● 装备技术 Equipment Technology ●
DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2021.12.016

基于过程能力的铸件轮廓尺寸检测工装设计及应用

刘泗溢
(北京航空材料研究院有限公司 特检中心,北京 100094)

摘　要:在大批量工业化铸件生产中很难对所有产品进行全尺寸检测,一般通过抽检或设计辅助检测量具进行尺寸控制。通过实例分析了铸件尺寸检测工装的设计原则、公差分配和通过测量系统分析计算 CPK 等方法,控制批产产品尺寸的稳定性,提高检测效率。结果表明,通过 CPK 指数分析,确定工装检测区域,结合加工尺寸等优化了工装使用性,验证了工装的实用性。该方法可操作性强,适用于中小型结构铸件,提高了尺寸检测效率。

关键词:CPK;工装设计;工装检测;公差;铸件测量

中图分类号:TG235　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2021)12-1066-04

Design and Application of Casting Profile Dimension Inspection Tooling Based on Process Capability

LIU Siyi
(Beijing Aviation Materials Research Institute Co., Ltd., Beijing 100094, China)

Abstract: It was difficult to carry out full size inspection for all products in large-scale industrial casting production. Generally, size control was carried out by sampling inspection or designing auxiliary measuring tools. The design principle, tolerance distribution and CPK calculation methods of casting dimension inspection tools were analyzed through examples to control the stability of batch product dimension and improve the inspection efficiency. The results show that the tool testing area is determined by CPK index analysis, and the usability of the tool is optimized according to the machining size, which verifies the practicability of the tool. The method has strong operability and is suitable for small and medium-sized structure castings, which improves the size detection efficiency.

Key words: CPK; tooling design; tooling inspection; tolerance; casting measurement

精密钛合金铸造是一种近无余量的铸造工艺,有尺寸精度要求高和铸件结构复杂等特点,在大批量生产条件下,全尺寸检测铸件尺寸成本较高,一般情况下,通过检具检验产品尺寸是否合格。检测工装不仅提高检测效率还可节约成本,但在设计检测工装时,如果每个铸件尺寸都使用工装检测,工装将变得非常复杂,如何化繁为简,既兼顾经济性、使用性和检测效率,同时尺寸又得到有效控制至关重要。本文作者介绍了利用铸件尺寸的 CPK、CPL 和 CPU 指数和铸件的确定功能尺寸,结合检具设计原则设计铸件尺寸检测工装。

收稿日期:2021-08-27

作者简介:刘泗溢(1988—),北京人,学士,工程师.主要从事产品数字化测量和传统测量,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和检测工装的设计等方面的工作.
电话:01062498465,13910930408,
Email:13910930408@163.com

1　过程能力分析及应用

1.1　CPK 定义

过程能力指数简称 CPK 是过程能力满足产品质量标准要求的程度。也称工序能力指数,是指工序在一定时间里,处于控制状态下的实际生产能力:

计算公式:

$$CPK=MIN[(USL-\underline{X})/3\sigma, (\underline{X}-LSL)/3\sigma] \quad (1)$$

式中,σ 为过程统计量的总体标准差,$\underline{X}$ 为过程统计量的分布平均值,USL 为过程统的规格上限,LSL 为过程统的规格下限。表 1 为 CPK 的评级。

1.2　数据应用

精密钛合金铸件批量生产状态下,铸件尺寸状态较为稳定。因此,统计终检状态下多批次铸件尺寸数据,通过引入 CPK 计算铸件的每个尺寸的过程能力指数,以 CPK 等于 1.33 的基准值,一般情况下,CPK 值大于 1.33 时,可以进行抽检,CPK 值小于 1.33 时,需要进行测量。

表 1 CPK 的评级
Tab.1 CPK rating

等级	范围	评级	能力
A++	CPK≥2	特优	可考虑成本的降低
A+	2>CPK≥1.67	优	应当保持
A	1.67>CPK≥1.33	良	能力良好,状态稳定
B	1.33>CPK≥1.0	一般	状态一般，制造过程因素稍有变异即有产生不良的危险
C	1.0>CPK≥0.67	差	制造过程不良较多，必须提升其能力
D	CPK<0.67	不可接受	其能力太差，应考虑重新整改设计制造过程

下述例子中，以中小型结构件 A 例子说明,被测特征尺寸是轮廓度。通过光学扫描设备测量了 3 批次,每批次 10 件共 30 件次的铸件尺寸。通过对固定坐标值的测量，统计可以得到下图 1 中每个尺寸编号的偏差值数据,经计算可以得出每个编号位置对应的CPK。

