

消失模铸造液态金属充型能力测试方法研究

张杰琼^{1, 2}, 李锋军^{1, 2}, 何帅伟², 轩世成², 常云朋³, 李秀青⁴

1. 龙门实验室 河南洛阳 471023

2. 第一拖拉机股份有限公司 河南洛阳 471004

3. 洛阳理工学院智能制造学院 河南洛阳 471039

4. 河南科技大学金属材料磨损控制与成型技术国家地方联合研究中心 河南洛阳 471003

摘要: 基于影响消失模铸造液体金属充型能力的主要影响因素及工艺参数范围, 研究了不同试样形状及尺寸对充型距离的影响, 在此基础上, 确立了一种消失模铸造液态金属充型能力的测试方法和测试试样, 并设计了相应的试样成形模具。试验结果表明: 该方法可以用于铸铁件消失模铸造液态金属充型能力的测试, 对于研究消失模铸造充型特点及消失模铸造生产工艺的优化有较好的作用。

关键词: 消失模; 充型; 流动性; 铸铁

Research on the testing method of molten metal filling ability in lost foam casting

ZHANG Jieqiong^{1, 2}, LI Fengjun^{1, 2}, HE Shuaiwei², XUAN Shicheng², CHANG Yunpeng³, LI Xiuqing⁴

1. Longmen Laboratory, Luoyang 471023, Henan, China

2. First Tractor Company Limited, Luoyang 471004, Henan, China

3. Luoyang Institute of Science and Technology, School of Intelligent Manufacturing, Luoyang 471039, Henan, China

4. Henan University of Science and Technology, National Joint Engineering Research Center for Abrasion Control and Molding of Metal Materials, Luoyang 471003, Henan, China

Abstract: Based on the main influencing factors and process parameter range that affect the filling ability of molten metal in lost foam casting, the influence of different sample shapes and sizes on the filling distance was studied. On this basis, a testing method and test samples for the filling ability of molten metal in lost foam casting were established, and corresponding sample forming molds were designed. The experimental results indicate that this method can be used to test the filling ability of molten metal in lost foam casting of cast iron parts, and has a good effect on studying the filling characteristics of lost foam casting and optimizing the production process of lost foam casting.

Keywords: lost foam casting; filling; flowability; cast iron

1 序言

消失模铸造是一种绿色铸造生产方法, 利用聚苯乙烯泡沫模样, 在液态金属高温作用下气化, 最

终形成铸件。由于使用无树脂黏结剂的干砂造型, 聚苯乙烯泡沫气化产物易于收集处理, 该方法具有绿色环保、铸件精度高、成本低及劳动强度低等

基金项目: 龙门实验室前沿探索课题 (LMQYTSKT001)。

通信作者: 李锋军, 教授级高工, 主要从事铸造工艺技术研究, E-mail: ly1688899@163.com。

特点,是铸造行业的一个重要发展方向,在农业机械、汽车、动力机械等领域应用效果日益显著。

当前,消失模铸造的废品率和传统空腔铸造相比一般相对较高。其中,与充型有关的缺陷约占全部缺陷的80%。消失模工艺方案的优化尚缺乏完整准确的科学方法和定量的金属流动性数据。消失模铸造过程中液态金属与聚苯乙烯泡沫模样之间发生剧烈的物理化学反应,其充型过程受到浇注温度、模样密度、真空度及涂料透气性等多种因素影响,与传统空腔铸造存在很大差异。当前,传统空腔铸造已有标准的金属液充型能力检测方法,而对于消失模铸造,尚未建立能够综合反映液态金属充型能力的测试方法。已有的研究结果也大多针对铝合金消失模铸造^[1-3]。建立消失模铸造充型能力的测试方法,进而研究各种工艺因素(浇注温度、模样密度、涂层厚度、真空度及液态金属压头等)对充型能力的影响,可以有效指导工艺设计人员优化工艺设计,降低废品率。本文基于消失模铸铁件常用工艺参数,研究了铸铁件消失模铸造液态金属流动能力的测试方法。

