

DOI: 10.16410/j.issn1000-8365.2020.02.017

# 钛合金熔模精密铸件表面质量提升工艺性研究

李伟东<sup>1,2</sup>, 刘茵琪<sup>1,2</sup>, 田永武<sup>1,2</sup>

(1. 洛阳双瑞精铸钛业有限公司, 河南 洛阳 471003; 2. 中国船舶重工集团公司第七二五研究所, 河南 洛阳 471023)

**摘要:** 研究并优化了钛合金熔模精密铸件工艺, 解决了钛合金熔模精密铸件表面质量差的问题。分析了钛合金熔模精密铸件表面缺陷的类型, 研究了缺陷产生的机理, 并进行了实验验证。结果表明, 浆液温度对型壳质量及钛合金熔模精密铸件表面质量具有重要影响。其它工艺参数不变的情况下, 浆液温度为 20~23 °C 时能获得表面质量较好的钛合金熔模铸件。

**关键词:** 钛合金; 表面裂纹; 熔模精密铸造

中图分类号: TG249

文献标识码: A

文章编号: 1000-8365(2020)02-0160-06

## Study on Surface Quality Improvement of Titanium Alloy Investment Casting

LI Weidong<sup>1,2</sup>, LIU Yinqi<sup>1,2</sup>, TIAN Yongwu<sup>1,2</sup>

(1. Luoyang Shuangrui Titanium Precision Casting Co., Ltd., Luoyang 471003, China; 2. Luoyang Ship Materials Research Institute, Luoyang 471023, China)

**Abstract:** The technology of titanium alloy investment die casting was studied and optimized, and the problem of poor surface quality of titanium alloy investment die casting was solved. The types of surface defects in titanium alloy investment die precision casting were analyzed, and the mechanism of defects was studied, experimental verification was carried out. The results show that the slurry temperature has an important influence on the shell quality and the surface quality of titanium alloy investment casting. The high surface quality titanium alloy investment casting can be obtained when the slurry temperature is 20~23 °C.

**Key words:** titanium alloy; surface crack; investment casting

钛合金由于其质轻、强度高、耐高温、耐腐蚀等优点为提高武器装备作战性、部件整体结构性及可靠性提供了强有力的支撑。钛合金熔模精密铸造技术已趋于成熟, 采用该工艺所生产的精密铸件产品已广泛应用于航空发动机、机体等关键构件的研制和生产<sup>[1-3]</sup>。随着我国钛合金 60 余年的发展历程, 已经研究和推广应用了 ZTC4、ZTA7 和 ZTA15 等航空航天工业用铸造钛合金。熔模精密铸造(又称熔模铸造)在高精度、复杂结构铸件, 特别是高熔炼温度、高化学活性金属的成形中起着不可替代的作用。熔模铸造工艺从压制蜡模、组树、制型、脱蜡、焙烧, 再浇注成铸件, 工艺过程复杂且周期长, 生产过程要求相对较高<sup>[4-6]</sup>。

钛合金铸件市场对铸件无论是尺寸精度还是表面光洁度要求越来越高, 石墨型铸造钛合金铸件已然不能完全满足市场对产品的高品质需求。

熔模精密铸件的尺寸精度及表面光洁度较石墨型铸件均具有较大的改善。熔模精密铸造已然成为钛合金成型铸件的主要方法。钛合金熔模精密铸造用型壳在制备过程要求较高, 型壳质量的好坏决定了熔模精密铸件的表面及内部质量。除此之外, 由于钛液较为活泼容易与型壳起反应致使铸件表面形成裂纹。铸件表面裂纹的存在, 需进行打磨、补焊, 然后进行表面荧光检查, 极大地造成了生产成本的增加, 生产周期延长且无法保证产品的正常产出。

本文通过采用研究浆液温度对型壳微观及宏观的影响, 控制浆液涂挂温度工艺方法从而优化钛合金熔模精密铸造用型壳质量, 减少钛合金熔模精密铸件表面裂纹。

## 1 实验材料及方法

实验材料为蜡模清洗液、醋酸铅粘结剂、325 目氧化钪粉、60-120 目锆砂、硅溶胶、325 目锆粉、200 目莫来粉、30 目莫来砂。实验对象为蜡模试块(图 1)及钛合金筒体铸件(图 2)。图 1 所示的蜡模试块主要用于测试浆液温度对蜡模尺寸的影响, 同时检测

