

**ASTM E466-2015**

**金属材料力控制轴向等幅疲劳  
试验标准规程**

Standard Practice for Conducting Force Controlled  
Constant Amplitude Axial Fatigue Tests  
of Metallic Materials

# 金属材料力控制轴向等幅疲劳试验标准规程<sup>1</sup>

本标准以固定标号 E466 发布；标号后面的数字表示最初采用的年份，或如有修订，则表示上次修订的年份。圆括号内的数字代表上次重新批准的年份。上标字母 (ε) 表示从上一次修订或重新批准有编辑上的修改。

## 1. 范围

**1.1** 本规程包括进行轴向力控制疲劳试验的程序，以获得处于疲劳状态的金属材料的疲劳强度，其中在初始加载和整个试验过程中主要为弹性应变。本规程限于对室温大气中等幅循环应力下用无缺口试样和缺口试样所进行的轴向疲劳试验。本规程并不用于构件或零件的轴向疲劳试验。

注 1—下列文件，虽然文中没有直接引用，但认为足够重要而列于本规程中：

E739 线性或线性应力寿命 (S-N) 及应变寿命 (ε-N) 疲劳数据的统计分析规程

STP 566 疲劳试验手册<sup>2</sup>

STP 588 疲劳实验的统计规划和分析手册<sup>3</sup>

STP 731 中值疲劳极限的估计表<sup>4</sup>

## 2. 引用文件

### 2.1 ASTM 标准：<sup>5</sup>

E3 金相试样制备指南

E467 轴向疲劳试验系统中等幅动态力验证规程

E468 金属材料等幅疲劳试验结果的表述规程

E606/E606M 应变控制式疲劳试验的试验方法

E739 线性或线性应力寿命 (S-N) 及应变寿命 (ε-N) 疲劳数据的统计分析规程

<sup>1</sup> 本规范受 ASTM 委员会 E08 (疲劳和断裂) 管辖，并直接由分委员会 E08.05 (循环变形和疲劳裂纹形成) 直接负责。

现行版本于 2015 年 4 月 1 日批准，2012 年 6 月发布。最初于 1972 年批准。前一版本于 2007 年批准的 E466-07。DOI: 10.1520/E0466-15。

<sup>2</sup> 疲劳试验手册，ASTM STP 566，ASTM，1974。

<sup>3</sup> Little, R. E., 统计规划和分析手册，ASTM STP 588，ASTM，1975。

<sup>4</sup> Little, R. E., 中值疲劳极限的估计表，ASTM STP 731，ASTM，1981。

<sup>5</sup> 对于引用的 ASTM 标准，请访问 ASTM 网站 [www.astm.org](http://www.astm.org) 或通过 [service@astm.org](mailto:service@astm.org) 联系 ASTM 客户服务中心。关于 ASTM 标准卷册年鉴的信息可参考 ASTM 网站上的标准文件总结页。

E1012 在拉伸和压缩轴向力作用下试验框架和试样对准的验证规程

E1823 疲劳和断裂试验的相关术语

### 3. 术语

#### 3.1 定义:

3.1.1 本规程所用术语应为术语 E1823 中定义的术语。

### 4. 意义和应用

4.1 本轴向力疲劳试验用于确定材料变化、几何形状、表面状态和应力等对于相当大的循环数下承受直接应力的金属材料的疲劳抗力的影响。该结果也可作为选择在反复直接应力条件下使用的金属材料的指南。

4.2 为了验证使用本规程产生的这些基础疲劳数据可以比较和重复性好,并能使各试验室之间的数据相互联系,从统计学角度来看进行循环型试验项目可能是有利的。这样做就需要控制或平衡通常认为的变量;例如,硬度、洁净度、晶粒大小、成分、方向性、表面剩余应力、表面光洁度等。因此,在进行这种类型的程序时,指定并保持先验一致性,尽可能多的合理变量,以及尽可能稳健的经济是至关重要的。应报告所用的所有材料变量、试验信息和程序,使结果的相关性和再现性认为是相当好的现行试验规程。

