

# ISO/TR

## 国 际 标 准

ISO/TR 17671-2:2002

---

### 测焊接—金属材料焊接的推荐规范

### 第 2 部分：铁素体钢的电弧焊接

Welding — Recommendations for welding of metallic materials —

Part 2: Arc welding of ferritic steels

(翻译稿)

---

国际标准化组织

# **测焊接—金属材料焊接的推荐规范**

## **第 2 部分：铁素体钢的电弧焊接**

**Welding — Recommendations for welding of metallic materials —  
Part 2: Arc welding of ferritic steels**

(翻译稿)

翻译单位：北京博雅志铭信息技术有限公司

翻译：高轶

校对：刘江城

2007 年 8 月 13 日

---

## 焊接—金属材料焊接的推荐规范

### 第二部分:铁素体钢的电弧焊接

**Welding — Recommendations for welding of metallic materials —**

**Part 2:**

**Arc welding of ferritic steels**

**Soudage — Recommandations pour le soudage des matériaux métalliques**

**—**

**Partie 2:**

**Soudage à l'arc des aciers ferritiques**

## PDF 免责声明

本 PDF 文件可能含有嵌入字体。与 Adobe 公司的许可政策保持一致，本文件可以打印或浏览，但是除嵌入字体已被授权且安装在电脑上用于编辑外，将不允许编辑。下载本文件的各团体应承诺未违背 Adobe 的许可政策。ISO 中央秘书处在此方面不承担任何责任。

Adobe 为 Adobe Systems Incorporated 的商标

使用该软件建立本 PDF 文件的细则在相关文件的总则信息中，PDF 创建参数的打印已经优化，确保本文件适应于 ISO 成员团体。如果发现与之相关的问题，请与中央秘书处联系，地址如下。

## © ISO 2002

版权所有。除非另有说明，未经下列地址中的 ISO 组织或在需求国的 ISO 成员机构的书面许可，本文中的任何部分不得以任何形式或任何电子或机械方式，包括影印和缩微拍摄进行复制和利用。

ISO 版权办公室

Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20

电话: + 41 22 749 01 11

传真: + 41 22 749 09 47

E-mail [copyright@iso.ch](mailto:copyright@iso.ch)

网址 [www.iso.ch](http://www.iso.ch)

瑞士印刷

目录	页码
前言.....	7
导言.....	8
1 范围.....	9
2 参考.....	9
3 术语及定义.....	9
4 符号及缩写词.....	10
5 母材.....	12
6 焊接性因素.....	12
7 焊接消耗材料的搬运.....	12
8 有关焊接的详细信息.....	13
9 孔或缝中的焊接.....	14
10 接合面准备.....	14
11 焊接前对接焊缝的调整.....	15
12 预热.....	15
13 预焊.....	15
14 暂时性附着物.....	15
15 供热.....	16
16 焊接工艺规范.....	16
17 标识.....	16
18 检查与测试.....	16
19 不合格焊缝的修正.....	17
20 变形修正.....	17
21 焊后热处理.....	17
附录 A.....	18
附录 B.....	48
附录 C.....	51
附录 D.....	52
附录 E.....	60

附录 F.....	62
参考书目.....	69

## 前 言

国际标准化组织（ISO）是由各国标准化团体（ISO 成员团体）组成的世界性的联合会。制定国际标准工作通常由 ISO 的技术委员会完成。各成员团体若对某技术委员会确定的项目感兴趣，均有权参加该委员会的工作。与 ISO 保持联系的国际组织（官方的或非官方的）也可参加有关工作。ISO 与国际电工协会（IEC）在所有电工标准化方面紧密合作。

国际标准遵照 ISO / IEC 导则第 3 部分的规则起草。

技术委员会的主要任务是制订《国际标准》。技术委员会所采用的《国际标准草案》已下发给各成员国机构，用于表决。至少有 75 % 的参与表决的成员机构表示同意，方可作为《国际标准》而出版。

在特殊情况下，如果一个技术委员会从通常作为国际标准（比如“技术水平”）公布的资料上收集数据，可以通过其参加成员简单多数表决的形式来决定是否公布技术报告。技术报告本质上完全是为了提供信息，在其所提供的数据被认为不再有效或有用前，可以不必进行评估。

本 ISO/TR 17671 标准中的某些内容有可能涉及一些专利权问题，对此应引起注意。ISO 不负责识别任何这样的专利权问题。

ISO/TR 17671-2 是由“技术委员会” ISO/TC 44 “焊接及其相关工艺”和分委会 SC 10 “金属焊接方面的统一要求”联合制订的。

在通用标题焊接—金属材料焊接的推荐规范下，ISO/TR 17671 包含以下部分：

- 第一部分：电弧焊接通用指南
- 第二部分：铁素体钢的电弧焊接
- 第三部分：不锈钢的电弧焊接
- 第四部分：铝及铝合金的电弧焊接

## 导 言

《ISO/TR 17671》的这一部分是对第 1 部分的补充。对于按照所有铁素体钢的国际钢标准生产的钢来说，为了使它能够将不同类型的钢包括进来，发行时附有多个附件（参见第 5 条）。

对于铁素体钢焊接产品的标准化生产和控制来说，《ISO/TR 17671》的这一部分给出了基本的指导说明。对于可能发生的潜在有害现象来说，给出了这方面的详细信息，其中包括如何避免这类现象的有关建议。无论所涉及的加工类型如何，《ISO/TR 17671》的这一部分通常都适用于所有铁素体钢，但应用标准可有附加要求。



# 焊接—金属材料焊接的推荐规范

## 第 2 部分：铁素体钢的电弧焊接

### 1 范围

在 IS/TR 17671 中，本部分作为除铁素体不锈钢之外，包括半机械化、机械化以及自动铁素体钢电弧焊接(参见第 5 条)在内的所有产品的指导手册。

### 2 参考

ISO 9692-1，焊接及相关工艺 — 接头制备的建议 — 第 1 部分： 手动金属电弧焊，气体保护电弧焊与钢的气焊。

ISO 9956-2，金属材料焊接工艺的规范与认可 — 第 2 部分： 电弧焊的焊接工艺规范。

ISO 13916， 焊接 — 有关测量预热温度、层间温度和预热维持温度的指导。

ISO/TR 15608:2000，焊接 — 金属材料分选系统指南。

ISO/TR 17671-1： —，焊接 — 推荐的金属材料焊接方法 — 第 1 部分： 电弧焊的基本指南。

### 3 术语及定义

《ISO/TR 17671》的这一部分采用了《ISO/TR 17671-1》中所给出的及下面的术语和定义。

#### 3.1

**冷却时间 (cooling time)**

$t_{8/5}$

焊道及其热影响区在冷却过程中通过 800 ° C 至 500 ° C 这一温度范围所需要的时间。

#### 3.2

**焊道长度 (run out length)**

焊条熔化所产生的焊道的长度

### 3.3

焊道比率 (run out ratio)

$R_r$

焊道长度与所消耗掉的焊条长度之间的比率。

### 3.4

形状因素 (shape factor)

$F_x$

焊缝形式对冷却时间的影响,  $t_{8/5}$

注释: 在二维热流的情况下, 将其称为  $F_2$ , 并在三维热流的情况下, 将其称为  $F_3$ 。

### 3.5

三维热流 (three-dimensional heat flow)

焊接过程中导入的热量, 在与板面平行和垂直的方向上流动。

### 3.6

转换厚度 (transition thickness)

$d_t$

发生二维热流向三维热流转换时的板厚。

### 3.7

二维热流 (two-dimensional heat flow)

焊接过程中导入的热量, 只在与板面平行的方向上流动。

### 3.8

预热维持温度 (preheat maintenance temperature)

$T_m$

焊接区的最低温度, 若焊接中断, 应维持住此温度。

## 4 符号及缩写词

### 4.1 符号

参见表 1

表 1 — 术语使用的代表符号

符号	术语	单位
$c$	比热	J/kg·K
$d$	板厚	mm
$d_t$	转换厚度	mm
$D$	直径	mm
$F_2$	二流热维的波形因数	1
$F_3$	三流热维的波形因数	1
$Q$	热输入	kJ/mm
$R_r$	焊道比率	1
$t_{8/5}$	冷却时间（从800 ° C到500 ° C）	s
$t$	一个电极的化时间	s
$T_i$	程间温度	° C
$T_m$	预热维持温度	° C
$T_o$	板子初始温度	° C
$T_p$	预热温度	° C
$T_t$	冲击转变温度	° C
	导热系数	J/cm·K·s
	密度	kg/m <sup>3</sup>

## 4.2 缩写词

CE 碳当量（参见 A. 2. 1），以百分比表示

CET 碳当量（参见 A. 3. 2），以百分比表示

HAZ 热影响区

HD 每 100 克堆焊金属的扩散氢含量，单位为毫米

USC 裂纹敏感性单位

## 5 母材

《ISO/TR》的这一部分适用于铁素体钢，铁素体不锈钢除外。这包括 ISO/TR 15608:2000 第 1 至第 7 组中所引用的钢。在订购钢时，有必要规定焊接性方面的要求，这可能涉及到针对相应钢标准中给出的那些钢而规定附加要求。

## 6 焊接性因素

焊接条件对焊接的性能和质量产生特定的影响。因此，应将下面的因素考虑进来：

- 接头设计；
- 氢致裂纹；
- 热影响区的韧性和硬度 (HAZ)；
- 硬化裂纹；
- 层状撕裂；
- 腐蚀。

与母材相比，并根据焊接条件的不同，尤其对于所划分的狭窄区域中热影响区的硬度和韧性来说，可在较高或较低的程度对机械和工艺性能产生影响。经验和测试表明，在评定焊接节点的展延性和抗破裂安全性时，应将强度低且柔性好的窄影响区的性能还有韧性较好的相邻区域的负荷分配效果考虑进来，因为这可影响到钢的选择。

## 7 焊接消耗材料的搬运

当耗材厂商建议在贮存过程中或者在使用前立即采取特殊保护措施或其他处理办法时，应根据厂商详细条件的条件来处理这些耗材。

在干燥或烘焙时，应将耗材从它们原来的包装箱中拿出来。从烤箱上拿走后，应将耗材保护起来，避免暴露在易于吸收潮气的条件下。在焊接耗材已经过特殊包装处理的情况下（例如，使用真空或其他防潮方法），应就所要求的进一步干

干燥和烘焙步骤向耗材厂商征询意见。

若要求控制氢水平，建议用热的袋子或封闭的包装物将焊条发放给焊接工人。

干燥箱（例如，用于焊接耗材）应装有箱温测量装置。

## 8 有关焊接的详细信息

### 8.1 对接焊缝

应在横截面不等部分之间制作出对焊接头，并随后使其具有一定的形状，以避免连接处应力过分集中。

对于与使用焊条的金属电弧焊和气体保护电弧焊的配合使用来说，ISO 9692-1 中给出了接头制备的一些实例。

根据设计规范的不同，可允许部分焊透的对焊接头。

为了达到规定的焊缝厚度，应考虑到如何选择焊缝坡口加工方法和焊接消耗材料。

在疲劳条件下，可能不需要部分焊透的接头或使用耐久的底衬材料。

在合理的情况下，底衬材料可包括结构的另一个钢部分。在结构部分用作底衬材料不合理的情况下，待用材料应保证可避免对结构的有害影响，并且，也应在设计规范中得到认可。

将铜用作底衬材料时应谨慎，这是因为在焊接金属中有铜污染的风险。

若使用了暂时的或耐久的底衬材料，则接头的摆放位置应保证待结合部分可容易地完全熔化。

只要制造程序允许，就应正确安排临时点焊和添加耐久性底衬的位置，以便后来结合到焊缝中（参见 ISO/TR 17671-1:—中的第 14 条）。

### 8.2 角焊

除非另有说明，否则，要通过角焊结合的边缘和表面应最大限度地接触，这是因为任何间隙都会增加开裂的可能性。除非另有说明，否则，间隙应不超过 3 毫米。为了弥补大的间隙，应考虑是否有必要增大填角焊缝喉长。

除非另有说明，否则，焊接不应在拐角处附近开始或停止，而应在拐角周围继续下去。

## **9 孔或缝中的焊接**

由于有开裂的风险，除非设计规范有要求，否则，不应使用焊接金属来填充孔洞或缝隙。只有确认第一道焊符合要求后，才应填充需要填有焊接金属的孔洞或缝隙（也参见 B. 4）。

## **10 接合面准备**

### **10.1 总则**

对于接头表面形状中可能出现的任何凹口或任何其他缺陷来说，应通过符合认可焊接工艺的堆焊来进行纠正。然后，将它们磨平，并使它们与附近表面平齐，从而使后期处理能够达标。

若确认保养底漆（预涂底漆）不会对焊接产生不利影响，可使它们留在接合面上。

### **10.2 坡口面**

在采用切断加工的情况下，应将加工硬化效果考虑进来，并采取预防措施，以确保边缘无开裂。

通常必须加工出带钝边单 U 形和双 U 形及单 J 形开焊接坡口。在评定预处理方法和接头类型的过程中，应考虑到所选焊接工艺的要求。

### **10.3 未焊接面**

若切边不是坡口面，切断加工、热切割或刨削的脆化效果应保证不会对工件产生不利影响。

局部硬化可通过适当的热处理来减少，或通过机械处理来排除。从切割面上去掉 1 至 2 毫米通常使硬化层去除掉。当使用热切割时，降低正常切割速度或切割前进行预热可减少局部硬化。在必要的情况下，应就硬度降低程度征询钢供应商的意见。

与 V 形和斜边开焊接坡口相比，U 和 J 形开焊接坡口所要求的焊接金属量较

少，因此用来减少变形。同样地，由于焊接金属可在接头每边的交替焊道上堆积，所以双坡口优于单坡口。在控制变形的过程中，坡口的精确性和部件的装配，以及周密计划和控制的焊接工艺是重要的考虑因素。

## 11 焊接前对接焊缝的调整

除非特殊说明（例如，在焊接工艺规范或应用标准中），否则，对焊接头边缘或底面的歪斜程度对于厚度等于和高于 12 毫米的材料来说应不超过较薄材料厚度的 25 %，或对于厚度大于 12 毫米的材料来说不超过 3 毫米。

对于某些应用和焊接工艺来说，可能需要较小的公差。

注释：应用标准是指相关的产品标准。

## 12 预热

温度测量点应符合 ISO 13916，从焊接中心线开始测量的距离对于所有厚度来说应至少为 75 毫米的这种情况除外。

在进行小线能量焊接（如，临时点焊）时，应特别注意是否需要预热。

## 13 预焊

建议临时点焊的最低长度应为 50 毫米，但对于厚度小于 12 毫米的材料来说，临时点焊的最低长度应为较厚部件的四倍。对于厚度超过 50 毫米或屈服强度超过 500 牛顿每平方毫米的材料来说，应考虑是否增加临时点焊的长度和尺寸，这可能涉及到双焊道方法的使用。在焊接较高度度的合金钢时，也应考虑到低强度和/或较高延展性耗材的使用。

## 14 暂时性附着物

若焊接后使用热工过程来去除暂时性附着物或引入/引出件，应留有足够的附着物或引入/引出件，以便后来通过彻底的磨光过程来去除热影响材料。

## 15 供热

热输入是通过焊接速度来计算的（参见 ISO/TR 17671-1:—的第 19 条）。在通过手工电弧焊而横摆时，横摆宽度应限制为芯棒直径的三倍。

注释：横摆宽度的极限只与热输入的计算有关。

对于多丝弧焊来说，热输入是利用单个电流和电压参数按照每个单丝热输入总和而计算出来的。

## 16 焊接工艺规范

焊接工艺规范应符合 ISO 9956-2 并包括以下内容：

- a) 是车间还是现场焊接；
- b) 适用附录A.2情况下的最大结合厚度(参见 A.2.4)；适用附录A.3情况下的板厚；
- c) 供热量(参见第15条)；
- d) 氢标度(参见 A.2.3 和 A.3.2)；
- e) 预焊(参见第13条)。

## 17 标识

若合同要求使用持久的钢印，应给出位置和尺寸方面的指导说明。对于用于在射线照相检查中进行标记的压痕方法来说，需要给予同样的考虑。

## 18 检查与测试

由于有延时开裂的风险，对焊后结构进行最后检测之前通常需要有最短为 16 个小时的时间。最短时间对于屈服强度低于 500 牛顿每平方米的材料来说可降低，或对于厚度大于 50 毫米或屈服强度超过 500 牛顿每平方米的材料来说可增加。无论是用哪一个时段，都应在检查记录中表示出来。

对于为降低氢含量而经过热处理的或已释放应力的焊缝来说，热处理后在进行最后检查前不需有另外的时间间隔。

在要求的情况下，对于焊后处理来说，应在最后检查前完成钨极惰性气体保



护焊(TIG)和其他重熔工艺。

待检查和核准的焊缝在验收前不应经过涂层或其他处理。

## **19 不合格焊缝的修正**

应对不符合设计规范的所有焊缝进行修正。

注释：可利用断裂力学或其他评定方法来确定非合格焊缝是否需要修正。

## **20 变形修正**

通过正确方法所测量的加热区温度应符合材料供应商或设计规范的推荐标准。

## **21 焊后热处理**

若要求焊缝的焊后热处理，但无应用标准，则设计规范中应说明热处理的主要内容，并涉及到对母材、HAZ 和焊接金属性能的影响。

## 附录 A

### 避免加氢裂化（也称为低温开裂）

#### A.1 总则

此附录给出避免加氢裂化方面的建议。

在编制此附录的过程中，充分考虑了这样一个事实，为了预知预热温度以避免非合金的、细晶的和低合金钢的焊件上加氢裂化，许多方法已提出来了。IIW 文献 IX-1602-90 和 IX-1631-91 中给出了实例。在称为 A.2 和 A.3 的这个附录中，包括了两种方法。A.2 中给出的方法 A 基于主要但不仅仅用于碳锰类钢的广泛经验和数据。A.3 中给出的方法 B 基于主要但不仅仅用于低合金高强度钢的经验和数据。对于用来开发这两种方法的灵感和经验的不同点来说，可将它们用作应用方面的指南。

在 A.4 下说明的方法用于抗蠕变和低温钢。

此建议仅适用于普通结构限制条件。要求较高的限制情况可能需要较高的预热温度或其他预防办法，以防止加氢裂化。

条款 A.2 和 A.3 涉及到母材在 0 ° C 以上温度下的焊接。在低于此温度下进行焊接时，可能需要特殊要求。

对于从此附录中衍生出来的那些方法来说，可使用它们的替代方法，例如，较低的预热温度，前提条件是它们的有效性已得到肯定。这种肯定应包括所有也针对此附录中给出的焊接工艺而考虑的因素。

#### A.2 用于避免非合金的、细晶的和低合金的钢中加氢裂化的方法 A。

##### A.2.1 母材

条款 A.2 涵盖非合金的、细晶的和低合金的钢。

以重量百分比表示的主要合金成分的化学成分范围：

— 碳	0,05 至 0,25
— 硅	0,8（最大值）
— 锰	1,7（最大值）
— 铬	0,9（最大值）
— 铜	1,0（最大值）
— 镍	2,5（最大值）

- 钼 0,75 (最大值) .
- 钒 0,20 (最大值)

