

T/ CPPC

中国生产力促进中心协会团体标准

T/ CPPC XXXX—XXXX

3D 打印材料光固化树脂标准

Standard for 3D printing materials and light cured resins

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

目 次

前 言	II
1 范围	3
2 规范性引用文件	3
3 术语和定义	3
4 总体要求	4
4.1 感官要求	4
4.2 理化指标	4
4.3 打印参数指标	5
4.4 净含量	5
5 试验方法	5
5.1 感官	5
5.2 粘度	5
5.3 密度	5
5.4 临界曝光量 E_c 和透射深度 D_p 测试	6
5.5 建筑层厚	6
5.6 贮存稳定性	7
5.7 PH	7
5.8 不挥发物	7
5.9 硬度	7
5.10 耐温	8
5.11 表面精度	10
5.12 尺寸误差	10
5.13 翘曲度	10
5.14 力学性能	12
5.15 吸水率	12
5.16 净含量	12
6 检验规则	12
6.1 检验分类	12
6.2 组批	12
6.3 抽样	12
6.4 出厂检验	13
6.5 判定	13
7 标志、包装、运输和贮存	13
7.1 标志	13
7.2 包装	13
7.3 运输	13
7.4 贮存	13

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由中国生产力促进中心协会提出并归口。

本文件主要起草单位：东莞爱的合成材料科技有限公司、……

本文件主要起草人：蔡虎、……

3D 打印材料光固化树脂标准

1 范围

本文件规定了3D打印材料光固化树脂的要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存。本文件适用于3D打印材料光固化树脂。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 191	包装储运图示标志
GB/T 11725-2007	色漆、清漆和塑料 不挥发物含量的测定
GB/T 2794—2022	胶黏剂黏度的测定
GB/T 6678	化工产品采样总则
GB/T 6680	液体化工产品采样通则
GB/T 9724-2007	化学试剂 pH值测定通则
GB/T 15223-2008	塑料 液体树脂 用比重瓶法测定密度
GB/T 3398.2-2008	塑料 硬度的测定
GB/T 1634.1-2019	塑料 负荷变形温度的测定 第1部分：通用试验方法
GB/T 1031-2009	表面粗糙度的测定
GB/T 1040.1-2018与GB/T 1040.2-2022	塑料的拉伸强度与断裂伸长率的测定
GB/T 1043.1-2008与GB/T 1043.2-2018	冲击强度试样的制备和测定
GB/T 1034-2008	塑料 吸水性的测定
JJF 1070-2023	定量包装商品净含量计量检验规则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

打印样件 Print sample

液体光固化树脂通过3D打印机曝光成型后，形成的固体实物。

3.2

建筑层厚 Building layer thickness

也称“切片层厚”，在光固化3D打印过程中，每一层的厚度，也就是液体树脂被固化后形成的层的厚度。该层厚由3D打印切片软件对切片模型文件进行设定，3D打印机设置的建筑层厚与模型文件的设定一致。

