



国家级职业教育规划教材

人力资源和社会保障部职业能力建设司推荐

高等职业院校焊接技术及自动化专业任务驱动型教材

金属材料焊接

JINSHU CAILIAO HANJIE

人力资源和社会保障部教材办公室组织编写

葛国政 主编



中国劳动社会保障出版社



国家级职业教育规划教材

人力资源和社会保障部职业能力建设司推荐

高等职业技术学院焊接技术及自动化专业任务驱动型教材

金属材料焊接

JINSHU CAILIAO HANJIE

葛国政 主编

 中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

金属材料焊接/葛国政主编. —北京:中国劳动社会保障出版社, 2011
高等职业技术学院焊接技术及自动化专业任务驱动型教材
ISBN 978-7-5045-8925-5

I. ①金… II. ①葛… III. ①金属材料-焊接-高等职业教育-教材 IV. ①TG457.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 035816 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街1号 邮政编码:100029)

出版人:张梦欣

*

新华书店经销

北京地质印刷厂印刷 三河市华东印刷装订厂装订
787毫米×1092毫米 16开本 13.75印张 315千字
2011年4月第1版 2011年4月第1次印刷

定价:25.00元

读者服务部电话:010-64929211/64921644/84643933

发行部电话:010-64961894

出版社网址:<http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话:010-64954652

如有印装差错,请与本社联系调换:010-80497374

前 言

为了更好地满足企业对焊接技术及自动化专业高技能人才的需求,全面提升教学质量,人力资源和社会保障部教材办公室组织全国有关院校的一线教学专家、企业技术专家,在充分调研企业生产实际和学校教学实际的基础上,精心编写了高等职业技术学院焊接技术及自动化专业教材,包括《金属熔焊基础》《冷作技术》《焊条电弧焊技术》《埋弧焊技术》《气体保护焊技术》《金属材料焊接》《焊接结构生产》和《焊接检测技术》。

本套教材紧紧围绕焊接工艺制定、焊接操作、焊接施工管理、焊接质量控制和检测等岗位的要求,参照《国家职业技能标准·焊工》设计内容,并确定以培养焊接工程现场操作能力、典型结构件焊接工艺制定能力、焊接质量检测与控制能力、焊接工程施工组织管理能力为主要教学目标。

焊接工程现场操作能力:主要通过《冷作技术》《焊条电弧焊技术》《埋弧焊技术》《气体保护焊技术》的教学,使学生能熟练进行一般性焊接工程的施工,能完成焊接材料选择、划线、号料、下料、装配、焊接等工作,熟悉相关设备。

典型结构件焊接工艺制定能力:主要通过《金属熔焊基础》《金属材料焊接》《焊接结构生产》的教学,使学生能熟练编制简单容器结构、桁架结构、格架结构、梁柱结构等常见中小型结构的焊接工艺,能读懂典型焊接结构的设计资料并对其合理性做出判断。

焊接质量检测与控制能力:主要通过《焊接检测技术》的教学,使学生能较熟练运用有关检测设备和方法并依据检测标准进行焊接质量检测。

焊接工程施工组织管理能力:主要通过《焊接结构生产》的教学,使学生能熟练进行焊接工程的现场组织与管理等工作。

在教材内容的组织上，采用任务驱动的编写思路。在教材的每一单元，首先提出具体的学习任务，使学生明确目标，产生学习的积极性；然后结合具体实例，讲解完成任务所需要的相关知识，使学生认识由感性上升到理性；在任务实施环节，详细介绍完成任务的步骤和注意事项，使学生能够顺利完成任务，增强学生的成就感。

在本套教材编写过程中，我们得到了有关省市人力资源和社会保障部门、高等职业技术学院和相关企业的大力支持，教材的编审人员做了大量的工作，在此表示衷心感谢！同时，恳切希望广大读者对教材提出宝贵的意见和建议。

