

基于 CAE 的大型 LCD 注塑面板变模温设计与分析

Design and Analysis of Varioterm Injection Molding of Large LCD Panel Based on CAE

王桂龙, 赵国群, 李辉平, 管延锦

(山东大学 材料液态结构及其遗传性教育部重点实验室, 济南 250061)

WANG Gui-long, ZHAO Guo-qun, LI Hui-ping, GUAN Yan-jin

(Key Laboratory of Liquid Structure and Heredity of Materials,

Ministry of Education, Shandong University, Jinan 250061, China)

摘要: 研究了一种利用蒸汽加热和冷却水冷却的变模温注塑工艺, 制定了其工艺流程。以 LCD 面板为例, 通过构建变模温注塑工艺分析模型, 利用 ANSYS 对其加热、冷却过程进行了数值模拟, 研究了加热、冷却过程中型腔表面和聚合物熔体的热响应规律, 为优化变模温注塑工艺参数提供理论依据。最后, 通过构建 LCD 面板变模温注塑实验生产线, 并将分析结果应用于实验生产, 验证了模拟分析的有效性和准确性。结果表明, 利用本工作提出的变模温注塑工艺, 可在不降低生产效率的同时, 彻底消除塑件表面熔接痕和提高塑件表面光泽度。

关键词: 变模温注塑工艺; LCD 面板; 无熔痕; 热响应模拟

中图分类号: T Q320 文献标识码: A 文章编号: 1001-4381(2009)09-0024-05

Abstract: A variotherm injection molding technique with steam heating and coolant cooling was studied and its molding process was also designed. The thermal analysis model for a LCD panel mold was constructed to analyze the heating phase and cooling phase of the variotherm injection molding process. The variotherm molding process parameters for the production of the LCD panel was determined based on the thermal response simulation. Finally, a variotherm injection molding experimental production line of the LCD panel was designed and constructed to verify the numerical simulation results. The results show that surface mark of weld line is eliminated, and the gloss of the panel surface is also greatly improved.

Key words: variotherm injection molding technique; LCD panel; no weld line; thermal response simulation

随着模具产业的不断发展和加工技术的进步, 塑料加工行业正朝着高性能、高精度、高效率、低成本、低污染的方向发展。尤其是随着家电、通讯、电脑等消费类电子产品的迅猛发展, 人们对于产品的外观质量和产品性能提出了更高的要求, 传统注塑成型技术已经很难满足这种发展的需求。因此, 近年来许多学界研究单位和业内公司均积极地投入到注塑新技术的开发之中, 一系列新的注塑成型技术不断涌现。由于具有无表面熔接痕、翘曲变形小、残余应力低、表面光泽度高等优点, 变模温注塑成型技术已经渐趋广泛并成为研究热点之一^[1-4]。Chen^[2]和 Kim^[3]设计了一种利用电感应加热和冷却水冷却的快速热循环注塑装置, 并利用该装置实现了实验样条的变模温注塑生产, 消除了试样表面的熔接痕; Yao^[4]和 Jansen^[5]等提出并设计了一种具有加热层和绝热层的注塑模具, 利用加热

层良好的导热性和绝热层的热绝缘作用, 实现模具型腔表面的快速升温。Yao^[6]利用热解石墨不同方向热导率的巨大差异, 构建了一种快速加热冷却系统, 并将它应用于塑料长条的变模温注塑生产。韩志翔^[7]、张沛颀^[8]分别提出了一种利用高温氮气迅速加热型腔表面的变模温注塑系统和利用红外线加热的变模温注塑系统。邱彦程^[9]提出一种三维实体暂态计算整合技术, 透过仿真变模温控制系统, 观察不同时间下的模温变化, 并预测塑料流动及其相关行为。

本工作在研究 LCD 面板变模温注塑成型工艺的基础上, 提出一套适用于新工艺的模具设计方案。通过构建热分析模型, 模拟其加热冷却过程的温度响应, 为工艺设计提供理论指导。同时还将构建一条 LCD 面板实验生产线, 以验证模拟分析结果的有效性和设计方案的可行性。

