

其 他

GB/T 10561-2023《钢中非金属夹杂物含量的测定标准评级图显微检验法》标准解析

张振威¹, 马裕辰², 尤阳立君¹, 王若兰¹, 陈 敏¹, 赵 洁¹, 蒋 锐^{1*}, 李雨蕾¹

(1. 中国兵器科学研究院宁波分院, 浙江 宁波 315103; 2. 长安大学长安都柏林国际交通学院, 陕西 西安 710064)

摘 要: 非金属夹杂物检验标准 GB/T 10561-2023 已修订完成, 为了更好地实施新标准, 针对新标准的修订内容, 从术语定义、原理、测定方法、结果表示、计算公式、评级图谱方面进行了详细的解析。新标准主要修订内容如下: 增加了术语和定义部分, 修改了夹杂物定义和特征描述; 增加了析出相类评定要求以及化学特征表示方法, 将非金属夹杂物级别细化为 10 个级别, 明确了取样要求, 更改了钢管的取样方法, 明确了夹杂物起评尺寸; 修改了测定方法, 给出了显微镜 B 法的扫描方式, 在结果表示方面修改了夹杂物类型和系列划分界限不清晰的问题; 新标准更改了夹杂物测量值和夹杂物级别计算公式, 并重新绘制了标准评级图, 相比 GB/T 10561-2005 版标准, 新发布的 GB/T 10561-2023 标准更加完善。

关键词: 钢; 非金属夹杂物; 复合夹杂物; 析出相; 标准修订; 标准评级图

中图分类号: TG115.21, N65

文献标志码: A

文章编号: 1004-7638(2024)01-0197-08

DOI: 10.7513/j.issn.1004-7638.2024.01.029

开放科学 (资源服务) 标识码 (OSID):



听
语
音
与
作
者
互
动
聊
科
研

Analysis of standard GB/T 10561-2023: Determination of content of nonmetallic inclusions in steel-micrographic method using standard diagrams

Zhang Zhenwei¹, Ma Yuchen², You Yanglijun¹, Wang Ruolan¹,
Chen Min¹, Zhao Jie¹, Jiang Rui^{1*}, Li Yulei¹

(1. Ningbo Branch of Chinese Academy of Ordnance Science, Ningbo 315103, Zhejiang, China; 2. Chang'an Dublin International College of Transportation, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: The inspection standard for non-metallic inclusions (GB/T 10561-2023) has been revised. In order to more precisely implement the revised standard, in this paper, we provide a detailed analysis on the revised contents of the new standard GB/T 10561-2023 "Determination of Non-metallic Inclusion Content in Steel by Micrographic Method Using Standard Diagrams," including the terminology definitions, principles, determination methods, results representations, calculation formulas, and rating maps. The major revisions of the new standard are summarized as follows: the terms and definitions section is added; the definition and characterization of inclusions are revised; requirements to evaluate the precipitated phases is required and the methods for describing their chemical characteristics are amended; the

收稿日期: 2023-12-18

基金项目: 中国兵器科学研究院宁波分院基金(NBFJ2022-27)。

作者简介: 张振威, 男, 1991 年出生, 河南周口人, 硕士, 助理研究员, 主要从事金属材料检验及失效分析等方面的研究,

E-mail: zzwTaylor@163.com; * 通讯作者: 蒋 锐, 男, 1988 年出生, 浙江宁波人, 博士, 助理研究员, 主要从事金属材料检验及失效分析等方面的研究, E-mail: jiangruiexp@163.com。

level of non-metallic inclusions is subdivided into 10 levels; the sampling requirements clarified, the sampling and schematic diagram for steel pipes modified, and the least size of inclusions for evaluation is clarified. The determination method was modified, and the scanning mode of the microscope B method was given. In terms of results presentations, the unclear classification of inclusion types and series boundaries was revised. The new standard has changed the calculation formula for inclusion measurement values and inclusion levels, and redrawn the standard rating diagram. Compared to the GB/T 10561-2005 version, the newly released GB/T 10561-2023 standard is more complete.

Key words: steel, non-metallic inclusion, complex inclusion, precipitated phase, standards revision, standard rating chart

0 引言

钢铁工业是基础工业之一,钢铁材料被广泛应用于各个行业,随着我国制造行业的不断转型,对高品质钢的需求日益增加。高品质钢的重点是高洁净度和高组织均匀性两方面,提高钢的洁净度主要体现在钢夹杂物控制上^[1-3]。钢中非金属夹杂物会破坏基体的连续性和组织均匀性,严重影响钢的力学性能和加工性能等,必须严格控制钢中非金属夹杂物含量^[4-6]。钢中非金属夹杂物的类型、形态和数量分布等都会对钢产品寿命造成一定的影响,对钢中非金属夹杂物的评定是衡量钢材质量的一种重要方法^[7-9],随着电子金相技术和显微技术的不断发展,用显微检验方法来评定钢中非金属夹杂物含量已经非常成熟^[10]。笔者对 2023 年 12 月 01 日实施的 GB/T 10561-2023《钢中非金属夹杂物含量的测定标准评级图显微检验法》标准内容进行研读,从标准术语定义、原理、测定方法、结果表示、计算公式、评级图谱等方面对新标准进行了详细的解析,并与旧标准 GB/T 10561-2005 进行比较,便于标准使用者更好地理解 and 执行新标准,为标准使用者提供参考。

