

注射成型模具电磁感应加热技术^{*}

蒋炳炎 蓝才红 陈 闻 楚纯朋

(中南大学机电工程学院,长沙 410083)

摘要 阐述注射成型模具电磁感应加热技术的原理及模外感应加热和模内感应加热的实现方式,着重介绍当前常用的机械手辅助感应加热、模芯通电感应加热、感应加热管加热、模具内置线圈感应加热和模芯内嵌线圈感应加热的方法,并分析了各种方法的优缺点,展望了电磁感应加热在注射成型模具上的发展趋势。

关键词 注射成型 模具 感应加热 变模温

注射成型是聚合物加工中一种广泛应用的方法。对于高熔融温度、高粘度的高性能聚合物材料,在常规注射成型中注射时不易充满型腔,难以获得高质量的制品,而在微注射成型中由于流道浅、型腔小、流动阻力大,易出现充填不足缺陷。目前有学者采用高的注塑压力、高的注射速率和在充填前对型腔进行抽真空等措施来解决上述问题^[1-2],但是高的注射速率和注塑压力使得注射成型设备的成本急剧上升,产品经济性下降,而且过高的注塑压力和注射速率使模具尤其是型芯变形量增大,产品精度降低。如果能在注射前将模具温度迅速升高到聚合物材料的玻璃化转变温度,并在注射和保压阶段保持模具的温度,注射完成后将模具温度迅速降低至开模温度,则可以在不增加设备成本的情况下提高产品质量、缩短注射周期、节约成本,所以快速变模温对于注射成型是十分重要的^[3]。目前快速变模温、快速加热技术主要有电加热、感应加热、薄膜电阻加热、复合模壁加热、压缩空气加热等^[4],其中感应加热因能迅速、间接、均匀地加热模具表面,实现局部加热,是一种较好的加热方式,目前已经有一定的研究。笔者现就当前模具的电磁感应快速加热技术作一介绍。

1 模具电磁感应加热的原理

电磁感应加热主要是根据法拉第电磁感应原理。将感应加热应用到模具加热主要利用了感应加热的集肤效应和邻近效应。由于感应加热的集肤效应,感应涡流主要集中在模具型腔表面,而在内部很弱,在芯部则接近于零,如图1所示。利用这一特性,可以对模具进行局部加热,使模具型腔表面温度快速升高,而模具其它地方的温度仍然能保持很低;在靠得很近的两平行板上施加方向相反的高频电流,则感应涡流会集中在两相邻平行板的表面,如图2所示;如在两导磁的模芯中施加方向相反的高频交变电流,则在型腔表面会产生大量感应涡流,其它地方涡流较少,也可以实现模

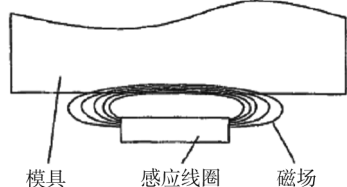


图1 感应加热集肤效应

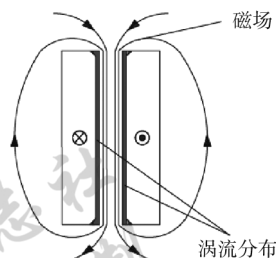


图2 平行板感应加热邻近效应

具的局部快速加热。

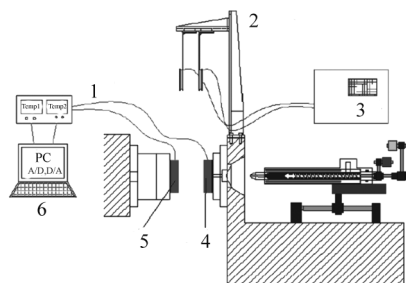
2 模具电磁感应加热方法

目前模具的感应加热可分为模外感应加热和模内感应加热。模外感应加热需要用外部辅助机构将线圈置于型腔表面,加热到设定温度时线圈移出模具合模注射;模内感应加热是将感应线圈置于模具内部,可以在合模时对型腔表面加热,能准确调节模具温度,由于感应加热元件会将其附近模具部分加热,必须将其很好地绝缘或者留出大的空隙。这两种加热方式各有其优缺点。当前用于模具感应加热的方法主要有机械手辅助感应加热、模芯通电感应加热、感应加热管加热、模具内置线圈感应加热和模芯内嵌线圈感应加热等。

