动轴承相互转动,塑料在溶化状态下具有一定的粘度及良好的润滑性,而滑动轴承和齿轮轴两端轴颈的寿命取决于熔融塑料形成的动润滑膜好坏,该润滑膜起到支承齿轮上的静载荷及动载荷的作用,从而减小齿轮轴的摩擦力。

熔体泵在一定的润滑介质、传递扭矩和轴转速的条件下,齿轮轴两端轴颈与各自的滑动轴承的配合间隙(以下简称配合间隙)的大小直接影响着润滑油膜形成的状况,由于齿轮轴的摩擦力大小和运行寿命长短也随着润滑膜的状况变化而变化,因此配合间隙值与齿轮轴的摩擦力和运行寿命有一定的关系。

为了寻找熔体泵最小摩擦力时的配合间隙,首先通过在一定的润滑介质、传递扭矩和轴转速条件下选择不同配合间隙进行驱动机电流值测试;另外,通过选择不同配合间隙在相同运行状态下进行运行寿命试验,结果见图 2 和图 3。

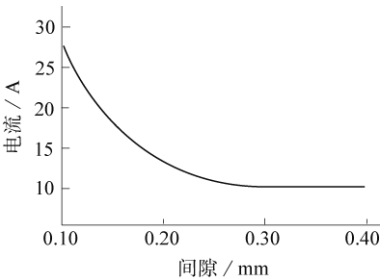


图 2 配合间隙与驱动电机电流值的散布图

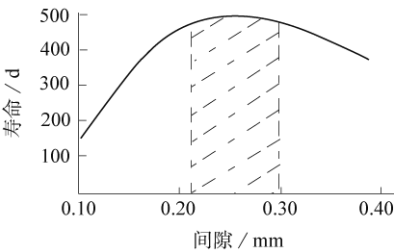


图 3 配合间隙与滑动轴承运行寿命散布图

由图2可见,当配合间隙小于0.25 mm时,其驱动电机的电流随配合间隙的增大而明显减小;当配合间隙超过0.25 mm后,配合间隙变化对电机电流的影响不大。而在相同载荷下,驱动电机电流是由摩擦载荷、动载荷和静载荷三者引起的,在动载荷和静载荷不变的情况下,摩擦力所产生的摩擦载荷大小直接影响着驱动电机电流的变化,因此,当配合间隙大于0.25 mm时齿轮轴的摩擦力变化在较小范围,而且摩擦力较小。

由图3可见,当配合间隙为0.21~0.30 mm时轴承的运行寿命最佳。

从图2、图3可知,配合间隙为0.25~0.30 mm

时,不但齿轮轴的运行寿命较长,而且其摩擦力较小。

## 5 结语

经使用验证,采用经特殊处理的38CrMoAl制作的齿轮轴,选择合适的齿轮轴颈与轮毂间相互静配合的过盈量和配合公差,制造的人字形齿轮组件的可靠性大大提高,可确保熔体泵的质量。

## 参考文献

- 1 李庆春,鲁春萌.熔体泵的特性及其在聚合物加工中的应用.塑料,2000,6(8):50
- 2 徐灏.机械设计手册.北京:机械工业出版社,1991.3
- 3 联合编写组.机械设计手册.第二版.北京:化学工业出版社,1987.722

## DESIGN OF THE GEAR SHAFT OF THE GEAR PUMP FOR MELT

Xiao Haiyan

(Shantou SOE First Polystyrene Resin Co. Ltd., Shantou 515041, China)

**ABSTRACT** Aiming at the key technology of design and manufacture of the gear pump for melt—making the main stress part, the gear shaft, work in a long period under a heavy load, it is put forward that a reasonable type of gear should be chosen in order to reduce the axial force of the gear module, the core rotating part of the gear pump for melt. The material choice and application of the gear shaft, the special treatment of the material and how to change the stress of the gear shaft are also discussed. The application proved that the reliability of the gear shaft designed and manufactured was increased and the quality of the gear pump for melt was ensured.

**KEYWORDS** gear pump for melt, gear shaft, axial force, internal stress, frictional force

# 南京沪江复合材料有限公司

隆重推出

## ——特大型铝塑复合真空包装袋

我公司生产特大型铝塑复合真空包装袋,适合于硅烷交联聚乙烯、尼龙、PBT等化工原料及医药、食品饮料、高纯金属、金属粉末、精密机械、电子原器件等产品的真空包装或一般包装用,具有防潮、避光、保质期长、强度高、美观等优点。

产品规格为三层复合(BOPET/Al/LLDPE)或四层复合(BOPET/Al/BOPA/LLDPE),尺寸、厚度、容量按用户要求制作,可耐高温,可套色彩印。

本公司产品质量优、价格低、品种全、交货快、服务好,畅销全国各地。产品深受用户信赖。

## 欢迎前来考察,光临指导!

地址:南京市江宁区东山镇  
电话:025-2194141(兼传真)

邮编:211100  
13809007334

联系人:章育骏 秦文萍