

粉料粒度对陶瓷型壳料浆性能及单晶叶片粘砂的影响

王树森¹, 张玲², 孟杰²

(1. 海装沈阳局驻鞍山代表室, 辽宁鞍山 114001; 2. 中科院沈阳金属研究所师昌绪创新中心, 辽宁沈阳 110016)

摘要: 以220[#]、320[#]、1 000[#]的电熔莫来石粉(EC95粉) 为面层耐火材料原料, 采用不同粒度配比的EC95粉进行陶瓷型壳面层料浆的配制, 研究了粉液比相同条件下, 粉料粒度对面层料浆粘度、板重、型壳表面粗糙度及铸件粘砂的影响。研究表明: 粉液比在4:1的条件下, 以20%的220[#]EC95粉、65%的320[#] EC95粉、10%的1 000[#]的EC95粉配制的面层料浆具有较优的涂挂性能, 粘度在25 s, 板重在4.10 g, 表面粗糙度在2.16 μm , 制备的单晶型壳能解决叶片铸件的粘砂问题。

关键词: 粒度; 粘度; 板重; 表面粗糙度; 铸件粘砂

高温合金精密铸造过程中, 陶瓷型壳的制备是形成近净形、低粗糙度、复杂形状铸件的关键工序。铸件浇注过程中, 陶瓷型壳直接与高温合金熔液接触, 其性能直接影响铸件的表面质量、尺寸稳定性和冶金性能。特别是在单晶叶片的熔铸过程中, 陶瓷型壳要在1 500 $^{\circ}\text{C}$ 以上的高温熔液中浸泡数十分钟, 对陶瓷型壳的性能提出了更高的要求^[1]。

陶瓷型壳的制备过程中, 面层料浆的质量至关重要, 而面层耐火材料的粒度直接影响料浆的粘度和涂挂性能^[2]。本文采用不同粒度配比的EC95粉进行陶瓷型壳面层料浆的配制, 通过对面层料浆粘度、板重、型壳表面粗糙度的分析, 确定了单晶型壳面层料浆合理的粉料粒度配比, 提高了型壳表面质量, 解决了单晶叶片铸件的粘砂问题。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

本试验陶瓷型壳面层用耐火材料选用电熔莫来石粉(EC95粉), 粒度分别为220[#]、320[#]、1 000[#], 其粒度分布和化学成分检测结果见表1和表2。制壳用粘结剂材料选用JN-30硅溶胶, 其性能指标满足表3的要求。

作者简介:

王树森(1982-), 男, 本科, 主要从事船舰材料研究工作。E-mail: 446757808@qq.com。

通讯作者:

张玲, 女, 硕士, E-mail: zlworkmail@163.com

中图分类号: TG221

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2023)04-0415-05

基金项目:

四川省科技计划项目(省院省校合作项目: 2022YFSY0016)。

收稿日期:

2022-04-27 收到初稿, 2022-05-19 收到修订稿。

表1 EC95粉粒度分布
Table 1 Particle size distribution of EC95

粒度	直径/ μm		
	10	50	90
220 [#]	9.16	42.65	123.5
320 [#]	2.48	23.07	86.35
1 000 [#]	0.74	8.09	37.8

表2 EC95粉化学成分
Table 2 Chemical composition of EC95

粒度	质量分数/%			
	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	Na_2O
220 [#]	94.80	4.99	0.03	0.18
320 [#]	94.73	5.05	0.03	0.19
1 000 [#]	92.63	7.01	0.05	0.31

表3 硅溶胶技术要求
Table3 Technical requirements of silica sol

型号	SiO ₂ /%	Na ₂ O/%	密度/(g·cm ⁻³)	pH (25±2) °C	运动粘度/(m·s ⁻¹)	SiO ₂ 平均粒子直径/nm
JN-30	30~31	≤0.3	1.19~1.21	9~10	≤7×10 ⁻⁶	9~20

