

新版GB/T 6394-2017《金属平均晶粒度测定法》标准解析

程丽杰¹ 栾燕² 谷强¹

(抚顺特殊钢股份有限公司 辽宁抚顺 113001; 冶金工业信息标准研究院, 北京 100730)

【摘要】介绍了我国晶粒度标准的演变与发展历史,对国内外晶粒度检验方法标准进行了比较分析,并解析了新版GB/T 6394-2017《金属平均晶粒度测定法》标准的特点。

【关键词】晶粒度; 测定; 标准; 解析

New version of GB/T 6394-2017 " Determination of estimating the average grain size of metal "

standard analysis
cheng li-jie¹ luan yan² Gu qiang¹

(Fushun special steel Limited by Share Ltd, Metallurgical Industry Information Standard Research Institute, Liaoning, Fushun113001)

【Abstract】This paper introduces the evolution and development of the history of China's grain size standard, standard of domestic and international grain size test methods were compared and analyzed, and the characteristics of the new GB/T 6394-2017 "determination of estimating the average grain size of metal ".

【Key words】 grain size; determination; standard; analysis

新版GB/T 6394-2017《金属平均晶粒度测定法》标准已于2017年2月28日批准发布,将于2017年11月1日起正式实施。作为该标准的起草人,为了便于大家更好地理解新标准,特撰写此文,供大家参考。

1 国内外晶粒度检验标准概况

为了保证检验与测量的科学性、客观性和权威性,晶粒度测定方法的标准化、规范化和国际化是至关重要的。目前国内外都有相应的晶粒度测定方法标准,最主要的试验方法标准有ASTM E112-2013、ISO 643-2016、JIS G 0551-2013和GB/T 6394-2017。

1.1 美国材料与试验协会(ASTM)标准

美国材料与试验协会(ASTM)是世界上最早制定与发布晶粒度标准的组织。1955年美国材料与试验协会制定了第1版金属晶粒度检验标准ASTM E 112-55《测定平均晶粒度的标准方法》,该标准是对金属和合金的晶粒度的测定,包括了钢中奥氏体晶粒度和铁素体晶粒度的测定。其后ASTM E112经过多次修订,现已作为一个国际通用标准被广泛引用。目前最新版本为E112-13。

除ASTM E112-13外，美国材料与试验协会还制定了两个晶粒度测定标准：ASTM E1181《表征双重晶粒度试验方法》和ASTM E930《测定金相试面上最大晶粒(ALA晶粒度)的试验方法》。这三个标准自成一体，组成一完整的晶粒度测量体系，其中ASTM E 112、ASTM E 930规定了具体的晶粒度级别评定操作方法，ASTM E112适用于测定晶粒尺寸呈单峰分布的金属平均晶粒度，测定方法有比较法、面积法和截点法；ASTM E930在ASTM E 112的基础上，根据ASTM E 112的表3制定而来，适用于在晶粒尺寸普遍一致的晶粒中出现的个别尺寸较大的晶粒，此时可以将普遍一致的晶粒用一个级别来表示，同时在检测报告中给出个别极大晶粒的级别。而ASTM E 1181规定了双重晶粒分布形式的表征及检测报告格式，具体的晶粒度级别评定方法需按ASTM E 112和ASTM E 930执行。

1.2 国际标准（ISO）标准

ISO/TC 17/SC7“钢试验方法（化学分析和力学性能试验除外）”分委员会于1967年开始参照美国ASTM E112标准制定晶粒度技术文件ISO R 643《钢 奥氏体晶粒度显微金相测定法》，评级图谱引用ASTM E112的图谱IV。1983年第一次修订，更名为《钢 铁素体和奥氏体晶粒度的显微测定》；2003年和2016年又进行了两次修订，更名为《钢 表观晶粒度的显微测定》。目前的最新标准为ISO643:2016《钢 表观晶粒度的显微测定》，图谱引用ASTM E112的图谱 I。该标准适用于钢中铁素体和奥氏体晶粒度的测定，ISO 643在标准中给出了铁素体晶粒度术语定义，并注明通常用于碳含量小于或等于0.25%的非合金钢。评定铁素体和珠光体的晶粒度，如果存在与铁素体晶粒同一尺寸的珠光体“岛”，那么此“岛”当作铁素体晶粒来计算。

