

机械工人职业技能培训教材

 高级

电焊工技术

机械工业职业技能鉴定指导中心 编

理论技能尽在其中



机械工业出版社



权威

按照国家最新颁布的《工人技术等级标准》及《职业技能鉴定规范》，由机械工业部组织行业近200名专家、工程技术人员、技师、高级技师参加编写

配套

既有实用的《机械工人职业技能培训教材》，又有与之配套的《技能鉴定考核试题库》，覆盖机械行业18个主要技术工种

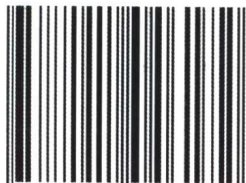
科学

融理论和技能于一体，初、中、高三级内容合理衔接

实用

是企业培训部门、各级职业技能鉴定机构、再就业培训机构开展工人培训的理想教材，也可作为技工学校、职业高中、各种短训班的专业课教材

ISBN 7-111-04617-X



9 787111 046172 >

定价：18.50 元



机械工人职业技能培训教材

高级电焊工技术

机械工业职业技能鉴定指导中心 编

机械工业出版社

本书是依据原劳动部、机械工业部颁发的《职业技能鉴定规范(考核大纲)电焊工》中高级工要求编写的。主要内容有:焊接接头的试验方法,异种金属的焊接,焊接接头的应力分布及静载强度计算,焊接结构失效产生的原因和防止措施,焊接接头的质量保证措施,焊接结构生产的工艺流程及焊接结构车间的有关知识,最后还介绍了体现高级电焊工操作水平的十四个典型焊接实例。

本书是高级电焊工的职业技能培训教材,也可供焊接专业技校师生、从事焊接工作的工程技术人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

高级电焊工技术/机械工业职业技能鉴定指导中心编.

—北京:机械工业出版社,1999.5(2000.5重印)

机械工人职业技能培训教材

ISBN 7-111-04617-X

I. 高… II. 机… III. 电焊-技术培训-教材 IV. TG443

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 08029 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:何月秋 版式设计:霍永明 责任校对:李秋荣

封面设计:姚毅 责任印制:路琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2001 年 4 月第 1 版第 3 次印刷

850mm×1168mm¹/₃₂·13 印张·344 千字

9 001—13 000 册

定价:18.50 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821、68326677-2527

机械工人职业技能培训教材与试题库 编审委员会名单

(按姓氏笔画排列)

主任委员	邵奇惠			
副主任委员	史丽雯	李成云	苏泽民	陈瑞藻
	谷政协	张文利	郝广发(常务)	
委	于新民	田力飞	田永康	关连英
员	刘亚琴	孙旭	李明全	李玲
	李超群	吴志清	张岚	张佩娟
	邵正元	杨国林	范申平	姜世勇
	赵惠敏	施斌	徐顺年	董无岸
技术顾问	杨溥泉			
本书主编	王良栋	参编	徐初雄	
本书主审	吕明辉			

166103/03

前 言

这套教材及试题库是为了与原劳动部、机械工业部联合颁发的机械工业《职业技能鉴定规范》配套，为了提高广大机械工人的职业技能水平而编写的。

三百六十行，各行各业对从业人员都有自己特有的职业技能要求。从业人员必须熟练地掌握本行业、本岗位的职业技能，具备一定的包括职业技能在内的职业素质，才能胜任工作，把工作做好，为社会做出应有的贡献，实现自己的人生价值。

机械制造业是技术密集型的行业。这个行业对其职工职业素质的要求比较高。在科学技术迅速发展的今天，更是这样。机械行业职工队伍的一半以上是技术工人。他们是企业的主体，是振兴和发展我国机械工业极其重要的技术力量。技术工人队伍的素质如何，直接关系到行业、企业的生存和发展。在市场经济条件下，企业之间的竞争，归根结底是人才的竞争。优秀的技术工人是企业各类人才中重要的组成部分。企业必须有一支高素质的技术工人队伍，有一批技术过硬、技艺精湛的能工巧匠，才能保证产品质量，提高生产效率，降低物质消耗，使企业获得经济效益；才能支持企业不断推出新产品去占领市场，在激烈的市场竞争中立于不败之地。

