

# GB/Z ××××.3—202×《金属材料焊缝破坏性试验 焊件的热裂纹试验 弧焊方法 第3部分：外载荷试验》编制说明

## 工作简况

### 1、任务来源

任务来源于国家标准化管理委员会国标委发[2020] 37号文“国家标准化管理委员会关于下达2020年第二批推荐性国家标准计划的通知”下达的项目计划，项目计划编号：20202590-Z-604，名称：“金属材料焊缝破坏性试验 焊件的热裂纹试验 弧焊方法 第3部分：外载荷试验”，本项目为指导性技术文件制定项目，项目主管部门：中国机械工业联合会；归口部门：全国焊接标准化技术委员会；负责起草单位：哈尔滨焊接研究院有限公司、上海材料研究所等；计划周期：18个月；计划完成时间：2022年2月。

### 2、主要工作过程

#### 2.1 概述

热裂纹试验是评价焊接（接头）质量的重要试验方法，据报道，用于评价热裂纹敏感性的试验方法已经超过140种，早在2004年、2005年，ISO就发布了热裂纹试验的系列标准：

ISO 17641-1:2004 《金属材料焊缝破坏性试验 焊件的热裂纹试验 弧焊方法 第1部分：总则》；

ISO 17641-2:2005 《金属材料焊缝破坏性试验 焊件的热裂纹试验 弧焊方法 第2部分：自拘束试验》；

ISO/TR 17641-3:2005 《金属材料焊缝破坏性试验 焊件的热裂纹试验 弧焊方法 第3部分：外载荷试验》。

其中ISO 17641-2:2005 经历了一次修订，最新版本为ISO 17641-2:2015。

由于ISO/TR 17641-3:2005为ISO的技术报告，其中涉及的试验方法技术尚在发展完善中，为了对焊接热裂纹评定试验过程中的标准化工作提供指导性信息，供科研、设计、生产和应用等有关人员参考使用，本次作为国家标准化指导性技术文件（GB/Z）进行制定。

#### 2.2 起草（草案、调研）阶段

计划下达后，2020年8月全国焊标委焊缝试验和检验分委员会组织各起草单位成立了起草工作组，由哈尔滨焊接研究院有限公司牵头成立了指导性技术文件编制工作组，负责主要起草工作。工作组对国内外热裂纹试验方法和技术现状与发展情况进行全面调研，同时广泛搜集相关标准和国内外技术资料，包括美国焊接学会负责的AWS B4.0-2016《焊缝机械性能试验方法》，并进行了大量的研究分析、资料查证工作，结合实际应用经验，进行全面总结和归纳，在此基础上编制出GB/Z ××××.3-202×《金属材料焊缝破坏性试验 焊件的热裂纹试验 弧焊方法 第3部分：外载荷试验》指导性技术文件草案初稿。经工作组及有关专家研讨后，对草案初稿进行了认真的修改，于2020年9月形成了草案，随《金属材料焊缝破坏性试验 焊件的热裂纹试验 电弧焊方法 第1部分：总则》和《金属材料焊

缝的破坏性试验 焊件的热裂纹试验 弧焊方法 第2部分：自拘束试验》两个国标征求意见稿一并提交，供系列标准相关内容相互对照参考。

2020年10月形成了指导性技术文件征求意见稿及其编制说明等相关附件，报全国焊标委焊缝试验和检验分委员会秘书处。

### **3、本指导性技术文件起草单位**

XXX、XXX、XXX、等。

### **4、本指导性技术文件主要起草人**

XXX、XXX、XXX、等。

所做的工作：XXX任工作组组长，主持全面协调工作，负责对各阶段标准的审核；XXX为本指导性技术文件主要执笔人，负责本指导性技术文件的具体起草与编制；XXX、XXX、XXX负责国内外相关技术文献和资料的收集、分析及资料查证，对试验方法概况、装置和结果应用进行总结和归纳；XXX负责对国内外试验方法的现状与发展情况进行全面调研，XXX负责对各方面的意见及建议进行归纳、整理。

## **二、国家标准编制原则和确定国家标准主要内容**

### **1、标准编制原则**

本指导性技术文件在制定过程中充分考虑到近年来焊缝试件热裂纹试验领域的发展，考虑到标准的先进性、通用性、可操作性和易用性原则，通过同行业内有影响力的专家进行交流、调研，结合目前国内外相关行业的发展需要，努力与国际市场接轨，编制本指导性技术文件。

