

浅谈预埋陶瓷型芯工艺对钛合金铸件尺寸的影响

张光^{1, 2}, 曹跃宗^{1, 2}, 赵瑞斌^{1, 2}

(1. 北京航空材料研究院股份有限公司, 北京 100094; 2. 北京市先进钛合金精密成型工程技术研究中心, 北京 100094)

摘要: 通过分析铸件和蜡模上孔槽深度尺寸数据, 研究了两种陶瓷型芯定位方式对铸件孔槽深度尺寸的影响。研究表明, 采用变尺寸陶瓷型芯定位方式, 可以有效保证蜡模和铸件孔槽深度尺寸精度。

关键词: 钛合金; 熔模铸造; 狭窄孔槽; 陶瓷型芯

钛合金具有比强度高、耐腐蚀性能好等优良特点, 广泛应用于航空航天领域。熔模铸造成形工艺是钛合金应用最广泛的近净成形工艺技术, 该工艺成形的钛合金铸件表面质量良好、尺寸精度高, 且能成形复杂、狭长管路、狭窄孔槽、半盲腔结构。

钛合金熔模铸造工艺成形狭窄孔、槽结构时, 因受结构限制, 采用自然涂料工艺成形易出现铸瘤、粘砂等铸造缺陷。通过精整打磨、补焊修复钛合金铸件时, 易造成钛合金铸件受热变形或者带来焊接次生缺陷, 如夹杂、气孔、裂纹缺陷等, 严重时铸件报废。钛合金熔模铸造工艺常采用蜡模中预埋陶瓷型芯代替自然涂料, 成形狭窄孔、槽结构, 可以有效避免自然涂料狭窄结构引起的铸造缺陷, 保证铸件成形质量。

本文主要研究陶芯定位对钛合金铸件尺寸的影响, 并给出陶芯定位建议方法。

1 试验过程

某钛合金铸件是航空发动机结构件, 规格为 $\Phi 18 \text{ mm} \times 33 \text{ mm}$, 铸件存在一个直径 9 mm 、深度 22 mm 的狭窄孔结构, 如图1所示。本试验采用两种陶瓷型芯定位方案成形该结构。方案1采用通径陶瓷型芯, 即用于成形狭窄槽孔的陶瓷型芯的直径与定位部分的直径相同, 见图2a; 方案2采用变尺寸陶瓷型芯, 即用于成形狭窄槽孔的陶瓷型芯直径与定位部分不同, 根据本次试验对象特点, 采用陶瓷型芯定位部分的直径大于狭窄槽孔型芯的直径, 见图2b。两种方案的陶芯高度相同, 定位部分高度相同, 直径不同; 成形部分高度和定位均相同。

作者简介:

张光 (1983-), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向为钛合金精密铸造。
电话: 010-62498424,
E-mail: 41747286@qq.com

中图分类号: TG242.7;
TG146.2

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977 (2024)
01-0098-03

收稿日期:

2023-02-01 收到初稿,
2023-08-28 收到修订稿。

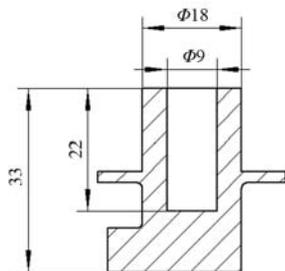


图1 某钛合金铸件狭窄孔示意图

Fig. 1 Schematic diagram of a narrow hole in a titanium alloy casting

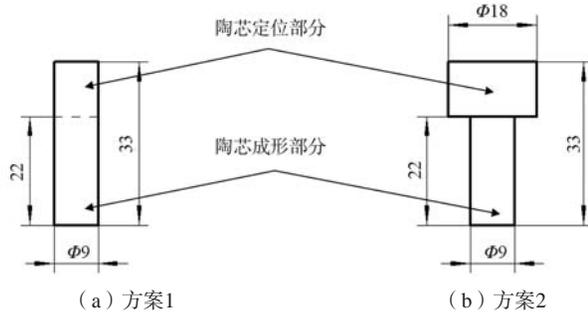


图2 陶芯方案示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the ceramic core process

方案一和方案二均采用先制作蜡模后插入陶芯方式成形最终蜡模。首先,通过模具压制工艺成形带狭窄槽孔的蜡模,然后将两种陶芯分别插入该狭窄孔槽结构。其中方案一是通径陶芯,操作人手工将通径陶芯插入蜡模孔槽结构中,无尺寸限位;方案二是变径陶芯,操作人手工将变径陶芯插入蜡模孔槽时,受直径18 mm陶芯限制,陶芯插入最大深度22 mm,如图3所示。

