

压铸模的功能梯度材料涂层性能分析

吴和保,石向阳

武汉工程大学机电工程学院,湖北 武汉 430205

摘要:为了提高压铸模的使用寿命,用有限元方法对涂层为功能梯度材料的压铸模进行分析.梯度材料涂层分为5层,沿模具表面法向氮化钛所占的比例逐渐增加,分别为20%、40%、60%、80%、100%.在不同厚度涂层的应力分析中,涂层中氮化钛的比例不变,只增加每一层的厚度,涂层总厚度分别为0.002 mm、0.004 mm、0.006 mm、0.008 mm、0.01 mm.功能梯度材料的性能参数采用简单混合物运算法则计算.应用有限元法对有功能梯度材料涂层的模具和没有功能梯度材料涂层模具的温度场、应力场进行比较分析,并对不同厚度功能梯度材料涂层的应力进行研究.结果显示:当功能梯度材料涂层的厚度为0.006 mm时温度场分布更合理,表面剪应力及压应力变化平缓,有效延长了模具寿命.

关键词:压铸模;功能梯度涂层;有限元;厚度

中图分类号:TP 273⁺.5

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2014.06.011

0 引言

压铸是现代制造业的一个重要分支,在很多行业都得到应用.压铸模的模具比较复杂,因而制作成本较高,在压铸件的生产成本中占有很大的比例^[1].压铸模的使用寿命长短直接影响铸件的生产成本、生产效率,以及铸件的质量.选用合适模具材料很重要,但是一般都会在模具表面进行处理,以延长模具使用寿命.目前主要的处理方法有传统处理技术、表面扩散技术、涂层、氮化+涂层、扩散+涂层等^[2],目前应用广泛的还是传统处理技术,传统处理技术比较成熟,而且成本很低,在一些要求不是很高的压铸中可以满足质量要求.随着科学技术的发展,对压铸零件的质量要求越来越高,对压铸模的要求也随之提高.单一的处理方法不能很好的满足各方面的性能要求,复合的表面处理方法可以在一定程度上解决这个问题.传统的陶瓷涂层膜有优良的耐溶损性、耐过烧性、耐粘着性;但耐热裂性则基本上没有改善,主要是传统涂层与基体的粘接强度不高,在热应力作用下易脱落^[3].功能梯度涂层由于组织成分是连续变化的,与基体的粘接强度高,有效减小甚至消除了界面的残余应力,减小热应力和裂纹驱动力等^[4].功能梯度材料(FGM)虽然没有在市场上广泛应用,但仍然是压铸模具表面处理技术的重

要研究发展方向之一^[5].

1 模型建立

图1为一个法兰毛坯零件的图纸,通过有限元软件建立的凹模模型如图2所示.

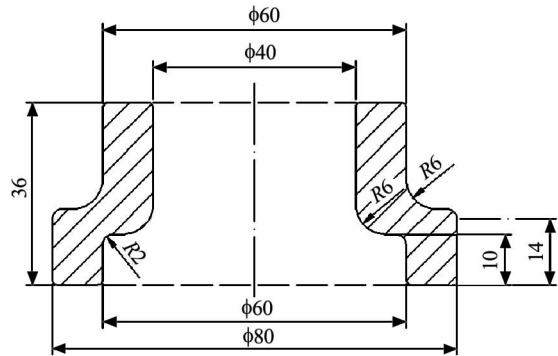


图1 法兰毛坯

Fig.1 Flange blank

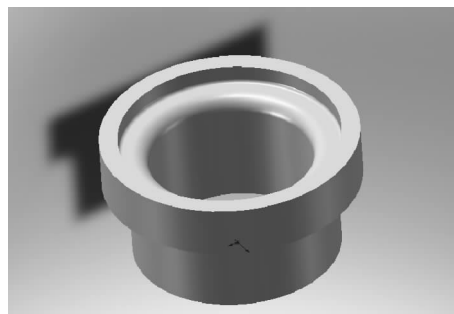


图2 凹模

Fig.2 Matrix

收稿日期:2014-04-20

作者简介:吴和保(1963-),男,湖北麻城人,教授,博士.研究方向:金属凝固理论及其数值模拟、金属表面处理与防护、液态金属精确成型、金属雾化制粉、材料自动化检测与控制.