4.3 仅当试样的试验条件切实模拟使用条件或使用条件的一些解释方法可用并明确指定时,轴向力疲劳试验的结果才适用于设计。

### 5. 试样设计

5.1 所用试样的类型取决于试验程序的目的、设备型号、设备容量以及所用材料的形状。但是,试样的设计应满足下述一些基本要求:

5.1.1 试样的设计应使失效发生在试验截面(如图 1 和图 2 所示的减小区域)。确保试验截面失效的可接受面积比(试验截面积与夹持截面积之比)取决于试样夹持方法。螺纹端试样可能难以对其,而且通常在本规程相关寿命状态中试验时的应力浓度开始失效。需要注意的是,关于有锐利边缘的量规截面(即,正方形或矩形横截面)是固有弱点,因为晶粒在锐利边缘滑动两侧相邻晶粒的限制。正因如此,如果材料形状有助于此结构,则首选圆形截面。夹持端相对于量规截面的大小和从量规截面到夹持截面之间的过渡半径,可能会导致过早失效,特别是在夹持截面发生微动磨损或半径太小的情况下。如果出现这种情况下,应参考引用文

件 (1)。

**5.1.2** 为了计算获取所需应力所施加的力, 测量由该区域计算的尺寸时, 等于或大于 0.200in. (5.08mm) 的尺寸应精确到 0.001in. (0.03mm), 小于 0.200in. (5.08mm) 的尺寸应精确到 0.0005in. (0.013mm)。表面应力求平直, 并应与 8.2 协调一致。

注 2—测量尺寸从而推断试样表面的光洁度。在表面不光滑时, 由于研究的是表面处理或表面条件, 所以应按上面的描述测量尺寸, 并报告尺寸的平均值、最大值和最小值。

## 5.2 试样尺寸

**5.2.1** 圆形横截面—圆形横截面试样可能为以下两种类型之一:

**5.2.1.1** 在试验截面与端部之间有切向倒圆轴肩的试样 (图 1)—试验截面直径最好应在 0.200in. (5.08mm) 和 1.00 in. (25.4 mm) 之间。为确保试验截面失效, 夹持横截面至少应是试验工作截面的 1.5 倍, 但对于大多数材料和试样, 至少为试验工作截面的 4 倍。倒圆轴肩半径至少也应是试验截面直径的 8 倍, 从而使试样的理论应力集中系数  $K_t$ , 减至最小。试验截面的长度应约为其直径的 2-3 倍。对于压缩试验, 试验截面的长度应约为其直径的 2 倍, 从而使弯曲减至最小。

**5.2.1.2** 端部之间具有连续圆弧的试样 (图 3)—其曲率半径应不小于最小试验截面直径的 8 倍, 从而使  $K_t$  减至最小。缩小截面的长度应大于最小试验截面直径的 3 倍。此外, 与 5.2.1.1 中所叙述试样相同的尺寸关系应适用。

**5.2.2** 矩形横截面—矩形横截面试样可由薄板或板材制成, 可沿某一尺寸 (通常是宽度) 具有缩小的试验横截面, 或可能由厚度和宽度两个方向缩小尺寸的材料制成。由于这个原因, 面积比 (夹持截面与试验截面之比) 没有最大值。5.2.1.1 中给出的 1.5 的比值可当作一个标准线。此外, 矩形截面试样可能为以下两种型式之一:

**5.2.2.1** 在均匀试验截面与端部之间具有切向倒圆轴肩的试样 (图 4)—倒圆轴肩的半径至少应为试样试验截面宽度的 8 倍, 从而使试样的  $K_t$  值减至最小。试样试验截面的宽度与厚度之比应在 2 至 6 之间, 缩小的面积最好在 0.030in.<sup>2</sup> (19.4mm<sup>2</sup>) 和 1.00 in.<sup>2</sup> (645mm<sup>2</sup>) 之间, 如果取样要求保持原表面状态, 可不服从上述限制。试验截面长度应约为其宽度的 2-3 倍。对于厚度小于 0.100 英寸 (2.54 毫米) 的试样, 特别是在反向加载过程中 (例如 R=-1) 必须采取特殊的预防措施。例如, 试样对齐非常重要, 规程 E606/E606M 列出的程序是有利的。同样, 参考文献 (2-5), 尽管这些文献是关于应变控制试验的, 但由于其处理厚度约为 0.05in. (1.25mm) 的薄板试样, 因此也可能与此相关。

**5.2.2.2** 两端部之间有连续圆弧的试样 (图 2)—与 5.2.1.2 中所叙述的同样限制应适合这种

类型的试样。面积限制也应与 5.2.1.2 中所叙述试样相同。

**5.2.3 缺口试样**—鉴于含有缺口试样的试验程序的特殊性，除了符合试验目的外，对缺口试样的设计没有限制。此外，应报告特定缺口的几何形状，缺口尖端半径、缺口  $K_t$  的相关信息，以及测定  $K_t$  的方法和测定的原始数据。

