



中华人民共和国国家标准

GB/T 18876.2—2006

应用自动图像分析测定钢和其他金属中 金相组织、夹杂物含量和级别 的标准试验方法 第2部分：钢中夹杂物级别的 图像分析与体视学测定

Standard practice for determining the metallographical constituent and
inclusion content of steels and other metals by automatic image analysis—
Part 2: Determining the inclusion ratings of steels by automatic
image analysis and stereology



2006-11-01 发布

2007-02-01 实施



中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会

发布

前 言

GB/T 18876《应用自动图像分析测定钢和其他金属中金相组织、夹杂物含量和级别的标准试验方法》分为如下三部分：

- 第1部分：钢和其他金属中夹杂物或第二相组织含量的图像分析与体视学测定；
- 第2部分：钢中夹杂物级别的图像分析与体视学测定；
- 第3部分：钢中碳化物级别的图像分析与体视学测定。

本部分为 GB/T 18876 的第2部分。

本部分修改采用 ASTM E1122-96(2002)《应用自动图像分析测定 JK 夹杂物级别的标准试验方法》。

由于我国工业的特殊需要，本部分在采用 ASTM E1122-96(2002)时进行了如下修改：

- a) 名称改为“应用自动图像分析测定钢和其他金属中金相组织、夹杂物含量和级别的标准试验方法 第2部分：钢中夹杂物级别的图像分析与体视学测定”；
- b) 在第1章“范围”内删除 1.3 条，增加了 GB/T 10561—2005/ISO 4967:1998、GB/T 18254—2002 两个标准，并在第5章“试验方法概述”、第13章“夹杂物分类和级别计算”和第14章“试验报告”中作了相应的修改；
- c) 引用文件用相应的国家标准代替；
- d) 增加了“引言”、第4章“符号”；
- e) 第13章“夹杂物分类和级别计算”中，将原文“按表3公式计算的级别值应向下靠至最接近的级别”修改为“推荐计算级别按0.25级差靠至最接近的级别。”并在记录整级和半级级别值的基础上，增加了连续级别值的记录方法，即也可以用小数或连续级别值形式记录夹杂物含量；
- f) 第15章“精度与偏差”增加了对试样制备及操作的规定，并删除 ASTM E1122-96(2002) 标准第15章“关键词”；
- g) 将 ASTM E1122-96(2002)标准的表1～表3作为附录B，并增加了附录A、附录C和参考文献。

为了便于比较，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。

本部分的附录A和附录B为规范性附录，附录C为资料性附录。

本部分由中国钢铁工业协会提出。

本部分由全国钢标准化技术委员会归口。

本部分负责起草单位：湖北新冶钢有限公司、北京科技大学、冶金工业信息标准研究院、北京纳克分析仪器有限公司、黄石理工学院。

本部分参加起草单位：武汉钢铁集团公司、东北特殊钢集团公司。

本部分主要起草人：赵咏秋、刘国权、栾燕、邵鹏星、杨柏华、刘胜国。

本部分参加起草人：文武、何安敏、李德胜、高永、刘继雄。

引 言

GB/T 18876 的本部分描述了钢中内生夹杂物级别的自动图像定量测量方法,适用于按我国标准 GB/T 10561—2005/ISO 4967:1998、GB/T 18254—2002 及美国材料与试验协会标准 ASTM E45—97 (2002)对钢中非金属夹杂物级别自动评定。本部分也适用于按瑞典 JK 图进行评级的各钢种中夹杂物的自动评定。

应用自动图像分析测定钢和其他金属中
金相组织、夹杂物含量和级别
的标准试验方法
第2部分：钢中夹杂物级别的
图像分析与体视学测定

1 范围

GB/T 18876 的本部分规定了依据 GB/T 10561—2005/ISO 4967:1998 应用自动图像分析对非金属夹杂物的级别进行测定的各种步骤。同时以附录 A 和附录 B 的形式给出按 GB/T 18254—2002 或 ASTM E45—97(2002) 标准测定非金属夹杂物级别所需的参数及公式。

1.1 本部分仅作为推荐的试验方法,不对任何钢或其他金属的验收合格级别进行规定。

1.2 本部分并未说明与应用有关的安全事项。用户有责任建立正确的安全与健康条例,并在应用本部分前确定条例规定的适用性。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过 GB/T 18876 的本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本部分,然而,鼓励根据本部分达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本部分。

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(ISO 4967:1998, IDT)

GB/T 13298 金属显微组织检验方法

GB/T 18254—2002 高碳铬轴承钢

GB/T 18876.1 应用自动图像分析测定钢和其他金属中金相组织、夹杂物含量和级别的标准试验方法 第1部分：钢和其他金属中夹杂物或第二相组织含量的图像分析与体视学测定

ASTM E45—97(2002) 钢中非金属夹杂物含量测定方法

3 术语和定义

GB/T 18876.1 确立的以及下列术语和定义适用于 GB/T 18876 的本部分。

3.1

长宽比 aspect ratio

显微特征物的长宽比。

3.2

不连续串(条)状夹杂物 discontinuous stringer

3 颗以上、间隔 40 μm 以内的夹杂物群,且在热加工轴线平行的平面上呈线状分布。

3.3

连续串(条)状夹杂物 stringer

单颗夹杂物沿变形方向极度拉长,或 3 颗或多颗夹杂物群,间隔在 40 μm 以内,且在变形方向平

行的平面上呈线状分布。

4 符号

下列符号适用于 GB/T 18876 的本部分：

- i_A ——一个视场里的 A 类夹杂物级别；
- i_B ——一个视场里的 B 类夹杂物级别；
- i_C ——一个视场里的 C 类夹杂物级别；
- i_D ——一个视场里的 D 类夹杂物级别；
- i_{DS} ——一个视场里的 DS 类夹杂物级别；
- L ——一个视场里某一类型夹杂物的总长度；
- n ——一个视场里的 D 类夹杂物计数；
- d ——DS 类夹杂物的最大直径；
- $\bar{i}_{moy}$ ——被测夹杂物的平均级别；
- N ——能测到夹杂物的视场数，或 N 个试样；
- i_{tot} ——一个试样中某一类型夹杂物的级别总量。

5 试验方法概述

5.1 将制备好的金相试样抛光面放在高质量的金相显微镜下对其夹杂物进行观察，用合适的图像采集系统摄取明场图像后传送到图像分析仪显示屏。对于 200 mm^2 面积进行图像分析检测时，可以选用所需要的任何放大倍率和视场面积，将夹杂物按类型和宽度分类，然后，基于 0.5 mm^2 的视场面积来确定级别。也就是说，应用图像分析方法，一个检测视场的面积可以小于或大于 0.5 mm^2 ，但级别的确定必须以 200 mm^2 总面积上的 0.5 mm^2 面积为基础。如果采用 GB/T 10561—2005/ISO 4967:1998 中的 B 法，则对每个 0.5 mm^2 的实际测试面积（显微测试框为边长 71 mm 的正方形）放大 100 倍进行测试、分类和评级后，再移到下一个相邻视场，以此类推直至覆盖 200 mm^2 的总面积。