2000年ISO参考ASTM E1181《表征双重晶粒度试验方法》制定了一个双重晶粒度标准，即ISO14250:2000《钢 双重晶粒度及其分布的金相特征》。

1.3 欧盟（EN）标准

英国、德国和法国早期分别制定了各自的国家标准BS 4490-1969《钢的奥氏体晶粒度的测定法》、DIN 50601-1985和NF A04-102，标准名称为《钢 铁素体和奥氏体晶粒度的显微测定》，都有自己的评级图谱。2003年，按照国际标准化组织（ISO）和欧洲标准化委员会（CEN）两者间的技术合作协议（ISO / CEN 维也纳协议），CEN和ISO共同编制并同时发布实施了ISO 643:2003，欧洲标准表示方法为在ISO标准前加前缀EN，如：EN ISO 643:2003，各国标准再增加相应国家标准代号的前缀，例如DIN EN ISO643-2003和NF EN ISO 643-2003E, 标准内容和ISO643: 2003（E）完全相同。目前的最新标准为EN ISO643:2016《钢 表观晶粒度的显微测定》。

1.4 日本（JIS）标准

日本工业标准调查会（JISC）于1977年制定了JIS G 0551-1977《钢的奥氏体晶粒度试验方法》，使用ASTM E112中的评级图IV。1998年又分成两个标准：JIS G 0551-1998《钢的奥氏体晶粒度测定方法》和JIS G 0552-1998《钢的铁素体晶粒度测定方法》；2005年又将两个标准合并为一个标准JIS G 0551-2005《钢表观晶粒度的显微测定》，目前的最新版本是JIS G 0551-2013《钢 表观晶粒度的显微测定》，该标准中给出的 2 套评级图分别为ASTM E112中的评级图 I 和评级图IV。

1.5 前苏联标准

查询到苏联早期 Г О С Т 5639-65 《钢的晶粒度的测定评定方法》，取代 Г О С Т 5639-51 标准，有三套评级图谱及不同放大倍数的补充图片。该标准按照用途分为测定晶粒度的长大倾向、晶粒度长大动力学和实际晶粒度三种方式，相当于检验本质晶粒度、奥氏体晶粒度和铁素体晶粒度。可以查到的最新版本 Г О С Т 5639-82 《钢和合金的晶粒度的检查和测定评定方法》，自成一体，有自己标准图谱，有“实际晶粒度”的概念。

1.6 中国标准

我国第一个晶粒度标准为重15-55。其后经历了六次修订： YB27-59、YB27-64、YB27-77、 GB 6394-86 (YB/T5148- 1993)、GB/T6394-2002和 GB/T6394-2017，最新版本为GB/T6394-2017 《金属平均晶粒度测定法》。在整个标准演变过程中主要有三部分的变化：a) 晶粒形成与显示方法的变化；b) 晶粒尺寸表示理念的变化；c) 不同分布类型的各种晶粒度标准完整体系的建立。

目前，我国现行的晶粒度检验标准有：GB/T 6394-2017 《金属平均晶粒度测定法》、GB/T 24177-2009 《双重晶粒度表征与测定方法》、YB/T 4290-2012 《金相检测面上最大晶粒尺寸级别（ALA 晶粒度）测定方法》和GB/T 4335-2013 《低碳钢冷轧薄板铁素体晶粒度测定法》，其中GB/T 6394-2017 (ASTME112-2013, MOD)，GB/T24177-2009 (ASTME1181-02, IDT)；YB/T4290-2012 (ASTM 930-99(2007), IDT)，组成一个完整的晶粒度测量体系。

纵观对各国晶粒度测量标准，美国 ASTM E112 制定最早，适用范围最广，不只适用于钢，而且适用各种金属材料，内容详实严谨，图谱广为各国晶粒度试验方法标准引用；缺点是使用英制晶粒度级别数（也称为 ASTM 晶粒度）定义，和其它各国标准不同。ISO 643 标准简洁明了，使用公制晶粒度级别数定义，广为各国标准采用，逐步成为国际通用标准，并给出了奥氏体和铁素体晶粒度明确的定义，特别是明确规定铁素体晶粒度的概念和测定方法，对广泛应用的铁素体加珠光体组织的晶粒度的检验具有指导意义。日本标准 JIS G 0551 最大特点是定义混晶的概念，给出混晶的计算和表示方法。我国 GB/T 6394 标准参照 ASTM E112 标准，对奥氏体晶粒度的形成方法和选择原则作出了规定，增添了晶粒度置信限的计算部分。各国标准的差异见表 1。

