

中华人民共和国国家标准

GB/T 10561—2023

代替 GB/T 10561—2005

钢中非金属夹杂物含量的测定 标准评级图显微检验法

Determination of content of nonmetallic inclusions in steel—
Micrographic method using standard diagrams

(ISO 4967:2013, Steel—Determination of the non-metallic inclusion
content—Micrographic method, MOD)

2023-05-23 发布

2023-12-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

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。

本文件代替 GB/T 10561—2005《钢中非金属夹杂物含量的测定 标准评级图显微检验法》，与 GB/T 10561—2005 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 增加了术语和定义(见第 3 章)；
 - b) 更改了 C 类(硅酸盐类)和 DS 类夹杂物的特征描述(见 4.1, 2005 年版的第 2 章)；
 - c) 增加了各类夹杂物 3.5 级、4.0 级、4.5 级、5.0 级的总长度(或数量或直径)(见表 1)；
 - d) 更改了 D 类夹杂物细系最小宽度(见表 2, 2005 年版的表 2)；
 - e) 更改了钢管的取样方法及示意图[见图 2g、图 2h, 2005 年版的附录 NA]；
 - f) 增加了 B 法观察试样扫描示意图(见 7.2.1.2)；
 - g) 更改了 A 法和 B 法的通则(见 7.2.2, 2005 年版的 5.2.3)；
 - h) 增加了析出相的评定条件(见 7.2.2.8, 2005 年版的第 2 章)；
 - i) 更改了结果表示方法(见第 8 章, 2005 年版的第 6 章)；
 - j) 更改了夹杂物测量值、级别的计算公式、评级图片级别与夹杂物测定值的关系图(见附录 B, 2005 年版的附录 D)；
 - k) 更改了部分级别的标准图片, 并加注标尺(见附录 C, 2005 年版的附录 A)；
 - l) 增加了夹杂物的评定示(实)例(见附录 D)；
 - m) 增加了 B 法平均级别 i_{avg} 的计算公式及 3.5 级、4.0 级、4.5 级、5.0 级的权重因数(见 E.2、E.3)。
- 本文件修改采用 ISO 4967:2013《钢 非金属夹杂物含量的测定 标准评级图显微检验法》。

本文件与 ISO 4967:2013 相比做了下述结构调整：

- 增加了第 2 章和第 3 章；
- 第 4 章对应 ISO 4967:2013 中第 2 章, 其后的章节号顺延；
- 附录 B 对应 ISO 4967:2013 中附录 D；
- 附录 C 对应 ISO 4967:2013 中附录 A；
- 附录 D 对应 ISO 4967:2013 中附录 B；
- 附录 E 对应 ISO 4967:2013 中附录 C。

本文件与 ISO 4967:2013 相比, 存在较多技术差异。在所涉及的条款的外侧页边空白位置用垂直单线(∟)进行了标示, 这些技术差异及其原因一览表见附录 A。

更改了 ISO 标准名称的英文翻译。

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。

本文件由中国钢铁工业协会提出。

本文件由全国钢标准化技术委员会(SAC/TC 183)归口。

本文件起草单位：宝武特种冶金有限公司、冶金工业信息标准研究院、中国科学院金属研究所、首钢集团有限公司、钢铁研究总院有限公司、欧波同科技产业有限公司、江苏永钢集团有限公司、江阴兴澄特种钢铁有限公司、承德建龙特殊钢有限公司、德龙钢铁有限公司、抚顺特殊钢股份有限公司、吕梁建龙实业有限公司、西宁特殊钢股份有限公司。

本文件主要起草人：顾艳、栾燕、盖秀颖、鞠新华、程丽杰、李继康、李殿中、孟吉炜、皮晓宇、姚婧婧、余超、白云、王天球、杨志刚、苏建民、王海龙、颜丞铭、曹丽红、赵航。

本文件于 1989 年首次发布, 2005 年第一次修订, 本次为第二次修订。

钢中非金属夹杂物含量的测定

标准评级图显微检验法

1 范围

本文件给出了用标准评级图评定钢中非金属夹杂物的原理、取样、试样制备、测定、结果表示和试验报告的信息,并提供了测定非金属夹杂物的图像分析法(见附录B)。

本文件适用于评定压缩比大于或等于3的轧制或锻制钢中非金属夹杂物的含量。

注:本文件图谱不适用于评定某些类型钢(例如:易切削钢)。

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 13298 金属显微组织检验方法

GB/T 30067 金相学术语

3 术语和定义

GB/T 30067界定的及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

非金属夹杂物 nonmetallic inclusions

钢中一类组成物。

注:它们是在冶炼、凝固和冷却过程中形成,并在随后的冷、热加工过程中发生形态变化。通常具有非金属性质,如氧化物、硫化物、硅酸盐等。

3.2

形态比 morphological ratio

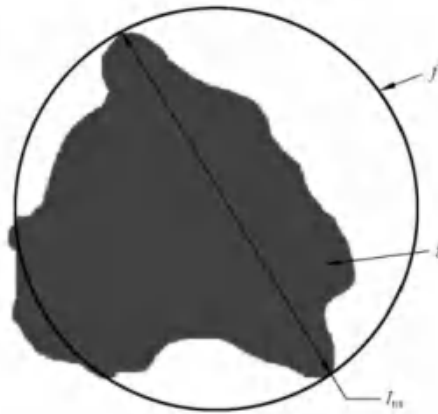
单个颗粒的长度和宽度之比。

3.3

直径 diameter

球状颗粒的最大尺寸。

注:一般为最大费雷特直径(见图1)。



标引符号说明：

f —— 最大费雷特圆；

g —— 球状颗粒；

I_m —— 最大费雷特直径。

图 1 直径示意图

4 原理

4.1 根据非金属夹杂物(以下简称夹杂物)的形态和分布,本文件将最常观察到的夹杂物分为下列 5 种类型:

- A 类(硫化物类):具有高延展性,有较宽范围形态比的单个灰色夹杂物,一般端部呈圆角;
- B 类(氧化铝类):大多数没有变形,带角的,形态比小(一般 <3),黑色或带蓝色的颗粒,沿轧制方向排成一行(至少有 3 个颗粒);
- C 类(硅酸盐类):具有高的延展性,边界光滑,有较宽范围形态比(一般 ≥ 3)的单个呈黑色或深灰色夹杂物,一般端部呈锐角;
- D 类(球状氧化物类):不变形,带角或圆形的,形态比小(一般 <3),黑色或带蓝色的,无规则分布的颗粒;
- DS 类(大颗粒球状氧化物类):直径 $>13 \mu\text{m}$ 的单颗粒 D 类夹杂物。

4.2 附录 C 给出了上述 A 类、B 类、C 类、D 类和 DS 类五类夹杂物的标准图谱,这些评级图片相当于 $100\times$ 下纵向抛光平面上面积为 0.50 mm^2 的正方形视场。将所观察的视场与附录 C 标准图谱进行对比,并分别对每类夹杂物进行评级。

4.3 夹杂物的形态在很大程度上取决于钢材压缩变形程度,因此,只有在经过相似变形程度的样坯截面上才可能进行测量结果的比较。

4.4 非传统类型夹杂物的评定,可通过将其形态与 A 类、B 类、C 类、D 类、DS 类夹杂物进行比较,并注明其化学特征。例如:球状硫化物可作为 D 类夹杂物评定,但在试验报告中应加注一个下标(如: D_{CaS} 表示球状硫化钙; D_{RES} 表示球状稀土硫化物; $D_{\text{CaS}+\text{Al}_2\text{O}_3}$ 表示复合夹杂物硫化钙包裹着氧化铝)。

注:非传统类型夹杂物通常指炼钢过程中经过钙处理或添加稀土元素或其他特殊处理而形成的含钙(或含稀土)夹杂物,以及复合夹杂物等。

4.5 析出相类如氮化钛、碳氮化钛、硼化物、碳化物、其他碳氮化合物或氮化物的评定,也可根据它们的形态与 B 类、C 类、D 类、DS 类夹杂物进行比较,并以下角标表示其化学特征。

注:在进行试验之前,一般采用大于 $100\times$ 的放大倍率对非传统类型夹杂物和析出相进行检验,以确定其化学特征。

4.6 表 1 给出了每类夹杂物 0.5 级~5.0 级总长度(或数量或直径)的评级界限(最小值)。A 类、B 类、C 类、D 类夹杂物又根据其颗粒宽度的不同分成细系和粗系两个系列,具体宽度划分界限见表 2。

表 1 评级界限(最小值)

评级图级别 <i>i</i>	夹杂物类别				
	A	B	C	D	DS
	总长度 μm	总长度 μm	总长度 μm	数量 个	直径 μm
0.5	≥ 37	≥ 17	≥ 18	≥ 1	> 13
1.0	≥ 127	≥ 77	≥ 76	≥ 4	≥ 19
1.5	≥ 261	≥ 184	≥ 176	≥ 9	≥ 27
2.0	≥ 436	≥ 343	≥ 320	≥ 16	≥ 38
2.5	≥ 649	≥ 555	≥ 510	≥ 25	≥ 53
3.0	≥ 898	≥ 822	≥ 746	≥ 36	≥ 76
3.5	$\geq 1\ 181$	$\geq 1\ 147$	$\geq 1\ 029$	≥ 49	≥ 107
4.0	$\geq 1\ 498$	$\geq 1\ 530$	$\geq 1\ 359$	≥ 64	≥ 151
4.5	$\geq 1\ 848$	$\geq 1\ 973$	$\geq 1\ 737$	≥ 81	≥ 214
5.0	$\geq 2\ 230$	$\geq 2\ 476$	$\geq 2\ 163$	≥ 100	≥ 303

表 2 夹杂物宽度

单位为微米

类别	细系		粗系	
	最小宽度	最大宽度	最小宽度	最大宽度
A	≥ 2	≤ 4	> 4	≤ 12
B	≥ 2	≤ 9	> 9	≤ 15
C	≥ 2	≤ 5	> 5	≤ 12
D	≥ 2	≤ 8	> 8	≤ 13

4.7 当采用图像分析法时,各视场夹杂物的级别可参照附录 B 给出的关系曲线评定。

5 取样

5.1 取样应在冷状态下用机械方法切取。若用气割或热切割等方法切取时,应将金属熔化区、塑性变形区完全去除。淬火后的试样不应有淬火裂纹,以免影响正确评定。

5.2 用于测量夹杂物含量的试样抛光面积宜为 200 mm^2 ($20\text{ mm} \times 10\text{ mm}$)。抛光面应平行于钢材主变形方向,位于钢材外表面到中心的中间位置。当产品厚度、直径或壁厚较小时,则应从同一样坯上截取足够数量的试样,以保证总抛光面积为 200 mm^2 ,并将这些试样视为一支试样;当主变形方向连续取样总长度达 100 mm 作为一支试样时,抛光面积不足 200 mm^2 是允许的。

5.3 取样数量应在产品标准或协议中规定。

5.4 取样方法应在产品标准或协议中规定。如果产品标准或协议没有规定,取样方法按如下规定进行:

- 公称直径或边长小于或等于 25 mm 的钢棒；检验面为通过直径的整个截面，其长度应保证得到约 200 mm² 的抛光面积，见图 2 a)；
 - 公称直径或边长大于 25 mm 且小于或等于 40 mm 的钢棒或钢坯；检验面为通过直径的截面的一半由试样中心到边缘，见图 2 b)；
 - 公称直径或边长大于 40 mm 的钢棒或钢坯；检验面为钢材外表面到中心的中间位置的部分径向截面，见图 2 c)；
 - 公称厚度小于或等于 25 mm 的钢板；检验面位于宽度 1/4 处的全厚度截面，见图 2 d)；
 - 公称厚度大于 25 mm 且小于或等于 50 mm 的钢板；检验面为位于宽度的 1/4 和从钢板表面到中心的位置，检验面为钢板厚度的 1/2 截面，见图 2 e)；
 - 公称厚度大于 50 mm 的钢板；检验面为位于宽度的 1/4 和从钢板表面到中心之间的中间位置，检验面为钢板厚度的 1/4 截面，见图 2 f)；
 - 公称壁厚小于或等于 25 mm 的钢管；检验面位于全壁厚径向截面，见图 2 g)；
 - 公称壁厚大于 25 mm 的钢管；检验面为通过外壁到内壁中间位置的部分径向截面，见图 2 h)。
- 注：焊管宜远离焊缝位置取样。

单位为毫米

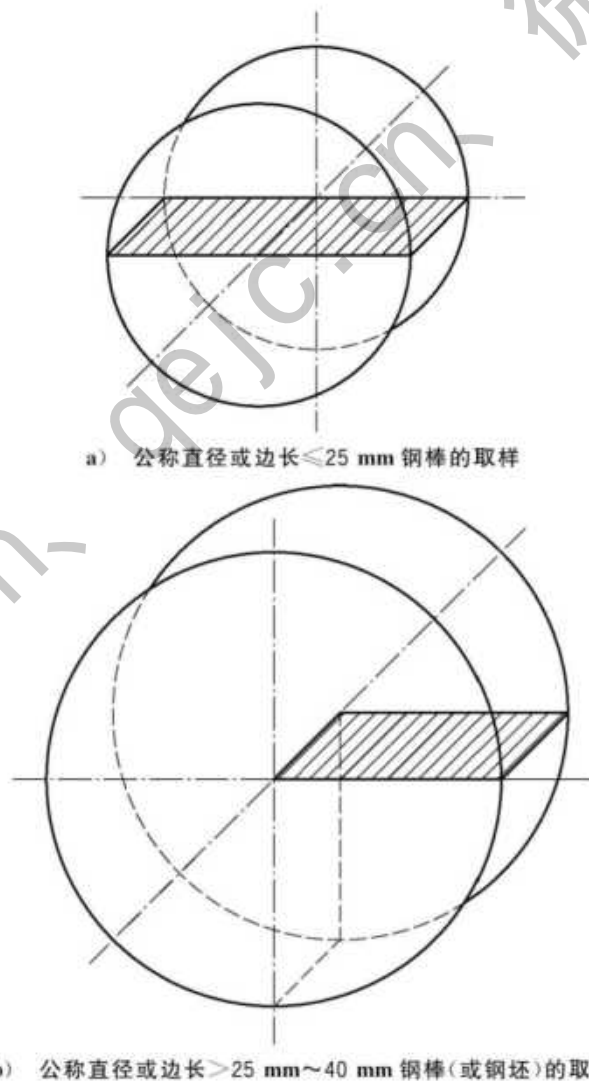
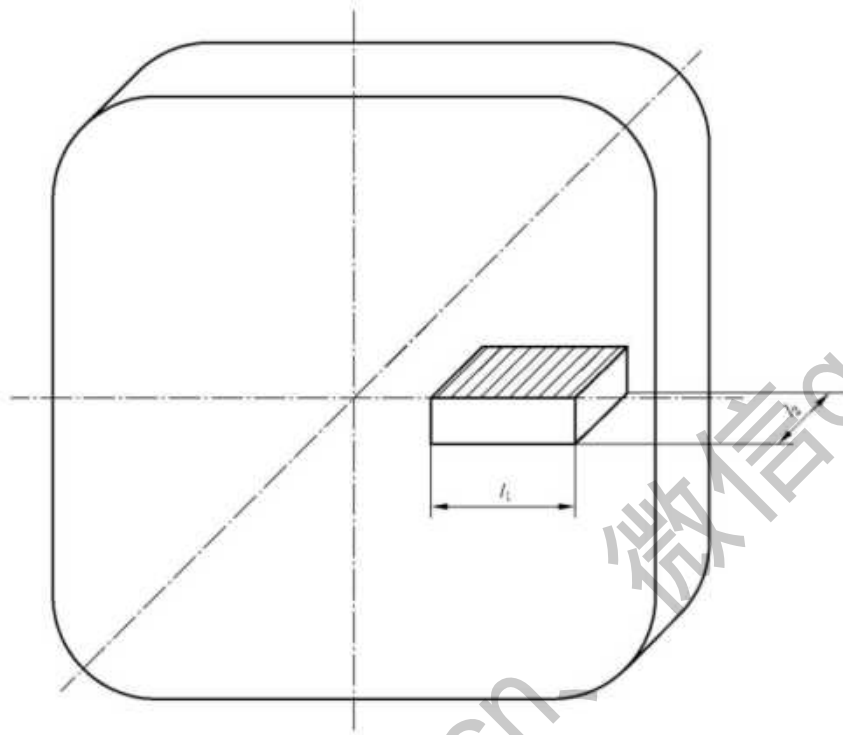
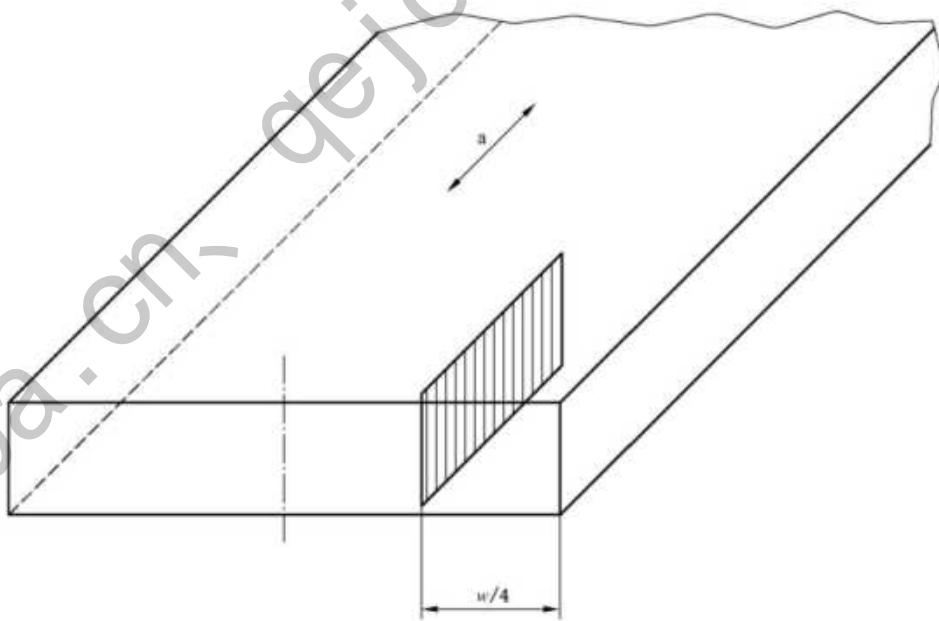


