DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2019.02.006

梯度化铸型导热系数的实验研究

张国伟[1],赵高瞻[2],王明杰[1],董　莹[1]

(1.中北大学 材料科学与工程学院,山西 太原 030051; 2.中国兵器工业第五九研究所,重庆 400000)

摘　要:在树脂砂中加入石墨粉和锆砂,利用导热系数仪测量砂型导热系数,研究了锆砂和石墨粉的含量对铸型导热系数的影响,进行了实验验证,与 Maxwell 模型模拟计算的导热系数进行对比研究。结果表明,在石墨粉含量为 8%、锆砂含量为 30%时,砂型导热系数达到最大值,与树脂砂型相比导热系数提高了 90%;混合砂型的晶粒比树脂砂型的细 4 μm。混合砂型浇注得到的铸件的抗拉强度比树脂砂型的抗拉强度高 3%～4%,伸长率下降了 0.8%～0.9%。

关键词:树脂砂; 锆砂; 石墨粉; Maxwell 模型; 导热系数

中图分类号: TG221　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2019)02-0161-04

Experimental Determination of the Thermal Conductivity Coefficients of Gradient Mold

ZHANG Guowei[1], ZHAO Gaozhan[2], WANG Mingjie[1], DONG Ying[1]

(1. College of Material Science and Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China; 2. 59th Institute of China Weapons Industry, Chongqing 400000, China)

Abstract: Graphite powder and zirconium sand were added into resin sand, and thermal conductivity coefficients of sand mold was measured by thermal conductivity meter. The influence of the content of zirconium sand and graphite powder on the thermal conductivity of the mold was studied. Experimental verification was carried out and the thermal conductivity calculated by Maxwell model was compared. The results show that the thermal conductivity of the sand mold reached the maximum when graphite powder content is 8% and zirconium sand content is 30%, which is 90% higher than that of the resin sand mold. The grain size of mixed sand mold is 4 microns finer than that of resin sand mold. The tensile strength of the castings obtained by pouring the mixed sand mold is 3%~4% higher than that of the resin sand mold, and the elongation decreased by 0.8%~0.9%.

Key words: the resin sand; the zircon sand; the graphite powder; Maxwell model; thermal conductivity

型砂的热物性参数直接影响着铸件的冷却凝固、流动充型能力,以及铸件冷却后的物理性能,如铸件中的气孔,缩孔,缩松,铸件的紧实度,铸件的强度等。利用型砂的热物性参数可以通过计算机模拟铸件的冷却凝固过程,对于实际铸造生产具有一定的指导作用,借助模拟可以达到提高生产效率,改善工艺,优化产品质量的目的。在对铸件的凝固过程的计算机模拟的研究中,型砂材料热物性数据缺乏,这是阻碍我们计算机模拟辅助发展的主要因素[1-7]。

在铸件的凝固模拟和计算机辅助设计中,导热系数等热物性参数是铸件凝固分析计算的重要参数。在铸件凝固模拟中,导热系数经常被作为常数使用。但是,近年来,我国有关学者对于型砂的导热系数的一些研究表明,型砂的导热系数在铸件的凝固过程中是与温度变化有关的,铸造材料的热性能对铸件凝固数值模拟的准确性有很大影响。因此,开展砂型材料热物性测试的研究十分重要,对提高铸件的凝固模拟和实际生产具有重要意义[8]。

砂型采用不同的配比,则砂型的热物性参数也会发生变化,对于铸件的冷却凝固有十分重要的影响。导热系数随型砂的成分变化,影响液态金属浇注时的流动性、冷却、凝固补缩能力[9]。导热系数越小,共晶合金热量散失慢,流动性增加。热量通过砂型传递速度越慢,铸型的蓄热系数就越小,激冷能力就变弱,金属液在铸型中保持液态的能力就越强,使得充型能力增加[10,11]。相反,则蓄热系数变大,铸型的充型能力下降。在不同型砂配比条件下,本文通过导热系数仪,制订实验方案并测定不同砂型的导热系数,研究不同铸型配比对砂型导热系数和铸件组织和性能的影响。

收稿日期: 2018-09-17

作者简介: 张国伟(1976-),山西太原人,博士,副教授.研究方向:液态成型新工艺.电话:13703583832,
E-mail:1125593238@99.com

