

成型加工
与设备微注塑模具近红外加热方法及装置研究^{*}段强^{1,2}, 仇中军^{1,2}, 房丰洲^{1,2}

(1. 天津大学精密测试与仪器国家重点实验室, 天津 300072; 2. 天津微纳制造工程技术中心, 天津 300072)

摘要: 模具温度是微注塑成型过程中影响聚合物熔体充模能力的重要因素之一。为了提高高深径比塑件的微注塑成型质量, 提出了采用近红外加热与循环水加热结合的方式, 将模具温度快速提高至高于聚合物的玻璃化转变温度的方法。在利用 Tracepro 对近红外加热装置的反射罩面型参数进行分析的基础上, 得到近红外加热反射罩的最佳的面型和参数, 并开发了高深径比的微注塑成型模具的近红外加热装置。利用开发的近红外加热装置进行了模具加热验证实验。结果显示, 近红外加热方式能够快速实现模具表面加热, 在 25 s 内能够将模具的表面温度从 19.96 °C 升高到 174.14 °C, 结合水循环加热, 有效地提高了高深径比塑件的充模质量。

关键词: 微注塑; 模具温度; 近红外加热; 反射罩

DOI: 10.3969/j.issn.1005-5770.2013.12.009

中图分类号: TQ320.66

文献标识码: A

文章编号: 1005-5770 (2013) 12-0032-04

Near Infrared Heating Method and Device Study on Micro-Injection Mould

DUAN Qiang^{1,2}, QIU Zhong-jun^{1,2}, FANG Feng-zhou^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Precision Measuring Technology&Instrument, Tianjin University, Tianjin 300072, China;

2. Centre of Micro-Nano Manufacturing Technology, Tianjin 300071, China)

Abstract: Mould temperature was a key factor that affected the filling ability of polymer melt in micro-injection moulding. In order to increase the filling quality of high aspect ratio polymer structure, a heating method that integrated near infrared and circulating water was used to increase the mould surface temperature to above the glass transition temperature of polymer. Different types and parameters of reflectors were discussed and the ultimate model was determined based on Tracepro simulation results. The near infrared heating device was designed for high aspect ratio polymer structure; and verification experiment was conducted to test the efficiency of the device. The results showed that the reflector can raise the temperature of mold surface quickly from 19.96 °C to 174.14 °C in 25 s and can improve the filling quality of high aspect ratio polymer combined with heating water cycle.

Keywords: Micro-Injection Moulding; Mold Temperature; Near Infrared Heating; Reflector

近年来, 微型塑件广泛被应用于生物医疗、电子通信、航空航天等领域。微注塑成型加工作为一种能够进行重复批量生产, 可成型复杂而又有精密微细结构塑件的制造技术, 因其制造成本低、生产周期短、重复性好及工艺简单等优点而得到广泛应用^[1]。但是, 目前微注塑成型技术发展并不完善。传统注塑成型技术的等温充模条件不适用于微结构塑件, 尤其是高深径比塑件的微注射成型。微注塑成型过程中, 由于模具型腔的尺寸较小, 因此聚合物熔体的表面积与体积比较大, 其携带热量相对减少, 流动过程中熔体温度降低很快, 导致模具微型腔内聚合物熔体黏度迅速增加, 降低了聚合物熔体的流动性能, 影响了充模

质量; 同时, 由于模具温度低于聚合物熔体温度, 熔体与模腔接触时生成的冷凝层也会进一步阻碍充模^[2]。对于高深径比的微结构, 以上效应更加严重。为了解决这个问题, 各国研究者展开了大量的研究, 在充模过程中提高模具温度是非常有效的方法。

台湾成功大学游若景的研究发现, 微注射成型的模具温度必须高于塑料的玻璃化转变温度, 才能最大限度地保证塑件的充模完整^[3]。Su 等通过研究凹型微结构填充效果的工艺过程, 认为当模具温度比高分子材料的玻璃化转变温度高出 30 ~ 40 °C 时, 才能够获得良好的填充效果^[4]。为了快速提高模具温度, 国内外诞生了多种加热方式: 电阻加热、电磁感应加