2 消失模铸造充型影响因素分析及工艺参数选择

在消失模铸造充型过程中,液态金属与模样间存在着复杂的物理化学反应。模样在液态金属的热作用下迅速分解,产生大量气体,从而在液态金属与模样之间形成气隙。气隙中充满了泡沫塑料的热解产物,并产生较大的压力。与普通的空腔铸造相比,这种压力作用会大大降低充型速度,同时也使其充型形态与空腔铸造有显著不同。液态金属前沿的速度取决于消失模模样消失的速度,而模样消失的速度与真空度、模样密度、浇注温度和金属压头等工艺因素有关^[4]。

已有试验结果表明,对铸铁件消失模铸造充型过程影响较大的因素为负压力、模样密度、浇注温度、浇注静压头^[5]和涂料的透气性。

2.1 消失模铸造充型影响因素分析

(1) 负压力 负压力在消失模铸造过程中的作用一方面使砂型具有一定的强度,防止塌箱和胀箱,另一方面使白模分解产物快速地脱离型腔。已有研究表明^[4],消失模铸造充型速度随负压度的增长而呈线性增长,负压力越大,充型速度越快,但

对于充型能力并无描述。当前,铸铁件消失模铸造的常用负压力一般在0.03~0.06MPa。

(2) 模样密度 白模模样密度越大,单位体积白模分解产物越多,对金属液充型的阻力越大。当前,铸铁件消失模铸造的常用模样材料有EPS和STMMA, EPS常用的密度范围在20~25g/L, STMMA常用密度一般控制在22~26g/L。

(3) 浇注温度 已有研究表明^[4],消失模浇注充型速度随着浇注温度的提高,开始有提高的趋势,但随着浇注温度的进一步提高,充型速度反而下降。这是因为浇注温度较低时,随着浇注温度的提高,泡沫塑料气化速度加快,因而充型阻力小,充型速度加快。当浇注温度提高到一定程度后,会使泡沫塑料模样分解产物的类型发生变化,小分子分解物增多,液态及分子量较高的气态分解物减少,这使得液态金属前方气隙中的气体产物量增加,并且这些气体产物不能快速排出,进而影响充型速度。在实际生产中,往往采用高浇注温度来弥补白模分解吸收的热量,提高金属液充型能力,但是对于一些结构复杂的薄壁类零件,单一的提高浇注温度并不能很好地改善金属液充型能力。当前,铸铁件消失模铸造常用的浇注温度为1480~1520℃。

(4) 涂料透气性 涂料在消失模铸造中的主要作用是隔离,即使金属液与砂型隔离,避免粘砂。但是涂料透气性对金属液充型具有很大影响。若涂料透气性好,则有利于白模分解产物的排出,减小金属液前端气体压力,提高充型速度。涂料透气性与涂料层的厚度、施涂次数密切相关,涂料层厚度越大,施涂次数越多,涂料的透气性越差。当前,铸铁件消失模铸造常用的涂料一般施涂2~3层,涂层厚度1~1.2mm。

(5) 静压头 一般情况下静压头的大小取决于直浇道的高度,在其他工艺参数不变的情况下,静压头越大,充型速度越快。

2.2 工艺参数的选择

在不同的浇注参数下测试铁液的充型能力,主要浇注参数设定为浇注温度、真空度、模样密度和涂料透气性。各浇注参数可根据实际测试需要而定,一般情况下浇注温度为1400~1500℃;真空度一般设定为0.03~0.06MPa;模样密度为20~26g/L;

涂料透气性在实际生产中不易控制,以同一种涂料在相同的波美度下,不同施涂次数代替不同的透气性,施涂次数为2~4次。静压头以不同的直浇道高度代替,根据测试需要而定。

3 试样设计及优化

为了能够开发一种既可以代表实际生产常见铸件的充填情况,又能够灵敏反映工艺参数变化对流动长度影响的流动性测试方法,尝试性设计了几种试样尺寸和工艺条件,从而优选出较为可靠的测试方法。

