

ICS 25.160

P 72

备案号: J400—2004



# 中华人民共和国石油化工行业标准

SH/T 3525—2004

代替SH 3525—1992

## 石油化工低温钢焊接规程

Welding specification of low temperature steel  
for petrochemical engineering

2004-10-20 发布

2005-04-01 实施

国家发展和改革委员会 发布

# 石油化工低温钢焊接规程

## 1 范围

本规程规定了无镍和含镍低温合金钢及奥氏体不锈钢焊接的工艺评定、焊工考试、焊接工艺、焊接检验及焊后热处理的要求。

本规程适用于石油化工工程建设中,采用焊条电弧焊、埋弧焊及气体保护焊等方法进行的低温钢焊接。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本规程的引用而成为本规程的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本规程,然而鼓励根据本规程达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版适用于本规程。

- GB 150 钢制压力容器
- GB/T 229 金属夏比缺口冲击试验方法
- GB/T 983 不锈钢焊条
- GB/T 3375 焊接术语
- GB 3531 低温压力容器用低合金钢钢板
- GB 4237 不锈钢热轧钢板
- GB/T 4842 纯氩
- GB/T 5118 低合金钢焊条
- GB/T 5293 埋弧焊用碳钢焊丝和焊剂
- GB 6479 高压化肥设备用无缝钢管
- GB/T 8110 气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝
- GB/T 12470 低合金钢埋弧焊用焊剂
- GB/T 13814 镍及镍合金焊条
- GB/T 14976 流体输送用不锈钢无缝钢管
- GB/T 14957 熔化焊用钢丝
- GB/T 15620 镍及镍合金焊丝
- GB/T 17493 低合金钢药芯焊丝
- GB/T 17853 不锈钢药芯焊丝
- GB/T 18984 低温无缝钢管
- GB 50235 工业金属管道工程施工及验收规范
- GB 50236 现场设备、工业管道焊接工程施工及验收规范
- JB 4708 钢制压力容器焊接工艺评定
- JB 4727 低温压力容器用低合金钢锻件
- JB 4728 压力容器不锈钢锻件
- JB 4730 压力容器无损检测
- JB/T 4747 压力容器用钢焊条定货技术条件

SH3501 石油化工有毒、可燃介质管道工程施工及验收规范  
SH/T 3526 石油化工异种钢焊接技术规程  
SH/T 3537 立式圆筒形低温储罐施工技术规程  
YB/T 5091 惰性气体保护焊接用不锈钢棒和钢丝  
YB/T 5092 焊接用不锈钢丝  
质技监局锅发[1999]154号 压力容器安全技术监察规程  
国质检锅[2002]109号 锅炉压力容器压力管道焊工考试与管理规则

### 3 术语和定义

GB/T 3375 和 JB 4708 确立的以及下列术语和定义适用于本规程。

#### 3.1

**低温钢** Low temperature steel

符合 GB 150 与 GB 50235 标准规定的低温条件下使用的无镍和含镍低温合金钢及奥氏体不锈钢的统称。

注：GB 150 规定的低温条件为设计温度低于或等于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；GB 50235 规定的低温条件为设计温度低于 $-29\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

### 4 总则

#### 4.1 一般规定

4.1.1 低温受压元件所采用的材料必须是镇静钢。低温钢焊接应执行设计文件和本规程规定。

4.1.2 用于低温的材料，应具有生产厂的质量证明文件，其内容包括：

- a) 钢材标准代号；
- b) 钢材规格、牌号；
- c) 订货合同中规定的各项特性数据的检验结果；
- d) 生产批号和供货状态；
- e) 生产单位名称；
- f) 检验印鉴标志。

4.1.3 低温用钢质量证明文件必须有低温夏比（V 形缺口）冲击试验值，其合格标准符合相应的产品标准。

4.1.4 不得在低温钢表面刻划或敲打材料标记和焊工钢印等导致产生缺口效应的划痕。

4.1.5 当材料有下列情况之一时，不得使用：

- a) 质量证明文件的特性数据不符合产品标准和订货技术条件或对其数据有异议；
- b) 实物标识与质量证明文件不符；
- c) 要求复验的材料未进行复验或复验不合格。

#### 4.2 材料

4.2.1 低温钢板、钢管及锻件应符合下列标准的规定：

- a) 钢板应符合 GB 3531、GB 4237 的规定；
- b) 钢管应符合 GB 6479、GB/T 14976、GB/T 18984 的规定；
- c) 锻件应符合 JB 4727、JB 4728 的规定。

常用低温钢板、钢管及锻件参见附录 A。

4.2.2 用于制造低温压力容器主要受压元件的材料应按《压力容器安全技术监察规程》的规定进行复验，用于低温管道和其他设备的材料应按相应标准规定进行复验。

4.2.3 使用铬镍奥氏体不锈钢材料时，当其设计温度高于 $-196^{\circ}\text{C}$ ，可免除低温冲击试验。

4.2.4 直接与受压元件焊接的非受压件应是具有良好焊接性的钢材，其低温冲击韧性及焊接接头性能应与受压元件匹配。

4.2.5 材料在使用前应按相应产品标准和订货技术条件进行质量验收，并符合下列要求：

- a) 进行质量证明文件的审查，并与实物核对标识；
- b) 按设计文件或标准要求进行复验；
- c) 表面不得有裂纹、折叠、夹层、结疤等缺陷；
- d) 表面的锈蚀、凹陷及其他机械损伤的深度不应超过相应产品标准允许的厚度负偏差；
- e) 验收合格的材料应做好合格标识，并分区分类存放。

4.2.6 用于制造低温压力容器筒体、凸形封头和球壳的钢板，在下列情况下应进行超声检测，检测方法和缺陷评定应符合 JB 4730 的规定，合格标准不低于Ⅲ级：

- a) 板厚 16mm~20mm 的钢板，每批抽检 20%，最少一张；
- b) 板厚大于 20mm 的钢板，逐张检查。

4.2.7 用于低温压力容器筒体的无缝钢管应逐根进行超声波检测，检测方法和缺陷评定应符合 JB 4730 的规定，合格标准不低于Ⅲ级。

钢管的表面质量应符合本规程 4.2.5 条的规定。

4.2.8 锻件经外观检查，应无肉眼可见的裂纹、夹层、折叠、夹渣等有害缺陷。如有缺陷，允许清除，当缺陷存在于非机械加工表面，清除深度不应超过该处公称尺寸下偏差；当缺陷存在于机械加工表面，清除深度不应超过该处余量，修磨部分应圆滑过渡。

4.2.9 国外材料应符合设计文件采用的材料标准，并符合本规程的规定。部分国外低温用钢板、钢管参见附录 B；锻件参见附录 C。

4.2.10 焊接材料应符合下列标准的规定：

- a) 焊条执行 GB/T 5118、GB/T 983、GB/T 13814、JB/T 4747 的规定；
- b) 焊丝执行 GB/T 14957、GB/T 15620、YB/T 5091、YB/T 5092、GB/T 5293、GB/T 8110、GB/T 17493 及 GB/T 17853 的规定；
- c) 焊剂执行 GB/T 12470 的规定；
- d) 钨极气体保护焊所用的氩气执行 GB/T 4842 的规定，其纯度不应低于 99.96%。

4.2.11 熔敷金属的化学成分和力学性能应与母材相近，低温冲击韧性值不低于母材标准值，当设计文件无规定时，焊接材料应按下述原则选用：

- a) 焊条电弧焊应选用低氢型药皮焊条；
- b) 埋弧焊应根据钢种选用与之相匹配的焊丝、焊剂；
- c) 焊接含 Ni 低温钢所用焊材的含 Ni 量应与母材相近或稍高；
- d) 9%Ni 钢焊接宜选用铬镍奥氏体或镍基焊条；
- e) 异种钢焊接应按 SH/T 3526 选用焊接材料。

常用低温钢推荐选用的焊接材料见表 1。常用低温焊接材料化学成分参见附录 D。

4.2.12 焊条应按批进行药皮含水量或熔敷金属扩散氢含量的复验，其检验方法应符合相应的焊条标准或技术要求。

4.2.13 焊接材料熔敷金属硫、磷含量应不高于母材。焊条的焊缝金属夏比 V 形缺口冲击试验值应符

合 JB/T 4747 的要求。

表 1 常用低温钢焊接材料

| 钢 号               | 电 弧 焊    |         |         | 埋 弧 焊 |     |       |
|-------------------|----------|---------|---------|-------|-----|-------|
|                   | 标 准 号    | 焊 条 型 号 | 焊 条 牌 号 | 焊丝钢号  | 焊 剂 |       |
|                   |          |         |         |       | 型 号 | 牌 号   |
| 16MnDR            | GB/T5118 | E5016—G | J506RH  | a     | —   | a     |
| 16MnD             | GB/T5118 | E5016—G | J507RH  |       |     |       |
| 15MnNiDR          | GB/T5118 | E5016—G | W607    | —     | —   | —     |
| 09MnNiD           | GB/T5118 | —       | W707    | —     | —   | —     |
| 09MnNiDR          |          |         |         |       |     |       |
| 08MnNiCrMoVD      | GB/T5118 | E6015—G | J607RH  | b     | —   | SJ102 |
| 07MnNiCrMoVDR     |          |         |         |       |     |       |
| 09MnD             | GB/T5118 | E5015—G | W607    | —     | —   | —     |
| 20MnMoD           | GB/T5118 | E5016—G | J506RH  | —     | —   | —     |
|                   | GB/T5118 | E5015—G | J507RH  | —     | —   | —     |
| 20MnMoD           | GB/T5118 | E5516—G | J556RH  | —     | —   | —     |
| 10Ni3MoVD         | GB/T5118 | E6015—G | J607RH  | —     | —   | —     |
| a 已有焊接材料，但尚未列入标准。 |          |         |         |       |     |       |

选用 GB/T5118 标准规定的焊条，还应符合下列要求：

- a) 型号为EXXXX—G的焊条焊缝金属夏比V形缺口冲击试验温度和冲击功应符合表 2 规定；
- b) 焊接低温钢的镍基焊条的焊缝金属夏比 V 形缺口冲击功在相应低温时应不小于 34J。

表 2 低温用焊条冲击试验规定

| 焊 条 型 号            | 焊 条 牌 号          | 试 验 温 度<br>℃ | 冲 击 功<br>J |
|--------------------|------------------|--------------|------------|
| E5016<br>E5015     | J506<br>J507     | —30          | ≥27        |
| E5015—G            | W607             | —60          | ≥27        |
| E5016—G<br>E5015—G | J506RH<br>J507RH | —40          | ≥34        |
| —                  | W707             | —70          | ≥54        |
| E5515—G            | J557             | —30          | ≥27        |
| E5516—G            | J556RH           | —40          | ≥34        |
| E6015—G            | J607RH           | —50          | ≥54        |

4.2.14 验收合格后的焊接材料储存和保管应符合下列规定：

- a) 焊接材料应在干燥、通风良好的库房中存放；
- b) 焊接材料库房内温度不低于 5℃、空气相对湿度应不大于 60%；
- c) 焊条、焊丝、焊剂应存放在架子上且距离地面和墙面的距离应不小于300mm；
- d) 焊条、焊丝、焊剂应按牌号、批号、规格分区摆放并有明显的标识。

4.2.15 焊条应按规定烘干并记录，常用焊条烘干温度及保持时间见表 3；焊丝应去除油污、锈迹；保护气体应保持干燥。

表 3 常用焊条烘干温度及保持时间

| 型 号     | 牌 号    | 温 度<br>℃ | 时 间<br>h |
|---------|--------|----------|----------|
| E5016   | J506   | 350      | 1        |
| E5015   | J507   | 350      | 1        |
| E5515-G | J557   | 350      | 1        |
| E5015-G | J507RH | 350~430  | 1        |
| E5016-G | J506RH | 350~430  | 1        |
| E5516-G | J556RH | 400      | 1        |
| E6015-G | J607RH | 350~430  | 1        |
| E5015-G | W607   | 350      | 1        |
| —       | W707   | 350      | 1        |

#### 4.2.16 焊接材料的领用和发放应符合下列规定：

- a) 焊条领出后，应在保温筒内存放，时间不得超过 4h，使用时随用随取；
- b) 退库焊条应重新烘干，重新烘干次数不得超过两次。

#### 4.3 低温冲击韧性试验

4.3.1 低温冲击试验方法应符合 GB/T 229 的规定。标准冲击试样尺寸为 10 mm×10 mm×55 mm，小尺寸冲击试样为 7.5 mm×10 mm×55 mm、5 mm×10 mm×55 mm 和 2.5 mm×10 mm×55 mm。

当能制备标准尺寸试样时，不应采用小试样进行试验；当无法制备标准试样试验时，宜采用尽可能大的小尺寸试样进行试验。

4.3.2 材料截面尺寸无法制取 2.5 mm×10 mm×55 mm 小尺寸试样时，可免除低温夏比（V 形缺口）冲击试验。

4.3.3 低温钢板冲击韧性的复验按批进行时，每批取一组试样，试样方向为横向。

4.3.4 低温钢管冲击韧性的复验按批进行时，在每批中的任意两根钢管上各取一组试样。

4.3.5 低温锻件冲击韧性的复验按 JB 4727 规定的取样数量和取样部位切取试样。

4.3.6 低温材料的冲击试验温度应低于或等于最低设计温度。材料试验温度下的冲击功指标，按材料标准抗拉强度下限值确定，且应符合表 4 的规定。

4.3.7 冲击试验结果出现一组三个试样的冲击功均低于表 4 规定的平均数值或两个试样的数值低于规定的单个试样数值时，受检钢材或焊接接头判为不合格。

除上述情况外，应在同一组样坯上再制取三个试样进行复验，前后六个试样的平均值不得小于表 4 规定值，低于规定平均值的试样数量不得多于两个，单个试样值不合格的情况不得重复出现，否则仍属不合格。

4.3.8 按批进行冲击试验的钢材，当代表批的任一组受检钢材不合格时，应逐件进行试验，逐件试验仍不合格的钢材，允许重新热处理后重新试验。



表 4 低温冲击功要求

| 项<br>目             | 标准抗拉强度<br>下限值 $\sigma_b$<br>MPa | 试样尺寸 (厚×宽×长)<br>mm  |          |             |          |             |          |             |          |
|--------------------|---------------------------------|---------------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|
|                    |                                 | 标准试样                |          | 小尺寸试样       |          |             |          |             |          |
|                    |                                 | 10×10×55            |          | 7.5×10×55   |          | 5×10×55     |          | 2.5×10×55   |          |
|                    |                                 | 最小冲击功 $A_{KV}$<br>J |          |             |          |             |          |             |          |
|                    |                                 | 3 个试样<br>平均         | 单个<br>试样 | 3 个试样<br>平均 | 单个<br>试样 | 3 个试样<br>平均 | 单个<br>试样 | 3 个试样<br>平均 | 单个<br>试样 |
| 铁素体钢<br>及其焊接<br>接头 | $\leq 412$                      | 18                  | 13       | 13.5        | 9.5      | 9           | 6.5      | 4.5         | 3.2      |
|                    | $412 < \sigma_b \leq 510$       | 20                  | 14       | 15          | 10.5     | 10          | 7        | 5           | 3.5      |
|                    | $510 < \sigma_b \leq 570$       | 27                  | 19       | 20.5        | 14.5     | 14          | 10       | 6.8         | 4.8      |
|                    | $> 570$                         | 27                  | 27       | —           | —        | —           | —        | —           | —        |
| 奥氏体钢<br>及其焊接<br>接头 | 任意                              | 31                  | 27       | 24          | 20       | 16          | 13.5     | 8           | 7        |

注：标准抗拉强度下限值  $\sigma_b$  大于 570 MPa 的钢材每个试样的  $A_{KV}$  均不得低于 27J，其他钢材三个试样中只允许一个试样的冲击功低于表列的单个试样值。

4.3.9 焊缝和热影响区的低温夏比 V 型缺口冲击应按 4.3.7 或设计文件规定执行，焊缝和热影响区各取一组，每组三个试样。冲击试样的缺口位置，应符合下列规定：

- a) 试样应垂直于焊缝轴线，缺口轴线应垂直于母材表面；
- b) 焊缝区试样的缺口轴线应位于焊缝中心线上；
- c) 热影响区试样的缺口轴线与熔合线交点的距离大于零，且应尽可能多的通过热影响区。

4.3.10 当焊缝两侧母材具有不同冲击试验要求时，焊缝金属的冲击试验温度应低于或等于两侧母材中的较高者。低温冲击功按两侧母材抗拉强度的较低者且符合表 4 的要求，热影响区按相应母材的要求确定。

