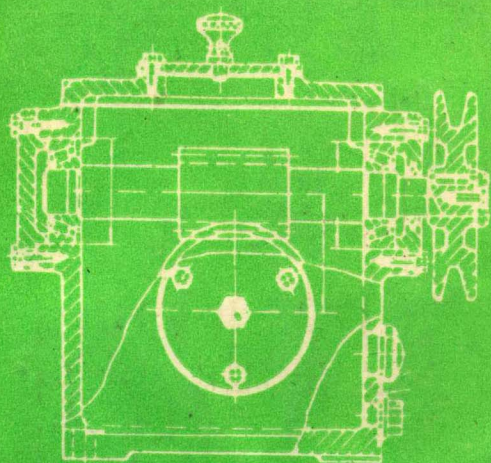
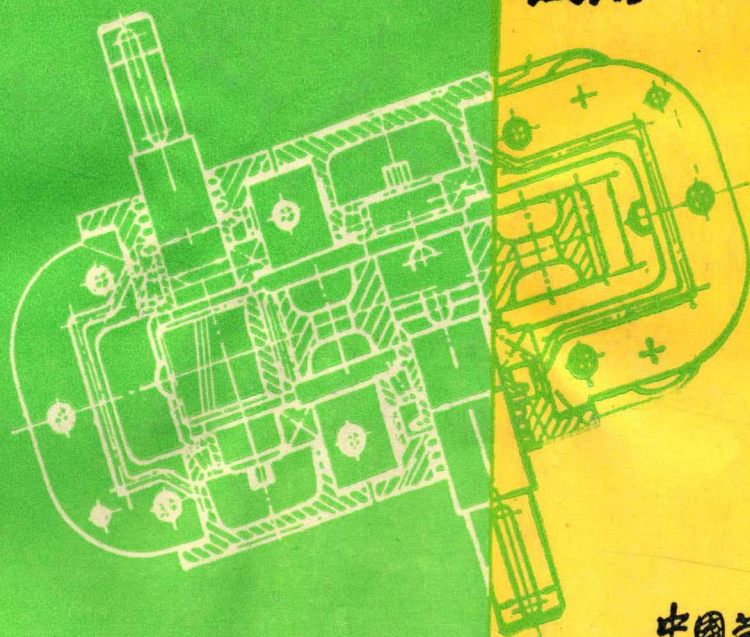


机械类
高级技工培训教材



试用

高级气焊工技能训练



中国劳动出版社

机械类高级工培训教材

高级气焊工技能训练

(试 用)

劳动部培训司组织编写

中国劳动出版社

(京)新登字114号

本书是根据原劳动人事部培训就业局审订颁发的《高级气焊工技能训练教学大纲》编写,供高级技工培训使用的,专业技术理论与实际操作技能相结合的教材。

本书共分五个课题,主要包括:气焊、气割、氧乙炔焰喷涂和喷焊、焊接检验及焊接接头强度计算和复杂结构各种变形的火焰矫正。每个小节主要讲授相关知识、焊接时的主要问题、气焊工艺及操作技巧和训练实例。

本书也适合班组长培训和在职工人自学使用。

本书由李贵堂、郝连义、张炳棠、赵清香编写,李贵棠主编:徐值林审稿。

高级气焊工技能训练

(试用)

劳动部培训司组织编写

责任编辑 王绍林

中国劳动出版社出版

(北京市惠新东街1号)

北京顺义兴华印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所发行

787×1092毫米 16开本 14.75印张 360千字

1994年2月北京第1版 1994年2月北京第1次印刷

印数:3000册

ISBN 7-5045-1358-X/TC·125(课) 定价:6.40元

说 明

为了满足生产建设不断发展和适应企业深化改革的需要,原劳动人事部培训就业局于1987年10月组织编写了部分工种(专业)高级技工培训教材。这次组织编写的教材有机械制图、公差配合与技术测量、机构与零件、液压技术、机床电气控制、金属切削原理与刀具、机床夹具、机械制造工艺与设备、高级钳工技能训练和高级车工技能训练等10种。其余高级技工培训教材将根据需要陆续组织编写。

这次组织编写的教材内容,是根据高级技工的培养目标,按照原机械委颁发的工人技术等级标准对高级技工应知应会的要求,结合生产需要确定的。着重阐述本工种高级复杂程度的零件加工、复杂设备的调整、维修等操作技能、技巧和技术理论知识;适当介绍有关新技术、新工艺、新设备、新材料的应用;也涉及到某些技术岗位关键问题的处理。

教材的编写,力求理论联系实际,突出操作技能训练。各门课程相对独立,图文并茂,并采用了现行的新国标。这些教材通用性较强,比较适应当前培养高级技工的需要,也适合于班组长培训、关键岗位的专业培训和职工自学。

我们组织编写这一层次的教材,是初次尝试,不足之处在所难免,请各单位和个人在使用中提出宝贵意见和建议。

劳动部培训司

1988年6月

目 录

课题一 气焊	(1)
§ 1-1 新材料的焊接性试验	(1)
§ 1-2 典型产品气焊工艺规程的编制	(22)
§ 1-3 新型合金钢受高压、冲击力、振动力工件的气焊	(29)
§ 1-4 复杂铸铁件的补焊	(56)
§ 1-5 复杂铜及铜合金件的气焊	(75)
§ 1-6 复杂铝件的气焊	(92)
§ 1-7 异种金属焊接	(105)
§ 1-8 气焊课题操作技能考核	(110)
课题二 气割	(117)
§ 2-1 大厚度钢板的气割	(117)
§ 2-2 高速气割及气割能源结构的新发展	(124)
§ 2-3 各种高效气割机的安装、调试、验收、操作及故障排除	(129)
§ 2-4 金属材料的可割性	(149)
§ 2-5 气割课题操作技能考核	(154)
课题三 氧乙炔焰喷涂和喷焊	(157)
§ 3-1 典型产品的喷涂	(157)
§ 3-2 典型产品的喷焊	(164)
§ 3-3 氧乙炔焰喷涂喷焊课题考核	(174)
课题四 焊接检验及焊接接头强度计算	(176)
§ 4-1 焊接检验	(176)
§ 4-2 焊接接头静载强度计算	(196)
§ 4-3 焊接接头静载强度计算考核	(205)
课题五 复杂结构各种变形的火焰矫正	(207)
§ 5-1 复杂结构各种变形的火焰矫正	(207)
§ 5-2 复杂结构焊接变形矫正课题操作技能考核	(227)

