



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 6394—2002

---

## 金属平均晶粒度测定方法

Metal-methods for estimating the average grain size

2002-12-31 发布

2003-06-01 实施

---

中华人民共和国  
国家质量监督检验检疫总局 发布

## 前 言

本标准修改采用 ASTM E112—1996《测定平均晶粒度试验方法》。

本标准自实施之日起, YB/T 5148—1993《金属平均晶粒度测定方法》作废。

本标准根据 ASTM E112—1996 重新起草。为了方便比较, 在资料性附录 D 中列出了本国家标准条款和 ASTM E112—1996 标准条款的对照一览表。

由于我国法律要求和工业的特殊需要, 本标准在采用 ASTM E112—1996 标准时进行了修改。这些技术性差异用垂直单线标识在它们所涉及的条款的页边空白处。在附录 D 中给出了技术差异及其原因一览表以供参考。

本标准与 YB/T 5148—1993 相比主要变化如下:

——修改各系列评级图适用范围的说明;

——将晶粒显示方法作为附录编写, 增加模拟渗碳法和网状铁素体法, 删去珠光体法, 并分奥氏体晶粒形成及显示两部分叙述;

——删去截点法中表 4a、表 4b 和图 3;

——增加了“6 非等轴晶试样的晶粒度”;

——增加了“7 含两相或多相及组元试样的晶粒度”。

本标准的附录 A、附录 B、附录 C 为规范性附录, 附录 D 为资料性附录。

本标准由原国家冶金工业局提出。

本标准由全国钢标准化技术委员会归口。

本标准主要起草单位: 抚顺特殊钢(集团)有限责任公司、冶金工业信息标准研究院。

本标准主要起草人: 曾文涛、栾 燕、谷 强、刘忠平。

## 引 言

本标准规定了金属材料平均晶粒度的基本测量方法。由于纯粹以晶粒几何图形为基础,与金属或合金本身无关。因此,这些基本方法也可用来测量非金属材料中晶粒、晶体和晶胞的平均尺寸。如果材料的组织形貌接近于某一个标准系列评级图,可使用比较法。测定平均晶粒度常用比较法,也可用截点法和面积法。但是,比较法不能用来测量单个晶粒。

# 金属平均晶粒度测定方法

## 1 范围

1.1 本标准规定了金属组织的平均晶粒度表示及评定方法。这些方法也适用于晶粒形状与本标准系列评级图相似的非金属材料。这些方法主要适用于单相晶粒组织,但经具体规定后也适用于多相或多组元的试样中特定类型的晶粒平均尺寸的测量。

1.2 本标准使用晶粒面积、晶粒直径、截线长度的单峰分布来测定试样的平均晶粒度。这些分布近似正态分布。本标准的测定方法不适用于双峰分布的晶粒度。

1.3 本标准的测量方法仅适用平面晶粒度的测量,也就是试样截面显示出的二维晶粒,不适用于试样三维晶粒,即立体晶粒尺寸的测量。

1.4 本标准仅作为推荐性试验方法,它不能确定受检材料是否接收或适合使用的范围。

## 2 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

### 2.1

**晶粒 grain**

晶界所包围的整个区域,即是二维平面原始界面内的区域或是三维物体内的原始界面内所包括的体积。对于有孪生界面的材料,孪生界面忽略不计。

### 2.2

**晶粒度 grain size**

晶粒大小的量度。通常使用长度、面积、体积或晶粒度级别数来表示不同方法评定或测定的晶粒大小,而使用晶粒度级别数表示的晶粒度与测量方法和计量单位无关。

### 2.3

**晶粒度级别数 grain-size number**

#### 2.3.1

**显微晶粒度级别数  $G$  micro-grain size number  $G$**

在 100 倍下  $645.16 \text{ mm}^2$  面积内包含的晶粒个数  $N$  与  $G$  有如下关系:

$$N = 2^{G-1}$$

#### 2.3.2

**宏观晶粒度级别数  $G_m$  macro-grain size number  $G_m$**

在 1 倍下  $645.16 \text{ mm}^2$  面积内包含的晶粒个数  $N$  与  $G_m$  有如下关系:

$$N = 2^{G_m-1}$$

## 2.4 符号

本标准采用的符号见表 1 所示。

表 1 符号及其说明

符 号	名称及说明	单 位
$G$	显微晶粒度级别数	
$G_m$	宏观晶粒度级别数	
$M$	观测所用的放大倍数	
$M_b$	标准评级图基准放大倍数	
$Q$	非基准放大倍数下评定显微晶粒度的修正系数	
$Q_m$	非基准放大倍数下评定宏观晶粒度的修正系数	
$A$	测量网格面积	$\text{mm}^2$
$L$	测量网格的长度	$\text{mm}$
$N_{\text{pl}}$	测量网格内的晶粒数( $M\times$ )	
$N_{\text{p}\times}$	与测量网格相交或相切的晶粒数( $M\times$ )	
$N$	晶粒个数( $M\times$ )	
$N_A$	测量网格上单位面积内的晶粒个数( $M\times$ )	$1/\text{mm}^2$
$n_a$	试样检测面上每平方毫米内的晶粒数( $1\times$ )	$1/\text{mm}^2$
$P$	测量网格与晶界相交截点数( $M\times$ )	
$P_L$	测量网格上单位长度截点数( $M\times$ )	$1/\text{mm}$
$\bar{p}_1$	试样检测面上每毫米内平均截点数( $1\times$ )	$1/\text{mm}$
$p_1$	试样检测面上每毫米截点数	$1/\text{mm}$
$\bar{a}$	晶粒平均截面积( $1\times$ )	$\text{mm}^2$
$\bar{d}$	晶粒平均直径( $1\times$ )	$\text{mm}$
$\bar{l}$	晶粒平均截距( $1\times$ )	$\text{mm}$
$\bar{n}_a$	每平方毫米内的平均晶粒数	$1/\text{mm}^2$
$\bar{n}_{a1}$	非等轴晶纵向上放大1倍时每平方毫米内平均晶粒数	$1/\text{mm}^2$
$\bar{n}_{a1}$	非等轴晶横向上放大1倍时每平方毫米内平均晶粒数	$1/\text{mm}^2$
$\bar{n}_{ap}$	非等轴晶法向上放大1倍时每平方毫米内平均晶粒数	$1/\text{mm}^2$
$\bar{p}_{11}$	非等轴晶纵向上放大1倍时每毫米内平均截点数	$1/\text{mm}$
$\bar{p}_{11}$	非等轴晶横向上放大1倍时每毫米内平均截点数	$1/\text{mm}$
$\bar{p}_{1p}$	非等轴晶法向上放大1倍时每毫米内平均截点数	$1/\text{mm}$
$N_a$	测量网格与基相( $\alpha$ )晶粒相交截的晶粒个数	$1/\text{mm}$
$\bar{l}_a$	基相( $\alpha$ )晶粒平均截距	$\text{mm}$
$V_{V\alpha}$	基相( $\alpha$ )晶粒的体积分数	
$A_{A\alpha}$	基相( $\alpha$ )晶粒的面积分数	
$AI$	非等轴晶粒伸长率(或纵向平面各向异性系数)	

### 3 使用概述

3.1 本标准规定了测定平均晶粒度的基本方法：比较法、面积法和截点法。

3.1.1 比较法：比较法不需计算任何晶粒、截点或截距。与标准系列评级图进行比较，评级图有的是标准挂图、有的是目镜插片。用比较法评估晶粒度时一般存在一定的偏差( $\pm 0.5$ 级)。评估值的重现性与再现性通常为 $\pm 1$ 级。

3.1.2 面积法：面积法是计算已知面积内晶粒个数，利用单位面积内晶粒数  $N_A$  来确定晶粒度级别数  $G$ 。该方法的精确度是所计算晶粒数的函数。通过合理计数可实现 $\pm 0.25$ 级的精确度。面积法的测定

结果是无偏差的,重现性与再现性小于 $\pm 0.5$ 级。面积法精确度关键在于晶粒界面明显划分晶粒的计数。

3.1.3 截点法:截点法是计算已知长度的试验线段(或网格)与晶粒界面相交截部分的截点数,利用单位长度截点数 $P_L$ 来确定晶粒度级别数 $G$ 。截点法的精确度是计算的截点或截矩的函数,通过有效的统计结果可达到 $\pm 0.25$ 级的精确度。截点法的测量结果是无偏差的,重现性和再现性小于 $\pm 0.5$ 级。对同一精度水平,截点法由于不需要精确标计截点或截矩数,因而较面积法测量快。

