

ICS 77.120.01  
CCS J 31

# 团 体 标 准

T/CFA 0106012—2023  
T/CSAE 301—2023

## 汽车压铸件孔隙率测定方法

Porosity determination method for die castings of automobile

(公告稿)

2023 - 05 - 29 发布

2023 - 08 - 29 实施

中国铸造协会  
中国汽车工程学会

发 布

# 目 次

前 言.....	III
引 言.....	IV
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 标识.....	4
6 测定仪器.....	6
7 样品制备.....	7
8 测定步骤.....	9
9 测定报告.....	11
10 精度与偏差.....	12
参 考 文 献.....	13
图 1 当量直径.....	2
图 2 费雷特直径.....	2
图 3 类比直径.....	2
图 4 最大孔隙.....	3
图 5 压铸件试样表面的明显的划痕.....	8
图 6 压铸件试样表面的污染表面.....	8
图 7 压铸件抛光态的磨片.....	9
图 8 选取的测定基准面.....	10
图 9 基准面超出时的选取.....	10
图 10 基准面位置叠加时的处理.....	11
表 1 压铸件孔隙分类及标识符号.....	5
表 2 压铸件不同表面粗糙度选择的孔隙率测试手段.....	6
表 3 研磨纸粒度与压铸件试样表面粗糙度对应关系.....	8

## 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。

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专利的责任。

本文件由中国铸造协会压铸分会提出。

本文件由中国铸造协会和中国汽车工程学会归口。

本文件起草单位：上海永茂泰汽车零部件有限公司、上海交通大学、苏州亚德林股份有限公司、上海晋拓金属制品有限公司、江苏中翼汽车新材料科技有限公司、芜湖舜富精密压铸科技有限公司、凤阳爱尔思轻合金精密成型有限公司、青岛宇远新材料有限公司、无锡吉冈精密科技股份有限公司、上海轻合金精密成型国家工程研究中心有限公司、南京航空航天大学、南京艾布纳新材料股份有限公司、广东铭利达科技有限公司。

本文件主要起草人：徐 宏、李贞宽、彭立明、沈林根、张 东、李 娟、肖明海、肖 刚、徐浩珂、周 延、刘子利、王博、匡中华。

本文件为首次发布。

## 引 言

压铸作为一种先进的有色合金精密零部件成形技术，适应了现代制造业中产品复杂化、精密化、轻量化、节能化、绿色化的要求，应用领域不断拓宽。随着压铸设备与工艺技术水平不断提高，特别是汽车工业的迅速发展，以铝合金、镁合金为代表的压铸产品的应用范围将不断向承力结构件扩展。但是，在压铸生产过程中，孔隙（气孔、针孔、缩孔、缩松、渣孔等孔洞类缺陷的总称）是最常见的缺陷之一，这对铸件的性能和扩大其应用范围都有不利的影响。孔隙率及其大小直接影响了铸件的力学性能。因此，铸件孔隙率的测定具有十分重要的意义。

目前，铸件孔隙率作为必检项目，被广泛地应用在一汽大众、上海大众、上海通用、北美通用以及上汽集团等汽车零部件开发和工装样件的认可中。在国内自主开发车型的大趋势下，国内汽车行业厂家主要还是依据国外企业及其团体标准进行检测。国内，目前没有关于铸件孔隙率的测定方法的国家标准或行业标准；上汽集团股份有限公司有相关标准，但关于孔隙率的基准面的选择没有具体说明；国外，大众对孔隙率要求比较详细，但没有具体的测定方法说明。

