

ASTM E 1268-2001

评定显微组织带状物等级或取向的标准实施规范

本标准是以固定代号 E 1268 发布的。其后的数字表示原文本正式通过的年号；在有修订的情况下，为最后一次修订的年号；圆括号中的数字为最后一次重新确认的年号。上标符号()表示与上次修改或重新确定的版本有编辑上的变化。

绪论

在金属和合金的树枝晶凝固过程中会发生偏析，偏析通过后续的变形重新排列。固态转变受微观偏析模式的影响，微观偏析模式导致了分层或带状显微组织的形成。最常见的呈带状分布的例子是锻轧后的低碳和低碳合金钢中层状分布的铁素体-珠光体组织，另一些带状物的例子包括过共析工具钢中的带状碳化物以及热处理合金钢中的带状马氏体。本标准包括了叙述带状组织形态、表征带状物级别的方法以及用来判别热处理样品中带状物之间硬度差异的显微硬度试验方法。体视学测量法也可以用来表征非带状但存在第二相粒子的显微组织沿变形方向的不同级别的取向(伸长)。

1. 范围

1.1 本标准基于显微组织的外观形态定性叙述了带状或定向显微组织的特征。

1.2 本标准叙述了显微组织带状物等级或取向定量测量的体视学测定方法。

注 1：尽管用体视学测定方法来评定带状物的等级或者分布，但是这种测量方法仅用于平行于变形方向的平面(也就是纵向面)，并且对带状物的三维特征或分布不进行评定。

1.3 本标准叙述了显微硬度测试方法，这种方法用来评定在热处理钢存在带状物时其硬度量值上的差别。例如全马氏体碳素钢和合金钢(含碳 0.10-0.65%)，在淬火状态下，通过显微硬度的测定可以评定基体及偏析区的碳含量。

1.4 本标准不适用于用化学分析方法来评定带状组织。

1.5 本标准仅涉及已推荐的试验方法，标准里没有再需要解释的内容，如定义或者确定允许使用该标准的限定。

¹ 本标准由 ASTM E04 金相委员会归口，由 E04.14 定量金相分委会直接负责。

现行版本批准日期为 2001 年 12 月 10 日，2002 年 2 月出版。最初是以 E1268-88 出版的，上一版本为 E1268-99。

² ASTM 标准年刊，01.03 册。

³ ASTM 标准年刊，01.04 册。

⁴ ASTM 标准年刊, 03.01 册。

1.6 测量值以 SI 为单位来表示, 用 SI 单位表示的数值应视为标准值。所列的近似等效的以英寸-磅为单位表示的数值在圆括号中。

1.7 本标准不会引发任何安全问题, 如果有的话, 也跟它的使用有关。本标准的使用者在使用标准前有责任确立合适、安全、健康的操作方法以及判定受规则限制的适用范围局限性。

2. 引用文件

2.1 ASTM 标准:

A370 钢产品机械测试的试验方法及定义²

A572/A572 M 高强度低合金钒组织钢技术规范³

A588/A588M 高强度低合金组织钢 4 英寸(100mm)厚屈服点最小为 50ksi(345MPa)

E3 金相样品制备的标准方法

E7 金相学有关术语标准定义

E140 金属硬度换算表

E384 材料显微硬度的试验方法

E407 金属和合金微蚀的测试方法

E562 用系统的人工逐点计数法测定体积因数的试验方法

E883 反射光显微摄影⁴

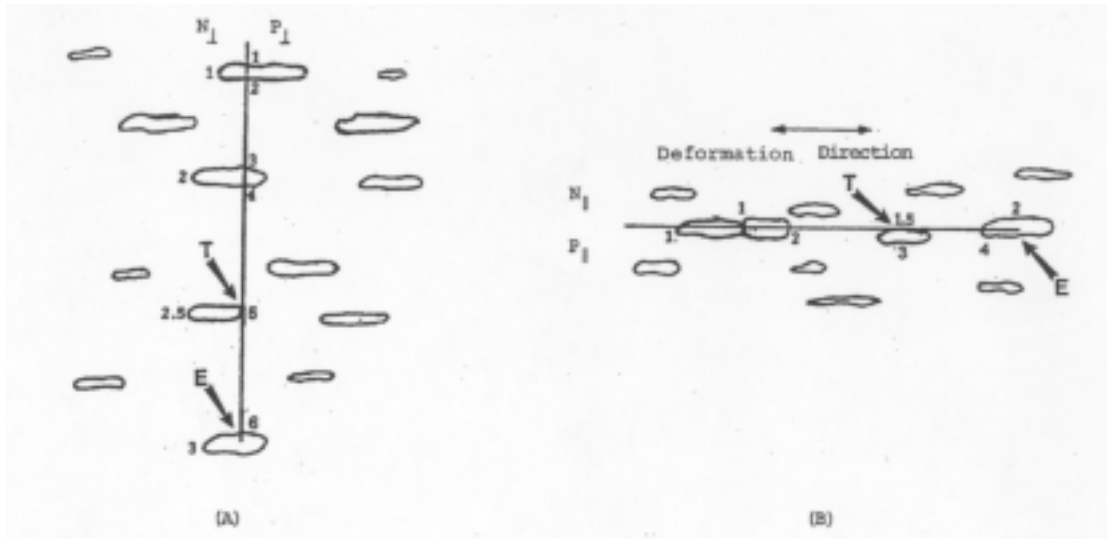
3. 术语

3.1 定义——本标准中所用术语的定义见术语标准定义 E7。

3.2 本标准采用如下术语和定义:

3.2.1 带状显微组织 banded microstructure——两相或者多相显微组织中一相或多相或组分的析出, 也可以是单相或单组分显微组织中的偏析区域, 被拉长后形成平行于变形受力轴向上的明显的层状组织。一些其它的因素也可以影响带状物的形成, 例如, 热加工终止的温度、热加工或冷加工变形的程度、或者由于淬透性不够或淬火率不足造成的裂变。

3.2.2 特征截点 feature interceptions——一个被测定相或组分被检验网格线穿过的颗粒(或者颗粒群)的个数(见图 1)。



注 1——所示测试线方向与变形力作用轴方向垂直(A)，或与变形力作用轴方向平行(B)。图中 N 、 N 、 P 及 P 的计数是从上到下 (A) 或者从左到右 (B) 的。

注 2——T 表示颗粒与网格线相切，E 表示网格线终止于颗粒内。两种情况均做了图示。

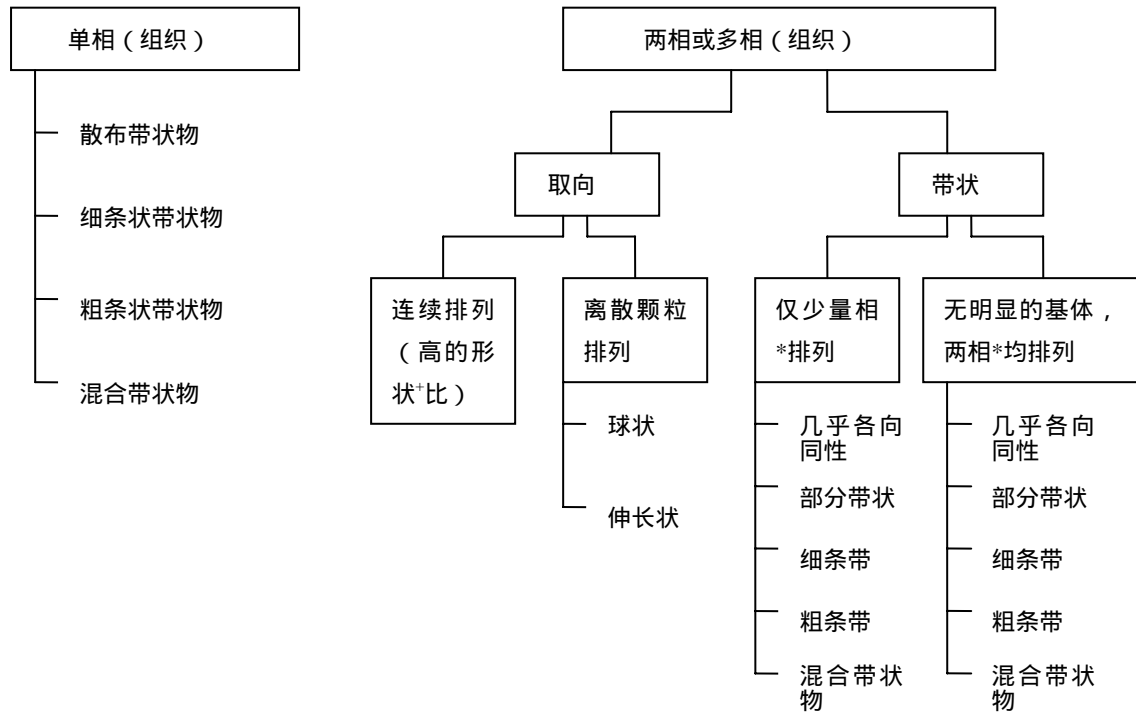
图 1 取向显微组织中颗粒截点(N)和边界交点(P)计数说明

3.2.3 特征交点 feature intersections——相或组织界面与基体相之间的边界线被检验网格线穿过的数目(见图 1)。对于基体中的独立颗粒，特征交点数等于特征截点数的两倍。

3.2.4 取向组元 oriented constituents——一种或多种伸长状的第二相(组织)沿平行于变形力作用轴的方向呈非带状方式分布(也就是随机分布)。伸长程度随相或组织尺寸和可塑性的不同而不同，也随热加工或冷加工变形的程度不同而不同。

