

ASTM E45-1997 钢中夹杂物含量的评定方法

1 范围

1.1 本标准的试验方法为测定锻钢中非金属夹杂物含量的方法。宏观试验法包括微蚀、断口、台阶和磁粉法。显微试验法通常包括 5 种检测。根据夹杂物形状而不是化学特点，显微法将夹杂物划分为不同类型。这里主要讨论了金相照相技术，它允许形状类似的夹杂物之间略有不同。这些方法在主要用来评定夹杂物的同时，某些方法也可以评估诸如碳化物、氮化物、碳氮化物、硼化物和金属间化合物的组成。除了钢以外，其它合金在有些情况下也可以应用这些方法。根据这些方法在钢中的应用情况，将分别给予介绍。

1.2 本标准适用于人工评定夹杂物含量。其他 ASTM 标准介绍了用 JK 评级图的自动法（ASTM E1122）和图像分析法（ASTM E1245）。

1.3 按照钢的类型和性能要求，可以采用宏观法或显微法，也可以将二者结合起来，以得到最佳结果。

1.4 这些试验方法仅仅为推荐方法，对任何级别的钢而言，这些方法都不能作为合格与否的判据。

1.5 本标准未注明与安全相关的事项，如果有的话，也只涉及本标准的使用。标准使用者应建立适当的安全和健康操作规程，并且在使用标准前应确定其适用性。

2 参考文献

2.1 ASTM 标准：

- A 295 高碳耐磨轴承钢技术条件
- A 485 强淬透性耐磨轴承钢技术条件
- A 534 耐磨轴承用渗碳钢技术条件
- A 535 特种性能的滚珠和滚柱轴承钢技术条件
- A 756 耐磨轴承用不锈钢技术条件
- A 866 耐磨轴承用中碳钢技术条件
- D 96 用离心法分离原油中水和沉淀物的试验方法
- E 3 制备金相试样指南
- E 7 金相显微镜术语
- E 381 钢棒，钢坯，钢锭和锻件的宏观试验法
- E 709 磁粉检测指南
- E 768 自动测定钢中夹杂物的试样的制备和评定操作规程
- E 1122 用自动图像分析法获得 JK 夹杂物等级的操作规程
- E 1245 用自动图像分析法确定金属中夹杂物或第二相含量的操作规程

2.2 SAE 标准：

- J421, 磁粉法测定钢的清洁度等级
- J422, 钢中夹杂物评定的推荐操作规程
- 2.3 航空材料技术条件
- 2300, 高级飞行性能钢的清洁度：磁粉检测程序
- 2301, 飞行性能钢的清洁度：磁粉检测程序
- 2303, 飞行性能钢的清洁度：耐腐蚀马氏体钢磁粉检测程序
- 2304, 特种飞行性能钢的清洁度：磁粉检测程序

2.4 ISO 标准：

ISO 3763, 锻钢——非金属夹杂物的宏观评定法

ISO 4967, 钢——使用标准图谱的非金属夹杂物显微评定方法

2.5 ASTM 附加标准:

钢中夹杂物评级图 I-r 和评级图 II

低碳钢的 4 张显微照片

3 术语

3.1 定义:

3.1.1 本标准中用到的定义, 见 ASTM E7。

3.1.2 ASTM E7 中定义了夹杂物数量; 由于这些试验方法中有些涉及到长度的测量, 或将长度或(和)数量数值化, 因而用“夹杂物等级”一词更好。

3.2 本标准的专业术语定义:

3.2.1 纵横比——显微镜下的长、宽比。

3.2.2 断续条状夹杂物——3 个或 3 个以上的 B 型或 C 型夹杂物排成一列, 并且平行于热加工轴, 列与列之间相距不超过 15 μm , 一列内任意两个相邻的夹杂物间距不小于 40 μm 。

3.2.3 夹杂物类型——对硫、铝、硅类的夹杂物的定义, 见 ASTM E7。球状氧化物, 有的试验方法中称为游离的、相对不易变形的夹杂物, 纵横比不大于 5 : 1。在其他的方法中, 氧化物被划分为可变形的和不可变形的两类。

3.2.4 JK 夹杂物等级——一种基于瑞士 Jernkontoret 程序的、测定非金属夹杂物的方法。方法 A 和 D 主要是 JK 评定法, 方法 E 也使用了 JK 评级图。

3.2.5 条状夹杂物——一个在变形区被大大拉长的夹杂物, 或者 3 个或 3 个以上的 B 型或 C 型夹杂物排成一列, 且平行于热加工轴, 列与列之间相距不超过 15 μm , 一列内任意两个相邻的夹杂物间距不小于 40 μm 。

3.2.6 最差视场评定——通过给试样表面某处各类夹杂物最严重的视场赋值来评定试样中各类夹杂物的方法。

4 意义和使用

4.1 这些试验方法包括 4 个宏观、5 个微观试验方法, 它们是用来描述钢中夹杂物含量和试验结果的程序。

4.2 夹杂物是以尺寸、形状、密集程度和分布状态, 而不是以化学成分为特征的。尽管化学成分尚未确定, 显微试验法已把夹杂物归入几种化学成分相似的某一类物质(如把硫化物、氧化物和硅酸盐——最终归为氧化物一类)。第 12.2.6 条描述了更容易分辨夹杂物的金相照相技术。用该技术检测到的是分布于试样表面的夹杂物。

4.3 宏观试验法相对显微试验法来说, 能测定更大面积的表面, 而且由于其检测是肉眼可见或低倍的, 因而它们更适合于检测大夹杂物, 而不适于检测长度小于 0.40mm 的夹杂物。但它不能分辨夹杂物的类型。

4.4 显微试验法用来表述某些夹杂物的特征, 这些夹杂物因脱氧或在固体钢中溶解度有限(成为析出夹杂物)而形成。这类夹杂物在几何外形上, 如尺寸、形状、密集度和分布, 具有明显的特点, 而在化学成分上无特殊性。显微试验法并非用来评估外来夹杂物(如熔渣或难熔物), 也不是评估碳化物、碳氮化物、氮化物、硼化物或金属间化合物的, 尽管有时也用于后者。