3.2 对于等轴晶组成的试样,使用比较法,评定晶粒度既方便又实用。对于批量生产的检验,其精度已足够了。对于要求较高精度的平均晶粒度的测定,可以使用面积法和截点法。截点法对于拉长的晶粒组成试样更为有效。

3.3 不能以标准评级图为依据测定单个晶粒。因为标准评级图的构成考虑到截平面与晶粒三维排列关系,显示出晶粒从最小到最大排列分布所反映出有代表性的正态分布结果。所以不能用评级图来测定单个晶粒。

3.4 测定晶粒度时,首先应认识到晶粒度的测定并不是一种十分精确的测量。因为金属组织是由不同尺寸和形状的三维晶粒堆积而成。即使这些晶粒的尺寸和形状相同,通过该组织的任一截面(检验面)上分布的晶粒大小,将从最大值到零之间变化。因此,在检验面上不可能有绝对尺寸均匀的晶粒分布,也不能有两个完全相同的检验面。

3.5 如有争议时,截点法是所有情况下仲裁的方法。

3.6 不能测定重度冷加工材的平均晶粒度。如有需要,对于部分再结晶合金和轻度的冷加工材料可视作非等轴晶组成。

3.7 在显微组织中晶粒尺寸和位置都是随机分布。因此,只有不带偏见地随机选取三个或三个以上代表性视场测量平均晶粒度才有代表性。所谓“代表性”即体现试样所有部分都对检验结果有所贡献,而不是带有遐想地去选择平均晶粒度的视场。只有这样,测定结果的准确性和精确度才是有效的。

3.8 不同观测者的测量结果在预定的置信区间内,有差异是允许的。

## 4 取样

4.1 测定晶粒度用的试样应在交货状态材料上切取。试样的数量及取样部位按相应的标准或技术条件规定。

4.2 切取试样应避开剪切、加热影响的区域。不能使用有改变晶粒结构的方法切取试样。

4.3 推荐试样尺寸为:

圆形(直径):10 mm~12 mm; 方形(边长):10 mm×10 mm

4.4 晶粒度试样不允许重复热处理。

4.5 渗碳处理用的钢材试样应去除脱碳层和氧化层。

## 5 晶粒度测定方法

### 5.1 比较法

比较法是通过与标准系列评级图对比来评定平均晶粒度。

5.1.1 比较法适用于评定具有等轴晶粒的再结晶材料或铸态材料。

5.1.2 使用比较法评定晶粒度时,当晶粒形貌与标准评级图的形貌完全相似时,评级误差最小。因此,本标准有下列四个系列标准评级图<sup>1)</sup>:

- a) 系列图片 I:无孪晶晶粒(浅腐蚀) 100 倍;
- b) 系列图片 II:有孪晶晶粒(浅腐蚀) 100 倍;

1) 标准系列评级图请与冶金工业信息标准研究院联系。

- c) 系列图片Ⅲ:有孪晶晶粒(深腐蚀)75倍;
- d) 系列图片Ⅳ:钢中奥氏体晶粒(渗碳法)100倍。

5.1.3 对各种常用材料建议使用的标准系列评级图片见表2所示。

表2 标准系列评级图适用范围

系列图片号	适用范围
图 I	① 铁素体钢的奥氏体晶粒即采用氧化法、直接淬硬法、铁素体网法、渗碳体网法及其他方法显示的奥氏体晶粒 ② 铁素体钢的铁素体晶粒 ③ 铝、镁和镁合金、锌和锌合金、超强合金
图 II	① 奥氏体钢的奥氏体晶粒(带孪晶的) ② 不锈钢的奥氏体晶粒(带孪晶的) ③ 镁和镁合金、镍和镍合金、锌和锌合金、超强合金
图 III	铜和铜合金
图 IV	① 渗碳钢的奥氏体晶粒 ② 奥氏体钢的奥氏体晶粒(无孪晶的)

5.1.4 显微晶粒度的评定:

5.1.4.1 通常使用与相应标准系列评级图相同的放大倍数,直接进行对比。通过有代表性视场的晶粒组织图象或显微照片与相应表系列评级图或标准评级图复制透明软片比较,选取与检测图象最接近的标准评级图级别数,记录评定结果。

5.1.4.2 如将检测的晶粒图象与标准系列评级图投影到同一荧屏上,可提高评级精确度。

5.1.4.3 当待测晶粒度超过标准系列评级图片所包括的范围或基准放大倍数(75、100倍)不能满足需要时,可采用表3、表4或按5.1.4.4给出的关系进行换算处理。

5.1.4.4 若采用其他放大倍数  $M$  进行比较评定,将放大倍数  $M$  的待测晶粒图象与基准放大倍数  $M_b$  的系列评级图片比较,评出的晶粒度级别数  $G'$ ,其显微晶粒度级别数  $G$  为:

$$G = G' + Q$$

式中:

$$Q = 6.643 \lg \frac{M}{M_b}$$

表3 评级图Ⅲ在不同放大倍数下所测定的显微晶粒度关系

图象的放大倍数	评级图Ⅲ图片编号(75×)													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
25×	0.015 (9.2)	0.030 (7.2)	0.045 (6.0)	0.060 (5.2)	0.075 (4.5)	0.105 (3.6)	0.135 (2.8)	0.150 (2.5)	0.180 (2.0)	0.210 (1.6)	0.270 (0.8)	0.360 (0)	0.451 (0/00)	0.600 (00+)
50×	0.0075 (11.2)	0.015 (9.2)	0.0225 (8.0)	0.030 (7.2)	0.0375 (6.5)	0.053 (5.6)	0.0675 (4.8)	0.075 (4.5)	0.090 (4.0)	0.105 (3.6)	0.135 (2.8)	0.180 (2.0)	0.225 (1.4)	0.300 (0.5)
75×	0.005 (12.3)	0.010 (10.3)	0.015 (9.2)	0.020 (8.3)	0.025 (7.7)	0.035 (6.7)	0.045 (6.0)	0.050 (5.7)	0.060 (5.2)	0.070 (4.7)	0.090 (4.0)	0.120 (3.2)	0.150 (2.5)	0.200 (1.7)
100×	0.0037 (13.2)	0.0075 (11.2)	0.0112 (10.0)	0.015 (9.2)	0.019 (8.5)	0.026 (7.6)	0.034 (6.8)	0.0375 (6.5)	0.045 (6.0)	0.053 (5.6)	0.067 (4.8)	0.090 (4.0)	0.113 (3.4)	0.150 (2.5)
200×	0.0019 (15.2)	0.0037 (13.2)	0.0056 (12.0)	0.0075 (11.2)	0.009 (10.5)	0.013 (9.6)	0.017 (8.8)	0.019 (8.5)	0.0225 (8.0)	0.026 (7.6)	0.034 (6.8)	0.045 (6.0)	0.056 (5.4)	0.075 (4.5)
400×	—	0.0025 (14.3)	0.0037 (13.2)	0.005 (12.3)	0.006 (11.7)	0.009 (10.7)	0.011 (10.0)	0.125 (9.7)	0.015 (9.2)	0.0175 (8.7)	0.0225 (8.0)	0.030 (7.2)	0.0375 (6.5)	0.050 (5.7)
500×	—	—	0.003 (13.8)	0.004 (13.0)	0.005 (12.3)	0.007 (11.4)	0.009 (10.6)	0.010 (10.3)	0.012 (9.8)	0.014 (9.4)	0.018 (8.6)	0.024 (7.8)	0.030 (7.2)	0.040 (6.3)

注1:第一行为晶粒平均直径  $d(\text{mm})$ ;括号内为相应的显微晶粒度级别数。

注2:评级图Ⅲ的放大倍数为75×(第三栏内的数据)。

表 4 与标准系列评级图 I、II、IV 等同图象的晶粒度级别数

图象的放大倍数	标准系列评级图编号(100×)									
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10
25	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
50	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8
100	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
200	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
400	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
800	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

### 5.1.5 宏观晶粒度的评定:

5.1.5.1 对于特别粗大的晶粒使用宏观晶粒度进行的测定,放大倍数为 1 倍,直接将准备好的有代表性的晶粒图象与系列评级图 I (非孪晶)和图 II 及图 III (孪晶)进行比较评级。由于标准评级图是在 75 倍和 100 倍下制备的,待测宏观晶粒不可能完全与系列评级图的级别一致。为此,宏观晶粒度可用平均晶粒直径或表 6 所列的宏观晶粒度级别数  $G_m$  来表示。

