



中华人民共和国国家标准

GB/T 3246.1—2012
代替 GB/T 3246.1—2000

变形铝及铝合金制品组织检验方法 第 1 部分：显微组织检验方法

Inspection method for structure of wrought aluminum and aluminum
alloy products—Part 1: Inspection method for microstructure

2012-12-31 发布

2013-10-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布
中国国家标准化管理委员会

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
变形铝及铝合金制品组织检验方法
第 1 部分:显微组织检验方法
GB/T 3246.1—2012

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲 2 号(100013)
北京市西城区三里河北街 16 号(100045)
网址 www.spc.net.cn
总编室:(010)64275323 发行中心:(010)51780235
读者服务部:(010)68523946
中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 1.5 字数 41 千字
2013 年 6 月第一版 2013 年 6 月第一次印刷

*

书号: 155066 • 1-47076

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107

前 言

GB/T 3246《变形铝及铝合金制品组织检验方法》分为二个部分：

——第1部分：显微组织检验方法；

——第2部分：低倍组织检验方法。

本部分为 GB/T 3246 的第1部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分代替 GB/T 3246.1—2000《变形铝及铝合金制品显微组织检验方法》。

本部分与 GB/T 3246.1—2000 相比，主要技术变化如下：

——增加了8号浸蚀剂；

——增加了对试样检验面的规定；

——对“试样粗加工”、“机械抛光”和“电解抛光”部分内容进行了修改；

——在浸蚀剂用途中增加了8×××系合金；

——对铝合金过烧组织的判别进行了说明；

——增加了试验报告部分；

——补充了6063合金铸锭组织、1235合金铸轧带正常组织与过烧组织的图片。

本部分使用重新起草法参考 ASTM E112—1996(2010)《测定平均粒径的试验方法》、ASTM E3—2011《金相试样制备规程》、ASTM E1558—1999(2004)《金相试样电解抛光指南》和 ASTM E407—2007《微观浸蚀金属和合金的试验方法》编制，与 ASTM E112—1996(2010)、ASTM E3—2011、ASTM E1558—1999(2004)和 ASTM E407—2007 的一致性程度为非等效。

本部分由全国有色金属标准化技术委员会(SAC/TC 243)归口。

本部分负责起草单位：东北轻合金有限责任公司。

本部分参加起草单位：西南铝业(集团)有限责任公司、北京有色金属研究总院、山东兖矿轻合金有限公司、辽宁忠旺集团有限公司、中国铝业西北铝加工分公司、中铝瑞闽铝板带有限公司、南山铝业股份有限公司、龙口市丛林铝材有限公司、广州有色金属研究院。

本部分主要起草人：王美琪、侯绎、王国军、温庆红、王涛、刘淑凤、李鹏伟、周霞、廖明顺、王明坤、王琦、刘英坤。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为：

——GB/T 3246.1—2000；

——GB/T 3246—1982。

变形铝及铝合金制品组织检验方法

第1部分:显微组织检验方法

1 范围

GB/T 3246 的本部分规定了铝及铝合金铸锭(或锭坯)、变形铝及铝合金板、带、箔、管、棒、型、线、锻件(以下简称加工制品)显微组织检验用的试验溶液及试样制备、浸蚀、阳极化制膜、组织检验、晶粒尺寸的测定和试验报告等。

本部分适用于铝及铝合金铸锭(或锭坯)及加工制品的显微组织检验。

2 试验溶液

- 2.1 硝酸溶液(1+4)。
- 2.2 高氯酸乙醇溶液(1+9)。
- 2.3 硝酸溶液(1+2.5)~硝酸溶液(1+1)。
- 2.4 浸蚀剂1号:氢氟酸溶液(1+200)。
- 2.5 浸蚀剂2号:氢氟酸溶液(1+1)。
- 2.6 浸蚀剂3号:磷酸溶液(1+9)。
- 2.7 浸蚀剂4号:硫酸溶液(1+9)~硫酸溶液(2+8)。
- 2.8 浸蚀剂5号:硝酸溶液(1+3)。
- 2.9 浸蚀剂6号:将氢氟酸(ρ 1.15 g/mL)、盐酸(ρ 1.19 g/mL)、硝酸(ρ 1.40 g/mL)和水以(2+3+5+190)的体积相混合,混匀。
- 2.10 浸蚀剂7号:将氢氟酸(ρ 1.15 g/mL)、盐酸(ρ 1.19 g/mL)、硝酸(ρ 1.40 g/mL)和水以(2+1+1+76)的体积相混合,混匀。
- 2.11 浸蚀剂8号:将氢氟酸(ρ 1.15 g/mL)、盐酸(ρ 1.19 g/mL)、硝酸(ρ 1.40 g/mL)和水以(2+3+5+250)的体积相混合,混匀。
- 2.12 硝酸溶液(1+19)~硝酸溶液(1+3)。
- 2.13 硫酸磷酸溶液:将硫酸(ρ 1.84 g/mL)、磷酸(ρ 1.70 g/mL)和水以(38+43+19)的体积相混合,混匀。
- 2.14 氟硼酸溶液(25 g/L)。
- 2.15 氟硼酸溶液(16.8 g/L):称取 117 g 硼酸于塑料容器内,加入 500 mL 水和 333 mL 氢氟酸(ρ 1.15 g/mL),待硼酸溶解完全后冷却,用水稀释至 1 L,即配成所需氟硼酸溶液。

3 试样制备

3.1 试样切取

3.1.1 铸锭(或锭坯)试样

应根据种类、规格和试验目的要求,从有代表性的部位切取试样。例如,检验过烧试样应在加热炉的高温区部位截取。

3.1.2 加工制品试样

应根据有关标准或技术协议的规定及制品的种类、热处理方法、使用要求,从有代表性的部位切取试样。例如,检验过烧试样应在加热炉的高温区、制品变形量较小的部位截取。

3.2 试样数量及尺寸

取样数量应根据标准或技术协议的规定及试验的要求确定。试样尺寸参照表 1 确定。

表 1

类 型	长	宽	高
	mm		
块试样	25	15	15
板试样	30	30	—

3.3 试样检验面

切取好的试样,应根据具体的试验目的和要求来选取检验面。在通常情况下,除板材包覆层和铜扩散的检验面为垂直于主变形方向的横向截面外,板材其他的组织检验面为平行于主变形方向的纵向截面,其他加工制品的组织检验面为垂直于主变形方向的横向截面。

3.4 夹样和镶样

测量包覆层厚度和铜扩散深度等检查制品表面层组织的试样应采用夹样法或镶样法,小试样可进行镶样。夹样法试样间及样夹外层试样的外侧必须垫上退火状态的纯铝板片,保证夹紧试样后使试样间无缝隙,样夹外层试样磨面平整。

3.5 试样粗加工

试样的被检查面用铣刀(或锉刀)去掉 1 mm~3 mm,铣或锉成平面。然后在研磨机上用砂纸(磨料粒度宜为 68 μm ~100 μm)沿垂直刀痕方向进行粗磨,宜采用煤油或水等进行冷却和润滑。磨掉全部刀痕,将试样转 90°,再用砂纸(磨料粒度宜为 18 μm ~35 μm)进行细磨,磨去所有粗磨痕为止。

3.6 机械抛光

3.6.1 将磨好的试样用水冲洗干净,在抛光机上进行抛光。通常抛光机的转数在 300 r/min~600 r/min。精抛光时,转数宜为 150 r/min~200 r/min。