3.2.5 体视学方法 stereological methods——通过二维截面的测量法来表征三维显微组织特征的方法。

注 2——附录 A1 列举了显微组织的例子以便于说明术语的运用，术语提供了一个对于带状物特征及级别或者取向的定性描述。图 2 描述了分类方法。



+ 长/宽

* 或者组分

图 2 取向或带状显微组织的定性分类图解

3.3 符号：

N_{\perp} = 检验线垂直于变形方向时的特征截点的数目。

N_{\parallel} = 检验线平行于变形方向时的特征截点的数目。

M = 放大倍率。

L_t = 以 mm 为单位的检验线的真实长度，也就是检验线长度除以放大倍率 M 。

$$N_{L\perp} = \frac{N_{\perp}}{L_t}$$

$$N_{L\parallel} = \frac{N_{\parallel}}{L_t}$$

P_{\perp} = 检验线垂直于变形方向时的特征交点的数目。

P_{\parallel} = 检验线平行于变形方向时的特征交点的数目。

$$P_{L\perp} = \frac{P_{\perp}}{L_t} \cong 2N_{L\perp}$$

$$P_{L//} = \frac{P_{//}}{L_t} \cong 2N_{L//}$$

n = 测量视场的数目或者显微压痕的数目。

$$\bar{N}_{L\perp} = \frac{\sum N_{L\perp}}{n}$$

$$\bar{N}_{L//} = \frac{\sum N_{L//}}{n}$$

$$\bar{P}_{L\perp} = \frac{\sum P_{L\perp}}{n} \cong 2\bar{N}_{L\perp}$$

$$\bar{P}_{L//} = \frac{\sum P_{L//}}{n} \cong 2\bar{N}_{L//}$$

\bar{X} = 平均值 ($\bar{N}_{L\perp}$, $\bar{N}_{L//}$, $\bar{P}_{L\perp}$, $\bar{P}_{L//}$)

s = 标准偏差()。

t = 测定 95% 置信区间时测量的视场数与标准偏差的乘积。

95% CI = 95% 置信区间。

$$95\% CI = \pm \frac{ts}{\sqrt{n}}$$

%RA = 相对精度百分数，%。

$$\%RA = \frac{95\% CI}{\bar{X}} \times 100$$

SB = 带状物中心到中心的平均距离。

$$SB_{\perp} = \frac{1}{\bar{N}_{L\perp}}$$

V_v = 带状相 (组织) 的体积分数。

= 带状物边缘到边缘的平均距离，亦即平均自由程。

$$\lambda_{\perp} = \frac{1 - V_v}{\bar{N}_{L\perp}}$$

AI = 各向异性指数。

$$AI = \frac{\overline{N}_{L\perp}}{\overline{N}_{L\parallel}} = \frac{\overline{P}_{L\perp}}{\overline{P}_{L\parallel}}$$

I_{12} = 二维抛光面上部分取向的线性组织成分取向等级。

$$\Omega_{12} = \frac{\overline{N}_{L\perp} - \overline{N}_{L\parallel}}{\overline{N}_{L\perp} + 0.571\overline{N}_{L\parallel}}$$

$$\Omega_{12} = \frac{\overline{P}_{L\perp} - \overline{P}_{L\parallel}}{\overline{P}_{L\perp} + 0.571\overline{P}_{L\parallel}}$$

4 标准摘要

4.1 显微组织带状物等级或取向用平行于产品加工方向的金相样品来定性描述。

4.2 体视学方法用来测定单位长度上的带状物数目，带状物之间或者颗粒之间的距离以及取向或者各向异性的级别。

4.3 显微硬度测试用来测定样品中每种带状物的硬度以及不同带状物之间硬度的差异。

5. 意义和用途

5.1 本标准用来评定当变形或生产中具备形成带状物或取向的条件时，金属或其他材料的显微组织中带状物的特征和级别或取向。

5.2 带状或有取向的显微组织可以出现在单相、两相或多相金属和材料中。取向或带状物的形成受工艺因素的影响，例如凝固速度、偏析程度、热加工或冷加工的程度、所用变形工艺的种类、热处理方式等等。

5.3 显微组织带状物或取向影响力学性能的均匀性，力学性能随与变形方向相关的检验方向的不同而不同。

5.4 体视学方法可用于测定任何金属或材料中显微组织带状物特征和级别或取向。显微硬度测试方法应仅被用于测定热处理后的金属，尤其是钢铁材料中的带状物硬度上的差异。

5.5 独立的偏析可能也会出现在其它一些类似的显微组织中。体视学方法不适用于测定个体特征物，可用标准测量方法来确定特征物的尺寸。显微硬度方法可用于这样的组织。

5.6 这些检验方法出具的结果可用于交货时证明材料合格，这与购买方与制造商之间达成的协议条款是一致的。这些检验结果可用于不同生产工艺的比较或者工

艺的改变，或者为材料的组织 - 性能 - 行为的研究提供数据。

6. 设备

6.1 一台金相(反射光)显微镜用来观察试样的显微组织。观测带状物或取向最好使用小放大倍率，比如 50 倍到 200 倍。

6.2 体视学测定通过在显微组织的投影图像上或显微照片上加一个检验网格(由一系列间距紧密且长度已知的平行线组成)来实现。通过使检验线平行或垂直于变形方向来进行测定。网格线的总长度应不少于 500mm。

6.3 体视学测量可用半自动扫描图像分析仪器来完成。图像上的检验网格投影到数字化的刻度盘上，并用一个指针来计数。

6.4 对于某些显微组织，带状分布或有取向的组织间有足够的对比度，这时可以用一台自动图像分析仪器来计数，TV 扫描线形成一个实时图像，或者图像卷积，检验网格由电子方法或者其它方法产生，这样就使用了数字化图像而不是塑料覆盖图的网格线。

6.5 显微硬度计用来测定热处理钢或其它金属中不同类型带状物的硬度。努普硬度计特别适合于这类测试。

7. 取样和试样

7.1 一般说来，应在最终产品上取样，取样应在所有生产步骤完成之后进行，尤其是那些会影响带状物特征和级别的生产步骤。因为带状物等级或取向在产品横截面内会有所不同，所以检验面应取整个横截面。如果截面尺寸太大以致于不能取到完整的横截面，那么应在标准规定位置取样，比如表面下、中部(四分之一处)以及中心处，或者在制造方-购买方协商规定的特定位置。

7.2 所存在的带状物等级或取向是用纵向试样测定的，也就是试样的抛光面平行于变形方向。对于板带产品，也可以根据产品的应用场合来决定取向面（即抛光面平行于板带表面）在表面下、中间厚度处或者中心位置处取样及检测。

7.3 为了使材料合格或达到质量控制的目的，带状物或取向也可以在产品的中间状态进行评定，比如铸坯和型钢。但是这些检验结果不能和最终状态产品的检验结果直接关联。应按 7.1 和 7.2 所述制取试样并符合浇铸或连铸板/线坯检验位置选择的附加要求。这种检验试样的数目和位置应由制造方-购买方协商确定。

7.4 单个金相试样的抛光面应尽可能覆盖整个横截面。试样在变形方向上整个横

截面的长度应不小于 10mm(0.4 英寸)。如果产品尺寸太大不能取到整个横截面，那么在指定位置取得试样的抛光面面积最小应达到 100mm^2 (0.16 英寸²)，纵向方向上的试样长度不小于 10mm (0.4 英寸)。

⁵Lépine, M., “Image Convolutions and their Application to Quantitative Metallography,” Microstructural Science, Vol.17, Image analysis and Metallography, ASTM International, Metals Park, OH, 1989, pp.103-114.

⁶Flower, D.B., “A Method for Evaluating Plasma Spray Coating Porosity Content Using Stereological Data Collected by Automatic Image Analysis,” Microstructural Science, Vol.18, Computer-Aided Microscopy and Metallography, ASTM International, Materials Park, OH, 1990, pp.13-21.

8. 试样制备

8.1 金相试样的制备按 E3 标准推荐的方法执行。制备方法必须能够显示显微组织而没有制备过程引起的变形或污迹等额外影响。

8.2 根据试样的性质决定是否需要镶样，如果需要镶样应使镶嵌试样适合使用自动抛光设备进行抛光。

8.3 通过任何合适的化学或电解腐蚀方法，或者通过染色等方法使得显示的显微组织具有强烈的对比度。E407 试验方法中列出了针对大多数金属及合金适用的腐蚀剂。对于某些材料，由于各组分之间反射能力的差别就可能产生足够的对比度，因而就不需要再进行侵蚀。

9. 校准

9.1 用台式测微计测定投影图像或照相平面的放大倍率。

9.2 用刻度尺测定网格覆盖图上检验线的长度，以 mm 为单位。

10. 步骤

10.1 将抛光及腐蚀好的试样置于显微镜载物台上，选择合适的低放大倍率，例如 50 倍或 100 倍，观察显微组织。调整试样使变形方向在投影屏幕上保持水平。任意移动载物台随机选取初始视场，无需进一步调节载物台接受这个初始视场。

10.1.1 大多数测量使用明场光源。但是，根据所要检验的合金或其它材料，其它光源模式如偏振光或微差干涉衬度也可以使用。

10.1.2 在适当的放大倍率下，将实验网格置于随机选取的视场显微照片上进行测

量（见 E883 导则）。

10.2 定性确定所存在的带状物的性质及级别或取向符合下列条款。确定组织以及对存在的组织进行分类可能需要在较高的放大倍率下进行观察。图 2 描述了分类方法。

10.2.1 测定单相或单组分中存在的带状物或取向其侵蚀明暗度是否会有变化，例如在回火马氏体合金钢样品中由偏析产生的，或者由于在两相或多相试样中一相或多相（组织）会优先结合排列。

