

基于 GD&T 的钛合金铸件尺寸系统分析

朱梦秀^{1, 2}, 钱 巍^{1, 3}

(1. 北京百慕航材高科技有限公司, 北京 100094; 2. 航发优材钛合金精密成型有限公司, 江苏镇江 212000;
3. 中国航发北京航空材料研究院, 北京 100095)

摘要: 针对熔模铸造行业因产品过程尺寸分析不系统导致的收缩率数据误差较大及过程检测不合理问题, 提出了一种将产品各要素及其特征(大小、方向、形状、位置)统筹与分解的系统化尺寸分析方法。以旋转体产品为例, 利用现代蓝光检测技术, 根据铸件结构特征, 将GD&T运用至产品各工序的尺寸分析工艺制定中, 对制造过程中产品各要素各特征的变化进行定性定量分析, 并验证工艺的可靠性。根据结果能清晰有效分析出旋转体产品尺寸和形位的变化量及趋势, 对于特异性的尺寸变化可快速分析出原因。通过将GD&T运用至熔模铸造产品尺寸跟踪中, 能高效准确对产品尺寸进行定性和定量化分析, 有利于提高产品尺寸精度, 减少生产浪费, 提高生产效益。

关键词: 钛合金熔模铸造; 收缩率; 工序检测; 尺寸分析; GD&T

尺寸和几何形状缺陷是铸钛工业生产中最常出现、最难解决又是必须解决的缺陷, 尤其是铸件的尺寸及其精度, 由于钛合金铸造行业的特殊性, 产品制造最终形成成本较大^[1-3]。产品研制过程中的尺寸数据分析只能是小数据分析, 企业必须通过对研制件全方面的深度分析, 找出从模具型腔到最终铸件过程中产品尺寸数据变化的原因, 及时有效地提出各工序的优化方法, 避免因此而导致的产品尺寸精度降低以及研制失败^[4-5]。卜昆^[6]等人提出产品结构是影响其各部位收缩及变形分布趋势的主要因素, 提高铸件尺寸精度是一个系统工程, 涉及到产品生产过程中的各个工序。国外在精铸件制造过程中对其尺寸的研究建立了完备的试验系统和测量系统, 并制定了相应的测定标准, 相关研究系统而深入^[7-10]。在钛合金铸件的整个制造过程中, 铸件会经历3次热过程——蜡模压制、铸件浇注成形、铸件焊接, 每次热过程尺寸都会发生一定的变化^[11]。目前针对热过程工序, 没有建立系统性的尺寸分析方法, 导致铸件尺寸精度控制水平无法提高。

1 系统化尺寸分析方案设计

以旋转体产品的试制过程为例, 跟踪研究其在生产过程中的尺寸数据变化。在熔模铸造产品生产环节中, 引起产品尺寸与形状变化的主要工序有蜡模压制、铸件浇注成形和铸件焊接, 因此需在其工序进行产品点云数据收集^[12]。由于对旋转体产品外表面要求较高, 故将旋转体的外表面作为本次研究的主要对象。首先使用测量软件Geomagic Qualify将产品的模具型腔3D数模与旋转体外表面各阶段点云数据进行对比, 通过对结果的调节, 以确保对比对象中心位置各方向偏差不超过0.1 mm。此时观察3D比较后的结果, 确定研究表面的大致偏差量。之后通过软件上的GD&T创建功能分别针对各阶段的产品研究表面进行轮廓度创建。GD&T(几何尺寸与公差, Geometric Dimensioning and Tolerancing)目前在制造业使用得较多, 且在铸钛行业可以通过GD&T中的相关原则、符号、基准及各种公差精确地检测出产品各阶段的尺寸及公差, 有效地判断对应工序产品的尺寸变化。

作者简介:

朱梦秀(1993-), 女, 硕士, 研究方向为钛合金精密铸造。电话: 18852890663, E-mail: zhumengxiu1225@163.com

中图分类号: TG292

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2021)05-0577-05

收稿日期:

2020-11-29 收到初稿。

需要注意的是在建立基准时,需先对相应的基准要素的形状进行管控,基准要素的表面轮廓在铸造过程中应是稳定可靠的。建立好的形位公差限制了研究表面的大小、形状、方向以及轴向位置。通过设定的

形位公差对各阶段点云数据进行轮廓度评价,并根据评价结果对产品研究表面的各阶段变化进行分析,形成系统化的检测分析方案。图1所示为产品尺寸数据分析流程。

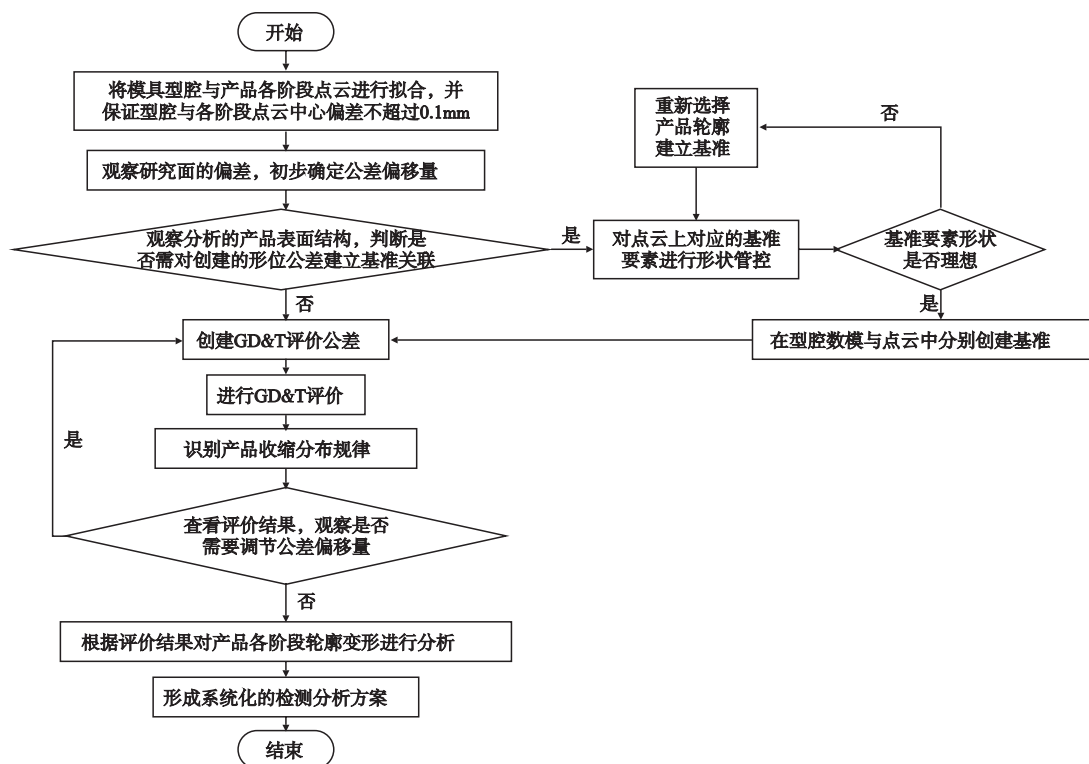


图1 产品尺寸数据分析流程

Fig. 1 Product dimension data analysis flow chart

2 尺寸数据分析

用于熔模铸造的蜡模制作完毕后,首先采用蓝光扫描与Geomagic qualify分析软件对蜡模尺寸进行分析评价。图2所示为产品在蜡模阶段外表面的评价结果。由图2a可知,在现行压蜡工艺下,产品外表面中间段的收缩状态与上下两段不同。针对这一问题,进行了

如图2b所示的分解分析——将内环外表面的上下两段与中间段分解进行评价。由图2b可知,以B平面为基准,相比模具型腔,产品外表面上下段整体向里收缩了约0.8 mm,外表面中段整体向里收缩了约0.5 mm。蜡模外表面有轻微变形,由色谱对比图右侧的直方图可知变形基本控制在0.3 mm以内。