本指导性技术文件使用重新起草法修改采用ISO/TR 17641-3:2005《金属材料焊缝破坏性试验 焊件的热裂纹试验 弧焊方法 第3部分：外载荷试验》。在起草过程中，主要按GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》、GB/T 20000.2-2009《标准化工作指南 第2部分：采用国际标准》、GB/T 20001.4-2015《标准编写规则 第4部分：试验方法标准》和质技监局标发[1998]181号《国家标准化指导性技术文件管理规定》的要求编写。

### **2、主要内容**

本指导性技术文件与ISO/TR 17641-3:2005 的技术性差异及其原因见表1。

表1 本指导性技术文件与 ISO/TR 17641-3:2005 的技术性差异

| 本指导性技术文件的章条编号 | 技术性差异  | 原因  |
|---------------|--|---|
| 2             | 用修改采用国际标准的 GB/T ××××.1 代替 ISO 17641-1            | 适用我国技术要求  |
| 4             | BTR 说明中“NST 与 DTR 之差值”更改为“NST 与 DRT 之差值”         | DRT 应是误写为 DTR   |
| 4             | 增加了弯曲应变的符号和说明                                    | 为与 6.2.4 的图 4 对应  |
| 4             | 删除了 $S_s$ 和 $S_v$ 的符号                            | 在 6.3 的图、文中没有出现关于 $S_s$ 和 $S_v$ 的表述，找不到适用的条文进行添加补充                                    |
| 4             | 将“ $V_{crit}$ ”的说明由“产生热裂纹的临界应变”更改为“产生热裂纹的临界拉伸速度” | 表 1 中对 $V_{crit}$ 的符号说明与 6.3.4 对 $V_{crit}$ 的定义表述不符                                   |
| 4             | 焊接速度符号由“ $v_s$ ”更改为“ $v_w$ ”                     | 同一物理量在表 1 和图 6 用了不同的符号，根据习惯用法选择了图 6 中标注的符号“ $v_w$ ”                                   |
| 4<br>5<br>6.3 | 更改了“程控平板拉伸试验”的名称表述                               | 根据 ISO 第 1 部分的 7.2.4 和表 3 的表述，在本指导性技术文件该方法名称中增加“程控”二字，能够更好地体现该试验方法的关键特点，以区别于普通的平板拉伸试验 |
| 6.1.2         | 图 1 中试样长度符号由“ $a$ ”更改为“ $l$ ”                    | 符合 GB/T 1.1-2020 的要求  |
| 6.1.5         | 图 2 中“ $R_m$ ”单位由“N/mm <sup>2</sup> ”更改为“MPa”    | 与表 1 中的单位和 GB/T 228.1-2010 的单位一致  |
| 6.2.2         | 增加了“注 2”辅助弯曲板的相关规定和示意图 3c)、d)                    | 引用了 AWS B4.0:2016 的 10.5.5.2 和图 10.5.2  |
| 6.2.3         | 增加了熄弧前、后操作细节                                     | 为细化试验步骤，引用了 AWS B4.0:2016 的 10.5.7.2  |
| 6.2.3         | 增加了弯曲应变的公式及相关说明                                  | 为说明图 4 的结果处理，与横轴对应，引用了 AWS B4.0: 2016 的 10.5.5.4                                      |
| 6.2.4         | 增加了关于裂纹检查的示例图 4b)                                | 为说明截取试样位置和检查细节，引用了 AWS B4.0:2016 的图 10.5.3  |

|                |                                  |  |
|----------------|----------------------------------|--|
| 6.2.4          | 增加了关于获得 BTR 的说明                  | 因表 2 中可调拘束试验对于凝固裂纹的评定指标还有 BTR, ISO 中未说明如何获得  |
| 6.3.3<br>6.3.4 | 符号由“ $V_{cr}$ ”更改为“ $V_{crit}$ ” | 未发现 6.3.3 和 6.3.4 中表述的“ $V_{cr}$ ”与“ $V_{crit}$ ”代表两种物理量, 因此按 ISO 本指导性技术文件的表 1、表 2 和 ISO 第 1 部分的表 1、表 3, 统一为“ $V_{crit}$ ” |