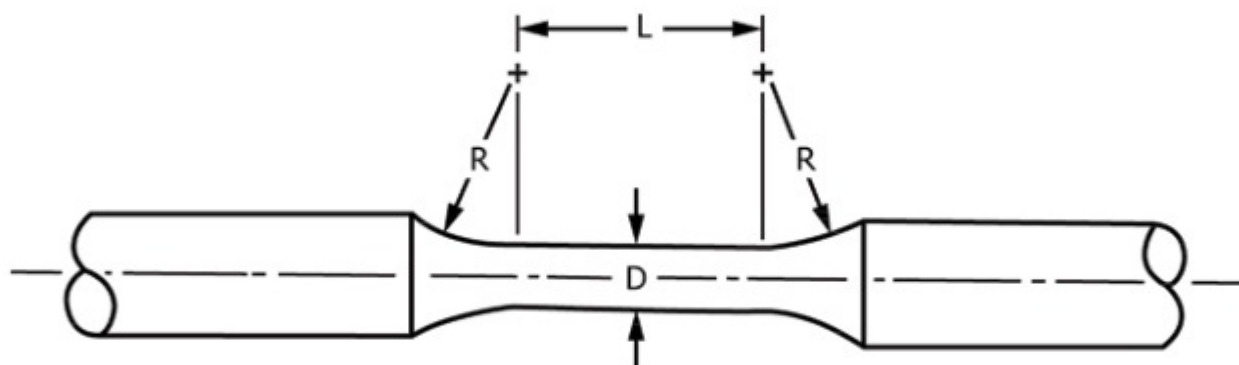


图 1 试验截面与端部之间有切向倒圆轴肩的试样

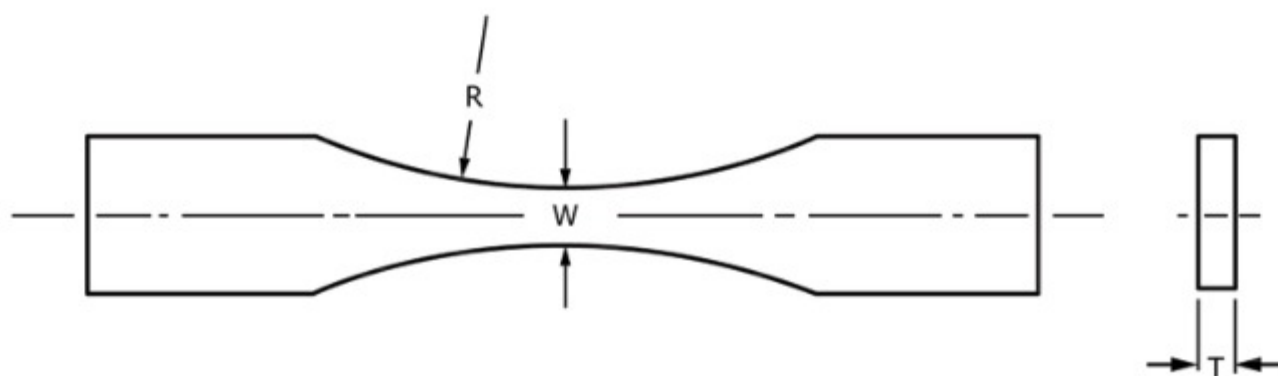


图 2 端部之间有连续圆弧的试样

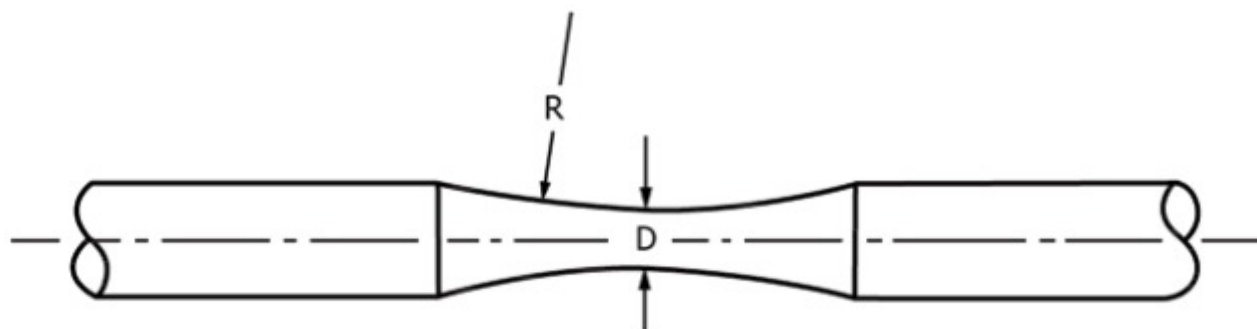


图 3 端部之间有连续圆弧的试样

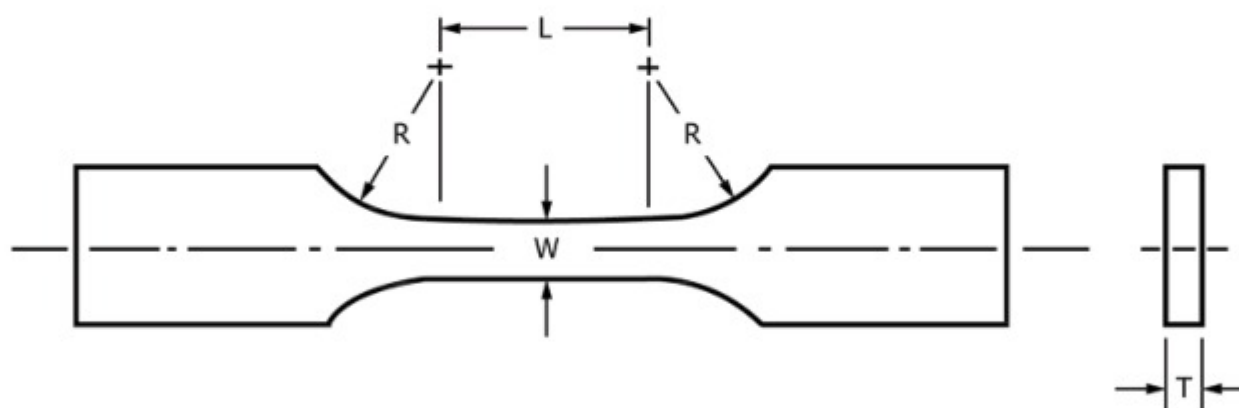


图 4 均匀试验截面与端部之间有切向倒圆轴肩的试样

## 6. 试样制备

**6.1** 试样的状态及其制备方法是十分重要的。不适当的制备方法会严重影响试验结果。鉴于这一事实，制备方法应由疲劳数据的提供者与用户在试验程序开始之前商定。由于试样的制备对疲劳数据影响很大，因此在选择制备方法时，应考虑该数据的应用范围或最终目的或同时考虑两者。附录 X1 给出了加工程序的一个例子，即，将加工程序用于一些金属上，使加工和热处理对疲劳寿命的可变性最小。