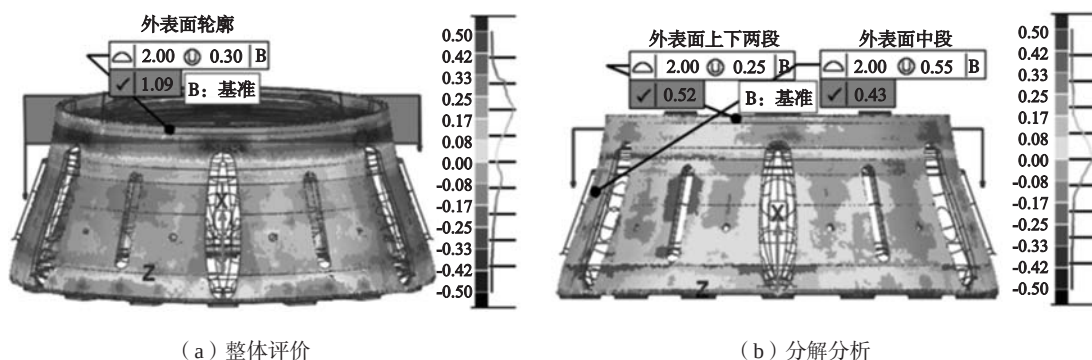


图2 蜡模外表面评价结果

Fig. 2 Evaluation results of outer surface of wax pattern

利用前述蜡模经涂料、脱蜡焙烧、浇注后,再次对铸件进行蓝光扫描与数据分析。如图3所示为产品在浇注后外表面的评价结果。由图3可知,在现行浇注工艺下,以B平面为基准,相比模具型腔,铸件外表面上下两段向里收缩了约2.4 mm,中段向里收缩了约1.8 mm。浇注后铸件内环外表面延续了蜡模阶段的变形趋势,由色谱对比图右侧的直方图可知基本控制在1.0 mm以内。

如图4所示为局部焊接后铸件外表面评价结果。由图4a可知,在现行焊接工艺下,外表面上段和下段的表面轮廓基本无变化,变形依旧可控制在1.0 mm以内。由图4b可知,外表面中段出现严重变形。结合直方图可知,其表面整体向里变形,局部超下差1.0 mm。产品外表面在制造过程中各阶段的尺寸变化及变形状况如表1所示。

由上述将GD&T运用至产品数据的分析可知,在现行生产工艺下,产品外表面上下两段与中间段的收缩量不同,产品各阶段的变形程度也不同。通过分析可清晰得到产品各阶段各位置的收缩数据、变形量及变形趋势。浇注过程中的整体收缩量较大,局部焊接造成的变形最大。在生产过程中需针对性地收集相关数据、改善相应工艺,从而提升产品整体精度。

3 分析方法验证

以上述试验件为检测标准,验证检测方案是否可

检测出与试验件状态不相同的产品尺寸。现以蜡模压制阶段为例,通过重复试验件压蜡工艺和改变压蜡工艺,制作出两个验证蜡模,并分别对其进行检测。如图5所示为验证蜡模的检测结果。图5a为相同压蜡工艺制作的蜡模检测结果,由其可知评价结果与试验件的蜡模评价结果基本相同。图5b为改变压蜡工艺后的蜡模检测结果。由其可知外表面轮廓相较于试验件蜡模整体向内超过0.2 mm,外表面直径尺寸明显偏小。图5c为改变压蜡工艺后的蜡模分析结果。蜡模阶段验证数据如表2所示。由此可知分析出改变了压蜡工艺,蜡模的尺寸和变形程度也会随之发生改变。制定的检测方案能有效检测出不符合要求的产品尺寸,并对各工序进行监测。

