

复杂型腔产品精密铸造工艺设计及改进实例

王立新 包学春 王胜良
(石家庄盛华企业集团有限公司)

摘 要 复杂型腔结构的精密铸件采用陶瓷芯生产工艺,分析了多个芯头陶瓷型芯在熔模铸造过程中出现断裂的原因,并通过增加陶瓷芯自身强度、调整注蜡参数、规范射蜡操作、调整浇注系统等措施,有效解决了陶瓷芯断裂问题,显著提高了陶瓷芯成形的合格率,并提高铸件成品率,缩短生产周期,极大降低了生产成本,且满足批量生产要求。

关键词 精密铸造;陶瓷芯;多芯头;断裂;强度

中图分类号 TG249.5;TG142 **文献标志码** A

DOI:10.15980/j.tzzz.2023.05.022

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Investment Casting Process Design and Optimization of Products with Complex Cavity

Wang Lixin, Bao Xuechun, Wang Shengliang
(Shijiazhuang Shenghua Group Co., Ltd.)

Abstract: The ceramic core production process was adopted for investment castings with complex cavity structure. The reasons for fracture of multiple ceramic cores during investment casting process were analyzed. The fracture of ceramic cores can be effectively solved by increasing the strength of ceramic cores, optimizing the wax injection parameters, adjusting the operation techniques of wax injection workers as well as gating system, significantly raising the qualified rate of ceramic core forming and casting yield, which shorten the production cycle, greatly reduce the production cost to meet quantity production requirements.

Key Words: Investment Casting, Ceramic Core, Multi-core Head, Fracture, Strength

熔模精密铸造适合生产形状复杂特别是内腔复杂的零件。陶瓷芯可形成铸件空腔的转接体,形成形状复杂或不易成形的铸件型腔,简化了工艺,降低成本,且提高了铸件合格率。采用陶瓷芯工艺生产了用于蒸气系统的 1458CD 配件,材质为 1.4308 不锈钢,每件质量为 1.55 kg,年产量约为 11 t。

1 初始工艺设计

1.1 铸件结构及陶瓷芯选择

铸件轮廓尺寸为 107 mm×107 mm×32 mm,整体空腔形状不规则,最小壁厚为 5 mm,见图 1。

根据 SiO₂、ZrO₂、Al₂O₃ 等材料配比不同,陶瓷芯材料分为硅基、铝基、TQ 系列等;陶瓷型芯要具有一定的强度和透气性,基于陶瓷芯清除工艺及环境保护的考虑,选择硅基 EC8 的陶瓷芯。精铸 1458CD 铸件的陶瓷芯形状见图 2。

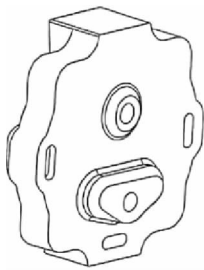


图 1 铸件结构
Fig.1 Structure diagram
of casting

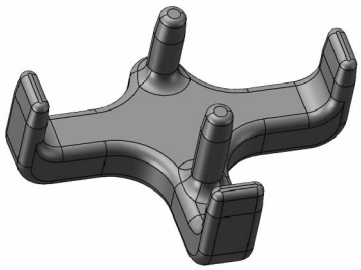


图 2 陶瓷芯
Fig.2 Ceramic core

1.2 浇口及射蜡参数

根据热节圆比例法计算内浇道尺寸(长×宽)为 30 mm×20 mm。为了便于切割,高度设为 12 mm。为减少陶瓷芯的变形,模具采用双顶丝形式,陶瓷芯安放在模具后,轻轻旋转顶丝与陶瓷芯接触后射蜡,这使陶瓷芯不会在射蜡过程中浮动。射完的蜡件将顶丝孔用堵头堵住。模具结构设计见图 3。选择 SH SLJ-07 型射蜡机,蜡缸温度为 50~59 ℃,射蜡压力为 1.6~2.2

收稿日期:2022-08-10;修改稿收到日期:2022-10-12
第一作者简介:王立新,女,1980 年出生,高级工程师,石家庄(050800),E-mail:shulianyue@163.com
引用格式:王立新,包学春,王胜良. 复杂型腔产品精密铸造工艺设计及改进实例[J]. 特种铸造及有色合金,2023,43(5):701-703.
WANG L X, BAO X C, WANG S L. Investment casting process design and optimization of products with complex cavity[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2023, 43(5):701-703.