4.4 焊接工艺评定

4.4.1 焊接工艺评定流程按图 1 进行：

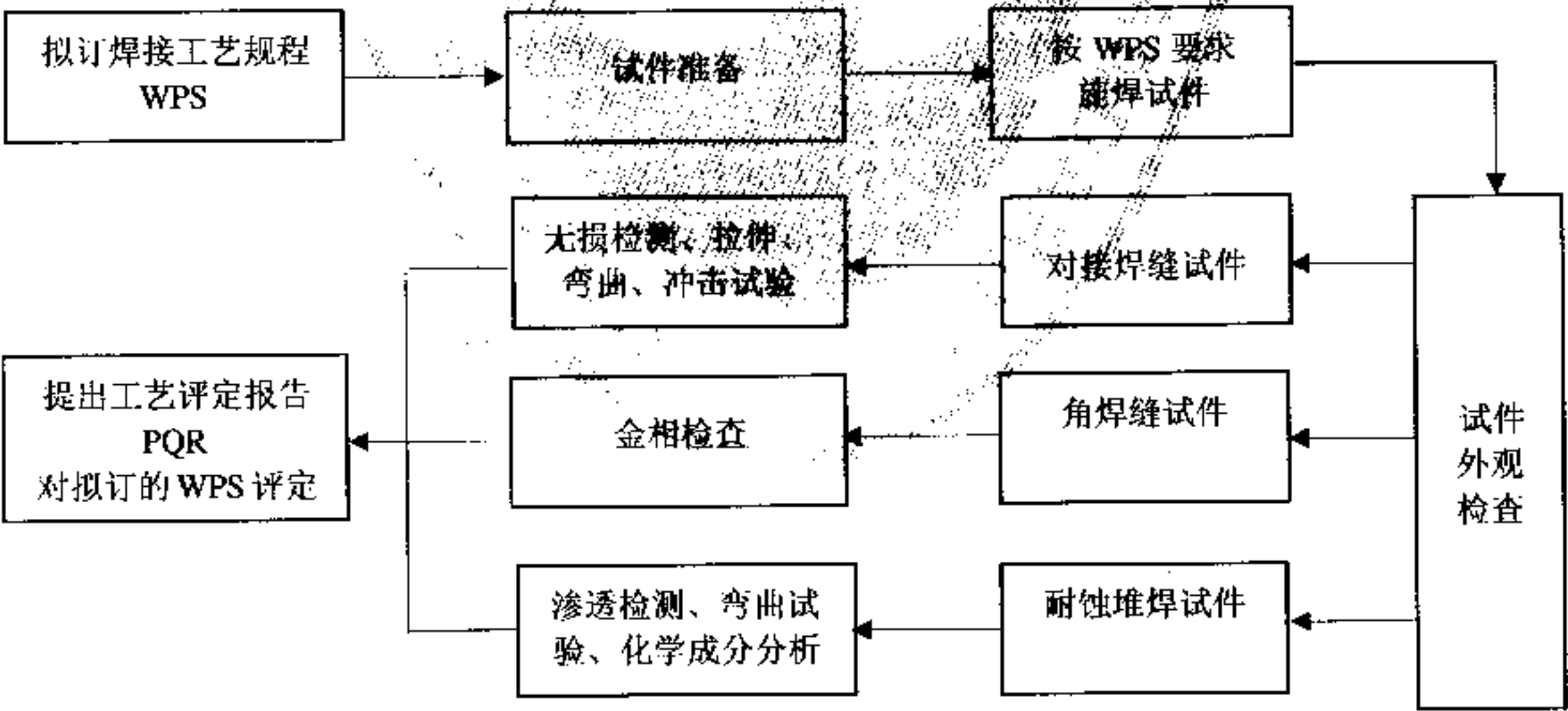


图 1 焊接工艺评定流程

4.4.2 低温材料的焊接工艺评定应符合 JB4708 的规定。

4.4.3 异种钢焊接工艺评定，除符合 SH/T3526 的相关规定，尚应符合下列要求：

- a) 焊接接头抗拉强度不低于两侧母材中标准抗拉强度下限值的较小值；
- b) 焊缝金属的冲击功及强度较低侧热影响区的冲击功按较低强度侧母材并符合表 4 要求；
- c) 强度较高侧热影响区的冲击功按较高强度侧母材并符合表 4 要求。

4.4.4 低温钢焊接工艺评定的低温冲击试验按本规程 4.3 条的规定进行。

#### 4.5 焊工考试

4.5.1 从事低温压力容器、压力管道焊接的焊工应按《锅炉压力容器压力管道焊工考试与管理规则》（国质检锅[2002]109 号）进行考试。考试合格后，方可从事相应项目的焊接施工。

4.5.2 《锅炉压力容器压力管道焊工考试与管理规则》已列材料执行其规定（见表 5 的 A 系列钢号），未列材料分类见表 5 的 B 系列钢号，B 系列钢号可与该类 A 系列钢号同等对待。

表 5 焊工考试分类组表

| 类 别                        |       | A 系列 钢 号                             | B 系列 钢 号  |   |
|----------------------------|-------|--------------------------------------|---|---|
|                            |       |                                      | ASME  | JIS   |
| 无<br>镍<br>低<br>合<br>金<br>钢 |       | 09DG<br>09Mn2VDG<br>10MnDG<br>16MnDG | SA516 Gr.55、Gr.60、Gr.65、Gr.70<br>SA537 cl.1、cl.2、SA612<br>SA662 Gr.A、Gr.B、Gr.C<br>SA724 Gr.A、Gr.B<br>SA333 Gr.1、Gr.6、Gr.7、Gr.9、Gr.10<br>SA334 Gr.1、Gr.6、Gr.7、Gr.9<br>SA350、SA765 Gr.I、Gr.II、Gr.IV | SLA235A<br>SLA236A<br>SLA360<br>SLA410<br>STPL380<br>STBL380<br>SFVQ3<br>SFL1<br>SFL2 |
|                            |       |                                      |   |   |
| 含<br>镍<br>低<br>温<br>钢      | 3.5Ni | 06Ni3MoDG<br>10Ni3MoVD               | SA203 Gr.D、E、F<br>SA333 Gr.3、SA334 Gr.3<br>SA765 Gr.III   | SL3N255、SL3N275<br>SL3N440、STPL450<br>STBL450   |
|                            | 5Ni   | —                                    | SA645   | SL5N590   |
|                            | 8Ni   | —                                    | SA553 Type II、  | —   |
|                            | 9Ni   | —                                    | SA353 Type I、SA553 Type I<br>SA333 Gr.8、SA334 Gr.8  | SL9N520、SL9N590<br>STPL690、STBL690  |

4.5.3 在同系列同类别号中，焊工采用某类别钢号经焊接操作技能考试合格后，可焊接该类别其他钢号。

4.5.4 在同一系列中，无镍低合金低温钢的一种钢号考试合格者，可免除同类别其他钢号的考试；含镍低温材料中含镍量较高的钢号考试合格者可免除含镍量较低的钢号的考试。

4.5.5 从事低温压力容器和压力管道焊接的焊工考试采用本规程表 5 的 B 系列钢号时，应报省级特种设备安全监察机构备案。

4.5.6 从事本规程 4.5.1 条以外低温设备、管道焊接的焊工考试可按 GB50236 的规定执行。

4.5.7 按本规程 4.5.1 条规定取得资格的焊工可替代本规程 4.5.6 条规定的相应资格的考试。

## 5 焊前准备

### 5.1 一般规定



## 5.1.1 选择坡口形式和尺寸应考虑下列因素:

- a) 焊接方法;
- b) 焊缝填充金属尽量少;
- c) 避免产生缺陷;
- d) 减少焊接残余变形与应力;
- e) 有利于焊接防护;
- f) 焊工操作方便。

## 5.1.2 若设计文件无规定时, 坡口形式可按表 6 选用。

表6 坡口形式和尺寸

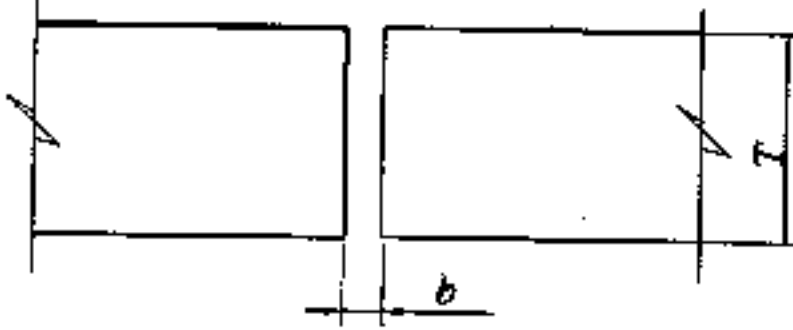
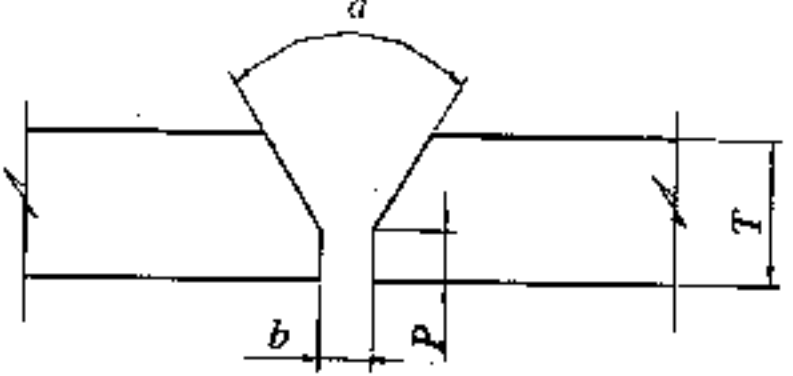
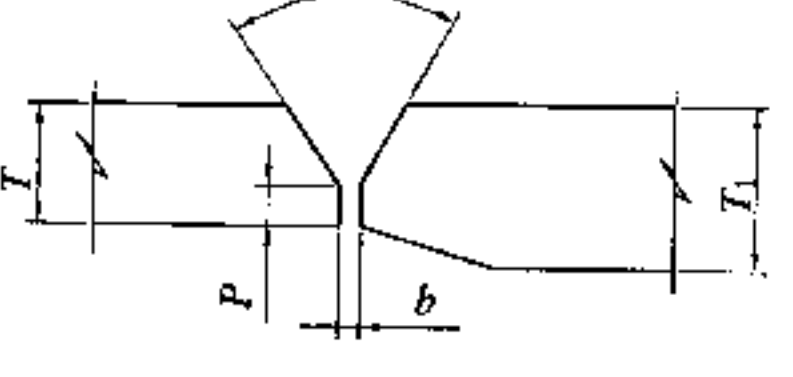
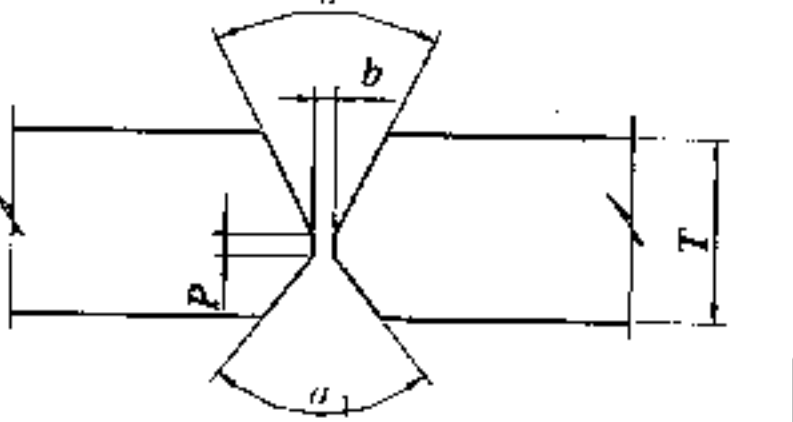
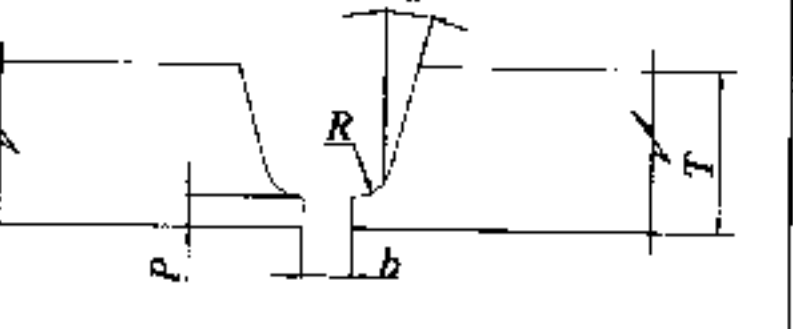
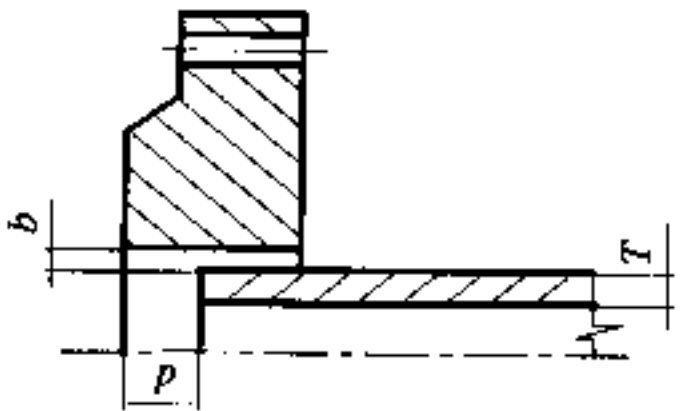
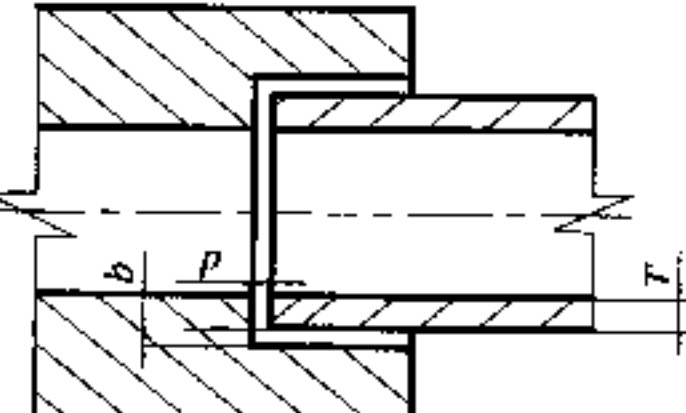
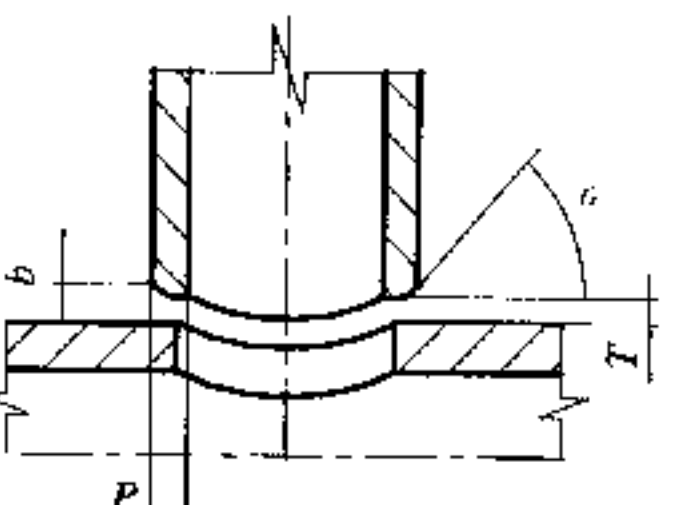
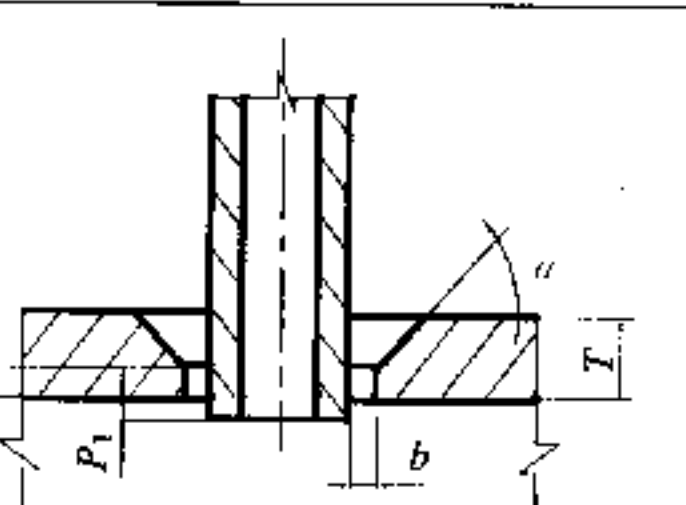
| 接头形式  | 坡口名称  | 简 图  | 焊接方法  | 坡 口 尺 寸   |             |           |               |           |
|-------|-------|--|-------|-----------|-------------|-----------|---------------|-----------|
|       |       |  |       | $T$<br>mm | $b$<br>mm   | $P$<br>mm | $\alpha$<br>° | $R$<br>mm |
| 对接    | I 形   |  | 手工焊   | 1~3       | $2 \pm 1$   | —         | —             | —         |
|       |       |  | TIG 焊 | 3~6       | $2 \pm 0.5$ |           |               |           |
|       |       |  | 埋弧焊   | 3~10      | 0~1         |           |               |           |
|       |       |  |       | 6~12      | 0~4         |           |               |           |
| 对接    | Y 形   |  | 手工焊   | 3~26      | $2 \pm 1$   | 1~4       | 40~60         | —         |
|       |       |  | TIG 焊 |           |             | 6~10      | 50~80         | —         |
| 不等厚对接 | Y 形   |  | 手工焊   | $\leq 8$  | 1.5~2.5     | 1~1.5     | 60~70         | —         |
|       |       |  |       | $> 8$     | $2 \pm 1$   |           | 60~65         | —         |
|       |       |  | TIG 焊 | 12~60     | $2 \pm 1$   | 1~13      | 40~60         | —         |
|       |       |  | 埋弧焊   |           |             |           |               |           |
| 对接    | 双 Y 形 |  | 手工焊   | 12~60     | $2 \pm 1$   | 1~13      | 40~60         | —         |
|       |       |  | TIG 焊 | 20~60     | 0~2.5       | 5~10      | 50~80         | —         |
| 对接    | U 形   |  | 手工焊   | 20~60     | $2 \pm 1$   | 1~3       | 1~8           | 6~8       |
|       |       |  | TIG 焊 |           |             |           |               |           |

