

吕富阳 刘德金等 编译

轴承钢的疲劳寿命 与夹杂物的评定



•4
!HOUCHEGGANG DE PILAO
SHOUMING YU JIAZAWU
DE PINGDING

冶金工业出版社

轴承钢的疲劳寿命 与夹杂物的评定

吕富阳 刘德金 等编译

冶金工业出版社

本书系根据美国材料试验协会1975年出版的《轴承钢非金属夹杂物的评定》一书及近几年新发表的有关论文编译而成。

本书就美国、英国、西德、日本及苏联等国现行的轴承钢非金属夹杂物的评定标准,以及某些新的评定方法,例如图象分析法、超声波法和磁微扰法定量评定钢中非金属夹杂物进行了详细讨论。还介绍了国际标准化组织1979年出版的用标准图谱法测定钢中非金属夹杂物含量的方法(ISO 4967)。本书还用较多篇幅介绍和讨论了有关非金属夹杂物与接触疲劳性能关系的一些新近研究资料。

本书可供我国轴承钢生产、使用、研究和测试部门的有关人员参考。

轴承钢的疲劳寿命 与夹杂物的评定

吕富阳 刘德金 等编译

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街嵩祝院北巷39号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

850×1168 1/32 印张 $7\frac{3}{4}$ 字数 202 千字

1988年2月第一版 1988年2月第一次印刷

印数 00,001~1,950 册

ISBN 7-5024-0263-2

TG·46 定价 2.20元

目 录

1. 关于 ASTM 夹杂物评定方法的讨论	1
2. 西德特殊钢微观夹杂物新的评定方法	7
3. 日本轴承钢非金属夹杂物的各种评定方法	19
4. 轴承钢非金属夹杂物评定方法的再研究	34
5. 采用标准图谱显微检测法测定钢中非金属夹杂物的 含量 (ISO 4967)	45
6. 滚珠轴承钢非金属夹杂物的评定和疲劳性能	58
7. 高碳铬轴承钢非金属夹杂物含量的评定及其与疲劳 寿命的关系	75
8. 非金属夹杂物和滚动接触疲劳	104
9. 钢的清洁度和疲劳试验对轴承性能的影响	120
10. 轴承钢非金属夹杂物对滚动接触疲劳寿命的影响	143
11. 外来氧化物相和硫含量对轴承钢中夹杂物的影响	153
12. 非金属夹杂对滚动轴承寿命的影响	160
13. 轴承钢滚动疲劳寿命的提高	169
14. 冶炼和热加工工艺对轴承钢非金属夹杂物类型和 总量的影响	183
15. 用图象分析评定非金属夹杂物	195
16. 轴承钢清洁度的超声波法评定	210
17. 磁微扰信号与夹杂物之间的定量关系	220

1. 关于ASTM夹杂物评定方法的讨论

J. J. 唐泽

钢中总是存在非金属夹杂物，这是很早就被人们承认的。夹杂物的尺寸、形状、数量及类型不仅对钢的生产者来说，而且对钢的使用者来说都是一项挑战。

滚动轴承对于实际上是所有的转动机械、马达和运输设备等等的性能来说都是一个基本的关键性部件。过去已经发表了许多有关轴承破坏原因的技术论文。本文仅限于对现行的ASTM轴承钢非金属夹杂物评定方法进行讨论，而不想把夹杂物和轴承疲劳寿命联系起来。ASTM评定方法用于对钢中夹杂物类型、尺寸及数量进行鉴别和分级，这种分级的基本准则就是ASTM的测定钢中夹杂物含量的推荐方法（ASTM E 45-63）。

ASTM E45-63的适用范围如下：“本推荐方法包括测定钢中非金属夹杂物含量所认可的各种方法。”并且指出：“该方法只涉及到推荐的各种试验方法，而没有规定或确定对任何钢种都适合的极限”。轴承钢中非金属夹杂物的极限是在各个轴承钢技术条件中规定的。这些技术条件是：ASTM A295-70滚珠和滚柱轴承用高碳铬钢技术条件；ASTM A485-63高淬透性轴承钢技术条件；ASTM A534-63减摩轴承用渗碳钢技术条件以及ASTM A535-65特种质量滚珠与滚柱轴承钢技术条件等。这四个技术条件将在后面讨论。虽然ASTM E45-63是一个包括许多钢种推荐方法的技术条件，但是本文将只限于讨论对轴承钢适用的那一部分。

