

注塑成型模腔数量的择优确定

刘彦国,严慧萍

(兰州工业高等专科学校,甘肃兰州 730050)

摘要:模腔数量的确定是注塑模具设计过程中非常重要的一个环节,通过对影响模腔数量的各种因素进行综合分析,归纳出计算模腔数量的各种方法,并提出优化模腔数量的原则,以供模具设计人员参考。

关键词:注塑成型;模腔数量;择优确定

中图分类号: TQ302.66⁺2

The Optimized Determination on Cavity Quantity of Injection Molding

Liu Yanguo, Yan Huiping

(Lanzhou Higher Polytechnical College, Lanzhou 730050, China)

Abstract: The cavity quantity determination is a very important step in mold design. All kinds of method of calculating cavity quantity are cited through analyzing all facts influencing the cavity quantity totally in this paper, and the principle of optimized cavity quantity is put out, so that it can give some reference for the designers on mold.

Key words: injection molding; cavity quantity; optimized determination

注塑成型模腔数量的确定是注塑模具结构设计的重要环节,模腔数量的确定受诸多因素的约束,合理确定模腔数量是保证塑件质量、降低生产成本、充分发挥设备生产潜力的前提条件。

1 影响模腔数量的因素

1.1 与设备有关的因素

(1) 注塑机的最大注塑量

注塑机理论注塑量是指在对空注塑的条件下,注塑螺杆或柱塞作一次最大注塑行程时,注塑装置所能达到的最大注塑量^[1]。注塑机实际额定注塑量与理论注塑量有一定的差异,注塑成型实际额定注塑量主要取决于理论注塑量,另外还与塑料密度、压缩比、膨胀率有一定的关系^[2]。注塑机实际额定注塑量必须大于注塑成型塑件所需的总注塑量,否则就会造成制品的形状不完整、内部组织疏松或制

品强度下降等缺陷;但不宜过大,否则注塑机利用率偏低,浪费电能,且塑料长时间处于粘流态可导致塑料分解和变质。

(2) 注塑机的塑化能力

塑料从固态颗粒转变为熔融状态的熔体过程称为塑料的塑化。注塑机塑化能力是指注塑机在单位时间内所能塑化的塑料量,因此又称为塑化速率。在设计模具时,所选设备的塑化能力一般要较实际需要的大20%~25%左右,以保证注塑机完成一次注塑过程后在下一周期有足够的时间完成额定量原料的塑化,确保模腔充满。

(3) 注塑机的锁模力

锁模力又称合模力,是指注塑机的合模装置对模具所施加的最大夹紧力。当熔体充满模腔时,注塑压力在模腔内所产生的作用力会使模具沿分型面胀开,为此,注塑机的锁模力必须大于模腔内熔体对动模的作用力,以避免发生溢料和涨模现象。

(4) 注塑机的拉杆空间

模具安装到注塑机上,其最大外形尺寸必须与

收稿日期: 2006-04-06

基金项目: 甘肃省教育厅资助项目(0312-02)

第一作者简介: 刘彦国,男,1968年生,副教授。

注塑机安装空间相适应。模腔的数量、排列的方式直接影响模具的长度与宽度,为使模具安装时可以穿过拉杆空间固定在动、定模固定板上,模具的长度或宽度应小于注塑机拉杆间距。

1.2 与塑件有关的因素

(1) 塑件的精度等级

模腔数量较多时,由于分流道和浇口的制造误差,即使分流道采用平衡布置的方式,也很难将各模腔的注塑工艺参数同时调整到最佳值,因而无法保证各模腔塑件的收缩率均匀一致,其中一腔或数腔充不满,或即使充满却存在诸如熔接不良或内部组织疏松等缺陷,为此调高注塑压力,又容易使其他塑件产生飞边。对于精度要求很高的塑件,其互换性将受到严重影响。