4.5 由于许多给定钢中的夹杂物数量随位置而异, 钢坯必须进行统计抽样, 才能测确定其夹杂物含量。抽样数必须与钢坯尺寸和特性相符合。由于自动图像

分析法能够进行更准确的微观评定，因而对夹杂物很少的材料，适用于自动图像分析法（见 ASTM E1122）。

4.6 宏观和显微试验法的结果可以作为材料外运凭证，但不能作为接收或拒收材料的依据。这些试验数据的评判标准可见 ASTM 产品标准或用户与厂方的协议。

4.7 这些试验方法计划用于锻造金属件。由于没有规定最低变形量，故这些试验方法不适用于铸件和少量加工件。

宏观法

5 宏观试验法

5.1 概述

5.1.1 微蚀试验——该试验用来显示夹杂物含量和分布，这些夹杂物通常分布于横截面或与轧制、锻造方向垂直的截面。一些实例也进行了纵截面上的检测。在需要检测区域切取并加工一截面，用合适的腐蚀剂腐蚀。通常使用的腐蚀剂为盐酸和水在 71~82 °C 的混合溶液，正如本试验名称所示，腐蚀后，用肉眼或低放大倍数即可看出被腐蚀表面的夹杂物。有关本试验的详细内容可见 ASTM E381。对有疑义的结果应通过显微法或其他方法确认。

5.1.1.1 用 5.1.1 的方法，硫化物表现为浸蚀麻点。

5.1.1.2 这种方法只能检测大块氧化物。

5.1.2 断口试验——该方法用于确定厚度约为 9~13 mm 的硬化工件断口上的夹杂物。本试验基本用于钢的分析，因为钢才有可能达到约 60HRC 的硬度，而且其断口的晶粒尺寸可达 7 级或更细。试样外部不能有过量的导致断裂的凹槽或划痕。断口最好在通过工件轴心的纵向上。用肉眼或放大约 10 倍即可检测夹杂物的长度和分布。回火色或发蓝能够有助于对断续状氧化物的判断。ISO 3763 为断面夹杂物的评定提供了一种图示法。实例表明，用这种方法可以测出长度仅为 0.40 mm 的夹杂物。

5.1.3 台阶法——该试验方法用来评定轧钢或锻钢加工面上的夹杂物。按规定的在表面下的直径加工试样。在良好光照度下，肉眼或低放大倍率即可观察到夹杂物。有时也把试样加工成更小的直径，以便检测原直径试样后做进一步检验。该试验一般用于检测 3 mm 及其以上长度的夹杂物。

5.1.4 磁粉法——磁粉法是台阶法的一种变异。它是针对铁磁材料，通过加工、磁化试样来判定夹杂物的。断续的仅有 0.40 mm 长的夹杂物形成缺磁区，吸引磁粉，进而显现夹杂物。详细内容见第 6 章。

5.2 优点：

5.2.1 这些方法使试样表面大范围的检测变得很容易。多数情况下，人们更关心的是钢中更大的夹杂物，它们呈不均匀分布，且间距较大，这为大面积检测创造了更好的机会。

5.2.2 制备宏观检验用试样较快，仅需要机加工和磨削即可。不需要高抛光的表面，宏观法对评定大块夹杂物具有足够的灵敏度。

5.3 缺点：

5.3.1 不能区分不同夹杂物的形态。

5.3.2 不适宜检测小球状夹杂物或很小的被拉长的链状夹杂物。

5.3.3 磁粉法会导致对显微结构的错误判断，如残奥沟痕、树枝状晶或某合金中的碳化物。如果磁化电流很大，这种误判很容易出现。

6 磁粉法——详细程序

6.1 试样:

6.1.1 试样应按 6.2 制备,由圆形或方形截面的钢锭、钢坯或钢棒上切取试样的步骤推荐如下:

6.1.1.1 横截面面积在 230 cm^2 以上——如图 1 或图 2 所示,切取 1/4 截面,用锻造或(和)机加工的方法制成直径为 $60\sim 150\text{ mm}$ 的圆柱形试样。还可以用另一种方法,即锻或轧制成 150 mm 的方形或圆形截面,按 6.1.1.2 加工出 1/4 截面。

6.1.1.2 横截面面积在 $100\sim 230\text{ cm}^2$ (包括 100 cm^2 和 230 cm^2) ——如图 1 或图 2 所示,切取 1/4 截面,用锻造或(和)机加工的方法制成最大直径的圆柱试样。

6.1.1.3 横截面面积在 100 cm^2 以下——把试样加工成圆柱体。另一种方法是制成 3 个直径的台阶试样,每一个直径对应的圆柱体长度为 75 mm 。D 为第一个台阶的直径,其值低于标准允许的圆柱试样尺寸;第二个台阶的直径为 $3/4D$;第三个台阶的直径为 $1/2D$ 。

6.1.2 试样应符合以下要求,除非 6.1.1.1~6.1.1.3 另有规定。

6.1.2.1 检测表面长度一般为 125 mm ,通常还需要 25 mm 的延伸量。

6.1.2.2 从坯料上切取试样的最小值如下:

圆形或方形截面坯料尺寸, mm	试样最小尺寸, mm
≤ 12.7	0.76
12.7~19(包含 19)	1.13
19~25.4(包含 25.4)	1.52
25.4~38(包含 38)	1.89
38~51(包含 51)	2.28
51~64(包含 64)	3.17
64~89(包含 89)	3.96
89~115(包含 115)	4.75
115~152(包含 152)	6.35

6.1.2.3 切取的 1/4 截面应大于图 1 和图 2 所示尺寸,以保证试样表面包含坯料的中心。坯料中心在试样表面上的位置应贴以标记。

6.2 试样制备:

6.2.1 试样粗加工后,在稍高于临界温度的温度下水淬或油淬,并根据化学成分进行 $200\sim 650\text{ }^\circ\text{C}$ 的回火,使硬度达到约 300 HB 。注意避免淬裂。热处理会形成一个更为均匀的组织,其硬度足以使该组织保留一部分磁性,有助于试验后磁粉聚集。

6.2.2 热处理后,磨削试样(包括端部),或者进行清理,以保证磁粉的良好吸附。磨削应在与试样长度垂直的方向上进行,并避免形成磨削裂纹。纵向划痕可能足够深,使磁粉聚集,以致夹杂物模糊不清。

6.2.3 磁化前,应用快干溶剂彻底清洗试样,去除油脂和手指印。

6.3 步骤:

6.3.1 沿试样纵向反复通电 $1/5\sim 1/2\text{ s}$,电流强度应为在试样直径上 $160\sim 470\text{ A/cm}$ 。

6.3.2 正常情况下,用连续法湿法,即试样在磁悬液中磁化。硬化钢试样(硬度不小于 50 HRC)磁化后,可以采用剩磁法湿法。注意检测完成前,不要破坏磁痕。有关磁粉检验的各种湿法描述见 ASTM E709。

6.3.3 通常人们把磁粉浸泡于粘度约为 40SUS 的煤油或其他轻质油中。每升油约含 7.7 g 非荧光磁粉。退磁时,非荧光磁粉磁悬液的体积分数应为 1.0%~2.0%,并在符合 ASTM 标准的 100 mL 刻度的锥形分离管中放置 30~40 min。有关锥形分离管的描述见 ASTM D96。

6.3.4 作为油基系统的替代系统,可以用水基系统。使用水基系统时,应控制蒸发率。通过加水保持正常液面。

6.4 试样检验:

6.4.1 检验应在良好光照下进行,最好是标准的白色荧光灯。为获得最好的散射效果,应使灯的纵轴垂直于试样纵轴。这样可以清楚地看到大夹杂物,小一点的夹杂物也可以看到。如果要检测 0.8 mm 或更小的夹杂物,可借助于手工放大镜。至于是由夹杂物产生的磁痕,还是由其他原因,如裂纹、金属纤维(流线)、碳化物等产生的磁痕,有经验的操作人员能够进行区分。记录试样表面的磁痕尺寸。

6.4.2 夹杂物产生的磁痕可以用照相、绘制或转入接收器介质的方式记录下来。例如,用气溶胶或其他方法制成塑料涂层材料溶液,尤其是可以充分利用制备好的吸收纸如染印接受纸或清理胶片(clean out film)。将它们制成各种尺寸,或从摄影棚得到。固定在卡片上的普通透明胶带也能吸起试样上的磁粉。转移法速度快,能够准确地提供低倍率下的检测结果,且比检测曲面用的照相法来得更准确。另外,转移法还能保留磁痕在试样上的位置,而试样是与坯料原表面及其中心线有关的。

6.5 结果表示:

6.5.1 磁粉试验结果一般由频率和严重级别数表示。

6.5.2 频率是指给定区域内磁痕的总数。一般此区域面积为 258 cm²。也可由检测表面单位面积内的磁痕数表示。用频率和严重级别表示每平方英寸内夹杂物的方法已被汽车工程师协会以 SAE J41 标准所采纳。参见 AMS 2300, AMS 2301, AMS 2303 和 AMS2304。

6.5.3 严重级别数是根据 AMS 2300, 2301, 2303 和 2304 中所列的磁痕宽度来表示的。该值如下:

磁痕长度, mm (AMS 2300, 2304)	严重级别宽度因数
0.4~0.8 (不含 0.8)	2
0.8~1.6 (不含 1.6)	4
1.6~3.2 (不含 3.2)	16
≥3.2	256

磁痕长度, mm (AMS 2301, 2303)	严重级别宽度因数
1.6~3.2 (包含 3.2)	0.5
3.2~6.4 (包含 6.4)	1
6.4~12.8 (包含 12.8)	2
12.8~19 (包含 19)	4
19~25.4 (包含 25.4)	8
25.4~38.10 (包含 38.10)	16

6.5.3.1 严重级别数是按给定长度的磁痕数乘以宽度因数,并将乘积相加得到的。严重级别数由给定区域的磁痕宽度表示,也可以由检测表面每单位面积的磁痕宽度表示(见 AMS 2300, 2301, 2303, 2304)。

6.5.4 一个熔炼炉次的所有试样的平均频率和严重级别数可用来表示该炉次磁粉检测的结果。

6.5.5 一个熔炼炉次的频率和严重级别数可以方便地与另一炉次的值相比较。但要注意比较的是相近尺寸的钢坯或钢棒的测试结果。

6.5.6 如果采用台阶试验,其结果应与各自直径有关。

6.5.7 磁粉检测结果也可以用某一规定区域内磁痕的总长度表示。在上面提到的 AMS 标准中,用每平方英寸内的磁痕的长度表示。

显微法

7 综述

7.1 显微法用于测定抛光试样表面上夹杂物的尺寸、分布、数量和类型。通过光学显微镜对试样的检测,用几张有代表性的金相照片报告观察到的夹杂物类型。这种方法没有统一的报告格式。因而产生了标准引用图的情况,这些图描述了一组典型夹杂物的特征,将试样的显微视场直接与这组图作比较即可得到检测结果。

7.2 这里引用的各种图都出自于 JK 评级图和 SAE J422 中的 SAE 评级图。本标准就是用这些图来作准确对比的。其中方法 A(最差视场法)、方法 D(低夹杂物含量法)和方法 E(SAM 评定法)用 JK 评级图,而方法 C(氧化物和硅酸盐法)用 SAE 评级图。ISO 4967 用的也是 JK 评级图。

7.3 由于一张图不能全面反映出各种夹杂物的类型和形式,因而使用任何一张图在检测最普通类型的夹杂物时都会受到限制。故要注意这样的检测并不是纯粹地研究夹杂物的金相照片。

7.4 除了比较(或评级图)法 A、C 和 D 外,还有一种方法 B。方法 B(长度法)是根据夹杂物的长度来检测的。无论夹杂物为何种类型,只要其长度不小于 0.127 mm 就可以进行评定。用这种方法能得到夹杂物的最大长度和平均长度。此外,金相照片可以用来评定短得无法测量的背景夹杂物。

7.5 显微评定法的优点:

7.5.1 可以评定夹杂物的尺寸、类型和数量。

7.5.2 可以评定极小的夹杂物。

7.6 显微评定法的缺点是评估视场很小(0.50 mm²)。这样试样尺寸较小,只能用有限数量的视场来评定大试样。如果夹杂物分布不均匀,则由显微评定法得到的大截面钢坯上夹杂物的分析结果就具有偶然性。钢的最终使用决定了显微评定结果的重要性。应具有整理评定结果的经验,以便于在某些应用中不夸大夹杂物的重要性。