对于防止加氢裂化来说,安全但经济的预热水平的确定主要取决于对母材成份和碳当量 CE 及焊接金属成份的正确了解 (参见 A. 2. 9)。

利用下面的公式来计算母材的 CE 值:

$$CE=C+\frac{M_n}{6}+\frac{C_r+M_o+V}{5}+\frac{N_i+C_u}{15} \quad \text{in\%} \quad (\text{A. 1})$$

条款 A. 2 适用于 CE 值介于 0,30 至 0,70 之间的钢。

对于此公式中的元素来说,只有碳钢和碳锰钢的制造工艺规程表中表明了碳和锰的情况下,才应将 0,03 加入到计算值中,从而将残余元素考虑进来。若接合 CE 值或等级不同的钢,应使用较高的 CE 值。

此 CE 公式可能不适用于含有硼的钢。

## A. 2. 2 开裂的影响因素

加氢裂化的发生率取决于许多因素:钢的成份、焊接工艺、焊接消耗材料和所涉及的应力。若与焊接相关的 $t_{8/5}$ 时间太短,则在HAZ中会发生过度硬化。若焊缝中的氢超过一个临界水平,在焊缝已冷却到接近环境温度后,硬化区在残余应力的影响下会自然开裂。通过确保HAZ的冷却速度足够缓慢、控制相对于金属厚度的焊道尺寸,以及在必要的情况下采用预热和控制层间温度,可选择焊接条件以避免裂化。对于避免加氢裂化的工艺,以及在转换温度范围内选择冷却时间以避免微观结构硬化和脆弱的工艺来说,它们可涉及到通常为 300 ° C 至 100 ° C 的这一热循环低温部分的冷却控制,并因此对源自焊接节点的氢的演化产生有利的影响。仅仅保持预热温度,在焊接完成时采用后热处理,就特别能够达到这一步。

可利用对氢进行控制的焊接工艺和耗材,而且在某种程度上,还可应用上面说明的后热处理来控制焊缝的氢含量。

同样的考虑事项适用于焊接金属中的加氢裂化,对它来说,虽然硬化规模降低,但实际的氢和应力水平有可能比热影响区更高。通常来讲,为避免 HAZ 加氢裂化而选择的焊接工艺也将避免焊接金属中的开裂。但是,在某些条件下(如:高拘束度、低 CE 钢、厚部件或合金的焊接金属),焊接金属加氢裂化可能会成为

主要的方式。

避免加氢裂化的最有效保证方式是减少从焊接耗材中输入到焊接金属中的氢。如表 A.1 中的例子所示，对于越来越多的不要求预热温度高于 20 ° C 的可能性来说，通过使用氢含量低的钎料可扩大这种可能性所带来的好处。

对于《ISO/TR 17671》中的这一部分所涵盖的、按 CE 值来表示的、正常范围的成份来说，图 A.2 中以图的形式说明了避免碳锰钢中加氢裂化的焊接条件，并且，对于所有类型的接头来说，在适用的情况下都应符合这些条件。

对于 CE 值相同（包括硬度分散性）且取样与产品分析之间的变化属于正常范围的不同钢来说，为了将它们之间的行为差异考虑进来，已将这些条件制订出来。在大多数焊接情况下，对于避免 HAZ 和焊接金属开裂来说，它们是有效的（也参见 A.2.9）。

表 A.1 — 未经预热可焊接的最大接合厚度实例（参见 A.2.4）

HD <sup>a</sup>  ml/100 克堆焊 金属	最大接合厚度			
	CE 值 0,49		CE 值 0,43	
	热输入 1,0 kJ/mm                      2,0 kJ/mm		热输入 1,0 kJ/mm                      2,0 kJ/mm	
	毫米	毫米	毫米	毫米
>15	25	50	40	80
10 ≤ 15	30	55	50	90
5 ≤ 10	35	65	60	100
3 ≤ 5	50	100	100	100
≤ 3	60	100	100	100
a 根据 ISO 3690 测量的。				

A.2.3 焊接消耗材料的氢含量

A.2.3.1 总则

厂商应能够证明它是以耗材厂商建议的方式来使用耗材的，并且耗材已在正确的温度下和时间里经过储存、干燥或烘焙。

A.2.3.2 氢温标

有待用于任何电弧焊的氢标度主要取决于焊缝扩散氢含量 HD，并应与表 A. 2 所给出的内容相同。耗材厂商应按照现有（或独立确定的）相关标准并结合具体的供应和处理条件说明所使用的值。

表 A. 2 — 氢温标

HD ml/100 克堆焊金属	氢温标
$>15$	A
$10 \leq 15$	B
$5 \leq 10$	C
$3 \leq 5$	D
$\leq 3$	E

#### A. 2. 3. 3 氢温标的选择

对于各种焊接工艺来说，下面给出了有关选择正确氢标度的基本说明。

根据焊条厂商耗材分类的不同，手工金属电弧碱性焊条应与标度 B 至 D 一起使用。手工金属电弧氧化钛药皮焊条或高纤维素型焊条应与标度 A 一起使用。

根据厂商对焊丝分类的不同，药芯或金属芯耗材可与标度 B 至 D 一起使用。埋弧丝和焊剂耗材的组合可使氢水平与标度 B 至 D 相对应，但大多数情况下为标度 C。因此，在每个指定产品组合和条件的情况下，需要对它们进行评定。厂商可对埋弧焊焊剂进行分类，但这未必说明实际的焊剂/焊丝组合也满足同样的分类。

除非经过具体的评定并证明符合标度 E，否则，用于气体保护焊和 TIG 焊的实芯焊丝可与标度 D 一起使用。对于某些药芯焊丝和某些手工金属电弧碱性焊条来说，也可发现标度 E 是正确的，但只有在具体的评定后，才可如此。当达到这些低氢水平时，应考虑到保护气体成份和与焊接有关的大气湿度中所产生的氢。

对于等离子电弧焊来说，应进行具体的评定。

#### A. 2. 4 接合厚度

应按照母材厚度总和在距焊接线 75 毫米范围内的平均值来确定接合厚度（参见图 A. 1）。

接合厚度用来评定接头的散热，以确定冷却速率。

若就在距焊接线 75 毫米处以上的范围里厚度突然在很大程度上增大，有必要使用较高的接合厚度值。

对于同样的金属厚度来说，因为接合厚度较高（散热也因此发生相应变化），角焊缝中的预热温度比对接焊缝高。

A. 2. 5 预热温度

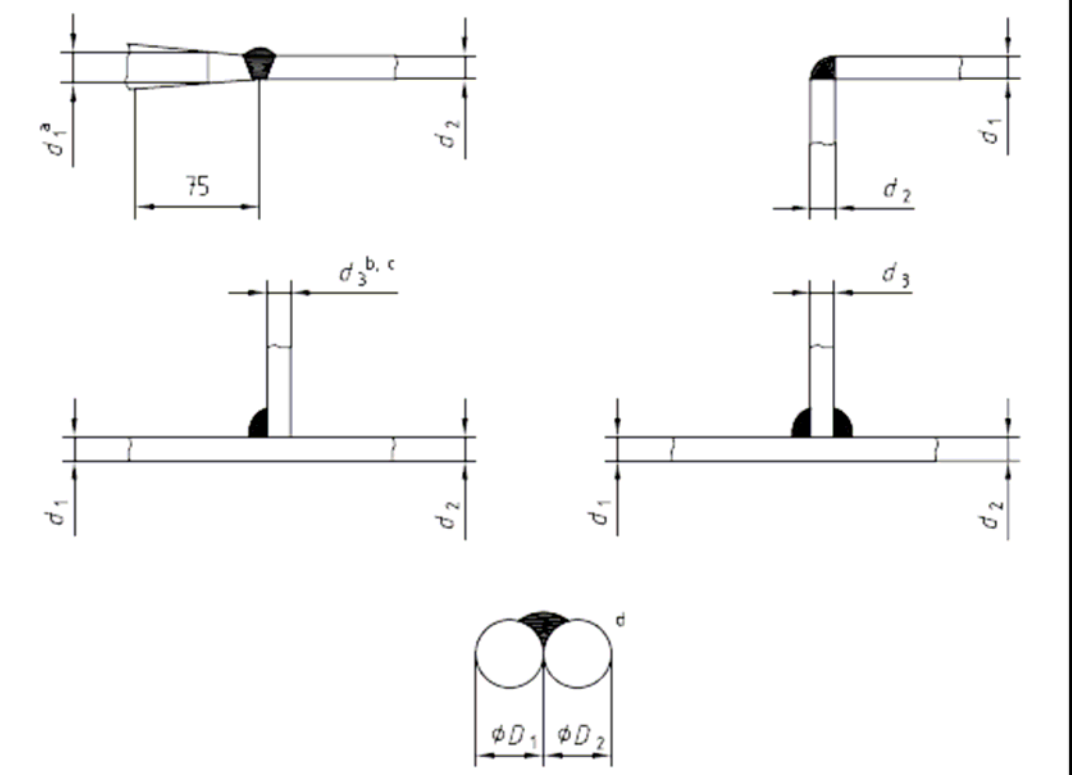
应通过读取热输入与接合厚度的已知坐标点上方最近的或左边的预热线，从图 A. 2 a) 至 m) 中获得待使用的预热温度。

A. 2. 6 程间温度

对于多焊道焊接来说，经常将推荐的层间温度的最小值用作预热温度。但是，多焊道焊接可能有一个比预热温度低的允许层间温度，对于这种情况来说，后面焊道的热输入比根部焊道高。在这些情况下，对于较大的焊道来说，应从图 A. 2 a) 至 m) 中来确定层间温度。对于抗蠕变和低温钢来说，表 A. 5 和表 A. 6 中给出了有关最大层间温度的建议。

A. 2. 7 热输入

图 A. 2 中使用的供热值 (kJ/mm) 应与 ISO/TR 17671-1 和第 15 条中的一致。  
以毫米表示的尺寸



注释：应将有限的散热考虑进来（参见 A. 2. 10b）。

- a  $d_1=75$  毫米长度内的平均厚度。
- b 对于同时堆积的直接相对的角焊缝来说, 结合的厚度=  $\frac{1}{2} (d_1+d_2+d_3)$ 。
- c 结合厚度=  $(d_1+d_2+d_3)$ 。
- d 结合厚度=  $\frac{1}{2} (D_1+D_2)$ ; 最大直径=40 毫米。

图 A. 1 — 测定结合厚度的实例

#### A. 2. 8 焊后加热过程中的氢还原

在低温开裂可能性较高的情况下, 应维持最低层间温度, 或在焊接后焊缝区域冷却到低于最低层间温度之前, 立即将温度提高到  $200^{\circ}\text{C}$  与  $300^{\circ}\text{C}$  之间, 从而加快氢的释放。预热持续时间应至少为 2 小时, 并由厚度所决定。数值较大的厚度要求温度不超出指定范围的上方区域, 以及延长的焊后加热时间。

在未填完的焊缝横截面将要冷却的情况下, 焊后加热也是适用的。

#### A. 2. 9 可能有更严格程序要求的条件

经验证明, 图 A. 2 中所表示的预加热条件为许多焊接产品安全焊接程序的得出提供一个满意的基础。但是, 多个参数影响到加氢裂化的可能性, 而且与图 A. 2 a) 至 m) 中所说的相比, 这些因素有时会产生更严重的不利影响。下面的段落涵盖了一些因素, 与准备图 A. 2 中的数据时所设想的裂化风险相比, 这些因素可使这种风险更高。对于是否需要更严格的程序以及避免裂化所要求的焊接程序转变来说, 这些因素在这些方面的影响目前还不能精确地量化。因此, 应认为下面的因素只用于参考指导。

接头拘束度是截面厚度、焊缝坡口加工、接头形状和结构硬度的一个复杂函数。对于由大于约 50 毫米的截面厚度所制成的焊缝和双斜削对焊接头中的根部焊道来说, 它们可能要求更严格的程序。

在焊接 CE 值低的钢时, 某些焊接程序可能不足以避免焊接金属加氢裂化。在焊接厚截面 (即, 大于 50 毫米) 并且热输入较高时, 情况更是如此。

使用较高强度的合金焊接金属或锰含量高于约 1, 5 % 的碳锰焊接金属可导致更高的工作应力。不管这是否导致 HAZ 裂化风险的提高, 堆焊沉积物通常都比较硬, 并且对自身裂化更敏感。

经验和研究表明, 主要通过降低含硫量 (以及氧含量) 来降低钢的夹杂物含量可提高钢的淬透性。从实际观点来看, 这种效果可导致 HAZ 硬度的增加, 并可

能在较小程度上提高 HAZ 加氢裂化的风险。目前，还不能对这种效果实行准确的量化。

对于涉及上述因素的焊缝来说，虽然原则上可通过改变热输入、预热或其他影响因素来实现修正它们的处理工艺，但是，最有效的修正是降低焊缝的氢水平。这可直接通过以下任一办法来实现，降低焊缝中氢的输入（使用低氢焊接工艺或耗材），或者在焊后的一段时间内使用更高水平的焊后加热进行扩散以增大焊缝中氢的损失。所要求的焊后加热时间将取决于许多因素，但已证明 2 至 3 小时的时间在许多情况下起到很好的作用。建议利用足够的接头模拟焊缝测试来获得所要求的工艺修正。

#### **A. 2. 10 灵活性**

在下面的条件下，可允许焊接工艺有灵活性。

##### **a) 正常预热**

若对整个组件或超出第 12 条中规定数值两倍多的宽度进行预热，则通常有可能在有限范围内降低预热温度。

##### **b) 散热限制**

尤其在厚板中（例如，外伸部分只在边上比角焊缝长度大的接搭处），若在一个或多个方向上限制散热（例如，在最短热道小于角焊缝长度的 $\times 10$  的情况下），则有可能降低预热水平。

##### **c) 奥氏体耗材**

在某些不可能通过足量预热来确保无裂化焊缝的情况下，使用某些奥氏体或高镍合金耗材可获得优势。在这些情况下，特别是耗材条件导致氢含量很低的焊缝金属堆积时，预热并不总是必要的。

##### **d) 接头装配**

紧密配合的角焊缝（缝隙等于或低于 0,5 毫米）可证明焊接工艺中的灵活性是正确的。

#### **A. 2. 11 手工金属电弧焊的简化条件**

若设计中规定了单焊道最低焊脚长度角焊缝，可用表 A. 3 来确定热输入近似值，以供从图 A. 2 中确定预热温度时使用。

对于要求生产商制作与角焊缝最低焊脚长度有关的规定尺寸单焊道角焊缝

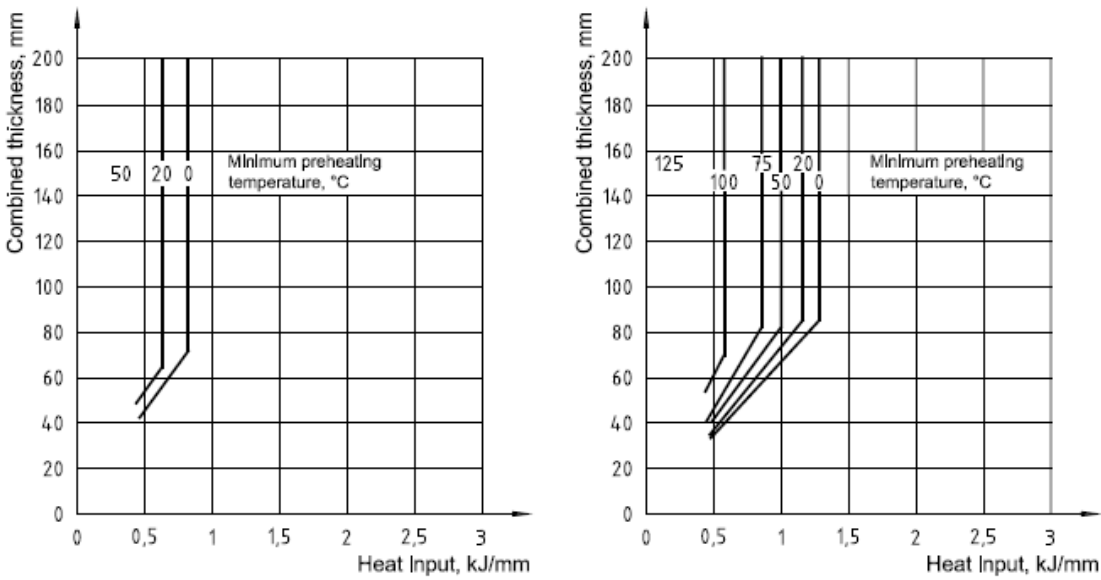


的这些实际情况来说，这些值是恰当的。实际上，类似于（例如）在水平-垂直的角焊缝中，一个焊脚将大于最低值，而且，此数据因此不适用于面向规定焊喉尺寸的焊缝的直接转变。

在其他情况下，应通过焊条引出长度（参见表 A. 4）的控制或直接通过焊接参数来控制热输入。

表 A. 3 — 单焊道角焊缝手工金属电弧焊的热输入值

最小焊脚长度 毫米	具有不同保护层类型 a 和焊条效率的焊条热输入		
	R + RR 110 % kJ/mm	B 130 % kJ/mm	R a+ RR 130 % kJ/mm
4	0, 8	1, 0	—
5	1, 1	1, 4	0, 6
6	1, 6	1, 8	0, 9
8	2, 2	2, 7	1, 3
a 符合 ISO 2560 的保护层类型。			



Combined thickness, mm      内外侧厚度, mm  
Heat Input, KJ/mm      热输入, KJ/mm  
Minimum preheating temperature, °C      最小预热温度, °C

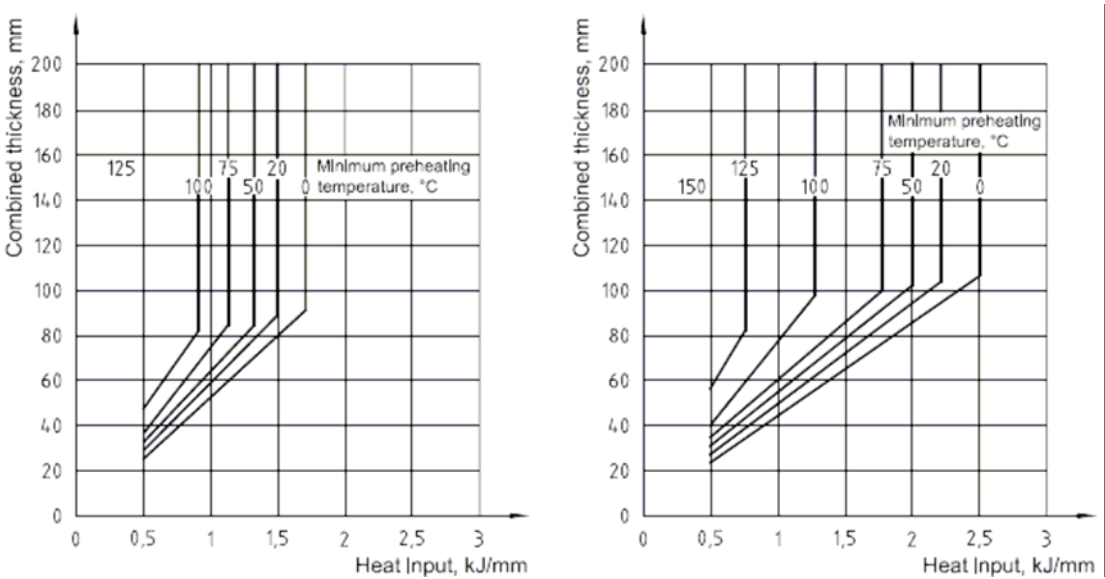
标度	A	B	C	D	E
适用的碳当量极限值	0, 3 0	0, 3 4	0, 3 8	0, 44	0, 4 6

a)