3.3

表面精度 Surface accuracy

衡量3D打印样件的总体表现效果。包括表面粗糙度和表面效果这两个维度综合衡量。

3.4

三维尺寸误差 3D dimensional error

以3D打印设备平台的三维坐标系为参照，对打印样件的X轴、Y轴、Z轴尺寸进行测量，实测尺寸与输入的图样文件尺寸之间的误差。

3.5

翘曲度 Warpage degree

对3D打印样件在打印过程中发生翘曲变形的衡量。通常地，3D打印样件在打印设备平台的三维坐标系中，底部和顶部边缘都容易受各种内外应力作用，从而发生翘曲变形。

3.6

摆放方式 Placement method

在本文件中，指试样模型在3D打印机中的摆放方式。

4 总体要求

4.1 感官要求

应符合表1的规定。

表1 感官要求

项目	要求
颜色	符合规定颜色
气味	无异味

4.2 理化指标

应符合表2的规定。

表2 理化指标

液体材料项目	指标
粘度 (25 °C) , cps	10~2000
密度, g/cm ³	1~2
临界曝光量Ec, mJ/cm ²	1~30
透射深度Dp, mm	0.02 ~0.50
建筑层厚, mm	0.02~0.30
贮存稳定性	无结块、无絮凝、无明显分层
pH	7~9
不挥发物, %	≥90
固化后材料项目	指标
硬度 (邵氏A; 邵氏D)	40~99;40~99
耐温 (°C)	0~300
表面精度	1.表面粗糙度: Ra≤6.3 μm。 2.表面效果: 纹理呈现均匀的周期性; 表面无气泡、裂纹、变形、扭曲。
三维尺寸误差	±4%
翘曲度	底部翘曲: 形变角度: 90°-110°; 弧度翘曲: 150°≤∠acb≤180°
拉伸强度, MPa	1-150Mpa
断裂伸长率, %	0.01~1000
冲击强度, J/m	>10

液体材料项目	指标
吸水率, %	0.001~4

4.3 打印参数指标

应符合表3、表4的规定。

表3 SLA 打印参数指标

树脂温度, °C	18°C~30°C
环境湿度, % RH	≤40
激光功率, mW	1~10000
扫描间距, mm	≤2
液位与刮刀距离, mm	0.01~1
支撑扫描速度, mm/s	≤10000
轮廓扫描速度, mm/s	≤100000
填充扫描速度, mm/s	≤150000

表4 DLP/LCD 打印参数指标

树脂温度, °C	15~35											
环境湿度, % RH	≤40											
打印光强, mW/cm ²	1.5~3				3.1~5				5或者5以上			
层厚, mm	0.03	0.05	0.08	0.1	0.03	0.05	0.08	0.1	0.03	0.05	0.08	0.1
普通曝光时间, s	0.5-8	1-10	1-15	1-20	0.2-8	0.5-10	0.5-15	0.5-20	0.1-7	0.2-10	0.5--12	0.5-15
底层数	5-6											
底层曝光时间, s	20-60	25-70	25-90	30-100	15-50	20-60	20-70	25-80	8-30	10-40	10-50	15-60

4.4 净含量

应符合JJF 1070的规定。

5 试验方法

5.1 感官

颜色以目测进行检查, 气味以鼻嗅进行检查。

5.2 粘度

按GB/T 2794—2022中旋转黏度计法的规定进行, 液体树脂按照GB/T 2794—2022第4章来进行取样, 液体树脂的测试步骤按照GB/T 2794—2022第7章中7.1来进行操作, 液体树脂的粘度测试结果按照GB/T 2794—2022第8章来表示。

5.3 密度

按GB/T 15223-2008的规定采用比重瓶法进行测定, 液体树脂的称取以及测量按照 GB/T 15223-2008第5章进行操作, 按照GB/T 15223-2008第6章来进行结果计算。

5.4 临界曝光量 E_c 和透射深度 D_p 测试

5.4.1 公式依据

$$C_d = D_p \ln \frac{E_0}{E_c} \quad (1)$$

式(1)中 E_0 为紫外光辐射到液体光敏树脂表面的能量, D_p 为透射深度系数, C_d 为固化深度, E_c 为临界曝光量;

$$E_0 = \frac{P_L}{V_S \times h_S} \quad (2)$$

式(2)中, P_L 为紫外光照射到光敏树脂表面的功率, V_S 为紫外激光的扫描速率, h_S 为紫外激光的扫描间距。

$$E_0 = \frac{P_L}{A} \times t \quad (3)$$

式(3)中, P_L 为紫外光照射到光敏树脂表面的功率, t 为曝光时间, A 为曝光面积。

5.4.2 测试方法

5.4.2.1 点成型设备测试方法:

- 使用 3D 打印机, 打印一层长宽为 $20 \times 20 \text{mm}^2$ 的正方形薄片, 即 $A=4 \text{cm}^2$, 设置固定参数: 激光功率 $P_L=300 \text{mW}$, 扫描间距 $h_S=0.07 \text{mm}$ 。设置变量参数: 扫描速率 $V_S=1000 \sim 8000 \text{mm/s}$, 按 700mm/s 依次递增, 打印 10 个不同扫描速率的正方形薄片。并根据公式(2)计算 10 个不同的 E_0 。