实践证明,每增加一个模腔,塑件的尺寸精度约降低4%(国外有实验表明,每增加一个模腔,其成型制品的尺寸精度就下降5%)。成型高精度塑件时,模腔不宜过多,通常不超过4腔,且必须采用平衡布置分流道的方式。对一般要求的塑件,日本有人提出不宜超过16腔。依经验,即使每腔制品相同、尺寸较小、成型容易的话,若1模超过24腔是必须慎重考虑的^[3]。因为多模腔难以使模腔的成型条件一致。

(2) 塑件的尺寸大小

对于大型或薄壁塑料制件,熔体有可能因流动距离过长或流动阻力太大而无法充满整个模腔。为此,通常采用一模一腔。若采用一模多腔,则流道系统长度增加,为保证各模腔充满,应对其注塑成型时的流动距离比(流动比是指熔体在模具中进行最长距离的流动时,其各段料流通道及各段模腔的长度与其对应截面厚度比值之和)进行校核,确保注塑成型时的流动距离比小于生产原料所允许的最大流动比。

(3) 塑件的结构特征

塑件的结构对浇口形式具有一定的对应性。大型深腔类零件一般选用直接浇口,环形、回转体零件一般采用盘形浇口、轮辐式或爪形浇口,这类浇口用在普通浇注系统的模具中,模腔数量只能是一模一腔。

有些不同结构的塑件,当生产精度较低、所用原料相同时,模腔可以相套排列,实现一模多件。

1.3 与原料有关的因素

塑料的种类不同,其熔体的粘度、流动性、热敏

性、充填特性等对浇口形式有不同的要求^[4]。表1所列部分塑料所适应的浇口形式。不同的浇口形式对成型质量及塑件的性能会产生不同的影响。如上所述若只能采用直接浇口、盘形浇口等,所对应模具同样只能是一模一腔,而其余各类浇口都可以使用一模多腔。

表1 常用塑料所适应的浇口形式

塑料种类	直接浇口	侧浇口	平缝浇口	点浇口	潜伏浇口	环形浇口
硬聚氯乙烯(HPVC)	○	○				
聚乙烯(PE)	○	○		○		
聚丙烯(PP)	○	○		○		
聚碳酸酯(PC)	○	○		○		
聚苯乙烯(PS)	○	○		○	○	
橡胶改性苯乙烯						○
聚酰胺(PA)	○	○		○	○	
聚甲醛(POM)	○	○	○	○	○	○
丙烯腈-苯乙烯	○	○		○		
ABS	○	○	○	○	○	○
丙烯酸酯	○	○				

注：“○”表示塑料适用的浇口形式。

1.4 与生产有关的因素

效益是企业发展的命脉,塑件生产同样追求最高的效益、最低的成本。从经济性的角度来看,模腔的数量不但与年产量有关,而且还与生产批量、塑件成型周期、模具加工费等成一定的函数关系^[5]。

在经济快速发展的时代,产品更新换代快,开发周期短。客户往往指定订货量及交货日期,从某种程度上订货量及交货日期也决定着模具设计时模腔的数量。

小批量生产通常采用单模腔模具;大批量生产,宜采用多模腔模具。模腔数量越多,模具维修要求越高,模具加工周期越长。在实际生产中,模腔数量的确定还应考虑现有可调用设备的工作能力。

1.5 与模具有关的因素

模具结构要求对称、受力平衡时,可以通过改变模腔数量及其排列形式来满足。模腔数量还与注塑模具浇注系统、调温系统、脱模结构等因素有关,模具设计过程中应综合考虑。

模具制造精度直接影响塑件精度。若企业模具制造能力强,模具精度高,为提高生产率模腔数量可选大值。

另外,在模具设计过程中不要一味追求模腔数量。模腔数量越多,其制造费用越高,制造难度也越大,很难满足均衡进料、同时凝固的要求,模具质量很难保证;模具外形尺寸相对越大,与之匹配的注塑

机也必须增大,大型注塑机价格高,运转费用也高,且动作缓慢,用于多腔注塑模未必有利。模具模腔数量越多,故障发生率也越高,若其中一腔出了问题,就必须立即修理,否则对注塑机和模具都将造成损害,而经常性的停机修模又必然影响生产效率。