7.7 在评定夹杂物时,无论采用什么方法,很重要的一点是评定结果仅出自于被检试样区。由于实际的原因,这种试样与其所代表的钢的总数相比是很少的。为获得夹杂物的评定数据,进行足够数量的抽样与选择正确的试验方法同样是很重要的。

7.8 对夹杂物来说,不仅在不同熔炼炉次的钢中不同,就是同一熔炼炉次、甚至是同一钢坯的不同部位也不同。需要测定夹杂物含量的单位批量的钢应不超过 1 个熔炼炉次,这是基本常识。选取足够数量的试样以充分代表各种情况。应该把正确的抽样程序列入产品的技术要求或技术条件中。对半成品而言,应在充

分切除废料之后切取试样。如果在完成全部检测后，还无法确认对同一熔炼炉的不同钢坯和钢坯不同部位的检测，则对相当重量的钢来说应进行大量试样的随机抽样。一个钢坯的夹杂物评定结果即使很精确，也不能代表一个熔炼炉次的结果。

7.9 被测锻钢制品的尺寸和形状对夹杂物的尺寸和形态影响很大。在铸造毛坯的轧制和锻造过程中，夹杂物随毛坯横截面的挤压而延伸和打碎。因此，在报告夹杂物评定结果时，必须说明用于取样的钢坯尺寸、形状及制造方法。在比较不同钢中夹杂物时，钢坯应尽可能轧制或锻造成同一尺寸和形状。试样应沿纵向或平行于轧制或锻造方向切取。

7.10 为了更容易地获得可比较的结果，可以很方便地从更大的钢坯中锻造试样。然后，用与轧制截面上抽样同样的方法在锻造截面上抽样。注意，应从锻造坯料上节取足够长的试样，否则会有切斜端试样混入的危险。这种形状改变的材料将产生一个错误的评定结果。锯掉锻料的端头，从中间取样有助于避免这种情况的发生。

7.11 这些方法中有几种方法都是对制备好的试样表面的规定区域进行检测，而且所有重要夹杂物都应记录，并在结果中表示出来。因此，对每一个试样的检测结果比金相照片或评级图能更准确地代表其所含夹杂物。最差视场法的缺点无法获得这样的夹杂物评估分布。

7.12 为了比较不同熔炼炉次和同一炉次不同部位钢的夹杂物，其评定结果应表示为一个熔炼炉次不同试样的夹杂物的平均值。评定夹杂物长度时，最简单方法就是把每一被检区内的夹杂物长度相加。然而，最好是不仅得到总长度，还要根据各自的长度加权计算夹杂物。也可以表示为最大夹杂物长度和夹杂物总数。

8 抽样

8.1 为了对一批材料中夹杂物种类进行正确的评定，应尽可能选择具有代表性的试样，至少应检测 6 个位置的试样。这里所指的一批材料，是指同时加工和具有相近加工参数的一批材料。同一批材料只能出自一个熔炼炉次。例如，同一熔炼炉次的一批材料，取样点宜选在浇注开始、中间和结束的可用钢坯上。对连铸或底注工艺，也应对每炉做出类似的抽样计划。

8.2 对某一炉次、钢坯或另一批材料，在其取样位置不明确的情况下，应进行更大量的随机抽样。

8.3 评定结果是随钢坯挤压量的变化而变化的。对材料验收或比较不同炉次的夹杂物而言，应注意在材料加工的适当阶段取样。

9 试样的几何形状

9.1 用显微法测定夹杂物时，建议取 160mm^2 的试样抛光表面。该抛光表面应平行于产品的纵轴。另外，扁钢的取样截面也应垂直于轧制平面；对圆形或管类产品，截面应在径向方向选取。

9.2 厚截面产品（截面厚度大于 9.5 mm 的产品，如锻件，钢坯，钢棒，平板，钢板和管材）

9.2.1 对宽大的产品，通常选取 1/4 宽度处的截面。

9.2.2 对圆形截面产品，图 3 显示了在一个直径为 38mm 的截面上切取试样的方法。从产品上取一厚度为 9.5 mm 的圆盘。从该圆盘上切下 1/4，如图 3 所示，其阴影部分为抛光面。这样试样沿产品长度从外到内为 9.5mm。

9.2.3 大截面产品，每个试样应取自半径中点处，见图 4 中阴影部分。试样抛光面在产品纵向上的长度为 9.5 mm，在垂直于径向面的方向长度为 19 mm，距产品中心和边缘等距离。这种等距离取样可减少抛光和检测的试样数量。供检测用的其他区域，如中心和表面，也应进行检测，并在结果中说明。能从 50~100 mm 的圆或方形钢坯或棒料上取样最好，也可以使用更大或更小的尺寸，但应在结果中说明。

9.3 薄截面产品（截面厚度不大于 9.5 mm，如钢带，钢板，棒料，线材和管材）——按下列规定切取纵截面试样。

9.3.1 横截面厚度为 0.95~9.5 mm，应从同一抽样坯上制取足够数量的试片制成一个约 160 mm² 的抛光试样表面。（如：厚 1.27 mm 的板，沿板的宽度方向均匀地选取 7 到 8 个纵向试片做成一个试样）。

9.3.2 横截面厚度小于 0.95 mm，从每个抽样位置取 10 个纵向试片制成一个适当的抛光试样表面。（根据材料厚度和试片长度的不同，试样的抛光面积可以小于 160mm²。由于镶钳 10 个以上的试片存在的实际困难，可考虑减小试样面积）。注意用比较法 A，C，D 和 E 时，试样横截面的厚度应不小于规定的最小值。因此，方法 A，D 和 E 用试样的最小厚度为 0.71 mm，方法 C 为 0.79 mm。更薄的截面应用其他评定方法。

10 试样的制备

10.1 试样应是抛光的、显微镜下平整的，以便清晰地显示夹杂物的尺寸和形态。为获得令人满意的评定结果，试样的抛光面不应有人为的凹坑、杂质（如抛光粉）和擦伤。试样抛光时，夹杂物上不能形成凹坑、变形或模糊不清。试样抛光后应进行检验，不应留有任何以前腐蚀（如果曾有过的话）过的痕迹。建议将 ASTM E3 和 ASTM E768 中的程序列于其后。

10.2 如果试样无法满足 10.1 中叙述的抛光条件，则试样抛光前应进行热处理，使之达到所能达到的最大硬度。要采取必要措施消除热处理造成的影响，如氧化皮，脱碳等。这部分内容供可热处理的碳钢、低合金和不锈钢参考。

