

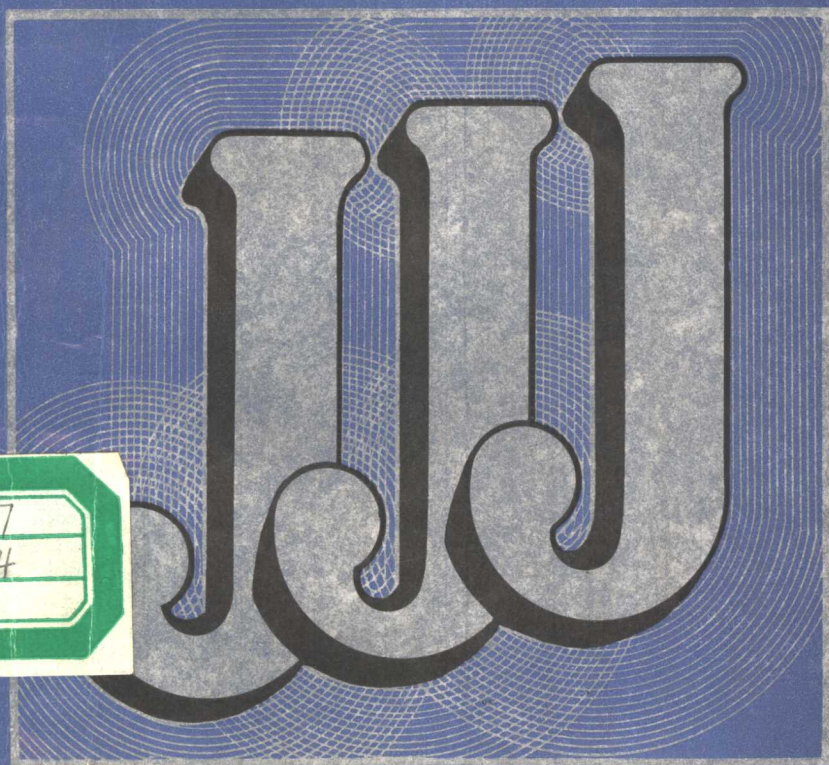
国家机械工业委员会统编

焊接接头试验方法

(高级电、气焊工适用)

机械工人技术理论培训教材

JIXIE GONGREN JISHULILUN PEIXUN JIAOCAI



机械工业出版社

机械工人技术理论培训教材

焊接接头试验方法

(高级电、气焊工适用)

国家机械工业委员会统编

机械工业出版社

本书系统地讲解了各种焊接性试验方法、常用焊接接头机械性能试验、无损检测和理化试验方法的本质及应用范围。书中还对焊接容器致密性检验的目的和方法也作了扼要介绍。

本书由无锡锅炉厂徐初雄、陈宝龄编写，由南京晨光机器厂堵耀庭、陆元柱审稿。

焊接接头试验方法

(高级电、气焊工适用)

国家机械工业委员会统编

责任编辑：俞逢英

责任校对：孙志筠

封面设计：林胜利

方芬 · 版式设计：罗文莉

责任印制：张俊民

机械工业出版社出版 (北京阜成门内大街25号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

中国农业机械出版社印刷厂印刷

机械工业出版社发行 · 新华书店经销

开本 787×1092¹/₃₂ · 印张3¹/₂ · 字数73千字

1988年11月北京第一版 · 1988年11月北京第一次印刷

印数00,001—19,000 · 定价：1.50元

ISBN 7-111-01181-3/TG·301

前 言

1981年，原第一机械工业部为贯彻、落实《中共中央、国务院关于加强职工教育工作的决定》，确定对机械工业系统的技术工人按照初、中、高三个阶段进行技术培训。为此，组织制定了30个通用技术工种的《工人初、中级技术理论教学计划、教学大纲（试行）》，编写了相应的教材，有力地推动了“六五”期间机械行业的工人培训工作，初步改变了十年动乱造成的工人队伍文化技术水平低下的状况，取得了比较显著的成绩。