2.1 机械手辅助感应加热

图3所示为机械手辅助感应加热。在开模状态时,机械手臂夹持感应线圈置于定模板和动模板之间,感应线圈通入高频交流电,在模具型腔两侧表面会产生感应电流,感应电流通过模具电阻发热达到升温。可以通过控制感应加热线圈的电流、频率、加热时间和线圈与模板间距离来控制加热的温度,当模温升到设定温度后移开线圈,合模注射^[5]。陈夏宗等^[6]运用这种电磁感应加热控制动态模温的变化,用来改善高亮面手机外壳熔接痕,实验中感应加热的速度可以达到30℃/s,采用电磁加热控制动态模温后产品的质量有了明显提高。使用这种感应加热方法可针对不同产品的模具,根据型芯定制不同的感应线圈对模具表面加热,通用性强;其缺点是控制系统和实现的机构比较复杂,且不能在合模后加

^{*} 国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2007A A04Z351)

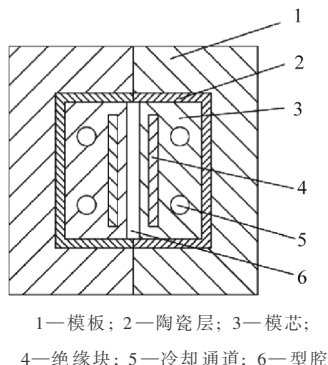


1—感应线圈; 2—机械手; 3—PLC 控制器;
4—定模板; 5—动模板; 6—PC 机
图3 机械手辅助感应加热示意图

热模具。

2.2 模芯通电感应加热

图4所示为模芯通电感应加热。在两个模芯中通入方向相反的高频交流电,由于感应加热的集肤效应和邻近效应,在两个平行的型腔表面会集中大部分的感应涡流,在模芯其它地方的感应电流很小,通过涡流的发热可以对型腔表面快速加热,在冷却孔中通入冷却水可以快速降低型腔表面温度,模芯内的绝缘块可以防止热量由型腔表面向模芯内部传递^[7]。Yao Donggang 等^[8]应用这种感应加热方法对尺寸为 25 mm × 50 mm 的模具型腔进行了加热实验,结果表明采用这种方法可在 5 s 内将型腔表面温度由室温升高到 240℃,显著缩短了注射成型周期并提高了产品质量。这种感应加热方式可使型腔表面加热温度均匀性很好,可以通过对输入电源频率和功率的改变来调节加热速度,很好地控制所需要的温度;但其缺点是在整个模芯中通入高频电流后绝缘相对较难。

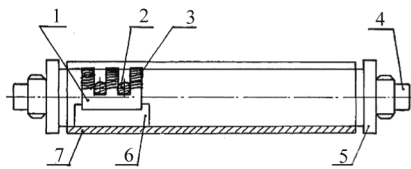


1—模板; 2—陶瓷层; 3—模芯;
4—绝缘块; 5—冷却通道; 6—型腔
图4 模芯通电感应加热示意图

2.3 感应加热管加热

将电磁感应加热管插入模具内部,由于在金属管体上开有用于磁力线通过的槽沟,感应线圈通入高频的交变电流产生的磁力线可通过模具产生回路,在模具中会产生许多涡旋感应电流,该电流通过模具电阻转化为热能对模具加热。电磁感应加热管结构如图5所示。陈荣才等^[9]的研究表明,这种感应加热方式的热效率达到 85% 以上,比远红外电加热管的热效率提高 2 ~ 3 倍。这种加热方式可以通过控制线圈的输入频率和电流来调节加热速度,达到快速加热的目的。