标度	A	B	C	D	E
适用的碳当量极限值	0, 3 4	0, 3 9	0, 4 1	0, 4 6	0, 4 8

b)

图 A. 2—具有特定碳当量的钢的焊接条件



Combined thickness, mm      内外侧厚度, mm

Heat Input, KJ/mm      热输入, KJ/mm

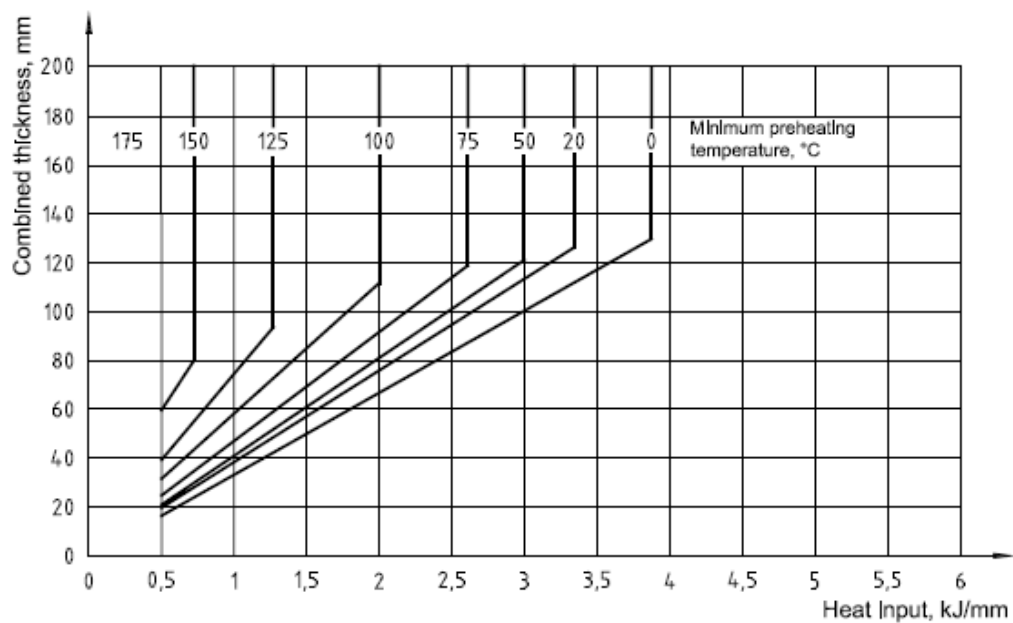
Minimum preheating temperature, °C      最小预热温度, °C

标度	A	B	C	D	E
适用的碳当量极限值	0. 38	0. 41	0. 4 3	0. 48	0. 50

c)

标度	A	B	C	D	E
适用的碳当量极限值	0. 41	0. 43	0. 45	0. 50	0. 52

d)



Combined thickness, mm 内外侧厚度, mm

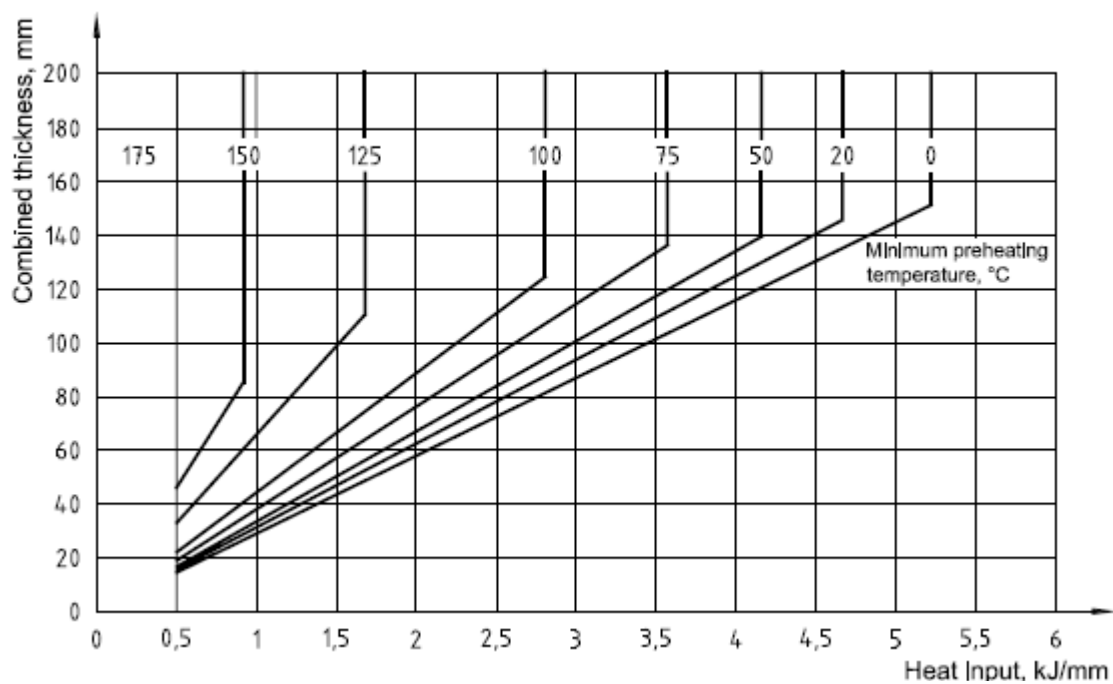
Heat Input, KJ/mm 热输入, KJ/mm

Minimum preheating temperature, °C 最小预热温度, °C

标度	A	B	C	D	E
适用的碳当量极限值	0.43	0.45	0.47	0.43	0.55

e)

图 A. 2 一具有特定碳当量的钢的焊接条件



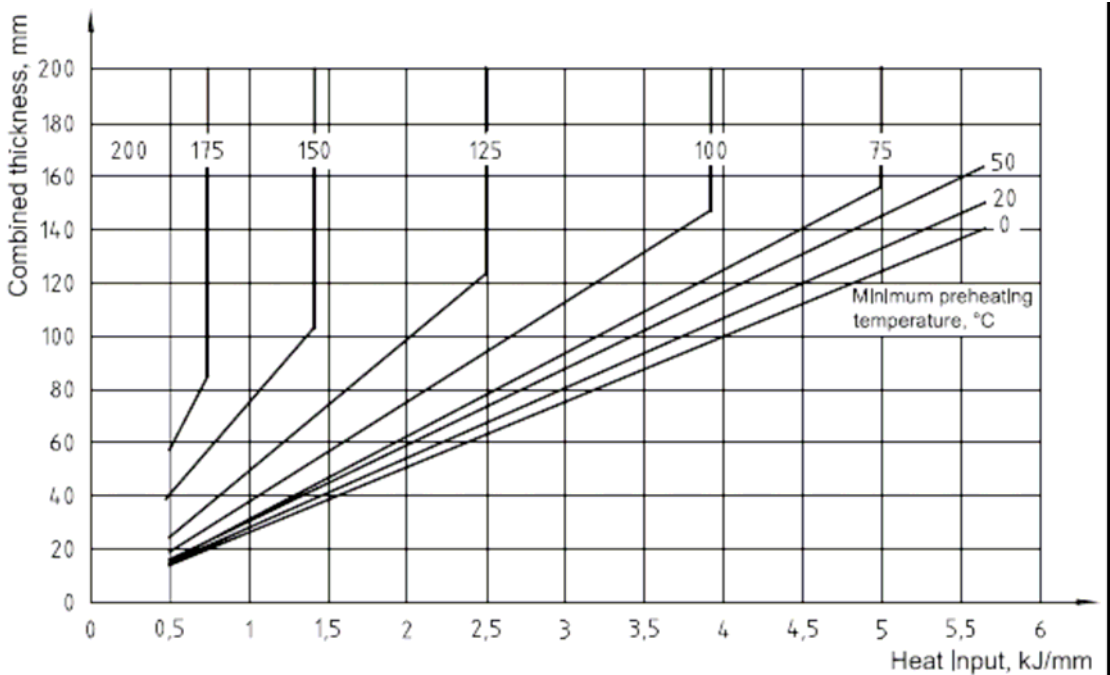
Combined thickness, mm
内外侧厚度, mm

Heat Input, KJ/mm
热输入, KJ/mm

Minimum preheating temperature, °C
最小预热温度, °C

标度	A	B	C	D	E
适用的碳当量极限值	0.45	0.47	0.49	0.55	0.57

f)



Combined thickness, mm
内外侧厚度, mm

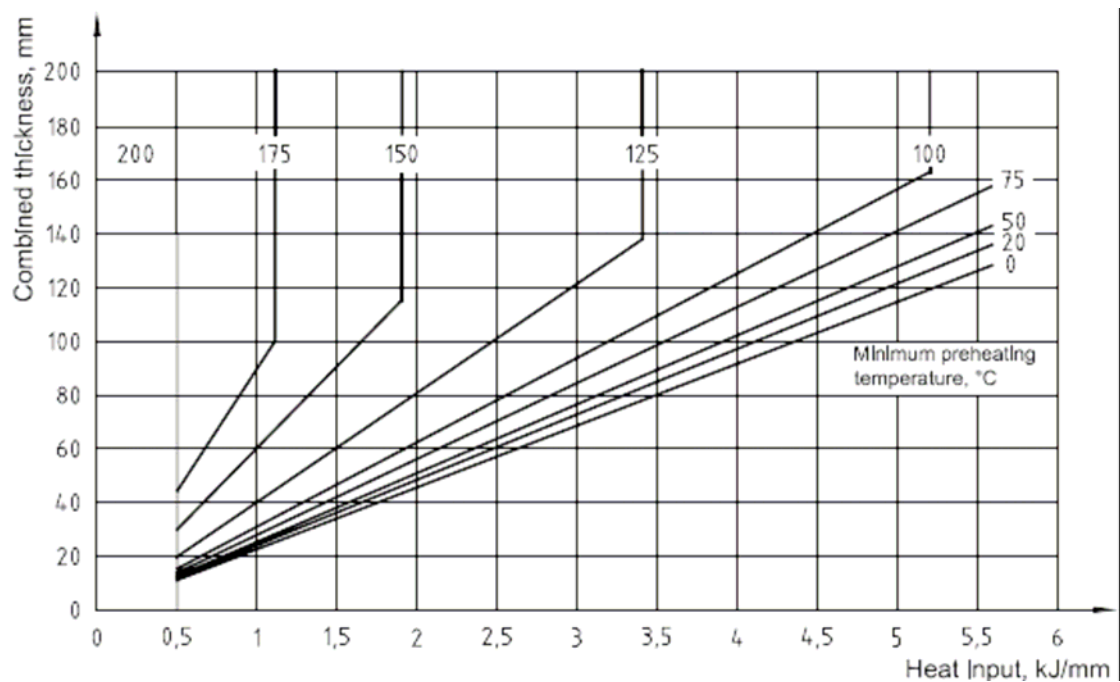
Heat Input, KJ/mm
热输入, KJ/mm

Minimum preheating temperature, °C
最小预热温度, °C

标度	A	B	C	D	E
适用的碳当量极限值	0.47	0.49	0.59	0.58	0.60

g)

图 A. 2 —具有特定碳当量的钢的焊接条件



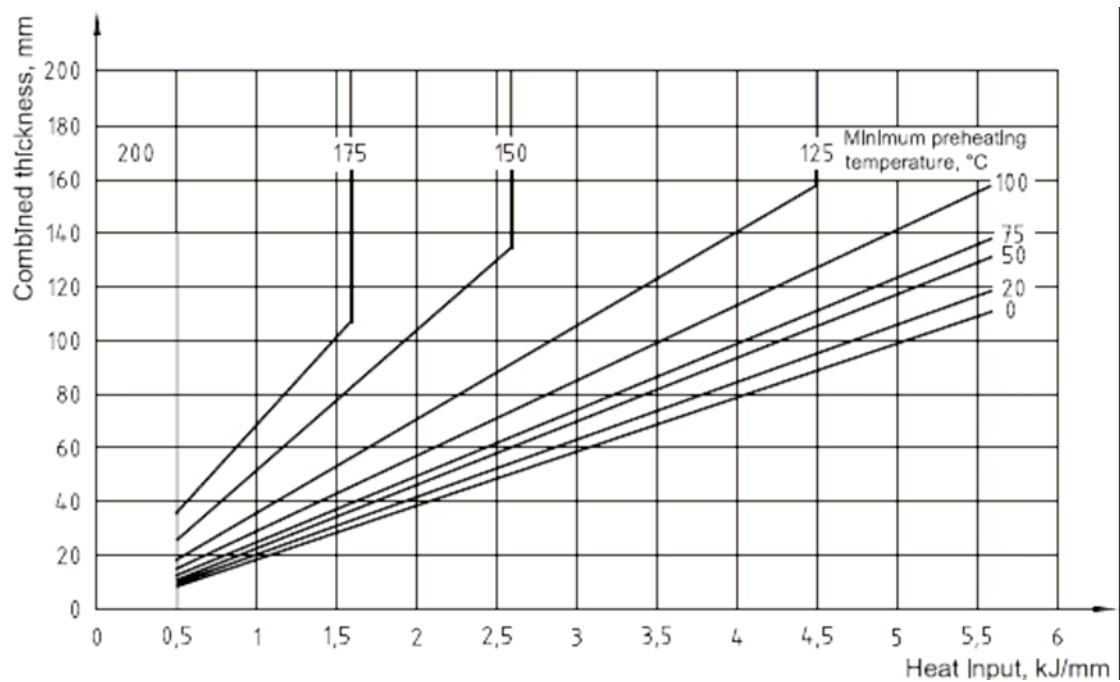
Combined thickness, mm      内外侧厚度, mm

Heat Input, KJ/mm      热输入, KJ/mm

Minimum preheating temperature, °C      最小预热温度, °C

标度	A	B	C	D	E
适用的碳当量极限值	0, 49	0, 51	0, 53	0, 60	0, 62

h)



Combined thickness, mm      内外侧厚度, mm

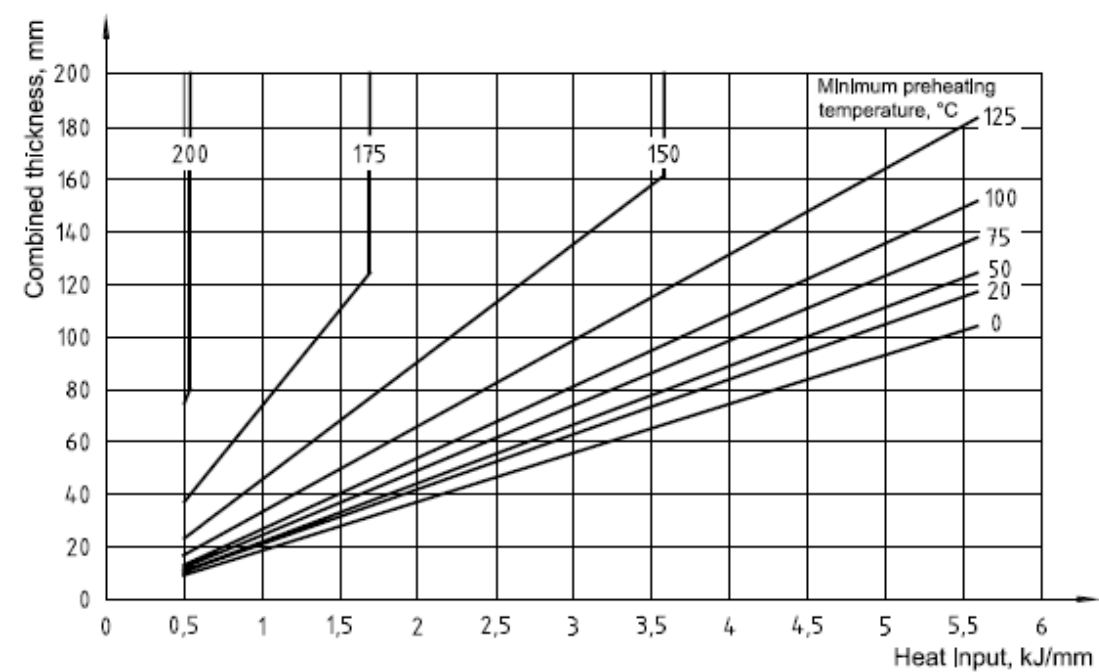
Heat Input, KJ/mm      热输入, KJ/mm

Minimum preheating temperature, °C    最小预热温度, °C

标度	A	B	C	D	E
适用的碳当量极限值	0,51	0,53	0,55	0,62	0,64

i)

图 A. 2 一具有特定碳当量的钢的焊接条件



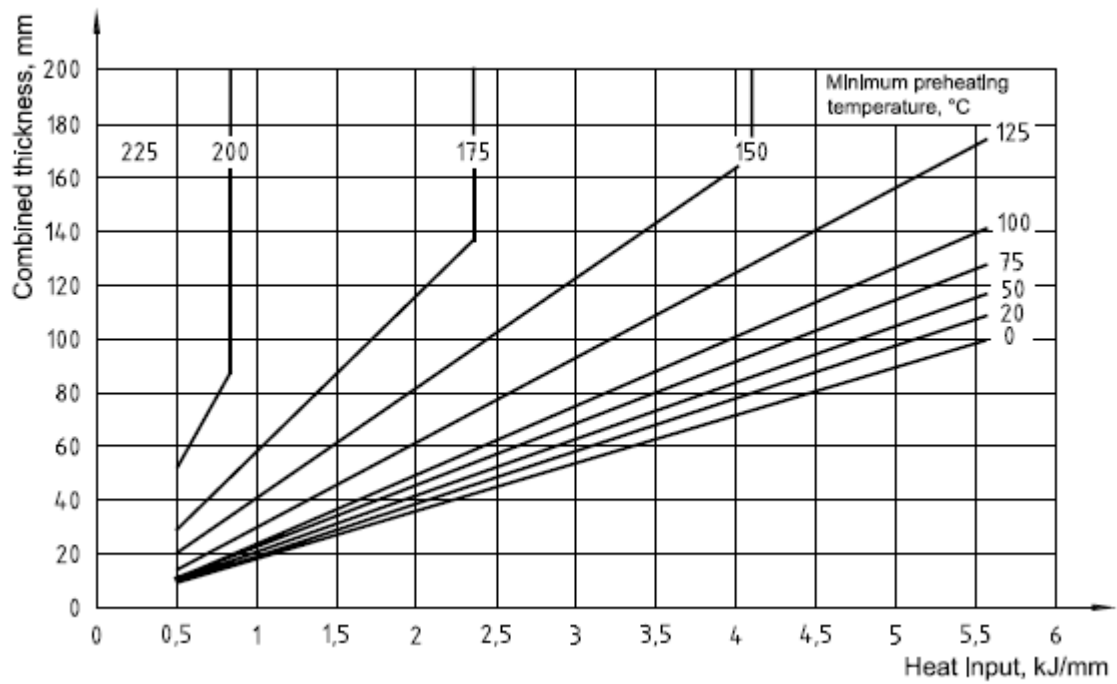
Combined thickness, mm      内外侧厚度, mm

Heat Input, KJ/mm      热输入, KJ/mm

Minimum preheating temperature, °C    最小预热温度, °C

标度	A	B	C	D	E
适用的碳当量极限值	0,53	0,55	0,57	0,64	0,66

j)