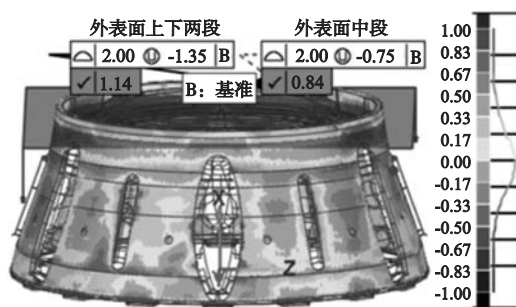
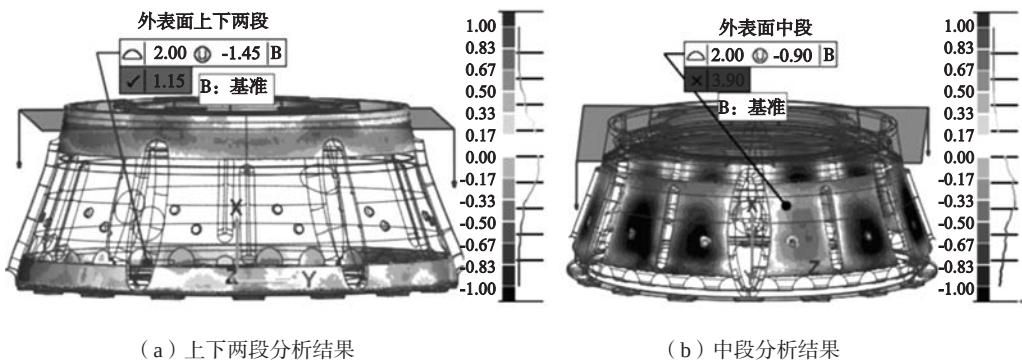


图3 浇注后铸件外表面评价结果

Fig. 3 Evaluation result of outer surface of casting after pouring



(a) 上下两段分析结果

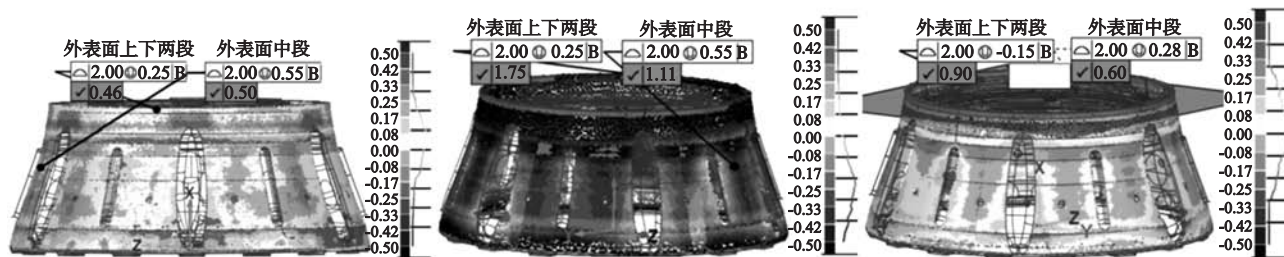
(b) 中段分析结果

图4 局部焊接后铸件外表面评价结果

Fig. 4 Evaluation results of outer surface of casting after local welding

表1 产品外表面各阶段状态
Table 1 State of product surface at each stage

位置	蜡模		浇注后毛坯		局部焊接后	
	缩量	变形	缩量	变形	缩量	变形
外表面上下两段	0.8	0.3	2.4	1.0	--	1.0
外表面中段	0.5	0.3	1.8	1.0	--	超下差1.0



(a) 相同压蜡工艺下蜡模检测结果

(b) 改变压蜡工艺后蜡模检测结果

(c) 改变压蜡工艺后蜡模分析结果

图5 验证蜡模检测结果

Fig. 5 Verification of wax pattern testing results

表2 蜡模压制阶段验证数据

Table 2 Verification data of wax pattern pressing stage

/mm

位置	试验件蜡模		相同压蜡工艺蜡模		不同压蜡工艺蜡模	
	缩量	变形	缩量	变形	缩量	变形
外表面上下两段	0.8	0.3	0.8	0.3	1.2	0.6
外表面中段	0.5	0.3	0.5	0.3	0.7	0.6

4 结论

(1) 相较于传统通过卡尺等常规量具对产品尺寸数据进行分析与检测方法, 通过扫描工具和软件将GD&T运用至数据的分析与检测中能清晰准确地获取产品成形过程中的尺寸数据变化。

