

钛合金精密铸件基准传递形式应用综述

刘俊^{1,3}, 刘泗溢^{1,3}, 杜海军^{1,3}, 张玉凯^{1,3}, 王本志^{1,2,3}

(1. 北京百慕航材高科技股份有限公司, 北京 100094; 2. 中国航发北京航空材料研究院
铸钛中心, 北京 100095; 3. 北京市先进钛合金精密成型工程技术研究中心, 北京 100095)

摘要: 随着钛合金精铸工艺技术的日益提升, 钛合金精铸因其低廉的成本以及灵活的制造工艺, 特别是对形状复杂的零件的时候, 存在明显的优势, 在现代制造业中占据了重要的位置。介绍了目前钛合金精铸件的基准传递形式在制造、检验、机加过程保持一致的重要性。在此基础上, 着重综述了基准的作用以及基准的表现形式, 对不同基准形式在使用时的优缺点进行了评述。最后, 对该方向的研究进展进行了总结, 并对其发展前景和主要发展方向进行了展望。

关键词: 钛合金; 精铸; 基准传递

DOI: 10.3969/j.issn.1674-6457.2018.03.025

中图分类号: TH124 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-6457(2018)03-0137-06

Review on Application of Benchmark Transfer Form in Titanium Alloy Precision Casting

LIU Jun^{1,3}, LIU Si-yi^{1,3}, DU Hai-jun^{1,3}, ZHANG Yu-kai^{1,3}, WANG Ben-zhi^{1,2,3}

(1. Baimtec Material Co., Ltd., Beijing 100094, China;

2. AECC Beijing Institute of Aeronautical Materials, Beijing 100095, China;

3. Beijing Engineering Research Center of Advanced Titanium Alloy Precision Forming Technology, Beijing 100095, China)

ABSTRACT: With the rising of precision casting technology of titanium alloy, titanium alloy played an important role in modern manufacturing industry for its low cost and flexible manufacturing process. It had obvious advantages, especially for complex shape parts. In this paper, the importance of the uniform standard transfer form of titanium alloy castings in manufacturing, inspection and machining was introduced. On this basis, functions and performance forms of the benchmark were summarized. Advantages and disadvantages of different benchmark forms were reviewed. Finally, the research progress in this direction was summarized. And its development prospect and main development direction were prospected.

KEY WORDS: titanium alloy; precision casting; datum transfer

精密钛合金铸造其铸件结构复杂, 尺寸精度要求高, 一般尺寸公差等级要满足 CT4-7。铸件在实际工况使用时, 铸造尺寸如何传承铸件最初的尺寸状态, 需要精铸件明确铸件基准, 并以准确的基准传递形式在制造、检验、机加过程中合理应用。基准主要以铸件划线、基准目标、一面多孔/销的形式存在。目前, 国内铸件在基准传递上多以铸件划线、

铸造特征的基准形式存在, 这种传递方式具有简单、快速的特点, 但是基准要素因其形状误差较大, 后续追溯性差, 具有一定局限性。国外目前基准传递多采用六点定位、一面两孔的形式存在, 这种基准传递方式明确、重复性好、具有追溯性, 但其对基准要素精度要求高, 会增加生产成本。文中对以不同基准形式确定的铸件坐标系原理在使用时的优缺点

收稿日期: 2018-04-19

作者简介: 刘俊(1990—), 男, 助理工程师, 主要研究方向为接触式测量机, 非接触式光学测量系统针对铸件生产过程中的尺寸控制方法、基准传递方法、零件的尺寸测量方法等。