Combined thickness, mm      内外侧厚度, mm

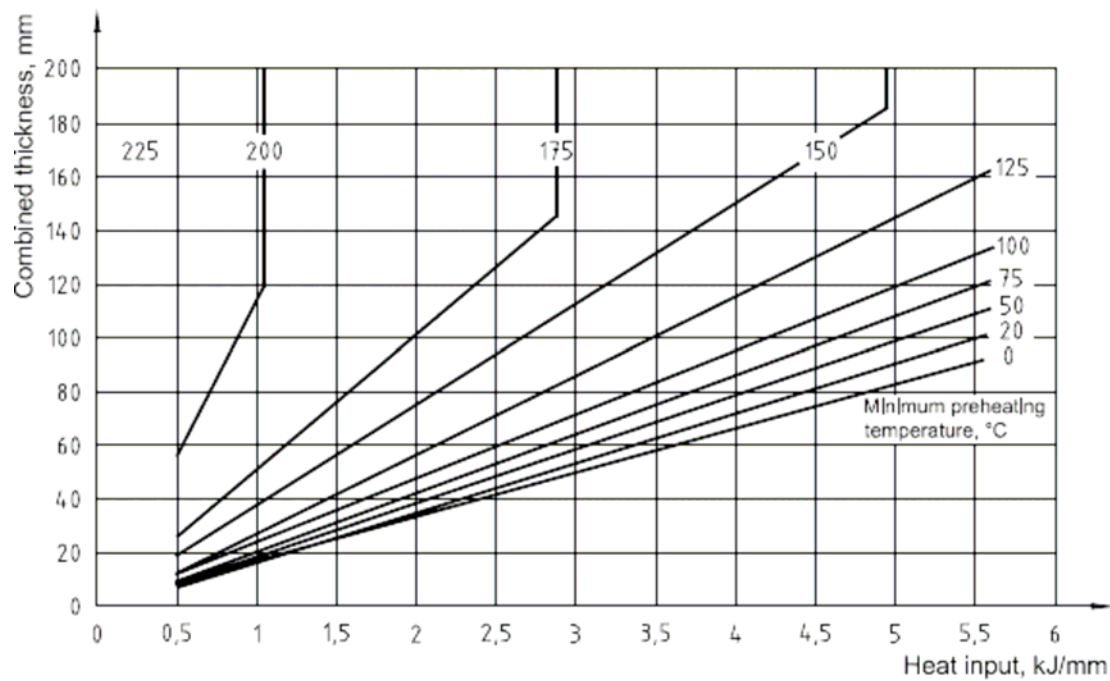
Heat Input, KJ/mm      热输入, KJ/mm

Minimum preheating temperature, °C      最小预热温度, °C

标度	A	B	C	D	E
适用的碳当量极限值	0, 55	0, 57	0, 59	0, 66	0, 68

k)

图 A. 2 — 具有特定碳当量的钢的焊接条件



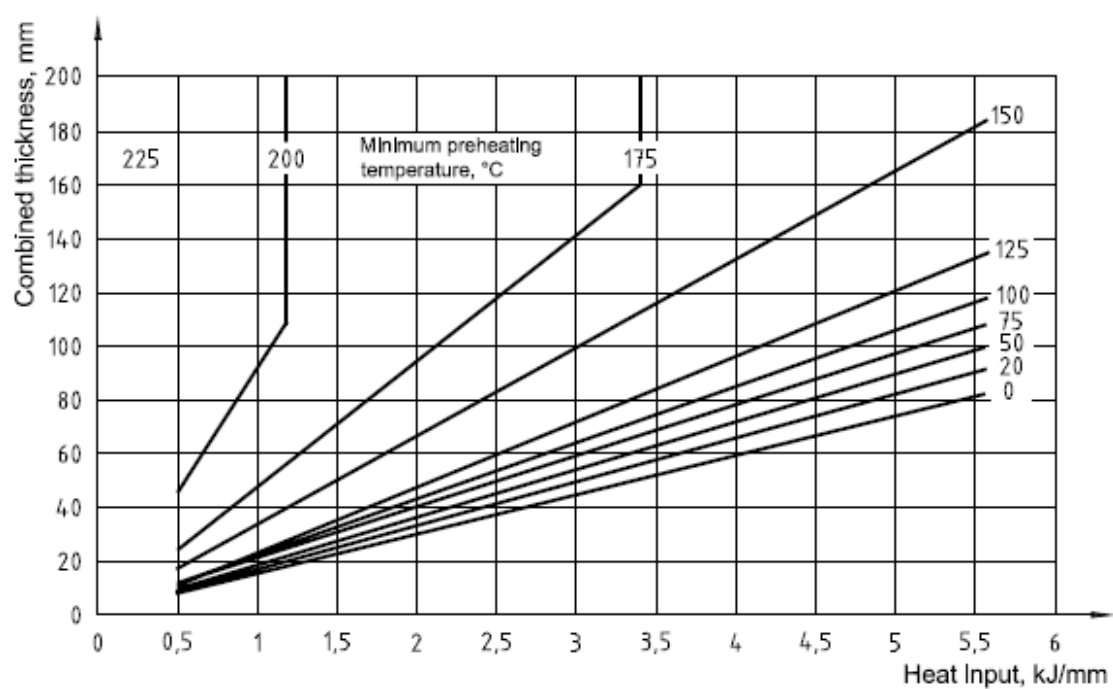
Combined thickness, mm      内外侧厚度, mm

Heat Input, KJ/mm      热输入, KJ/mm

Minimum preheating temperature, °C      最小预热温度, °C

标度	A	B	C	D	E
适用的碳当量极限值	—	—	0, 60	0, 68	0, 70

I)





Combined thickness, mm      内外侧厚度, mm  
Heat Input, KJ/mm      热输入, KJ/mm  
Minimum preheating temperature, °C    最小预热温度, °C

标度	A	B	C	D	E
适用的碳当量 极限值	—	—	0, 62	0, 70	—

m)

图 A. 2 — 具有特定碳当量的钢的焊接条件

表 A. 4 一手动金属电弧焊接的引出长度

表 A. 4. 1 一焊条效率大约为 95 %

热输入 kJ/mm	从具有如下直径的 450 毫米焊条的 410 毫米处量起的引出距离					
	2, 5 毫米	3, 2 毫米	4 毫米	5 毫米	6 毫米	6, 3 毫米
0, 8	120	195	300	470	—	—
1, 0	95	155	240	375	545	600
1, 2	—	130	200	315	450	500
1, 4	—	110	170	270	390	430
1, 6	—	95	150	235	340	375
1, 8	—	85	135	210	300	335
2, 0	—	—	120	190	270	300
2, 2	—	—	110	170	245	270
2, 5	—	—	95	150	215	240
3, 0	—	—	80	125	180	200
3, 5	—	—	—	110	155	170
4, 0	—	—	—	95	135	150
4, 5	—	—	—	84	120	135
5, 0	—	—	—	—	110	120
5, 5	—	—	—	—	100	110

表 A. 4. 2 — 95 % < 效率 ≤ 110 %

热输入 kJ/mm	从具有如下直径的 450 毫米焊条的 410 毫米处量起的引出距离					
	2, 5	3, 2	4	5	6	6, 3
0, 8	130	215	335	525	—	—
1, 0	105	170	270	420	600	—
1, 2	85	145	225	350	500	555
1, 4	—	120	190	300	430	475
1, 6	—	105	165	260	375	415
1, 8	—	95	150	230	335	370
2, 0	—	85	135	210	300	330
2, 2	—	—	120	190	275	300
2, 5	—	—	105	165	240	265
3, 0	—	—	90	140	200	220
3, 5	—	—	—	120	170	190
4, 0	—	—	—	105	150	165
—	—	—	—	—	—	—

5,0	—	—	—	85	120	135
5,5	—	—	—	—	110	120

表 A. 4. 3 — 110 % < 效率 ≤ 130%

热输入 kJ/mm	从具有如下直径的 450 毫米焊条的 410 毫米处量起的引出距离					
	2.5 mm 毫米	3.2 mm 毫米	4 mm 毫米	5 mm 毫米	6 mm 毫米	6.3 mm 毫米
0,8	150	250	385	605	—	—
1,0	120	200	310	485	—	—
1,2	100	165	260	405	580	—
1,4	85	140	220	345	500	550
1,6	—	125	195	300	435	480
1,8	—	110	170	270	385	425
2,0	—	100	155	240	350	385
2,2	—	90	140	220	315	350
2,5	—	—	125	195	280	305
3,0	—	—	105	160	230	255
3,5	—	—	90	140	200	220
4,0	—	—	—	120	175	190
4,5	—	—	—	110	155	170
5,0	—	—	—	95	140	155
5,5	—	—	—	90	125	140

表 A. 4. 4 — 焊条效率 > 130 %

热输入 kJ/mm	从具有如下直径的 450 毫米焊条的 410 毫米处量起的引出距离				
	3.2 mm 毫米	4 mm 毫米	5 mm 毫米	6 mm 毫米	6.3 mm 毫米
0,8	320	500	—	—	—
1,0	255	400	625	—	—
1,2	215	330	520	—	—
1,4	180	285	445	—	—
1,6	160	250	390	560	620
1,8	140	220	345	500	550
2,0	130	200	310	450	495
2,2	115	180	285	410	450
2,5	100	160	250	360	395
3,0	85	135	210	300	330
3,5	—	115	180	255	285

4,0	—	100	155	225	245
4,5	—	90	140	200	220
5,0	—	—	125	180	200
5,5	—	—	115	165	180

表 A.4 的注释

表 A.4 中所给出的值涉及到原始长度为 450 毫米的焊条。对于其他焊条长度来说，可使用下面的表达式：

$$\text{引出长度 (毫米)} = \frac{(\text{焊条直径})^2 \times L \times F}{\text{热输入}} \text{ 其中,}$$

$L$  是消耗的焊条长度，单位为毫米（对于裸尾来说，原始长度通常小于 40 毫米）

$F$  是一个以  $\text{kJ/毫米}^3$  表示的因数，它有一个取决于焊条效率的值，如下所示：

— 效率大约为 95 %	$F = 0,0368$
— 95 % < 效率 $\leq$ 110 %	$F = 0,0408$
— 110 % < 效率 $\leq$ 130 %	$F = 0,0472$
— 效率 > 130 %	$F = 0,0608$

#### A.2.12 A.2 应用示例

第 1 步：通过参考材料出厂证明书或钢标准中的最大碳当量来确定使用哪一个碳当量值。在此例子中，假定钢的 CE 值为 0,45。

第 2 步：暂时性地确定需要使用的焊接工艺和耗材。根据 A.2.3 和表 A.2. 利用氢标度 A、B、C、D 或 E 对耗材进行分类。

假定使用手工金属电弧焊接，并且焊缝的氢水平与表 A.2 中的标度 B 相对应。

第 3 步：确定对接头是进行角焊还是对接焊。假定使用对接焊。

第 4 步：在图 A.2 中，选择与氢标度 B 和 CE 值 0,45 相对应的图形，即，图 A.2 e)。若无法获得与选定的氢标度和碳当量相对应的图形，则使用与下一个最高碳当量相对应的图形。

第 5 步：确定对接焊缝加工中需要使用的焊道最小尺寸。这在最平常的情况下是根部焊道。假定这将通过效率为 120 % 的 4 毫米焊条来实现，它在约 260 毫米内用尽。

参见表 A.4.3，该表给出了形成对接焊缝的单个焊道的最小热量输入（不低

于 1.2 kJ/mm)。

第 6 步：参考表 A. 2. 4，确定对焊接头的结合厚度。假定计算的结合厚度是 50 毫米。

第 7 步：利用图 A. 2 e) 来标出 1, 2 kJ/毫米热输入和 50 毫米结合厚度的对应值。读出所要求的最低预热和层间温度，在此例子中为 75 ° C。

第 7 步的变更：若预热达不到要求，则按如下进行。

第 8 步：重新检查图 A. 2 e) 以针对无预热的情况确定最低热输出（通常为 20 ° C 的线）。对于这个对接焊缝例子来说，为 1, 4 kJ/毫米。

第 9 步：参考表 A. 4. 3 并对焊接位置进行考虑后，若此热输入是可行的，则使用从表 A. 4. 3 中选定的焊条直径和焊道长度来进行后面的步骤。

若不可行，则进行第 10 步。

第 10 步：利用图 A. 2 a) 和 A. 2 d) 来检验使用低氢水平的可行性（通过使用更高的焊条干燥温度，或者改变耗材或焊接工艺），以避免需要在可接受的热输入水平上进行预热。

### **A. 3 避免非合金的、细颗粒的和低合金的钢中加氢裂化的方法 B**

#### **A. 3. 1 概要**

此方法涵盖了 ISO/TR 15608 中规定的第 1 至第 4 组钢的电弧焊。在有关的 WPS 中应考虑到此附录中给出的建议。

避免低温开裂的一个非常有效的方法是将焊缝预热到较高的温度，以拖延焊缝区域的冷却，并因此在焊接后很短时间内将氢扩散提高到一个比无预热过程更高的程度。预热进一步降低了内应力的状态。对于多层焊缝来说，若通过合理的焊接顺序可以达到并保持足够高的层间温度，则有可能在开始时不需要预热。

对于焊接中钢的低温开裂行为来说，针对这方面而对焊缝本身所进行的或采用特殊低温开裂测试的大量检验是以此建议为基础的。也对角焊缝进行了检验。事实证明，单层角焊缝的内应力比对接焊缝低。对于角焊缝来说，针对对接焊缝所确定的预热温度因此可以为大约 60 ° C 这一非常高的温度。生产商可以决定是否利用这一优势，这取决于他的经验。从测定具有不同板厚的角焊缝和对接焊缝的预热温度来说，应以较厚板为基础来计算预热温度。多层角焊缝和对接焊缝具有相同的应力条件。因此，应使用与对接焊缝相同的预热温度，以避免低温开

裂。

将开始第一道焊之前的并且焊缝区域在焊接过程中为了避免低温开裂而不应低于的最低温度指定为预热温度， $T_p$ 。在多道焊接的情况下，也用于有关第二和随后所有焊道的这一温度的单词是最低层间温度， $T_i$ 。这些温度通常是同样的。因此，为了简单起见，下面只使用单词“预热温度。”

A. 3. 2 影响焊缝低温开裂行为的因素

A. 3. 2. 1 概要

母材和焊接金属的化学成分、板厚、焊接金属的氢含量、焊接过程中的热输入和应力水平影响焊接节点的低温开裂行为。合金含量、板厚和氢含量的增加提高低温开裂的风险。相比之下，热输入的增加使其降低。

A. 3. 2. 2 基体材料

通过碳当量、CET 来特征性地说明化学成分对钢的低温开裂行为的影响。对于与碳的那些方面有关的性能来说，这一公式提供单个合金元素对这些性能产生影响的有关信息。

$$CET = C + \frac{Mn + Mo}{10} + \frac{Cr + Cu}{20} + \frac{Ni}{40} \text{ in } \% \tag{A. 2}$$

适用于以下浓度范围（重量百分比）：

碳	0, 05 到 0, 32
硅	最大值. 0, 8
锰	0, 5 到 1, 9
铬	最大值. 1, 5
铜	最大值. 0, 7
钼	最大值. 0, 75
铌	最大值. 0, 06
镍	最大值. 2, 5
钛	最大值. 0, 12
钒	max. 0, 18
硼	max. 0, 005

如图A. 3 所示，碳当量、CET和预热温度， $T_p$ （或层间温度， $T_i$ ）之间存在线

性关系。可以看出，CET增加大约 0,01 %导致预热温度增加大约 7,5 ° C。

$$T_{pCET} = 750 \times CET - 150 (^\circ C) \qquad (A.3)$$

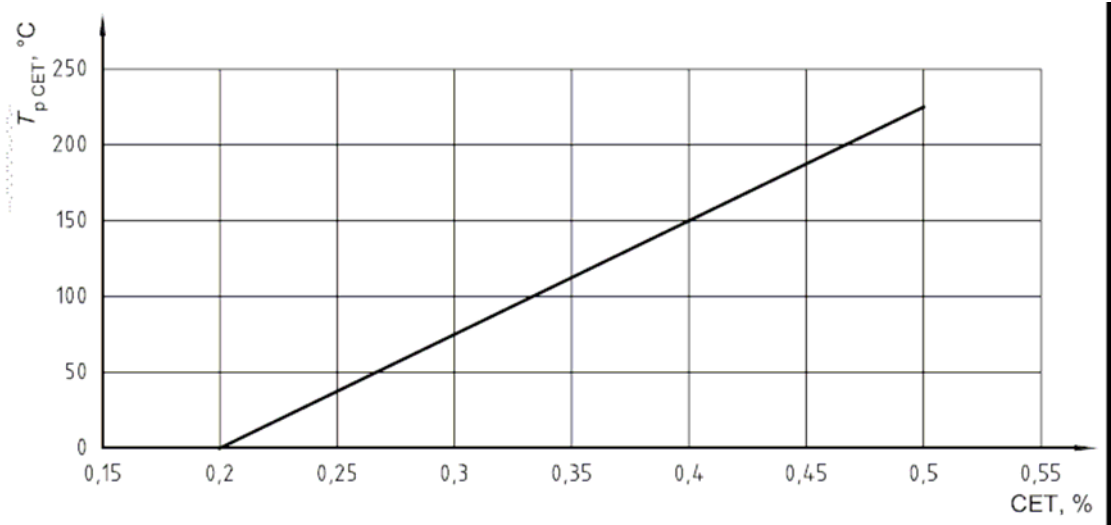


图 A.3 — 作为 CET 的一个函数的预热温度

A.3.2.3 钢板厚度

钢板厚度，d 和预热温度之间的关系，详见图 A.4。可以得出，对于比较薄的材料，钢板厚度的改变会导致预热温度的产生巨大变化。然后随着材料厚度的增加，这种影响将会降低，在厚度超过 60mm 时，影响将会变得极其微小。

$$T_{pd} = 160 \times \tanh\left(\frac{d}{35}\right) - 110 (^\circ C) \qquad (A.4)$$