到目前为止梯度涂层的建模方法不是很完善,主要使用的是分层法,把梯度涂层分为若干层,细分的层数越多,就更接近理论上的模型;另外有一些 FGM 参数化信息建模方法,不过这些方法建模比较复杂.一般要求不是非常高的模型分析中常采用分层法,对于要求很高的模型分析可以采用其他建模方法.由于此模型要求不是非常高,采用分层法对梯度涂层进行建模,可以通过细分涂层层数使模型更接近理论模型. FGM 涂层的厚度为 $10\text{ }\mu\text{m}$,由于建模细密,会导致软件分析计算时间过长.为了减少模型分析所要耗费的时间,把涂层细分为 5 层,5 个分层涂层的参数逐渐变化.5 层梯度涂层中涂层材料所占百分比分别为 20%、40%、60%、80%、100%.在 ANSYS 软件中对涂层部分进行网格细化使之更接近实际的模型,文中主要以凹模为例进行分析.

模具材料是 H13 热作模具钢,其弹性模量 211 GPa ,泊松比 $\gamma=0.28$,热膨胀系数 $13.5\times 10^{-6}(20\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 650\text{ }^{\circ}\text{C})$,导热系数 $28.8\text{ W(m/K)}^{-1}(650\text{ }^{\circ}\text{C})$.梯度涂层材料选用 TiN(氮化钛),弹性模量 450 GPa ,去掉泊松比 $\gamma=0.22$,热膨胀系数 $4.8\times 10^{-6}(20\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 650\text{ }^{\circ}\text{C})$,导热系数 $64\text{ W(m/K)}^{-1}(650\text{ }^{\circ}\text{C})$ [6].文中以铝合金压铸模为例:工作温度以 $650\text{ }^{\circ}\text{C}$,压强以 $1\times 10^6\text{ Pa}$ 来计算.

2 有限元分析

2.1 温度场及应力分析

通过有限元软件根据上面的方法建立模型并进行分析,对比含有 FGM 涂层的模具和不含 FGM 涂层的模具的相关数据.

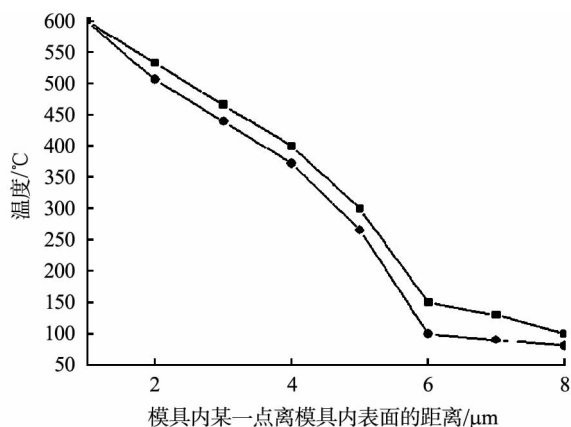


图3 模具沿 z 轴的温度变化

Fig. 3 Change of temperature along the direction of z axis

注:—■—不含涂层的模具;—●—含涂层的模具

由图3某时刻温度变化图可以看出涂覆有涂层的模具的温度沿法向的下降趋势比不含涂层的模具快.虽然模具内外表面温度相差不是很大,但是模具的整体温度分布却不一样,普通模具由

内表面向外表面方向的温度下降比较缓慢,而含涂层的模具的温度下降较快.这使得含涂层的模具靠近内表面的部分承受热应力比不含涂层的模具的小,可以一定程度上降低热应力,提高模具的使用寿命.图4表示的是沿模具法向的 von miss stress 的变化图.含有涂层的 von miss stress 明显比不含涂层的小.