注: 激光功率可根据不同材料来调节, 能够材料固化即可; 扫描间距必须小于等于机器光斑大小; 扫描速率则要求在材料可成型的基础上, 设置 10 组具有 $300 \sim 1000 \text{mm/s}$ 公差的等差数列组。

- 将正方形薄片, 使用异丙醇或无水乙醇溶液快速清洗干净, 再用两片透光玻璃将薄片夹在中间, 后使用 120mW 汞灯进行后固化 30 分钟, 在 25°C , $40\% \text{RH}$ 环境中, 使用千分尺测试厚度 C_d 。
- 以 $\ln E_0$ 为横坐标, 对应测得的固化深度 C_d 为纵坐标, 绘制 $\ln E_0$ 和 C_d 的关系图, 即可以计算得到临界曝光量 E_c 和透射深度 D_p 。

5.4.2.2 面成型设备测试方法:

- 使用 3D 打印机, 打印一层长宽为 $20 \times 20 \text{mm}^2$ 的正方形薄片, 即 $A=4 \text{cm}^2$ 。设置 10 组曝光时间: $t = \text{基础曝光时间} \times (1 + 0.2d)$, 打印不同曝光时间的薄片。
- 其中, 基础曝光时间为材料刚好可成型的时间; $d=0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$, 并根据公式(3)计算 10 个不同的 E_0 。
- 后续的测试计算步骤, 参照本文 5.4.2.1 部分。

5.5 建筑层厚

5.5.1 建筑层厚取值要求

最小建筑层厚时, Z 轴误差为 $\pm 4\%$; 最大建筑层厚时, 以 Z 轴为其中一个方向的观测面无明显开裂纹, 并且建筑层厚 $\leq D_p$ 。其中, D_p 由本文 5.4 部分测得。

5.5.2 测试方法

最小值取值测试:

设置分层厚度 $C_{\min} = 0.1 D_p \sim 0.5 D_p$, 以公差为 $0.04 D_p$ 递增, 打印 10 组不同分层厚度的高 $h=100 \text{mm}$, 半径 $r=15 \text{mm}$ 圆柱体样件。摆放方式为以圆面为底部垂直摆放, 如图 1:

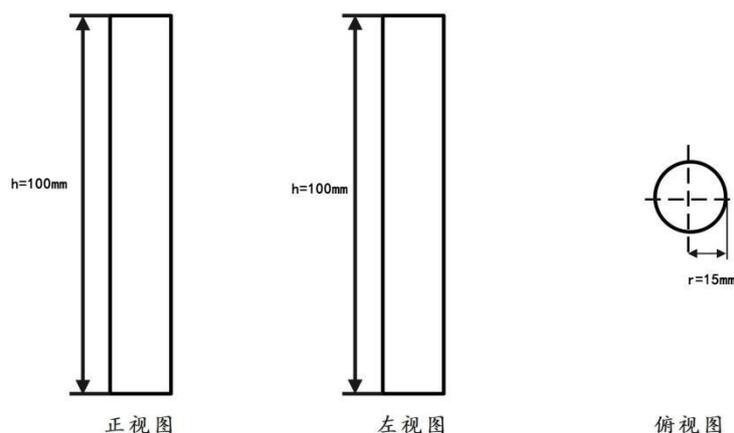


图1 分层厚度测试样件图

打印完成后，将打印样件用异丙醇或无水乙醇清洗干净，后使用120mW汞灯进行后固化30分钟，在25℃，40%RH环境中，使用千分尺测试圆柱体h的实际尺寸，根据式（4）计算精度误差。Z轴误差为±4%的最小分层厚度，即为建筑层厚最小值取值。

$$S_{\text{误差}} = \frac{\text{实际尺寸} - \text{图样尺寸}}{\text{图样尺寸}} \times 100\% \quad (4)$$

最大值取值测试：

设置分层厚度 $C_{\text{max}}=0.6\text{DP}\sim 1\text{DP}$ ，以公差为0.04DP递增，打印10组不同分层厚度的图1的圆柱体打印样件，摆放方式为以圆面为底部垂直摆放，依次编号为 $C_{\text{max}1}$ ， $C_{\text{max}2}\cdots\cdots C_{\text{max}10}$ 。打印完成后，选出可成型样件的编号最大的5组，使用将样件用异丙醇或无水乙醇清洗干净，后使用120mW汞灯进行后固化30分钟，观察Z轴方向的表面情况，最大编号无明显开裂纹的打印样件，对应的分层厚度即建筑层厚的最大值取值。