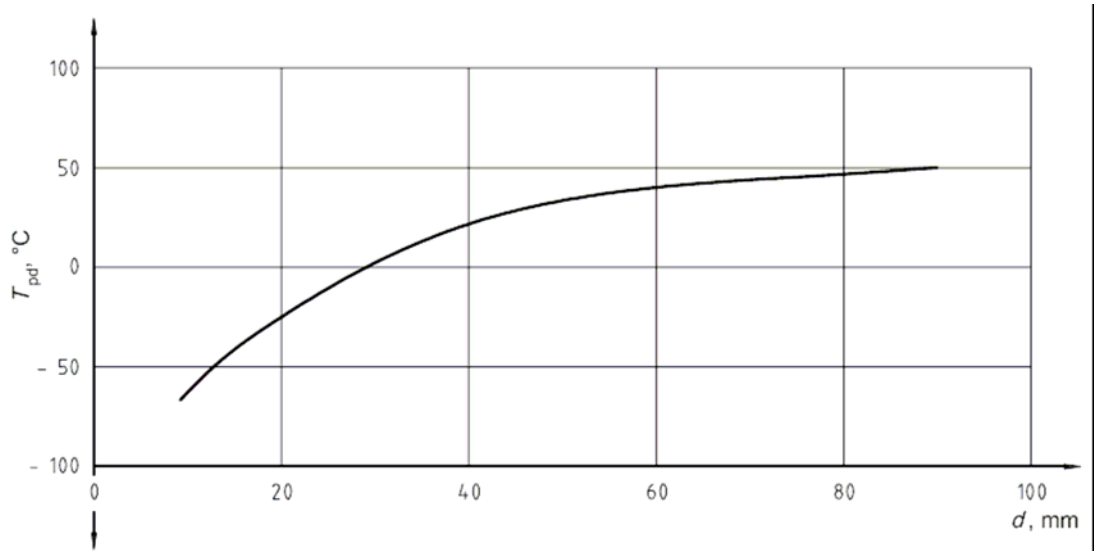


图 A.4 — 作为板厚 d 的一个函数的预热温度

#### A. 3. 2. 4 氢含量

图 A. 5 中说明了符合 ISO 3690 的焊接金属氢含量、HD 对预热温度的影响。可以看出，氢含量的增加要求预热温度的增加。与高浓度相比，氢含量的变化对低浓度的预热温度有更大的影响。

$$T_{pHD} = 62 \times HD^{0.35} - 100 (^\circ C) \quad (A. 5)$$

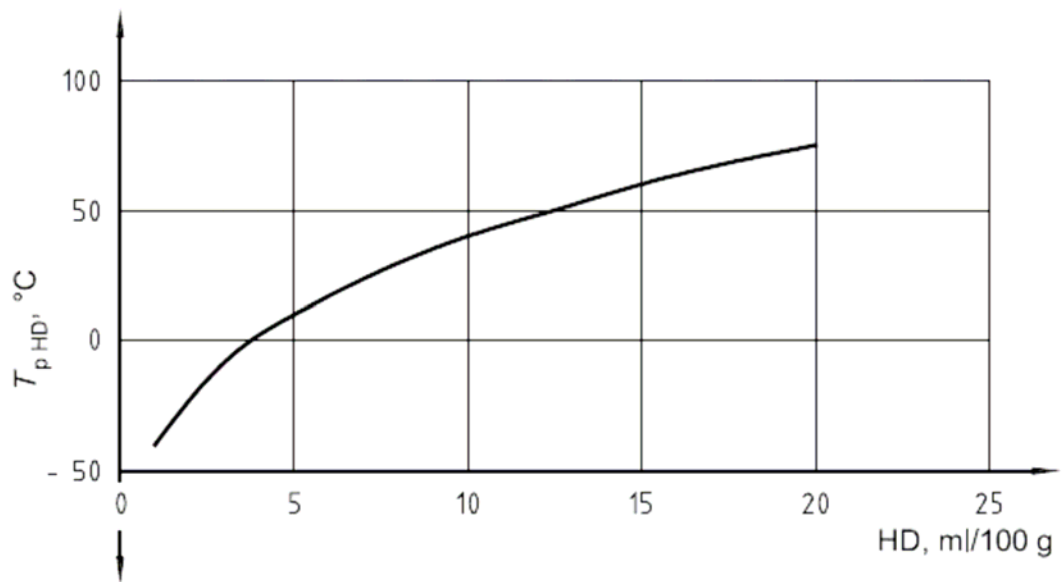


图 A. 5 — 作为焊接金属氢含量 HD 的一个函数的预热温度

#### A. 3. 2. 5 热输入

从图 A. 6 中可以看出热输入 Q 对预热温度的影响。可以看出，焊接过程中热输入的增加允许预热温度的降低。此外，这种影响取决于合金含量，而且与高碳当量相对低的来说更明显。

$$T_{pQ} = (53 \times CET - 32) \times Q - 53 \times CET + 32 (^\circ C) \quad (A. 6)$$



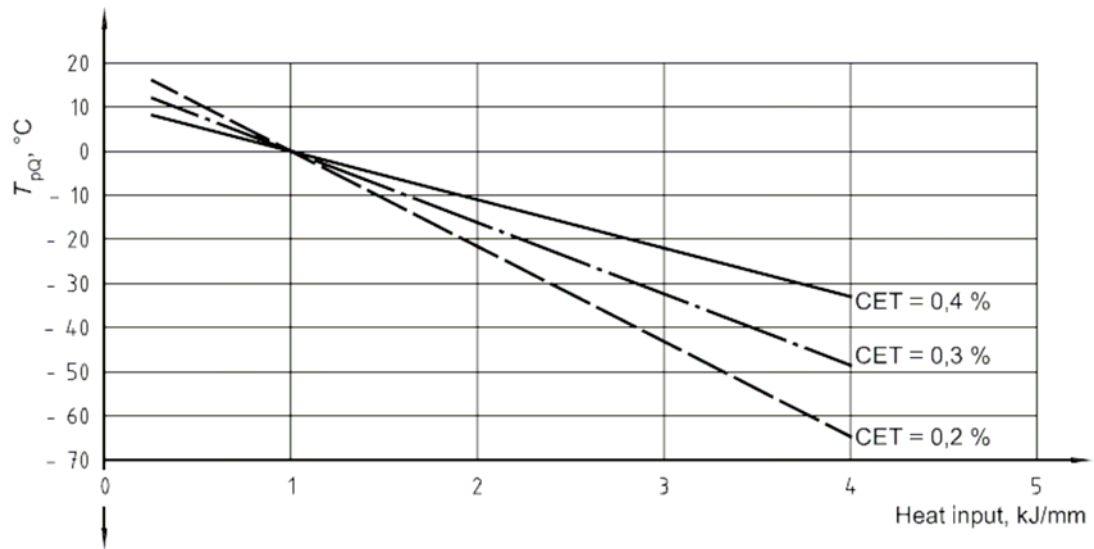


图 A.6 — 作为热输入的一个函数的预热温度

#### A. 3. 2. 6 内应力

目前,只是在定性方面对内应力水平与预加热温度之间的关系有某种程度的了解。内应力和应力状态三轴度的增加导致预热温度的增加。在推导等式 A. 8 以计算预热温度的过程中,已假定焊缝区域中存在的内应力分别等于母材和焊接金属的屈服强度。

#### A. 3. 3 计算预热温度

用 CET、 $d$ 、HD 和  $Q$  特征性地表示的化学成分的影响可通过等式 A. 7 来合并,以计算预热温度  $T_p$ 。

$$T_p = T_{pCET} + T_{pd} + T_{pHD} + T_{pQ} (^\circ\text{C}) \quad (\text{A. 7})$$

也可按照下面的公式来计算预热温度:

$$T_p = 697 \times CET + 160 \times \tanh(d/35) + 62 \times HD^{0.35} + (53 \times CET - 32) \times Q - 328 (^\circ\text{C}) \quad (\text{A. 8})$$

对于屈服强度高达  $1\,000\text{ N/mm}^2$  并具有下列数值的结构钢来说,这种关系式是有效的:

$$CET = 0.2\% \text{ 至 } 0.5\%$$

$$d = 10 \text{ 毫米至 } 90 \text{ 毫米}$$

$$HD = 1 \text{ 毫升/100 克至 } 20 \text{ 毫升/100 克}$$

$$Q = 0.5 \text{ kJ/毫米至 } 4.0 \text{ kJ/毫米}$$

根据经验,假定满足下面的条件,则借助等式 A. 7 或 A. 8 所计算的预热温度

可适用：

a) 母材的CET至少要比焊接金属的高出0,03%，否则，预热温度的计算必须以增加了0,03%的焊接金属的CET为基础。

b) 单道角焊缝、临时点焊缝和根部焊缝的长度至少为50毫米。若板厚超过25毫米，则使用适度的韧性焊接金属分两层填充点焊和根部焊道。

c) 填充焊道的焊接也包括多道角焊缝，在这种情况下，只要焊缝厚度还未达到板厚的三分之一，就不发生层间冷却。否则，有必要通过焊后加热处理来降低氢含量。

d) 应正确选择焊接顺序以避免未填完焊缝的大规模塑性变形。

#### A. 3.4 预热温度图解确定法

对于选定的CET 和  $Q$  的组合来说，在基于等式A. 8 的图A. 7 中可看出  $T_p$  与  $d$  之间的关系。在每个例子中，单个图表中所表示的曲线适用于焊接金属的不同氢浓度。

若要针对具有 CET 特性值的某一种钢或焊接金属来确定预热温度，必须要选择带有最接近的合理 CET 和热输入的图表。对于所讨论的  $d$  和 HD 来说，从此图表中获得预热温度。

若图表中的碳当量和热输入与实际数值不符，应对得出的预热温度进行修正。CET 每改变 0,01%，就必须赋予修正值 7,5 °C。从表 A. 6 中可获得有关热输入的修正。

#### A. 3.5 焊后加热方法中氢含量的降低

当低温开裂风险提高时，例如，对屈服强度大于 460 N/毫米<sup>2</sup> 并且厚度大于 30 毫米的钢进行埋弧焊时，最好在焊后立即在 250 °C 下均热一段时间，譬如说 2 小时，以降低氢含量。

#### A. 3.6 无预热焊接

若进行多道焊，可通过保持足够高的层间温度  $T_i$ ，并使用恰当的焊接顺序来避免预热。通过保持高的层间温度来避免预热的可能性取决于加工的限制条件和待焊钢的化学成分，即，CET和预热温度。也应注意到，对于与碳相比的这些元素来说，它们的评定值在CE 和 CET之间差别很大。因此，最好将CET 值转换为 CE 值，或进行相反的转换。

图 A. 8 提供了有关临界板厚的信息，在不超过临界板厚的情况下，有可能通过保持 50 ° C 或 100 ° C 的层间温度并利用相应的焊接顺序来避免预热，但这取决于钢的合金含量和焊接金属的氢含量。

在无法充分预热的情况下，最好使用奥氏体或镍基耗材。只有这样，由于焊接节点的内应力水平相对较低，并且奥氏体焊接金属中氢的溶解性较好，才有可能避免使用预热。

## **A. 4 适用于抗蠕变和低温钢的避免加氢裂化的方法**

### **A. 4. 1 母材**

此附录所涵盖的母材为 ISO/TR 15608:2000 第 4、5、 6 和 7 组中的某些抗蠕变和低温钢。

### **A. 4. 2 预热温度和程间温度**

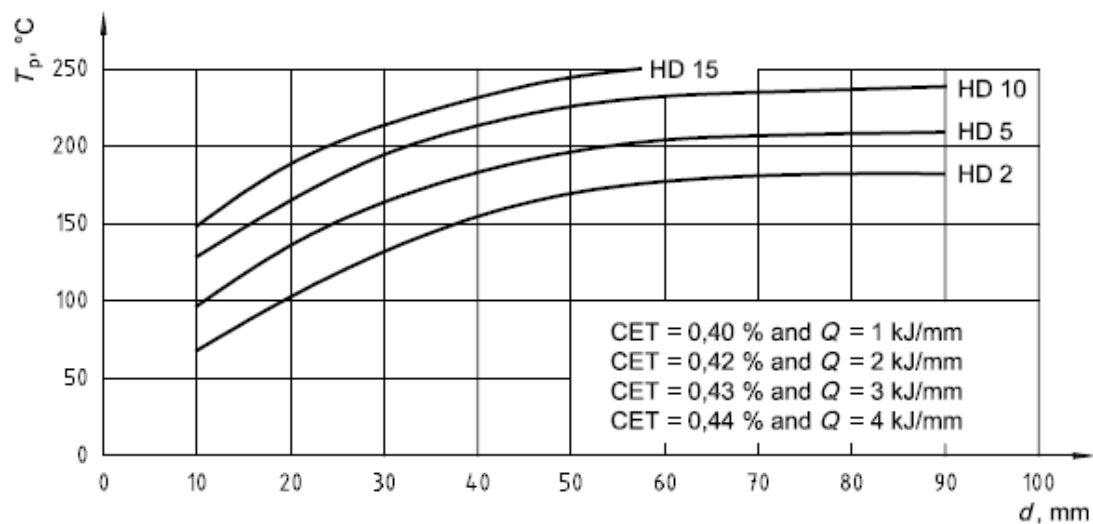
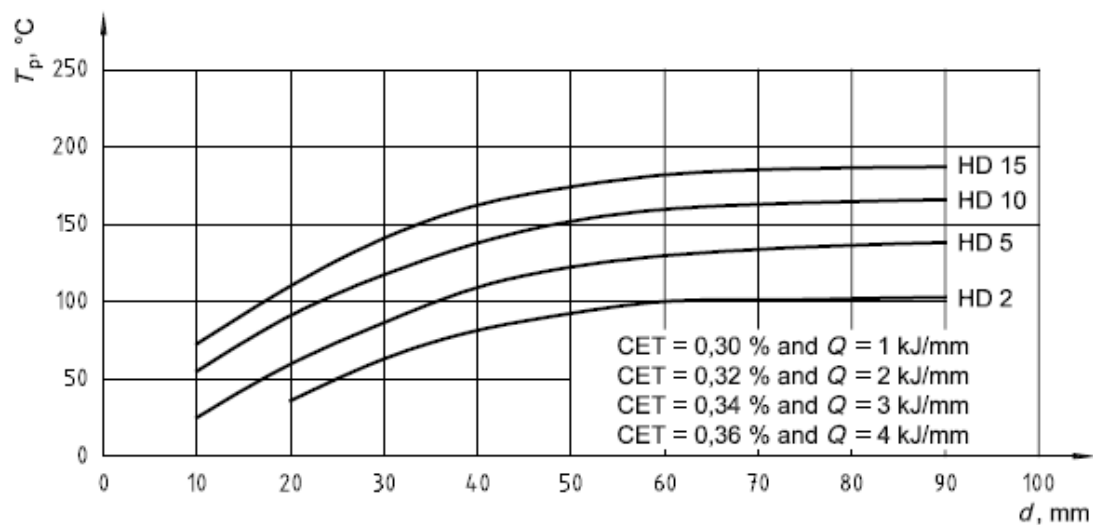
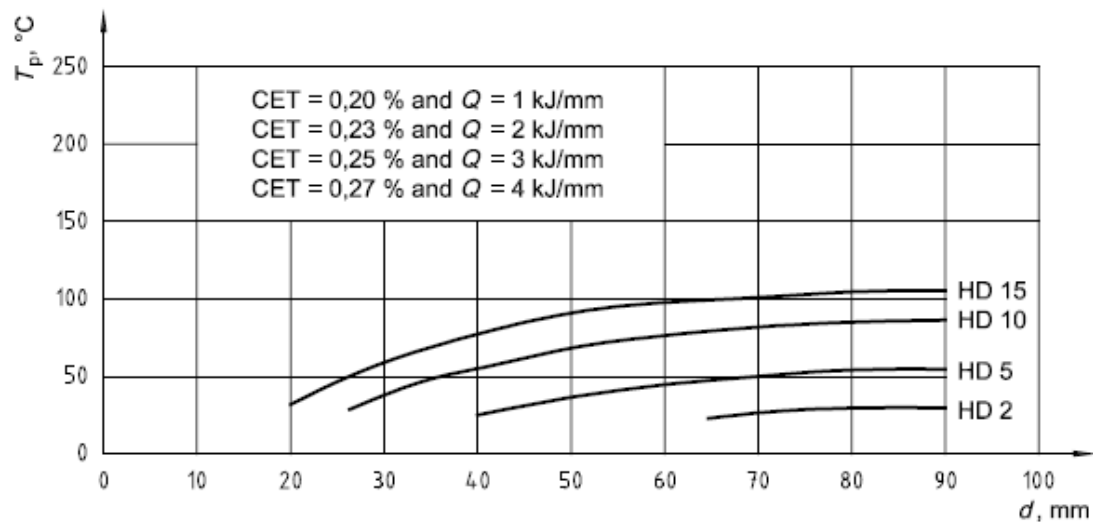
在适用于低温钢的表 A. 5 和适用于抗蠕变钢的表 A. 6 中给出了适用于板状工件、条状工件、管子和锻件的预热和层间温度极限。可能有必要根据特殊要求、经验或应用（例如，角焊缝、未完全填充的焊缝、接管焊缝或现场焊缝）而进行改动。即使设计规范中未要求焊接工艺认证测试，也应进行这种测试。

### **A. 4. 3 预热温度和程间温度的选择**

最低的预热和层间温度取决于以下方面：

- 母材和焊接金属的化学成分；
- 焊件厚度和接头类型；
- 焊接工艺和参数；
- 焊缝氢标度。

在适当的情况下，最大层间温度应与表 A. 5 或 A. 6 中给出的一样。



图A.7 — 作为板厚的一个函数的预热温度  $T_p$

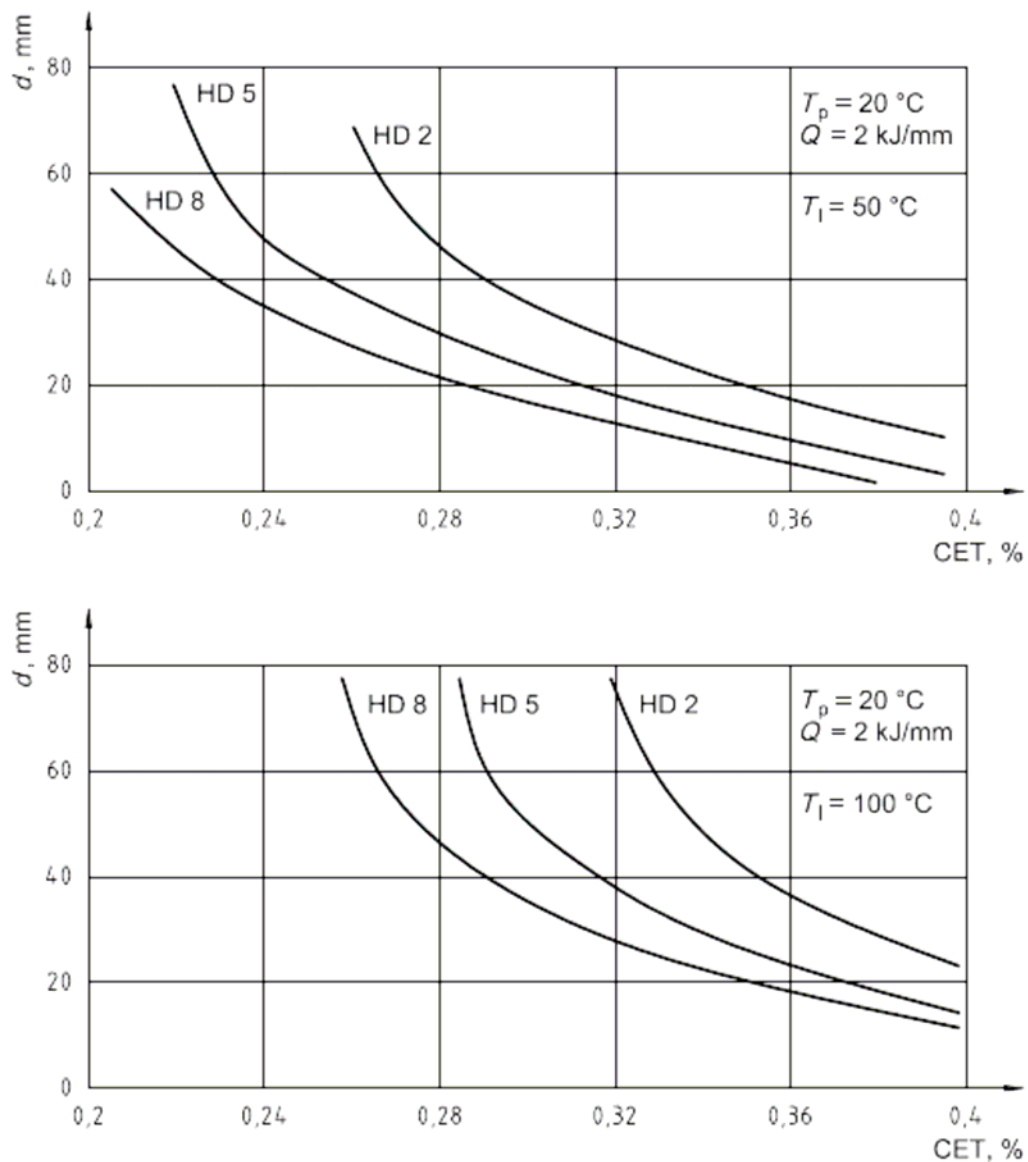


图 A.8 —适用于 50 ° C 和 100 ° C 最低层间温度  $T_i$  作为 CET 的一个函数的  
无预热焊接限制板厚

对于对接焊缝来说，表 A. 5 和 A. 6 的预热和层间温度是有效的。以散热程度提高为原因的角焊缝或未完全填充的焊缝有时要求更高的最低温度。现场焊接可要求附加预防措施。为了避免加氢裂化，最好遵循以下指示：

