

机械工人学习材料

JIXIE GONGREN XUEXI CAILIAO

怎样防止焊接裂纹

王 铨 编著



机械工业出版社

内 容 提 要

本书介绍了焊接时经常发生的几种裂纹,即冷裂纹、再热裂纹、热裂纹、层状撕裂和应力腐蚀裂纹,并叙述了每一种裂纹的形态、特征以及产生的原因和条件,评定其裂纹的常用试验方法,以及如何防止这种裂纹的措施。并从理论上予以分析,使得读者能够了解产生裂纹的来龙去脉,从而正确掌握防止裂纹的措施等。

本书适合于焊工及有关焊接技术人员阅读。

怎样防止焊接裂纹

王 焱 编著

责任编辑 俞逢英

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄西里二号)

(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

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092 1/32·印张 2 3/4·字数 64 千字

1987年3月北京第一版·1987年3月北京第一次印刷

印数 00,001—15,300·定价 0.60 元

科技新书目: 140-123

统一书号: 15033·6700

现代高度发达的科学技术，已使人们上可以登临月球，探测太空，下可以深潜海底几千米，大可以建造几十万吨级轮船，小可以加工需要显微镜放大才能看见的零件。宇航器、飞机、船舶舰艇、原子能设备、化工装置、车辆、桥梁、集成电路、自控系统等产品的制造和使用不仅需要优秀的设计来保证，也还需要优等的加工工艺来保证。焊接就是制造这些设备的加工方法之一，而且可以说，几乎没有一样重大的装配可不经焊接加工的。因此，焊接质量的可靠性已成为一项重要的课题。

如何防止焊接裂纹的产生，是焊接产品可靠性中的一个突出的问题。如果产品有了裂纹，谁还敢大胆使用？虽然，科学技术发达的今天，可以依靠断裂力学的知识判断出某些带有裂纹的设备可以运转若干年，但是，这种方法毕竟尚未普遍推广应用，因而防止裂纹的产生仍然是主题。

目 次

一	焊接裂纹的分类.....	1
二	焊接冷裂纹.....	2
	1 焊接冷裂纹的分类、特征和形成的原因——(2)	
	2 焊接冷裂纹敏感性测定方法——(6) 3 焊缝金属 扩散氢量和焊接材料含水量的测定——(34) 4 怎样防 止焊接冷裂纹——(45)	
三	再热裂纹.....	49
	1 再热裂纹的形态与特征——(49) 2 形成再热裂 纹的条件——(50) 3 再热裂纹敏感性评定方法——(51)	
	4 怎样防止再热裂纹——(58)	
四	焊接热裂纹.....	60
	1 焊接热裂纹的形态与特征——(60) 2 影响热裂 纹的因素——(61) 3 热裂纹敏感性评定方法——(63)	
	4 怎样防止焊接热裂纹——(73)	
五	层状撕裂和应力腐蚀裂纹.....	74
	1 层状撕裂的形态、特征和形成原因——(74) 2 影 响层状撕裂的主要因素——(76) 3 层状撕裂试验方 法——(77) 4 怎样防止层状撕裂——(79) 5 应力腐 蚀裂纹的形态、特征和防止方法——(80)	

一 焊接裂纹的分类

焊接裂纹的形式很多，名称也很多，错综复杂，容易使人混淆。但如果把它们归纳一下，也就不难搞清各种裂纹的含义与概念。现将焊接裂纹分类的概况介绍如下。

(1) 从裂纹所在区域的角度看 裂纹可以存在于焊缝、热影响区或母材，人们就把这种裂纹分别称为焊缝裂纹、热影响区裂纹和母材裂纹。一般地说，由于焊接而引起的裂纹不大会出现于母材，但并不是绝对没有。

(2) 从裂纹在具体部位的角度看 裂纹可以在焊件的表面（称为表面裂纹），也可以在焊件的内部（称为内部裂纹）。这些裂纹既可能在焊缝中，也可能在热影响区或母材中。

如果再进一步说明裂纹所在位置，还可以有多种多样的分类。例如，裂纹位于焊缝和热影响区交界处，称为焊趾裂纹；位于焊缝根部，称为焊根裂纹；位于焊缝下面的热影响区内，称为焊道下裂纹。在平板对接焊时，如果采取单面焊双面成形的工艺，有时会在焊缝中最后的一段距离内出现裂纹，就称为终端裂纹。