表6 坡口形式和尺寸 (续)

| 接头形式 | 坡口名称 | 简 图   | 焊接方法        | 坡 口 尺 寸   |           |                     |               |           |
|------|------|---|-------------|-----------|-----------|---------------------|---------------|-----------|
|      |      |   |             | $T$<br>mm | $b$<br>mm | $P$<br>mm           | $\alpha$<br>° | $R$<br>mm |
| 角接   | —    |    | 手工焊         | 任意        | 1~2       | ( $T+1$ )~( $T+3$ ) | —             | —         |
| 承插式  | —    |   | 手工焊<br>TIG焊 | 任意        | 0.5~1.0   | 2~3                 | —             | —         |
| 骑座式  | 带钝边  |  | 手工焊<br>TIG焊 | $\geq 4$  | 2~3       | 1~2                 | 40~50         | —         |
| 插入式  | 带钝边  |  | —           | $\geq 4$  | 1~3       | 1~2                 | 40~50         | —         |

注:  $\alpha_1$ 为 (50~60)°;  $P_1$ 为 (0~2.5) mm。

5.2 坡口制备

- 5.2.1 低合金钢可采用冷加工方法制备坡口,也可采用热加工方法制备坡口。
- 5.2.2 高合金钢、标准抗拉强度下限值大于或等于 540MPa 的低合金钢宜采用冷加工方法。若采用热加工方法,应除去影响焊接质量的表面层。
- 5.2.3 低温钢坡口不得有裂纹、分层、夹渣等缺陷。
- 5.2.4 坡口表面及两侧 20mm 范围内,应将铁锈、油污、积渣和其他有害杂质清除干净。
- 5.2.5 为防止沾附焊接飞溅,奥氏体不锈钢坡口两侧各 100mm 范围内应采取防飞溅措施。
- 5.2.6 属于下列情况之一的热加工坡口应进行 100% 磁粉检测或渗透检测:
- a) 合金元素总含量大于 3%;
  - b) 标准抗拉强度下限值大于或等于 540MPa 的低合金钢。
- 5.2.7 本规程 5.2.6 条规定以外的低温钢坡口应进行磁粉检测或渗透检测的抽检,抽检比例为 5%。
- 5.2.8 坡口磁粉检测或渗透检测方法和缺陷评定应符合 JB4730 的规定,无线性缺陷或分层为合格。检测范围为坡口及其两侧母材不少于 20mm 的区域。

5.3 组对定位

5.3.1 焊件组对前，应按本规程 5.2.4 条规定清理坡口表面及其两侧母材不少于 20mm 区域。

5.3.2 不得采用强力组对定位。定位焊缝的尺寸及间距应符合表 7 的规定。

5.3.3 定位焊应由合格的焊工采用评定合格的焊接工艺进行施焊，定位焊焊缝在正式焊接时应进行修磨，且符合下列规定：

- a) 定位焊缝不得有裂纹、气孔、夹渣；
- b) 定位焊缝宜均匀分布。

表 7 手工定位焊缝的尺寸及间距

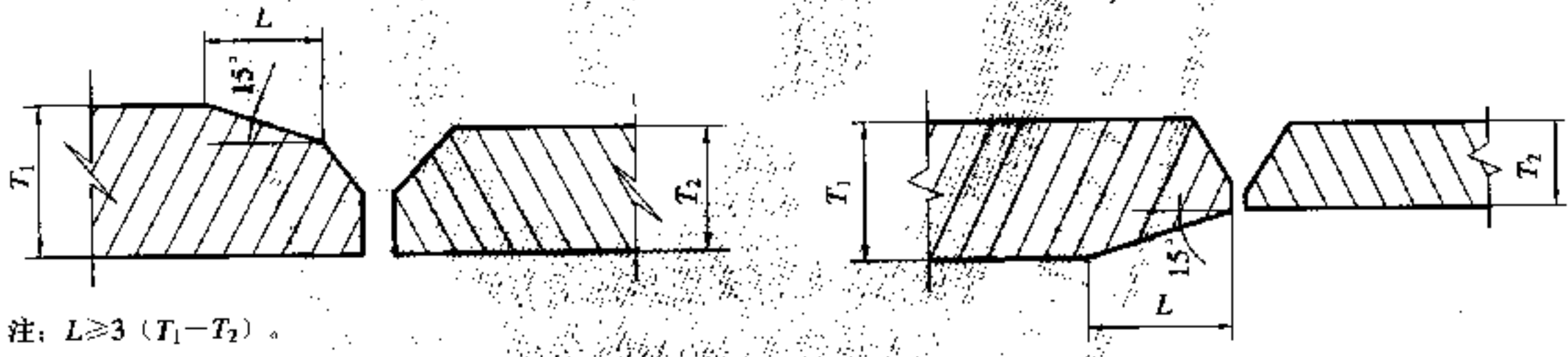
单位：mm

| 焊 件 厚 度 $T$     | 焊 缝 厚 度                 | 焊 缝 长 度 | 焊 缝 间 距 |
|-----------------|-------------------------|---------|---------|
| $\leq 4$        | $< 4$                   | $> 5$   | 50~100  |
| $4 < T \leq 20$ | $\leq 0.70T$ 且 $\leq 6$ | $> 10$  | 100~300 |
| $> 20$          | $< 8$                   | $> 20$  | 250~400 |

5.3.4 临时支架、卡具等与焊件接触部分的材质应和焊件相同或相近，焊接工艺应与正式焊接要求相同。卡具不得用敲打等方法拆除，拆除后应用砂轮修磨焊痕，并进行着色渗透检测。

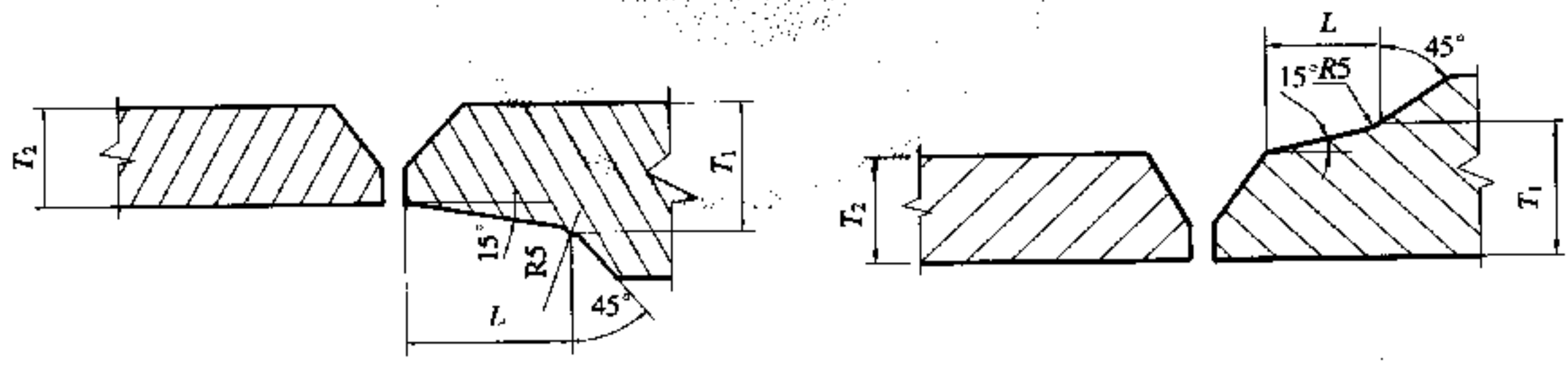
5.3.5 不等厚对接焊件组对时，应按下述要求处理：

- a) 不同壁厚的管子、管件组对时，内壁差大于 0.5mm，外壁差大于 2mm，应按图 2 a) 及图 2 b) 的要求加工；
- b) 不同壁厚的设备或容器筒体组对出现下列情况之一时，应按图 2 c) 的要求对厚板边缘进行单面或双面削薄：
  - 1) 薄板厚度不大于 10mm，两板厚度差超过 3mm；
  - 2) 薄板厚度大于 10mm，两板厚度差大于薄板厚度的 30% 或超过 5mm。
- c) 当两焊件厚度差小于 b) 项规定的数值时，对口错边量应以较薄焊件厚度为基准确定，但在测量对口错边量时，不应计入两板厚度的差值。



注： $L \geq 3(T_1 - T_2)$ 。

a) I 型



注： $L \geq 3(T_1 - T_2)$ 。

b) II 型

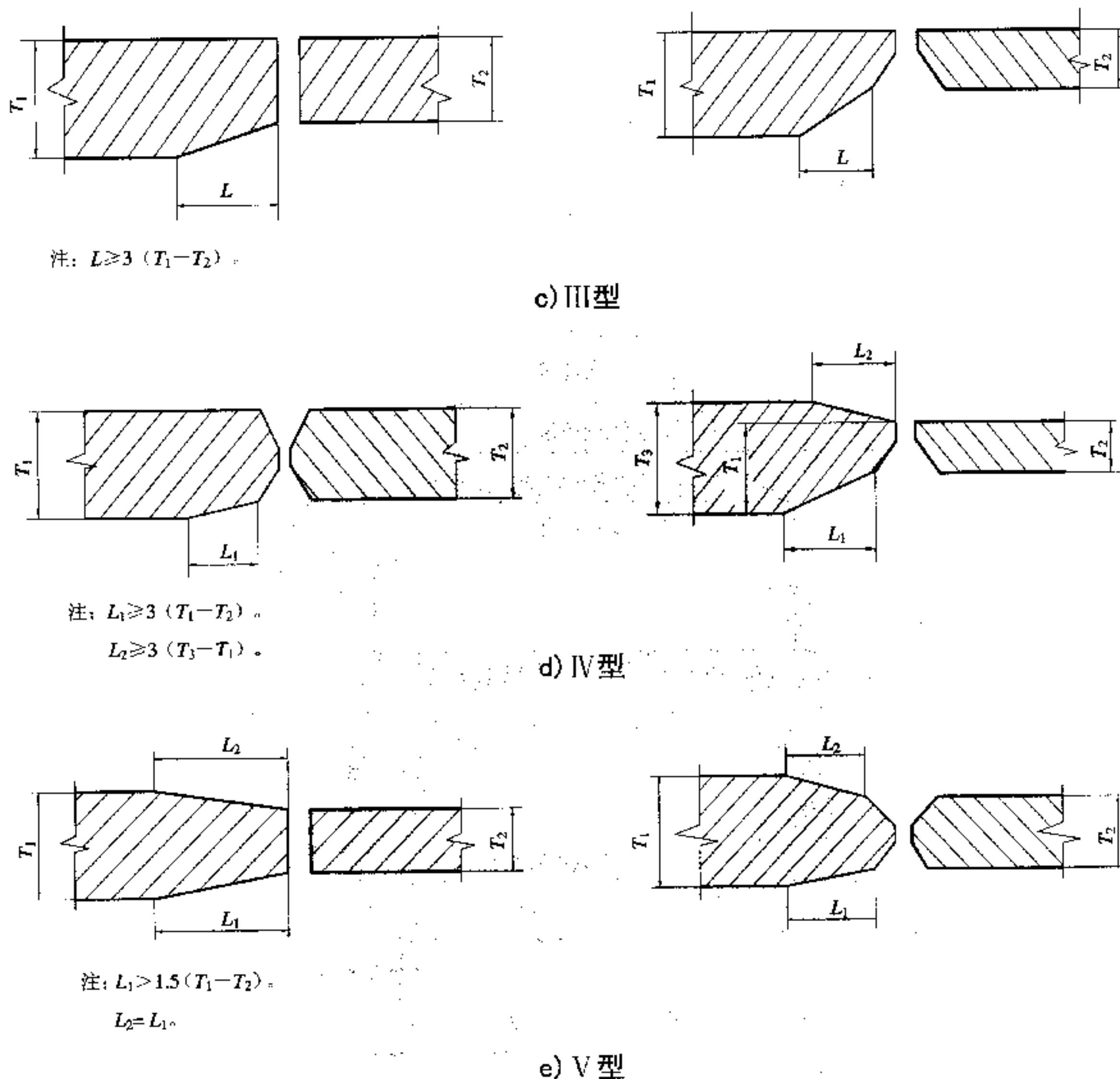


图2 不同厚度焊件对口形式

## 6 焊接工艺

### 6.1 一般规定

- 6.1.1 焊接应由合格焊工按照经评定合格的焊接工艺进行焊接,并应在其施焊焊缝邻近区域标识识别代号,但不得敲打钢印。
- 6.1.2 焊接设备及辅助装备等应安全可靠,并处于完好状态,计量仪器、仪表应在检定校准有效期内。
- 6.1.3 防止地线、电缆线、焊钳与焊件打弧。
- 6.1.4 母材表面的缺陷应进行修理,修理处应平滑。消除缺陷的深度不应超过材料标准规定的负偏差。
- 6.1.5 表面修理时应将缺陷清除干净,必要时可采用表面无损检测确认。
- 6.1.6 母材修补工艺应采用评定合格的工艺,如需预热,预热温度应取上限。
- 6.1.7 焊接环境出现下列任一情况时,应采取有效防护措施,否则不得施焊。
  - a) 气体保护焊时风速大于 2m/s;
  - b) 其他焊接方法时风速大于 8m/s;
  - c) 相对湿度大于 90%;

- d) 雨雪环境;  
e) 焊件温度低于 0℃。

## 6.2 预热

6.2.1 焊前预热应根据母材的化学成分、焊接性能、焊件厚度、焊接接头的拘束程度、焊接方法等综合考虑,必要时通过试验确定。常用钢号推荐的预热温度见表 8。

表 8 常用钢号推荐的预热温度

| 钢号或公称成分                                    | 厚度<br>mm | 预热温度<br>℃ |
|--|----------|-----------|
| 16MnD、09MnNiD、16MnDR、<br>09MnNiDR、15MnNiDR | ≥30      | ≥50       |
| 20MnMoD、08MnNiCrMoVD、<br>10Ni3MoVD         | 任意厚度     | ≥100      |
| 3.5Ni                                      | 任意厚度     | ≥100      |
| 07MnNiCrMoVDR                              | 16~30    | ≥60       |
|  | >30~40   | ≥80       |
|  | >40~50   | ≥100      |
| 5Ni、8Ni、9Ni                                | 任意厚度     | ≥10       |