课题一 气 焊

气焊的优点是设备简单,操作方便,成本低,可应用于碳钢、合金钢及一些有色金属的薄件小件焊接。气焊黄铜时,可防止锌的蒸发,是黄铜常用的焊接方法。尤其是气焊铸铁,能防止产生白口组织,焊缝的化学成分和机械性能与母材相近,并且焊后加工性好。

气焊与电弧焊相比,其热量较为分散,加热缓慢,工件受热面积大,产生的应力和变形也大。同时,气焊时保护效果也不如电弧焊好,焊缝金属容易被氧化以及容易过热,晶粒粗大,而且生产效率低。在条件具备时往往采用手工电弧焊和氩弧焊等其它焊接方法取代气焊。

总之,气焊主要应用于铸铁、有色金属及其它场合的补焊工作,一般不用于结构的施焊。

§1-1 新材料的焊接性试验

采用新研制的材料或从未采用过的材料制造的焊接结构,必须了解该材料的特点,了解这种焊接结构在焊接和使用中可能出现的问题,以及为防止这些问题在焊接时应采取的工艺措施。为此,在焊接生产之前需进行焊接性试验及焊接工艺评定(PQR)。

一、相关知识

1. 焊接性概念

焊接性是指金属能否适应焊接加工而形成完整的、具有一定使用性能的焊接接头的特性。焊接性包括两个方面的内容:一是金属在经受焊接加工时对缺陷的敏感性;二是焊成的接头在一定的使用条件下可靠运行的能力。焊接性包括工艺焊接性、冶金焊接性和热焊接性。

(1) 工艺焊接性 焊接性是一个相对的概念。如果一种母材可以在很简单的工艺条件下焊接而获得完好的接头,并能满足使用要求,则可以说焊接性良好。反之,如果必须采用复杂的工艺措施,如需高温预热,高能量密度,高纯度保护气氛或真空度,以及焊后复杂热处理等才能够焊接,或者所焊的接头在性能上不能很好地满足使用要求,则可以说焊接性较差。由此可见,金属的焊接性不但取决于金属材料本身固有的性能,而且与工艺条件有密切的关系。

工艺焊接性就是金属在一定的工艺条件下,形成具有一定使用性能的焊接接头的能力。

影响工艺焊接性的因素有四个方面:

1) 材料因素 包括母材及焊接材料。所有这些材料在焊接时都直接参与熔池或熔合区的物理变化及化学反应。其中,母材是决定热影响区性能的关键因素,而所采用的焊接材料则是决定焊缝金属成分和性能的关键因素。如果焊接材料与母材匹配不当,则可能引起焊接接头的裂纹、气孔等缺陷,也可能引起脆化、软化或耐腐蚀等性能变化。所以为保证良好的焊接性,必须对材料因素予以充分的重视。

2) 工艺因素 同一种母材, 当采用不同的焊接方法, 不同的工艺措施及施焊的气候条件不同时, 其工艺焊接性会表现出极大的差别。

例如纯铝焊接时, 若采用气焊方法, 由于热源温度低、热量分散及保护不良等原因, 很难避免熔塌、气孔、未焊透等缺陷, 接头性能很差。铸铁在焊接时易产生白口组织, 需要加大焊接线能量而减缓冷却速度, 采用气焊方法对防止产生白口组织有利。

气候条件对工艺焊接性也有较大的影响。例如施焊场地的环境温度过低、湿度过大。在风口处施焊等, 很容易引起裂纹、气孔等焊接缺陷。

在各种工艺措施中, 采用最多的是焊前预热、焊后缓冷或焊后热处理, 这些措施对降低焊接残余应力, 减缓冷却速度, 防止热影响区淬硬脆化, 避免焊缝热裂纹, 使氢能顺利地析出, 避免氢致冷裂纹等都是比较有效的。此外, 严格清理焊件及焊丝, 合理安排焊接顺序, 控制焊前冷作变形, 保证坡口形状、尺寸及装配间隙等工艺措施, 也都必须充分重视。

3) 结构因素 设计焊接结构时, 应尽量使接头处于拘束度较小、能够较为自由地伸缩的状态, 这样有利于防止裂纹。应尽量避免存在缺口、截面突变、堆高过大、焊缝交叉等情况, 否则会造成应力集中, 不利于使用性能。母材厚度或焊缝体积很大时会造成多向应力状态, 影响承载能力, 也会影响工艺焊接性。

4) 使用条件 焊接结构必须符合使用条件的要求。因此, 使用条件是否严酷, 也必然影响到工艺焊接性。例如焊接接头在高温下承载, 必须考虑到某些合金元素的扩散和整个结构发生蠕变的问题; 承受冲击载荷或在低温下使用时, 要考虑到脆性断裂的可能性; 接头在腐蚀介质中工作或承受交变载荷作用时, 要考虑应力腐蚀或疲劳破坏的问题等。总之, 使用条件越是苛刻, 实际上就是对接头的质量提出了更高的要求, 工艺焊接性也就越不容易保证。