表 1 各国标准主要特征

标准	范围	晶粒度定义	评级图谱	晶粒度类别
ASTM E112-2013	金属	英制	I II III IV	A/F
ISO 643-2013	钢	公制	I	A/F

DIN 50601-85	钢	公制	自有一套	A/F
BS 4490-69	钢	英制+公制	IV+ I	A
NF A04-102—80	钢	公制	自有四套图谱	A/F
Г О С Т 5639-82	钢	公制	自有三套和不同倍数图 片	A
JIS G0551-2013	钢	公制	I +IV	A/F
GB/T6394-2017	金属	英制	I II III IV	A/F

注 1: A 代表奥氏体晶粒度, F 代表铁素体晶粒度,

注 2: DIN 50601 BS 4490 和 NF A04-102 最新版本均等同于 ISO 643-2013。

从各国标准演变历程显示,原有铁素体晶粒度和奥氏体晶粒度两个测量标准的,逐步合并为一个标准,奥氏体晶粒度和铁素体晶粒度评级原则和评级图谱基本趋向采用 ASTM E112 的(除 Г О С Т 5639-82),只是对于铁素体钢的奥氏体晶粒度的评定,需要对试样进行热处理,以显现出高温下曾经存在的原奥氏体晶界。

2 我国晶粒度标准的演变与发展

由于历史的原因,二十世纪七十年代之前,我国标准是沿袭前苏联标准体系,我国第一个晶粒度测定方法标准“重钢 15-55”,是参照苏联“Г О С Т 5639-51”,标准中使用了“奥氏体(遗传的)晶粒”(а у с т е н и т н о г о “ н а с л е д с т в е н н о г о ” з е р н а)的概念,规定使用 930℃保温 3h(渗碳钢保温 8h)测定“奥氏体(遗传的)晶粒度”。YB27-59 标准将“遗传的”改为“本质的”,明确规定:奥氏体(本质)晶粒是指钢加热超过临界点以上某一规定温度(930℃)时所具有的奥氏体晶粒,这一定义一直沿用至 YB 27-77《钢的晶粒度测定法》。在这段时期,突出的问题是测定钢中的“本质晶粒度”。许多钢实际热处理的奥氏体化温度是由 $A_{c3}+(20^{\circ}\text{C}-30^{\circ}\text{C})$ 确定的,远低于 930℃,晶粒度试样 10mm×10mm,加热时间也远小于 3h,检验到的“本质晶粒度”大于“实际晶粒度”,按照“本质晶粒度”检验,许多钢材的晶粒度小于 5 级,大量可合理使用钢材,因“本质晶粒度”不合格,造成人为的报废。这个问题引起很多部门和专家对“本质晶粒度”概念及其标准提出质疑。

关于“本质晶粒度”的概念,前苏联 1951 年的标准曾用过这一概念,但在 1965 年 Г О С Т 5639-65 版本时就把本质晶粒度的概念从标准去掉了。我国于 70 年代至 80 年代初对晶粒度的试验做了大量工作,经研究结果表明,真正影响钢材使用的是钢实际热处理制度加热的奥氏体晶粒度,而不是“本质晶粒度”。所谓“本质晶粒度”的概念可以在理论上作为晶粒特性的描述,而用这个概念的特定 930℃评定在实际使用条件下的钢材晶粒大小,偏离实际,会造成大量钢材