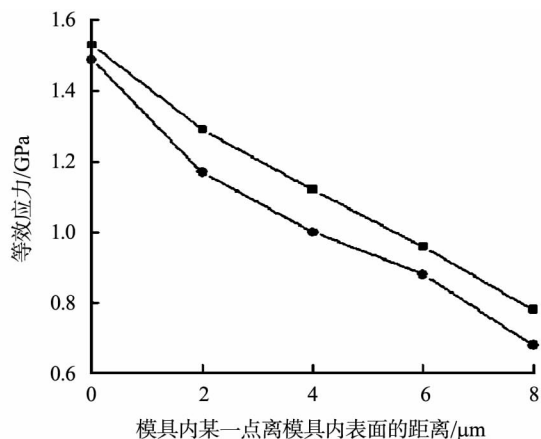


图4 模具沿 z 轴的 von miss stress 变化

Fig. 4 Change of von miss stress along the direction of z axis

注:—■—不含涂层;—●—含涂层

2.2 不同涂层厚度时应力分析

通常涂层材料都具有硬度高、耐磨性好、耐腐蚀性能好、高温稳定性好的特点[7].作为涂层材料在高温和冲蚀的环境中拥有比其他材料更长的使用寿命,在压铸模具的表面通过一定的方法涂覆功能梯度材料改善模具的表面性能.由于涂层材料的硬度较高,如果厚度太厚,在疲劳应力作用下易产生裂纹,甚至脱离,影响模具的表面质量.厚度太薄,则对表面的性能提高不是很明显.通过对含有不同厚度涂层的模具的应力以及表面的剪切力进行分析,可以得到图5和图6.

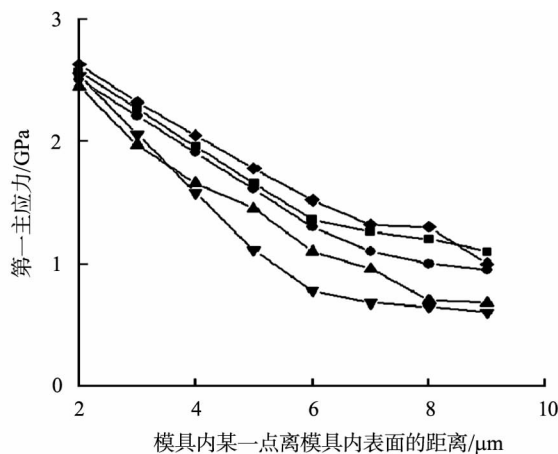


图5 模具沿 z 轴第一主应力变化图

Fig. 5 Change of the first principal stress along the direction of z axis

注:—■—厚度为0.01 mm;—●—厚度为0.008 mm;—▲—厚度为0.005 mm;—▼—厚度为0.004 mm;—◆—厚度为0.002 mm

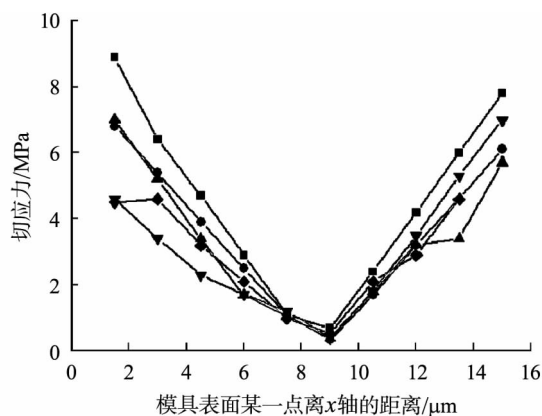


图 6 模具表面的切应力变化图

Fig. 6 Change of the shear stress along the direction of x axis

注: ■ 厚度为 0.01 mm; ● 厚度为 0.008 mm; ▲ 厚度为 0.006 mm;
▼ 厚度为 0.004 mm; ◆ 厚度为 0.002 mm

从图 5 中可以看到涂层的厚度从 0.01 mm 变化到 0.002 mm 时模具的第一主应力的变化,从厚度为 0.01 mm 到 0.004 mm 时,整体上应力是随涂层厚度的变小而减小,但是涂层厚度为 0.002 mm 时反而出现应力变大的情形,而模具内表面的应力的差别不是很大。模具表层应力沿法向呈现逐渐变小的趋势,但是当模具内某点距离内表面的距离超过一定值后,应力基本趋于平缓。

图 6 表示的是模具表面 x - y 平面上剪切力沿着 z 轴的方向模具表面剪切力的变化图,不同的厚度时都表现出剪切力先减小后增大的趋势。不同厚度时最小剪切力相差不大,最大剪切力随厚度的下降而减小。在涂层厚度为 0.002 mm 时比涂层厚度为 0.004 mm 时剪切力有增加的趋势。