1.2 试验方法

配制试验用面层料浆的粉液比为4:1, 即EC95粉与JN-30硅溶胶的重量比为4:1。按表4的粒度配比称取不同方案的EC95粉, 按比例称取好硅溶胶, 将硅溶胶倒入干净的不锈钢桶中, 缓慢加入EC95粉, 同时采用高速搅拌机搅拌。粉料完全加入后搅拌4 h, 搅拌好的料浆倒入L型搅拌机中搅拌16 h后, 进行料浆粘度、板重、涂挂性的检测。

表4 粉料配比方案
Table 4 Chemical composition of EC95 w_B/%

方案	EC95粉含量		
	220 [#]	320 [#]	1 000 [#]
方案1	100%	—	—
方案2	60%	25%	15%
方案3	40%	45%	15%
方案4	20%	65%	15%
方案5	20%	70%	10%
方案6	—	100%	—

按HB5351.1的方法, 采用容量100 mL、孔径为6 mm的流杯粘度计进行面层料浆粘度的检测。板重检测试片采用100 mm×100 mm×4 mm的蜡片(图1), 称重记录蜡片初始重量。测试时用铁皮夹夹住试片的挂样端, 手持铁皮夹浸入料浆中, 约10 s后提出, 垂直静置, 让多余的料浆滴落, 试片自然干燥10 min后, 称取试片的增重既是涂料的板重。料浆涂挂性检测分析采用载玻片, 将其垂直浸入料浆, 10 s后提出并控除多余料浆, 目视观测。按表5的型壳涂制工艺制备型壳试样



图1 板重测试蜡片

Fig. 1 Wax for the plate weight test

表5 制壳工艺
Table 5 Shell making process

层次	粉料	硅溶胶	料浆粘度	撒砂材料
面层	按表4	JN-30	实测	100 [#] 刚玉砂
2	220 [#] EC95	JN-30	(15~20) s	60 [#] 刚玉砂
3	220 [#] EC95	JN-30	(8~15) s	36 [#] 刚玉砂
4	220 [#] EC95	JN-30	(8~15) s	24 [#] 刚玉砂
5	220 [#] EC95	JN-30	(8~15) s	24 [#] 刚玉砂
封浆	220 [#] EC95	JN-30	(8~15) s	—

及试验用单晶型壳, 型壳烧结工艺为930 °C×1.5 h。试样表面粗糙度检测采用西安威尔信生产的MMD-HPG100F粗糙度仪检测, 并采用德国莱卡DM4M显微镜进行表面形貌分析。

2 结果与分析

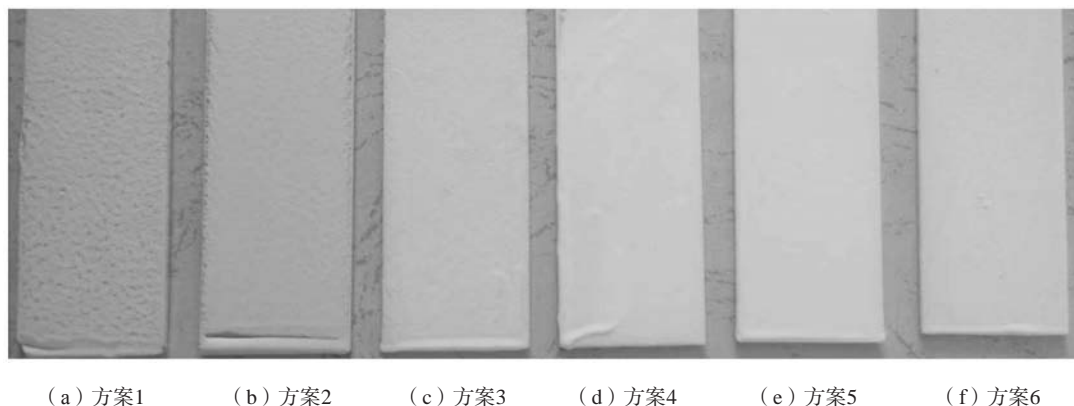
2.1 粉料粒度比对面层料浆性能的影响

硅溶胶料浆的流型基本属于假塑性流体, 具有触变性和剪切变稀的特性^[3]。面层耐火粉料的粒度对料浆的流动性和涂挂性影响较大。粉料中粗粉含量高时, 粗粉加快料浆的流动, 涂制控浆过程中料浆快速滴落, 形成的涂层薄, 容易出现厚薄不匀、边角漏蜡的情况; 细粉含量过高时, 料浆流动差, 容易出现堆料现象, 且涂层在干燥过程中容易开裂, 烧结后型壳表面也容易产生微裂纹, 因此面层粉料粒度应该合理配比。