- 在整个焊接过程中保持表 A. 5 或 A. 6 中给出的最低温度；
- 缓慢冷却；
- 尤其在未完全填充的焊缝必须冷却的情况下，进行均热处理；
- 考虑是否在焊后立即进行焊后热处理（12 % 铬钢的情况除外）。

表 A.5 — 低温钢材

钢材种类 元素 (%)	材料厚度 毫米	最小预热温度和最小程间温度		最大程间温度 ° C
		Scale - D HD u 5 ml/100 g	Scale - C 5 ml < HD u 10 ml/100	
3,5 Ni 镍	> 10	100 <sup>a</sup>	150 <sup>a</sup>	
5,0 Ni 镍	> 10	100 <sup>b</sup>	不适用 <sup>c</sup>	250
5,5 Ni 镍	> 10	100 <sup>b</sup>	不适用 <sup>c</sup>	250
<p><sup>a</sup> 对于使用组分匹配耗材的正常生产来说，给出的最低预热值是很常见的。</p> <p><sup>b</sup> 规定的预热水平是指涉及到接近匹配的耗材或氧炔焊的那些情况。</p> <p><sup>c</sup> 通常使用镍基焊接耗材来焊接 5 % 镍至 9 % 镍的钢，而且，通常不需要预热。高达 50 毫米的板厚</p>				

表 A.6 — 抗蠕变钢 - 最小预热温度和最小程间温度

钢材种类	厚度 mm	最小预热温度和最小程间温度			最大程间温 度  ° C
		标度- D  HD  $\leq 5 \text{ ml} / 100 \text{ g}$	标度- C  $5 \text{ ml} < \text{HD}$  $\leq 10 \text{ ml} / 100 \text{ g}$	标度- A  $\text{HD} > 15 \text{ ml} / 100 \text{ g}$	
0, 3 Mo 钼	$\leq 15$	20	20	100	250
	$> 15 \leq 30$	75	75	100	
1 Cr 铬 0, 5 Mo 钼	$\leq 15$	20	100	150	300
0, 5 Cr 铬 0, 5 Mo 钼 钼 0, 25 V 钒	$\leq 15$	100	150	不适用	300
2, 25 Cr 铬 1 Mo 钼	$\leq 15$	75	150	200	350
5 Cr 铬 0, 5 Mo 钼 7 Cr 铬 0, 5 Mo 钼	All	150	200	不适用	350
12 Cr 铬 Mo 钼 V 钒	$\leq 8$	150	不适用	不适用	300 <sup>a</sup>
	$> 8$	200 <sup>a</sup>	不适用	不适用	450 <sup>b</sup>
<p><sup>a</sup> 马氏体方法，预热温度低于马氏体起始 (<math>M_s</math>) 温度，并且，在焊接过程中发生向马氏体的转化。</p> <p><sup>b</sup> 奥氏体方法，预热温度高于 <math>M_s</math>，并应允许接头冷却到低于 <math>M_s</math>，以确保在进行任何焊后热处理之前发生向马氏体的转化。</p>					

## 附录 B

### 接头详图设计指南（在无应用标准的情况下）

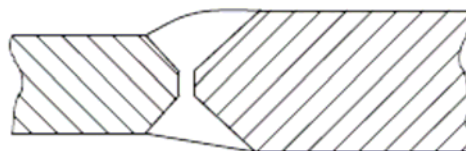
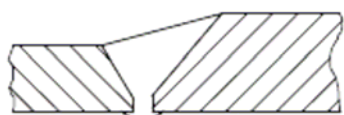
#### B.1 概要

若应用标准中无指导性说明，可使用此附录。在 EN 1708-1:1999、EN 1708-2 等其他文件中给出了进一步的信息。在附录 F 中给出了避免层状撕裂设计方面的特别指导。

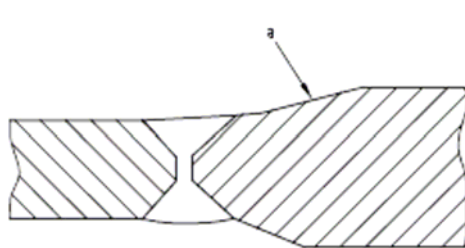
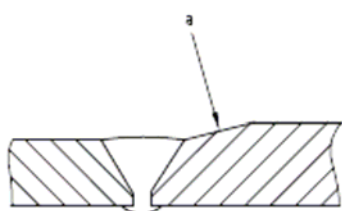
#### B.2 对焊接头

除了焊缝本身的外形所导致的应力集中外，横截面不等的部件之间呈直线排列的对焊接头将导致局部应力增加，若两个连接部件的中心面不一致，也将在此点导致局部弯曲。若由这些影响效果所导致的应力不符合要求，应对部件进行定形处理，然后焊接到一个斜度不高于  $1/4$  的斜面上，以降低应力。图 B.1 中给出了普通和定形部件的示例，其中，a) 和 b) 是更普通的类型，而 c) 是一种特殊配置，有助于非破坏性试验。

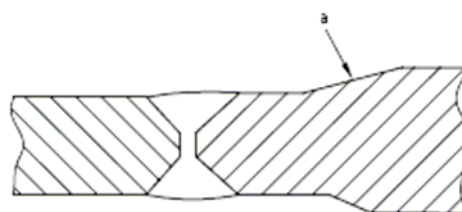
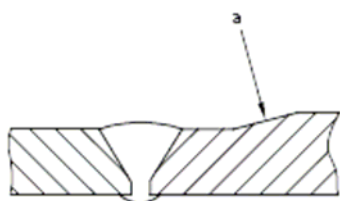
仅从单面焊接的非全熔透对接焊缝不应承受焊缝纵轴旋转方向上的挠矩。它将使焊缝根部处于拉伸状态。因此，应避免这一做法，并只在设计允许的情况下使用。在这些情况下，应用标准和合同可能会允许这一做法。



a) 焊缝中的斜面



b) 较厚板中的斜面





c) 有助于非破坏性试验的特殊配置

<sup>a</sup> 斜度大约为 1/4。

图 B.1 — 横截面不等的对接接头

B.3 角焊

应将总长减去 2 倍的焊脚长度作为端部开放式角焊缝的有效长度。在任何情况下，有效长度应不低于 25 毫米与 4 倍焊脚长度之间数值最大的那个长度。

对于承受压缩载荷的角焊接头来说，不应认为连接的部件在接头下接触。对于重要的应用来说，应考虑使用非全熔透甚至全熔透的对接焊缝。

若板子或截面边缘处角焊缝的规定焊脚长度致使母材不高于焊缝，应不允许将外角或角部熔化，这种熔化降低焊缝的厚度(参见 图 B.2)。

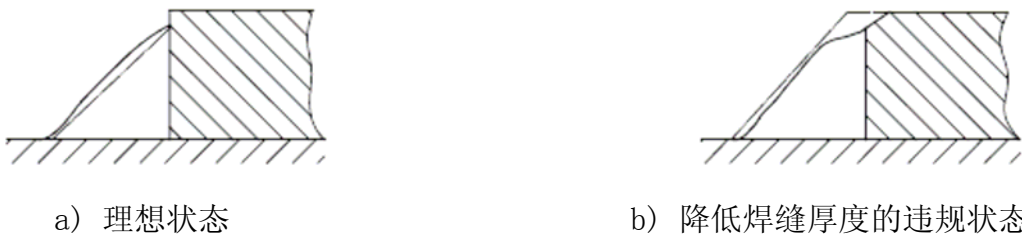


图 B.2 —适用于部件边缘的角焊缝

单面角焊缝不应承受接头纵轴旋转方向上的挠矩，它将使焊缝根部处于拉伸状态。

若坡口面构成了一个大于 120° 或小于 60° 的角度，不应依靠连接部件的角焊缝在最大工作应力下来转移设计载荷，应用标准允许这种做法的情况除外。

若坡口面构成了一个介于 60° 与 120° 之间的角度，用焊脚长度乘以表 B.1 中给出的相应因数，可得出连接部件的平形和凸形角焊缝的焊缝设计厚度。

尤其对那些用于在工作中只承担轻载荷的角焊缝来说，应将制造、运输和架设应力正确地考虑进来。

表 B.1 —用于根据焊脚角度来推导平形或凸形角焊缝设计厚度的因数

坡口面之间的角度（度）	因数
60 to 至 90	0,7
91 to 至 100	0,65
101 to 至 106	0,60

107 to 至 113	0, 55
114 to 至 120	0, 50

#### B. 4 孔洞和槽口

为了便于焊接操作，孔洞直径或槽口宽度应不低于材料厚度的 3 倍与 25 毫米之间较大的那个数值。槽口的端部应经过圆角处理，或厚度不低于材料厚度的 1, 5 倍与 12 毫米之间较大的那个值。部件端部与孔洞或槽口之间，或者相邻槽口或孔洞之间的距离应不低于厚度的两倍，并且对空洞来说不低于 25 毫米（参见第 9 条）。

附录 C

其他附录未涵盖的钢焊接所导致的潜在有害现象

由焊接造成的可能性损害现象	原因	防范措施
应力消除热处理开裂	若应力消除热处理和/或钢组分不恰当，可在应力消除热处理过程中出现碳化物或氮化物析出。这可降低钢的延展性，以至于应力的迟缓导致塑性变形和开裂的产生。	通过对焊趾进行磨加工来降低应力集中。 通过正确的焊道顺序来最大限度地降低粗粒的 HAZ 的数量。
腐蚀	化学组分的差异、结晶粒度和焊缝与母材之间的应力水平可导致不同的腐蚀率。在大多数情况下，焊缝和热影响区最容易受到腐蚀。	避免板子和焊接金属的组分有较大的差异。
a) 主面侵蚀		
b) 应力腐蚀开裂	是由应力、微观结构和环境的关键性组合所引起的	避免应力集中。 最大限度地降低焊缝应力水平。 降低硬度水平。

## 附录 D

### 热影响区的韧度和强度

#### D.1 概要

此附录说明了焊接条件对焊接过程中发生的温度/时间周期和 HAZ 中的机械性能的影响。

#### D.2 铁素体钢的基本行为

铁素体钢的焊接产生了一个区，在这个区里，焊接过程中所产生的热量改变了原始的微观结构。韧度和硬度也将因微观结构的不同而变化。

HAZ 中微观结构的改变主要取决于母材的化学成分和焊接过程中发生的温度/时间周期。

#### D.3 钢材类型的影响

HAZ 微观结构与韧性之间被认为有如下的关系：韧性随着结晶粒度的增加和硬马氏体及贝氏体微观结构组分含量的增加而降低。

在不包含焊接过程中限制奥氏体晶粒生长的任何元素的碳钢和碳锰钢情况下，通常只有必要对冷却时间进行控制，以确保 HAZ 中适度的韧性。

对于微合金碳锰钢来说，只有通过精挑细选实现元素的组合，才能够限制奥氏体晶粒生长，并在奥氏体转化过程中提高晶体内铁素体的形核，这种组合能够在升高温度下保持稳定的碳化物和氮化物析出。对奥氏体晶粒生长的控制取决于碳化物和氮化物构成元素的类型和数量。这类钢因此对 HAZ 中韧性的退化不太敏感。

调质钢、抗蠕变和低温钢，以及镍合金钢等低合金铁素体钢将根据它们的化学组分而发生反应，但不会有共同的行为。

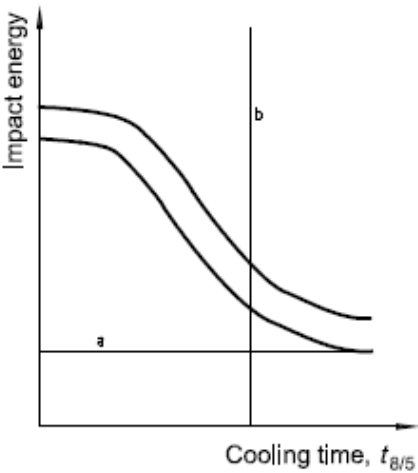
#### D.4 焊接条件对机械性能的影响

焊接过程中的温度/时间周期对焊接节点的机械性能有很大的影响。材料厚度、焊缝形式、焊接过程中的热输入（参见 ISO/TR 17671-1）和预热温度对它们产生特别的影响。通常情况下，选择冷却时间  $t_{8/5}$  来特征性地说明焊接过程中单个焊道的温度/时间周期，并作为冷却过程中焊道及其热影响区通过  $800^{\circ}\text{C}$  至  $500^{\circ}\text{C}$  这一温度范围所用的时间（参见 D.5）。

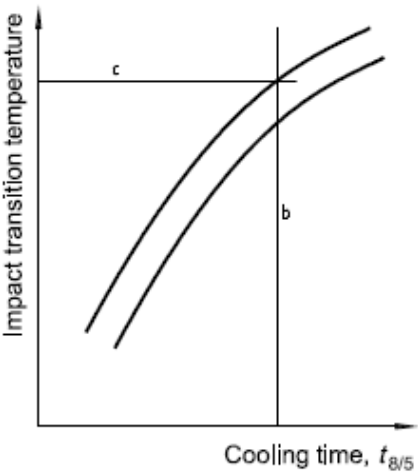
提高冷却时间  $t_{8/5}$  的数值通常导致冲击能的下降和 HAZ 的冲击过渡温度的

提高(参见 图 D. 1)。韧性的退化程度取决于钢的类型及其化学成分。

HAZ 中的硬度随冷却时间  $t_{8/5}$  的增加而降低(参见 图 D. 2)。



Impact energy 冲击能量



Cooling time 冷却时间

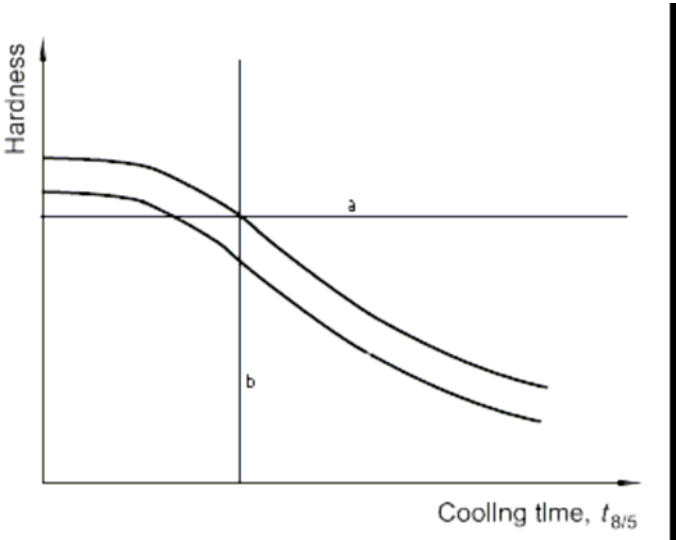
Impact transition temperature 冲击过渡温度

a) 对缺口韧性的影响

b) 对转移温度的影响

- <sup>a</sup> 允许的冲击能量最小值。
- <sup>b</sup> 适用的冷却时间的上限值,  $t_{8/5}$ 。
- <sup>c</sup> 允许的冲击过渡温度的最大值。

图D.1 一焊接条件对缺口韧性和HAZ中过渡温度  $T_t$  的影响



Hardness 硬度

Cooling time 冷却时间

- <sup>a</sup> 允许的最大硬度
- <sup>b</sup> 降低适用的冷却时间  $t_{8/5}$  的限定值

图D.2 — HAZ中，焊接条件对最大硬度的影响

#### D.5 冷却时间概念

若对于特定钢来说HAZ中的冲击能量将不低于一个已知的最低值，则必须以不超过冷却时间  $t_{8/5}$  为目标来选择焊接条件。若对于特定钢来说不需要超过HAZ中的一个已知最低硬度，则必须以  $t_{8/5}$  不低于某个值为目标来选择焊接条件。在这种方法中，对于相关的钢来说，作为  $t_{8/5}$  的函数的冲击能量、冲击过渡温度和硬度的曲线应是已知的。

对于高强度非合金和低合金铁素体钢来说，填充焊道和封面焊道的适用冷却时间通常介于 10 秒至 25 秒之间。假定对于每种个别情况来说，已根据符合ISO 9956-3 的焊接工艺测试或符合ISO 9956-8 的产前测试进行了相应的检查，并假定满足了组件的结构要求，那么，不能防止在这些钢中利用其他  $t_{8/5}$  值来加工焊缝。

若对于作为  $t_{8/5}$  的函数的冲击能量、冲击过渡温度和硬度来说，无法获得它们的关系曲线，则建议使用符合ISO 9956-3 或 ISO 9956-8 的焊接工艺测试。

#### D.6 冷却时间的计算

可通过等式来说明焊接条件与冷却时间之间的关系，但应在二维和三维热流之间加以区别（参见图 D.3 和 D.4）。

图D.4 是一个图表，对于任何类型的焊缝和任何焊接工艺来说，它提供有关转换厚度  $d_t$ 、热输入  $Q$  和预热温度  $T_p$  之间关系的信息。对于材料厚度、热输入和预热温度的特定组合来说，此图表明热流是二维的还是三维的。

当热流为三维的，并且冷却时间取决于材料厚度时，利用等式 D.1 来计算。

$$t_{8/5} = \frac{Q}{2\pi\lambda} \times \left( \frac{1}{500 - T_0} - \frac{1}{800 - T_0} \right) \quad (D.1)$$

