



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 39329—2020

---

## 增材制造 测试方法 标准测试件精度检验

Additive manufacturing—Test methods—  
Precision inspection of standard test artifacts

2020-11-19 发布

2021-06-01 实施

国家市场监督管理总局 发布  
国家标准化管理委员会

目 次

前言 ..... III

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语和定义 ..... 1

4 一般要求 ..... 1

    4.1 测量单位 ..... 1

    4.2 检验工具 ..... 1

    4.3 检验顺序 ..... 1

    4.4 检验项目 ..... 1

    4.5 工艺参数 ..... 1

    4.6 支撑的作用 ..... 2

    4.7 处理 ..... 2

    4.8 环境要求 ..... 2

5 结构和尺寸 ..... 2

    5.1 总则 ..... 2

    5.2 材料 ..... 2

    5.3 鼓形测试件的结构和尺寸 ..... 2

6 数量和摆放位置 ..... 3

    6.1 原则 ..... 3

    6.2 摆放策略 ..... 3

    6.3 其他要求 ..... 4

7 测量和数据统计分析 ..... 4

    7.1 测量 ..... 4

    7.2 误差分布图的统计 ..... 5

    7.3 标准误差分析 ..... 6

    7.4 精度等级 ..... 6

8 检验报告 ..... 6

附录 A（资料性附录） S形测试件 ..... 8

    A.1 S形测试件的结构和尺寸 ..... 8

    A.2 S形测试件的检测 ..... 10

    A.3 检测报告 ..... 11

参考文献 ..... 12

# 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。  
请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。  
本标准由中国机械工业联合会提出。  
本标准由全国增材制造标准化技术委员会(SAC/TC 562)归口。

本标准起草单位:西安增材制造国家研究院有限公司、西安交通大学、湖南华曙高科技有限责任公司、山西增材制造研究院有限公司、安泰科技股份有限公司、中机生产力促进中心、广东汉邦激光科技有限公司、东莞理工学院、机械科学研究总院集团有限公司、西北有色金属研究院、浙江迅实科技有限公司、飞而康快速制造科技有限公司、北京恒创增材制造研究院有限公司、哈尔滨福沃德多维智能装备有限公司。

本标准主要起草人:卢秉恒、侯颖、田小永、陈勃生、宫涛、王学兵、薛莲、张丽娟、刘建业、陈盛贵、单忠德、王建、李海斌、金伟刚、杨广善、赵新、赵纪元、曹毅、张超峰、胡丽刚。



# 增材制造 测试方法

## 标准测试件精度检验

### 1 范围

本标准规定了增材制造标准测试件(以下简称“测试件”)的一般要求、结构和尺寸、数量和摆放位置、测量和数据统计分析、检验报告。

本标准适用于增材制造设备(以下简称“设备”)成形精度的评定。

### 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 35351 增材制造 术语

### 3 术语和定义

GB/T 35351 界定的术语和定义适用于本文件。

### 4 一般要求

#### 4.1 测量单位

本标准中,测试件所有的线性尺寸、标准差和标准误差单位都为毫米(mm)。

#### 4.2 检验工具

测量仪器应具有 0.02 mm 或更高的分辨率。推荐使用千分尺、游标卡尺、三坐标测量机、三维扫描仪等,也可以使用满足测量精度要求的其他检验工具。

#### 4.3 检验顺序

检验时应优先检验标准规定的项目,再进行用户感兴趣的其他项目。为了装拆工具和检验方便,经双方同意可按任意次序进行。

#### 4.4 检验项目

为了验收目的需要增加检验项目时,用户可以与设备制造商协商确定,这些项目应在设备订货时明确提出。

#### 4.5 工艺参数

加工测试件时应满足设备承诺条件或要求。同一制造批次的测试件和同一测试件内外结构的成形工艺参数应保持一致,不得通过调整工艺参数降低致密度提高外表面成形精度。

#### 4.6 支撑的作用

4.6.1 在支撑设计时,应考虑后期支撑去除的可能性;在改变零件局部尺寸或者添加支撑时,杜绝出现封闭的内腔。

4.6.2 在加工测试件时,应尽可能避免使用支撑或使用不会影响测量结果的支撑。如必须使用支撑,应在报告中完整记录支撑策略,包括但不限于材料、几何形状、去除方法等。如果支撑不影响测量,则不必去除支撑,以减少对测量过程/精度的影响。