(2) 冶金焊接性 在焊接冶金过程中, 由于合金元素的氧化、还原、蒸发等, 易造成焊缝金属化学成分、金相组织及各种性能的改变; 氧、氮、氢等气体溶入, 可能造成气孔或影响焊缝金属的性能; 熔池结晶时的成分偏析及结晶方向等还可能产生热裂纹。这些都属于冶金焊接性范围。

焊接材料和焊接方法对冶金焊接性的影响同样很重要, 对焊接工作者来说, 提高冶金焊接性的途径并非单从研制新钢种或改进已有的钢种入手, 而是着重于开发新型焊接材料和焊接方法、改善保护条件及采取其它一些工艺措施等。其中一个方面是在焊接之前和焊接过程中要防止氧、氢、氮、硫、磷等有害气体和杂质侵入或混入到焊缝金属中。例如选择正确的焊接方法和焊接材料, 焊前严格清理焊件及焊丝表面, 焊接时选择正确的焊接工艺参数和正确的操作方法, 加强焊接区域的保护等。另一方面是一旦这些有害气体和杂质侵入到焊接熔池中, 要设法排除, 并进行脱氧、脱硫磷、除氢、渗合金等处理, 确保获得优质的焊接接头。

(3) 热焊接性 熔化焊接时, 一般都要向接头区域输入很多热量, 这就对邻近焊缝的金属形成了加热和冷却的热处理过程, 使金属发生固态相变, 并引起其强度、塑性、韧性、耐腐蚀性能的变化, 或由于过热晶粒粗化、脆化及应力而造成裂纹等缺陷, 这些均属热焊接性范围。

改善热焊接性的方法, 主要是正确选择焊接方法和焊接工艺参数。例如需要加大焊接线能量而减缓冷却速度时, 需选用功率密度低、加热分散的气焊、电渣焊等方法; 反之当需要减小焊接线能量时, 宜选择电子束焊、脉冲电弧焊等方法。此外, 预热、缓冷、强冷(浸水

或加垫板)等工艺措施可以改善热焊接性。

在分析焊接性时,必须十分重视具体工艺条件,也就是说要着重分析工艺焊接性。

2. 焊接性试验的内容

进行焊接性试验的目的,在于查明金属在给定的焊接工艺条件下可能产生的焊接缺陷及其使用性能,由此选择并确定合适的焊接方法、焊接材料、焊接工艺参数及必要的工艺措施等。

焊接性试验的内容是评定焊缝金属产生热裂纹的敏感性;评定焊接接头产生冷裂纹的敏感性;评定焊接接头产生热应力裂纹敏感性;评定焊接接头金属抗脆性转变能力;评定焊接接头的使用性能包括机械性能、耐腐蚀性能等。因此我们首先应该了解各种裂纹产生的原因及防止措施,并由此确定焊接性试验的内容,再进一步去掌握焊接性试验方法。焊接性试验涉及以下几个方面的内容:

(1) 焊接冷裂纹 焊接冷裂纹是在焊接接头冷却过程中在较低的温度时期形成的,例如对于结构钢一般在马氏体点 M_s 以下,所以称冷裂纹。

冷裂纹存在于中碳钢、高碳钢、合金结构钢,特别是中碳合金结构钢的焊接接头的热影响区中。但有些金属,如某些超高强钢、钛及钛合金等,有时也发生在焊缝金属中。

冷裂纹的产生原因,主要与钢种的淬硬倾向、焊接接头的含氢量及其分布以及焊接接头所承受的拘束应力状态这三大因素有直接关系。这三大因素在一定条件下是相互联系和相互促进的。气焊时由于冷却速度比较慢,所以,一般情况下焊接接头的淬硬倾向不大,因而产生冷裂纹倾向也不大。

防止冷裂纹产生的措施有以下两个方面:

1) 冶金因素方面

①从母材的化学成分上改进,如降低含碳量,增加多种微量合金元素等,提高钢材的抗裂性能。

②选用低氢的焊接工艺和焊接材料。

③严格控制氢的来源,如焊前严格清理接头处及焊丝表面,控制环境温度等。

④适当加入提高焊缝金属韧性的特殊微量合金元素,如钛硼、钼钒、铌、锡、碲、稀土等,降低冷裂敏感性。

2) 工艺因素方面

①正确采用预热、后热和焊后热处理等工艺措施是防止冷裂的重要手段。

②合理地布置焊缝,正确制定施焊顺序,改善结构应力状态。

③选择合适的焊接线能量,保持适当高的层间温度,如果层间温度偏低,产生冷裂敏感性加大。

冷裂敏感性试验方法有估算法,斜Y型坡口焊接裂纹试验法、插销冷裂纹试验法、搭接接头(CTS)焊接裂纹试验法等。

(2) 焊接热裂纹 焊接热裂纹是在焊接接头的冷却过程中,温度处于固相线附近的高温阶段形成的,所以称热裂纹,也称结晶裂纹。

产生热裂纹的原因,在于焊缝中的液态金属在结晶过程中,先结晶的金属较纯,后结晶的金属杂质较多,并且富集于晶界处,这些杂质所形成的共晶物都具有较低的熔点,在结晶的后期,这些低熔点共晶物被排挤到柱状晶体交遇的中心部位,形成液态薄膜。此时由于收

缩而受到拉伸应力，就可能在液态薄膜处形成裂纹。

气焊时由于加热速度较慢，加热时间较长，熔池金属在高温下停留时间较长，造成晶粒长大严重，加上冷却速度较慢，合金元素的偏析也比较严重，因此气焊时产生热裂纹的倾向是比较大的。