收稿日期: 2019-11-06

基金项目: 郑洛新自创区产业集群专项(181200212500)

作者简介: 李伟东(1985-), 河南开封人, 硕士, 工程师。主要从事

钛合金铸造方面的工作。电话: 19937925796,

E-mail: liweidong589@163.com

不同浆液温度对所制备型壳质量的影响。图2所示的铸件为所生产的对象,前期所生产的该铸件产品表面裂纹及凹坑情况严重。采用该铸件作为检测型壳制备工艺的优劣。

为准确测定浆液温度对蜡模尺寸膨胀收缩情况的影响,本实验采用不同温度的蜡模清洗液替代不同温度的浆液,对蜡模温度的变化情况进行测试。蜡模清洗液温度的变化会造成蜡模尺寸发生不同程度的变化,分别测试了不同厚度的蜡模在不同酸洗液温度(10、14、18、22℃)下的尺寸变化情况,所测试部位为黑色记号笔标记图1所示部位。



图1 蜡模试块  
Fig.1 The wax pattern block

将醋酸锆与325目氧化钇粉按粘度Q值22g(130mm×130mm×1mm不锈钢试块在浆液中浸泡,取出后控浆2min,不锈钢试块增重量)进行配置不同温度(10、14、18、22℃)浆液进行型壳面层制备。将所制备的不同温度浆液浇注在蜡模试块上面,然后对蜡模进行淋砂处理。淋砂处理后的蜡模放置在恒温恒湿车间进行干燥24h。

采用325目锆粉及硅溶胶配置型壳用2层浆液,粉液比为2:1。将制备好的浆液涂挂在面层制备后的型壳上面,然后淋30目莫来砂。对2层制备后的型壳进行恒温恒湿车间24h干燥处理。采用200目莫来粉及硅溶胶配置3层用粘结剂制备型壳3层用粘结剂,将制备好的浆液涂挂在2层制备后的型壳上面,然后淋30目莫来砂。如此重复4层,所制备的型壳层数为7层。将制备好的型壳在脱蜡釜中进行脱蜡处理,然后对型壳进行高温焙烧,烧结

温度为1050℃,保温时间2h。对不同浆液温度焙烧后的型壳进行切割,然后采用扫描电镜对其微观结构成份进行分析。

根据不同浆液温度制备的型壳检测结果,选择最优的浆液温度所制备的型壳工艺方案,制备钛合金筒体铸件用型壳进行浇注。

## 2 实验结果及讨论

### 2.1 浆液温度对蜡模尺寸的影响

蜡模射蜡修整后需在蜡模酸洗液中进行除污处理。酸洗液除污后进行浇道组焊,组焊后进行灌浆制壳。在此过程中,酸洗液和浆液温度会对蜡模尺寸产生一定的影响。酸洗液温度对蜡模尺寸的影响也能反映浆液温度对蜡模尺寸的影响。测试了不同酸洗液温度对蜡模尺寸的影响。蜡模清洗液温度分别为10、14、18、22℃,所测试对象为图1所示蜡模试块,将蜡模试块放置不同温度的酸洗液2min,然后测其前后尺寸变化。

表1、2、3、4分别记录了不同温度蜡模清洗剂对蜡模尺寸的影响变化。不同蜡模清洗液温度对蜡模尺寸影响有所差别,22℃清洗液温度对蜡模尺寸无明显变化。蜡模清洗液温度越低,蜡模尺寸变化越明显。