6.2.2 异种钢焊接接头预热温度按预热温度要求较高的母材确定,且不低于该母材要求预热温度的下限。

6.2.3 局部预热时,预热的范围为焊缝两侧各不小于焊件厚度的三倍(见图 3),且不小于 100 mm。加热区以外 100 mm 范围内应予保温。

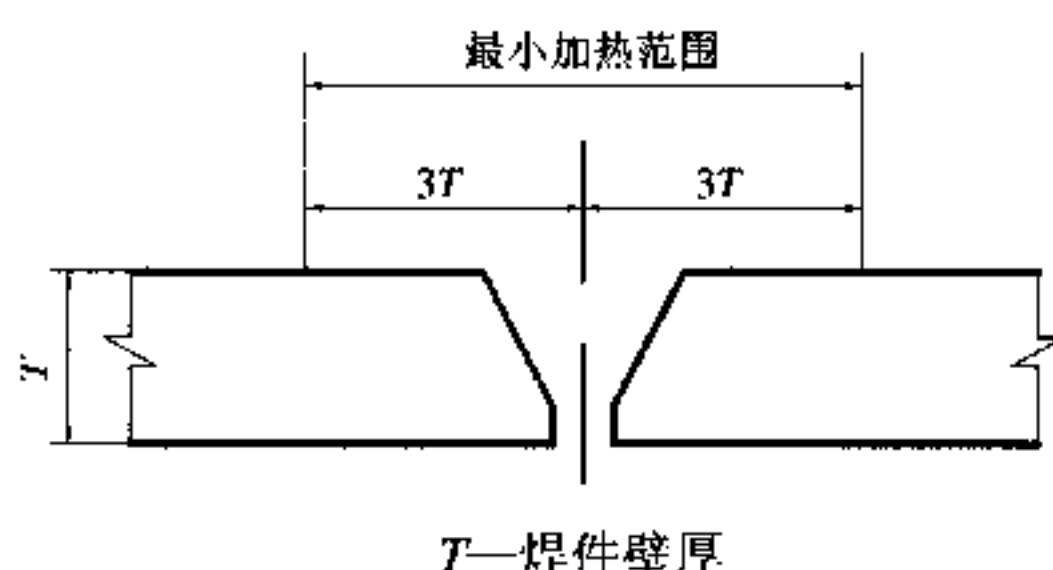


图 3 预热加热范围示意

6.2.4 预热方法宜采用电加热法。预热过程应保证坡口两侧沿壁厚均匀受热,并防止局部过热。

6.2.5 预热温度在距焊缝中心 50 mm~100 mm 处进行测量,测量点应均匀分布。

## 6.3 焊接

6.3.1 引弧应在引弧板或坡口内引弧,不得在非焊接部位引弧。收弧弧坑应填满。

6.3.2 在焊接工艺评定所确认的焊接线能量范围内,宜选择较小的焊接线能量。焊条电弧焊时,焊条不宜摆动,采用窄焊道多层多道施焊。

6.3.3 设备或容器对接接头焊缝余高应不大于壁厚的 10%,且不大于 3 mm;管道对接接头焊缝余高应不大于壁厚的 10% 加 1 mm。角焊缝应圆滑过渡,不允许向外凸起,否则应进行打磨处理。

6.3.4 低温钢单面焊底层焊道应采用钨极氩弧焊,必要时在背面充氩保护或采用其他背面保护措施。

6.3.5 铬镍奥氏体不锈钢底层焊道的焊接采用钨极氩弧焊,其余焊道可采用钨极氩弧焊、熔化极气体保护焊或焊条电弧焊。采用氩弧焊打底焊接时,焊缝背面应充氩气或其他保护气体防止背面焊缝金属被氧化的措施或采用药芯焊丝钨极氩弧焊焊接。



在保证焊透和熔合良好的条件下，应采用小电流、短电弧、快焊速和多层多道焊工艺，并应控制层间温度在 100℃ 以下。

采用钨极氩弧焊焊接时，焊丝前端应置于保护气体中。管子焊接时，管内应防止穿堂风。

6.3.6 采用多层焊时，施焊过程应控制层间温度。各层焊道的接头应错开 30mm~50mm，接弧处应保证熔合。双面焊宜清理焊根，并经渗透检测合格。

6.3.7 有预热要求的焊接接头，焊缝宜一次焊完，施焊过程层间温度不得低于预热温度，中断焊接时，应及时采取后热措施。重新施焊时，仍需按规定进行预热。

6.3.8 引弧板、引出板不得锤击拆除。

## 7 焊接检验

### 7.1 外观检验

7.1.1 焊后应对焊缝进行外观检查，检查前应将焊缝表面上的熔渣、飞溅等清理干净。

7.1.2 焊缝外观应符合下列规定：

- a) 焊缝与母材圆滑过渡；
- b) 焊接接头表面不允许有裂纹；
- c) 焊缝表面不得有气孔、夹渣、弧坑、未填满等缺陷；
- d) 焊缝不得有咬边。

7.1.3 对接焊缝的余高及角焊缝的焊脚尺寸应符合相应的技术标准的要求。

### 7.2 无损检验

7.2.1 压力容器焊接接头无损检测方法和缺陷评定应符合 JB 4730 的规定，其要求和合格标准应执行 GB 150 的规定。

7.2.2 低温管道的焊接接头进行 100% 的射线检测，射线检测按 JB 4730 进行焊缝内部质量评定，Ⅱ级合格；采用超声波检测时，Ⅰ级合格。

7.2.3 低温储罐的焊接接头无损检测要求执行 SH/T 3537 的规定。

### 7.3 焊缝返修

7.3.1 焊缝表面不允许的缺陷应用砂轮打磨，打磨部位应与母材圆滑过渡。消除缺陷的深度，不应低于母材表面，否则应进行补焊。

7.3.2 焊缝返修工艺应执行原工艺或经评定合格的工艺。

7.3.3 要求焊后热处理的焊缝，返修应在热处理前进行。若热处理后发生返修，则返修后应重新进行热处理。

7.3.4 焊缝内部缺陷可采用砂轮打磨或碳弧气刨清除，并修磨成宽度均匀、表面平整、便于施焊的凹槽，且两端有一定坡度。

7.3.5 返修部位的焊缝应按原检测方法及合格标准重新进行检测。

7.3.6 焊缝同一部位的返修次数不宜超过两次，二次以上返修时，应经单位或项目技术负责人批准。返修次数、部位和返修工艺应有记录。

## 8 焊后热处理

### 8.1 一般规定

8.1.1 若设计文件无规定，当焊件厚度等于或大于 16mm 时，应进行焊后热处理，推荐的焊后热处理

条件见表 9。

表 9 推荐的焊后热处理条件

| 钢号或公称成分              | 热处理厚度 $T$<br>mm | 焊后热处理温度<br>℃ | 最少保温时间<br>$h$ | 按厚度确定的<br>最少保温时间 |
|----------------------|-----------------|--------------|---------------|------------------|
| 16MnR<br>16MnDR      | $\geq 16$       | 600~640      | 1/4           | $T/25 h$         |
| 09MnNiDR<br>15MnNiDR |                 | 540~580      | 1/4           |                  |
| 3.5Ni                |                 | 593~635      | 1             |                  |
| 5Ni                  | $\geq 50$       | 552~585      | 1             | 2.4 mm/min       |
| 8Ni                  |                 |              |               |                  |
| 9Ni                  |                 |              |               |                  |

8.1.2 焊后热处理可采用整体热处理方法，也可采用局部热处理方法，并优先采用电加热法。

8.1.3 不同厚度焊件组成的焊接接头，热处理温度应按薄者确定。对有回火脆性的低温钢，应慎重选择热处理温度和加热速度。异种钢的焊后热处理，应按 SH/T 3526 规定执行。

8.1.4 容器采用局部热处理时，焊缝每侧加热宽度不小于钢材厚度的 2 倍；接管与壳体相焊处加热宽度不得小于钢材厚度的 6 倍。靠近加热区的部位应采取保温措施，使温度梯度不致影响材料的组织和性能。

管道焊接接头局部热处理的加热范围为焊缝两侧各不少于焊缝宽度的 3 倍（见图 4），且不少于 25 mm。加热区以外 100 mm 范围内应予以保温，且管道端口应封闭。

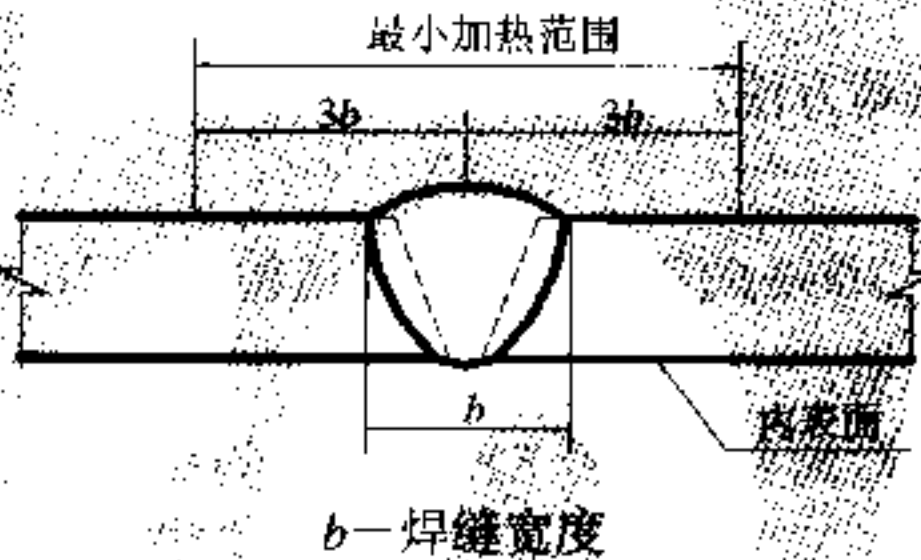


图 4 焊后热处理加热范围示意

8.1.5 热处理过程应均匀加热、准确控制温度，热处理温度以在焊件上直接测量为准，并填写热处理记录。

8.2 焊后热处理工艺

8.2.1 低温钢管道工程的焊后热处理工艺应执行 SH 3501 的规定。

8.2.2 低温压力容器的焊后热处理工艺应执行 GB 150 的规定。

8.2.3 焊件保温期间，加热区内最高与最低温度之差宜不大于 65℃。

8.2.4 测温方法宜采用热电偶，并用自动温度记录仪记录热处理曲线，测点数量布置符合有关规定，并应均匀分布。

8.2.5 低温管道焊接接头的焊后热处理用硬度测定法进行检验，执行 SH 3501 的规定。低温压力容器用产品试板进行检验，执行 GB 150 的规定。

附录 A  
(资料性附录)  
国内常用低温钢板、钢管及锻件

表 A.1 国内常用低温钢板、钢管及锻件

| 序号 | 标准号             | 钢号              | 厚度<br>mm | 冲击韧性试验  |          |                          | 备 注    |
|----|-----------------|-----------------|----------|---------|----------|--------------------------|--------|
|    |                 |                 |          | 温度<br>℃ | 试样<br>方向 | 冲击功 A <sub>KV</sub><br>J |        |
| 1  | GB 3531—1996    | 16MnDR          | 6~36     | -40     | 横向       | ≥27                      | 细晶粒钢   |
|    |                 |                 | >36~100  | -30     |          |                          |        |
| 2  | GB 3531—1996    | 15MnNiDR        | 6~60     | -45     | 横向       | ≥27                      | 镍系低温钢  |
| 3  | GB 3531—1996    | 09MnNiDR        | 6~60     | -70     | 横向       | ≥27                      | 镍系低温钢  |
| 4  | GB 150—1998     | 07MnNiCrMoVDR   | 16~50    | -40     | 横向       | ≥47                      | 低温高合金钢 |
| 5  | GB 150—1998     | 09MnD           | ≤16      | -50     | 纵向       | ≥21                      | 无缝管    |
| 6  | GB 6479—2000    | 10              | ≤40      | -20     | 纵向       | ≥18                      | 无缝管    |
| 7  | GB 6479—2000    | 20G             | ≤40      | -20     | 纵向       | ≥18                      | 无缝管    |
| 8  | GB 6479—2000    | 16Mn            | ≤40      | -40     | 纵向       | ≥21                      | 无缝管    |
| 9  | GB/T 18984—2003 | 16MnDG          | ≤25      | -45     | 纵向       | ≥21                      | 低温钢管   |
| 10 | GB/T 18984—2003 | 10MnDG          | ≤25      | -45     | 纵向       | ≥21                      | 低温钢管   |
| 11 | GB/T 18984—2003 | 09DG            | ≤25      | -45     | 纵向       | ≥21                      | 低温钢管   |
| 12 | GB/T 18984—2003 | 09Mn2VDG        | ≤25      | -70     | 纵向       | ≥21                      | 低温钢管   |
| 13 | GB/T 18984—2003 | 06Ni3MoDG       | ≤25      | -100    | 纵向       | ≥21                      | 低温钢管   |
| 14 | JB 4727—2000    | 16MnD           | ≤300     | -40     | 切向       | ≥27                      | 锻件     |
| 15 | JB 4727—2000    | 20MnMoD         | ≤300     | -40     | 切向       | ≥27                      | 锻件     |
|    |                 |                 | 300~700  | -30     |          |                          |        |
| 16 | JB 4727—2000    | 08MnNiCrMoVD    | ≤300     | -40     | 切向       | ≥47                      | 锻件     |
| 17 | JB 4727—2000    | 10Ni3MoVD       | ≤300     | -50     | 切向       | ≥47                      | 锻件     |
| 18 | JB 4727—2000    | 09MnNiD         | ≤300     | -70     | 切向       | ≥47                      | 锻件     |
| 19 | JB 4728—2000    | 0Cr18Ni9        | ≤200     | —       | —        | —                        | 不锈钢锻件  |
| 20 | JB 4728—2000    | 00Cr19Ni10      | ≤200     | —       | —        | —                        | 不锈钢锻件  |
| 21 | JB 4728—2000    | 0Cr17Ni12Mo2    | ≤200     | —       | —        | —                        | 不锈钢锻件  |
| 22 | JB 4728—2000    | 00Cr17Ni14Mo2   | ≤200     | —       | —        | —                        | 不锈钢锻件  |
| 23 | JB 4728—2000    | 1Cr18Ni9Ti      | ≤200     | —       | —        | —                        | 不锈钢锻件  |
| 24 | JB 4728—2000    | 0Cr18Ni10Ti     | ≤200     | —       | —        | —                        | 不锈钢锻件  |
| 25 | JB 4728—2000    | 0Cr18Ni12Mo2Ti  | ≤200     | —       | —        | —                        | 不锈钢锻件  |
| 26 | JB 4728—2000    | 00Cr18Ni5Mo3Si2 | ≤100     | —       | —        | —                        | 不锈钢锻件  |

注：热处理后成品锻件的力学性能要求：Ⅰ级锻件的硬度；Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ级锻件的拉伸性能；Ⅲ、Ⅳ级锻件的超声波检测。

附录 B  
(资料性附录)  
美国 (ASME) 常用低温钢板、钢管、锻件

表 B.1、表 B.2 及表 B.3 分别给出了美国 (ASME) 常用低温钢板、钢管及锻件的牌号与冲击韧性试验温度和冲击功值。

表 B.1 美国 (ASME) 常用低温钢板

| 序号     | 标 准 号                                    | 钢 号         | 钢 板 厚 度<br>mm | 冲 击 韧 性 试 验 |            |                     |                   | 备 注         |
|--------|--|-------------|---------------|-------------|------------|---------------------|-------------------|-------------|
|        |  |             |               | 温 度<br>℃    | 试 样<br>方 向 | 冲 击 功 $A_{kv}$<br>J | 侧膨胀值（横） $a$<br>mm |             |
| 1      | ASME Section II Part A<br>2001Ed<br>SA20 | SA516 Gr.55 | <50           | -51         | 纵向         | ≥18                 | —                 | 细晶粒钢及低温高合金钢 |
|        |  | 50~125      | -46           |             |            |                     |                   |             |
|        |  | SA516 Gr.60 | ≤25           | -51         | 纵向         | ≥18                 | —                 |             |
|        |  | 25~125      | -46           |             |            |                     |                   |             |
|        |  | SA516Gr.65  | ≤25           | -51         | 纵向         | ≥18                 | —                 |             |
|        |  |             | 25~50         | -46         |            |                     |                   |             |
|        |  |             | 50~75         | -40         |            |                     |                   |             |
|        |  |             | 75~125        | -32         |            |                     |                   |             |
|        |  | SA516 Gr.70 | ≤25           | -46         | 纵向         | ≥20                 | —                 |             |
|        |  |             | 25~50         | -40         |            |                     |                   |             |
| 50~75  | -35                                      |             |               |             |            |                     |                   |             |
| 75~125 | -29                                      |             |               |             |            |                     |                   |             |
| 2      | ASME Section II Part A<br>2001Ed<br>SA20 | SA537 c1.1  | ≤25           | -62         | 纵向         | ≥20                 | —                 | 细晶粒钢及低温高合金钢 |
|        |  | 25~64       | -60           | ≥20         |            | —                   |                   |             |
|        |  | 64~75       | -60           | ≥18         |            | —                   |                   |             |
|        |  | 75~100      | -6            | ≥18         |            | —                   |                   |             |
|        |  | ≤64         | -68           | ≥27         |            | —                   |                   |             |
|        |  | 64~75       | -60           | ≥20         |            | —                   |                   |             |
|        |  | 75~100      | -46           | ≥20         |            | —                   |                   |             |