3.6.2 粗抛

在装有粗呢子的抛光盘上进行粗抛。用浓度大、颗粒较粗的三氧化二铬粉与水混合的悬浮液或其他抛光材料做粗抛光剂。垂直于磨痕抛光到磨痕全部消失,磨面平整光亮无脏物为止。

3.6.3 细抛

将粗抛好的试样用水冲洗干净后,在装有细呢子(或其他纤维细软的丝织品)的抛光盘上细抛。用浓度较稀、颗粒较细的三氧化二铬粉与水混合的悬浮液或其他抛光材料做细抛光剂。垂直于粗抛光痕迹抛到表面无任何痕迹和脏物,在显微镜上可观察到清晰的组织为止。

3.6.4 精抛

对特殊需要高质量显微图片的试样,细抛后可在装有鹿皮的慢抛光机上进行精细抛光。用氧化镁

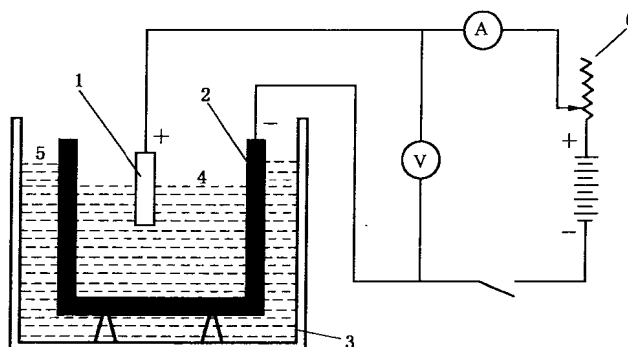
或极细的三氧化二铝粉与水的悬浮液或其他抛光材料做精抛光剂。

3.7 电解抛光

3.7.1 1×××系列的试样难以完全去掉机械抛光痕迹时,可采用电解抛光。

3.7.2 经细砂纸打磨和(或)机械抛光后的试样,用硝酸溶液(2.1)洗去表面油污,随后用水冲洗。再用无水乙醇擦干表面后,方可进行电解抛光。

3.7.3 电解抛光装置示意图见图1。



说明:

- 1——试样;
- 2——不锈钢电解槽;
- 3——冷却槽;
- 4——电解液;
- 5——水;
- 6——变阻器。

图1 电解抛光装置示意图

3.7.4 电解液采用高氯酸乙醇溶液(2.2)。

3.7.5 电解抛光工艺参数:

- a) 起始电压:25 V~60 V;
- b) 电解时间:6 s~35 s;
- c) 电解液温度:10 ℃~40 ℃。

3.7.6 电解过程中试样为阳极,可摆动试样,抛光面不得脱离电解液。所用阴极为铅板或不锈钢板。电解后试样用水冲洗,然后在硝酸溶液(2.3)中清洗表面上的电解产物,最后用水冲洗,酒精棉擦干。

4 试样浸蚀

4.1 浸蚀剂的选择

应参照表2选择适宜的试样浸蚀剂。

表 2

浸蚀剂编号	适用 试 验
1 号(2.4)	显示 1×××、2×××、3×××、4×××、5×××、6×××、7×××及 8×××合金的一般组织
2 号(2.5)	显示 1×××及 3×××合金的晶粒组织
3 号(2.6)	a)识别 2×××、3×××及 5×××合金中的相； b)显示 3×××、5×××和 2×××合金中的一般组织
4 号(2.7)	识别 1×××、2×××、3×××、5×××、6×××及 8×××合金中的相
5 号(2.8)	辨别 1×××、2×××、3×××、5×××、6×××、7×××及 8×××合金中的相
6 号(2.9)	a)显示 1×××、2×××、3×××、4×××、5×××、6×××、7×××及 8×××合金的一般组织； b)显示 2×××、4×××、6×××及 7×××的晶粒组织
7 号(2.10)	a)显示 2×××及 7×××的包铝及铜扩散组织； b)显示 2×××、4×××、6×××及 7×××的晶粒组织
8 号(2.11)	a)显示 1×××、2×××、3×××、4×××、5×××、6×××、7×××及 8×××合金的一般组织； b)显示 2×××、4×××、6×××及 7×××的晶粒组织

4.2 浸蚀

4.2.1 浸蚀方式及时间应根据浸蚀剂的特点、用途及合金性质与状态而定。通常铸态试样的浸蚀时间小于加工制品试样的浸蚀时间，2×××、4×××及 7×××系列的试样浸蚀时间短于 1×××、3×××、5×××、6×××及 8×××系列的试样浸蚀时间。

4.2.2 浸蚀后的试样在水中冲洗后，除了需要鉴别合金中的相以外，均应用硝酸溶液(2.12)洗去表面的浸蚀产物，再用水冲洗干净，最后用酒精棉轻轻擦净吹干，即可进行观察。

5 阳极化制膜

5.1 在偏振光下观察铸锭(或锭坯)晶粒组织、退火状态的加工制品晶粒组织及加工变形材料的显微组织特征，抛光后的试样应进行阳极化制膜处理(参见图 2、图 3、图 4、图 5)。1×××、3×××、5×××、6×××及 8×××系列的试样阳极化制膜前可进行电解抛光以提高制膜质量。

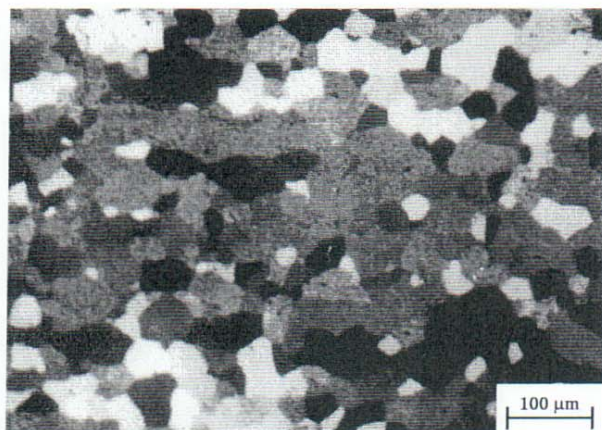


图 2 纯铝退火板材显微晶粒组织(阳极制膜偏光)

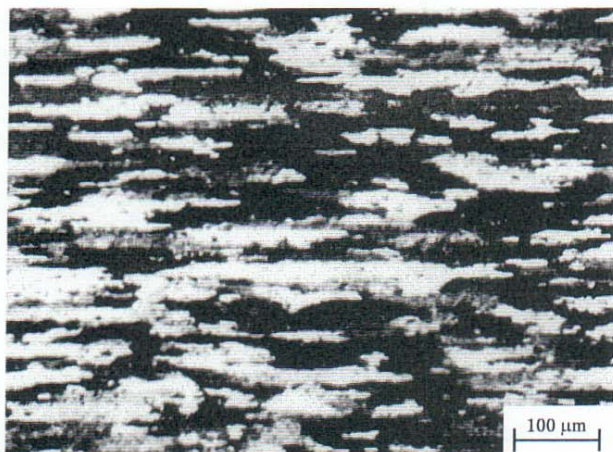


图 3 2A12 合金退火板材纵向显微晶粒组织(阳极制膜偏光)

