

[研究·设计]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2014.01.001

基于 ANSYS 的平板塑件注塑模具热应力分析

傅厦龙, 胡夏夏*

(特种装备制造与先进加工技术教育部/浙江省重点实验室(浙江工业大学), 浙江 杭州 310014)

摘 要:以平板塑件的注塑模具为研究对象,运用 ANSYS 对其进行瞬态热分析,模拟注塑过程中各时刻模具的温度分布情况,并在模具温度最大时刻进行稳态静力分析,找出应力集中区域,为模具的疲劳设计提供一定的依据。

关 键 词:注塑模具;热分析;应力分析;疲劳破坏

中图分类号:TQ320.66 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2014)01-0001-03

Thermal and Stress Analysis of Injection Mold Based on ANSYS

FU Xialong, HU Xiaxia*

(Key Laboratory of E&M (Zhejiang University of Technology), Ministry of Education & Zhejiang Province, Hangzhou 310014, China)

Abstract: Through ANSYS, transient thermal analysis was carried out for injection mold of flat plastic parts, the thermal distribution of the mold during injection process was obtained, and the stress analysis of the mold was implemented when the mold temperature achieved highest point. It is convenient to find out the areas of stress concentration, and provide certain basis for fatigue design.

Key words: injection mold; thermal analysis; stress analysis; fatigue rupture

疲劳开裂是注塑模具最常见的失效形式,而且最容易发生在应力集中位置。注塑过程中模具温度会在一定的范围内发生变化,引起模具的热胀冷缩,结合模具型腔所受的变化的型腔压力,以及动模板上锁模力使模具局部出现应力集中,经过多周期循环,这些位置容易出现裂纹,裂纹形成后,应力重新分布,直到裂纹扩展到一定长度导致塑性应变时,产生应力松弛并且裂纹停止扩展,但是随着交变载荷的继续循环,裂纹尖端附近会形成许多微裂纹,并逐渐与主裂纹合并,导致裂纹继续扩展,延伸到模具型腔表面使模具发生失效^[1]。

近年来,许多学者对注塑模具的应力集中进行研究。其中,周莉^[2]等运用有限元软件 MSC. Patran 首先对调制解调器外壳塑件注塑成型模具进行了静力分析,研究了不同型腔压力下模具的应力分布和位移变化,然后运用疲劳强度理论对模具型腔进行全寿命分析,分析得到损伤最严重的点即应力集中点,并对其进行了疲劳优化设计以满足设计要求。Guilong Wang^[3]等以大型 LCD TV 框架模具为研究对象,首先得到周期内模具温度的变化曲线,随后将热载荷与型腔压力、锁

模力结合在一起对注塑模具型腔进行应力分析,分析得到即冷即热管道端部容易形成应力集中,最后对模具型腔进行疲劳分析,表明疲劳寿命最小点在应力集中处,与实际相符。李熹平^[4]等对液晶平板电视机面板的高光注塑模具进行研究,数值分析得到模具型腔板在注塑循环过程中局部发生较大的热变形,形成应力集中,加速模具的疲劳开裂。胡青春^[5]等以 PET 瓶胚模腔为研究对象,对其周期内热应力场进行模拟,随后进行疲劳分析得到疲劳寿命云图,发现最低寿命处在应力集中处,导致模具未达到疲劳寿命设计要求。Li Xiping^[6]等对液晶电视面板的电加热模具进行热应力分析,得到应力最大位置在 1 号加强筋处,与实际疲劳破坏位置一致。

本文以 PC 平板塑件的注塑模具为研究对象,由于注射时间较短,假设塑件与模具之间只存在热传导。首先运用 ANSYS 对其进行瞬态热分析,得到各个时刻模具的温度分布,然后将温度最大时刻的温度分布以热载荷形式加载到模具上,结合型腔压力和锁模力对其进行应力分析,最后得到应力集中区域,为模具的疲

收稿日期:2013-08-29;修回日期:2013-09-20

作者简介:傅厦龙(1988),男,浙江宁波人,硕士研究生,主要研究方向为注塑模具的 CAE 分析。E-mail:810854856@qq.com

劳设计提供一定的依据。

1 注塑模具的热分析

1.1 热分析的基本理论

热传导方式有 3 种:热传导、热对流和热辐射。本文研究的热塑性模具热分析过程涉及热传递和热对流 2 种方式,包括制品和模具之间的热传导、模具内部的热传导以及水路和模具之间的热对流、模具与空气的热对流。

热传导可以定义为完全接触的两个物体之间或一个物体的不同部分之间由于温度梯度而引起的内能的交换,热传导遵循傅里叶定律^[7]

$$q^* = -k_{nn} \frac{\partial T}{\partial n} \quad (1)$$

其中, q^* 为热流密度/(W·m⁻²), k_{nn} 为导热系数/[W·(m·℃)⁻¹], $\frac{\partial T}{\partial n}$ 为沿向的温度梯度,负号表示热量流向温度降低的方向。