人力资源和社会保障部教材办公室

2011年3月

简介

本书由人力资源和社会保障部教材办公室组织编写，人力资源和社会保障部职业能力建设司推荐使用。教材内容由金属焊接性及其试验方法、非合金钢（碳素钢）的焊接、合金结构钢的焊接、不锈钢的焊接、耐热钢的焊接、铸铁的焊接、非铁金属材料的焊接、异种金属材料的焊接、新材料的焊接等模块组成，每个模块下有若干教学任务，每个教学任务按任务提出、任务分析、相关知识、任务实施、任务评价、思考与练习等环节展开。

本书为高等职业院校焊接技术及自动化专业教材，也可作为成人高校、本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校的相关专业教材，或作为自学用书。

本书由天津机电职业技术学院葛国政、张维津，天津石油职业技术学院刘军帅，天津城市建设管理职业技术学院赵敏，大庆职业技术学院李文聪，广东省高级技工学校罗茗华，天津百利机电控股集团有限公司郭建辉编写。葛国政担任主编并统稿，张维津担任副主编，天津中德职业技术学院付书林、辽宁冶金技师学院王长忠主审。

目 录

模块一 金属材料的焊接性及试验方法	(1)
任务 1 金属材料焊接性理论评估	(1)
任务 2 金属材料焊接性试验评估	(6)
模块二 非合金钢（碳素钢）及其焊接工艺	(17)
任务 1 低碳钢的焊接	(17)
任务 2 中碳钢的焊接	(25)
任务 3 高碳钢的焊接	(31)
模块三 合金结构钢及其焊接工艺	(36)
任务 1 热轧及正火钢的焊接	(36)
任务 2 低碳调质钢的焊接	(47)
任务 3 中碳调质钢的焊接	(57)
任务 4 低温钢的焊接	(64)
模块四 不锈钢及其焊接工艺	(73)
任务 1 奥氏体不锈钢的焊接	(73)
任务 2 铁素体不锈钢的焊接	(87)
任务 3 马氏体不锈钢的焊接	(92)
模块五 耐热钢及其焊接工艺	(98)
任务 1 低、中合金耐热钢的焊接	(98)
任务 2 高合金耐热钢的焊接	(108)

模块六 铸铁及其焊接工艺	(118)
任务1 灰铸铁的焊接.....	(118)
任务2 球墨铸铁的焊接.....	(134)
模块七 非铁金属材料的焊接	(139)
任务1 铝及铝合金的焊接.....	(139)
任务2 铜及铜合金的焊接.....	(151)
任务3 钛及钛合金的焊接.....	(166)
模块八 异种金属的焊接	(179)
任务1 珠光体钢与奥氏体不锈钢的焊接.....	(179)
任务2 低碳钢与低合金钢的焊接.....	(189)
模块九 新材料的焊接	(195)
任务1 镍及镍合金的焊接.....	(195)
任务2 陶瓷的焊接.....	(203)

模块一 金属材料的焊接性及试验方法

在新材料的研制开发、新工艺的科学研究以及新型焊接结构产品的投产准备等工作中，都应当进行相关的焊接性分析和试验，也就是应当对具体焊接工艺条件下金属材料的焊接性进行试验及评定，以确保获得优质的焊接质量以及满足焊接结构产品的使用条件和技术要求。焊接性研究的基本方法是先分析后试验，即在焊接性理论分析的基础上再做必要的焊接性试验。焊接性分析可以避免试验的盲目性，焊接性试验可以验证理论分析的结果。总之，焊接性的分析与试验是焊接性研究中的两个重要方面。

任务1 金属材料焊接性理论评估

技能点

- ◎ 能够对金属材料的焊接性进行分析。

知识点

- ◎ 金属材料的焊接性及其影响因素、分析金属材料焊接性的方法。

任务提出

金属材料经过焊接加工，形成焊接接头而实现材料的连接。在具体的焊接条件下，有的金属容易焊接，有的就难以焊接。焊接后焊接接头质量有优良和低劣之分，能否满足产品在气密性、耐蚀性、耐磨性等方面的使用性能要求，都可以反映出金属材料的焊接性。所以，焊接性是金属材料的重要性能指标之一。

某低合金结构钢化学成分的质量分数为 $w(\text{C}) = 0.2\%$ 、 $w(\text{Mn}) = 0.85\%$ 、 $w(\text{Cr}) = 0.09\%$ 、 $w(\text{Mo}) = 0.11\%$ 、 $w(\text{V}) = 0.015\%$ 、 $w(\text{Ni}) = 0.07\%$ 、 $w(\text{Cu}) =$