(3) 从裂纹走向的角度看 可以分为纵向裂纹、横向裂纹、星形裂纹、八字裂纹和网状裂纹等。纵向是指沿着焊缝长度方向，横向是指垂直焊缝长度方向，这些裂纹既可以在焊缝，也可以在热影响区或母材；既可以在表面，也可以在内部。星形裂纹往往位于焊缝末端收弧时没有填满的凹坑中，也就是位于弧坑（或称为火口）中有若干小裂纹，表现为向各方向发散的形式，好象天空中星星的光芒一样。八字裂纹往往位于焊缝中，从焊缝的横断面可以看出，在焊缝内部表现为八字形。有时也出现于焊缝表面。网状裂纹往往发生在脆性材料中。遭受过腐蚀的材料开裂也会产

生网状裂纹。

(4) 从焊缝尺寸的角度看 可以有宏观裂纹和微观裂纹。宏观裂纹是指用肉眼就可以看到的, 微观裂纹又称显微裂纹, 必须在显微镜下面才看到。

以上几种分类, 都只是从裂纹表面的现象看, 没有涉及到产生裂纹的原因和本质。若要想防止开裂, 就得进一步掌握裂纹的本质。

(5) 从裂纹形成原因和本质的角度看 焊接裂纹有冷裂纹、再热裂纹、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和液化裂纹两种。

这些裂纹的表现形式, 往往不是单一的。譬如, 在同一焊件中, 裂纹有的是在焊缝中, 有的是在热影响区; 有的出现于焊缝或热影响区表面, 有的却在内部; 有的是宏观的, 有的却是微观的, 有的既有纵向、又有横向的。

本书是按照后一种分类办法介绍焊接裂纹的情况, 探讨裂纹形态、特征与产生原因、测试方法及防止措施等。

二 焊接冷裂纹

1 焊接冷裂纹的分类、特征和形成的原因

冷裂纹一般可分为淬硬裂纹、低塑性裂纹和氢致裂纹三种, 其开裂原因和机制各不相同。

一、淬硬裂纹: 顾名思义, 它是由淬硬组织引起。某些钢种淬硬的倾向很大, 焊后冷却过程中, 容易产生很脆的马氏体组织, 在焊接应力的作用下引起开裂。这种开裂与氢的关系不大, 没有氢的作用也会开裂。在马氏体不锈钢、工具钢、弹簧钢、Mn13

耐磨钢、某些高强度结构钢以及异种钢焊接时，都可能会出现这种裂纹。这种淬硬裂纹的产生既然不取决于氢的存在，也就没有延迟若干时间再出现的特征，而是焊后可以立即发现。

二、低塑性裂纹：焊接时，不均匀加热将会引起焊件上各点变形量的不同，同时引起内应力。当某一部位的拉伸变形量超过材料本身的塑性能力时，就会出现裂纹。这种裂纹往往在塑性特别差的材料，例如，铸铁、某些硬质合金、以及其它一些塑性很差的材料中产生。灰铸铁是最常见的例子，它的塑性几乎为零。如果焊接工艺不当，例如采用低碳钢手弧焊的焊接规范和工艺措施进行灰口铸铁冷焊时，往往出现边焊边裂的现象。这种开裂毫无氢致冷裂纹的延迟性质；开裂处也往往没有马氏体，也就是说，不是淬硬开裂。这种裂纹的开裂部位甚至不在焊缝和热影响区，而在离开这些地区的母材上。

三、氢致延迟裂纹：这是一种最常见的冷裂纹。它往往不是焊后立即出现，而有一段孕育期，延迟一段时间才产生，所以称为延迟裂纹。这种延迟现象主要由氢引起的，因此又称氢致延迟裂纹，或简称氢致裂纹、氢裂纹。