5.2 夹杂物类型(A、B、C、D 和 DS)根据灰度差和几何形状进行分类。这些夹杂物是内生夹杂物，是钢脱氧和凝固过程中沉淀的产物。所有氧化物的光反射能力都比硫化物低，所以可以通过灰度来鉴别硫化物(A 类)和氧化物(B、C、D、DS 类)，再根据几何形状来鉴别不同类型的氧化物：

- B 类——不连续串(条)状夹杂物；
- C 类——连续串(条)状夹杂物；
- D 类——无串(条)、球状夹杂物颗粒；
- DS 类——无串(条)、直径大于 $13\text{ }\mu\text{m}$ 的超尺寸的球状夹杂物颗粒。

5.3 每类夹杂物(粗系和细系)的级别按表 1 规定的夹杂物级别的最小值来计算：A 类按每视场夹杂物总长度计算，B、C 类按每视场夹杂物总串(条)长度计算，D 类按每视场夹杂物个数计算，DS 类按每视场单个夹杂物的直径计算。如果一级别处于两个级别(从 0 级到 5 级)之间，应记录较低的半级。对于夹杂物含量极低的钢，可由供需双方协商，级别可向下记录最接近级别的 $1/4$ 或 $1/10$ 值。但是根据对 D 类夹杂物个数的定义(1 颗夹杂物对应的级别是 0.5 级，0 颗夹杂物对应的级别是 0 级)，D 类夹杂物在 0 与 0.5 级之间没有分度值。

注 1：GB/T 18254—2002 和 ASTM E45—97(2002)规定的夹杂物级别的最小值见附录 A 的表 A.1 和附录 B 的表 B.1。

5.4 每类夹杂物按表 2 规定的夹杂物宽度分为粗系或细系。

注 2：GB/T 18254—2002 和 ASTM E45—97(2002)规定的夹杂物宽度见附录 A 的表 A.2 和附录 B 的表 B.2。

5.5 分析过程中应将每个测量视场出现的各类夹杂物的级别值存储在计算机中。

5.6 夹杂物的评级是在每个相邻视场，总面积为 200 mm^2 的抛光表面上进行的。覆盖这个面积所需

要的视场数取决于每个视场的最大面积(见 5.1)。视场用 X-Y 载物台系统来选定,载物台行走路线可以是相邻的、方形的或矩形的网格图形。测量视场的总数目也可由供需协商确定。

5.7 将数据进行分析后打印结果,列出每类夹杂物及每个宽度夹杂物各种级别出现的视场数(相当于 GB/T 10561—2005/ISO 4967:1998 中的 B 法)。

表 1 GB/T 10561—2005/ISO 4967:1998 中夹杂物级别的最小值

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	127	77	76	4	19
1.5	261	184	176	9	27
2	436	343	320	16	38
2.5	649	555	510	25	53
3	898 (<1 181)	822 (<1 147)	746 (<1 029)	36 (<49)	76 (<107)

表 2 GB/T 10561—2005/ISO 4967:1998 中夹杂物宽度 单位为微米

夹杂物类型	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	3	8	>8	13
注 1: D 类夹杂物规定为最大直径。				
注 2: 串(条)状夹杂物规定为最大宽度。				

5.8 如果需要最严重视场级别值而不需要统计定量级别值,则最严重视场级别值可以从定量测定级别值打印结果上确定,或者在分析过程中仅将每类夹杂物及每个宽度夹杂物的最高级别进行储存(相当于 GB/T 10561—2005/ISO 4967:1998 中的 A 法)。

5.9 本部分不适应评定碳化物、氮化物、碳氮化物、硼化物,故本部分不包括这类测定的操作指南。但是,根据供需双方协商也可以参照本部分进行评定。

5.10 根据供需双方协商,可以修改夹杂物定量评级的步骤。这些有关夹杂物类型、级别计算及表述方法的修改将影响质量指标形式。本部分未定义这方面的内容。

6 意义和用途

6.1 本部分规定了依据 GB/T 10561—2005/ISO 4967:1998 标准评定钢中非金属夹杂物级别的自动图像分析程序以及测定值的表述指南。如果采用 GB/T 18254—2002 或 ASTM E45—97(2002)标准评定钢中非金属夹杂物级别,也可参照本部分执行。

6.2 本部分主要用于评定用硅或铝脱氧、硅铝脱氧钢中非金属夹杂物含量,或用于评定无硅或无铝添加剂的真空处理钢中非金属夹杂物含量。本部分也可为稀土添加剂处理的钢和钙系化合物处理的钢中

非金属夹杂物的测定提供指南,但在试验报告中应当描述依据夹杂物类型(A,B,C,D和DS)所评定的夹杂物的性质。

6.3 本部分提供了一个按每类夹杂物及每个宽度系列夹杂物级别(从0~5个级)以半级递增的定量评定方法(如GB/T 10561—2005/ISO 4967:1998的B法)。根据供需双方协商,本方法也可只记录特定的夹杂物类型和宽度,或只记录在某一等级水平之上的夹杂物,或两者都包括。根据科研需要,本方法也可以小数或连续级别值形式记录夹杂物含量。本部分不规定夹杂物含量的合格级别,具体合格级别应在产品标准或供需双方的协议中规定。

6.4 定量评定方法也可用于确定每类夹杂物及每个宽度系列夹杂物的最严重级别,或记录最严重级别的视场数。这种情况下的试验报告必须通过供需双方协商确定。

6.5 如果需要更多信息,除按GB/T 10561—2005/ISO 4967:1998评级外,还可以单独进行其他基础(如GB/T 18876.1中应用的)体视学测定,并添加到试验报告中去。例如,硫化物和氧化物的体积分数、每平方毫米硫化物或氧化物的计数、夹杂物间距等,但本部分未规定这些参数的测定。

6.6 定量评定的结果是根据产品质量控制或需方要求而提供每一炉钢中内生非金属夹杂物的类型和数量。本部分不涉及有关质量控制方面的内容。

6.7 本部分对夹杂物的分类是以光反射能力、几何形状、宽度、长度、数量和直径为基础的,不涉及夹杂物成分。可以采用其他分析方法依据JK夹杂物分类来分别定量确定夹杂物成分。

7 装置

7.1 一台高质量的正置式或倒置式金相显微镜,并配备合适的低倍明场物镜和手动或自动载物台,用于夹杂物成像。

7.2 要求带有高灵敏度图像采集装置的自动图像分析仪,在较低的倍率下可以将硫化物和氧化物进行分离。

7.2.1 图像分析仪应能够区分串(条)状氧化物和单颗球状氧化物,再根据不同的形态(B类或C类)区分串(条)状氧化物,并测量各类串(条)夹杂物每个视场的长度。将从B或C类串(条)状夹杂物分离出来的所有氧化物都归为D类或DS类氧化物。各种类型的夹杂物(A,B,C,D,DS)分离之后,图像分析仪还应能够测量单颗夹杂物或串(条)状夹杂物的宽度,将每类夹杂物分为细系或粗系。

7.2.2 图像分析仪应配备足够存储能力的计算机,并具有级别评定功能,能在计算级别之后存储被测量的视场数目、夹杂物类型和宽度。

7.3 特殊考虑事项:必须控制试验设备所处的环境。计算机设备必须控制环境温度和湿度。空气必须相对清洁。分析过程中试样表面存留灰尘会影响评定结果。

8 取样

8.1 取样方法按GB/T 10561—2005/ISO 4967:1998标准的规定执行。根据供需双方协议,也可选择按GB/T 18254—2002或ASTM E45—97(2002)标准的规定进行取样。

9 试样准备

9.1 试样的位置和方向按GB/T 10561—2005/ISO 4967:1998的规定执行。根据供需双方协议,也可选择按GB/T 18254—2002或ASTM E45—97(2002)标准的规定执行。任何情况下,试样的抛光面都要平行于热加工轴线。研究表明,如果抛光面与热加工轴线的夹角大于 6° ,就会使夹杂物长度测量值受到很大影响¹⁾。试样不能在改变了夹杂物真实方向的剪切区切取。

9.2 试样抛光面一般按 200 mm^2 切取,至少需要保证 160 mm^2 的测试面积。建议将试样面积相对取大一些,以便在远离试样边缘的规定面积内进行测量。

1) Allman, T. R., and Coleman, D. S., "The Effect of Sectioning Errors on Microscopic Determinations of Non-Metallic Inclusions in Steels," Metals and Materials, Vol 7, pp. 280-283.