3.1 试样原设计方案

试样原设计方案如图1所示。

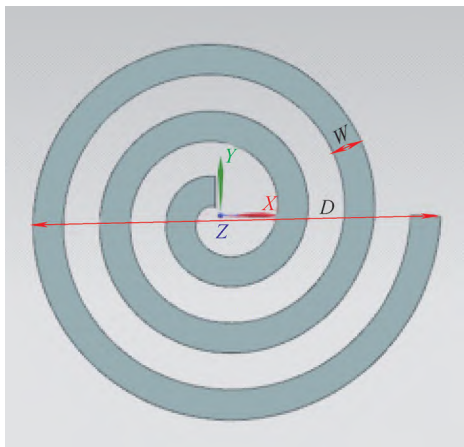


图1 试样原设计方案

试样尺寸：最大圆直径 $D=400\text{mm}$ ，试样宽度 $W=40\text{mm}$ ，试样厚度 H 为变量，分别设定为6mm、8mm、10mm，试样总长度 $L=2000\text{mm}$ 。

用上述试样在不同工艺参数下进行了2次试验。

(1) 试验一 试验设置的参数如下。

1) 定量：静压头为150mm，模样密度为20g/L，涂料施涂次数为2次。

2) 变量：不同试样厚度分别为7mm、10mm、12mm；浇注温度为1420℃、1480℃；真空度为0.03MPa、0.06MPa。

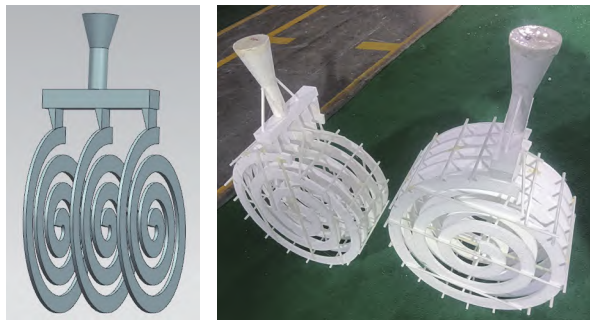
试验一试样组型工艺如图2所示。

按照既定试验方案准备模样，每一模样簇上同时含有3种壁厚的试样，按图2进行组型。

组型说明：直浇道截面尺寸 $\phi 40\text{mm} \times 50\text{mm}$ ，横浇道截面尺寸 $35\text{mm} \times 30\text{mm}$ ，内浇口截面尺寸 $10\text{mm} \times 35\text{mm}$ ，采用纤维棒将白模固定，每一模样

簇含有6mm、8mm、10mm共3种试样。黄模及埋箱造型如图3所示。

分别在1420℃和1480℃下进行浇注，清理后试样如图4所示。



a) 组型示意

b) 实际组型效果

图2 试验一试样组型工艺



a) 黄模

b) 埋箱造型

图3 黄模及埋箱造型



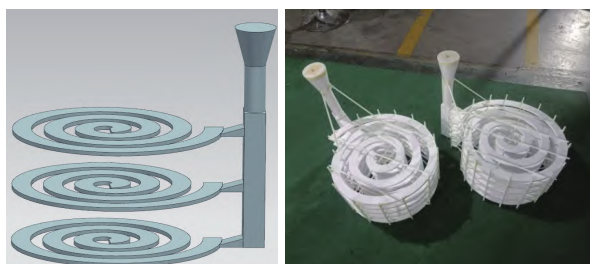
a) 浇注试样主视图

b) 浇注试样侧视图

图4 浇注清理后试样

结果显示，当负压度为0.03MPa和0.06MPa时，在1420℃和1480℃下浇注，各壁厚试样均能完全充型。由此可见，该试样结构不能灵敏反映浇注温度和负压度变化对流动长度的影响。