方法

轴承钢中非金属夹杂物用两类方法测定。第一类方法是宏观检验法；第二类方法是微观检验法。

宏观检验方法有两种试验。第一种是低倍酸浸试验，是用来

显示夹杂物的含量及其在垂直于轧（锻）方向的横截面上的分布情况。切割并机械加工具有所要求面积的一个截面，并用适当溶液腐蚀来准备这种试验。腐蚀操作就是在金属表面用试剂腐蚀来显示组织结构及任何夹杂物。正如试验方法的名称所指的那样，用肉眼或在低的放大倍率下检验酸浸表面夹杂物。

第二种方法是断口试验。这种试验是用来确定在打断的厚度约为9.5~12.7毫米（3/8~1.2英寸）的淬火试片断口上是否存在夹杂物及其位置。这种试验大量用于能够获得硬度约为HRC 60、断口晶粒度为7级或更细的钢。希望是断口横向试片的纵向断口，而该断口平行于加工方向。用肉眼或大约放大10倍检查，并注明夹杂物的长度、数量及分布。

微观检验法用于确定夹杂物的大小、分布、数量和类型等。这可由常用的显微镜检查试样来进行，并用有代表性的金相图片报告来叙述金相研究结果。为了节省时间并较一致地表示上述结果，现已发现参照典型的金相图谱是非常有帮助的。

目前已经制订了各种夹杂物标准图谱，如JK图、汽车工程师协会的SAE图以及修改了的JK图。修改了的JK图主要用于真空自耗电极法冶炼的钢、真空感应炉冶炼的钢以及其他一些特殊质量钢。高碳轴承钢用JK图，低碳渗碳钢用SAE图。然而，最近修订的低碳渗碳钢技术条件ASTM A534-65将使用JK图。

在JK图中，把轴承钢中最普遍的非金属夹杂物分为细小的和粗大的两个系列。它们的级别是由1/2级到较严重的5级，其夹杂物的数量随着级别的增高而增加。夹杂物分为四种类型：第一类是硫化物，称为A型夹杂物；其他三类都是脱氧产物，它们是：氧化铝，称B型夹杂物；硅酸盐，称C型夹杂物，以及点状氧化物，称D型夹杂物。JK图各栏用记录每种夹杂物名义厚度的尺寸来表示夹杂物，这些夹杂物的厚度值并不都要求很精确，而是可以近似分类。SAE图中的夹杂物相当于氧化物型和硅酸盐型的夹杂物，而实质上这两种夹杂物系列是以其长度来分级

的。

没有那种图谱能够概括所有夹杂物的各种类型和形状。因此，这种图谱仅限于用来测定最普通类型的夹杂物的含量。同时，必须记住，上述那种测定并不是夹杂物的全部金相学研究。

取样

工业中生产的钢锭在组织上是不均匀的，因此，在一个钢锭中以及各个钢锭之间夹杂物的精确分布是不清楚的。经验表明，从钢锭的头部到尾部以及钢锭与钢锭之间夹杂物是不一样的。取样程序应按系统规定的方法慎重地采取，以便获得的试样必须在一炉钢中具有代表性。美国材料试验协会对轴承钢的技术条件中的取样方法作了标准规定。这些技术条件指出要从一炉钢的第一、中间和最末的钢锭的头部和尾部至少取六个有代表性的试样进行检验。这种取样方法为这炉钢提供了一个较好的被检验横截面，并作为ASTM标准已经成功地使用了三十二年以上。

ASTM标准还规定试样由截面为 102×102 毫米的轧材或锻材上切取。事实上，这四个ASTM轴承钢技术条件都规定试样由 102×102 毫米的截面上切取，这就消除了影响非金属夹杂物计算结果的诸因素之一。

更具体地说，在钢热轧或锻造加工时，夹杂物是沿轧制或锻造方向排列的。硬而脆的夹杂物易破碎，而当是塑性夹杂物时，则这种夹杂物颗粒在某种程度上同钢一起被拉长。由于夹杂物评定结果是同标准图谱相比较而获得的，因此，截取非金属夹杂物试样的截面标准化是很重要的。