1 实验

1.1 实验材料与设备

为完成梯度化导热铸型的配比研究，选用树脂砂、石墨粉，锆砂为原料。其热物性参数如表1。

表1 铸型用砂热物性参数

Tab.1 The thermo-physical parameters of casting sand

参数	树脂砂	石墨粉	锆砂
熔点/℃	1 670~1 850	3 850±50	2 340～2 350
导热系数/$W\cdot m^{-1}\cdot K^{-1}$	0.628	129	2.09～3.03

浇注砂型所用材料为ZL205A合金，合金成分如表2。

表2 ZL205A合金的配制 w(%)

Tab.2 The chemical composition of ZL205A alloy

元素	Al	AL-Cu	Al-V	Al-Mn	Al-Zr	Al-Ti-B	Cd
含量	71.5	9.8	3.0	5.1	3.7	6.7	0.2

测量砂型导热系数用的仪器为DRM-1型导热系数测量仪，该仪器适用于测量干燥或不同湿度条件下均匀板材和粉末材料的热导率，测定范围为0.035～1.700 $W\cdot m^{-1}\cdot K^{-1}$。

1.2 实验方案

实验通过配取不同比例的树脂砂、锆砂和石墨粉测量铸型的导热系数，并通过实验验证得到不同成分的砂型对其导热系数的影响规律，具体实验方案如下：

(1)锆砂含量分别取10%、20%和30%，石墨的含量为2%、5%和8%，其余为树脂砂，配制不同成分的砂型，通过导热系数测量仪测量其导热系数，得到最佳的导热系数砂型配比，并与模拟数值对比得到模拟值与实测值之间的关系。

(2)选择ZL205A分别在树脂砂砂型和5%石墨粉、30%锆砂、65%树脂砂配比的砂型中进行浇注，浇注后选取试样观察金相，对比显微组织与力学性能。

1.3 实验过程

(1)测定导热系数所需的砂型尺寸为200 mm×200 mm×15 mm一块，200 mm×200 mm×30 mm两块，制作的砂箱为200 mm×200 mm×15 mm，采用螺栓固定，中间15 mm高的挡板可更换为30 mm高的挡板，便于多次造型。

(2)用电子天秤按质量分数比例称取适量的树脂砂，锆砂，石墨粉，放入混砂盆中，手工混砂，使各种成分分布均匀。

(3)混砂均匀后，按照1 kg型砂10 mL固化剂的比例，先加入固化剂，搅拌充分；然后按照1 kg+10 mL固化剂的比例，加入粘结剂，搅拌充分，砂型变得湿粘；最后加入催化剂，按照1 kg型砂0.2 mL的比例，快速搅拌，搅拌充分后，放入砂箱，用压板压实，之后用刮板除去多余的型砂，使上表面变得平整。待2～3 min后，砂型硬化，取出砂型。

(4)选用DRM-1型导热系数测量仪，设备简单，测量精度高，实验装置由电源、测温仪表、一个面测温计、测温热电偶、三块型砂组成。

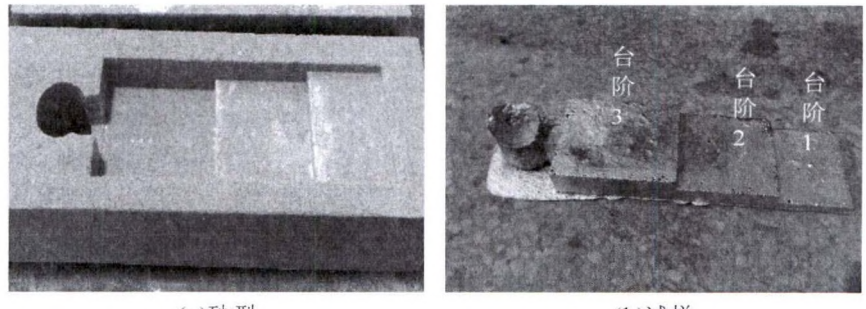
(5)用得到的最佳导热系数配比混合制作阶梯件砂型，并浇注ZL205A铸件，如图1。