1 标准修订内容

1.1 标准范围

本标准给出了用标准评级图评定钢中非金属夹杂物的原理、取样、制样、测定、结果表达和试验报告信息,并提供了测定非金属夹杂物的图像分析方法。本标准用于评定压缩比大于或等于 3 的轧制钢或锻制钢中非金属夹杂物含量。标准图谱不适用于评定某些类型钢(如易切削钢)。本次标准修订相对于旧标准而言,首先给出了标准内容所包含的框架结构,便于对标准有一个整体的了解。

1.2 术语和定义

GB/T 10561-2023 标准增加了术语和定义部分,

便于标准使用者对该标准内容的理解,从夹杂物的形成和分布形态两方面分别定义非金属夹杂物、形态比和直径 3 个标准术语。非金属夹杂物指在冶炼、凝固和冷却过程中形成的,并在后续的冷、热加工过程中发生形态变化,一般有非金属性质;形态比指单个颗粒的长度和宽度之比;直径为球状颗粒的最大尺寸(一般为最大弗雷特直径)。

1.3 原理

根据非金属夹杂物(以下简称夹杂物)的形态和分布,将最常观察到的夹杂物分为 A 类、B 类、C 类、D 类和 D_s 类 5 种类型:

A 类夹杂物(硫化物类)指具有高的延展性,有较宽范围形态比的单个灰色夹杂物,一般端部呈圆角;

B 类夹杂物(氧化铝类)大多数没有变形,带角的,形态比一般小于 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 类夹杂物(硅酸盐类)具有高延展性、边界光滑,形态比一般大于或等于 3 的单个黑色或深灰色夹杂物,端部一般呈锐角;

D 类夹杂物(球状氧化物类)不变形,带角或圆形的,形态比一般小于 3,呈黑色或带蓝色,无规则分布的颗粒;

D_s 类夹杂物(大颗粒球状氧化物)指直径大于 13 μm 的单颗粒 D 类夹杂物。

原理部分 GB/T 10561-2023 标准增加了 C 类夹杂物(硅酸盐类)的形貌特征描述,修改了 C 类夹杂物形态比以及 D_s 类夹杂物的特征描述,本次标准修订明确了 C 类夹杂物(硅酸盐类)边界是光滑的特征,主要是为了便于区分 A 类夹杂物(硫化物类)和 C 类夹杂物(硅酸盐类),明确 D_s 类夹杂物(大颗粒球状氧化物)是超大的 D 类夹杂物(球状氧化物)。新标准原理部分“4.4”通过“注”的形式增加了对非传统类型夹杂物的描述,非传统类型夹杂物通常是指炼钢过程中经钙处理或者添加稀土元素或其他特

殊处理形成的含钙(或含稀土)夹杂物以及复合夹杂物等。增加非传统类型夹杂物的解释和评定规则,以提高标准使用者对非传统类型夹杂物的理解,明确将非传统类型夹杂物纳入常规夹杂物的评定,新标准还增加了对非传统类型夹杂物中复合夹杂物评定下标的表示方法,如 $D_{CaS+Al_2O_3}$ 表示为复合夹杂物硫化钙包裹着氧化铝。

在旧标准 GB/T 10561-2005 中将碳化物、硼化物、氮化物以及碳氮化合物称为沉淀相,但大多书刊将碳化物、硼化物、氮化物和金属间化合物,以及钢中硫化物、氧化物等归类为析出相,沉淀相类化合物是由于固态溶解度降低而沉淀析出的金属性化合物,即沉淀物也是析出物^[11-12]。因此新标准原理中“4.5”部分将“沉淀相”改为“析出相”,并增加析出相类评定要求,如碳氮化钛、氮化钛、硼化物、碳化物,以及其他氮化物或碳氮化合物的评定,可以按照其形态与 B 类、C 类、D 类和 D_s 类夹杂物进行比较评定,并加注下标表示其化学特征。新标准 GB/T

10561-2023 中原理“4.6”部分将夹杂物级别由原来的 0.5 级、1 级、1.5 级、2 级、2.5 级、3 级增加了 3.5 级、4 级、4.5 级、5 级,修订后非金属夹杂物级别由原来的 6 个级别变为 10 个级别,并规定了增加级别的界限值,便于夹杂物的评定。

GB/T 10561-2023 标准中对“表 1 评级界限(最小值)”数据进行了修订,主要原因是通过 GB/T 10561-2005 标准附录 D 给出的计算公式进行验证后,发现计算得到的值共有 7 处(表 1 中灰色背景),夹杂物总长度计算值与其对应标准中“表 1 评级界限(最小值)”数据存在差异,其对比结果见表 1。对于夹杂物宽度的规定,新标准 GB/T 10561-2023 中“表 2”增加了夹杂物宽度界限符号,提高了标准的可操作性,并将 D 类夹杂物细系最小宽度由旧标准 GB/T 10561-2005 中的 3 μm 修改为 2 μm ,主要是与 ISO 4967:2013 标准和 ASTM E45-2018a 标准保持一致,使新标准与国际标准接轨国际化^[11]。