本文件的制定和实施，将促进国内厂家掌握汽车铸件孔隙率的测定方法。



# 汽车压铸件孔隙率测定方法

## 1 范围

本文件规定了汽车压铸件孔隙率的标识、试验条件、测定仪器、样品制备、测定步骤、测定报告和精度与偏差。

本文件适用于汽车有色金属压铸件（铝合金、镁合金、锌合金压铸件）孔隙率的测定。其它行业压铸件孔隙率的测定参照使用。

## 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。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 5611 铸造术语
- GB/T 6060.1 表面粗糙度比较样块 第1部分 铸造表面
- GB/T 11346 铝合金铸件射线照相检测 缺陷分级
- GB/T 13821 锌合金压铸件
- GB/T 15056 铸造表面粗糙度 评定方法
- GB/T 15114 铝合金压铸件
- GB/T 25747 镁合金压铸件

## 3 术语和定义

GB/T 5611 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**压铸件** die castings  
采用压力铸造方法制备的零件。

### 3.2

**汽车压铸件** die castings for automobile  
采用压力铸造方法制备的用于汽车的压铸件。

### 3.3

**孔隙** pore  
气孔、针孔、缩孔、缩松和渣孔等孔洞类缺陷的总称。

### 3.4

**参考面** reference area  
气孔标准和相关值的表面。

3.5

参考面粗糙度 roughness of the reference surface

参考面 (3.4) 的表面粗糙度, 单位为微米( $\mu\text{m}$ )。

注: 如果没有注明粗糙度信息, 微观不平度十点高度( $R_z$ )值为 0 自动适用, 相当于一个金相抛光态试样。

3.6

孔隙率百分比 pore content

孔隙在参考面中所占的面积百分比。

3.7

当量直径 equivalent diameter [ $\phi_e$ ]

与孔隙面积相等圆的直径, 见图 1。

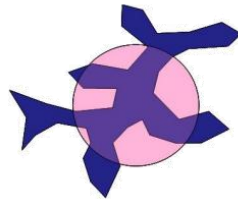


图 1 当量直径

3.8

费雷特直径 feret's diameter

对不规则孔隙大小的描述常用的参数。经过该孔隙的中心, 任意方向的直径, 见图 2。

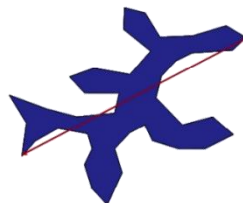


图 2 费雷特直径

3.9

类比直径 comparison diameter [ $\phi_c$ ]

包含孔隙的圆的直径, 见图 3。

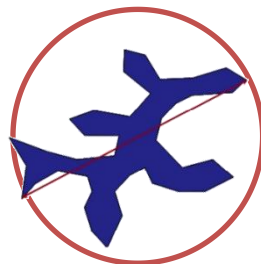


图 3 类比直径

3.10

孔长 pore length

最大费雷特直径 (3.8) 或类比直径 (3.11) [ $\phi_L$ ]。

3.11

最大孔隙 maximum pore

当量直径 (3.7) 或孔长 (3.10)。直径符号后未显示下标缩写，默认使用孔长。

注：当压铸件有明显的缩松时，整个缩松区域应视为一个孔隙，或者由客户与供应商共同确定缩松尺寸计算方法；当两个孔隙相邻时，若两者之间的边缘间距小于较小孔隙的直径时，应视为一个孔隙，若  $d \leq \min(D1、D2)$ ，总的孔隙大小应为  $D$ ，见图 4。

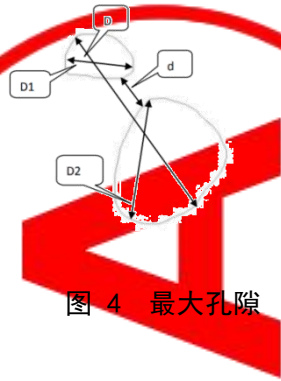


图 4 最大孔隙

3.12

孔隙率 porosity

孔隙 (3.3) 在参考面 (3.4) 中所占的面积百分比或最大孔隙 (3.11) 允许的个数。

[来源：GB/T 5611-2017, 4.6.30, 有修改]

3.13

相邻孔隙间距 distance of adjacent pores [ $A$ ]