机械行业历来高度重视技术工人的职业技能培训，重视工人培训教材等基础建设工作，并在几十年的实践中积累了丰富的经验。尤其是在“七五”和“八五”期间，先后组织编写出版了《机械工人技术理论培训教材》149种，《机械工人操作技能培训教材》85种，以及配套的习题集、试题库和各种辅助性教材共约700种，基本满足了机械行业工人职业培训的需要。上述各类教材以其行业针对性、实用性强，职业工种覆盖面广，层次齐备和成龙

配套等特点,受到全国机械行业工人培训、考核部门和广大机械工人的欢迎。

1994年以来,我国相继颁布了《劳动法》、《职业教育法》,逐步推行了职业技能鉴定和职业资格证书制度。我国的职业技能培训开始走上了法制化轨道。为适应新形势的要求,进一步提高机械行业技术工人队伍的素质,实现机械、汽车工业跨世纪的战略目标,我们在组织修改、修订《机械工人技术理论培训教材》,使其以新的面貌继续发挥在行业工人职业培训工作中的作用的同时,又组织编写了这套《机械工人职业技能培训教材》和《技能鉴定考核题库》,共87种,以更好地满足行业和社会的需要。

《机械工人职业技能培训教材》是依据原机械工业部、劳动部联合颁发的机械工业《工人技术等级标准》和《职业技能鉴定规范》编写的,包括18个机械工业通用工种。各工种均按《职业技能鉴定规范》中初、中、高三级“知识要求”(主要是“专业知识”部分)和“技能要求”分三册编写,适合于不同等级工人职业培训、自学和参加鉴定考核使用;对多个工种有共同要求的“基本知识”,如识图、制图知识等,另编写了公共教材,以利于单科培训和工人自学提高。试题库分别按工种和学科编写。

本套教材继续保持了行业针对性强和注重实用性的特点,采用了国家最新标准、法定计量单位和最新名词、术语;各工种教材则更加突出了理论和实践的结合,将“专业知识”和“操作技能”有机地融于一体,形成了本套教材的一个新的特色。

本套教材是由机械工业相对集中和发达的上海、天津、江苏、山东、四川、安徽、沈阳等地区机械行业管理部门和中国第一汽车集团公司等企业组织有关专家、工程技术人员、教师、技师和高级技师编写的。在此,谨向为编写本套教材付出艰辛劳动的全体人员表示衷心的感谢!教材中难免存在不足和错误,诚恳希望专家和广大读者批评指正。

目 录

前言

第一章 焊接接头的试验方法	1
第一节 焊接材料质量评定试验方法	1
第二节 焊接性试验	26
第三节 焊接产品质量检验	45
复习思考题	80
第二章 异种金属的焊接	82
第一节 低碳钢与低合金结构钢的焊接	82
第二节 奥氏体不锈钢与其他黑色金属的焊接	84
第三节 耐热钢与其他黑色金属的焊接	97
第四节 钢与有色金属的焊接	102
复习思考题	118
第三章 焊接接头的应力分布及静载强度	119
第一节 焊接接头的应力分布	119
第二节 焊接接头的静载强度	132
复习思考题	150
第四章 焊接结构的失效	151
第一节 焊接结构失效及其原因	151
第二节 焊接结构的脆性断裂	155
第三节 焊接结构的疲劳断裂	170
第四节 焊接结构失效分析程序	182
复习思考题	187
第五章 焊接接头的质量保证	189
第一节 焊接工艺评定及实施	189
第二节 焊接生产的定额管理	222
第三节 焊工操作技能培训与考核	234
第四节 焊接加工设备的合理选用	258