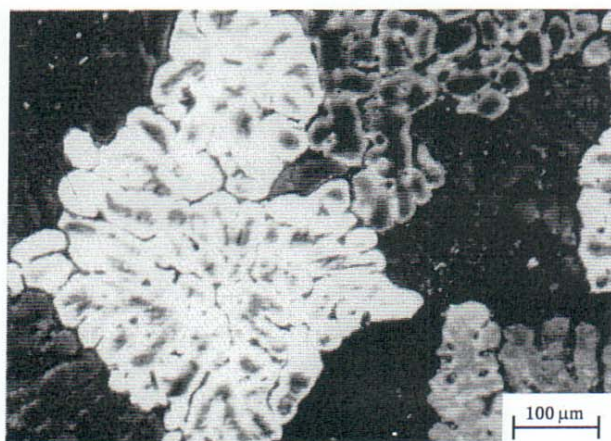
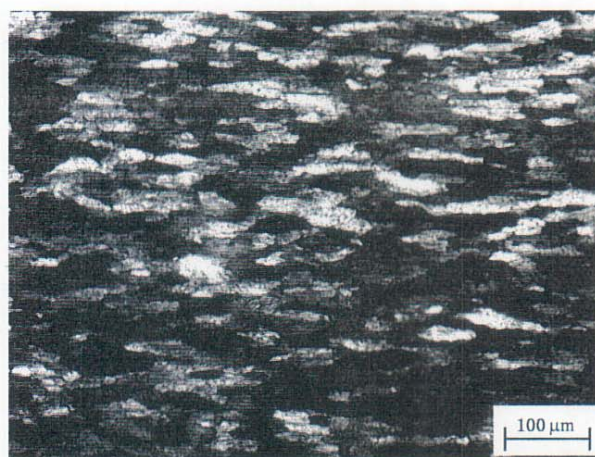


图 4 2A12 合金铸锭显微晶粒组织(阳极制膜偏光)



a) 纵向



b) 横向

图 5 1060 铸轧带显微组织(阳极制膜偏光)

5.2 阳极化装置同图 1。在制膜过程中试样表面(阳极)与阴极板表面保持适当距离。

5.3 1×××、3×××、5××× 及 6××× 系列的试样阳极化制膜液宜选择硫酸磷酸溶液(2.13), 制膜工艺参数:

- a) 电压 20 V~30 V;
- b) 电流密度 $0.1 \text{ A/cm}^2 \sim 0.5 \text{ A/cm}^2$;
- c) 时间 1 min~3 min;
- d) 温度 $10^\circ\text{C} \sim 40^\circ\text{C}$ 。

5.4 其他铝及铝合金阳极化制膜液宜选择氟硼酸溶液(2.14 或 2.15), 制膜工艺参数:

- a) 电压 20 V~30 V;
- b) 电流密度 $0.1 \text{ A/cm}^2 \sim 0.5 \text{ A/cm}^2$;
- c) 时间 1 min~3 min;
- d) 温度 $10^\circ\text{C} \sim 40^\circ\text{C}$ 。

6 组织检验

6.1 显微试样的要求

在显微镜下观察试样,试样表面应洁净、干燥、无水痕,组织清晰、真实,无过蚀孔洞。

6.2 铸锭(锭坯)的显微组织检查

通常在未浸蚀试样上观察合金中相的形态和疏松、夹杂物等缺陷,在浸蚀试样上观察枝晶结构、鉴别相的组分以及观察均匀化处理状态的过烧组织。

6.3 加工制品淬火及退火试样检查

在制备好的试样上检查晶粒状态和过烧组织,通常放大 200 倍~500 倍进行观察与照相。

6.4 铝合金过烧组织的判别

金属温度达到或高于合金中低熔点共晶的熔点或固相线,使共晶或固溶体晶界产生复熔的现象叫过烧。在显微组织检验中,出现复熔共晶球、晶界局部复熔加宽和在三个晶粒交界处形成复熔三角形三种特征中的任何一种特征,判显微组织为过烧。

铸锭(或锭坯)、铸轧带正常组织与过烧组织参见图 6~图 9,加工制品淬火正常组织与过烧组织参见 10~图 14。

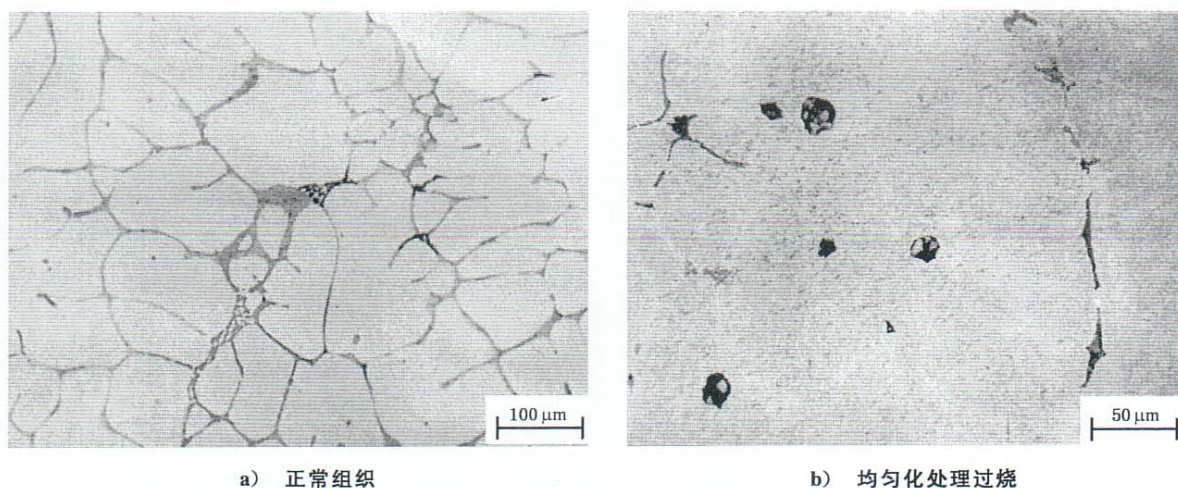
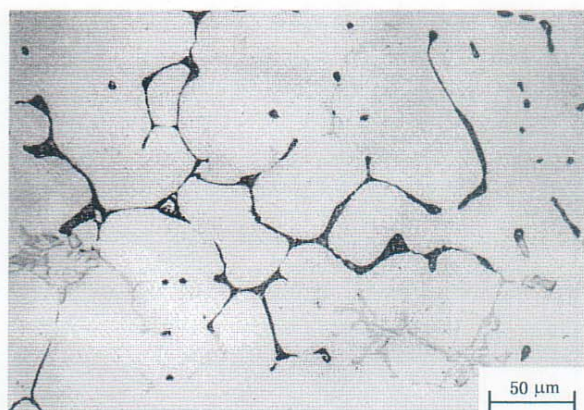
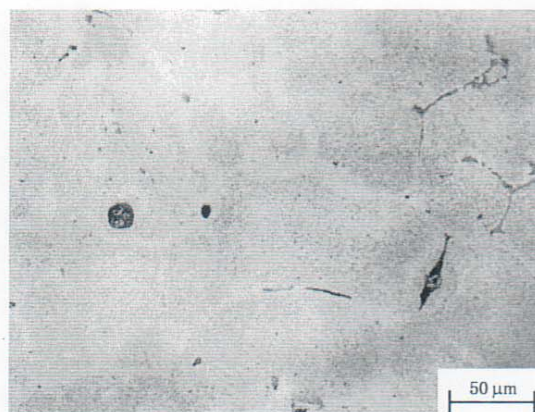


图 6 2A12 合金铸锭显微组织与过烧显微组织(6 号浸蚀剂浸蚀)