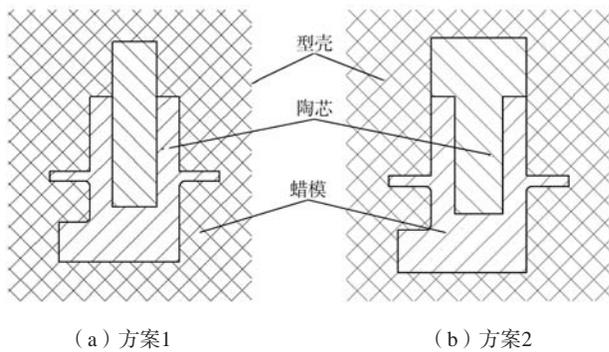
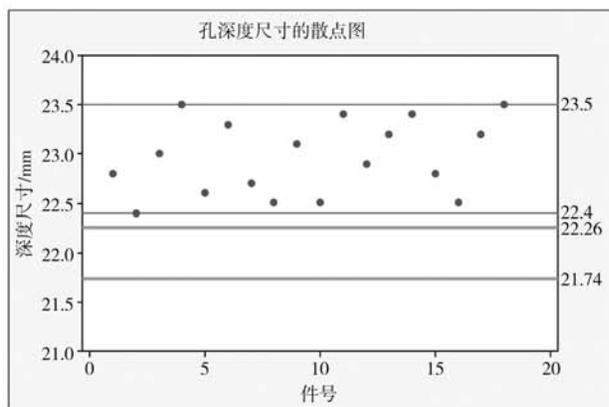


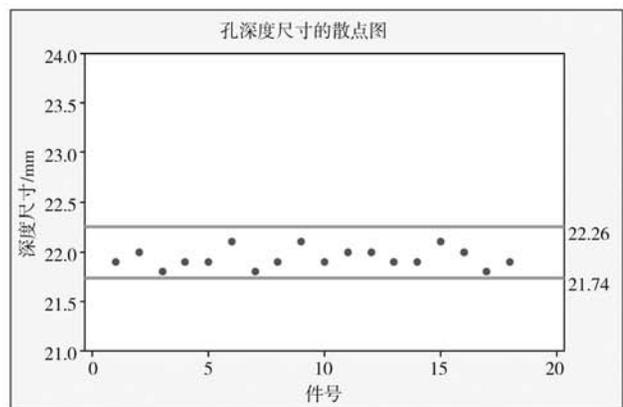
图3 某钛合金铸件型壳剖切示意图

Fig. 3 Schematic diagram of the shell cutting of a titanium alloy casting type

陶芯放入蜡模后,被蜡模包覆的陶芯部分最终成形铸件狭窄槽孔结构;未被蜡模包覆部分即陶瓷型芯在型壳中的定位部分,在涂料过程中,该部分被型壳包覆,负责陶瓷型芯的约束定位,防止因陶芯型芯移动造成铸件尺寸超差缺陷,如图3所示。



(a) 方案1铸件孔深度尺寸



(b) 方案2铸件孔深度尺寸

图4 铸件孔深度尺寸

Fig. 4 Casting hole depth dimensions

3 结果分析

采用两种定位方案成形的某型钛合金铸件,使用同一金属模具、同一试验批次,其试验过程由相同人员执行操作。铸件表面质量良好,铸件孔槽深度尺寸有差异。因为经脱蜡、焙烧、熔炼浇注,铸件狭窄槽孔深度尺寸决定于预埋在蜡模中的陶瓷深度,初步分

析试验结果差异与陶芯在蜡模中的深度有关。预埋陶芯的蜡模经涂料、脱蜡、焙烧形成型壳,采用真空自耗凝壳炉,通过真空离心铸造工艺成形钛合金铸件,经型壳清理去除型壳和预埋的陶芯,形成完整钛合金铸件。

2 试验结果

铸件狭窄孔槽结构完整成形,表面质量良好,未见铸瘤、粘砂沾污等铸造缺陷。经尺寸测量后发现方案一成形的钛合金铸件狭窄孔槽深度超出尺寸公差要求,方案二成形的钛合金铸件狭窄孔槽深度符合尺寸公差要求,如图4所示。

图4是某型钛合金铸件狭窄孔槽深度尺寸散点图,该铸件狭窄孔槽深度尺寸合格范围是21.74~22.26 mm,如图4a中粗线所示。方案一生产的铸件孔深度尺寸分布是22.4~23.5 mm,与要求相比,实际铸件孔深度较深,尺寸超出上限22.26 mm要求范围,如图4a所示。方案二生产的铸件孔深度尺寸分布是21.80~22.10 mm,与公差要求基本一致。从图4中可以看出,采用方案一生产的18件铸件孔深度尺寸均不合格,实际测量数据超出孔深度上限要求;采用方案二生产的18种铸件孔深度尺寸满足公差要求,实际测量数据均位于公差范围内。由尺寸偏差范围和一致性分析,采用方案一的铸件狭窄孔槽深度尺寸超差缺陷可能与陶芯定位方式相关。

析试验结果差异与陶芯在蜡模中的深度有关。

蜡模中的陶瓷型芯深度尺寸受陶芯插入力度、陶芯定位、蜡模深度限制。使用卡尺测量蜡模压制后狭窄槽孔深度尺寸如图5所示。从图中可以看出蜡模狭窄槽孔深度尺寸均在公差范围内,排除因蜡模槽孔深度尺寸超差导致铸件深度尺寸超差因素。