这种裂纹具有如下特征：

(1) 产生的温度范围：主要是在从开始产生马氏体的温度起，到零下某一不太低的温度范围内。过高的温度不会产生氢致裂纹，过低温度也不产生。

(2) 出现裂纹的时间：裂纹可能在焊后立即出现，但更多的是具有延迟性质，可以在焊后几分钟、几小时、几天、甚至更长的时间才出现。

(3) 裂纹断口颜色：由于开裂时温度不高，断口表现为闪亮发光而无高温氧化色。这与热裂纹和再热裂纹在较高温度下开裂，断口表现为氧化色不同。

(4) 裂纹断口形态: 氢致裂纹可以是沿晶开裂, 也可以是穿晶开裂, 这与热裂纹和再热裂纹都是沿晶开裂不同。

从裂纹断口电镜扫描结果来看, 它与热裂纹和再热裂纹断口形貌不同, 可以有“冰糖块”形貌, 表明沿晶的脆性断裂; 也可以有“准解理”和韧窝形貌, 表明为穿晶断裂, 其中, 准解理表明穿晶的脆性断裂, 韧窝表明穿晶韧性断裂。

从裂纹断口宏观形貌来看, 既有结晶状的脆性断裂区, 又有纤维状的塑性断裂区。将裂纹断口宏观形貌与电镜扫描的微观形貌相对照, “冰糖块”和准解理形貌位于宏观结晶状脆断区, 韧窝位于宏观纤维状塑性断裂区。

(5) 开裂部位: 在碳钢和合金钢结构中, 强度不很高的往往在热影响区粗晶区开裂, 扩展到其它部位。

热影响区氢致裂纹通常有三种形态和部位:

1) 焊趾裂纹: 它的起源一般在焊缝趾部(焊缝表面与热影响区交界处) 具有明显应力集中的地方, 再向热影响区和母材延伸。

2) 焊根裂纹: 这是最常见的氢致延迟裂纹, 是从第一层焊道根部与热影响区交界处应力集中最大的部位开始, 然后向热影响区或焊缝延伸。究竟向哪里延伸, 决定于母材和焊缝的强度、塑性和根部的形状。

3) 焊道下裂纹: 发生在焊道下方离熔合线不远的粗晶区内, 它的走向大体与熔合线平行。这是一种微小裂纹, 往往不能在焊件表面上发现, 有人发现它不是一条连续的裂纹, 而是由一条条小的显微裂纹集合而成。这种裂纹是在含氢量高的焊条、小线能量电弧焊接高强度钢时发现。

(6) 引起开裂的因素: 普遍认为, 引起开裂的因素有三个: 硬化组织、应力与扩散氢。其中扩散氢是主导因素。

氢致延迟裂纹为什么会有上述的特征? 裂纹是怎样形成的?

至今还没有完全统一的看法,概括起来主要有如下的理论或说法:

有人认为氢原子在金属内部可以扩散,当它到达某一个缺陷时,就会聚集起来成为氢分子,在金属内部造成气体压力。聚合成分子状态的氢愈多,这种压力也愈大,当达到某一定压力值时,由于压力十分巨大而引起开裂。

也有人认为,任何金属中总难免微观缺陷,包括显微裂纹、夹杂或其它缺陷,而且这些缺陷的某些部位总有比较尖锐的地方,表现为裂口的形态存在。这种裂口尖端的地方会产生应力集中,尖端附近产生局部的变形而造成金属原子之间的距离拉开,这种加大的空间虽然微小,但是氢原子更小,这就为氢的藏身创造了条件,会引诱氢向这个区域扩散。

随着时间的增长,这个区域的氢浓度也逐渐增加,当氢浓度达到某一个数值(称为临界浓度值)时,这个地方的金属经受不住氢的巨大胀力而开始产生微裂纹。

刚刚产生微裂纹后,原来应力很大的这个区域就会发生应力减小,变形也减小,金属原子之间的距离缩小,能够容纳氢的空间也一下子缩小了,也就是说,不能再容纳原来那么多氢了。所以,氢向外界(包括通过裂纹的空腔向外界)逸散,也向金属内部其它区域扩散聚集。