10 试样制备

10.1 试样制备按 GB/T 13298 和 GB/T 10561—2005/ISO 4967:1998 的规定执行。为了达到适合图像分析仪要求的表面质量,应小心控制试样的制备过程。推荐使用自动磨料抛光机。

10.2 淬火试样比退火试样更容易保留夹杂物。如果退火试样的夹杂物保留不完全,则应在进行标准热处理时使用较低的回火温度。经热处理的试样必须磨去氧化皮,纵向平面必须重新修磨到低于所有脱碳层以下。此项建议仅适用于可热处理的钢。

10.3 如果试样可在不用试样夹的情况下正确抛光,可不使用试样夹。

10.4 试样抛光方法按 GB/T 13298 规定执行。

11 校准与标准化

11.1 载物台的测微尺和量尺应经国家认可的计量中心(或计量标准实验室)校准。通常按制造厂建议的程序用载物台的测微尺和量尺测定系统的放大倍率并对其进行校准。例如,将量尺与测微尺在监视器上的放大像重叠,用量尺测量测微尺上两个定点之间的表观(放大)距离。放大距离除以真实距离就确定了屏幕的放大倍率。通过监视器上已知的一个水平的或垂直的像素点数量来确定像素点的尺寸,将监视器上显示的已知长度的标尺或标记除以像素的数目来确定不同放大倍率下的像素尺寸。可以在水平和垂直两个方向确定像素尺寸。并非所有测量系统都使用方型像素。非方型像素的校正方法请查阅相关指南手册。

11.2 按照制造厂的建议调节显微镜光源,并正确设定图像采集系统的照度水平。对于带有 256 灰度等级的系统,亮度调节一般要使抛光基体达到 254,而黑区为 0。

11.3 对于带有 256 灰度等级的现代图像分析仪,亮度要按 11.2 进行设定。通常采用测定每类夹杂物的反射直方图来辅助确定氧化物和硫化物的正确临界设定值。氧化物颜色较深,灰度通常在 130 以下,而硫化物颜色较浅,其灰度通常在 130~195 之间。这些数据并不是绝对的,它们会随不同钢种和不同图像仪而稍有变化。区分氧化物和硫化物的门槛值设定之后,使用闪变方法在数个视场的活图像和检测的图像之间将逻辑开关前后切换,以确保设定值的正确性,即确保通过类型和尺寸正确检测氧化物或硫化物。

12 步骤

12.1 将试样放在显微镜载物台上并使试样抛光面与光轴垂直。使用倒置式显微镜时,简单地将试样抛光面朝下放在载物台平面上,用台夹将试样夹紧。使用正置式显微镜时,将试样置于载物玻璃上,用压平器辅用粘结剂或橡皮泥将试样压平。某些正置式显微镜配有自动水平载物台安装试样。如果必须使用橡皮泥压平试样,则放在试样抛光面与压平器之间的隔纸纤维可能会附着在试样抛光面产生人为缺陷影响测量。应将试样抛光面附着的纸纤维吹掉。也可以选择另一种方法来避免这个问题,即将一个椭圆型的铝环或不锈钢环磨平后,放在试样与压块之间。如果试样被镶嵌,则将环压在镶嵌材料上。如果试样没有镶嵌,则必须使试样表面积大于 200 mm^2 ,压平时让环压在试样的边缘,以避免接触检测表面。在载物台上将试样定位,使夹杂物平行于载物台移动的 X 方向,即监视器屏幕的水平方向。如果程序适当,也可将夹杂物平行于载物台 Y 方向放置,即纵向在监视器屏幕上呈竖直方向。

12.2 校正调节显微镜光源,将图像采集系统的光密度调节到需要的水平。

12.3 如果图像分析仪具备编程能力,只要夹杂物级别的评定是以 0.5 mm^2 为基础的,则除了可以在 $100\times$ 放大倍率和 0.5 mm^2 视场面积下按类型进行区分和检测夹杂物外,还可以在其他任何放大倍率和任何视场面积下按类型进行区分和检测夹杂物(见 5.1)。如果图像仪功能不具备编程能力,即如果每个视场的夹杂物必须逐个按类型区分和检测,级别的确定也必须以逐个视场为基础,则所选择的放大倍率应使视场面积尽可能接近 0.5 mm^2 (显微测试框为边长 71 mm 的正方形)。 0.5 mm^2 视场面积的偏差应小于 $\pm 0.05\text{ mm}^2$ 。选择放大倍率所产生的像素差应不大于 $2\text{ }\mu\text{m}$,最好在 $1\text{ }\mu\text{m}$ 左右。

- 12.4 按照 11.3 所述设定灰度门槛值,以便分别测定硫化物和氧化物。
- 12.5 检测硫化物时,在相同视场的氧化物的边缘会出现虚假成像(光晕效应),这个问题可通过应用自动轮廓描绘功能或对二值图像应用适当的算法来纠正。最合适方法要依据所应用的图像分析系统而定。
- 12.6 设置自动载物台控制使试样沿方形或矩形路线移动,视场呈连续排列,检测评定的总面积要达到 200 mm²。根据供需双方协商可以改变测量面积的大小。
- 12.7 按第 13 章规定的计算机程序,通过类型和宽度识别夹杂物图像,以长度、数量或直径为基础计算级别,储存结果,控制载物台移动(如果使用自动载物台的话),生成试验报告。
- 12.8 该程序结合其他步骤,可以处理在抛光或清理过程中产生了某些人工产物,或安装试样时带来灰尘等等的视场。根据测量系统和人工产物的特点,可以开发一种算法识别这种人工产物,而且可以将它们从二值图像中清除出去。如果这一步不能实现,则应将这个视场废除,即不储存这个视场的测量结果。在这种情况下,如果可能的话,应补充分析其他的视场来代替废除掉的视场。如果在同一测量过程中无法替代被废除掉的视场,则可以在下一测量过程中测量一个补充的视场(不要测量已测过的视场)。良好的准备工作可以减少出现带有人工产物的视场的频率。不允许将小于 200 mm² 测量面积(例如有废除的视场)的试验结果经数学推算或转换成 200 mm² 测量面积的结果。
- 12.9 计算机程序还可以包括其他步骤用来完成基础体视学测量(见 GB/T 18876.1),以补充分析结果。本部分不涉及这些测量值。

