

PMMA 注射成型工艺及优化

田学军

(湛江佳信电子实业有限公司, 湛江 524022)

摘要 在分析聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA) 的注射成型工艺特性的基础上, 讨论了影响 PMMA 制品质量的工艺因素, 包括模具及其浇口设计、烘干处理、注射温度、注射速率、注塑压力、停机处理等。并针对 PMMA 注塑制品常见缺陷提出了工艺优化措施。

关键词 聚甲基丙烯酸甲酯 注射成型 工艺优化

聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA) 俗称“亚克力”, 它是一种无定形晶莹透明的塑料, 在室温下坚固而刚硬, 长时间暴露在室外仍能维持不变形, 透光率大于 92%, 硬度与铝相接近, 密度远低于玻璃, 因此也称“有机玻璃”。

PMMA 除具有良好的透明性外, 还有抗老化、力学强度高、机械加工性能好等多种优良特性, 并能抵抗多种普通的化学品(如稀酸、稀碱、浓盐酸、盐水、油脂、稀酒精等) 的侵蚀, 接触大部分清洁液等化学品时抗龟裂性极佳, 因而被广泛用于建筑、照明、刻度盘及光学零件等方面。

1 PMMA 的主要性能参数^[1]

(1) 流动性。不同等级的 PMMA 在 1000 s⁻¹ 剪切速率下的表观粘度(即流动性) 如表 1 所示。对于加工一般 PMMA 制品而言, PMMA 的流动性较差。

表 1 PMMA 的表观粘度 Pa · s

树脂等级	温度 /℃			
	220	240	260	280
中流动级	254	136	73	39
易流动级	224	137	84	52
高抗热级	417	215	111	57
高抗冲级	1 262	668	354	187

(2) 流经或壁厚比例。一般用途级的 PMMA 加工时流经、壁厚比为 110 ~130 ∶1; 易流动级则可达到 150 ~170 ∶1。

(3) 收缩率。PMMA 的成型收缩率为 0.4% ~ 0.7%。

(4) 密度。PMMA 的密度为 1.18 g/cm³。

(5) 热性能。PMMA 在 100℃ 时软化, 在 300℃ 以上时会分解出中性的气体, 加工温度为 210 ~ 270℃。

(6) 吸水率。PMMA 在室温下 24 h 的吸水率约为 0.3%。

2 PMMA 的加工工艺设计

2.1 模具及其浇口设计^[2,3]

为避免注射成型时 PMMA 过早冻结而消耗过高的注塑压力, 模具浇口的设计较为重要。

由于 PMMA 所需注塑压力较大, 注塑周期较长, 因此往往在浇口一带余留的压力过大。较小的浇口角度会使脱模困难, 设计模具时, 浇口最佳角度应为 5° ~7°。与其它树脂制品的模具相比, PMMA 制品的模具浇口应粗而短, 其主浇口直径通常为 8 ~10 mm, 长度不应超过 50 mm。制品越大、壁越厚, 相应的模具浇口越短、越粗。模具流道应尽可能光滑, 直径不应小于 6 mm。小浇口主要采用针形、扇形、半圆形、矩形等。对于壁较厚的制品而言, 采用深度为 0.5d(d 为制品的最大厚度) 的小浇口能使制品表面平滑, 并且不易出现熔接痕。设计针形小浇口时, 尺寸过大容易使制品表面造成太大的痕迹, 太小容易使注射过程产生“二次加热”现象而使树脂过热分解, 因此, 最佳的针形小浇口直径应为 0.8 ~2.0 mm, 粘度越小, 其直径可越小。

PMMA 制品较硬而脆, 其表面要求高度光亮, 因而对制品的脱模设计要求也较高。模具拔模斜度应为 1° ~2°或 2°以上, 较厚制品的拔模斜度应为 3° ~4°。顶出系统有针形、套筒、片形、板形等。对于针形顶出系统, 顶针间距不能超过 40 mm, 以防顶出时制品受到过大的局部应力而扭曲或破裂。模具的排气系统也很重要, 如模具排气差, 会使制品表面粗糙度增大, 甚至产生烧焦的痕迹, 壁较厚的制品还容易出现气泡。常见的排气孔深度为 0.05 ~0.07 mm 深, 宽度为 5 ~8 mm, 这样可使 PMMA 内水分或分解出的气体容易散发。对于大多数制品, 模具尽可能设置冷料井。

为使 PMMA 制品表面粗糙度较小,相应模腔表面粗糙度也要求较小。因此,通常选用模腔钢材的洛氏硬度在 45 ~50 或 50 以上,这样模腔表面更容易达到较小的粗糙度。