### 三、主要试验验证情况

本指导性技术文件规定的试验方法对于试件、试样和步骤等无技术差异, 因而无试验验证要求。

哈尔滨焊接研究所进行的可调拘束试验参数如下, 总体参照了 AWS B4.0 的结构、尺寸, 使用了辅助板。

| 变形方式        | 快速变形                | 慢速变形                |
|-------------|---------------------|---------------------|
| 加载速度 (mm/s) | ≥200 不可调            | 3~80 (0.3%-7.0%) 可调 |
| 变形方式        | 弯曲模远支点弯曲            | 近支点弯曲               |
| 应变量调节       | 变换弯曲模半径             | 控制试样端部下降距离 h        |
| 应变量 (%)     | 0.15~4.0 (10mm 厚试板) | h 在 0~140 可调        |

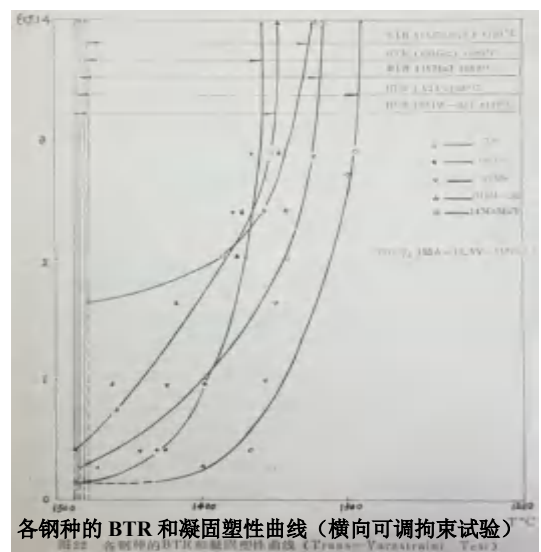
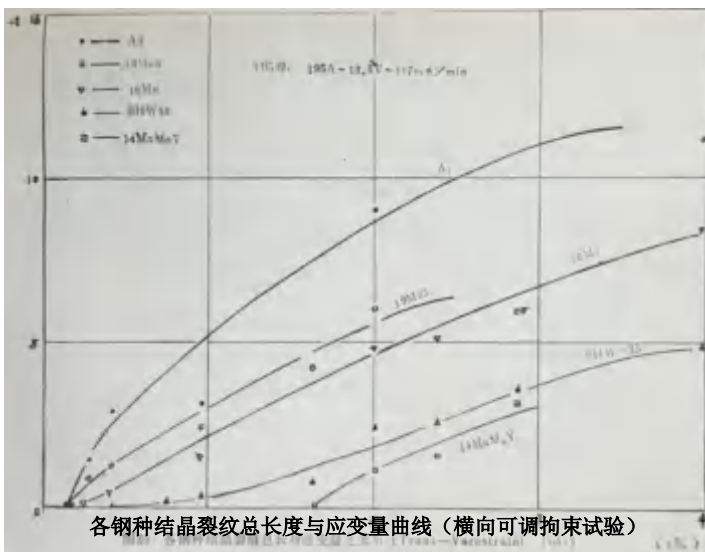
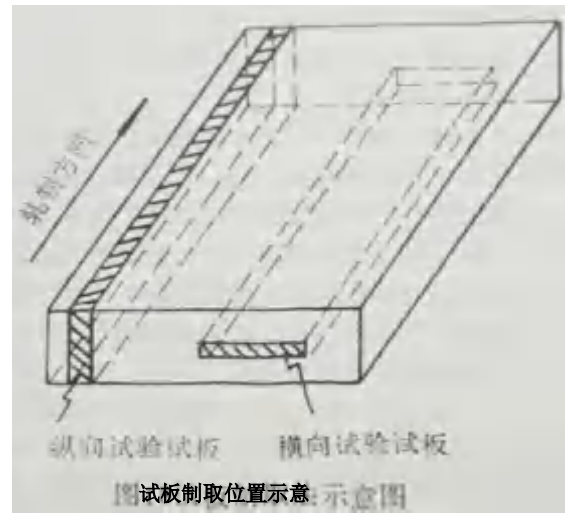
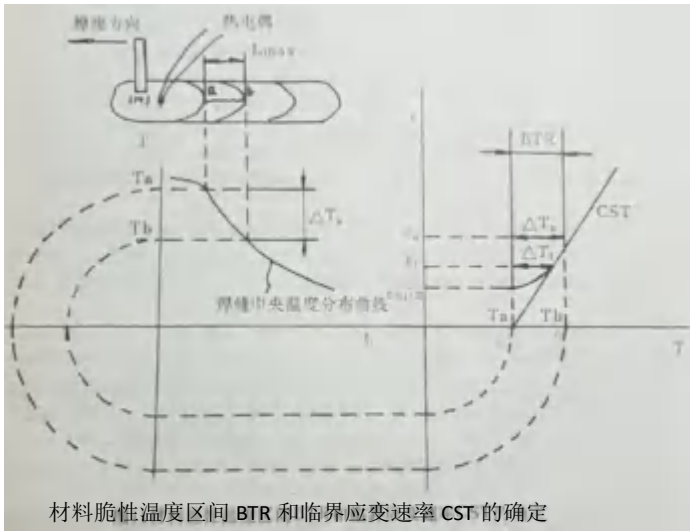
| 加载方式   | 加载方向不变   | 加载方向始终垂直于试样表面           |
|--------|--|-------------------------|
| 弯曲性质   | 横力弯曲   | 纯弯曲                     |
| 法向应变   |  |                         |
| 切向应变   | 试样上表面<br>$\varepsilon = \frac{t}{2R + t} \times 100\%$ | 0                       |
| 加载速度恒定 | 应变速度恒定   | 直线加载应变速度有变化, 旋转加载应变速度稳定 |