2 模腔数量的计算方法

影响模腔数量的因素有很多,如果采用多模腔注塑模,模腔数量与注塑机的最大注塑量、塑化速率及锁模力、塑件的精度和生产的经济性等成一定函数关系。计算方法如下:

2.1 与注塑成型设备有关的计算方法

2.1.1 按注塑机的最大注塑量确定模腔数 n_1

注塑机注塑量的标定一般有两种:

(1) 当注塑机最大注塑量以最大注塑质量标定(柱塞式注塑机常用)时:

$$\frac{k M_0 - m_i}{m_i} n_1 = \frac{k M_0 - m_j}{m_j} \quad (1)$$

式中: k 为最小注塑量的折算系数,一般取 0.2,热敏性塑料可以略大一些; k 为最大注塑量的利用系数,一般取 0.8; M_0 为注塑机的实际额定注塑质量, g ,由式(2)而定; m_i 为单个塑件的质量, g ; m_j 为浇注系统及飞边(溢料)的质量, g 。

注塑机实际额定注塑量不仅与理论注塑量有关,而且还与所用塑料的密度、压缩比有关。

$$M_0 = m_{\max} \times \frac{f_{PS}}{PS} \times \frac{f}{f_{PS}} \quad (2)$$

式中: M_0 为注塑机的实际额定注塑质量, g ; m_{\max} 为注塑机的最大理论注塑质量, g ; PS 为所生产塑料与聚苯乙烯的密度, g/cm^3 ; f 、 f_{PS} 为所生产塑料与聚苯乙烯的压缩比,与塑料的粒度和规整性有关。

表 2 为某些热塑性塑料的密度及压缩比^[6]。

(2) 当注塑机最大注塑量以最大注塑容量标定(螺杆式注塑机常用)时:

$$\frac{k V_0 - v_i}{v_i} n_1 = \frac{k V_0 - v_j}{v_j} \quad (3)$$

式中: k 为最小注塑量的折算系数,一般取 0.2,热敏性塑料可以略大一些; k 为最大注塑量的利用系数,一般取 0.8; V_0 为注塑机的实际额定注塑容量, cm^3 ,由式(2)而定; v_i 为单个塑件的体积, cm^3 ; v_j 为浇注系统及飞边(溢料)的体积, cm^3 。

其实际额定注塑量与理论注塑量和所生产塑料的体积膨胀率、不同压力下的漏损因素有关。换算公式如下:

$$V_0 = V_{\max} \cdot T \cdot V_{\max} \cdot c^{f_{51}} \quad (4)$$

式中: V_0 为注塑机的实际额定注塑容量, cm^3 ; V_{\max} 为注塑机的理论注塑容量, cm^3 ; T 为生产塑料在料筒温度和压力下的密度, g/cm^3 ; c 为注塑塑料在常温下的密度, g/cm^3 ; f_{51} 为注塑塑料在常温下的密度, g/cm^3 ; c 为注塑系数,通常在 0.7 ~ 0.9 范围内,包括料筒温度下所生产塑料的体积膨胀率校正系数和漏损因素,体积膨胀率校正系数为:结晶型塑料约为 0.85,无定型塑料约为 0.93。

表 2 某些热塑性塑料的密度及压缩比

塑料名称	密度 / ($g \cdot cm^{-3}$)	压缩率 f
高压聚乙烯	0.910 ~ 0.940	1.840 ~ 2.300
低压聚乙烯	0.940 ~ 0.965	1.725 ~ 1.900
聚丙烯	0.900 ~ 0.910	1.920 ~ 1.960
聚苯乙烯	1.040 ~ 1.060	1.900 ~ 2.150
硬聚氯乙烯	1.350 ~ 1.450	2.300
软聚氯乙烯	1.160 ~ 1.350	2.300
尼龙	1.090 ~ 1.140	2.000 ~ 2.100
聚甲醛	1.400	1.800 ~ 2.00
ABS	1.000 ~ 1.100	1.800 ~ 2.000
聚碳酸酯	1.200	1.750
醋酸纤维素塑料	1.240 ~ 1.340	2.400
聚丙烯酸酯塑料	1.170 ~ 1.200	1.800 ~ 2.000

