

· 职业技能鉴定培训教材 ·

电 焊 工

(高 级)

上海电气(集团)总公司 编

内 容 简 介

随着国家对规定的职业技能标准实行资格证书制度,与职业技能鉴定考核配套的培训教材的出版就显得十分重要。本教材就是适合高级电焊工鉴定考核要求的培训教材。第一篇为高级电焊工应知的基本知识与相关知识;第二篇为高级电焊工应知的专业知识;第三篇为高级电焊工操作技能要求。书后附有中华人民共和国职业技能鉴定规范(考核大纲)高级电焊工鉴定要求和鉴定内容。全书基本覆盖考核题库中对高级电焊工要求的知识点和技能范围。

图书在版编目(CIP)数据

电焊工:高级/上海电气(集团)总公司编. —上海:
上海科学技术出版社,2000.1

职业技能鉴定培训教材

ISBN 7-5323-6190-X

I. 电... II. 上... III. 电焊—焊接工艺—职业技能
鉴定—教材 IV. TG443

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 094518 号

责任编辑 张洁珮

上海科学技术出版社出版、发行

(上海瑞金二路 450 号 邮政编码 200020)

新华书店上海发行所经销 上海 XXXX 印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 XXX 字数 XXX 000

2002 年 3 月第 1 版 2002 年 3 月第 1 次印刷

印数: 1—XXX 000 定价: X.XX 元

本书如有缺页、错装或损坏等严重质量问题,
请向本社出版科联系调换

目 录

第一篇 基础知识与相关知识

第一章 金属焊接性及试验	1
第一节 焊接性的基本概念	1
第二节 常用焊接性试验方法	3
第三节 焊接裂纹试验方法的应用	14
复习思考题	20
第二章 焊接质量检验	22
第一节 焊接缺陷	22
第二节 破坏性试验	25
第三节 无损检测	38
复习思考题	46
第三章 焊接生产	48
第一节 现代焊接钢结构生产的流水作业线	48
第二节 焊接施工与焊后处理	53
第三节 焊接生产管理	57
第四节 焊接质量管理	64
复习思考题	76

第二篇 专业知识

第一章 异种钢材的焊接及钛的焊接	77
第一节 异种钢的分类与组合	77
第二节 异种钢焊接的特点与问题、焊接方法的选择、焊接材料的选择与其他措施	78
第三节 碳素钢与低合金钢的焊接	85
第四节 奥氏体不锈钢与珠光体钢的焊接	88
第五节 钛及钛合金的焊接	93
第六节 钢与铜及其合金的焊接	104
复习思考题	107
第二章 焊接应力及静载强度计算	108
第一节 焊接应力	108
第二节 静载强度的计算	124
复习思考题	136

第三章 焊接结构的断裂	138
第一节 脆性断裂的特征及影响因素	138
第二节 防止脆断的原则及试验方法	141
第三节 防止脆性断裂的措施	145
第四节 焊接结构的疲劳断裂	152
第五节 焊接结构的层状撕裂	161
第六节 焊接裂纹诊断的一般方法	165
第七节 焊接裂纹的举例	167
复习思考题	176
第四章 焊接工艺分析和典型金属结构的焊接	177
第一节 焊接工艺分析	177
第二节 锅炉、容器与管道的焊接	194
第三节 锅炉及压力容器用钢及其焊接材料的选择原则	219
第四节 海洋工程结构举例	226
第五节 梁和柱的焊接制造	231
第六节 钨极氩弧焊的应用举例(纺织机械)	243
第七节 焊接缺陷的返修	245
第八节 焊接维修	249
复习思考题	255

第三篇 操作技能

第一章 板板对接	256
第一节 中厚板异种钢板板(16Mn+20g)对接、 $60^{\circ}+5^{\circ}_0^{\circ}$ V形坡口、立焊位置、手弧焊、单面焊双面成形	256
第二节 中厚板板(20g+20g 或 16Mn+16Mn)对接、 $60^{\circ}+5^{\circ}_0^{\circ}$ V形坡口、仰焊位置、手弧焊、单面焊双面成形	258
第三节 异种钢板板(16Mn+20g)对接、横焊位置、 $60^{\circ}+5^{\circ}_0^{\circ}$ V形坡口、单面焊双面成形	259
第四节 中厚板板(20g)对接、 $60^{\circ}+5^{\circ}_0^{\circ}$ V形坡口、主焊位置、 CO_2 气体保护焊、单面焊双面成形	261
第五节 奥氏体不锈钢板横焊对接	263
第二章 管管对接、管板对接	265
第一节 小径管状试件水平固定焊接	265
第二节 大径管水平固定焊接	267
第三节 小径管的垂直固定焊接	268
第四节 大径管的垂直固定焊接	269
第五节 45° 倾斜固定焊接	270
第六节 大径管垂直固定 CO_2 气体保护焊	271
第七节 管板垂直固定仰位焊	273

第八节 容器组合焊.....	274
附录 中华人民共和国职业技能鉴定规范(考核大纲)——电焊工.....	276
初级电焊工(略)	
中级电焊工(略)	
高级电焊工.....	276

第一篇 基础知识与相关知识

第一章 金属焊接性及试验

第一节 焊接性的基本概念

焊接性是说明材料对焊接加工的适应性。GB3375—82对焊接性的定义如下——金属材料对焊接加工的适应性。主要指在一定的焊接工艺条件下,获得优质焊接接头的难易程度。它包括两方面的内容,其一是接合性能;即在一定的焊接工艺条件下,一定的金属形成焊接缺陷的敏感性;其二是使用性能;即在一定的焊接工艺条件下,一定金属的焊接接头对使用要求的适应性。它的具体内容,就是日常所说的工艺焊接性和使用焊接性。