表 1 GB/T 10561-2005 标准中附录 D 公式计算值与其标准中表 1 数据对比

Table 1 Comparison of the calculated values in the formula in Appendix D of the standard GB/T 10561-2005 with the data in Table 1 of the present standard

级别	A类夹杂物总长度/ μm		B类夹杂物总长度/ μm		C类夹杂物总长度/ μm		D类夹杂物数量/个		D_s 类夹杂物直径/ μm	
	附录D 计算值	标准中表1 数据	附录D 计算值	标准中表1 数据	附录D 计算值	标准中表1 数据	附录D 计算值	标准中表1 数据	附录D 计算值	标准中表1 数据
0.5	37	37	17	17	18	18	1	1	13	13
1	127	127	77	77	76	76	4	4	19	19
1.5	262	261	184	184	176	176	9	9	27	27
2	438	436	343	343	321	320	16	16	38	38
2.5	652	649	555	555	510	510	25	25	53	53
3	902	898	823	822	745	746	36	36	76	76

1.4 取样

样品应在冷却状态下用机械方法切割。如果采用气割或热切割进行取样,应彻底去除金属熔化区和塑性变形区,淬火后的试样不能有淬火裂纹,以免影响正确评定。旧标准中对取样方式没有明确要求,新标准 GB/T 10561-2023 修订后“5.1”部分明确取样应在冷却状态下用机械方法切取,这样要求可以保障试样夹杂物的形貌不会受到试样加工的影响,以保证试样的制备质量。

取样部分将旧标准 GB/T 10561-2005 中“附录 NA(资料性附录)制取样注意方法和其他产品取样”调整到新标准的“取样”部分正文中,使取样要求更加全面,提高新标准的可操作性。并且修改了钢管的取样方法和示意图,旧标准 GB/T 10561-2005 中钢管取样方法见图 1,新标准 GB/T 10561-

2023 将钢管取样方法以公称壁厚 25 mm 为界限,对于公称壁厚不大于 25 mm 的钢管,检验面应位于全壁厚径向截面,取样示意图见图 2,对于公称壁厚大于 25 mm 的钢管,检验面应通过外壁到内壁中间位置的部分径向截面,取样示意图见图 3,图中 r 为钢管壁厚,焊管应远离焊缝位置取样。新标准修改钢管的取样方法及示意图更加符合实际取样情况,提高了新标准的可操作性。

1.5 试样制备

新标准 GB/T 10561-2023 中“6.1”将旧标准的文字描述部分替换为“试样的制备按 GB/T 13298 的规定执行”,使试样的制备更加全面和规范。

1.6 测定方法

观察方法一般在显微镜下用目镜直接观察或者显示到屏幕上观察,放大倍率一般为 100 ± 2 。随着

检测设备的不断更新,现在的显微镜都配备可视化的电脑,因此新标准 GB/T 10561-2023 删除了旧标准中投影到毛玻璃上观察的方法,增加了显示屏观察方法,该处修订根据时代不断发展,实验室实际检测情况进行,提高了新标准的可操作性。

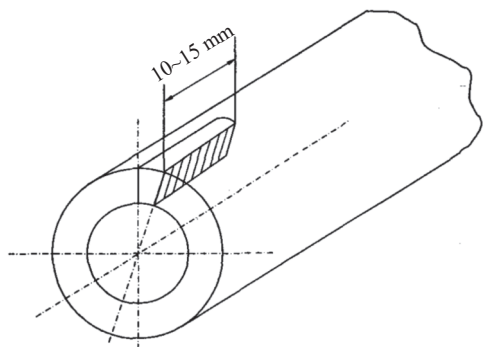


图1 GB/T 10561-2005 标准中钢管取样方法

Fig. 1 The sampling method for steel pipes proposed in the GB/T 10561-2005 standard

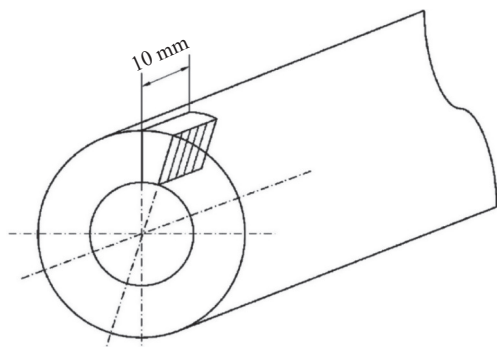


图2 公称壁厚 ≤ 25 mm 钢管取样方法

Fig. 2 The sampling method for steel pipe with the nominal wall thickness ≤ 25 mm

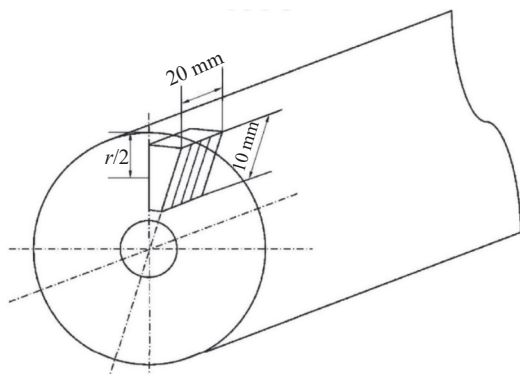


图3 公称壁厚 > 25 mm 钢管取样方法

Fig. 3 The sampling method for steel pipe with the nominal wall thickness > 25 mm