### 2.2 浆液温度对涂挂性能的影响

浆液温度对蜡模表面润湿角具有较大的影响(如图3)。浆液温度为10℃时,浆液与蜡模的润湿角为62.84°、浆液温度为14℃时,浆液与蜡模润湿角为58.69°、浆液温度为18℃时,浆液与蜡模润湿角为51.08°、浆液温度为22℃时,浆液与蜡模润湿角为44.56°。从测试结果得出,浆液温度过低,蜡模与浆液的润湿角较大,不利于浆液均匀覆盖蜡模表面。随着浆液温度的增加,蜡模与浆液的润湿角变小,该变化有利于浆液均匀覆盖蜡模表面,从而有利于面层制备。

### 2.3 浆液温度对型壳质量的影响

蜡模在面层制备时温度过低,蜡模尺寸会有一

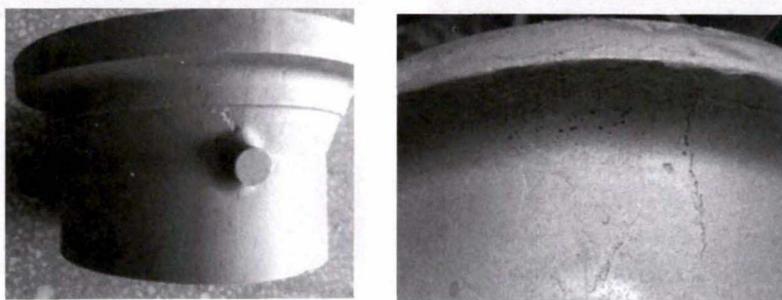


图2 钛合金筒体铸件  
Fig.2 Titanium alloy barrel casting

表1 蜡模浸泡在10℃酸洗池中2 min/mm  
Tab.1 The wax mold immersed in the pickling tank at 10℃ for 2 min/mm

序号	试块原始厚度	酸洗后尺寸	放置 10 min 后尺寸
1#	3.18	3.16	3.17
2#	4.24	4.21	4.23
3#	7.15	7.12	7.15
4#	8.27	8.25	8.26
5#	10.54	10.49	10.52
6#	15.48	15.43	15.47
7#	20.53	20.46	20.52
8#	25.54	25.44	25.52
9#	30.59	30.49	30.57

表3 蜡模浸泡在18℃酸洗池中2 min/mm  
Tab.3 The wax model was immersed in the pickling tank at 18℃ for 2 min

序号	试块原始厚度	酸洗后尺寸	放置 10 min 后尺寸
1#	3.17	3.16	3.17
2#	4.24	4.23	4.24
3#	7.15	7.13	7.15
4#	8.27	8.26	8.27
5#	10.52	10.51	10.52
6#	15.46	15.45	15.46
7#	20.49	20.48	20.49
8#	25.50	25.49	25.50
9#	30.54	30.52	30.53

表2 蜡模浸泡在14℃酸洗池中2min/mm  
Tab.2 The wax model was immersed in the pickling tank at 14℃ for 2 min

序号	试块原始厚度	酸洗后尺寸	放置 10 min 后尺寸
1#	3.17	3.16	3.17
2#	4.24	4.22	4.24
3#	7.15	7.12	7.15
4#	8.27	8.25	8.27
5#	10.52	10.50	10.52
6#	15.47	15.43	15.46
7#	20.52	20.47	20.49
8#	25.52	25.47	25.50
9#	30.57	30.50	30.54

表4 蜡模浸泡在22℃酸洗池中2 min/mm  
Tab.4 The wax model was immersed in the pickling tank at 22℃ for 2 min

序号	试块原始厚度	酸洗后尺寸	放置 10 min 后尺寸
1#	3.17	3.17	3.17
2#	4.24	4.23	4.24
3#	7.15	7.14	7.15
4#	8.27	8.27	8.27
5#	10.52	10.52	10.52
6#	15.46	15.46	15.46
7#	20.49	20.49	20.49
8#	25.50	25.50	25.50
9#	30.53	30.52	30.53

定程度的收缩;将制备表面层后的蜡模放入恒温恒湿面层间是,蜡模温度上升造成蜡模尺寸膨胀带动面层松动,致使面层产生微小裂纹。

在制备2层时,所用浆液为硅溶胶,致使硅溶胶进入面层裂纹处,与蜡模接触;制壳后进行浇注铸件时,薄壁件由于冷却速度快,铸件与模壳裂纹处的硅无明显反应,因此薄壁件无明显的麻眼及裂纹情况;当所浇注的铸件壁较厚时,钛液冷却速度较慢,造成钛液与模壳裂纹处的硅发生反应,导致