5.1.5.2 当晶粒较小时,最好选用稍高的放大倍数  $M$  进行宏观晶粒度的评定。若评出的晶粒度级别数为  $G'_m$ ,其宏观晶粒度级别数为  $G_m$  为:

$$G_m = G'_m + Q_m$$

式中:

$$Q_m = 6.643 \lg M。$$

5.1.6 使用比较法时,如需复验,可改变放大倍数,以克服初验结果可能带有的主观偏见。

### 5.2 面积法

面积法是通过计算给定面积网格内的晶粒数  $N$  来测定晶粒度。

#### 5.2.1 晶粒数 $N$ 的计算:

将已知面积(通常使用 5 000 mm<sup>2</sup>)的圆形测量网格置于晶粒图形上,选用网格内至多能截获并不超过 100 个晶粒(建议 50 个晶粒为最佳)的放大倍数  $M$ ,然后计算完全落在测量网格内的晶粒数  $N_{\text{内}}$  和被网格所切割的晶粒数  $N_{\text{交}}$ ,于是,该面积范围内的晶粒计算  $N$  为:

$$N = N_{\text{内}} + \frac{1}{2}N_{\text{交}} - 1$$

5.2.2 试样检测上的每平方毫米内晶粒数  $n_s$  的计算:通过测量网格内晶粒数  $N$  和观测用的放大倍数  $M$ ,可计算出实际试样面上(1×)的每平方毫米内晶粒数  $n_s$ :

$$n_s = \frac{M^2 \cdot N}{A}$$

式中:

$M$ ——所使用的放大倍数;

$N$ ——放大  $M$  倍时,使用面积为  $A$  的测量网格内晶粒计数;

$A$ ——所使用的测量网格面积,单位为平方毫米(mm<sup>2</sup>)。

#### 5.2.3 晶粒度级别数 $G$ 的计算:

$$G = 3.321 \ 928 \lg n_s - 2.954$$

或

$$G = 3.321 \ 928 \lg \left( \frac{M^2 \cdot N}{A} \right) - 2.954$$

5.2.4 测量视场的选择应是不带偏见地随机选择,不允许附加任何典型视场的选择,这才是真实有效。

### 5.3 截点法

截点法是通过计数给定长度的测量线段(或网格)与晶粒边界相交截点数  $P$  来测定晶粒度。

截点法较面积法简捷,此方法建议使用手动计数器,以防止计数的正常误差和消除预先估计过高或



过低的偏见。

对于非均匀等轴晶粒的各种组织应使用截点法,对于非等轴晶粒度,截点法既可用于分别测定三个相互垂直方向的晶粒度,也可计算总体平均晶粒度。

截点法有直线截点法和圆截点法。圆截点法可不必过多的附加视场数,便能自动补偿偏离等轴晶而引起的误差。圆截点法克服了试验线段端部截点法不明显的毛病。圆截点法作为质量检测评估晶粒度的方法是比较合适的。

### 5.3.1 截点法的测定

5.3.1.1 平均截距  $\bar{l}$ : 试样检验面上晶粒截距的平均值。

$$\bar{l} = \frac{L}{M \cdot P} = \frac{1}{p_1}$$

式中:

$L$ ——所使用的测量线段(或网格)长度,单位为毫米(mm);

$\bar{l}$ ——试样检验面上(1×)晶粒截距的平均值。

$M$ ——观测用放大倍数;

$P$ ——测量网格上的截点数;

$p_1$ ——试样检验面上每毫米内的平均截点数。

5.3.1.2 平均晶粒度级别数  $G$  的计算:

$$G = (-6.643 856 \lg \bar{l}) - 3.288$$

或

$$G = 6.643 856 \lg \left( \frac{M \cdot P}{L} \right) - 3.288$$

### 5.3.2 500 mm 测量网格

推荐使用 500 mm 测量网格,尺寸如图 1。

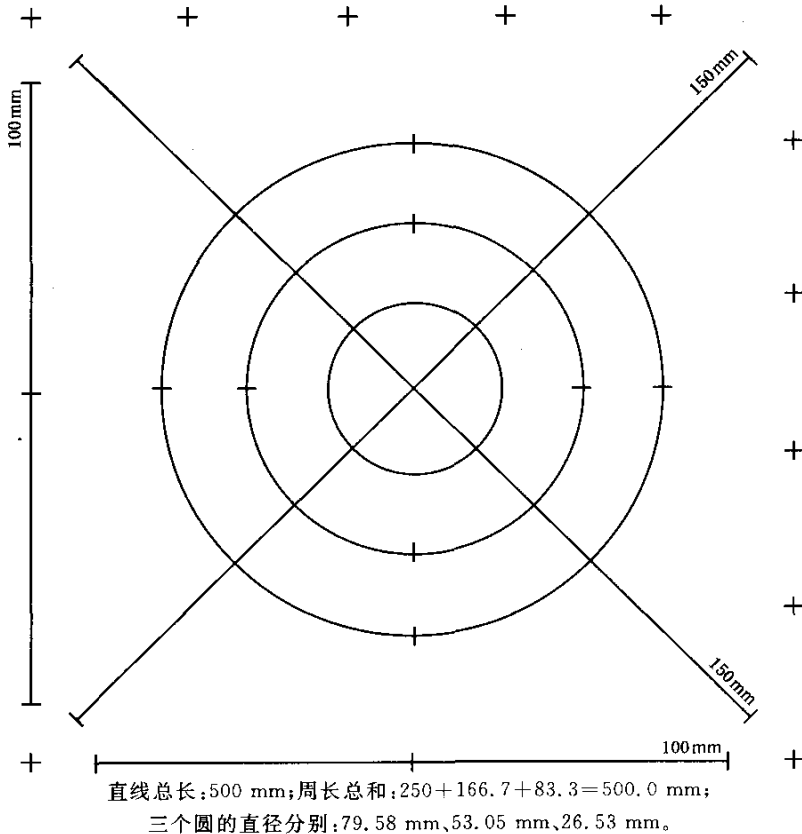


图 1 截点法用 500 mm 测量网格(mm)

### 5.3.3 直线截点法

5.3.3.1 在晶粒图象上,采用一条或数条直线组成测量网格,选择适当的测量网格长度和放大倍数,以保证最少能截获约 50 个截点。根据测量网格的所截获的截点数来确定晶粒度。

5.3.3.2 计算截点时,测量线段终点不是截点不予计算。终点正好接触到晶界时,计为 0.5 个截点。测量线段与晶界相切时,计为 1 个截点。明显地与三个晶粒汇合点重合时,计为 1.5 个截点。在不规则晶粒形状下,测量线在同一晶粒边界不同部位产生的两个截点后有伸入形成新的截点,计算截点时,应包括新的截点。

5.3.3.3 为了获得合理的平均值,应任意选择 3 至 5 个视场进行测量。如果这一平均值的精度不满足要求时,应增加足够的附加视场。视场的选择应尽量广地分布在试样的检测面上。

5.3.3.4 对于明显的非等轴晶组织,如经中度加工过的材料,通过对试样三个主轴方向的平行线束来分别测量尺寸,以获得更多数据。通常使用纵向和横向部分。必要时也可使用法向。图 1 中任一条 100 mm 线段,可平行位移在同一图象中标记“+”处五次来使用。

### 5.3.4 单圆截点法

5.3.4.1 对于试样上不同位置晶粒度有明显差别的材料,应采用单圆截点法,在此情况下需要进行大量视场的测量。

5.3.4.2 使用的测量网格的圆可为任一周长,通常使用 100 mm、200 mm 和 250 mm,也可使用图 1 所示的各个圆。

5.3.4.3 选择适当的放大倍数,以满足每个圆周产生 35 个左右截点。测量网格通过三个晶粒汇合点时,计为 2 个截点。

5.3.4.4 将所需要的几个圆周任意分布在尽可能大的检验面上,视场数的增加直至获得足够的计算精度。

### 5.3.5 三圆截点法

5.3.5.1 试验表明,每个试样截点计数达 500 时,常获得可靠的精确度,对测量数据进行  $X^2$ (Kai 方)检验,结果表明截点计数服从正态分布,从而允许对测量值按正态分布的统计方法处理,对每次晶粒度测定结果可计算出置信区间(方法见附录 B)。

