

基于3D金属打印技术的轮毂模具冷却装置研究

沈天成 张章 刘茜 姚佳

(常州机电职业技术学院 江苏 常州 213164)

[摘要]为实现汽车的轻量化,以铝合金汽车轮毂为研究对象,针对生产过程中冷却速度慢、冷却均匀性差等因素导致铸件疏松、产生应力裂纹,使铸件关键部位存在缺陷,影响整体力学性能等问题,设计了基于金属3D打印技术的低压铸造模具随形冷却装置,通过实验对比,结合procast软件分析、渗透探伤、宏观铸造缺陷对比等结果进一步验证了实验的可靠性,结果显示生产效率提高了20%,实现了铸件的快速顺序凝固,提升了铸件成品率。

[关键词]铝合金轮毂;金属3D打印;随形冷却;铸造模具

[DOI] 10.12252/j.issn.2096-6288.2021.09.1824

引言

铸造模具的冷却方式直接影响着铸件的内部质量及关键部位力学性能。由于铸件的冷却占据铸造模具大部分生产周期,良好的冷却系统可以有效降低铸件生产节拍,优化模具温度分布均匀性对企业生产的降本、提质、增效有着非常重要的研究意义。

一、传统轮毂铸造痛点分析

金属型低压铸造模具通常通过风冷、水冷的方式对铸件进行冷却,可是那样难以调节模具温度场,消除铸造缺陷效果不佳。碰上曲面结构复杂、局部位置壁厚差别过大的铸件,如车轮轮毂的轮辐、轮辐与外轮缘相交(热节)处,将难以控制冷却槽到模具内腔表面的距离,它们如果不规则变化,则难以获得均匀分布的温度场,这将使得冷却不均匀,铸件将产生壁厚不均、翘曲变形等缺陷,甚至因冷却不均导致内应力过大而出现裂纹^[1]。生产中,铸造模具需要经常下机维护保养,风冷、水冷方式运用的冷却管需要反复拆卸和安装,存在漏装错装的风险,耗时耗力。

针对上述问题,一般采用导热性能好的铍铜镶件替代冷却水道,但这种方法冷却效果并不明显^[2]。而随着金属3D打印技术的不断开发,冷却水路的设计逐步突破传统加工技术的屏障,实现了针对复杂曲面结构特征设计随形水路。

二、技术方案

(一)冷却装置设计

根据上述铝合金轮毂铸造行业面对的痛点,本方案设计了一种由模仁基座和模仁镶件组成的模具冷却装置,共同作用形成一个轮毂冷却系统。模仁镶件和模具相接触处为冷却面,模仁镶件内部应带有冷却通道和接口,考虑到模具内壁厚差异、铍铜镶件的加工、铸件局部复杂曲面结构等因素,这一步需结合3D金属打印技术,在模仁基座上直接打印出相关的模仁镶件,令冷却通道的形状与冷却面的形状相同,令模仁镶件内部的冷却通道中心与冷却面保持等距离,从而实现模具的随形冷却,达到预期铸造效果。

(二)冷却装置制备方法及步骤

上述基于3D金属打印技术的模具冷却装置的制备方法,包括以下步骤:

(1)根据铸造工艺设计,确定模具上需要加装冷却装置的具体局部位置,一般以选择轮毂模具的顶模、底模或边模为主。(2)根据模具工艺设计,在确定好的相关位置上设计出模仁,模仁由形状规则的模仁基座和带冷却通道的模仁镶件组成。(3)选择合适的3D打印金属材料,如导热性能良好,强度、价格适中的金属材料,并打印出模仁镶件;进一步选出与其成分类似的基座原材料^[3]。(4)采用传统机械加工的方式对基座原料加工出带有安装孔的模仁基座,令其可以与顶模、底模或边模通过螺栓连接固定。(5)采用3D金属打印技术,在上述加工完成的模仁基座上打印出带有随形冷却通道及其进出接口的模仁镶件。模仁镶件中,冷却通道与冷却面的垂直距离为2~10cm。并且冷却介质的进口与出口的尺寸相同,直径均为6~10cm。(6)采用传统机械加工的方式加工模仁镶件上的冷却通道接口,进一步使冷却通道与模具外部冷却管路精准连