厚大铸件表面有裂纹及麻眼情况产生。从图4~图7所示看出,随着浆液温度的提升,模壳表面裂纹具有减少的趋势,同时,裂纹处硅及铝含量也有相应减小趋势。同时也证明模壳确实有破损,破损阶段就是在面层与2层制备之间阶段。

### 2.4 成型钛合金筒体铸件

根据上述测试结果,通过对面层浆液温度掌控在22℃,按照上述型壳制备钛合金筒体铸件用型壳。采用真空自耗电弧凝壳炉熔炼浇注钛合金筒体

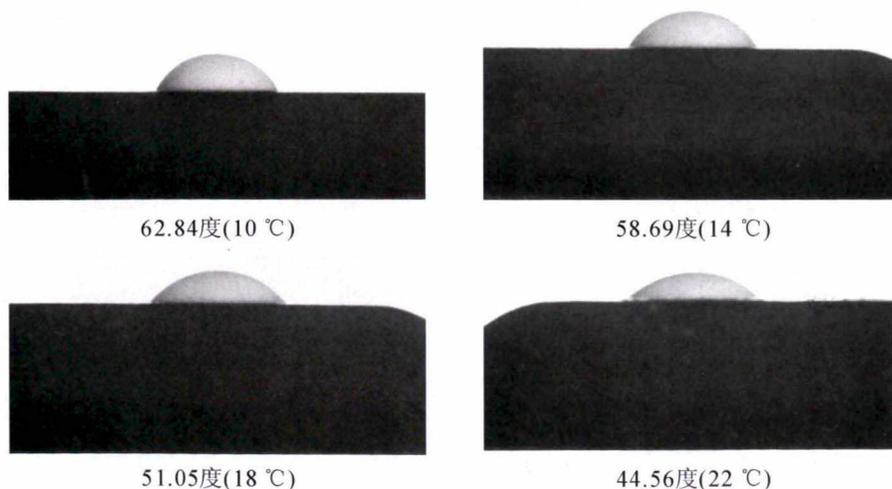


图3 不同温度浆液与蜡模润湿角  
Fig.3 The different temperature of slurry and the wax models wetting Angle