11 准确度和偏差

11.1 不同试验室所做的 JK 评估研究表明，在对夹杂物的确认上常存在一个问题，主要是如何区分 A 类（硫化物）和 C 类（硅酸盐）可变形氧化物。这样，JK 评估的准确度受到严重影响。方法 A，C，D 的准确度受夹杂物含量的影响。随着夹杂物含量的增加，这种评估的准确度下降。

11.2 按评级图 I-r，严重级别等级评定到 0.5 的钢，用最差视场法评定通常在严重级别数 ±1 的区间内是准确的，对低含量夹杂物的钢来说，也可能严重级别数在 ±0.5 内才是准确的。总的来说，对 B 和 D 型夹杂物的评定准确度比 A 和 C 型的高。而且，不论夹杂物为何种类型，厚度小的总比厚度大的准确。

11.3 按评级图 I-r，严重级别数必须评定为整数的钢，其最高级别数只能达到 ±2，准确度通常较差。在考虑 A、C 型夹杂物与 B、D 型夹杂物，厚度小的与厚度大的夹杂物的评定准确度时，具有与上述相同的趋势。如果夹杂物被误判，则误差就更大了。用方法 D 测得的夹杂物视场数的准确度不如用最差视场法的。一个好的、准确的评估方法需要进行大量的尝试。

11.4 S 型夹杂物（可变形氧化物）的误判会严重影响方法 C 的准确性。除此之外，低夹杂物含量的钢的严重级别数相差不超过 ±1 个单位，高含量的钢不超过 ±2 个单位。评级图 II 所示的方法 C 仅用于检测氧化物，不能检测硫化物。

11.5 用评级图 I-r 评定的准确度通常符合图表严重级别数增量 (the chart severity increments), 但在某些情况下略为偏高。夹杂物含量极低的钢, 其严重级别数可能在最小值 (1/2) 以下, 此时用自动图像分析法 (如 ASTM E1122 和 E1245 所述) 更好。注意显微法 A 和 D 规定了夹杂物的最小可测尺寸; 这样, 视场内或试样中可能含有可辨认、但无法评定的夹杂物, 因为它们小于一个非零的最小值。

12 方法 A (最差视场法)

12.1 简介——这个试验要求在放大 100 倍的情况下观察 160 mm² 的试样抛光区。这一视场相当于一个边长为 0.71 mm、面积为 0.5 mm² 的正方形试样表面 (见图 5)。将每个 0.5 mm² 的视场与评级图 I-r 作比较, 对 A、B、C、D 类夹杂物, 按细系和粗系, 找出最高的严重级别数的视场。每一个被检试样都应该报告这些最差视场的严重级别数。

12.2 程序:

12.2.1 可在两种获取 0.5 mm² 正方形视场的方法中任选一种。一种是将放大 100 倍的夹杂物显微图像投影到可视屏幕上, 该可视屏幕上有一边长为 71.0 mm 正方形标识区。另一方法是在显微镜上划出该正方形区域, 在此区域内直接观察视场 (见图 5)。

12.2.2 首先, 用不可擦除的标识器或硬质合金划线器在试样表面划出检测区。把试样放在显微镜载物台上, 开始对检测区内每个视场的检测。把视场与评级图 I-r 加以比较, 对每类夹杂物 (A、B、C、D 型), 按细系和粗系记录与最差视场相符合的评级图 I-r 的级别数为 0~3 的整数。(级别数大于 3.0 时, 见表 1)。这里重要的一点是如果某区域的级别数居于两个级别数之间, 此时其值应四舍五入到小的级别数。例如, 使用评级图 I-r 时, 某个区域几乎不含夹杂物, 或者夹杂物长度小于级别数 1, 则记为 0。

表 1 方法 A、D 和 E 的最小级别数^{A, B}

级别数	放大 100 倍的视场中夹杂物的总长度, 最小值 mm			视场中夹杂物数量, 最小值
	A 型	B 型	C 型	D 型 ^C
1/2	3.7	1.7	1.8	1
1	12.7	7.7	7.6	4
1½	26.1	18.4	17.6	9
2	43.6	34.3	32.0	16
2½	64.9	55.5	51.0	25
3	89.8	82.2	74.6	36
3½	118.1	114.7	102.9	49
4	149.8	153.0	135.9	64
4½	189.8	197.3	173.7	81
5	223.0	247.6	216.3	100

^A表中的长度值适用于自动评定法, 尤其是在最小级别数为 1/2 时, 手工检测准确度很低。D 型夹杂物数量也作了修改, 数量大的修改也大, 因为这些数已经超出了材料验收标准。

^BVanderVoort, G. F. 和 Wilson, R. K., “非金属夹杂物和 ASTM 委员会 E-4, ” 标准化新闻, 第 19 卷, 1991 年 5 月, 第 28~37 页。

^CD 型夹杂物的最大纵横比为 5:1。

12.2.3 移动载物台, 观察相邻区域, 并重复比较程序。继续此过程, 直到试样抛光区均被扫描。典型的扫描路线见图 6。

12.2.4 确定夹杂物级别数用的最小长度 (对 D 型夹杂物为最少个数) 打印在评级图 I-r 和列于表 1 中。划分细系和粗系的夹杂物宽度参数列于表 2。夹杂物沿长度方向由细变粗时, 夹杂物应归为最能代表其粗细的一类。就是说, 夹杂物有一大半长度的宽度属于粗系的话, 则该夹杂物为粗系。对超出表 1、表 2 范围的夹杂物评定结果报告的有关说明见 12.3.2。

表 2 夹杂物宽度和直径参数 (方法 A 和 D) ^A

夹杂物类型	细系		粗系	
	宽度, 最小值 mm	宽度, 最大值 mm	宽度, 最小值 mm	宽度, 最大值 mm
A	2	4	>4	12
B	2	9	>9	15
C	2	5	>5	12
D	2	8	>8	13

^A夹杂物最大尺寸超出粗系最大值时, 应在评定结果报告中注明超大, 并标出实际尺寸。

12.2.5 尽管方法 A 原计划是用整数来评定夹杂物的, 但是许多标准 (ASTM A295, A485, A534, A535, A756 和 A866) 均允许用它评定 1/2 级别的夹杂物。这种操作是允许的 (见 15.2.2)。