图 2 夹杂物取样示意图

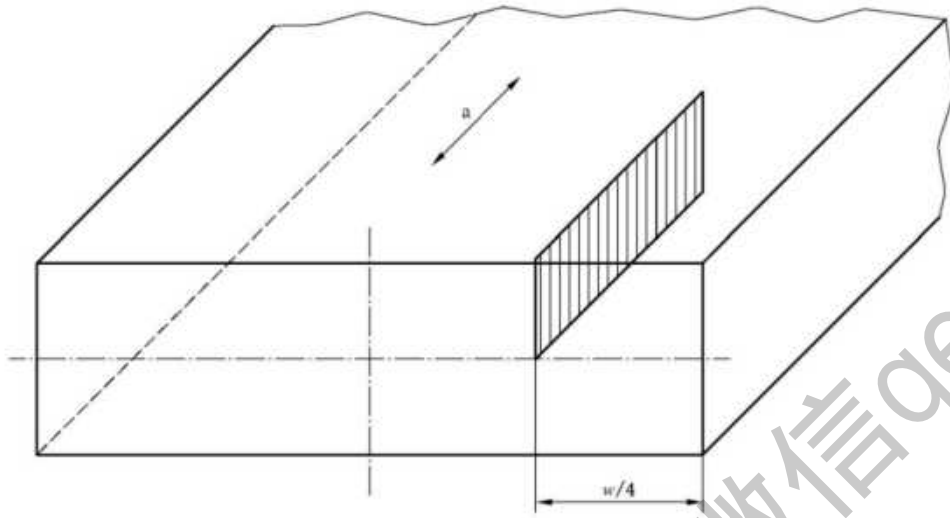


c) 公称直径或边长 > 40 mm 的钢棒(或钢坯)的取样

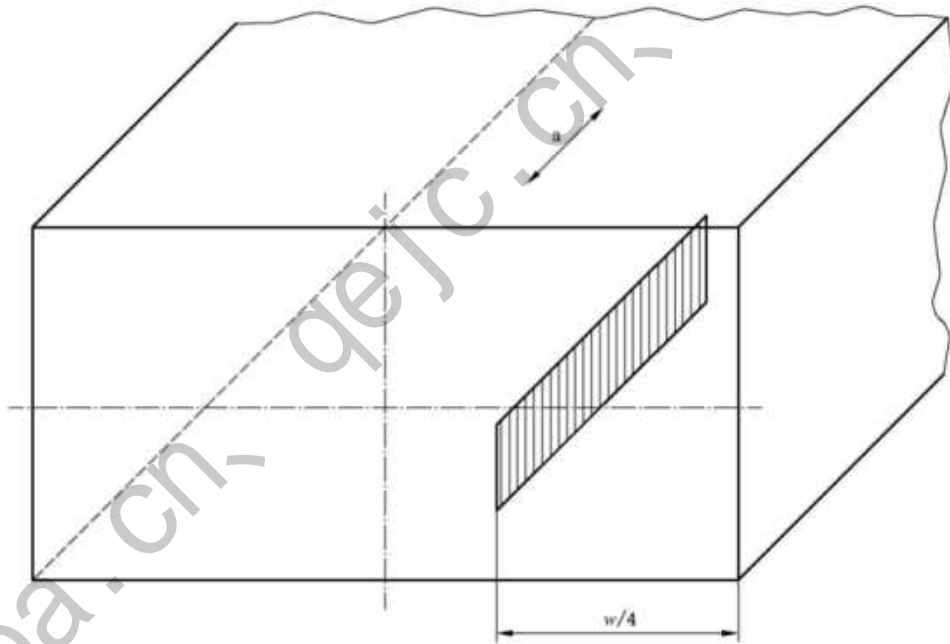


d) 公称厚度 ≤ 25 mm 钢板的取样

图 2 夹杂物取样示意图(续)

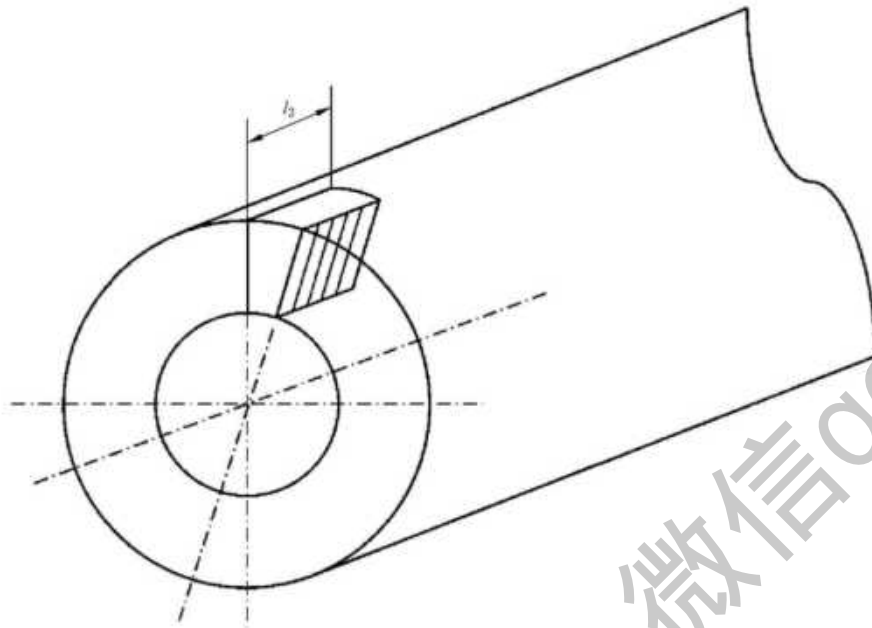


e) 公称厚度 $>25\text{ mm}\sim 50\text{ mm}$ 钢板的取样

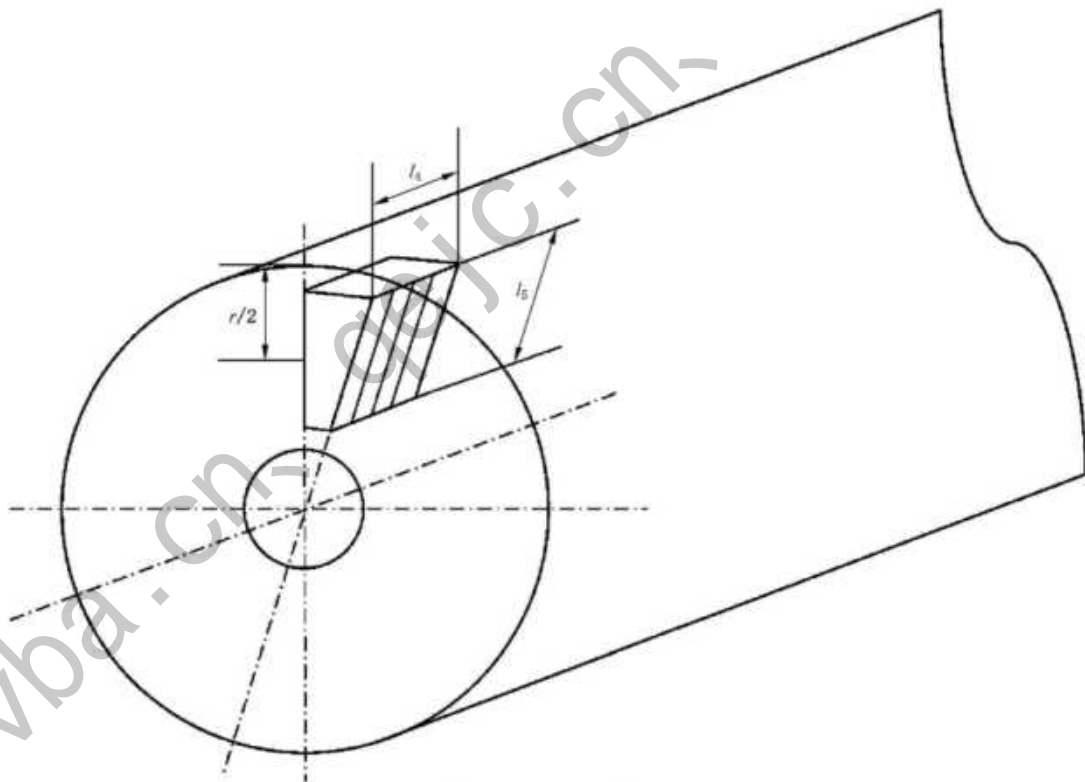


f) 公称厚度 $>50\text{ mm}$ 钢板的取样

图 2 夹杂物取样示意图 (续)



g) 公称壁厚≤25 mm 钢管取样图



h) 壁厚>25 mm 钢管取样图

标引符号说明:

w —— 宽度;

a —— 主变形方向;

r —— 壁厚;

$l_1=20\text{ mm}, l_2=10\text{ mm}, l_3=10\text{ mm}, l_4=20\text{ mm}, l_5=10\text{ mm}$ 。

图 2 夹杂物取样示意图 (续)

6 试样制备

6.1 试样的制备按 GB/T 13298 的规定执行。

6.2 为了使检验面平整、避免抛光时试样边缘磨成圆角,试样可用夹具或镶嵌的方法加以固定。

6.3 试样抛光时,应避免夹杂物的剥落、变形或抛光表面被污染,以保证检验面干净和夹杂物的形态不受影响。当夹杂物细小时,上述操作要点尤其重要。在某些情况下,为了使试样达到较高的硬度,在抛光前试样可进行热处理。

7 测定方法

7.1 观察方法

7.1.1 在显微镜下用目镜观察或者显示到屏幕上观察,放大倍率为 $100\times \pm 2\times$ 。

7.1.2 评级时如果用目镜检验夹杂物,则应在显微镜的适当位置上放置试验网格(见图 3),以使在图像上试验框内的面积是 0.50 mm^2 。如果图像被显示到屏幕上或类似装置上观察, $100\times$ 下成像视场是边长为 71 mm 的正方形(实际面积为 0.50 mm^2),然后用正方形内的图像按照附录 C 与标准图片进行比较。

注:在特殊情况下,可采用大于 $100\times$ 的放大倍率观察,并测量实际长度。

单位为毫米

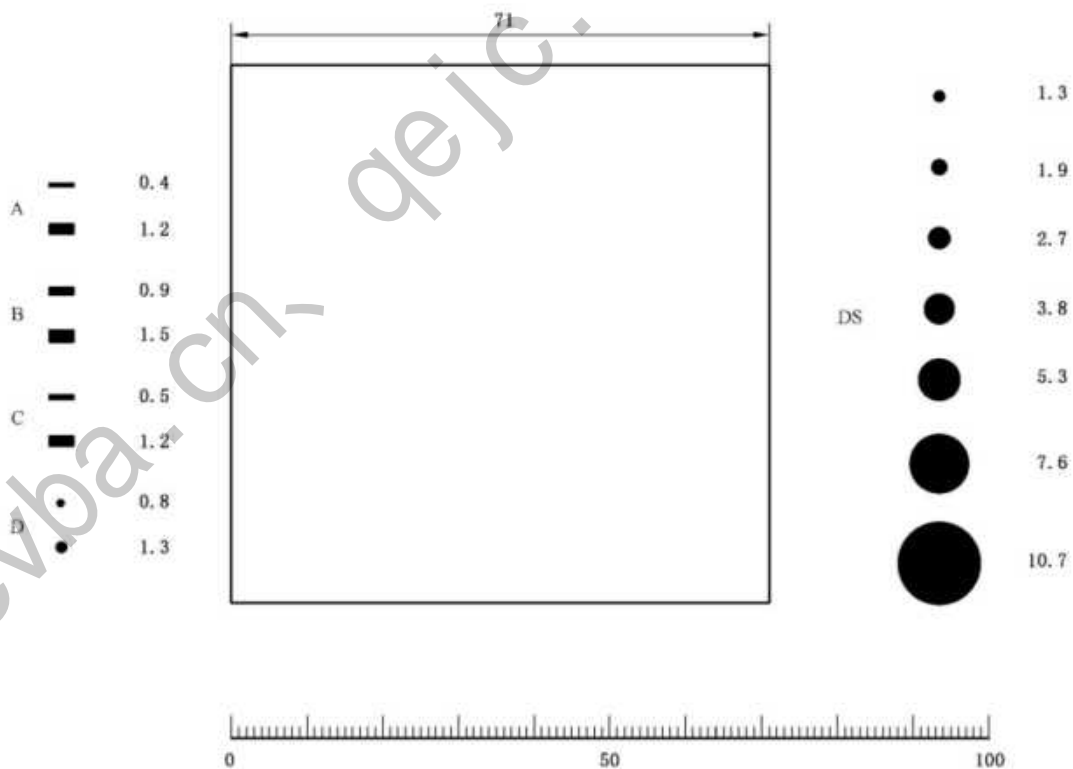


图 3 格子轮廓线或标线的测量网

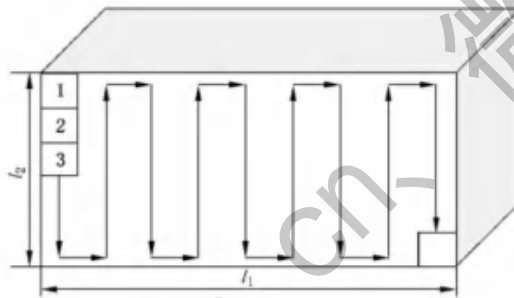
7.2 评定方法

7.2.1 检验方法

7.2.1.1 夹杂物的测定应检验整个抛光面,可采用下列两种方法之一检验:

- A法:对于每一类夹杂物,按细系和粗系记下与所检验面上最恶劣视场相符合的标准图片的级别数;
- B法:试样每一视场同标准图片相对比,每类夹杂物按细系或粗系记下与检验视场相符合的标准图片的级别数。

7.2.1.2 采用B法检验时,移动显微镜载物台逐个观察每个视场,视场应是连续的,并记录落在每个视场内的夹杂物。推荐的扫描方式见图4。为了使检验费用降到最低,可以通过研究夹杂物的分布固定模式,然后对试样做局部检验以减少检验视场数,并使之分布符合一定的方案,然后对试样做局部检验。但无论是视场数,还是这些视场的分布,均应事前协议商定。



注: $l_1 = 20 \text{ mm}$, $l_2 = 10 \text{ mm}$ 。

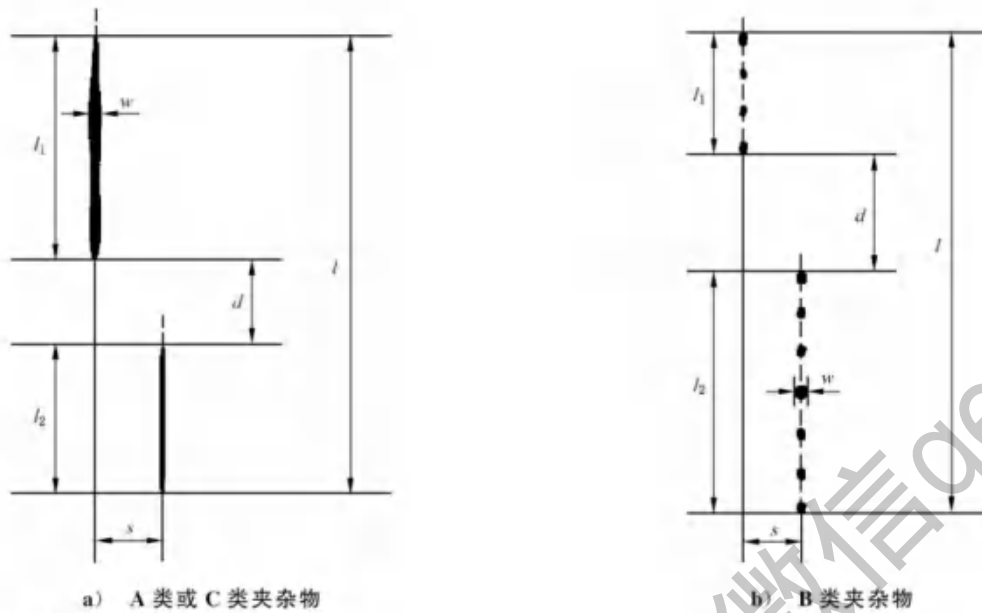
图4 显微镜法的推荐扫描方式

7.2.2 A法和B法的通则

7.2.2.1 检验整个抛光面,区分夹杂物类型和宽度,按照附录C与标准图谱进行对比;或测量每一个视场观察到的A类、B类、C类夹杂物的总长度,D类夹杂物的数量及DS夹杂物的直径,根据表1和表2评定夹杂物的级别。如果一个视场处于两相邻标准图片之间时,应评为较低的级别。

7.2.2.2 小于 $2 \mu\text{m}$ 以下的夹杂物不参与评级。

7.2.2.3 对于A类、B类和C类夹杂物,用 l_1 和 l_2 分别表示两个在或者不在一条直线上的夹杂物的长度,如果相邻两个夹杂物的纵向间距 d 小于或等于 $40 \mu\text{m}$,且横向中心间距 s 小于或等于 $15 \mu\text{m}$,则应视为一个串(条)状夹杂物;如果一个串(条)状夹杂物内的宽度不同,则应将夹杂物的最大宽度视为该串(条)状夹杂物的宽度。见图5。



a) A类或C类夹杂物

b) B类夹杂物

标引符号说明:

l_1 、 l_2 ——单个夹杂物的长度;

w ——夹杂物的宽度;

s ——相邻两个夹杂物之间的横向中心间距, $s \leq 15 \mu\text{m}$;

d ——相邻两个夹杂物之间的纵向间距, $d \leq 40 \mu\text{m}$;

l ——串(条)夹杂物的长度, $l = l_1 + d + l_2$ 。

图5 一个串(条)状夹杂物

7.2.2.4 对于A类、B类和C类夹杂物,如果某夹杂物或串(条)状夹杂物的长度超过视场的边长(0.710 mm),或宽度大于粗系最大值(见表2),则应当作超尺寸(长度或宽度)夹杂物进行评定,并分别记录,但这些夹杂物仍应纳入该视场的评级(示例见附录D中D.2)。

7.2.2.5 使用图3的透明网格或十字线实际测量A类、B类、C类、D类、DS类夹杂物,用表1、表2的评级界限以及第4章描述的夹杂物形态和标准图谱可提高夹杂物检测的再现性。

7.2.2.6 除非产品标准或协议有特殊要求,非传统类型夹杂物宜纳入传统夹杂物的评级,按其形态与最接近的A类、B类、C类、D类、DS类夹杂物合并评定。根据产品标准或协议要求,可借助光学显微镜的偏振光或扫描电子显微镜等方法判定夹杂物的化学特征,并加以标注。复合夹杂物的评定实例见D.3。

7.2.2.7 根据产品标准或协议的要求,析出相可按其形态与最接近的B类、C类、D类、DS类夹杂物评定,并按7.2.2.6的方法表示其化学特征。析出相的评定实例见D.4。

8 结果表示

8.1 通则

8.1.1 夹杂物检验结果通常采用夹杂物类别代号(A、B、C、D、DS)、系列代号(细系T或粗系H)以及级别(0.5、1.0……5.0)表示。除非在产品标准或协议中已指明,评定结果按8.2(A法)或8.3(B法)表示。

8.1.2 如果某视场出现夹杂物或串(条)状夹杂物的长度超过视场的边长(0.710 mm)或宽度大于粗系最大值(见表2)应在试验报告中单独记录,并用字母s表示出现超尺寸(长度或宽度)夹杂物。

