

注塑机机筒加热功率的设计

张友根

(宁波海航塑料机械制造有限公司, 宁波 315801)

摘要 论述注塑机机筒加热功率的作用和原理, 提出了加热效率的计算模型, 对加热功率的设计提出了新的理念, 并举例说明了其设计过程。同时对加热圈的结构形式、加热功率与螺杆特性之间的关系进行了探讨, 提出了机筒加热功率不够的解决方法。

关键词 注塑机 机筒 加热功率 设计

注塑机机筒的加热主要有熔化冷料和辅助塑化两个功能, 其加热功率是注塑机的一项重要的技术参数, 直接关系到塑化质量、塑化能力和能耗。但注塑机机筒加热功率的设计还没有引起设计人员足够的重视, 而且传统的设计方法与设计思路也有缺陷。参考资料上推荐的注塑机机筒加热功率设计原则一般是: 首先根据机械强度确定机筒外径, 然后根据其表面积按 $3.0 \sim 3.5 \text{ W/cm}^2$ 原则配制加热功率, 或者根据机筒螺杆重及其热性能来配制加热功率。为降低成本, 在设计中往往把机筒外径尽量减小, 这样可降低配制的加热功率。用户在实际使用特别是原料为塑化焓值高的塑料时发现塑化加热功率不够, 影响了塑化质量并降低了生产效率。笔者在对国内外的一些注塑机机筒加热功率进行比较的基础上, 对其设计方法进行了研究, 现提出新的设计注塑机机筒加热功率理念。

1 机筒加热功率设计的思路

设计机筒的加热功率, 首先要了解塑化的原理和塑化能量平衡的原理。塑化就是对塑料原料施加热能使之达到熔化的注射状态, 这个过程需要吸收大量的热能, 所需热能根据塑化原料本身的特性而定, 每种塑料塑化所需的热能差异很大。塑化所需热能一部分来自螺杆剪切和原料与机筒内壁摩擦生成的热能, 另一部分也是主要部分来自机筒加热提供的热能。在塑化过程中, 有一部分热能损耗掉, 同时得到加热提供的热能补偿, 机筒加热功率只有保持恒定的塑化温度才能达到保证塑化质量和熔体流动的要求。设计的机筒加热功率必须适合常用塑料塑化需要的热能, 并使之有一定的余量。纵观工业发达国家制造的注塑机与国内制造的注塑机, 就两者同一螺杆直径的机筒加热功率而言, 前者比后者高 60% ~ 70%, 这里涉及到如何设计加热功率。一般是先设计机筒外径, 然后根据其表面积按 $3.0 \sim$

3.5 W/cm^2 来确定加热圈功率, 而对塑料塑化能力所需要的能量, 基本上不予研究。对此, 必须要充分认识到, 根据机筒表面积按 $3.0 \sim 3.5 \text{ W/cm}^2$ 配制加热功率是基于普通材质制造的加热圈设计功率寿命所容许热容量设计的极限, 而不是指对塑化能力所需热能配制的设计值。笔者认为, 设计机筒加热功率的出发思路是应把加热功率与塑化能力、塑料的热性能直接联系起来, 加热功率应满足塑化能力所需热能的要求, 机筒外径首先要满足加热功率设计的要求, 即应根据塑化能力所需加热功率来设计机筒外径。长期以来, 把注塑机机筒加热功率的设计单纯与机筒表面积直接联系一起是设计中的误导, 必须加以纠正。

2 塑化加热功率设计

2.1 设计原则

根据塑化能量平衡的原理, 塑化能量平衡可用式(1)~式(4)近似表示^[1~3]:

$$N_Q = N_T - N_J - N_P \quad (1)$$

式中: N_Q ——塑化加热功率, kW;

N_T ——塑料熔融所需热能, kW;

N_J ——油马达对螺杆施加的机械功率, kW;

N_P ——塑化背压施加的机械功率, kW。

$$N_T = E_T \cdot G_s \quad (2)$$

式中: E_T ——熔融焓, J/g;