该参数描述了相邻两个孔隙之间的最小距离。距离规范 [ $A$ ] 是一个整数因子，与相邻两个较小孔的直径相乘，计算出的最小距离。

注：该值应由制造商和购买者商定。当两个孔隙相邻时，若两者之间的边缘间距小于较小孔隙的直径时，应视为一个孔隙。

3.14

忽略的孔隙 disregarded pores [ $U$ ]:

在参考面评价中忽略的孔隙尺寸。参数 [ $U$ ] 为加工表面使用的。除个别情况外， [ $U$ ] 只用于具有密封功能的加工表面。 [ $U$ ] 以 0.1 mm 为级数修约。

注：低于规定的测试方法的光学分辨能力的数值说明是不允许的。但是，如果指定了较小的限制，则测试方法的限制分辨率将根据检查的评判表面的质量自动绑定。

3.15

孔隙的数量 number of pores

每个参考表面的允许单独孔隙的数量最大整数。该参数以 0.5 mm 为级数修约。不存在直径小于 0.5 mm 的规格。

注：仅用于加工面，孔隙堆积在这里被视为单个孔隙。

3.16

### 展开规则 unfold rule

通过展开空心圆柱的内表面而产生一个平面的矩形表面。由展开形成矩形的短边，定义了正方形评判面的边长。

#### 3.17

### 孔隙堆积 pore accumulations $[H]$ , $[H_R]$ 或 $[H_K]$

铸件缓慢凝固区出现的很细小的孔洞。

注：当相邻两个孔隙之间的距离小于较小孔隙的直径时，就会出现孔隙堆积。

$[H]$ —(无标注时)指的是整个参考面的孔隙堆积（疏松）

$[H_R]$ — 参考表面边缘区域(外三分之一)的孔隙堆积

$[H_K]$ — 参考表面中心区域(内三分之一)的孔隙堆积

$[H]$ 、 $[H_R]$ 或 $[H_K]$ 的值可以有以下二进制值：

0 = 表示禁止孔隙堆积

1 = 表示允许孔隙堆积

如果指定了除孔隙堆积外的最大孔径，则孔隙堆积被视为单个孔隙。孔径超过最大允许单个孔径的孔隙堆积是不允许的。

#### 3.18

### 粗大气孔群 localized porosities $[M]$ , $[N_R]$ 或 $[N_K]$ ：

当孔隙堆积（疏松）的直径超过单个孔隙的最大允许直径时为粗大气孔群。

注 1： $[M]$ —(无标注时)是指整个参考面的粗大气孔群

$[N_R]$ —指的是参考面边缘区域(外三分之一)粗大气孔群

$[N_K]$ —指的是参考面中心区域(内三分之一)粗大气孔群

$[M]$ 、 $[N_R]$ 、或  $[N_K]$  的值可以有以下二进制值：

0 = 表示禁止粗大气孔群

1 = 表示允许粗大气孔群

如果 $[M]$ 、 $[N_R]$ 或 $[N_K]$  列在孔隙密钥中，但没有指定值，则值 1 自动适用。粗大气孔群在相关区域是允许的。

注 2：如果允许粗大气孔群的出现，那么自动意味着允许孔隙堆积（疏松）。反之，如果不允许粗大气孔群出现，并不意味着不允许出现疏松，只要满足图纸对疏松的那些要求（ $[H]$ 、 $[H_R]$ 、 $[H_K]$ ）即可。