鉴于原机械工业部1985年对《工人技术等级标准（通用部分）》进行了全面修订，原教学计划、教学大纲已不适应新《标准》的要求，而且缺少高级部分；编写的教材，由于时间仓促、经验不足，在内容上存在着偏深、偏多、偏难等脱离实际的问题。为此，原机械工业部根据新《标准》，重新制定了33个通用技术工种的《机械工人技术理论培训计划，培训大纲》（初、中、高级），于1987年3月由国家机械工业委员会颁发，并根据培训计划、大纲的要求，编写了配套教材149种。

这套新教材的编写，体现了《国家教育委员会关于改革和发展成人教育的决定》中对“技术工人要按岗位要求开展技术等级培训”的有关精神，坚持了文化课为技术基础课服务，技术基础课为专业课服务，专业课为提高操作技能和分析解决生产实际问题的能力服务的原则。在内容上，力求以

基本概念和原理为主，突出针对性和实用性，着重讲授基本知识，注重能力培养，并从当前机械行业工人队伍素质的实际情况出发，努力做到理论联系实际，通俗易懂，具有工人培训教材的特色，同时注意了初、中、高三级之间合理的衔接，便于在职技术工人学习运用。

这套教材是国家机械工业委员会委托上海、江苏、四川、沈阳等地机械工业管理部门和上海材料研究所、湘潭电机厂，长春第一汽车制造厂、济南第二机床厂等单位，组织了200多个企业、院校和科研单位的近千名从事职工教育的同志、工程技术人员、教师、科技工作者及富有生产经验的老工人，在调查研究和认真汲取“六五”期间工人教材建设工作经验教训的基础上编写的。在新教材行将出版之际，谨向为此付出艰辛劳动的全体编、审人员，各地的组织领导者，以及积极支持教材编审出版并予以通力合作的各有关单位和机械工业出版社致以深切的谢意！

编好、出好这套教材不容易；教好、学好这些课程更需要广大职教工作者和技术工人的奋发努力。新教材仍难免存在某些缺点和错误，我们恳切地希望同志们在教和学的过程中发现问题，及时提出批评和指正，以便再版时修订，使其更完善，更好地发挥为振兴机械工业服务的作用。

国家机械工业委员会
技工培训教材编审组

1987年11月

本教材适用于高级电焊工
和高级气焊工

目 录

前言

第一章 焊接性试验	1
第一节 焊接裂纹及其分类	1
第二节 焊接冷裂纹试验方法	3
第三节 焊接热裂纹试验方法	19
第四节 焊接再热裂纹试验方法	26
第五节 层状撕裂试验方法	31
复习题	33
第二章 焊接接头机械性能试验	35
第一节 拉伸试验	35
第二节 弯曲试验	41
第三节 冲击、硬度和压扁试验	46
复习题	54
第三章 焊接接头无损检验	56
第一节 焊接接头的射线探伤	56
第二节 焊接接头的超声探伤	62
第三节 焊接接头的表面探伤	67
复习题	72
第四章 焊接接头的理化试验	73
第一节 焊接接头的金相试验	73
第二节 焊缝金属扩散氢含量的测定	74
第三节 耐酸不锈钢焊接接头的检验	82
第四节 焊条检验	89

复习题	98
第五章 焊接容器的致密性检验	99
第一节 焊接容器的耐压检验	99
第二节 焊接容器的气密性检验和密封性检验	102
复习题	103

第一章 焊接性试验

第一节 焊接裂纹及其分类

一、焊接性试验的目的

焊接性是指金属材料对焊接加工的适应性，主要指被焊金属材料在一定的焊接工艺条件下，获得优质焊接接头的难易程度。焊接性包括两方面的内容，其一是接合性能，即在一定焊接工艺条件下，一定的金属形成焊接缺陷的敏感性；其二是使用性能，即在一定焊接工艺条件下，评定金属的焊接接头对使用要求的适应性。