夹杂物评定

评定夹杂物的试样应为 9.5×19 毫米，在钢坯中心至边缘之间的 $1/2$ 处面积上切取。试样经淬火并经抛光，抛光面应是轧材的纵剖面。抛光试样的整个表面（约 12.7毫米^2 ）在放大100倍下观察，视场为80毫米，在试样上相当于0.8毫米。试样的每个视场根据材料种类不同而选用图 I、图 II 或图 III 参考图片进行比较评级。对于像 AISI 52100 那样的高碳轴承钢，评定试样所使用

的标准应是JK图的图I和图III，对于渗碳轴承钢目前正在使用的是SAE图的第II图。

为了恰当地评定非金属夹杂物级别，试样的制备是非常重要的。试样在抛光前需要进行热处理以便获得最大的硬度，检验显微组织结构所使用的一般抛光技术，对于检验非金属夹杂物是不适宜的，并将引起抛光缺陷，如蚀坑、夹杂物脱落等等。这些缺陷在低的放大倍率下出现的暗黑区域可能被误认为是夹杂物。如果试样在检查夹杂物的抛光前已经腐蚀，那末，应该完全磨去试样上所有蚀坑的痕迹。因此，当抛光试样时，很重要的就是获得一个清洁的表面，以便使夹杂物能够清晰地显示出来。抛光工艺粗劣往往造成对钢材评级不当。当用金刚砂重新抛光时，所得到的非金属夹杂物的评级是满意的。

结果表示

评定高碳钢所使用的标准是ASTM E 45-63中JK图的图I和图III。评定试样时，把每个试样上各类夹杂物的最恶劣视场记录下来，作为试样的评定级别。由于不了解钢锭中非金属夹杂物的分布情况，所以常常会有截取的断面上非金属夹杂物超过技术条件的规定。因此，规定所有试样的三分之二和每个试验钢锭至少有一个试样以及全部试样评定级别的平均值都不得超过各个技术条件规定的级别。更具体来说，就是金相工作者在放大100倍下观察整个抛光表面，将所观察的每一个视场同ASTME 45-63的第I图或第III图所指示的金相图片直接进行比较。在检验整个表面之后，金相工作者将记录下四种不同夹杂物的每一种的最恶劣视场。无论这四种夹杂物是细的或粗的类型的，它们都还要进一步分级。这种评级是在一炉钢的第一、中间和最后钢锭的头部和底部各取一个试样共取六个试样上进行。这六个试样的评定级别则作为该炉钢的非金属夹杂物的级别。一炉52100钢20支钢锭的具有代表性的例子列于表1。

用这种方法评价每炉钢可以得到良好的四种非金属夹杂物质量分类，即既按细的又按粗的系列评级。从工业上的使用情况来

表 1 一炉 52100 钢具有代表性的非金属夹杂物级别

部 位	A		B		C		D	
	细	粗	细	粗	细	粗	细	粗
1 头部	2.0	1.0	1.5	...	...	...	1.5	...
1 底部	1.5	...	1.5	...	...	...	1.5	...
10 头部	1.5	...	2.0	...	...	...	1.0	...
10 底部	1.0	1.0	1.0	1.0	...	...	1.5	1.0
20 头部	2.0	...	1.0	...	...	...	1.0	...
20 底部	1.5	...	1.5	...	...	...	1.0	...

看，这种方法是比较快的，因而一个有经验的金相工作者可以较快地评定若干炉钢，而不使评级变得麻烦。这一点是很重要的。因为对每类夹杂物所给出的实际级别数是对 ASTM 图谱的个别注释的问题。如果评级变得冗长繁琐，那么，它在很大程度上会引起人为的因素。随着金相工作者得评定的炉数增多，级别将变得不太精确，最终结果的重现性将较差。

具体技术条件要求

如前所提，轴承工业最普遍使用的钢棒技术条件是 ASTM A 295-70，按照该标准规定非金属夹杂试样最少取六个。评定试样用的标准图谱是 ASTM E45-63 所叙述的 JK 图。在这个技术条件中，不仅使用图 I 而且使用图 III。图 III 是由最低级别 1/2 级到最高级别 2 ½ 级，按非金属夹杂物的长度以 1/2 级递增。图 I 是由最低级别 1 级到最高级别 5 级，按非金属夹杂物的长度以 1 级递增。为了对试样进行评级，有经验的金相工作者要仔细观察各个试样，把每个试样上各类细小的和粗大的夹杂物的最恶劣的视场记录下来作为试样的级别。从一炉钢中取出六个试样都按相似的方法评定，每个试样都得出一个非金属夹杂物的评定结果。为了满足技术条件的要求，所有试样的三分之二和每个试验钢锭的至少一个试样以及所有试样的平均值均不得超过下列极限：