接,防止冷却介质泄漏。(7)将加工完成的模仁基座和镶件装配到模具相应位置。

三、实验概况

采用常规的低压铸造方法试制一款22.5英寸车轮,材料为A356.2合金,模具主体材质均为模具钢H13,所用3D打印金属材料为18Ni300模具钢粉末^[4]。

根据模具冷却位置(轮芯、轮辐、轮辐与外轮缘相交(热节)处)的不同,模具冷却位置采用冷却方式(风冷水冷相结合的方式冷却、采用3D金属打印技术设计的模具冷却装置来冷却)的不同设置对照实验组^[5]。进一步地,根据低压铸造压力曲线设定方法设置升液、充型、增压、保压时的压力与时间并在不同对照组中进行微调,确保铸件能完好冷却成型。

表1

精炼后 ^①	Si ^②	Fe ^②	Cu ^②	Mg ^②	Sr ^②	Ti ^②
铝液成分(wt%) ^②	6.775 ^②	0.145 ^②	0.003 ^②	0.443 ^②	0.018 ^②	0.149 ^②
除渣剂 ^③	1Kg(400Kg铝),搅拌5分钟 ^③					
测温 ^④	745-736-725℃,静置10min ^④					
除气 ^⑤	流量30L/min,转速359r/min ^⑤					
加中间合金 ^⑥	除气后一段时间加入,搅拌均匀后,取样 ^⑥					
密度检测 ^⑦	2.652g/cm ³ ^⑦					
扒渣 ^⑧	除气30min后扒渣 ^⑧					
测温 ^⑨	725-730℃,浇铸时温度708℃ ^⑨					

图注:表1:A356.2铝锭处理过程表

实验过程中可以发现,采用冷却装置方式下铸件在保压后期内冷却时间可以缩减一半(30s),凝固过程也能更快地推进到轮辐、轮芯位置,有效提高了模具和铸件的温度梯度。

采用GB/T228.1-2010中所述方法对30件不同铸件的相关位置进行取样,试样经T6热处理后对其组织和力学性能进行检测^[6],取样30件记录测试的力学性能平均值,如图2。

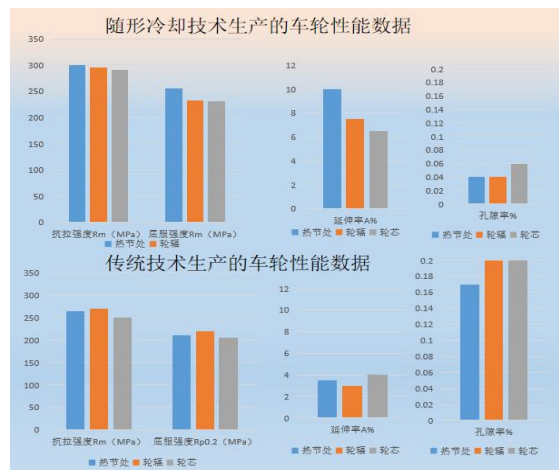


图1

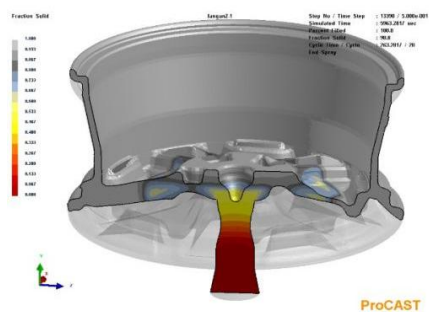


图2

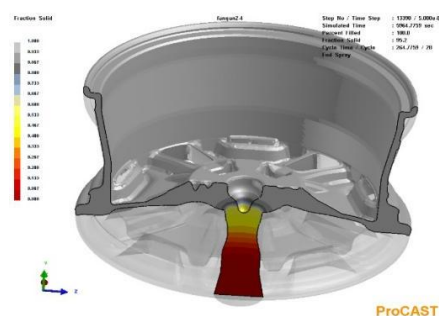


图3



图4



图5

图注：图1：随形冷却与传统冷却技术生产的车轮铸件性能数据对比图

从实验测试结果可以看到，铸件的力学性能明显提高。由于随形冷却装置加强了轮辐与外轮缘相交（热节）、轮辐和轮芯处的冷却，提高了模具和铸件的温度梯度，各处的抗拉强度、屈服强度、延伸率都有了明显提高，孔隙率也显著降低，生产节拍由250秒/件缩短至200秒/件，生产效率提高了20%。