快速瞬时变形使得该实验能够简便地获得 RTR、凝固塑性曲线以及 CST, 定量评定裂纹敏感性。如果变形速度较低, 则只能测得临界开裂应变量和裂纹总长度。试验机的变形速度对裂纹敏感性有一定影响, 使用该方法时需要关注。

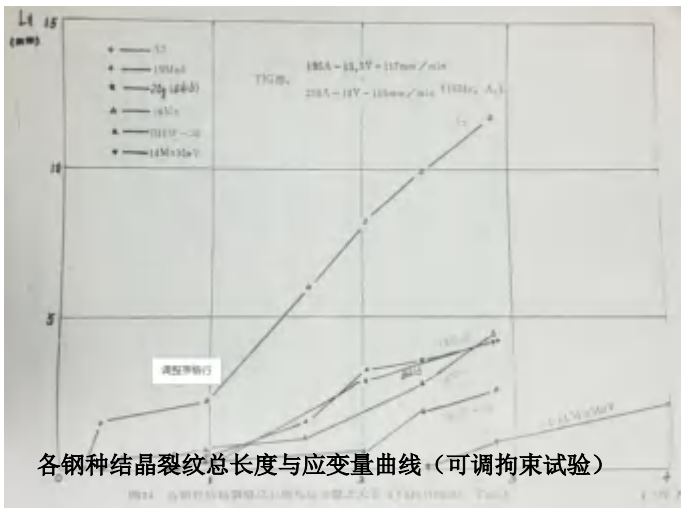
| 试样尺寸     | $l$ (mm) | $w$ (mm)                                   | $t$ (mm)      | 可选辅助板 (mm) | 弯曲模 (mm)         |
|----------|----------|--|---------------|------------|------------------|
| 纵向可调拘束试验 | 350      | 80   | $10, \leq 25$ | 同长、50 宽    | 200 长、100 宽      |
| 横向可调拘束试验 | 350      | 140 (焊缝焊至 50/80mm 长度时施加弯曲力, 焊至 80mm 长度时收弧) | 10            | 同长、35 宽    | 300 长、100 宽、50 厚 |

对于 ISO/TR 17641-3:2005 中横向可调拘束试验的验证工作还在进行中。

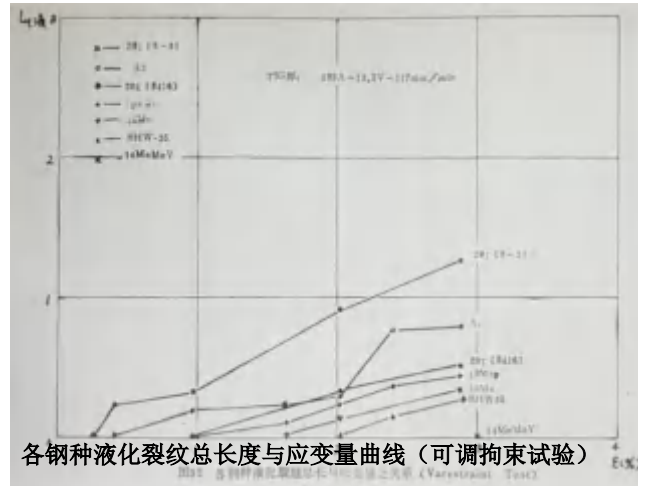
对于一些钢种进行了热裂纹可调拘束试验, 摘录一些试验结果及图线如下:



| 钢种                          | CST (%/°C) | BTR (°C) | $\epsilon_{\min}$ (%) |
|-----------------------------|------------|----------|-----------------------|
| A3/Q235                     | 2.8        | 193      | 0.15                  |
| 19Mn5                       | 8.2        | 120      | 0.15                  |
| 16Mn/Q355                   | 11.6       | 169      | 0.27                  |
| BHW-35                      | 19.5       | 139      | 0.41                  |
| 14MnMoV                     | 20.4       | 154      | 1.63                  |
| 焊接规范 195A--13.5V--117mm/min |            |          |                       |



各钢种结晶裂纹总长度与应变量曲线（可调拘束试验）



各钢种液化裂纹总长度与应变量曲线（可调拘束试验）

表4 各钢种产生液化裂纹的临界应变量及2.87%应变下的裂纹总长

| 钢种                      | 20g(8-3)* | A3   | 20g(8416)* | 19Mn5 | 16Mn | BHW-35 | 14MnMn.V |
|-------------------------|-----------|------|------------|-------|------|--------|----------|
| $\epsilon_{min} (\%)$   | 0.27      | 0.41 | 0.96       | 0.96  | 1.63 | 2.05   | —        |
| 2.87%时的<br>裂纹总长<br>(mm) | 1.27      | 0.8  | 0.52       | 0.45  | 0.35 | 0.28   | 0        |

#### 四、标准中涉及专利的情况

本指导性技术文件不涉及专利问题。

#### 五、预期达到的社会效益、对产业发展的作用等情况

焊接作为制造业中的基础加工工艺方法，广泛地应用在航天航空、海洋工程、核电、军工、船舶、压力容器、石油化工等各工业领域。我国重大工程项目如核电建设、奥运工程、三峡工程等，其中焊接都是关键技术，焊接工艺在国民经济建设中占有重要的地位。焊接热裂纹是焊接制造过程中非常严重且常见的缺陷，如何开发和选用适宜的试验方法并将其标准化，是焊接及标准化工作者的重要工作。

本指导性技术文件是首次制定，编制过程中充分了解了现今相关试验需求和应用情况，通过标准的制定和实施，将为国内焊缝试件热裂纹试验方法的标准化和推广应用提供有力的技术支撑，为指导和规范焊接工艺试验和焊接性评价提供依据，为焊材、母材及工艺的匹配与优化提供更多评估手段，促进技术创新，有利于提高产品的技术性能、安全可靠性及环保性能，增强相关产品的国内外市场竞争力，推动焊材产品质量的提高和行业的整体技术进步，为国家重大装备和重点工程的自主化建设提供技术支撑，同时为推进产业结构调整与优化升级创造条件，对规范市场竞争、引导市场良性发展，加快我国焊接试验技术快速发展具有积极的促进作用，将产生良好的社会效益和经济效益。

#### 六、与国际、国外对比情况

由于本指导性技术文件为系列标准中的第3部分，应与“第1部分：总则”的相关内容对应一致，因此对于一些试验方法名称以及符号及其说明、单位等，均根据具体情况进行

了统一、更正、补充，对于示意图中符号、说明、曲线坐标轴等进行了统一性、符合性完善。针对可调拘束试验认为缺少一些试验细节，编写组按照AWS B4.0: 2016《焊缝力学性能试验方法标准》中“可调拘束试验”的相关规定，进行了补充和完善。

**AWS B4.0:2016的10.5 “可调拘束试验”中相关规定：**

可调拘束试验通过在悬臂式试样的一端焊制一条焊道，并施加弯曲试验力。将试样夹在试验夹具中，见图10.5.1。设定半径的可移动弯曲模固定在图示位置，当需要时，使用轧制钢板作为辅助弯曲板与试样一并夹在夹具中，推动试样贴合弯曲模，避免焊接熔池附近的局部弯曲，见图10.5.2。