防止热裂纹产生的措施有以下两个方面：

1)冶金因素方面

①控制焊缝中硫、磷、碳等有害杂质的含量。这些元素不仅能形成低熔点共晶物，而且还能够促使偏析，增加热裂纹的敏感性。

②改善焊缝的一次结晶，可以用细化晶粒的方法，提高抗裂性。广泛采用的办法是向焊缝中加入细化晶粒元素如Mo、V、Ti、Nb、Zr、Al、Xt等。

2)工艺因素方面

①选择适当的焊接工艺参数，如适当提高预热温度等，降低热裂纹倾向。

②设计和施工时要考虑到接头形式不同，会影响受力状态。结晶条件及热的分布等，对热裂纹有很大影响。其次，接头处应尽量避免错边、咬肉、未焊透等造成的应力集中，以降低热裂纹倾向。

③焊接顺序的选定要尽量使大多数焊缝能在较小拘束度的条件下焊接，使焊缝能自由收缩。

④适当加大焊缝形状系数也有利于减少热裂纹。

焊接热裂纹敏感性试验方法有刚性固定对接裂纹试验、指形组合件抗裂试验等。

(3) 焊接接头的脆化 金属在焊接热循环的作用下，热影响区的组织分布是不均匀的，熔合区和过热区会出现严重的晶粒粗化，是焊接接头的薄弱环节。对于淬硬倾向较小的低碳钢、低合金钢等，由于晶粒长大甚至形成粗大的魏氏组织，会造成粗晶脆化。对于淬硬倾向大的钢，例如中碳钢、高碳钢、高强钢等，由于含碳量高及合金元素多，在熔合区及过热区内很容易产生硬而脆的高碳马氏体，并且冷却速度越快，形成的高碳马氏体越多，脆硬也就越加严重。此外，钢中的碳化物、磷化物、硅酸盐等夹杂物，以及磷、硫、锡、锑、氧等杂质在晶界偏析严重时，都会导致脆性转变温度增高，造成脆化。

焊接接头出现脆化，在使用过程中往往在低应力下发生脆性断裂，使结构破坏。脆性断裂破坏与焊接接头的组织、性能、存在的裂纹缺陷、应力集中以及低温等条件有关。

脆性断裂试验方法有落锤试验，COD试验等。

(4) 再热裂纹 对于合金元素较多的合金结构钢，在焊后消除应力热处理或其它形式的焊后再次加热处理过程中，会在接头处产生裂纹，把这种性质的裂纹称之为再热裂纹。再热裂纹的产生与加热温度和加热时间有密切关系，即存在一个最易于产生再热裂纹的敏感温度范围，如低合金高强钢一般在500~700℃之间。再热裂纹的产生以有大的残余应力和应变为先决条件，在大拘束度的厚件或应力集中部位最易产生再热裂纹。再热裂纹的产生部位均在近缝区的粗晶区中，大体沿熔合线方向在粗晶粒边界发展，至细晶区停止扩展。由于气焊的加热特点所决定，再热裂倾向大。

再热裂纹敏感性试验方法有改进Lehigh拘束试验，热膨胀式消除应力模拟试验等。

(5) 应力腐蚀裂纹 金属材料在某些特定介质和拉应力共同作用下，所发生的延迟破坏现象称为应力腐蚀裂纹。石油化工设备的破坏事故，主要是腐蚀破坏，而其中将近半数是由

力腐蚀破坏，其它是单纯的点蚀、晶间腐蚀或均匀腐蚀等破坏。

纯金属不产生应力腐蚀裂纹。对于合金则取决于材质与介质的匹配，即一定的材料只在一定的腐蚀环境中才会产生腐蚀开裂，同时，拉伸应力的存在是应力腐蚀开裂的先决条件。

(6) 层状撕裂 层状撕裂多产生在大厚度高强钢的T形接头或角接头中，一般都在热影响区或母材中。在外观上具有阶梯状的特征，与常见的冷裂纹、热裂纹有明显的区别，如图1-1所示。

层状撕裂的产生与钢材本身的塑性、韧性及夹杂物的数量、尺寸及分布有直接关系，同时，钢材厚度方向的拘束应力是产生层状撕裂的决定因素。气焊一般不焊厚件，故产生层状撕裂的敏感性小。

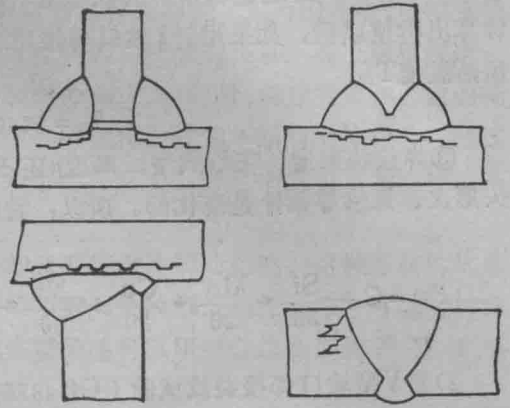


图1-1 层状撕裂示意图

3. 焊接性试验方法

(1) 冷裂敏感性试验方法

1) 估算法 因为焊接接头中热影响区的淬硬及冷裂倾向与钢材的化学成分有直接关系，所以可根据材料的化学成分等已知条件估价其冷裂敏感性。

① 碳当量法 钢材的常见元素中，碳是对淬硬和冷裂影响最显著的元素，所以人们把各种元素都按相当于若干含碳量折合并叠加起来求得碳当量 (C_{eg})，用它来估算冷裂倾向的大小但由于冷裂的影响因素比较复杂，所以碳当量公式也有许多种，只能作为分析焊接性的参考，常见的碳当量公式有：

国际焊接学会推荐 (IIW)：

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

美国焊接学会推荐 (AWS)：

$$C_{eg} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \left(\frac{Cu}{13} + \frac{P}{2} \right) (\%)$$