所谓工艺焊接性是指在一定焊接工艺条件下,能不能获得优质致密、无缺陷焊接接头的的能力。它不是金属所固有的性能,而是随着新的焊接方法、焊接材料和工艺措施的不断出现而完善,某些原来不能焊接或不易焊接的金属材料,也会成为能够焊接或易于焊接的金属。分析研究金属的工艺焊接性时,必然要涉及到焊接过程。对熔化焊来讲,焊接过程一般都要经历传热和冶金反应,因此,把工艺焊接性又分为“热焊接性”和“冶金焊接性”。

热焊接性是指在焊接热过程条件下,对焊接热影响区组织性能及产生缺陷的影响程度。它是评定被焊金属对热的敏感性(晶粒长大和组织性能变化等),主要与被焊材质及焊接工艺条件有关。

冶金焊接性是指冶金反应对焊缝金属性能和产生缺陷的影响程度。它包括合金元素的氧化,还原,氮化,蒸发,氢、氧、氮的溶解,对气孔、夹杂、裂纹等缺陷的敏感性,它们是影响焊缝金属化学成分和性能的重要方面。

使用焊接性是指焊接接头或整体结构满足技术条件所规定的各项使用性能的程度,其中包括常规的力学性能,低温韧性,抗脆断性能,高温蠕变,疲劳性能,持久强度,以及抗腐蚀性,耐磨性能等。总之,使用条件下所要求的性能有的甚为复杂,苛刻,焊接技术必须满足这些情况下各种性能的要求。

影响焊接性的因素很多,对于钢铁材料来讲,可归纳为材料、设计、工艺及使用环境等四类因素。

材料因素有钢的化学成分、冶炼轧制状态、热处理状态、组织状态和力学性能等,其中化学成分(包括杂质的分布)是主要的影响因素,对焊接性能影响较大的元素是碳、硫、磷、氢、氧、氮。对于钢材的合金元素来讲,还有锰、硅、铬、镍、钼、钛、钒、铌、铜和硼等,主要是为了满足钢的强度而加入,然而却不同程度地增加了焊接热影响区的淬硬倾向和各种裂纹的敏感性。

为了便于分析和研究钢的焊接性问题,就把包括碳在内和其他合金元素对硬化(脆化和冷裂等)的影响,折合成碳的影响,建立了“碳当量”的概念。

钢的冶炼方法,轧制工艺及热处理状态等都会影响到焊接性。例如,近年来发展精炼提纯的CF钢,Z向钢和“细晶粒钢”配合控轧工艺的控轧(TMCP)钢,在焊接性方面有重大的改善。

设计因素是指焊接结构的安全性不但受到材料的影响,而且在很大程度上还受到结构型式的影响。例如,结构的刚度过大,接口的断面突然变化,焊接接头的缺口效应和过大的焊缝体积等都会不同程度地造成脆性破坏的条件,此外,在某些部位的焊缝过度集中和多向应力状态也会对结构的安全性造成不良影响。

工艺因素包括施工时所采用的焊接方法(如手弧焊、埋弧焊、电渣焊、气体保护焊、电子束焊、等离子焊、窄间隙焊、电阻焊、扩散焊等),焊接工艺规程(如焊接线能量、焊接材料、预热、后热、焊接顺序等)和焊后热处理。这些都会影响焊接性。

使用环境因素是指焊接结构的工作温度,负荷条件(动载、静载、冲击、高速等)和工作环境(化工区、沿海及腐蚀介质等)。一般来说,环境工况温度越低,钢结构越易发生脆性破坏。

作为一名电焊高级工,经常会遇到一些新的材料,新的焊接结构或新的工艺方法,在正式投产前,都要经过焊接性分析和试验。估计在焊接过程中可能出现的问题,由此拟订相应的焊接工艺措施,以便获得优质的焊接接头。

一般来讲,评价焊接性的准则主要包括两方面内容。一是评定焊接接头产生工艺性缺陷的倾向,为制订出合理的焊接工艺提供依据;二是评定焊接接头能不能满足结构使用性能的要求。对于评定焊接接头工艺性缺陷的敏感性,在一般情况下,主要进行抗裂性试验,其中包括热裂纹试验、冷裂纹试验、再热裂纹试验和层状撕裂试验等,这要根据结构与钢材的具体要求而定。