8.1.3 如果某视场出现非传统类型夹杂物或析出相,如需在试验报告中单独记录,则用下标注明其化学特征。化学特征以分子式或(和)主要元素表示。如果通过能谱分析能明确夹杂物组成,则可用分子

式表示,含量占优的写在前面,各分子式之间用加号分隔。如果通过能谱分析不能明确夹杂物组成,则可用化学元素表示其主要成分,各元素之间用逗号分隔,含量占优的写在前面。

示例:

$DS_{MgO+CaS} 2.0; DS_{RE(S, O)} 1.5; D_{TiN} 1.5。$

注: $DS_{MgO+CaS} 2.0$ 表示单颗粒复合夹杂物 2.0 级,复合夹杂物由 MgO 和 CaS 组成,其中 MgO 占优。

$DS_{RE(S, O)} 1.5$ 表示单颗粒稀土硫化物 1.5 级,其中硫化物占优。

$D_{TiN} 1.5$ 表示分散分布的颗粒状氮化钛 1.5 级。

8.2 A 法

8.2.1 表示整个检验面上与每类夹杂物和每个系列夹杂物最恶劣视场相符合的级别(见 D.1)。

8.2.2 表示方法为夹杂物类别代号加系列代号加最恶劣视场级别(见示例 1);也可用表格的形式表示其结果(见示例 2)。

示例 1:

AT 2.0, AH 0.5, BT2.5 s(930 μm), BH 0, CT 0, CH 1.0 s(20 μm), DT 1.0, DH 0, DS 0.5。

注: AT 2.0 表示 A 类细系 2.0 级;AH 0.5 表示 A 类粗系 0.5 级;BT2.5 s(930 μm)表示 B 类细系夹杂物 2.5 级(有一长度为 930 μm 的超长夹杂物);BH 0 表示 B 类粗系 0 级;CT 0 表示 C 类细系 0 级;CH 1.0 s(20 μm)表示 C 类粗系 1.0 级(有一宽度为 20 μm 的超宽夹杂物);DT 1.0 表示 D 类细系 1.0 级;DH 0 表示 D 类粗系 0 级;DS 0.5 表示大颗粒球状氧化物 0.5 级。

示例 2:

表 × 夹杂物的检测结果

单位为级

A		B		C		D		DS
细系	粗系	细系	粗系	细系	粗系	细系	粗系	
2.0	0.5	2.5 ^a	0	0	1.0 ^b	1.0	0	0.5
^a 有一长度为 930 μm 超长夹杂物。 ^b 有一宽度为 20 μm 超宽夹杂物。								

8.2.3 用每个试样的级别以及在此基础上所得的每炉(批)钢材的每类及每个系列夹杂物的级别算术平均值来表示结果。

8.3 B 法

8.3.1 表示整个检验面上所观察视场内每类及每个系列夹杂物在给定级别上的视场数(见附录 E 中 E.1)。

8.3.2 对于所给定的各类夹杂物的级别,可按其他专门的方法表示其结果。例如:根据产品标准或协议规定的平均级别 i_{moy} (见 E.2)或纯洁度 K_j (见 E.3)。

9 试验报告

试验报告应包括(但不限于)下列项目:

- 本文件编号;
- 钢的牌号和炉号;
- 产品类型和尺寸;

- d) 取样位置及检验面位置；
- e) 选用的方法(检验方法、结果表示方法)；
- f) 放大倍率(大于 100×时)；
- g) 观察的视场数或总检验面积；
- h) 各项检验结果；
- i) 试验报告编号和日期；
- j) 试验员姓名。

jcvba.cn, qejc.cn, 微信qejc21

附 录 A
(资料性)

本文件与 ISO 4967:2013 技术差异及其原因一览表

本文件与 ISO 4967:2013 相应技术差异及其原因一览表见表 A.1。

表 A.1 本文件与 ISO 4967:2013 技术差异及其原因一览表

本文件结构编号	技术差异	原因
3	增加了术语和定义	提高对本文件内容的理解
4.1	增加了 C 类夹杂物(硅酸盐)的形貌特征描述,修改了 C 类夹杂物形态比和 DS 类夹杂物的特征描述	便于区分氧化类夹杂物与硅酸盐类夹杂物,明确 DS 类夹杂物是超大的 D 类夹杂物
4.4	以“注”的形式增加了对非传统类型夹杂物的解释	提高对非传统类型夹杂物的理解
4.6	表 1 中增加了 3.5 级、4.0 级、4.5 级、5.0 级夹杂物的总长度(或数量或直径)的数值	方便夹杂物的评定
	修改了表 2 中部分数值,并增加了夹杂物的宽度界限符号	提高标准的可操作性
5.1	增加了夹杂物检测取样方式	保证试样的制备质量,提高标准的可操作性
5.4	修改了钢管的取样方法及示意图	符合实际取样要求,提高标准的可操作性
7.1.1	删除了投影到毛玻璃上,增加了显示屏观察方法	根据实际检测情况做调整,提高标准的可操作性
7.2.1.2	增加了 B 法的试样观察扫描方法	明确试样观察方法,提高标准的可操作性
7.2.2.2	增加了小于 2 μm 的夹杂物不参与评级	明确夹杂物最小评级尺寸,提高标准的可操作性
7.2.2.3	修改了串(条)状夹杂物的横向间距为 15 μm	依据夹杂物的最大宽度尺寸修改,更符合夹杂物的实际分布情况,提高标准的可操作性
7.2.2.6	增加了非传统类型夹杂物纳入常规夹杂物的评定	明确评定条件和原则,提高标准的可操作性
7.2.2.7	增加了析出相评定要求	明确评定条件和原则,提高标准的可操作性
8.1	修改了结果表示通则,增加了结果表示示例	简单明了,提高标准的可操作性
8.2	增加了 A 法结果示例(表格形式)	
8.3.2	增加了纯洁度 K_j 值	与附录 E 保持一致
附录 C	修改了夹杂物图片上方的界限符号;修改部分级别的标准图片	使标准图片与表 1、表 2 中数值保持一致

附录 B

(资料性)

评级图片级别与夹杂物测定值的关系

B.1 图 B.1~图 B.5 分别表示 A 类、B 类、C 类、D 类和 DS 类夹杂物的评级图片级别 i 与夹杂物测定值的关系,图中长度 L 或直径 d 用微米(μm)表示,或用每个视场的夹杂物数量 n 表示。B.2 所列公式可用于由夹杂物的测量值计算出夹杂物的级别 i 。B.3 所列公式可由夹杂物的级别计算出夹杂物的测量值。例如,测量评级图片级别在 3.0 以上夹杂物时可以用 B.2 中的公式由夹杂物测量值计算级别。

B.2 由夹杂物的测量值计算夹杂物的级别。

A 类硫化物,长度(L)用 μm 表示:

$$\lg(i) = [0.5617 \lg(L)] - 1.182$$

B 类氧化铝,长度(L)用 μm 表示:

$$\lg(i) = [0.4633 \lg(L)] - 0.873$$

C 类硅酸盐,长度(L)用 μm 表示:

$$\lg(i) = [0.4797 \lg(L)] - 0.901$$

D 类球状氧化物,每个视场中的数量(n):

$$\lg(i) = [0.5 \lg(n)] - 0.301$$

DS 类大颗粒球状氧化物,直径(d)用 μm 表示:

$$i = [3.3117 \lg(d)] - 3.221$$

除 DS 类夹杂物以外,由反对数可获得 i 值。

B.3 由夹杂物的级别计算夹杂物的测量值。

A 类硫化物,长度(L)用 μm 表示:

$$\lg(L) = [1.7802 \lg(i)] + 2.1038$$

B 类氧化铝,长度(L)用 μm 表示:

$$\lg(L) = [2.1583 \lg(i)] + 1.8853$$

C 类硅酸盐,长度(L)用 μm 表示:

$$\lg(L) = [2.0845 \lg(i)] + 1.8783$$

D 类球状氧化物,每个视场中的数量(n):

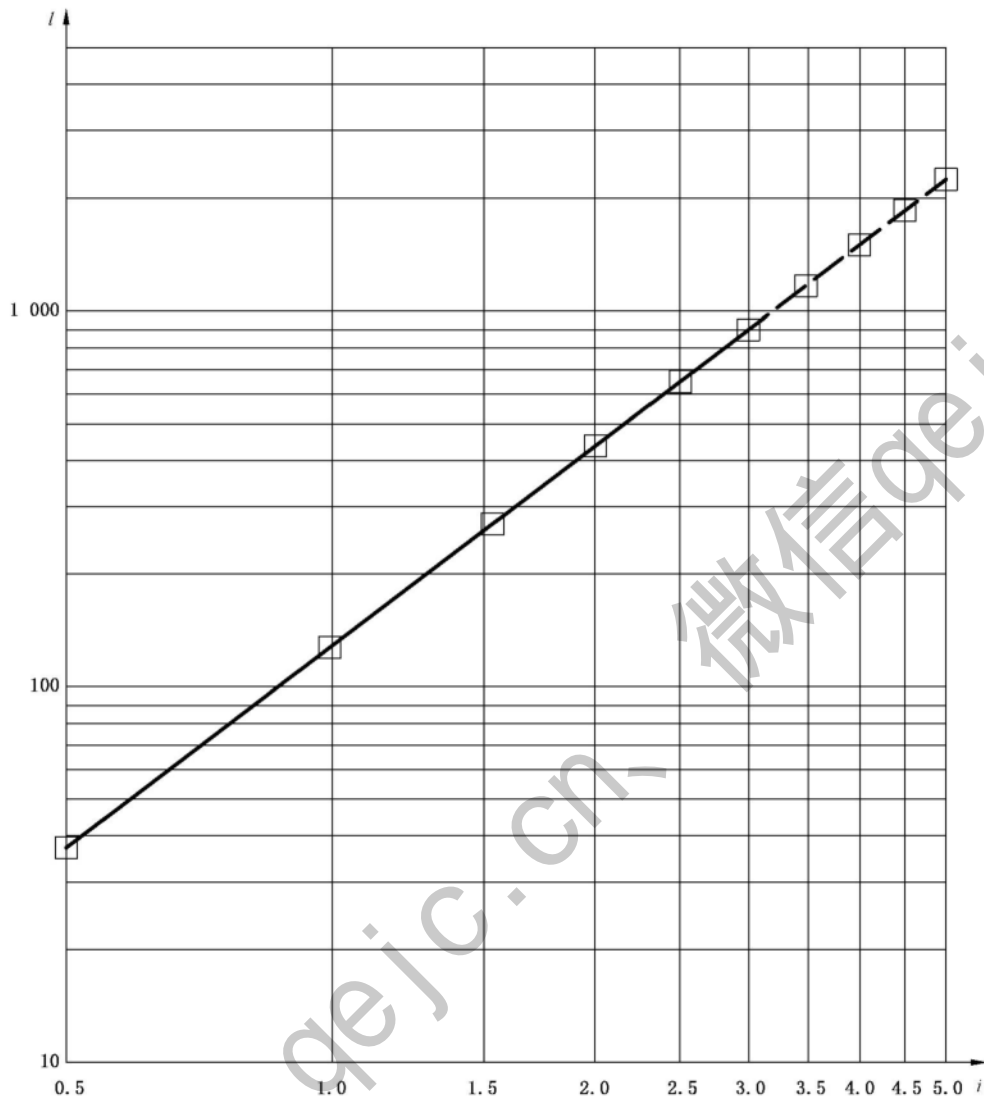
$$\lg(n) = 2 \lg(i) + 0.602$$

DS 类大颗粒球状氧化物,直径(d)用 μm 表示:

$$\lg(d) = [0.302i] + 0.972$$

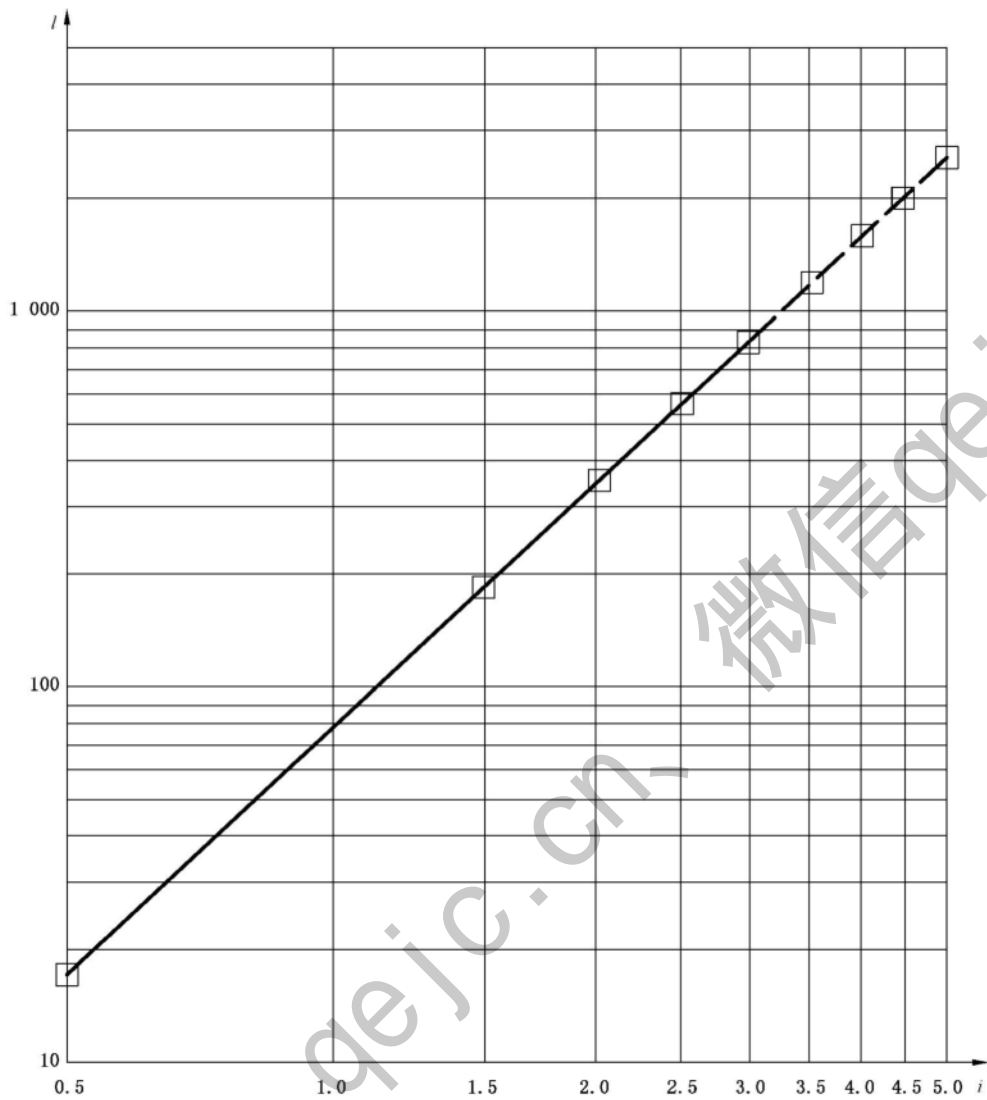
测量值可由反对数获得。

以上线性回归公式, R^2 值均在 0.9999 以上。



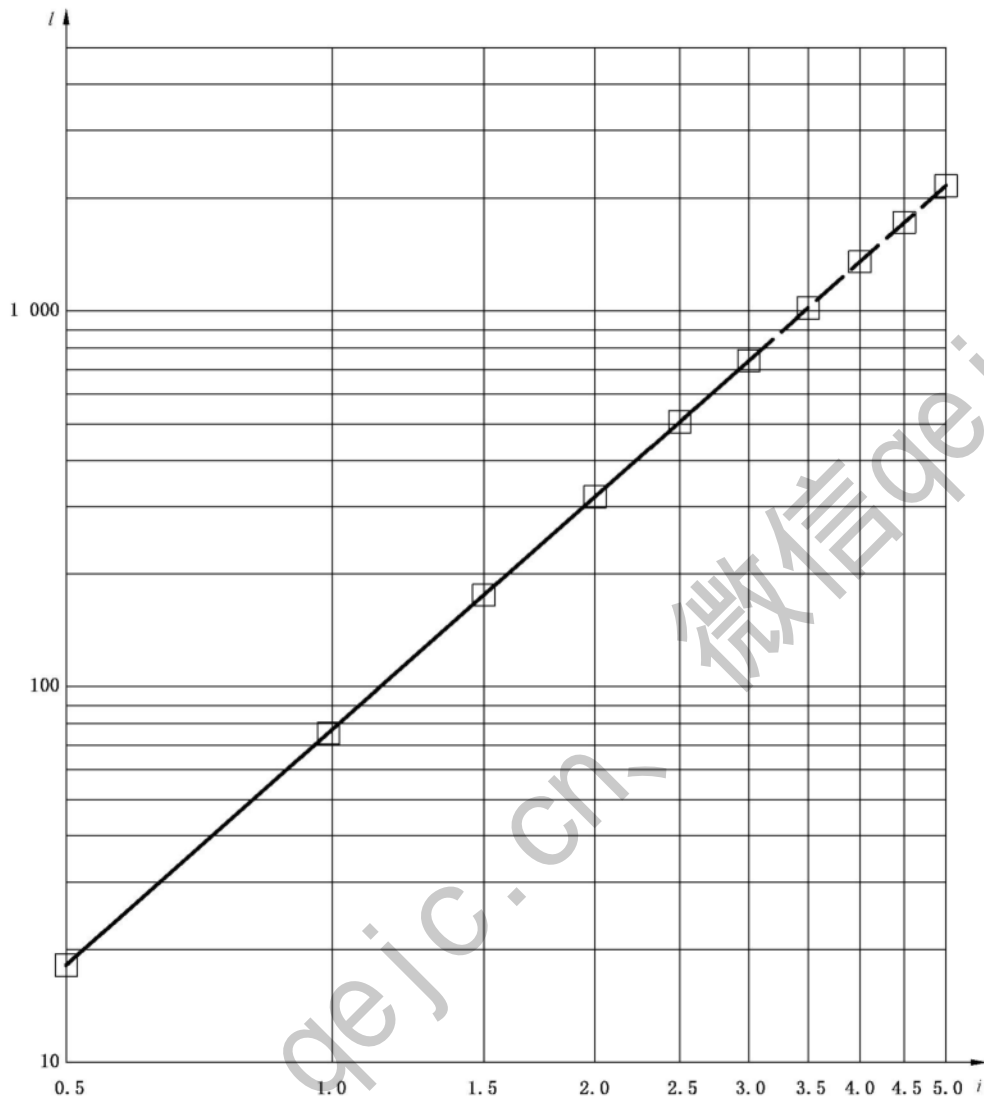
注： i 表示评级图级别，单位为级； l 表示夹杂物长度，单位为微米(μm)。

图 B.1 A 类(硫化物类)