日本WES-135和JIS-3106中采用：

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

计算结果： C_{eg} 越大，冷裂纹倾向越大。这种方法大多用于采用其它试验方法之前，从理论上对冷裂纹敏感性进行分析。

② 焊接裂纹敏感指数 P_c 碳当量 C_{eg} 可以表明淬硬倾向，但用于表明冷裂倾向还不充分，因为冷裂还与焊缝中的含氢量及焊接接头拘束度有密切关系，因而提出焊接裂纹敏感指数 P_c 的计算公式：

$$P_c = C + \frac{\text{Si}}{30} + \frac{\text{Mn}}{20} + \frac{\text{Cu}}{20} + \frac{\text{Ni}}{60} + \frac{\text{Cr}}{20} + \frac{\text{Mo}}{15} + \frac{\text{V}}{10} + 5B + \frac{h}{600} + \frac{H}{60} (\%)$$

式中 h ——板厚, mm;

H ——焊缝金属中扩散氢含量, $\text{cm}^3/100\text{g}$ 。

计算出 P_c 值以后, 如果用斜Y坡口对接裂纹试验可以用下式求出防止冷裂纹所需要的最低预热温度 T_0 :

$$T_0 = 1440P_c - 392 (^\circ\text{C})$$

③焊接拘束度 在 P_c 式中, 厚度 h 还不能与实际焊接结构直接联系, 因为实际结构的接头形式、尺寸等条件是变化的。所以, 将 P_c 式中的 h 用拘束度 R_f 来代替, 得到公式:

$$P_w = C + \frac{\text{Si}}{30} + \frac{\text{Mn}}{20} + \frac{\text{Cu}}{20} + \frac{\text{Ni}}{60} + \frac{\text{Cr}}{20} + \frac{\text{Mo}}{15} + \frac{\text{V}}{10} + 5B + \frac{H}{60} + \frac{R_f}{40000} (\%)$$

2)斜Y型坡口焊接裂纹试验 (GB4675.1-84) 是应用最广泛、最方便的冷裂敏感性试验方法, 也称小铁研试验, 其试样尺寸如图1-2所示。

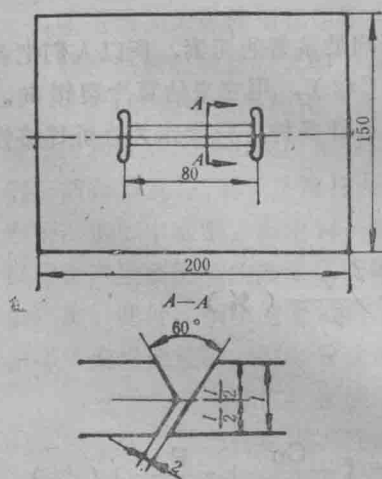


图1-2 斜Y坡口对接裂纹试样

1—被检查断面 2—表面裂纹 3—断面裂纹

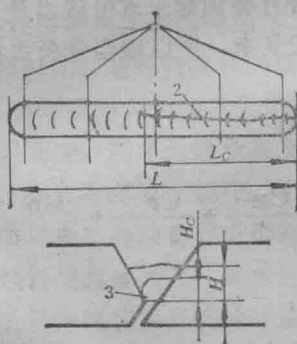


图1-3 插销试验简图

1—基板板 2—焊道 3—热影响区 4—试样

裂纹率计算公式如下:

表面裂纹率 = $L_c/L \times 100 (\%)$

断面裂纹率 = $H_c/H \times 100 (\%)$

试样厚度用被试材料厚度, 坡口可用整块板按图加工, 也可以采用两块试样加工后两端用焊接拼成, 中间留做试验焊缝。根据实验目的, 可以在不同温度下施焊, 每次试验焊2个试样。焊后试样放置24h, 然后检查裂纹, 表面裂纹用放大镜观察或用磁性荧光粉检验。断面

裂纹要截取5个横截面试样，进行宏观和微观的裂纹检查。由于试样的拘束作用很大，相当于实际根部有尖角和应力集中，所以冷裂敏感性很大。因此检查结果一般认为如裂纹率小于20%，在焊接实际结构时就不会发生冷裂纹。

3) 插销冷裂纹试验 (GB9446-88) 插销冷裂纹试验原理及装置如图1-3所示。

插销试棒用被试材料制成，插入基体板（不一定用被试材料制备）上的圆孔中，插销直径6-10mm，其环状或螺旋状缺口应位于热影响区的过热区内。试验时在基体板上堆敷焊道，将插销试棒端部熔化，与焊缝连在一起。焊后，当缺口冷却至150℃时，对插销施加一定的轴向拉伸载荷，并保持这一载荷，直至断裂。试验时做一组试样，施加不同的拉伸载荷，经过不同的时间后发生裂纹以及断裂。这样就可以求得一个临界应力，在这个应力下无论持续多长时间，插销都不发生裂纹或断裂。

用这种方法可研究含氢量、母材化学成分，冷却速度等对冷裂的影响。这种方法的优点是试验材料消耗少，接近实际焊接热循环条件。焊后不需大量的解剖检查工作，可以对材料的任意方向进行冷裂敏感性测试。用全熔敷金属制备插销还可以研究焊缝金属的冷裂敏感性。

4) 搭接接头 (CTS) 焊接裂纹试验 (GB4675.2-84) 此法用于低合金钢及低碳钢焊接性的鉴定，对研究热影响区冷裂纹敏感性较好。试样如图1-4所示。

试验时先焊两侧的拘束焊缝，然后待冷却到室温后，焊接试验焊缝1，再次冷却到室温后，焊接固定焊缝2。焊后放置24h，再沿N-N、M-M、L-L、X-X线用机械方法切开，做磨片观察裂纹。