实际夹杂物测定应检验整个抛光面,检验方法分为“A法”和“B法”,采用A法时,对于每一类夹杂物按细系和粗系记录下与所检验面上最恶劣视场相符的标准图片级别数;采用B法时试样每一视场

同标准图片相对比,每类夹杂物按细系或粗系记录下与检验视场相符合的标准图片级别数。新标准 GB/T 10561-2023 要求对于采用B法时,移动显微镜的载物台逐个观察每个视场,视场应当是连续的,同时记录落在每个视场内的夹杂物,新标准增加了B法的试样观察扫描方法,还推荐了B法的扫描方式,如图4所示。一般在实际检测中A法(最差视场法)使用率高于B法(平均视场法),因为A法只需对整个检验面最恶劣视场进行评级,所以检测效率比较高,B法则需要记录大量的检测数据,检验效率比较低,更适合科研性的特殊重要件检验或者纯度要求较高的钢中夹杂物检验^[13]。

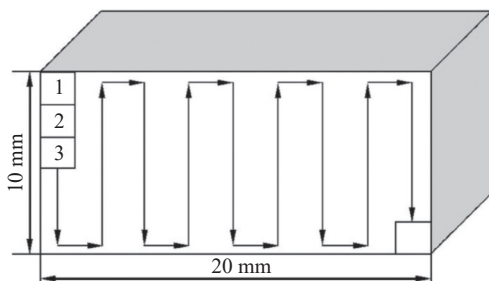


图4 显微镜B法的推荐扫描方式

Fig. 4 Recommended scanning modes for the microscopy B method

新标准 GB/T 10561-2023 中“7.2.2 A法和B法的通则”规定对于 $2\text{ }\mu\text{m}$ 以下的夹杂物不参与评级,旧标准对夹杂物的最小起评尺寸没有明确的文字说明,在 ASTM E45-2018a 标准里也明确宽度小于 $2\text{ }\mu\text{m}$ 的夹杂物不参与评定,并且 ISO 4967:2013 标准附录A的标准图谱里细系前面标注了“>”,因此新标准在通则里也明确了对于“小于 $2\text{ }\mu\text{m}$ 的夹杂物不参与评级”,提高了标准的可操作性,同时与国际标准接轨^[13]。

对于A类、B类和C类夹杂物,若相邻两个夹杂物之间的纵向距离小于或等于 $40\text{ }\mu\text{m}$,且横向中心距离小于或等于 $15\text{ }\mu\text{m}$,应当视为一个串(条)状夹杂物,如果一个串(条)状夹杂物内的宽度不相同,应当将夹杂物的最大宽度视为该串(条)状夹杂物的宽度。新标准 GB/T 10561-2023 修改了串(条)状夹杂物的横向间距,将旧标准中的横向间距由 $10\text{ }\mu\text{m}$ 修改为 $15\text{ }\mu\text{m}$,这是因为在实际夹杂物评级中,两条夹杂物边缘可能“接触”时,中心间距仍然大于 $10\text{ }\mu\text{m}$ 。比如,当同时出现两条B类粗系夹杂物,并且每条夹杂物宽度介于 $10\sim 15\text{ }\mu\text{m}$ 时,横向之间宽度可能为 $15\text{ }\mu\text{m}$,此时就超过了旧标准规定的 $10\text{ }\mu\text{m}$ 这个

界限,但评定时应把两条夹杂物当成一个来评定,因此新标准根据夹杂物的最大宽度更改了横向中心间距为小于或等于 15 μm ,这样更符合夹杂物的分布情况,提高新标准的可操作性。

在 A 类、B 类和 C 类夹杂物中,若某类夹杂物或串(条)状夹杂物的长度超过视场的边长(0.71 mm),或宽度大于其粗系最大值,应将该夹杂物当做超尺寸(长度或宽度)夹杂物来评定,并分别记录该超尺寸夹杂物,同时这些夹杂物仍然纳入该视场同类型夹杂物的评级。

GB/T 10561-2023 中“7.2.2.6”规定对于非传统类型的夹杂物宜纳入传统夹杂物的评级,除非产品的标准或协议有特殊要求,否则都按夹杂物形态与其最接近的 A 类、B 类、C 类、D 类以及 D_s 类传统夹杂物合并评定。可以通过光学显微镜的偏振光或扫描电子显微镜等方法判定出夹杂物的化学特征,若能判断出夹杂物组成,可用其分子式表示并加以标注,将含量(面积或长度)较多的写在前面,分子式之间用“+”表示^[1]。如图 5 所示为大颗粒球状复合夹杂物,夹杂物评为 D_s 类 2.0 级,判断出夹杂物为硫化钙包裹着氧化铝,并且氧化铝的面积占优,则该复合夹杂物可表示为 $D_{sAl_2O_3+CaS} 2.0$ 。