1 LCD 面板变模温注塑工艺与模具设计

1.1 变模温注塑工艺

本工作提出的变模温注塑工艺是一种向模具内部管路中循环交替通入高温蒸汽或低温冷却水,以加热或冷却模具,从而实现模具温度高效动态控制的一种注射成型加工技术。与常规注塑技术相比,变模温注塑技术的最大特点就是其整个工艺过程根据模具温度的不同可分为高温与低温两个阶段。在高温阶段,完成注射保压操作;而在低温阶段,则完成塑件的冷却定形。具体地讲,在射胶之前,向模具内部管路中通入高温蒸汽以快速提升型腔表面温度。当温度升高至聚合物玻璃化转变温度以上时,停止通入蒸汽,然后完成射胶动作。在填充和保压阶段,利用管路中残留的高温蒸汽维持模具表面的高温状态,以保证熔体良好的充填和转印能力,从而获得高品质的塑件。在保压阶段的末期,向模具管路中通入低温冷却水,以将已赋形的聚合物熔体迅速冷却至顶出温度以下,以便开模取件,从而完成一个注塑成型周期。

1.2 模具结构设计

加热冷却系统将极大地影响生产效率和最终产品的品质,所以加热冷却系统设计对于 LCD 面板注塑成型有着重要意义。对于 LCD 面板的变模温注塑成型,高温蒸汽与冷却水可利用型腔或型芯内的同一循环管道加热或冷却模具,因而从表面上看,变模温注塑模具与常规注塑模具的结构具有相似性。但由于加热冷却管道的布局将直接影响到热传递效率和型腔表面温度的均匀性,从而影响变模温注塑工艺的成形效率和注塑产品的质量。因此,与常规注塑相比,变模温注塑模具需要更加合理的管道布局,以确保获得高品质的塑件、合理的成型周期和稳定的工艺。

考虑到 LCD 面板仅对外表面有高表面质量的要求,在模具设计时仅对与面板外表面接触的定模侧进行变模温控制,而与面板内侧接触的动模侧则采用常

规的温度控制方法。根据这一特点,本工作设计了 LCD 面板的注塑模具,如图 1 所示。

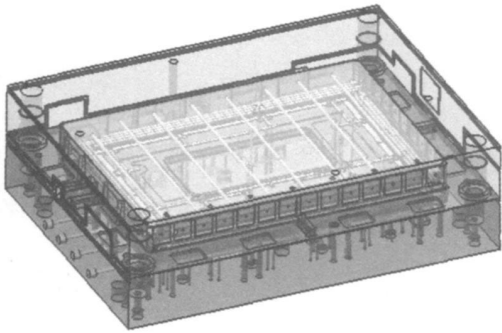


图 1 LCD 面板模具
Fig. 1 Injection mold of the LCD panel

2 加热冷却过程热响应分析

2.1 分析条件的确立

在 LCD 面板变模温注塑生产中,型腔镶块的加热可以充分利用开模取件以及合模时间进行,即在加热过程中,由于定模侧与动模侧是分开的,所以在进行加热分析时将不考虑动模侧和聚合物熔体的影响。而模具的冷却是在熔体射入模具型腔后进行的,所以在冷却分析时将考虑聚合物熔体和动模侧的影响。另外,在整个注塑过程中,动模侧型芯镶块的管道中始终通入 70℃ 的恒温水,以保持动模侧温度的稳定。

在分析之前,将根据变模温注塑工艺的特点做出一些合理假设。首先,考虑变模温注塑工艺的温度变化范围相对较小,故可假定材料的热物理属性不随温度的变化而改变。其次,由于充模流动时间远小于冷却时间,故不考虑树脂熔体对流传热和黏性扩散的影响,只考虑塑料熔体的热传导作用。另外,假定各层材料之间充分接触,忽略接触界面的热阻。表 1 给出了分析过程中所涉及材料的物性参数及初始温度。

表 1 模具和 LCD 面板材料的物性参数及初始温度
Table 1 Physical properties and initial temperatures of the mold and LCD panel