由于模腔温度直接影响制品的表面质量、制品的内应力及注塑过程中树脂的流动等,所以模具冷却管道的设计应尽可能使模温均匀,并要求注塑过程中控制模具温度在 60 ~90℃。

2.2 烘干处理

PMMA 在室温下会吸收一定的水分,若直接用于成型会严重影响制品的质量。因此储存的环境要干燥,储存的时间最多不超过半年。一般塑料注塑时均要求原料含水量在 0.1% 以下,而 PMMA 注塑时则要求其含水量在 0.04% 以下,因此在 PMMA 注塑之前均需要烘干处理。一般烘干温度为 85℃ 左右,若高于 95℃,则接近 PMMA 的软化温度,容易使 PMMA 颗粒粘结成块,附着于烘干料斗周围,阻碍干燥的空气循环,影响干燥效果,甚至使 PMMA 颗粒无法下落到注塑机。干燥时间通常为 2 ~4 h。如能采用真空干燥或吸湿式循环空气干燥机干燥,效果更为理想。

2.3 注射温度

对于不同的 PMMA 制品,注射温度相差较大。注塑时注塑机各段温度范围见表 2。

表 2 注塑机各段温度范围

位置	料筒前段	料筒中段	料筒后段	喷嘴	模具
温度/℃	190 ~260	180 ~230	180 ~210	190 ~260	60 ~90

2.4 注射速率

注射速率过快,容易产生较大内应力,制品内部也容易有明显的熔接痕,特别是厚壁 PMMA 制品,宜采用较慢的注射速率,大多数情况下,应采用多级注射或渐进的注射速率。

2.5 注塑压力

由于 PMMA 粘度大、流动性差,通常注塑压力较大,最高时可达 160 MPa,为保证厚壁制品饱满不收缩,保压时间要大大延长,有时保压时间是注射时间的几倍。

2.6 停机处理

不能将不同等级的 PMMA 或与其它聚合物混合加工,应防止受到其它物料污染,以免影响制品的透明度及质量。清洁料筒时,温度高出正常注塑 20℃,使残余在料筒内各部位的原料得以清除。注塑完毕后需停机时,应提前 3 ~5 min 关闭干燥系统

及料筒加热系统,避免原料滞留时间过长而造成过热分解变质,影响下次生产的效率和制品质量。

3 PMMA 注塑加工缺陷及工艺优化^[4-6]

影响 PMMA 注塑加工的主要因素是该树脂的低流动性、高温分解性及较高的吸湿性等,并且由于该树脂高度透明,微小的注塑缺陷均影响制品的质量。因此,对 PMMA 加工工艺的要求较为严格,除了以上所述的主要注塑工艺及参数控制外,对于某些特殊的制品,在工艺上还要采取一些优化的措施,以达到更好的注塑效果。以下针对几个有代表性的制品进行工艺优化方法的探讨。

3.1 圆盘状制品

对圆盘状制品(直径约 300 mm,厚度为 2 mm)应考虑到注塑后加工的方便性及不影响制品外观,将针状小浇口(直径 1.5 mm)设在圆盘中心(如小浇口设在其它位置或用较大浇口,注塑后除去浇口的工序要求较严格,并容易影响外观)。注塑过程中,由于制品壁薄,使用充分干燥的 PMMA 注塑圆盘不易产生气泡,但由于 PMMA 的低流动性,且采用针状小浇口,会导致树脂在注塑过程中不易注满,这需要提高模具温度和注射温度,但提高相应的温度后,制品会出现放射状排列的气泡,甚至局部变成黑色或深绿色。

其工艺优化方法是在满足注塑压力和注射温度的条件下,选择小容量的注射料筒或低一级注射量的注塑机,缩短树脂在较高温度的料筒内的停留时间以免产生分解。另外适当增加模具排气槽和增大小浇口尺寸,使注塑温度和注射速率降低也是解决此类问题的方法之一。

3.2 光学元件

某光学元件凸透镜,外形尺寸约 100 mm ×60 mm,中部厚度为 15 mm,如图 1 所示。该制品外观要求非常饱满和完美,因此浇口只能设在旁边。用 PMMA 注塑该制品时,主要的缺陷是厚的部位收缩,并且在浇口旁边有明显的熔接痕。

其工艺优化方法为:

(1) 调高模具温度(约 90℃),延长保压时间(约 1 min),可减小收缩现象。

(2) 加大浇口尺寸,设计厚度均匀(约 10 mm)、宽度 20 ~25 mm 的扇形浇口,注塑时采用多级注射,首级注射采用极低的速率,这样树脂在注射过程中能平滑地充满模腔,不会产生卷曲而形成图 1 所示的熔接痕。