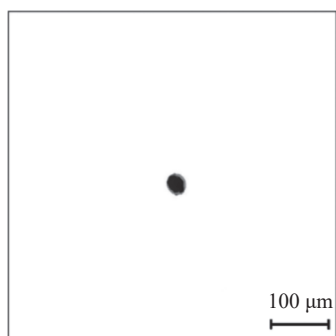


图 5 复合夹杂物评定
Fig. 5 Evaluation of complex inclusions

1.7 结果表示

夹杂物的检验结果一般用夹杂物类别代号(A、B、C、D、 D_s)、系列代号(细系 T 或粗系 H)以及级别(0.5、1.0、1.5……5.0)表示。若某视场夹杂物或串(条)状夹杂物长度超过视场的边长 0.710 mm 或夹杂物宽度大于其粗系最大值,应当在报告中单独记录,并用字母 s 表示出超尺寸夹杂物的长度或宽度。新标准 GB/T 10561-2023 中“8.1”部分修改了结果的表示通则,并且增加了同类夹杂物系列代号的表示方法以及超尺寸夹杂物的表示方法,旧标准 GB/T 10561-2005 中的文字表示方法,无法得知试

样每类夹杂物的粗系和细系情况,并且也不能看出超尺寸夹杂物的具体尺寸。

对于 A 法,应表示出整个检验面上与每类夹杂物和每个系列夹杂物中最恶劣视场相符合的级别,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,也可以用表格的形式表示其检测结果。新标准 GB/T 10561-2023 增加了 A 法结果示例,使标准使用者更加清晰的了解结果表示规则,例如某夹杂物检测结果为: AT 2.0, AH 0.5, BT 2.5 s(930 μm), BH 0, CT 0, CH 1.0 s(20 μm), DT 1.0, DH 0, D_s 0.5。其中, AT 2.0 表示 A 类夹杂物细系 2.0 级; AH 0.5 表示 A 类夹杂物粗系 0.5 级; BT 2.5 s(930 μm) 表示 B 类夹杂物细系 2.5 级,并且有一超长夹杂物长度为 930 μm ; BH 0 表示 B 类夹杂物粗系 0 级; CT 0 表示 C 类夹杂物细系 0 级; CH 1.0 s(20 μm) 表示 C 类夹杂物粗系 1.0 级,并且有一超宽夹杂物宽度为 20 μm ; DT 1.0 表示 D 类夹杂物细系 1.0 级; DH 0 表示 D 类夹杂物粗系 0 级; D_s 0.5 表示夹杂物为大颗粒球状氧化物 0.5 级。GB/T 10561-2023 标准还增加了 A 法结果表示的“表格形式”示例,见表 2,使结果更加简单明了,提高了标准的可操作性。

表 2 夹杂物的检测结果
Table 2 Testing results of inclusions

								级
A		B		C		D		D_s
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

注: a) 有一长度为 930 μm 的超长夹杂物; b) 有一宽度为 20 μm 的超宽夹杂物。

对于 B 法应表示出整个检验面上所观察的视场,每类和每个系列夹杂物在给定级别上的视场数给定各类夹杂物的级别上可按其他专门的方法表示其结果,如根据产品标准或协议规定的平均级别 i_{moy} 或纯洁度 K_j 。对于给定视场的各类夹杂物不同级别的视场数,可按照公式(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_{moy} 。

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

式中, i_{moy} 为平局级别数; i 为评级图级别; j 为起评级别; n_i 为 i 级别的视场数; N 为所观察的视场总数。

对于 B 法中用纯洁度 K_j 表示夹杂物的评定结果的,可用公式(2)计算出测试钢的纯洁度 K_j 。

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

式中, K_j 为纯洁度; i 为评级图级别; j 为起评级别; n_i 为 i 级别的视场数; f_i 为权重因数; S 为试样总检验面积, mm^2 。其中 0.5 ~ 5 级夹杂物权重因数 f_i 见表 3。新标准 GB/T 10561-2023 增加了纯洁度值 K_j , 并完善了权重因数。

1.8 “附录”部分

由表 1 GB/T 10561-2005 标准中附录 D 公式计算值与其标准中“表 1”数据对比可知, GB/T 10561-2005 中“附录 D”给出的计算公式得到的值与标准正文里的数据有 7 处不符合, 因此新标准 GB/T 10561-2023 在“附录 B”部分对计算公式进行了重新修订, 修订后新标准 GB/T 10561-2023 与旧标准 GB/T 10561-2005 附录部分夹杂物测量值和夹杂物级别计算公式对照, 见表 4。按照 GB/T 10561-2023 附录 B 的公式计算得到的结果与其标准中相应数据进行对比, 结果见表 5, 由对比结果可以看出

新修订的计算公式仅 A 类、B 类和 C 类夹杂物 5.0 级存在 3 处不符(表中灰色背景), 并且误差仅为 $1\text{ }\mu\text{m}$ 。因此, 新修订的计算公式比旧标准 GB/T 10561-2005 “附录 D”中的公式更精确。

表 3 权重因数
Table 3 Weighting factors

级别	权重因数
0.5	0.05
1	0.1
1.5	0.2
2	0.5
2.5	1
3	2
3.5	5
4	10
4.5	20
5	50

表 4 GB/T 10561-2023 与 GB/T 10561-2005 夹杂物测量值和夹杂物级别计算公式对照
Table 4 Comparison table of GB/T 10561-2023 and GB/T 10561-2005 inclusion measurement values and inclusion grade calculation formulas

