

热管技术原理及其在热流道模具中的应用

陈剑玲 徐燕君 刘廷华

(四川大学高分子科学与工程学院,成都 610065)

摘要 概述热管的结构及其利用工作液相变时潜热交换作用的传热机理,比较了运用热管技术与常用电阻加热器传热的优缺点,并介绍热管技术在热流道系统中应用的进展。热管技术与热流道系统相结合,能满足热流道加热元件对均温性及易于控温的要求,可以极大地促进热流道技术的使用和推广。

关键词 热管技术 热流道 传热机理

热流道技术自20世纪40年代问世以来,以其省料省时、高速自动和可提高制品质量等显著优点而倍受人们关注和青睐。但是热流道系统应用的关键是加热温控技术,对主流道、分流道及热喷嘴头部的等温性要求特别严格,要求其控温精度很高。热流道系统的理想温度是与由注塑机注入的熔体温度一致,即熔体与热流道系统没有热交换,热流道系统仅仅维持熔体的注射温度。然而,一般的热流道模具由于浇口和热流道喷嘴离模腔较近,采取绝热措施后仍不能避免热量散失,从而使热流道板内浇注系统两端温差较大,难以维持温度均匀一致,给注射成型带来了不利影响。

热管是一种导热效果极好的超级导热元件,导热能力超过铜的数百倍甚至上千倍。它可以在微小的温差范围内反应,自动调节长度方向的温度分布,迅速地传输热量,常被认为是等温元件。若将热管技术与热流道技术相结合,无疑可以使热流道系统的应用得到极大的推动。

1 热管传热机理及其优点

1.1 热管的结构及传热机理^[1~4]

热管的原理于1944年由美国通用电动机公司提出^[5],1963年由美国 Los Alamos 科学实验室开发出热管^[6]。热管是综合液体蒸发、冷凝和毛细管现象设计的,其基本结构原理如图1所示,主要由外壳、吸液芯和工作液组成。外壳多为密封的铜管,也可用不锈钢管或加工的钢管;吸液芯多为极细的金属铜丝,密集的铜丝芯子中间形成细孔,起毛细管作用,犹如蜡烛燃烧时的烛芯一样。工作液根据热管使用温度范围的不同,选用水、氨、甲醇、钠、萘、水银或其它物质,图2为工作液的使用温度范围。

热管沿长度方向可分为蒸发段、回流段和冷凝段。将具有毛细管结构的吸液芯装于管内壁,管内减压后充入适量的工作液并密封。由于液体在负压

下装入,极易蒸发,管内的压力为液体所处温度下的饱和蒸气压,并保持气、液平衡。

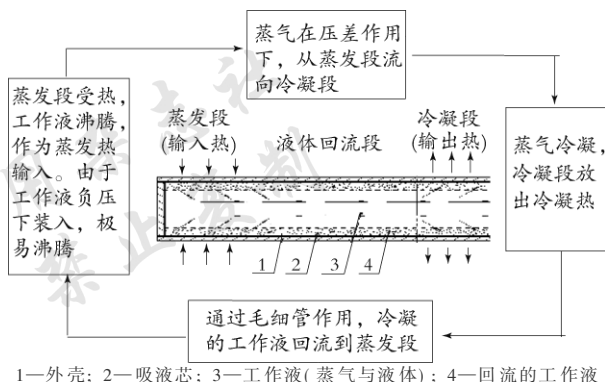


图1 热管的基本结构和工作原理图

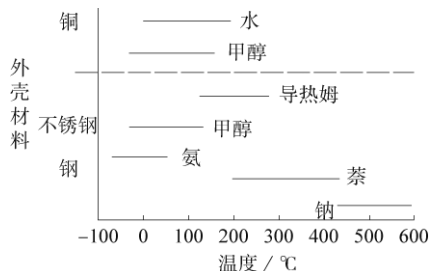


图2 工作液使用温度范围

从外部加热热管的一端(蒸发段),浸入吸液芯的液体从管壁吸热后蒸发。被加热的蒸发段蒸气压力升高,沿管长方向出现压力差,蒸气就会流向压力和温度较低的另一端(冷凝段),放热后重新凝结为液体。由于蒸发段的液体饱和度减小,依靠吸液芯的毛细管作用(即液体的表面张力,水在25℃时表面张力为 $7.2 \times 10^{-4} \text{ N}^{[7]}$),产生了液体自补偿,将冷凝的工作液抽吸或由重力回流到加热区又再次蒸发,因此在密闭的热管内形成蒸发-凝结-液体回流的自动循环系统。如此周而复始,连续不断地将热量由一端传到另一端,实现了在热管长度方向的