5.6 贮存稳定性

将约20mL样品装入合适的塑料或玻璃容器中，瓶内留有约10%的空间，密封后放入 $(80\pm 2)^\circ\text{C}$ 的恒温干燥箱中，7天后取出，在 $(23\pm 2)^\circ\text{C}$ 放置3h，用目视法观察外观状态，要求液体保持均匀稳定，无沉淀分层等异常现象。

5.7 PH

按GB/T 9724-2007的第6章进行测定。

5.8 不挥发物

按GB/T 1725-2007的规定进行，测试试样中的不挥发物的实验步骤按GB/T 1725-2007中第六章进行；按照GB/T 1725-2007中第七章中称取试样量 $(1\pm 0.1)\text{g}$ ；烘烤温度和时间 $125^\circ\text{C}/1\text{h}$ ，测试结果的计算方式按照GB/T 1725-2007中第八章中进行。

5.9 硬度

5.9.1 按照标准GB/T 3398.2-2008测量硬度，仪器选用Shore A/D硬度计测量（软材料用A，硬材料用D），在3D打印机上打印的尺寸为 $50\times 50\times 2\text{mm}^3$ 平板打印样件，摆放方式为以最大面为底部水平摆放。用异丙醇或者无水乙醇清洗干净后，再使用120mW汞灯进行后固化30分钟，即可进行硬度测试。

5.9.2 按如图2中俯视图的5个点位置，测试5个点的硬度，取平均值，测试温度为25℃。

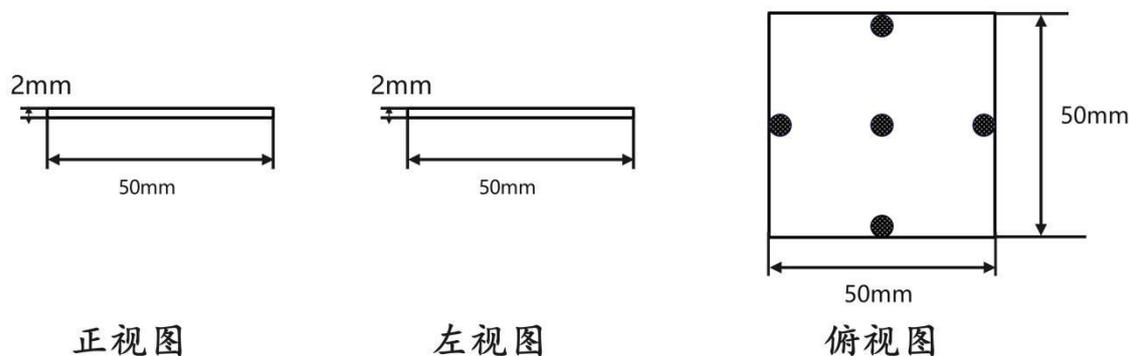


图2 硬度测试视图

5.10 耐温

5.10.1 按标准 GB/T 1634.1-2019 测试热变形温度。

5.10.2 用 3D 打印机打印尺寸（长 l 为 120mm，宽 b 为 10mm，厚 h 为 4mm）的长条试样，摆放方式为以 $1b$ 面为底部水平摆放，如图 3 所示。打印完整成型后，用异丙醇或者无水乙醇清洗干净后，再使用 120mW 汞灯进行后固化 30 分钟。试样要求表面平整光滑，无气泡及裂痕等缺陷，来进行下面的耐温测试。