#### 4.7 处理

测试件制作完成后应按设备和工艺要求冷却至室温然后从设备中移出。

测试件上的残留物和氧化皮等应清理干净,如果原材料是液态,测量之前应将残留的液体材料完全去除。如果原材料是粉末,则应将残留粉末清理干净。

测试件不需进行表面处理和后处理。如果支撑影响测量,应去除并将支撑的形式、去除方法记录在报告中。如果测试件构建在基板上不影响测量,则无需从基板上切割测试件即可测量,如果测试件在基板上无法进行测量,应从基板上切割测试件并做记录。

#### 4.8 环境要求

加工环境要求根据设备的要求执行。测量之前,应将测试件冷却至室温,从设备中移出直接测量;采用三坐标测量机测量前应将测试件在测量室等温不少于 4 h。

### 5 结构和尺寸

#### 5.1 总则

5.1.1 本标准提供了两种形式的测试件:鼓形测试件和 S 形测试件,分别用于三维综合成形精度和动态成形精度。推荐在验收设备时选择鼓形测试件,在有特殊要求或与减材加工进行对比的情况下,可增加附录 A 的 S 形测试件,用于评判连续曲面的轮廓度。

5.1.2 应在设备的各子系统完成调试检验和工艺参数确定后进行测试。

#### 5.2 材料

材料的选择需结合具体设备的功能与用户要求确定,对于可成形多种材料的设备,一般只选取其中一种有代表性的材料进行测试。为了确保结果的可重复性,应使用合格的材料。当用户有特殊要求时,应由设备供应商与用户根据实际情况商定。

#### 5.3 鼓形测试件的结构和尺寸

5.3.1 鼓形测试件的结构和基本尺寸如图 1 所示。

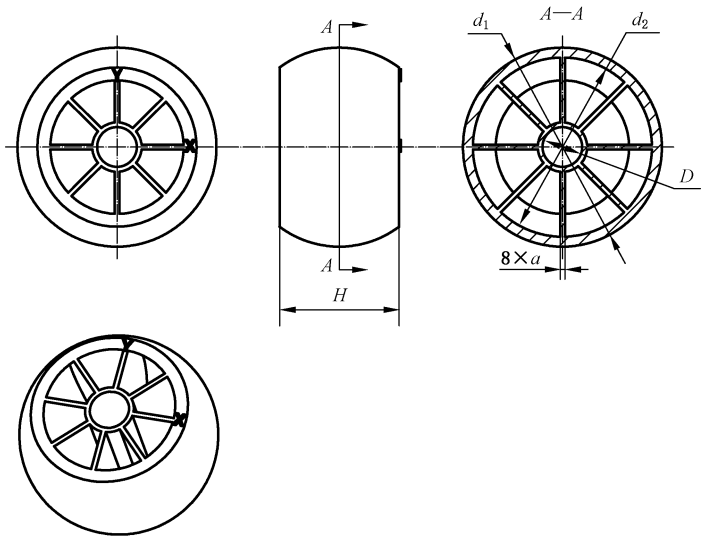


图 1 鼓形测试件

5.3.2 对于成形范围较小的设备,将图 1 测试件模型整体按 1 : 2 缩小制作;对于成形范围较大的设备,将图 1 测试件模型整体按 2 : 1 放大制作。如表 1 所示。

表 1 鼓形测试件规格

特征	尺寸规格/mm		
	1 : 2	1 : 1	2 : 1
球壳外径 $d_1$	$\phi 25$	$\phi 50$	$\phi 100$
球壳内径 $d_2$	$\phi 22.5$	$\phi 45$	$\phi 90$
筋厚 $a$	0.6	1.2	2.4
孔径 $D$	$\phi 5$	$\phi 10$	$\phi 20$
高度 $H$	15	30	60

5.3.3 模型缩放方法:可先将图 1 测试件 CAD 模型缩放,然后转换为 AMF、STL 或其他任何可以满足增材制造系统要求的中间文件格式再制作。为防止文件转换引入偏差,文件在转换期间或转换之后测试件模型不应放大或缩小,可使用设备修正功能(如偏移、轴缩放等)进行模型补偿,并将其记录为过程的一部分。

5.3.4 在特殊情况下,可根据设备的成形能力和工艺特点调整模型尺寸大小。

6 数量和摆放位置

6.1 原则

测试件的数量和摆放位置根据设备的成形能力和成形范围确定,应遵循以下原则:

- 推荐选择摆放 5 个测试件的方式;
- 选择覆盖率大的方案。

6.2 摆放策略

根据设备成形范围的形式,可采用以下几种摆放策略:

- a) 设备成形范围为正方形或圆形,边长或直径为  $L$ ,拟选择的测试件球径为  $d$ :
- 1) 当  $L/d \geq 7$  时,选择 5 个测试件三排摆放,分别放置在设备成形平台的对称中心处 1 个,4 个角各 1 个,如图 2a);有特殊要求时,也可采用一个球径为  $2d$  的测试件。例如:成形范围  $350 \times 350$ ,采用 5 件  $\phi 50$  球径的测试件;也可采用 1 件  $\phi 100$  的测试件;成形范围  $200 \times 200$ ,采用 5 件  $\phi 25$  球径的测试件;也可采用 1 件  $\phi 50$  的测试件。
  - 2) 当  $L/d < 7$  时,在成形平台的对称中心处制作 1 个标准测试件,如图 2b)。例如:成形范围  $100 \times 100$ ,采用 1 件  $\phi 50$  球径的测试件。

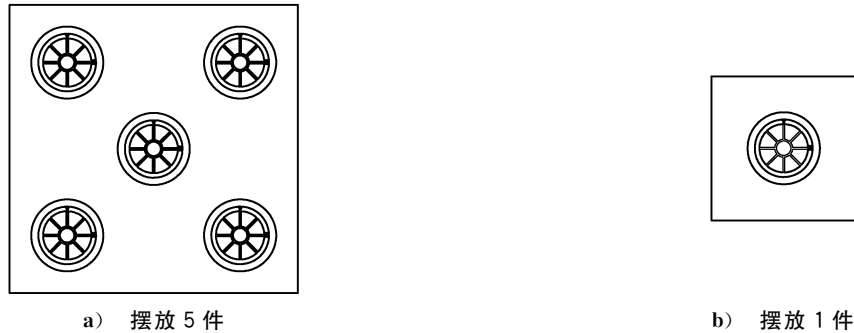


图 2 测试件摆放位置

- b) 设备成形范围是长方形,无法满足 5 个测试件三排摆放时,可选择 2 个~3 个测试件单排或双排摆放,试件摆放位置宜满足覆盖率大于 80%,如图 3。

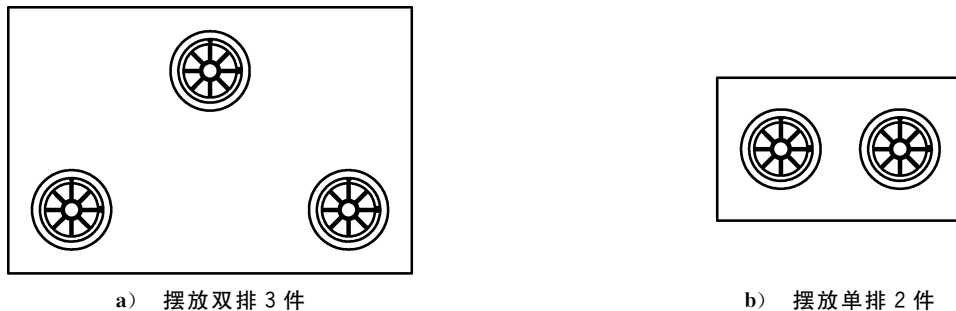


图 3 测试件摆放位置

- c) 当设备成形平台为上述形式之外的异形平台或设备有特殊要求时,测试件的位置、数量和放置方向可由设备供应商和用户协商确定。
- d) 当有特殊要求时,设备供应商和用户可协商确定采用全尺寸成形的测试件,即测试件的外尺寸与设备成形平台最大尺寸相同。

### 6.3 其他要求

如需增加附录 A 中 S 形测试件,可在鼓形测试件制作时选取适当空余位置加入同批制作,或另行按上述 6.1 摆放策略制作。

## 7 测量和数据分析

### 7.1 测量

在图 4 所示的 4 个径向截面,每个径向截面分别选取相邻间隔为  $30^\circ \sim 35^\circ$  的 3 个角度位置测量球径。

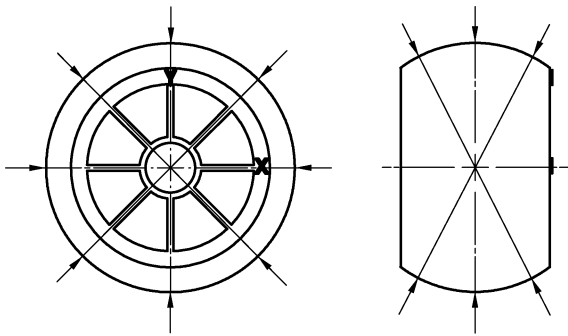


图 4 测量位置图

7.2 误差分布图的统计

统计同一制造批次测试件的所有测量结果,根据测量值与设计值计算出偏差值,并将出现的频次列于表 2。表中偏差分段仅为举例说明,测量统计时可根据设备的成形能力自行设定。