2 实验结果与分析

2.1 砂型导热系数结果分析

在树脂砂中添加分别添加不同含量的锆砂和石墨对砂型导热系数的影响如图2。

由图2可知在锆砂含量相同的情况下，随着石墨粉含量的增大，导热系数增加的趋势变大，随着石墨粉含量的增加，砂型的导热系数增大幅度明显，由此可见石墨粉对砂型导热系数的影响作用比较大；同样由图可知石墨粉含量相同的情况下，随着锆砂含量的增加，导热系数增加的趋势同样变大；但石墨粉对导热系数的提高远大于锆砂，这与石墨粉本身的导热系数远大于锆砂有关。在不添加石墨粉和锆砂时制做的树脂砂型的导热系数为0.52 $W\cdot m^{-1}\cdot K^{-1}$，对比上图可知石墨粉每增加1%，砂型的导热系数增大15%，对砂型导热系数的影响比较大；而锆砂在



(a)砂型　　(b)试样

图1 混合砂型及试样

Fig.1 Mixed sand mold and casting sample

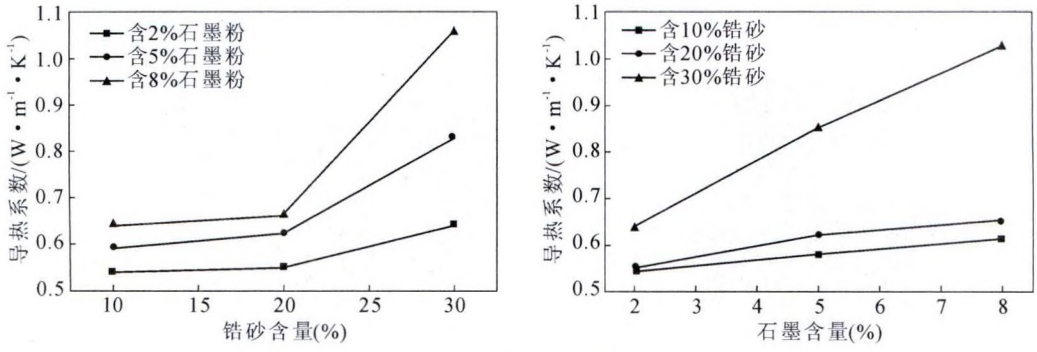


图 2 砂型导热系数变化

Fig.2 The thermal conductivity change of sand mold

含量低于 20%时，对砂型的导热系数影响较小，当增大到 30%时，砂型导热系数导热系数急剧增加。

2.2 模拟结果分析

采用 Maxwell 模型对导热系数进行模拟计算。Maxwell 模型[11]经常被用于预测球形颗粒填充的复合材料的导热系数。该模型假设填充材料在基体材料中均匀分布，两相材料之间没有接触和相互影响，且填充材料的形状为球形。该模型的导热系数为：$k_c=k_m\left[\frac{k_f+2k_m+2\phi(k_f-k_m)}{k_f+2k_m-2\phi(k_f-k_m)}\right]$

式中，k_c 为复合材料的导热系数；k_f 为填充材料的导热系数；k_m 为基体材料的导热系数；ϕ 为填充材料的体积分数。

Maxwell 模型计算得到的导热系数值与实际值结果如图 3。由图 3 可知导热系数实际测得值略低于模拟值，但具有良好的线性一致性。在 Maxwell 模型计算中，复合材料是均匀分布的，且相互之间无影响、不接触。而实测砂型中树脂砂和石墨粉、锆砂相互接触，在热传导过程中相互影响，而且孔隙率和水分会影响热量传输，热传导过程中热量损失较多，导热系数实测值变小。

2.3 阶梯型铸件组织分析

分别在树脂砂砂型和 8%石墨粉、30%锆砂、62%树脂砂配比的混合砂型中进行浇注，浇注后选取试样观察金相，对比不同导热系数砂型对 ZL205A 组织和性能影响，同时采用阶梯件研究不同冷却速率对铝合金组织和性能的影响。如图 4，分别在树脂砂型铸件和混合砂型铸件的台阶 2 和台阶 3 处截取金相试样金相组织。