10.2.2 对于两相或多相试样中的取向或带状物，测定是否仅仅是较少的相或组织在基体内部会优先结合排列。另一种情况就是两相都会结合排列而没有任何一相是作为基体相出现的。

10.2.3 对于两相（组织）或者多相（组织）显微组织，测定第二相（组织）是否是以层状方式排列成带状的或者是以非带状、随机分布的方式成取向的。

10.2.4 如果非带状、无取向基体内存在带状分布的或有取向的第二相或第二相组织，测定成带状的或有取向的组织是不是以离散颗粒（颗粒可以是球状的也可以是伸长状的）的形式存在的，或者是以连续排列的组织存在的。

10.2.5 按照第二相（或者单相显微组织中的或明或暗的侵蚀区域）的存在方式对第二相的分布形态进行描述，例如各向同性的（无取向的或非带状的），几乎各向同性的，局部呈带状的，部分取向的，普遍带状的、细带状物，粗带状物，粗细相间的混合带状物，完全取向的等等。

10.2.6 附录 A1 中列举了显微组织实例来说明这些术语的使用，并提供了一个带状物性质和级别或取向的定性描述。图 2 描述了分类方法。

10.3 将网格线置于随机选择视场（见 10.17）的投影图像或显微照片上，使网格线与变形方向垂直。网格的放置不带有操作者的偏见。判定哪些相或组织是呈带状的。如果两个相或组织都呈带状，且没有明显的基体相，选择其中的一个相（组织）来计数。通常，最好选择数量最少的带状相来计数。根据测量目的或其他一些特定要求使使用的网格方向垂直（ ）或平行（ ）于变形方向，或者测量 N ，或者测量 P ，或者两者都测量（见 10.3.1-10.3.4）。

表 1 N 和 P 的计数规则

注 1——图 1 图示了部分计数规则。

1. 截点 N——数出网格线穿过的组织界面内单个颗粒、晶粒或斑点的个数。

2. 交点 P——数出网格线穿过的不同于相界或组织边界⁴的边界线的数目。

如果网格线穿过相界面或组织界面内两个或两个以上相连的颗粒、晶粒或斑点时(穿过的颗粒间无任

3. 何其它相或组织)将其记为一个截点(N=1)。对于交点 P,不要数颗粒、晶粒等之间的相界或组织边界。这种情况大多出现在较严重的带状组织 N_L 及 P_L 的测量中。

4. 当检验线与颗粒、晶粒或斑点相切时, N 记为 1/2, P 记为 1。

5. 如果检验线终止于一个颗粒内, N 记为 1/2, P 记为 1。

6. 如果检验线完全位于相或特征界面内(这种情况发生在带状较严重的材料进行平行于变形方向的计数时), N 记为 1/2, P 记为 0。

⁴如果可能的话,侵蚀试样时使相界或组织边界不要显示出来,仅显示与其不同的边界线。

10.3.1 N_L 的测定——使检验网格垂直于变形方向,数离散颗粒或检验线通过的特征截点的数目。对于两相组织,数出相界面内所有的截点,也就是那些明显是带状物的部分以及不是带状物的部分。当出现两个或多个相连的颗粒或晶粒,或相或组织斑点被网格线穿过,即其中不存在其他类似于颗粒、晶粒,斑点的相或组织时,将它们记为一个截点(N=1)。相切时记为二分之一一个截点。如果检验线终止于一个颗粒、斑点或晶粒内部,记为二分之一一个截点。表 1 给出了计数规则而图 1 图示了计数方法。计算出在垂直于变形轴向方向上每单位长度上的特征截点数目。 N_L 按下式计算:

$$N_{L\perp} = \frac{N_{\perp}}{L_t} \quad (1)$$

式中:

N = 截点数目

L_t = 以 mm 为单位的检验线的真实长度,也就是检验线长度除以放大倍率 M 。

10.3.2 N_L 的测定——在测定 N_L 的同一视场和位置上旋转检验网格使检验线平行于变形方向。小心移动检验网格使网格线能够覆盖任一特定的显微组织特征物。数出所有特征截点 N , 不管它们明显是带状区域的部分或者不是带状区域的部分(方法与 10.3.1 所述方法相同)。计算出在平行于变形轴向方向上每单位长度上的特征截点数目。 N_L 按下式计算:

$$N_{L//} = \frac{N_{//}}{L_t} \quad (2)$$

式中：

L_t = 检验线的真实长度，与 10.3.1 中的定义相同。

10.3.3 P_L 的测定——使检验网格垂直于变形方向，数出检验线与一个颗粒、相或组织边界相交的次数 P ，无论这个颗粒、相或组织是带状物的一部分或者不是带状物的一部分。颗粒、晶粒或斑点之间的相或组织边界不要进行计数。仅仅数出颗粒、晶粒或斑点之外的相或组织的边界交点。相切时记为一个交叉点。表 1 给出了计数规则而图 1 图示了计数方法。计算出在垂直于变形轴向方向上每单位长度上的边界交点数目 P_L ， P_L 按下式计算：

$$P_{L\perp} = \frac{P_{\perp}}{L_t} \quad (3)$$

式中：

L_t = 检验线的真实长度，与 10.3.1 中的定义相同。

10.3.4 P_L 的测定——在测定 P_L 的同一视场和位置上旋转检验网格使检验线平行于变形方向，数出检验线与所有颗粒、相或组织边界的交点数（方法与 10.3.3 所述方法相同）。计算出在平行于变形轴向方向上每单位长度上的边界交叉点数目 P_L ， P_L 按下式计算：

$$P_{L//} = \frac{P_{//}}{L_t} \quad (4)$$

式中：

L_t = 检验线的真实长度，与 10.3.1 中的定义相同。

10.3.5 上述测量方法应在每个试样或每个特定位置至少重复测量 5 次，每个测量位置的选择不带有操作者的偏见。如果带状的情况在纵向截面上出现得很明显，可在特定位置进行测量，例如表面下、中间厚度处以及中心位置，或者在一系列沿厚度方向的位置上进行测量，以此来评定带状情况随位置不同的变化情况。

10.3.6 附录 A1 给出了使用上述测量方法的示例。

10.4 呈带状分布的热处理显微组织，尤其是合金钢，上述显微组织的测定方法可通过测定带状物的平均显微硬度予以补充。以判定存在带状物的性质为例，侵

蚀马氏体亮区和暗区的显微硬度是不同的,贝氏体和马氏体的显微硬度也是不同的。

10.4.1 在每一种带状物上压下努普压痕。调整加载力使带状物内的压痕保持完整。如果可能的话,应使用 500gf 的加载力,尤其是要据此推测洛氏硬度 HRC 的时候。试验应按照 E384 试验方法给出的条款执行。

10.4.2 每种类型的带状物至少取 5 个压痕作为平均硬度(侵蚀马氏体的亮区和暗区或者贝氏体和马氏体,取决于带状物的性质)。对于小规模偏析,可能无法取得 5 个或者更多的硬度实验值。

注 3——如果带状物间的努普硬度值差值不大,可用大多数统计学课本中描述的 t-检验法来确定差值的统计学意义。

10.4.3 努普硬度值(HK)与与其等效的洛氏硬度值的转换必须谨慎进行,转换过程中可能引入相当大的误差,尤其是当实验所用的加载力小于 500gf 的时候。E140 标准的表格中未给出硬度值在 HK257 以上的钢铁材料的 HK 向 HRC(或其它硬度值)的转换值。但是,A370 试验方法及定义中给出了包括热处理钢在内的 HK 到 HRC 的硬度转换范围。附录 A2 给出的等式对于 HK 与 HRC 之间的转换可能是有帮助的。

10.4.4 对于淬火、含碳量在 0.10-0.65%之间的碳素钢及合金钢来说,基体及偏析带或偏析斑的碳含量可通过淬火硬度来估算。在淬火状态下基体和偏析一定是完全的马氏体(除了正常少量的残余奥氏体)。根据硬度级别可将基体和偏析区的努普显微硬度(500gf)值转换成 HRC(附录 A2 的(等式 1)和(等式 3)),并用等式 2 或等式 4(附录 A2)来估算碳含量。

11. 结果的计算

11.1 所需要的 n 个视场测完之后,或者 n 个显微压痕测完之后,计算每个测量结果的平均值,将测量结果的总和除以 n 计算出 $\bar{N}_{L\perp}$, $\bar{N}_{L//}$, $\bar{P}_{L\perp}$, $\bar{P}_{L//}$ 的平均值或者每种类型带状物的努普显微硬度平均值。对于较严重的带状显微组织, $\bar{N}_{L\perp}$ (数字上的横线表示平均值)是每毫米带状物的数目(二分之一 $\bar{P}_{L\perp}$ 约等于 $\bar{N}_{L\perp}$)。

11.2 按下式计算 n 个视场或 n 个显微压痕测量结果的标准偏差:

$$s = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [X_i - \bar{X}]^2 \right]^{1/2} \quad (5)$$

式中：

X_i = 单个场测量值

\bar{X} = 平均值。

测量的平均值和标准偏差可用大部分小型计算器很简单地计算出。

11.3 按下式计算每个测量值的 95% 置信区间，即 95% CI：

$$95\% CI = \pm \frac{ts}{\sqrt{n}} \quad (6)$$

式中：

s = 标准偏差

t 随测量值个数的不同而变化。

每个测量值用平均值 \pm 95% CI 来表示。

表 2 95% 置信区间计算时所用的 t 值

注 1—— n 是测量值的个数。

n-1	t	n-1	t
2	4.303		2.365
3	3.182	7	2.306
4	2.776	8	2.262
5	2.571	9	2.228
6	2.447	10	