类型	由夹杂物测量值计算各类型夹杂物级别公式		由夹杂物级别计算各类型夹杂物测量值公式	
	GB/T 10561-2023	GB/T 10561-2005	GB/T 10561-2023	GB/T 10561-2005
A	$\lg(i)=[0.561\ 7\lg(L)]-1.182$	$\lg(i)=[0.560\ 5\lg(L)]-1.179$	$\lg(L)=[1.780\ 2\lg(i)]+2.103\ 8$	$\lg(L)=[1.784\ 0\lg(i)]+2.104$
B	$\lg(i)=[0.463\ 3\lg(L)]-0.873$	$\lg(i)=[0.462\ 6\lg(L)]-0.871$	$\lg(L)=[2.158\ 3\lg(i)]+1.885\ 3$	$\lg(L)=[2.161\ 6\lg(i)]+1.884$
C	$\lg(i)=[0.479\ 7\lg(L)]-0.901$	$\lg(i)=[0.480\ 7\lg(L)]-0.904$	$\lg(L)=[2.084\ 5\lg(i)]+1.878\ 3$	$\lg(L)=[2.080\ 0\lg(i)]+1.880$
D	$\lg(i)=[0.500\ 0\lg(n)]-0.301$	$\lg(i)=[0.500\ 0\lg(n)]-0.301$	$\lg(n)=[2.000\ 0\lg(i)]+0.602$	$\lg(n)=[2.000\ 0\lg(i)]+0.602$
D _s	$i=[3.311\ 7\lg(d)]-3.211$	$i=[3.311\ 0\lg(d)]-3.220$	$\lg(d)=0.302\ 0i+0.972$	$\lg(d)=0.302\ 0i+0.972$

注: i 为夹杂物级别, 级; L 为夹杂物长度, μm ; d 为夹杂物直径, μm ; n 为每个视场中的夹杂物数量, 个。

表 5 GB/T 10561-2023 标准中附录 B 公式计算值与其标准中表 1 数据对比
Table 5 The calculated values of formula B in Appendix of GB/T 10561-2023 standard compared with the data in Table 1 of the standard

级别	A类夹杂物总长度/ μm		B类夹杂物总长度/ μm		C类夹杂物总长度/ μm		D类夹杂物数量/个		D _s 类夹杂物直径/ μm	
	附录B 计算值	标准中表1 数据	附录B 计算值	标准中表1 数据	附录B 计算值	标准中表1 数据	附录B 计算值	标准中表1 数据	附录B 计算值	标准中表1 数据
0.5	37	37	17	17	18	18	1	1	13	13
1	127	127	77	77	76	76	4	4	19	19
1.5	261	261	184	184	176	176	9	9	27	27
2	436	436	343	343	320	320	16	16	38	38
2.5	649	649	555	555	510	510	25	25	53	53
3	898	898	822	822	746	746	36	36	76	76
3.5	1 181	1 181	1 147	1 147	1 029	1 029	49	49	107	107
4	1 498	1 498	1 530	1 530	1 359	1 359	64	64	151	151
4.5	1848	1848	1973	1973	1 737	1 737	81	81	214	214
5	2 229	2 230	2 477	2 476	2 164	2 163	100	100	303	303

在 GB/T 10561-2005 的“附录 A(规范性附录) A、B、C、D 和 D_s 夹杂物的 ISO 评级图”部分, B 类(氧化铝类)0.5 级的细系和粗系标准评级图中夹杂物总长度与 B(氧化铝类)1 级的标准评级图中夹杂物总长度基本一样, 但 0.5 级细系和粗系标准评级图中间下方标注最小总长度 17 μm , 1 级细系和粗系标准评级图中间下方标注最小总长度为 77 μm , 由此可见 GB/T 10561-2005 “附录 A” 的部分评级图存在明显错误, GB/T 10561-2005 和 GB/T 10561-2023 标准中 B 类夹杂物 0.5 级和 1 级的标准评级图对比见图 6。

GB/T 10561-2005 中 A 类、B 类和 C 类细系及粗系的标准评级图还存在标准图片中夹杂物实测长度与评级图标注的最小总长度不一致的情况, 经测量 GB/T 10561-2005 标准中 A 类、B 类和 C 类的标准评级图有 31 处长度与标注值不符, 有 20 处夹杂物宽度与标注值不符^[11-12]。因此, 新标准 GB/T 10561-2023 在“附录 C” 部分对标准评级图进行了重新绘制, 更改了旧标准评级图中相应的错误, 并且为评级图加上了标尺, 便于标准使用者在实际检测中参照评级图进行评级。