金属焊接性的评定主要是通过各种焊接性试验来进行的。广义的焊接性试验包括对母材和焊接接头的一系列全面试验与分析。

1. 对母材进行的试验

(1) 母材的化学成分分析。

(2) 母材的力学性能试验 包括拉伸、弯曲、冲击等力学性能试验。根据产品特点有时还要低温冲击、时效冲击、疲劳及蠕变试验等。

(3) 母材的金相组织和硬度试验。

(4) 母材的断裂韧度试验。

(5) 母材的原材料缺陷试验。

2. 对焊接接头进行的试验

(1) 焊缝金属化学成分分析。

(2) 焊接接头的力学性能试验(内容与母材力学性能试验相同)。

(3) 焊接接头的金相组织和硬度试验。

(4) 焊接接头的断裂韧度试验。

(5) 焊接接头的裂纹试验。

(6) 焊接接头的无损检测。

(7) 焊接接头的使用性能试验。

对任何一种金属材料的焊接性试验,上述各项不一定全部都做,往往只根据实际需要选作一部分。

由于裂纹是焊接接头中最常见而又最重要的焊接缺陷,所以焊接裂纹试验是最重要的焊接性试验,人们通常将焊接裂纹试验称做焊接性试验。

第二节 常用焊接性试验方法

本节中介绍的五个焊接裂纹试验是目前国内外最常用的焊接性试验方法。

一、斜 y 形坡口焊接裂纹试验方法

本试验方法是在工程中应用最广泛的一种焊接裂纹试验,又称作小铁研式裂纹试验。

1. 试验原理

在工程结构中,往往有宽板对接接头,为了装配方便和防止焊接变形,总是先间隔一定距离焊接定位焊缝。然后再按一定的顺序进行焊接。这样,定位焊缝就阻碍了后焊接缝的自由收缩。结果在后焊接的焊缝附近就形成了有害的横向拉力。正是这种拉应力,成为焊接裂纹的重要力学原因。对于这种拘束条件的焊接结构,可将其改化为一定尺寸的,中间开一窄缝的矩形试板,图 1-1-1 为在这种窄缝矩形试板上焊接试验焊道后,试件上的横向应力分布。由图 1-1-1 可看出焊缝承受拉应力,母材两端承受压应力,呈复杂的横向应力分布,它较好地模拟了类似实际焊接接头的应力状态。

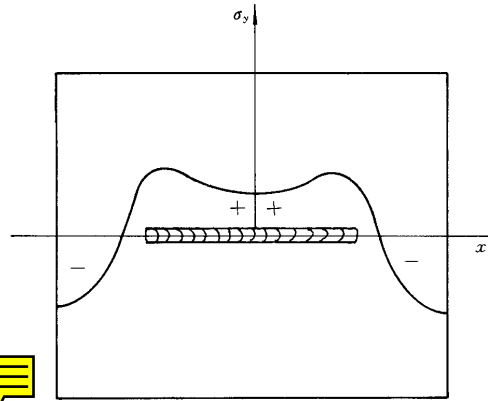


图 1-1-1 窄缝矩形试板焊缝上的横向应力分布示意图

斜 y 形坡口裂纹试验正是基于上述原理,将窄缝矩形试板的尺寸规范化设计的一种小型自拘束式裂纹试件。为了增加根部裂纹的再现性和模拟实际焊接接头的根部应力集中情况,特将坡口设计成斜 y 形,见图 1-1-2。

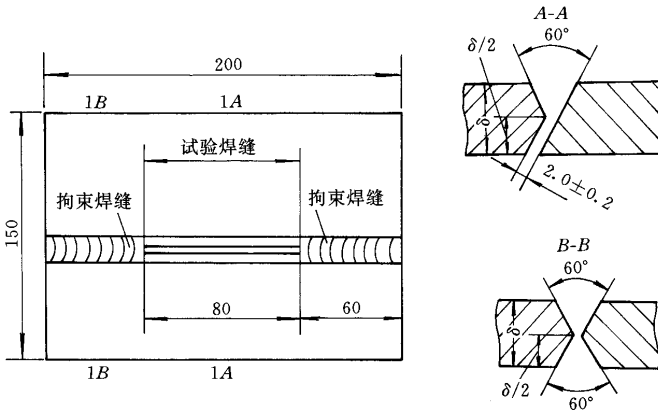


图 1-1-2 斜 y 形试件的形状和尺寸

2. 适用范围

本试验方法所产生的裂纹多出现在焊根尖角处的热影响区。当焊缝金属的抗裂性能不

好时,裂缝还可能扩展到焊缝,甚至要贯穿至焊缝表面。裂纹可能在焊后立即出现。也可能在焊后数分钟,乃至数小时后才开始出现。因此,本试验方法主要适合于钢材焊接接头热影响区的冷裂纹试验,也可作为母材和焊条组合的裂纹试验。

3. 试件尺寸

试件尺寸如图 1-1-2 所示,试件的厚度不作限制,常用厚度为 9~38mm。为了模拟实际结构的拘束状况和焊接区的焊接热循环,通常采用和实际结构相同的板厚进行试验。

4. 试件制备

(1) 加工 为了避免试件间隙的波动及气割表面硬化层等问题,坡口只准用机械方法加工。

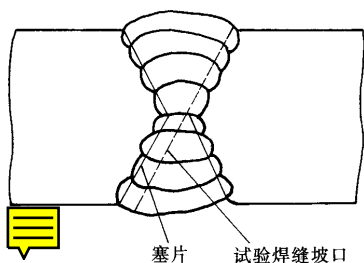


图 1-1-3 试件间隙的确定和拘束焊缝的焊接

(2) 组装 按图 1-1-2 组装试件,焊接试件部位用 2mm 的塞片插入,以保证试件间隙,焊完拘束焊缝后拆除塞片如图 1-1-3 所示。装配间隙越大,裂纹产生率越高,若间隙不同,就失去了试验的意义。

(3) 拘束焊缝的焊接 一般采用直径 4mm 或 5mm 的低氢型焊条。采用对称焊接,防止角变形和未焊透。

(4) 坡口的清理 采用适当的方法去除坡口周围的水分、油污和铁锈。同时按国标规定,焊试验焊缝的引弧与熄弧都应在坡口之外。

5. 焊接试验

(1) 焊条 使用符合国标规定的并与试验钢材相匹配的焊条进行试验。焊前应按焊条使用说明书规定或试验要求进行烘干。

(2) 焊接 采用手工电弧焊或采用焊条自动送进装置焊接时,分别按图 1-1-4、图 1-1-5 所示焊接试验焊缝。为了比较不同钢种的冷裂纹倾向,推荐采用下列焊接工艺参数试验:

焊条直径 4mm;焊接电流 (170 ± 10) A;电弧电压 (24 ± 2) V;焊接速度 (150 ± 10) mm/min。

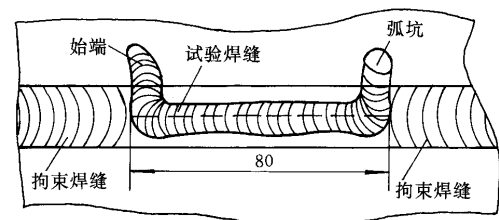


图 1-1-4 采用手工电弧焊时试验焊缝的位置

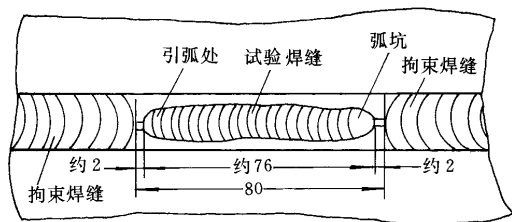


图 1-1-5 采用焊条自动送进装置焊接时试验焊缝位置

(3) 裂纹检测 焊后 48h 进行裂纹检测和解剖。表面裂纹用肉眼或磁粉检测、渗透检测等检查;断面裂纹应先用机械方法制取断面试样,研磨腐蚀后用 20~30 倍的显微镜检测。

6. 裂纹率的计算方法

(1) 统计方法 裂纹的长度或高度按图 1-1-6 进行检测,裂纹长度为曲线形状(见图 1-1-6a)时,按直线长度检测,裂纹重叠时不必分别计算。

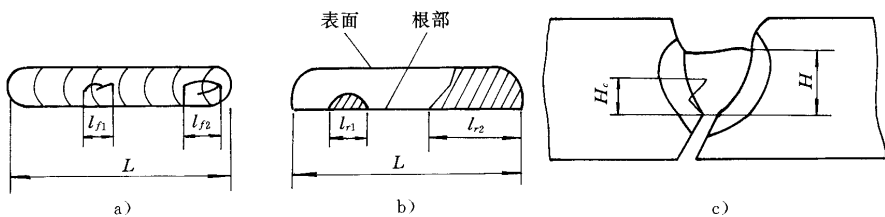


图 1-1-6 试样裂纹长度的计算

a) 表面裂纹; b) 根部裂纹; c) 断面裂纹

(2) 裂纹率计算公式

1) 表面裂纹率 按式(1-1-1)计算:

$$C_f = \frac{\sum l_f}{L} \times 100\% \quad (1-1-1)$$

式中 C_f ——表面裂纹率(%);

$\sum l_f$ ——表面裂纹长度之和(mm);

L ——试验焊缝长度(mm)。

2) 根部裂纹率 采用适当的方法着色后拉断或弯断,然后按图 1-1-6b 检测根部裂纹并按式(1-1-2)计算:

$$C_r = \frac{\sum l_r}{L} \times 100\% \quad (1-1-2)$$

式中 C_r ——根部裂纹率(%);

$\sum l_r$ ——根部裂纹长度之和(mm);

L ——试验焊缝长度(mm)。

3) 断面裂纹率 先对试件的五个横断面裂纹按图 1-1-6c 进行统计。五个横断面的位置是:按试验焊缝宽度开始均匀处与焊缝弧坑中心之间的距离四等分确定。用下式对这五个横断面分别计算出其裂纹率,然后求出其平均值。

$$C_s = \frac{H_c}{H} \times 100\% \quad (1-1-3)$$

式中 C_s ——断面裂纹率(%);

H ——试件焊缝的最小厚度(mm);

H_c ——断面裂纹的高度(mm)。

7. 试验记录

应记录下列有关内容:

(1) 试验日期、时间、环境温度和湿度。

(2) 试件钢号及化学成分,试件状态,试件厚度及其轧制方向。

(3) 焊前试件温度,焊接电源的种类,极性,焊条牌号,焊条直径,焊条烘干温度和时间,焊接电流,电弧电压和焊接速度。

(4) 试件开始解剖时间和方法。

(5) 试验结果(裂纹长度及其裂纹率)。

8. 试验的应用准则

由于斜 y 形坡口焊接裂纹试验接头的拘束度很大,根据理论和实际测定,大大超过一般

的实际对接接头的拘束度；因试件坡口为斜y形，应力集中很大，故试验条件较苛刻。一般认为在这种试验中若裂纹率不超过20%，那么在焊接实际结构时也不致会发生裂纹，因此可作为初定实际结构焊接工艺参数的参考依据。但对拘束度较大的实际焊接接头，也可以裂纹率为0时的试验工艺参数作为实际结构的参考焊接工艺参数。

二、搭接接头(CTS)焊接裂纹试验方法

1. 试验原理及适用范围

本试验又称为可控热拘束裂纹试验，简称CTS裂纹试验。它适用于低合金钢和碳素钢搭接接头的焊接裂纹试验，尤其对焊接热影响区(HAZ)的冷裂敏感性试验。

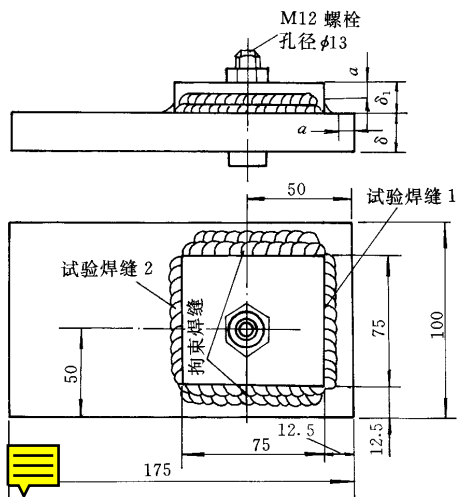


图 1-1-7 试件形状和尺寸

$a > 1.5$; δ_1 —上板厚度; δ —下板厚度

用 $TSN=1$ 来表示。图 1-1-8b 表示在板厚为 12.5mm 试件的端部焊接时，前者热流方向数为 2，后者为 1。但由于后者的板厚比前者的板厚大一倍，故两者的热拘束指数都规定为 2，用 $TSN=2$ 来表示。图 1-1-8c 表示 CTS 试件的热流方向数，第一道试验焊缝的热流方向数