11.4 按下式计算每个测量值的相对精度百分数，即 %RA：

$$\% RA = \frac{95\% CI}{\bar{X}} \times 100 \quad (7)$$

式中：

\bar{X} = 每个测量结果的平均值。

相对精度是各测量值受逐个视场的数据变化率影响的误差百分数的评估值。通常 30% 或 30% 以下的相对精度就足够了。如果 %RA 很高，可能需要测量更多的视场来改善相对精度百分数。

11.5 带状或取向相（组织）的平均距离（中心到中心） SB 可通过 $\bar{N}_{L\perp}$ 的倒数来确定：

$$SB_{\perp} = \frac{1}{\bar{N}_{L\perp}} \quad (8)$$

也可以计算平均自由程（边缘到边缘）。这需要通过计数法（见 E562 标准）或其它适用的方法来测定带状或取向相（组织）的体积分数。平均自由程 λ_{\perp} 可根据下式计算：

$$\lambda_{\perp} = \frac{1 - V_v}{\bar{N}_{L\perp}} \quad (9)$$

式中：

V_v = 是一个分数（而不是百分数）。

平均距离和平均自由程之间的差值给出了带状或取向相或组织的平均宽度的评估。

11.6 利用 11.1 的测量值按照下式计算各向异性指数 AI：

$$AI = \frac{\bar{N}_{L\perp}}{\bar{N}_{L\parallel}} \quad \text{或} \quad AI = \frac{\bar{P}_{L\perp}}{\bar{P}_{L\parallel}} \quad (10)$$

由于忽略了相切情况的影响及 $P_L = 2N_L$ 计数误差，这两个指数应近似相等。随机取向、非带状显微组织的各向异性指数是 1。随着取向程度或带状物的增加，各向异性指数随之增大且大于 1。

11.7 利用 11.1 中测定的 N_L 值或 P_L 值按照下式来计算二维抛光面上部分线性组织成分取向的取向等级 Ω_{12} ：

$$\Omega_{12} = \frac{\bar{N}_{L\perp} - \bar{N}_{L\parallel}}{\bar{N}_{L\perp} + 0.571\bar{N}_{L\parallel}} \quad \text{或} \quad \Omega_{12} = \frac{\bar{P}_{L\perp} - \bar{P}_{L\parallel}}{\bar{P}_{L\perp} + 0.571\bar{P}_{L\parallel}} \quad (11)$$

由于忽略了相切情况的影响及 $P_L = 2N_L$ 计数误差，这两个指数应近似相等。取向等级在 0（完全随机分布）到 1（完全取向）之间变化。

12. 试验报告

12.1 报告应记录有关试样、试样来源、试样位置、产品状态、分析日期、所测量的视场个数或者测量指数值、放大倍数等所需要的信息。

12.2 记录存在的带状物的性质和级别或取向的显微组织情况。

12.3 测量完成后列出平均值、标准偏差、95%置信区间和每个测量值（每种类型带状物的 N_L 、 M_L 、 P_L 、 R_L 以及 HK）的相对精度。其次列出 11.6 中计算的各向异性指数和 11.7 中计算的取向等级 I_2 。对于较严重的带状显微组织，列出 11.5 中计算的 SB 和 λ_{\perp} 。

12.4 对于测定带状物显微硬度的试样，如果需要的话计算出带状物间的努普硬度差值。将 HK 转换成 HRC（或其他硬度值）可能带来较大的误差（尤其是在试验力低于 500gf 的情况下）。应使用 A370 试验方法及定义或者附录 A2 中的等式进行转换。

12.4.1 对于含有马氏体基体及马氏体偏析区的淬火碳素钢及合金钢来说，基体及偏析区的碳含量可通过附录 A2 叙述的方法用淬火硬度来估算。这种方法仅适用于含碳量在 0.10-0.65% 之间的钢且基体和偏析必须都是马氏体。碳偏析的程度可通过这种方法进行估算。

13. 精度与偏差

13.1 没有能够严格确定带状物测量结果精度及测量误差的标准。

13.2 由于是在平行于变形方向取纵向金相试样进行带状物检测的，抛光面大于 5° 的偏差将会影响测量结果。

13.3 不恰当的试样制备将会影响检验结果。腐蚀必须在相与相或组织界面之间产生强烈的对比度。最好选用的腐蚀剂在给定的晶粒内能够不显示晶界。

13.4 带状物的等级或带状物的排列和宽度会沿试样的横截面变化。因此，评定特定位置的带状物及其排布特征是有必要的。

13.5 选用的放大倍数会影响检验结果。放大倍数须足够高以便能够准确数出特征截点或相界交点的数目。但是，应尽可能降低放大倍数使每条检验线穿过界面内适量的晶粒或颗粒。

13.6 检验线必须准确地与变形方向垂直或平行，才能准确计数并测定 N_L 、 M_L 、 P_L 和 R_L 。必须避免与垂直或平行方向大于 5° 的偏差。

13.7 通常，随着测量视场的增加，试验结果的统计学变化率减小。平行于热加工轴向方向上的测量结果的相对精度总是要差于垂至于变形方向上的测量结果的相对精度，这一点可通过附录 A1 中的试验数据加以证实。对于给定数目的测量视场，粗晶组织的统计学精度通常要优于细晶组织，各向同性组织的统计学精

度要优于严重带状组织的统计学精度。

13.8 要始终遵守计数规则，否则，实验室内部和实验室之间的测量结果无可重复性和可再现性。

13.9 口头描述带状物的性质或排布是定性的并且带有一些主观色彩。目前尚无描述显微组织的定量参数和定性术语方面的绝对指导性文件。

13.10 各向异性指数以及取向级别不能用来确定显微组织究竟是仅仅沿平行于变形方向上取向还是实际上呈现带状的。确定这种差别需要本标准方法之外的模式识别技术。尽管如此，一个有经验的操作者能够分辨出这两种分布状态，附录 A1 中的示例也许能够提供帮助。

13.11 显微硬度方法用于确定不同带状物在硬度上的差别，它受到那些影响实验结果精度及误差的因素的影响（见 E384 试验方法）。

13.12 500gf 努普硬度值转换成 HRC 硬度值引入了另一个难以确定的不确定源。

13.13 淬火马氏体碳素钢及合金钢（基体和偏析）中碳含量的预测值，或者基体与偏析之间碳含量的差值，均应被视为近似值，这是由于在碳素钢及合金钢中淬火硬度是碳含量的函数，从而导致公布的数据具有可变性。

14. 关键词

14.1 各向异性指数；带状物；特征截点；特征交点；显微硬度；取向；钢；体视学

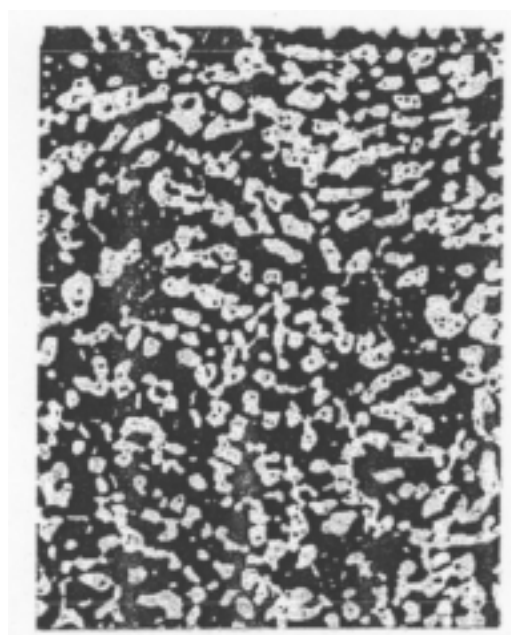
附录

（强制性资料）

A1. 带状或取向显微组织的测定示例

A1.1 本附录给出了显微组织的示例（图 A1.1-A1.20），单相及两相显微组织均图示了不同的带状或取向级别。每一种显微组织都按照图 1 中的图示作了定性描述，每种显微组织都使用 10.3 中叙述的相应方法进行了测量。所有的测量都是在现存显微照片的基础上放大 2 倍进行的。测量所用的网格是由 8 条间距为 20mm（0.79 英寸）的平行线组成的。每条线能够测长 125mm（4.9 英寸），总线长 1000mm（39.4 英寸）。网格在照片的不同位置上可交替变换方向从而使检验线垂直或平行于变形方向，随机选择一个误差尽量小的视场。一人或多人，每张

显微图片每个方向最少进行 5 次测量，通常更多。每张图片中变形轴向显示为水平方向。



200 ×

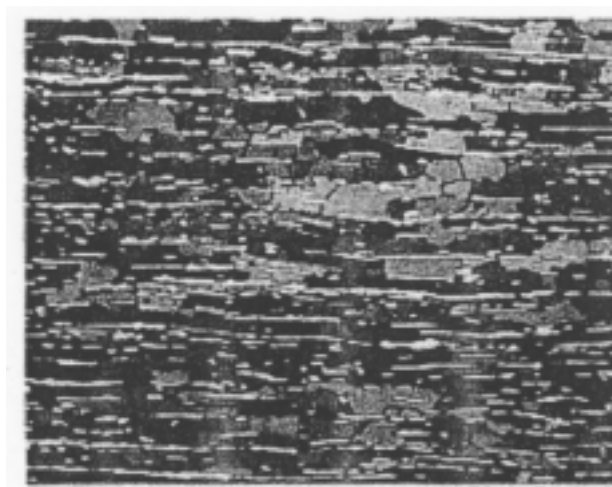
染色侵蚀

锻轧 AISI 312 级不锈钢

	$\bar{N}_{L\perp}$ (No./mm)	$\bar{N}_{L\parallel}$ (No./mm)	$A\bar{I}\bar{N}_{L\perp} / \bar{N}_{L\parallel}$	I_2	$\bar{P}_{L\perp}$ (No./mm)	$\bar{P}_{L\parallel}$ (No./mm)	$A\bar{I}\bar{P}_{L\perp} / \bar{P}_{L\parallel}$	I_2
\bar{X}	32.30	28.71	1.13	0.074	62.02	56.50	1.10	0.059
s	1.409	2.316			3.208	4.117		
95%CI	± 1.06	± 1.75			± 2.42	± 3.10		
%RA	3.3	6.1			3.9	5.5		
n	10							