(2) 试验二 在试验一的基础上，在不同的浇注静压头下对比浇注结果，试验二试样组型工艺如图5所示。



a) 组型示意 b) 实际组型效果

图5 试验二试样组型工艺

同一模样簇上试样间隔距离为40mm，分别在1420℃和1480℃下进行浇注，其他浇注参数与试验一相同。浇注结果如图6所示。



图6 浇注结果

浇注结果显示，在1420℃、1480℃下浇注，各壁厚试样基本上能够完全充型，未出现明显未充满现象。

从试验一、试验二的浇注结果可以看出，在高浇注温度、低浇注温度，高真空度、低真空度，以及压头大小不同的浇注参数情况下，试样基本上均能完全充型，但不能够灵敏地反映在不同浇注参数下铁液的充型能力，需要进一步改进试样尺寸，获取最佳试验方法。

3.2 试样设计方案优化

经分析及改进，优化后的试样结构如图7所示。

优化后试样尺寸：最大圆直径 $D=400\text{mm}$ ；试样宽度 $W=20\text{mm}$ ；试样厚度 $H=8\text{mm}$ ；试样总长度 $L=1900\text{mm}$ 。

优化方案组型工艺如图8所示（组型三维示意图见图5a）。

组型说明：直浇道为 $\phi 40\text{mm} \times 50\text{mm}$ ，横浇道截面尺寸为 $35\text{mm} \times 30\text{mm}$ ，内浇口截面尺寸为 $35\text{mm} \times 10\text{mm}$ 。

每一组设置3个试样，试样密度均为20g/L（正常生产中最小的试样密度），两个试样上下间距

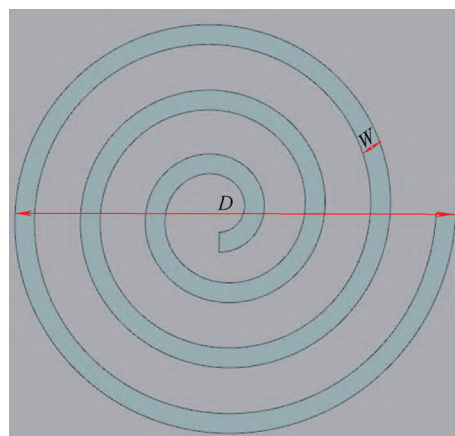


图7 优化后试样结构



图8 优化方案组型

100mm，以减少两个试样间的热影响，同时保证每件试样浇注时静压头差100mm。验证试验涂料层涂刷2次（涂刷2次保证涂料层具有较好的透气性），负压力0.06MPa，浇注温度1480℃和1420℃。

埋箱造型如图9所示。浇注结果如图10所示。

从图10可看出，在1420℃和1480℃下浇注，各组试样均不能完全充型，并且充型距离不相同。另外，1480℃和1420℃浇注都呈现出从下往上充型长度逐渐增加的趋势，1480℃整体充型长度比1420℃长，并且在相同静压头位置处，1480℃浇注充型长度均比1420℃长。因此，优化后的试样对工艺参数