2.1.2 按注塑机的塑化能力确定模腔数 n_2

$$n_2 = \frac{kMT/3600 - m_j}{m_i} \quad (5)$$

式中: m_j 为浇注系统及飞边体积或质量, cm^3 或 g ; M 为注塑机的塑化能力, cm^3/h 或 g/h ; T 为成型周期, s ; m_i 为单个塑件的体积或质量, cm^3 或 g ; k 为最大注塑化能力的利用系数,一般取 0.75 ~ 0.80。

2.1.3 按注塑机的锁模力大小确定模腔数 n_3

$$n_3 = \frac{F_0/P - A_j}{A} \quad (6)$$

式中: F_0 为注塑机的额定锁模力; A_j 为浇注系统在模具分型面上的投影面积, mm^2 ; A 为单个塑件在模具分型面上的投影面积, mm^2 ; P 为塑料熔体对模腔的平均成型压力, MPa ,通常只有注塑压力的 0.2 ~ 0.4 倍,见表 3^[7]。

A 、 A_j 在分型面的投影面积部分不能累计。

2.2 与塑件有关的计算方法

2.2.1 按塑件的精度要求确定模腔数量 n_4

实践证明,每增加一个模腔,塑件的尺寸精度约降低 4%。设塑件的典型尺寸为 L mm ,对应塑件尺寸偏差为 $\pm x$,单模腔时塑件可能达到的尺寸公差为 $\pm \%$ (POM 为 $\pm 0.2\%$, PA 为 $\pm 0.3\%$,

PC、PVC、ABS等非结晶形塑料为 $\pm 0.05\%$),则有:

$$n_4 = 2500 \times \frac{x}{L} - 24 \quad (7)$$

式中: x 为所成型塑件尺寸公差, mm; L 为所成型塑件的基本尺寸, mm; n_4 为单模腔时塑件可能达到的尺寸公差为 $\%$ 。

L 、 x 取成型塑件精度要求最高位置所对应的尺寸、公差。

表3 模腔内熔体的平均压力

制品特点	平均压力 P/MPa	举 例
容易成型的制品	24.5	PE、PP、PS等壁厚均匀的日用品、容器等
一般制品	29.4	在较高的温度下、成型薄壁容器类制品
中等粘度的塑料和有精度要求的制品	34.2	ABS、PMMA等精度要求较高的工程结构件,如壳体、齿轮等
高粘度塑料,高精度、难于充模的制品	39.2	用于机器零件上高精度的齿轮或凸轮等

国外有实验表明,每增加一个模腔,其成型制品的尺寸精度就下降 5% ^[3]。依此式(7)则为:

$$n_4 = 2000 \times \frac{x}{L} - 19 \quad (8)$$

式(8)中字母含义同式(7)。

成型高精度塑件时,模腔不宜过多,通常不超过4腔,且必须采用平衡布置分流道的方式。对一般要求的塑件,日本有人提出不宜超过16腔。依经验,即使每腔制品相同,尺寸较小,成型容易的话,若1模超过24腔是必须慎重考虑的。因为多模腔难以使模腔的成型条件一致。

2.2.2 按塑件尺寸、结构确定模腔数量

塑件尺寸、结构特征与模腔数量没有确定的函数关系,但有时对模腔数量起决定性的作用。如大型薄壁或深腔类塑件,为保证塑件成型,通常只能采用一模一腔;回转体类零件常采用直接浇口、盘形浇口轮辐式或爪形浇口成型,这类浇口用在普通浇注系统的模具中,模腔数量也只能是一模一腔;塑件结构复杂、需要三向或四向侧分型抽芯,且侧分型抽芯距较大,模腔数量也只能是一模一腔,最多两腔。