两块钢板之间以M12螺栓预先固定，如图1-4所示。

为了使焊件迅速冷却，可以通过热流方向数目或板厚的变化来实现，如图1-5所示，图中试验焊缝1的热流方向数目为2，而试验焊缝2的热流方向数目为3。

为了更明确地表示出试样的几何形状，可以采用热拘束度指数TSN数来相对比较。假定

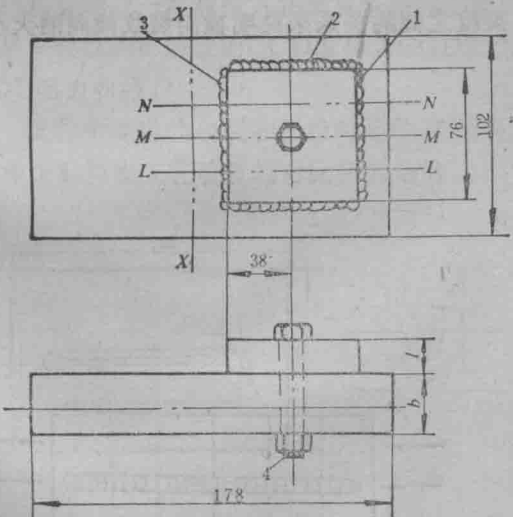


图1-4 CTS裂纹试验
1—试验焊缝 2—固定焊缝 3—试验焊缝 4—M12螺栓



图1-5 CTS裂纹试验热流方向数目
1—试验焊缝 2—试验焊缝

6mm厚度为1条热流方向,规定TSN数为1,上板厚为tmm,下板厚为bmm,则 试验焊缝 1的

TSN 数 = $\frac{1}{6} (b + t)$; 而试验 焊缝2的TSN数 = $\frac{1}{6} (2b + t)$ 。

对于某些厚度的上板和下板组合进行焊接时,其试验焊缝的TSN数见表1-1。在一定的冷却速度下能保持不产生裂纹的TSN数越高,则表明该钢材的抗裂性能越好。

表1-1 试验焊缝的 TSN 数

板 厚 (mm)		TSN 数	
上 板	下 板	试验焊缝1	试验焊缝2
6	6	2	3
12	12	4	6
24	24	8	12
6	12	3	5

(2) 热裂纹敏感性试验方法

1) 刚性固定对接裂纹试验 试样装配如图1-6所示, 试验前用角焊缝先将试板固定在厚大的底板上, 当焊接试验焊缝时, 焊缝要承受很大的刚性拘束, 故可用于测定焊缝金属的热敏感性。实际焊接结构拘束度一般没有这么大, 所以对试验结果应做必要的分析。

2) 指形组合件抗裂试验 试样由若干窄条组成, 用夹具夹持在一起, 好象并拢的手指, 故名指形组合件。如图1-7所示。其试验条件与汽轮机叶片与叶轮焊接时的条件相仿, 常用于测定奥氏体热强钢和高温合金钢等焊缝金属的横向裂纹敏感性。改变窄条的宽度和厚度即可调节刚度, 出现裂纹的可能性也变化。焊后检查焊缝表面裂纹长度或断面上裂纹区的面积以评价焊缝热裂倾向, 也可以用窄条宽度与发生裂纹之间的关系来说明横向裂纹倾向的大小。

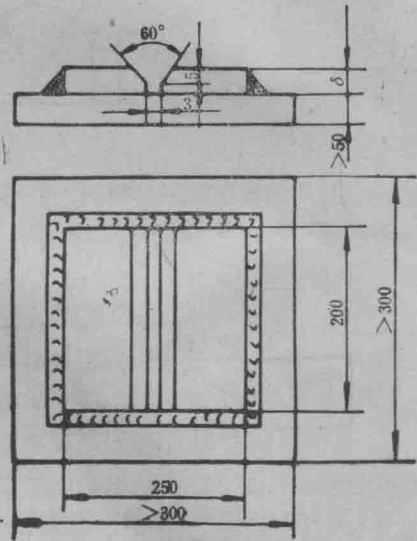


图1-6 刚性固定对接裂纹试验

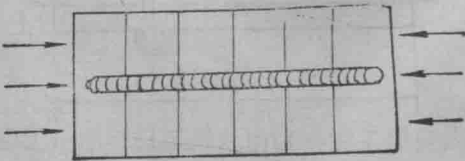


图1-7 指形组合件试验

(3) 脆性断裂试验

1) 落锤试验 试验装置及原理如图1-8所示。这是一种动载荷简支弯曲试验。试样有三种尺寸，其厚度、宽度、长度分别为 $25 \times 89 \times 355\text{mm}$ ， $19 \times 51 \times 127\text{mm}$ 和 $16 \times 51 \times 127\text{mm}$ 。试验前要求在试样受拉表面中心，沿长度方向堆焊一条脆性焊道，焊道中央锯一条缺口，然后把缺口放在砧座上。在不同温度下用落锤冲击，根据材料的屈服强度和板厚选定锤头重量、支座跨距及试验终止挠度，以此限定其变形量。

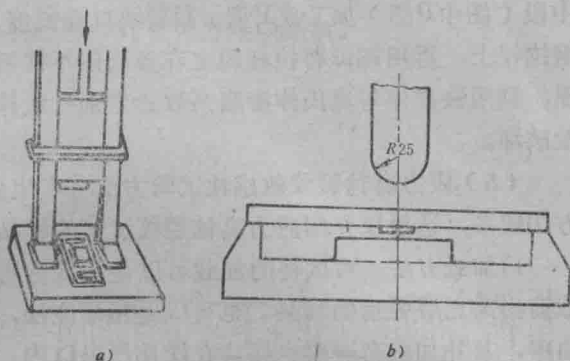


图1-8 落锤试验示意图

a) 落锤试验装置 b) 锤头打击试板的位置

试样断裂时的温度称为零塑性转变温度，简称NDT温度，它表明当温度低于NDT温度时，材料断裂时没有延性，属于脆性断裂。

2) COD试验 裂纹张开位移试验也称COD试验，采用带有预制疲劳裂纹的三点弯曲试样，如图1-9所示。三点弯曲时，一个支点在缺口背面，另两个支点在缺口同一面的两侧，跨距 $4W$ (W 为试样的宽度和厚度)，缺口加工时先用线切割、锯或铣切加工出根部半径 $<0.1\text{mm}$ 的切口，然后施加疲劳载荷，造成尖锐裂纹。对于焊接接头，疲劳裂纹可位于热影响区及焊缝的不同区域，以便对比。