G_s ——塑化能力, g/s。

$$N_J = M_J \cdot n \cdot \eta / 9550 \quad (3)$$

式中: M_J ——油马达塑化扭矩, N·m;

η ——油马达效率, 径向柱塞低速高扭矩油马达效率一般取 0.88;

n ——塑化转速, r/min。

$$N_P = G_s \cdot \Delta P \cdot t_s / K \quad (4)$$

式中: P ——塑化背压, MPa;

K ——功率换算系数, 为 $10\,300\text{ cm} \cdot \text{kWh/kg}$;

t_s ——塑化时间, h。

2.2 塑化加热功率的确定

塑化加热功率的确定是设计机筒加热圈功率的前提。确定塑化加热功率, 要以具有代表性的塑料为对象以适应加工的范围。笔者认为应选择焓值高的塑料, 因为焓值高的塑料在塑化时所需热能大。高密度聚乙烯 (HDPE) 焓值高, 作为确定塑化加热功率设计的对象具有代表性。根据对塑化加热功率设计的思路, 用同一台注塑机塑化聚苯乙烯 (PS) 及 HDPE, 比较所需塑化加热功率, 以说明塑化加热功率对象的设计。举例如下:

以一台 $2\,500\text{ kN}$ 合模力的注塑机为例, 螺杆直径 60 mm , 转速 180 r/min , 油马达排量 0.6 L/r 。塑化 PS 的能力为 45 g/s , 塑化压力 5 MPa , 塑化背压 0.5 MPa , 塑化时间 14.2 s , PS 的熔融焓为 270 J/g 。塑化 HDPE 的能力为 35 g/s , 塑化压力 12 MPa , 塑化背压 1 MPa , 塑化时间 15 s , HDPE 的熔融焓为 800 J/g 。

2.2.1 塑化 PS 加热功率

PS 在塑化能力下熔融所需热能为:

$$N_T = 270 \times 45 = 12.15\text{ (kW)}$$

油马达塑化扭矩可用式 (5) 表示:

$$M_J = 10^3 q \cdot p / 2\pi \quad (5)$$

式中: q ——油马达排量, L/r;

p ——塑化压力, Pa。

则油马达塑化扭矩为:

$$M_J = 0.6 \times 10^3 \times 5 / 2\pi = 477.5\text{ (N} \cdot \text{m)}$$

油马达对螺杆施加的机械功率为:

$$N_J = 477.5 \times 180 \times 0.88 / 9\,550 = 7.92\text{ (kW)}$$

塑化背压施加的机械功率为:

$$N_P = 45 \times 0.5 \times 9.81 \times 0.004 / 10\,300 \approx 0$$

机械功率提供给塑料的熔融焓为:

$$N_J / G_s = 7.92 \times 10^3 / 45 = 176\text{ (J/g)} < E_T$$

这一结果说明一部分塑化热能需要由加热圈提供, 即加热圈须提供功率为:

$$N_Q = 12.15 - 7.92 - 0 = 4.23\text{ (kW)}$$

2.2.2 塑化 HDPE 加热功率

HDPE 在塑化能力下熔融所需热能为:

$$N_T = 800 \times 35 = 28\text{ (kW)}$$

油马达塑化扭矩为:

$$M_J = 0.6 \times 10^3 \times 12 / 2\pi = 1\,146\text{ (N} \cdot \text{m)}$$

油马达对螺杆施加的机械功率为:

$$N_J = 1146 \times 180 \times 0.88 / 9\,550 = 19\text{ (kW)}$$

塑化背压施加的机械功率为:

$$N_P = 35 \times 1 \times 9.81 \times 0.004 / 10\,300 \approx 0$$

机械功率提供给塑料的熔融焓为:

$$N_J / G_s = 19 \times 10^3 / 35 = 543\text{ (J/g)} < E_T$$

这一结果说明一部分塑化热能需要由加热圈提供, 加热圈须提供功率为:

$$N_Q = 28 - 19 - 0 = 9\text{ (kW)}$$

根据上述两个塑化加热功率的比较可以看出, 塑化 HDPE 所需的热能显著高于塑化 PS 所需的热能。HDPE 是一种粘度大、结晶度高、分子取向性强的塑料, 焓值在常用注射料中为最大, 即在塑化过程中需要的热能最多, 选择其作为确定塑化加热功率设计的对象, 具有代表性。