注 1——奥氏体相（白色）的测定

图 A1.1 无取向、非带状、各向同性的无基体相两相显微组织；铁素体（深色），奥氏体（白色）



200 ×

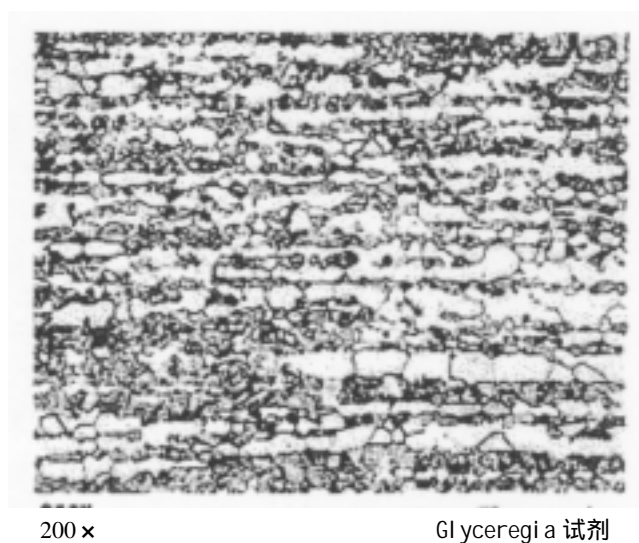
染色侵蚀

锻轧 AISI 329 级不锈钢

	$\bar{N}_{L\perp}$ (No./mm)	$\bar{N}_{L//}$ (No./mm)	$A\bar{I}\bar{N}_{L\perp}/\bar{N}_{L//}$	l_2	$\bar{P}_{L\perp}$ (No./mm)	$\bar{P}_{L//}$ (No./mm)	$A\bar{I}\bar{P}_{L\perp}/\bar{P}_{L//}$	l_2
\bar{X}	61.28	13.18	4.65	0.699	121.83	25.58	4.76	0.705
s	3.828	2.390			7.231	4.557		
95%CI	± 2.57	± 1.61			± 4.86	± 3.06		
%RA	4.2	12.2			4.0	12.0		
n	11							
$V_v=0.227$ $SB =0.0163\text{mm}$ $\lambda =0.0126\text{mm}$								

注 1——奥氏体相（白色）的测定

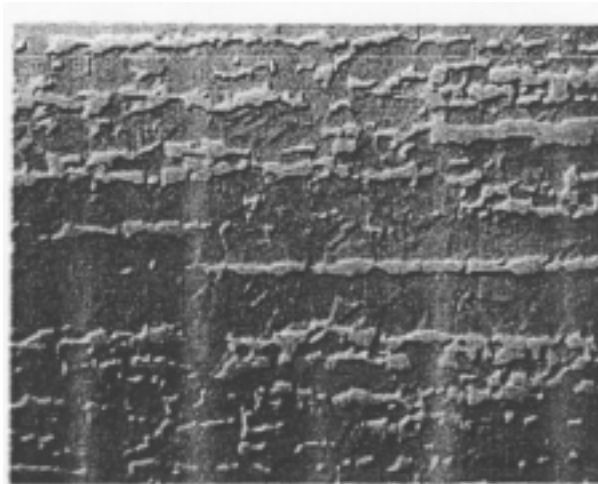
图 A1.2 取向、带状较为严重的两相显微组织；带状分布、有取向的铁素体（灰黑色）基体上的取向奥氏体（白色）



	$\bar{N}_{L\perp}$ (No./mm)	$\bar{N}_{L//}$ (No./mm)	$A\bar{I}\bar{N}_{L\perp}/\bar{N}_{L//}$	l_2	$\bar{P}_{L\perp}$ (No./mm)	$\bar{P}_{L//}$ (No./mm)	$A\bar{I}\bar{P}_{L\perp}/\bar{P}_{L//}$	l_2
\bar{X}	36.14	17.00	2.13	0.417	72.59	34.08	2.13	0.419
s	4.149	3.348			8.624	7.009		
95%CI	± 2.40	± 1.93			± 4.98	± 4.05		
%RA	6.63	11.4			6.9	11.9		
n	14							
$V_v =0.490$ $SB =0.0277\text{mm}$ $\lambda =0.0141\text{mm}$								

注 1——铁素体相（白色）的测量

图 A1.3 双相显微组织，无取向、非带状的回火马氏体（深色）基体内分布的有取向、轻微拉长、部分带状（宽带状）的铁素体（白色）



200 ×

未侵蚀

微差干涉衬度

锻轧 / 黄铜 (Cu-40wt%Zn)

	$\bar{N}_{L\perp}$ (No./mm)	$\bar{N}_{L\parallel}$ (No./mm)	$A\bar{N}_{L\perp} / \bar{N}_{L\parallel}$	i_2	$\bar{P}_{L\perp}$ (No./mm)	$\bar{P}_{L\parallel}$ (No./mm)	$A\bar{P}_{L\perp} / \bar{P}_{L\parallel}$	i_2
\bar{X}	21.95	12.77	1.72	0.314	43.67	24.95	1.75	0.323
s	2.53	1.839			4.956	4.135		
95%CI	± 1.94	± 1.41			± 3.81	± 3.18		
%RA	8.9	11.1			8.7	12.7		
n	9							

注 1—— 相的测定

图 A1.4 双相显微组织，无取向、轻微带状分布的 基体相（退火孪晶）中的部分取向、轻微带状分布的相（简称）



50 ×

20%NaOH 电解

17-4PH 不锈钢

	$\bar{N}_{L\perp}$ (No./mm)	$\bar{N}_{L//}$ (No./mm)	$AI\bar{N}_{L\perp}/\bar{N}_{L//}$	l_2	$\bar{P}_{L\perp}$ (No./mm)	$\bar{P}_{L//}$ (No./mm)	$AI\bar{P}_{L\perp}/\bar{P}_{L//}$	l_2
\bar{X}	9.47	2.32	4.08	0.662	18.31	4.47	4.10	0.663
s	0.611	0.359			1.287	0.795		
95%CI	± 0.76	± 0.45			± 1.6	± 0.99		
%RA	8.0	19.4			8.7	22.1		
n	5							

注 1—— α -铁素体相的测定

图 A1.5 双相显微组织，无取向、非带状马氏体基体（未侵蚀）中的有取向、伸长状、局部带状分布的 α -铁素体（深色）



50 ×

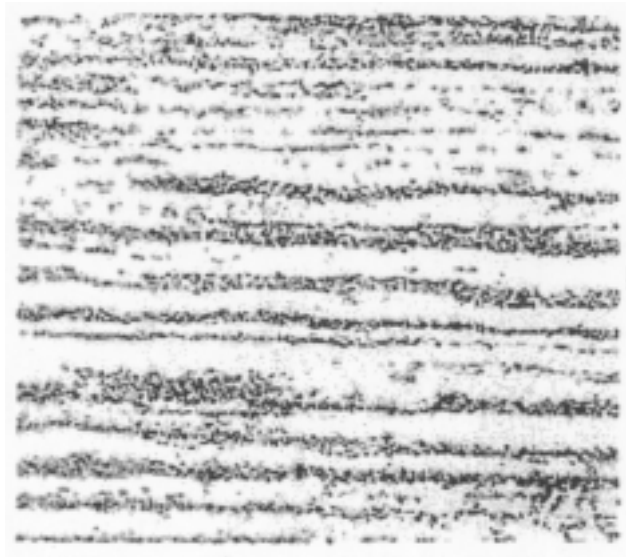
20%NaOH 电解

17-4PH 不锈钢

	$\bar{N}_{L\perp}$ (No./mm)	$\bar{N}_{L//}$ (No./mm)	$AI\bar{N}_{L\perp}/\bar{N}_{L//}$	l_2	$\bar{P}_{L\perp}$ (No./mm)	$\bar{P}_{L//}$ (No./mm)	$AI\bar{P}_{L\perp}/\bar{P}_{L//}$	l_2
\bar{X}	8.67	1.27	6.83	0.788	16.8	2.42	6.94	0.791
s	1.154	0.529			2.143	1.01		
95%CI	± 1.43	± 0.66			± 2.66	± 1.25		
%RA	16.5	52.0			15.8	51.7		
n	5							

注 1—— α -铁素体相的测定

图 A1.6 双相显微组织，无取向、非带状马氏体基体（未侵蚀）中的有取向、伸长状、局部带状分布的 α -铁素体（深色）



50 ×

4% 苦味酸酒精溶液

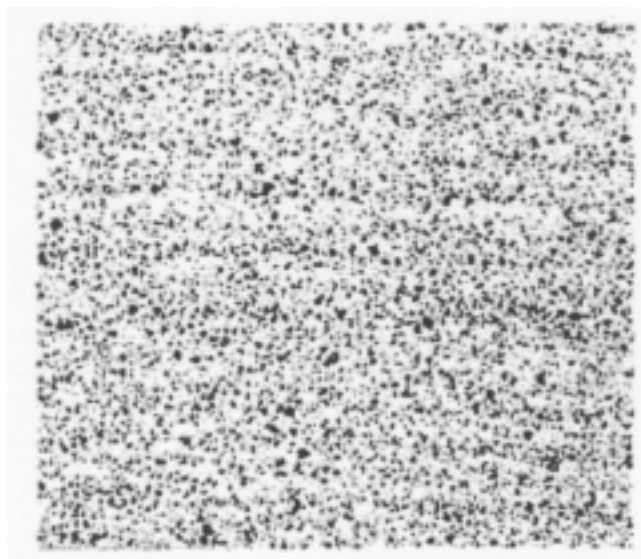
AISI 8715 合金钢

	$\bar{N}_{L/L}$ (No./mm)	$\bar{N}_{L//}$ (No./mm)	$A\bar{N}_{L/L} / \bar{N}_{L//}$	$_{12}$	$\bar{P}_{L/L}$ (No./mm)	$\bar{P}_{L//}$ (No./mm)	$A\bar{P}_{L/L} / \bar{P}_{L//}$	$_{12}$
\bar{X}	8.50	2.83	3.0	0.561	17.00	5.66	3.0	0.561
s	0.4555	0.6506			0.911	1.3012		
95% CI	± 0.57	± 0.81			± 1.13	± 1.62		
%RA	6.7	28.5			6.7	28.5		
n	5							