这时,新产生的微裂纹与原裂纹之间地区的氢含量仍旧较高,容易使这两段裂纹向这一区域扩展而联成一条。在联成一条以前或联成一条以后,新产生的微裂纹尖端的地方又成为新的应力集中区域,又要引起这个新裂纹尖端附近产生新的局部变形,造成金属原子的距离拉开,又为氢向这个新的大空间的区域扩散创造了条件,这样又重复了上述过程,产生新的微裂纹。如此,周而复始,使得裂纹一步步逐渐扩展。

这就造成了氢致裂纹的延迟性质和逐步扩展的特征。

美国学者萨瓦吉等人利用焊接试件进行弯曲试验，观察了焊接接头中氢致裂纹的逐渐发生和扩展。其试验结果概括如下：

将薄片的小试件焊接以后，立即放入弯曲装置中进行弯曲，见图1。在低倍显微镜下观察因弯曲而产生拉伸变形的试件表面，可以看到断断续续、时密时疏的气泡从表面逸出。不久在试件表面某一点出现了微裂纹，这个地方的气泡逸出速率及数量增加，然后又有所减少。之后，裂纹逐渐延伸或者在裂纹尖端前面相隔一定距离处出现新的裂纹。新裂纹与原裂纹逐渐扩展相连，成为一条裂纹。如此周而复始，裂纹可以逐步扩展成长条。

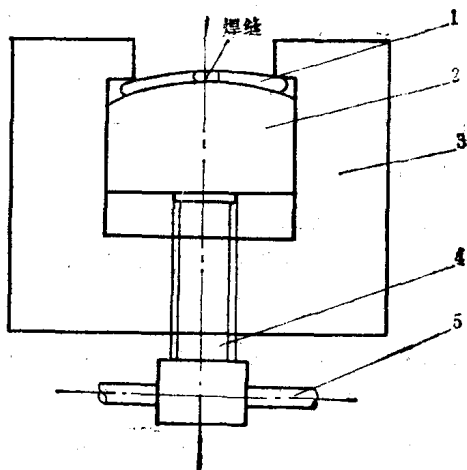


图1 弯曲装置示意图

1—试件 2—弯模 3—“H”形体 4—加载螺栓 5—手柄

使用弯曲试验研究氢

致裂纹上述过程，我国西安交通大学和上海交通大学也曾获得一些研究成果。

2 焊接冷裂纹敏感性测定方法

冷裂敏感性是焊接性的一个方面，冷裂敏感性试验方法是焊接性试验方法的一个组成部分，而且是重要组成部分，许多焊接性试验方法实质上就是冷裂敏感性试验方法，其数量占了焊接性试验方法的大半。对于这些试验，本文不可能逐一详细介绍，只选择其中主要方法加以说明。

一、冷裂敏感性的间接评定方法

(1) 碳当量法：几十年来，许多学者根据各自使用的钢材、裂纹试验方法和焊接条件，总结出各自的碳当量 (C_{eq}) 公式，用来评定冷裂敏感性。这些公式数量较多，本文介绍目前较常用的两种方法：

1) 国际焊接学会 (IIW) 的碳当量公式 (用于非调质的 HT50 和 HT60 钢)：

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{M+Cu}{15} + \frac{Cr+Mo+V}{5} (\%) \quad (1)$$

2) 日本工业规格 (JIS) 和焊接工程标准 (WES) 的碳当量公式 (用于 HT50-HT100 钢)：

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14} (\%) \quad (2)$$

碳当量 C_{eq} 值愈高，钢材淬硬倾向愈大，冷裂敏感性也愈大。这类公式可以对一定范围的钢材概括地、或者相对地评价其冷裂敏感性，但不能扩大到所有结构钢。并且就同一类钢材来说，也要在一定条件下对比，这是因为：

1) 碳当量公式是在某种试验情况下得到的，所以对钢材适用范围有限。如果说，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；另一的含碳量较高，产生高碳(孪晶)马氏体。很明显，前者冷裂敏感性较低，后者则较高。HY80 和 30CrMnSiA 钢就有这种情况：碳当量值 C_{eq} 基本一致，但冷裂敏感性相差较大。所以，一个 C_{eq} 公式可能适用于某一或某些钢种，但对于另一个或几个钢种则不适用，决不能推广到适用范围以外。