**6.2** 对于特定的材料和试样形状，一旦确定工艺并获批准之后，由于改变工艺可能会带来潜在偏差，因此不得改变原来的制造工艺。不论是机械加工、研磨或所用的抛光方法，最终金属的去除应沿近似平行于试样长轴的方向。由于程序会长期影响疲劳性能，因此应在报告中明确说明整个程序。

**6.3** 必须避免的影响是内圆角的凹进和试样制备实践所产生的残余应力。在研究这些参数时，又当别论。通过检验能容易地确定内圆角的凹进。可通过仔细控制加工程序确保表面残余应力减至最小。建议使用 X 射线衍射峰位移或类似技术来测定这些表面残余应力，并沿着测定的方向（即纵向、横向、径向等）报告表面残余应力的值。

**6.4** 贮存—由于试样在室温大气下会发生腐蚀，所以应进行相应的保护，最好是放在惰性介质中。通常在试验前用适当溶剂去除保护介质，而不使试样的寿命受到不良影响。

**6.5** 检验—所有试样应使用肉眼或 20× 低倍放大镜下进行目测检验。不允许有任何明显的异常情况，如裂缝、加工痕迹、凿槽、凹进等。试验前试样应使用对材料的机械特性无损伤和无害的溶剂清洗，以去除任何表面油膜、指印等。尺寸分析和检验应以没有明显标记、划痕、凿槽、刻痕或不改变试样表面的方式进行。

## 7. 设备性能

**7.1** 通常可选用下列类型疲劳试验机的任一种进行试验。

**7.1.1** 机械式（偏心曲轴、强力螺杆、转动质量），

**7.1.2** 电动机械式或电磁式驱动，或

**7.1.3** 液压式或电动液压式。

**7.2** 为了确保在整个试验期间保持所要求的负荷形式和大小，应对试验机的动作进行分析。

**7.3** 这些试验机应具有力-监控系统，比如用与试样串连安装或直接装在试样上的传感器，除非由于空间或其它限制而无法使用这种系统。在试验初期，需连续监控试验力，此后也要定期监控，以确保所要求的力循环保持不变。在整个试验期间，通过适当的动态检验（见规

程 E467) 测定的变应力大小应保持在期望试验值的 2% 以内。

**7.4 试验频率**—频率范围的疲劳结果受速率效应的影响可因材料不同而不同。在 10-2-10+2Hz 的典型范围内, 其中大多数结果在此范围产生, 疲劳结果通常不受大多数金属工程材料影响。这超出了规程 E466 的范围, 以推断超出此范围或将这一假设延伸到在环境试验温度和提到的频率范围内可能为粘弹性或粘塑性的其它材料系统。作为警告, 只要出现局部屈服, 显着的试样加热可能会产生并影响疲劳强度。