图 1-1-7 为该试验试件的形状和尺寸，试件由上板、下板及连接螺栓组成，上下板的两侧焊缝为拘束焊缝，另外的两条为试验焊缝。由于拘束焊缝和螺栓的拘束作用阻止了试验焊 1 和 2 的自由收缩，在试验焊缝 1 和 2 上产生了试验拘束应力。

试验焊缝的冷却速度可以通过改变热拘束指数进行调整。热拘束指数(TSN)是与板厚及传递热流的方向有关的参数，可用图 1-1-8 说明它的意义，图 1-1-8a 表示在板厚 6.25mm 的端部焊接试验焊道，其热流方向为 1，这时热拘束指数规定为 1，用 $TSN=1$ 来表示。图 1-1-8b 表示在板厚 6.25mm 的对接接头或在板厚为 12.5mm 试件的端部焊接时，前者热流方向数为 2，后者为 1。但由于后者的板厚比前者的板厚大一倍，故两者的热拘束指数都规定为 2，

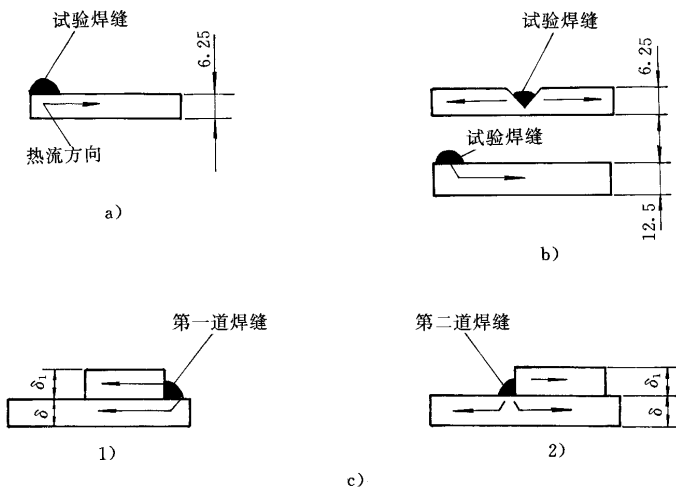


图 1-1-8 热拘束指数的确定

a) $TSN=1$ 的焊接试件; b) $TSN=2$ 的焊接试件; c) CTS 试件 TSN 的确定

1) 二向热流 $TSN=4\left(\frac{\delta+\delta_1}{25}\right)$; 2) 三向热流 $TSN=4\left(\frac{2\delta+\delta_1}{25}\right)$

是 2,称为二向热流,第二道试验焊缝的热流方向数是 3,称为三向热流,用(1-1-4)式和(1-1-5)式可求出不同板厚时的 TSN 值。

$$\text{第一道试验焊缝: } \quad \text{TSN} = \frac{4(\delta + \delta_1)}{25} \quad (1-1-4)$$

$$\text{第二道试验焊缝: } \quad \text{TSN} = \frac{4(2\delta + \delta_1)}{25} \quad (1-1-5)$$

利用热拘束指数 TSN 半定量地描述试验焊缝的冷却速度是 CTS 裂纹试验的特点之一。通过试验,分析不同热拘束指数和焊接区裂纹率的关系即可了解试验材料的焊接性。

2. 试件的制备

(1) 试件的形状和尺寸 如图 1-1-7。

(2) 试件厚度国标中未作规定,可采用实际接头的板厚 一般常用厚度为 6~50mm。

(3) 上板的两个试验端面要进行机械加工 当采用气割下料时,为避免试验焊接区受到热的影响,规定至少加工掉 10mm。其他端面则可采用气割下料。

(4) 焊接拘束焊缝 本试验方法主要靠两拘束焊缝进行拘束,故需牢固地焊接这些焊缝。试件中的螺栓只起固定上板位置的作用,在螺栓与孔径之间可有些间隙。

(5) 打磨干净 上板与下板的接触面以及下板试验焊缝附近的氧化皮、油、锈等均要打磨清理干净。

3. 试验步骤

(1) 按图 1-1-7 组装试件。先用螺栓固定上、下板,然后采用试验焊条焊接两侧面的拘束焊缝,每侧焊两道。

(2) 待试件完全冷却至室温后,将试件放在隔热平台上焊接试验焊缝,按图 1-1-7 先焊试验焊缝 1,然后待试件完全冷却至室温后,再焊试验焊缝 2。

(3) 试验用焊接工艺参数,参见“斜 y 形坡口焊接裂纹试验方法”的有关内容。

(4) 试件在焊后室温下放置 48h 后解剖。

(5) 解剖试件时,将每条试验焊缝按图 1-1-9 中点实线所示的尺寸进行机械切割,每条试验焊缝上取 3 块试样,共 6 块。

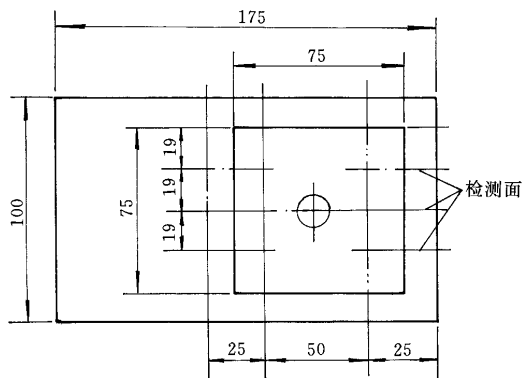
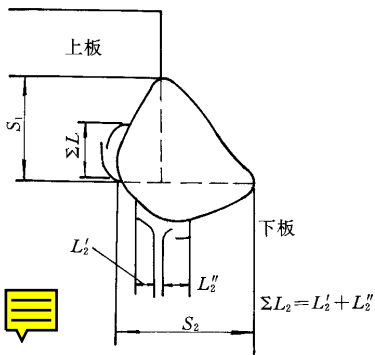