通过上表可以得出 57-1#、57-2#…57-8#、57 的位置尺寸 CPK 均大于 1.33,说明这个尺寸过程状态良好尺寸稳定,可以进行抽检。因此在设计铸件检测工装时可以不考虑测量此处尺寸。

57-9#、57-18# 和 57-27# 位置尺寸 CPK 均小于

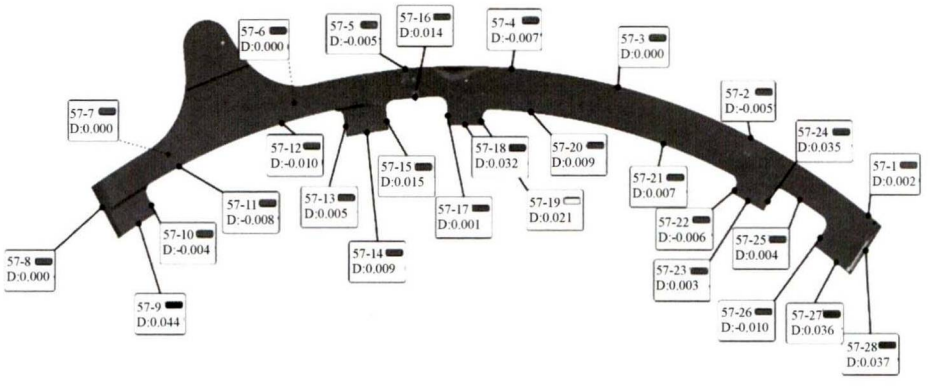


图 1 结构件 A 扫描测量数据
Fig.1 Scanning measurement data of structure part A

表2 CPK统计表
Tab.2 CPK statistics

编号	标准差	CPU	CPL	CPK
57-1#	0.003	3.149	2.725	2.725
57-2#	0.004	2.844	2.332	2.332
57-3#	0.005	1.338	2.339	1.338
57-4#	0.006	1.348	2.153	1.348
57-5#	0.006	1.350	2.092	1.350
57-6#	0.004	1.932	2.566	1.932
57-7#	0.001	14.936	14.414	14.414
57-8#	0.002	4.789	4.811	4.789
57-9#	0.007	0.848	3.777	0.848
57-10#	0.006	3.234	2.394	2.394
57-18#	0.012	1.054	1.775	1.054
57-27#	0.008	1.334	2.856	1.334

1.33，但是 CPL 值均大于 1.33,CPL 是测量过程均值趋近规格下限的程度,说明其控制规格下限的能力强,通过图 2,57-9 的能力报告也可以看出,组内分布较为集中且位于规格上限。由于考虑这 3 个位置是铸造余量要被加工的尺寸,因此在设计铸件检测工装时可以不考虑测量此处尺寸。

综上所述,通过计算铸件尺寸的 CPK 值和加工尺寸的 CPL 值,满足要求可以进行抽检,,从而为检测工装的设计提供了基础数据支撑。

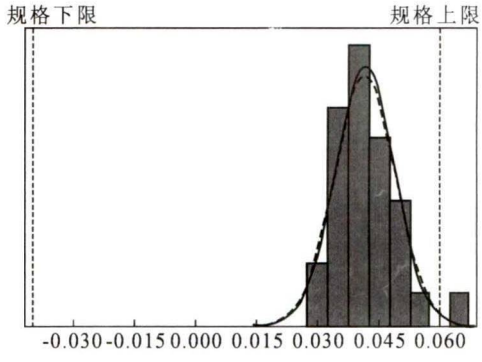


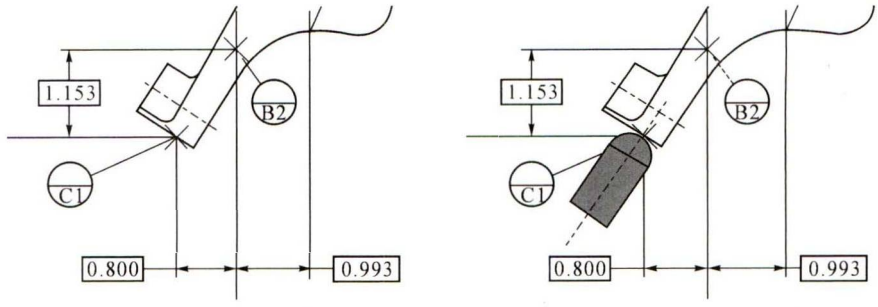
图 2 57-9 能力报告
Fig.2 57-9 Capability report