表6是不同粉料配比的试验方案面层料浆粘度、板重及试样表面粗糙度测量结果。方案1采用的是220[#]EC95粉配制的面层料浆, 料浆粘度为20 s, 板重3.69 g, 制备的型壳试样表面粗糙度3.44 μm。料浆涂

表6 粘度和板重结果
Table 6 Particle size distribution of EC95

方案	粘度/s	板重/g	粗糙度/μm
方案1	20	3.69	3.44
方案2	21	3.77	3.07
方案3	25	3.89	2.56
方案4	27	4.24	1.46
方案5	25	4.10	1.24
方案6	23	4.02	2.43



(a) 方案1 (b) 方案2 (c) 方案3 (d) 方案4 (e) 方案5 (f) 方案6

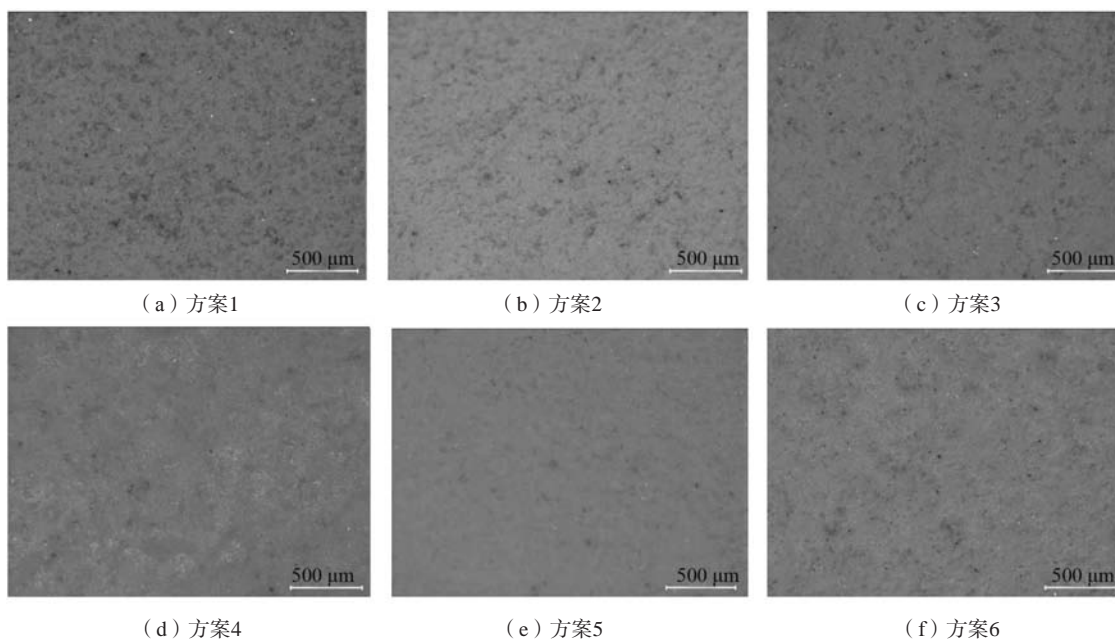
图2 料浆涂挂性结果

Fig. 2 Results of slurry coating

挂性观测时,载玻片表面多处漏料点(图2a),整体涂层薄,肉眼可见粗颗粒和料浆流纹。方案2减少了220[#]EC95粉的含量,添加了25%的320[#]EC95粉和15%的1 000[#]细粉,载玻片表面料浆涂挂均匀性明显提高(图2b),但是载玻片边沿仍有漏料点。继续减小220[#]EC95粉的加入量,方案3和方案4检测结果可见料浆粘度和板重增加。方案3的涂挂性检测可以看出表面漏料点消除(图2c),但涂层整体厚薄不均,涂层较薄。方案4的料浆涂层厚度增加,但表面有堆料的流纹产生(图2d),分析为细粉含量过高引起。将1 000[#]EC95粉含量降低,制备的方案5料浆整体涂层均匀、厚度适中(图2e),工艺性较好。方案6是科研生产中常用的粒度工艺,料浆粘度为23 s,料浆涂层厚度足够(图2f),但边沿料薄。对比方案5和方案6的涂挂