点进行评述,以期对钛合金精铸件在设计和后续加工基准的应用上有所裨益^[1-7]。

1 基准的表现形式

基准是为了限制公差带的自由度,限制产品的坐标系,是零件加工、铸造中不可缺少的一部分。基准的符号通常会在图纸上表示为图1所示的形式。

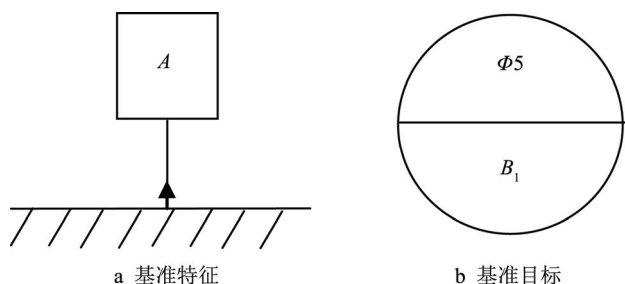


图1 基准特征
Fig.1 Datum features

图1a所示符号可以直接标注到零件的基准特征上,基准特征可以是平面、曲面、圆柱、孔、锥、槽等;图1b所示符号是基准目标,是对支撑部位的定义,符号的下半部分是基准的标识名称,上半部分代表了基准与零件的接触面积的大小,此例中其支撑面积为 $\Phi 5\text{ mm}$ 的区域,如图1b所示。如果上半部分为空,则表明基准支撑位点或是线接触。

图2a所示是使用点接触的图样表示方法,图2b所示是使用基准位置支撑面积的图样表示方法^[8-19]。

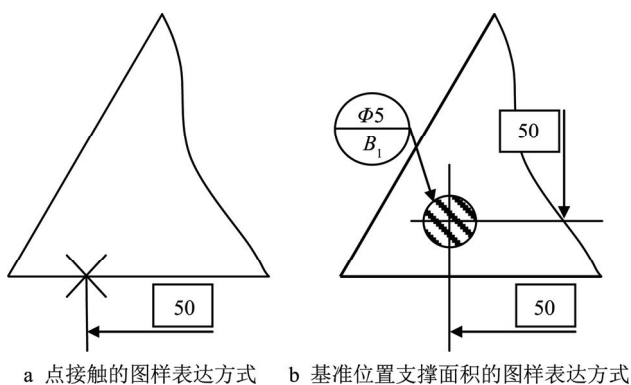


图2 基准图样
Fig.2 Datum pattern

2 铸件划线基准

铸件划线是铸造及机械加工的一道重要工序。根据图样和技术要求,在铸造毛坯用划线工具划出作为基准点、线的过程,因此铸件的划线生成的基准是基准的特殊表现形式。然而,对于划线的基准要求是线条清晰均匀,定型、定位尺寸准确。由于划线的线条有一定宽度,一般在零件或铸件表面上划线,线宽精

度范围可以达到 $0.18\sim 0.22\text{ mm}$ 。在后续的加工中,通过找正基准线、点来确定铸件的坐标系进行加工,而通常情况下,加工的精度不能完全由划线确定,而是在加工过程中由测量来保证。由于划线生成基准是看不到却触摸不到的基准形式,在铸件加工后划线基准也会随之消失,而在加工过程中不确定因素较多,会因线宽精度、尺寸确定的局限性、人工找正工件难度大等原因,影响铸件尺寸的传承,若当零件加工失败,不利于原因分析。

铸件划线具有以下优缺点:优点是划线简单快速、边界尺寸线直观;缺点是划线宽度精度差,划线确认尺寸有局限性,尺寸传递误差大,加工后铸件尺寸状态不可逆向测量。应用典型:铸件精度要求不高或是加工量大的铸件^[20-21],见图3。

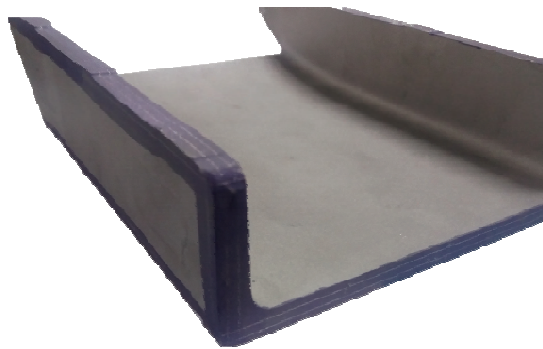


图3 某铸件机加工余量线
Fig.3 Machining allowance line of a casting

3 六点定位基准

六点定位原理是指约束工件在空间具有6个自由度,也称3-2-1原理。6个自由度是指沿 x, y, z 三个直角坐标系轴方向的移动和绕这三个坐标轴旋转。因此,要完全确定工件位置,就必须消除这6个自由度,通常用6个支撑点来限制工件的6个自由度,其中每个支撑点限制相应的一个自由度。如下图4所示,基准 A_1, A_2, A_3 所形成的面控制长方体的3个自