12.2.6 列于评级图 I-r 顶端的 A、B、C、D 类夹杂物的主要化学型并非指需要了解夹杂物的化学成分。在本方法中, 夹杂物为具有类似几何形态的一类, 不需做化学分析。A 型 (硫化物) 和 C 型 (硅酸盐) 夹杂物在尺寸和形态上很相像。因而它们的区别应辅以金相照相技术, 如用暗场法 (或横向偏光镜) 观察有疑义的夹杂物, 正确抛光的硫化物是暗的, 而硅酸盐是明亮的。另一项技术是观察夹杂物的色度, 硫化物通常是浅灰色的, 硅酸盐则很暗或有时外表为透明的。这种方法可用来评定按尺寸和形态划分的非传统型夹杂物, 就是说, 硫化物受形状控制或被包裹的氧化物所支配。此外, 也可以评定硼化物、碳化物、氮化物或类似夹杂物。但除了评级图 I-r 中传统的非金属夹杂物之外, 其他夹杂物的评定应在结果中清楚地反映出来。

12.2.7 断续的条状 B、C 型夹杂物当其在试样表面至少相距 40mm 或平行距离在 15mm 以上时, 将其视为两个不同的夹杂物。如果一个视场中出现两个或两个以上的同类夹杂物 (A、B、C 类), 则其长度的总和决定了该类夹杂物的级别数。如果不需测量, 通常将其直接与评级图 I-r 比较, 即可得到夹杂物级别数。

12.3 结果表示

12.3.1 所有钢坯的全部试样每类夹杂物最差视场的平均值应根据评级图 I-r 或表 1 的级别数来计算。表 3 为求 6 个试样平均值的示例。

表 3 最差视场夹杂物级别 (方法 A) ^A

试	A 型	B 型	C 型	D 型
---	-----	-----	-----	-----

样	细系	粗系	细系	粗系	细系	粗系	细系	粗系
1	2	1	2	1	1	0	2	1
2	3	1	2	1	0	1	2	2
3	2	1	2	1	0	0	2	2
4	2	1	2	1	1	0	2	1
5	2	1	2	1	0	1	2	1
6	3	1	2	1	0	0	2	1
平均	2.3	1.0	2.0	1.0	0.3	0.3	2.0	1.3

^A见 12.3.1。

12.3.2 评级图 I-r 列出了 A 类夹杂物的总长度, B、C 类条状夹杂物的总长度, D 型夹杂物的数量以及各类夹杂物的极限宽度或直径。如果有比评级图 I-r 所示更长的夹杂物, 其长度应单独记录。如果宽度和直径比评级图 I-r 和表 2 所示的极限值大, 也应单独记录。注意 A、B、C 类夹杂物或条状夹杂物的尺寸超大也会影响夹杂物的级别数。因此, 如果 A、B、C 类夹杂物在长度或宽度上过大, 则其在视场内的部分应按相应的粗或细系评定。同样, 如果视场内出现超大 D 型夹杂物, 它也应按 D 型粗系夹杂物评定级别数。作为参考, 评级图 I-r 底部列出了对大的球形氧化物的注解。D 型球状氧化物纵横比不超过 5:1。

12.3.3 如果需要, 可以确定夹杂物的主要化学型, 并记为硫化物、硅酸盐和氧化物。假如用评级图评定碳化物或氮化物, 也可确定并报告有关化学成分的信息。

13 方法 B (长度法)

13.1 简介——本方法要求在放大 100 倍的情况下, 观察 160mm² 的试样抛光区域, 任何长度不小于 0.127 mm 的夹杂物均可检测和计算。

13.2 程序:

13.2.1 本方法应用平行线的方式, 即在试样表面放大 100 倍下线与线平行间距为 0.127 mm。将这个距离作为一个单位, 在可视屏幕上划出 (或粘贴) 一组平行线, 平行线间的物理距离为 12.7 mm, 因为试样被放大了 100 倍。一种评定方法是在显微镜上划出上述图形, 使之与显微镜目镜下观察到的图像直接重叠。图 7 推荐了方法 B 用的检测格栅。注意平行线做了标记, 以帮助检索视场。

13.2.2 首先, 用不可擦除的标识器或硬质合金划线器在试样表面划出检测区。把试样置于显微镜载物台上, 开始检测被标识区的每个视场。测量并记录每个视场内的所有夹杂物, 其长度为 1 个单位或更长。夹杂物间距大于 1 个单位的, 应作为两个夹杂物, 而不是一个条状夹杂物。夹杂物的长度应四舍五入到最低一级的整数单位, 而且只能记录整数单位。例如, 某夹杂物测量值为 2½ 个单位, 则记为“2”。若夹杂物有一部分落在视场之外, 而在视场内的部分长度为 2 个单位, 则轻微移动视场, 以便测出整个长度。

13.2.3 移动显微镜载物台, 观察相邻视场, 重复检测程序。注意不要重复测量已测过的视场。继续此过程, 直到抛光试样表面均被扫描。典型的扫描线路如图 6 所示。

13.3 结果表示:

13.3.1 每个试样的检测结果分为如下两部分 :

13.3.1.1 首先，记录最长夹杂物的长度，再辅以夹杂物宽度，用 T 代表细系，H 代表粗系。细系夹杂物定义为有一大半长度的夹杂物宽度不大于 10mm。同样，粗系夹杂物应该是一大半长度的夹杂物宽度不小于 30mm。夹杂物宽度在 10~30mm 时，不能表示为 T 或 H。符号 d（断续的），vd（碎的）和 g（聚集的）可用来描述断续或聚集的程度。见图 8。

13.3.1.2 除最长的夹杂物外，一个单位及其以上长度的所有夹杂物的平均长度应作为一个数值，并辅以符号说明该数值。

13.3.2 如果需要，可用一组放大 100 倍的金相照片标注试样背景视场，这些金相照片表明了其他非金属粒子的存在。如果采用这组照片，应按照夹杂物含量增加的顺序，对其分别标以 A、B、……等符号。这些特殊的金相照片是由感兴趣的团体共同通过的。

13.3.3 以下为用这种方法对某试样评定结果的表示形式： 6^d-2^3-A 。它表示夹杂物的最大长度为 6 个单位，有 3 个夹杂物的平均长度为 2 个单位，夹杂物背景视场符合金相照片中的 A 图。