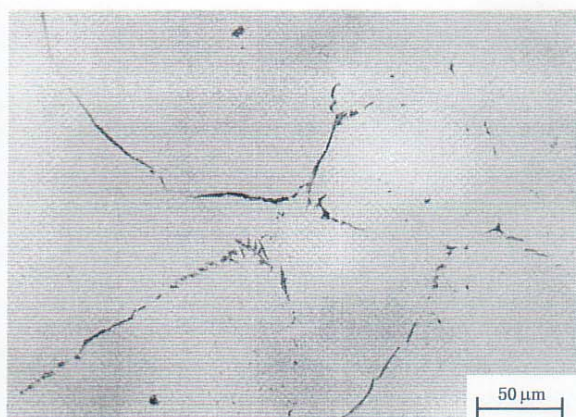


a) 正常组织

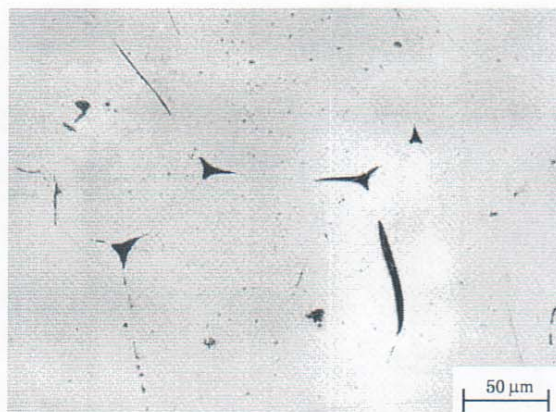


b) 均匀化处理过烧

图 7 7A04 合金正常组织与过烧显微组织(6 号浸蚀剂浸蚀)



a) 正常组织

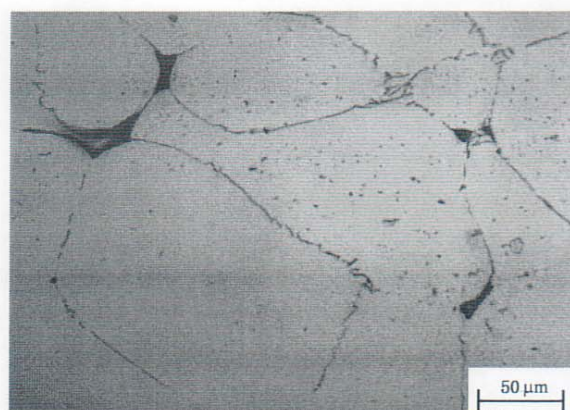


b) 均匀化处理过烧

图 8 6063 合金正常组织与过烧显微组织(6 号浸蚀剂浸蚀)

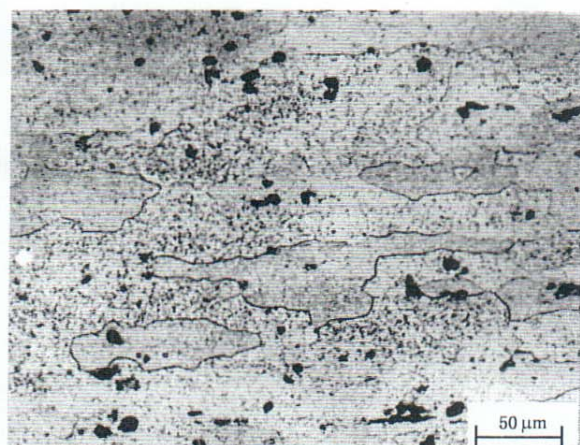


a) 正常组织

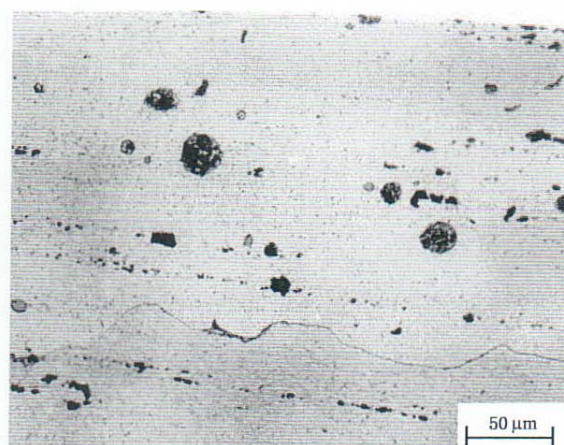


b) 均匀化处理过烧

图 9 1235 合金铸轧带正常组织与过烧显微组织(6 号浸蚀剂浸蚀)

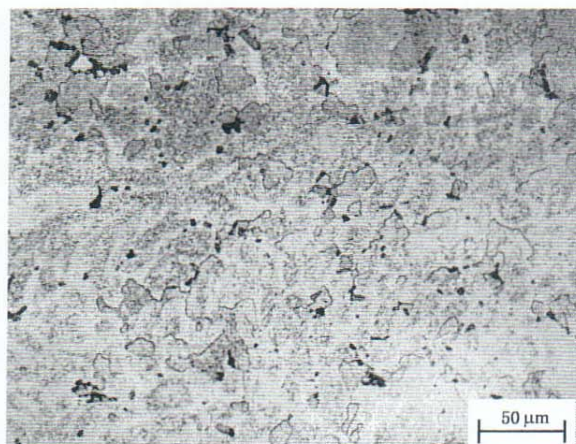


a) 正常组织

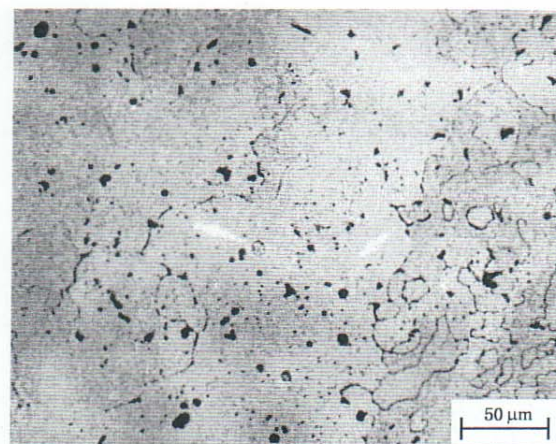


b) 过烧组织

图 10 2A12 合金板材淬火正常组织与过烧显微组织(6 号浸蚀剂浸蚀)

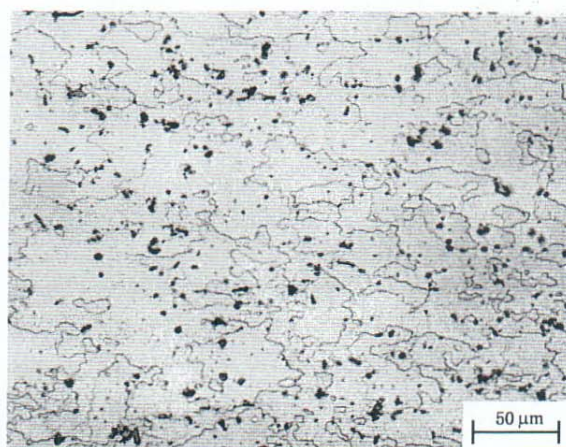


a) 正常组织

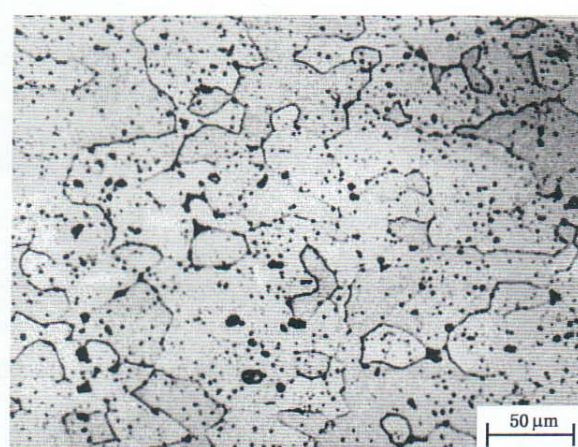


b) 过烧组织

图 11 2A12 合金棒材淬火正常组织和过烧显微组织(6 号浸蚀剂浸蚀)