$SB = 0.118\text{mm} \quad \lambda = 0.086\text{mm}$

注 1——贝氏体组织的测定

图 A1.7 双相显微组织，带状分布的等轴晶铁素体（未被侵蚀）基本上呈带状分布的上贝氏体（深色）



100 ×

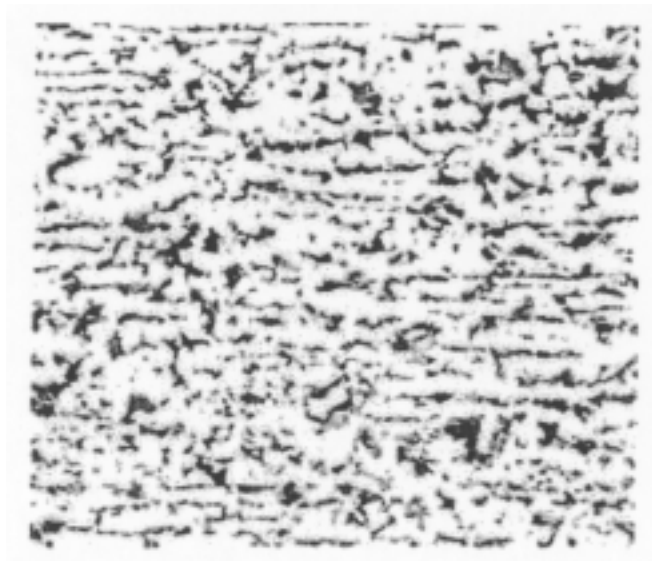
4% 苦味酸酒精溶液

AISI 8620 合金钢

	$\bar{N}_{L\perp}$ (No./mm)	$\bar{N}_{L\parallel}$ (No./mm)	$AI\bar{N}_{L\perp}/\bar{N}_{L\parallel}$	$_{12}$	$\bar{P}_{L\perp}$ (No./mm)	$\bar{P}_{L\parallel}$ (No./mm)	$AI\bar{P}_{L\perp}/\bar{P}_{L\parallel}$	$_{12}$
\bar{X}	28.86	25.92	1.11	0.067	56.31	52.55	1.08	0.047
s	1.6373	2.5308			4.205	4.6425		
95%CI	± 1.72	± 2.66			± 4.41	± 4.87		
%RA	6.0	10.3			7.8	9.3		
n	6							

注 1——珠光体组织的测定

图 A1.8 双相显微组织，球状的珠光体（深色）近乎各向同性分布在等轴晶铁素体（未被侵蚀）基本上



200 ×

4% 苦味酸酒精溶液

ASTM A 588/A 588M 厚钢板

	$\bar{N}_{L\perp}$ (No./mm)	$\bar{N}_{L\parallel}$ (No./mm)	$AI\bar{N}_{L\perp}/\bar{N}_{L\parallel}$	$_{12}$	$\bar{P}_{L\perp}$ (No./mm)	$\bar{P}_{L\parallel}$ (No./mm)	$AI\bar{P}_{L\perp}/\bar{P}_{L\parallel}$	$_{12}$
\bar{X}	39.75	25.05	1.587	0.272	80.26	49.48	1.62	0.284
s	2.323	1.807			4.961	3.664		
95%CI	± 1.94	± 1.51			± 4.15	± 3.06		
%RA	4.9	6.0			5.2	6.2		
n	8							

$SB = 0.025\text{mm}$ $\lambda = 0.020\text{mm}$

注 1——珠光体组织的测定

图 A1.9 双相显微组织，轻微带状分布的等轴晶铁素体（未被侵蚀）基本上呈轻微带状分布的部分拉长的珠光体（深色）



200 ×

4% 苦味酸酒精溶液

ASTM A 572/A 572M 厚钢板

	\bar{N}_{LL} (No./mm)	$\bar{N}_{L//}$ (No./mm)	$A\bar{N}_{LL}/\bar{N}_{L//}$	$_{12}$	\bar{P}_{LL} (No./mm)	$\bar{P}_{L//}$ (No./mm)	$A\bar{P}_{LL}/\bar{P}_{L//}$	$_{12}$
\bar{X}	51.69	26.96	1.92	0.369	101.58	53.16	1.91	0.367
s	2.688	3.189			5.793	6.923		
95% CI	± 1.71	± 2.03			± 3.68	± 4.40		
%RA	3.3	7.5			3.6	8.3		
n	12							

$SB = 0.019\text{mm}$ $\lambda = 0.014\text{mm}$

注 1——珠光体组织的测定

图 A1.10 双相显微组织，带状分布的等轴晶铁素体（未被侵蚀）基质上的有取向、部分拉长、显著带状分布的珠光体（深色）



200 ×

4% 苦味酸酒精溶液

ASTM A 572/A 572M 厚钢板（低碳）

	$\bar{N}_{L\perp}$ (No./mm)	$\bar{N}_{L\parallel}$ (No./mm)	$A\bar{I}\bar{N}_{L\perp}/\bar{N}_{L\parallel}$	i_2	$\bar{P}_{L\perp}$ (No./mm)	$\bar{P}_{L\parallel}$ (No./mm)	$A\bar{I}\bar{P}_{L\perp}/\bar{P}_{L\parallel}$	i_2
\bar{X}	51.12	16.96	3.01	0.562	99.20	33.62	2.95	0.554
s	5.025	2.47			5.909	5.068		
95% CI	± 3.59	± 1.77			± 4.23	± 3.63		
%RA	7.0	10.4			4.3	10.8		
n	10							

$SB = 0.020\text{mm}$ $\lambda = 0.016\text{mm}$

注 1——珠光体组织的测定

图 A1.11 双相显微组织，带状分布的等轴晶铁素体（未被侵蚀）基体上的有取向、大部分拉长、完全带状（窄带）分布的珠光体（深色）



100 ×

4% 苦味酸酒精溶液

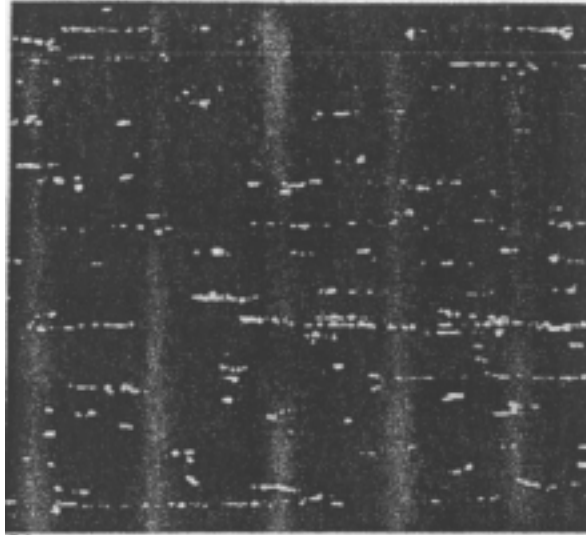
X42 管线钢

	$\bar{N}_{L\perp}$ (No./mm)	$\bar{N}_{L\parallel}$ (No./mm)	$A\bar{I}\bar{N}_{L\perp}/\bar{N}_{L\parallel}$	i_2	$\bar{P}_{L\perp}$ (No./mm)	$\bar{P}_{L\parallel}$ (No./mm)	$A\bar{I}\bar{P}_{L\perp}/\bar{P}_{L\parallel}$	i_2
\bar{X}	37.22	9.70	3.84	0.644	73.83	18.75	3.92	0.652
s	2.054	2.108			4.475	4.126		
95% CI	± 1.47	± 1.51			± 3.20	± 2.95		
%RA	3.9	15.6			4.3	15.7		
n	10							

$SB = 0.0269\text{mm}$ $\lambda = 0.0195\text{mm}$

注 1——珠光体组织的测定

图 A1.12 双相显微组织，完全带状分布的伸长状铁素体（未被侵蚀）基体上的伸长状、完全带状（混合了细窄和中等宽度的带状物）分布的珠光体



50 ×

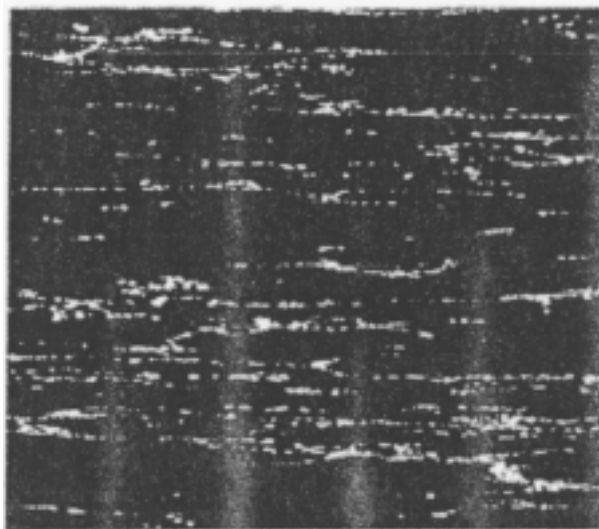
Marble 试剂

AISI M50 轴承钢

	$\bar{N}_{L\perp}$ (No./mm)	$\bar{N}_{L\parallel}$ (No./mm)	$AI\bar{N}_{L\perp} / \bar{N}_{L\parallel}$	i_2	$\bar{P}_{L\perp}$ (No./mm)	$\bar{P}_{L\parallel}$ (No./mm)	$AI\bar{P}_{L\perp} / \bar{P}_{L\parallel}$	i_2
\bar{X}	3.79	2.56	1.48	0.234	7.30	4.98	1.47	0.229
s	0.4823	0.770			0.9725	1.4812		
95%CI	± 0.51	± 0.81			± 1.02	± 1.55		
%RA	13.5	31.6			14.0	31.1		
n	6							