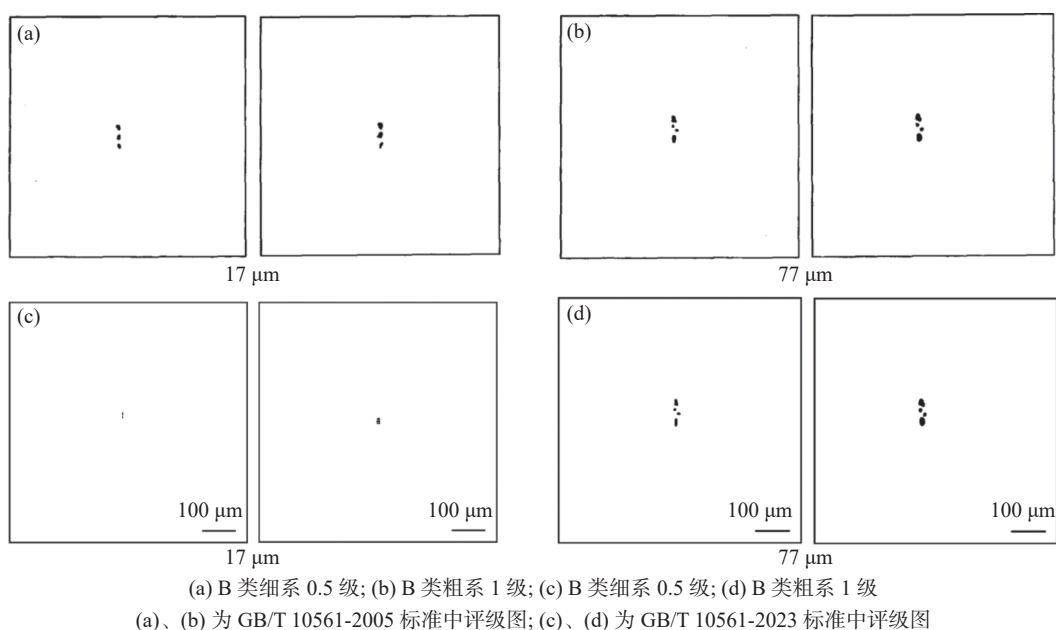


图 6 GB/T 10561-2005 和 GB/T 10561-2023 标准中 B 类夹杂物 0.5 级和 1 级评级图对比

Fig. 6 Comparison of Grade 0.5 and Grade 1 ratings of Class B inclusions in GB/T 10561-2005 and GB/T 10561-2023 standards

2 标准使用注意事项

使用新标准 GB/T 10561-2023 时应首先明确适用范围, 本标准的图谱不适用评定易切削钢, 认真阅读和理解新标准的内容, 了解新标准中的术语和定义、取样要求和测试方法的更改, 尤其是钢管的取样方法, 根据其公称壁厚来确定取样尺寸。在测定方法中, 对于采用 B 法时, 要按照新标准中推荐的扫描方式进行测试, 以提高测量结果的准确性。在结果表示方面, 建议按照新标准中示例的表格形式来记录测量结果, 这样更直观也更加便捷, 若采取文字和符号表示检测结果, 要严格执行新标准中的结果表示规则, 便于区分每类夹杂物的粗系和细系情况以及超尺寸夹杂物的具体尺寸情况。对于非传统类型的夹杂物评定, 要先确定其夹杂物形态, 按照最

接近的传统夹杂物合并评定, 若能判断出夹杂物组成, 则将其分子式下标的形式标注出来。在使用新标准时, 要考虑其他的相关产品标准或协议要求, 根据实际情况对新标准进行合理的解读, 综合参考应用, 达到标准所要求的质量和符合性等目标, 以满足实际生产需求。

3 结语

GB/T 10561-2023 标准修订已完成, 为了更好地实施新标准, 根据标准的修订内容对新标准进行详细的解析, 新标准主要修订内容如下:

1) 新标准 GB/T 10561-2023 增加了术语和定义部分, 便于标准使用者更好地理解 and 执行标准, 增加了 C 类夹杂物(硅酸盐类)和 D_s 类夹杂物的形貌特征描述, 明确 C 类夹杂物(硅酸盐类)边界是光滑的

特征,便于区分A类夹杂物(硫化物类)和C类夹杂物(硅酸盐类),明确D_s类夹杂物(大颗粒球状氧化物)是超大的D类夹杂物(球状氧化物)。

2)增加了析出相类评定要求,根据标准实际评定情况,将非金属夹杂物级别由原来的6个级别变更为10个级别,明确了取样要求,更改了钢管的取样方法及示意图,以保证试样的制备质量,新标准还明确了夹杂物起评尺寸,提高标准的可操作性。

3)新标准给出了显微镜B法的扫描方式,在结果表示方面修改了夹杂物类型和系列划分界限不清晰的问题,并给出了结果表示的示例。

4)新标准更改了夹杂物测量值和夹杂物级别计算公式,并重新绘制了标准评级图,纠正了旧标准评级图中的错误,对评级图增加了标尺,便于新标准的操作,比旧标准GB/T 10561-2005更加完善。