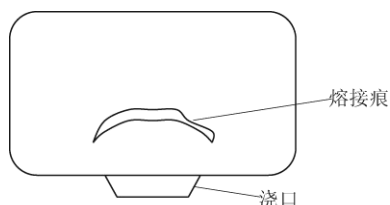


图1 凸透镜

3.3 电话机数字按键

某型号电话机数字按键厚度为 4 mm, 该制品要求注塑后自然连在一起, 连接部分宽 1.5 mm、厚 1 mm, 结构如图 2 所示。此按键在注塑过程中最容易产生的缺陷是按键不饱满(或有熔接痕)及连接部分树脂填充不满, 在注塑工艺调整中这两个问题刚好是矛盾的。

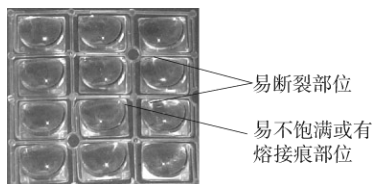


图2 电话机数字按键

其工艺优化方法为:

(1) 尽可能缩短模具的主流道长度并加大其直径, 提高模具的注射温度, 这样可使 PMMA 在较小的针状小浇口情况下容易充满模腔。

(2) 采用多级注射。因为注射速率过快, 按键容易产生熔接痕和收缩, 而注射速率过慢, 连接部分不能注满而形成断裂。因此应采用多级注射, 首级注射可调节到较快的速率, 使得模具的主流道和分流道快速填满后转为二级注射, 二级注射的速率相对较慢, 这样按键不会产生熔接痕, 但应注意到过慢的二级注射也容易使连接部分断裂。因此在调节参数时要选用最佳的参数。当按键填充超过 2/3 时, 可变为三级注射, 并适当提高注射速率和注塑压力。最后的保压也相当重要, 由于该制品采用针状小浇口, 而按键部分厚度大, 因此要大大增加保压压力并延长保压时间, 确保按键的饱满, 减少收缩。

3.4 壁厚不均制品

图 3 所示的 U 状制品, 其壁厚相差很大, 两边厚度达到 30 mm, 而中间部分不到 10 mm, 因此, 其主要的缺陷有收缩和气泡严重, 改善收缩的方法可参照上述提高模温、降低注射速率和加大保压压力等方法来解决。该制品极易在两个厚壁部分形成气泡, 而极小的气泡都影响制品的质量。实际生产中该制品由于气泡的原因, 使得年生产成品率只有 50% 左右, 甚至在潮湿天气根本无法生产。



图3 U 状制品

其工艺优化最主要的方法是通过改善注塑生产环境来减少制品的气泡, 使环境温度在 20 ~25℃, 湿度在 60% 以下。实际研究表明, 该 U 状制品在此环境条件下生产, 因水分引起的气泡大量减小, 平均成品率可达 80% 以上。改善注塑生产环境最直接的方法是建立中央空调的生产车间。

4 结语

根据 PMMA 的特性, 除合理设计模具外, 还要改善其注塑工艺, 主要是调整注塑的模温、注射速率、注塑压力等参数, 并配合一定条件的注塑环境, 即可得到高成品率的透明制品。

参考文献

- 1 罗河胜. 塑料材料手册. 广州: 广东科技出版社, 2004.
- 2 李德群. 现代塑料注射成型的原理、方法与应用. 上海: 上海交通大学出版社, 2005.
- 3 付宏生. 注塑制品与注塑模具设计. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- 4 克里斯·劳温德尔. 注射和挤出成型中的统计过程控制——SPC. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- 5 李忠文. 注塑机操作与调校技术. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- 6 T. A. 奥斯瓦德, L. 特恩格, P. J. 格耳曼. 注射成型手册. 北京: 化学工业出版社, 2005.

INJECTION MOLDING PROCESS AND OPTIMIZATION OF PMMA

Tian Xuejun

(Zhanjiang Casonic Electronics Industrial Co. Ltd., Zhanjiang 524002, China)

ABSTRACT Based on analyzing the process properties of poly(methyl methacrylate) (PMMA), the quality influencing factors of PMMA injection molding products are discussed, including mould and pouring head design, drying process, injection temperature, injection velocity, injection pressure and machine halt treatment. The optimization measures are given for the common defects of PMMA injection molding products.

KEYWORDS poly(methyl methacrylate), injection molding, process optimization