13 夹杂物分类和级别计算

13.1 GB/T 10561—2005/ISO 4967:1998 标准根据夹杂物形态,将夹杂物分成 A、B、C、D 和 DS 五大类,再根据其宽度分为粗系和细系。A 类和 C 类夹杂物的形态十分相似,但是,通常将 A 类夹杂物归为硫化物,而将 C 类夹杂物归为变形的氧化物,例如锰硅酸盐。A 类夹杂物呈浅灰色,而 C 类夹杂物呈黑色。

13.1.1 根据不同的灰度差,将 A 类夹杂物从其他类夹杂物中分离出来。再根据形态差异区分 B、C、D 或 DS 类夹杂物。B 类和 C 类夹杂物呈串(条)状分布。B 类串(条)状夹杂物由一定数量的(至少 3 颗)与变形轴平行的圆形或棱角形氧化物颗粒组成,长宽比小于 3(5);C 类串(条)状夹杂物是由少量极度拉长的、表面平滑、且与变形轴平行的氧化物组成,长宽比不小于 3(5)。距夹杂物中心线±10(15) μm 以内的颗粒均应视为 B 类串(条)状夹杂物的一部分。B、C 类夹杂物颗粒间距在 40 μm 以内的应视为一个串(条)。长宽比小于 3(5)且又不能鉴别为 B 类或 C 类的其他氧化物都被归为 D 类。D 类夹杂物的长宽比应小于 3(5)且不属于某串(条)状夹杂物的一部分。除最大长宽比之外,对 D 类夹杂物无任何形状要求。超尺寸(直径不小于 13 μm)单颗球状夹杂物按 DS 类夹杂物评定。

锻制试样中 A、B、C 类夹杂物的排列与纵向的偏离夹角一般不超过±20°。通过对检测的夹杂物设置此范围内的方向限值,则可鉴别出超过此方向限值的某些人为缺陷(例如:抛光过程中未能清除掉的深度划痕),并将其从二值图像中予以剔除。

注 1: 括号内的数值均为按 GB/T 18254—2002 或 ASTM E45—97(2002)标准评定夹杂物时的数值。

注 2: 以上述限制措施为基础的应用于计算机程序中的鉴别和测量方法有赖于计算机系统及其具备的能力。因此可根据具体条件采用不同的方法,但应对所选择的方法进行评估确认。

13.1.2 对各种夹杂物按类型进行分类以后,再按宽度或直径分细系或粗系(见表 2)。测定每类夹杂物的最大宽度或平均宽度(A、B、C 类)或最大直径(D、DS 类)。宽度小于 2 μm 或直径小于 3 μm(D 类)的夹杂物不予评定,即它们的长度不计入后续的级别计算之中。如果 A 类或 B 类、C 类串(条)状夹杂物的宽度发生变化并且整条的宽度都小于 2 μm,则尽可能的进行检测并基于所测长度计算级别。对于变形量非常大的锻制试样,当大多数的夹杂物宽度小于 2 μm 时,可根据供需双方协议,将细系的宽度下限设定为较低的值,例如 0.5 μm 或降到更低。这些较细的夹杂物需使用实际视场面积小于 0.50 mm² 的高放大倍率进行检测。因此,如 12.3 所述,还应结合场数据获得有效测定值。

13.1.3 A类夹杂物宽度在 $2\mu\text{m}\sim 4\mu\text{m}$ 之间按细系评定, $4\mu\text{m}$ 以上 $\sim 12\mu\text{m}$ 之间的按粗系评定,宽度大于 $12\mu\text{m}$ 的按超尺寸单独评定。

13.1.4 B类夹杂物宽度在 $2\mu\text{m}\sim 9\mu\text{m}$ 之间按细系评定, $9\mu\text{m}$ 以上 $\sim 15\mu\text{m}$ 之间按粗系评定,宽度大于 $15\mu\text{m}$ 按超尺寸评定。对B类夹杂物串(条)状中单个夹杂物按细系、粗系或超尺寸分类,并按类型分别计算总长度,如果某一类型夹杂物的总长度大于或等于该夹杂物总长度的50%,则统一视为该类型进行评定(超尺寸必须单独报告)。

13.1.5 C类夹杂物宽度在 $2\mu\text{m}\sim 5\mu\text{m}$ 之间按细系评定, $5\mu\text{m}$ 以上 $\sim 12\mu\text{m}$ 之间按粗系评定,宽度大于 $12\mu\text{m}$ 按超尺寸评定。对于C类串(条)状夹杂物,评定方法同按13.1.4所述。超尺寸的C类夹杂物必须单独报告。

13.1.6 D类夹杂物最大直径在 $3\mu\text{m}\sim 8\mu\text{m}$ 之间按细系评定, $8\mu\text{m}$ 以上 $\sim 13\mu\text{m}$ 之间按粗系评定,大于 $13\mu\text{m}$ 按超尺寸或DS类评定。超尺寸D类或DS类夹杂物必须单独报告。

注3:可以采用多种方法测定夹杂物的最大宽度或平均宽度,但应对所选择的方法进行评估,以便确定其使用效果是否符合要求。按GB/T 18254—2002或ASTM E45—97(2002)标准评定夹杂物时见附录A表A.1和表A.2或附录B表B.1和表B.2。

13.1.7 位于拉长的A类硫化物末梢的氧化物按D类进行评估,除非其排列十分紧密且能满足B类串(条)状夹杂物的评定要求(数量在3颗或3颗以上)。

13.1.8 对采用稀土元素或含钙脱氧的钢,其钢中的内生夹杂物也可通过形态和宽度分类,并应在试验报告中注明其化学特征。例如:根据表1(表A.1或表B.1)给出的每一视场总长度的最小值和表2(表A.2或表B.2)的宽度限值,对用稀土或钙元素改良的、长宽比不小于3(5)的硫化物,按A类夹杂物评定;但对长宽比不大于3(5)且不是一串(条)状夹杂物组成部分的硫化物,则按D类夹杂物评定。上述两种情况都应注明其化学特征的综合描述以免混淆。如形态像D类的硫化物,用 D_{ulf} 表示。

13.1.9 非传统类型夹杂物或复相夹杂物,如硫氧化物,也可依据其形态评定:它们是串(条)状的,还是拉长的且长宽比不小于3(5),或单颗的、不属于任一串(条)状夹杂物的一部分且长宽比小于3(5),再按宽度分类。单个球状颗粒按最大直径(可协商为等效圆直径或平均直径)评为D类夹杂物。非传统型夹杂物按占优势的(面积大于50%)硫化物或氧化物进行评定。例如:如果在一个球状硫氧化物中氧化物面积偏大,则以 D_{os} 表示。串(条)状复相夹杂物按单个颗粒的长宽比来评定,如果长宽比小于3(5),则评定为B类夹杂物;如果长宽比大于3(5),则评定为A类或C类(A类和C类夹杂物通过灰度区分)。对于长宽比不小于3(5)的非传统型夹杂物,如果其中硫化物面积占50%以上,则按A类夹杂物评定;如果氧化物面积占50%以上,则按C类夹杂物评定。非传统型夹杂物应在试验报告中注明,并描述其成分及特征,例如,“由钙锰硫化物薄膜包裹的球状铝酸钙”,或“部分为不规则铝酸钙或全部嵌入硫化锰串(条)状中”。必要时,可借助电子探针等方法进行夹杂物定性。