图 1-1-9 试件解剖尺寸

(6) 对各试件检测面进行金相研磨和腐蚀处理,然后放大 10~100 倍检测有无裂纹并测量裂纹的长度。

4. 裂纹率的计算方法

按图 1-1-10 所示对测得的裂纹长度用式 1-1-6 和式 1-1-7 算出上板与下板的裂纹率。



式中 C_1 —— 上板裂纹率(%)；

C_2 —— 下板裂纹率(%)；

ΣL_1 —— 上板试件裂纹长度之和(mm)；

ΣL_2 —— 下板试件裂纹长度之和(mm)；

S_1 —— 焊脚高度(mm)；

S_2 —— 焊脚高度(mm)。

图 1-1-10 试件裂纹长度的计算

5. 试验记录

(1) 记录试验条件参见“斜 y 形坡口焊接裂纹试验方法”的有关内容。

(2) 试验结果(热流指数及裂纹率)。

三、T 形接头焊接裂纹试验方法

1. 试验原理和适用范围

本试验是利用拘束角焊缝对试验角焊缝的拘束作用来产生弯曲拘束应力。它主要用于低碳钢角焊缝的热裂纹倾向试验,如果变换试板的材质和相应的焊条,也可用于合金钢角焊缝的热裂纹试验。

2. 试件的制备

试件的形状和尺寸如图 1-1-11 所示。

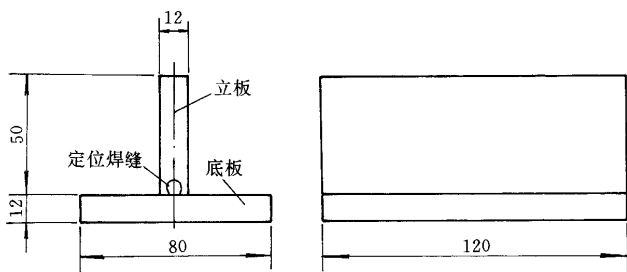


图 1-1-11 试件形状和尺寸

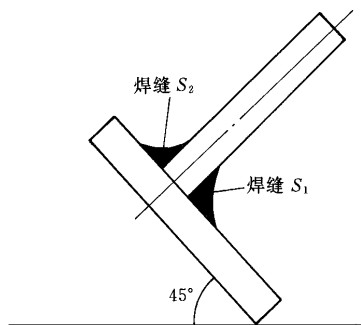


图 1-1-12 试验焊缝的焊接位置

试件材料原则上使用普通碳素结构钢 Q235 和 Q235F,如果做合金钢和相应焊条的角焊缝热裂纹试验,则选用相应材料的试件。

为使底板和立板贴紧,在采用气割的立板时,与底板相连接的一面应机械加工。

3. 试验条件

试验焊条直径为 4mm,拘束焊缝 S_1 和试验焊缝 S_2 均采用船形位置(见图 1-1-12 所示)。

4. 试验步骤

(1) 将试板与立板贴紧,两端用定位焊固定,如图 1-1-11。

(2) 焊完拘束焊缝 S_1 后,立即焊接试验焊缝 S_2 。两道焊缝的时间间隔应 $\leq 20s$,其焊接方向相反。

(3) 试验焊缝 S_2 的平均计算厚度比第一道拘束焊缝 S_1 小约 20%。

(4) 待试件冷却后,对试验焊缝 S_2 采用肉眼或其他适当的方法检查有无裂纹,并测量裂纹长度。

(5) 裂纹率的计算方法 按下列公式计算裂纹率:

$$C = \frac{\sum L}{120} \times 100\% \quad (1-1-8)$$

式中 C ——裂纹率(%);

$\sum L$ ——裂纹长度之和(mm)。

(6) 试验记录(参考“斜 y 形坡口焊接裂纹试验”方法有关内容)。

四、压板对接(FISCO)焊接裂纹试验方法

1. 试验原理和适用范围

本试验采用特制的 C 形拘束框架,见图 1-1-13 固定试件,限制焊缝的自由收缩,从而产生试验拘束应力。

本方法适用于低碳钢,低合金高强度钢焊条和不锈钢焊条焊缝的热裂纹敏感性试验。

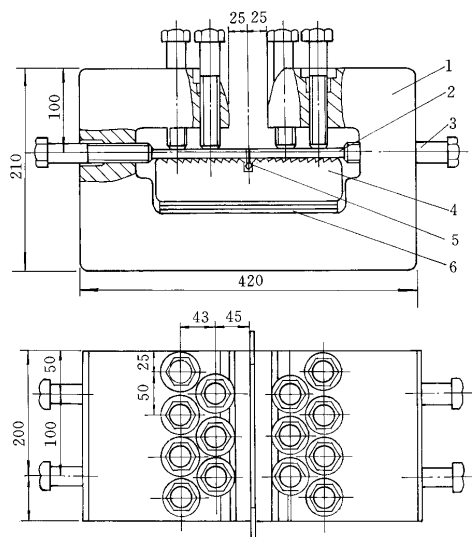


图 1-1-13 C 形拘束框架装配图

1—C 形拘束框架; 2—试件; 3—紧固螺栓; 4—齿形底座;
5—塞片; 6—调整板

2. 试件的制备

(1) 试件的形状和尺寸如图 1-1-14 所示。

(2) 试件的坡口为 I 形,采用机械加工。

(3) 试件对接坡口附近表面要进行打磨或机械切削加工。

3. 试验步骤

(1) 如图 1-1-13 所示,将试件 2 安装在 C 形拘束框架 1 内,在试件坡口两端按试验要求装入相应尺寸的塞片,以保证坡口间隙,坡口间隙可在 0~6mm 范围内变化。