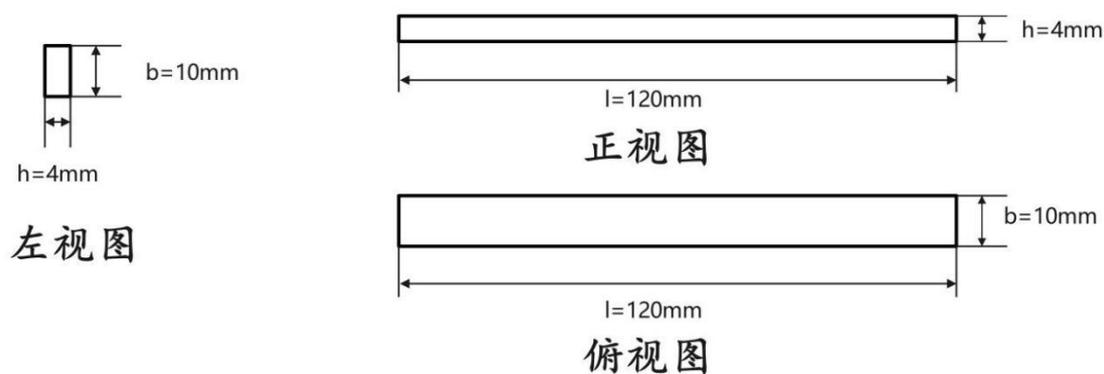


图3 测热变形温度尺寸样件图

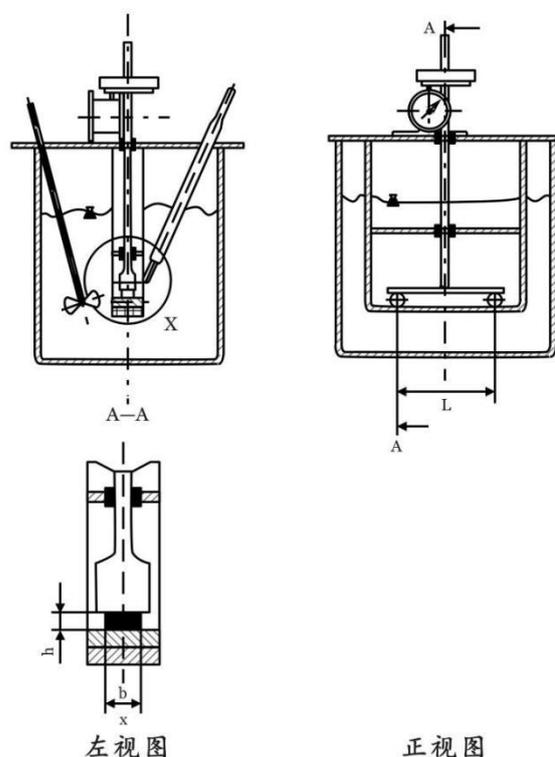


图4 测定负荷变形温度的典型设备图

按照GB/T 1634，采用三点加荷法，施加到试样上的力 F ，以N为单位，作为弯曲应力 σ_f 的函数，由式（5）或式（6）计算：

如果试样优选（平放）的方式，按式（5）计算

$$F = \frac{2\sigma_f \times b \times h^2}{3L} \quad (5)$$

如果试样优选（侧立）的方式，按式（6）计算

$$F = \frac{2\sigma_f \times h \times b^2}{3L} \quad (6)$$

式中：

F 为负荷，单位为N； σ_f 为试样表面承受的弯曲应力，单位为MPa； b 、 h 、 L 分别为试样宽度、厚度、试样与支座接触线间距离，单位为mm。

以 $(120 \pm 10)^\circ\text{C}/\text{h}$ 的均匀速率升高热浴的温度，记下试样初始挠度净增加量达到标准挠度时的温度，即为在GB/T 1634有关规定的弯曲应力下的负荷变形温度（即热变形温度）。

标准挠度是高度（ h 或者 b ，依试样的放置方式而定，见GB/T 1634的5.10），所用跨度和GB/T 1634相关规定的弯曲应变增量函数，分别按式（7）和式（8）计算：

对于优选（平放）放置方式：

$$\Delta s = \frac{L^2 \times \Delta \varepsilon_f}{600h} \quad (7)$$

对于优选（侧立）放置方式：

$$\Delta s = \frac{L^2 \times \Delta \varepsilon_f}{600b} \quad (8)$$

式中：

Δs 为标准挠度，单位为mm； $\Delta \varepsilon_f$ 为弯曲应力增量，%； L 、 h 、 b 分别为试样与支座接触线间距离、厚度、宽度，单位mm。