* 天津市自然科学基金重点项目 (12JCZDJC27900), 国家 863 计划项目 (2012AA04040)

作者简介: 段强, 男, 1988 年生, 在读硕士研究生。

热^[5-7]、火焰加热^[8-9]、高温热风加热^[10]和红外加热^[11-12]等。相比较而言,红外加热具有节能、清洁、安全等优点,且属于外部加热方式,无需改动模具,可降低成本。因此,本文利用近红外加热结合循环水对模具进行加热,快速提高模具表面温度,促进微型腔内熔体的流动性,提高充模质量。利用 Tracepro 对不同反射罩的面型参数进行仿真和优化,设计合理的反射罩面型,继而对其加热效率进行实验验证,以实现模具表面的快速升温。

1 模具红外加热原理

红外线属于电磁波,对金属的穿透深度仅在微米数量级,辐射即仅对模具表面进行加热,从而可实现模具表面温度的快速提升。加热结束后,由于模具的热传导、热散失,模具表面温度迅速降低,从而实现模具表面的快速升降温。红外加热原理如图1所示,由光源、反射罩和被加热面组成,辐射光源发射出红外线,一部分能量直接投射到被加热面,另一部分经反射罩反射到被加热面,实现被加热面的快速升温。

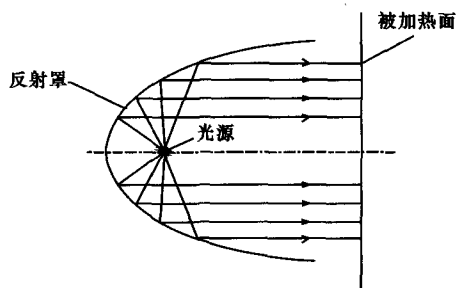


图1 反射罩原理图

Fig 1 The Schematic diagram of reflector

光洁金属表面对不同波长红外线的吸收率(α_λ)是不同的,其表达式如式(1)^[13]:

$$\alpha_\lambda = 36.05 \times (R/\lambda)^{1/2} \quad (1)$$

式中, λ —红外线波长, μm ; R —金属的单位电阻, Ω/cm 。

从公式(1)中可以看出,随着红外线波长的增加,金属对红外线的吸收能力逐步减小。因此,为了提高模具的加热效率,故应该选用辐射波长较短的近红外线;再由普朗克定律,随色温的增加,红外线的能量中心向波长较短的方向移动,故应选用高色温的灯具。本研究选用灯具型号 Philips 6990P,单支功率 1 000 W,外形尺寸为 $\varphi 20 \text{ mm} \times 105 \text{ mm}$,螺旋状灯丝实测长度为 30 mm,3支并排,覆盖尺寸满足辐射面积要求。

2 反射罩参数设计

反射罩的作用是将红外线最大效率地反射至目标

面,合理的反射罩面型和参数对红外线的加热效率起着至关重要的作用。为了验证不同反射罩面型对辐射效率的影响,利用商用光学软件 Tracepro 分别对平板型、球型、椭球型和旋转抛物面型进行了仿真。由于不可能将所有辐射光线都集中在加热区域,实际辐射面积大于 $60 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$ 的矩形工作区域,部分辐射被外围接受面吸收。故仿真中设计吸收面如图2所示。中心灰色矩形代表工作面,与外围绿色区域组成接收面。设置矩形工作面的吸收功率为 P_1 ,整体接收面的总吸收功率为 P_2 。由于微注塑过程中聚合物熔体的流动行为发生在工作面区域,因此分析时以 P_1 为主要评价标准。