13.3.4 将所有钢坯的全部试样检测结果制成表。需要的话，夹杂物的主要类型（硫化物、硅酸盐或氧化物）也应记录。

14 方法 C（氧化物和硅酸盐法）

14.1 简介——本方法要求在放大 100 倍的情况下，观察 160 mm^2 的试样抛光区域。检测试样的每个视场是否有不可变形的条状氧化铝及可变形的条状硅酸盐，并与评级图 II 比较。报告每个检测试样中每类夹杂物（“O”为氧化铝，“S”为硅酸盐）的最大长度对应于评级图 II 中的图片编号。注意本方法不适用于硫化物。

14.2 程序：

14.2.1 本方法使用了一个矩形标记，该矩形为 $0.79\text{ mm}'1.05\text{ mm}$ ，在试样表面形成一个 0.83mm^2 的视场（见图 9）。

14.2.2 获得上述矩形视场可在两种方法中任选一种。一是将放大 100 倍的夹杂物显微图像投影到可视屏幕上，该屏幕上有一个 $79.0\text{ mm}'105.0\text{ mm}$ 的矩形标识区。另一种是在显微镜上划出上述矩形区域，直接在该区域内观察视场。

14.2.3 首先，用不可擦除的标识器或碳化物划线器在试样表面划出测试区。把试样放在显微镜载物台上，开始检测被标识区的每个视场。矩形长边应平行于轧制方向。将视场与评级图 II 进行比较，记录与视场中条状氧化物或（和）硅酸盐最相符合的评级图 II 中的图号。有一点很重要，即如果夹杂物尺寸落在评级图 II 中两个被编号图之间时，应四舍五入到低一级的图号。而且，当试样表面的条状夹杂物相距 40mm 以上或平行间距在 15mm 以上时，条状夹杂物被视作 2 个不同的夹杂物。

14.2.4 移动载物台，观察相邻视场，重复与评级图 II 的比较程序。继续此过程，直到试样表面抛光区被扫描。典型的扫描线路见图 6。允许调整载物台位置，在矩形标识区内观察完整的条状夹杂物，这种操作也是必要的。操作者的目的是在试样中找出最长的氧化物和硅酸盐条。因此，实际操作时，操作者扫描试样，直到看到可能是最长的条时停下。

14.3 结果表示

14.3.1 一般用每类夹杂物的最大长度来评定试样，这种夹杂物通常是一组独立的条状粒子。评级图 II 中硅酸盐金相照片用于检测可变形氧化物，氧化物金相照片用于所有不可变形氧化物或硬化夹杂物检测。例如，试样被标以 0-5（氧

化物)和S-4(硅酸盐),表示观察到的不可变形氧化物的最大长度与编号为5的氧化物金相照片一致,可变形氧化物的最大长度与编号为4硅酸盐金相照片一致。

14.3.2 变换表示形式,如加注下角标数字,可用来说明被注释长度的夹杂物数量,或当某特殊夹杂物的长度超过图片中的最大值时,它的实际长度。

15 方法D(低夹杂物含量法)

15.1 简介——本方法计划用于评定低夹杂物含量的钢,此时钢中夹杂物的级别数以1/2递增。该方法要求在放大100倍的情况下,观察160 mm²的试样抛光区域。每个抛光面上的0.50 mm²正方形区域可以检测A、B、C、D型夹杂物,并与评级图I-r相比较。记录并计算每个视场的比较结果。

15.2 程序:

15.2.1 视场定义为一边长为0.71 mm的正方形,见图5。这样试样上有一个0.50 mm²的区域。获得这种正方形区域的方法有两种,可选其一。一种是把放大100倍的显微图像投影到可视屏幕,该屏幕上有一边长为71.0 mm的正方形标识区。另一种方法是在显微镜上划出上述正方形区域,在该区域内直接观察视场(见图5)。

15.2.2 首先,用不可擦除的标识器或碳化物划线器在试样表面划出测试区。把试样置于载物台,开始检测试样的每个视场。将此视场与评级图I-r比较,对于每类夹杂物,按细系和粗系记录与之最相符合的级别数。重要的一点是如果夹杂物视场落在两个级别之间,则四舍五入到低一级。因此,如果一个视场中所含夹杂物数量少于或长度低于级别数1/2,则记为0。

15.2.3 移动载物台,观察相邻视场,重复与评级图I-r的比较程序。观察每个相邻视场,只有当夹杂物或其一部分落入正方形标记中时,才可进行分析。不允许为了避免夹杂物与正方形边相交而简单地将夹杂物移入正方形视场。继续此过程,直到完成试样抛光表面的扫描。典型的扫描线路如图6所示。

15.2.4 列于评级图I-r顶端的各类夹杂物的化学型仅为方便而已,而不是为了保留夹杂物成分。在这个方法里,夹杂物按几何形态而不是化学成分进行划分。A型(硫化物)和C型(硅酸盐)夹杂物在尺寸和形态上极为相似。因此其鉴别应辅以金相照相技术,如用暗场法(或移向偏光镜)观察有疑义的夹杂物,正确抛光的硫化物为暗的,而硅酸盐为明亮的。第二种方法是看夹杂物的色度:硫化物通常为浅灰的,硅酸盐很暗或有时外表是透明的。这个方法可以用来评定按尺寸和形态划分的非传统的夹杂物类型,就是说硫化物受形状控制处理或被包裹的氧化物所支配。另外,硼化物、碳化物、氮化物及其类似夹杂物也可以用此方法评定。但除了评级图I-r中传统的非金属夹杂物以外,其他夹杂物的评定应在结果中清晰地反映出来。

15.2.5 对比方法A,本方法为每个视场评定法。通过逐步移动试样而形成任意视场的方法是不可取的。对于每类夹杂物,按粗系和细系记录与之最为符合的级别数。报告夹杂物级别数大于或等于0.5的每个视场。级别数大于3.0的值见表1。

15.2.6 宽度比评级图I-r或表2中粗系数值大的A、B、C型夹杂物需加注意并单独记录。夹杂物的长度也会影响对视场级别数的评定。同样,注意到评级图I-r所示的D型粗系夹杂物的尺寸保持在0.013 mm。单独记录比评级图I-r中粗系尺寸大的球形氧化物的实际尺寸。在确定视场中D型夹杂物级别数时,也