注 1——碳化物的测定

图 A1.13 双相显微组织，非带状、无取向的回火马氏体（黑色）基体上呈轻微带状分布的拉长状、有取向的合金碳化物（白色）



50 ×

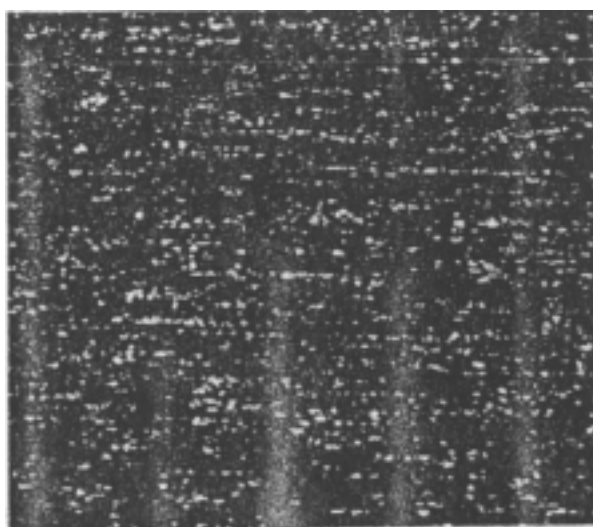
Marble 试剂

AISI M50 轴承钢

	$\bar{N}_{L\perp}$ (No./mm)	$\bar{N}_{L//}$ (No./mm)	$AI\bar{N}_{L\perp}/\bar{N}_{L//}$	$_{12}$	$\bar{P}_{L\perp}$ (No./mm)	$\bar{P}_{L//}$ (No./mm)	$AI\bar{P}_{L\perp}/\bar{P}_{L//}$	$_{12}$
\bar{X}	7.43	3.21	2.31	0.456	14.59	6.20	2.35	0.463
s	0.9778	0.7144			1.8779	1.3606		
95%CI	± 0.90	± 0.66			± 1.74	± 1.26		
%RA	12.1	20.6			11.9	20.3		
n	7							

注 1——碳化物的测定

图 A1.14 双相显微组织，无伸长、轻微带状分布的回火马氏体（黑色）基体上呈带状分布的拉长状、有取向的合金碳化物（白色）



50 ×

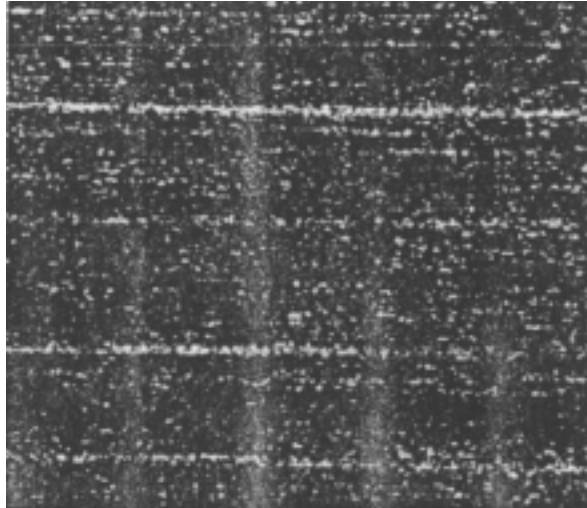
Marble 试剂

AISI 440C 不锈钢

	$\bar{N}_{L\perp}$ (No./mm)	$\bar{N}_{L//}$ (No./mm)	$AI\bar{N}_{L\perp}/\bar{N}_{L//}$	$_{12}$	$\bar{P}_{L\perp}$ (No./mm)	$\bar{P}_{L//}$ (No./mm)	$AI\bar{P}_{L\perp}/\bar{P}_{L//}$	$_{12}$
\bar{X}	18.18	12.93	1.41	0.206	36.28	25.85	1.40	0.204
s	1.3253	0.7193			2.7396	1.4386		
95%CI	± 1.65	± 0.89			± 3.40	± 1.79		
%RA	9.1	6.9			9.4	6.9		
n	5							

注 1——碳化物的测定

图 A1.14 双相显微组织，回火马氏体（深色）基体上呈轻微带状分布的球状合金碳化物（白色）



50 ×

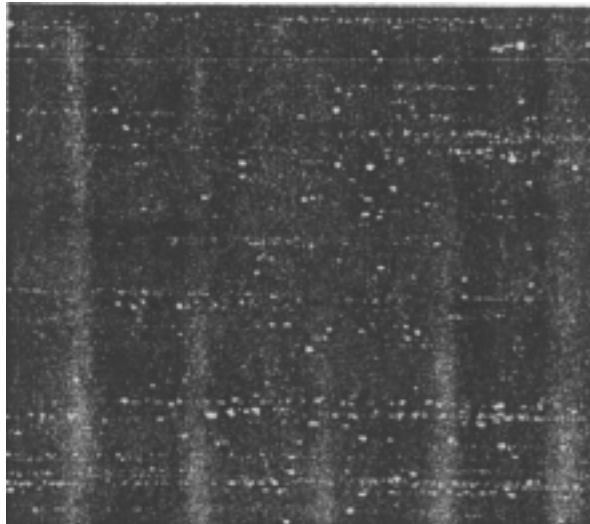
Marble 试剂

AISI 440C 不锈钢

	$\bar{N}_{L\perp}$ (No./mm)	$\bar{N}_{L//}$ (No./mm)	$A\bar{N}_{L\perp} / \bar{N}_{L//}$	i_2	$\bar{P}_{L\perp}$ (No./mm)	$\bar{P}_{L//}$ (No./mm)	$A\bar{P}_{L\perp} / \bar{P}_{L//}$	i_2
\bar{X}	17.40	11.96	1.46	0.225	34.71	23.91	1.45	0.223
s	1.5952	2.8866			3.245	5.7732		
95%CI	± 1.98	± 3.58			± 4.03	± 7.17		
%RA	11.4	30.0			11.6	30.0		
n	5							

注 1——碳化物的测定

图 A1.14 双相显微组织，回火马氏体（深色）基体上严重带状分布的球状合金碳化物（白色），合金碳化物呈现大量互相隔离的条带（条带中间有大量角状的碳化物颗粒）



100 ×

10%硝酸酒精溶液

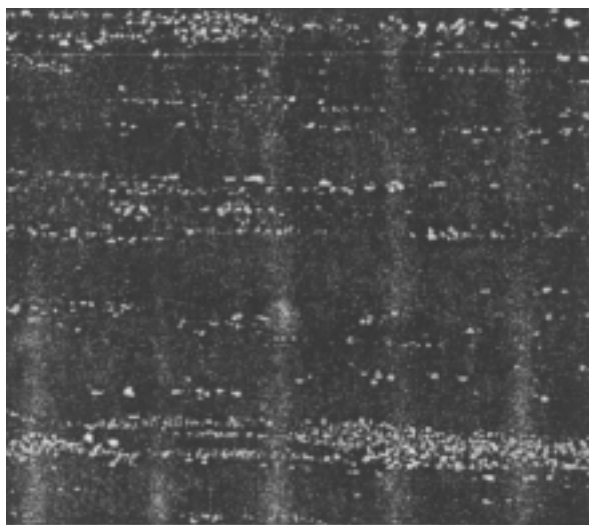
AISI M2 高速钢

	$\bar{N}_{L\perp}$ (No./mm)	$\bar{N}_{L//}$ (No./mm)	$AI\bar{N}_{L\perp}/\bar{N}_{L//}$	l_2	$\bar{P}_{L\perp}$ (No./mm)	$\bar{P}_{L//}$ (No./mm)	$AI\bar{P}_{L\perp}/\bar{P}_{L//}$	l_2
\bar{X}	36.23	26.26	1.38	0.195	72.45	52.53	1.38	0.195
s	1.370	4.818			2.740	9.6358		
95%CI	± 1.70	± 5.98			± 3.40	± 11.96		
%RA	4.7	22.8			4.7	22.8		
n	5							

注 1——图 A1.17 所示样品中碳化物的分布比图 A1.18 所示样品中碳化物的分布要均匀的多。在相同的测量视场个数下，标准偏差、95%置信区间以及相对精确度均由于分布的均匀性变差而有所增加。