表 B.1 美国 (ASME) 常用低温钢板 (续)

| 序号         | 标准号                                      | 钢号            | 钢板厚度<br>mm | 冲击韧性试验  |          |                          | 备注    |                            |
|------------|--|---------------|------------|---------|----------|--------------------------|-------|----------------------------|
|            |  |               |            | 温度<br>℃ | 试样<br>方向 | 冲击功 A <sub>KV</sub><br>J |       | 侧膨胀值（横） <sup>a</sup><br>mm |
| 3          | ASME Section II Part A<br>2001Ed<br>SA20 | SA612         | ≤25        | -46     | 纵向       | ≥27                      | —     | 细晶粒钢及低温高合金钢                |
| 4          | ASME Section II Part A<br>2001Ed<br>SA20 | SA662 Gr.A    | ≤25        | -60     | 纵向       | ≥18                      | —     | 细晶粒钢及低温高合金钢                |
|            |  |               | 25~50      | -60     |          |                          | —     |                            |
|            |  | SA662 Gr.B    | ≤25        | -51     |          | ≥18                      | —     |                            |
|            |  |               | 25~50      | -51     |          | —                        |       |                            |
|            |  | SA662 Gr.C    | ≤25        | -46     |          | ≥20                      | —     |                            |
| 25~50      | -46                                      | —             | —          |         |          |                          |       |                            |
| 5          | ASME Section II Part A<br>2001Ed<br>SA20 | SA724 Gr.A    | ≤25        | -46     | 纵向       | ≥27                      | —     | 细晶粒钢及低温高合金钢                |
| SA724 Gr.B | ≤25                                      | -46           | —          | ≥0.38   |          |                          |       |                            |
| 6          | ASME Section II Part A<br>2001Ed SA20    | SA203 Gr.A    | ≤50        | -68     | 纵向       | ≥18                      | —     | 镍系低温钢                      |
|            |  |               | 50~75      | -60     |          |                          | —     |                            |
|            |  | SA203 Gr.B    | ≤50        | -68     |          | ≥20                      | —     |                            |
|            |  |               | 50~75      | -60     |          | —                        |       |                            |
|            |  | SA203 Gr.D    | ≤50        | -101    |          | ≥18                      | —     |                            |
|            |  |               | 50~75      | -87     |          | —                        |       |                            |
|            |  | SA203 Gr.E    | ≤50        | -101    |          | ≥20                      | —     |                            |
|            |  |               | 50~75      | -87     |          | —                        |       |                            |
|            |  | SA203 Gr.F    | ≤50        | -107    |          | ≥27                      | —     |                            |
|            |  |               | 50~75      | -107    |          | ≥20                      | —     |                            |
| 7          | ASME Section II Part A<br>2001Ed SA20    | SA203 Gr.F    | ≤50        | -107    | 纵向       | ≥27                      | —     | 镍系低温钢                      |
| 8          | ASME Section II Part A<br>2001Ed SA20    | SA353         | ≤50        | -196    | —        | —                        | ≥0.38 | 镍系低温钢（9Ni）                 |
| 9          | ASME Section II Part A<br>2001Ed SA20    | SA553 Type I  | ≤50        | -196    | —        | —                        | ≥0.38 | 镍系低温钢（9Ni）                 |
|            |  | SA553 Type II | ≤50        | -170    | —        | —                        |       | 镍系低温钢（8Ni）                 |
| 10         | ASME Section II Part A<br>2001Ed SA20    | SA645         | —          | -170    | —        | —                        | ≥0.38 | 镍系低温钢（5Ni）                 |

<sup>a</sup> 二个冲击试样均应满足表列横向侧膨胀值。



表 B.2 美国 (ASME) 常用低温钢管

| 序号 | 标 准 号                                     | 钢 号                | 最低冲击试验<br>温 度<br>℃ | 试样尺寸 (厚×宽×长)<br>mm       |         |      | 侧膨胀值 (横)<br>mm | 备 注 |
|----|---|--------------------|--------------------|--------------------------|---------|------|----------------|-----|
|    |   |                    |                    | 10×10×50                 | 5×10×50 |      |                |     |
|    |   |                    |                    | 冲击功 A <sub>KV</sub><br>J |         |      |                |     |
| 1  | ASME Section II Part A<br>2001Ed<br>SA333 | SA333 Gr.1         | -45                | ≥18                      | ≥9      | —    | 管道用管           |     |
|    |   | SA333 Gr.3 (3.5Ni) | -100               | ≥18                      | ≥9      | —    |                |     |
|    |   | SA333 Gr.4         | -100               | ≥18                      | ≥9      | —    |                |     |
|    |   | SA333 Gr.6         | -45                | ≥18                      | ≥9      | —    |                |     |
|    |   | SA333 Gr.7         | -75                | ≥18                      | ≥9      | —    |                |     |
|    |   | SA333 Gr.8(9Ni)    | -196               | —                        | —       | 0.38 |                |     |
|    |   | SA333 Gr.9         | -75                | ≥18                      | ≥9      | —    |                |     |
|    |   | SA333 Gr.10        | -60                | ≥18                      | ≥9      | —    |                |     |
|    |   | SA334 Gr.1         | -45                | ≥18                      | ≥9      | —    |                |     |
|    |   | SA334 Gr.3(3.5Ni)  | -100               | ≥18                      | ≥9      | —    |                |     |
| 2  | ASME Section II Part A<br>2001Ed<br>SA334 | SA334 Gr.6         | -45                | ≥18                      | ≥9      | —    | 换热器用管          |     |
|    |   | SA334 Gr.7         | -75                | ≥18                      | ≥9      | —    |                |     |
|    |   | SA334 Gr.8(9Ni)    | -196               | —                        | —       | 0.38 |                |     |
|    |   | SA334 Gr.9         | -75                | ≥18                      | ≥9      | —    |                |     |
|    |   |                    |                    |                          |         |      |                |     |

<sup>a</sup> 三个冲击试样均应满足表列横向膨胀值。

表 B.3 美国 (ASME) 常用低温锻件

| 序号                              | 标准号                                       | 钢号         | 抗拉强度<br>MPa | 最低冲击试验<br>温度<br>℃ | 冲击功 $A_{kv}$<br>J | 侧膨胀值 (横) <sup>a</sup><br>mm | 备注                                   |
|---------------------------------|---|------------|-------------|-------------------|-------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| 1                               | ASME Section II Part A<br>2001Ed<br>SA350 | LF1        | 415~585     | -29               | ≥18               | —                           | 试样长轴平行于主<br>锻造方向。圆盘<br>形锻件取切向试<br>样。 |
|                                 |   | LF2        | 485~655     | -46               | ≥20               | —                           |                                      |
|                                 |   | LF3        | 485~655     | -101              | ≥20               | —                           |                                      |
|                                 |   | LF5 Cl 1   | 415~585     | -59.4             | ≥20               | —                           |                                      |
|                                 |   | LF6 Cl 1   | 455~495     | -50               | ≥20               | —                           |                                      |
|                                 |   | LF6 Cl 2   | 515~655     | -50               | ≥27               | —                           |                                      |
|                                 |   | LF9        | 435~605     | -73               | ≥18               | —                           |                                      |
|                                 |   | LF787 Cl 2 | 450~585     | -59               | ≥20               | —                           |                                      |
|                                 |   | LF787 Cl 3 | 515~655     | -73               | ≥20               | —                           |                                      |
|                                 |   | Gc I       | 415~585     | -30               | ≥18               | —                           |                                      |
| 2                               | ASME Section II Part A<br>2001Ed<br>SA765 | Gc II      | 485~655     | -45               | ≥20               | —                           | 试样长轴平行于主<br>锻造方向。圆盘形<br>锻件取切向试样。     |
|                                 |   | Gc III     | 485~655     | -100              | ≥20               | —                           |                                      |
|                                 |   | Gc IV      | 550~725     | -30               | ≥20               | —                           |                                      |
|                                 |   | Ty I       | ≥690        | -196              | —                 | ≥0.38                       |                                      |
| 3                               | ASME Section II Part A<br>2001Ed<br>SA522 | Ty II      | ≥690        | -170              | —                 | ≥0.38                       | 试样长轴平行于主<br>锻造方向。                    |
| <sup>a</sup> 三个冲击试样均应满足表列横向膨胀值。 |   |            |             |                   |                   |                             |                                      |

附录 C  
(资料性附录)  
日本常用低温钢板、钢管、锻件

表 C.1、表 C.2 给出了日本 (JIS 标准) 常用低温钢板、钢管及锻件的牌号与冲击试验温度和冲击功值。

表 C.1 日本常用低温钢板

| 序号   | 标准号            | 钢 号               | 钢 板 厚 度<br>mm | 最低使用温度<br>℃ | 冲击功 (纵) $A_{kv}$<br>J  | 备 注         |
|--|----------------|-------------------|---------------|-------------|------------------------|-------------|
| 1  | JIS G3126—1990 | SLA235A (SLA24A)  | 6~50          | -30         | $\geq 1/2 A_{kvmax}^a$ | 细晶粒钢及低温高强度钢 |
| 2  | JIS G3126—1990 | SLA235B (SLA24B)  | 6~50          | -45         |                        | 细晶粒钢及低温高强度钢 |
| 3  | JIS G3126—1990 | SLA325A (SLA33A)  | 6~32          | -45         |                        |             |
| 4  | JIS G3126—1990 | SLA325B (SLA33B)  | 6~36          | -60         |                        | 细晶粒钢及低温高强度钢 |
| 5  | JIS G3126—1990 | SLA360<br>(SLA37) | 6~32          | -60         |                        | 细晶粒钢及低温高强度钢 |
| 6  | JIS G3126—1990 | SLA410<br>(SLA42) | 6~32          | -60         |                        |             |
| 7  | JIS G3127—1990 | SL2N255 (SL2N26)  | 6~50          | -70         | $\geq 21$              | 镍系低温钢       |
| 8  | JIS G3127—1990 | SL3N255 (SL3N26)  | 6~50          | -101        | $\geq 21$              | 镍系低温钢       |
| 9  | JIS G3127—1990 | SL3N275 (SL3N28)  | 6~50          | -101        | $\geq 21$              | 镍系低温钢       |
| 10   | JIS G3127—1990 | SL3N440 (SL3N45)  | 6~50          | -110        | $\geq 27$              | 镍系低温钢       |
| 11   | JIS G3127—1990 | SL9N520 (SL9N53)  | 6~50          | -196        | $\geq 34$              | 镍系低温钢       |
| 12   | JIS G3127—1990 | SL9N590 (SL9N50)  | 6~50          | -196        | $\geq 41$              | 镍系低温钢       |
| <sup>a</sup> $A_{kvmax}$ 系 3 个冲击试样在断口脆性百分率均为零的温度下的 $A_{kv}$ 平均值。 |                |                   |               |             |                        |             |

表 C.2 日本常用低温钢管及锻件

| 序号 | 标 准 号          | 钢 号              | 试 验 温 度<br>℃ | 试样尺寸 (厚×宽×长)<br>mm       |           |         | 备 注       |
|----|----------------|------------------|--------------|--------------------------|-----------|---------|-----------|
|    |                |                  |              | 10×10×50                 | 7.5×10×50 | 5×10×50 |           |
|    |                |                  |              | 冲击功 A <sub>KV</sub><br>J |           |         |           |
| 1  | JIS G3460—1988 | STPL380 (STPL39) | —45          | ≥21                      | ≥18       | ≥14     | 管道管       |
| 2  |                | STPL450 (STPL46) | —100         |                          |           |         |           |
| 3  |                | STPL690 (STPL70) | —196         |                          |           |         |           |
| 4  | JIS G3464—1988 | STBL380 (STBL39) | —45          | ≥21                      | ≥18       | ≥14     | 换热器管      |
| 5  |                | STBL450 (STBL46) | —100         |                          |           |         |           |
| 6  |                | STBL690 (STBL70) | —196         |                          |           |         |           |
| 7  | JIS G3204—1988 | SFVQ3            | —30          | ≥47                      |           |         | 合金钢锻件     |
| 8  | JIS G3205—1988 | SFL1             | —30          | ≥21                      |           |         | 碳素钢和合金钢锻件 |
| 9  |                | SFL2             | —45          | ≥27                      |           |         |           |
| 10 |                | SFL3             | —101         | ≥27                      |           |         |           |

注：锻件的试样长轴平行于主锻造方向，圆盘形锻件取切向试样。

附录 D  
(资料性附录)  
常用低温钢焊接材料化学成分

表 D.1 给出了用于低温钢焊条电弧焊、埋弧焊等焊接材料的型号及化学成分；表 D.2 给出了用于低温钢气体保护焊丝的型号及化学成分。

表 D.1 常用低温钢焊接用焊条化学成分

| 焊条型号    | C    | Cr        | Ni        | Mo    | Mn      | Si    | P     | S     | Cu   |
|---------|------|-----------|-----------|-------|---------|-------|-------|-------|------|
| E308-15 | 0.08 | 18.0~21.0 | 9.0~11.0  | 0.75  | 0.5~2.5 | 0.90  | 0.040 | 0.030 | 0.75 |
| E308-16 |      |           |           |       |         |       |       |       |      |
| E309-15 | 0.15 | 22.0~25.0 | 12.0~14.0 | 0.75  |         |       |       |       |      |
| E309-16 |      |           |           |       |         |       |       |       |      |
| EXX15-G | —    | ≥0.30     | ≥0.50     | ≥0.20 | ≥1.00   | ≥0.80 | —     | —     | —    |
| EXX16-G |      |           |           |       |         |       |       |       |      |



