

钢中非金属夹杂物标准图谱及评定方法的发展动态

栾 燕

(冶金部信息标准研究院 北京 100730)

摘 要 阐述了评定钢中非金属夹杂物是研究金属结构与内在质量的一种重要方法,尤其是非金属夹杂物的显微评定方法。介绍了最新修订的 ISO4967 - 1998 及美国 ASTM E45 - 97 标准内容,并结合该标准对各项指标进行了对比分析。

关键词 钢 非金属夹杂物 标准 动态

评定钢中非金属夹杂物是研究金属结构与内在质量的一种重要方法,尤其是非金属夹杂物的显微评定方法,更是各国冶金学者长期研究课题。随着显微设备和电子金相技术的发展,用自动图像仪及软件评定钢中非金属夹杂物的方法已经愈来愈多地用于科学研究和生产检验。美国金属材料协会(ASTM) 已经制定了 2 个标准:ASTM E1122 和 ASTM E1245 。

但是,应用光学显微镜测定钢中非金属夹杂物的标准图谱评级方法,无论是过去还是现在都在被最广泛采用。最新修订发布的国际标准 ISO4967 - 1998《用标准图谱评定钢中非金属夹杂物的显微方法》和美国 ASTM E45 - 97《钢中非金属夹杂物含量测定方法》对标准图谱及评定方法都做了较大修改,较好地解决了用光学显微镜评定钢中非金属夹杂物含量存在的一系列问题,使标准图谱及评定方法日趋完善。

美国 ASTM E45 标准的历史最早、内容最多、使用最广,在国际上也影响最大。该标准于 1942 年首次发布时,就将 J K(Jernkontoret) 图作为它的图 I,后经 1947 年、1963 年、1976 年、1981 年、1985 年、1987 年、1989 年、1995 年和 1997 年九次修订,使标准日趋完善。ASTM E45 - 97 内容较全,包括宏观检验法和显微检验法。宏观检验法有酸浸低倍检验、断口检验、塔形检验和磁粉检;显微检验法根据其具体检验方法不同又分为 A 法、B 法、C 法、D 法和 E 法。该标准附有图 I - r 和图 II 两套评级图,图 I - r 是原 J K 图和修改的 J K 图合并后制作的;图 II 是采用美国汽车工程师学会 SAE J 422a 的标准图谱,主要用于渗碳轴承钢。

目前,国际标准化(ISO) 和许多国家都参照采用了 ASTM E45 标准。我国的 GB10561 - 89 钢中非金属夹杂物显微评定方法是等效采用 ISO4967 - 79 标准制定的。有关国内外标准的对比分析过去已做过多次介绍,本文着重对最新的 ASTM E45 - 97 和 ISO4967 - 1998 标准的修订情况做些介绍。

国际标准 ISO4967 - 1998 也是参照美国 ASTM E45 - 97 标准修订的。这两个标准在标准适用范围、标准图谱及评定方法等方面作了较大地修改,具体说明如下。

1 适用范围

ISO4967 - 1998 和 ASTM E45 - 97 标准中均明确规定,该标准也是可用于评定碳化物、氮化物、碳氮化物、硼化物和金属间化合物等。ISO4967 标准还明确规定了评定方法是这类夹杂物的形状与标准图谱进行比较,并注明其化学特性,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表示,如:Dsulf;DDup 表示球状复相夹杂物,如硫化钙外包裹着氧化铝。

2 夹杂物的分类

ASTM E45 - 97 标准仍将夹杂物按形态和分布分为四类,即 A(硫化物类)、B 类(氧化铝类)、C(硅酸盐类)和 D(球状氧化物类);而 ISO4967 - 1998 标准将夹杂物分为五类,即除上述四种外,还增加了 DS(单颗粒球类)。ISO4967 - 1998 标准还对五类夹杂物的类型和形态作了如下具体描述:

A 类(硫化物类):具有高的延展性,单个灰色颗粒有较大的压缩比(长度/宽度),一般尾端呈钝角;

B 类(氧化铝类):大多数没有变形,有角的,压缩比小(一般小于 3),黑色或黑蓝的颗粒,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,单个呈黑色或深灰色颗粒,压缩比较大(一般大于或等于 3),一般尾端呈尖角;