## 8. 程序

**8.1 安装试样**—试样夹具最重要的一点在于其能始终使每根试样对位良好 (见 8.2)。对于最常用的夹具, 对位良好必须非常注意设计细节。应尽一切努力防止错位的发生, 不管是因为扭曲 (夹具的转动) 或是其对称轴的移动所致。

**8.2 对准校验**—为使弯曲应力 (应变) 减至最小, 试样夹具应对齐, 使每个周期中试样的长轴与负载轴紧密重合。每个试样的对准精度保持一致很重要。对于圆柱形或矩形试样, 应使用规程 E1012 (在拉伸和压缩轴向施力下验证试验框架和试样对准的标准规程) 中详细说明的程序测定调直。应完全记录获得对准数据的点 (应力或应变)。如果试验中使用压缩应力 (应变), 则对准必须在压缩状态下验证。对于特定的试验程序, 一旦确定工艺并获批准之后, 由于改变工艺可能会带来潜在偏差, 因此不得改变原来的制造工艺。在试验程序中已经证实可接受对准的力系结构的任何变化需要重复测量弯曲应力 (应变)。在圆柱形或矩形截面试样上测定的弯曲应力 (应变) 不得超过试验期间施加的应力 (应变) 的范围、最大值或最小值的 5%, 或  $\pm 100$  微应变, 取较大者。弯曲应力 (应变) 应使用规程 E1012 第 10 节 (计算和结果的解释) 的方法计算。如果力系变化, 则需要对准校验。如果力系没有任何变化, 则至少每 12 个月进行一次对准校验。

弯曲应力 (应变) 越小, 不同试样重复的试验结果越多。这对延展性低的材料尤为重要 (即, 弯曲应力 (应变) 不得超过最小应力 (应变) 幅值的 5%)。由于弯曲应力 (应变) 会长期影响疲劳性能, 因此应报告弯曲应力 (应变)。

注 3—本部分参考规程 E1012 中的 A 型试验。

注 4—正如本部分所提到的, 力系结构的变化通常是指力系主要构件的变化, 例如测力传感器、促动器、连杆器或夹具底座。一些力系结构在试样插入期间需要部分拆卸和重新组装。对于这样的系统, 必须良好控制加载程序并证明产生的弯曲应力 (应变) 不超过试验期间施加的应力 (应变) 的范围、最大值或最小值的 5%, 或  $\pm 100$  微应变, 取较大者。

注 5—强烈建议应变仪对准传感器在尺寸上与预期的试样接近。应变仪对准传感器材料的弹性性能应与预期试样材料接近或相同。目标是使用具有与预期试样相同或更低刚度的对准传感器。

## 9. 试验结束

9.1 继续试验直到获得试样失效判据或试样所承受的循环数达到预定值。“失效”的定义为：试样完全断开成两部分，在规定放大倍数下发现肉眼可见裂纹或裂纹长度达到一定尺寸，或其它的某种判据。在报告试验结果时，要说明用于定义“失效”所选择的判据并与给定的数据集一致。

## 10. 报告

10.1 报告以下信息：

10.1.1 疲劳试样、程序和结果应按照 E468 报告。

10.1.2 本规程仅限于用金属试样在适当环境（一般是在室温大气中）下进行的试验。由于环境对试验结果的影响很大，因此环境条件（即温度、相对湿度以及介质等）在试验过程中应定期记录并报告。

10.1.3 通常使用周期强制函数（通常为正弦函数）进行疲劳试验。然而，不论强制函数如何（正弦形、斜面上升的梯形、锯齿形）都应报告清楚。

10.1.4 当非缺口试样在试验中发生明显屈服时（如非零平均应力疲劳试验），试验过但还未破坏的试样的永久变形（如试样横截面积的百分比变化）应予以报告。

10.1.5 断裂特征的简要描述；试验后金相学或扫描电子显微镜的结果，或两者；疲劳机制的识别；穿晶和晶粒间开裂的相对程度是非常有利的。

10.1.6 使用规程 E1012 第 10 节（计算和结果的解释）的方法计算的对准弯曲应变应按要求报告。

## 附录

### (非强制性信息)

#### X1. 加工程序的示例

**X1.1** 当开发下述程序用于加工高强度材料并伴随最小表面损坏和改变时，才可成功地应用于低强度材料。作为保守的一般测量，建议使用该层序，除非：(1) 实验目的是评价另一个给定表面条件或，(2) 已知进行评价的材料对表面条件相对不敏感。

#### **X1.2** 程序：

**X1.2.1** 在加工的最后阶段，少量去除材料直到保留 0.125mm (0.005in.) 的剩余材料。

**X1.2.2** 以每次通过不超过 0.005mm (0.0002in.) 的速度通过外圆磨削去除紧接着的 0.1mm (0.004in.) 测量直径。

**X1.2.3** 通过纵向抛光(注 X1.1)去除最后 0.025mm (0.001in.)，以给予纵轴方向 0.2 $\mu$ m (8 $\mu$ in.) 的最大表面粗糙度 Ra。

注 X1.1—抛光时应特别注意，以确保材料被正确的去除，而只是涂抹产生光滑表面。这对于软材料特别危险，其中可以在材料的工具痕上涂抹，因此对试验期间裂纹萌生产生潜在的不良影响。