3 结 论

通过 ANSYS 软件的分析数据表明:(1)在压铸模的模具表面涂覆合适的功能梯度材料涂层可以使温度场分布更合理,缓和热应力,但是梯度涂层对热应力的改善不是很明显。由于涂层的硬度高、耐磨性好可以有效延长模具的使用寿命。(2)涂层厚度与模具的寿命有紧密联系,涂层过厚,在应力、冷热交替、冲刷和侵蚀等条件下,涂层更容易产生裂纹,以至脱离模具,这样就会严重影响模具的表面质量,降低模具的使用寿命;涂层也不宜过薄,涂层太薄,对模具的性能提高不是很大。梯度涂层各方面的性能参数这里只做了有限

的分析,还有很多需要研究人员进一步探索。

致 谢

感谢武汉工程大学科学研究基金对本研究工作的支持,同时感谢武汉工程大学材料实验室的工作人员。

参考文献:

- [1] 傅建红. 压铸模的实效分析与对策[J]. 新余高专学报, 2010, 15(2): 88-90.
FU Jian-hong. The effectiveness analysis and countermeasures of die casting model[J]. Xin-Yu College Journal, 2010, 15(2): 88-90. (in Chinese)
- [2] 张琳. 增强压铸模使用可靠性的途径[J]. 热加工工艺, 2013, 42(5): 68-71.
ZHANG Lin. Approach to enhance the reliability of die casting die[J]. Heat Processing, 2013, 42(5): 68-71. (in Chinese)
- [3] MIKULA J, DOBRZANSKI L A. PVD and CVD coating system on oxide tool ceramics[J]. Journal of Achievements and Manufacturing Engineering, 2007, 24(2): 75-78.
- [4] 林文松. 功能梯度材料涂层制备技术的研究进展[J]. 表面技术, 2004, 33(4): 7-9.
LIN Wen-song. The research progress and preparation technology of functionally graded material coating[J]. The Technology of Surface Treatment, 2004, 33(4): 7-9. (in Chinese)
- [5] 马涛, 赵忠民, 留良祥, 等. 功能梯度材料的研究进展及应用前景[J]. 化工科技, 2012, 20(1): 71-75.
MA Tao, ZHAO Zhong-ming, LIU Liang-xiang, et al. The research progress and application prospect of functionally graded material [J]. Chemical Technology, 2012, 20(1): 71-75. (in Chinese)
- [6] DOBRZANSKI L A, WOSINSKA L, MIKULA J, et al. Investigation of hard gradient PVD [Ti, Al, Si]N coating[J]. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 2007, 24(2): 59-62.
- [7] 刘光明. 表面处理技术概论[M]. 北京: 化学工业出版社, 2011: 221-278.
LIU Guang-ming. An introduction of the technology of surface treatment[M]. Beijing: The Chemical Industry Press, 2011: 221-278. (in Chinese)

Performance analysis of die casting mold with functionally graded material coating

WU He-bao, SHI Xiang-yang

School of Mechanical and Electrical Engineering, Wuhan Institution of Technology, Wuhan 430205, China

Abstract: To prolong the life of die casting model, a finite element method was used to analyze the performance of die casting model with functionally graded material coating. The coating was divided into 5 layers. The ratio of titanium nitride was increased gradually along the surface normal of die casting model; the ratio of titanium nitride in each layer was 20%, 40%, 60%, 80%, 100% respectively. When the stress of coatings with different thickness was analyzed, the ratio of titanium nitride was invariant, but the thickness of each layer was increased by 0.002 mm, 0.004 mm, 0.006 mm, 0.008 mm, 0.01 mm. The parameter of functionally graded material was calculated by simple arithmetic method. The temperature field and the stress field of die casting model with functionally graded material and without functionally graded material were studied comparatively, and the stress of different thickness of the coating was analyzed. It was found that the temperature field distribution of die casting mold with functionally graded material coating is more reasonable, and the shear stress and the compression stress of die casting model change smoothly, which extends the life of die casting mold when the thickness of functional gradient material coating is 0.006 mm.

Key words: die tools; functionally graded material coating; finite element method; thickness

本文编辑:陈小平