表 2 偏差频次统计表

偏差	> -0.16 mm ~ -0.14 mm	> -0.14 mm ~ -0.12 mm	> -0.12 mm ~ -0.10 mm	> -0.10 mm ~ -0.08 mm	> -0.08 mm ~ -0.06 mm	> -0.06 mm ~ -0.04 mm	> -0.04 mm ~ -0.02 mm	> -0.02 mm ~ 0 mm
频次								
偏差	> 0 mm ~ +0.02 mm	> +0.02 mm ~ +0.04 mm	> +0.04 mm ~ +0.06 mm	> +0.06 mm ~ +0.08 mm	> +0.08 mm ~ +0.10 mm	> +0.10 mm ~ +0.12 mm	> +0.12 mm ~ +0.14 mm	> +0.14 mm ~ +0.16 mm
频次								

以偏差值为横坐标,以频次数为纵坐标,绘制出误差分布图,根据误差分布图可以反映出测试件实际测量尺寸的离散程度,如图 5 所示。

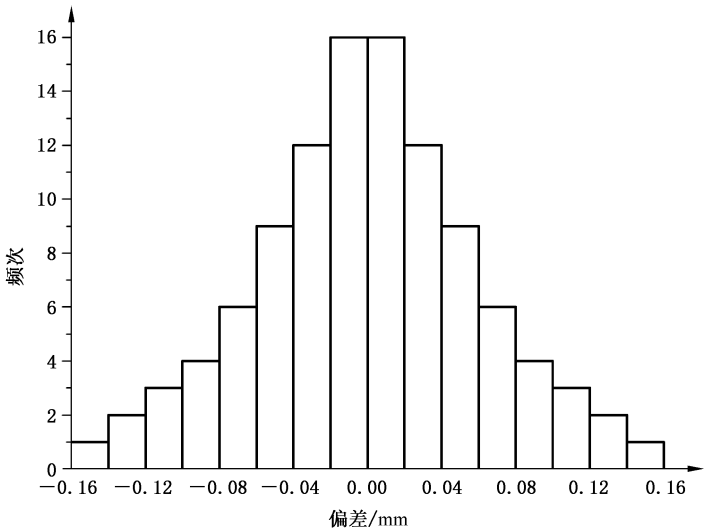


图 5 误差分布图



### 7.3 标准误差分析

根据测量结果计算出标准差[按公式(1)计算]和标准误差[按公式(2)计算],通过标准差比较测试件球径尺寸的一致性,标准差越小,尺寸一致性越好。通过比较标准误差判断测试件实际测量尺寸与设计尺寸的符合程度,标准误差越小,成形精度越高。

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_0)^2}{n}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

SD ——标准差(standard deviation),单位为毫米(mm);

$X_i$  ——测试件的测量尺寸,单位为毫米(mm);

$\bar{X}$  ——测试件测量尺寸的平均值,单位为毫米(mm);

$n$  ——测量尺寸数量;

SE ——标准误差(standard error),单位为毫米(mm);

$X_0$  ——测试件的设计尺寸,单位为毫米(mm)。

### 7.4 精度等级

根据被加工工件的加工精度要求,可将设备分为6个绝对精度等级,分别用1级、2级、3级、4级、5级、6级表示。大于6级的其他情况不予分级。

各工艺类型设备也可根据工艺特点,确定两个或3个相对精度等级,根据设备具体工艺、材料等情况确定。

设备的绝对精度等级应根据测试件计算出的标准误差来判断,见表3。球壳外径大于  $S\phi 100$  的测试件参考标准公差等级的对应数值进行判断。

表 3 鼓形测试件精度等级

精度等级	标准误差值/mm			标准公差等级
	1 : 2	1 : 1	2 : 1	
1 级	≤0.009	≤0.011	≤0.015	IT5
2 级	≤0.021	≤0.025	≤0.035	IT7
3 级	≤0.052	≤0.062	≤0.087	IT9
4 级	≤0.130	≤0.160	≤0.220	IT11
5 级	≤0.330	≤0.390	≤0.540	IT13
6 级	≤0.840	≤1.000	≤1.400	IT15