图9 埋箱造型

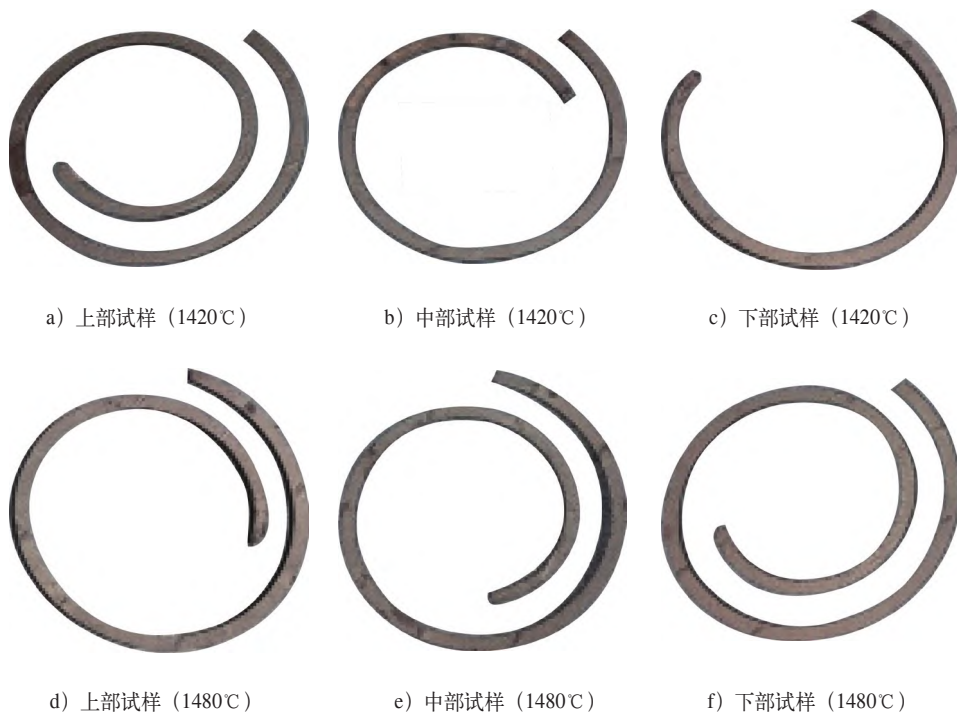


图10 浇注结果

的变化表现的非常敏感，在不同的浇注参数下充型能力不同。根据试样的充型距离基本判定各浇注因素对消失模充型能力的影响。

4 试样模具设计

以上试样的制作由人工切割泡沫板材而成，效率低、尺寸精度差，且不易按照试验要求更改模样密度、确定试样结构。针对此情况，根据试样结构设计试样消失模模具，采用模具制作白模，不仅效率高、尺寸精度高，而且可以根据试验要求改变试样密度。试样白模设计如图11所示。

试样白模设计需注意以下几点。

1) 防变形拉筋随试样白模一体成形，防止试样变形和出模时断裂，需在组模后去掉。

2) 长度刻度间距50mm。方便浇注完成后直接读取充型长度。

3) 浇口黏结处用于黏结内浇口，与试样具有一定距离，便于浇注完成后去除内浇口。

模具设计如图12所示。

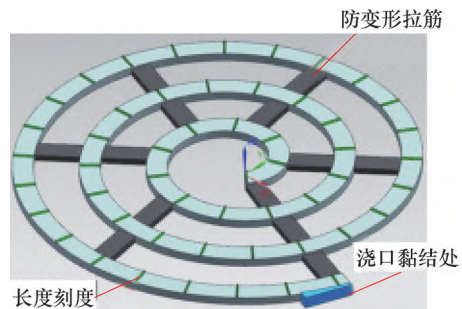


图11 试样白模设计

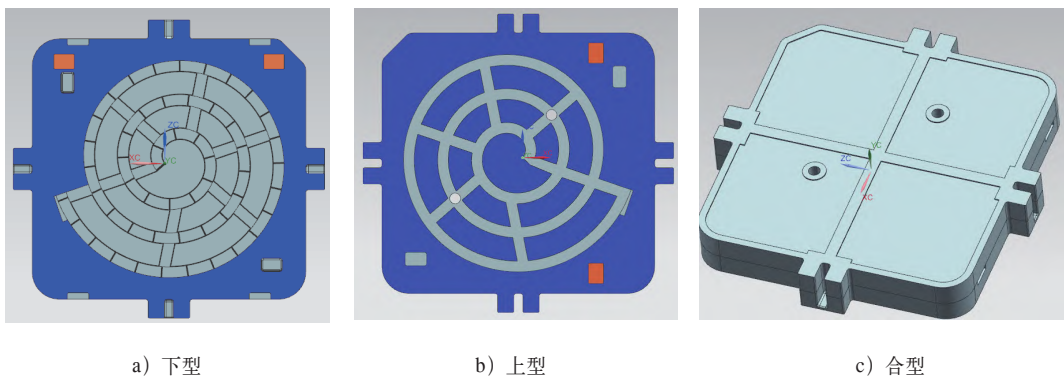


图12 模具设计

(下转第132页)