表 D.2 常用低温钢焊接用焊丝化学成分

| 焊丝型号      | C         | Mn      | Fe        | P      | S      | Si    | Cu      | Ni <sup>a</sup> | Co           | Al    | Ti   | Cr        | Nb+Ta                | Mo        | V     | W       |
|-----------|-----------|---------|-----------|--------|--------|-------|---------|-----------------|--------------|-------|------|-----------|----------------------|-----------|-------|---------|
| ENCu-7    | ≤0.15     | ≤4.0    | ≤2.5      | 0.02   | ≤0.015 | ≤1.5  | 余量      | 62~69           | —            | ≤0.75 | ≤1.0 | —         | <sup>d</sup>         | —         | —     | —       |
| ENiCrFe-0 | ≤0.06     | ≤6.0    | ≤7.0      | ≤0.015 | 0.015  | ≤0.75 | —       | ≥62             | —            | ≤0.5  | —    | 15.0~20.0 | 1.5~4.0 <sup>c</sup> | —         | —     | —       |
| ENiCrFe-1 | ≤0.08     | ≤3.5    | ≤11.0     | ≤0.02  | ≤0.02  | ≤0.75 | ≤0.50   | ≥59             | <sup>b</sup> | —     | —    | 13.0~17.0 | 0.5~3.0              | 0.5~2.5   | —     | —       |
| ENiCrFe-2 | ≤0.10     | 1.0~3.5 | ≤12.0     | ≤0.03  | ≤0.015 | ≤0.75 | ≤0.50   | ≥60             | —            | —     | ≤1.0 | —         | 1.0~2.5              | —         | —     | —       |
| ENiCrFe-3 | ≤0.10     | 5.0~9.5 | ≤10.0     | ≤0.02  | ≤0.02  | ≤0.75 | ≤0.50   | —               | —            | —     | —    | —         | 1.0~3.5              | 1.0~3.5   | —     | —       |
| ENiCrFe-4 | ≤0.20     | 1.0~3.5 | ≤12.0     | ≤0.03  | ≤0.03  | ≤0.75 | ≤0.50   | —               | —            | —     | —    | ≤1.0      | —                    | 26.0~30.0 | ≤0.60 | 1.0     |
| ENiMo-1   | ≤0.07     | ≤1.0    | 4.0~7.0   | ≤0.04  | ≤0.03  | ≤0.75 | —       | 余量              | 2.5          | —     | —    | 2.5~5.5   | —                    | 23.0~27.0 | —     | —       |
| ENiMo-3   | ≤0.12     | ≤1.75   | ≤2.0      | ≤0.03  | ≤0.03  | ≤0.75 | —       | —               | 1.0          | —     | —    | ≤1.0      | —                    | 26.0~30.0 | —     | —       |
| ENiCrMo-0 | ≤0.05     | 1.0~5.0 | 4.0~8.0   | ≤0.04  | ≤0.015 | ≤0.75 | —       | —               | <sup>b</sup> | —     | —    | 13.0~17.0 | 1.5~5.5              | 3.0~7.5   | —     | 1.0     |
| ENiCrMo-1 | ≤0.05     | 1.0~2.0 | 18.0~21.0 | ≤0.03  | ≤0.03  | ≤1.0  | 1.5~2.5 | —               | 2.5          | —     | —    | 21.0~23.5 | 1.75~2.50            | 5.5~7.5   | —     | —       |
| ENiCrMo-2 | 0.05~0.15 | —       | 17.0~20.0 | ≤0.03  | ≤0.03  | ≤1.0  | —       | —               | 0.5~2.5      | —     | —    | 20.5~23.0 | —                    | 8.0~10.0  | —     | 0.2~1.0 |
| ENiCrMo-3 | ≤0.10     | ≤1.0    | ≤7.0      | ≤0.03  | ≤0.02  | ≤0.75 | ≤0.50   | ≥55             | <sup>b</sup> | —     | —    | 20.0~23.0 | 3.15~4.15            | —         | —     | —       |
| ENiCrMo-4 | ≤0.02     | —       | 4.0~7.0   | ≤0.04  | ≤0.03  | ≤0.2  | ≤0.50   | 余量              | ≤2.5         | —     | —    | 14.5~16.5 | —                    | 15.0~17.0 | ≤0.35 | 3.0~4.5 |
| ENiCrMo-5 | ≤0.10     | —       | —         | ≤0.03  | ≤0.02  | ≤1.0  | —       | —               | —            | —     | —    | 12.0~17.0 | 0.5~2.0              | 5.0~9.0   | —     | 1.0~2.0 |
| ENiCrMo-6 | ≤0.015    | 2.0~4.0 | ≤10.0     | ≤0.03  | ≤0.02  | ≤0.2  | —       | ≥55             | —            | —     | ≤0.7 | 14.0~18.0 | —                    | 14.0~17.0 | —     | 0.5     |
| ENiCrMo-7 | ≤0.07     | ≤1.5    | ≤3.0      | ≤0.04  | ≤0.03  | ≤0.2  | —       | 其余              | ≤2.0         | —     | —    | 13.0~17.0 | 0.2~0.8              | 8.5~11.0  | —     | —       |
| ENiCrMo-8 | ≤0.02     | 0.5~1.7 | ≤2.0      | ≤0.015 | ≤0.02  | ≤0.5  | —       | 68~78           | ≤5.0         | —     | —    | 21.0~23.5 | ≤0.5                 | 6.0~8.0   | —     | 1.5     |
| ENiCrMo-9 | ≤0.02     | ≤1.0    | 18.0~21.0 | ≤0.04  | ≤0.03  | ≤1.0  | 1.5~2.5 | 其余              | —            | —     | —    | —         | —                    | —         | —     | —       |

注：表中所列单个值，除有其他规定，则均为最大值。

<sup>a</sup> 镍 (Ni) 含量包括附带的钴 (Co)。<sup>b</sup> 钴 (Co) ——有要求时最大为 0.12。<sup>c</sup> 钽 (Ta) ——有要求时最大为 0.30。<sup>d</sup> 铌 (Nb) ——有要求时最大为 2.5。

表 D.2 常用低温钢焊接用焊丝化学成分 (续)

| 焊丝型号       | C         | Mn        | Fe        | P      | S      | Si        | Cu       | Ni        | Co        | Al        | Ti        | Cr        | Nb+Ta     | Mo        | V         | W         |           |           |           |           |         |         |
|------------|-----------|-----------|-----------|--------|--------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|
| ERNi-1     | ≤0.15     | ≤1.0      | ≤1.0      | ≤0.03  | ≤0.015 | ≤0.75     | ≤0.25    | ≥93       | —         | ≤1.5      | 2.0~3.5   | —         | —         | —         | —         | —         |           |           |           |           |         |         |
| ERNiCu-7   |           | ≤4.0      | ≤2.5      | ≤0.02  |        | ≤1.25     | 余量       | 62.0~69.0 |           | ≤1.25     | 1.5~3.0   |           |           |           |           |           |           |           |           |           |         |         |
| ERNiCr-3   | ≤0.10     | 2.5~3.5   | ≤3.0      | ≤0.03  |        | ≤0.50     | ≤0.50    | ≥67.0     |           | —         | —         |           |           |           |           |           | ≤0.75     | 18.0~22.0 | 2.0~3.0   | —         | —       | —       |
| ERNiCrFe-5 | ≤1.0      | 6.0~10.0  | ≥70.0     |        |        | 14.0~17.0 |          | 1.5~3.0   |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |         |         |
| ERNiCrFe-6 | ≤0.08     | 2.0~2.7   | ≤8.0      | ≤0.03  | ≤0.35  | ≤0.35     | ≤0.50    | ≥67.0     | —         | —         | 2.5~3.5   | —         | —         | —         | —         | —         |           |           |           |           |         |         |
| ERNiFeCr-1 | ≤0.05     | ≤1.0      | ≥22.0     |        | ≤0.03  |           |          | ≤0.50     |           |           | 1.50~3.0  |           |           |           |           |           | 38.0~46.0 | 0.60~1.2  | 19.5~23.5 | 2.5~3.5   |         |         |
| ERNiFeCr-2 | ≤0.08     | ≤0.35     | 余量        | ≤0.015 | ≤0.015 | ≤0.35     | ≤0.30    | 50.0~55.0 | —         | 0.20~0.80 | 0.65~1.15 | 17.0~21.0 | 4.75~5.50 | 2.80~3.30 | 0.20~0.40 | ≤1.0      |           |           |           |           |         |         |
| ERNiMo-1   |           | ≤1.0      | 4.0~7.0   | ≤0.025 | ≤0.03  | ≤1.0      | ≤0.50    | 余量        |           | ≤2.5      | ≤1.0      | ≤1.0      | 6.0~8.0   | —         |           | 15.0~18.0 | ≤0.50     | ≤0.50     |           |           |         |         |
| ERNiMo-2   | 0.04~0.08 |           | ≤5.0      | ≤0.015 | ≤0.02  |           |          |           | ≤2.5      | 4.0~6.0   | 23.0~26.0 | ≤0.06     | ≤1.0      |           | ≤1.0      | 4.0~6.0   | 26.0~30.0 | 5.5~7.5   | 8.0~10.0  | 0.20~1.0  |         |         |
| ERNiMo-3   | ≤0.12     | —         | 4.0~7.0   | ≤0.04  | ≤0.03  | ≤1.0      | 1.5~2.5  | 余量        | —         | —         | —         | ≤1.0      | —         | —         | —         | —         |           |           |           |           |         |         |
| ERNiMo-7   | ≤0.02     |           | ≤2.0      | ≤0.04  | ≤0.03  |           |          |           |           |           |           | ≤1.0      |           |           |           |           | 1.75~2.50 | 5.5~7.5   | 3.15~4.15 | 15.0~17.0 | ≤0.35   | 3.0~4.5 |
| ERNiCrMo-1 | ≤0.05     | 1.0~2.0   | 18.0~21.0 | ≤0.04  | ≤0.03  | ≤0.50     | ≤0.50    | ≥58.0     | —         | ≤0.40     | ≤0.40     | 21.0~23.5 | —         | —         | —         | —         |           |           |           |           |         |         |
| ERNiCrMo-2 | 0.05~0.15 | ≤1.0      | 17.0~20.0 | ≤0.04  | ≤0.03  | 20.5~23.0 |          |           |           |           |           | 22.0~23.0 |           |           |           |           | 14.5~16.5 | 14.0~18.0 | 5.0~7.0   | 21.0~23.5 | 6.0~8.0 |         |
| ERNiCrMo-3 | ≤0.10     | ≤0.50     | ≤5.0      | ≤0.02  | ≤0.015 | ≤0.50     | ≤0.50    | ≤0.50     | ≤2.5      | ≤0.40     | ≤0.40     | 14.5~16.5 | —         | 15.0~17.0 | ≤0.35     | 3.0~4.5   |           |           |           |           |         |         |
| ERNiCrMo-4 | ≤0.02     | ≤1.0      | 4.0~7.0   | ≤0.04  | ≤0.03  | ≤0.08     | ≤0.50    | 余量        | ≤2.5      | —         | —         | 14.0~18.0 |           | 14.0~18.0 | 15.0~17.0 | ≤0.35     | 3.0~4.5   |           |           |           |         |         |
| ERNiCrMo-7 | ≤0.015    |           | ≤3.0      | ≤2.0   | ≤0.04  | ≤0.03     | ≤1.0     | 0.7~1.20  | 47.0~52.0 |           | ≤2.0      | —         | ≤0.70     | 18.0      | 5.0~7.0   | 14.0~18.0 | ≤0.35     | 3.0~4.5   |           |           |         |         |
| ERNiCrMo-8 | ≤0.03     | 余量        | 余量        | ≤0.03  | ≤0.03  | ≤1.0      | 0.7~1.20 | 47.0~52.0 | —         | —         | 0.70~1.50 | 23.0~26.0 | —         | 14.0~18.0 | ≤0.35     | 3.0~4.5   |           |           |           |           |         |         |
| ERNiCrMo-9 | ≤0.015    | 18.0~21.0 | 18.0~21.0 | ≤0.04  |        |           |          |           |           |           | ≤1.0      | 21.0~23.5 |           | 6.0~8.0   | ≤0.35     | 3.0~4.5   |           |           |           |           |         |         |

附录 E  
(资料性附录)  
AWS 常用低温焊条

表 E.1 给出了美国焊接学会 (AWS) 常用低温钢焊条的类别、熔敷金属化学成分及力学性能。

表 E.1 AWS 常用低温焊条

| 焊条类别                 | 特征和用途  | 熔敷金属化学成分<br>% |             |             |             |              |               |             |           |                           |                      |                | 熔敷金属<br>拉伸试验         |  | 熔敷金属<br>冲击试验 |  |
|----------------------|--|---------------|-------------|-------------|-------------|--------------|---------------|-------------|-----------|---------------------------|----------------------|----------------|----------------------|--|--------------|--|
|                      |  | C             | Mn          | Si          | P           | S            | Cr            | Mo          | Ni        | 抗拉强度<br>$\sigma_b$<br>MPa | 伸长率<br>$\delta$<br>% | 试验<br>温度<br>°C | 冲击功<br>$A_{kv}$<br>J |  |              |  |
|                      |  |               |             |             |             |              |               |             |           |                           |                      |                |                      |  |              |  |
| ENiCrFe-4<br>AWS5.11 | 这一类别焊条焊缝的熔敷金属公称成分(质量百分比)为 70Ni、15Cr、2.5Mo、8Fe、2.5Mn、2.5 (Nb+Ta)。这类焊条用于 9%镍钢的焊接,但他们也能用于其他方面。9%镍钢母材的典型类型有 ASTM A333、A334、A353、A522、A553, 他们都具有 UNS 号 K81340。这类是交直流两用的焊条。当为防止电弧偏吹而要求采用交流电时, 这种焊条就特别有用。    | $\leq 0.20$   | 1.0~<br>3.5 | $\leq 1.0$  | $\leq 0.03$ | $\leq 0.02$  | 13.0~<br>17.0 | 1.0~<br>3.5 | $\geq 60$ | 650                       | 20                   | —              | —                    |  |              |  |
| ENiCrFe-9<br>AWS5.11 | 这一类别焊条焊缝的熔敷金属公称成分(质量百分比)为 70Ni、14Cr、4Mo、9Fe、1.5 (Nb+Ta)。这类焊条用于 9%镍钢的焊接, 但他们也能用于其他方面。9%镍钢母材的典型类型有 ASTM A333、A334、A353、A522、A553, 他们都具有 UNS 号 K81340。规格小于 1/8in. (3.2mm) 的焊条能用于全位置焊接。大于此规格的焊条仅用于平焊和横焊位置。 | $\leq 0.15$   | 1.0~<br>4.5 | $\leq 0.75$ | $\leq 0.02$ | $\leq 0.015$ | 12.0~<br>17.0 | 2.5~<br>5.5 | $\geq 55$ | 650                       | 25                   | —              | —                    |  |              |  |

表 E.1 AWS 常用低温焊条 (续)

| 焊条类别                  | 特征和用途  | 熔敷金属化学成分<br>% |         |       |       |        |         |         |       | 熔敷金属<br>拉伸试验              |                      | 熔敷金属<br>冲击试验   |                      |
|-----------------------|--|---------------|---------|-------|-------|--------|---------|---------|-------|---------------------------|----------------------|----------------|----------------------|
|                       |  | C             | Mn      | Si    | P     | S      | Cr      | Mo      | Ni    | 抗拉强度<br>$\sigma_b$<br>MPa | 伸长率<br>$\delta$<br>% | 试验<br>温度<br>°C | 冲击功<br>$A_{kv}$<br>J |
| ENiCrFe-10<br>AWS5.11 | 这一类别焊条焊缝的熔敷金属公称成分(质量百分比)为 65Ni、15Cr、3Mo、10Fe、3Mn、2W、1.5 (Nb+Ta)。这类焊条用于 9%镍钢的焊接,但他们也能用于其他方面。9%镍钢母材的典型类型有 ASTM A333、A334、A353、A522、A553,他们都具有 UNS 号 K81340。规格小于 1/8in (3.2mm) 的焊条能用于全位置焊接。大于此规格的焊条仅用于平焊和横焊位置。    | ≤0.20         | 1.0~3.5 | ≤0.75 | ≤0.02 | ≤0.015 | 12~17   | 1.0~3.5 | ≥55   | 650                       | 25                   | —              | —                    |
|                       |  | ≤0.10         | 2.0~4.0 | ≤1.0  | ≤0.03 | ≤0.02  | 12~17   | 5.0~9.0 | ≥55.0 | 620                       | 35                   | —              | —                    |
| ENiCrMo-6<br>AWS5.11  | 这一类别焊条焊缝的熔敷金属公称成分(质量百分比)为 65Ni、14.5Cr、7Mo、7Fe、3Mn、1.5W、1.5 (Nb+Ta)。这类焊条用于 9%镍钢的焊接,但他们也能用于其他方面。9%镍钢母材的典型类型有 ASTM A333、A334、A353、A522、A553,他们都具有 UNS 号 K81340。规格小于 1/8in (3.2mm) 的焊条能用于全位置焊接。大于此规格的焊条仅用于平焊和横焊位置。 | ≤0.10         | 2.0~4.0 | ≤1.0  | ≤0.03 | ≤0.02  | 12~17   | 5.0~9.0 | ≥55.0 | 620                       | 35                   | —              | —                    |
|                       |  | ≤0.10         | ≤1.5    | ≤0.75 | ≤0.02 | ≤0.015 | 0.5~3.5 | 17~20   | ≥6    | 650                       | 25                   | —              | —                    |
| ENiMo-8<br>AWS5.11    | 这一类别焊条焊缝的熔敷金属公称成分(质量百分比)为 70Ni、18Mo、7Fe、3W、2Cr。这类焊条用于 9%镍钢的焊接,但他们也能用于其他方面。9%镍钢母材的典型类型有 ASTM A333、A334、A522、A553,他们都具有 UNS 号 K81340。规格小于 5/32in (4.0mm) 的焊条能用于所有位置焊接。大于此规格的焊条仅用于平焊和横焊位置。                        | ≤0.10         | ≤1.5    | ≤0.75 | ≤0.02 | ≤0.015 | 0.5~3.5 | 17~20   | ≥6    | 650                       | 25                   | —              | —                    |