5.3.5.2 测量网格由三个同心等距,总周长为 500 mm 的圆组成,如图 1 所示。将此网格用于测量任意选择的五个不同视场上,分别记录每次的截点数。然后计算出平均晶粒度和置信区间,如置信区间不合适,需增加视场数,直至置信区间满足要求为止。

5.3.5.3 选择适当的放大倍数,使三个圆的试验网格在每一视场上产生 50 个~100 个截点计数,目的是通过选择 5 个视场后可获得 400 个~500 个总截点计数,以满足合理的误差。

5.3.5.4 测量网格通过三个晶粒汇合点时截点计数为 2 个。

5.3.5.5 图 2 给出 500 mm 测量网格在不同放大倍数下,截点计数与晶粒度级别数  $G$  的关系。

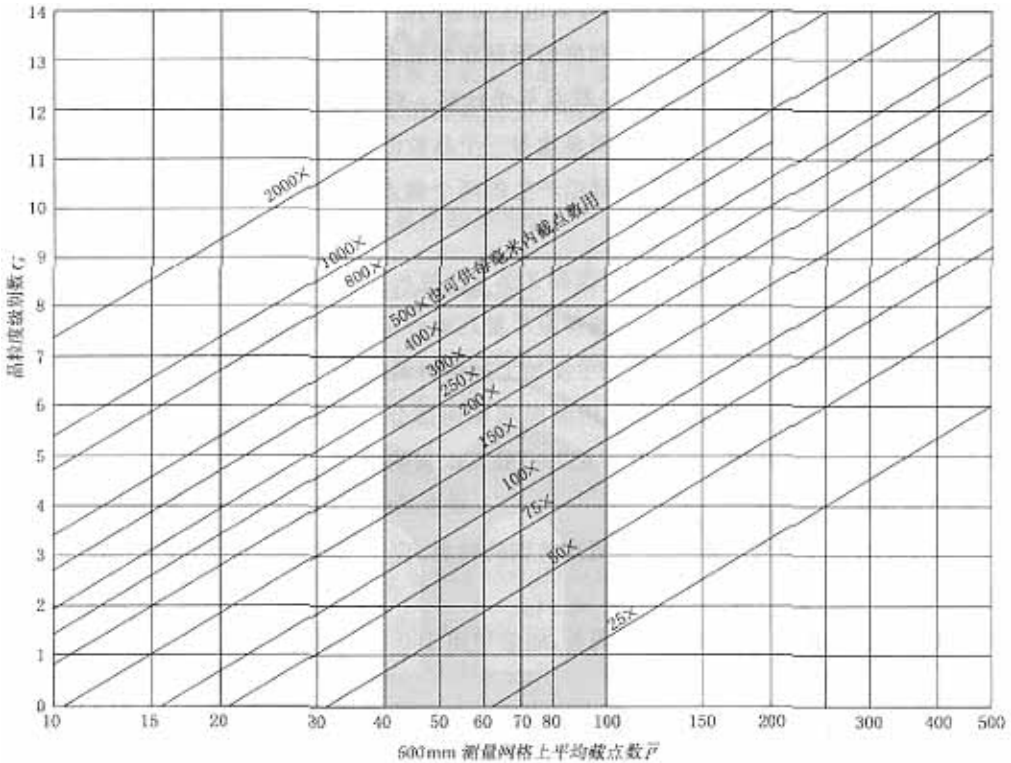


图 2 500 mm 测量网格的截点计数直接确定显微晶粒度级别数

## 6 非等轴晶试样的晶粒度

6.1 如晶粒形状因加工而改变,不再是等轴形状。对于矩形的棒材或板材晶粒度应在材的纵向、横向及法向截面上进行测定,对于圆棒材晶粒度应在纵向和横向截面上测定。如果等轴偏差不太大(3:1形状比),可在纵向试样面上使用圆形测量网格进行分析。如果使用直线取向测量网格进行测定,可使用三个主要截面的任意两个面上进行三个取向的测量。

### 6.2 面积法:

6.2.1 当晶粒形状不是等轴而变长,运用面积法测定晶粒度方法是在三个主平面上进行晶粒计数,也就是测定纵向、横向及法向平面上放大1倍时每平方毫米内的平均晶粒数  $\bar{n}_{el}$ 、 $\bar{n}_{at}$ 、 $\bar{n}_{ap}$ 。然后计算出每平方毫米内的平均晶粒数  $\bar{n}_a$ :

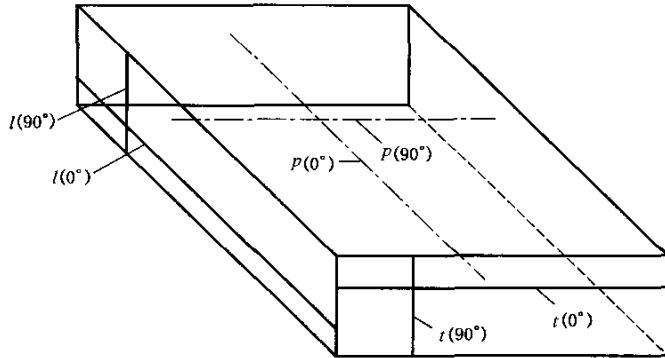
$$\bar{n}_a = (\bar{n}_{el} \cdot \bar{n}_{at} \cdot \bar{n}_{ap})^{\frac{1}{3}}$$

6.2.2 通过  $\bar{n}_a$  平均值计算晶粒度级别数  $G$ 。

$$G = 3.321\ 928 \lg \bar{n}_a - 2.954\ 2$$

### 6.3 截点法:

6.3.1 要估计非等轴晶组织的晶粒度,可使用圆测量网格随机地放在三个主检验面上进行。或使用直线段在3个或6个主要方向上2个或3个主检验面(见图3)进行截点计数。对于等轴形状偏离不太严重( $\leq 3:1$ 形状比)的晶粒度的测量使用圆测量网格在纵向面上进行测量是可接受的。



$l$ ——纵向面；  
 $t$ ——横向面；  
 $p$ ——法向面。

图3 晶粒度测量中，测量直线6种可能取向

6.3.2 非等轴晶组织的晶粒度可以通过每毫米内晶界截点数平均值 $\bar{p}_1$ 来确定。

$$G = 6.643\ 856 \lg \bar{p}_1 - 3.288$$

6.3.3  $\bar{p}_1$ 值可通过测定三个基本平面上的单位长度长的截点数计算：

$$\bar{p}_1 = (\bar{p}_n \cdot \bar{p}_t \cdot \bar{p}_l)^{\frac{1}{3}}$$

6.3.4 利用 $l=1/p_1$ 关系，通过取向上平行(0°)和垂直(90°)于变形方向的平均截距，可确定晶粒伸长率或各向异性系数 $AI$ ：

$$AI = \frac{\bar{l}_1(0^\circ)}{\bar{l}_1(90^\circ)}$$

式中：

$\bar{l}_1(0^\circ)$ ——纵向面上，平行于变形方向上的平均截距；

$\bar{l}_1(90^\circ)$ ——纵向面上，垂直于变形方向上的平均截距。

6.3.5 三维晶粒的形状，可通过三个主基础面上的平均截距来确定。

$$\bar{l}_1(0^\circ) : \bar{l}_1(90^\circ) : \bar{l}_p(90^\circ)$$

式中：

$\bar{l}_1(0^\circ)$ ——纵向面上平行变形方向的平均截距；

$\bar{l}_1(90^\circ)$ ——横向面上垂直变形方向的平均截距；

$\bar{l}_p(90^\circ)$ ——法向面上垂直变形方向的平均截距。

## 7 含两相或多相及组元试样的晶粒度

对于多相或多组元的晶粒度测定符合下述情况可依下述方法处理。

7.1 对少量的第二相的颗粒，不论是否是所希望的形貌，测定晶粒度时可忽略不计，也就是说当作为单相物质结构来处理，可使用面积法和截点法测定其晶粒度，若无另有规定，其有效的平均晶粒度应视作

为基体晶粒度。

7.2 比较法 对于大多工业生产检验,如果第二相(或组元)基本上与基体晶粒大小相同由岛状或片状组成,或者是第二相质点(晶粒)的数量少而尺寸又小的,并位于初生晶粒的晶界处,此时可使用比较法。