类 型	级 别	
	细 系 列	粗 系 列
A	2 $\frac{1}{2}$	1 $\frac{1}{2}$
B	2	1 $\frac{1}{2}$
C	2	1 $\frac{1}{2}$
D	1 $\frac{1}{2}$	1 $\frac{1}{2}$

包括修改过的 52100 级轴承钢的技术条件是ASTM A 485 63。在这个技术条件中，取样程序及非金属夹杂物的评级方法和ASTM A 295-70 一样，仅非金属夹杂物级别的数值极限不同。

目前，ASTM A 534-65 利用 SAE 图 谱的图 II 做为非金属夹杂物评级的参考。这个被称为 S O 图的图谱仅仅分为硅酸盐和氧化物夹杂，对每个试样评定的级别仅差 2 级。相比之下，JK 图 谱则把每个试样分为 8 个不同级别。因此，对制订轴承钢技术条件非金属夹杂物极限负有指导责任的 ASTM 轴 承钢小组委员会A 01.28成员决定采用对试样有较好描述的JK图。所以，修订的ASTM A 534-65将用JK图对非金属夹杂物进行分类。

ASTM A 535-65 包括用如下方法生产的高碳和低碳轴承钢。这些钢用真空自耗电极法或真空感应法或任何其它炼钢方法冶炼，只要所生产的钢能够满足这个技术条件的要求。由于这个技术条件包含重要的产品，所以它要求比用非真空冶炼法生产的轴承材料做更多的检验。这个技术条件还规定，非金属夹杂物试样从截面为102×102毫米的轧材或锻材上截取。

结论

ASTM 轴 承钢技术条件的主要目的是为轴承钢的生产厂和使用厂制订质量指标。这就意味着，轴承制造者应确信他所得到的钢定能满足生产高质量轴承的需要。这个技术条件还应是可实现的，在工业上能够指导钢厂用可靠的评级对每天生产的许多炉轴承钢进行前后一致的评定。对于美国的轴承制造者和轴承钢生产者来说，现行的ASTM轴承钢技术条件能够满足这些要求。

〔吕富阳译〕

2. 西德特殊钢微观夹杂物新的评定方法

K.G.H. 巴特尔德

目前使用的方法

已有文章^[1]详细地介绍了这种评级方法，有关的 操作规程可从其它文章^[2,3]中查得。因此，我想叙述一下与读者有关的钢厂和用户部门许多专家组成的专业组的意见，以及他们通过多次会议，交流经验，而得出的如下结论：

1. 对国际上使用的方法进行评价并从金相专家的观点对这些方法进行估价是必要的。此外，还要对所得结果提供的信息或陈述结果的方式如何影响炉批钢材的质量等级或确保钢材的使用质量做出适当的评价。

2. 要决定在不久的将来，能否用电视显微镜定量图象分析的新方法取代在普通显微镜上的图谱比较评级法。

3. 采用哪种现行的显微评定方法操作简便，并能获得最佳的信息数据，以及它们的适用性如何？在特殊钢特别是滚珠和滚柱轴承钢方面，检验费用、简便易行及其应用的分类系统等都是十分重要的因素。

4. 测量和计算结果应能容易地输入控制统计质量的计算机。为了确保质量判定的可靠标准，应能使钢铁生产者和质量检查员容易理解这些结果。

5. 由第1~4点结果可以预料如下：由于迄今使用的各种评级方法，没有一种能获得理想的结果，所以，得通过选择国际上现行标准中所有的优点、而不考虑其缺点的方法找到一种折衷的方案。

为了如下简单目的，即为了描述某炉或某批钢材的清洁度，可对国际上采用的很多评级方法稍作评论。在这点上，国际标准化组织（ISO）所作旨在统一各种评级方法的努力无疑是十分有

用的。对现有各种评级方法考虑了如下几种:

1. JK 夹杂物评级图 (示如图 1), 该评级图被美国材料试验协会在测定钢中非金属夹杂物含量的推荐方法 (ASTM E45-63) 中所采纳。

2. 迪尔加滕 (Diergarten) 夹杂物评级图, 与适用于酸性炉冶炼钢而绘制的 JK 评级图相反, 该评级图采用碱性钢渣的典型照片。

3. ΓOCT 1778 片状夹杂物评级图, 示出了各种类型的夹杂物。

4. 美国汽车工程师协会 (SAE) (J422) 的夹杂物评级图, 该图被 ASTM 作为图 2 或 C 法采用于 E45-63 中。

5. ASTM E 45-63 的 D 法所用的第 III 夹杂物评级图, 该图对用特种冶炼工艺生产的钢具有代表性。

6. 英国使用的弗克斯 (FOX) 公司夹杂物评级图。

7. 苏联滚珠和滚柱轴承钢非金属夹杂物显微评定方法 (ΓOCT 801-60) 所用的滚珠和滚柱轴承钢片状夹杂物评级图, 采用了迪尔加滕系夹杂物评级图。

8. 下列各公司例如 K.G. 舍费尔 (Schäfer) 公司、或 R. 博施 (Bosch) 公司的评级图。

9. 按照各国的国家标准, 例如波兰的 PN67/H84041 或日本所采用的方法而选用的其他评级图。这些方法已经影响到一些取得生产方法许可的国家的生产使用。

常规评定方法无疑是很多的。同时, 我们不能忽视用电视显微镜测定面积的自动分析仪制作者们的意见。不同的浅灰色调使得自动分析仪能区别出硫化物和氧化物。我想提一下我国研究团体在这方面所持有的观点, 他们对这种自动分析仪的发展, 尤其是在科研领域内的应用给予很高的评价。然而, 对于工场通过快速制备无划伤的金相试样来控制钢材质量来说, 不能期望不久的将来, 现有许多质量控制部门, 尤其是那些较小的钢材用户都采用这些价格昂贵的仪器。经验告诉我们: 有很多理由要对细小的

非金属夹杂物进行评定，而这些理由都可以成为单独的题目加以论述。因此，作为一种新的常规方法的应用，需着重要求提供有关非金属夹杂物表面面积的数据，以便为后者提供对比资料。

新图谱的制订

某种评级方法所能提供的信息价值一直是许多讨论的题目。制备金相试样的成本实际上都是相近的。优先考虑两类主要夹杂物的评定。在标准中大量涉及的是第1类夹杂物，通过与各类夹杂物评级图相比较记录下最大夹杂物的尺寸，然后确定大量金相试样的最大夹杂物的平均值。这种方法的优点在于测量简单，仅对少数夹杂物予以计算。

本文试图以下述例子说明这种方法的缺点。电炉炼钢工作者都想知道经不同脱氧方法或真空处理后哪炉质量最佳。比如，两炉钢的硫化物和氧化物的最大级别可能是相同的，但是尺寸一样大小的夹杂物的数量可能有很大差别。通过分析测定钢中硫含量及氧含量可更清楚地分清这点。此外，没有关于夹杂物分布的数据。这里总指数和K对第2类夹杂物是很有用的。当然，如果按照尺寸大小把所有可见的夹杂物都加以计算那是很费时间的。但在很多情况下，在影响不大时可以忽略基体上一些小的无害的夹杂物，而从某一临界尺寸以上的夹杂物算起。这一临界尺寸可以商定。通过将每种计算的尺寸归成一个系数和将所得结果相加，我们可以得到一个能提供大量数据的单一数字。在显微镜下检验人员的任务，将不再是计算和记录而是传递到一个价廉的计算打字机，后者打印出与计算程序相符、供输入计算机的数据，以便计算机在给定的生产周期内进行大量的运算。这种计算机在西德已经使用。旧的迪尔加滕评级图有一些不足之处，它不是以充分的数学系统学为基础，而这种数学系统学是目前常用的大量数字运算必不可少的条件。不用说，每个用户也是在上述标准的基础上对钢厂的供货质量进行评价的。