第五节 焊接接头形式的合理选用	267
复习思考题	281
第六章 焊接结构生产	284
第一节 焊接构件的备料	284
第二节 焊接构件的装配-焊接	297
第三节 焊接结构制造生产线	300
第四节 焊接结构生产的机械化与自动化	326
第五节 焊接结构车间及其平面布置	342
复习思考题	354
第七章 焊接操作技能实例	355
实例一 中厚板异种钢对接横焊焊条电弧焊	355
实例二 中厚板异种钢对接立焊焊条电弧焊	359
实例三 中厚板异种钢对接仰焊焊条电弧焊	362
实例四 小直径耐热钢管水平固定对接手工钨极氩弧焊	364
实例五 小直径耐热钢管垂直固定对接手工钨极氩弧焊	367
实例六 中厚板低碳钢对接仰焊 CO ₂ 气体保护焊	369
实例七 耐热钢管水平固定对接焊条电弧焊	372
实例八 耐热钢管垂直固定对接焊条电弧焊	380
实例九 耐热钢 45°固定管对接焊条电弧焊	384
实例十 异种钢管板水平固定焊条电弧焊	387
实例十一 纯铝容器的手工钨极氩弧焊	394
实例十二 低碳钢中压管道组合焊	397
实例十三 高压电站锅炉汽包组合焊	399
实例十四 桥式起重机主梁 CO ₂ 气体保护焊	405

第一章 焊接接头的试验方法

培训要求 熟练掌握焊接材料质量评定试验方法及各种焊接性试验方法；了解其他常用焊接接头的试验方法。

第一节 焊接材料质量评定试验方法

焊接时所消耗材料（包括焊条、焊丝、焊剂、气体等）的通称叫做焊接材料。焊接材料不仅会影响焊接过程的稳定性，还会影响焊缝的外观质量和内在质量。因此，对焊接材料的质量进行评定试验，保证符合有关标准的焊接材料投入生产中使用，是保证焊缝质量的重要关键。

一、焊条质量评定试验

1. 外观质量检验

（1）焊条几何尺寸检验 利用钢直尺、千分尺等测量工具检验焊条的尺寸、夹持端长度。目测药皮外观质量、引弧端露芯情况。

（2）测量焊条偏心度 利用专门的PX-1型焊条偏心仪进行测量，其工作原理见图1-1。在待测量焊条的间隙两侧有两个铁心，上面分别绕上了匝数完全

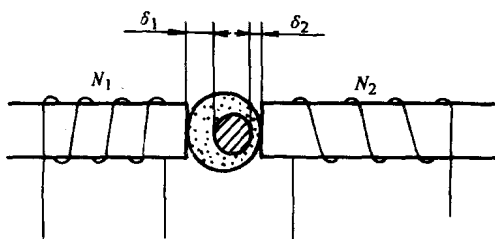


图 1-1 PX-1 型焊条偏心仪的工作原理

相同的线圈 N_1 和 N_2 。当焊条放进测量间隙时，如果焊条无偏心，不论焊条旋转到任何位置， δ_1 和 δ_2 始终相等， N_1 和 N_2 各自对焊芯的磁路对称，磁导率 μ_1 和 μ_2 相等。根据线圈电感的计算公

式

$$L = \frac{N\mu A}{l} \quad (1-1)$$

式中 N ——线圈匝数；

l ——线圈长度；

μ ——磁导率；

A ——线圈截面积。

由式 (1-1) 可知，两线圈的电感 L 相等，两线圈的阻抗也相等，因此，外部环形电路中的检流计无电流通过，指针不动。

如果焊条存在偏心，则 $\delta_1 \neq \delta_2$ 。如果 $\delta_1 > \delta_2$ ，则 $\mu_1 < \mu_2$ ，因而 $L_1 < L_2$ ，线圈 N_1 的阻抗小于 N_2 的阻抗，使外部环形电流中的检流计有电流通过，指针有指示。根据指示值通过计算，就可以测得焊条的偏心度。

具体测量方法：将焊条放进偏心仪的测量间隙，每根焊条测量两处。一处为引弧端，测量点大约与偏心仪支架外侧取平；另一处为夹持端，测量点大约在除掉药皮的磨削边缘处，也与偏心仪支架外侧取平。测量部位中若有影响焊条偏心测量的缺陷时，测量点可以向焊条中部移动。被测焊条在偏心仪支架上旋转一周，指针左右摆到最大位置时，两边格数之和即为偏心值的直接读数（每格读数为 0.01mm）。焊条外径按任选 5 根焊条的外径平均值计算。焊条偏心度的计算公式如下：

$$\text{焊条偏心度} = \frac{T_1 - T_2}{\frac{1}{2}(T_1 + T_2)} \times 100\%$$

式中 T_1 ——焊条断面药皮层最大厚度+焊芯直径 (mm)；

T_2 ——焊条断面药皮层最小厚度+焊芯直径 (mm)。

计算出的两端偏心度取两者中大者为该焊条的偏心度。

合格标准：直径不大于 2.5mm 的焊条，偏心度不应大于 7%；直径为 3.2mm 和 4.0mm 的焊条，偏心度不应大于 5%；直径不小于 5.0mm 的焊条，偏心度不应大于 4%。