## 4 标识

### 4.1 孔隙标识

孔隙标识应满足下列要求：

a) 图样上应根据零件结构明确标识孔隙率测试部位。孔隙率及孔隙等要求，应在零件图样技术要求中明确规定；

b) 压铸件孔隙率不适用于整个压铸件，压铸件不同部位有要求时，应使用本文件方法在压铸件图样上明确标识；

c) 无特殊说明，机械加工表面损伤应被当作孔或缺陷处理。

### 4.2 孔隙率标识方法



#### 4.2.1 孔隙分类及标识

孔隙分类及标识符号，见表 1。

表 1 压铸件孔隙分类及标识符号

检测孔隙的铸件类别	适用零件	孔隙标识符号
受动态载荷的压铸件	车身结构件、发动机/变速箱悬置、支架等	D
受静态载荷的压铸件	电机壳体、压缩机壳体等	S
功能面特殊要求的压铸件	裙架、凸轮轴支架和各类壳体等密封面	F
其它	无特殊要求的压铸件	G

#### 4.2.2 孔隙率检测分类

4.2.2.1 对于孔隙分类 G、D 和 S，用百分比表示最大允许的孔隙率。

4.2.2.2 对于孔隙分类 F，应规定每个功能面孔隙的最大直径和最多许可的孔隙数量。

#### 4.2.3 孔隙率标识示例

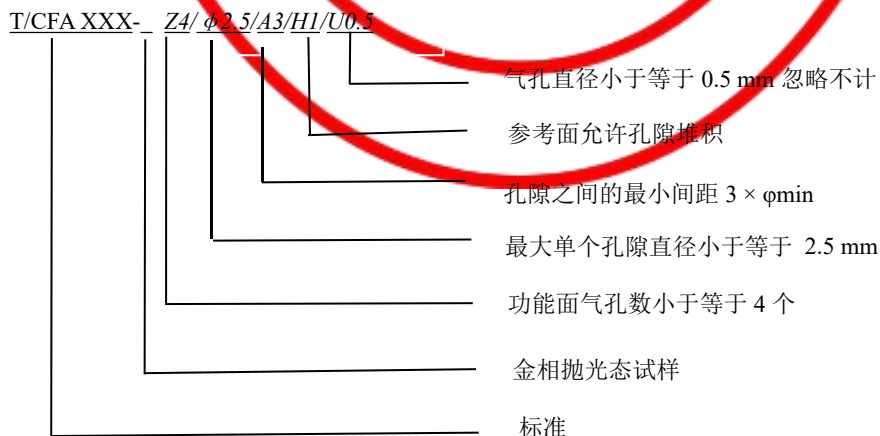
4.2.3.1 压铸件孔隙率标识应按(标准)-[参数 1][数值]/[参数 2][数值]/...(参数 n)(数值)顺序确定。

4.2.3.2 示例

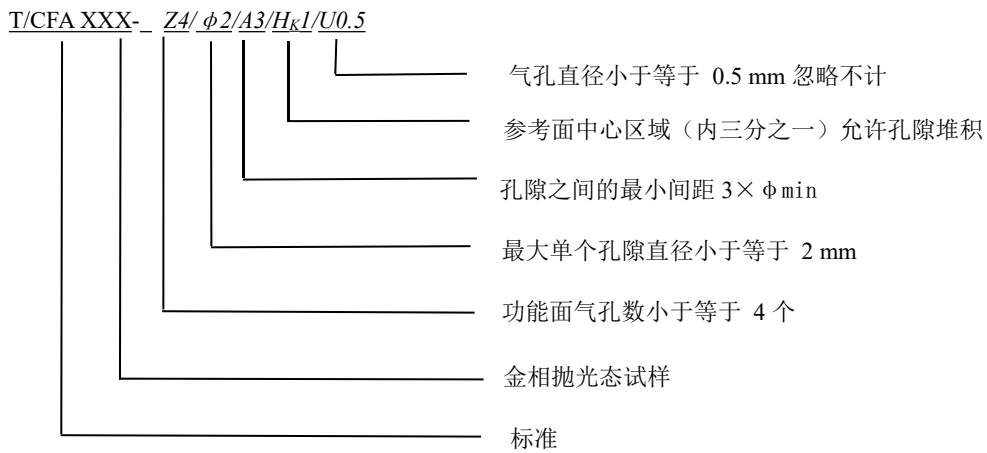
示例 1:



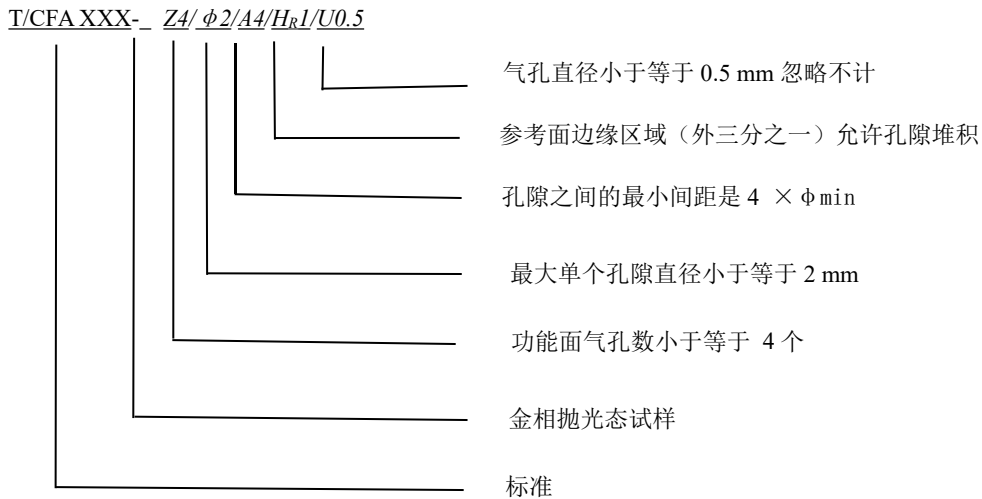
示例 2:



示例 3:



示例 4:



5 实验条件

孔隙率试验温度宜为  $(20 \pm 10) ^\circ\text{C}$ ；湿度不应大于 75 %。

6 测定仪器

6.1 孔隙率测试应符合表 2 的规定。

表 2 压铸件不同表面粗糙度选择的孔隙率测试手段

微观不平度十点高度 ( $R_z$ ) $\mu\text{m}$	鉴定辅助手段	光学放大倍率
0	反射光显微镜	20x~25x
1~10	测量显微镜	10: 1

表 2 (续)

微观不平度十点高度 $R_z \mu m$	鉴定辅助手段	光学放大倍率
11~25	放大镜或测量显微镜	5: 1~6: 1
>25	放大镜或数学照相术	1: 1~2: 1
粗轮廓	肉眼观察	---
加工面	肉眼观察	---

## 6.2 金相显微镜

铝合金、锌合金、镁合金压铸件应在  $16\times\sim 30\times$  放大倍率金相显微镜倍数下获取图片，并获取整个截面。宜采用自动拼图的、具有孔隙率测试分析软件的金相显微镜。

## 6.3 无损检测设备

可采用工业 CT 等无损检测设备，按 GB/T 11346 规定，在实时投影图像（1:1 比例）中，应选取压铸件最大的孔隙率作为测试结果。

## 7 样品制备

### 7.1 取样部位

取样应在图纸或其他技术要求规定的部位或区域处切取，宜为 ANSYS、FEA 等 CAE 分析软件计算获得的应力截面。无规定取样部位时，应由供需双方协商确定。

### 7.2 取样

取样应采用金相试样切割机切割下包含待检测部位的试样。试样尺寸应符合图纸或其他技术要求规定。无规定时，取样尺寸应由供需双方协商确定。

### 7.3 选取孔隙率截面

7.3.1 切取的压铸件试样，可从多个位置来选择平截面。

7.3.2 气孔或缩孔最严重区域位置和角度可通过 X-RAY 探伤、CT 扫描等方式获悉，应选取包含气孔或缩孔最严重区域的压铸件截面作为孔隙率截面位置。

### 7.4 粗处理

压铸件表面粗糙度  $R_z$  不应小于 200 的，应采用砂轮机、砂轮片或砂轮盘等粗处理。

### 7.5 镶嵌

对于微小、超薄的压铸件试样，应采用镶嵌固化的方式制备出标准规格尺寸（例如  $\Phi 30\text{ mm}\times 15\text{ mm}$ ）的标准试样。