D 类(球状氧化物类):不变形、角状或圆形,压缩比小(一般小于 3),黑色或蓝黑色,任意分布的颗粒;

DS 类(单颗粒球类):圆形或近似圆形,直径大于或等于 $13\mu\text{m}$ 的单颗粒夹杂物。

此外,两个标准还都增加了一个名为“String”的术语。在 ASTM E45 - 97 标准中“String”的定义是:一个单独的夹杂物沿变形方向被大大地拉伸,或者三个或三个以上的 B 类或 C 类夹杂物在一个平面内呈直线排列,并与热加工方向平行,彼此之间的偏离不大于 $15\mu\text{m}$,且两个相邻夹杂物之间的间距小于 $40\mu\text{m}$ 。

3 标准评级图谱

ASTM E45 - 97 和 ISO4967 - 1998 标准均对标准评级图谱作了进一步改进。

ASTM E45 - 97 标准共有 2 套评级图,其中评级 I - r 是在 JK(原评级图 I)和修改的 JK 图(原评级图 III)的基础上修改的。评级图分为 A、B、C、D 四类,每类分粗系和细系两个系列,从 015~3 各分为 6 级(015、110、115、210、215、310),共 48 张图片。评级图 II 是美国汽车工程师学会(SAE)手册中 J 422 “钢中夹杂物推荐测定方法”中的 SAE 评级图,包括氧化物和硅酸盐两套图片,每套各分 8 级(从 1~8 级),共 16 张图片。

ISO4967 - 1998 标准评级图是在 ASTM E45 - 1997 标准评级图 I - r 基础上略作修改,并增加了 1 套单颗粒球状氧化物 DS 评级图,共有 54 张图片,评级图分为 A、B、C、D、DS 五类,A、B、C、D 类评级图同 ASTM E45,DS 类评级图分 6 个级别(015、1、115、2、215、3 级)。

ASTM E45 - 97 和 ISO4967 - 1998 标准评级图的级别均随夹杂物的长度(A、B、D 类夹杂物)、个数

(D 类夹杂物) 及直径(DS 类夹杂物) 的增加而增加。同类同系列夹杂物的厚度、直径是相同的,与级别无关; 同一级别同类夹杂物,其长度和个数相同,与粗系、细系无关。表 1 和表 2 分别给出了两个标准图谱中对夹杂物长度(或个数)、厚度及直径标准尺寸。

表 1 ISO4967 - 1998 和 ASTM E45 - 97 标准中夹杂物的最小长度(或个数和直径)

标 准	级 别	夹 杂 物 类 别				
		A(μm)	B(μm)	C(μm)	D(个数)	DS(直径, μm)
ISO4967	0.5	37	17	18	1	13
	1.0	127	77	76	4	19
	1.5	261	184	176	9	27
	2.0	436	342	320	16	38
	2.5	649	555	510	25	53
	3.0	898	822	746	36	76
ASTM E45		(<1181)	(<1147)	(<1029)	(<49)	(<107)
	0.5	37	17	18	1	仅标注出 3 个
	1.0	127	77	76	4	大于 D 类夹杂
	1.5	261	184	176	9	物的 尺 寸
	2.0	436	342	320	16	(μm) :
	2.5	649	555	510	25	25.4
	3.0	898	822	746	36	38.0
	3.5	1181	1147	1029	49	50.8
	4.0	1498	1530	1359	64	
	4.5	1898	1973	1737	81	
	5.0	2230	2476	2163	100	

以下几点需要特别说明:

①表 1 中夹杂物的最长长度, ISO4967 标准只给到 3 级,这是因为 ISO4967 标准的附录 D(标准件) 中给出了夹杂物的长度与级别的关系公式及曲线图,可由夹杂物的测量值计算出夹杂物的级别数,例如:A 类硫化物,长度(L) 用 μ m 表示:

$$\lg(i) = (0.5605 \lg(L)) - 1.179$$

也可由夹杂物的级别计算出夹杂物的长度,例如:A 类硫化物,长度(L) 用 μ m 表示:

$$\lg(L) = (1.784 \lg(i)) + 2.104$$

因此,最小长度大于 3 级的夹杂物, ISO4967 标准是由附录 D 的公式或曲线得出其级别数的。这种方法最大的优点是提高了再现性和重复性。

②ASTM E45 标准此次修订,对夹杂物的最小长度值作了修改,015 级夹杂物的长度变化最大;D 类夹杂物的个数也作了修改,高级别(个数多) 修改的最大。详细情况见表 3 。据说,此次修订是在产品标准规定的合格级别的基础上进行的,并尽量与自动评级法相一致。