MPa,在空气中冷却。

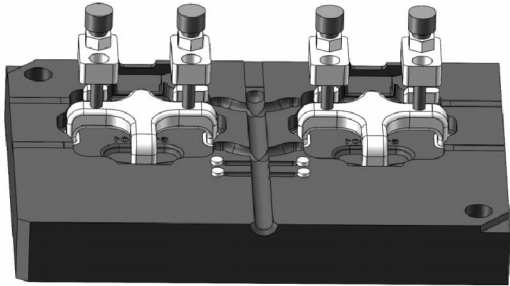


图 3 模具结构
Fig.3 Mold structure

1.3 浇注系统

选择顶注加侧注、封闭式浇注系统^[1~3],见图 4。

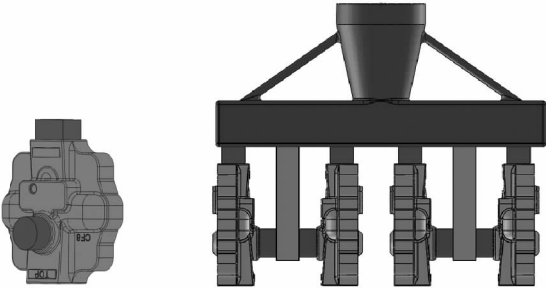


图 4 浇注系统
Fig.4 Gating system

1.4 制壳工艺

铸件内腔采用陶瓷芯形成,制壳工艺见表 1。

表 1 制壳工艺参数

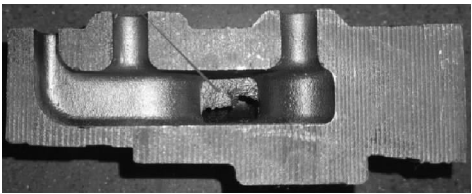
Tab.1 Process parameters for shell making					
层数	型砂类型	粒度(目)	浆料流杯粘度/s	干燥时间/h	注意事项
1	锆砂	120	45~50	3~5	1.每层浸润操作
2	莫来砂	30/60	20~25	4~8	
3	莫来砂	30/60	11~15	8~12	
4	莫来砂	16/30	11~15	8~12	2.凹槽挂砂紧实、干燥完全
5	莫来砂	16/30	11~15	8~12	
6	封浆		7~11	8~12	

1.5 焙烧、熔炼工艺

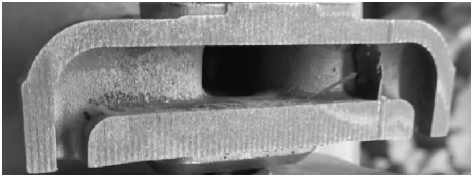
型壳在 1 150 ℃下焙烧 70 min 以上 ,保证耐火粉料充分烧结,陶瓷芯发气完全。浇注温度为 1 630~1 640 ℃。生产 21 825 件,废品率为 11%~16%,主要原因为陶瓷芯断裂,见表 2,断裂部位见图 5。

表 2 2020~2021 年 5 月铸件品质检测

Tab.2 Quality inspection of castings from 2020 to 2021					
交期	投产数/件	废品数/件	废品率/%	断芯数/件	断芯率/%
2020-9	2 200	352	16.00	329	14.95
2020-11	5 589	887	15.87	857	15.33
2020-12	2 198	331	15.06	277	12.60
2021-1	4 486	496	11.06	442	9.85
2021-4	3 692	518	14.03	458	12.41
2021-5	3 660	520	14.21	405	11.07



(a) 中间处



(b) 出口处

图 5 陶瓷芯断裂位置

Fig.5 Fracture position of ceramic core

1.6 陶瓷芯断裂原因分析

陶瓷芯断裂的原因可能为:①陶瓷芯本身强度低,注蜡压力过大;②射蜡人员操作不当;③制壳操作时型壳包裹住 5 个芯头,5 个芯头在型壳收缩过程中受到不同方向的拉力,导致陶瓷芯产生裂纹,浇注时钢水冲击裂纹部位,导致陶瓷芯断裂;④浇注系统设计不合理,浇注时钢水直接冲击陶瓷芯,陶瓷芯受力断裂。

2 工艺方案调整

2.1 射蜡工艺

为增强陶瓷芯强度,在陶瓷芯表层浸泡树脂,并对射蜡工序优化。同时调整射蜡参数,如调整蜡缸温度、冷却缸温度、射蜡压力、辅助 X 光射线探伤(X-ray diffraction, XRD),监测陶瓷芯是否断裂,最终射蜡工艺参数见表 3。

表 3 工艺方案调整

Tab.3 Wax injection parameter						
方案	射蜡工位	蜡缸温度/℃	冷却缸温度/℃	射蜡压力/MPa	陶瓷芯断裂数量	断芯率/%
1	SLJ-07-左	50	50	20	7	70
...	...	...	...	...	...	...
11	SLJ-07-左	57	57	18	3	30
12	SLJ-07-左	58	58	18	4	40
13	SLJ-07-左	59	59	18	4	40
14	SLJ-07-右	57	57	16	0	0
15	SLJ-07-右	58	58	16	0	0
16	SLJ-07-右	59	59	16	0	0
17	SLJ-07-左	57	57	14	0	0
18	SLJ-07-左	58	58	14	0	0
19	SLJ-07-左	59	59	14	0	0
20	SLJ-07-右	57	57	12	0	0
21	SLJ-07-右	58	58	12	0	0
22	SLJ-07-右	59	59	12	0	0
23	SLJ-07-左	57	57	10	0	0
24	SLJ-07-左	58	58	10	0	0
25	SLJ-07-左	59	59	10	0	0
26	SLJ-07-右	57	57	8(外观不良)	0	0
固定参数	SLJ-07	57~59	57~59	10~16		