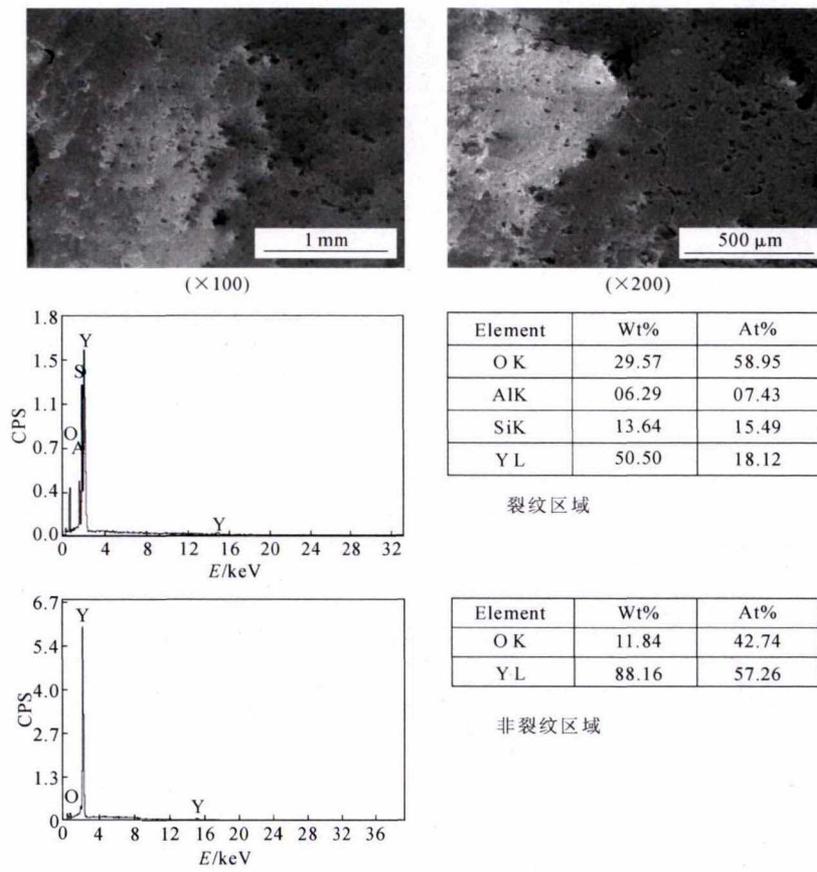


图4 10 °C模壳微观形貌及成分  
Fig.4 10 °C shell mould microstructure and composition

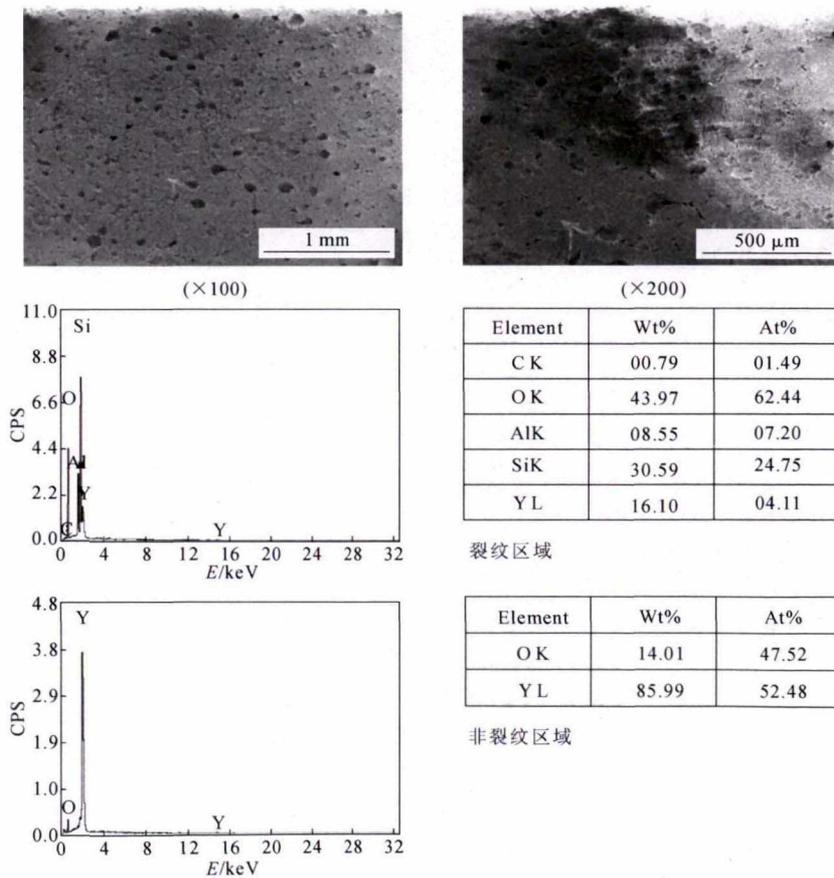


图5 14 °C模壳微观形貌及成分  
Fig.5 14 °C shell mould microstructure and composition

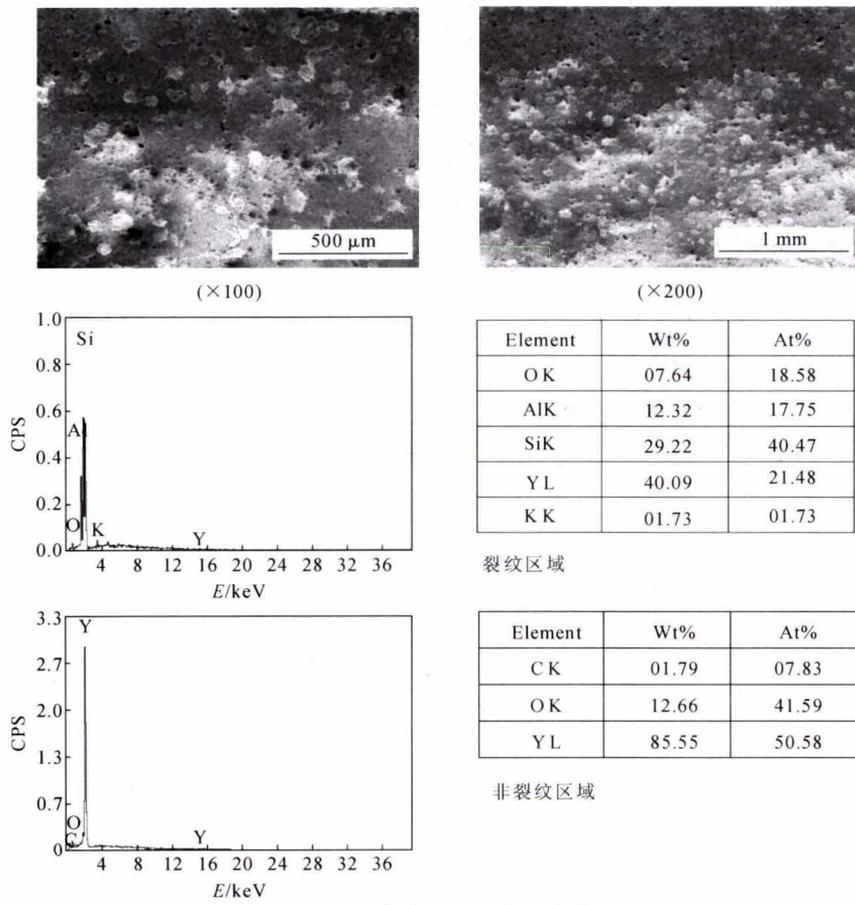


图 6 18 °C 模壳微观形貌及成分  
Fig.6 18 °C shell mould microstructure and composition

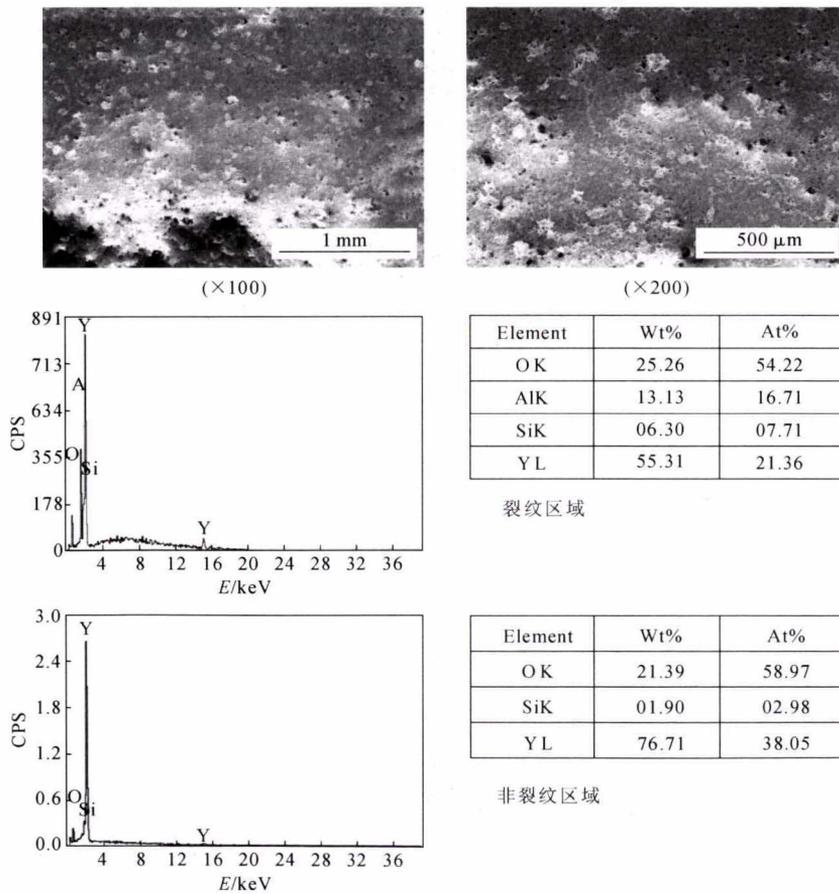


图 7 22 °C 模壳微观形貌及成分  
Fig.7 22 °C shell mould microstructure and composition

铸件。铸件经 X 射线探伤检测,发现其掉渣情况较之前所做的筒体铸件有明显改善,获得表面光洁无裂纹高品质铸件(如图 8)。

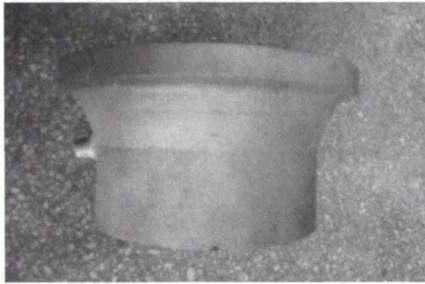


图 8 钛合金筒体铸件  