③由表 2 可知, ISO4967 - 1998 标准中 D 类夹杂物(细系) 最小直径比 ASTM E45 - 97 标准中的规定值大 1 μ m。

表 2 ISO4967 - 1998 和 ASTM E45 - 97 标准中夹杂物的宽度和直径

标 准	夹 杂 物 级 别	细 系		粗 系	
		最小宽度	最大宽度	最小宽度	最大宽度
ISO4967	A	2	4	4	12
	B	2	9	9	15
	C	2	5	5	12
	D	3	8	8	13
ASTM E45	A	2	4	4	12
	B	2	9	9	15
	C	2	5	5	12
	D	2	8	8	13

表 3 ASTM E45 - 97 和 ASTM E45 - 81 标准图谱中一个视场内夹杂物的长度和个数

级 别	夹 杂 物 的 长 度 (μm)						夹 杂 物 的 数 量 (个)	
	A		B		C		D	
	ASTM E45 - 97	ASTM E45 - 81	ASTM E45 - 97	ASTM E45 - 81	ASTM E45 - 97	ASTM E45 - 81	ASTM E45 - 97	ASTM E45 - 81
0.5	37	38	17	38	18	38	1	1
1	127	127	77	76	76	76	4	3
1.5	261	254	184	178	176	178	9	9
2	436	432	342	305	320	305	16	14
2.5	649	635	555	508	510	508	25	20
3	898	889	822	813	746	762	36	26
3.5	1181	-	1147	-	1029	-	49	-
4	1498	1524	1530	1524	1359	1270	64	44
4.5	1898	-	1973	-	1737	-	81	-
5	2230	2286	2476	2540	2163	2159	100	64

4 夹杂物的检验

新国际标准 ISO4967 - 1998 标准规定的检验方法仍然是 A 法和 B 法,两种方法均为比较评级法,所不同的是 A 法为最大评级法,B 法为逐个视场评级法。

ASTM E45 - 97 标准规定了 5 种检验方法(A 法、B 法、C 法、D 法和 E 法),除 B 法为定量测定法外,其余 4 种均为比较评级法,而且除 C 法采用 SAE 图(评级图 II) 外,A 法、D 法和 E 法均采用 JK 图(评级图 I - r) 。关于 A 法、C 法、C 法和 D 法,以前已有很多文章介绍过,在此着重对“E 法”的有关规定做些介绍。

ASTM E45 - 97 标准中的“E 法”又称“SAE 评级法”,最早是在 ASTM A295 - 84 高碳耐磨轴承钢标准中做为补充要求条款引用的。1987 年修订 ASTM E45 标准时,正式采用了 SAM 评级法,作为“E 法”列入了 E45 标准,后来在 ASTM A534 - 87 耐磨用渗碳轴承钢标准中也引用了该方法。“E 法”的特点,一是忽略 A 类和 C 类夹杂物,对这两类夹杂物不做检查。因为许多研究结果表明,硫化物对轴承钢的滚动接触疲劳性能无明显影响;对于 C 类(硅酸盐) 夹杂物,因为采用新的冶炼工艺如真空脱气、炉外精炼、用铝脱氧而不用或少用 Ca - Si 脱氧等,使钢中硅酸盐含量大大降低,几乎很少出现。基于上述情况,采用“E 法”对产品质量不会有影响。二是对 B 类和 D 类的细小夹杂物予以忽略。具体来说,对于 115 级以下的 B 类细系、110 级以下的 B 类粗系和 015 级以下 D 类粗系夹杂物不予记录;仅对 115 级以上的 B 类细系,110 级以上 B 类粗系和 015 级以上 D 类粗系夹杂物进行观察、记录和评级。这就大大简化了检验的工作量,具有实践意义。