在距试样未固定一端约50mm的试样中心起弧，沿试样中心行进，当电弧通过处于弯曲模表面和试样固定的之间的A点时施加弯曲力（加载速度可能影响试验结果），试样和辅助弯曲板向下弯曲，直至试样贴合弯曲模上表面的曲率半径，同时电弧继续行进到接近试样末端的位置C，电弧行进速度始终恒定。弯曲力和保护气体（若使用）在熄弧后应保持5分钟，然后从夹具移出试样进行检查。

每一次试验的弯曲半径依次递减，直到弯曲模半径小到足够引发裂纹。一系列半径递减的弯曲模提供不同的应变等级，即对相应一系列试样中凝固焊缝追加的切向应变。诱发凝固裂纹的应变是母材裂纹敏感性的指标。

弯曲力可使用液压或气动方式施加。弯曲设备的设计和方式取决于设备制造者。

**试验参数：**

(1) 试样数量：对于每一选定或要求的追加切向应变值，在同一条件下应最少试验3个试样。

(2) 试样取向：除非使用的试样是铸件或者要模拟的服役条件与轧制方向不同，否则试样制取方向应使305mm长度方向平行于母材最终轧制或主要作业方向。

(3) 焊缝尺寸：当使用最大裂纹长度判据筛选材料时，焊缝轮廓尺寸应保持一致。

在40×、60×或80×低倍放大镜下对A点附近的焊后表面目视检查裂纹。任一HAZ或熔合区裂纹的位置示于图10.5.3，测量每一裂纹长度（视野内应包含一个刻度标线）。

**以下判据能用于评定试验结果：**

(1) 开裂临界值：对于特定母材给定一套焊接参数下引起开裂所需最小追加切向应变，该判据用于比较焊接工艺的定量评定。

(2) 最大裂纹长度：在同等水平的追加切向应变下，保持一致的熔池尺寸，在给定试样上测得的最大裂纹长度，可用作初步筛选母材、焊材的定量指标。

(3) 总裂纹长度：每一试样的焊缝金属和HAZ中发现的裂纹长度分别相加而得，能够给出焊缝金属和HAZ热裂纹敏感性的最佳定量指标。该判据也可用于检查焊接工艺参数变化的影响。

可调拘束试验技术正在进行改进和完善。试样尺寸和结构、试验装置、结果解读和试验参数对热裂纹敏感性影响的理解正被逐一调查研究，本试验方法已体现主要内容。阐述这些研究的两篇文章有：

<sup>1</sup> Ito, W. "A model for heat-affected zone liquation cracking." *Welding in the World* 30 (9/10): 236-242, 1992.  
<sup>2</sup> Ito, W., Lippold, J. C., and Backlund III, W.A. "An evaluation of heat-affected zone liquation cracking susceptibility; Part I: Development of a method for quantification." *Welding Journal* 72(4): 135-s-153-s, 1993.

| 可调拘束试验 | $l$ (mm)  | $w$ (mm)  | $t$ (mm) | 适用母材厚度 (mm) | 弯曲模的所有尺寸 |
|--------|-----------|-----------|----------|-------------|----------|
| 常规试板   | 300 ~ 350 | 150 ~ 180 | $t$      | 6~13        |          |
| 迷你试板   | 152       | 25        |          | 3~6         | 可按试样比例缩小 |

|       |     |    |          |  |
|-------|-----|----|----------|--|
| 辅助弯曲板 | 305 | 50 | 13常规/6迷你 |  |
|-------|-----|----|----------|--|