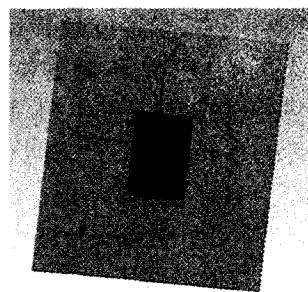


图2 吸收面示意图

Fig 2 The schematic diagram of receiver

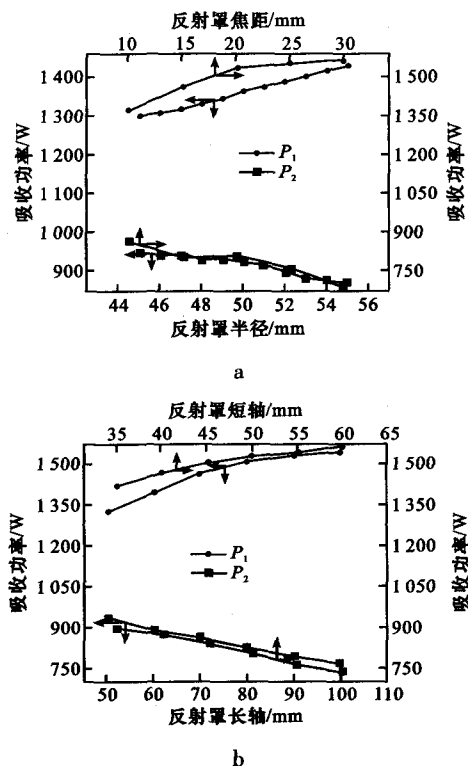


图3 不同面型参数的功率趋势图

Fig 3 The trend map of different surface figure

为了增加反射罩对红外线的反射率,需要在其表

面镀金膜或铝膜。仿真中选取铝膜反射罩, 反射率为 95%, 吸收率为 5%; 接收面为抛光钢表面, 反射率为 55%, 吸收率为 45%。

对不同反射罩面型参数, 采取分组仿真进行对比。仿真的面型主要包括平板型、球型、旋转抛物面型和椭球型。平板型反射罩结构简单, 工作面接收功率大小 701.61 W, 总接收功率 1 137.7 W。其余 3 种面型均具有不同参数变量, 仿真结果如图 3。改变球型反射罩半径 r , 功率变化趋势如图 3a; 改变旋转抛物面型反射罩焦距 f , 功率变化趋势如图 3a; 椭球型反射罩具有长轴 b 和短轴 a 两个参数 ($b > a$), 分别固定 a 和 b , 改变另一变量, 可得到如图 3b 的趋势图。改变面型参数时, 应保证反射罩不与灯管发生干涉。由图 3 可以看出, P_1 和 P_2 随着各面型的形状参数 r 、 f 、 b 和 a 的变化趋势是基本相同的。随着各形状参数的增加, P_1 逐步降低, P_2 逐步升高。在优先考虑 P_1 的前提下, 各参数应取小值。

综合以上结果, 在反射罩不与灯管发生干涉的情况下, 比较 4 种面型的最优工作面接收功率 P_1 , 结果列于表 1。在所有分析的面型中, 球型和椭球型反射罩的工作面接收功率 P_1 最大, 并且两者相差不大, 而两者总接收功率 P_2 基本相同。考虑到加工工艺性, 本文选取球型反射罩, 设计半径为 45 mm。

表 1 不同反射罩面型的 P_1
Tab 1 P_1 of different surface figure

项目	反射罩面型			
	平板	抛物面	球型	椭球型
P_1/W	701.61	862.03	947.89	946.79

3 辐射距离对加热效率的影响

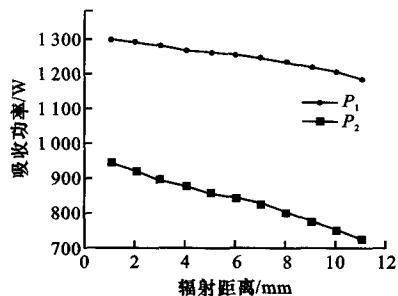


图 4 辐射距离对功率的影响

Fig 4 The effect of radiation distance on power

由于辐射距离的不同对反射罩的加热效率存在一定的影响, 为了评估该距离对反射罩效率影响的程度, 并基于此获取实际加热中的最佳辐射距离, 研究中取辐射距离的范围 1~11 mm、间隔为 1 mm, 并针