性结果,为了获得厚度适中、厚薄均匀的涂层,最佳的粉料配比是在320[#]EC95粉中添加合适的220[#]粗粉和1 000[#]细粉,增加粉料的整体粒度分布宽度,提高料浆的工艺性。

图3是不同方案型壳试块烧结后的表面形貌。从检测结果可以看出,方案1形成的型壳表面有清晰的大颗粒,面层砂有击穿涂层的现象,涂层薄并含有少量孔洞。随着粗粉含量的减少,型壳表面漏砂和孔洞减小,型壳表面逐渐致密。当细粉含量过高后,方案4表面有明显的料浆堆积情况。对比所有的试验方案,方案5的表面最均匀致密。从表6粗糙度检测结果也可以看出,型壳表面的粗糙度由方案1的3.44 μm 降低到方案5的1.24 μm 。综合上述试验结果,按方案5粒度匹配制备的面层料浆粘度和涂覆性能满足使用要求,且制得



(a) 方案1

(b) 方案2

(c) 方案3

(d) 方案4

(e) 方案5

(f) 方案6

图3 型壳表面形貌

Fig. 3 Topography of the shell surface

的型壳表面质量最好。

2.2 单晶型壳实际浇注情况

分别按照方案1~方案6的工艺制备某型号DD5单晶导向叶片型壳,并进行叶片浇注。叶片浇注温度为1 500 ℃,抽拉时间约为50 min。浇注后的叶片铸件清壳后表面情况如图4a~e所示。可以看出型壳表面粗糙度最大的方案1浇注后叶片粘砂最为严重,随着粗糙度

降低,型壳表面粘砂情况减轻。粗糙度较小的方案4和方案5,清壳后叶片铸件表面基本无粘砂。铸件表面的粘砂按其形成机理可分为物理粘砂和化学粘砂,实际上多以混合形式出现,其实质都是金属液渗透传质的结果^[4]。粗糙度降低,金属液传质减弱,铸件粘砂问题相应减轻。将方案5的面层工艺应用到其他单晶叶片型壳的生产中,也获得了高质量的铸件表面。