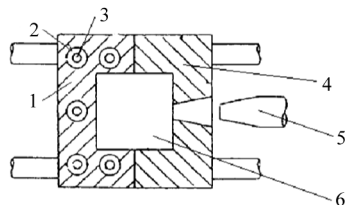
但是,在加热过程中将加热管插入模具内部会对加热管周围的金属感应发热,不能对局部很好地加热,加热模具温度的均匀性不是很好。



1—铁氧体磁芯; 2—定位销; 3—线圈; 4—接线柱;
5—磁塞; 6—固定座; 7—金属管体
图5 电磁感应加热管结构图

2.4 模具内置线圈感应加热

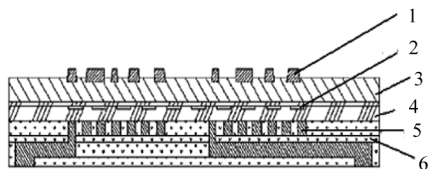
这种加热方法是在靠近模芯表面的地方布置平行感应线圈,合模后在感应线圈中通入高频交变电流,由线圈产生感应涡流再通过电阻发热达到对整个型腔表面加热^[10]。S. K. Byon^[11]发明的模具内置线圈感应加热如图6所示。研究表明,这种加热装置具有使填充型腔内树脂熔体的流动性提高、制品光泽增加、流痕和熔接痕减少等优点,并能缩短注射周期。这种加热方法加热时型腔表面温度分布均匀,温度的可控性好,其缺点是在加热过程中线圈对其周围金属都会产生感应涡流,其周围的模具温度都会上升,且需要在模具靠近型腔的壁面加工出许多线圈安装孔,这会对模具的强度产生影响。



1—动模板; 2—线圈安装孔; 3—线圈;
4—定模板; 5—喷嘴; 6—型腔
图6 模具内置线圈感应加热示意图

2.5 模芯内嵌线圈感应加热

应用微机电系统 (MEMS) 技术将高频感应加热器置于动模板型芯内,利用感应加热的间接加热特点,感应线圈通入高频电流,在动模板具有微结构一侧模芯表面产生感应涡流而发热,实现对模温的局部加热。内嵌感应线圈的模芯如图7所示^[12]。在线圈周围布置的绝缘层既可以用作感应线圈与模芯的绝缘,也可以用来阻止型腔表面的温度向内部传递,二氧化硅层内的温度传感器用来检测压模板的温度。这



1—模板上微结构; 2—温度传感器; 3—压模块;
4—二氧化硅层; 5—感应线圈; 6—绝缘层
图7 模芯内嵌线圈感应加热示意图

种加热器与模具结合, 安装较方便, 可以根据型腔内微结构的特点来布置线圈, 以达到局部加热, 但是这种感应加热器置于模具内部, 要考虑绝热问题, 制造也比较麻烦, 线圈布置在模芯内部, 不能随时更换, 通用性较差。

表 1 列出上述几种加热方法优缺点的比较。

表 1 不同电磁感应加热方法比较

加热方式	优点	缺点
机械手辅助加热	通用性强, 加热不同模具型腔只需更换线圈	不能在合模后加热, 实现机构复杂
模芯通电感应加热	模内加热, 型腔温度均匀性好	绝缘较困难
感应加热管加热	可合模后加热, 加热管安装使用方便	加热时温度均匀性不好
模具内置线圈加热	型腔温度均匀性好, 温控精度高	模芯内要加工线圈安装孔和冷却通道, 结构复杂
模芯内嵌线圈加热	安装方便, 温度均匀性好, 温控精度高	模芯结构复杂, 制造较困难