3 加热圈加热功率设计

根据加热圈的形式、制造质量及对其所用的绝热结构等, 加热圈设计功率应根据实际加热效率进行修正。加热圈加热功率按式 (6) 设计:

$$N_{QQ} = N_Q / \eta_Q \quad (6)$$

式中: N_{QQ} ——加热圈设计功率, kW;

N_Q ——有效加热功率, kW;

η_Q ——加热效率。

加热圈结构形式不同, 其加热效率差异很大, 而且对加热效率难以给定一个值, 只能大致确定一个范围。塑化加热功率确定之后, 确定加热效率是设计加热圈功率的关键。

3.1 加热效率计算模型

计算模型: 冷料熔融, 此时仅加热圈提供的功率起作用, 没有机械功施加能量。加热圈提供的功率一部分提供给机筒、螺杆及冷料熔融, 这一部分为有用功率; 另一部分为损耗掉的无用功率。

钢的导热率是塑料导热率的约 360 倍, 所以在塑料冷料熔融过程中, 可以看作机筒与塑料同时达到设定熔融温度。机筒首先快速吸收加热圈的传导热, 塑料层吸收机筒的传导热, 螺杆吸收塑料层的传导热。机筒内壁与塑料层之间、塑料层与螺杆之间可视作密闭状态, 假设机筒的传导热完全被熔融塑料和加热螺杆所吸收, 加热效率仅反映在加热圈加热能量与被机筒吸收热能量的关系。有用功率与加热圈提供的总功率之比即为加热圈的加热效率。

3.2 冷料熔融所需热能 N_H

以 2.2.1 为例, 计算机筒内冷料熔融所需热能

N_H 。螺杆计量段槽深 4.5 mm, 计量段长 300 mm, 压缩段长 240 mm, 压缩比 2.5, 机筒内存有 PS 冷料, 螺杆注射到底, 熔融温度与外部环境温差 216℃, 加热圈加热至 PS 熔融时间 30 min。

对于熔体环的稳定状态条件, 单位时间热流量 Q_H 由 Fourire 定律可得^[1]:

$$Q_H = k(T_1 - T_2) A / t \tag{7}$$

式中: Q_H ——单位时间热流量, J/s;
 T_1 ——塑料环外表面温度, ℃;
 T_2 ——塑料环内表面温度, ℃;
 k ——塑料环导热系数, W/(m·K), PS 导热系数为 0.126 W/(m·K);
 t ——塑料环厚度, cm;
 A ——加热机筒内部与需熔融塑料接触部分的表面积, cm²。

$$A = \pi \cdot D_s \cdot l \tag{8}$$

式中: D_s ——加热机筒内径, cm;
 l ——加热机筒内部与需熔化塑料接触部分的长度, cm。

$$A = \pi \times 6 \times (30 + 24) = 1018 \text{ (cm}^2\text{)}$$
$$Q_H = 0.126 \times 216 \times 1018 \times 10^{-2} / 0.45 = 615.69 \text{ (W)}$$

熔融速率 G_H 可表示为:

$$G_H = Q_H / Q_p \tag{9}$$

式中: Q_p ——热容量, J/g, PS 热容量为 273 J/g;
 $G_H = 615.69 / 273 = 2.255 \text{ (g/s)}。$

冷料熔融所需热能 N_H 为:

$$N_H = G_H \times E_T = 2.255 \times 270 = 0.608 \text{ (kW)}$$

3.3 加热机筒所需热能 N_T

加热圈首先对机筒进行加热。2.2.1 例中, 机筒加热圈总功率为 12 kW, 需加热的机筒重 100 kg, 机筒材料的比热容为 0.432 kJ/(kg·K)。加热机筒所需热能 N_T 可表示为:

$$N_T = G_T \cdot C_{TP} (T_1 - T_2) / (3600 t_T) \tag{10}$$

式中: C_{TP} ——机筒材料的比热容, kJ/(kg·K);
 G_T ——需加热的机筒重, kg;
 t_T ——加热至设定温度时间, h。

根据以上条件可计算所需热能:

$$N_T = 100 \times 0.432 \times 216 / (3600 \times 0.5) = 5.184 \text{ (kW)}$$

3.4 加热螺杆能耗 N_L

加热螺杆可视作在密闭环境中, 没有能量损失。加热螺杆能耗 N_L 可表示为:

$$N_L = G_L \cdot C_{TP} \cdot (T_1 - T_2) / (3600 t_T) \tag{11}$$

式中: G_L ——被加热螺杆重, 2.2.1 中 $G_L = 14 \text{ (kg)}。$

$$N_L = 14 \times 0.432 \times 216 / (3600 \times 0.5) = 0.726 \text{ (kW)}$$

3.5 冷料熔融总能耗 N_Z

$$N_Z = 0.608 + 5.184 + 0.726 = 6.518 \text{ (kW)}$$

3.6 加热效率 η

$$\eta = 6.518 / 12 = 0.54$$

加热效率与加热圈的形式、制造精度、加热圈与机筒接触是否良好等因素有关, 一般取 0.5 ~0.6。

3.7 加热圈功率设计

根据 3.6 的原则, 2.2.1 中塑化 PS 的加热圈设计功率 N_{QQ} (加热效率取 0.54) 为:

$$N_{QQ} = 4.23 / 0.54 = 7.83 \text{ (kW)}$$

2.2.2 中塑化 HDPE 的加热圈设计功率 N_{QQ} (加热效率取 0.54) 为:

$$N_{QQ} = 9 / 0.54 = 16.67 \text{ (kW)}$$

综上所述, 合模力 2500 kN、螺杆直径 60 mm 的机筒加热圈加热功率设计值为 20 kW 较为适当。

国内一般螺杆直径 60 mm 的机筒加热功率为 12 kW, 该功率对塑化的塑料范围和塑化的能力有一定的限制。例如, 一些用户成型 PP 制品, 感到国产注塑机配置的机筒加热功率不够, 不得不使用热容量大的加热功率高的陶瓷加热圈, 或者在加工过程中降低塑化转速, 即延迟塑料的塑化时间以达到塑化所需的热量。表 1 列出有关公司配制的螺杆直径 60 mm 的机筒所标示的加热功率及塑化 PS 的能力[塑化能力未实测, 仅作参考]。

表 1 有关公司螺杆直径 60 mm 的机筒加热功率及塑化能力比较

制造公司	机筒加热功率/kW	塑化能力 /g · s ⁻¹
ENGEL	21	46
HPM	17	40
DEMAG	23	46
TOSHIBA	20	44
SANDRITTO	23	

4 加热圈结构形式

加热圈结构形式对加热能耗的影响很大, 不同的加热圈结构形式具有不同的加热效率。设计的加热圈加热功率必须与其结构形式相匹配才能取得预期的效果。注塑机能耗主要是塑化能耗, 对于油马达直接驱动螺杆塑化的注塑机来说, 塑化能耗约占整机能耗的 70%, 而其中加热能耗占塑化能耗的 20% ~30%, 所以提高加热效率对降低整机能耗是至关重要的一环, 并且能够相对地降低加热圈热容量。制造厂家样本上标示的加热功率仅是加热圈名义加热功率, 并不表示实质上提供给塑化所消耗的

热能。工业发达国家对其制造的注塑机节能很重视,早在 20 世纪 80 年代初就应用了加热效率高、热容量大、使用寿命长的外表面设有绝热装置的陶瓷加热圈,虽然这些加热圈的配制功率大,但由于设置了绝热装置,所以注塑机实际上消耗的能量却比国内制造的同规格注塑机的能耗要低得多。有的用户认为,机筒加热功率装载功率大,塑化能耗就大,这实际上是对机筒加热功率的作用认识不足,机筒加热功率装载功率大,说明塑化的范围广,而对能耗基本上没有影响。许多企业目前仍在使用加热效率低、使用寿命低的不锈钢皮加热圈,对曾经推广的加热效率较高且使用寿命较长的铸铝加热圈的应用越来越少,设置加热圈绝热装置的也越来越少,热能大量散发,不但降低了加热效率、增加了能耗,而且缩小了塑化的加工范围,恶化了工作环境。因此应当大力推广应用高效节能型加热圈结构装置,为国家节约能源,为用户降低成本,为工人改善工作环境。