0.065%，试求该低合金结构钢的碳当量并对其焊接性进行评估。

任务分析

影响钢材焊接性的主要因素是其化学成分，在各种元素中，碳元素对钢材焊接性的影响最明显，其他元素的影响程度可先折合成碳的含量，然后用碳当量来估算被焊钢材的焊接性。另外，硫和磷对钢材焊接性的影响也很大，因此各种钢材对硫、磷的含量都必须严格限制。

相关知识

一、金属材料焊接性的概念

金属材料焊接性是指金属材料对焊接加工的适应能力。它主要是指金属材料在一定的焊接工艺条件（包括焊接方法、焊接材料、焊接参数、结构形式等）下，焊接成符合设计要求、满足使用要求的构件的难易程度。通常将焊接性分为工艺焊接性和使用焊接性两类。

1. 工艺焊接性

工艺焊接性是指在一定焊接工艺条件下，材料能否获得优质、无缺陷焊接接头的能力。就熔焊而言，根据其焊接热过程的特点，又有热焊接性和冶金焊接性之分。所谓热焊接性，是指焊接热过程对热影响区组织性能及产生缺陷的影响程度，用以评定材料对焊接热过程的敏感性（晶粒长大倾向及组织性能变化）。热焊接性与材料性质及焊接工艺条件相关。冶金焊接性是指冶金反应对焊缝性能和产生缺陷的影响程度，包括合金元素的氧化、还原、蒸发，焊接区气体的溶解和析出，以及对气孔、夹杂、裂纹等缺陷的敏感性。冶金焊接性直接影响焊缝的化学成分及其组织。

2. 使用焊接性

使用焊接性是指在给定的焊接工艺条件下，焊接接头或整体结构满足使用要求的能力。其中包括焊接接头的常规力学性能、低温韧性、高温蠕变、疲劳强度，以及耐热、耐蚀、耐磨等特殊性能。

二、金属材料焊接性的影响因素

金属材料的焊接性除了受材料本身性能影响外，还受到制造工艺条件、结构设计条件及使用条件等因素影响。

1. 材料因素

材料因素是指焊接时直接参与物理化学反应和发生组织变化的所有材料，包括母材本身和使用的焊接材料。如焊条电弧焊用的焊条、埋弧焊用的焊丝和焊剂、气体保护焊用的焊丝和保护气体等，它们在焊接时都直接参与熔池及半熔化区的冶金过程，直接影响焊接质量。正确选用母材和焊接材料是保证焊接性良好的重要基础，必须十分重视。

2. 工艺因素

对于同一母材，当采用不同的焊接方法和工艺措施时，会表现出不同的焊接性。如钛合金对氧、氮、氢极为敏感，用气焊和焊条电弧焊不可能焊好，而用氩弧焊或真空电子束焊时

因能防止氧、氮、氢的侵入，故容易焊接。

焊接方法对焊接性的影响主要来自两个方面：一是热源的特点（功率密度、加热方式、热源参数及极性），它可以直接影响焊接热循环的主要参数，从而影响焊接接头的组织与性能；二是不同的保护方式（如熔渣保护、气体保护、气渣联合保护或真空保护），它会影响焊接冶金过程，从而对焊接接头的质量和性能产生重要影响。

工艺措施对防止焊接接头缺陷的产生、提高使用性能也有重要的影响。最常见的工艺措施是焊前预热、焊后缓冷和消氢处理，它们对防止热影响区淬硬变质、减小焊接应力、避免氢致冷裂纹等是比较有效的措施。

3. 结构因素

结构因素主要是指结构设计形式和焊接接头形式。它主要通过影响应力的分布状态进而影响焊接性，例如，结构形状、尺寸、板厚、接头形式、坡口形式、焊缝布置及截面形状等都是影响焊接性的结构因素。在结构设计时应使焊接接头处的应力处于较小状态，焊接时能够自由收缩，避免接头处产生缺口、截面突变、余高过大、交叉焊缝等，这样有利于减小应力集中，防止产生焊接裂纹。