Name	Material	Density/ (kg · m ³)	Thermal conductivity / (W · m ⁻¹ · °C ⁻¹)	Heat capacity/ (J · kg ⁻¹ · °C ⁻¹)	Initial temperature/ °C
Moveable plate	AISI 1045	7850	49.8	486	30
Core insert	AISI P20	7850	34	460	30
LCD panel	ABS	1040	0.16	1565	235
Cavity insert	AISI H11	7780	30	460	30
Fixed plate	AISI 1045	7850	49.8	486	30

根据实际生产情况,本工作确定了分析的边界条件和初始条件。模具基体周边环境温度为 30℃,与空

气间的换热系数为 20W/(m² · °C);高温蒸汽与冷却水的温度分别为 180, 18℃;结合具体的工艺参数条

件, 根据 Sheicher 与 Rouse 建议的经验公式计算得冷却水、70℃恒温水与模具内部管道间的对流换热系数分别为 5738.5, 3863.6 W/(m²·℃), 高温饱和水蒸气与模具的热交换过程属于凝结换热过程, 计算得出的对流换热系数为 7032.5 W/(m²·℃)^[10]。

2.2 模拟分析与讨论

LCD 面板具有等截面“回”字型的结构特点, 故可将该分析简化为二维平面问题, 图 2 给出了简化的分析模型。为了解变模温注塑的热循环效率和优化模具结构, 本工作分别对 LCD 塑件变模温注塑成型的加热、冷却过程进行了热响应模拟分析。

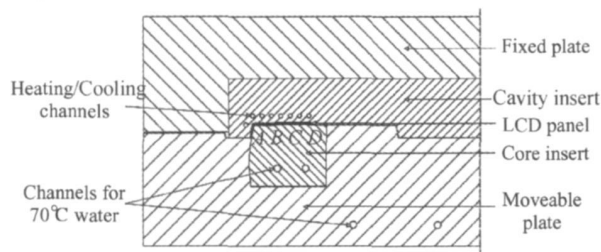


图 2 热响应分析简化模型

Fig. 2 Simplified model of the mold for thermal response simulation

图 3 给出了加热过程型芯镶块表面上的 A, B, C, D 等四点的温度变化历程。从图 3 可以看出, B, C 两点的升温速率较快, 经 20s 加热后, 温度可升高至 130℃ 以上。A, D 两点的升温速率相对较慢, 同样经过 20s 加热后, 温度升高至 100℃ 左右。这主要是因为 A, D 两点位于 LCD 面板的边角处, 距离加热管道较远且分布不均匀, 从而导致热传递速率相对较低。另外, 从各点温度变化趋势还可以看出, 随着时间的延长, 加热速率逐渐减小, 最后趋于平衡温度。在前 40s 的加热时间里, 各点的升温速率较快, 40s 时各点温度均已升高至 120℃ 以上, 40s 后各点的升温速率已变得非常缓慢, 故可认为蒸汽的有效加热时间约为 40s。本工作中 ABS 塑料的玻璃化转变温度为 97℃, 对应的加热时间约为 18s, 图 4 给出了此时型腔表面的温度分布曲线。从图 4 可以看出, 主型腔表面温度分布比较均匀。型腔两侧边角处温度略低, 需要加强冷却以进一步提高表面温度的均匀性, 从而提高塑件的表面质量。

在冷却阶段, 模具处于合模状态且熔体已完全充满型腔, 所以分析时必须考虑树脂熔体和动模侧的影响。图 5 给出了 A, B, C, D 等四点在冷却过程中的温度变化历程。从图 5 可以看出, 在冷却阶段的初期,