7.3 面积法 如果基体晶粒边界清晰可见,且第二相(组元)质点(晶粒)主要存在于基体晶粒之间而不在晶粒内时,可使用面积法进行晶粒度测定。选用的测量网格面积大小,应以只能覆盖基体晶粒为度,通过统计测量网格面积内晶粒数  $N$  来确定基体晶粒度。其有效平均晶粒度由每一基相的晶粒度来确定。

7.4 截点法:

7.4.1 适用于 7.3 条面积法的限制条件同样适用于本截点法。此外,还应确定基相( $\alpha$ )的体积分数  $V_{v\alpha}$ 。然后使用单圆或三圆的测量网格,计数出测量网格与基体晶粒相交截的晶粒数  $N_s$ 。按下述确定基相晶粒的平均截距:

$$\bar{l}_s = (V_{v\alpha}) \cdot \left( \frac{L}{M \cdot N_s} \right)$$

式中:

$V_{v\alpha}$ ——为基相( $\alpha$ )晶粒体积分数,可利用  $V_{v\alpha} = A_{A\alpha}$  (基相晶粒面积分数)关系估计  $V_{v\alpha}$ ;

$L$ ——测量网格长度,单位为毫米(mm);

$M$ ——放大倍数;

$N_s$ ——测量网格与基相晶粒交截数。

利用下式计算出有效晶粒度:

$$G = (-6.643856 \lg \bar{l}_s) - 3.288$$

式中:

$\bar{l}_s$ ——基相( $\alpha$ )晶粒平均截距,单位为毫米(mm)。

## 8 晶粒度的数值表示

8.1 使用任何一种方法测量晶粒度,最初是以单位面积上的晶粒数( $N_A$ )或单位长度上晶界截点数( $P_L$ )来表示。这些数值使用往往不方便,因此,通常以晶粒平均直径( $\bar{d}$ )、平均截距( $\bar{l}$ )、晶粒平均截面积( $\bar{a}$ )、及晶粒度级别数( $G$ )等量来表示。

8.2 因为晶粒度的各种数值表示都是由初测量值  $n_s$  和  $p_l$  通过对数或倒数关系而算出的。所以,要表示一组试样的晶粒度,不能简单地将各个晶粒度计算值进行平均。否则所得到的平均值将是试样中实际不存在的晶粒度,并且也不能进行各种晶粒度计算值的相互转换。如取样数量少,可取该组数值的中位数表示试样的晶粒度。如取样数量多,其测量值服从正态分布,可先求出  $n_s$  和  $p_l$  平均值后,再计算出晶粒度的各数值。

8.3 若试样中发现晶粒不均匀现象,经全面观察后,如属偶然或个别现象,可不予计算。如较为普遍,则应计算出不同级别晶粒在视场中各占面积百分比。若晶粒所占的面积不少于视场面积的 90%,则只记录此一种晶粒的级别数。否则,应用不同级别数来表示该试样的晶粒度,其中第一个级别数代表占优势的晶粒的级别。

8.4 如有需要,对混合晶粒度评定时,可将混合各部分的晶粒分别按单峰分布评定平均晶粒度,并测定各部分的晶粒所占的百分比。如:7级 70%,2级 30%。

8.5 任意取向、均匀、等轴晶粒的显微晶粒度各数值关系见表 5。

表 5 任意取向、均匀、等轴晶粒的显微晶粒度关系

显微晶粒度 级别数 $G$	每平方毫米内晶粒数 $n_s$	晶粒平均截面积 $\bar{a}$		平均直径 $\bar{d}$		平均截距 $\bar{l}$		每毫米内截点数 $\rho_l$
	$1/\text{mm}^2$ ( $1\times$ )	$\text{mm}^2$	$\mu\text{m}^2$	$\text{mm}$	$\mu\text{m}$	$\text{mm}$	$\mu\text{m}$	
00	3.88	0.258 1	258 064	0.508 0	508.0	0.452 5	452.5	2.21
0	7.75	0.129 0	129 032	0.359 2	359.2	0.320 0	320.0	3.12
0.5	10.96	0.091 2	91 239	0.302 1	302.1	0.269 1	269.1	3.72
1.0	15.50	0.064 5	64 516	0.254 0	254.0	0.226 3	226.3	4.42
1.5	21.92	0.045 6	45 620	0.213 6	213.6	0.190 3	190.3	5.26
2.0	31.00	0.032 3	32 258	0.179 6	179.6	0.160 0	160.0	6.25
2.5	43.84	0.022 8	22 810	0.151 0	151.0	0.134 5	134.5	7.43
3.0	62.00	0.016 1	1 6129	0.127 0	127.0	0.113 1	113.1	8.84
3.5	87.68	0.011 4	11 405	0.106 8	106.8	0.095 1	95.1	10.51
4.0	124.00	0.008 06	8 065	0.089 8	89.8	0.080 0	80.0	12.50
4.5	175.36	0.005 70	5 703	0.075 5	75.5	0.067 3	67.3	14.87
5.0	248.00	0.004 03	4 032	0.063 5	63.5	0.056 6	56.6	17.68
5.5	350.73	0.002 85	2 851	0.053 4	53.4	0.047 6	47.6	21.02
6.0	496.00	0.002 02	2 016	0.044 9	44.9	0.040 0	40.0	25.00
6.5	701.45	0.001 43	1 426	0.037 8	37.8	0.033 6	33.6	29.73
7.0	992.00	0.001 01	1 008	0.031 8	31.8	0.028 3	28.3	35.36
7.5	1 402.9	0.000 71	713	0.026 7	26.7	0.023 8	23.8	42.04
8.0	1 984.0	0.000 50	504	0.022 5	22.5	0.020 0	20.0	50.00
8.5	2 805.8	0.000 36	356	0.018 9	18.9	0.016 8	16.8	59.46
9.0	3 968.0	0.000 25	252	0.015 9	15.9	0.014 1	14.1	70.71
9.5	5 611.6	0.000 18	178	0.013 3	13.3	0.011 9	11.9	84.09
10.0	7 936.0	0.000 13	126	0.011 2	11.2	0.010 0	10.0	100.0
10.5	11 223.2	0.000 089	89.1	0.009 4	9.4	0.008 4	8.4	118.9
11.0	15 872.0	0.000 063	63.0	0.007 9	7.9	0.007 1	7.1	141.4
11.5	22 446.4	0.000 045	44.6	0.006 7	6.7	0.006 0	5.9	168.2
12.0	31 744.1	0.000 032	31.5	0.005 6	5.6	0.005 0	5.0	200.0
12.5	44 892.9	0.000 022	22.3	0.004 7	4.7	0.004 2	4.2	237.8
13.0	63 488.1	0.000 016	15.8	0.004 0	4.0	0.003 5	3.5	282.8
13.5	89 785.8	0.000 011	11.1	0.003 3	3.3	0.003 0	3.0	336.4
14.0	126 976.3	0.000 008	7.9	0.002 8	2.8	0.002 5	2.5	400.0