2) C_{eq} 公式只表达了化学成分对硬化倾向和冷裂倾向的影响，实际上除了化学成分以外，冷却速度的影响也很大，这是上述碳当量公式没有考虑的。同一化学成分的钢材，可以有不同组

织,从而抗裂性也不同。更确切地说,仅仅化学成分或碳当量值,并不说明钢材是什么组织,组织必须由连续冷却曲线图(CCT图)按不同冷却速度来确定。在氢和拘束应力相同的情况下,应当主要是组织而不是碳当量决定冷裂敏感性。

3) 碳当量公式中各个项的系数值虽然是根据大量试验确定的,凭数据说话,反映了唯物观点。但是,这些数据只是孤立地、机械地反映了各元素数量的作用,只是把各项的系数确定为自始至终不变的恒值,却没有反映不同钢材各元素之间质的相互影响和作用。根据一些研究,某一、二元素的系数并非公式中所示的数值,甚至是不定的变值。这一例证将在讨论 P_{cm} 公式时说明。

4) 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,还有焊接加热峰值温度、高温停留时间等参数,它们会影响某些元素或组织的高温溶解、分解、化合和析出等等;此外,还有钢材规定成分中没有标明的微量合金元素和杂质元素的影响、冶炼方法和夹杂特征的影响,等等。

因此, C_{eq} 公式只能在一定的钢种范围内、概括地、或者相对地评价冷裂敏感性,若要作为准确的评定指标,则尚需进一步研究和改进。

此外, C_{eq} 值作为评定冷裂敏感性指标,也只涉及钢材本身,并不涉及钢材焊制成结构件时拘束情况等一些因素的影响,以及焊接材料对焊接接头拘束应力和扩散氢等的影响。

(2) 裂纹敏感成分 P_{cm} 和冷裂纹敏感指数 P_c 和 P_w : 十几年前,伊藤庆典等人根据大约 200 种低碳低合金高强度钢的实验数据归纳成一个经验公式,称为裂纹敏感成分 P_{cm} 公式:

$$P_{cm} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Cr}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Mo}{5} + \frac{V}{10} + 5B(\%) \quad (3)$$

本式适用于根部裂纹，实际上也是碳当量公式，适用的化学成分范围为(%)：

$$\begin{array}{lll} \text{C} & 0.07 \sim 0.22 & \text{Si} < 0.60 & \text{Mn} 0.40 \sim 1.40 \\ \text{Cr} < 1.20 & & \text{Cu} < 0.50 & \text{Ni} < 1.20 \\ \text{Mo} < 0.70 & & \text{V} < 0.12 & \text{B} < 0.005 \\ \text{Ti} < 0.05 & & \text{Nb} < 0.04 & \end{array}$$

近年来，这一公式被广泛采用，一般认为，用于评价低碳低合金钢的冷裂敏感性是合理的，因此，目前建立的一些评定冷裂倾向的定量公式中，不少是采用 $P_{c.m}$ 值作为评定成分影响的基础。例如：

1) 为了克服单纯碳当量 C_{eq} 公式评定冷裂倾向的缺点，在制订冷裂敏感性评定式时，把 $P_{c.m}$ 碳当量式（企图代表硬化组织）、氢和板厚（企图代表应力）作为氢致裂纹三要素综合一起考虑，得到冷裂敏感性指数 P_c 值：

$$P_c = C + \frac{\text{Si}}{30} + \frac{\text{Mn}}{20} + \frac{\text{Cu}}{20} + \frac{\text{Ni}}{60} + \frac{\text{Cr}}{20} + \frac{\text{Mo}}{15} + \frac{\text{V}}{10} + 5\text{B} + \frac{t}{600} + \frac{H}{60} = P_{c.m} + \frac{t}{600} + \frac{H}{60} (\%) \quad (4)$$