注4:括号内的数值均为按GB/T 18254—2002或ASTM E45—97(2002)标准评定夹杂物时的数值。

13.2 按类型和宽度分类以后,以A类夹杂物每个视场总长度、B类或C类串(条)状夹杂物每个视场总长度、D类夹杂物每个视场总数目和DS类夹杂物的直径为基础,评定 0.5mm^2 试验面积上的夹杂物级别。级别值可按每 0.5mm^2 面积上的长度或数量报告,也可按每单位面积上的长度或单位面积(m^2)上的数量报告,但测量必须是在连续的 0.5mm^2 试验面积上进行。级别值按表1给出的极限值进行计算。注意这些值均为每个级别的长度或数量的最小值。表3列出了应用这种关系计算各类夹杂物(细系或粗系)级别值的回归公式。通常,按表3公式计算的级别值应靠至最接近的级别,因考虑到回归公式的误差,推荐计算级别按0.25级差靠至最接近的级别(对于夹杂物含量极低的钢种,可使用更细的级差来提高对钢的鉴别力,见5.4)。如果用户要求提供连续级别值,则直接记录计算级别值。

注5:按GB/T 18254—2002或ASTM E45—97(2002)标准评定夹杂物时的计算公式和关系图见附录A的A.3和A.4或附录B的B.3。

13.2.1 宽度超过表2规定的粗系最大宽度的夹杂物按超尺寸评定。而超尺寸A类硫化物的长度、超

尺寸 B 类、C 类的串(条)长度、超尺寸 D 类夹杂物的数量或 DS 类夹杂物均应在试验报告中列表单独报告出它们的宽度或直径。超尺寸的 D 类夹杂物可按表 3 列出的 DS 类夹杂物公式计算级别值。

13.2.2 如果一个单独的 A 类硫化物夹杂的长度或一条单独的 B 类或 C 类串(条)状夹杂物的长度大于 0.5 mm^2 标准视场尺寸(显微测试框为边长 71 mm 的正方形),在图像分析仪能够跨越连续视场跟踪夹杂物或串(条)状夹杂物的情况下,则应对其进行测量,并应在试验报告中报告超尺寸夹杂物或串(条)状夹杂物总长度,即报告其类型、宽度(细系、粗系)和长度。每个视场内夹杂物或串(条)状夹杂物的超尺寸部分,除宽度超标的夹杂物以外,都应计入视场的夹杂物级别评定。

13.3 图 1 是以表 1 的数据为基础绘出坐标图计算 A 类夹杂物的级别(表 1 是按 GB/T 10561—2005/ISO 4967:1998 中的 A 法和 D 法评定的最小值),表明了每个 0.5 mm^2 视场内硫化物总长度最小值与级别之间的数学关系。这种数学关系是应用与表 1 的数据相匹配的最小二乘法产生的,表 3 应用这种数学关系来计算细系或粗系 A 类夹杂物的对数值,级别值由反对数获得,将级别值靠至最接近的级别(或按用户要求直接记录连续级别值)。

13.4 采用与 A 类夹杂物相同的方法计算 B 类和 C 类夹杂物的级别。图 2 和图 3 分别显示了以表 1 数据为基础的 B 类和 C 类夹杂物的坐标图。B 类和 C 类夹杂物级别是以每个视场总串(条)长度为基础计算的。按表 3 给出的方程的最小二乘法计算 B 类和 C 类夹杂物对数值,级别值由反对数获得,将级别值靠至最接近的级别(或按用户要求直接记录连续级别值)。

表 3 按 GB/T 10561—2005/ISO 4967:1998 评级的级别计算公式

夹杂物类型	单 位	回 归 公 式
A	长度 $L/\mu\text{m}$	$\lg(i_A)=[0.560\ 5\ \lg(L)]-1.179$
B	长度 $L/\mu\text{m}$	$\lg(i_B)=[0.462\ 6\ \lg(L)]-0.871$
C	长度 $L/\mu\text{m}$	$\lg(i_C)=[0.480\ 7\ \lg(L)]-0.904$
D	数量 $n/\text{个}$	$\lg(i_D)=[0.5\ \lg(n)]-0.301$
DS	直径 $d/\mu\text{m}$	$i_{\text{DS}}=[3.311\ \lg(d)]-3.22$

13.5 D 类和 DS 类夹杂物级别的计算方法与 A 类、B 类和 C 类夹杂物相同,仅有的差别是以氧化物的数量(D 类)或直径(DS 类)而不是以长度为依据。图 4 和图 5 显示了以表 1 数据为基础的坐标图。按表 3 列出的方程的最小二乘计算 D 类和 DS 类夹杂物的对数值,级别值由反对数获得,将级别值靠至最接近的级别(或按用户要求直接记录连续级别值)。

注 6: 按 GB/T 18254—2002 或 ASTM E45—97(2002) 评定夹杂物时的计算公式和关系图见附录 A 的 A.3 和 A.4 或附录 B 的表 B.3。

13.6 在计算机中建立分布数阵以便将各种级别的视场数量进行列表,这些级别是在对五类(A、B、C、D、DS)夹杂物依据细系、粗系限值进行分类,并与 0 级~5 级的 11 个按半级递增的级别进行评定后获得的。对每个视场进行评定并计算级别后,增加适当的分布单元来存储结果。

13.6.1 将每个视场中各类各系夹杂物的连续级别值存入计算机,并将后面一个视场的数值与前面一个视场的数值相加,获得连续级别值总量 i_{tot} 。

13.6.2 根据产品标准或供需双方协议的要求,将每个视场中每类夹杂物(细、粗或超尺寸)按定量尺寸进行不连续分级,不连续分级时将测量的连续级别值自动靠向最接近的半级或整数级别,将各级别出现的次数进行累加,再将累加值分别存入计算机。

13.6.3 根据产品标准或供需双方协议的要求,将不同视场所测每类夹杂物(细、粗或超尺寸)按级别进行排序,将最恶劣视场级别数值存入计算机。

13.7 如果供需双方协议指定了应分析的夹杂物类型、宽度或级别限值,则 13.6 可修改为仅分析、测量和存储相关的数据。

13.8 采用随机选择、相邻排列的视场有可能不产生真实的最恶劣视场级别(GB/T 10561—2005/

ISO 4967:1998 中方法 A)。有效的最恶劣视场级别要求使用先进的图像分析技术,例如:使用一个能在 200 mm^2 试验面积里任意移动的 0.5 mm^2 限制框,通过级别数据最大化的算法来控制限制框的移动。

13.9 对夹杂物进行定量描述时,应将空白视场(即包含了那些特殊类型和宽度尺寸的不可视夹杂物)与不可评定视场(即夹杂物宽度不大于 $2\text{ }\mu\text{m}$,或夹杂物长度或串(条)长度小于0.5级的最小值)区别开来。