评定母材焊接性的试验，叫焊接性试验。例如，焊接裂纹、接头力学性能和接头腐蚀试验等。由于焊接裂纹是焊接接头中最危险的缺陷，所以用得最多的是焊接裂纹试验。

通过焊接性试验，可以用较小的代价达到以下三个目的：

- (1) 选择适用作母材的焊接材料；
- (2) 确定合适的焊接工艺参数，包括焊接电流、焊接速度以及预热温度、层间保温、焊后缓冷及热处理方面的要求；
- (3) 研究和发展新型材料。

二、焊接裂纹的分类

在焊接应力及其它致脆因素的共同作用下，焊接接头中局部区域的金属原子结合力遭到破坏而形成的新界面所产生的缝隙，叫焊接裂纹。它的特征是具有尖锐的缺口和大的长

宽比。

焊接裂纹可以按照以下几个方面进行分类：

(1) 根据裂纹所在的区域 裂纹可以存在于焊缝、熔合区、热影响区和母材中，因此它可分为焊缝裂纹、熔合区裂纹、热影响区裂纹和母材裂纹。在正常情况下，焊接裂纹极少出现在母材中。

(2) 根据裂纹所在的具体部位 裂纹可以出现在焊件的表面，也可以在焊件的内部，根据产生的具体部位，裂纹可分为以下几种。

焊趾裂纹——沿应力集中的焊趾处所形成的焊接裂纹；

焊根裂纹——沿应力集中的焊根处所形成的焊接裂纹；

焊道下裂纹——在靠近堆焊焊道的热影响区内所形成的焊接裂纹；

终端裂纹——在焊缝最后一段距离内所出现的裂纹。平板对接焊，在采取单面焊双面成形工艺时，经常会出现这种裂纹。

(3) 根据裂纹的走向 根据裂纹与焊缝的相对位置，可以分为纵向、横向、八字、散射和网状裂纹等。

纵向裂纹是沿着焊缝长度方向的裂纹；横向裂纹是垂直于焊缝长度方向的裂纹。这些裂纹既可以产生在焊缝处，也可以产生在热影响区内，既可以出现在表面上，也可以隐藏在内部。

八字裂纹是沿着柱状晶的结晶方向、呈八字形的裂纹，通常出现在电渣焊的焊缝中。

散射裂纹往往位于焊缝末端收弧时的弧坑中；呈现为向各方散发的小裂纹，焊接中碳钢时经常出现这种裂纹。

网状裂纹发生在脆性材料中，遭受过腐蚀的材料也会产

生开裂。

(4) 根据裂纹形成的原因 可以分成冷裂纹、热裂纹、再热裂纹、层状撕裂和应力腐蚀裂纹等。这些裂纹又可以分别分为几种裂纹,例如,热裂纹还可分为结晶裂纹、液化裂纹和多边形化裂纹等。

第二节 焊接冷裂纹试验方法

一、焊接冷裂纹的性质

焊接接头冷却到较低温度下(对于钢来说在 M_s 温度即在马氏体转变温度以下)所产生的焊接裂纹,叫冷裂纹。

引起冷裂纹的原因是,焊接时热影响区形成淬硬组织、焊接过程中产生较大的焊接应力和焊接接头中有大量的扩散氢存在。其中由氢引起的冷裂纹往往要在焊接接头冷却到室温后,并在一定时间(几小时、几天甚至十几天)才出现,这种冷裂纹又称为延迟裂纹,它通常以焊趾裂纹、焊根裂纹和焊道下裂纹的形式出现。在焊缝金属上也可能出现延迟裂纹,通常它表现为垂直于焊缝的横向裂纹,贯穿整个焊缝,在大多数情况下产生于熔合线上,并向焊缝扩展,但不露出表面。在多层焊缝中,裂纹容易发生在离表面 2~3 层的焊缝金属内,潜伏期为 1~10 h。