式中 t ——板厚 (mm)；

H ——焊缝金属中扩散氢含量 (ml/100g)。

2) 把板厚 t 引入(4)式已经考虑了应力的作用，但仍不能反映焊接接头的实际拘束情况，因此根据一些试验，又进一步变换成为直接表达拘束度因素的裂纹敏感指数 P_w 。

$$P_w = P_{c.m} + \frac{H}{60} + \frac{R_F}{40000} (\%) \quad (5)$$

式中 R_F ——拘束度 (N/mm·mm)。

(4) 和 (5) 式适用范围：

① 化学成分范围按(3)式 $P_{c.m}$ 的范围；

- ② $t = 19 \sim 50 \text{ mm}$;
- ③ $H = 1 \sim 5 \text{ ml/100g}$;
- ④ $R_F = 500 \sim 3300 \text{ (N/mm} \cdot \text{mm)}$;
- ⑤ 线能量 $17 \sim 30 \text{ kJ/cm}$ 。

3) P_{cm} 值还可用以计算其它防裂和抗裂指标。例如：用以计算预热温度，计算插销法抗裂试验的临界应力值等。

(3) 式的 P_{cm} 值用于高强度调质钢比 (2) 式的碳当量值更恰当，在实际应用中已经取得积极效果。但是，另一些研究表明， P_{cm} 公式也还需要进一步验证和研究。

例如， P_{cm} 公式中硼 (B) 项系数为 “+5”，表明它对冷裂敏感性的危害性比碳还大，为碳的 5 倍。但是，已有试验证明，在公式的适用范围内，硼并不都有害处，有时还使氢致裂纹敏感性降低。

(3) 热影响区最高硬度法：试件如图 2 所示。这是国际焊接学会 (IIW) 规定的试板尺寸。用直径为 4mm 的焊条在板中央堆焊一道焊道。焊接规范：焊接电流采用该焊条电流下限值，焊接速度用上限值。以使热影响区冷却速度最快，偏于安全。焊后试件不进行处理，焊态试件

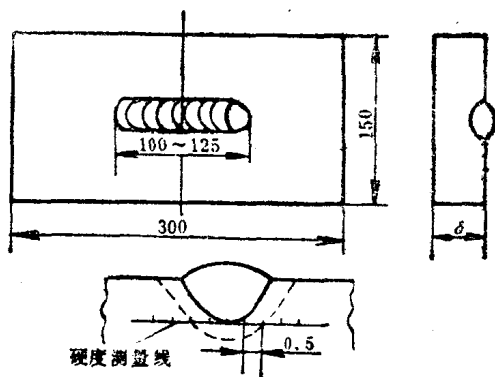


图 2 热影响区最高硬度法试件

经 12 小时时效以后，在焊道中央垂直焊道方向用机加工方法切断。切断试件时注意加强冷却，不能使试件温度升高过多。然后在试件

横断面上划线，如图2所示，至少取十点位置测定载荷为 $10\text{kgf}\ominus$ 的维氏硬度值。把10点中的维氏硬度最大值 $HV_{\max}$ 与这类钢材规定的热影响区最大允许值作比较，若超过允许值，则应焊前预热或焊后热处理。

这一方法比较简便，对于判断热影响区冷裂纹倾向有一定价值。它不象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，它毕竟只在冷裂纹因素中单独考虑了组织因素，不涉及氢和应力，不能藉以判断实际焊接产品的冷裂倾向。这一方法适宜于在相同试验条件下不同母材冷裂倾向的相对比较。

二、冷裂敏感性直接试验方法之一——自拘束试验：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拘束应力，称为自拘束试验。这种试验不必另外加施力装置施加外载。

试件形式又可分为：平板对接或搭接形式；T形、十字形或空间结构形式两类。

(1) 平板对接或搭接形式：我国常用的有：巴东拘束对接裂纹试验(CTS试验)，Y形坡口对接裂纹试验(小铁研式)，Y形坡口对接裂纹试验，里海拘束裂纹试验，窗形拘束对接裂纹试验等。

(一) 巴东拘束对接裂纹试验：这一方法由苏联巴东电焊研究所提出，1966年以前我国使用较多，以后逐渐减少。

试件如图3所示。试验前，先用角焊缝把两块试板焊在厚大底板上。冷到室温后，再焊两块试板间的试验焊缝。多层焊时，前一层焊缝必须冷到室温，才能焊接后一层。试件焊完后，在室温下放置24小时，然后垂直焊缝方向切取试样，检查裂纹。也