不必要的浪费。

为解决这个困惑材料应用的问题，二十世纪八十年代，我国对 YB 27-77《钢的晶粒度测定法》进行修订时，等效采用 ASTM E112-81《测定金属平均晶粒度标准方法》制定了 GB 6394-86《金属平均晶粒度测定法》。GB 6394-86 标准规定：按照不同碳含量对应的实际热处理温度，保温 1h，测定钢的奥氏体晶粒度，从而保证了所检验的晶粒度与钢材的使用性能相关，从此摒弃了“本质晶粒度”的概念。GB 6394-86 标准的实施，不仅确立了使用状态需要热处理的钢，测定钢的奥氏体晶粒度，更重要的是解决了过去钢的晶粒度检测和使用状态不符合，测定的本质晶粒度不能体现钢材的使用条件下奥氏体晶粒大小的难题，消除了使用者不敢使用所谓的本质粗晶粒钢困惑，挽回了原本需要报废的大量钢材，为我国钢材的经济效益作出了积极的贡献。

GB 6394-86《金属平均晶粒度测定法》编制上，延续了原标准 YB27-77《钢的晶粒度测定法》的编制习惯，由于原来标准是奥氏体晶粒度的评定标准，所以试样的显示方法在正文部分。随着钢材实际晶粒度中铁素体晶粒度测定需求的增加，GB6394-2002 版标准中增加了两相及多相晶粒度和非等轴晶粒度部分，将奥氏体晶粒度的显示方法分为形成和显示两部分，由于篇幅较大，将晶粒形成及显示方法编写入附录 C（规范性附录），使标准结构更紧凑。由于正文没有对试样热处理的规定，体现出不是所有的晶粒度试样都需要热处理。

GB/T 6394-2002 标准适用于晶粒近似正态分布的情况，不适用于出现多种形态分布的晶粒度。对于出现晶粒大小相差较大的情况，只作出“对混合晶粒度评定时，可将混合各部分的晶粒分别按单峰分布评定平均晶粒度，并测定各部分的晶粒所占的百分比。如：7 级 70%，2 级 30%进行表述。”这种简单处理，无法真实地反映出材料晶粒客观存在形态。为了解决这类晶粒的测量问题，2009 年和 2012 年我国陆续制定了 GB/T24177-2009《双重晶粒度表征与测定方法》（等同于 ASTM E1181-02）和 YB/T4290-2012《金相检测面上最大晶粒尺寸级别(ALA 晶粒度)测定方法》（等同于 ASTM E930-99（2007）），用于描述双重晶粒度的分布特征和评定单颗粒粗大晶粒。为了更好地与这两个标准相衔接，2017 年我国完成了对 GB/T 6394-2002 的修订。GB/T 6394-2017《金属平均晶粒度测定法》已于 2017 年 2 月 28 日批准发布，将于 2017 年 11 月 1 日起正式实施。。GB/T 6394-2017 标准的发布与实施，使我国晶粒度测定标准成为一个完整晶粒度评定体系。这次修订，增加了钢的铁素体晶粒度检验部分，明确了铁素体加珠光体组织铁素体晶粒度检验方法；增加了钢的奥氏体晶粒各种形成方法的选定原则，理顺了奥氏体晶粒形成方法，更适应实际生产应用；完善统计技术，增加了晶粒度计算公式及推导过程、公制和英制、宏观和微观晶粒度级别数互换关系等内容，提高了晶粒

度测定的理论性；增加了评级细节的规定，提高晶粒度评定的精度。

GB/T4335-2013《低碳钢冷轧薄板铁素体晶粒度测定法》主要针对非等轴晶粒度的评定，制定了非等轴评级图谱，使用比较法评级方便检验。GB/T4335-2013标准是GB/T 6394-2017标准的补充，更好地满足了非等轴晶粒度（如冷轧板材晶粒度）生产检验的需求。

3 国内外晶粒度标准对比分析

3.1 晶粒度级别数的定义

分析国内外的晶粒度测定方法标准，晶粒度级别数的定义分为英制和公制两种晶粒度，见表1，

英制晶粒度级别定义为：100倍下一平方英寸（645.16mm²）的晶粒个数 N_{100} 和晶粒度级别数 G 的关系为：

$$N_{100}=2^{G-1}$$

公制晶粒度级别定义为：1倍下每平方毫米的晶粒个数 N_A 和晶粒度级别数 G_0 的关系为：

$$N_A=8 \times 2^{G_0}$$

比较两者的差异，经过计算：

$$G - G_0 = 4 - \log_2 \frac{N_A}{N_{100}} = 0.0458$$

即公制晶粒度级别数比英制晶粒度级别数小约0.05级（1/20级），可以忽略不计，即两种晶粒度级别数可以认为是相等的。这就奠定了各国晶粒度级别可比性的基础，即英制晶粒度级别和公制晶粒度级别基本等效。所以，所有的标准中晶粒度的各种参数指标基本相同。