13.10 将所测的 N 个视场的每类夹杂物(细系或粗系)的级别值总量 i_{tot} 分别除以 N ,就获得了一个试样各类夹杂物(细系或粗系)平均级别 $\bar{i}_{\text{moy}}$ 。如果一炉钢同批中取 N 个试样,则将 N 个试样中每类夹杂物(细系或粗系)级别分别进行累加,再除以 N 获得该炉钢各类夹杂物(粗系和细系)的总平均级别 $\bar{i}_{\text{moy}}$ 。例如,将一炉钢同批中6个试样的每类夹杂物(细系或粗系)级别进行累加,将累加值除以6(即试样数),就获得本炉批钢6试样的总平均级别。

14 试验报告

14.1 试验报告应包括如下各项内容:

- a) 本部分号;
- b) 图像仪型号;
- c) 钢的牌号和炉号、试样号;
- d) 产品类型和尺寸;
- e) 试样的工艺说明(轧制、锻制、连铸和热处理等);
- f) 取样方法及检验面位置;
- g) 选用的技术标准或协议及结果表示方法;
- h) 放大倍率(如果大于100倍时);
- i) 视场面积(如果不是 0.5 mm^2 时);
- j) 观察的视场数或总检验面积;
- k) 各项检验结果(夹杂物或串(条)状夹杂物的尺寸超过标准评级图者应予注明);
- l) 对非传统类型夹杂物所采用的下标的说明;
- m) 试验报告编号和日期;
- n) 送样单位、送样人、试验员姓名。

14.2 试验报告应报告每种夹杂物的类型(A、B、C、D和DS)和宽度(细系和粗系)所对应的视场数(按整数级或半级递增)。对夹杂物含量非常低的钢种,其级别值可以计算为1/4或1/10级差。也可据需要报告连续级别值。注意,由于D类夹杂物在一个视场只有一颗夹杂物时评为0.5级,所以在0级~0.5级之间不能再细化D类级别值。

14.3 根据供需双方协议,可以对报告项目或内容进行修改。例如,仅报告某种类型夹杂物宽度或级别值;也可仅报告最恶劣视场级别值或最恶劣视场级别的视场数量。

14.4 根据供需双方协议,可计算一种指标来描述夹杂物的含量,或提供级别分布直方图。

14.5 根据供需双方协议,可以提供一批钢多个试样中每类夹杂物的平均级别,或提供一炉钢6个试样中每类夹杂物最恶劣视场的平均级别。附录C中表C.1和表C.2给出了这类评定结果的实例。

14.6 对长度或宽度超标,或两者同时超标的夹杂物或串(条)状夹杂物都应单独报告,即报告夹杂物的类型、测量的宽度和长度(对A、B和C类夹杂物而言)。

14.7 如果需要,也可将0级别的视场视为空白视场(呈现特殊类型和宽度的不可视夹杂物)或不可评定视场(呈现夹杂物但级别在0.5级以下,或宽度小于 $2\text{ }\mu\text{m}$,或直径小于 $3\text{ }\mu\text{m}$)。

14.8 如果需要,可提供关于夹杂物成分的信息(A类~DS类),对于添加稀土元素或经钙处理的钢种,或经非传统脱氧处理的钢,其夹杂物的化学成分通常必须与评定的级别一起报告。如果操作人员不能通过光学显微镜方法鉴别夹杂物,则应该采用微量测试技术测定成分。

14.9 分析过程中产生的体视学补充数据可按需要写进报告。此类试验数据的标准化问题见 GB/T 18876.1。

15 精度与偏差

15.1 截取试样时操作不当,使抛光面偏离纵向轴线,会使测量值产生偏差,尤其对单位面积计数、平均面积和平均长度影响较大。抛光面与纵轴向的偏差应不大于 6°。

15.2 不当的抛光技术在抛光表面上留下的人为缺陷,如较大的划痕、拖洞、夹杂物变形和脱落、水溶性夹杂物溶解等,都会导致夹杂物测量值发生偏差。

15.3 抛光面上的灰尘、纸屑、油迹、水迹,或图像系统里的灰尘会导致特征物级别偏高。要注意试样和图像系统的清洁。

15.4 外来夹杂物正好处在抛光面上,也会当作氧化物而被检测,并使内生氧化物的测量值产生偏差。要注意另行记录。

15.5 在凝固或在热加工过程中产生的疏松、显微裂纹或孔隙等,往往会当作氧化物、D 类夹杂物而被检测,导致夹杂物级别偏高,操作中要转换高倍率物镜进行鉴别。

15.6 对同一试样立即进行重新检测时,如果从同一位置开始,并测量相同的视场,则能够获得非常理想的重复性。最恶劣视场的评定通常是相同的,但是也会偶然在 9 个可能评定的级别(从 A~DS,粗系和细系)里出现半级的偏差。这时每种类型和宽度夹杂物的每一级别的视场数的偏差通常不大于 5%。

15.7 影响图像检测的振动会导致结果偏差,应予以消除。

15.8 载物台控制不当,使物镜测量了试样夹或跑到试样之外测量了空白视场会导致结果偏差。要注意试样的正确安装。如果采用手动载物台而不是自动载物台时,可能因人为选择视场而产生偏差。

15.9 如果在相同实验室将一个已评级的试样平行于原平面重新抛光和重新评级,其结果具有理想的重复性。各种类型和宽度的夹杂物的最恶劣视场评定的偏差通常不大于半级,但是,由于夹杂物含量的内在变率,偶然也可能出现较大的偏差。

15.10 实验室之间的试验存在误差。如果每个实验室都按照标准 GB/T 13298 严格控制试样的制备操作,则其偏差会降至最小。

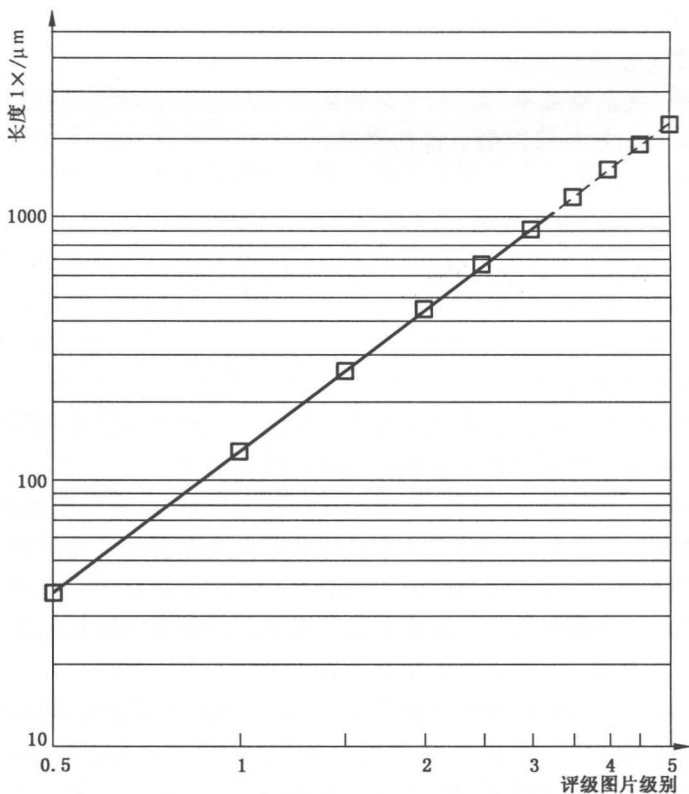


图 1 A 类夹杂物(细系和粗系)视场总长度与级别之间的关系
[GB/T 10561—2005/ISO 4967:1998 附录 D]