对球型反射罩进行了仿真, 结果如图 4 所示。由图 4 可以看到, 随着辐射距离的增大, 模具表面总功率 P_2 和工作面功率 P_1 都呈现减小的趋势。为了获得更高的加热效率, 应尽可能将反射罩靠近被加热物体表面。

4 近红外加热实验

为了验证设计反射罩的加热效率, 利用开发的红外加热装置对 150 mm × 100 mm × 20 mm 的 50# 钢钢块进行加热, 钢块单侧抛光作为被加热面。为了准确获取被加热面的实时温度, 采取在靠近被加热面的位置埋测温线的方式, 如图 5 所示。在被加热面反面侧钻 10 个深度 19 mm 的测温孔, 编号 1#~10#, 以便于 Ω 测温线 (GG-K-30-SLE) 的安装。孔 1 位于钢块中心, 其中孔 1#~6# 对应实际镶块中分流道和型腔的位置, 孔 7#~10# 对应型腔外围区域。

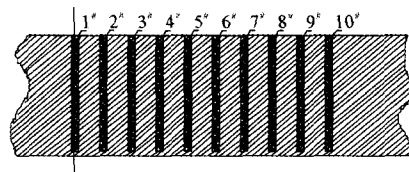


图 5 测温孔

Fig 5 Temperature Measuring holes

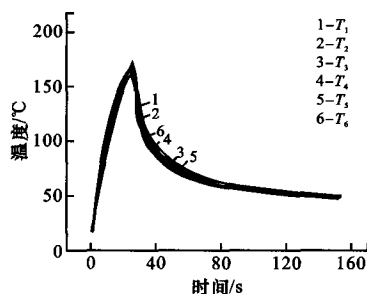


图 6 测温孔 1#~6# 的温度曲线

Fig 6 The temperature curves of hole 1-6

钢块初始温度 20 °C, 设定加热时间 25 s。加热过程中, 利用 testo-735 测温仪连接 Ω 测温线进行测温, 取样间隔 1 s。以测温孔 1#~6# 为例, 其温度曲线如图 6 所示。由图 6 中曲线 $T_1 \sim T_6$ 可以看出, 红外加热过程中, 被加热面的升温 and 降温趋势基本相同。以 T_1 为例, 加热过程中, 随着时间的增加, 被加热面温度迅速上升, 25 s 内从 19.96 °C 升高到 174.14 °C。上升曲线斜率由大变小, 即加热开始时, 钢块表面温度上升最快, 之后表面温度增加变缓。加热停止后, 由于被加热面的热量发生热传导、热散失, 钢块表面温度快速降低。

若将整个加热过程分成5个阶段,并定义每个阶段间隔5 s,则每个阶段的温度增量为62.56、34.82、22.51、18.34、15.95℃,对表面加热的效率迅速降低,趋势如图7。造成表面加热效率降低的主要原因是:钢块的热传导带走了大量的热量,而温度的迅速上升加剧了热传导。

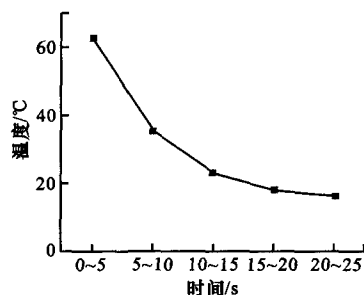


图7 不同阶段的温度上升值

Fig 7 The temperature increment of different range

由于不同测温孔与加热中心的距离不同,以及外围未加热部分的热传导,导致在远离加热中心的区域,温度相对较低。加热25 s时的温度分布如图8,其中1#~6#处于工作区域内,温度降变化比较平缓,温差13.36℃,而工作区域外围的7#~10#点温度降变化较大。设计的反射罩加热尺寸可完整覆盖流体流动区域。