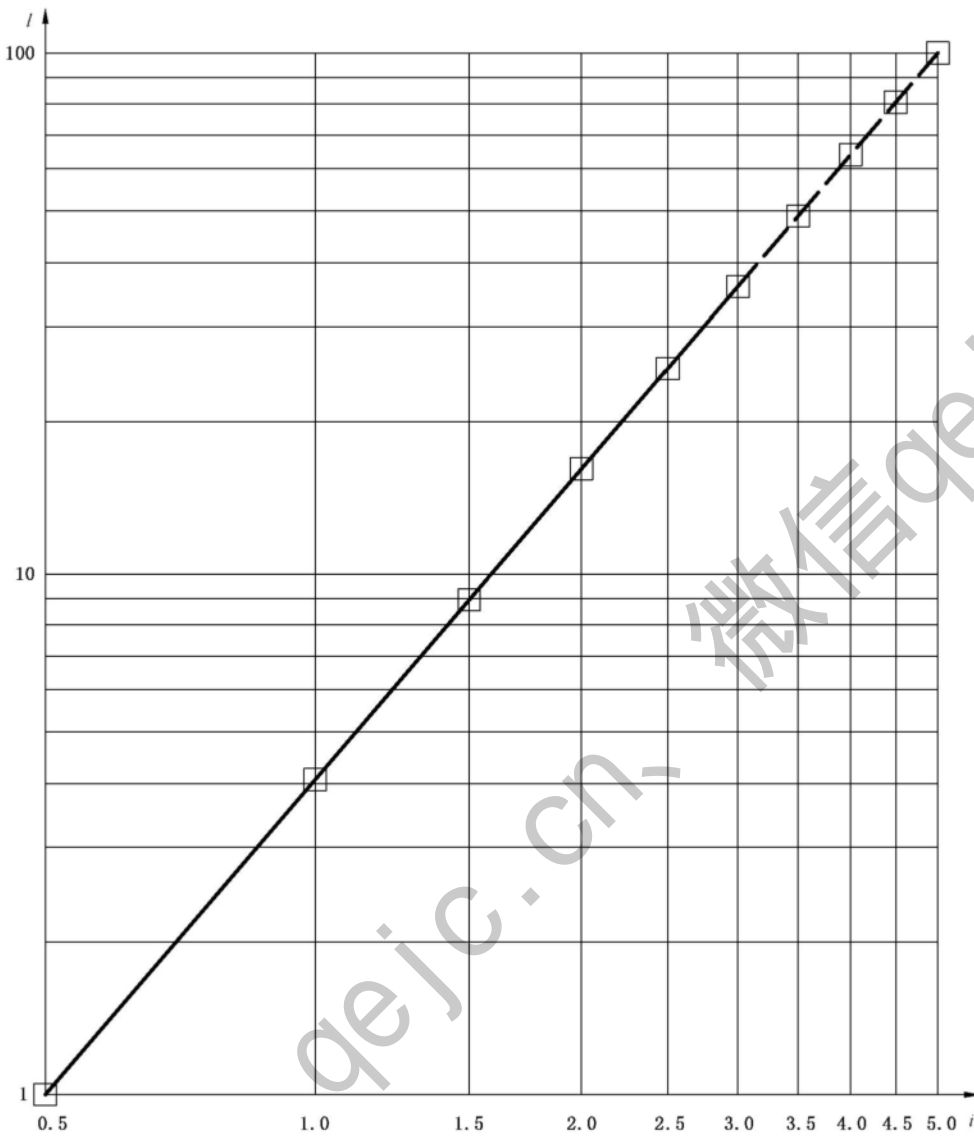
注： i 表示评级图级别，单位为级； l 表示夹杂物长度，单位为微米(μm)。

图 B.2 B 类(氧化铝类)



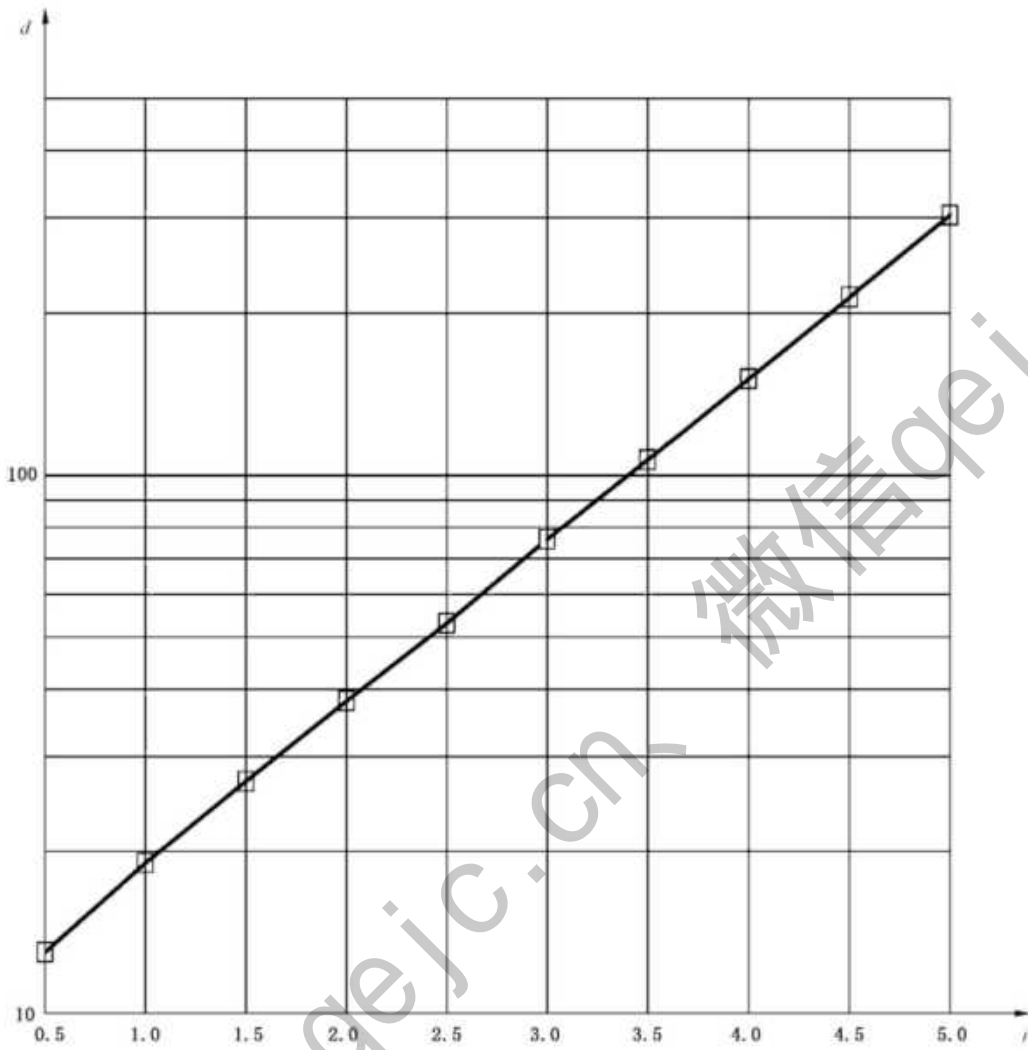
注： i 表示评级图级别，单位为级； l 表示夹杂物长度，单位为微米(μm)。

图 B.3 C 类(硅酸盐类)



注： i 表示评级图级别，单位为级； n 表示夹杂物数量，单位为个。

图 B.4 D 类(球状氧化物类)



注： i 表示评级图级别，单位为级； d 表示夹杂物直径，单位为微米(μm)。

图 B.5 DS 类(大颗粒球状氧化物)

附录 C

(规范性)

A、B、C、D 和 DS 类夹杂物的评级图

A

(硫化物类)

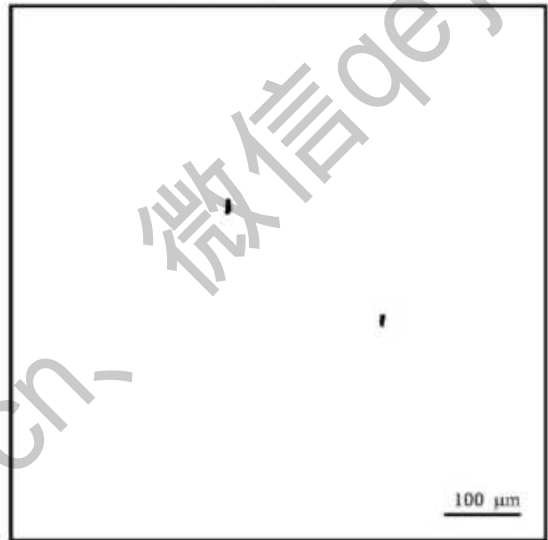
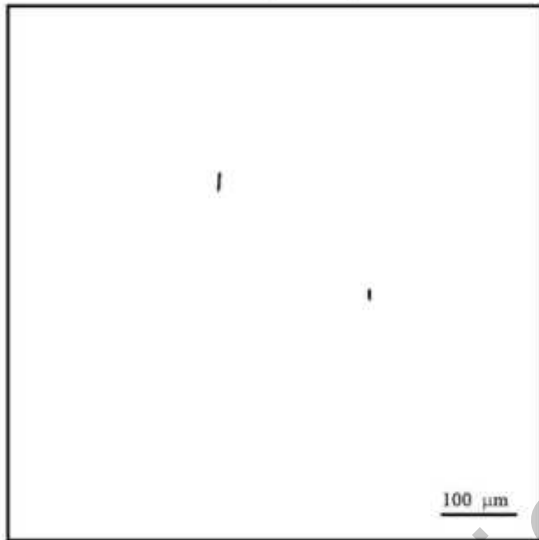
细系

宽度 $\geq 2 \mu\text{m} \sim 4 \mu\text{m}$

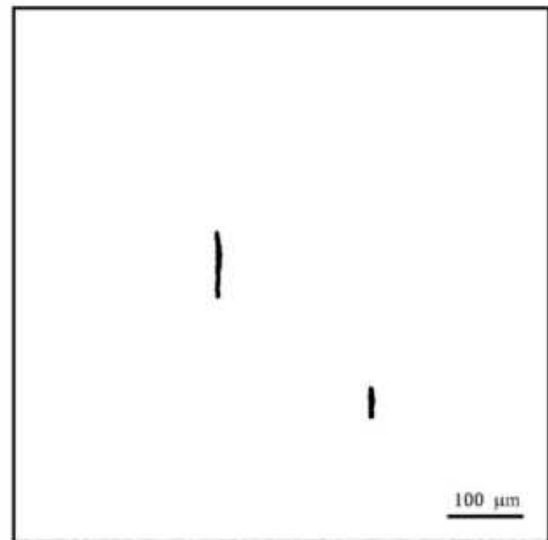
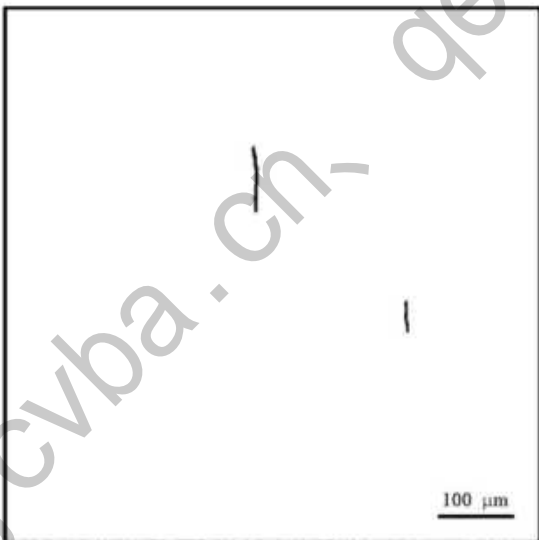
最小总长度

粗系

宽度 $> 4 \mu\text{m} \sim 12 \mu\text{m}$

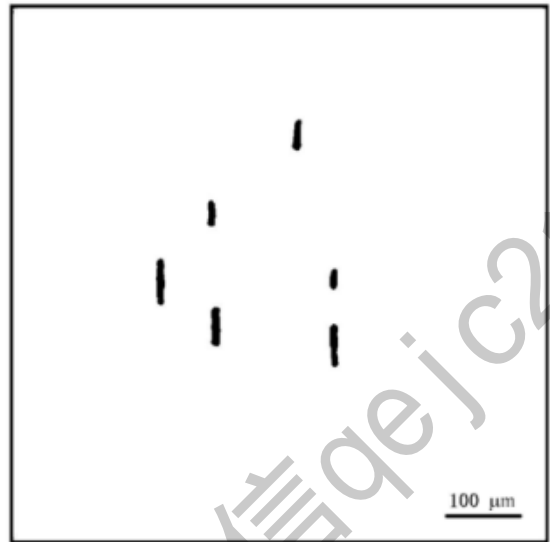
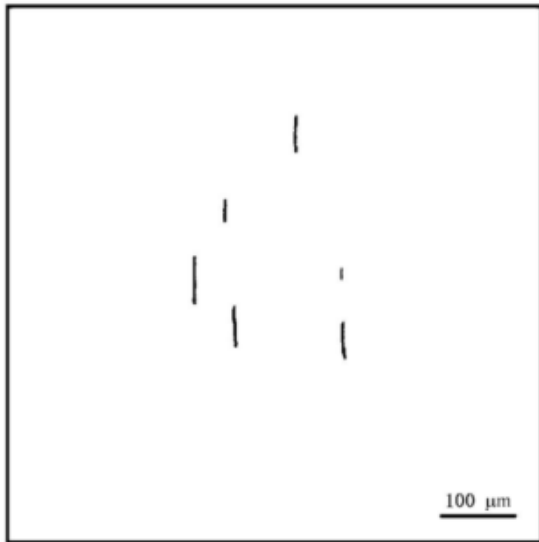


37 μm
 $i=0.5$

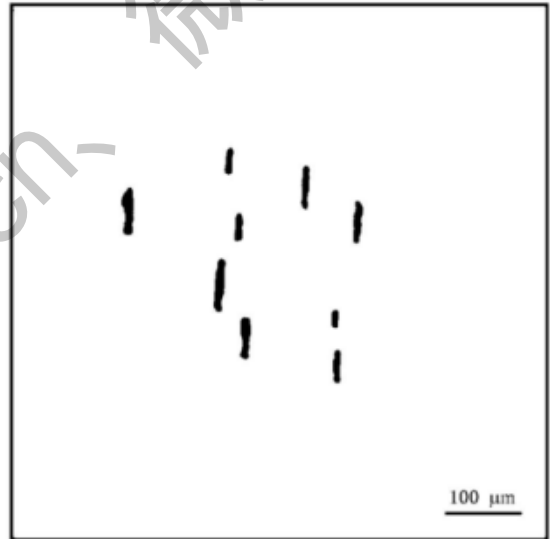
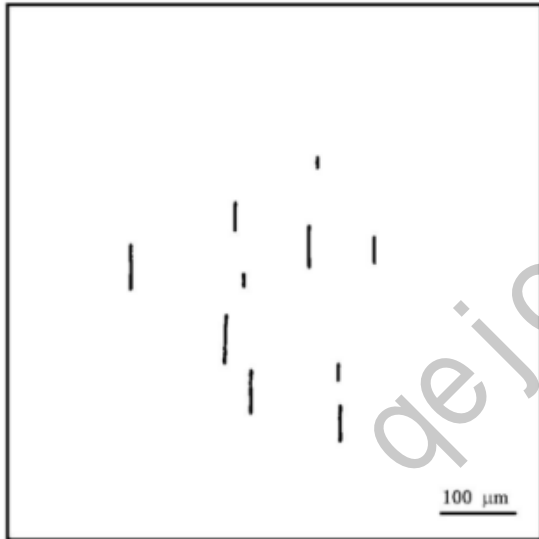


127 μm
 $i=1.0$

放大倍率 = 100 \times

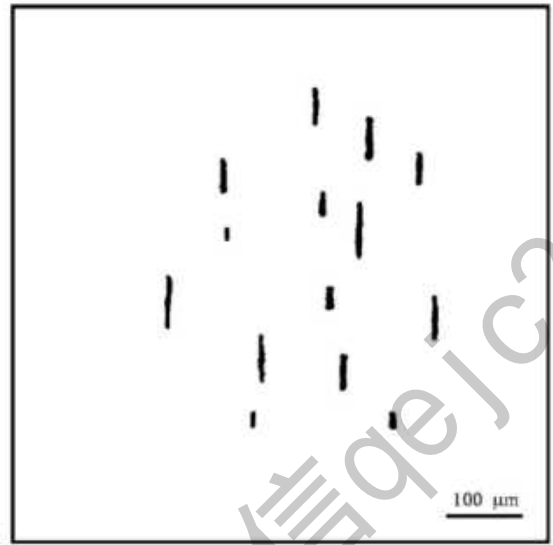
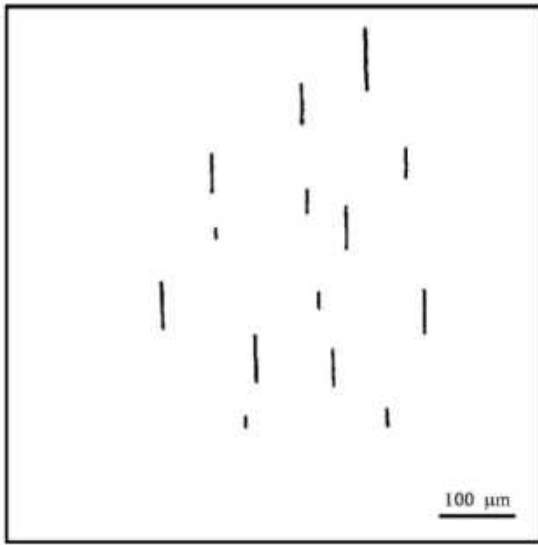