温度补偿,直到蒸发段和冷凝段的外部温度差消除达到平衡为止。因此,装有热管加热体的温度可接近等温分布,其精确度可达 $\pm 0.5\text{ K}$ 。同时,温度均匀化的过程十分迅速,热源温度的波动仅影响蒸发的强度而不改变其温度。

工作液蒸发时,靠蒸发潜热吸热,蒸气冷凝时又放出相等的热量。如工作液为水时,1 kg 水可输送 2264 J(100℃)的热量。热管之所以能以极小的温差迅速大量地输送热量,正是利用了工作液相变时潜热的交换作用,内部热阻很小。标准的热管是铜管(容器)和水(工作液)的组合,管内的传热系数在蒸发段和冷凝段均为 $4900 \sim 8100\text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。对于需要均温的热流道板或流道喷嘴,热管安装位置和方向应使其蒸发段一端处于可能出现温度偏高的区域,而冷凝段处于温度偏低的区域,这样可以达到几乎是等温分布。

1.2 常用加热方法的不足

目前的热流道注塑模普遍采用直接电阻加热法,加热元件一般常用加热棒、加热圈、加热板、间隔加热器、浇铸加热器和嵌入式加热器等,要求其具有较高的单位加热功率。要达到热流道系统的均温性要求,需要正确地选择温度控制器的类型和质量、加热器单位加热功率和热分布,以及热电偶的正确位置设定。主要缺点是:

(1) 结构复杂。由于电加热器容易局部过热,把树脂烧焦而造成产品报废,为此,必须对热流道进行分区多点加热及控温,致使模具结构复杂。

(2) 模具费用增高。采用分区加热、多点控温,必然使温控装置费用提高而增加模具费用。

(3) 检修困难。由于加热元件的烧损、温度控制不良等,检修时往往需将模具从注塑机上卸下来,拆模后进行检修,从而增加了生产上的辅助工时,使生产率降低。

(4) 精度较低、难以达到温度均匀。电阻加热器在长度方向上的热量输出并不均匀,故自身即为一干扰因素;由于采用分区加热、多点控温,需要多个加热及温控装置,而这些温控装置自身都存在精度误差问题;同时,每个控温点对其邻近区域都有影响,大量的控制点又使整个模具控温缺乏总体的明确性,使得热流道各个区域的实际温度并不均匀,一般的嵌入式电阻加热器温差精度达 $\pm 5^\circ\text{C}$ 。

1.3 热管技术与热流道技术结合的优越性

将热管技术与热流道技术结合,具有以下优越

性:

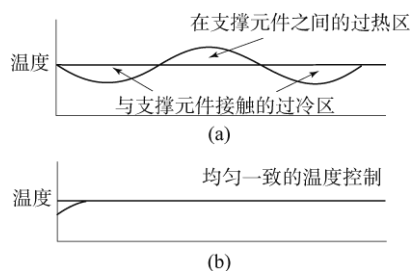
(1) 均温性好,升温快。由于热管在长度方向上实现了温度自补偿,能自动调节,提高了热流道内的温度分布,升温也快,一般仅需 20 min 即可达到工作温度。图 3 是使用电阻加热器和热管的热流道板温度曲线。从图 3 可以看出,将热管用于热流道板后,热流道板的温度几乎均匀一致。

(2) 亦可实现对热喷嘴的加热,且比传统加热元件更接近热喷嘴尖。

(3) 不需较高的单位体积热功率,可在更低的温度下工作。热管并入热流道系统后工作的单位体积热功率仅约 $1.2\text{ W}/\text{cm}^3$,而电阻加热器常需 $1.8 \sim 3.0\text{ W}/\text{cm}^3$ [8]。

(4) 可减少温控点,多数情况下仅需单点控温,并减少了加热和温控装置线路,以及结构的复杂性。

(5) 由于热流道系统温度均匀性问题的解决,从而改进了熔体质量,减少了由温度差异产生的粘度差异,并避免了在流道内过冷和过热料流汇合产生的熔接痕。



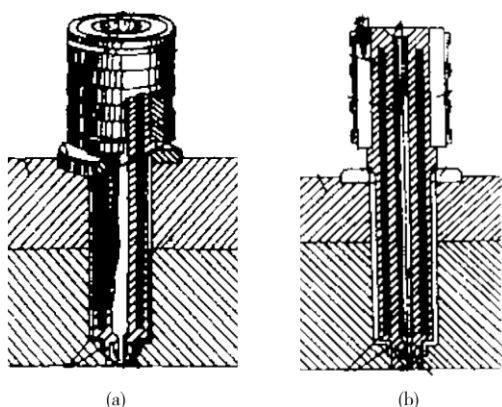
a—电阻加热器; b—热管

图 3 使用电阻加热器和热管的热流道板的温度曲线

2 热管在热流道技术上的应用

20 世纪 90 年代初,我国自行设计了用热管加热流道板的结构,使整个流道板的温度保持一致,已成功用于热流道模上 [9]。特殊形状的热管还可作为加热探针,用于控制点浇口熔体温度。1995 年雷玉成等 [10,11] 开发了新型集中供热式的热管热流道技术,并取得了国家专利。它是一种以热管传热技术对流道进行加热的新型热流道,具有等温性能好、单点控温、加热源在模具外侧等优点。该热流道系列有单腔热流道型、多腔分流道型和热喷嘴型 3 大系列。