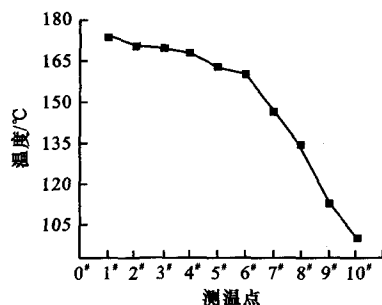


图8 沿测温点温度分布

Fig 8 The distribution of temperature

5 结论

针对微注塑中高深径比塑件实现完整充模比较困难的问题,将模具温度加热至高于聚合物的玻璃化转变温度可有效促进熔体在型腔内的流动性,这是解决高深径比塑件充模困难的有效途径之一。本文在水循环加热的基础上,采用近红外加热方式对模具表面快速加热,利用Tracepro对不同反射罩面型参数进行了讨论,并基于仿真结果设计了半径45 mm的球型反射罩。开发的近红外加热装置可实现模具表面的快速加热,25 s内可将50#钢钢板的被加热面温度从

19.96℃升高到174.14℃。装置的有效辐射面积覆盖熔体流动区域,且区域内温差不大。将红外加热装置与水温机相结合,可快速升高模具表面温度,改善高深径比塑件的充模质量。

参考文献

- [1] 庄俭. 微注塑成型充模流动理论与工艺试验研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2007.
- [2] 于同敏, 庄俭, 王敏杰, 等. 微注塑成型中熔体充模流动的影响因素研究 [J]. 塑料工程学报, 2007, 14 (6): 185-189.
- [3] 游茗景. 快速加热系统于微射出成型之应用 [D]. 台湾: 成功大学航空太空工程研究所, 2006.
- [4] SU Y C, SHAN J, LIN L W. Implementation and analysis of polymeric microstructure replication by micro injection molding [J]. Micromech Microeng, 2004, 14 (3): 415-422.
- [5] CHEN S C, PENG H S, CHANG J A, et al. Simulations and verifications of induction heating on a mold plate [J]. Int Comm Heat Mass Transfer, 2004, 32 (7): 971-980.
- [6] CHEN S C, PENG H S, CHANG J A, et al. Rapid mold temperature variation for assisting the micro injection of high aspect ratio micro-feature parts using induction heating technology [J]. Micromech Microeng, 2006, 16 (9): 1783-1791.
- [7] YAO D G, KIM B. Development of rapid heating and cooling system for injection molding applications [J]. Polym Eng Sci, 2002, 42 (12): 2471-2481.
- [8] YAO D. Injection molding high aspect ratio microfeatures [J]. J Injection Molding Technol, 2002, 6 (1): 11-17.
- [9] KIM D H, KAN M H, CHUN Y H. Development of a notebook PC housing by using MMSH (momentary mold surface heating) process [C] //SPE ANTEC Conference Proceedings. New Orleans: SPE, 2001: 3347-3350.
- [10] 叶俊锋. 气体辅助动态模温控制系统建置与分析之研究 [D]. 台湾: 中原大学, 2007.
- [11] CHANG P C, HWANG S J. Experimental investigation of infrared rapid surface heating for injection molding [J]. J Appl Polym Sci, 2006 (4): 3704-3713.
- [12] YU M C, YOUNG W B, HSU P M. Micro-injection molding with the infrared assisted mold heating system [J]. Mater Sci Eng, A, 2007 (7): 288-295.
- [13] 张福波, 边军, 杜林秀, 等. 金属试样红外线快速加热装置的研制 [J]. 金属热处理, 2006, 31 (5): 89-91.

(本文于2013-08-20收到)