### 7.6 研磨

7.6.1 试样粗磨、精磨等应使用磨光机、研磨纸处理。

7.6.2 研磨纸粒度与压铸件试样表面粗糙度对应关系可参照表 3。

表 3 研磨纸粒度与压铸件试样表面粗糙度对应关系

研磨纸粒度	微观不平度十点高度 $R_z$ $\mu\text{m}$
320	46
500	30
800	22
1000	18
1200	15
2500	10
4000	5

7.6.3 当压铸件图样对表面粗糙度  $R_z$  无要求时，切割表面的制作应满足以下要求：

- a) 无塑性结构变形；
- b) 无网纹和划痕，见图 5；
- c) 避免切割表面研磨过程过热，见图 6。

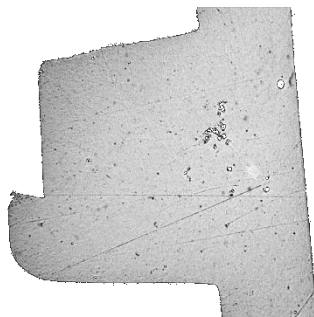


图 5 压铸件试样表面的明显的划痕

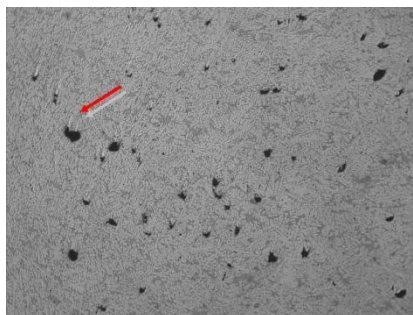


图 6 压铸件试样表面的污染表面

7.7 抛光

7.7.1 压铸件应使用抛光机，带胶抛光丝绒、精抛绒等抛光织物配合金刚石喷雾抛光剂等粗抛和精抛工作。

7.7.2 压铸件样品抛光后的表面粗糙度（即参数[Rz]数值），应按 GB/T 6060.1 和 GB/T 15056 规定执行。

7.7.3 压铸件图样对表面粗糙度  $R_z$  无要求的金相磨片（抛光态）时，金相磨片应满足下列要求：

a) 镜面光亮平面：在分辨率为 100:1 的显微镜下不应有刮痕或毛刺等加工痕迹，见图 7。

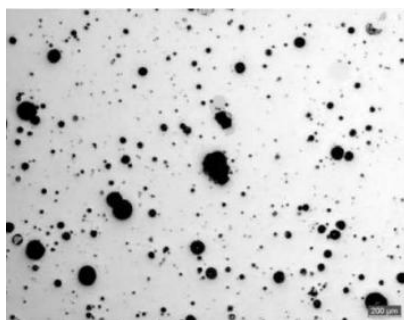


图 7 压铸件抛光态的磨片

b) 磨片表面平整度：磨片不应有边棱倒圆或压痕；

c) 无塑性结构变形：磨片不应有加工步骤而造成的残余变形。

## 7.8 腐蚀

孔隙率检测宜采用 4% 的氢氟酸腐蚀剂浸蚀处理 3s~5s。

## 8 测定步骤

### 8.1 开机

确认稳压器在 220 V~240 V 时，顺序打开电脑、控制柜开关，将载物台移到最大安全位置，摆放已处理的压铸件金相试样，选择合适的倍率物镜，等待显微镜预热 15min 后取下目镜罩，抽出目镜伐，调节亮度和调焦旋钮至图像清晰。