(2) 通过利用GD&T将产品各要素合理统筹与分解分析, 将所选要素的大小、形状、方向和位置区分讨论, 能够快速分析出引起产品不合格的原因, 针对

性地提出解决方案, 提高产品尺寸精度。

(3) 通过将产品的尺寸变形和尺寸大小分解分析, 可清晰地总结出产品的收缩变化规律, 从而提高产品收缩率数据设计精度。

(4) 通过对各工序产品尺寸的有效检测可反向对各工序的能力和稳定性作出评价, 减少生产浪费, 提高生产效益, 并且可为各类产品的自动化检测做尺寸数据积累和方案指导。

参考文献:

- [1] 谢成木. 钛及钛合金铸造 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [2] 吴代建, 张光明, 彭显平, 等. 基于尺寸检测的预燃烧室熔模铸件工艺改进 [J]. 铸造, 2018 (8): 699-702.
- [3] 聂小武. 熔模铸造中蜡模质量控制的研究 [J]. 铸造工程, 2009, 33 (1): 24-26.
- [4] 唐和雍, 易红. 压铸件尺寸变化及控制 [J]. 特种铸造及有色合金, 2012 (4): 337-340.
- [5] 张萌. 基于标识点的三维重构技术及其在铸件尺寸检测中应用的研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2011.
- [6] 卜昆, 张雅莉, 于茜, 等. 精铸件收缩率分布规律研究进展 [J]. 航空制造技术, 2019, 62 (20): 37-44.
- [7] 卜昆, 王念鲁. 铸件分布方式对单晶空心涡轮叶片精铸质量的影响 [J]. 铸造, 2014, 63 (2): 110-114.
- [8] 杨永泉, 张世超, 夏振佳. 三维扫描技术在铸件新产品开发中的应用 [J]. 机械工业标准化与质量, 2013 (3): 37-41.
- [9] 李世峰, 张定华, 卜昆. 单晶空心涡轮叶片精确控形技术的研究进展 [J]. 稀有金属材料与工程, 2012, 41 (3): 559-564.
- [10] 霍洪旭. 大型复杂铸锻件三维扫描测量与数据处理方法研究 [D]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2017.
- [11] 孙志远, 魏星, 刘峻岭. 三维激光扫描技术在车钩检测中的应用研究 [J]. 冶金与材料, 2018, 38 (2): 1-2, 6.
- [12] 陈亚辉, 段继东. 熔模铸造蜡模尺寸稳定性分析改善 [C]//中国铸造协会. 第十届中国铸造协会年会论文集, 2012: 738-750.

A Systematic Dimension Analysis Method for Titanium Alloy Based on GD&T

ZHU Meng-xiu^{1,2}, QIAN Wei^{1,3}

(1. Baimtec Material Co., Ltd., Beijing 100094, China; 2. Hangfa Youcai Titanium Alloy Precision Forming Co., Ltd., Zhengjiang 212000, Jiangsu, China; 3. AECC BIAM, Beijing 100095, China)

Abstract:

During the development of titanium alloy investment casting products, inadequate dimensional analysis causes large design error of shrinkage data and the unreasonable inspection of process procedures. The paper proposes a systematic dimension analysis method that integrates and decomposes all elements and their features (size, direction, shape and position). Based on the structure characteristics of castings, GD&T is applied to the size analysis process formulation of each process of the product by using modern blue light detection technology. The qualitative and quantitative analysis of the changes of each feature of the product elements in the manufacturing process is carried out, and the reliability of the process is verified. According to the results, we can clearly and effectively analyze the changes and trends of the size and shape of the rotary body products, and quickly analyze the reasons for the specific size changes. For products with different structures, by applying GD&T to its size analysis, the problems in the development process of products can be analyzed efficiently and accurately, which is conducive to improving product size accuracy, reducing production waste and improving production efficiency.

Key words:

titanium alloy investment casting; shrinkage rate; process inspection; dimension analysis; GD&T