冷裂纹由于开裂时温度不高,所以断口表现为闪亮发光而无高温氧化色,这一点与热裂纹和再热裂纹不同。

二、焊接冷裂纹的间接评定方法

根据焊件材料的化学成分或焊接接头热影响区的最高硬度,进行材料冷裂纹的评定方法,叫间接评定法。

1. 碳当量法 将钢中合金元素(包括碳)的含量按其

⊖ M_s 为 200~300℃。

作用换算成碳的相当含量，叫该种材料的碳当量，常以符号 C_E 表示。

国际焊接学会推荐的碳当量计算公式为

$$C_E = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Ni + Cu}{15} + \frac{Cr + Mo + V}{5} \quad (\%)$$

碳当量 C_E 值愈高，钢材淬硬倾向愈大，冷裂敏感性也愈大。经验指出，当 $C_E > 0.45 \sim 0.55\%$ 时，就容易产生冷裂纹。

利用碳当量只能在一定范围内，对钢材概括地、相对地评价其冷裂敏感性，因为：

(1) 碳当量公式是在某种试验情况下得到的，所以对钢材的适用范围有限。例如，如果两种钢材的碳当量相等，但是其一的含碳量较低，产生低碳马氏体；另一种的含碳量较高，产生高碳马氏体。很明显，前者冷裂敏感性有限，后者则较高。

(2) 碳当量计算值只表达了化学成分对冷裂倾向的影响。实际上，除了化学成分以外，冷却速度对冷裂的影响相当大，而碳当量公式中却没有考虑进去。同一化学成分的钢材，由于冷却速度不同，可以有不同的组织，因而抗裂性也不一样。确切地说，在结构刚性和扩散氢含量相同的情况下，应当主要是钢材的组织而不是碳当量确定冷裂敏感性。

(3) 影响金属组织从而影响冷裂敏感性的因素，除了化学成分和冷却速度外，还有焊接热循环中的最高加热温度 and 高温停留时间等参数。此外，钢材规定成分中没有表明的微量合金元素和杂质元素的影响，也没有在碳当量计算公式中表示出来。

因此，碳当量公式只能在一定的钢种范围内，概括地、相对地评价冷裂敏感性，而不能作为准确的评定指标。

2. 根部裂纹敏感性评定法 这是专门用以评定根部裂纹的碳当量法, 根据裂纹敏感成分 P_{CM} 进行评定, P_{CM} 的计算公式为

$$P_{CM} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Cr}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B(\%)$$

为了克服单纯用碳当量评定冷裂倾向的缺点, 可以进一步把氢和板厚 (代表应力) 作为延迟裂纹的三因素综合一起考虑, 得到冷裂纹敏感性指数 P_w , 其计算公式为

$$P_w = P_{CM} + \frac{\delta}{600} + \frac{H}{60} (\%)$$

式中 δ ——板厚 (mm);

H ——焊缝金属中扩散氢含量 (mL/100 g)。

3. 热影响区最高硬度法 (GB4675.5—84) 试件的形状和尺寸, 分别见图1-1和表1-1。

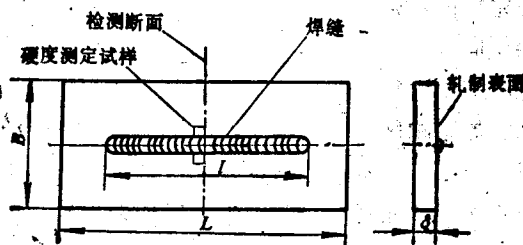


图1-1 试件的形状

表1-1 试件尺寸(mm)