4. 使用条件

焊接结构的使用条件是多种多样的，例如，有的在高温或低温下工作，有的在静载或动载条件下工作，有的则在腐蚀介质中工作等。在高温下工作时，有可能发生蠕变；在低温或冲击载荷下工作时，会发生脆性破坏；在腐蚀介质中工作时，焊接接头要求具有耐腐蚀性。总之，使用条件越不利，焊接性就越不容易得到保证。

综上所述，金属的焊接性与材料、工艺、结构、使用条件等密切相关，所以不能脱离这些因素而单纯从材料本身的性能来评价焊接性。因此，很难找到一项技术指标可以概括金属材料的焊接性，只能通过多方面的研究对其进行综合评定。

三、金属焊接性的评定

焊接性评定分间接评定和直接评定两种，间接评定是通过材料的化学成分进行估计，有时也将材料厚度与结构刚度、冷却速度、扩散氢含量等因素考虑在内；直接评定就是通过试验方法确定焊缝金属的抗热裂纹能力、焊缝及热影响区金属的抗冷裂纹能力和抗再热裂纹能力、焊接接头的抗脆性转变能力，以及针对焊接接头的使用性能所做的各种试验（如力学性能试验、耐磨损试验、耐高温与低温试验、各种抗腐蚀能力试验、导电性和导磁性试验等）。有时为了某一特定结构的要求还要追加其他试验项目，如焊接接头的抗层状撕裂试验、核能容器焊接接头的防中子辐射试验、真空设备焊接接头的真空度试验等。

1. 间接评定

它是通过分析金属的化学成分、物理性能、相图特点、连续冷却转变图（CCT图）或模拟焊接热影响区的连续冷却转变图（SHCCT图）等，在一定程度上来评定金属焊接性的方法。

（1）利用金属的化学成分分析

1）碳当量法。钢材的化学成分对焊接热影响区的淬硬及冷裂倾向有直接影响，因此可以用化学成分来分析其冷裂纹敏感性。各种元素中，碳对冷裂纹敏感性的影响最显著。因而，人们就将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。所谓“碳当

量”，就是把钢中包括碳在内的合金元素对淬硬、冷裂及脆化等的影响折合成碳的相当含量。碳当量法是一种粗略评价冷裂纹敏感性的方法。国际焊接学会推荐的碳钢和低合金高强度钢碳当量计算公式为

$$CE (\%) = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V) / 5 + (Ni + Cu) / 15 \quad (1-1-1)$$

式中的化学元素符号表示该元素在钢材中的质量分数。

碳当量 CE 值越高，钢材的淬硬倾向越大，冷裂纹敏感性也越大，焊接性越差。经验表明，当 $CE < 0.4\%$ 时，钢材的淬硬倾向和冷裂纹敏感性不大，焊接性良好，焊接时一般可不采取预热等工艺措施；当 $CE = 0.4\% \sim 0.6\%$ 时，钢材的淬硬倾向和冷裂纹敏感性增大，焊接性较差，焊接时需要采取预热、控制焊接参数、焊后缓冷等工艺措施，以防止产生冷裂纹；当 $CE > 0.6\%$ 时，钢材的淬硬倾向大，容易产生冷裂纹，焊接性差，焊接时需要采用较高的预热温度和采取其他严格的工艺措施以及焊后热处理等，才能保证焊接质量。

由于碳当量计算公式是在某种试验情况下得到的，对钢材的适用范围有一定限制。它只考虑了化学成分对焊接性的影响，没有考虑冷却速度、扩散氢含量和结构刚度等重要因素对焊接性的影响，故利用碳当量法只能在一定范围内粗略地评估焊接性。

2) 焊接冷裂纹敏感指数法。焊接冷裂纹敏感指数 (P_c) 不仅考虑了母材的化学成分，又考虑了熔敷金属含氢量与拘束条件 (板厚) 的作用，对焊接冷裂纹敏感性的间接评定比碳当量法更加客观准确。例如，斜 Y 形坡口焊接裂纹试验的冷裂纹敏感指数公式为

$$P_c (\%) = C + Si/30 + (Mn + Cu + Cr) / 20 + Ni/60 \\ + Mo/15 + V/10 + 5B + \delta/600 + [H] / 60 \quad (1-1-2)$$