我们决定制订一个可以容纳两种方法的评级图。但我们优先按总指数和K进行评定。比较评级图谱应满足下列要求：

1. 非金属夹杂物要在放大 100 倍的显微镜下观察，并要在显微镜视场直径为 80 毫米的范围内确定与其类型、个数及大小相应的比较图片。

2. 应根据确定的方案用图与图之间足够小的级差，将夹杂物尺寸分级。评级图不仅应包括细小的夹杂物（比如真空冶炼钢中出现的夹杂物），而且还应制订一个当实际长度超过视场直径 1.5 毫米时与宏观夹杂物相衔接的评级图。

3. 按夹杂物类型分类时，应当注意到工艺不同而造成形状的多样性。但是，还必须按基本形状分类。按照通常经验，根据夹杂物出现的频数和延伸程度（也就是长宽比）记录四种基本类型夹杂物及其相关的变态。

4. 为便于将来或现在借助于自动电视显微镜和计算机测定非金属夹杂物含量，确定的分类级别应与自动测定和运算方法不相矛盾，并且允许进行换算。

5. 按夹杂物类型和大小进行分级时，应遵循一种简单的数字体系，这个数字体系可测定特征值，并可用最少的时间进行评级。对每一类非金属夹杂物应给出描述其类型和大小的 一对数字。

6. 最后，新图谱各级的含量和级别系列的设计，应将原用图谱的有用特点充分纳入，以便能将新旧图谱的试验结果进行比较，防止旧图谱成为无用。

根据这些原则，研究组制订了新的评级图谱。现在，我通过一些研究组成员所讨论和修订的实例来说明这一图谱。

正如日常显微检验所揭示的那样，目前的炼钢工艺主要是碱性炉冶炼，用铝镇静后钢锭按炉轧成一定尺寸的钢坯或钢棒，所含的氧化铝夹杂物恰好处在 ASTM 标准图 I 的 2 级到 3 级的尺寸范围，现在金相工作者必须确定是否是 2 级，还是 3 级。图 1 右面纵向排列的图表示建议修正的方案，其中所示的是真实的氧化铝夹杂物，各级之间长度增加 1.5 倍。为了清楚起见，略去了在重熔钢中大量出现的连续细小夹杂物，或者宏观夹杂物。为了按