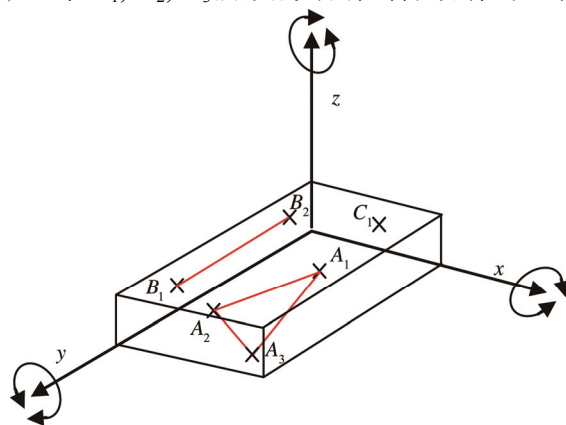


图4 3-2-1 原点的原理
Fig.4 Principle diagram of 3-2-1 origin

由度，即 z 轴方向的平移、绕 x, y 轴方向的旋转。 B_1, B_2 形成的线控制了 2 个自由度，即沿 x 轴方向的平移和绕 z 轴的旋转。 C_1 形成的点即控制了沿 Y 轴方向的平移，详见表 1。图 4、表 1 中： $A_1, A_2, A_3, B_1, B_2, C_1$ 表示基准目标点， x, y, z ：坐标轴； T_x, T_y, T_z ：表示沿所对应坐标轴平移； R_x, R_y, R_z 表示绕所对应坐标轴旋转；●表示所限制的自由度。

表 1 3-2-1 基准自由度控制表
Tab.1 Control table of 3-2-1 baseline freedom

自由度	A_1	A_2	A_2	B_1	B_2	C_1
	面			线		点
T_x					●	
T_y						●
T_z		●				
R_x		●				
R_y		●				
R_z				●		

六点定位在应用上要符合完全定位原理。六点定位对于任何形状工件都是适用的，尤其是在中小型精密钛合金铸件上应用极为广泛，在尺寸标注上通常表现为图 1a 和 b 的形式。在基准支撑位置、大小的选择上，通常点支撑应用于小型精铸件且基准支撑点处结构较为稳定的铸造表面，例如图 5a。区域支撑应用于中小型结构复杂件的铸造表面，如图 5b，根据产品结构等特点，可以调整基准圆柱支撑面积和是否凸起。

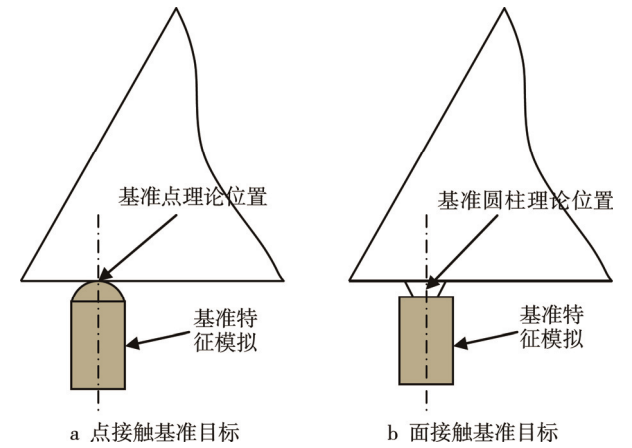


图 5 基准实现形式
Fig.5 Benchmark realization form

六点定位原理应用在精密钛合金铸件上，主要有以下优缺点：优点是基准明确、重复定位性好、便于批量加工、铸件尺寸状态可逆；缺点是铸造件产品尺寸稳定性较差时，基准需要精修调整。