3.2 评级图谱

各国标准中晶粒度最常用的测定方法都是比较法，评级图谱的差异见表1。图谱分为三种，白底黑色晶粒晶界、黑底白色晶粒晶界和带有孪晶的晶粒，引用最多的是ASTM晶粒度图谱，分类最细，按照不带孪晶和带有孪晶两类晶粒，每类又分为白底黑色晶粒晶界和黑底白色晶粒晶界两种，有无孪晶是材料及处理方法决定的，孪晶线不计入晶界，但是它的存在会影响视觉比较判断，所以需要区分不同的图谱；不带孪晶的组织，晶界和背底的颜色由于热处理和腐蚀刻画方法的不同可能呈现白底黑色晶粒晶界和黑底白色晶粒晶界两种，这两者呈现图像可能影响视觉判断，所以又分为两种图谱。背底颜色影响很小，如果忽略这种差异，

可以使用同一种图谱，这就是有的国家标准选择一种图谱的原因。孪晶出现情况较少，如果不计孪晶对视觉的影响，也可以使用不带孪晶的图谱检验，这是有的国家标准无专用的孪晶评级图谱的原因。

由于各国标准晶粒度级别数定义引申出，同一级别晶粒度各种参数指标基本相同，所以，各国标准中，同一晶粒度的级别的晶粒度图谱原则相同，使用比较法对同一视场评定的晶粒度级别是相同的。

3.3 钢的奥氏体晶粒形成方法

对于钢的晶粒度评定，分为铁素体晶粒度和奥氏体晶粒度。对于奥氏体钢的晶粒度，在室温下存在其组织，直接采用相应的浸蚀剂刻画出晶界，试样不需要热处理，可以直接检测。铁素体钢的奥氏体晶粒度，只有在产品已经淬火或者调质等预硬化后，具有马氏体组织，才能直接测量，否则，室温下铁素体钢不能保持奥氏体状态，需要采用相应的技术，对试样进行特定的热处理，在室温下呈现出原奥氏体化过程中奥氏体晶粒边界形貌，采用相应的浸蚀剂显示金属中曾经存在的原奥氏体晶界。

纵观世界各国标准，铁素体钢的奥氏体晶粒形成方法有八种，见表2，适用不同含碳量的碳钢和合金钢，显示原理分为五种，一种方法是使用饱和苦味酸试剂，淬火马氏体优先浸蚀奥氏体晶界，刻画出原奥氏体晶界；这种方法适用范围广，对于不同检验目的，使用不同热处理制度，可以分为不同奥氏体形成方法：直接法、相关法和模拟渗碳法，难点是清晰的刻画出晶界需要较高的技术和经验，及其足够的耐心。渗碳体网法、铁素体网法和细珠光体网法都是利用先共析相沿奥氏体晶界析出，反应原奥氏体形貌，技术难度在于试样的热处理，把控好冷却速度，在晶界析出连续完整的细网，才能刻画清楚原奥氏体晶粒。最易实现的显示方法是渗碳法和氧化法，通过碳或者氧这类外来物质，沿晶优先氧化或者冷却时沿晶优先析出渗碳体，优点易于生成和显示晶界，缺点是外来物质的进入，改变了钢的成分；渗碳法只能反映渗碳层晶粒大小，不能体现基体晶粒大小；而氧化法需要可控气氛炉，防止加热前期氧化形成虚假的细晶面。

表2 铁素体钢的奥氏体晶粒形成方法

晶粒形成	别称	适用范围 碳含量（质量分数）/%	显示原理
相关法		不限	淬火成马氏体，选择优先浸蚀奥氏体晶界的试剂，刻画出原奥氏体晶界
直接淬硬法	直接法 饱和苦味酸 溶液浸蚀法 Becget-Beaujard, 马氏体法	$\leq 1.00\%$	
模拟渗碳法	仿渗碳法	$\leq 0.25\%$	
渗碳法	麦奎德-埃恩		沿晶先共析出