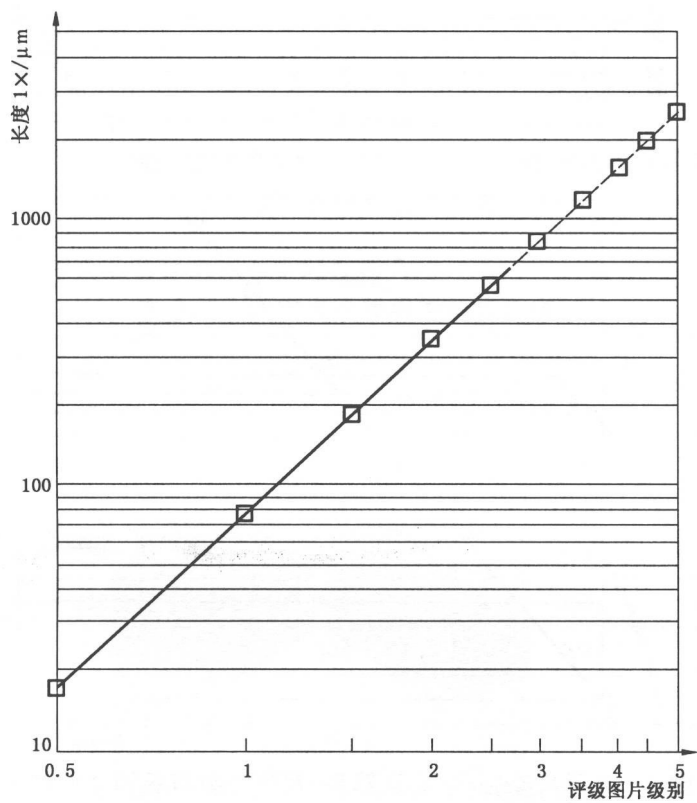


图 2 B 类夹杂物(细系和粗系)视场总长度与级别之间的关系
[GB/T 10561—2005/ISO 4967:1998 附录 D]

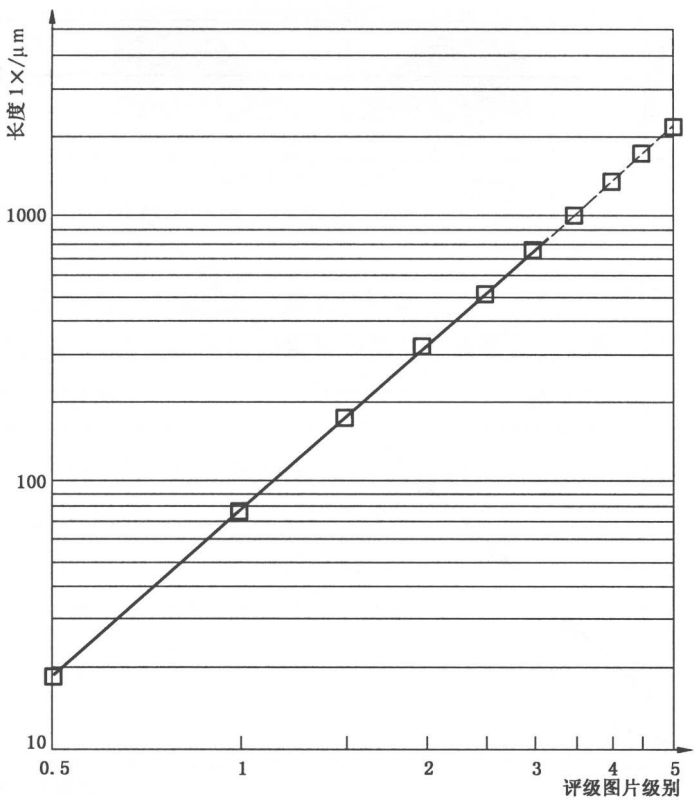


图 3 C 类串(条)状夹杂物(细系和粗系)视场总长度与级别之间的关系
[GB/T 10561—2005/ISO 4967:1998 附录 D]

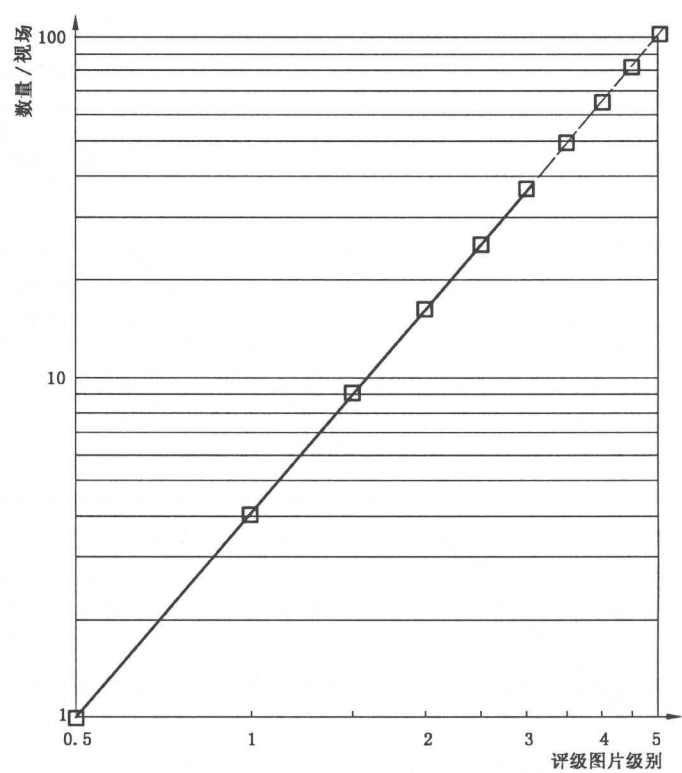


图 4 D 类夹杂物(细系和粗系)视场计数与级别之间的关系
[GB/T 10561—2005/ISO 4967:1998 附录 D]

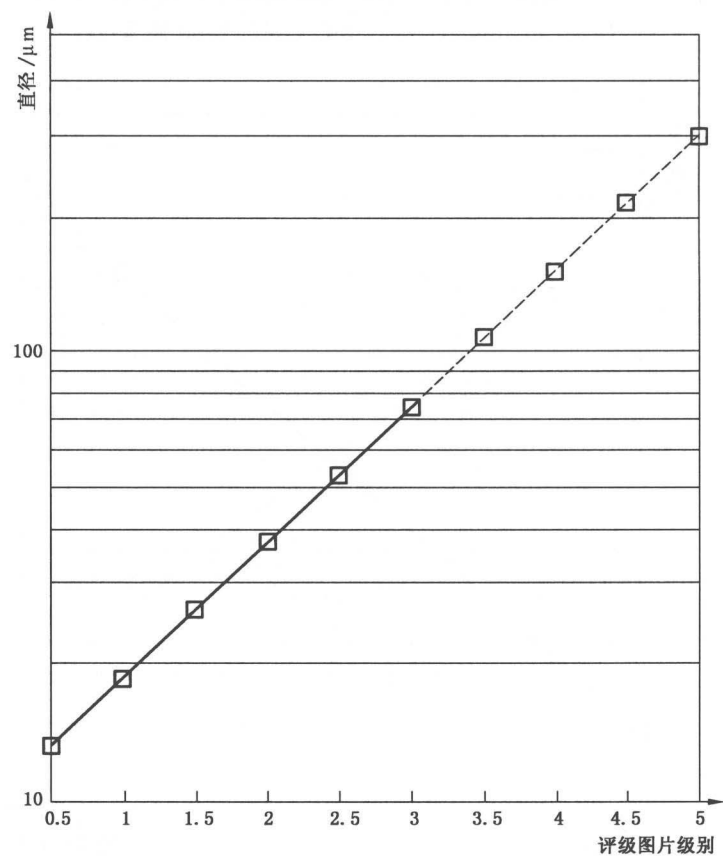


图 5 DS 类夹杂物(单颗粒球状类)最大直径与级别之间的关系
[GB/T 10561—2005/ISO 4967:1998 附录 D]