同一操作人员将方案一和方案二陶芯插入蜡模狭

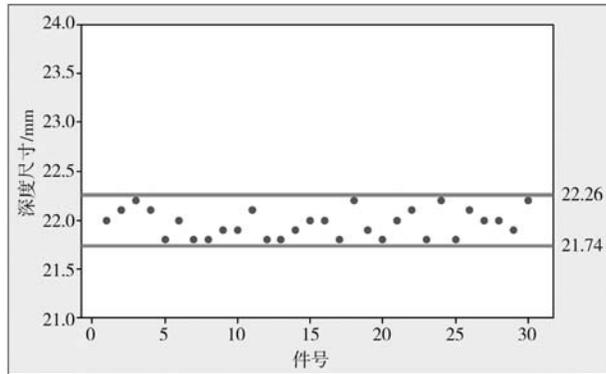


图5 蜡模狭窄孔深度尺寸

Fig. 5 Wax pattern narrow hole depth size

窄槽孔后，放入冷水中冷却至一定时间，然后将陶芯取出，使用卡尺测量蜡模狭窄槽孔深度，测量结果如图6所示。从图中可以看出，采用方案一成形的蜡模狭窄槽孔深度尺寸与方案二存在明显差异，方案一成形的狭窄槽孔深度尺寸大于方案二。

观察蜡模压制过程，发现操作人员完成蜡模压制后插入陶芯，此时蜡模仍处于温热状态，陶芯插入力量过大会伤及孔槽底部蜡模，造成蜡模孔深度超差。而蜡模制作过程中缺失蜡模孔槽深度尺寸检测，使该尺寸超差缺陷未被及时发现，导致铸件孔槽深度尺寸超差。方案二是变径陶瓷型芯，定位部分陶瓷型芯直径大于成形部分，在陶瓷型芯插入蜡模时，定位部分陶芯起到了限位作用，保护孔槽底部蜡模未被插入陶

参考文献:

- [1] 张美娟, 南海, 鞠忠强, 等. 航空铸造钛合金及其成型技术发展 [J]. 航空材料学报, 2016, 36 (3): 13-19.
- [2] LUTJERING G, WILLIAMS J C. Titanium [M]. New York: Springer, 2003.
- [3] MOISEYEV V N. Titanium alloys russian aircraft and aerospace applications [M]. Taylor & Fracis Group, LLC, 2008.
- [4] 谢成木. 钛及钛合金铸造 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [5] 中国航空材料手册编写组. 中国航空材料手册. 钛合金 [M]. 北京: 中国标准出版社, 2001.

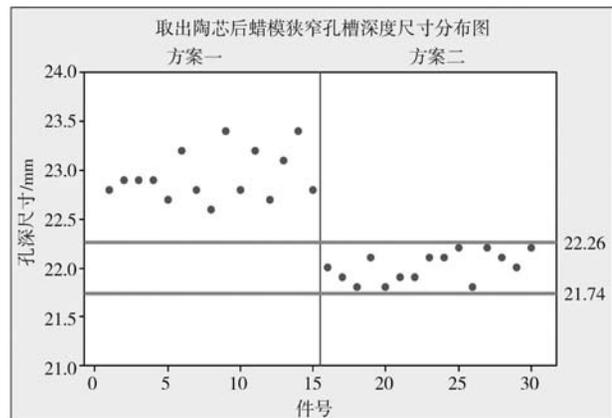


图6 去除陶芯后蜡模孔深度尺寸

Fig. 6 The depth size of the wax pattern hole after removing the ceramic core

芯破坏，采用方案二研制的铸件孔槽尺寸合格。

4 结束语

(1) 预埋陶瓷型芯成形钛合金狭窄槽孔结构有效，铸件表面质量良好，可消除大部分铸瘤、粘砂等铸造缺陷。

(2) 采用预埋陶瓷型芯需考虑蜡模尺寸限位、型壳定位设计。使用变尺寸陶瓷型芯，既可以型壳定位作用，也起到蜡模限位作用，可以有效避免陶瓷型芯深度尺寸超差。

Discussion the Influence of the Embedded Ceramic Core Process on the Size of Titanium Alloy Castings

ZHANG Guang^{1,2}, CAO Yue-zong^{1,2}, ZHAO Rui-bin^{1,2}

(1. BAIMTEC Material Co., Ltd., Beijing 100094, China; 2. Beijing Engineering Research Center of Advanced Titanium Alloy Precision Forming Technology, Beijing 100094, China)

Abstract:

By analyzing the hole depth size data under different conditions of casting and wax patterns, the influence of two ceramic core positioning methods on the hole depth size was studied. Studies showed that the positioning method of variable-size ceramic core could effectively ensure the dimensional accuracy of wax patterns and casting hole depth.

Key words:

titanium alloy; investment casting; narrow holes; ceramic core