图 4 为国外公司的热管主流道套示意图,加热元件采用普通加热圈,但因增加了热管,使整个主流道套上、下温差在 1.7°C 以内。美国 KONA 公司将热管技术应用于热流道系统,开发了三代热喷嘴系



a—Kenico 公司的“Hot Shot”

b—National Tool & Manufacturing 公司的“Sure-Shot”

图4 外国公司的热管主流道套示意图



图5 KONA 公司的热管传热式热喷嘴

系统,获得显著的加工维修效益。图5为该公司近期推出的使用热管传热热喷嘴。Dynisco公司并入热管的热喷嘴尖设计得更尖锐,可更好地控制浇口区域的温度。

2001年Watlow公司推出一系列创新的低剖面喷嘴和集流管加热器,称为“厚膜喷嘴加热器”^[12,13]。与热管类似,它含有一种低热量物质,一层类似玻璃的绝缘层,一个可调节的平板电阻加热器。比传统圈式或管式加热器加热更快,使用温度

高达500℃,能均匀加热分流板或沿喷嘴长度方向加热,容易与任何形状的热流道配合,提高了热流道系统的精确控制、模具温度的均匀性和模具设计的灵活性。

3 结语

热管技术的开发最早用来解决卫星表面的温度差异问题,现已在注塑工艺中用于模具冷却、注塑机冷却、挤出螺杆的传热上,若将热管技术运用于热流道系统中,必有极其广阔的应用前景。国外已将热管技术应用于热流道板、热喷嘴的加热,将材料组合及尺寸规格标准化、系列化。我国应加快对热管这一优异导热元件的开发,和应用于热流道模具的研究,以摆脱目前我国热流道加热元件主要依赖进口的局面。

参考文献

- 1 张克惠. 注塑模设计. 西安: 西北大学工业出版社, 1995.
- 2 成都科技大学. 塑料成型模具. 北京: 中国轻工业出版社, 1998.
- 3 松本秀一. “热管”在注塑模中的应用. 模具技术, 1991(1): 52
- 4 Specknheuer G P, Stracke A. Thermally conductive pipes for uniform mould temperatures. Kunststoffe German Plastics, 1993, 83(3): 5
- 5 Gayker R S. Heat transfer device. USP 2350348. 1944-06-06
- 6 吕军, 黄锐. 热管技术在塑料加工中的应用及展望. 中国塑料, 2003, 17(3): 6
- 7 王双杰. “热管”在注射成型模具中的应用. 塑料, 1990(1): 30
- 8 Swenson P, Ladwig H. Heat pipes in hot runner systems. Kunststoffe German Plastics, 1992, 82(12): 3
- 9 陈嘉真. 塑料成型工艺及模具设计. 北京: 机械工业出版社, 1995.
- 10 雷玉成, 赵晓军. 新型集中供热式热流道技术. 模具工业, 1996(5): 38
- 11 雷玉成, 赵晓军. 热管式热流道设计. 模具工业, 1996(4): 37
- 12 Günther Heisskanaltechnik Gmb H. Hot-runner manifolds get new heater technology. Modern Plastics, 2002(7): 70
- 13 Peter Wippenbeck. Tailor-made engineering in increasing perfection. Kunststoffe Plast Europe, 2002, 92(2): 24

PRINCIPLE OF HEAT PIPE TECHNOLOGY AND ITS APPLICATION IN HOT RUNNER MOULD

Chen Jianling, Xu Yanjun, Liu Tinghua

(College of Polymer Science and Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

ABSTRACT The configuration of heat pipes and their heat conductive principle, which is based on the heat transfer of working liquid under vaporization and condensation, are summarized. The advantages and disadvantages of heat pipes heating are listed, compared with conventional electrical resistance heating. In addition, some advance of the application of heat pipe technology in hot runner system is introduced. If the heat pipe technology is combined with the hot runner systems, the requirement of temperature uniformity and easy controlling of hot runner heaters can be achieved; and it will greatly accelerate the application and popularization of hot runner technology.

KEYWORDS heat pipe technology, hot runner, the principle of heat transfer