2 检测工装的设计

2.1 基准设计原则

在设计检测中工装时,基准的设计尤为重要,基准的形状和位置要去应满足被测工件图纸的基准设计要求,达到零件的基准与工装的基准相匹配,这样才能实现尺寸信息的精准传递。图 3 和图 4 为基准目标设计与应用。产品的基准是以基准目标形式表达,因此工装基准应以图 3(b)中,以点接触方式定位。

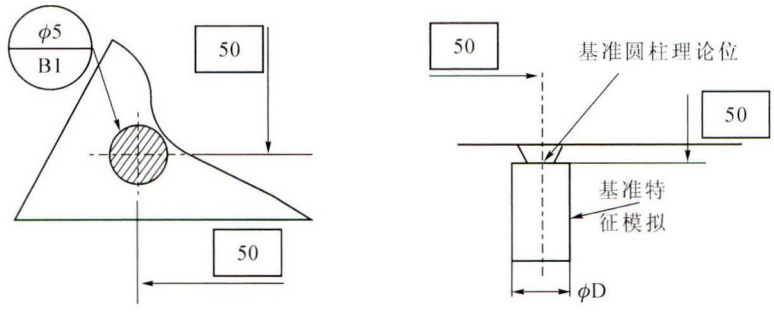
见下图 4 示例(a),产品的基准是以基准目标面积形式表达,因此工装基准应以图 3(b)中,以圆柱



(a)图纸基准目点标图样　　(b)工装基准位置支撑

图 3 基准目标设计与应用

Fig.3 Design and application of datum target



(a)图纸基准目点标图样　　(b)工装支撑面

图 4 基准目标设计与应用

Fig.4 Design and application of datum target

面接触方式定位，其中设计工装的基准支撑面 $\phi D>\phi 5+$ 产品基准点位置度+工装基准位置度。

2.2 工装结构设计原则

2.2.1 仿形卡板和探规

铸件轮廓度检测工装，通常采用“透光法”检测，通过公差计算出被测特征尺寸的内外轮廓边界，在外边界设计仿形卡板，最后使用探规（通规和止规）对工件与仿形卡板间隙进行测量。探规的作用位置最好使用球形，避免因探测时因角度问题引起的干涉。

图 5 通止规使用原理

Fig.5 Operation principle of Go and No-Go gauges

2.2.2 工件的装夹

在设计中小件检测工装时，应考虑利用工件重力在自由状态下向基准位置的分力，使铸件基准与检测工装的基准应完全贴合，既省去夹紧装置简化了工装，又方便操作提升了检测效率。

2.2.3 边界的控制

一般情况下使用 3 mm 的间隙检查有配合组合关系的轮廓面，在变形量较大的区域使用 5 mm 间隙检查。不同间隙检查的位置，标记不同颜色进行区分，并将探规规格标记在间隙对应的工装上，降低检验员的误操作。

2.2.4 功能尺寸

优先测量功能尺寸，功能尺寸是直接影响零件装配的作用尺寸，如下图 6 所示间隙区域对应的铸件表面，它是加工区域与铸造面共同作用的尺寸，是零件装配时的边界，直接影响使用。

2.3 实效尺寸

实效状态下所具有的边界尺寸称为实效尺寸，它是设计检具的重要参数，是工装检测样板间隙和探规尺寸规格选定的前提。

轮廓尺寸的实效边界：在图 6 实例中，需要检测直径 40 的外圆柱面的轮廓度，检测截面数根据被测特征长度和其他因素决定，但通过计算被测特征的尺寸边界，进而计算出通规止规的基本尺寸。