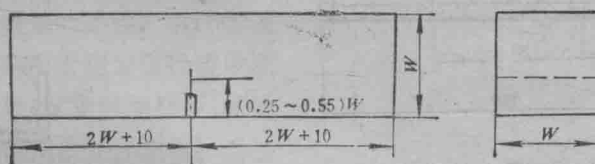


图1-9 COD试样

加载时，一定载荷下原始裂纹尖端部位的张开位移简称COD，符号用“ δ ”表示，相应于某一裂纹的扩展量的COD值称为COD阻力值，COD阻力值与裂纹扩展量的关系曲线称为COD阻力曲线。

试验中测得的起裂和失稳时的COD值可用于评定结构的安全性，求得的COD阻力曲线可作为材料或工艺质量相对比较的依据。

(4) 再热裂纹敏感性试验方法

①改进Lehigh拘束试验 其试板坡口形式、尺寸如图1-10所示，作再热裂纹试验时，在坡口内焊一道焊缝，形成大的焊接残余应力，焊后进行消除应力热处理，然后用金相法检查裂纹。为防止焊接时产生冷裂纹，应进行适当预热。此法有较好的重复性，在美国常用。

2) 热膨胀式消除应力模拟试验 这种试验如图1-11所示，试样为 $\phi 12$ 圆棒，试样

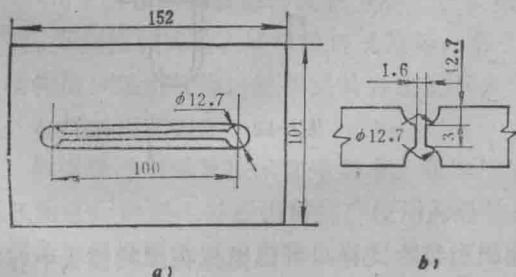


图1-10 改进Lehigh拘束试验

a) 试板 b) 坡口式形

中段(图中D部)加工成V型、U型缺口或长度为10mm的细颈,把试样安装在铁素体 不锈钢拉杆上,再用螺母将拉杆固定在奥氏体不锈钢的套管中,然后整体入炉进行消除应力热处理,利用铁素体与奥氏体膨胀系数的差别对试棒造成拉伸应力。这种试验可以较好地再现塑性破坏。

(5) 应力腐蚀裂纹敏感性试验方法 产生应力腐蚀裂纹的影响因素比较复杂,其试验方法较多,这里仅介绍应力腐蚀裂纹试验的样品形式、加载方法、腐蚀介质和试验方法等。

1) 加载方法 对试样的加载可以是恒载荷法,如弹簧加载或悬挂一定重量等,一般外加载荷约为屈服强度的15%。也可以是恒应变法,如将试样拉伸至一定变形量或弯曲到一定的曲率,其外加载荷一般也保持在比例极限以内。

2) 样品形式

① U型弯曲试样 是将长条形薄片试样围绕一定半径的轴弯曲180°左右而成,其弯曲过程如图1-12所示。其弯曲表面顶部一般超过了材料的弹性极限,是在塑性变形状态下进行腐蚀试验的。

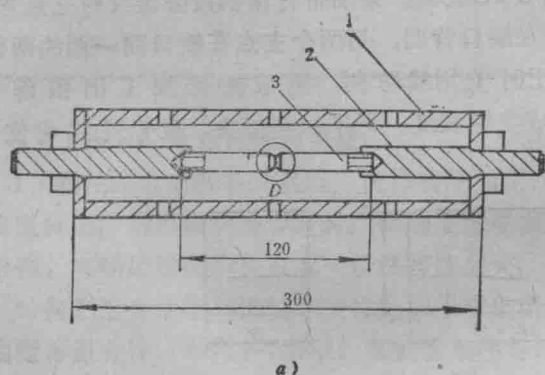


图1-11 热膨胀式消除应力模拟试验

a) 试验装置 b) D部的V形、U形及细颈
1—奥氏体钢管 2—铁素体拉杆 3—试件

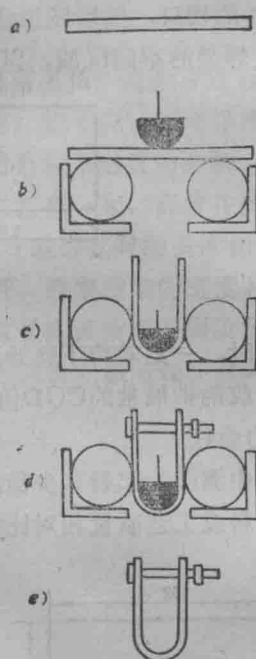


图1-12 U形试样弯曲过程

② 缺口试样和预制裂纹试样 带有缺口或预制裂纹的试样,可以模拟在焊接接头中存在裂纹时的应力腐蚀条件,如能测出应力腐蚀界限强度因子,则在临界值以下将不会发生应力腐蚀破坏。