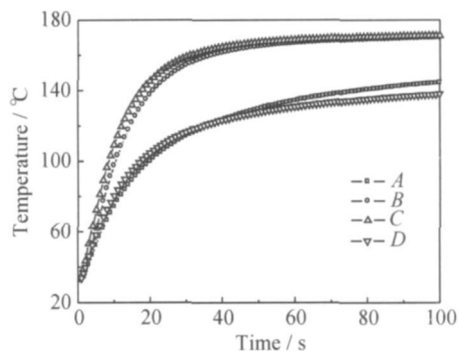


图 3 加热过程型腔表面上各点的温度响应

Fig. 3 Temperature responses of the points on mold surface during heating

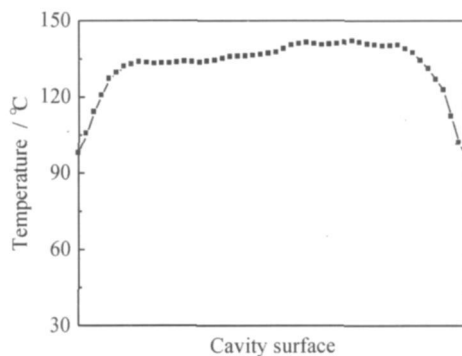


图 4 经 18s 加热后定模型腔表面温度分布

Fig. 4 Temperature distribution of the fixing mold surface after 18s heating

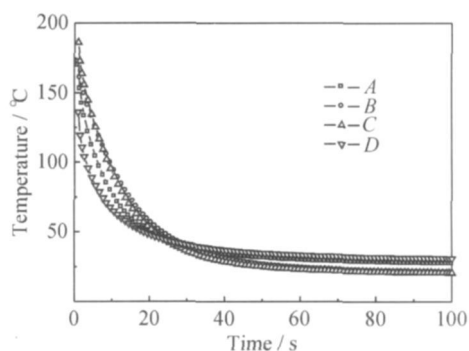


图 5 冷却过程型腔表面各点的温度响应

Fig. 5 Temperature responses of the points on cavity surface during cooling

A, D 两点的冷却速率相对较快, 但随着时间的延长, 这四个位置点的冷却速率迅速下降。这主要是由于随着时间的延长和塑件、模具温度的降低, 使得温差减小, 从而减缓了热量的传递。通过比较可以发现, 在前 20s 的冷却时间里, B, C 两点的冷却速率相对较慢, 这主要是由于 B, C 两点均位于 LCD 面板的中间区域, 且距离冷却管道较远, 从而使得热传递效率不高。随着冷却时间的进一步延长, 各点温度趋于平衡。

图 6 给出了经 35s 冷却后熔体中心的温度分布情况。从图 6 可以看出,此时聚合物熔体已全部冷却至顶出温度 85℃以下,这说明对于 LCD 面板的变模温注塑成型,其需要的冷却时间约为 35s。

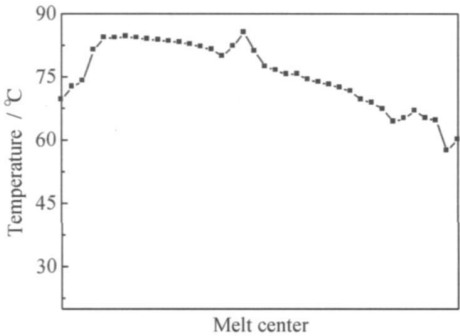


图 6 经 35s 冷却后熔体中心温度分布

Fig. 6 Temperature distribution of the mold cross-section after 35s cooling

3 实验验证

为了验证分析结果,本工作构建了一条由蒸汽输送系统、冷却水输送系统、动态模温控制系统、注塑模具及注塑机等组成的变模温注塑生产线,如图 7 所示。

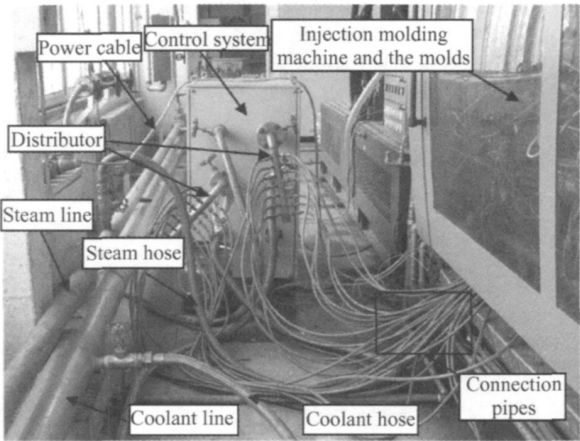


图 7 变模温注塑实验生产线

Fig. 7 Test production line of variotherm injection molding

3.1 原料与设备

LCD 面板材料为三星公司的高光 ABS (BF 0677F),密度为 1.14g/cm³,分子量为 6000~20000,熔融指数为 7g/(10min),熔点约为 96℃,热变形温度为 88℃,成型温度 180~240℃。在注塑实验前,塑料材料均经充分的干燥处理(于 85℃下干燥 8h)。