热对流是指固体的表面与它周围接触的流体之间,由于温度差的存在引起的热量的交换。热对流有自然对流和强制对流之分,本文水路的水流是通过一定的压力实现循环的属于强制对流,热对流用牛顿冷却方程来描述

$$q^* = h_f(T_s - T_B) \quad (2)$$

其中, h_f 为对流换热系数, T_s 为固体表面温度, T_B 为周围流体的温度。

热分析的控制微分方程为

$$\frac{\partial}{\partial x}(K_{xx} \frac{\partial T}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(K_{yy} \frac{\partial T}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(K_{zz} \frac{\partial T}{\partial z}) + \dot{q} = \rho c \frac{dT}{dt} \quad (3)$$

其中, k_{xx} , k_{yy} 和 k_{zz} 为各个方向分量的热传导系数, $\dot{q}$ 为内热源单位体积的热生成, ρ 表示密度, c 表示比热容。

1.2 运用 ANSYS 进行热分析

为了更加精确地模拟模具的温度场,本文利用 Solid70 单元对注塑模具进行三维热分析,模拟注塑过程中模具的温度场随时间的变化,有限元模型如图 1 所示,模具采用 Tool P20,其相关参数如表 1 所示,塑件采用牌号为 Makrolon 1239 的 PC,其主要参数如下:热导率为 0.173 W/(m·℃),比热容为 1 700 J/(kg·℃),密度为 1 033.2 kg/m³,推荐模具温度为 90℃,推荐熔体温度为 300℃。

由于热塑性注塑模具以水温控制模具温度,同时起冷却作用,因此实际注塑中水温一般低于所需模具温度 10~20℃,因此本文初始模具温度设为 70℃,水

路温度也为 70℃,熔体初始温度为 300℃。空气对流系数设为 20 W/(m²·℃),水路对流系数由以下公式得出^[8]

$$\alpha = 0.023 \frac{\lambda}{D} Re^{0.8} Pr^{0.4} \quad (4)$$

其中: λ 为热导率, D 为水路直径, Re 为雷诺数, Pr 为普朗特常量。经计算水路的对流系数为 3 863.6 W/(m²·℃)。

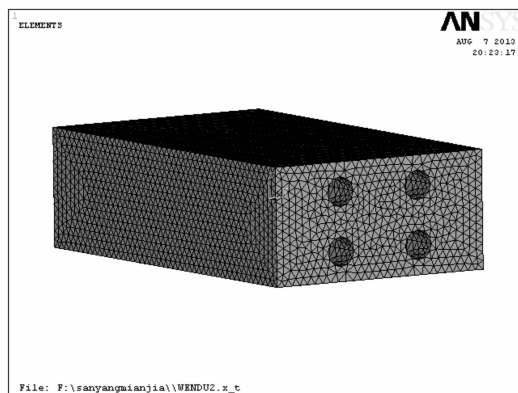


图 1 塑件的有限元模型

Figure 1 Finite element model of plastic part

表 1 模具材料相关参数

Table 1 Parameters related to mold material

材料	热导率/ [W·(m· ℃) ⁻¹]	比热容/ [J·(kg· ℃) ⁻¹]	热膨胀 系数/ ℃ ⁻¹	密度/ (kg·m ⁻³)	弹性 模量/ GPa	泊松比
Tool P20	29	460	1.2×10^{-5}	7 800	205	0.29

对模具进行热分析,得到模具的温度分布情况,从温度场中寻找模具温度最高时刻,即热载荷最大,将此时的热载荷加载到模具的热应力分析中检验模具的疲劳强度。由于模具型腔表面和熔体接触,因此结合面处模具温度最高,由 ANSYS 分析结果得到模具型腔表面上沿着流动方向依次 4 点的温度-时间变化曲线 1、2、3、4(见图 2),4 点温度变化趋势基本一致,初始阶段,模具由熔体传入的热量大于水路对流消耗的热量,因此温度上升,随着冷却的继续,熔体温度下降,传递给模具的热量小于水路耗散的热量,模具温度开始下降,由图可知在 16 s 处模具表面温度达到最高。