参考文献

- [1] Li Bing, Wu Zhiwei, Chen Wenxiong, *et al.* Effect of deoxidizer on non-metallic inclusions in M50NiL steel[J]. Iron Steel Vanadium Titanium, 2023, 44(3): 177-182.
(李兵, 吴志伟, 陈文雄, 等. 脱氧剂对M50NiL钢中非金属夹杂物的影响[J]. 钢铁钒钛, 2023, 44(3): 177-182.)
- [2] Qin Chuanjiang, Huang Ao, Wang Lu, *et al.* Research on corrosion resistance of alumina-magnesia castable to high manganese-high aluminum molten steel[J]. Journal of Iron and Steel Research, 2023, 35(8): 999-1007.
(秦川江, 黄奥, 王璐, 等. 铝镁质浇注料抗高锰高铝钢液侵蚀研究[J]. 钢铁研究学报, 2023, 35(8): 999-1007.)
- [3] Bai Xuxu, Zhang Min, Zeng Jianhua, *et al.* Analysis of inclusions in the whole process of 20MnCr5 gear steel[J]. Iron Steel Vanadium Titanium, 2022, 43(6): 143-148.
(白旭旭, 张敏, 曾建华, 等. 20MnCr5齿轮钢全流程夹杂物分析[J]. 钢铁钒钛, 2022, 43(6): 143-148.)
- [4] Zhang Yuexin, Zhang Lifeng, Wang Jujin, *et al.* Concepts and characteristic curves for the kinetic transformation of nonmetallic inclusions in liquid steel during solidification and cooling and in solid steel during heating process[J]. Chinese Journal of Engineering, 2023, 45(3): 369-379.
(张月鑫, 张立峰, 王举金, 等. 钢液凝固与冷却过程及固体钢加热过程钢中非金属夹杂物成分动力学转变的几个概念和特征曲线[J]. 工程科学学报, 2023, 45(3): 369-379.)
- [5] Yan Chunlian, Qin Hancheng, Qi Qige, *et al.* Three-dimensional quantitative characterization of non-metallic inclusions in steels[J]. Heat Treatment of Metals, 2023, 48(3): 280-286.
(严春莲, 秦汉成, 其其格, 等. 钢中非金属夹杂物的三维定量表征[J]. 金属热处理, 2023, 48(3): 280-286.)
- [6] Liu Chengsong, Hou Songwei, Liu Xiaoqin, *et al.* Optimization of refining slag for 30Cr1Mo1V steam turbine rotor steel[J]. Journal of Iron and Steel Research, 2022, 34(10): 1098-1107.
(刘成松, 侯松威, 刘晓芹, 等. 30Cr1Mo1V汽轮机转子钢的精炼渣优化[J]. 钢铁研究学报, 2022, 34(10): 1098-1107.)
- [7] Cheng Rijin, Qi Zhan, Zhang Hua, *et al.* Optimization of refining slag of 20SiMn alloy structural steel[J]. Iron & Steel, 2023, 58(1): 100-107, 152.
(成日金, 齐詹, 张华, 等. 20SiMn合金结构钢精炼渣系优化[J]. 钢铁, 2023, 58(1): 100-107, 152.)
- [8] Li Bin, Zhu Hangyu, Zheng Zhihao, *et al.* Effect of deoxidation methods on non-metallic inclusions in high-Al steel[J]. Journal of Iron and Steel Research, 2022, 34(11): 1240-1249.
(李斌, 朱航宇, 郑志豪, 等. 脱氧方式对高铝钢中非金属夹杂物的影响[J]. 钢铁研究学报, 2022, 34(11): 1240-1249.)
- [9] Xie Hongbo. Common problems in the determination of nonmetallic inclusions in steel using GB/T10561-2005 standard are discussed[J]. Modern Metallurgy, 2016, 44(1): 37-39.
(谢洪波. 浅谈使用GB/T10561-2005标准测定钢中非金属夹杂物的常见问题[J]. 现代冶金, 2016, 44(1): 37-39.)
- [10] He Qunxiong, Sun Shiqiu. Introduction to steel-determination of content of nonmetallic inclusions-Micrographic method using standards diagrams GB/T 10561-2005[J]. Physical Testing and Chemical Analysis(Part A:Physical Testing), 2007(1): 43-47.
(何群雄, 孙时秋. 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介绍[J]. 理化检验(物理分册), 2007(1): 43-47.)
- [11] Gu Yan, Meng Jiwei. Analysis of the revision of GB/T 10561 standard[J]. Physical Testing and Chemical Analysis(Part A:Physical Testing), 2023, 59(8): 22-27.
(顾艳, 孟吉伟. GB/T 10561标准的修订解析[J]. 理化检验-物理分册, 2023, 59(8): 22-27.)
- [12] Cheng Lijie. Analysis and revision suggestions for GB/T 10561-2005 steel-determination of nonmetallic inclusions-micrographic method using standards diagrams[J]. Physics Examination and Testing, 2020, 38(4): 1-12.
(程丽杰. 钢中非金属夹杂物标准评级图法解析及修订建议[J]. 物理测试, 2020, 38(4): 1-12.)
- [13] Liu Guijiang, Cheng Lijie, Gu Qiang, *et al.* Discussion on non-metallic inclusion inspection standard GB/T 10561-2005[J]. Physical Testing and Chemical Analysis(Part A:Physical Testing), 2021, 57(1): 15-18.
(刘桂江, 程丽杰, 谷强, 等. 对非金属夹杂物检验标准GB/T 10561—2005的探讨[J]. 理化检验(物理分册), 2021, 57(1): 15-18.)