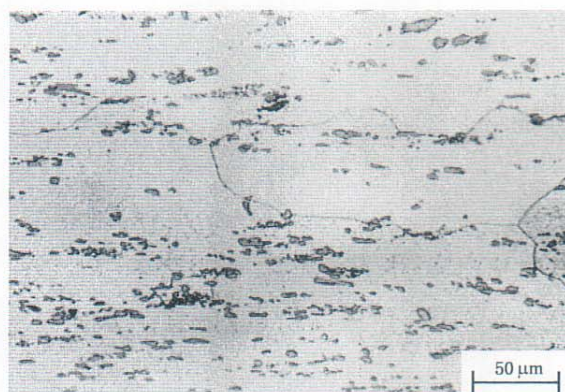


a) 正常组织

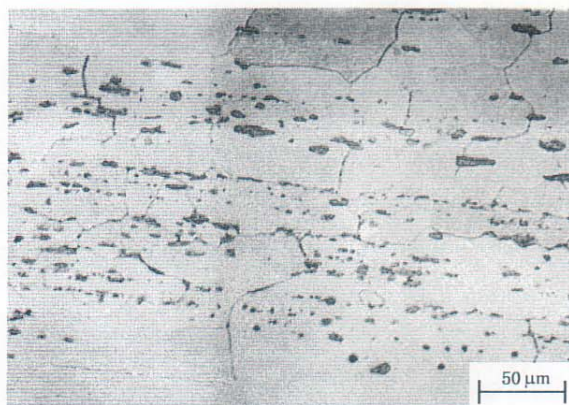


b) 过烧组织

图 12 7A04 合金型材淬火正常组织和过烧显微组织(6 号浸蚀剂浸蚀)



a) 正常组织



b) 过烧组织

图 13 2A70 合金锻件淬火正常组织和过烧显微组织(6 号浸蚀剂浸蚀)



图 14 6063 合金型材风冷淬火正常组织(6 号浸蚀剂浸蚀)

6.5 高温氧化

在较高温度处理铝合金材料时,由于炉内空气湿度大,热处理后材料表面起泡或靠近内层沿晶界出现气孔,此现象称为高温氧化(HTO),高温氧化的组织特征见图 15。

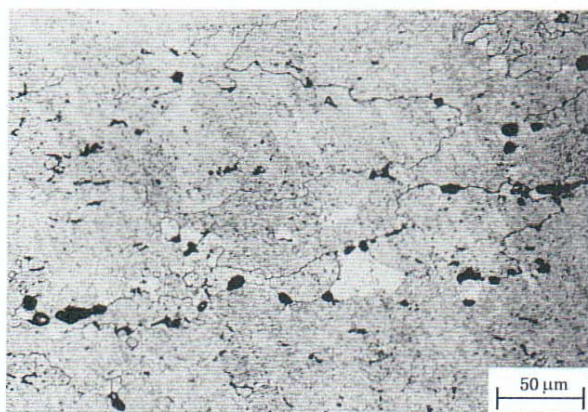


图 15 2A12 合金棒材热处理所产生的高温氧化(6 号浸蚀剂浸蚀)
(沿晶界分布的气孔)

6.6 包覆层

6.6.1 在合金板材的表面,为提高抗腐蚀性能或某种工艺性能的需要,而包覆的一层铝或铝合金,称为包覆层,见图 16、图 17。

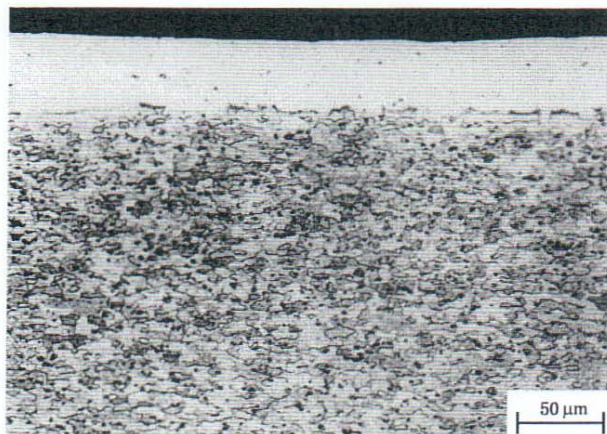


图 16 2A12 合金板材包铝层组织(6 号浸蚀剂浸蚀)



图 17 2Q515 合金包覆层组织(6 号浸蚀剂浸蚀)

6.6.2 应在试样的包覆面取 5 点~10 点,测量包覆层厚度,计算其平均值,按式(1)计算包覆率。

$$V = t/h \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

V —— 包覆率, %;

t —— 包覆层平均厚度,单位为毫米(mm);

h —— 板材总厚度,单位为毫米(mm)。

6.7 铜扩散

6.7.1 铜扩散是指铝-铜-镁系合金包铝板材,经高温长时间加热处理,使合金中的铜原子沿晶界扩散到包铝层,见图 18。

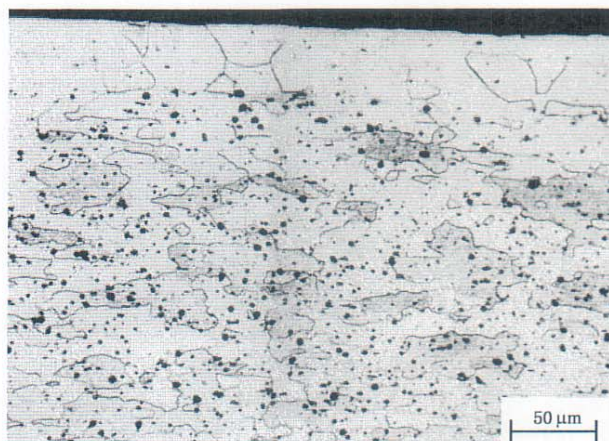


图 18 2A12 合金板材包铝层中铜扩散组织(7 号浸蚀剂浸蚀)
(已穿透)

6.7.2 铜扩散深度检查试样采用电解抛光,观察两面包铝层中铜扩散的最大深度。

7 晶粒尺寸的测定

7.1 试样的选择、制备及测量的一般原则

7.1.1 根据试验研究的目的选取试样。

7.1.2 应按照第3章和第4章制备和浸蚀试样。抛光过程中应保证试样无发热或明显的冷作硬化。

7.1.3 采用比较法(7.2)或平面晶粒计算法(7.3)或截距法(7.4)测定晶粒尺寸。在每个截面上应测定三个或更多个有代表性面积内的晶粒数。代表性是指试样上所有部位都对测定结果作出贡献,而不是主观有意选定。

7.2 比较法

7.2.1 比较法适用于等轴晶(或近似等轴晶)的完全再结晶晶粒和铸造材料晶粒。

7.2.2 比较法是将在被检查试样上所观察到的晶粒图像与已知晶粒大小的标准图像比较,得到被检查试样的晶粒尺寸(或通过简单计算)。

7.2.3 图19~图26是铝合金晶粒尺寸标准评级图,放大100倍,每个图下的表内给出了放大倍数及相应的晶粒级别指数 G 。当已知检测面积 A 上的晶粒数 N 、放大倍数为100时,可根据式(2)计算晶粒级别指数 G 。