LCD 面板的外型尺寸长×宽×高为 1133mm×736mm×18mm,平均壁厚约为 2.5mm。LCD 面板模具的型腔表面具有较高的光洁度,其表面粗糙度 $R_a < 0.025\mu\text{m}$ 。模具分型面的周围设计加工了大量的排气槽,以加强排气,避免因型腔中气体积聚而造成塑件表面产生缺陷。测温热电偶安装在模具的型腔板内,测温点接近于型腔表面的位置,以实现型腔表面温度的精确测量与控制。

注塑机为 MA 16000/13700u,其理论注射容量为 8349cm³,注射压力为 164MPa,锁模力为 16000kN。另外,塑件表面光泽度的测量采用 JFL-BZ60 型小孔光泽仪。

3.2 实验过程

注塑实验前,将模具预热至 80℃,待模具温度稳定后,再利用蒸汽加热进行变模温注塑生产。在实验的开始阶段,根据模拟分析的结果,将加热时间、高温保持时间、冷却时间等变模温注塑工艺参数的初始值分别设为 18, 24, 35s,以进行工艺调试。实验过程中,利用一个 K 型热电偶测量模具的温度变化,测量数据可通过触摸屏实时显示,并记录下来。热电偶的测量位置如图 8 所示。

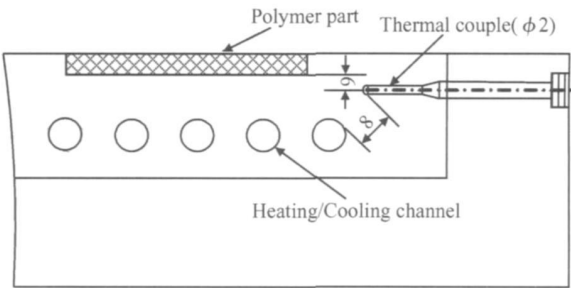


图 8 热电偶在型腔中的安装位置

Fig. 8 Installation location of the thermal couple in the cavity

3.3 实验结果

图 9 给出了变模温注塑生产过程中,模具、进出模介质的温度变化曲线,从图 9 可以看出 LCD 面板的注塑成型周期约为 82s,与同型号 LCD 面板的常规注塑成型周期相近。进入稳定连续生产以后,模具型腔由 65℃升高至 125℃,需要的平均加热时间为 13.4s,这与模拟结果的 12.6s 基本一致;而在冷却阶段,实际注塑生产所需要的冷却时间约为 24s,而模拟结果中的冷却时间为 35s,实验值与模拟值存在较大偏差。这主要是由于模拟结果对应的时间值,为位于型腔中心的塑料熔体由熔融状态全部冷却至顶出温度以下时对应的的时间。但在实际生产中,当塑件的整体平均温度

达到顶出温度时,即可开模取件,这导致数值模拟的冷却时间值偏大。

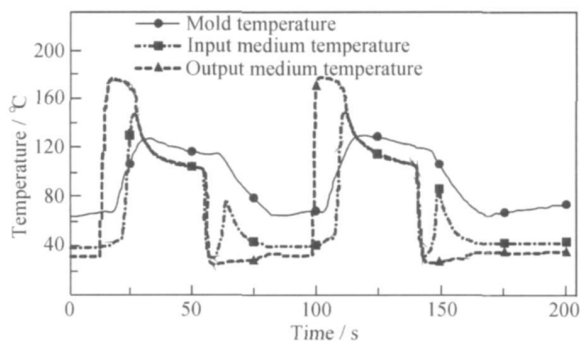


图9 变模温注塑生产过程中,模具、进出模介质的温度变化曲线

Fig. 9 Temperatures of the mold and the in/out medium during variotherm injection molding