缺口C形环试样如图1-13所示,其缺口根部为三轴应力点,应力可达塑性变形。缺口拉

伸试样如图1-14所示，改变缺口深度或圆角半径即可调节应力集中系数。

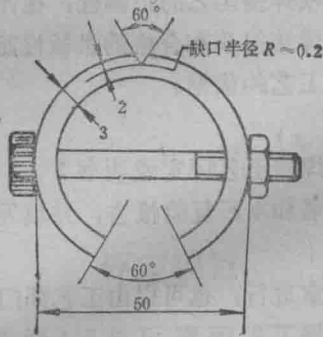


图1-13 缺口C形环试样

预制裂纹试样如图1-15所示，试样一端固定于支柱内，另一端加上引伸臂，悬臂端部加载，根据不同的应力，记录破断时间，即可求出应力腐蚀界限强度因子。

3) 腐蚀介质 选择腐蚀介质应考虑其对试验材料有较大应力腐蚀敏感性，不产生或少产生均匀腐蚀，以免由于均匀腐蚀造成机械破坏而影响试验结果；试验周期要短；条件易于控制等。试验室常用腐蚀介质有：对铁素体和马氏体不锈钢用3.5%NaCl溶液，对奥氏体 不锈钢用沸腾的42%MgCl₂溶液，或25%NaCl+0.5%k₂Cr₂O₇（200℃）溶液，此外试验时 还应控制温度、pH值、接触面积、浸入溶液时间、干燥时间等。

4) 抗应力腐蚀能力的表示方法 材料的抗应力腐蚀能力可用下面方式表示：试样的 寿命；应力—破断时间曲线；应力—孕育期曲线；应力—未破裂试样百分数曲线；以及机械性能变化等。这些表示方法都各有其优缺点，应根据试验目的适当选用。

(6) 层状撕裂敏感性试验方法 层状撕裂敏感性试验方法有Z向窗口试验、Cranfield 试验、Z向拉伸试验、缺口拉伸试验等，由于层状撕裂多发生在大厚度 的高强钢结构上，这些结构很少采用气焊，这些试验方法就不多介绍了。

4. 焊接工艺评定

根据设计图样及技术文件要求，在焊接生产之前，制造厂必须对所采用的焊接工艺及焊工技能进行评定，并提出供生产使用的经过评定的焊接工艺规程。国际焊接协会IIW 标准《钢结构焊接规范》中对此也有要求。这里以锅炉及压力容器为例，介绍焊接工 艺评定 规程。

《焊接工艺评定规程》

(1) 总则

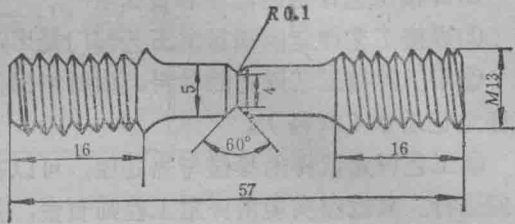


图1-14 缺口拉伸试样

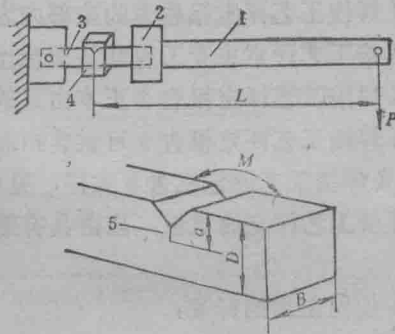


图1-15 预制裂纹试样及其加载方法
1—引伸臂 2—卡头 3—试样 4—溶液 5—疲劳裂纹

1) 焊接工艺评定的目的与范围

① 本规程用于锅炉及压力容器的焊接工艺评定。

② 焊接工艺评定是通过试样的焊接与试验,证实该项焊接工艺的正确性,在评定内容的有效范围内,使用该项焊接工艺条件,可以获得完好的焊接接头和合格的机械性能。

③ 合格的焊接工艺评定结果,是制定供生产用焊接工艺的依据。

2) 焊接工艺评定的程序和责任者

① 焊接工艺评定的项目由工艺部门提出,并填写《焊接工艺评定说明书》。

② 用于焊接工艺评定的材料,由材料部门提供质保书和本厂复验报告,并填写《焊接工艺评定记录》(材料)。

③ 工艺评定试样的焊接与热处理,可以在焊接实验室进行,也可以由工艺部门委托生产车间进行。其过程实现由评定工程师负责,并填写《焊接工艺评定记录》(规范与热处理)。

④ 工艺评定试样的无损检验与理化检验,可以在中心实验室进行。

3) 《焊接工艺评定报告》的全部内容,由评定工程师汇集分析后作出结论,质管工程师会签,焊接工艺评定主管工程师签署后生效。

4) 《焊接工艺评定报告》正本由质管部门存档,工艺部门持副本。

5) 《焊接工艺评定报告》可供客户和质量主管机关查阅。

6) 《焊接工艺评定报告》式样,见13~18页。

7) 焊接工艺评定的试板,应由具有熟练技能的焊工施焊,以避免由于操作不良引起试样误差。

8) 本规程使用的标准:

① GB2650—89 焊接接头冲击试验方法。

② GB2651—89 焊接接头拉伸试验方法。

③ GB2652—89 焊缝及熔敷金属拉伸试验方法。

④ GB2653—89 焊接接头弯曲及压扁试验方法。

⑤ JB1152—81《钢制压力容器对接焊缝超声探伤》。

⑥ GB3323—87《钢熔化焊对接接头射线照相和质量分级》。

9) 在资料数据齐全、稳定的情况下,由产品取的试样的试验结果可以作为评定报告的内容。

10) 焊接工艺评定试验不合格时,同块试板不作重复取样及试验。

(2) 基本金属

1) 根据基本金属的化学成分、机械性能及焊接性将锅炉非受力部件常用钢号划分下列组别,见表1-2。

2) 同一组别的基本金属所做的试样,其评定结果可以通用有效。但技术条件另有要求时,需对每个钢号分别评定。

(3) 填充金属

1) 凡属下列情况之一时,必须分别作评定。

① 焊丝或焊带的牌号变动。

② 填充金属的使用与否。