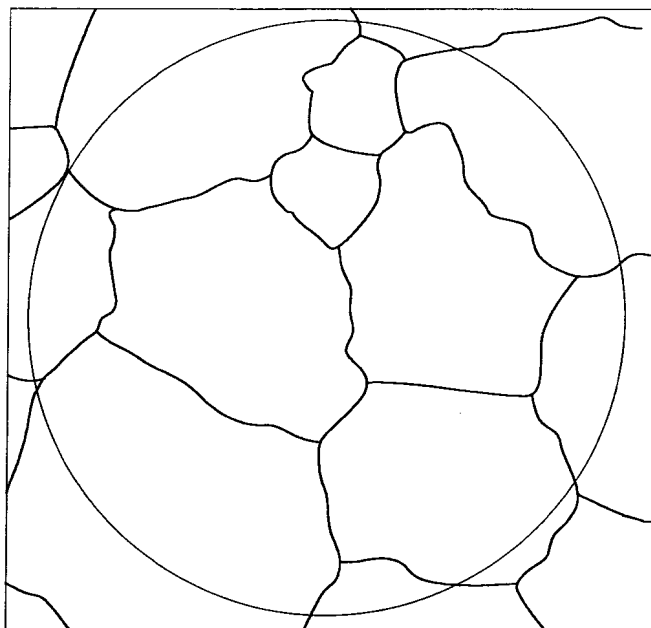
$$G = 1.000\,0 + \log_2(N/A) = 1.000\,0 + 3.321\,9 \lg(N/A) \dots\dots\dots (2)$$

式中:

G ——晶粒级别指数;

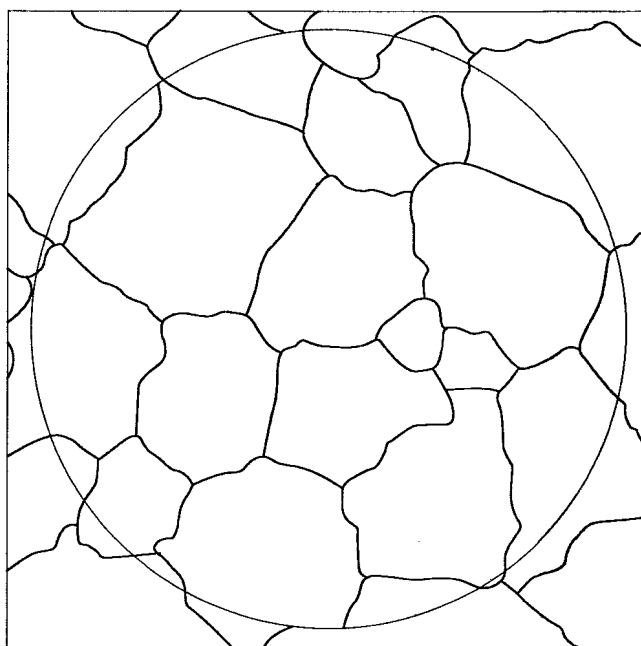
A ——检测面积,单位为平方毫米(mm^2);

N ——晶粒数,单位为个。



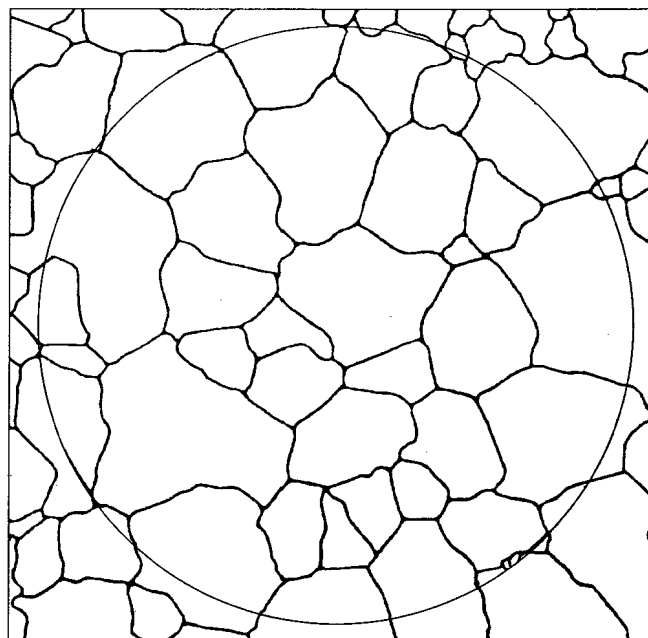
晶粒级别指数 G	-3	-1	1	3	5	7
放大倍数 g	25	50	100	200	400	800

图 19



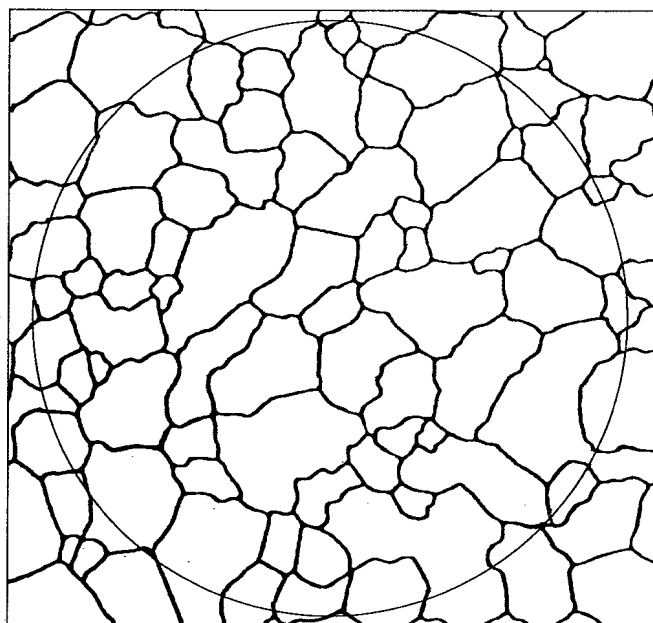
晶粒级别指数 G	-2	0	2	4	6	8
放大倍数 g	25	50	100	200	400	800

图 20



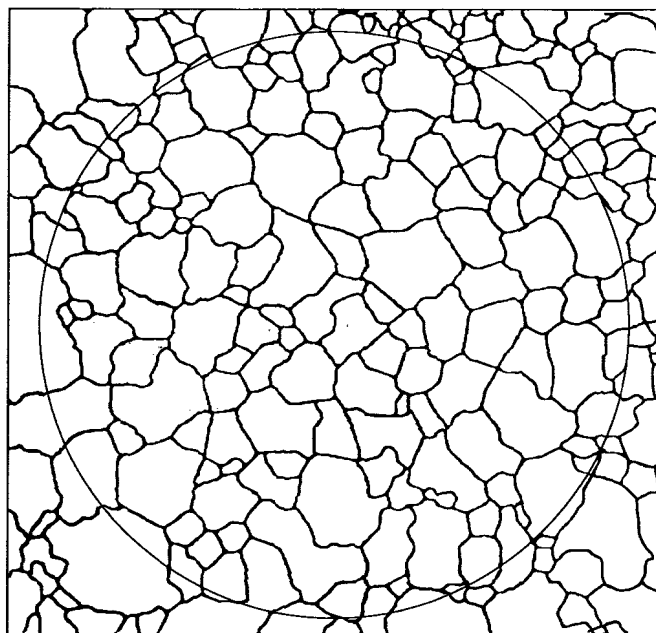
晶粒级别指数 G	-1	1	3	5	7	9
放大倍数 g	25	50	100	200	400	800