Fig.8 Titanium alloy barrel casting

### 3 结论

(1)浆液温度越低对蜡模尺寸膨胀收缩影响越大,浆液温度为 22 °C 时能保证蜡模尺寸较为稳定。

(2)随着浆液温度增加,浆液与蜡模润湿效果

越好。浆液温度为 22 °C 时与蜡模润湿角为 44.56°, 该温度浆液能制备较好的型壳。

(3)浆液温度为 22 °C 制备钛合金筒体铸件用型壳,采用该型壳浇注钛合金筒体铸件,能获得表面质量好,无明显裂纹高品质铸件产品。

#### 参考文献:

- [1] 樊振中,徐秀丽,王玉灵,等. 熔模精密铸造技术在航空工业的应用于发展[J]. 特种铸造有色合金, 2014, 34 (3): 285-289.
- [2] 谢华生,刘使兵,苏桂桥,等. 我国钛合金精铸件铸造技术的发展及应用[J]. 特种铸造有色合金, 2008, 年专刊: 462-465.
- [3] 李婷. 钛合金熔模铸造用氧化物陶瓷型壳的制备工艺研究[D]. 南京: 南京航空航天大学.
- [4] 金和喜,魏克湘,李建国,等. 航空用钛合金研究进展[J]. 中国有色金属学报, 2015, 25(2): 280-292.
- [5] 李毅. 大型复杂薄壁 Ti-6AL-4V 合金熔模精密铸造工艺研究[J]. 钛工业进展, 2012, 29(3): 22-25.