## 8 检验报告

检验报告应包含但不限于以下信息:

a) 测试件的材料;

- b) 支撑材料和去除方法；
- c) 测试件在成形平台的位置和方向；
- d) 试件型式,(缩小或放大的)比例或修正记录；
- e) 设备型号,成形参数；
- f) 检测工具；
- g) 检测数据及精度等级。



附录 A  
(资料性附录)  
S 形测试件

### A.1 S 形测试件的结构和尺寸

**A.1.1** S形测试件的结构和尺寸如图 A.1 所示,其形状定义如下:

- 以左侧  $\phi 8$  圆柱中心作为基准点建立基准坐标系,  $Z=0$  平面为固定基板的上平面; 没有固定基板的情况,  $Z=0$  平面为 S 模型的底面;
- 在上述坐标系下, 分别定义表 A.1 所示的两组坐标点, 通过两组点分别作两条样条曲线, 再通过生成的两条样条曲线作直纹面;
- 通过直纹面向 Y 正方向作厚度为 1 mm 的实体, 此即为 S 形测试件模型原型。

单位为毫米

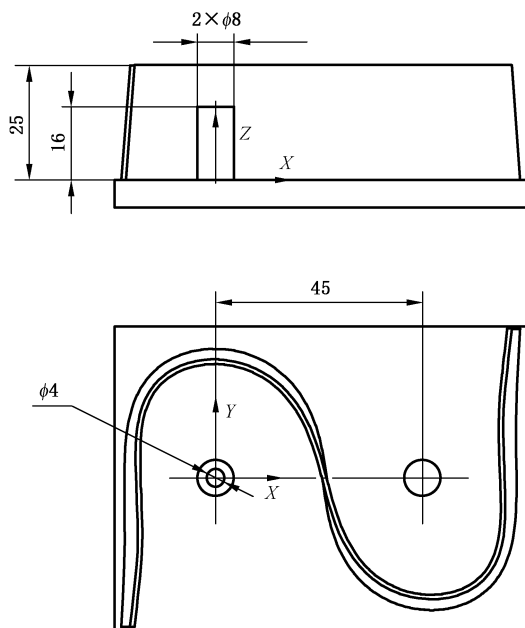


图 A.1 S 形测试件

表 A.1 曲线坐标表

第一组点坐标				第二组点坐标			
序号	X	Y	Z	序号	X	Y	Z
1	-19.501	-32.500	0	1	-17.633	-32.500	25
2	-19.281	-27.952	0	2	-17.152	-28.215	25
3	-19.062	-23.404	0	3	-16.671	-23.929	25
4	-18.866	-18.854	0	4	-16.221	-19.641	25
5	-18.778	-14.302	0	5	-15.992	-15.335	25

表 A.1 (续)

第一组点坐标				第二组点坐标			
序号	X	Y	Z	序号	X	Y	Z
6	−18.776	−9.748	0	6	−15.961	−11.023	25
7	−18.818	−5.195	0	7	−16.066	−6.712	25
8	−18.849	−0.642	0	8	−16.237	−2.404	25
9	−18.780	3.911	0	9	−16.385	1.906	25
10	−18.481	8.454	0	10	−16.391	6.218	25
11	−17.762	12.947	0	11	−16.080	10.517	25
12	−16.346	17.268	0	12	−15.173	14.727	25
13	−13.971	21.137	0	13	−13.327	18.608	25
14	−10.600	24.172	0	14	−10.377	21.726	25
15	−6.509	26.142	0	15	−6.586	23.747	25
16	−2.058	27.054	0	16	−2.390	24.695	25
17	2.486	26.970 7	0	17	1.914	24.679	25
18	6.912	25.938	0	18	6.120	23.768	25
19	11.022	23.998	0	19	10.045	22.000	25
20	14.623	21.224	0	20	13.511	19.448	25
21	17.566	17.760	0	21	16.401	16.256	25
22	19.792	13.795	0	22	18.694	12.609	25
23	21.350	9.520	0	23	20.463	8.679	25
24	22.391	5.089	0	24	21.845	4.596	25
25	23.130	0.596	0	25	23.000	0.441	25
26	23.790	−3.909	0	26	24.101	−3.728	25
27	24.611	−8.387	0	27	25.323	−7.863	25
28	25.819	−12.775	0	28	26.836	−11.900	25
29	27.609	−16.957	0	29	28.798	−15.736	25
30	30.096	−20.763	0	30	31.316	−19.230	25
31	33.292	−23.994	0	31	34.439	−22.193	25
32	37.099	−26.476	0	32	38.102	−24.454	25
33	41.348	−28.091	0	33	42.158	−25.895	25
34	45.841	−28.778	0	34	46.425	−26.461	25
35	50.377	−28.506	0	35	50.714	−26.116	25
36	54.732	−27.215	0	36	54.796	−24.764	25
37	58.601	−24.843	0	37	58.312	−22.298	25
38	61.629	−21.464	0	38	60.843	−18.831	25