**X1.2.4** 抛光（见注 X1.1）后，所有剩余研磨和抛光痕迹应是纵向的。在约 20 $\times$ 放大倍率的光学显微镜下观察，应没有周向加工。

**X1.2.5** 去除完成试样的油脂。

**X1.2.6** 如果需要热处理，则在最后加工前进行。

**X1.2.7** 如果要进行表面观察，试样可能根据方法 E3 进行电解抛光。

**X1.2.8** 在远离夹持表面的低应力区域的试验截面两端印上试样数。

## 参考文献

- (1) Worthem, D. W., “先进复合材料的平面拉伸试样设计”, NASA 承包商报告 No.185261, NASA—刘易斯研究中心, Cleveland, OH, 1990 年 11 月。
- (2) Miller, G. A., “应变的实验室研究—1.2mm 厚的薄板试样的循环疲劳”, 试验及评价杂志, JTEVA, Vol 13, No. 5, 1985 年 9 月, pp 344 - 351。
- (3) Miller, G. A. and Reemsnyder, H. S., “应变—薄钢板和厚钢板的循环疲劳 I: 试验方法开发和数据表示”, 汽车用高强度钢, P124, SAE Paper No. 830175, 美国汽车工程师学会, Warrendale, PA, 1983 年 2 月, pp 23 - 31。
- (4) Miller, G. A. and Reemsnyder, H. S., “应变—薄钢板和厚钢板的循环疲劳 II: 应用应变时的一些实际问题—循环疲劳概念”, 汽车用高强度钢, P124, SAE Paper No. 830173, 美国汽车工程师学会, Warrendale, PA, 1983 年 2 月, pp 33 - 41。
- (5) Miller, G. A. and Reemsnyder, H. S., “应变—薄钢板和厚钢板的循环疲劳 III: 缺口试样的试验”, 汽车用高强度钢, P124, SAE Paper No. 830176, 美国汽车工程师学会, Warrendale, PA, 1983 年 2 月, pp 43 - 53。

ASTM 国际不对与本标准中提及的任何项目相关的任何专利权的有效性发表意见。特此建议本标准的用户确定任何此类专利权的有效性, 侵犯此类专利的风险全部由用户自行承担。

责任技术委员会有权在任何时候对本标准进行修订, 并且必须每 5 年重新审核一次。若无修订, 则要么重新批准, 要么撤销。欢迎您对本标准或其它标准提出意见, 请向 ASTM 国际总部发表您的意见。您的意见将会在责任技术委员会的会议上受到仔细考虑, 而且您可能将被邀请参加这个会议。如果您觉得您的意见没有被公正对待, 则应按下列地址将您的意见告知 ASTM 标准委员会。

本标准的版权归 ASTM 国际所有, 地址: 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States。如果需要本标准的个别重印版(单本或多本), 可通过以上地址联系 ASTM, 也可致电 610-832-9585, 或传真至 610-832-9555, 或发电子邮件至 [service@astm.org](mailto:service@astm.org), 或访问美国试验与材料协会网站 ([www.astm.org](http://www.astm.org))。拷贝标准的许可权也可通过 ASTM 网址 ([www.astm.org/COPYRIGHT/](http://www.astm.org/COPYRIGHT/)) 获得。拷贝本标准的权利也可从版权结算中心获得, 地址: 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, 电话: (978) 646-2600; 网址: <http://www.copyright.com/>。