附录 A
(规范性附录)

应用自动图像分析评定 GB/T 18254—2002《高碳铬轴承钢》
中夹杂物级别的相关图表

A.1 GB/T 18254—2002 中夹杂物级别的最小值见表 A.1。

表 A.1 评定夹杂物级别的最小值

评级图级别	A	B	C	D
	总长度/ μm	总长度/ μm	总长度/ μm	数量/个
0.5	38	38	38	1
1	127	76	76	3
1.5	254	178	178	9
2	432	305	305	14
2.5	65	508	508	20

注：放大倍数为 1×。

A.2 夹杂物的宽度见表 A.2。

表 A.2 GB/T 18254—2002 中夹杂物宽度

单位为微米

夹杂物类型	细 系		粗 系		超尺寸
	最小宽度	最大宽度	最小宽度	最大宽度	最小宽度
A	≥ 2	4	> 4	6	> 6
B	≥ 2	9	> 9	15	> 15
C	≥ 2	5	> 5	9	> 9
D	≥ 2	8	> 8	12	> 12

注 1：D 类夹杂物规定为最大直径。
注 2：串(条)状夹杂物规定为平均宽度。

A.3 由夹杂物的测量值计算夹杂物级别的计算公式见表 A.3。

表 A.3 由夹杂物的测量值计算夹杂物级别的计算公式¹⁾

夹杂物类型	单位	回归公式
A	长度 $L/\mu\text{m}$	$i_A = 0.062\,77\,L^{0.571\,32}$
B	长度 $L/\mu\text{m}$	$i_B = 0.752\,66\,\ln L - 2.278\,49$
C	长度 $L/\mu\text{m}$	$i_C = 0.752\,66\,\ln L - 2.278\,49$
D	数量 $n/\text{个}$	$i_D = 0.089\,17\,n + 0.724\,54$

D 类夹杂物的计算公式只适用于 1 级以上(≥ 3 颗), 3 颗以下只评 0.5 或 0 级。

注：放大倍数为 1×。

A.4 评级图与夹杂物的测量值的关系图见图 A.1~图 A.4。

1) 赵咏秋. 高碳铬轴承钢中夹杂物和碳化物自动定量评级. 中国体视学与图像分析, 1996; Vol. 1, No. 1, 2: 31-34.

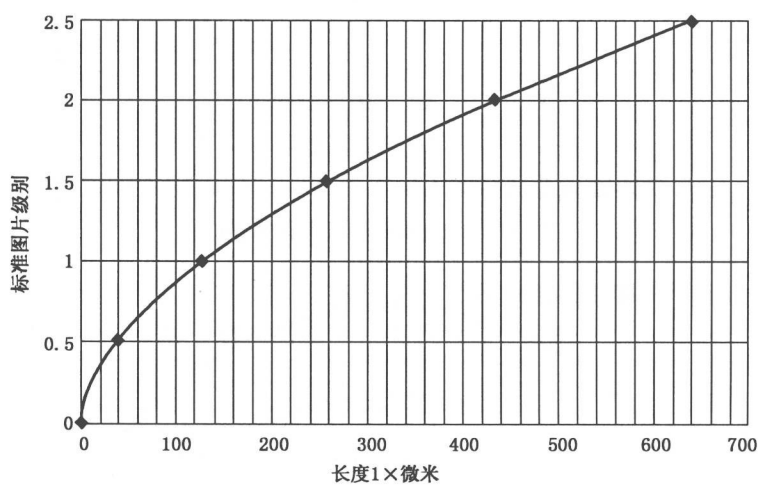


图 A.1 A 类夹杂物(细系和粗系)视场总长度和级别之间的关系

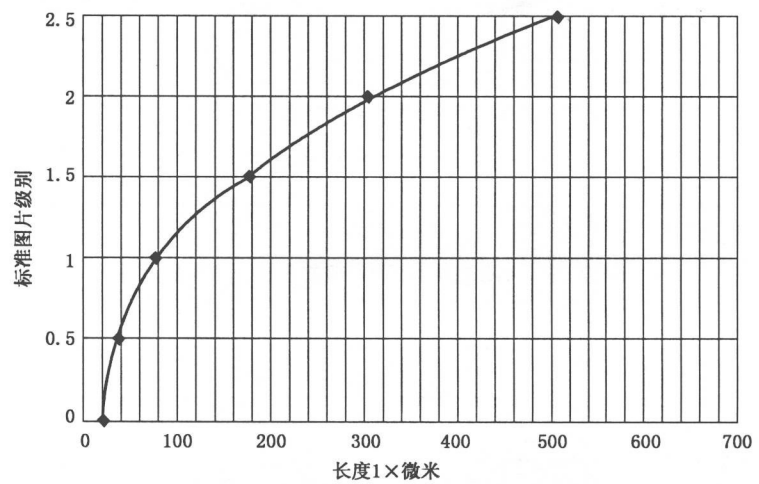


图 A.2 B 类串(条)状夹杂物(细系和粗系)视场总长度与级别之间的关系

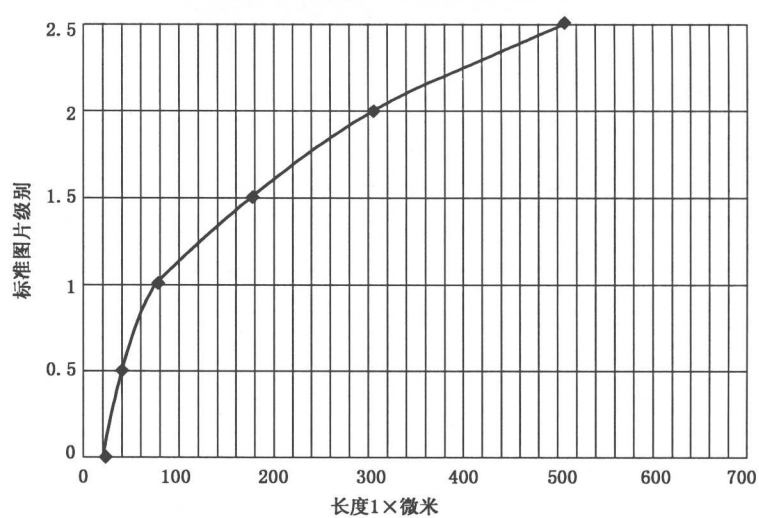


图 A.3 C 类串(条)状夹杂物(细系和粗系)视场总长度与级别之间的关系