	McQuaid-Ehn		渗碳体显示原奥氏体晶界
渗碳体网法	缓冷法	$\geq 1.00\%$	
铁素体网法	缓冷法	0.25%–0.60%	沿晶先共析出铁素体显示原奥氏体晶界
细珠光体（屈氏体）网法	贝氏体-梯度淬火法 分级淬火法	0.7%–0.8%	选择冷却方式，未完全淬硬的区域，原奥氏体晶粒由细珠光体（屈氏体）围绕马氏体晶粒组成，而显示出原奥氏体晶粒度。
氧化法	控制氧化法 Kohn	0.25%–0.60%	沿晶氧化显示出原奥氏体晶界

影响奥氏体晶粒大小的主要因素是试样热处理温度和保温时间，热处理制度制定原则见表3，国内外检验标准推荐的热处理制度见表4。由于欧盟和日本标准都参照ISO 643标准制定，所以，表4几乎囊括了所有标准。分析各标准的差异，ISO 643标准没有“相关法”和“渗碳体网法”，ASTM E112-2013和GB/T 6394-2017的“相关法”只有保温时间不同，ASTM E112-2013中“相关法”保温时间为1.5倍的产品标准规定时间，GB/T6394-2017规定1h至1.5h。其它形成方法，GB/T 6394-2017和ASTM E112-2013都相同。ISO 643-2013不同之处在于“氧化法”和“铁素体网法”采用产品标准中规定的加热温度，GB/T 6394-2017和ASTM E112-2013按照碳含量直接确定了热处理制度，这种方式的优点是对于钢材的大生产检验适用，否则每个钢种奥氏体化温度不同，不能同时热处理，工作效率低。ISO 643-2016直接法保温时间为1.5h，不同于其它标准的1h。渗碳法的保温时间6h，带罐升温2h，三个标准一致。

表3 热处理制度

晶粒形成	加热温度	保温时间	冷却方式
相关法	$T_{\text{实}}+30^{\circ}\text{C}$	1.5 $t_{\text{实}}$ 或 1-1.5h	快冷，水或油
直接淬硬法	按碳含量确定	1h 或 1.5h	
模拟渗碳法	渗碳温度	6h+2h	
渗碳法	渗碳温度	6h+2h	缓冷
渗碳体网法	部分奥氏体化	0.5h	缓冷
铁素体网法	按碳含量确定或 $T_{\text{实}}$	0.5h	空气、水或等温处理
细珠光体（屈氏体）网法	$T_{\text{实}}(Ac_1)$	—	快冷，水或油

氧化法	按碳含量确定或 $T_{实}$	1h	快冷，水或油
-----	-----------------	----	--------

表4 各标准热处理参数

晶粒形成	GB/T6394-2017		ASTME112-2013			ISO643-2016			冷却方式	
	加热温度		保温时间	加热温度		保温时间	加热温度			保温时间
	$\leq 0.35\%$	$> 0.35\%$		$\leq 0.35\%$	$> 0.35\%$		$\leq 0.35\%$	$> 0.35\%$		
相关法	$T_{实}+30^{\circ}\text{C}$		1-1.5h	$T_{实}+30^{\circ}\text{C}$		1.5 $t_{实}$	-		水或油	
直接淬硬法			1h	$885^{\circ}\text{C} \pm 14^{\circ}\text{C}$	$857^{\circ}\text{C} \pm 14^{\circ}\text{C}$	-	$880^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$	$850^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$	1.5h	水或油
氧化法	$890^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$	$860^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$	1h	$857^{\circ}\text{C} \pm 14^{\circ}\text{C}$		1h	$T_{实}$		$t_{实}$	水或油
铁素体网法			0.5h	$885^{\circ}\text{C} \pm 14^{\circ}\text{C}$	$857^{\circ}\text{C} \pm 14^{\circ}\text{C}$	0.5h	$T_{实}$		$t_{实}$	空、水或等温
渗碳法	$930^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$		6h	$927^{\circ}\text{C} \pm 14^{\circ}\text{C}$		6h+2h	$925^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$		6h+2h	缓冷
模拟渗碳法										水或油
渗碳体网法	$820^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$		0.5h	$816^{\circ}\text{C} \pm 14^{\circ}\text{C}$		0.5h	-			缓冷
细珠光体(屈氏体)网法	$T_{实}$		-	$T_{实}$	-	-	$Ac_3+30^{\circ}\text{C}$	-	-	水或油