值得注意的是,最新的 ASTM A295 - 94 、ASTMA534 - 94 和 ASTM A485 - 94 标准中仍将“E 法”作为补充条件,都未正式列入标准正文,也没有规定验收的合格级别。因此,该方法还有待于在实践中积累数据,尤其对于冶炼工艺不定型、质量不稳定时,采用 E 法应当慎重。

5 评级原则

ISO4967 - 1998 和 ASTM E45 - 97 标准的评级原则大体相同,具体对比见表 4 。

表 4 ISO4967 - 1998 和 ASTM E45 - 97 标准评级原则对比表

ISO4967 - 1998	ASTM E 45 - 97
(1) 将试样上的最严重视场与标准评级图比较,分别对每类夹杂物评级,并分粗大和细小两系;	(1) 将试样上的最严重视场与标准评级图比较,分别对每类夹杂物评级,并分粗大和细小两系;
(2) 评级图规定的是夹杂物的最小长度和直径,当视场中出现相邻两级别间的夹杂物时,应评较低的那个级别;	(2) 评级图规定的是夹杂物的最小长度和直径,当视场中出现相邻两级别间的夹杂物时,应评较低的那个级别;
(3) 视场中的夹杂物小于 0.5 级时,则评“0”级;	(3) 视场中的夹杂物小于 0.5 级时,则评“0”级;
(4) 对长度、宽度、直径超过评级图规定值的夹杂物或串状夹杂,应单独记录,且位于视场内的夹杂物部分应按最接近的细系或粗系测量并计入评级结果;	(4) 对长度、宽度、直径超过评级图规定值的夹杂物或串状夹杂,应单独记录,且位于视场内的夹杂物部分应按最接近的细系或粗系测量并计入评级结果;
(5) 若 A 类和 C 类夹杂物或 B 类串状夹杂物的宽度不同,则应将最大夹杂物的宽度视为该类夹杂物的宽度;	(5) 若 A 类和 C 类夹杂物或 B 类串状夹杂物的宽度不同,则应将最大夹杂物的宽度视为该类夹杂物的宽度;
(6) 在同一视场中,对于 A 类、B 类和 C 类夹杂物,如果两条夹杂物之间的距离小于或等于 $40\mu\text{m}$,且沿轧制方向的偏离小于或等于 $10\mu\text{m}$ 时,可视为一条夹杂物,按其总长度评级,通常不必测量,直接与评级图对比评级。	(6) 在同一视场中,对于 B 类或 C 类在断续状夹杂物,如果两条夹杂物之间的距离小于或等于 $40\mu\text{m}$,且沿轧制方向的偏离小于或等于 $15\mu\text{m}$ 时,可视为一条夹杂物。当两个以上的同类夹杂物(A、B 或 C)出现在同一视场时,应按其总长度来评级,通常不必测量,直接与评级图对比评级。

ISO4967 和 ASTM E45 标准此次修订,最大的特点是明确了特殊夹杂物(如:变形的硫化物、控制处理或压缩的氧化物)也可按与其形态最接近的 A、B、C、D(或 DS) 类夹杂物评定。同样,硼化物、碳化物、氮化物或其它形状相似的夹杂物也可以用本方法评定,但要求在结果表示时予以区别。

另外,ASTM E45 标准中还介绍了用“比较法”评定夹杂物的“精确度与误差”,主要意思是:

①A 法、C 法和 D 法的精确度受钢中总夹杂物含量的影响。钢中夹杂物含量愈高,评级结果的精确度愈低,最严重级别的精确度约为 ± 2 ;

②一般来说,对 B 类 D 类夹杂物评级的精确度比 A 类和 C 类夹杂物评级的精确度高,同样,不论何种类型的夹杂物,细系评级的精确度通常高于粗系评级的精确度;

③能否正确辨别 A 类和 C 类夹杂物,对夹杂物评级的精确度影响很大;

④对于夹杂物含量非常低(015 级以下) 的钢,最好采用自动图像评级法(见 ASTM E1122 和 ASTM E1245) 。