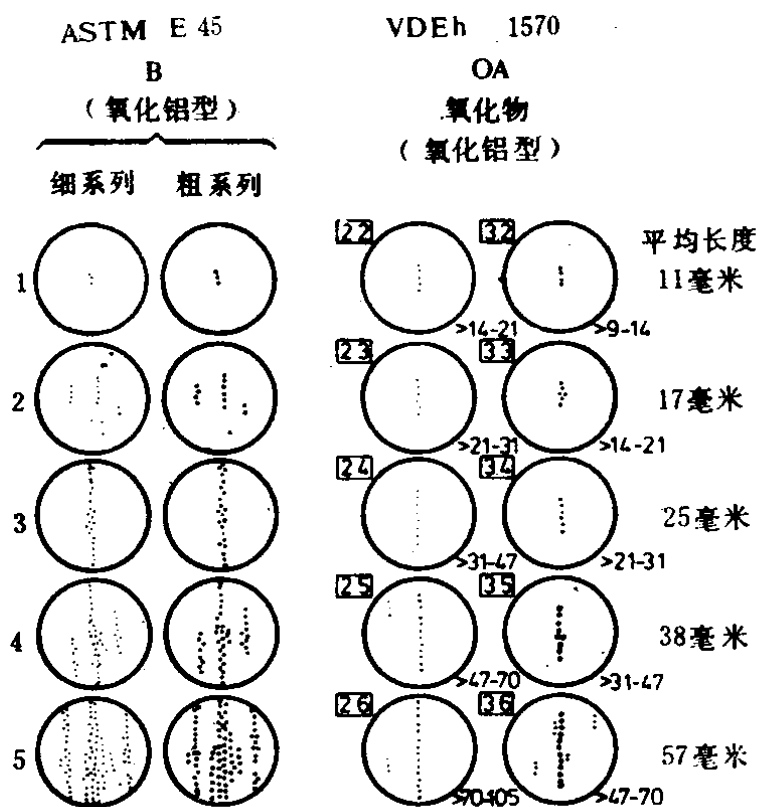


图 1 ASTM E 45-63法图 I 和VDEh 1570 氧化铝夹杂物比较

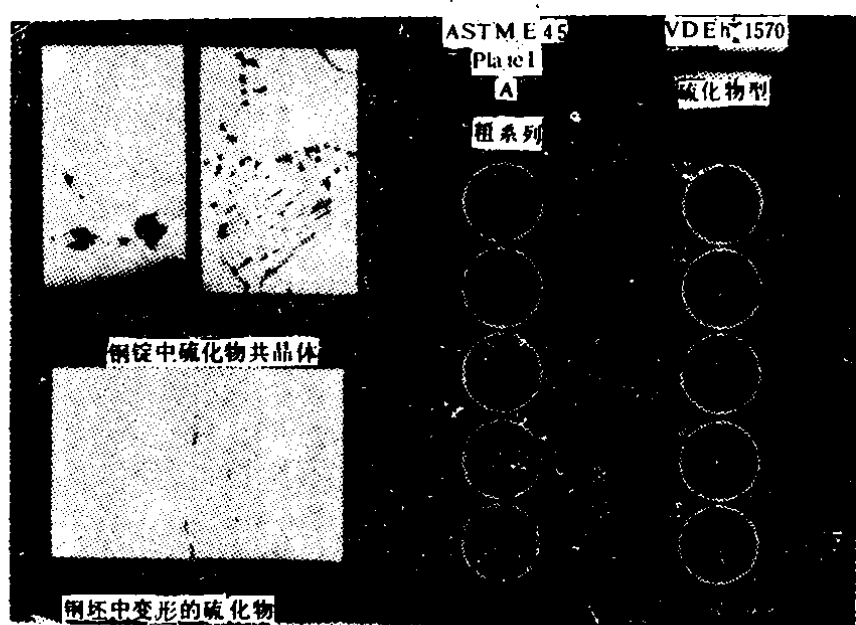


图 2 ASTM E 45-63法图 I 和VDEh 1570 硫化物夹杂物外形比较

数字体系将数据输入计算机，可以利用简单整数0～9，而不考虑小数点后的任何数值。按此格式，我们可以表达整个纵列上下

每一个图。

再举两个在金相工作者看来是不愉快的例子,例如按 ASTM 图 1, 关于硫化物型的夹杂物的分类经常发生困难(图 2)。

检验者参照这种被称做“雨点状图”的评级图实际比较测定时会出现许多困难。为了阐明这个问题,列出了典型的鸟巢形硫化物共晶体(如图 2)。如果将热轧钢坯或钢棒中这种硫化物带加以改变,那么,短的硫化物就不会是均匀分布,而是像图 2 所示的那种典型形状。在此,暂时先不考虑高碳滚动轴承钢,而集中讨论为改善切削性能含硫量为 0.020~0.040% 的渗碳钢。雨点状图与真实硫化物形状之间的差别变得更大。为此,最近设计了考虑硫含量和硫化物分布,从 0~9 级的近似纵列图谱。

如果我们考虑 JK 评级图或 ASTM E 45-63 图 I 的其它内容的话,点状夹杂物的比较评级仍然是不现实的。我认为,无论哪一位观测者都会察觉到 ASTM E 45-63 图 I 的“星空状图”不能典型地描述碱性炉熔炼的钢中实际存在的点状氧化物夹杂物