	粗系	0	0	0	0	0	0	0	0
2.0	细系	0	0	0	0	0	0	0	
	粗系	0	0	0	0	0	0		0
2.5	细系	0	0	0	0	0	0	0	
	粗系	0	0	0	0	0	1		0.2
D 型									
0.5	细系	35	33	28	32	47	29	34.0	
	粗系	9	4	5	6	9	9		7.0
1.0	细系	13	10	20	9	12	41	17.5	
	粗系	0	2	2	1	2	4		1.8
1.5	细系	0	0	4	0	0	6	1.7	
	粗系	0	0	0	0	0	0		0
2.0	细系	0	0	0	0	0	0	0	
	粗系	0	0	0	0	0	0		0
2.5	细系	0	0	0	0	0	0	0	
	粗系	0	0	0	0	0	0		0
D 型夹杂物最大尺寸		0.0305 mm		0.0254 mm		0.0254 mm			

15.3.4 如果需要，可以检测夹杂物主要化学型（如扫描电镜上应用能量分散 X 射线光谱法）。

16 方法 E（SAM 评定法）

16.1 简介——本方法用于评定钢中夹杂物含量，它能反映出更大的 B 型和 D 型夹杂物的级别数和出现频率。本方法需要在放大 100 倍的情况下观察 160 mm² 试样抛光表面。

16.2 程序：

16.2.1 视场定义为一个边长为 0.71 mm 的正方形，见图 5。这在试样上对应一个 0.50 mm² 的视场。以下两种方法中可任选一种。一种是将放大 100

倍的显微图像投影到可视屏幕，该可视屏幕上有一边长为 71.0 mm 的正方形标识区。另一种是在显微镜上划出上述正方形区域，在该区域内直接观察视场。

16.2.2 首先，用不可擦除的标识器或碳化物划线器在试样表面划出被试区。放试样到载物台上，开始检测抛光面上的每个视场。把视场与评级图 I-r 进行比较。下列判据只能评估 B 和 D 型夹杂物。

16.2.3 B 型夹杂物的评定可以通过将试样的每个视场与评级图 I-r 或表 1 相比较得到。记录所有级别数不小于 1.5 的 B 型细系夹杂物视场数和级别数不小于 1.0 的 B 型粗系夹杂物视场数。宽度和直径参数参见表 2。夹杂物宽度介于评级图 I-r 中两个图中间的或表 1 值中间时，归入低一级别数。夹杂物沿长度方向由细变粗时，夹杂物应归入最能代表其粗细的一类。

16.2.4 当断续的 B 型夹杂物在试样表面相距 40 μm 以上或平行距离在 15 μm 以上时，将其视为 2 个不同的夹杂物。如果 2 个或 2 个以上的 B 型夹杂物出现在同一个视场中，其长度总和即为夹杂物的评定数。

16.2.5 当 A 型硫化物与 B 或 D 型氧化物形成了复合夹杂物时，如果该复合夹杂物中氧化物为主要的化学型（面积在 50% 以上），则该复合夹杂物应评定为 B 或 D 型夹杂物。

16.2.6 评定 D 型夹杂物通过记录所有级别数小于 0.5 的粗系夹杂物的视场来进行。宽度和直径参数见表 2。0.5 级别数的视场记为 1 个单位；1.0 级别数的视场记为 2 个单位；1.5 级别数的视场记为 3 个单位；等等。D 型夹杂物最小数打印在图评级 I-r 和列于表 1 中。

16.2.7 移动载物台，观察相邻视场，重复与评级图 I-r 的比较程序。这个方法要求调整载物台的位置，以便获得最大级别数。就是说，通过载物台来调节视场，使夹杂物处于正方形标记中，以获得 B 和 D 型夹杂物的最大级别数。继续此过程，注意不要检测已测过的夹杂物，直到试样抛光面全部被检测。典型的扫描线路见图 6。

16.2.8 如果有比评级图 I-r 中视场更长的夹杂物，其值应单独记录。如果宽度和直径比评级图 I-r 和表 2 中极限值大，也应单独记录，注意超大的 B 或 D 型夹杂物也影响视场级别数的确定。因此，1 个 B 型夹杂物的长度或宽度超大，则在视场内的这部分应并入到低一级的细或粗系级别数。同样，如果视场出现超大尺寸的 D 型夹杂物，也应划入 D 型粗系进行评定。

16.3 结果表示：

16.3.1 结果由 2 个反映 B 型和 D 型粗系夹杂物的数量来表示。

16.3.2 用某一级别数的 B 型夹杂物视场数乘以该级别数，求和，（见表 5），再除以全部试样总检测面积以便统一，单位为 in.²。记录最小的整数作为评定结果。

表 5 SAM 等级（方法 E）

B 型夹杂物等级 ^{A, B}				D 型夹杂物等级 ^{A, C}		
视场数	B 型细系	视场数	B 型粗系	视场数	D 型粗系	单位
无记	0.5		0.5	5	0.5	(1)
无记	1.0	2	1.0	2	1.0	(2)
3	1.5	1	1.5	1	1.5	(3)

1	2.0	0	2.0	0	2.0	(4)
0	2.5	0	2.5	0	2.5	(5)

^A总检测面积=1.5 in.²

^BSAM 评定= (3'1.5) + (1'2) + (2'1) + (1'1.5) = 10, 1.5 = 7

^CSAM 评定= (5'1) + (2'2) + (1'3) = 12, 1.5 = 8

16.3.3 D 型夹杂物的级别数按单位数计，求和（见表 5），再除以所有试样的总检测面积以便统一，单位为 in.²。最小的整数记为评定值。

16.3.4 所有超大 B 型和 D 型夹杂物均需记录其实际长度或（和）宽度。

17 试验报告

17.1 有关试样的原始和检测结果的相关信息应按照每种试验方法中“结果表示”的要求加以说明。

17.2 报告还包括下列内容：

17.2.1 试验日期

17.2.2 操作者姓名

17.2.3 生产厂所在地

17.2.4 加热次数

17.2.5 试样验证码及其他能够表明供货方信息的特殊数据（如钢坯号）。

18 关键词

18.1 氧化铝；断口试验；夹杂物等级；JK 夹杂物等级；宏观试验；磁粉法；氧化物；ASM 等级；硅酸盐；台阶法；条状物；硫化物