式中 δ ——板厚，mm；

$[H]$ ——焊缝中扩散氢含量，mL/100 g。

式 (1-1-2) 适用于低碳且含多种微量合金元素的低合金高强度钢。适用条件： $w(C) = 0.07\% \sim 0.22\%$ 、 $w(Si) \leq 0.60\%$ 、 $w(Mn) = 0.4\% \sim 1.40\%$ 、 $w(Cu) \leq 0.50\%$ 、 $w(Ni) \leq 1.20\%$ 、 $w(Cr) \leq 1.20\%$ 、 $w(Mo) \leq 0.7\%$ 、 $w(V) \leq 0.12\%$ 、 $w(Nb) \leq 0.04\%$ 、 $w(Ti) \leq 0.05\%$ 、 $w(B) \leq 0.005\%$ 、 $\delta = 19 \sim 50$ mm、 $[H] = 1.0 \sim 5.0$ mL/100 g (按 GB/T 3965—1995《熔敷金属中扩散氢测定法》测定)。

根据 P_c 值可以通过经验公式求出斜 Y 形坡口焊接裂纹试验条件下，为了防止冷裂纹需要的最低预热温度 T_0 (°C) 为

$$T_0 = 1440P_c - 392 \quad (1-1-3)$$

(2) 利用金属材料的物理性能分析。金属的熔点、热导率、线膨胀系数、比热容以及密度等物理性能指标，对焊接热循环、冶金反应以及凝固相变等过程都有明显的影响，根据金属材料物理性能的特点，可以预测出在焊接过程中出现的问题，并设法加以预防及解决。如在焊接热导率大的材料时，由于其散热快，焊接凝固过程中很容易产生气孔、未熔合等缺陷；而一些热导率小的材料 (如钛、不锈钢)，则由于高温停留时间延长会导致晶粒粗化。此外，焊接线膨胀系数大的材料 (如不锈钢)，焊接接头的应力变形必然严重；焊接密度小的材料 (如铝及其合金)，则容易在焊缝中形成气孔或夹杂物。

(3) 利用金属材料的化学性能分析。化学性能比较活泼的金属 (如铝、钛及其合金)，在焊接过程中极易被氧化。有些金属对氧、氢、氮等气体较敏感，在进行焊接时，需要采用

较可靠的保护方法（如惰性气体保护焊或在真空中焊接），有时焊缝背面也需要采取保护措施，以防止氧、氢、氮等对焊缝及热影响区的污染。

（4）利用合金相图分析。大多数被焊材料都是合金，或至少含有某些杂质元素，因而可以利用其相图分析焊接性问题。例如，对于共晶型相图来说，其固、液相线之间温度区间的大小，会影响结晶时的成分偏析，影响生成低熔点共晶体的程度，也影响脆性温度区间的大小，这是分析热裂倾向的重要参考依据。另外，若结晶凝固时形成单向组织，则焊缝晶粒易于粗大，也是形成热裂纹的重要影响因素。

（5）利用 CCT 图或 SHCCT 图分析。对于各类低合金钢，可以利用其各自的连续冷却曲线（CCT 图）或模拟焊接热影响区的连续冷却曲线图（SHCCT 图）分析其焊接性问题。这些曲线可以大体上说明在不同焊接热循环条件下将获得哪种金相组织和硬度，可以估计有无冷裂危险，以便确定适当的焊接工艺条件。

上面列出的几个焊接性分析的主要依据只作为分析焊接性时的参考，而不能作为准确的评价指标，只有通过焊接性试验才能得到准确的结果。

2. 直接评定

直接评定法是通过试验结果进行评定，虽然比间接评定法复杂，但准确性要高得多。因此，一般程序都是先以间接评定法对材料的焊接性进行估计，然后再根据估计得出的焊接性，设计出可行的焊接工艺方案，并以直接评定法进行焊接性试验，以确认所制定焊接工艺方案的正确性。常用的焊接性试验方法包括斜 Y 形坡口焊接裂纹试验方法、T 形接头焊接裂纹试验方法、焊接热影响区最高硬度试验方法、焊缝和焊接接头常规力学性能试验方法等。