脱蜡验证陶瓷芯断裂见图 6。X 光探伤发现陶瓷芯断裂,见图 7。

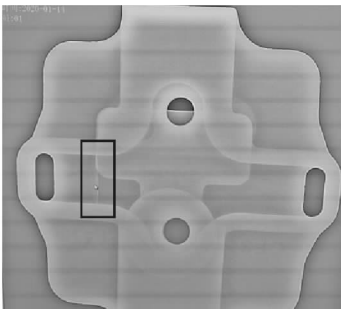


图 6 脱蜡后陶瓷芯断裂

图 7 X 光探伤发现陶瓷芯断裂

Fig.6 Ceramic core fractured after dewaxing

Fig.7 Ceramic core fracture by X-ray flaw detection

固定工位、固定射蜡参数后,选 5 位操作者进行射蜡,发现在射蜡时将顶丝拧紧后回旋,回旋 1/16~1/2 圈后,蜡件陶瓷芯几乎不断裂。若顶丝拧紧直接射蜡,废品率较高。因此,射蜡时将顶丝拧紧后回旋,但回旋角度过大时陶瓷芯会漂移,陶瓷芯芯头与本体模具配合的孔内会积蜡液,形成飞边,见表 4。

表 4 操作方法差别

Tab.4 Differences in operation methods

操作方法	射蜡数量/个	断芯数量/个	漂芯、定位孔进蜡
反转 1/16 圈	20	1	0
反转 1/8 圈	20	0	0
反转 1/4 圈	20	0	15,轻微
反转 1/2 圈	20	0	20,严重
反转 3/4 圈	20	0	20,严重
反转 1 圈	20	0	20,严重

根据试验数据,在操作时,螺栓顶丝接触到陶瓷芯后再回旋 1/8 圈,这样既保证了陶瓷芯不断裂,也不会形成厚大的飞边、毛刺而影响到铸件的壁厚。

2.2 制壳工序陶瓷芯断裂

制壳工序陶瓷芯断裂原因是制壳过程中 5 个陶瓷芯芯头被耐火材料包裹,由于耐火材料的收缩率与陶瓷芯、蜡模不一致导致的。当耐火材料收缩时,拉动陶瓷芯的 5 个芯头一起收缩,但蜡件包裹住的部分陶瓷芯没有同步收缩,导致陶瓷芯芯头与非芯头部分因受力不均断裂。

解决措施是将陶瓷芯其中 4 个芯头刷蜡,均匀刷涂 0.1~0.15 mm 厚度的地板蜡,蜡层与产品连接到一起。型壳制作过程中,耐火材料牢牢包裹住没有刷蜡的一个芯头,这个芯头与耐火粉料直接接触,没有间隙,起到定位、固定陶瓷芯位置的作用。脱蜡时,刷蜡的 4 个芯头与型壳之间形成 0.1 mm 左右的空隙,这样 4 个芯头自由收缩,受耐火材料收缩的影响不大,且 0.1 mm 的位移对铸件本身的结构无影响。刷蜡的芯头见图 8。

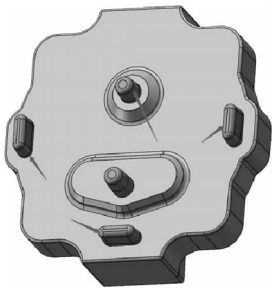


图 8 芯头刷蜡部位

Fig.8 Wax brushing part of core end

2.3 浇注系统优化

为解决钢水从两个方向冲击陶瓷芯,减少陶瓷芯的受力,对浇注系统进行了优化,优化的组树方式见图 9。

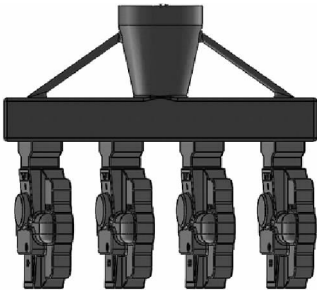


图 9 优化后的浇注系统

Fig.9 Gating system after optimization

通过优化后,陶瓷芯断裂明显降低,断芯率降低到 1% 以内。

3 结 论

- (1) 针对复杂结构的陶瓷芯,调整射蜡参数、操作手法,保证陶瓷芯在注蜡环节不断裂。
- (2) 陶瓷芯存在多个芯头时,保留一个芯头定位,其余的芯头涂抹 0.1 mm 左右的蜡层,减少型壳收缩对陶瓷芯的拉伸损伤。
- (3) 浇注时避免钢水直接冲击陶瓷芯。
- (4) 陶瓷芯表面可以浸泡树脂,提高强度。

参 考 文 献

[1] 周李明,王峰,王东,等.工艺参数对蜡模成形性能的影响[J]. 特种铸造及有色合金, 2017, 37(2): 173-175.

[2] 中国机械工程学会铸造分会.铸造手册第 6 卷特种铸造[M]. 北京:机械工业出版社, 2003.

[3] 姜不居. 实用熔模铸造技术[M]. 沈阳:辽宁科学技术出版社, 2008.

[4] 陈冰.特种铸造及有色合金[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2003.

[5] 中国铸造协会.熔模铸造手册[M].北京:机械工业出版社, 2000.

(编辑:刘卫)