注 2——碳化物的测定。

图 A1.17 双相显微组织中，回火马氏体（黑色）基本上呈轻微带状分布的球状和有棱角的合金碳化物（白色）



100 ×

10%硝酸酒精溶液

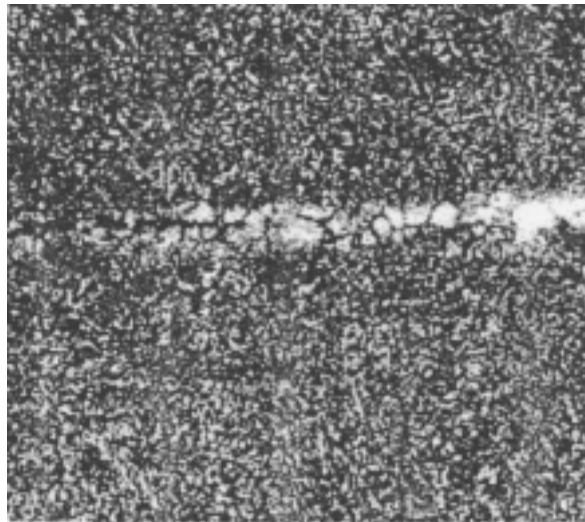
AISI M2 高速钢

	$\bar{N}_{L\perp}$ (No./mm)	$\bar{N}_{L//}$ (No./mm)	$AI\bar{N}_{L\perp}/\bar{N}_{L//}$	l_2	$\bar{P}_{L\perp}$ (No./mm)	$\bar{P}_{L//}$ (No./mm)	$AI\bar{P}_{L\perp}/\bar{P}_{L//}$	l_2
\bar{X}	24.18	16.58	1.46	0.226	48.36	33.16	1.46	0.226
s	4.322	5.575			8.643	11.149		
95%CI	± 5.37	± 6.92			± 10.73	± 13.84		
%RA	22.2	41.7			22.2	41.7		
n	5							

注 1——图 A1.17 所示样品中碳化物的分布比图 A1.18 所示样品中碳化物的分布要均匀的多。在相同的测量视场个数下，标准偏差、95%置信区间以及相对精确度均由于分布的均匀性变差而有所增加。

注 2——碳化物的测定。

图 A1.18 双相显微组织中，回火马氏体（黑色）基本上呈带状分布的球状和有棱角的合金碳化物（白色），局部有严重的碳化物条带



400 ×

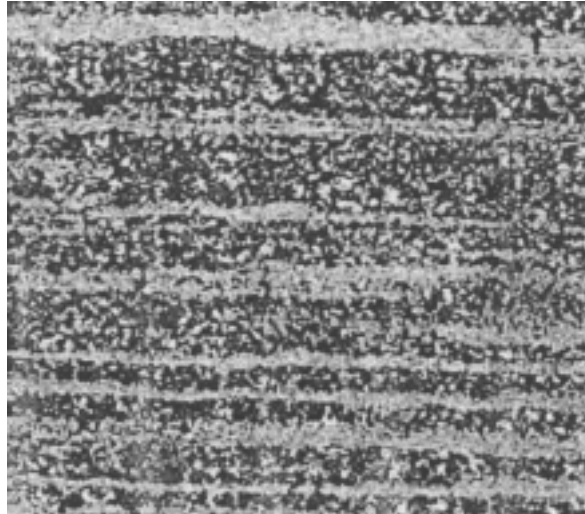
染色侵蚀

AISI 1547 合金钢

AISI 1547

	Streaks	Matrix	H
HK ₅₀₀	774.5±88.2	688.8±52.4	85.7
HRC(转换值)	62.0	58.0	4.0

图 A1.19 双相显微组织，非带状淬火马氏体基体上分布的孤立且拉长的亮侵蚀区马氏体条带（白色）



50 ×

2%硝酸酒精溶液

AISI 9310 合金钢

AISI 9310

	Martensite	Bainite	H					
	441.5±21.8	320.5±16.9	121.0					
	43.0	31.3	11.7					
	\bar{N}_{LL} (No./mm)	$\bar{N}_{L//}$ (No./mm)	$AI\bar{N}_{LL}/\bar{N}_{L//}$	i_2	\bar{P}_{LL} (No./mm)	$\bar{P}_{L//}$ (No./mm)	$AI\bar{P}_{LL}/\bar{P}_{L//}$	i_2
\bar{X}	5.46	0.94	5.81	0.754	10.76	1.82	5.91	0.758
s	1.156	0.251			1.883	0.473		
95%CI	± 0.89	± 0.19			± 1.45	± 0.36		
%RA	16.3	20.5			13.5	20.0		
n	9							

注 1—— $V_{VM}=0.3417$, $SB =0.183\text{mm}$, $=0.121\text{mm}$ 。

注 2——马氏体的测定。

图 A1.20 双相显微组织，无取向带状分布的贝氏体（暗区）基体上呈严重带状（宽带）分布的马氏体（亮区）

A2. HK 到 HRC 的转换及碳含量评估

A2.1 努普硬度到洛氏硬度 HRC 的转换：

A2.1.1 A370 试验方法及定义中列出了努普硬度（HK）到洛氏硬度（HRC）的转换范围。这些转换关系适用于努普硬度试验力在 500gf 或者更大的情况。随着试验力在 500gf 以下递减，转换精度变得渐差。

A2.1.2 在半对数坐标纸上绘制试验数据（HK 采用对数坐标，HRC 采用线性坐标），发现当硬度大于或等于 360HK 及 36HRC 时曲线呈线性关系。这部分转换的线性回归关系如下列关系式所示：

$$\text{HRC(转换值)} = (77.6\text{Log HK}) - 162.2 \quad (\text{A2.1})$$

该关系式的相关系数为 0.999908。用这个等式，360-480HK 范围内预测的 HRC 的误差在 ±0.17HRC 单位之内，495-870HK 范围内预测 HRC 的误差在 ±0.10HRC 单位之内。这样小的误差可以很好地控制在 HK 测量值或记录值插值的误差之内，并且这样小的误差几乎对带状物 HRC 转换值的差异没有影响。以上等式用一个小计算器就能简单使用了。

A2.1.3 由于 360HK 以下 LogHK 与 HRC 之间不再是线性关系，因此等式在用于 360HK 以下的转换时会预测出较高的 HRC 值。

A2.1.4 对于 360HK 以下的努普硬度值（500gf），可使用下式预测相应的 HRC 硬度值：

$$\text{HRC(转换值)} = 103.76\text{Log HK} - 228.7 \quad (\text{A2.2})$$

该等式预测了 A370 中 342-251HK 范围内的数值，预测误差在小于 0.29HRC 之内。相关系数为 0.999448。

A2.2 由淬火硬度预测碳含量

A2.2.1 对于含碳量在 0.10-0.65% 之间的碳素钢及合金钢，碳含量与淬火马氏体的硬度之间有直接关系。淬透性研究已经在从指定的奥氏体化温度下快速冷却得到的完全马氏体组织钢中证实了这种关系。在标准线性绘图纸上绘制的数据图显示出两条直线段，线段在 58HRC (0.44%C) 位置处斜率发生改变。

A2.2.2 对淬火硬度在 38 到 58HRC (0.10-0.44%C) 之间的硬度值进行线性回归分析，得出以下关系式：

$$\%C = (0.0167\text{HRC}) - 0.539 \quad (\text{A2.3})$$

该式的相关系数为 0.9985。对于 58-64HRC (0.44-0.65%C) 范围内的淬火硬度得出以下关系式：

$$\%C = (0.0358\text{HRC}) - 1.639 \quad (\text{A2.4})$$

该式的相关系数为 0.9836。

A2.2.3 为了说明这个关系式的使用，通过对 AISI 1547 样品 (图 A1.19) 数据进行分析来预测基体及偏析带的碳含量。该试样是淬火状态，试验显示其亮区条带的努普显微硬度值 (500gf) 为 744.5HK，基体的硬度值为 688.8HK。利用附录 A2 中的等式 A2.2，我们首先将这些 HK 值转换为 HRC 值，得到条带的硬度为 62.0HRC，基体的硬度为 58.0HRC。

A2.2.4 使用等式 A2.4，基体的碳含量估算为 0.44%，亮区条带的碳含量估算为 0.58%。注意 58HRC 在两条线段的拐点上。如果使用等式 A2.3 来预测基体的碳含量，得到的碳含量为 0.43%。实验淬透性数据列出了钢的淬火硬度为 58HRC 时其碳含量在 0.43-0.45% 之间。因此，碳含量的预测存在一个小范围的误差，尤其是碳含量在 0.44% 或更高的时候，误差约为 0.01%。尽管如此，这种级别的误差并不大，且可以通过微观解析分析方法进行确定。这种方法仅适用于含碳量在 0.10-0.65% 之间的淬火状态、完全马氏体组织钢 (可存在较少的残余奥氏体)。

注 A2.1——对于 100% 的马氏体组织，其碳含量与 HRC 之间的关系式存在一定程度的可变性。

等式 A2.3 和等式 A2.4 建立在 Sponzilli 等人⁸提供的数据上。

⁸Sponzilli, J.T., Keith, C.J., and Walter, G.H., “Calculating Hardenability Curves from Chemical Composition,” Metal Progress, V108, September 1975: 86-87.

美国材料试验学会就本标准中的条文而言，其与公开的、有效的专利权没有关系。在此特劝告本标准的使用者对专利的确定和违反专利权的风险其后果自负。

技术委员会负责对标准进行适时修订，且每五年需进行复审。如不修订，或对标准重新确认，或标准废止。无论是有关本标准的修订或是增加标准的建议，您都可向 ASTM 总部提出。您的建议将由对口的技术委员会召开会议，认真探讨，届时您可参会。如果您对会议结果不满意，可按下列地址报知 ASTM 标准委员会。

本标准的版权属 ASTM 标准委员会。地址 :100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States。若需本标准的单行本（一份或多份复印件）可与上述地址联系，亦可通过电话 610-832-9585 或传真 610-832-9555 或 e-mail : service@astm.org 与 ASTM 联系获得，或登录 ASTM 网站 (<http://www.astm.org>)。

翻译：王媛婷

校对：谢应登 陈斌