### 8.2 选取区域

打开软件，在金相显微镜下观察压铸件试样，选取视场部位为标定范围内最严重区域，拍照，保存。视场大小一般为  $(4 \times 3) \text{ mm}^2$ ，视场数量不应小于 30 个，利用金相显微镜的拼图功能将所选取的视场拼接为一张图片。

### 8.3 选定基准面

8.3.1 拼接好的图片中，应选取最大的正方形、三角形或圆形作为基准面测定，见图 8。基准面形状选择应根据拼接图片待测定区域形状确定，基准面形状与待测定区域的外形宜匹配。

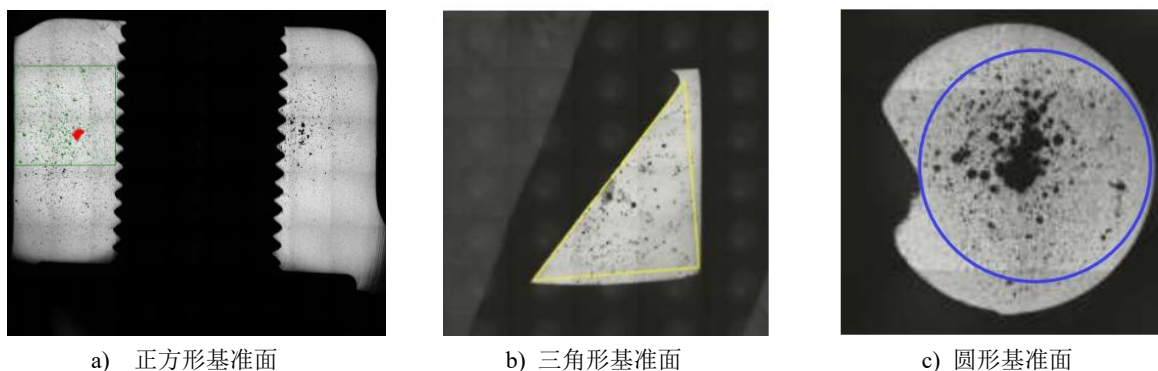


图 8 选取的测定基准面

8.3.2 评判面应为围绕孔和螺纹的最大圆环面展开的矩形，基准面应为围绕孔和螺纹的最大圆环面展开的矩形两个边长中较小的边长为正方形基准面的边长。

8.3.3 测定基准面应覆盖住评判面最大可能的面积，允许基准面产生偏差，偏差不应大于评判面面积 5% 的偏差，二值化计算孔隙率时应在以后基准面的计值中剔除，见图 9。

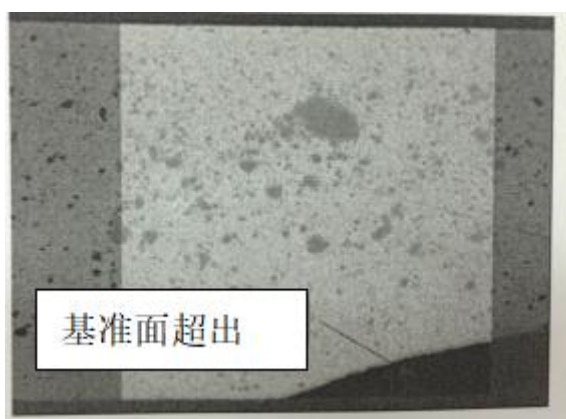


图 9 基准面超出时的选取

8.3.4 不同形状的压铸件基准面选择应满足下列要求：

- a) 正方形的一边与密封件局部宽度相符合，或相当于图纸中说明的凹槽通道时，应将基准面的突缘在稍后基准面的计值评价时扣除。密封面中的基准面突缘，允许不受限制。
- b) 也适用于近似圆环形的压铸件几何形状，倒圆的角和形成近似圆环形几何形状的切割或加工的表面。