## 8.6 任意取向、均匀、等轴晶粒的宏观晶粒度各数值关系见表6。

表6 任意取向、均匀、等轴晶粒的宏观晶粒度关系

宏观晶 粒度级 别数 $G_m$	每平方米内晶粒数 $n_s$	晶粒平均截面积 $\bar{a}$	平均直径 $\bar{d}$	平均截距 $l$	每毫米内截点数 $p_l$	100 mm 内截点数 $P$
	1/mm <sup>2</sup> (1×)	mm <sup>2</sup>	mm	mm	1/mm (1×)	1/100 mm (1×)
M-0	0.0008	1290.3	35.9	32.00	0.031	3.13
M-0.5	0.0011	912.4	30.2	26.91	0.037	3.72
M-1.0	0.0016	645.2	25.4	22.63	0.044	4.42
M-1.5	0.0022	456.2	21.4	19.03	0.053	5.26
M-2.0	0.0031	322.6	18.0	16.00	0.063	6.25
M-2.5	0.0044	228.1	15.1	13.45	0.074	7.43
M-3.0	0.0062	161.3	12.7	11.31	0.088	8.84
M-3.5	0.0088	141.0	10.7	9.51	0.105	105.1
M-4.0	0.0124	80.64	8.98	8.00	0.125	12.50
M-4.5	0.0175	57.02	7.55	6.73	0.149	14.87
M-5.0	0.0248	40.32	6.35	5.66	0.177	17.68
M-5.5	0.0351	28.51	5.34	4.76	0.210	21.02
M-6.0	0.0496	20.16	4.49	4.00	0.250	25.00
M-6.5	0.0701	14.26	3.78	3.36	0.297	29.73
M-7.0	0.099	10.08	3.17	2.83	0.354	35.36
M-7.5	0.140	7.13	2.67	2.38	0.420	42.05
M-8.0	0.198	5.04	2.25	2.00	0.500	50.00
M-8.5	0.281	3.56	1.89	1.68	0.595	59.46
M-9.0	0.397	2.52	1.59	1.41	0.707	70.71
M-9.5	0.561	1.78	1.33	1.19	0.841	84.09
M-10	0.794	1.26	1.12	1.00	1.00	100.0
M-10.5	1.122	0.891	0.994	0.841	1.19	118.9
M-11.0	1.587	0.630	0.794	0.707	1.41	141.1
M-11.5	2.245	0.445	0.667	0.595	1.68	168.2
M-12.0	3.175	0.315	0.561	0.500	2.00	200.0
M-12.3	3.908	0.256	0.506	0.451	2.22	221.9
M-12.5	4.490	0.223	0.472	0.420	2.38	237.8
M-13.0	6.349	0.157	0.397	0.354	2.83	282.8
M-13.3	7.817	0.128	0.358	0.319	3.14	313.8
M-13.5	8.979	0.111	0.334	0.297	3.36	336.4
M-13.8	11.055	0.091	0.301	0.268	3.73	373.2
M-14.0	12.699	0.079	0.281	0.250	4.00	400.0
M-14.3	15.634	0.064	0.253	0.225	4.44	443.8

## 9 晶粒度报告

### 9.1 铁素体钢

除用渗碳法显示奥氏体晶粒度外,其他方法应报告如下内容:

- a) 试样热处理的温度及保温时间;
- b) 显示晶粒边界的方法;
- c) 晶粒度级别数。

### 9.2 奥氏体钢

- a) 晶粒显示方法;
- b) 晶粒度级别数。

### 9.3 铜和铜合金

- a) 晶粒显示方法;
- b) 晶粒度以毫米为单位按平均直径报出。所谓“平均晶粒直径”是指检验面上所显示的晶粒平均“直径”。

### 9.4 其他金属及其合金

晶粒度显示方法及晶粒度数值按相关的技术条件或供需双方协议要求报告。

### 9.5 混合晶粒度

遇混合晶粒度时,应分别报告各种晶粒度及其所占面积百分比。



**附 录 A**  
(规范性附录)  
**晶粒度各种测量值的计算**

**A.1 不同放大倍数间晶粒度各种测量值的换算**

**A.1.1 面积法中晶粒数按式(A.1)换算:**

$$N_1 = N_2 \left( \frac{M_2}{M_1} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

$N_1$ ——换算成放大倍数为  $M_1$  的晶粒数;  
 $N_2$ ——放大倍数为  $M_2$  时测定的晶粒数。

**A.1.2 截点法中截点数按式(A.2)换算:**

$$P_1 = P_2 \left( \frac{M_2}{M_1} \right) \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

$P_1$ ——换算成放大倍数为  $M_1$  的截点数;  
 $P_2$ ——放大倍数为  $M_2$  时测定的截点数。

**A.1.3 长度按式(A.3)换算:**

$$l_1 = l_2 \left( \frac{M_1}{M_2} \right) \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

式中:

$l_1$ ——换算成放大倍数为  $M_1$  的长度;  
 $l_2$ ——放大倍数为  $M_2$  时测定的长度。

**A.2 表 5、表 6 中有关晶粒度数值的计算**

**A.2.1 晶粒平均截面面积按式(A.4)计算:**

$$\bar{a} = \frac{1}{n_a} \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

式中:

$\bar{a}$ ——晶粒平均截面面积,单位为平方毫米( $\text{mm}^2$ );  
 $n_a$ ——每平方毫米内的晶粒数。

**A.2.2 平均直径按式(A.5)计算:**

$$\bar{d} = \sqrt{\bar{a}} \quad \dots\dots\dots (A.5)$$

式中:

$\bar{d}$ ——晶粒的平均直径,单位为毫米(mm);  
 $\bar{a}$ ——晶粒平均截面面积,单位为平方毫米( $\text{mm}^2$ )。

**A.2.3 等效圆晶粒平均截距按式(A.6)计算:**

$$\bar{l} = \sqrt{\frac{\pi \bar{a}}{4}} \quad \dots\dots\dots (A.6)$$

式中:

$\bar{l}$ ——等效圆晶粒平均截距,单位为毫米(mm);  
 $\bar{a}$ ——平均晶粒截面面积,单位为平方毫米( $\text{mm}^2$ )。

**附 录 B**  
(规范性附录)

**晶粒度测定结果的置信区间及相对误差的计算**

**B.1 概述**

**B.1.1** 推荐使用本附录的统计方法,应用于截点法的数据处理中,以保证测量结果满足相应的置信区间及相对误差的要求。

**B.1.2** 晶粒度测量不可能是十分精确的测量。通过选取  $i$  个“代表性视场的测定而计算出晶粒度平均值,决不能将它看成固定可靠的晶粒度真实代表值。由于测量结果符合正态分布规律,应用统计学方法进行数据处理,可以用标准差为尺度,估计出所测定晶粒度平均值所在的置信区间(CI)。由于选取测量视场有限,样本小,本附录采用  $t$  分布统计方法处理测量数据。使用 95%置信区间(95%CI)表示测量结果有 95%的几率落在指定的置信区间内。

**B.1.3** 应该计算相对误差%RA,当%RA不大于 10 时,其测量结果视为有效。

**B.2 计算方法**

在放大倍数  $M$  下,使用长度为  $L$ (mm)的测量网格,通过测量结果,计算出相应的晶粒度级别数  $G$ 、95%CI 及相对误差。

把同一测量网格使用在  $i$  个视场上,测量获得的截点数分别为:  $P_1$ 、 $P_2$ 、……、 $P_j$ ……、 $P_i$ 。

**B.2.1** 平均截点计数按式(B.1)计算:

$$\bar{P} = \sum_{j=1}^i P_j / i \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

**B.2.2** 截点计数的标准差按式(B.2)计算:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^i (P_j - \bar{P})^2}{i - 1}} \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

**B.2.3**  $\bar{P}$  相应的平均晶粒度级别数  $G$  按式(B.3)计算:

$$G = 6.643\ 856 \lg \left( \frac{M \cdot \bar{P}}{L} \right) - 3.288 \quad \dots\dots\dots (B.3)$$

式中:

$\bar{P}$ ——平均截点计数;

$M$ ——放大倍数;

$L$ ——测量网格长度,单位为毫米(mm)。

**B.2.4** 平均晶粒度  $G$  的相应的 95%置信区间(95%CI)按式(B.4)计算:

$$95\%CI = 3.321\ 928 \lg \left[ \frac{\bar{P} + t \cdot \frac{S}{\sqrt{i}}}{\bar{P} - t \cdot \frac{S}{\sqrt{i}}} \right] \quad \dots\dots\dots (B.4)$$

式中:

$\bar{P}$ ——平均截点计数;

$S$ ——截点计数的标准;

$i$ ——视场数。

式中的  $t$  值,根据选取视场数  $i$ ,按表 B.1 选取。

表 B.1

视场数 $i$	5	6	7	8	9	10	11	12
$t$ 值	2.776	2.571	2.447	2.365	2.306	2.262	2.228	2.201
视场数 $i$	13	14	15	16	17	18	19	20
$t$ 值	2.179	2.160	2.145	2.131	2.120	2.110	2.101	2.093

B.2.5 平均晶粒度的测量结果按式(B.5)表示:

$$G \pm 95\%CI \quad \dots\dots\dots (B.5)$$

B.2.6 测量结果的相对误差(%RA)按式(B.6)计算:

$$\%RA = \frac{95\%CI}{G} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (B.6)$$