5.11 表面精度

5.11.1 表面粗糙度

5.11.1.1 根据《GB/T 1031-2009》进行。

5.11.1.2 观察轮廓的算术平均偏差 R_a （按照 GB/T 1031-2009，4.4，表 1）。

5.11.2 表面效果

采用目测法观察在3D打印过程中，打印的试样表面会产生一些裂纹、孔洞、层间黏结不良等缺陷，通过视觉观察来评估试样表面的光泽度、纹理和细节等。

5.12 尺寸误差

使用3D打印机打印阶梯形十字架样件，其尺寸如图5所示，摆放方式为以含长边=160mm的一面为底部，水平摆放。样件完整成型后，清洗干净即可进行测试。

测试使用千分卡尺测试如图5标示的X、Y、Z的尺寸：分别记 x, y, z 。尺寸误差 S_x, S_y, S_z 由本文5.5.2的式（4）来计算。

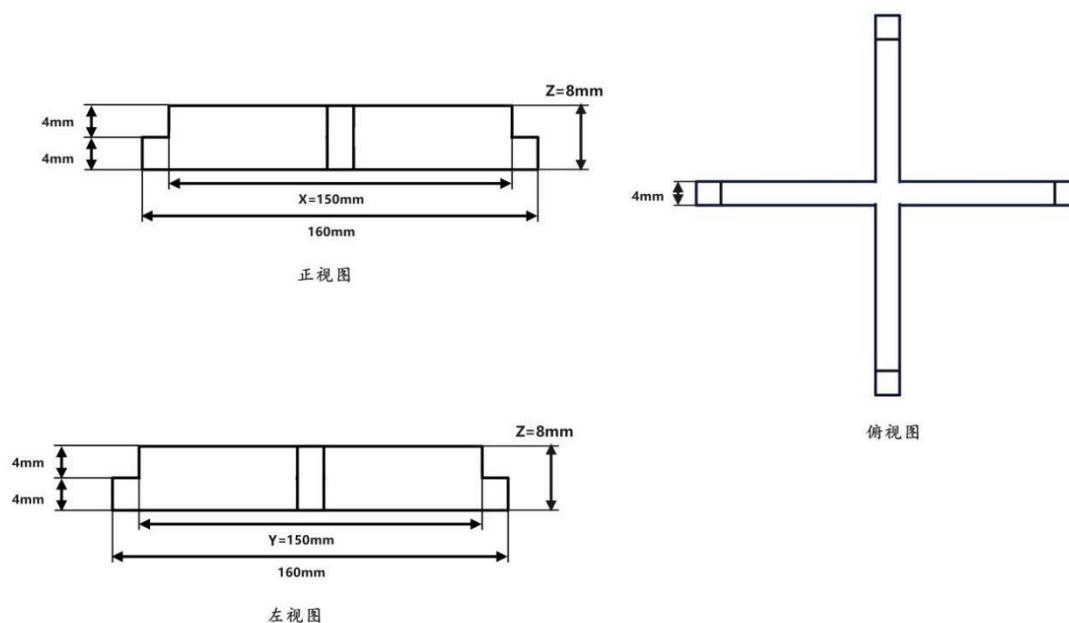


图5 阶梯形十字架三视图

5.13 翘曲度

5.13.1 底部翘曲：

使用3D打印机，打印长宽高为 $90 \times 28 \times 3\text{mm}^3$ 的平板样件，摆放方式为水平摆放，如图6所示。样件成型后，清洗干净，即可使用数显角度尺测试正视图的角度A角变形情况。