应用典型：中小型精密铸件见图 6（国外航空钛合金铸件，其中图 6a 为 SNECMA 公司的中型薄壁复杂曲面结构件，其中 6b 为 GE 公司的小型结构铸件）。

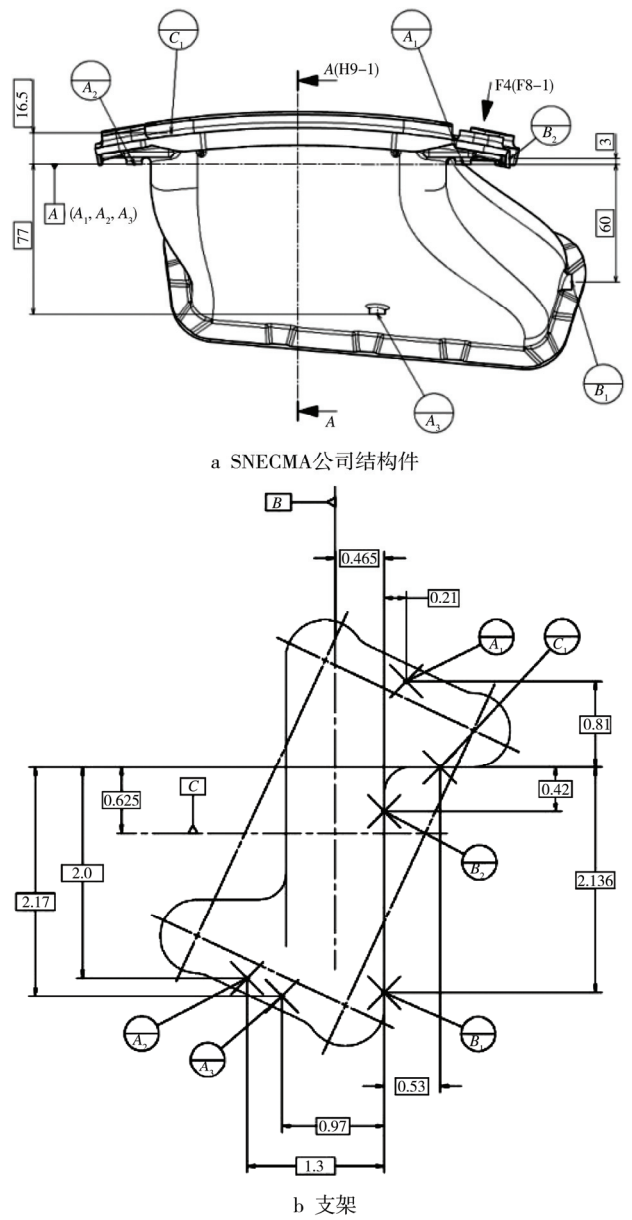


图 6 国外航空钛合金铸件
Fig.6 Foreign aviation titanium alloy castings

铸件上的六点定位基准是铸件的工艺基准，它承载着铸件上所有的尺寸信息，因此在设计时基准目标的位置应该尽可能选在铸件的非加工表面上，这样零件尺寸和铸件尺寸之间便有了“桥梁”。在铸件加工时，基准目标一般情况下是定位基准，只起到定位工件的作用，很多时候是不可以承受载荷的，例如位于薄壁结构区域的基准目标^[22—23]。

4 一面两孔基准

孔槽定位在机械加工中是最普遍的定位形式，其中一面两孔的形式最为常见。图 7 就是一面两孔（孔槽定位）的示意图，同样适用于 3-2-1 原则的原理，3 个支撑面 A_1, A_2, A_3 代表着第一基准面的 3 个定位，

B_1 和 C_1 联合建立了第二基准面, B_2 在水平方向定义了第三基准面, 这个基准框架的坐标系原点建立在主定位销的中心位置。

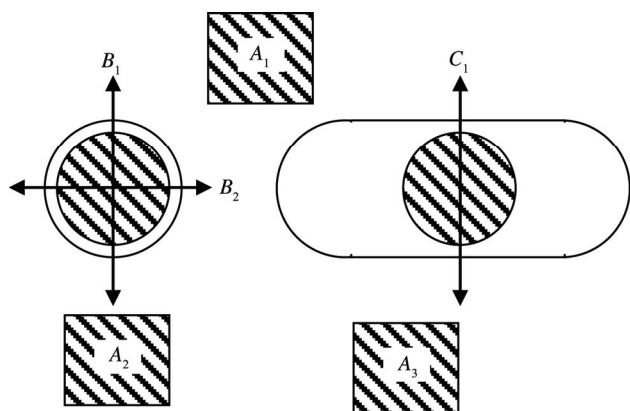


图7 一面两孔定位示意图

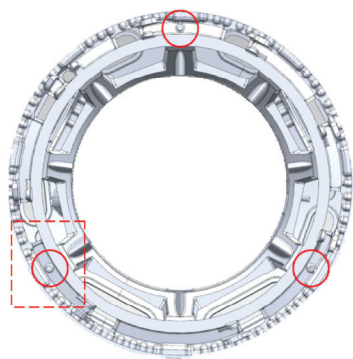
Fig.7 Schematic diagram of two-hole-one-side positioning