3 结语和展望

模具温度是影响制品质量的一个重要参数, 在制品成型过程中, 最好能在注射前将模具温度迅速加热到材料的玻璃化转变温度, 在注射和保压过程中一直保持模具或模芯温度, 最后快速冷却型腔, 取出制品, 但是这个工艺要求模具的升温 and 降温都要在很短的时间内完成。而感应加热技术可以在短时间内将模具型腔温度迅速升高, 且加热温度的均匀性也很好; 由于感应加热的集肤效应, 感应加热只加热模具型腔表面, 模具的大部分地方仍然处于冷却状态, 且在加热过程中可以通过对线圈设计只针对模具内的局部进行加热, 所以在冷却时通入冷却介质可以迅速地降低模具温度, 达到快速变模温的要求。感应加热快速变模温技术不但可以解决常规注射成型中高熔融温度、高粘度的高性能聚合物材料成型和薄壁零件注射成型, 也可以解决微注射成型中存在的流动性差、充填困难等难题。在未来一段时间内, 感应加热技术的发展趋势主要体现在以下几个方面:

(1) 在完善现有感应加热方法的同时, 继续研究和开发更为低成本、高效的感应加热方法, 同时将模具感应加热技术与模具的快速冷却技术有效地结合, 开发出更加有效的变

模温控制技术。

(2) 研究模具型腔内温度测量与控制技术, 与感应快速加热技术和快速冷却技术结合, 实现型腔快速变模温的精确控制。

(3) 充分利用 MEMS 技术将感应加热器集中在型芯内, 利用材料的特性和感应线圈间接加热的特点, 更好地实现模内型腔表面的快速感应加热。

(4) 将以上的模具感应加热技术应用到金属、陶瓷粉末注射成型中, 充分发挥感应加热快速变模温的应用价值, 推动感应加热变模温技术研究更大的发展。

参考文献

[1] Giboz J, et al. Micromechanics and Microengineering, 2007, 17 (6) : 96 – 109.

[2] Heckele M, et al. Micromechanics and Microengineering, 2004, 14 (3) : 1 – 14.

[3] 林志鸿. 微射出快速变模温控制系统与玻璃模仁表面微结构成型性探讨[D]. 台北: 台湾大学, 2001.

[4] 蒋炳炎, 等. 中国塑料, 2006, 20(3) : 99 – 103.

[5] 谢友智. 变模温系统对精密微注射成型微沟纹复制制度影响研究[D]. 云林: 云林科技大学, 2004.

[6] 陈夏宗, 等. 动态模具温控技术应用于高亮面手机产品表面缝合线改善[C] // 2007 年先进成型技术与材料加工国际研讨会论文集. 广州: 华南理工大学, 2007: 218 – 220.

[7] Kim B. Method for rapid mold heating and cooling[P] : US, 6846445B2. 2005-01-25.

[8] Yao Donggang, et al. . Polymer Engineering and Science, 2006, 46 (7) : 938 – 945.

[9] 陈荣才. 模具用电磁加热管[P] : 中国, 01249227. 2. 2002-3-27.

[10] Huang J T. Method and apparatus for heating mold by high frequency current[P] . : US, 2007 /075463 A1. 2007-04-05.

[11] Byon S K. Apparatus for heating a mold for an injection moulding system[P] : US, 5762972. 1998-06-09.

[12] Huang J T. High frequency induction heater built in an injection mold[P] : US, 7132632 B2. 2006-11-07.

INDUCTION HEATING TECHNOLOGY OF MOLD IN INJECTION MOLDING

Jiang Bingyan, Lan Caihong, Chen Wen, Chu Chunpeng

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

ABSTRACT The principle of mold induction heating technology and induction heating method in interior and exterior mold were introduced. Several induction heating technologies such as robot arm assisted induction heating, induction heating by electrified mold-insert, induction heating pipe, induction coil embedded in mold and induction coil built in mold-insert were introduced, and the drawbacks and advantages were discussed. In addition the developing trends of induction heating technology were presented.

KEYWORDS injection molding, mold, induction heating, dynamic mold temperature