4 轴类锻件失效对策

4.1 提高原材料质量

大部分钢锭缺陷,锻造时都可能造成开裂,因此对原材料来讲,一是要提高熔炼钢液纯净度,如限制钢中加铝量,去除钢中氮气或用加钛法抑制AlN析出量;二是钢锭浇注后,应保持钢液缓慢冷却,减少热应力,使缩孔集中在冒口内,以获得致密且高质量的钢锭;三是锻前进行充分的均匀化退火,使晶界析出相充分扩散,从而提高原材料质量。

4.2 改善锻后热处理工艺

改善锻后热处理工艺的关键点是要防止白点报废。白点是氢和附加应力联合作用产生的,使钢产生所谓氢脆,发生脆性断裂。因此,降低钢中的氢含量,减少锻件中的内应力,以及提高钢的纯洁度等,是防止白点产生的最根本措施。改善锻后热处理工艺,如采用重结晶热处理,可以在锻造后进一步处理锻件,以消除或减少白点的产生。

4.3 对轴类锻件进行加固保护

在轴类锻件的使用过程中,由于使用者没有对其进行恰当的保护,或保护措施不当,就容易引起轴类锻件的断裂失效,因此在日常使用过程中,应注意对轴类锻件进行加固保护,在轴类锻件的外围进行必要的防护处理。除此之外,在加工、运输轴

类锻件时,还需注意包装的稳定性,避免轴类锻件在加工运输过程中发生断裂失效。

5 结束语

轴类锻件在保证机械设备的正常运行中发挥了重要作用,正是由于设备日复一日的运行,因此轴类锻件也容易产生失效问题,这对机械设备的安全产生了极大的影响。本文对典型轴类锻件失效问题进行了研究与分析,并针对这些失效问题给出了相应的解决措施,希望能够对轴类锻件在各领域的生产应用与技术发展起到积极的促进作用。

参考文献:

- [1] 陈宇宏. 锻造失效分析及修复[J]. 科技创新与应用, 2016 (26) : 144.
- [2] 陈勇, 周媚. 浅析轴类零件失效问题及其对策[J]. 机械工程, 2015 (8) : 126-127.
- [3] 曹丽红, 程丽杰, 谷强, 等. 钢中非金属夹杂物检验标准ASTME 45—2018a与ISO 4967—2013异同点解析[J]. 模具制造, 2023, 23 (2) : 76-81.
- [4] 李吉东, 任永秀. 铁素体钢中白点缺陷的检验分析[J]. 钢铁, 2017, 52 (12) : 86-90.
- [5] 杨广林, 高东升, 康喜英, 等. 20钢环锻件拉伸试棒脆断原因分析[J]. 热加工工艺, 2018, 47 (8) : 257-259.

MW 20240801

(上接第126页)

5 结束语

设计了一种铸铁件消失模铸造液态金属流动性的测试方法,选用宽度20mm、厚度8mm的螺旋形流动性测试条,既可以代表实际生产常见铸件的充填情况,又能够灵敏反映工艺参数变化对流动长度的影响。利用该方法,可以根据企业各自工艺参数条件,测试各种因素对充型能力的影响,从而作为基础数据指导工艺设计及优化。

参考文献:

- [1] LI F J, ZHAO H, REN F Z, et al. Volinsky Simulations and experiments of mould filling in lost foam casting[J]. International Journal of Cast Metals Research, 2020, 33 (4-5) : 194-200.

- [2] LI F J, HAN J P, YI L W, et al. Empirical calculation on the mold filling speed of lost foam[J]. Transactions of the American Foundry Society, 2013, 121 : 565-568.
- [3] 魏尊杰, 安阁英, 李天晓, 等. 干砂消失模铸造Al-7%Si合金液充型能力的数值计算[J]. 哈尔滨工业大学学报, 1995, 27 (5) : 123-127.
- [4] 淡瑶. 铝合金变速器壳体消失模铸造浇注系统优化设计[J]. 金属加工 (热加工), 2019 (3) : 79-80.
- [5] 李锋军, 林青松, 张殿德, 等. 铸铁件消失模充型速度的测试及计算[J]. 现代铸铁, 2002 (1) : 21-24.

MW 20241028