261 μm
 $i=1.5$

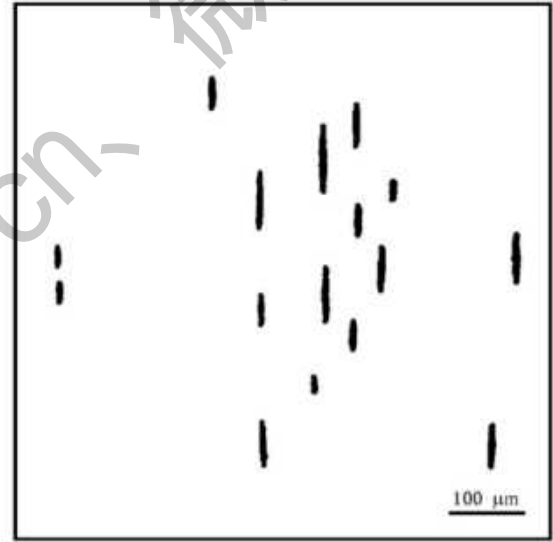


436 μm
 $i=2.0$

放大倍率=100×



649 μm
 $i=2.5$



898 μm
 $i=3.0$

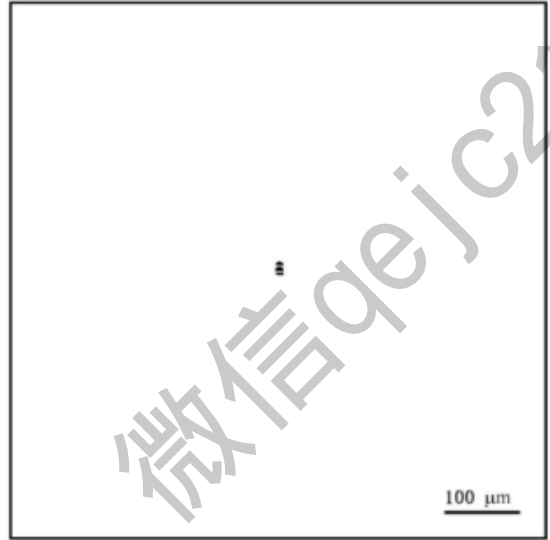
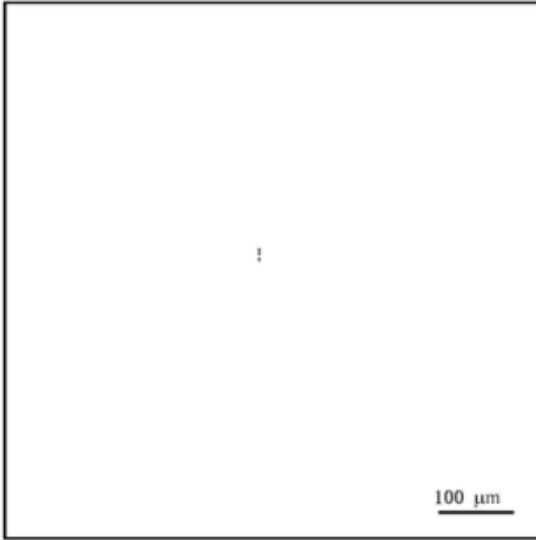
放大倍率=100×

B
(氧化铝类)

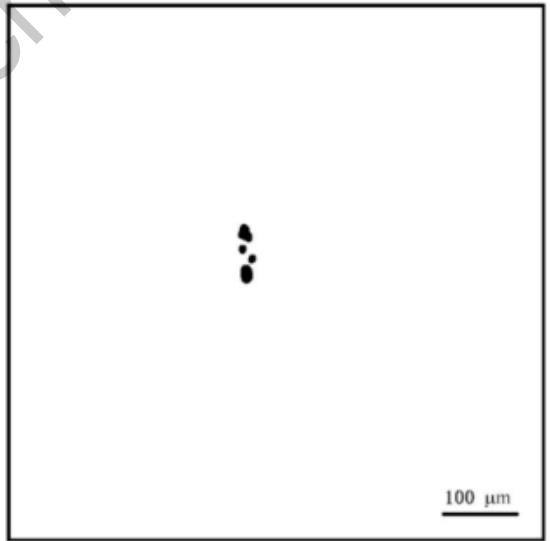
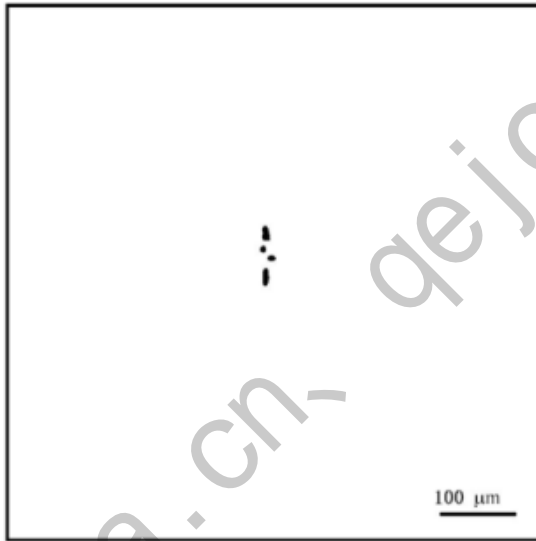
细系
宽度 $\geq 2 \mu\text{m} \sim 9 \mu\text{m}$

最小总长度

粗系
宽度 $> 9 \mu\text{m} \sim 15 \mu\text{m}$

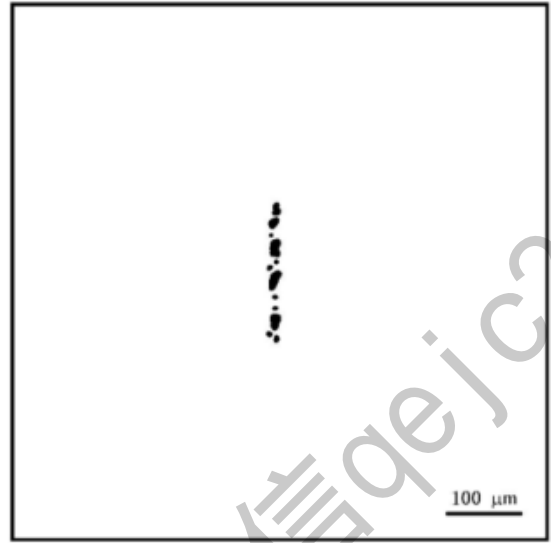
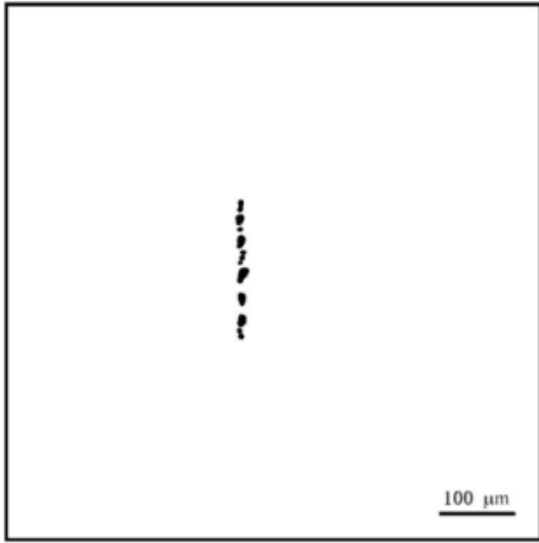


17 μm
 $i=0.5$

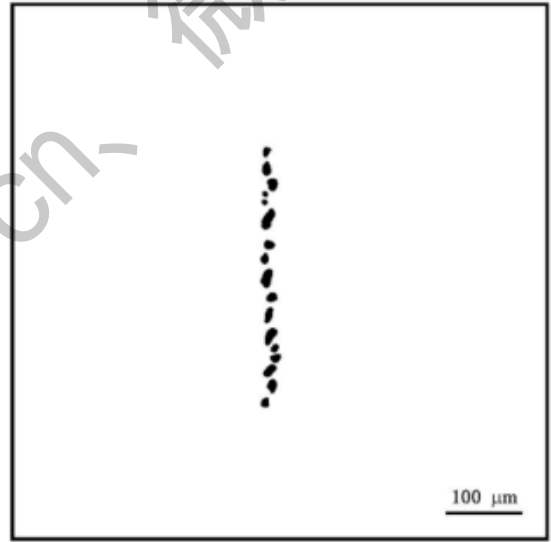
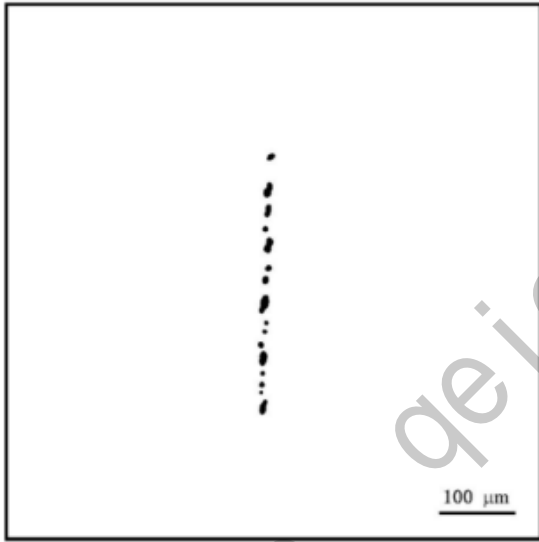


77 μm
 $i=1.0$

放大倍率 = 100 \times

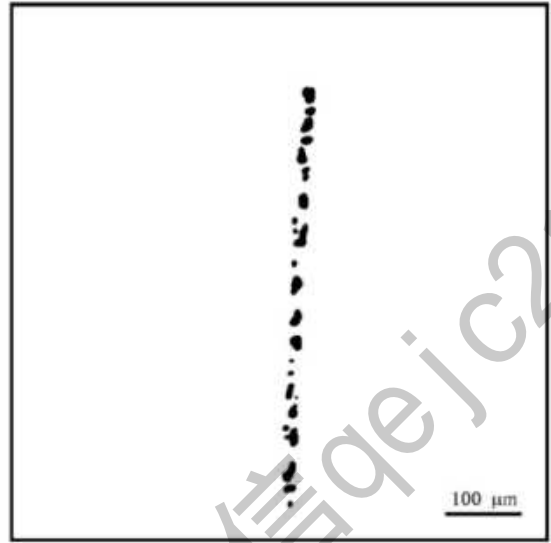


184 μm
 $i=1.5$

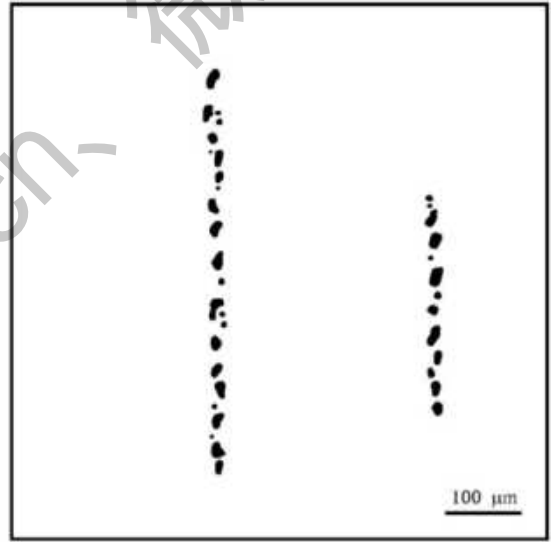
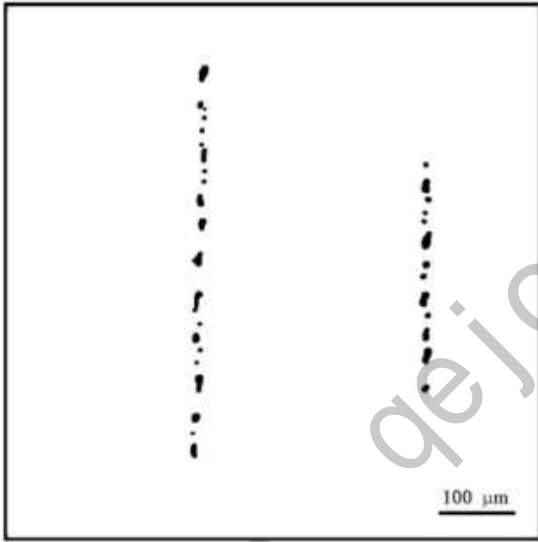


343 μm
 $i=2.0$

放大倍率=100×



555 μm
 $f=2.5$



822 μm
 $f=3.0$

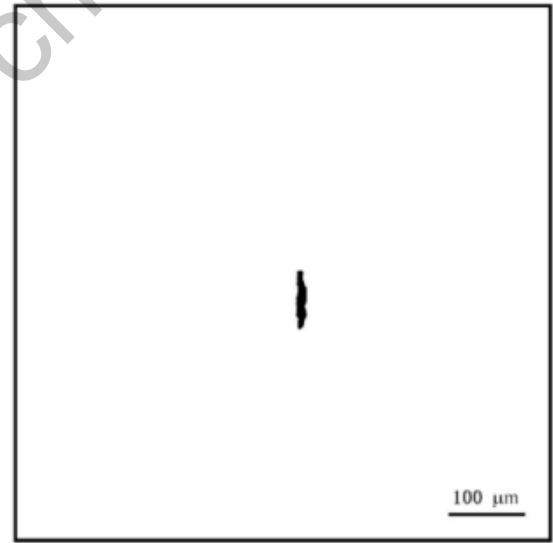
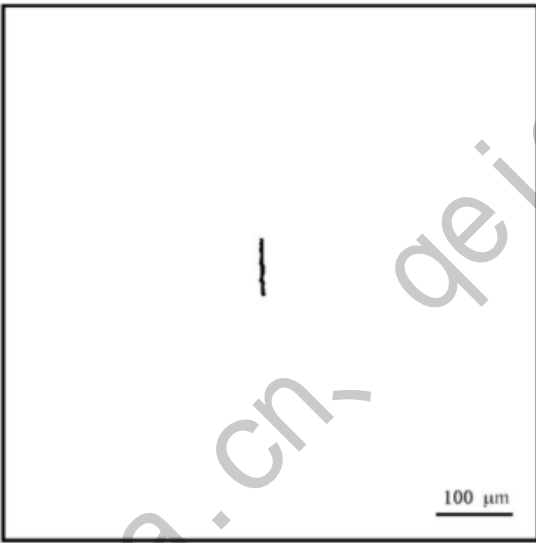
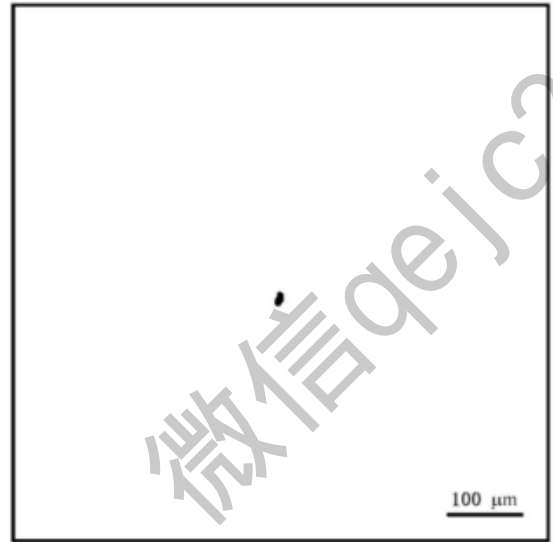
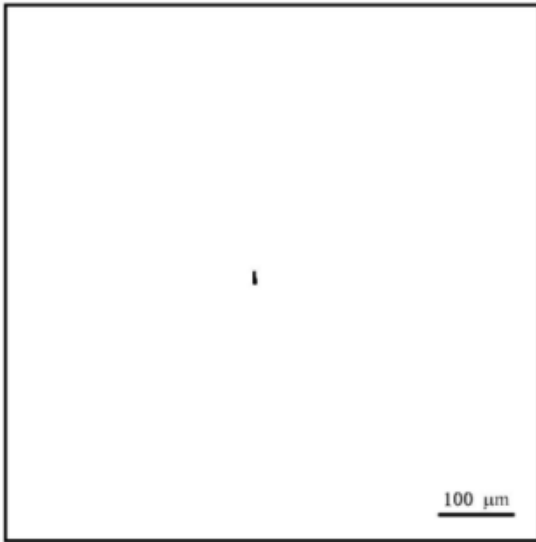
放大倍率=100×

C
(硅酸盐类)

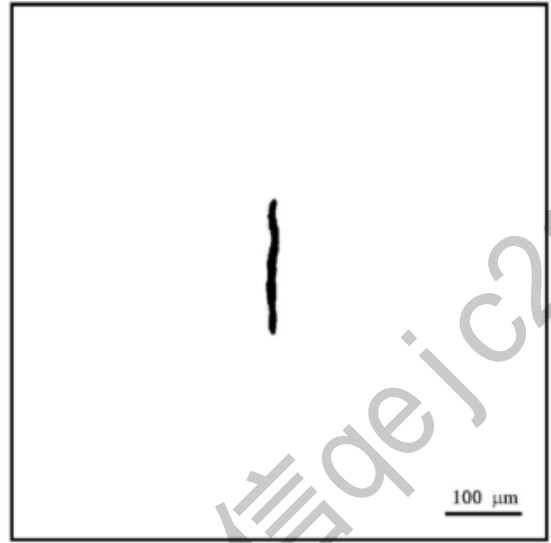
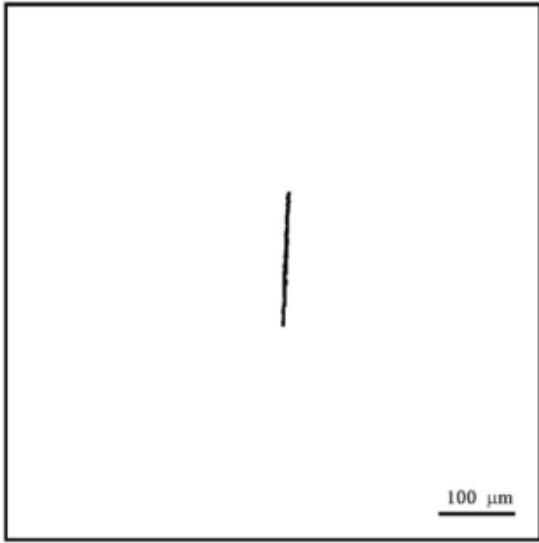
细系
宽度 $\geq 2 \mu\text{m} \sim 5 \mu\text{m}$

最小总长度

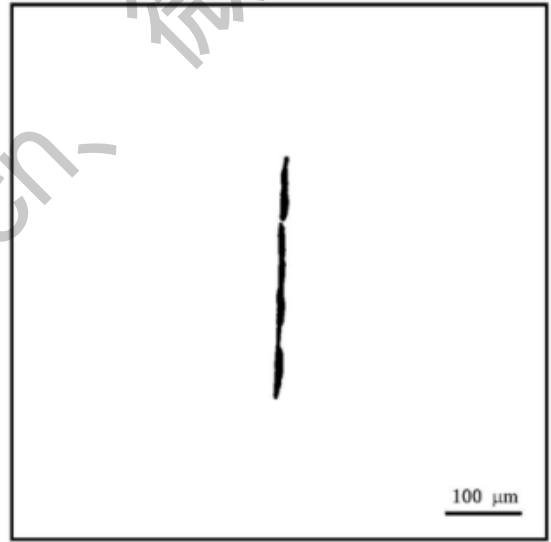
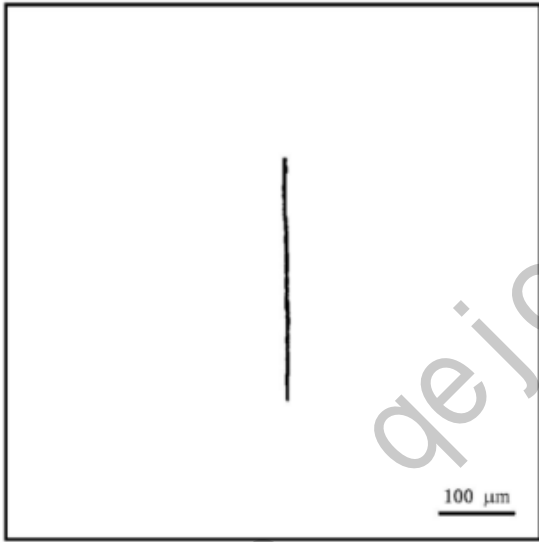
粗系
宽度 $> 5 \mu\text{m} \sim 12 \mu\text{m}$