图 21



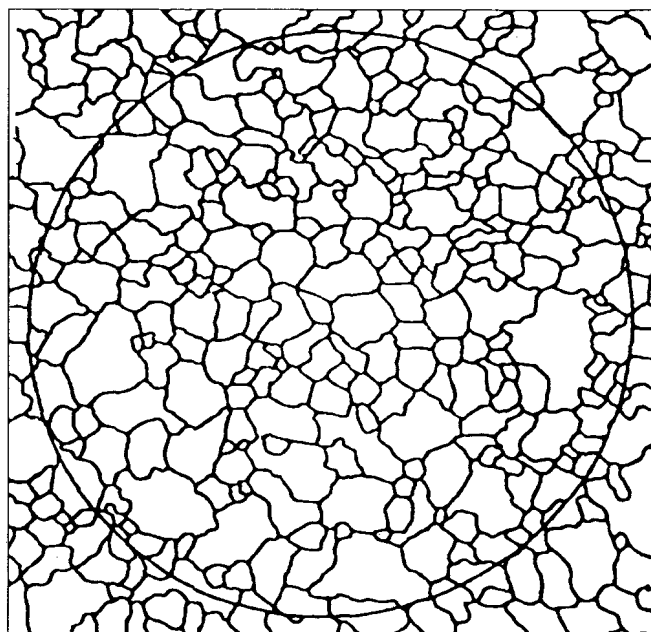
晶粒级别指数 G	0	2	4	6	8	10
放大倍数 g	25	50	100	200	400	800

图 22



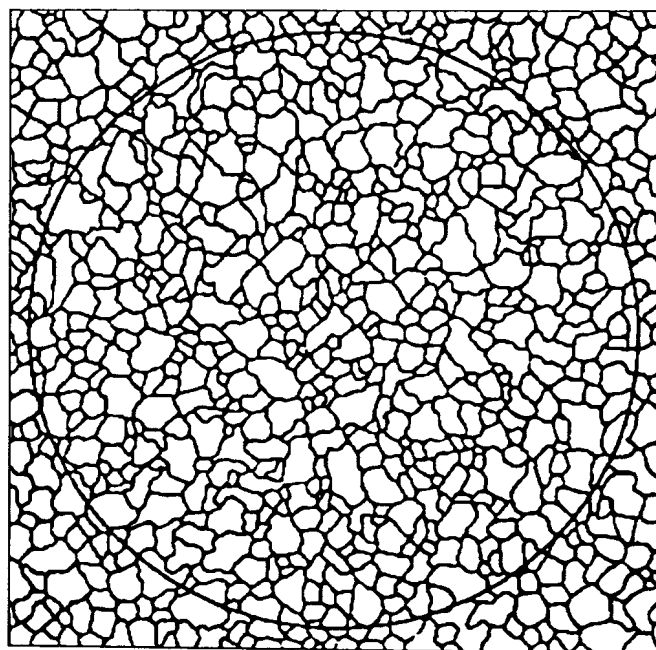
晶粒级别指数 G	1	3	5	7	9	11
放大倍数 g	25	50	100	200	400	800

图 23



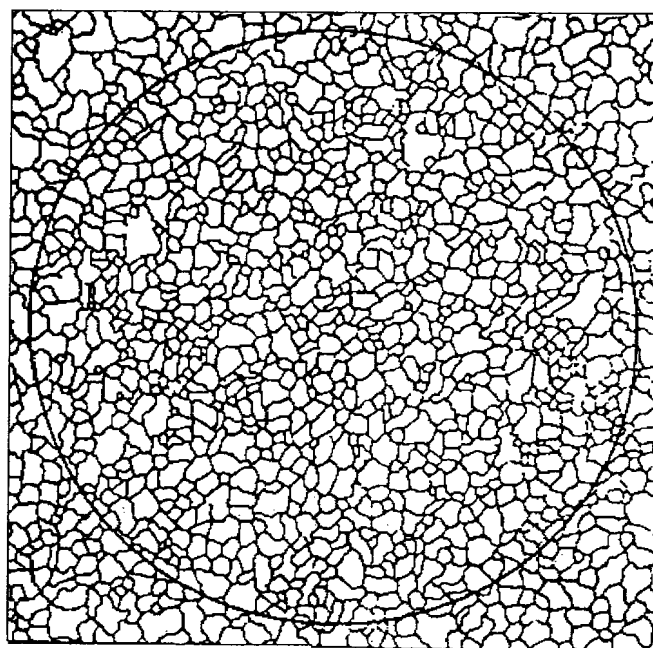
晶粒级别指数 G	2	4	6	8	10	12
放大倍数 g	25	50	100	200	400	800

图 24



晶粒级别指数 G	3	5	7	9	11	13
放大倍数 g	25	50	100	200	400	800

图 25



晶粒级别指数 G	4	6	8	10	12	14
放大倍数 g	25	50	100	200	400	800

图 26

7.2.4 在标准图所给出的放大倍数中选择适当的倍数,观察被检试样的晶粒图像,与标准图相比,由等同晶粒标准图下的表内查出 G 值。在表 3 上查出与 G 值对应的单位面积平均晶粒数 n_A ,即是测定结果。由此可根据式 3 计算出晶粒的平均面积 \bar{a} ,根据式(4)计算出晶粒的平均直径 d_n 。

表 3

晶粒级别指数 G	单位面积的平均 晶粒数 n_A 个/ mm^2	晶粒级别指数 G	单位面积的平均 晶粒数 n_A 个/ mm^2	晶粒级别指数 G	单位面积的平均 晶粒数 n_A 个/ mm^2
-3	1	3	64	9	4 096
-2.5	1.41	3.5	90.5	9.5	5 793
-2	2	4	128	10	8 192
-1.5	2.83	4.5	181	10.5	11 583
-1	4	5	256	11	16 384
-0.5	5.66	5.5	362	11.5	23 170
0	8	6	512	12	32 768
0.5	11.31	6.5	724	12.5	46 341
1	16	7	1 024	13	65 536
1.5	22.63	7.5	1 448	13.5	92 682
2	32	8	2 048	14	131 072
2.5	45.25	8.5	2 896		

$$\bar{a} = \frac{1}{n_A} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

\bar{a} ——晶粒的平均面积,单位为平方毫米(mm^2);

n_A ——单位面积的平均晶粒数,单位为个每平方毫米(个/ mm^2)。

$$d_n = \sqrt{\bar{a}} \dots\dots\dots (4)$$

式中:

d_n ——晶粒的平均直径,单位为毫米(mm);

\bar{a} ——晶粒的平均面积,单位为平方毫米(mm^2)。

7.2.5 如果被观察图像在两个相邻标准图之间, G 值可取中间值或靠近的标准图的 G 值。

7.3 平面晶粒计算法

7.3.1 在显微镜的毛玻璃或照片上划一个直径为79.8 mm的圆,面积为5 000 mm^2 ,选定放大倍数 g ,使该圆内至少有50个晶粒。

7.3.2 查出圆内完整的晶粒数 n_1 及被圆周边切割的晶粒数 n_2 。当圆周边切割的晶粒数 n_2 为偶数时,按照式(5)计算出圆内的晶粒总数 n_g ;当圆周边切割的晶粒数 n_2 为奇数时,按照式(6)计算出圆内的晶粒总数 n_g ,依据式(7)计算单位面积的平均晶粒数(n_A)。

$$n_g = n_1 + \frac{n_2}{2} \dots\dots\dots (5)$$

式中:

n_g ——圆内的晶粒总数,单位为个;

n_1 ——圆内完整的晶粒数,单位为个;

n_2 ——圆周边切割的晶粒数,单位为个。

$$n_g = n_1 + \frac{n_2 + 1}{2} \dots\dots\dots (6)$$

$$n_A = \frac{n_g}{5\,000/g^2} \dots\dots\dots (7)$$

式中:

n_g ——圆内的晶粒总数,单位为个;

n_A ——单位面积的平均晶粒数,单位为个每平方毫米(个/ mm^2);