精密钛合金铸件上应用一面两孔的定位基准形式, 其中基准面和基准孔铸造工艺无法保证形状和位置精度, 因此基准需要进行精加工, 因此在设计时需要对基准信息的形状和位置尺寸提出要求, 保障后续精加工时孔槽的精准定位, 同时也保障了铸造尺寸与零件尺寸的合理转化。

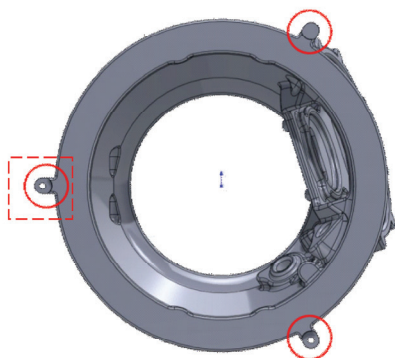
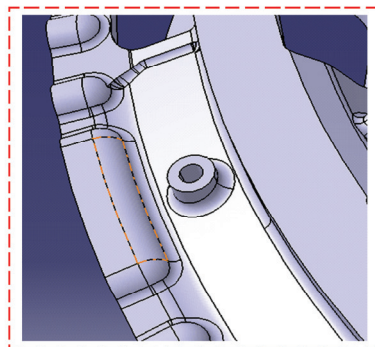
铸件上的一面两孔的基准形式一般最终是被保留的, 国内外的做法一般分为两种, 可以设计在零件使用时不干涉的铸造结构位置, 如图 8a, 也可以设计成零件状态尺寸的一部分, 如图 8b 所示。

一面两孔的定位形式具有以下优缺点: 优点是基准明确, 重复定位性好, 便于找正, 批量加工, 铸件与零件尺寸状态可逆; 缺点是基准需要精加工。

应用典型: 一面两孔的定位形式多见于中大型回转体结构件和中大型可适用于孔槽定位加工的结构件^[24-27] (图 8 中圆圈处是铸件的基准)。



a 国外某型号机匣($\Phi 1000$ mm)



b 国外某型号机匣($\Phi 300$ mm)

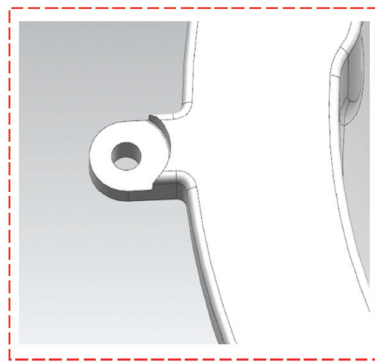


图8 国外某型号机匣

Fig.8 Foreign model casing

5 结语

精密钛合金铸件多应用于航空、航天领域, 而钛合金铸件处在产品供应链的上游, 生产出合格高品质的铸件对后续的加工装配起到至关重要的作用。铸件基准的确定是铸件与零件尺寸传递的纽带, 确认好、使用好铸件基准是产品质量的基础。纵观国外, 像法

国 SNECMA、美国 GE 和 Honeywell 公司、英国 Rolls-Royce 和 Airbus 公司、比利时宇航公司等, 在铸件基准的传递上多以六点定位、一面两孔的基准形式存在; 国内设计院所、铸造厂在铸件基准的传递上多以划线、铸造特征的基准形式存在^[28]。

在现代工业制造中, 设计者与制造者应在设计制造初期根据铸件的结构特点、加工工艺、工程化程度、

铸件公差标注等不同因素,选择明确相应的基准传递形式,目前常用的基准传递形式总结如下。

1) 铸件划线基准的传递形式具有简单快捷、边界尺寸线直观、成本低的优点,适用于结构简单、精度要求不高、小批量的铸件。

2) 六点定位基准的传递形式,重复定位性好、铸件尺寸状态追溯性强、基准明确,适用于大批量的中小型结构较复杂的精密铸件。

3) 一面两孔基准的传递形式定位精度高,重复定位性好,铸件尺寸状态追溯性强,适用于中大型箱体、回转体结构铸件。

参考文献:

- [1] 计青山, 闫献国. 铸件基准与零件质量成本[J]. 机械工业标准化与质量, 2003(5): 24—25.
JI Qing-shan, YAN Xian-guo. Casting Benchmark and Parts Quality Cost[J]. Standardization and Quality of Mechanical Industry, 2003(5): 24—25.
- [2] ISO 1101——2004, 产品几何技术规范(GPS)[S].
ISO 1101——2004, Version of Product Geometry Specification (GPS)[S].
- [3] 王廷强. GD & T 基础及应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2013.
WANG Ting-qiang. Foundation And Application of GD&T[M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 2013.
- [4] 陈泽民. 公差与配合[M]. 北京: 机械工业出版社, 2014.
CHEN Ze-min. Tolerance and Coordination[M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 2014.
- [5] 王晓慧. 尺寸设计理论及应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2004.
WANG Xiao-hui. Theory And Application of Dimension Design[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2004.
- [6] 大连工学院工程画教研室. 机械制图[M]. 北京: 人民教育出版社.
Engineering Drawing Teaching and Research Office of Dalian Institute of Technology. Mechanical Drawing[M]. Beijing: People Education Publishing Press.
- [7] 王喜力. 谈谈基准和基准体系[J]. 航空标准化与质量, 1981(3): 29—38.
WANG Xi-li. Talk About Benchmarks and Benchmarking Systems[J]. Aviation Standardization And Quality, 1981(3): 29—38.
- [8] 渠涛. 铸件结构设计中基准优化[J]. 铸造技术, 2015, 29(10): 274—275.
QU Tao. Base optimization in casting structure design[J]. Foundry Technology, 2015, 29(10): 274—275.
- [9] 赵淑丽, 云霄. 基准的选择在几何量测量中的重要作用[J]. 汽车工艺与材料, 2005(6): 39—41.
ZHAO Shu-li, YUN Xiao. The Base Selection is Important in the Measurement of Geometry[J]. Automobile Technology and Materials, 2005(6): 39—41.
- [10] 龚江帆. 基于产品几何技术规范的三维公差设计[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2015.
GONG Jiang-fan. 3-D Tolerance Design Based on the Dimensional and Geometrical Product Specification and Verification[N]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2015.
- [11] 李向前. 基于新一代 GPS 的形状公差规范设计方法研究[D]. 桂林: 桂林电子科技大学, 2010.
LI Xiang-qian. Research on the Design Method of the Shape Tolerance of the New Generation GPS[D]. Guilin: Guilin University of Electronic Science and Technology, 2010.
- [12] 匡兵, 黄美发, 钟艳如. 尺寸公差和形位公差混合优化分配[J]. 计算机集成制造系统, 2008, 14(2): 398—402.
KUANG Bing, HUANG Mei-fa, ZHONG Yan-ru. The Distribution of Tolerance of Dimension Tolerance and Form Bit Tolerance[J]. Computer Integrated Manufacturing System, 2008, 14(2): 398—402.
- [13] 杨将新, 徐旭松, 曹衍龙, 等. 基于装配定位约束的功能公差规范设计[N]. 机械工程学报, 2010, 46(2): 1—8.
YANG Jiang-xin, XU Xu-song, CAO Yan-long, etc. Design of Functional Tolerance Specification Based on Assembly Positioning Constraint[N]. Journal of Mechanical Engineering, 2010, 46(2): 1—8.
- [14] 黄浩雄. 浅探零件图中尺寸标注的“合理性”[J]. 新课程学习, 2011(11): 8—10.
HUANG Hao-xiong. The "rationality" of Dimensioning in the Part Drawing of the Part of Shallow Exploration [J]. New Course Study, 2011(11): 8—10.
- [15] 渠涛, 汪洋, 柳洋. 铸件结构设计中基准选择探讨[J]. 铸造技术, 2016, 37(5): 1066—1068.
QU Tao, WANG Yang, LIU Yang. Discussion on Selection Batum in Casting Design[J]. Foundry Technology, 2016, 37(5): 1066—1068.
- [16] 王晓慧. 论铸件尺寸设计原则[J]. 铸造, 2001, 50(5): 278—291.
WANG Xiao-hui. On The Principle of Marking Castings Dimensions[J]. Casting, 2001, 50(5): 278—291.
- [17] 赵清华. 定位基准理想位置的选取[J]. 农业机械化与电气化, 2005(2): 16.
ZHAO Qing-hua. Selection of Positioning Base Ideal Location [J]. Agricultural Mechanization and Electrification, 2005(2): 16.
- [18] 卞亚峰, 王晓慧, 许小龙. 浅析铸件毛坯尺寸标注基准的合理选择[J]. 机械制造, 2013, 51(582): 65—67.
BIAN Ya-feng, WANG Xiao-hui, XU Xiao-long. Reasonable Selection of the Benchmark for the Size Marking of Casting Blank[J]. Mechanical Manufacturing, 2013, 51(582): 65—67.
- [19] 赵文霞. 浅谈机械设计与制造中的基准选择与应用[J]. 职业, 2016, 1(3): 140—141.
ZHAO Wen-xia. Discussion on Benchmark Selection And Application in Mechanical Design And Manufacturing[J]. Occupation, 2016, 1(3): 140—141.
- [20] 王建英. 复杂铸件的划线基准选择及方法[J]. 金属加