试件名称	L	B	l
1号试件	200	75	125±10
2号试件	200	150	125±10

试件的标准厚度为 20mm。若板厚超过 20mm，则需经机械切削加工成 20mm 厚，并保留一个轧制表面。若板厚小于 20mm，则不需加工。1 号试件在室温下、2 号试件在预热温度下进行焊接。焊条直径为 4mm，焊接工艺参数为焊接电流 $170 \pm 10 \text{ A}$ ，焊接速度 $150 \pm 10 \text{ mm/min}$ 。焊接位置在试件轧制表面的中心线上，焊缝长度为 $125 \pm 10 \text{ mm}$ 。

焊后经 12 h，在室温下用机械加工方法垂直切割焊缝的中部，将焊缝的切割断面经研磨后，再加以腐蚀，划一条既切于熔合线底部切点 O 又平行于试板轧制表面的直线，见图 1-2。在此直线上每隔 0.5mm 进行载荷为 100 N 的维氏硬度测定，切点 O 及其两侧各 7 个以上的点作为硬度的测定点。把点中维氏硬度最大值与该钢材规定的热影响区最大允许值作比较，若超过允许值，则材料冷裂敏感倾向大。

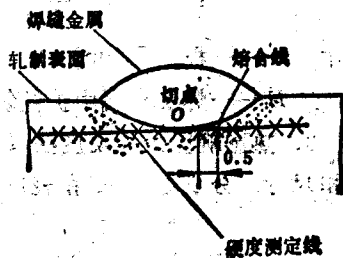


图 1-2 硬度的检测位置

这种方法比较简便，对于判断热影响区冷裂倾向有一定价值。它不像碳当量公式只是机械地考虑元素种类和数量的作用，而是直接测定组织的评定指标。但是，它也只是考虑了组织因素，没有涉及氢和应力，所以不能借以判断实际焊接产品的冷裂倾向，仅适用于在相同试验条件下不同母材冷裂倾向的相对比较。

三、焊接冷裂纹的直接试验方法

焊接冷裂纹的直接试验方法分为两大类。一类是自拘束试验，即试件焊接时，由于试件本身的巨大刚性造成焊缝和

热影响区产生巨大的拘束应力，试验时不必另外施加外载；另一类是外拘束试验，试验过程中，必须外加巨大的拘束应力，来模拟焊接接头施焊时的应力状态、应变形态，甚至氢和组织状态。这种试验方法需要有较好的加力装置和控制系统。

1. 冷裂纹的自拘束试验 碳素钢和低合金钢焊接接头冷裂纹的自拘束试验方法有以下几种，即斜Y形坡口焊接裂纹试验方法，搭接接头（CTS）焊接裂纹试验方法和T形接头焊接裂纹试验方法。

（1）斜Y形坡口焊接裂纹试验方法（GB4675.1—84）

本试验方法所产生的裂纹，多出现于焊根尖角处的热影响区。当焊缝金属的抗裂性不好时，裂纹可能扩展到焊缝金属，甚至贯穿至焊缝表面。裂纹可能在焊后立即出现，也可能在焊后数分钟、甚至数小时后才开始出现。

试件的形状和尺寸，见图1-3。试件的厚度不作限制，一般常用厚度为9~38mm。在两侧焊接拘束焊缝处开X形坡口，中间试验焊缝坡口开成斜Y形，坡口采用机械加工。

焊接工艺参数焊条直径为4mm，焊接电流 170 ± 10 A，电弧电压 24 ± 2 V，焊接速度 150 ± 10 mm/min。

首先进行拘束焊缝的焊接，焊接时采用低氢型焊条，先从背面焊第一层，然后再焊正面一侧的第一层，注意不要产生角变形和未焊透。以下各层可从正面和背面交替焊接，直至焊完。接着进行试验焊缝焊接，手弧焊焊接试验焊缝时，需在坡口外引弧，坡口外收尾，见图1-4。采用焊条自动送进装置焊接时的焊接位置，见图1-5。