坡口间隙的大小对裂纹产生的影响很大,随着间隙的增加,裂纹率 C_R 也增大,当间隙尺寸较大时,即使用低氢焊条也会产生 5%~10% 的裂纹,可以通过调整合适的间隙尺寸,以适应不同裂纹敏感性焊条的试验。

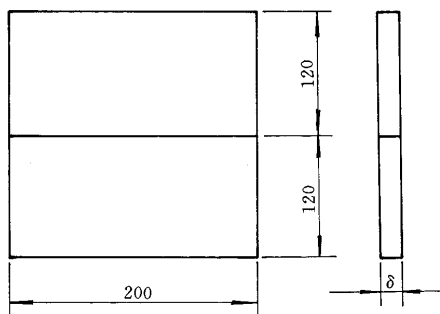


图 1-1-14 试件的形状与尺寸

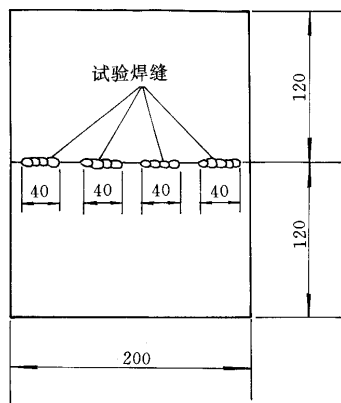


图 1-1-15 试验焊缝的位置

(2) 将水平方向的螺栓紧固、顶紧试件即可,垂直方向的螺栓用测力扳手,以 $120\text{N} \cdot \text{m}$ 的扭矩紧固好。

(3) 按图 1-1-15 所示,顺次焊接 4 条长约 40mm 的试验焊缝,焊缝间距约 10mm,焊接熄弧时弧坑原则上不填满。

(4) 焊接结束后约 10min 将试件从试验装置中取出。

(5) 试件冷却后,将试件焊缝沿轴向弯断,观察断面有无裂纹且测量裂纹长度。

4. 裂纹率的计算方法

按图 1-1-16,对 4 条焊缝断面上所测得的裂纹长度采用下列公式计算裂纹率:

$$C_R = \frac{\sum l_i}{\sum L_i} \times 100\% \quad (1-1-9)$$

式中 C_R —— 裂纹率(%);

$\sum l_i$ —— 4 条试验焊缝上的裂纹长度之和(mm);

$\sum L_i$ —— 4 条试验焊条的长度之和(mm)。

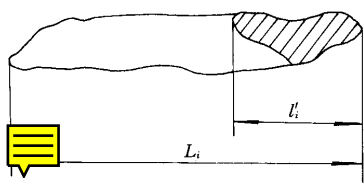


图 1-1-16 裂纹长度的计算

5. 试验记录

除参考“斜 y 形坡口裂纹试验方法”的有关内容记录试验条件和试验结果外,还应记下坡口间隙尺寸。

五、焊接用插销冷裂纹试验方法

1. 试验原理和适用范围

本试验的基本原理如下:将待研究的钢材加工成一定尺寸,带有刻槽的插销试棒,并插入一定厚度的试验底板的预制销孔内,用试验焊条在试板上通过插销顶部正中堆焊一试验

焊缝(或用其他的试验焊接材料和相应的焊接工艺施焊)。待焊后焊缝或热影响区(HAZ)冷却到冷裂纹敏感的温度区间上限(试验规定为 $\geq 100^{\circ}\text{C}$)时,对插销施加一轴向预定载荷(如图 1-1-17),并观察是否有延迟断裂现象及断裂的时间。通过数次试验确定出在试验条件下,刚刚不产生延迟断裂现象的临界断裂应力 σ_{cr} 。

在试验中通过改变焊接工艺参数和底板厚度,可以模拟实际焊接接头的热循环参数;插销试件本身的化学成分则反映了实际焊接接头母材的裂纹倾向;使用的焊接材料及烘干情况则反映了实际焊接接头中氢的作用。这样,通过该试验就可以定量模拟实际焊接接头中,三大因素对试验钢材冷裂倾向的综合影响。

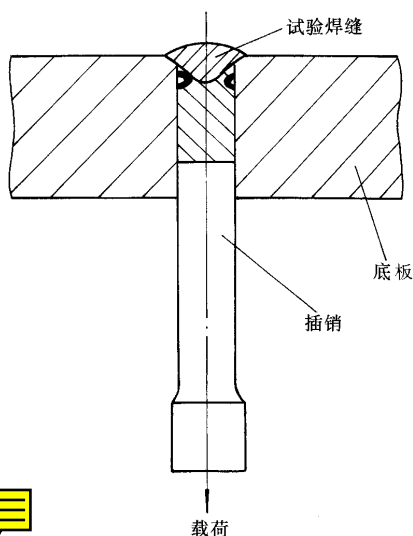


图 1-1-17 插销试验示意图

插销试验主要反映的是钢材 HAZ 的冷裂纹倾向,也可用以比较不同焊接材料对钢材冷裂纹倾向的影响。它与自拘束式焊接裂纹试验方法相比,具有再现性好,试验精度高(可达 10MPa),试验材料消耗少等优点。但它需用专用的试验装置和相应仪表,对试件的加工精度和试验技术要求较高,因此适宜在研究单位使用。