- 工, 2017(15): 56—57.
- WANG Jian-ying. Selection And Method of Marking of Complex Castings[J]. Metal Processing, 2017(15): 56—57.
- [21] 牛健. 毛坯尺寸基准的理论与应用研究[D]. 太原: 太原科技大学, 2011.
- NIU Jian. Theoretical and Applied Research on the Standard of Blank Size[D]. Taiyuan: Taiyuan University of Science and Technology, 2011.
- [22] 郭万川, 梅碧舟. 六点定位原理及其应用[J]. 机械, 2007, 34(3): 49—52.
- GUO Wan-chuan, MEI Bi-zhou. The Principle of Six Point Positioning and Its Application[J]. Machinery, 2007, 34(3): 49—52.
- [23] 董锋. 关于完善六点定位理论的研究[J]. 山东工程学院学报, 1995, 62(9): 64—66.
- DONG Feng. A Study on Improving Principle of Six-points Fixing[J]. Journal of Shandong Institute of Engineering, 1995, 62(9): 64—66.
- [24] 孙千里, 沈鑫刚. "一面两孔"定位销实用设计与结构[J]. 机械科学与技术, 2010, 29(12): 1703—1705.
- SUN Qian-li. SHEN Xin-gang. Practical Design Method And Structure of "one Side and Two Holes"[J]. Mechanical Science and Technology, 2010, 29(12): 1703—1705.
- [25] 余亮. 一面两孔定位的装配公差分析方法[N]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2016.
- YU Liang. The Assembly Tolerancy Analysis Method of the Part Location with One Surface and Two Pins[N]. Hangzhou: Dissertation Submitted to Hangzhou Dianzi University, 2016.
- [26] 张俊俊, 王基生. 一面两孔定位精度的概率设计[J]. 西南工学院学报, 1996(3): 46—49.
- ZHANG Jun-jun, WANG Ji-sheng. Probability Design of Two-hole Positioning Accuracy[J]. Journal of Southwest Institute of Technology, 1996(3): 46—49.
- [27] 司尧华, 刘鹏. 机械设计图样中回转体类零件基准的选择[J]. 机床与液压, 2004(8): 159—160.
- SI Yao-hua, LIU Peng. The Selection of the Base of the Rotary Body Parts in the Mechanical Design Pattern[J]. Machine tool and Hydraulic Pressure, 2004(8): 159—160.
- [28] 孙念明, 孙井泉. 框架式钛合金铸件加工技术探析[J]. 中国市场, 2017(9): 177—178.
- SUN Nian-ming, SUN Jing-quan. Analysis on the Processing Technology of Frame Titanium Alloy Casting[J]. China Market, 2017(9): 177—178.