$\ominus 1\text{kgf}=9.806\text{N}$

有沿焊缝中心线切取纵向试片的，以利于检查内在细小横裂纹。某船厂在ST-52钢的巴东试验采用结507焊条时曾有这种经验。

巴东试件的底板厚度规定为至少40mm，但这种大厚度钢材不容易得到，因此不少单位常常选定底板厚度为40mm的，不再寻找更厚的底板。这时如果试件厚度不同，拘束度也会不同。拘束度不同，裂纹倾向也必然不同。所以，在底板同样为40mm的条件下，试件厚度为24mm和12mm的试验结果也不能作简单对比。

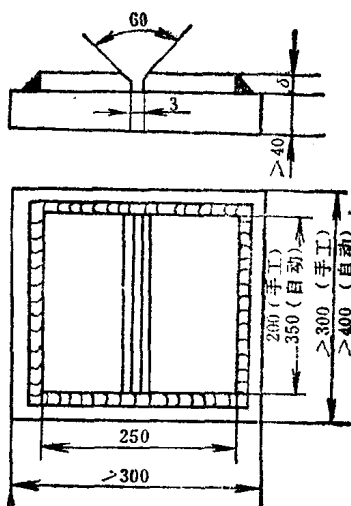


图3 巴东拘束对接裂纹试件

(二) 受控热流程度裂纹试验：即CTS试验：试件如图

4所示。当螺栓把底板和上板固定以后，先焊两侧拘束焊缝（上板厚6mm时焊脚为6mm；上板厚12mm时焊脚为9mm；上板厚25和50mm时焊脚为12mm），等冷到室温后进行焊缝1的焊接；当再次冷到室温后进行焊缝2的焊接。在室温下保持72小时，垂直于试验焊缝用机械方法切成三个金相试片，测定裂纹长度。

试验焊缝1散热时，热流可有两个方向传递，即沿着上板和底板各有一个方向。试验焊缝2可有三个方向散热，即沿着上板一个方向，底板两个方向。为了保证热流有效地传递，上板和底板装配前必须把接触面磨平。

试验焊缝1和2的散热程度不仅与散热方向数有关，还与试件厚度有关。

国际焊接学会第9委员会认为，CTS试验作为焊接热影响区裂纹现象的科学试验是有良好效果的。这一方法曾经在欧洲广泛使用，并在美国用作中高强度钢的标准的冷裂纹试验方法。但是在我国过去既未普遍采用，现在也基本不用。

CTS试验最突出的一点是散热程度，也就是冷却速度，曾经有人做过试验，试验焊缝1（热流方向数为2）的冷却速度比钢板上堆焊时慢，试验焊缝2（热流方向

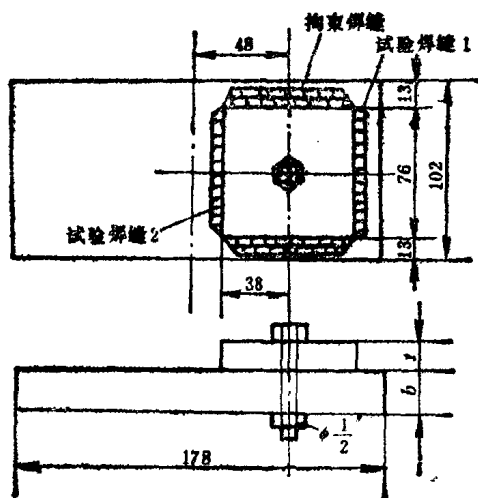


图4 CTS试件

向数为3)的冷却速度比T形接头填角焊时慢。所以，从冷却速度、主要是组织变化的角度来看，这一方法的试验条件还是较宽的。另外，试件虽有拘束焊缝，但拘束程度和应力集中并不象其它某些试验方法那样严峻。可能这就是它未能在世界上被普遍推广的原因。

(三) y形坡口对接裂纹试验（小铁研式试验）：1956年，日本铁道技术研究所的大谷碧提出铁研式试验，试件为150×330 mm，上面开两个切口。以后铃木春义把这种试件尺寸缩小为150×200 mm，并改为一个切口，成为铁研式试件的改良型，这就是小铁研式试验，其形状与尺寸见图5。

由图可知，把试件两端60 mm范围内预先焊为一体，中间80 mm