任务实施

一、碳当量的计算

由钢材的碳当量计算公式（1—1—1）得

$$\begin{aligned} CE(\%) &= C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15 \\ &= 0.2\% + 0.85\%/6 + (0.09\% + 0.11\% + 0.015\%)/5 + (0.07\% + 0.065\%)/15 \\ &= 0.394\% \end{aligned}$$

二、焊接性的评估

经验表明，当碳当量 $CE < 0.4\%$ 时，钢材塑性良好，淬硬倾向不明显，焊接性良好。在一般的焊接工艺条件下，焊件不会产生裂缝，但对厚大工件或低温下焊接时应考虑预热。

此钢材的碳当量 $CE = 0.394\%$ （ $< 0.4\%$ ），故焊接性良好。

三、评估可靠性分析

利用碳当量法估算钢材焊接性是粗略的，因为钢材焊接性还受结构刚度、焊后应力条件、环境温度等影响。例如，当钢板厚度增加时，结构刚度增大，焊后残余应力也较大，焊缝中心部位将出现三向拉应力，这时实际允许的碳当量值将降低。因此，在实际工作中确定材料焊接性时，除初步估算外，还应根据情况进行焊接裂纹试验及焊接接头使用焊接性试验，为制定合理焊接工艺方案提供依据。

任务评价

金属材料焊接性理论评估的评分标准见表 1—1—1。

表 1—1—1

金属材料焊接性理论评估的评分标准

序号	考核内容	评分标准	配分	得分
1	金属材料焊接性	焊接性的定义 10 分, 焊接性的分类 10 分	20	
2	焊接性的影响因素	四个影响因素各占 5 分	20	
3	焊接性的评定	间接评定部分 20 分, 直接评定部分 10 分	30	
4	碳当量的计算	正确列出碳当量公式 10 分, 计算 5 分	15	
5	冷裂纹敏感指数 (P_c) 的计算	正确列出冷裂纹敏感指数公式 10 分, 计算 5 分	15	
总分合计			100	

思考与练习

1. 什么是金属材料的焊接性?
2. 影响金属材料焊接性的因素有哪些?
3. 如何评定金属材料的焊接性?

任务 2 金属材料焊接性试验评估

技能点

- ◎ 掌握金属材料焊接性试验的常用方法。

知识点

- ◎ 金属材料焊接性试验的内容、方法和种类。

任务提出

金属材料焊接性试验即评定母材焊接性的试验。通过焊接性试验可以评定某种金属材料焊接性的优劣, 可对不同材料的焊接性进行比较, 为选择焊接方法、焊接材料和确定焊接参数提供可靠依据。

为了评定金属材料在焊接加工时对缺陷的敏感性和焊接接头能否满足结构的使用性能等要求, 相应的金属材料焊接性试验的方法很多。因抗裂性能是衡量金属材料焊接性的主要标

志,所以在实际生产中常用金属材料的焊接裂纹试验来评定其焊接性。

斜 Y 形坡口焊接裂纹试验又称“小铁研”试验,主要用于碳钢和低合金高强度钢焊接热影响区对冷裂纹敏感性的评定,是最常用的抗裂性试验之一,具有试件易于加工、操作简单、试验结果可靠等优点。Q235 钢是最常见的低碳钢,试对其进行斜 Y 形坡口焊接裂纹试验,请根据试验结果评价其焊接性。

任务分析

斜 Y 形坡口焊接裂纹试验属于自拘束裂纹试验,要求严格遵守《焊接性试验——斜 Y 形坡口焊接裂纹试验法》的规定进行操作,包括试件制备、焊接、裂纹的检测和计算等。该试验是一种苛刻的抗裂性试验,可根据试验中冷裂纹的产生情况来对试件的焊接性进行评定。由于其拘束度大,因此只要试验焊缝表面裂纹率小于 20%,实际构件焊接生产时就不会产生冷裂纹(不包括定位焊、短段焊和补焊)。