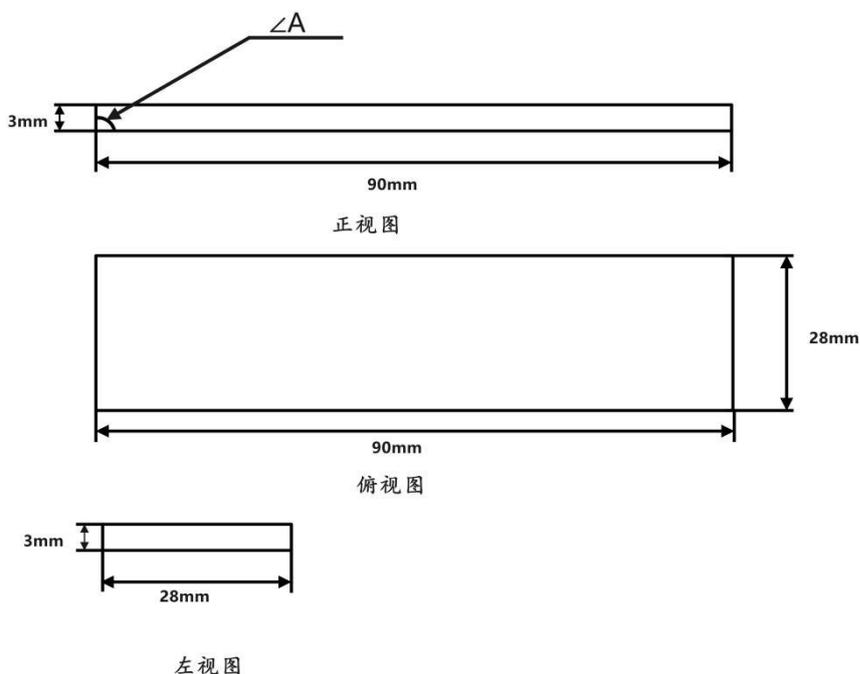


图6 底部翘曲测试件三视图

5.13.2 弧度翘曲:

使用3D打印机,打印三维尺寸长 $x=43\text{mm}$,宽 $y=36\text{mm}$,高 $z=10\text{mm}$,壁厚 1mm 的方槽,三视图如图7的左图所示。摆放方式为以 xy 面作为底部,沿左侧边 y 为中心轴逆时针旋转 45° 摆放样件,如图7的右图所示,其中,图7箭头所指示的 d 线,作为弧度翘曲的测试线。样件成型后,清洗干净,即可进行弧度翘曲测试。

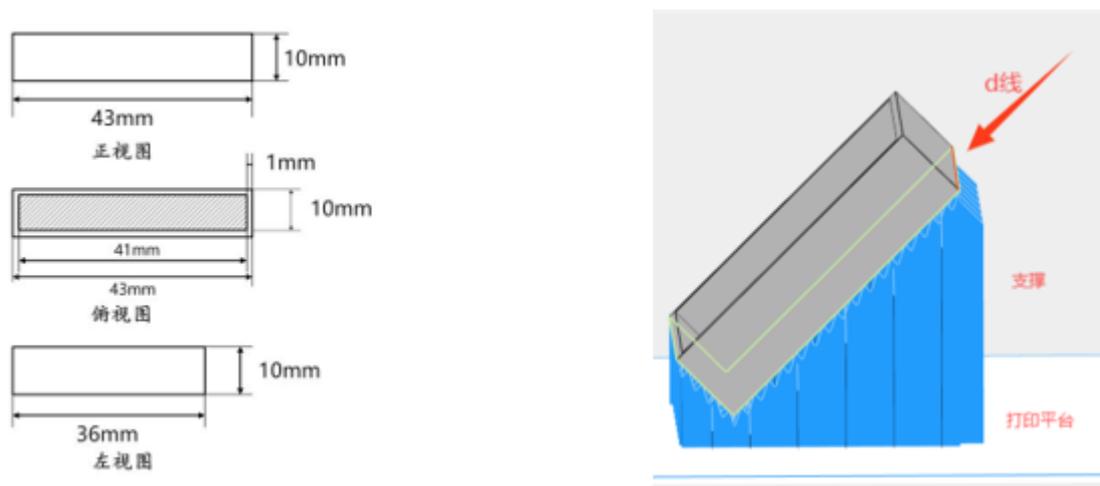


图7 弧度翘曲样件的三视图和软件中呈现的三维图

测试方法:如图8所示(与图7右侧三维图的观察视角不同,为便于观察,改变了观察视角),样件图的 d 线在打印成成品之后可能会变形为曲线 l 。直线 a 和曲线 l 相切于 e 点,直线 b 与曲线 l 相切于 f 点,并且两条直线 a 和 b 的延长线相交与点 c ,形成的 $\angle acb$ 为测试弧度翘曲的角度。