2.3 与生产有关的计算方法

2.3.1 按交货日期确定模腔数量 n_5

$$n_5 = \frac{NT}{3600(1-b)aT_Y(T_0 - T_M)} \quad (9)$$

式中: N 为需要生产塑件的总数; T 为塑件的成型周期, s; b 为故障系数(以 5% 计算); a 为生产同一

塑件所用设备台数; T_Y 为生产塑件每月有效工作时间, h/月; T_0 为订货到交货的时间, 月; T_M 为模具制造时间, 月。

2.3.2 按年产量确定模腔数量 n_6

某些专业厂家常年生产一种或几种零件, 对此可根据年产量确定模腔数量。

$$n_6 = \frac{TQ}{3600aT} \quad (10)$$

式中: T 为塑件的成型周期, s; Q 为塑件的年产量, 件; a 为生产同一塑件所用设备台数; T 为年中的有效工作时间, h。

2.3.3 按经济性确定模腔数量 n_7

根据总成型加工费用最小的原则, 并忽略准备时间和试生产原料费用, 仅考虑模具费和成型加工费, 则模腔数量为:

$$n_7 = \sqrt{\frac{NYT}{3600aC_1}} \quad (11)$$

式中: N 为需要生产塑件的总数; Y 为每小时注塑成型加工费(人工费和其他费用), 元/h; T 为塑件的成型周期, s; a 为生产同一塑件所用设备台数; C_1 为与模腔数量成比例的每一模腔所需模具费用, 元。

3 模腔数量的优化原则

3.1 直接确定模腔数量

大型薄壁塑件、深腔类塑件、需三向或四向长距离抽芯塑件等, 为保证塑件成型, 通常只能采用一模一腔; 回转体类零件常采用直接浇口、盘形浇口轮辐式或爪形浇口成型, 这类浇口用在普通浇注系统的模具中, 模腔数量也只能是一模一腔。

3.2 按公式计算所得模腔数量选用

(1) 依据上述方法计算所得模具模腔数量, 选用时一般取 $[n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, n_6]$ 所要求范围内的整数, n_7 可供参考。若模腔数量接近 n_7 时, 则表明可以取得较佳的经济效益。

(2) 若在 $[n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, n_6]$ 所要求范围内没有共同整数解, 可适当调整各项关联参数, 满足步骤(1)的要求, 达到资源的最优配置。

n_4 取决于塑件精度, 若 n_4 偏小, 说明塑件精度要求很高, 则只有调整其余各项参数满足步骤(1)的要求; $[n_1, n_2, n_3]$ 偏小则可以选用更大规格的设备, 重新校核 $[n_1, n_2, n_3]$, 返回步骤(1)选用合理模腔数; $[n_5, n_6]$ 偏小, 最简单的方法是增加生产该塑件所用设备台数 a 。

(下转第53页)

模圆角附近危险单元和连接处单元的 FLD 图可看出,凸模圆角附近的危险单元变形曲线处在变形安全区域,没有发生破裂;而连接处单元的变形曲线已进入临界区域,说明有可能发生断裂。这与实际情况是相符合的,在实际生产中,我们发现压边力稍微不均匀都会导致搭接桥与筒口连接处发生断裂。

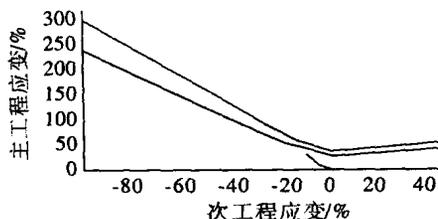


图7 拉深凸模危险单元 FLD 图

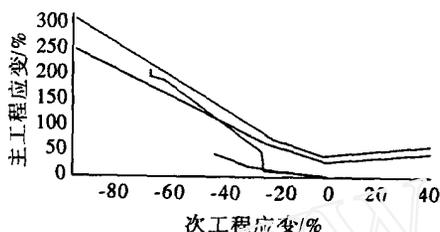


图8 搭接桥与筒口连接处单元 FLD 图

此模具经过设计、调试,目前已经进入正常生产阶段,图9所示是裁剪的生产中的部分条料,我们可以看到前3个工步,通过对比,证明实际生产的情况与模拟的结果非常接近,也说明拉深工步的模拟结果有相当高的精确性。