5 对机筒加热功率不够的解决方法

5.1 增大机筒表面积

采用不锈钢皮云母电热丝制造的加热圈及铸铝电热丝制造的加热圈,因受到此种加热圈设计热容量为 $3.0 \sim 3.5 \text{ W/cm}^2$ 的限制,可增加机筒表面积,以增大机筒加热功率。

5.2 采用热容量大的加热圈

如受到机筒表面积的限制,可采用热容量大的加热圈,如陶瓷电热丝制造的加热圈的设计热容量为 $6.0 \sim 6.5 \text{ W/cm}^2$,氧化铝电热丝制造的加热圈的设计热容量为 $9 \sim 10 \text{ W/cm}^2$ 。

6 机筒加热功率与螺杆特性之间的关系

由式(1)可知,塑化热能主要来自机筒加热和

螺杆剪切提供的热能,但是这两者的热能作用既互相联系而又有区别,各自的功能不能互相取代。机筒加热功率足够,并不完全能对所有的塑料达到塑化质量的要求,这其中还有一个塑料塑化所需提供的机械能即螺杆剪切提供的剪切热。各种塑料因其性能不同塑化所需剪切热也不同,剪切热不能由机筒加热所代替,其大小由螺杆的特性所决定,例如,塑化 PP,即使机筒加热提供足够的热量,如螺杆的性能不良,也达不到良好的塑化效果,往往会出现与机筒内壁接触的部分塑料被完全塑化熔融,而与螺杆底径接触的部分塑料没有被完全塑化熔融,里外层温差大,外层的塑料被注射,里层的塑料沉积于螺杆头部而成为团状,导致塑化量越来越少,以致于到最后不能在高的转速下达到塑化量。所以要达到良好的塑化效果,螺杆必须具备良好的剪切热特性。

7 结论

(1) 注塑机机筒加热功率的设计必须建立在塑料塑化所需热能基础上,而不是根据机械强度设计的机筒表面积。

(2) 注塑机机筒加热功率设计必须充分考虑到适应面及提高加热效率。

(3) 注塑机机筒加热圈的结构形式对加热能耗的影响很大,应推广应用高效节能型加热圈结构装置。

参考文献

- 1 Glanvill A B. The Plastics Engineer's Data Book. Beijing: China Light Industry Press, 1983.
- 2 成都科技大学. 塑料成型工艺学. 北京: 中国轻工业出版社, 1993.
- 3 龚浏澄. 塑料成型加工实用手册. 北京: 北京科学技术出版社, 1990.

DESIGN FOR CYLINDER HEATING CAPACITY OF INJECTION MOLDING MACHINE

Zhang Yougen

(Ningbo Haihang Plastic Machinery Manufacture Co. Ltd., Ningbo 315801, China)

ABSTRACT The functions and principles of cylinder heating capacity of injection molding machine are reviewed, the model for calculating heating efficiency is put forward, the new theory for heating capacity design is endowed, and the design process is reviewed with example. At the same time, the structure form of heating ring, and relation between heating capacity and screw characteristic are discussed. The method to increase heating capacity is mentioned.

KEYWORDS injection molding machine, cylinder, heating capacity, design

新型塑机清洁剂高效节能

在 2004 中国国际橡塑展上,日本旭化成公司展示了其新开发的称为爱塑洁(ASACLEAN)的塑料成型机械(注塑机和挤出机)专用的强力去污清洁剂,获得第 22 届塑料大奖。

如用新料及碎口料清洗料管,效果不充分,残留物分解沉积,逐渐碳化,会造成黑兰和制品缺陷。使用该清洁剂可节省频繁地更换颜色及材料时所浪费的资源及时间。此外,在防止成型机内的污染,清除积碳等方面也能发挥作用。(钱松)