2 模具的应力分析

注塑过程中模具除了受到热载荷作用外,同时承受很大的型腔压力和锁模力,这就要求模具应有足够的强度减少塑件的翘曲变形,并提高模具的疲劳特性,延长模具的寿命。

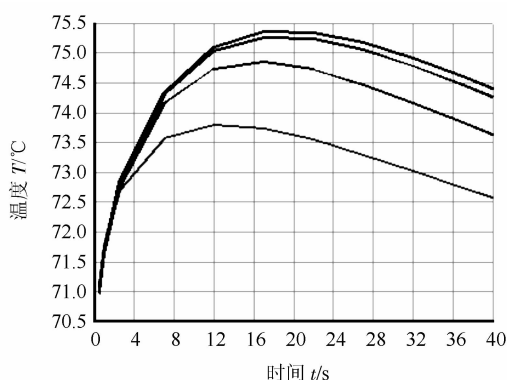


图2 模具型腔表面温度随时间分布图

Figure 2 Mold surface temperature distribution over time

模腔压力决定于壁厚、流长和壁厚的比例及粘度等级常数,锁模力取决于模腔压力大小和塑件的投影面积,计算公式如下

$$p = p_0 \cdot k, F = p \cdot S = p_0 \cdot k \cdot S \quad (5)$$

其中: p 为模腔压力, p_0 为模腔基本压力, k 为黏度等级常数, F 为锁模力, S 为合模方向的投影面积。

经计算,模腔压力为 57 MPa,锁模力为 285 kN,并将 16 s 时模具的温度分布以热载荷形式加载到模具上,对模具进行应力分析,应力云图如图 3 所示,最大应力发生在外框的角落位置,大小为 428 MPa,超过 P20 工具钢的屈服极限 205 MPa,因此对外框边缘进行倒圆角处理来减少应力集中,除模框边缘外,水路管道内壁局部位置应力较大,需要对其进行表面热处理以提高其表面强度,而实际出现疲劳破坏的位置也往往在管道位置处。

3 结语

注塑模具在注塑过程中不仅承受较大的锁模力和型腔压力,同时承受不断变化的热载荷的作用,因此局部位置容易出现疲劳破坏,尤其是应力集中位置。运用 ANSYS 对注塑模具进行热应力间接耦合分析,可以较全面地分析注塑过程中模具的应力集中位置,以便在模具设计中对这些位置进行相应的处理,如倒圆角

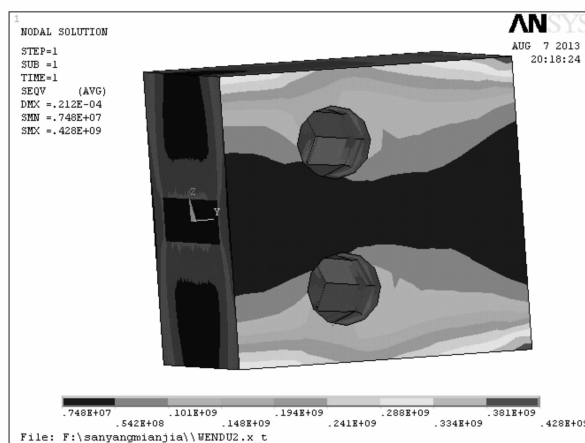


图3 模具热应力分布图

Figure 3 Contour distribution of mold thermal stress

处理、表面热处理、工艺参数调整等,从而提高模具的疲劳强度,延长其使用寿命。

参考文献:

- [1] 任方杰,邵飞,武春雪,等. 基于 ANSYS 高压气瓶疲劳分析设计[J]. 材料开发与应用,2012(5):67-70.
- [2] 周莉. 注塑模具型腔疲劳可靠性分析[D]. 长沙:湖南大学,2010.
- [3] WANG G L, ZHAO G Q, LI H P, et al. Three-dimensional thermal response and thermo-mechanical fatigue analysis for a large LCD TV frame mould in steam-assisted rapid heat cycle moulding [J]. Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures, 2010, 2(34): 108-121.
- [4] 李熹平,李青洲,周月华. 高光注塑模具热疲劳机理及其数值模拟分析[J]. 现代制造技术与装备,2012(3):25-26.
- [5] 胡青春,宋珂,姜晓平. 基于 ANSYS WORKBENCH 注塑模腔疲劳寿命研究[J]. 材料开发与应用,2012(5):67-70.
- [6] LI Xiping, GONG Ningning, GUAN Yanjin, et al. Thermal and stress analysis of rapid electric heating injection mold for a large LCD TV panel [J]. Applied Thermal Engineering, 2011, 31(17): 3989-3995.
- [7] 王泽鹏,张秀辉,胡仁喜. 热力学有限元分析从入门到精通[M]. 北京:机械工业出版社,2010.
- [8] SAIFULLAH A B M, MASOOD S H, SBARSKI I. Thermal-structural analysis of bi-metallic conformal cooling for injection moulds [J]. International Journal Advanced Manufacture Technology, 2012, 62(1/4): 123-133.

[信息·简讯]

· 行业简讯 · 西安中轻机公司“西安市制浆造纸装备工程技术研究中心”顺利通过验收

近日,西安中轻机公司“西安市制浆造纸装备工程技术研究中心”顺利通过了西安市科技局组织的西安市工程技术研究中心的验收。西安中轻机公司接受了西安市科技局的“西安市制浆造纸装备工程技术研究中心”授牌。

西安市制浆造纸装备工程技术研究中心把“以创新求生存,以贡献求发展”作为理念和指导,以提高自主创新能力为核心,整合优化科技资源,以研发清洁、高效等制浆装备和控制技术为突破口,加强关键、核心技术的研发,实现了制浆造纸工业的技术突破和关键技术跨越,支持西安市制浆造纸等相关企业自主创新,培育新的经济增长点,推动西安市经济社会全面协调可持续发展。

(徐 熙)