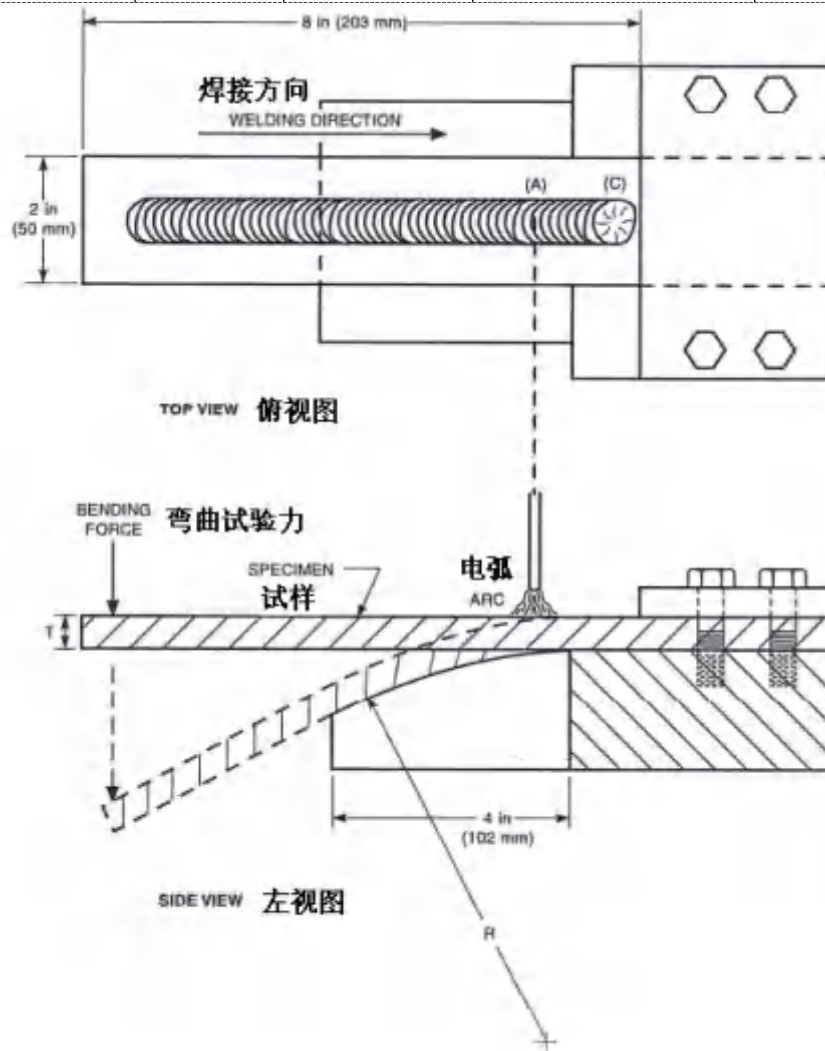


图10.5.1 可调拘束试验夹具和试样



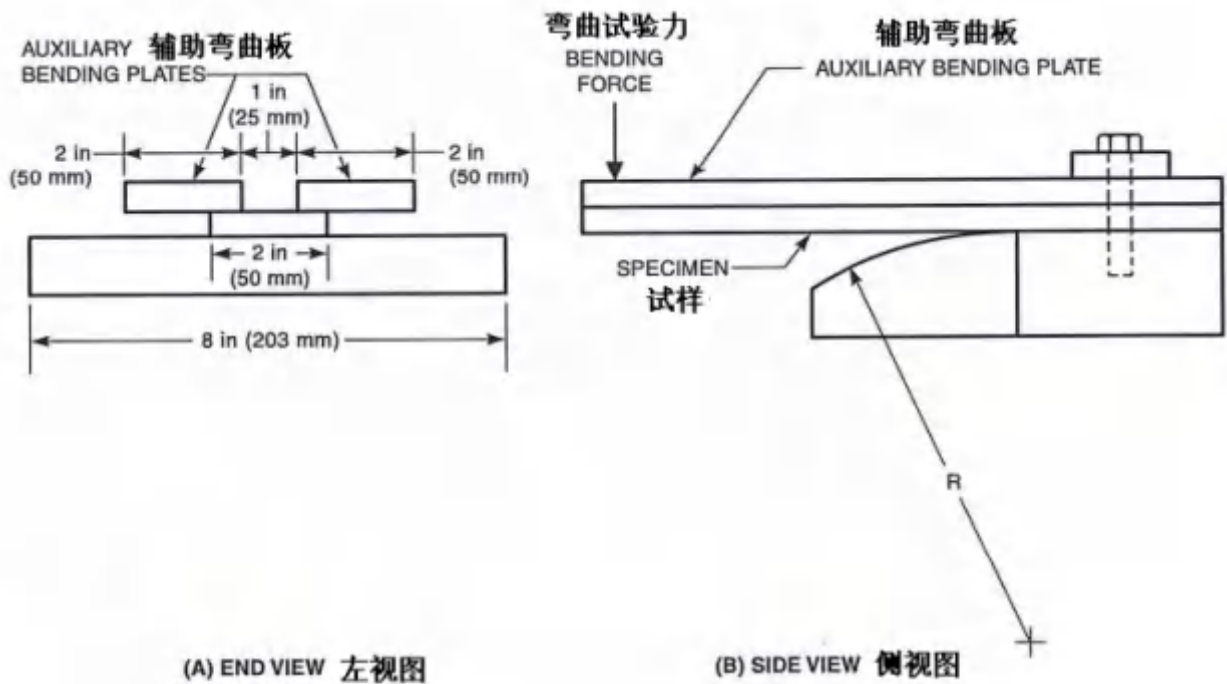


图10.5.2 辅助弯曲板

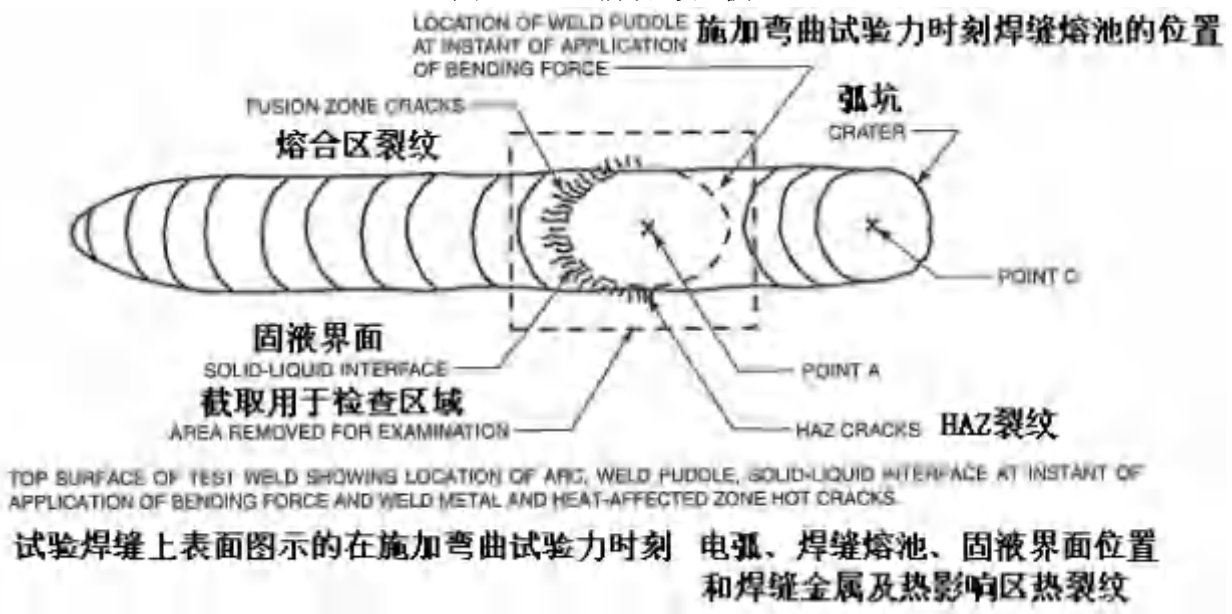


图10.5.3 试验焊缝上表面典型示意图

### 七、与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系

本指导性技术文件与我国的现行法律、法规和强制性国家标准没有冲突。

### 八、重大分歧意见的处理经过和依据

无。

### 九、国家标准作为强制性国家标准或推荐性国家标准的建议

建议本指导性技术文件为国家标准化指导性技术文件。

## **十、贯彻国家标准的要求和措施建议**

该指导性技术文件是我国焊接材料及相关试验方法国家标准化体系的重要组成部分，在石油、化工、冶金、电力、水利、建筑、桥梁、锅炉压力容器、机车车辆制造和海洋工程等领域有广泛应用。

一般情况下，建议本指导性技术文件批准发布6个月后实施。

## **十一、废止现行有关标准的建议**

本指导性技术文件是首次制定，无废止或代替标准。

## **十二、其他应予说明的事项**

无。

《金属材料焊缝破坏性试验 焊件的热裂纹试验 弧焊方法 第3部分：  
外载荷试验》国家标准化指导性技术文件起草工作组

2020年10月13日