表 A.1 (续)

第一组点坐标				第二组点坐标			
序号	X	Y	Z	序号	X	Y	Z
39	63.626	−17.384	0	39	62.28	−14.776	25
40	64.755	−12.978	0	40	62.919	−10.516	25
41	65.292	−8.458	0	41	63.079	−6.207	25
42	65.489	−3.910	0	42	63.002	−1.896	25
43	65.508	0.644	0	43	62.833	2.413	25
44	65.464	5.197	0	44	62.678	6.722	25
45	65.432	9.750	0	45	62.617	11.034	25
46	65.463	14.304	0	46	62.719	15.345	25
47	65.593	18.855	0	47	63.045	19.644	25
48	65.809	23.404	0	48	63.525	23.929	25
49	66.028	27.952	0	49	64.006	28.215	25
50	66.248	32.500	0	50	64.486	32.500	25

A.1.2 S形测试件适用于在 X、Y 方向成形尺寸边长  $L_x$ 、 $L_y$  均大于或等于 100 mm 的设备。

A.1.3 可根据设备实际情况先将图 A.1 测试件模型整体按推荐比例放大(推荐比例为 2 : 1、3 : 1、5 : 1)再制作。

A.1.4 模型缩放方法按 5.3.3 的要求。

A.1.5 当客户有特殊要求时,允许根据设备的运动成形能力和工艺特点调整模型尺寸大小。

A.2 S形测试件的检测

S形测试件检测面轮廓度误差,测量要求如下:

- a) 沿 S 形缘条高度方向取三条截线,即图 A.2 中 1#、2#、3# 截线。在每条 S 形截线上至少选择 150 个点,各点位置间距离  $L$  均布,三条线总计不少于 450 个检测点。面轮廓度误差采用三坐标测量机对选取的不少于 450 个点进行误差检测,条件允许时可采用线扫描或面扫描采集测量数据能够更加准确的表征轮廓度。

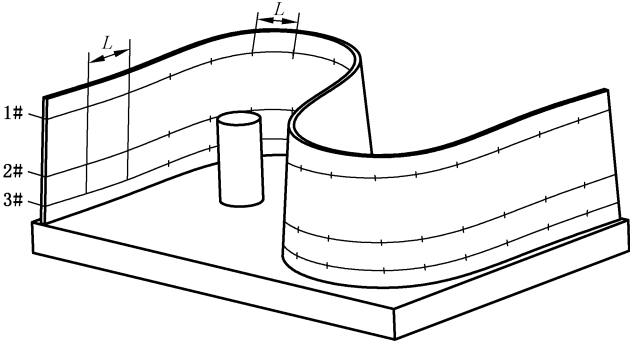


图 A.2 S形测试件面轮廓度误差测点选取

- b) 测试件加工后应尽快检测以避免薄壁结构变形。
- c) S形测试件的面轮廓度误差要求由制造厂/供方和用户协商确定。

### A.3 检测报告

S形测试件检测报告至少包含如下内容：

- a) 设备工艺类型和成形参数。
- b) 固定基板的材料和尺寸。
- c) 成形层厚,成形周期。
- d) 目测缘条型面外观:
  - 光顺情况(如光顺或不光顺);
  - 有无孔洞裂隙痕迹(如有,写上数量);
  - 有无凸起痕迹(如有,写上数量)。
- e) 面轮廓度误差。
- f) 实测值最大误差值。

参 考 文 献

- [1] ISO 10791-7 Test conditions for machining centres—Part 7: Accuracy of finished test pieces
- 