如果%RA 对此预期要求相差太大,应补增视场数后重新计算。对于大多数的一般应用,%RA 不大于10%,测量结果视为有效的。

B.3 实例

在200倍下观测,使用500mm的测量网格在5个视场上获得截点数分别为:94、98、78、81、83。

B.3.1 利用式(B.1)计算平均截点数:

$$\bar{P} = \sum_{j=1}^i P_j / i = (94 + 98 + 78 + 81 + 83) / 5 = 84.80$$

B.3.2 利用式(B.2)计算平均计数的标准:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^i (P_j - \bar{P})^2}{i - 1}}$$

$$= \sqrt{\frac{(94 - 84.80)^2 + (98 - 84.80)^2 + (78 - 84.80)^2 + (81 - 84.80)^2 + (83 - 84.80)^2}{5 - 1}}$$

$$= 6.30$$

B.3.3 利用式(B.3)计算平均晶粒度级别数:

$$G = 6.643 \ 856 \lg\left(\frac{M \cdot \bar{P}}{L}\right) - 3.288 = 6.643 \ 856 \lg\left(\frac{200 \times 84.80}{500}\right) - 3.288 = 6.88$$

B.3.4 利用式(B.4)计算测量结果的95%CI:

$$95\%CI = 3.321 \ 928 \lg\left[\frac{\bar{P} + t \cdot \frac{S}{\sqrt{i}}}{\bar{P} - t \cdot \frac{S}{\sqrt{i}}}\right]$$

$$= 3.321 \ 928 \lg\left[\frac{84.8 + 2.776 \times 6.30 / \sqrt{5}}{84.8 - 2.776 \times 6.30 / \sqrt{5}}\right]$$

$$= 0.27$$

B.3.5 测量结果平均晶粒度的95%置信区间表示为:

$$G = 6.88 \pm 0.27$$

B.3.6 利用式(B.6)计算测量结果的相对误差(%RA):

$$\%RA = \frac{95\%CI}{G} \times 100\%$$

$$= \frac{0.27}{6.88} \times 100\%$$

$$= 3.92\%$$

该结果相对误差3.92%(%RA)小于10%,按常规认为是可接受的测量结果。

## 附录 C (规范性附录)

### 铁素体与奥氏体钢的奥氏体晶粒度形成及显示

#### C.1 范围

由于测定晶粒度前为了显示晶粒的某些特征,需对材料试样进行相应处理和工艺操作。本处理及操作供推荐使用。

#### C.2 奥氏体晶粒度的形成

##### C.2.1 铁素体钢

除非产品标准另有规定,奥氏体晶粒度应按下述方法之一形成。下述方法中碳含量指标仅作为建议。在形成奥氏体晶粒度多种方法中,了解晶粒成长及晶粒粗化有关知识对决定选用哪一种方法是有帮助的。任何一种钢,奥氏体晶粒度的大小,首先决定于加热温度和该温度下的保温时间。应注意到加热气氛会影响试样外层晶粒的长大。奥氏体晶粒也会受原先热处理如奥氏体化温度、淬火、正火、热加工和冷加工等影响。因此,在测定奥氏体晶粒度时,考虑原始和随后的热处理对试样的影响作用是应当的。

##### C.2.1.1 相关法

对于碳素钢和合金钢,试样热处理温度与材料相应的技术条件中改善材料使用性能的热处理相关,试样在不超过正常热处理温度  $30^{\circ}\text{C}$ ,但最高不超过  $930^{\circ}\text{C}$  下加热。保温时间  $1\text{ h}\sim 1.5\text{ h}$ ,冷却速度根据热处理方法而定。

##### C.2.1.2 渗碳(*McQuaid-Ehn*)法

碳含量(质量分数) $\leq 0.25\%$ 的碳素钢和合金钢,尤其是渗碳钢采用渗碳法显示奥氏体晶粒度。对于碳含量较高的钢不使用渗碳法。除非另有规定,渗碳试样热处理在  $930^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$  保温  $6\text{ h}$ ,必须保证获得  $1\text{ mm}$  以上的渗碳层,渗碳剂必须保证在规定的时间内产生过共析层。试样以缓慢的速度炉冷至下临界温度以下,足以在渗碳层的过共析区的奥氏体晶界上析出渗碳体网,试样冷却后切取新切面,经磨制和腐蚀,显示出过共析区奥氏体晶粒形貌。

##### C.2.1.3 模拟渗碳(*Mock Carburizing*)法

对于 C.2.1.2 所述的情况,进行没有渗碳气氛条件下的加热到模拟渗碳温度。保温足够时间后试样必须从模拟渗碳温度以足够快的冷却速度冷却,以形成马氏体,而不是缓冷。从试样切取检验面(注意:切割和抛光应防止过热)经抛光及腐蚀,以显示出原奥氏体晶界。

##### C.2.1.4 铁素体网法

亚共析钢,碳含量(质量分数) $0.25\%\sim 0.60\%$ 的碳素钢和合金钢,除非另有规定,一般对碳含量(质量分数) $\leq 0.35\%$ 钢的试样在  $900^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$  加热;碳含量(质量分数) $> 0.35\%$ 钢的试样在  $860^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$  加热,至少保温  $30\text{ min}$ ,然后空冷或水冷。在此范围内碳含量较高的碳钢和碳含量(质量分数)超过  $0.40\%$ 的合金钢需调整冷却方法,以便在奥氏体晶界上析出清晰的铁素体网。在此种情况下,建议试样在硬化加热的温度保持必要时间后,将温度降至  $730^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$ ,保温  $10\text{ min}$ ,随后淬油或淬水。试样经抛光和浸蚀后,通过沿晶界分布的铁素体网显示奥氏体晶粒。

##### C.2.1.5 氧化法

碳含量(质量分数) $0.25\%\sim 0.60\%$ 的碳素钢和合金钢,预抛磨试样一表面(参考使用约  $400$  粒度或

15  $\mu\text{m}$  磨料)将抛磨面朝上置于炉中,除非另有规定,对碳含量(质量分数) $\leq 0.35\%$ 钢的试样在  $900^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$  加热;碳含量(质量分数) $> 0.35\%$ 钢的试样在  $860^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$  下加热,保温 1 h,然后淬入冷水或盐水中。根据氧化情况,试样适当倾斜  $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$  进行研磨和抛光,尽可能完善显示出氧化层的奥氏体晶粒。

#### C.2.1.6 直接淬硬法

碳含量(质量分数)通常在  $1.00\%$  以下的碳素钢和合金钢,除非另有规定,一般碳含量(质量分数) $\leq 0.35\%$ 的试样置于  $900^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$  下加热;碳含量(质量分数) $> 0.35\%$ 的试样,置于  $860^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$  下加热,保温 1 h 后,以能产生完全淬硬的冷却速度进行淬火,获得马氏体组织,经抛磨和浸蚀后,显示出完全淬硬为马氏体的原奥氏体晶粒形状。腐蚀前可在  $230^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$  下回火 15 min,以改善对比度。

#### C.2.1.7 渗碳体网法

过共析钢[碳含量(质量分数) $> 1.00\%$ ],除非另有规定,一般在  $820^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$  加热,至少保温 30 min,然后以足够缓慢的速度随炉冷却至低于临界温度以下,使奥氏体晶界上析出渗碳体。试样经磨制和浸蚀,通过沿奥氏体晶界析出的碳化物显示奥氏体晶粒。

### C.2.2 奥氏体钢

C.2.2.1 对奥氏体材料,其奥氏体晶粒度取决原热处理状态。

### C.3 晶粒的显示

下述的显示方法及浸蚀剂(或其他未列入的浸蚀剂)应根据试样的具体情况,不论使用哪一种,都能达到清晰显示晶粒为目的。

#### C.3.1 铁素体钢

常用下列方法显示奥氏体晶粒度。

C.3.1.1 渗碳体显示晶粒 在渗碳法的过共析层或过共析钢冷却形成奥氏体晶粒时,由沉积在晶粒边界上的渗碳体显现出奥氏体晶粒度。常用的浸蚀剂有:

- a) 3%~4%硝酸乙醇溶液;
- b) 50%苦味酸溶液;
- c) 沸腾的碱性苦味酸钠水溶液(2 g 苦味酸、25 g 氢氧化钠、100 mL 水)。

C.3.1.2 铁素体显示晶粒 在渗碳试样的亚共析区,奥氏体晶粒被在晶界上析出的铁素体所显示出,在中碳钢[碳含量(质量分数)约 0.50%]当从奥氏体范围缓慢冷却时,铁素体近似地显示出原奥氏体晶粒形状。在低碳钢[碳含量(质量分数)约 0.20%]从奥氏体范围冷却到室温时,由于析出铁素体量过多,而遮掩了原奥氏体晶粒。在此情况时,钢样应缓冷至某一中间适当温度,仅允许少量铁素体析出,随后在水中速冷,如加热到  $900^{\circ}\text{C}$  的试样,转到  $730^{\circ}\text{C} \sim 780^{\circ}\text{C}$  的炉中,在此温度下保温 3 min~5 min,然后水冷。晶粒度将由小量铁素体勾画出低碳马氏体的晶粒形貌显示出原奥氏体晶粒度。常用的腐蚀剂有:

- a) 3%~4%硝酸乙醇溶液;
- b) 5%苦味酸乙醇溶液。

C.3.1.3 氧化法显示晶粒 氧化法是根据钢在氧化气氛下加热,氧化作用优先沿晶粒边界发生。因此通常的方法是抛磨试样一个金属磨面,在空气炉中按规定温度和保温时间加热,然后再轻抛磨试样到这样的尺度,以使试样上的晶粒被氧化物所显示出晶界。为了显示清晰,可用 15%盐酸乙醇溶液进行浸蚀。

C.3.1.4 用细珠光体显示马氏体晶粒 一种特别适用于共析钢的方法,共析钢用其他方法是不能如

此易识别晶粒。此方法：一是淬硬这样大小试样，使得外面被淬硬而内部不完全淬硬；二是采用梯度淬硬法，对加热的试样，浸入水部分完全浸硬，使留在淬火液上的部分不完全淬硬。上述任一方法，将会有一个不完全淬硬的小区域，在此区域内，原奥氏体晶粒将由小量细小珠光体（团状屈氏体）围绕着马氏体晶粒组成。以此显示出原奥氏体晶粒度。这种方法也可适用于较共析成分略低或略高的钢。常用的浸蚀液有：

a) 3%~4%硝酸乙醇溶液；

b) 5%苦味酸乙醇溶液。

**C.3.1.5 马氏体晶粒的浸蚀** 方法有二：其一是可通过改善马氏体晶粒间的对比差异的浸蚀剂时，用完全淬硬的马氏体来显示原奥氏体晶粒。浸蚀前在 230℃ 下回火为 15 min，可改善对比度。推荐试剂：1 g 苦味酸，5 mL 的 HCl（密度 1.19）和 95 mL 乙醇；其二是使用优先显示原奥氏体晶粒边界的试剂，效果较好的是含有缓蚀剂的饱和苦味酸水溶液，推荐试剂：2 g 苦味酸、1 g 十三苯亚磺酸钠（或其他适量的缓蚀剂）、100 mL H<sub>2</sub>O。试样应在淬硬状态或经不高于 537℃ 回火。此试验的成效有赖于合金中磷的存在（要求  $w(P) \geq 0.005\%$ ）。450℃~480℃ 回火 8 h 以上，使磷趋向晶粒边界也会增加效果。对于带有特殊合金的钢，必要时，在浸蚀剂（每 100 mL）中加入几滴盐酸，腐蚀最少 5 s，浸蚀剂将着重腐蚀硫化物夹杂。在不转动的磨盘上轻轻抛磨一下，以去除一些不重要的背景细节，更易显出晶粒边界。

### C.3.2 奥氏体钢

**C.3.2.1 稳定材料** 将试样为阳极，常温下，在体积分数为 60% 的浓硝酸水溶液中电解腐蚀，为了减少孪晶，应采用低电压（1 V~1.5 V）。同样也推荐在铁素体不锈钢中使用此浸蚀剂显示铁素体晶界。

**C.3.2.2 不稳定材料** 在敏化温度 480℃~700℃ 加热，使硫化物沿晶界析出，改善晶粒边界显现，采用适合显示碳化物的腐蚀剂显示晶粒形状。

**附录 D**  
(资料性附录)

**本标准与 ASTM E112 技术性差异及其原因**

D.1 表 D.1 给出了本标准与 ASTM E112 技术性差异及其原因的一览表。

**表 D.1 本标准与 ASTM E112 技术性差异及其原因**

本标准的章条编号	技术性差异	原因
1	删除 ASTM E112—1996 第 1 章中的 1.4、1.6、1.7 和 1.8 条以及 1.2 条中的部分内容	这种叙述不适用于我国标准；本标准不适用于双峰分布的晶粒度，因而删除相应标准
	删除 ASTM E112—1996 第 2 章中的引用标准	没有引用标准
2	删除 ASTM E112—1996 第 3 章中的 3.1、3.2.3、3.2.4 和 3.2.5 条的术语和定义；将 3.2.1 条的“ASTM 晶粒度”改为 GB/T 6394 中的 2.3.1 条“显微晶粒度级别数 $G$ ”和 2.3.2 条“宏观晶粒度级别数 $G_m$ ”；将 A1.1.1 条移至本章的 2.2 条并作了修改；删除 3.3 条中部分符号	我国没有与 ASTM E7 相对应的标准； 将宏观晶粒度用公式表达更直观； 本标准不适用于双峰分布的晶粒度
3	对应 ASTM E112—1996 第 4 章和第 5 章，并将 10.6 条和 10.10 条移到本章的 3.7 条和 3.8 条。文字上作了编辑性修改	结构上更严谨
4	对应 ASTM E112—1996 第 6 章，本标准增加了 4.3、4.4 和 4.5 条	与 YB/T 5148 相同，以适合我国国情
5.1	对应 ASTM E112—1996 第 10 章，删除了 10.8、10.13 和 10.14 条，并在文字上作了编辑性修改	ASTM 标准规定的较繁琐，本标准不包括“断口法”
5.2	对应 ASTM E112—1996 第 11 章，但改动较大，且删除了 11.2 和 11.4 条	会议讨论决定采纳我国工作者的意见，这也是前苏联学者萨尔迪可夫早已证明
5.3、5.3.1	对应 ASTM E112—1996 第 12 章，并简化了计算公式，并将 14.1 条移至本标准 5.3 条中，将 14.3.3 和 14.3.4 条移至本标准的 5.3.1.1 条	ASTM 标准文字较繁琐，结构不严谨
5.3.2	将 ASTM E112—1996 第 13.4 条移至本部分	结构上更严谨
5.3.3	对应 ASTM E112—1996 第 13 章，并在文字上作了编辑性修改	ASTM 标准文字较繁琐
5.3.4	对应 ASTM E112—1996 第 14.2 条，并在文字上作了编辑性修改	ASTM 标准文字较繁琐
5.3.5	对应 ASTM E112—1996 第 14.3 条，并在文字上作了编辑性修改	ASTM 标准文字较繁琐
6.1	对应 ASTM E112—1996 标准的 16.1 条，并将 16.2.2 条移至本条，且在文字上作了编辑性修改	ASTM 标准文字较繁琐，结构不严谨
6.2	对应 ASTM E112—1996 标准的 16.2 条。内容上基本相同	

表 D. 1(续)

本标准的章条编号	技术性差异	原因
6.3	对应 ASTM E112—1996 标准的 16.2 条,内容上基本相同,仅对公式和图简化了	ASTM 标准文字较繁琐,结构不严谨
7.1	对应 ASTM E112—1996 标准的 17.1 条	
7.2、7.3 和 7.4	对应 ASTM E112—1996 标准的 17.3 条、17.4 条、17.5 条	
8	ASTM E112—1996 标准的表 3 和表 4 移至本章的表 6 和表 5,并将 17.2 条移至本章	根据我国国情做了重新编辑,与 YB/T 5148—1993 一致
9	对应 ASTM E112—1996 标准第 18 章,内容做了较大修改	适合我国惯例,与 YB/T 5148—1993 一致
	删除 ASTM E112—1996 标准第 19 章和第 20 章	不符合我国编写惯例
附录 A	对应 ASTM E112—1996 标准附录 A 的 A2 章,删除了 A2.3 条	A1 章内容已涵盖在正文中。删除部分为超出标准范围的内容
附录 B	将 ASTM E112—1996 第 15 章移至本部分,并作了编辑性修改	晶粒度统计处理、置信限的计算同 ASTM E112
附录 C	对应 ASTM E112—1996 标准附录 A 的 A3 章,并作了编辑性修改	
	删除了 ASTM E112—1996 标准附录 A 的 A4、A5 和 A6 章,以及附录 X	本标准暂时不包括这些内容
附录 D	增加与 ASTM E112—1996 标准的对照	便于理解执行标准