放大倍率=100×

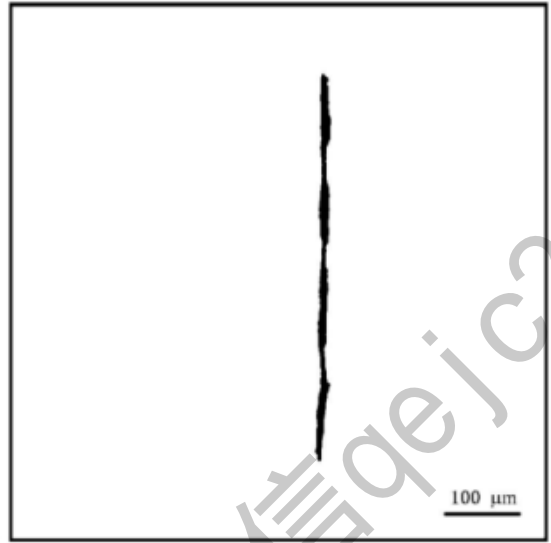
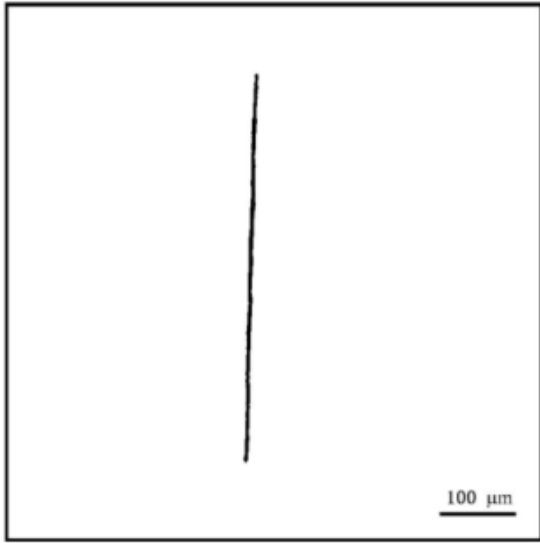


176 μm
 $i=1.5$

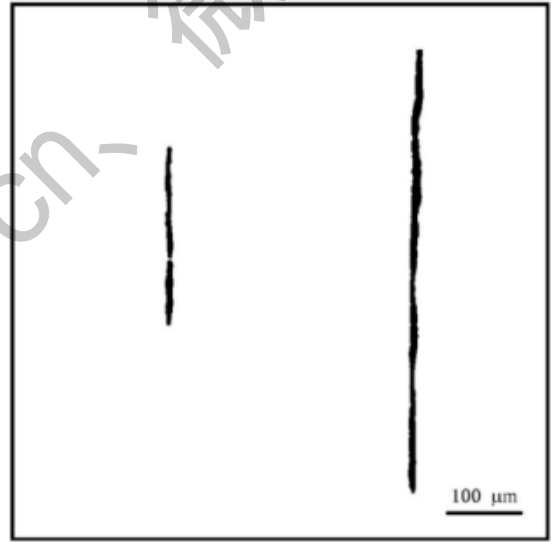
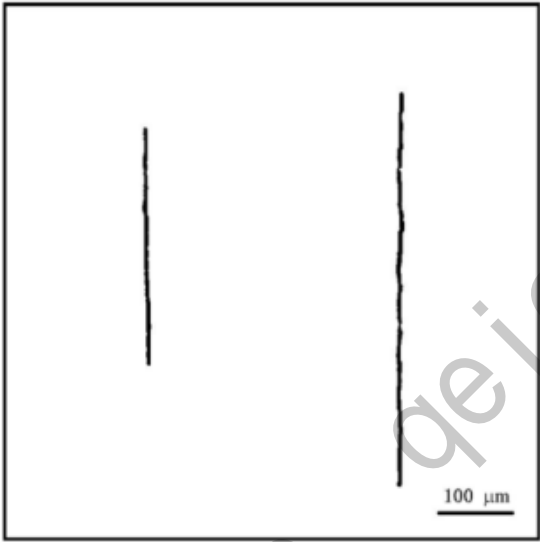


320 μm
 $i=2.0$

放大倍率=100×



510 μm
 $i=2.5$



746 μm
 $i=3.0$

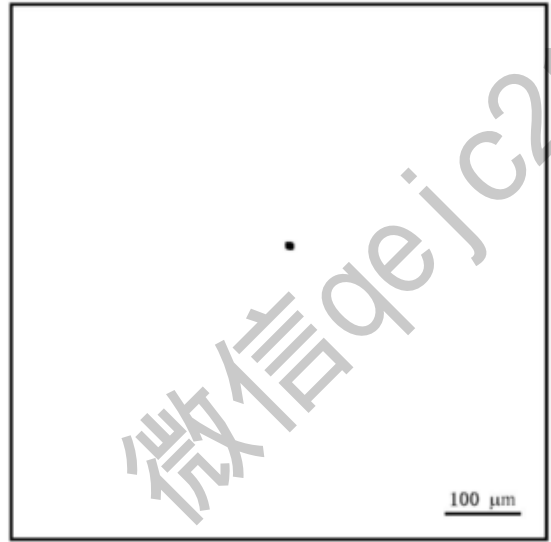
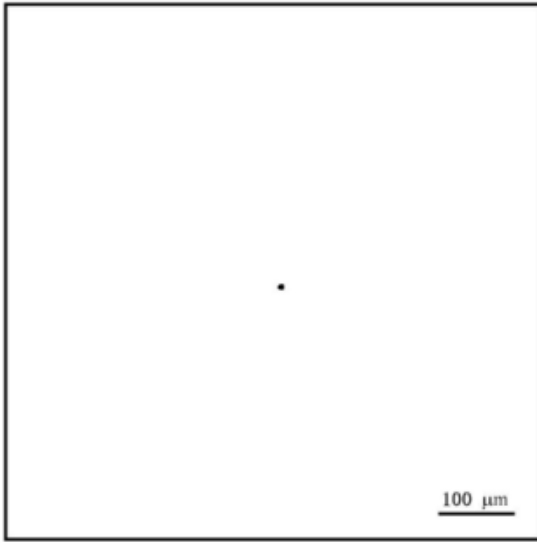
放大倍率=100×

D
(球状氧化物类)

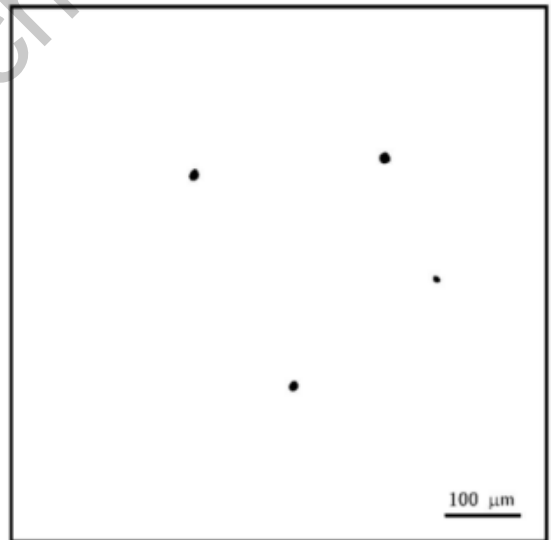
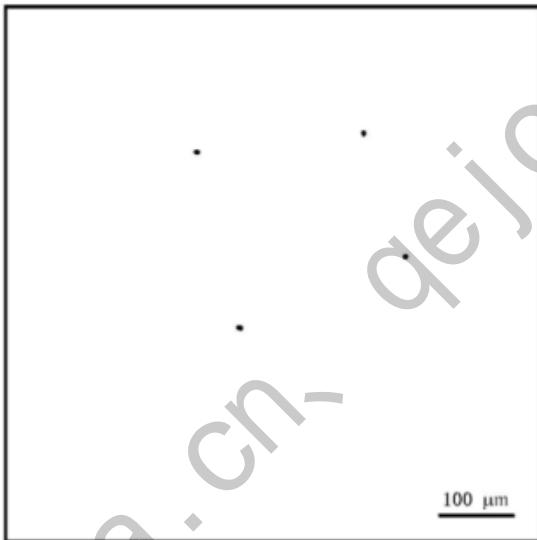
细系
直径 $\geq 2 \mu\text{m} \sim 8 \mu\text{m}$

最小数量

粗系
直径 $> 8 \mu\text{m} \sim 13 \mu\text{m}$

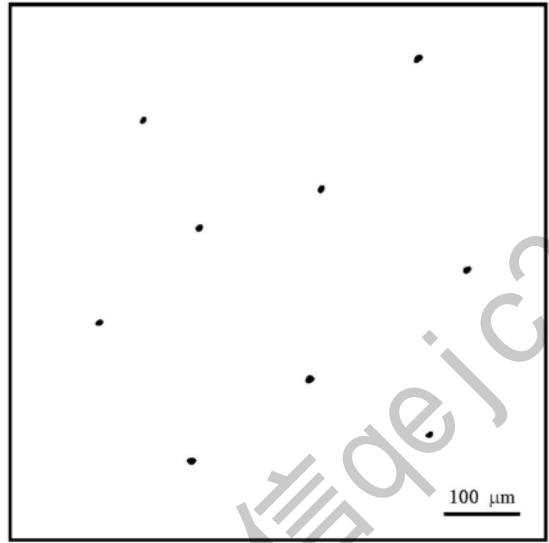
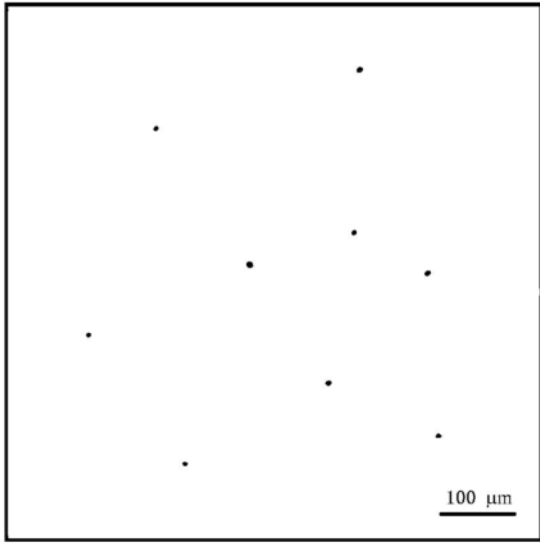


1
 $i=0.5$

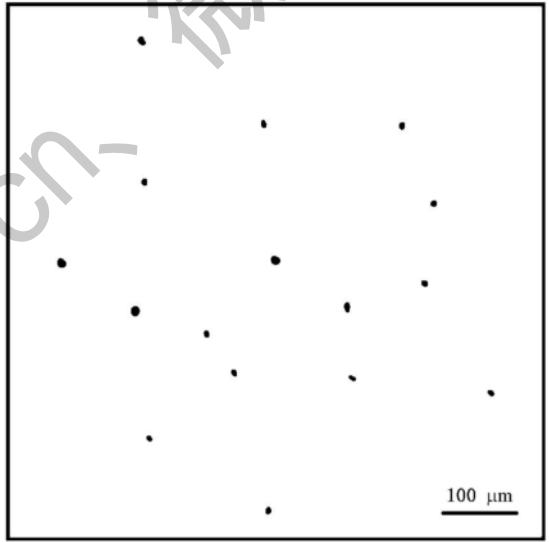
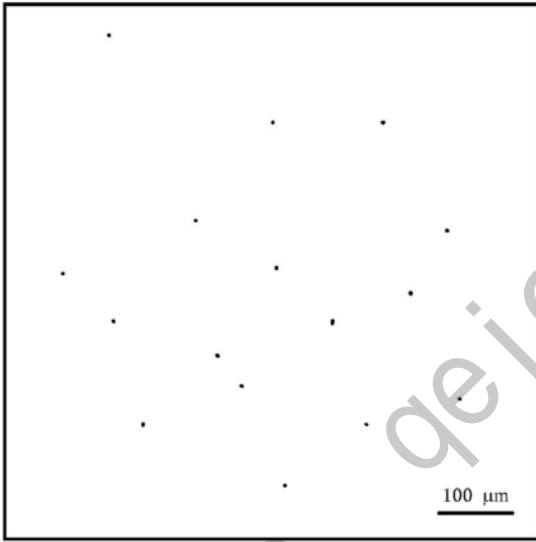


4
 $i=1.0$

放大倍率=100×

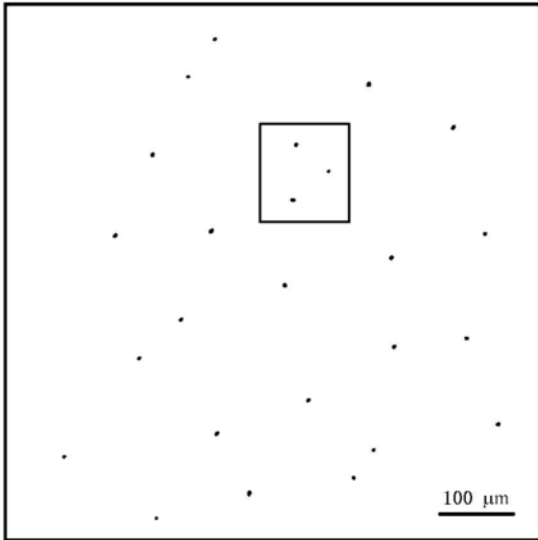


9
 $i=1.5$

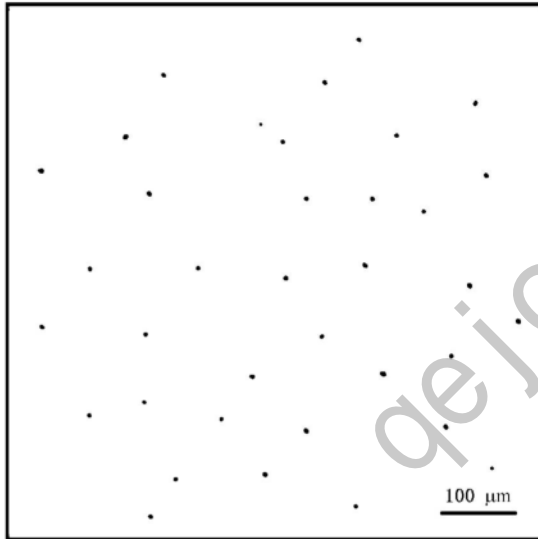
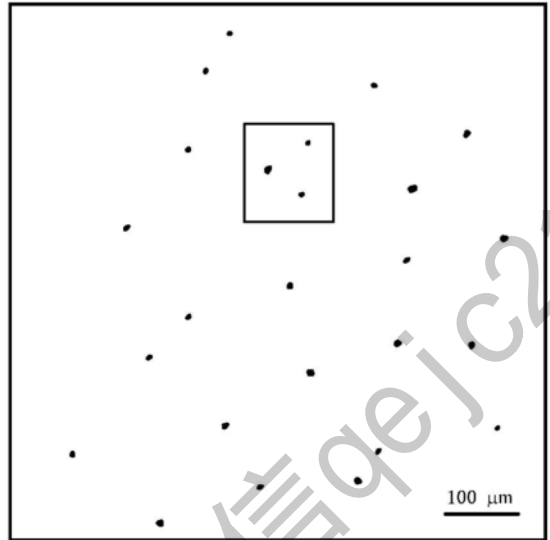


16
 $i=2.0$

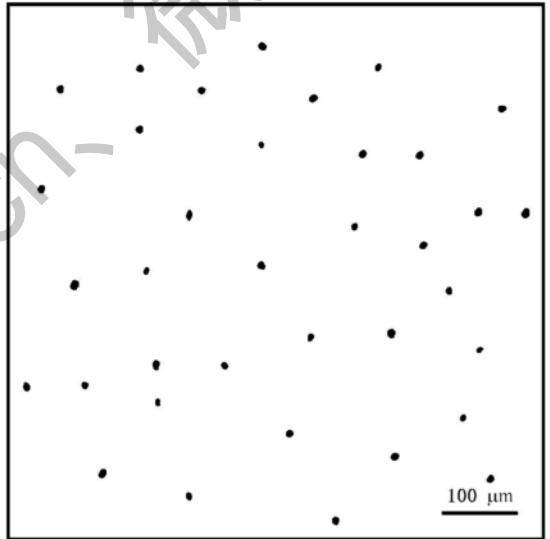
放大倍率=100×



25
 $i=2.5$



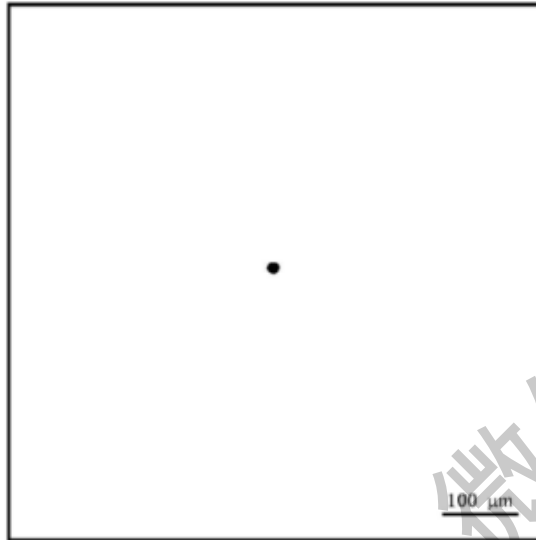
36
 $i=3.0$



放大倍率=100×

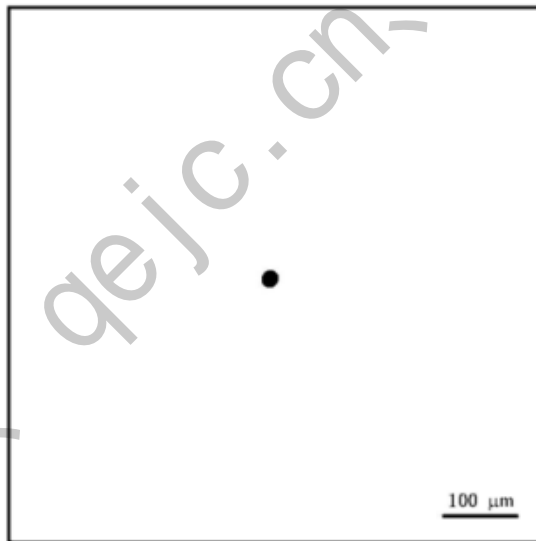
DS
(大颗粒球状氧化物类)
直径 $>13\ \mu\text{m}\sim 76\ \mu\text{m}$