8.3.5 在强度观点下选择参考面可导致小的测定基准面与较大的测定基准面或其他形状的测定基准面重叠。薄壁到厚壁范围的测定基准面叠加不应大于较小测定基准面的 50%，见图 10，图中 A/B 宜小于 1。

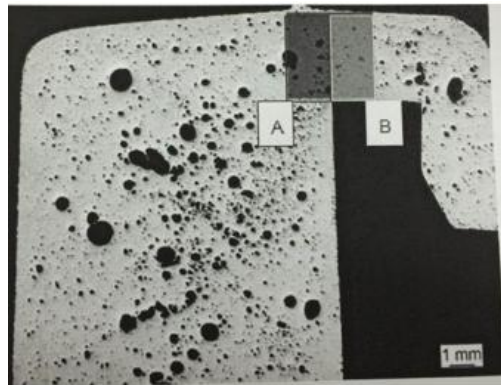


图 10 基准面位置叠加时的处理

8.3.6 复杂几何形状的压铸件基准面确定有异议时，应与最终验收方磋商。

#### 8.4 孔隙率测定

在金相显微镜软件下，打开保存的拼接图片，“加载标尺/二值化/处理图像并提取孔洞”。图像处理好后应关闭二值图像处理窗口，打开“专用/第二相面积含量测定”，测出压铸件孔隙率。

#### 8.5 孔隙率定级

##### 8.5.1 D、S、G 类型的压铸件孔隙率

D、S、G 类型的压铸件孔隙率应选取孔隙率最大的数值并将数值修约。1%~4%时应修约到整数；大于5%时，宜以5%为级数修约，0%不应存在。

注 1：如果孔隙率要求 < 5%，除了指定的参考面的孔隙百分比含量外，任何参考面的子参考区域（单个视场）的孔隙率均应满足 < 4% 的要求。子参考区域（视场）固定的尺寸要求为  $(4 \times 3) \text{ mm}^2$ 。

注 2：整数步幅从 1% 到 4%（即 1%~4% 时修约到整数）；大于 5% 时以 5% 为级数进行整数步幅修约。0% 的规格是不存在的。< 5% 的规格值只有在开发实验室同意的情况下才允许。

##### 8.5.2 F 类型的压铸件最大孔隙数量

F 类型的压铸件最大孔隙以毫米标识，大于 0.25 mm 孔隙的修约级数宜为 0.05 mm，孔隙直径小于 0.25 mm 忽略不计。

## 9 测定报告

孔隙率测定报告包括但不限于下列内容：

- a) 试样名称；
- b) 试样批号；
- c) 报告编号；
- d) 检测日期；
- e) 检测人；
- f) 剖切位置；

- g) 放大倍数;
- h) 孔隙率/最大孔隙数量;
- i) 判定结论。

## 10 精度与偏差

10.1 孔隙率测量精度及偏差应根据试样代表性及选择测量的抛光面确定。试样及视场选择应分析孔隙率在铸件内变化。

10.2 孔隙率测量的相对精度随着从铸件中取样数量的增加而提高。每个试样孔隙率测量的相对精度随着抽取的视场数的增加而提高，重复性误差不应大于 $\pm 2\%$ 。

10.3 试样制备不适当时，将会产生测量偏差。提高测量精度应真实地显示气孔或缩孔最严重的区域。

10.4 使用不恰当的放大倍数来测量孔隙率可产生测量偏差。



### 参 考 文 献

- [1] VDG P 201-2002 《Volume Deficits of Non-Ferrous Metal Castings》
- [2] VDG P 202-2010 《Volume Deficits of Castings Made from Aluminium, Magnesium, and Zinc Casting Alloys》
- [3] VW 50093-2012 《Porosity of Castings Requirements》
- [4] PV 6093-2012 《Porosity Determination as per VW 50093》
- [5] SMTC 5 200 028-2014 (V1) 《金属材料孔隙度测定方法》
- [6] SMTC 5 200 030 -2013 (V4) 《金属铸件孔隙度要求》