对于非合金和低合金钢来说，使用表D.1 中给出的相应形状因数  $F_3$ ，而

且等式D. 1 近似地转化为下面这种形式：

$$t_{8/5}=(6700-5T_o) \times Q \times \left(\frac{1}{500-T_o}-\frac{1}{800-T_o}\right) \times F_3 \tag{D. 2}$$

当热流为二维的，并且冷却时间取决于材料厚度时，利用等式 D. 3 来计算。

$$t_{8/5}=\frac{Q^2}{4\pi\lambda\rho cd^2} \times \left(\frac{1}{(500-T_o)^2}-\frac{1}{(800-T_o)^2}\right) \tag{D. 3}$$

对于非合金和低合金钢来说，使用表D. 1 中给出的相应形状因数F<sub>2</sub>，而且等式D. 3 近似地转化为下面这种形式：

$$t_{8/5}=(4300-4,3T_o) \times 10^5 \times \frac{Q^2}{d^2} \times \left[\left(\frac{1}{500-T_o}\right)^2-\left(\frac{1}{800-T_o}\right)^2\right] \times F_2$$

( D. 4)

在此等式中  $Q=\varepsilon \times E = \varepsilon \times U \times I / v \times 1000$  (kJ/mm)

其中




$\varepsilon$  为焊接工艺的热效率 [UP (121)  $\varepsilon$  1, 0; E (111)  $\varepsilon$  0, 85; MAG (135)  $\varepsilon$  0, 85];


$U$  为电位差，单位为伏特；

$I$  为电流，单位为安培；

$V$  为焊接速度，单位为毫米每秒

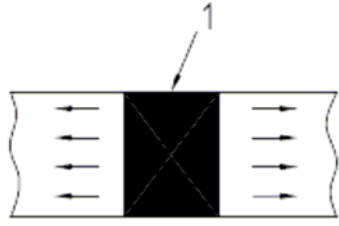
表D. 1 — 焊缝形式对冷却时间  $t_{8/5}$  的影响

焊缝形式		形状因数	
		F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>
		二维热流	三维热流
引弧板		1	1
对接焊缝中焊道之间		0, 9	0, 9
焦点上的单焊道角焊缝		0, 9 到 0, 67	0, 67

T形点上的单焊道 角焊缝		0,45 到 0,67	0,67
-----------------	---	-------------	------



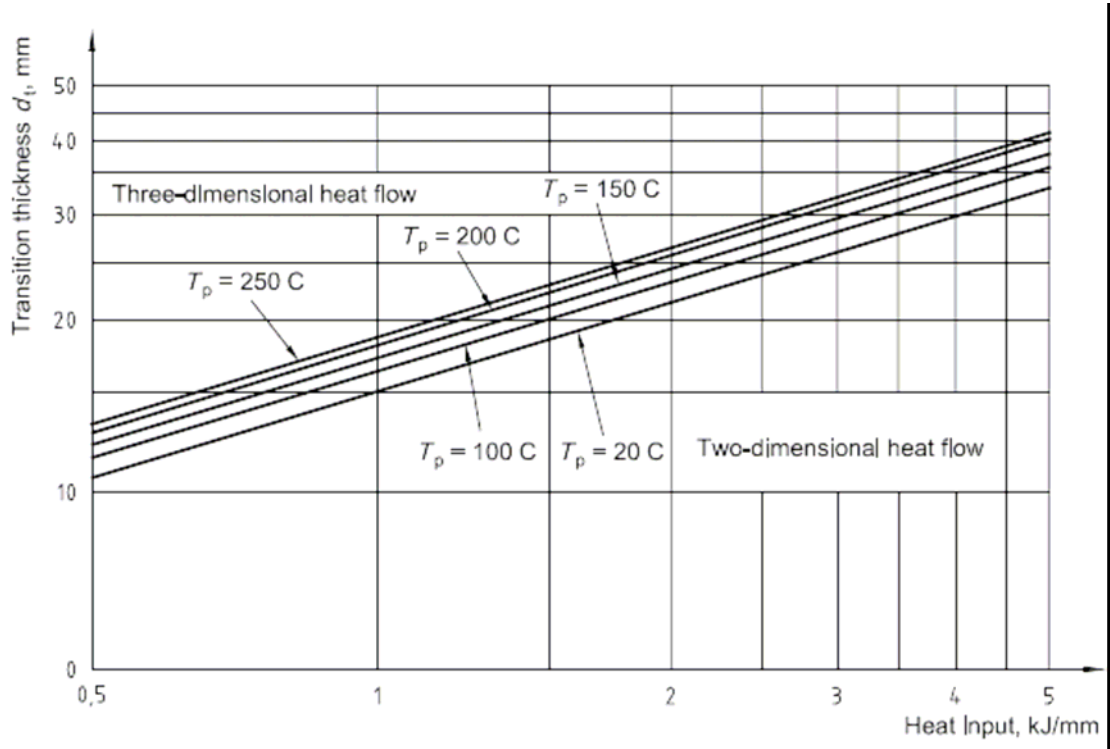
a) 三维热流；相对较厚的板；板厚不影响冷却时间  
对冷却时间有决定性的影响



b) 二维热流；相对较薄的板；板厚

1 焊道

图 D.3 — 焊接时的热流类型



Transition thickness 过渡厚度

Three - dimensional heat flow 三维热流

Two - dimensional heat flow 二维热流

Heat Input 热输入

图 D.4 —适用于不同预热温度并作为热输入函数从三维到二维热流的板转换厚度

### D.7 确定冷却时间 $t_{8/5}$ 的图表

首先利用图D.4 确定热流类型后，也可根据图D.5 和 D.6 来确定已知热输入



$Q$ 的冷却时间  $t_{8/5}$ 或已知冷却时间的热输入。

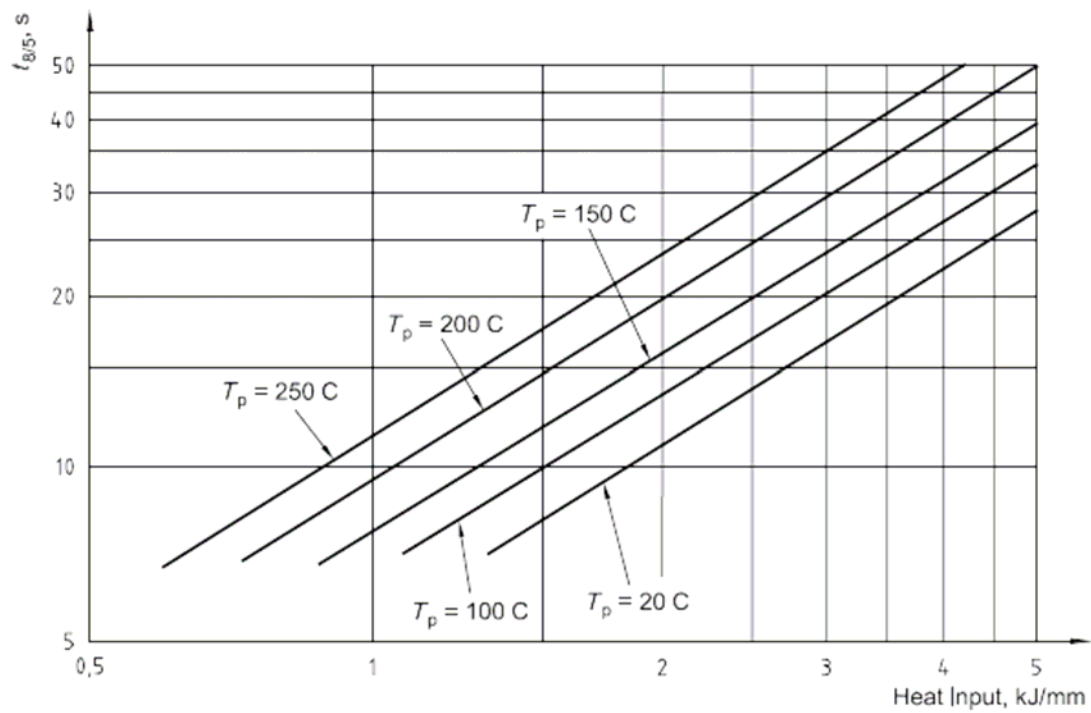
在板上焊道的情况下，对于三维热流来说，图D. 5 中给出了 $t_{8/5}$ 、 $Q$  和 $T_p$ 之间的关系，等式D. 1 构成了该图的基础。若将此图表适用于其他类型的焊缝，应考虑到相应的形状因数 $F_3$ 。若要针对热输入和预热温度的特定组合而确定冷却时间，应首先将热输入乘以 $F_3$ 。但是，若针对已知的冷却时间和预热温度从图表中反向地选定了热输入，应将其除以 $F_3$ 。

对于不同的材料厚度来说，图D. 6 中给出了有关二位热流情况下冷却时间与 $Qt_0$ 之间关系的信息，等式D. 2 构成了该图的基础。若将这些图表应用于其他类型的焊缝，应考虑到相应的形状因数 $F_2$ ，例如，若要针对热输入和预热温度的特定组合而确定冷却时间，应首先将热输入乘以 $\sqrt{F_2}$ 。但是，若针对已知的冷却时间和预热温度从图表中反向地选定了热输入，应将其除以 $\sqrt{F_2}$ 。

若在二维热流的情况下，所讨论的板厚与图 D. 6 中所示的那些不完全相符，则使用与实际板厚最接近的图表。然后，根据板厚比率对冷却时间进行修正。为了做到这一点，将从图表中选定的冷却时间乘以从图表中选定的板厚的平方，并除以所讨论的板厚的平方。

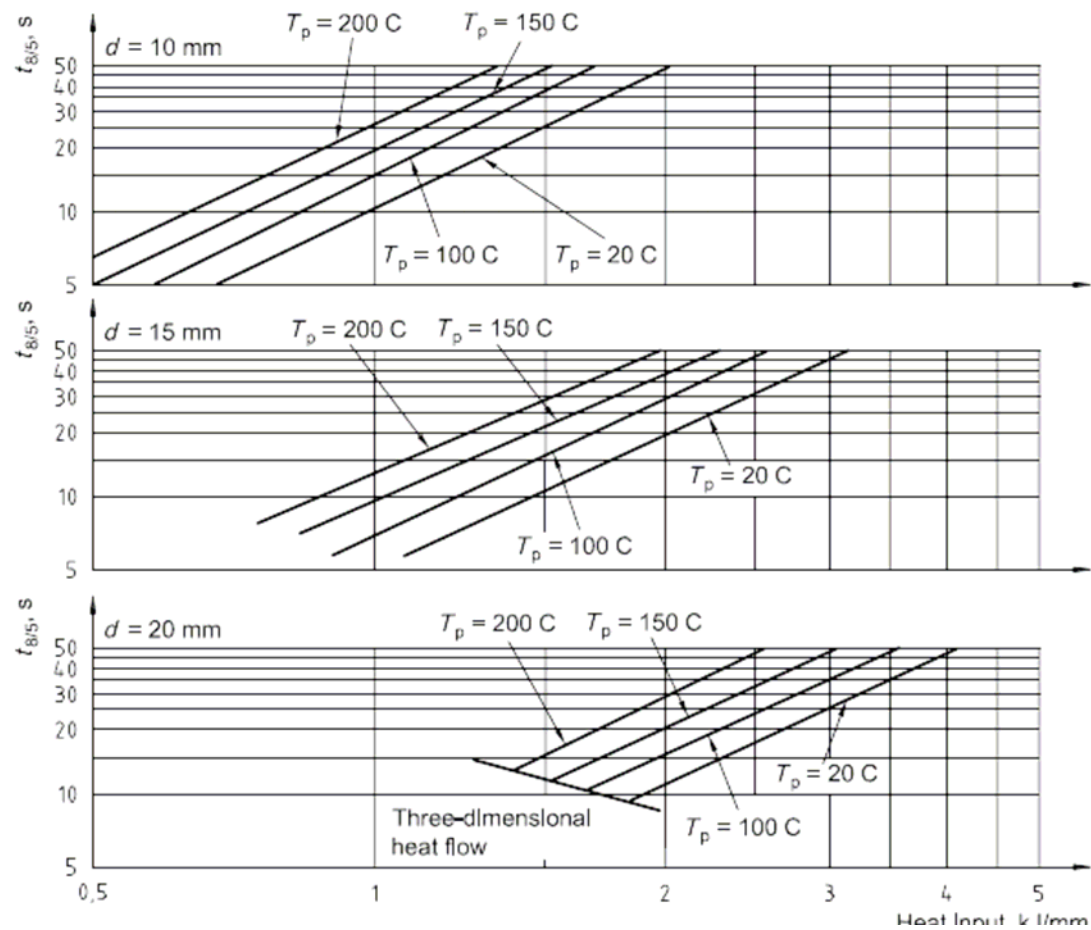
## D. 8 冷却时间的测量

为了测量焊缝的冷却时间，通常在焊接金属还处于熔化状态时将热电偶置于其中，并记录温度/时间周期。从曲线  $T/t$  中推导出冷却时间。



Heat Input 热输入

图D.5 一适用于不同预热温度并作为热输入函数的三维热流冷却时间 $t_{8/5}$



Three - dimensional heat flow 三维热流

图D.6 一适用于不同预热温度并作为热输入函数的二维热流冷却时间 $t_{8/5}$

## 附录 E

### 硬化裂纹的避免

焊接金属的硬化开裂通常呈中心开裂的形式。它通常更容易发生在根部，虽然经常以裂缝形式呈现在表面上并在除渣后清晰可见，但可以刚好在表面下并由厚达 0,5 毫米的优质金属所覆盖。硬化开裂可以很深并可以大幅度地降低接头的效率。当焊接碳锰钢时，这类开裂最常出现在埋弧焊中，很少出现在手工金属电弧焊中，但它有时可成为气体保护和自保护工艺方面的一个问题。

硬化开裂与杂质，特别是硫和磷有关，并通过高稀释水平上从母材中透出的碳来进一步深入，而锰降低开裂的风险。

对接焊缝的根部焊道等高稀释率焊道中的杂质水平和裂化敏感性通常是最高的。为了最大限度地降低开裂的风险，碳和杂质水平低且锰含量相对较高的耗材是首选。焊接速度的降低可有助于克服开裂。

焊接金属的硬化开裂敏感性受其成分和焊道形状（深度/宽度）两方面的影响。焊接金属的化学成分是通过填充材料的成分、母材和稀释度来确定的。稀释度及焊道形状都取决于接头形状（坡口面角度和缝隙的钝边）和焊接参数（电流和电压）。

对于埋弧焊来说，针对碳钢和碳锰钢开发出了一个公式，其中，以被认为是开裂敏感性单位 UCS 的任意单位所表示的硬化开裂敏感性已与单位为% (m/m) 的焊接金属成分联系起来。虽然是为了埋弧焊而开发的，但使用此公式可有助于评定其他焊接工艺和其他铁素体钢的硬化开裂风险。此公式如下：

$$UCS = 230 C + 190 S + 75 P + 45 Nb - 12,3 Si - 5,4 Mn - 1$$

对于表 E.1 中给出的焊接金属成分来说，此公式是有效的。

焊接金属中达到表 E.2 所示极限的掺杂元素和杂质未对 UCS 的值产生明显的影响。

低于 10 UCS 的值表示高抗开裂性，并且高于 30 UCS 表示低抗性。在这些近似的极限内，对于具有高的深度/宽度比率，在高焊接速度下加工的，或配合尺寸接近允许最大值的焊道来说，它们的开裂风险较高。

表 E.1 —适用于硬化开裂的 UCS 公式的有效性

元素	含量 (%)
C 碳	0,03 <sup>a</sup> 至 0,23
S 硫	0,010 至 0,050
P 磷	0,010 至 0,045
Si 硅	0,15 至 0,65
Mn 锰	0,45 至 1,6
Nb 铌	0 至 0,07
a 认为低于 0,08 %的含量相当于%。	

表 E.2 — 掺杂元素和杂质在 *UCS* 公式有效性方面的极限

元素	含量最大值 (%)
Ni 镍	1
Cr 铬	0,5
Mo 钼	0,4
V 钒	0,07
Cu 铜	0,3
Ti 钛	0,02
Al 铝	0,03
B 硼	0,002
Pb 铅	0,01
Co 钴	0,03

虽然高达 1 %的镍对 UCS 值没有影响，但较高水平的镍会提高硬化开裂的敏感性。

对于深度/宽度比率大约为 1 的角焊道来说，UCS 值等于或高于 20 表示开裂的风险，而对于对接焊缝来说，大约为 25 的值是临界值。将角焊缝中的深度/宽度比率从 1,0 降到 0,8 可使允许的 UCS 大约增加 9。但是，诸如未达到熔透到根部时所获得的这类很低的深度/宽度比率也有助于裂化。

## 附录 F

### 层状撕裂的避免

#### F.1 概要

在某些类型的接头中，焊接收缩应变在板子厚度（横向的）方向上发生作用，可发生层状撕裂。层状撕裂是一种母材现象，主要发生在板材上。开裂风险受两个因素影响：板敏感性和接头截面的应变。对于很敏感的板材，即使应变很低（即，在一个低拘束度的接头中），也可发生撕裂。对于抵抗性较高的材料来说，除非在厚度方向上施加很高的应变，否则不会撕裂。

层状撕裂主要发生在生产过程中，而不是在工作状态中。在后者的情况下，周期性负载或冲击负载是主要的原因。

#### F.2 板敏感性

因为层状撕裂发生在板中非金属夹杂物在焊接应变影响下结合在一起的情况，所以，通过夹杂物的数量和分布来控制板敏感性。目前，对于探测这些夹杂物来说，还没有可靠的非破坏性方法。横截面短边拉伸测试可用于敏感性的评定（参见 EN 10164），而且，横向短边断面收缩（STRA）已和不同类型结构中的层状撕裂现象联系起来了（参见图 F.1）。在低氧钢情况下（经过铝处理或真空脱气的类型），已发现含硫量是夹杂物含量的一个有用的指标，并因此适用于 STRA。对于给定含硫量并经过铝处理的钢来说，图 F.2 给出了期望的 STRA 最低和最高值。此数据适用于 12,5 毫米至 50 毫米厚的板，但应注意到 STRA（单位为%）与含硫量（单位为%）的关系在某种程度上取决于厚度。

STRA 值超过 20 % 的钢被认为具有抗层状撕裂性，并且具有稳定 STRA 值的材料是可以获得的（参见 EN 10164）。它们通常是具有低含硫量且经过铝处理的钢，但是，也可添加稀土元素氧化物或钙化合物，这不但降低夹杂物的含量，还合理地改变夹杂物的形状。