最小直径



$i=0.5$

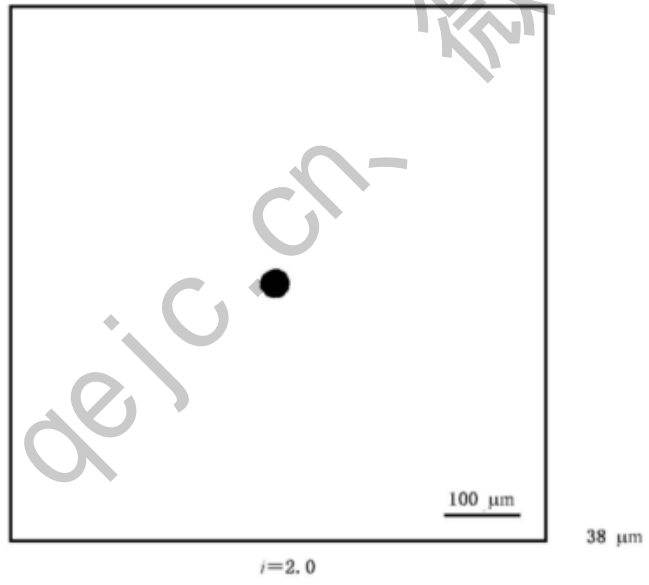
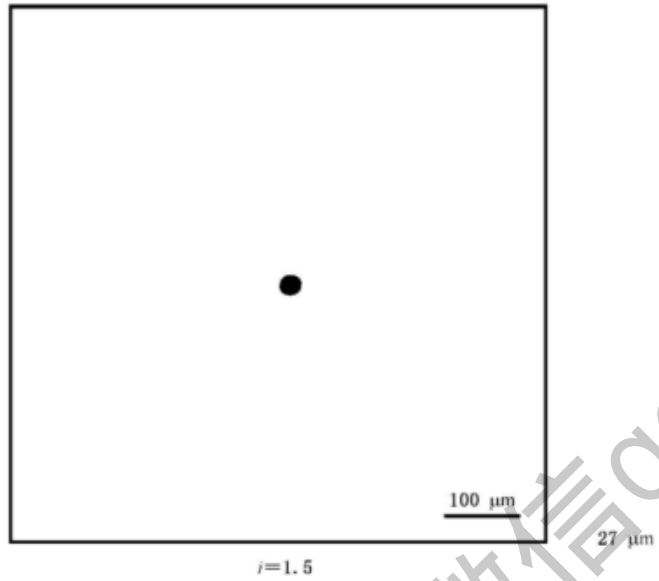
$13\ \mu\text{m}$



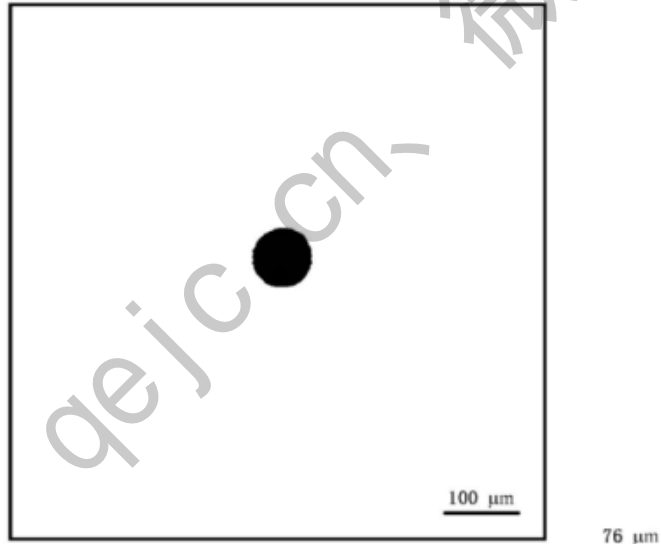
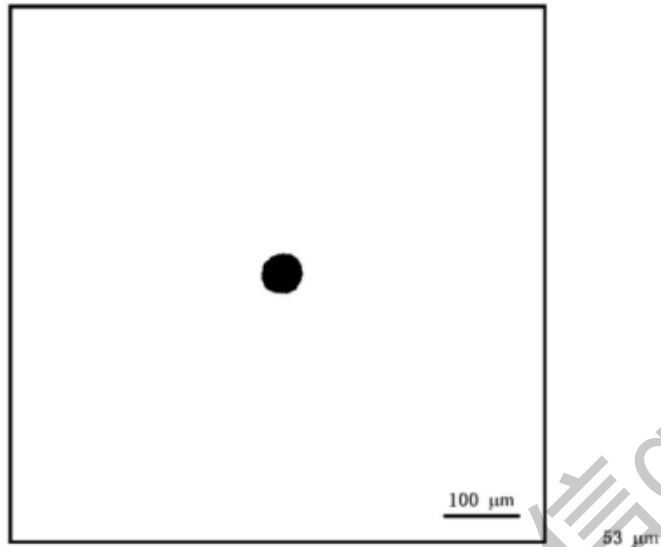
$i=1.0$

$19\ \mu\text{m}$

放大倍率 $=100\times$



放大倍率=100×

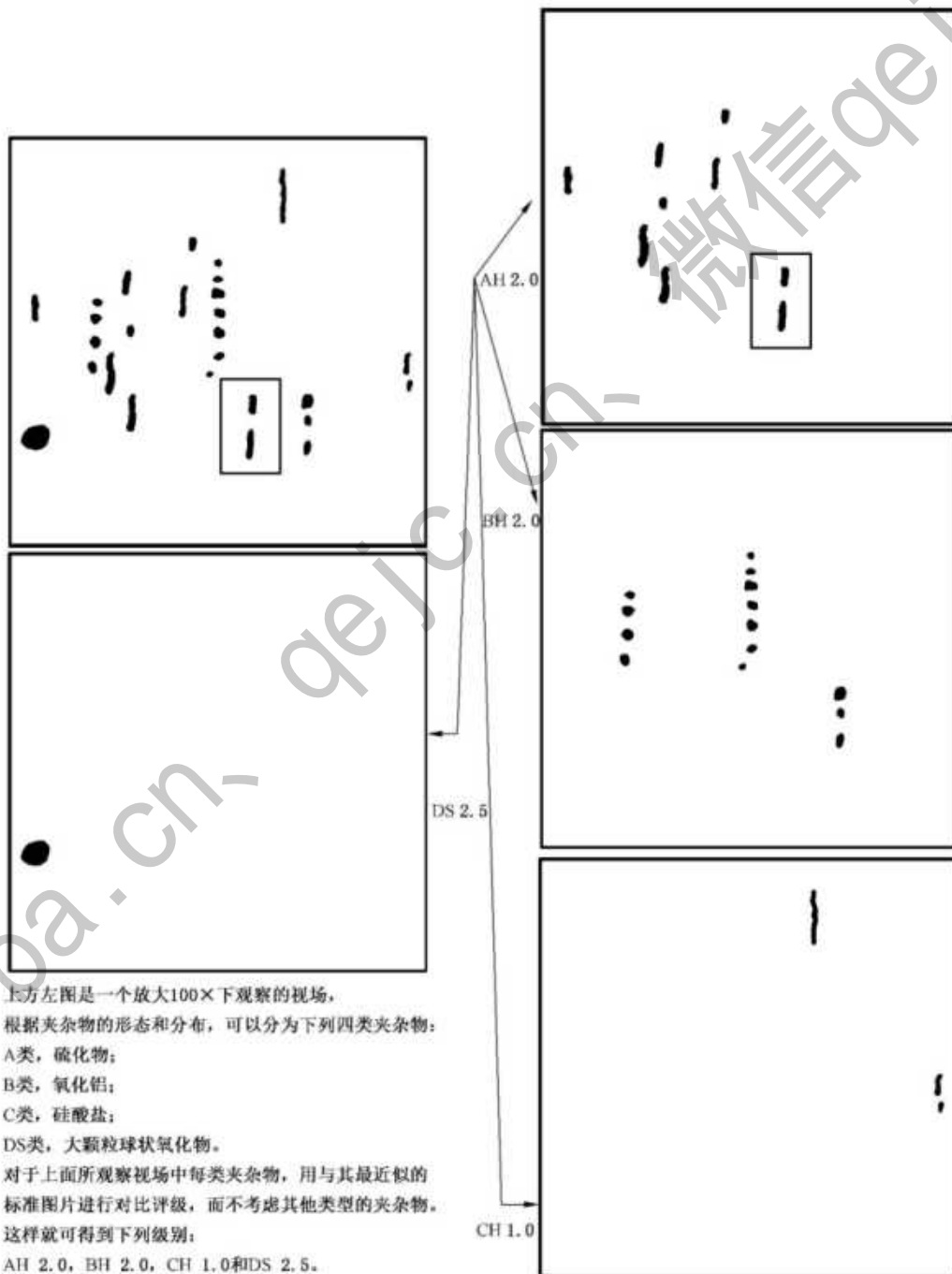


放大倍率=100×

附录 D
(资料性)
夹杂物的评定的示(实)例

D.1 某一视场夹杂物的评定

某一视场内夹杂物的评定示例见图 D.1。



上方左图是一个放大100×下观察的视场，
根据夹杂物的形态和分布，可以分为下列四类夹杂物：
A类，硫化物；
B类，氧化铝；
C类，硅酸盐；
DS类，大颗粒球状氧化物。
对于上面所观察视场中每类夹杂物，用与其最近似的
标准图片进行对比评级，而不考虑其他类型的夹杂物。
这样就可得到下列级别：
AH 2.0, BH 2.0, CH 1.0和DS 2.5。

图 D.1 视场评定

D.2 超尺寸夹杂物的评定

图 D.2 给出的是视场内出现超尺寸夹杂物的评定示例。图 D.2a) 中有一个长度超过视场边长 (0.710 mm) 的夹杂物, 则按 0.710 mm 纳入该视场同类型夹杂物的评级, 其视场内夹杂物的总长度 $l = 0.710 + l_1 + l_2 + l_3$, 并在试验报告中注明 l_4 为超长夹杂物, 并记录长度。图 D.2b) 中有一个宽度超过表 2 粗系最大值的夹杂物, 则将其纳入该视场粗系评级, 其视场内夹杂物的总长度 $l = l_1 + l_2 + l_3 + l_4$, 并在试验报告中注明 l_4 为超宽夹杂物, 并记录宽度。

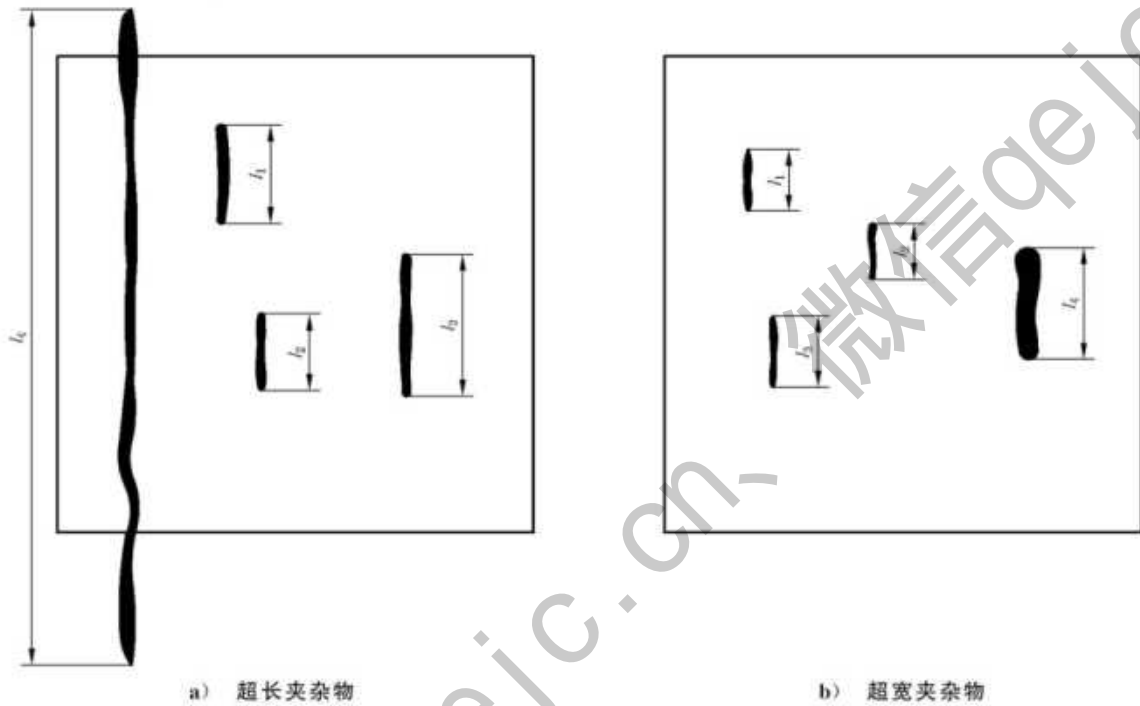


图 D.2 超尺寸夹杂物的视场评定

D.3 复合夹杂物的评定实例

D.3.1 图 D.3 给出的是复合夹杂物的评定实例。图 D.3a) 是大颗粒球状复合夹杂物, 硫化钙包裹着氧化铝, 可作为 DS 类夹杂物评定 2.0 级, 其中氧化铝面积占优, 则该复合夹杂物表示可为 $DS_{Al_2O_3+CaS} 2.0$ 。图 D.3b) 是夹杂物由硫化锰薄膜包裹球状铝酸钙, 硫化物长度占优, 可作为 A 类夹杂物评定 1.0 级, 其中铝酸钙中含有铝、钙、镁, 铝含量占优, 则该复合夹杂物可表示为 $AT_{MnS+(Al,Ca,Mg)O} 1.0$ 。

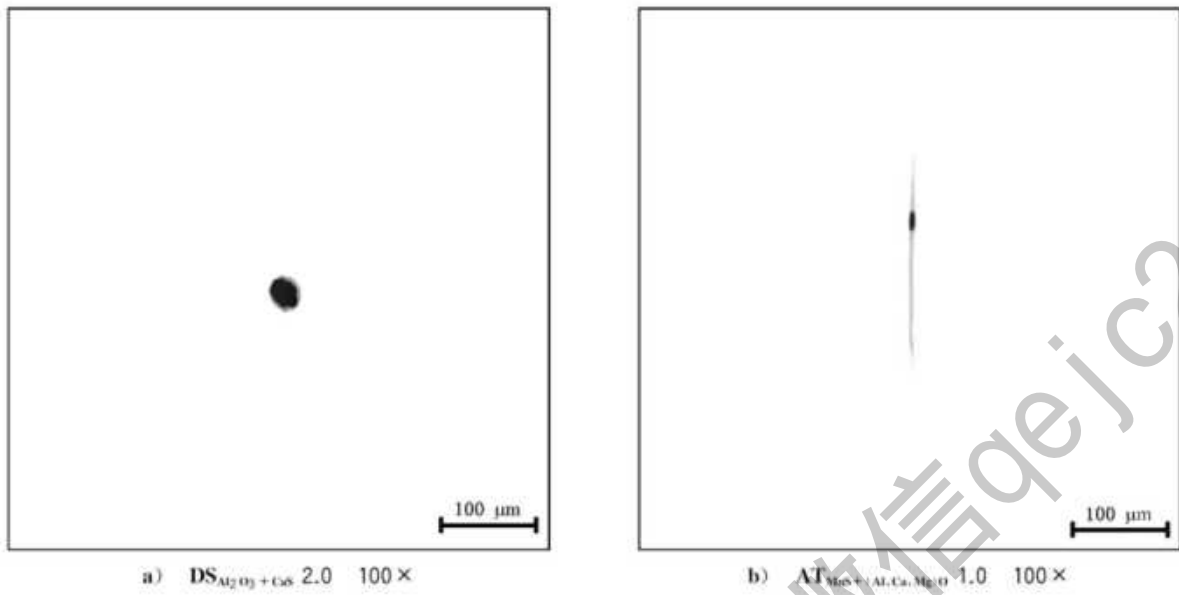


图 D.3 复合夹杂物评定

D.3.2 图 D.4 是串(条)状复合夹杂物中包含了 B 类夹杂物和 C 类夹杂物评定实例。通过 100× 和 500× 相结合观察,图 D.4a) 和 D.4b) 中的串(条)状复合夹杂物中 B 类夹杂物长度占优,可评为 $BH_{(Al, Mg, Si)O}$ 1.0; 图 D.4c) 和 D.4d) 中的串(条)状复合夹杂物中 C 类夹杂物长度占优,可评为 $CH_{(Si, Al, Mg)O}$ 1.0。