四、仿真与探伤结果对比

（一）仿真结果对比

图注：图2为铸件在传统冷却技术下循环时间200s固相率模拟结果截面图

图3为铸件在3D打印随形冷却技术下循环时间200s固相率模拟结果截面图

通过图2和图3的对比可以明显看出，在增加随形冷却后，能有效提升铸件的凝固速度，尤其是轮辐和轮芯相交区域，开模时铸件凝固完成，满足了缩短循环周期要求。

（二）渗透探伤结果对比

图注：图4为铸件在传统冷却技术下铸件渗透探伤图

图5为铸件在3D打印随形冷却技术下铸件渗透探伤图

通过图4和图5的对比可以明显看出，循环时间均为200秒情况下，车轮铸件宏观缺陷渗透探伤结果显示本技术下缺陷显著减小，达到预期铸造效果。

五、有益效果总结

通过控制模仁镶件内部的冷却通道中心与冷却面保持等距离，从而实现模具的随形冷却，有效提升铸件局部冷却的均匀性；另一方面，模具冷却面与模仁镶件直接接触，减少了热量传输的界面，有利于模具和铸件中热量的传递，增加了模具和铸件的温度梯度^[7]。从而有利于减少铸件缩松或产生应力裂纹的可能性，有效提升了铸件成品率，并且冷却时间相对于现有技术缩短10%以上，提高了生产效率。

模具冷却装置代替了铜管传输冷却介质，减少了模具壁厚，节省了模具用料；并且不需要加工安放铜管的槽，进一步节省了模具生产成本^[8]。

模具冷却装置由模仁基座和模仁镶件组成，它们连成一个整体，从而结构稳定，避免了冷却介质发生泄漏；下机维护保养时无需拆卸，延长了模仁镶件的使用寿命。

六、结语

本文通过实验对比、仿真分析、铸件探伤，结果证明所述方案设计的模具水冷装置对于铝合金汽车轮毂铸造具有显著效益。另一方面，结果证实3D金属打印技术应用于模具铸造产业，助力系统随形冷却，推动铸件顺序凝固有着重要意义。但模具长期工作后，如何解决镶件疲劳、表面翘曲、产生应力裂纹致使铸件表面产生缺陷，这个问题有待进一步研究。

参考文献

- [1] 黄少兵. 冷却介质对铝合金轮毂铸造工艺与使用性能的影响[D]. 燕山大学, 2014.
- [2] 张启文, 余得标, 聂晓鹏, 徐文峰等, 一种模具水冷装置及系统, 中国发明专利, 申请号: CN201911390671.2
- [3] 李芳, 伍世锋, 贾宇霖. 3D打印技术在注射模设计随形水路中的应用[J]. 模具工业: 2017, 43(03): 55-59+62
- [4] 董志家, 王小新, 管航等. 基于3D打印的注塑模随形冷却水路优化设计[J]. 现代塑料加工应用: 2020, 32(04): 48-51
- [5] 朱霖, 李昌海, 李鸿标, 李勇等, 一种用于铸造铝合金车轮的水冷模具及其制造方法, 中国发明专利, 申请号: CN201510725297.2
- [6] 贺桂春; 廖宗凯; 邱洪星等, 一种用于轮毂铸造的水冷模具及轮毂铸造工艺, 中国发明专利, 申请号: CN201910383782.4
- [7] 蒋小平; 方焯宇; 童胜坤; 唐良文, 一种铸造水冷模具的水冷通道扩展结构, 中国发明专利, 申请号: CN201520857055.4.
- [8] 邱立宝, 刘杰, 汽车轮毂低压铸造真空水冷模具系统, 中国发明专利, 申请号: CN201210089113.4

基金项目：2021年江苏省大学生实践创新训练计划项目

(编号: 202113114019Y).

作者简介:

沈天成(2001-), 男, 汉族, 江苏无锡人, 江苏海洋大学学生、本科, 研究方向为机械设计制造及其自动化。

张章(1981-), 男, 汉族, 安徽安庆人, 常州机电职业技术学院, 高级工程师, 博士, 研究方向为有色金属及特种铸造技术。