注： $T_{实}$ 表示产品标准中规定的加热温度， $t_{实}$ 表示产品标准规定的时间。

由表4可知，三个标准温度差异是保留位数4带来的。ASTM E 112-2016保留到个位，GB/T6394-2017按照ASTME112-2013标准的温度，四舍五入精确到 10°C ；对于碳含量 $\leq 0.35\%$ 的钢的奥氏体化温度较原标准GB/T 6394-2002降低 10°C ，奥氏体化温度由 900°C 修改为 890°C ，其它温度不变。ISO 643-2016的温度舍弃个位，直接法比GB/T 6394-2016的奥氏体化温度低 10°C ，渗碳法低 5°C 。

4 GB/T 6394-2017 标准的特点

GB/T 6394《金属平均晶粒度测定法》，从86版开始到2017版都是参照或采用ASTM E 112进行编写和修订的。本次修订的原则是与“GB/T24177-2009 双重晶粒度表征与测定”和“YB/T4290-2012 金相检测面上最大晶粒尺寸级别(ALA晶粒度)测定方法”配套，全面反映晶粒度的多种客观存在形式，组成一个完整晶粒度测量方法系列。GB/T6394-2002、GB/T24177-2009和YB/T4290-2012都是参照美国ASTM标准E112、E930、E1180编写的，所以，GB/T6394-2017修改也参照ASTM E112-13，结合GB/T 6394-2002标准多年执行使用情况进行编写。GB/T6394-2017标准的主要关键点如下：

4.1 三个标准建立起我国完整的晶粒度评定体系

正如 GB/T6394-2017 标准“引言”所阐述：本标准所述的试验方法，只测量晶粒度单峰分布试样的平均晶粒度，对于具有双峰（或者更复杂）分布的试样，晶粒度用 GB/T6394-2017 和 YB/T4290 测量，晶粒度分布特征按照 GB/T24177 表征。对于细晶粒基体出现个别大晶粒，可用 YB/T4290 标准测定 ALA 晶粒度。

4.2 增加了铁素体晶粒度的检验相关规定，解决了实际晶粒度检验分歧问题

除 ISO 标准外，各国晶粒度检验方法标准没有明确规定铁素体钢的不同晶粒度类别，相应的结构钢产品技术条件中很少有明确规定检验奥氏体晶粒度，还是铁素体晶粒度，给晶粒度检验带来了不少的困惑。

零部件使用状态不需要进行热加工或者最终热处理时，钢材的交货状态的晶粒度，决定了零件的使用性能，晶粒度试样不需要热处理，直接检验晶粒度。检验经常遇到检验交货状态的实际晶粒度，交货状态多数是铁素体和珠光体组织，不同厂家检验方法不同，有的按照铁素体网检验晶粒度，这是检验钢的奥氏体晶粒度，不是实际铁素体晶粒度。而且实际生产的最终冷却速度不同，生成的块状、网状和针状不同铁素体形态，即使有铁素体网，常常也不连续完整，内部存在的珠光体还有不同的取向，怎么评定晶粒度：是评定铁素体晶粒度，还是评定奥氏体晶粒度？珠光体晶粒怎样定义？常常出现分歧。所以，GB/T6394 标准需要明确铁素体晶粒度的检验方法。原 GB/T6394-2002 标准第 7 章关于“含两相或多相及组元试样的晶粒度”，实际就是铁素体晶粒度的评定依据，可以确定铁素体和珠光体组织的评定方法；但是，这种规定暗含在标准中，需要理解推论，不明了。这次修订，GB/T6394-2017 标准直接增加了钢的铁素体晶粒度检验部分（见 7.2 和附录 A.2），定义了珠光体晶粒概念（见附录 A.2），明确了铁素体加珠光体组织铁素体晶粒度检验方法（见附录 A.2）；防止将铁素体珠光体组织的实际晶粒度即铁素体晶粒度评定为奥氏体晶粒度。