焊接试验一般可在室温下进行。但也可以在各种预热和后热处理条件下进行。为了提高裂纹的敏感性，可以将试件

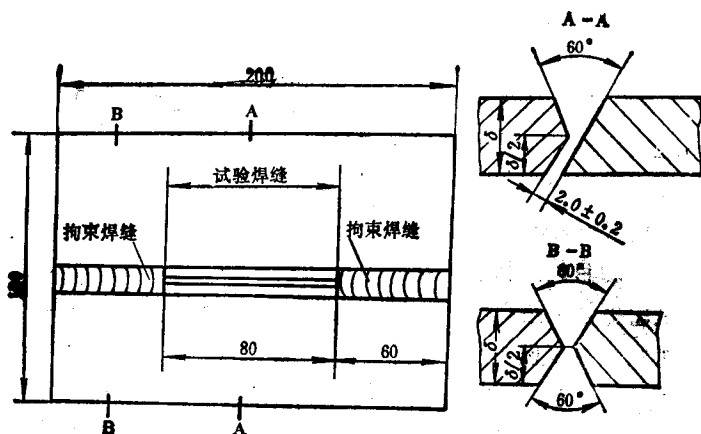


图1-3 试件的形状和尺寸

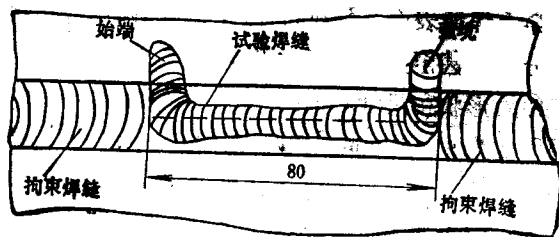


图1-4 手弧焊时试验焊缝位置

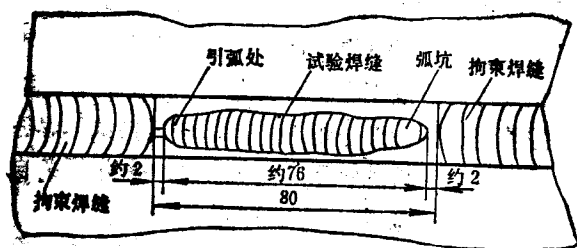


图1-5 焊条自动送进装置焊接试验焊缝位置

在零度以下预冷，或把试件的一半浸放在水中，进行焊接。

焊后对裂纹进行检验。表面裂纹的检查采用肉眼观察，或用磁粉或着色法进行检验。断面裂纹检测前要对裂纹检测的横断面进行研磨腐蚀。普通低合金钢采用5%硝酸酒精溶液腐蚀，特别推荐用3%苦味酸酒精溶液加3%浓硫酸腐蚀，然后放大20至30倍来观察裂纹。

裂纹被检查出后，最后应分别计算出表面裂纹率、根部裂纹率和断面裂纹率。裂纹的长度或高度的检测，见图1-6。裂纹长度为曲线形状时按直线长度检测，裂纹重迭时不必重复计算。焊完的试件需经48 h以后，才能开始进行裂纹的解剖和检测。

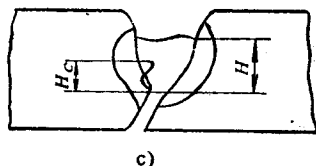
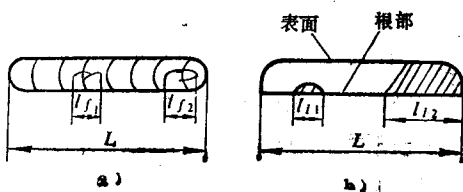


图1-6 试样裂纹长度计算

a) 表面裂纹 b) 根部裂纹 c) 断面裂纹

表面裂纹率的
计算

$$C_s = \frac{\sum L_f}{L} \times 100(\%)$$

式中 C_s ——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)。

根部裂纹率的计算

$$C_r = \frac{\sum L_r}{L} \times 100(\%)$$