g ——放大倍数。

7.3.3 非等轴晶,应在纵向、横向和高向三个互相垂直的平面内进行晶粒计算,这三个平面内的晶粒数分别为 n_x 、 n_y 和 n_z ,可根据式(8)计算出每立方毫米内的晶粒数(n_v)。

$$n_v = \sqrt{0.8 n_x \cdot n_y \cdot n_z} \dots\dots\dots (8)$$

式中:

n_v ——每立方毫米内的晶粒数,单位为个每立方毫米(个/ mm^3);

n_x ——每平方毫米内(纵向)的平均晶粒数,单位为个每平方毫米(个/ mm^2);

n_y ——每平方毫米内(横向)的平均晶粒数,单位为个每平方毫米(个/ mm^2);

n_z ——每平方毫米内(高向)的平均晶粒数,单位为个每平方毫米(个/ mm^2)。

7.3.4 参考表4给出测量结果对应的晶粒级别指数 G 和相关数据。

表 4

晶粒级 别指数 G	平均晶粒截面的“直径”		平均截距 $l/\mu\text{m}$	每毫米检 测线上的 截点数 个/mm	晶粒的平 均面积 \bar{a} $\times 10^{-3}\text{mm}^2$	每立方毫米 内的晶粒数 n_v^a 个/mm ³	单位面积的平均晶粒数 n_A	
	名义直径 $d_n/\mu\text{m}$	Feret 直径 $d_f/\mu\text{m}$					1 倍下每平方 毫米晶粒数 个/mm ²	100 倍下每平方 英寸晶粒数 个/in ²
00A	510	570	453	2.210	258	6.11	3.88	0.250
0	360	403	320	3.125	129	17.3	7.75	0.500
0.5	300	339	269	3.716	91.2	29.0	11.0	0.707
1.0	250	285	226	4.42	64.5	48.8	15.50	1.000
1.5	210	240	190	5.26	45.6	82	21.9	1.414
...	200	226	177	5.64	40.0	100	25.0	1.613
2.0	180	202	160	6.25	32.3	138	31.0	2.000
2.5	150	170	135	7.43	22.8	232	43.8	2.828
3.0	125	143	113	8.34	16.1	391	62.0	4.000
...	120	135	106	9.41	14.4	463	69.4	4.480
3.5	105	120	95.0	10.51	11.4	657	87.7	5.657
...	100	113	89.0	11.29	10.0	800	100	6.452
4.0	90	101	80.0	12.5	8.07	1 105	124	8.000
4.5	75	85	67.3	14.9	5.70	1 859	175	11.31
...	70	79	62.0	16.1	4.90	2 331	204	13.17
5.0	65	71	56.6	17.7	4.03	3 126	248	16.00
...	60	68	53.2	18.8	3.60	3 708	278	17.92
5.5	55	60	47.6	21.0	2.85	5 258	351	22.63
...	50	56	44.3	22.6	2.50	6 400	400	25.81
6.0	45	50	40.0	25.0	2.02	8 842	496	32.00
...	40	45	35.4	28.2	1.60	12 500	625	40.32
6.5	38	42	33.6	29.7	1.43	14 871	701	45.25
...	35	39	31.0	32.2	1.23	18 659	816	52.67
7.0	32	36	28.3	35.4	1.008	25 010	992	64.00
...	30	34	26.6	37.6	0.900	29 630	1 111	71.68
7.5	27	30	23.8	42.0	0.713	42 061	1 403	90.51
...	25	28	22.2	45.1	0.625	51 200	1 600	100.23
8.0	22	25	20.0	50.0	0.504	70 700	1 980	128.0
...	20	23	17.7	56.4	0.400	100 000	2 500	161.3
8.5	19	21	16.8	59.5	0.356	119 000	2 810	181.0
9.0	16	18	14.1	70.7	0.252	200 000	3 970	256.0
...	15	17	13.3	75.2	0.225	237 000	4 440	286.8
9.5	13	15	11.9	84.1	0.178	336 000	5 610	362.0
10.0	11	13	10.0	100	0.126	566 000	7 940	512.0
...	10	11.3	8.86	113	0.100	800 000	10 000	645.2
10.5	9.4	10.6	8.41	119	0.089 1	952 000	11 220	724.1
...	9.0	10.2	7.98	125	0.081 0	1 097 000	12 350	796.5
11.0	8	8.9	7.07	141	0.063 0	1 600 000	15 870	1 024
...	7.0	7.9	6.20	161	0.049 0	2 332 000	20 410	1 317
11.5	6.7	7.5	5.95	168	0.044 6	2 692 000	22 450	1 448
...	6.0	6.8	5.32	188	0.036 0	3 704 000	27 780	1 792
12.0	5.6	6.3	5.00	200	0.031 5	4 527 000	31 710	2 048
...	5.0	5.6	4.43	226	0.025 0	6 400 000	40 000	2 581
12.5	4.7	5.3	4.20	238	0.022 3	7 610 000	44 900	2 896
13.0	4.0	4.2	3.54	283	0.015 8	12 800 000	63 500	4 096
13.5	3.3	3.7	2.97	336	0.011 1	21 540 000	89 800	5 793
...	3.0	3.4	2.66	376	0.009 0	29 600 000	111 100	7 168
14.0	2.8	3.2	2.50	400	0.007 88	36 200 000	127 000	8 192
...	2.5	2.8	2.22	451	0.006 25	51 200 000	160 000	10 323

^a n_v 是根据球形的平均晶粒计算, $n_v = 0.566/l^3$ 。

7.4 截距法

7.4.1 截距法推荐用于不均匀的等轴晶粒组织,对于各向异性组织,可分别测定三个主要方向上的晶粒尺寸,在适当的情况下可较合理地测定平均晶粒尺寸。本方法可借助各种类型的试验仪器来完成测量与计算。例如,定量显微镜和图像分析仪等。

7.4.2 用截距法测量晶粒度,是在毛玻璃上或在试样的代表性视场内,通过计算被一根或数根直线(通常称为检测线)相截的晶粒数(在直线的总长度上不应少于 50 个相截晶粒),用计算平均截距的方法测定晶粒度。

7.4.3 应对随机选定的、分离较远的 3 个~5 个视场进行晶粒测量,以得出该试样合理的晶粒度平均值。

7.4.4 平均截距 l 按式(9)计算。

$$l = \frac{L}{N \times g} \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中:

l ——平均截距,单位为微米(μm);

L ——检测线的总长度,单位为微米(μm);

N ——检测线与晶界的交点总数,单位为个。

g ——放大倍数。

7.4.5 平均截距 l 的长度,略低于晶粒的平均直径尺寸,在通常测量时,可以认为是晶粒的平均直径。可参考表 4 给出的相关晶粒尺寸数据。

7.4.6 对于非等轴晶,每立方毫米内的晶粒数按式(10)计算。

$$n_v = 0.566 \times n_e \cdot n_c \cdot n_n \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中:

n_v ——每立方毫米内的晶粒数,单位为个每立方毫米(个/ mm^3);

n_e ——在纵向上被直线交截的每一毫米上的平均晶粒数,单位为个每毫米(个/ mm);

n_c ——在横向上被直线交截的每一毫米上的平均晶粒数,单位为个每毫米(个/ mm);

n_n ——在高向上被直线交截的每一毫米上的平均晶粒数,单位为个每毫米(个/ mm)。

7.4.7 可参考表 4 评定计算结果对应的晶粒级别指数 G 和相关数据。

8 试验报告

试验报告应包括下列内容:

- a) 试验日期;
- b) 牌号或化学成分;
- c) 状态代号;
- d) 试样号;
- e) 组织说明;
- f) 浸蚀条件。