表 E.1 AWS 常用低温焊条 (续)

| 焊条类别                 | 特征和用途  | 熔敷金属化学成份<br>% |            |             |             |              |       |       |           | 熔敷金属<br>拉伸试验              |                      | 熔敷金属<br>冲击试验 |               |
|----------------------|--|---------------|------------|-------------|-------------|--------------|-------|-------|-----------|---------------------------|----------------------|--------------|---------------|
|                      |  | C             | Mn         | Si          | P           | S            | Cr    | Mo    | Ni        | 抗拉强度<br>$\sigma_b$<br>MPa | 伸长率<br>$\delta$<br>% | 试验           | 冲击功           |
|                      |  |               |            |             |             |              |       |       |           |                           |                      | 温度<br>℃      | $A_{kv}$<br>J |
| ENiMo-9<br>AWS5.11   | 这一类别焊条焊缝的熔敷金属公称成分（质量百分比）为 70Ni、19Mo、3Fe、3W、1Cu。这类焊条用于 9% 镍钢的焊接，但他们也能用于其他方面。9% 镍钢母材的典型类型有 ASTM A333、A334、A353、A522、A553，他们都具有 UNS 号 K81340。规格小于 5/32in（4.0mm）的焊条能用于所有位置焊接。大于此规格的焊条仅用于平焊和横焊位置。 | $\leq 0.10$   | $\leq 1.5$ | $\leq 0.75$ | $\leq 0.02$ | $\leq 0.015$ | —     | 18~22 | $\geq 62$ | 650                       | 25                   | —            | —             |
| ENiCrFe-2<br>AWS5.11 | 这一类别焊条焊缝的熔敷金属公称成分（质量百分比）为 70Ni、15Mo、8Fe、2Mn、15Cr。这类焊条用于镍—铬—铁合金 9% 镍钢和各种异种金属接头（包括碳钢、不锈钢、镍和基合金）的焊接。规格小于 1/8in（3.2mm）的焊条能用于所有位置焊接。大于此规格的焊条仅用于平焊和横焊位置。   | $\leq 0.10$   | 1.0~1.5    | $\leq 0.75$ | $\leq 0.03$ | $\leq 0.02$  | 1~17  | 0~2.5 | $\geq 62$ | 550                       | 30                   | —            | —             |
| ENiCrMo-3<br>AWS5.11 | 这一类别焊条焊缝的熔敷金属公称成分（质量百分比）为 60Ni、9Mo、5Fe、22Cr、3.5（Nb+Ta）。这类焊条用于镍—铬—钼合金本身与钢的焊接，用于在钢上堆焊镍—铬—钼熔敷金属，也能用于镍基合金与钢的焊接，用于从低温至 980℃ 的温度范围。规格小于 1/8in（3.2mm）的焊条能用于所有位置焊接。大于此规格的焊条仅用于平焊和横焊位置。               | $\leq 0.10$   | $\leq 1.0$ | $\leq 0.75$ | $\leq 0.03$ | $\leq 0.02$  | 20~23 | 18~22 | $\geq 62$ | 760                       | 30                   | —            | —             |



表 E.1 AWS 常用低温焊条 (续)

| 焊条类别      | 特征和用途  | 熔敷金属化学成分<br>% |           |       |       |       |       |       |           | 熔敷金属<br>拉伸试验              |                      | 熔敷金属<br>冲击试验  |                      |
|-----------|--|---------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|---------------------------|----------------------|---------------|----------------------|
|           |  | C             | Mn        | Si    | P     | S     | Cr    | Mo    | Ni        | 抗拉强度<br>$\sigma_b$<br>MPa | 伸长率<br>$\delta$<br>% | 试验<br>温度<br>℃ | 冲击功<br>$A_{kv}$<br>J |
| E8016-C1  | 特征和用途<br><br>这些低氢焊条用来提供有较高强度，但不在空气中淬硬或在-175°F（-115℃）低温下有较高缺口韧性的熔敷金属。按规定，钢中的镍含量有五个名义等级，即1%Ni、1.5%Ni、2.5%Ni、3.5%Ni和6.5%Ni。碳含量提高到0.12%，强度提高，允许将这些Ni钢焊条分类为E801Y-CX。然而，较低含量的碳可改善低温性能，也可与诸如ASTM A203 GrE、ASTM A352 LC3和LC4类别的镍钢母材相匹配。因此，应根据预期应用场合和需要的力学性能等因素来确定是否应选择“L—级”。 | ≤0.12         | ≤1.25     | ≤0.60 | ≤0.03 | ≤0.03 | —     | —     | 2.00~2.75 | 550                       | 19                   | -59           | ≤27                  |
| E8018-C1  |  | ≤0.12         | ≤1.25     | ≤0.80 | ≤0.03 | ≤0.03 | —     | —     | 2.00~2.75 | 550                       | 19                   | -59           | ≤27                  |
| E7015-C1L |  | ≤0.05         | ≤1.25     | ≤0.50 | ≤0.03 | ≤0.03 | —     | —     | 2.00~2.75 | 480                       | 25                   |               |                      |
| E7016-C1L |  | ≤0.05         | ≤1.25     | ≤0.50 | ≤0.03 | ≤0.03 | —     | —     | 2.00~2.75 | 480                       | 25                   |               |                      |
| E7018-C1L |  | ≤0.05         | ≤1.25     | ≤0.50 | ≤0.03 | ≤0.03 | —     | —     | 2.00~2.75 | 480                       | 25                   | -73           | ≤27                  |
| E8016-C2  |  | ≤0.12         | ≤1.25     | ≤0.60 | ≤0.03 | ≤0.03 | —     | —     | 3.00~3.75 | 550                       | 19                   |               |                      |
| E8018-C2  |  | ≤0.12         | ≤1.25     | ≤0.80 | ≤0.03 | ≤0.03 | —     | —     | 3.00~3.75 | 550                       | 19                   |               |                      |
| E7015-C2L |  | ≤0.05         | ≤1.25     | ≤0.50 | ≤0.03 | ≤0.03 | —     | —     | 3.00~3.75 | 480                       | 25                   | -101          | ≤27                  |
| E7016-C2L |  | ≤0.05         | ≤1.25     | ≤0.50 | ≤0.03 | ≤0.03 | —     | —     | 3.00~3.75 | 480                       | 25                   | -101          | ≤27                  |
| E7018-C2L |  | ≤0.05         | ≤1.25     | ≤0.50 | ≤0.03 | ≤0.03 | —     | —     | 3.00~3.75 | 480                       | 25                   | -101          | ≤27                  |
| E8016-C3  |  | ≤0.12         | 0.40~1.25 | ≤0.80 | ≤0.03 | ≤0.03 | ≤0.15 | ≤0.35 | 0.80~1.10 | 550                       | 24                   | -40           | ≤27                  |
| E8018-C3  |  | ≤0.12         | 0.40~1.25 | ≤0.80 | ≤0.03 | ≤0.03 | ≤0.15 | ≤0.35 | 0.80~1.10 | 550                       | 19                   | -40           | ≤27                  |
| E7018-C3L |  | ≤0.08         | 0.40~1.40 | ≤0.50 | ≤0.03 | ≤0.03 | ≤0.15 | ≤0.35 | 0.80~1.10 | 480                       | 25                   | -51           | ≤27                  |
| E8016-C4  |  | ≤0.10         | ≤1.25     | ≤0.60 | ≤0.03 | ≤0.03 | —     | —     | 1.10~2.00 | 550                       | 19                   | -51           | ≤27                  |
| E8018-C4  |  | ≤0.10         | ≤1.25     | ≤0.80 | ≤0.03 | ≤0.03 | —     | —     | 1.10~2.00 | 550                       | 19                   | -51           | ≤27                  |
| E9015-C5L |  | ≤0.05         | 0.40~1.00 | ≤0.50 | ≤0.03 | ≤0.03 | —     | —     | 6.00~7.25 | 620                       | 17                   | -115          | ≤27                  |

附录 F  
(资料性附录)  
AWS 常用低温焊丝

表 F.1 给出了 AWS (美国焊接学会) 低温焊丝类别、熔敷金属化学成分及力学性能。  
表 F.1 AWS 常用低温焊丝

| 焊丝类别       | 特征和用途  | 熔敷金属化学成分<br>% |           |           |       |       |       |       |           | 熔敷金属<br>拉伸试验              |                      | 熔敷金属<br>冲击试验   |                   |
|------------|--|---------------|-----------|-----------|-------|-------|-------|-------|-----------|---------------------------|----------------------|----------------|-------------------|
|            |  | C             | Mn        | Si        | P     | S     | Cr    | Mo    | Ni        | 抗拉强度<br>$\sigma_b$<br>MPa | 伸长率<br>$\delta$<br>% | 试验<br>温度<br>°C | 冲击功<br>$A_k$<br>J |
| E7XT8-Ni1  | 这些焊丝焊缝的熔敷金属具有 0°F (−73 °C) 低温下有较高缺口韧性。Ni 含量分成三个等级, 即 1%Ni、2.25%Ni、3.25%Ni。<br>EXXTX-Ni(X) 类焊丝常用于要求优越韧性的结构用途。     | ≤0.12         | ≤1.5      | ≤0.80     | ≤0.03 | ≤0.03 | ≤0.15 | ≤0.35 | 0.80~1.10 | 480~620                   | 20                   | −29            | ≤27               |
| E7XT6-Ni1  |  | ≤0.12         | ≤1.5      | ≤0.80     | ≤0.03 | ≤0.03 | ≤0.15 | ≤0.35 | 0.80~1.10 | 480~620                   | 20                   | −29            | ≤27               |
| E6XT1-Ni1  |  | ≤0.12         | ≤1.5      | ≤0.80     | ≤0.03 | ≤0.03 | ≤0.15 | ≤0.35 | 0.80~1.10 | 410~550                   | 22                   | −29            | ≤27               |
| E6XT1-Ni1M |  | ≤0.12         | ≤1.5      | ≤0.80     | ≤0.03 | ≤0.03 | ≤0.15 | ≤0.35 | 0.80~1.10 | 550~690                   | 19                   | −29            | ≤27               |
| E8XT1-Ni1  |  | ≤0.12         | ≤1.5      | ≤0.80     | ≤0.03 | ≤0.03 | ≤0.15 | ≤0.35 | 0.80~1.10 | 550~690                   | 19                   | −51            | ≤27               |
| E8XT5-Ni1  |  | ≤0.12         | ≤1.5      | ≤0.80     | ≤0.03 | ≤0.03 | ≤0.15 | ≤0.35 | 1.75~2.75 | 550~690                   | 19                   | −40            | ≤27               |
| E8XT5-Ni1M |  | ≤0.12         | ≤1.5      | ≤0.80     | ≤0.03 | ≤0.03 | ≤0.15 | ≤0.35 | 1.75~2.75 | 550~690                   | 19                   | −60            | ≤27               |
| E8XT1-Ni2  |  | ≤0.12         | ≤1.5      | ≤0.80     | ≤0.03 | ≤0.03 | ≤0.15 | ≤0.35 | 1.75~2.75 | 620~760                   | 17                   | −40            | ≤27               |
| E8XT1-Ni2M |  | ≤0.12         | ≤1.5      | ≤0.80     | ≤0.03 | ≤0.03 | ≤0.15 | ≤0.35 | 1.75~2.75 | 480~620                   | 20                   | −29            | ≤27               |
| E8XT5-Ni2  |  | ≤0.12         | ≤1.5      | ≤0.80     | ≤0.03 | ≤0.03 | ≤0.15 | ≤0.35 | 1.75~2.75 | 550~690                   | 19                   | −29            | ≤27               |
| E8XT5-Ni2M |  | ≤0.12         | ≤1.5      | ≤0.80     | ≤0.03 | ≤0.03 | ≤0.15 | ≤0.35 | 1.75~2.75 | 550~690                   | 19                   | −73            | ≤27               |
| E9XT1-Ni2  |  | ≤0.12         | ≤1.5      | ≤0.80     | ≤0.03 | ≤0.03 | ≤0.15 | ≤0.35 | 1.75~2.75 | 620~760                   | 17                   | −73            | ≤27               |
| E9XT1-Ni2M |  | ≤0.12         | ≤1.5      | ≤0.80     | ≤0.03 | ≤0.03 | ≤0.15 | ≤0.35 | 1.75~2.75 | 480~620                   | 20                   | −29            | ≤27               |
| E7XT8-Ni2  |  | ≤0.12         | ≤1.5      | ≤0.80     | ≤0.03 | ≤0.03 | ≤0.15 | ≤0.35 | 1.75~2.75 | 550~690                   | 19                   | −29            | ≤27               |
| E8XT5-Ni3  |  | ≤0.12         | ≤1.5      | ≤0.80     | ≤0.03 | ≤0.03 | ≤0.15 | ≤0.35 | 1.75~2.75 | 550~690                   | 19                   | −73            | ≤27               |
| E8XT5-Ni3M |  | ≤0.12         | ≤1.5      | ≤0.80     | ≤0.03 | ≤0.03 | ≤0.15 | ≤0.35 | 1.75~2.75 | 620~760                   | 17                   | −73            | ≤27               |
| E9XT5-Ni3  | 这些焊丝焊缝的熔敷金属具有 −100°F (−73 °C) 或更低温度下有较高缺口韧性。Ni 含量分成三个等级, 即 1%Ni、2.25%Ni、3.25%Ni 钢。EXXTX-Ni(X) 类焊丝常用于要求优越韧性的结构用途。 | ≤0.12         | 0.75~1.25 | 0.05~0.30 | ≤0.02 | ≤0.02 | ≤0.15 | ≤0.30 | 0.75~1.25 | —                         | —                    | —              | —                 |
| ENi1       |  | ≤0.12         | 0.80~1.40 | 0.40~0.80 | ≤0.02 | ≤0.02 | —     | —     | 0.75~1.25 | —                         | —                    | —              | —                 |
| ENi1K      |  | ≤0.12         | 0.75~1.25 | 0.05~0.30 | ≤0.02 | ≤0.02 | —     | —     | 2.10~2.90 | —                         | —                    | —              | —                 |
| ENi2       |  | ≤0.13         | 0.60~1.20 | 0.05~0.30 | ≤0.02 | ≤0.02 | ≤0.15 | —     | 3.10~3.80 | —                         | —                    | —              | —                 |

表 F.1 AWS 常用低温焊丝 (续)

| 焊丝类别                | 特征和用途  | 熔敷金属化学成分<br>% |           |           |        |        |           |           |           | 熔敷金属<br>拉伸试验              |                      | 熔敷金属<br>冲击试验  |                      |
|---------------------|--|---------------|-----------|-----------|--------|--------|-----------|-----------|-----------|---------------------------|----------------------|---------------|----------------------|
|                     |  | C             | Mn        | Si        | P      | S      | Cr        | Mo        | Ni        | 抗拉强度<br>$\sigma_b$<br>MPa | 伸长率<br>$\delta$<br>% | 试验<br>温度<br>℃ | 冲击功<br>$A_{kv}$<br>J |
| ENi4                | 这些焊丝含有 0.5% 和 2% 之间的镍与 0.25% 和 0.5% 之间的 Mo。当要求强度和良好的缺口韧性组对时, 用于焊接高强度、低合金或微合金结构钢。   | 0.12~0.19     | 0.60~1.00 | 0.10~0.30 | ≤0.015 | ≤0.02  | —         | 0.10~0.30 | 1.60~2.10 | —                         | —                    | —             | —                    |
| ENi5                |  | 0.12          | 1.20~1.60 | 0.05~0.30 | ≤0.02  | ≤0.02  | —         | 0.10~0.30 | 0.75~1.25 | —                         | —                    | —             | —                    |
| EF1                 |  | 0.07~0.15     | 0.90~1.70 | 0.15~0.35 | ≤0.025 | ≤0.025 | —         | 0.25~0.55 | 0.95~1.60 | —                         | —                    | —             | —                    |
| EF2                 |  | 0.10~0.18     | 1.70~2.40 | 0.20      | ≤0.025 | ≤0.025 | —         | 0.40~0.65 | 0.40~0.80 | —                         | —                    | —             | —                    |
| EF3                 |  | 0.10~0.18     | 1.70~2.40 | 0.30      | ≤0.025 | ≤0.025 | —         | 0.40~0.65 | 0.70~1.10 | —                         | —                    | —             | —                    |
| EF4                 | 这些焊丝采用 Cr、Ni 和 Mo 的组合来达到许多高强度、低合金或微合金结构钢所要求的强度水平和缺口韧性。   | 0.16~0.23     | 0.60~0.90 | 0.15~0.35 | ≤0.025 | ≤0.03  | 0.40~0.60 | 0.15~0.30 | 0.40~0.80 | —                         | —                    | —             | —                    |
| EF5                 |  | 0.10~0.17     | 1.70~2.20 | 0.20      | ≤0.01  | ≤0.015 | 0.25~0.50 | 0.45~0.65 | 2.30~2.80 | —                         | —                    | —             | —                    |
| EF6                 |  | 0.07~0.15     | 1.45~1.90 | 0.10~0.30 | ≤0.015 | ≤0.015 | 0.20~0.55 | 0.40~0.65 | 1.75~2.25 | —                         | —                    | —             | —                    |
| ERNiMo-8<br>AWS5.14 | 这一类焊条焊缝的熔敷金属公称成分(质量百分比)为 70Ni、19Mo、5Fe、3W、2Cr。这类焊条用于 9% 镍钢 (ASTM A333、A334、A353 和 A553, 他们都是 UNS 号 K81340) 自身的焊接。采用 GTAW 和 SAW 方法。 | ≤0.10         | ≤1.0      | ≤0.50     | ≤0.015 | ≤0.015 | 0.5~3.5   | 18~21     | ≥60       | 660                       | —                    | —             | —                    |
| ERNiMo-9<br>AWS5.14 | 这一类焊条焊缝的熔敷金属公称成分(质量百分比)为 70Ni、30Mo、1Fe、3W。这类焊条用于 9% 镍钢 (ASTM A333、A334、A353 和 A553, 他们都是 UNS 号 K81340) 自身的焊接。采用 GTAW 和 SAW 方法。     | ≤0.10         | ≤1.0      | ≤0.50     | ≤0.015 | ≤0.015 | —         | 19~22     | ≥65       | 660                       | —                    | —             | —                    |