IB(内边界)=基本尺寸−轮廓度公差=40−1=39；

OB(外边界)=基本尺寸−轮廓度公差 =40+1=41；

通规尺寸=间隙−(基本尺寸−内边界)/2

=5-(40-39)/2=4.5；

止规尺寸=间隙+(外边界−基本尺寸)/2

=5+(41-40)/2=5.5。

2.4 公差分配

在美标的 ASME Y14.43 中的第六章规定，量规和固定装置的尺寸规格的公差应占被测公差的

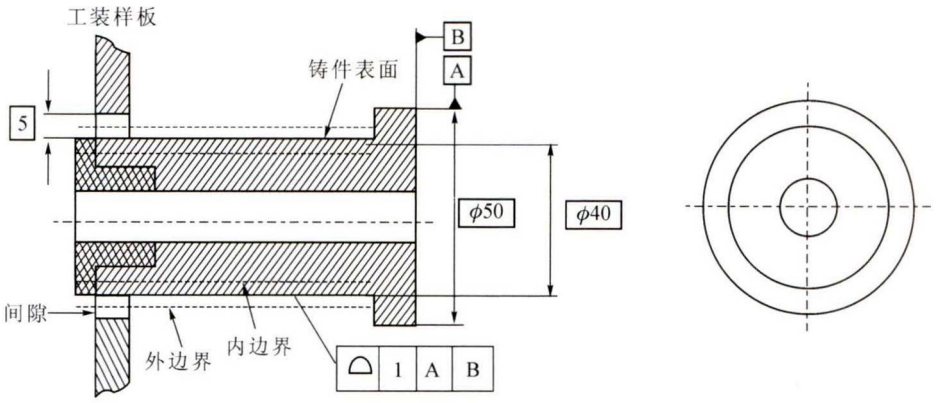


图 6 工装检测示意图
Fig.6 Schematic diagram of tooling inspection

1/10~1/20。在铸件检测工装设计时,通常采用十分之一的原则进行公差的分配。工装检测样板和探规均按照十分之一公差原则设计,而探规要考虑在使用中的磨损,因此去除下公差占比的 5%,保留上公差的 5%。

3 工装检测与验证

工装的检测样板和定位基准在使用过程中均是磨损的,因此在校验检测工装时应使用工艺测量基准,它是工装样板和定位基准外的特征组成,根据检测工装的结构,工艺测量基准可设计成面孔孔、面球面、面面面等基准特征的组合方式。

一般情况下,检测工装进行一年一次定检,也可以按照检测频率安排定检。

4 结论

在设计铸件的轮廓度检测工装时,可以按照以下思路进行设计:

(1)铸件的检测工装应在小批量生产后进行设计,利用 CPK 过程能力指数进行分析,一般尺寸参考 CPK,加工尺寸参考 CPL,确定工装检测的尺寸。

(2)通过区分铸件功能尺寸,合理设计铸件检测样板的位置及数量。

(3)根据图纸的几何公差和尺寸公差计算出不同材料条件下尺寸的内外边界,确定探规规格。

(4)铸件检测工装和通止规的制造精度可遵循十分之一公差原则设计,其中考虑通止规的使用磨损,应占比 5%。

(5)设计独立的工艺测量基准并定期检定。

参考文献:

[1] 黄东,南海,赵嘉琪,等. 三维扫描技术在精密铸件加工中的应用[J]. 特种铸造及有色金属, 2015,35(2): 172-1731.

[2] 刘泗溢,杜海军,王本志,等. 基于 HB6103 的钛合金铸造图纸尺寸标注尺寸案例分析[J]. 精密成型工程,2018(3):131-136.

[3] 刘俊,刘泗溢,杜海军,等. 钛合金精密铸件基准传递形式应用综述[J]. 精密成型工程,2018(3):137-142.

[4] 刘泗溢, 张军威. 基于标准球在铸件基准传递上的方法研究[J]. 铸造技术, 2021,42(1): 3.

[5] 王廷强. GD&T 基础及应用[M]. 北京:机械工业出版社,2013.

[6] 陈泽民. 公差与配合[M]. 北京:机械工业出版, 2014.

[7] 王晓慧. 尺寸设计理论及应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2004.

[8] 余亮. 一面两孔定位的装配公差分析方法[D]. 杭州:杭州电子科技大学, 2016.

[9] 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, 03: 46-49.

[10] 郭万川, 梅碧舟. 六点定位原理及其应用 [J]. 机械,2007, 34(3): 49-52.

[11] 董锋. 关于完善六点定位理论的研究 [D]. 山东工程学院学报, 1995, 62(9): 64-66.

[12] 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.

(上接第 1062 页)

联谊活动组织委员会、中国铸造科工贸联谊活动常设筹备处. 消失模与 V 法铸造经典论文汇编. 北京:中国铸造科工贸联谊活动筹备处,2014: 2.

[2] 朱以松,唐锁云,章舟. 消失模铸造铸铁件表面皱皮(积碳)的缺陷及防止[J]. 铸造技术,2002(1): 41-42.

[3] 李德臣. 消失模铸造用热冒口消除缩孔 [C]// 2011 中国消失模铸造科技创新大会会议资料(一). 北京:中国铸造科工贸联谊活动组织委员会、中国铸造科工贸联谊活动常设筹备处: 中国铸造科工贸联谊活动筹备处,2011: 54-56.

[4] 马韶兴. 实型铸造浇注工艺特点 [J]. 汽车工艺与材料,1997(9): 10-12.

[5] 马传伟,轩世成,郑翠华,等. 溢流工艺在消失模生产中的应用[J]. 中国铸造装备与技术,2018,53(2): 68-71.