由图可知随着台阶的升高，蓄热系数变大，热量发散变慢，合金液凝固速度变慢，薄台阶的冷却速率比厚台阶处的冷却速率大，故薄台阶的晶粒尺寸细小，台阶越厚，晶粒尺寸越大；在同一个台阶处的试样，与树脂砂相比，混合砂型的晶粒尺寸略微细小，这是由于砂型导热系数增大，合金液凝固速度变大，从而使得晶粒细小。由于砂型导热系数增大，合金液冷却速度快，补缩能力比树脂砂微弱，导致混合砂型的缩松较多，对力学性能有一定的削弱。通过晶粒度评价可知，在加入石墨粉和锆砂以后铸件的晶粒明显得到细化，加入石墨粉和锆砂砂型所得铸件的晶粒比树脂砂型所得铸件的晶粒细化 4 μm 左右。

2.4 梯度化铸件抗拉强度分析

每个阶梯取样制作拉伸试棒，最终得到不同砂型及不同台阶的试样拉伸强度如图 5。由图 5 可知薄台阶试样抗拉强度要高于厚台阶，随着台阶厚度增大，抗拉强度减小，这是由于随台阶厚度增加，合金液凝固速率变慢，晶粒尺寸增大，而力学性能降低的缘故。在同一个台阶处的试样，与树脂砂相比，混合砂型的抗拉强度高 3%～4%，伸长率下降了 0.8%～0.9%。砂型导热系数增大，合金液凝固速度变大，

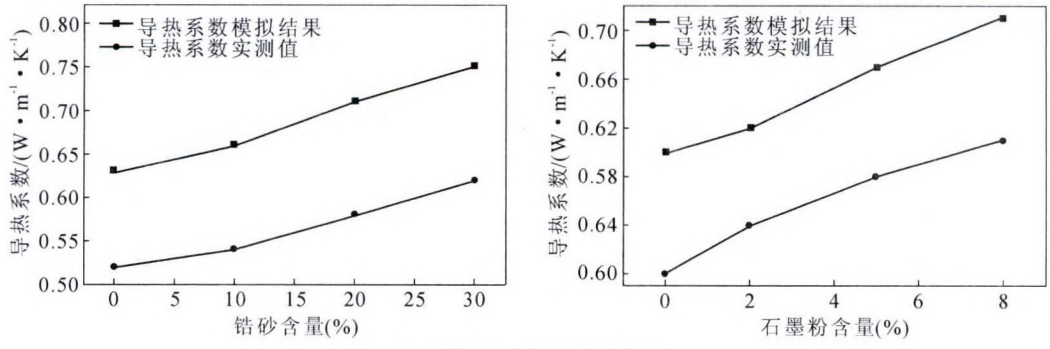
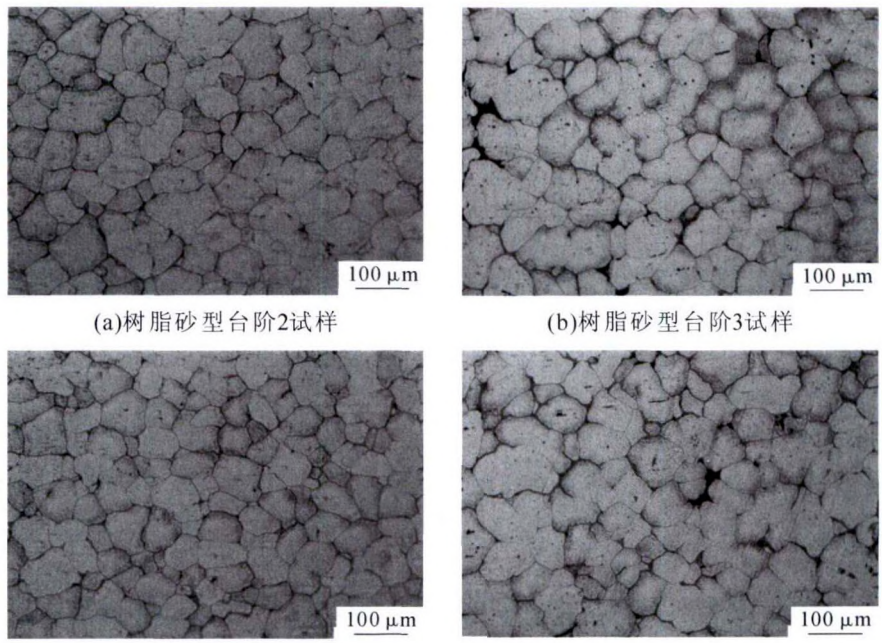