表 F.1 AWS 常用低温焊丝 (续)

| 焊丝类别                       | 特征和用途   | 熔敷金属化学成分<br>% |       |       |       |        |           |           |           | 熔敷金属<br>拉伸试验              |                      | 熔敷金属<br>冲击试验  |                      |
|----------------------------|---|---------------|-------|-------|-------|--------|-----------|-----------|-----------|---------------------------|----------------------|---------------|----------------------|
|                            |   | C             | Mn    | Si    | P     | S      | Cr        | Mo        | Ni        | 抗拉强度<br>$\sigma_b$<br>MPa | 伸长率<br>$\delta$<br>% | 试验<br>温度<br>℃ | 冲击功<br>$A_{kv}$<br>J |
| ERNiCrMo-3<br>AWS5.14      | 这一类别焊条焊缝的熔敷金属公称成分(质量百分比)为61Ni、22Cr、9Mo、3.5(Nb+Ta)。这类填充金属适用于镍—铬—钼合金本身的焊接及其与钢或其他镍基合金的焊接。焊接方法为钨极气体保护焊、熔化极气体保护焊、埋弧焊和等离子弧焊等。 | ≤0.10         | ≤0.50 | ≤0.50 | ≤0.02 | ≤0.015 | 20~23     | 8~10      | ≥58       | 760                       | —                    | —             | —                    |
| ERNiCrMo-4<br>AWS5.14      | 这一类别焊条焊缝的熔敷金属公称成分(质量百分比)为57Ni、16Cr、15.5Mo、5.5Fe、4W。这类填充金属适用于镍—铬—钼合金本身的焊接及其与钢或其他镍基合金的焊接。焊接方法为钨极气体保护焊、熔化极气体保护焊等。          | ≤0.02         | ≤1.0  | ≤0.08 | ≤0.04 | ≤0.03  | 14.5~16.5 | 15.0~17.0 | 余量        | 690                       | —                    | —             | —                    |
| ERNiCrMo-8<br>AWS5.14      | 这一类别焊条焊缝的熔敷金属公称成分(质量百分比)为50Ni、25Cr、17Fe、6Mo、1Cu。这类填充金属适用于镍—铬—钼合金本身的焊接及其与钢或其他镍基合金的焊接。焊接方法为钨极气体保护焊、熔化极气体保护焊和等离子弧焊等。       | ≤0.03         | ≤1.0  | ≤1.0  | ≤0.03 | ≤0.03  | 23.0~26.0 | 5.0~7.0   | 47.0~52.0 | 590                       | —                    | —             | —                    |
| 注: GTAW 为熔化极保护焊; SAW 为埋弧焊。 |   |               |       |       |       |        |           |           |           |                           |                      |               |                      |

## 用 词 说 明

对本规程条文中要求执行严格程度用的助动词，说明如下：

（一）表示要求很严格、非这样做不可并具有法定责任时，用的助动词为“必须”（must）；

（二）表示要准确地符合标准而应严格遵守时，用的助动词为：

正面词采用“应”（shall）；

反面词采用“不应”或“不得”（shall not）。

（三）表示在几种可能性中推荐特别合适的一种，不提及也不排除其他可能性，或表示是首选的但未必是所要求的，或表示不赞成但也不禁止某种可能性时，用的助动词为：

正面词采用“宜”（should）；

反面词采用“不宜”（should not）。

（四）表示在标准的界限内所允许的行动步骤时，用的助动词为：

正面词采用“可”（may）；

反面词采用“不必”（need not）。

# 中华人民共和国石油化工行业标准

## 石油化工低温钢焊接规程

SH/T 3525—2004

### 条 文 说 明

2005 北 京



## 1 范围

适用范围包括不锈钢，使我国的低温钢成体系，因为 GB 3531—1996《低温压力容器用低合金钢板》（包括第 1 号修改单）中的钢材最低使用温度是 $-70^{\circ}\text{C}$ ， $-70^{\circ}\text{C}$ 以下我国只能选用不锈钢材料；GB/T 18984—2003《低温管道用无缝钢管》中钢管的最低使用温度是 $-100^{\circ}\text{C}$ ，低于 $-100^{\circ}\text{C}$ 的低温用钢国内没有标准。而且为避免本行业标准内容重复，SH/T 3523—1999《石油化工铬镍奥氏体钢、铁镍合金和镍合金管道焊接规程》不包括低温条件，综上所述应在 SH/T 3525《低温钢焊接规程》中增加奥氏体不锈钢。

## 3 术语和定义

查阅有关资料，低温钢的定义温度有 $-10^{\circ}\text{C}$ 、 $-20^{\circ}\text{C}$ 、 $-29^{\circ}\text{C}$ 、 $-20^{\circ}\text{C}\sim-269^{\circ}\text{C}$ 。日本标准中规定 $-10^{\circ}\text{C}$ 为低温，西德的 DIN 标准定义低温用钢工作温度在 $-20^{\circ}\text{C}\sim-269^{\circ}\text{C}$ 之间，也有的资料提到 $-40^{\circ}\text{C}$ 为低温。美国的 ASME 规范对低温没有明确的定义，但他将 $-20^{\circ}\text{F}$ （ $-29^{\circ}\text{C}$ ）作为一个控制指标，无论对于容器还是管道都是一致的。

国家标准 GB 150 附录 C 对低温压力容器的定义是低于或等于 $-20^{\circ}\text{C}$ ，GB 50235《工业金属管道工程施工及验收规范》规定低温管道为设计温度小于 $-29^{\circ}\text{C}$ ，行业标准 SH 3501—1997《石油化工剧毒、可燃介质管道工程施工及验收规范》将设计温度低于 $-29^{\circ}\text{C}$ 定为低温，这样看来在我国对于低温容器的定义是 $-20^{\circ}\text{C}$ ，对于低温管道的定义是 $-29^{\circ}\text{C}$ 。

所以在本规范中就不作统一的规定，当进行容器的焊接时，以低于或等于 $-20^{\circ}\text{C}$ 作为低温容器，当进行管道的焊接时，以低于 $-29^{\circ}\text{C}$ 作为低温管道。

## 4 总则

### 4.1 一般规定

4.1.1~4.1.5 钢中存在微量的磷、硫、砷、锡、铅、铋等元素及氮、氧、氢等气体，对钢的韧性起有害作用。镇静钢的含氧量低，且具有细晶粒组织，使金属有较高的断裂强度而作为低温用钢。另外淬火时效和应变时效，都使钢的脆性转变温度升高，增加低温脆断的敏感性，因此对时效敏感的沸腾钢不能作为低温用钢。

工程上用缺口试样的冲击试验来评价低温钢的韧性，低温夏比（V 型缺口）冲击试验值是低温钢的一个非常重要的指标，所以本规程将其作为一条强制性的条文。同时，将必须具有质量证明文件、低温钢表面不得有导致产生缺口效应的划痕也作为强制性条文。

特性数据主要指化学成分分析、拉力试验、冲击试验、水压试验、压扁试验、扩口试验、超声波检测、涡流试验等获得的数据。本款强调了订货合同中规定的项目，并非所有的特性数据。

### 4.2 材料

4.2.2 本条是根据《压力容器安全技术监察规程》的要求提出的。对于低温钢，低温冲击韧性值是他的重要指标，所以该条款强调了对低温冲击韧性制复验要求。这里的主要受压件按照《压力容器安全技术监察规程》是指压力容器的筒体、封头（端盖）、人孔盖、人孔接管、膨胀节、开孔补强圈、设备法兰；球罐的球壳板；换热器的管板和换热管；M36 以上的设备主螺栓及公称直径大于等于 250mm 的接管和管法兰。

4.2.3 规定了奥氏体不锈钢使用的要求，适用于制造低温容器、管道等的奥氏体不锈钢材料，当满

足条款的要求时，可不进行低温冲击韧性试验。

GB 150 及 ASME 第Ⅷ—1、ASME B31.3 的 323.2.2 对此都有相关的规定。

ASME 第Ⅷ卷第一分册 UHA 规定铬镍奥氏体不锈钢满足下列条件，可免除母材和热影响区的冲击试验：

——最低金属设计温度（MDMT）高于或等于 $-320^{\circ}\text{F}$ （ $-196^{\circ}\text{C}$ ）时，材料牌号为 304、304L、316、316L、347；

——最低金属设计温度（MDMT）高于或等于 $-320^{\circ}\text{F}$ （ $-196^{\circ}\text{C}$ ）时，不在上款中所列牌号，但含碳量不超过 0.10% 的材料；

——最低金属设计温度（MDMT）高于或等于 $-55^{\circ}\text{F}$ （ $-48^{\circ}\text{C}$ ）时，含碳量超过 0.10% 的材料。

ASME B31.3 的 323.2.2 规定下列情况冲击试验可不要求：

——对于奥氏体不锈钢母材含碳量不超过 0.1%，焊接没有使用填充材料，设计最小温度高于或等于 $-101^{\circ}\text{C}$ （ $-150^{\circ}\text{F}$ ）时；

——对于奥氏体焊缝，其含碳量不超过 0.1%，使用的填充材料符合 AWS A5.4、A5.9、A5.11、A5.14 及 A5.22，设计最小温度高于或等于 $-101^{\circ}\text{C}$ （ $-150^{\circ}\text{F}$ ）时；

——对于奥氏体焊缝，其含碳量超过 0.1%，使用的填充材料符合 AWS A5.4、A5.9、A5.11、A5.14 及 A5.22，设计最小温度高于或等于 $-46^{\circ}\text{C}$ （ $-50^{\circ}\text{F}$ ）时。

4.2.5~4.2.7 规定对低温钢材料使用前的外观检查要求，考虑到低温钢使用条件比较苛刻，因此规定应将导致产生缺口效应的表面缺陷消除，以保证其使用安全。

规定了对制造低温压力容器筒体的钢板和钢管、凸形封头和球壳的钢板等低温材料应进行超声波检测的要求，以保证其制造质量。

4.2.9 目前我国低温钢材料的品种较少，石油化工工程中使用的国外低温材料较多，本条对国外材料由原规程规定“应按相应材料标准进行复验”修改为“符合设计文件采用的材料标准，并符合本规程的规定”。

4.2.12 为了保证焊接质量，避免气孔和延迟裂纹的产生，严格控制焊条药皮含水量或熔敷金属扩散氢含量是十分重要的环节。GB 150 和 GB 12337 对此也作了规定，在此范围扩大了，不仅仅应用于压力容器，也适用于压力管道等。

4.2.13 本条规定适用于容器、压力管道及其他的低温钢焊接。对型号为 EXXXX-G 的焊条焊缝金属夏比 V 型缺口冲击功作了规定，因为 GB/T 5118 标准中型号为 EXXXX-G 的焊条的夏比 V 型缺口冲击功没有给定。表 2 数据来自 JB/T 4747—2002《压力容器用钢焊条定货技术条件》。

### 4.3 低温冲击韧性试验

4.3.1 小尺寸试样问题，原规范规定的是  $5\text{ mm}\times 10\text{ mm}\times 55\text{ mm}$ 。GB 150 也只规定了一种小尺寸试样，即  $5\text{ mm}\times 10\text{ mm}\times 55\text{ mm}$ 。这是由于相应的冲击试样国家标准中只列入了这样一种小尺寸试样。厚度小于 11mm 的钢材或 12mm~14mm 的钢管也只能采用 5mm 小尺寸试样，而厚度在 6mm 以下就不能进行冲击试验，显然，是不够安全的，有必要对冲击试验的试样尺寸进行调整。

目前，国内一些钢管厂，已将  $7.5\text{ mm}\times 10\text{ mm}\times 55\text{ mm}$  以及  $2.5\text{ mm}\times 10\text{ mm}\times 55\text{ mm}$  小尺寸试样列入了厂标（如成都无缝管厂），这两种小尺寸试样除宽度外均与  $5\text{ mm}\times 10\text{ mm}\times 55\text{ mm}$  小尺寸试样完全一样。新近发布的 GB/T 18984—2003《低温管道用无缝钢管》中规定了  $10\text{ mm}\times 10\text{ mm}\times 55\text{ mm}$ 、 $7.5\text{ mm}\times 10\text{ mm}\times 55\text{ mm}$ 、 $5\text{ mm}\times 10\text{ mm}\times 55\text{ mm}$ 、 $2.5\text{ mm}\times 10\text{ mm}\times 55\text{ mm}$  四种试样的冲击性能值。因此，本规程引入这两种小试样尺寸，并规定除材料截面尺寸无法制取  $2.5\text{ mm}\times 10\text{ mm}\times 55\text{ mm}$  小尺寸试样的情况外，必须进行低温夏比（V 型缺口）冲击试验。

4.3.5 由于近几年来不少锻件有质量问题，导致经济损失，所以对锻件也要求进行复验，包括不锈

钢锻件。

#### 4.5 焊工考试

4.5.2 因石油化工业工程建设使用 ASME 和 JIS 标准的材料较多, 本规程编写时, 总结了中石化施工单位焊接国外钢材的成功经验, 将其列为 B 系列钢号。

4.5.3~4.5.7 在考试钢种替代方面, 本规程规定了无镍低合金低温材料的一种钢号考试合格者, 可免除同类别其他钢号的考试; 含镍低温材料中含镍量较高的钢号考试合格者可免除含镍量较低的钢号的考试; 同时规定取得镍钢合格证的焊工可从事无镍低合金钢的焊接, 这是根据钢材焊接难度及对焊工技能要求提出的。

### 5 焊前准备

#### 5.1 一般规定

5.1.2 本规程提供的坡口形式和尺寸表作为一种补充, 供设计文件未作明确规定时采用, 以达到保证质量的目的。

#### 5.2 坡口制备

5.2.1~5.2.3 低温钢具有淬硬性倾向, 因此坡口面宜采用冷加工, 以避免过多的热影响。合金含量较高或强度高的钢材, 采用热加工的表面往往出现表面微裂纹, 应予以清除。坡口表面的裂纹、分层、夹渣等缺陷, 是焊接接头产生缺陷的根源, 不得存在。

5.2.6~5.2.8 规定了对热加工合金含量较高或强度高钢材的坡口表面进行磁粉检测或渗透检测, 因坡口表面的质量直接影响焊接接头的质量, 所以进行无损检测是对低温钢坡口的补加要求。

#### 5.3 组对定位

5.3.4 组装时的临时支架、卡具以及定位焊等焊接工作, 经常被施工人员忽视, 不严格遵守焊接工艺规程而导致焊件受损或存在缺陷, 影响工程质量, 所以本规程对此提出了要求。

敲打方法强行拆除卡具, 会导致母材受损, 同时为了避免卡具焊接时产生的焊接缺陷残留在母材上, 要求打磨后进行着色渗透检测。

### 6 焊接工艺

#### 6.2 预热

6.2.1 5Ni、8Ni、9Ni 钢的预热温度大于或等于 10℃ 是根据 ASME B31.3 的相关条款而确定, ASME B31.3 规定如果环境温度低于 32°F (0℃), 要求对 5Ni、8Ni、9Ni 钢进行预热的温度是 50°F (10℃)。

#### 6.3 焊接

6.3.2 低温钢焊接时, 除了要防止出现裂纹外, 关键是要保证焊缝和过热区的低温韧性, 这是低温钢焊接工艺的一个根本出发点, 解决热影响区韧性途径之一是控制焊接线能量, 因此推荐选择较小的焊接线能量。

### 8 焊后热处理

#### 8.1 一般规定

8.1.1 表 10 中的 5Ni、8Ni、9Ni 的热处理温度是根据 ASME 第 VIII 卷的 UHT 中相关数据确定, 即 5Ni、8Ni、9Ni 焊后热处理的温度为 1025°F~1085°F (553℃~586℃)。ASME B31.3 对此也有相应规定, 即 3.5Ni 钢厚度大于 3/4in (19mm) 的热处理温度是 1100°F~1175°F (593℃~635℃)。