2. 试件的制备

(1) 插销

1) 插销试件的截取 插销从被试验研究的材料中截取,应注意插销和实际接头中金属纤维的受力方向相同。

2) 插销类型和尺寸 为了模拟实际焊接接头的应力集中效应,并使试验数据集中,在插销上开有缺口,根据缺口种类可分为如下两类插销试件。

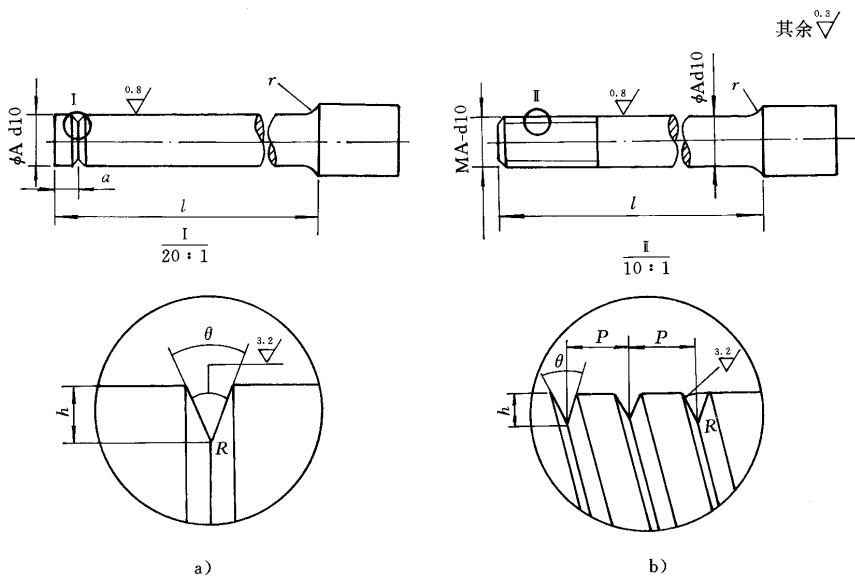


图 1-1-18 插销试件形状和尺寸

a) 环形缺口插销; b) 螺形缺口插销

① 环形缺口插销试件如图 1-1-18a 所示,图中圆柱直径 $A=8\text{mm}$ (也可用 6mm);缺口深度 $h=0.5\pm_{-0.05}^{+0.05}\text{mm}$;缺口角度 $\theta=40^\circ\pm_{-2}^{+2}$ 。缺口根部半径 $R=0.1\pm_{-0.02}^{+0.02}\text{mm}$ 。

测试部分长度 l 在采用螺纹连接时应大于底板厚度,在采用夹头时则需大于底板与夹板厚度的总和。

缺口与插销端面的距离 a 应使焊道熔深与缺口根部所确定的平面相切或相交。但缺口根部圆周被熔透的部分不得超过缺口根部圆周的 20% (见图 1-1-19)。 a 的具体尺寸可由试验确定。

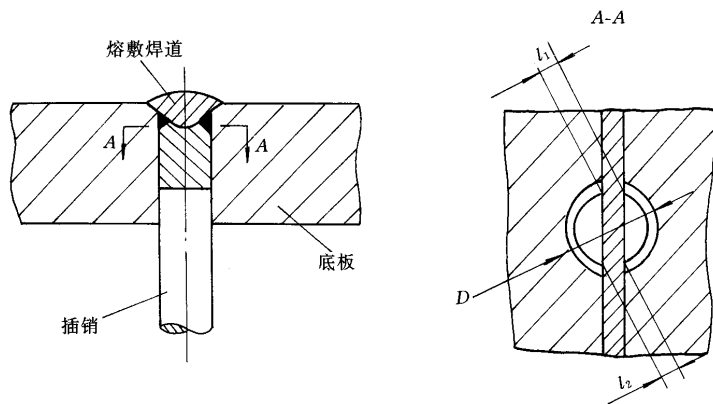


图 1-1-19 熔透比的计算

$$\frac{l_1+l_2}{\pi D} \times 100\% \leq 20\%$$

② 螺形缺口插销试件如图 1-1-18b,缺口螺距 $P=1\text{mm}$;螺纹总长度应保证粗晶区被包括在螺纹段内。

其他尺寸同环形缺口插销试件。

③ 插销与底板孔的配合尺寸为 $\phi A \frac{H10}{d10}$ 。

④ 夹持部分可用螺纹连接或其他方式连接。

(2) 底板 底板材料与研究材料相同或两者热物理参数基本一致,如果用低合金高强度钢研究时可采用相同的钢种或 Q235 钢做底板。

底板尺寸如图 1-1-20 所示,底板厚度按国标规定为 20mm ,但用于研究实际焊接接头的焊接工艺参数时,一般采用实际板厚。

3. 试验程序

(1) 将底板除锈并按图 1-1-17 装配插销和底板。

(2) 按试验要求将试验用焊接材料烘干,并测定其扩散氢含量。

(3) 按试验要求确定焊接工艺参数,如无特殊要求,对 $\phi 4\text{mm}$ 焊条手工电弧焊可采用焊接电流 $I=170\text{A}$,电弧电压 $U=24\text{V}$,焊接速度 $v=150\text{mm}/\text{min}$ 。

(4) 按试验要求预热或后热。

(5) 在底板上通过插销顶部正中焊接一长 $L=100\sim 150\text{mm}$ 的焊道(见图 1-1-20)。焊道的焊接方向垂直于底板的纵向。

(6) 在焊接的同时测试 HAZ 粗晶区的焊接热循环及相应的冷却时间 $t_{8/5}$, $t_{100^\circ\text{C}}$ 热循环的