使用数显角度尺以切线的角度夹住点 e 和点 f ,读取其中的角度即为测试角度。

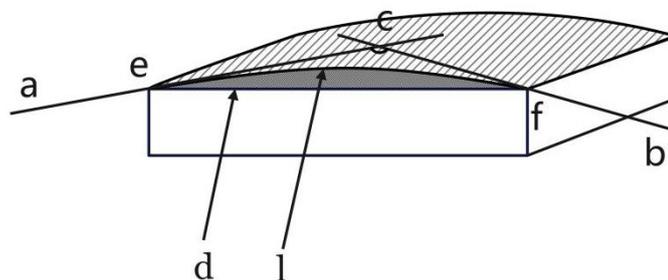


图8 弧度翘曲测量示意图

5.14 力学性能

5.14.1 拉伸强度和断裂伸长率

5.14.1.1 在3D打印机上,按照GB/T 1040.2-2022中11.1的试样模型以及试样尺寸要求,打印1A型尺寸的哑铃状试样共10组。要求成型件表面无毛边缺陷,清洗干净后使用120mW汞灯进行后固化30分钟,即可进行拉伸强度和断裂伸长率测试。

5.14.1.2 测试步骤按照GB/T 1040.1-2018中的第9章进行,计算步骤按照GB/T 1040.1-2018中的10.1和10.2.1进行。

5.14.2 冲击强度

5.14.2.1 在3D打印机上,按照GB/T 1043.1-2008中6.3.2要求,打印尺寸为长 $l=75\text{mm}$,宽 $b=15\text{mm}$,厚 $h=3\text{mm}$ 的无缺口2型试样共10组,要求成型件表面无毛边缺陷,清洗干净后使用120mW汞灯进行后固化30分钟,即可进行测试。

5.14.2.2 测试步骤按照GB/T 1043.2-2018中第7章进行,测试时设置跨距 $L=60\text{mm}$;计算步骤按照GB/T 1043.2-2018中的8.4.1进行。

5.15 吸水率

按照GB/T 1034-2008进行吸收率的测定,3D打印试样按照GB/T 1034-2008第5章中5.2中的要求制作,试样条件和步骤按照GB/T 1034-2008中第6章进行,试样的吸水率按照GB/T 1034-2008中第7章进行计算。

5.16 净含量

按JJF 1070-2023的规定进行。

6 检验规则

6.1 检验分类

检验分为出厂检验和型式检验。

6.2 组批

同一釜产品为一批,产品以批为单位进行验收。

6.3 抽样

按GB/T 6678和GB/T 6680进行，取样瓶应干燥、清洁。取样量不应少于20 g。将取得的样品平均分为两组，装入干燥、清洁的样品瓶中，密封，注明产品名称、型号、批号、生产日期和取样时间。一组用于检验，另一组保存备查。

6.4 出厂检验

6.4.1 产品出厂前应做出厂检验，检验合格方可出厂，出厂产品须有合格证。

6.4.2 出厂检验的项目为感官、硬度，粘度。

6.5 判定

当检验项目均符合本文件要求时判该检验样品为合格，若有不合格的项目，则判为检验不合格。

7 标志、包装、运输和贮存

7.1 标志

产品包装箱上应有以下标志：

- 产品名称；
- 生产日期；
- 生产批号；
- 保质期（或有效期）；
- 净含量；
- 采用产品标准编号；
- “防潮”等符合 GB/T 191 的包装储运图示标志等。

7.2 包装

7.2.1 产品包装应为洁净、干燥的塑料桶或塑料吨桶。

7.2.2 应保证产品在正常的运输、贮存过程中不渗漏、不破损。

7.3 运输

运输过程中轻装、轻卸，勿日晒、雨淋，保持包装、标识完整。

7.4 贮存

产品宜贮存在温度为5℃~35℃的通风、干燥的仓库内，避免露天堆放，防止日晒、雨淋，防止严寒，远离热源。产品自生产之日起，贮存期不超过12个月。