图10给出了利用变模温注塑工艺生产的LCD面板。从图10可以看出,塑件表面无熔接痕、凹陷、银纹等缺陷,且塑件的表面光泽度也有了较大的提高,塑件表面的平均光泽度值可达92%。

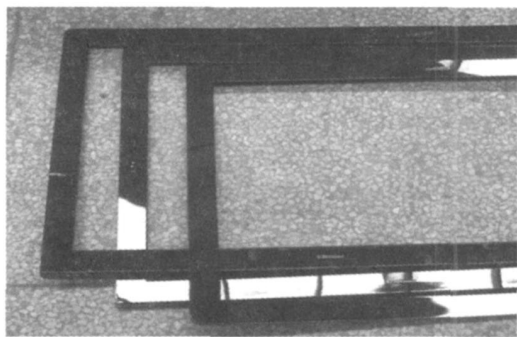


图10 变模温注塑成型LCD面板
Fig. 10 LCD panel manufactured with variotherm injection molding

4 结论

(1)通过LCD面板变模温注塑的热响应模拟发现:LCD面板变模温注塑成型所需的加热、冷却时间

分别为18s和35s;蒸汽、冷却水的有效作用时间均为40s左右,平均加热、冷却速率分别为 $3.5^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 和 $4^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 。

(2)实验生产结果表明:模拟分析结果可以用来有效地指导变模温注塑工艺参数的设定;与常规注塑相比,变模温注塑可以在不延长注塑成型周期的基础上,获得高光无熔痕的高品质塑件。

参考文献

- [1] THEILADE U A, HANSEN H N. Surface microstructure replication in injection molding[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2006, 33(1-2): 157-166.
- [2] CHEN S C, JONG W R, CHANG J A. Dynamic mold surface temperature control using induction heating and its effects on the surface appearance of weld line[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2006, 101(2): 1174-1180.
- [3] KIM B, YAO D G. Method for rapid mold heating and cooling [P]. United States Patent: 6846445, 2005-01-25.
- [4] YAO D G, KIM B. Development of rapid heating and cooling systems for injection molding applications[J]. Polymer Engineering & Science, 2002, 42(12): 2471-2481.
- [5] JANSEN K M B. Heat transfer in injection moulding systems with insulation layers and heating elements[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 1995, 38(2): 309-316.
- [6] YAO D G, KIM B. Developing rapid heating and cooling systems using pyrolytic graphite[J]. Applied Thermal Engineering, 2003, 23(3): 341-352.
- [7] 韩志翔, 刘文斌. 气体式变模温控制技术应用[R]. 台北: 台湾区计算机辅助成型技术交流协会, 2007.
- [8] 张沛颀, 陈建羽, 黄型杰, 等. 红外线变模温系统设计与分析[R]. 台北: 台湾区计算机辅助成型技术交流协会, 2007.
- [9] 邱彦程, 杨文贤, 许嘉翔. 变模温射出成型之CAE模拟技术[R]. 台北: 台湾区计算机辅助成型技术交流协会, 2007.
- [10] WILLIAM K, MICHAEL C. Convective Heat and Mass Transfer[M]. New York: McGraw-Hill, 1980.

基金项目:“十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAF02A05)

收稿日期:2008-09-19;修订日期:2009-07-27

作者简介:王桂龙(1983—),男,博士研究生,从事注塑工艺与数值模拟方面研究工作,联系地址:山东省济南市山东大学材料学院2007级博士12号信箱(250061),E-mail:WGL0506@163.com

科学家开发轮胎节能新材料

美国俄勒冈州立大学科研人员正在开发一种以植物提取物为主要原料的轮胎加强材料。新材料不仅能提高轮胎的性能,而且有助于降低车辆的能耗。科研人员称这种轮胎加强材料的主要成分是微晶纤维素。微晶纤维素主要从树木等植物中提取,是一种纯净的天然纤维素解聚产物。较之以其他材料为加强材料的传统轮胎,以新材料为加强材料所生产的轮胎具有制造成本低、在湿滑和冰冻路面上牵引力强和在炎热环境下散热性好等优点。此外,它还能减小轮胎的转动阻力,从而让车辆更加节能省油。