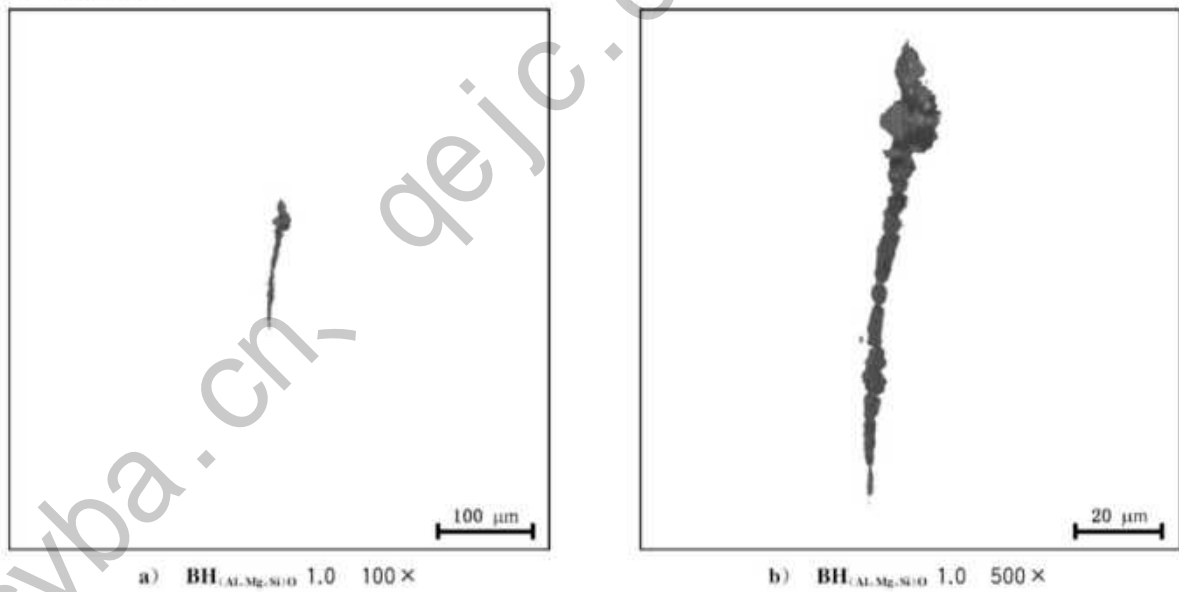


图 D.4 复合夹杂物评定

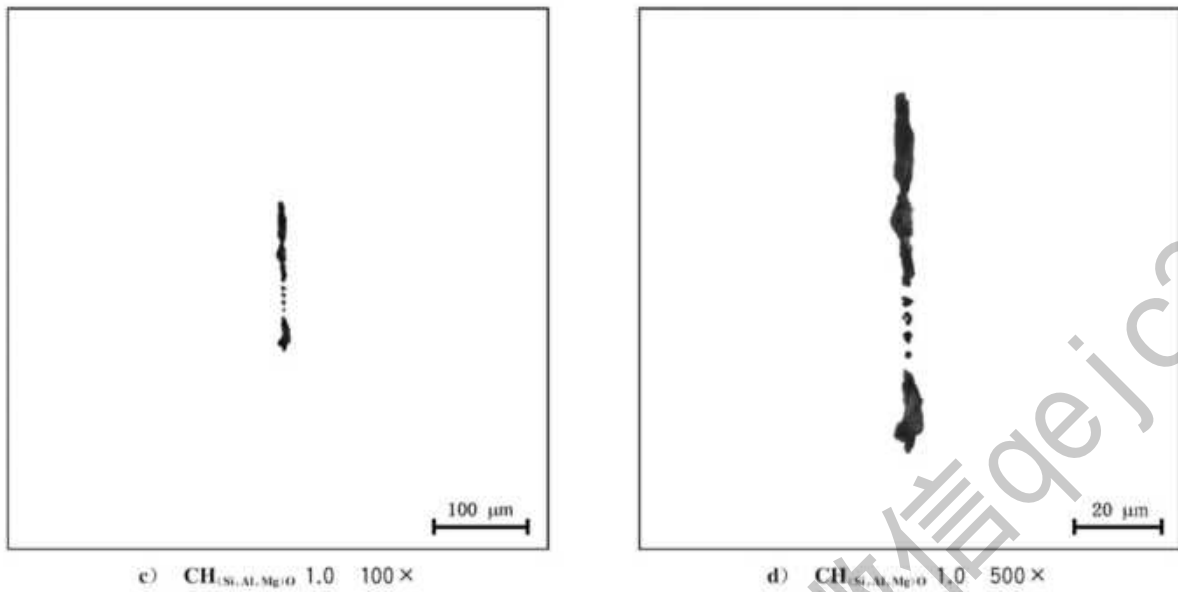


图 D.4 复合夹杂物评定 (续)

D.3.3 图 D.5 给出的是稀土复合夹杂物的评定实例。图 D.5a)和图 D.5b)是稀土复合夹杂物,形态近似 A 类粗系夹杂物,借助光学显微镜的偏振光观察,稀土复合夹杂物由稀土硫化物和稀土铝酸盐类氧化物组成;借助扫描电子显微镜的能谱分析,稀土复合夹杂物中含有硫、铝、氧等元素,其中铝含量占优,则该稀土复合夹杂物评为 $AH_{RES+RE(Al,O)} 1.0$ 。图 D.5c)和图 D.5d)是稀土复合夹杂物,形态近似 DS 类夹杂物,借助光学显微镜的偏振光观察,稀土复合夹杂物为稀土硅铝酸盐类氧化物;借助扫描电子显微镜的能谱分析,稀土复合夹杂物中含有硅、铝、氧等元素,其中硅的含量占优,则该稀土复合夹杂物评为 $DS_{RE(Si,Al,O)} 0.5$ 。

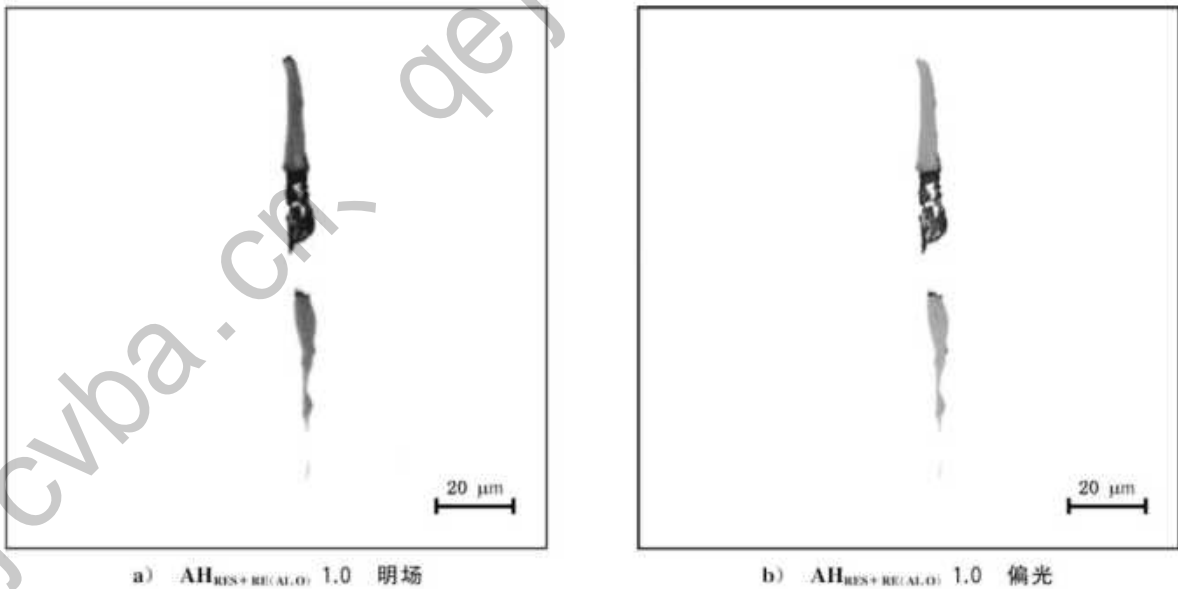
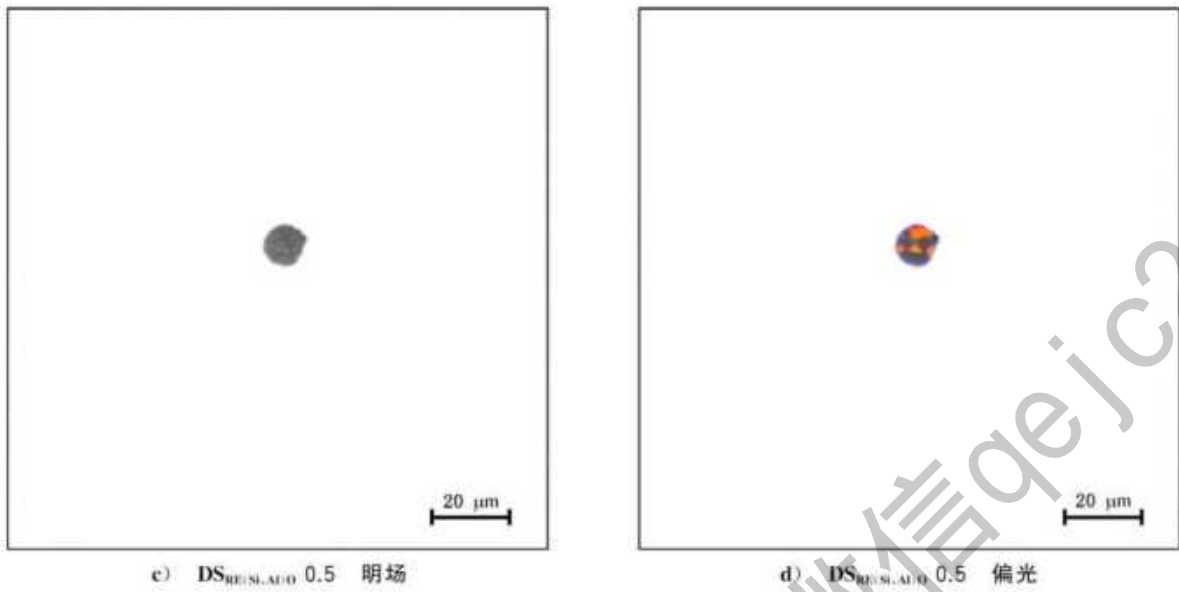


图 D.5 稀土复合夹杂物的评定 500×

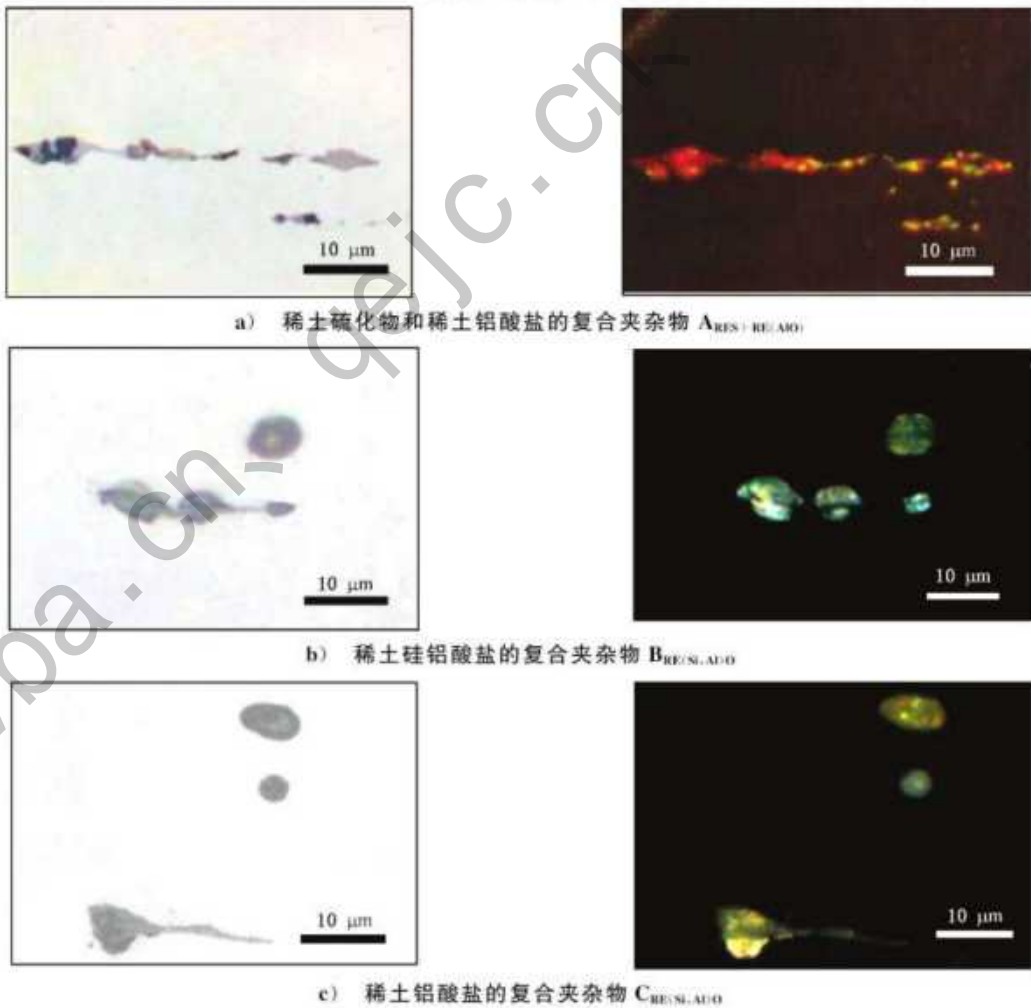


c) $DS_{RE/Si,AlO} 0.5$ 明场

d) $DS_{RE/Si,AlO} 0.5$ 偏光

图 D.5 稀土复合夹杂物的评定 500× (续)

D.3.4 图 D.6 给出了不同化学成分的稀土复合夹杂物在明场、偏光下的光学特征形貌。



a) 稀土硫化物和稀土铝酸盐的复合夹杂物 $A_{RE/Si,AlO}$

b) 稀土硅铝酸盐的复合夹杂物 $B_{RE/Si,AlO}$

c) 稀土铝酸盐的复合夹杂物 $C_{RE/Si,AlO}$

图 D.6 不同化学成分的稀土复合夹杂物的光学特征形貌 1 000×



d) 球形稀土硫化物夹杂物 D_{RES}

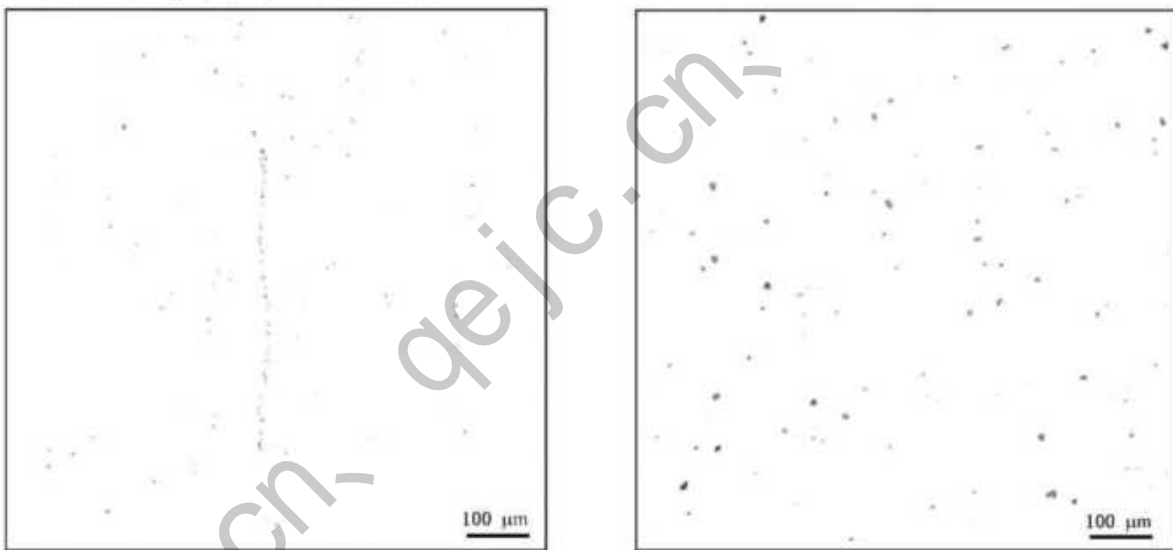
注：左侧图片为明场下稀土夹杂物形貌，右侧图片为偏光下稀土夹杂物形貌。

图 D.6 不同化学成分的稀土复合夹杂物的光学特征形貌 1 000× (续)

D.4 析出相的评定实例

图 D.7 给出的是析出相的评定实例。图 D.7a) 中析出相为碳氮化钛，其形态近似 B 类夹杂物，可评为 $BT_{\text{Ti(C,N)}} 2.5$ 。图 D.7b) 中析出相为碳氮化钛，其形态近似 D 类夹杂物，可评为 $DT_{\text{Ti(C,N)}} 3.0$ 。

注：氮化钛通常为金黄色，形态为四方或多边形；碳氮化钛通常为浅黄色，形态不规则，尺寸较大。碳化物通常为边界光滑，或拉长，或近圆形，尺寸较小。



a) 接近 B 类夹杂物的析出相

b) 接近 D 类夹杂物的析出相

图 D.7 析出相的评定

附录 E

(资料性)

B 法评定结果的表示方法

E.1 对于一个所给定观察视场,按夹杂物类型不同级别的视场数表示夹杂物评定结果的实例。

E.1.1 表 E.1 给出这类评定结果的实例。为了简化编排,这里仅取 20 个可评视场夹杂物的评定结果。

表 E.1 20 个视场中各类夹杂物的级别

视场 序号	各类夹杂物级别								DS
	A		B		C		D		
	细系	粗系	细系	粗系	细系	粗系	细系	粗系	
1	—	0.5	1.0	—	0.5	—	—	—	—
2	0.5	—	—	—	0.5	—	—	—	—
3	0.5	—	0.5	—	—	0.5	—	—	0.5
4	1.0	—	—	0.5	1.5	—	—	0.5	—
5	—	—	—	1.5	—	1.0	—	—	—
6	1.5	—	—	—	—	—	0.5	—	1.0
7	—	1.0s ^a	1.5	—	—	0.5	—	—	—
8	—	—	—	1.0	1.0	—	—	1.0	—
9	0.5	—	0.5	—	0.5	—	—	—	—
10	—	0.5	1.0	—	0.5	—	—	—	—
11	1.0	—	0.5	—	—	0.5	—	—	1.0
12	0.5	—	—	—	—	—	—	1.0	—
13	—	—	—	0.5	—	1.5	1.0	—	—
14	2.0	—	—	1.0	—	—	—	—	—
15	—	—	—	—	0.5	—	—	—	—
16	0.5	—	1.0	—	—	1.0	—	—	—
17	0.5	—	0.5	—	—	—	—	0.5	1.5
18	—	—	—	1.5	1.0	—	—	—	—
19	—	2.0	—	3.0	0.5	—	0.5	—	—
20	—	—	0.5	—	—	0.5	—	—	—

^a 含有一个宽度 15 μm 的超宽夹杂物。

E.1.2 根据表 E.1 的检测结果,可以用 20 个视场中各类夹杂物不同级别的视场数表示其结果,见表 E.2。

表 E.2 各类夹杂物不同级别的视场数

级别	各类夹杂物的视场数								DS
	A		B		C		D		
	细系	粗系	细系	粗系	细系	粗系	细系	粗系	
0.5	6	2	5	2	6	4	2	2	1
1.0	2	1	3	2	2	2	1	2	2
1.5	1	0	1	2	1	1	0	0	1
2.0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.0	0	0	0	1	0	0	0	0	0

E.2 用平均级别 i_{avg} 表示夹杂物的评定结果

对于给定视场的各类夹杂物不同级别的视场数,可按式(E.1)计算出每类夹杂物及每个系列夹杂物相应的平均级别数 i_{avg} 。

$$i_{\text{avg}} = \frac{l}{N} \sum_{i=j}^{5.0} i \times n_i \quad \dots\dots\dots (E.1)$$

式中:

- i —— 评级图级别;
- j —— 起评级别;
- n_i —— i 级别的视场数;
- N —— 所观察视场的总数。

E.3 用纯洁度 K_j 表示夹杂物的评定结果

表 E.3 给出了 0.5 级~5.0 级夹杂物的权重因数 f_i 。根据对于所给定的各类夹杂物起评级别的视场数,利用表 E.3 给出的权重因数 f_i ,可按式(E.2)计算出钢的纯洁度 K_j 。

表 E.3 权重因数

级别 i	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
权重因数 f_i	0.05	0.1	0.2	0.5	1	2	5	10	20	50

$$K_j = \left[\sum_{i=j}^{5.0} f_i \times n_i \right] \frac{1\ 000}{S} \quad \dots\dots\dots (E.2)$$

式中:

- K_j —— 纯洁度;
- i —— 评级图级别;
- j —— 起评级别;
- n_i —— i 级别的视场数;
- f_i —— 权重因数;
- S —— 试样的总检验面积,单位为平方毫米(mm^2)。