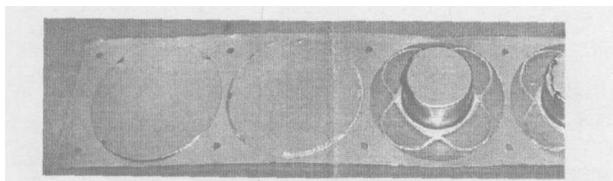


图9 生产中的级进模条料示意图

4 结论

利用 ANSYS,对级进模的筒形拉深工步进行了模拟,对筒形拉深部分的应力应变状态和拉深质量进行分析,取得了与生产实际非常接近的模拟结果。这种模拟方法对级进模的工艺分析和排样设计具有重要的指导作用。通过该项目我们发现:

(1) 与单工序拉深成形数值模拟过程相比,级进模筒形拉深工步的数值模拟需要考虑的因素更多。其中,建立符合实际情况的毛坯模型、压边圈模型,设置符合实际的边界约束是关键。当然,与单工序拉深数值模拟一样,网格形式、压边力大小、摩擦条件、模具结构也是必须考虑的重要因素。

(2) 在带工艺切口的级进模筒形拉深过程中,

搭接桥的变形对拉深工步及后续工步具有重要影响,为了准确送料,必须设置合适的搭接桥宽度,以保证搭接桥变形均匀。

(3) 在带工艺切口的级进模筒形拉深成形过程中,搭接桥与筒口连接处容易出现应力集中,压边力稍不均匀就会导致搭接桥与筒口连接处发生断裂,进而影响送料的稳定性和准确性。

参考文献:

- [1] 张萌萌. 多工位级进模设计入门(三)[J]. 模具工业, 1993(3): 56 - 59.
- [2] 中国模具设计大典编委会. 中国模具设计大典[M]. 第3卷. 江西:江西工业出版社, 2003.
- [3] 梁炳文, 陈孝戴, 王志恒. 钣金成形性能[M]. 第1版. 北京:机械工业出版社, 1999.
- [4] 徐灏. 机械设计手册[M]. 第1版. 北京:机械工业出版社, 1991.
- [5] 王孝培. 冲压手册[M]. 第2版. 北京:机械工业出版社, 1999.

(上接第49页)

(3) 在 $[n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, n_6]$ 所要求范围内共同整数解多,模具模腔数量选择自由度大,应综合考虑其他相关因素。

此外,还应注意模板尺寸、脱模结构、浇注系统、冷却系统等方面的限制。

4 结束语

确定模具模腔数量时,应综合考虑各方面影响因素,根据实际情况确定一个或几个主要因素,其余则作为参考和校核依据,力求保证满足各方面要求,这样所得模腔数量才是最合理的,才能达到资源的最优配置和利用。

参考文献:

- [1] 《塑料模具技术手册》编委会. 塑料模具技术手册[M]. 北京:机械工业出版社, 1997.
- [2] 冯爱新. 塑料成型技术[M]. 北京:化学工业出版社, 2004.
- [3] 张维合. 关于多模腔注塑模的几点思索[J]. 模具工业, 1996(2): 44 - 45.
- [4] 屈华昌. 塑料成型工艺及模具设计[M]. 北京:高等教育出版社, 2005.
- [5] 冉新成. 塑料成型模具[M]. 北京:化学工业出版社, 2004.
- [6] 章飞. 模腔模具设计与制造[M]. 北京:化学工业出版社, 2003.
- [7] 翁其金. 塑料模塑成型技术[M]. 北京:高等教育出版社, 2003.