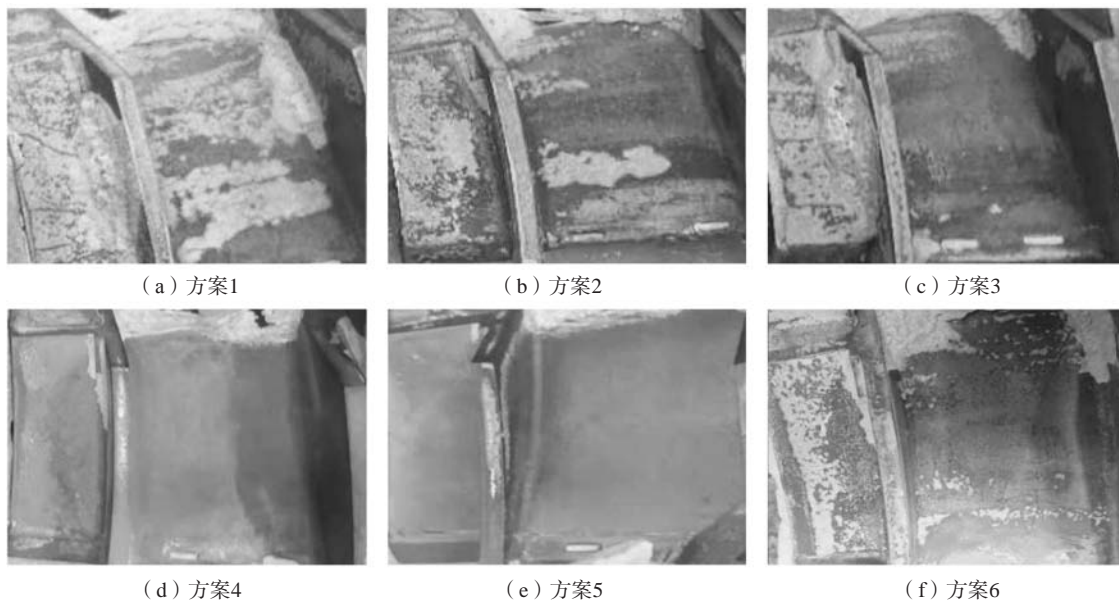


图4 清壳后铸件表面

Fig. 4 Casting surface after shell removal

3 结论

本文以220[#]、320[#]、1 000[#]的电熔莫来石粉(EC95粉)为面层耐火原料,用不同配比的粉料进行陶瓷型壳面层料浆的配制,在粉液比相同的条件下,对料浆粘度、板重、型壳表面粗糙度及铸件粘砂情况进行了研究,试验结果表明。

(1) 220[#]、320[#]、1 000[#]的EC95粉混合料浆,随着220[#]EC95添加量减小,型壳料浆粘度提高,板重增加,型壳的表面致密度提高。

(2) 在220[#]EC95含量相同的条件下,料浆中1 000[#]EC95粉含量增加,料浆的流平性和面层的粗糙度变差。

(3) 以20%的220[#] EC95粉、65%的320[#] EC95粉、10%的1 000[#]的EC95粉配制的面层料浆,粘度在25 s,板重在4.10 g,料浆流平性和型壳表面质量优于其他方案,型壳表面粗糙度在1.24 μm,采用该工艺制备的单晶型壳,能解决叶片铸件的粘砂问题。

参考文献:

- [1] 肖克. 单晶叶片型壳工艺探讨 [J]. 铸造技术, 2011 (10): 1358-1360.
- [2] 姚建省, 李志宏, 唐定中, 等. Al_2O_3 粉粒度对硅溶胶涂料及陶瓷型壳性能的影响 [J]. 材料工程, 2009 (7): 23-27.
- [3] 包彦坤, 俞炼聪, 匡阿根, 等. 熔模铸造用硅溶胶涂料的流变特性和工艺性能研究 [J]. 特种铸造及有色合金, 1995 (5): 4-8.
- [4] 张学锋, 张方, 郭芳芳. 铸件粘砂机理及其质量控制浅析 [J]. 河北冶金, 2007 (2): 43-45.

Effect of Powder Particle Size on Properties of Ceramic Shell Slurry and Sand Sticking of Single Crystal Blades

WANG Shu-sen¹, ZHANG Ling², MENG Jie²

(1. Military Representative Bureau of Naval in Shenyang, Anshan 114001, Liaoning, China; 2. Shi-changxu Innovation Center for Advanced Materials, Institute of Metal Research, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, Liaoning, China)

Abstract:

By using 220[#], 320[#], 1 000[#] electric melting mullite powder (EC95 powder) as raw material of the primary layer, the primary layer slurry with different ratio EC95 powder was prepared. Effect of powder particle size was studied on viscosity of slurry, plate weight, shell surface roughness and sand sticking of castings. The results showed that the slurry prepared with 20% 220[#] EC95 powder, 65% 320[#] EC95 powder and 10% 1 000[#] EC95 powder at the ratio of 4:1 had better coating performance. The viscosity was 25 s. The plate weight was 4.10 g and the surface roughness was 2.16 μm . The single crystal shells were made by this process which can solve the problem of sand Sticking.

Key words:

particle size; viscosity; plate weight; surface roughness; sand sticking