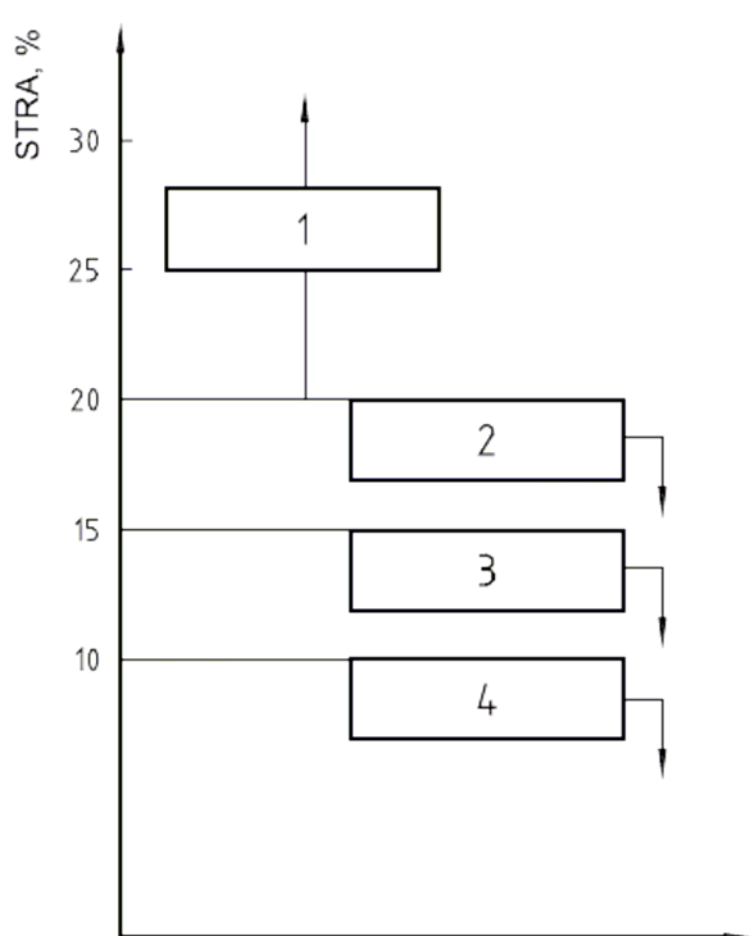
#### F.3 接头配置、加工和厚度方向上的应变

对于给定的钢来说，厚度方向上的应变提高层状撕裂的风险，它通常在高拉伸拘束度的接头中处于高的水平上。但是，因为角变形可提高焊缝根部或焊趾区域中的应变，所以在弯曲拘束度低的情况下也可发生撕裂（参见图 F.3）。在某些情况下，可对设计进行改动，以降低厚度方向上的应变。对于有层状撕裂可能

性的细微部分和接头配置来说，图 F. 4 举例说明了它们的类型，并指出了开裂的常见位置。若认为板敏感性高，应调整或避免敏感的接头和细微部分。

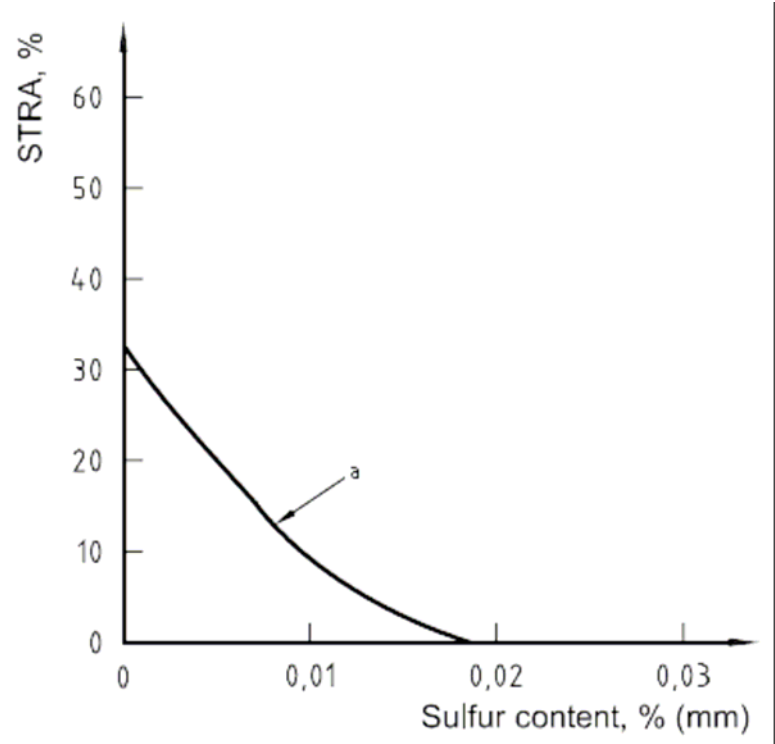
应注意下面的基本说明：

- a) 对于给定的焊缝强度来说，制备接头时应使连接区域扩大（参见图 F. 5）。
- b) 应通过下面的方法来最大限度地降低收缩应力：
  - 降低焊接金属的体积；
  - 采用最低数量的焊道来进行焊接；
  - 采用隔离层堆焊的层序（参见图 F. 6）；
  - 在对称焊缝中采用平衡的层序。
- c) 加工焊件时应使轧制钢板厚度方向上有更多的面积与焊接金属接触（参见图 F. 7至F. 9）。
- d) 加工焊件时应使厚度方向上的拘束度最小化。
- e) 用低强度材料进行隔离层堆焊可降低焊件对层状撕裂的敏感性（参见图 F. 9）。



- 1 任何类型接头中可能的无撕裂性
- 2 高拘束度接头（如，节点接头）中的某种风险
- 3 中等拘束度接头（如，箱形柱）中的某种风险
- 4 低拘束度 T 形接头（如，工字形梁）中的某种风险

图 F.1 —适用于不同拘束度接头中层状撕裂风险的推荐 STRA 值

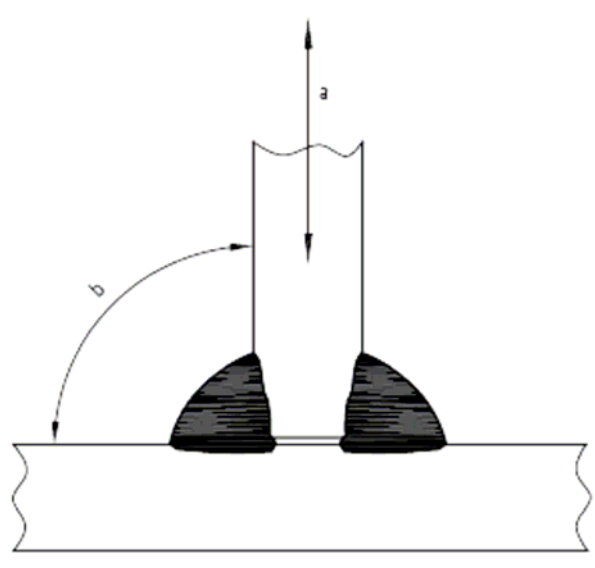


Sulfur content 含硫量

<sup>a</sup> 下界

图 F.2 — 适用于 12,5 毫米至 50 毫米厚（包括等于的情况）板并作为含硫量函数的 STRA

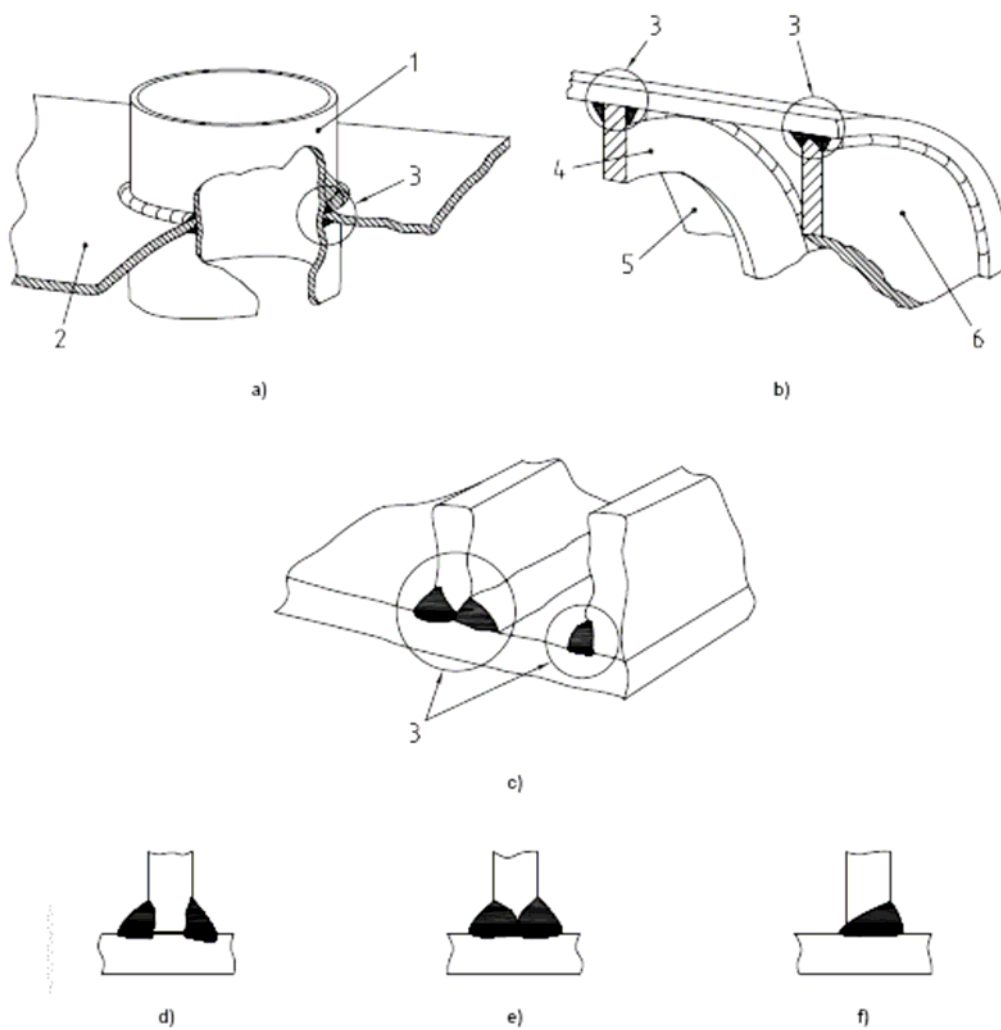




<sup>a</sup> 拉伸拘束度

<sup>b</sup> 弯曲拘束度

图 F.3 — 带有角焊缝的 T 形接头中拘束度示例



主要构件

- 1 用轧制钢板加工成的管口

2 刚性板块

3 关键接头
- 4 圆周的加强肋

5 柱形管

6 刚性端板
- a) 穿过刚性板块的管口

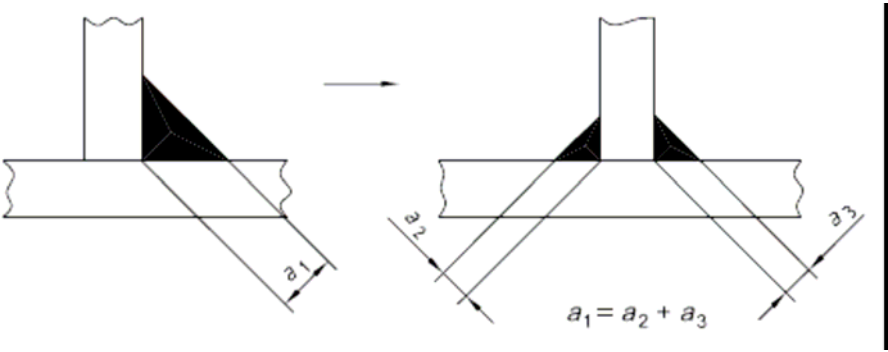
b) 柱形构件中的加强肋或刚性端板

c) 刚性箱结构截面
- d) 带有角焊缝的 T 形接头

e) 带有复合式对焊和角焊缝的 T 形接头

f) 带有对接焊缝的角接头

图F. 4 一高拘束度下加工大型结构时有层状撕裂可能性的细微部分和接头配置



图F. 5 一通过扩大坡口面来降低层状撕裂敏感性的情况

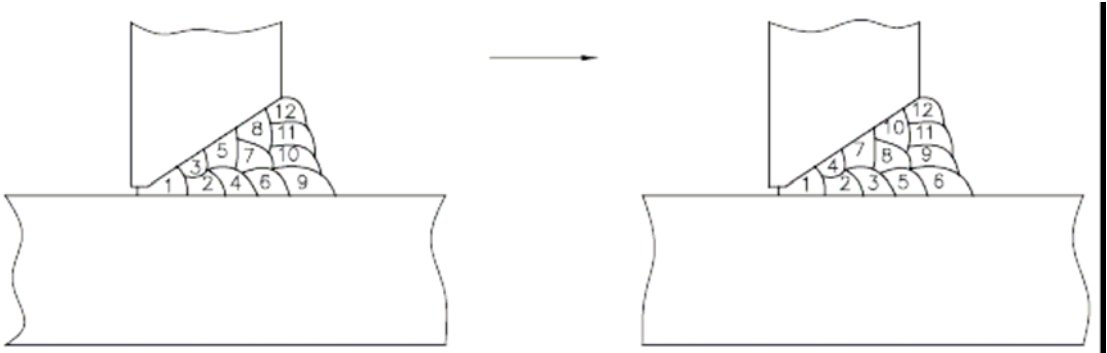
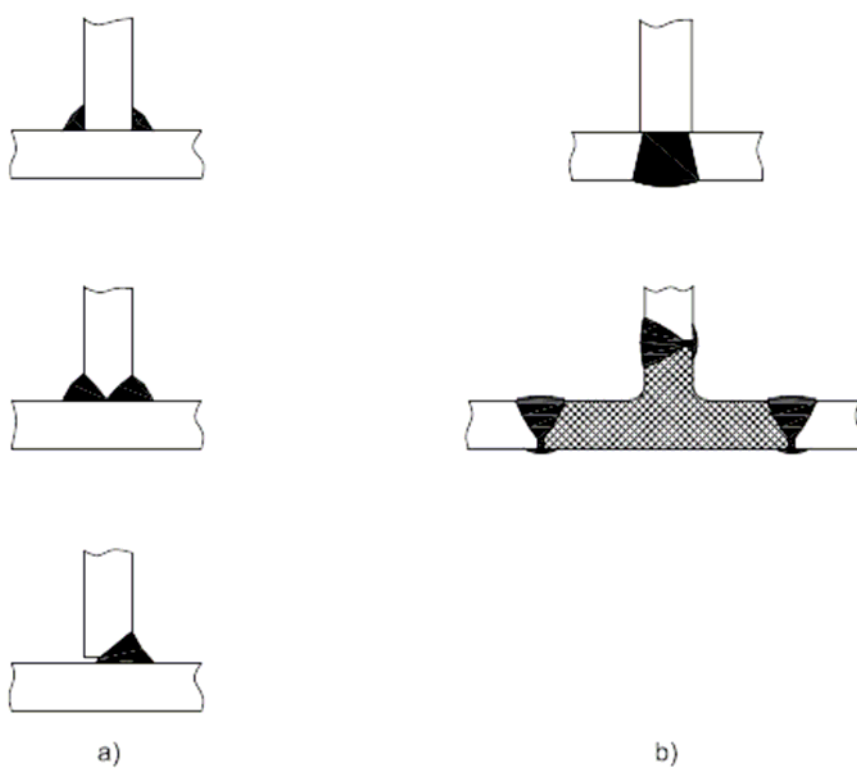


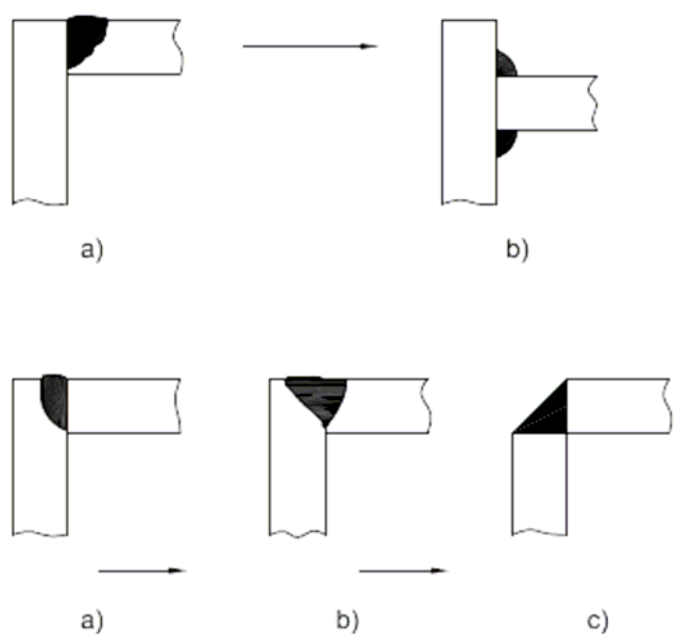
图 F. 6 一通过层序来降低层状撕裂敏感性的情况



a) 敏感

b) 不敏感

图 F. 7 —通过焊接轧制钢板的整个厚度来降低层状撕裂敏感性的情况

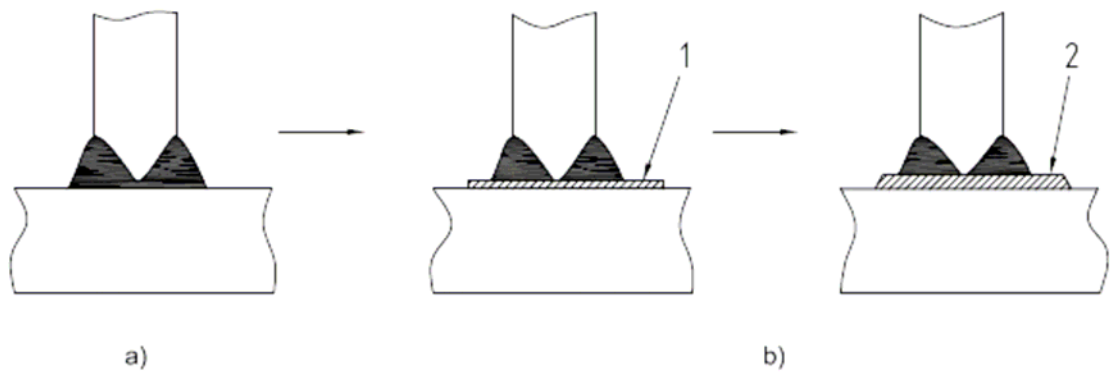


a) 敏感

b) 轻度敏感

c) 不敏感

图 F.8 — 层状撕裂敏感性的降低



### 主要构件

1 单层隔离堆焊

2 双层隔离堆焊

a) 敏感

b) 轻度敏感

图 F.9 — 通过优先采用低强度高延展性焊接金属来进行隔离层堆焊以降低层状撕裂敏感性的情况

---

## 参考书目

- [1] ISO 2560, 适用于低碳钢和低合金钢手工电弧焊的焊条 — 标识符号的规定
- [2] ISO 3690:2000, 焊接及相关工艺 — 铁素体钢电弧焊接金属中氢含量的确定
- [3] ISO 9956-3, 金属材料焊接工艺的规范和认定 — 第3部分: 适用于钢的电弧焊的焊接工艺测试
- [4] ISO 9956-8, 金属材料焊接工艺的规范和认定 — 第8部分: 通过产前焊接测试的认定
- [5] EN 1708-1:1999, 焊接 — 焊接接头在钢中的基本细部结构 — 第1部分: 受压件
- [6] EN 1708-2, 焊接 — 焊接接头在钢中的基本细部结构 — 第2部分: 非内部受压件
- [7] EN 10164, 在产品表面垂直方向上具有改良的变形特性的钢产品 — 技术交付条件

ICS 25.160.10

共为50页的价格

© ISO 2002 - 版权所有