- [6] 常辉,周廉,王向东. 我国钛工业与技术进展及展望[J]. 航空材料学报, 2014, 34 (4): 37-43.

## T&F A 便携式非接触红外测温仪

### 铸造测温的跨越



采用德国技术,激光/望远镜瞄准,只要扣动按键,炉内熔化温度、出炉温度、浇包温度、浇注开始与终了温度、冒口溢流温度就会瞬间显示。全程检测,快速、准确、方便。4米内目标不受距离影响。测温范围:1000~2000°C,铸铁、铸钢、铝铜不同合金发射率可调。

#### 产品特点及技术参数

- 瞄准方式: 激光/望远镜瞄准
- 目标距离: 4 m 内测量与距离无关
- 激光聚焦: 3600 mm 距离激光聚焦为 24 mm 光斑
- 测量模式: 最大值/最小值显示/记忆功能
- 扫描功能: 对测量目标快速扫描并显示出测量的最大值
- 报警方式: 高低温声光报警
- 存储功能: 2000 个数据点

纳米级短波精确测量物体温度,特别是熔融金属液态温度;带USB接口及软件,可设定仪器参数、存取数据可下载、连接计算机可以显示实时温度及温度曲线,对合金熔化及浇注温度的控制提供可靠的适时测量。

西安唐盛电子有限公司

地址: 西安市雁翔路132号开元新村4单元201室  
电话: 029-83290862 传真: 029-88473613  
Email: xatomson@163.com QQ: 517221382