图 3 模拟与实测导热系数

Fig.3 Thermal conductivity of simulation and measured



(a)树脂砂型台阶2试样　(b)树脂砂型台阶3试样

(c)混合砂台阶2试样　(d)混合砂台阶3试样

图 4 不同砂型金相图

Fig.4 The microstructure of casting samples with different sand mould

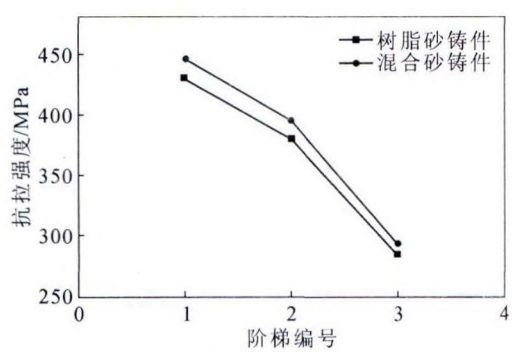


图 5 不同试样的抗拉强度

Fig.5 The tensile strength of different samples

从而使得晶粒细小，力学性能提高。砂型导热系数的增加可以提高铸件的力学性能，但由于缩松，气孔等各种缺陷的出现，影响了铸件组织的致密度与均匀性，力学性能的提高是有一定幅度的。

3 结论

(1)随着石墨粉和锆砂含量的增加，砂型导热系数逐渐增大，石墨粉增大导热系数的效果比锆砂明显，当石墨粉含量为 8%，锆砂含量为 30%时，砂型导热系达到最大值为 1.04 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$。

(2)选择 ZL205 分别在树脂砂砂型和 8%石墨粉、30%锆砂、62%树脂砂配比的混合砂型中进行浇注，浇注后选取试样观察金相，混合砂型的晶粒比树脂砂型的细 4 μm，通过进行拉伸试验，混合砂型浇注得到的铸件的抗拉强度比树脂砂型的抗拉强度高 3%～4%，伸长率下降了 0.8%～0.9%。

(3)采用 Maxwell 模型模拟计算导热系数，导热系数实际测得值略低于模拟值，但具有良好的线性一致性。

参考文献：

[1] 陈桂生，廖艳，曾亚光，等. 材料热物性测试的研究现状及发展需求[J]. 中国测试，2010，36(5):5-8.

[2] 张祎茹. 水泥稳定基层材料的热传导试验特性研究[D]. 西安：长安大学，2015.

[3] Salmon D. Thermal conductivity of insulations using guarded hot plates, including recent developments and sources of reference materials [J]. Measurement Science & Technology, 2001, 12 (12): 89-92.

[4] Lei Zhang, Arild Gustavsen, Bjϕrn Petter Jelle, Liu Yang, Tao Gao, YuWang, Thermal conductivity of cement stabilized earth blocks [J],Construction and Building Materials, 2017, 15(1):504-511.

[5] Alrtimi A, Rouainia M, Haigh S. Thermal conductivity of a sandy soil[J], Applied Thermal Engineering, 2016, 10(6):551-560.

[6] 蔡玉斌，吴国坚，金骏. 薄层隔热涂料导热系数测定方法的研究[J]. 新型建筑材料，2011，38(4):89-91.

[7] 闫新飞，李少雨，马文治，等. 砂型铸造用型砂热物性参数的研究[J]. 铸造，2015，64(11):1113-1115.

[8] 涂明武，谭昊，王文清，等. 树脂砂型热物性值的测试[J]. 物理测试，1997(3):32-36.

[9] 索亚运，李艳宁. 防护热板法快速测量物质导热系数[J]. 纳米技术与精密工程，2017，15(3):193-198.

[10] 李保春，董有尔. 热线法在导热系数测量中的应用 [J]. 物理测试，2005，23(4):000032-34.

[11] 于帆，张欣欣，何小瓦. 非稳态平面热源法同时测量材料的导热系数和热扩散率[J]. 宇航计测技术，2006，26(6):13-17.