4.3 理顺奥氏体晶粒形成方法，增加了钢的奥氏体晶粒各种形成方法的选定原则，更适应实际生产应用

ASTM E112-13 标准有七种奥氏体晶粒的形成方法，细网状珠光体法在形成方法中没有，但在显示方法中有，两者不一致。GB/T 6394-2017 标准在形成方法增添了细网状珠光体法，和显示方法相对应。ASTM E 112-13 标准部分试样热处理规定不在形成方法中，而是在显示方法说明，不利于试样的热处理操作。修订时凡是有关热处理的内容都集中在原奥氏体晶粒形成方法中，晶粒浸蚀晶界刻画在显示方法中阐述。

与 ASTM E112 的热处理加热温度的换算对照，对于碳含量 $\leq 0.35\%$ 的钢的奥氏体化温度规定为 890°C ，较原标准 GB/T 6394-2002 降低 10°C 。

增加了取样部位、试样取向、抛光面积和原奥氏体晶粒的试样热处理方法的规定（见第六章和第七章），明确了原奥氏体晶粒形成方法的确定原则（见 7.2），即铁素体钢检验奥氏体晶粒度时，产品技术文件或产品标准需要注明采用的奥氏体晶粒的形成方法，如果未规定，渗碳钢采用渗碳法，其它钢采用直接淬硬法或者氧化法。这项规定，解决了有的技术文件或者产品标准，只规定晶粒度级别，没有规定形成方法，而采用不同的形成方法，对应的奥氏体化温度和保温时间不同，最终检验的晶粒度不同。需要注意，如果采用特殊的热处理，需要注明晶粒度试样的热处理参数（加热温度、保温时间和冷却方式）。

4.4 统计技术中增填完善晶粒度测定结果的置信区间及相对误差的计算方法

ASTM E112 标准在 1996 年修订后，取消了晶粒度级别的相当误差的确定方法，以规定计数相当误差替代，GB/T 6394-2002 保留了原标准的晶粒度级别的相当误差计算方法，GB 6394-86 将原 ASTM E112-80 的查表方法以公式替代，利于分析试验的不确定度，是一大技术进步。GB/T 6394-2017 标准在附录 B 中保留了原 GB/T6394-2002 的晶粒度计算结果相当误差的计算方法（见附录 B.2.6），并按照 ASTM E112-13 增加了计数的相当误差计算（见附录 B.2.3 和附录 B.2.4），纠正了原标准按照计数的相当误差 10%控制计算结果的相对误差的错误，两者相差约 2 倍，计算结果的相对误差应以 5%控制。

4.5 完善了晶粒各种参数的计算关系、公制和英制、宏观和微观晶粒度级别数互换关系等内容

通过理论推导，在附录 C 中增添了截点法和面积法的计算公式，增添了宏观晶粒度计算公式，截点法的公式推导过程和晶粒度值的差异分析，推导出宏观晶粒度和微观晶粒度级别数相差 13.3 级。标准给出的每个计算公式推导过程，可以溯源到晶粒度定义，便于从根本上理解标准；增填各参数的计算公式，方便使用不同参数计算晶粒度。

4.6 增加了评级细节的规定

在比较法评定中，与使用的显微镜放大倍数相匹配，晶粒度评级倍数换算表增加了 500 倍和 1000 倍的换算值（见表 4），增加了部分浸蚀剂及使用方法（见 A.2.2 A.3.2.2c），增加了大晶粒和超细晶粒的评级放大倍数选择（见 8.1.2.5）等评级细则。

5 结论

1 国内外现行晶粒度检验标准主要有 ASTM E112-2017、ISO 643-2016、GB/T 6394-2017 和 JIS G 0551-2013，欧盟各国都等同采用 ISO 643 标准，晶粒度级别指数定义有公制和英制两类，级别指数基本相等，晶粒度评定具有可比性。

2 钢的晶粒度检验分为铁素体晶粒度和奥氏体晶粒度，原奥氏体晶粒形成方法分为八种，选择原则依据分析目的而定。制定产品技术文件的晶粒度检验要求，需要注明检验的晶粒度类别和所需采用的原奥氏体晶粒的形成方法，特殊要求需要注明晶粒度试样的热处理参数（加热温度、保温时间和冷却方式）。

3 阐述了我国晶粒度标准的演变与发展历程，新国标的特点、与国际国外标准的差异，方便理解和应用新标准。