相关知识

一、金属材料焊接性试验的内容

针对材料的不同性能特点和不同使用要求,焊接性试验内容包括焊缝金属抗热裂纹的能力、焊缝及热影响区金属抗冷裂纹的能力、焊接接头抗脆性转变的能力、焊接接头的使用性能。

1. 焊缝金属抗热裂纹的能力

热裂纹是熔池金属结晶过程中,由于一些有害元素的存在,在结晶末期形成低熔点共晶组织并受到热应力的作用而产生的。热裂纹的产生不仅和母材有关,而且与焊接材料的选择和使用有关。热裂纹是一种较常发生且危害严重的焊接缺陷,所以测定焊缝金属抗热裂纹的能力是焊接性试验的一项重要内容。

2. 焊缝及热影响区金属抗冷裂纹的能力

焊缝及热影响区金属在焊接热循环作用下,由于组织及性能变化,加上焊接应力和扩散氢的影响,可能产生冷裂纹。冷裂纹在低合金高强度钢焊接中是较为常见的缺陷,而且也是一种危害严重的缺陷,因此焊缝及热影响区冷裂纹敏感性试验是焊接性试验中最常用到的,也是很重的一项试验内容。

3. 焊接接头抗脆性转变的能力

在低温条件下工作的焊接结构和承受冲击载荷的焊接结构,可能经过焊接的冶金反应、结晶、固态相变等一系列过程,其焊接接头会发生粗晶脆化、组织脆化、热应变时效脆化等现象,使接头韧性严重下降,即焊接接头发生脆性转变。因此,对这类焊接结构用材料,需要做抗脆断能力(或抗脆性转变能力)的试验。

4. 焊接接头的使用性能

根据焊接结构的使用条件对焊接性提出的性能要求来确定试验内容,使用要求是多方面的,例如在腐蚀介质中工作的焊接结构要求具有耐腐蚀性能,就应做焊接接头的耐晶间腐蚀

或耐应力腐蚀能力等试验；厚板结构要求具有抗层状撕裂性能时，就做 Z 向拉伸或窗口试验，以测定该钢材抗层状撕裂的能力。此外，还有焊接接头的耐磨性、低温冲击韧性、蠕变强度、疲劳强度以及产品技术条件要求的其他特殊性能。

二、金属材料焊接性试验方法的种类

金属材料焊接性试验的方法很多，根据试验内容和特点可以分为工艺焊接性和使用焊接性两大方面的试验，每一方面又可分为直接法和间接法两种类型。

1. 直接法

有两种情况：一种情况是模拟实际焊接条件，通过实际焊接过程考察是否产生某种焊接缺陷，或产生缺陷的严重程度，根据结果直接评价材料焊接性（即焊接性对比试验），也可以通过试验确定获得符合要求的焊接接头所需的焊接条件（即工艺适应性试验），这种情况一般用于工艺焊接性试验；另一种情况是直接对实际产品进行焊接性试验。

2. 间接法

一般不需要焊接，只需对产品使用的材料做化学成分、金相组织或力学性能的试验分析与测定，根据结果和经验推测材料的焊接性。

金属材料焊接性试验方法的种类见表 1—2—1。

表 1—2—1

金属材料焊接性试验方法的种类

	工艺焊接性	使用焊接性
直接法	焊接热裂纹试验 焊接冷裂纹试验 消除应力裂纹试验 层状撕裂试验 焊接气孔敏感性试验	实际产品结构运行的服役试验 压力容器的爆破试验
间接法	用碳当量推测焊接性 以裂纹敏感指数及临界应力为判据 连续冷却组织转变图 断口分析及金相组织分析 焊接热影响区最高硬度	焊缝及接头的常规力学性能试验 焊缝及接头的低温脆性试验 焊缝及接头的断裂韧性试验 焊缝及接头的高温性能试验 焊缝及接头疲劳、动载试验 焊缝及接头耐蚀性、耐磨性及应力腐蚀开裂试验