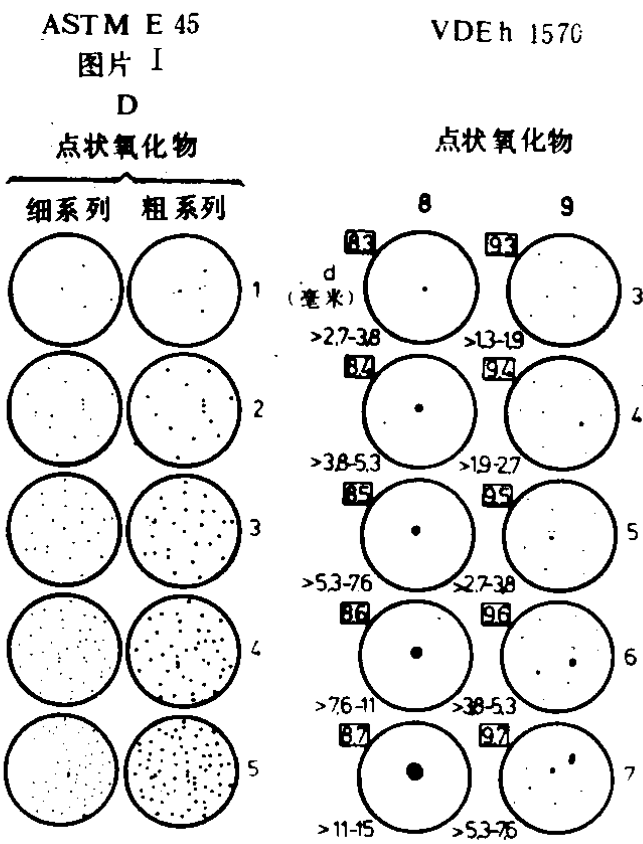


图 3 点状氧化物型夹杂物比较

(图3)。在酸性炉熔炼的钢中这种星空状夹杂物几乎都存在，而当前这种酸性钢在国际上已微不足道。图3中右侧纵列图是建议采用的改进图谱这方面希望注意下述各点：在ASTM E 45 63图I中，我们把夹杂物分为粗和细两个系列，尽管夹杂物的面积不同，但给予同一大小的级别。关于VDEh纵列图，力图使各级点状夹杂物的面积增加符合数学定律。即各级图之间夹杂物面积依照几何级数公式 $F = 2^n$ 增加（式中 F 表示面积； n 是图的级数）。这样图与图之间的夹杂物面积按2倍增加。新的VDEh纵列图谱所有级别图都按此公式增加。它表明评为相同级别时，不管夹杂物的形状和类型如何，夹杂物量总是相同的。

我们是在系统论基础上提出上述图谱的。主要目的并不是为了使前述各种评定方法无用，而是为了使新近使用的自动测定夹杂物面积的数据可资比较（不管使用的评级方法为何）。前面提到的各种评级方法应是可以变换的。苏联标准ГОСТ 1778包括

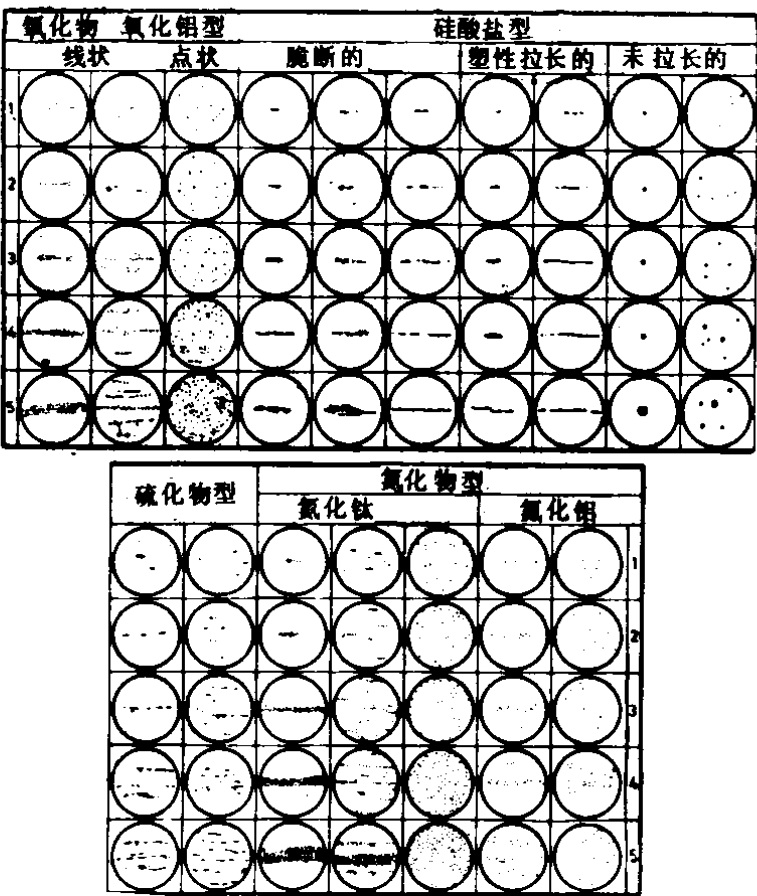


图 4 ГОСТ1778各种形状的夹杂物对比图