三、金属材料焊接性试验方法

1. 斜 Y 形坡口焊接裂纹试验

此试验主要用于评定碳钢和低合金高强度钢焊接热影响区对冷裂纹的敏感性，属于自拘束裂纹试验。其试验要求应遵守《焊接性试验——斜 Y 形坡口焊接裂纹试验法》的规定。

(1) 试件制备。试件由被焊钢材采用机械加工方法制造而成，形状及尺寸如图 1—2—1 所示，板厚为 9 ~ 38 mm。

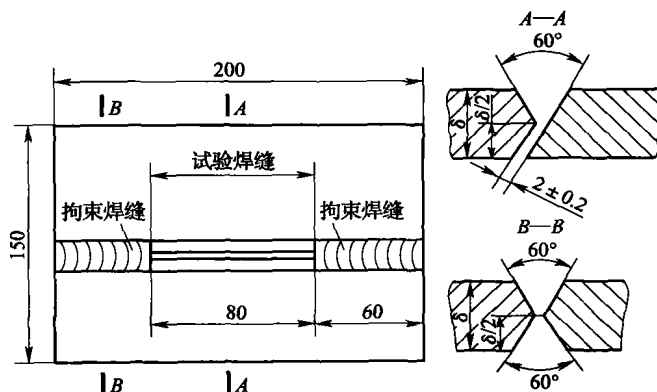


图 1—2—1 斜 Y 形坡口焊接裂纹试验用试件形状及尺寸

(2) 试验。试验焊缝应选用与母材匹配的焊条，并注意严格按照要求烘干。用焊条电弧焊施焊的试验焊缝如图 1—2—2a 所示，用自动送进装置施焊的试验焊缝如图 1—2—2b 所示。试验焊缝只焊一道，不要求填满坡口，并可在不同温度下施焊。

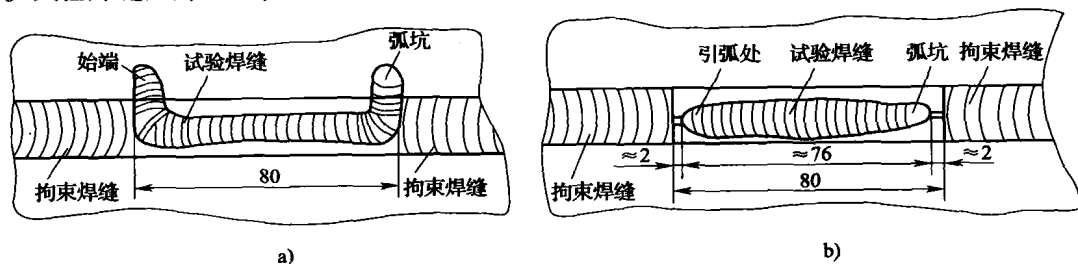


图 1—2—2 不同焊接方式的试验焊缝

a) 焊条电弧焊的试验焊缝 b) 焊丝自动送进的试验焊缝

在试板两端各焊接长度为 60 mm 的拘束焊缝，拘束焊缝用低氢型焊条进行双面焊接，先从背面焊第一层，然后再焊正面第一层，依次交替焊接。在焊接时，注意避免发生角变形和未焊透（因为角变形会改变应力状态，未焊透会引起应力集中，也会影响应力状态），并保证试件中间待焊部位有 2 mm 的间隙。试验焊缝在焊前应清理干净，最后用丙酮清洗。

推荐的试验焊接参数：焊接电流 $I = (170 \pm 10)$ A，电弧电压 $U = (24 \pm 2)$ V，焊接速度 $v = (150 \pm 10)$ mm/min，焊条直径 4 mm。

焊完将试件放置 48 h 后，用肉眼或放大镜检测表面裂纹，然后用机械加工方法截取一段试验焊缝，并对其断面进行研磨腐蚀，用放大 20 ~ 30 倍的金相显微镜检测裂纹。

(3) 计算。按下列方法分别计算表面、根部和断面的裂纹率。试样裂纹长度的计算如图 1—2—3 所示。

1) 表面裂纹率 C_t 。如图 1—2—3a 所示，按下式计算：

$$C_t = \frac{\sum l_t}{L} \times 100\%$$

式中 $\sum l_t$ ——表面裂纹长度之和，mm；

L ——试验焊缝长度，mm。