(3) 药皮强度检验 将水平放置的焊条自由落到厚度不小于

14mm 水平放置的光滑平整的钢板上。当焊条直径小于 4mm 时，试验高度为 1m；当焊条直径大于或等于 4mm 时，试验高度为 0.5m。焊条落下后，观察受检焊条药皮的破裂情况。如果破裂只在两端，且破裂总长不大于 30mm，可判定为合格。每次测试 5 根。

(4) 药皮耐潮性检验 将焊条静置于常温 (15~25℃) 水中，4h 后观察，药皮不应有胀开或脱落现象。每次测试 5 根。

2. 焊接工艺性能试验

(1) 电弧稳定性试验 通过测定断弧长度和灭弧、喘息次数来评定焊条电弧稳定性。

1) 断弧长度法 测定方法的原理见图 1-2。将已烘干的焊条垂直夹在支架上，焊条引弧端距试板 (Q235-A 钢) 2.5mm，焊接电源一极接焊条，另一极接试板。用石墨片引燃电弧，待焊条燃烧一定时间后，自行断弧。断弧后，轻轻将焊缝上的焊渣敲掉，并去掉焊条端头的焊渣，用内卡钳和游标卡尺垂直测量焊缝顶部与焊条端部的间距，该间距即为断弧长度。每种焊条测试 3 根，取其平均值。

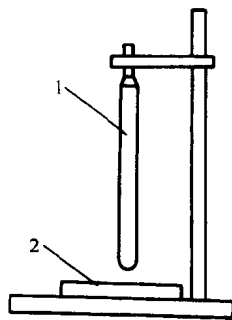


图 1-2 断弧长度测定装置

1—焊条 2—试板

2) 灭弧、喘息次数法 用同一焊机，采用低的空载电压（通常为 60V）和相同的焊接电流，由同一焊工用烘干好的焊条在钢板 (Q235-A 钢) 上施焊一条焊缝，焊至距焊条夹持端 50mm 处止。在施焊过程中，由 3 人观察并记录灭弧、喘息次数，以 2 人的观察结果为准，每种焊条测试 3 根，取其平均值。然后采用下述公式计算出折合灭弧次数

$$\text{折合灭弧次数} = \text{灭弧次数} + 1/2 \text{喘息次数}$$

(2) 再引弧性试验 由 1 名焊工用待测焊条先在 Q235-A 钢板上施焊。当焊条燃烧 15s 时强行断弧，间隔一定时间，然后在另一块温度为室温的试板上轻轻接触，不得破坏焊条的套筒，看其是否能引燃。如果能引燃，用另一根焊条用同样焊接电流，延长

间隔时间重复上述试验，直至不能再次引燃为止；如果不能引燃，则缩短间隔时间重复试验，直至能够再次引燃时为止。对同一间隔时间，用同一根焊条重复3次，3次中有2次以上引燃者则判定通过。将能够再次引燃的最大间隔时间作为评定焊条再引弧性能的指标。

(3) 脱渣性试验 将两块 $400\text{mm} \times 110\text{mm} \times 14\text{mm}$ ，一侧开有坡口的 Q235-A 钢板对接进行定位焊，坡口角度为 $70^\circ \pm 1^\circ$ ，由同一焊工用同一焊机，相同的操作手法和尽量一致的焊接参数在试板的坡口内施焊，试板两侧空出不焊。整个试验中，坡口内需焊接两层：第一层为 250mm 左右；第二层在第一层焊缝上焊 200mm 左右，分别计算脱渣率，每层施焊 1 根焊条，焊条头剩余 50mm。焊完第一层以后，将焊缝朝下平置于锤击台座上，用压板螺栓将试板定位固定。把重 2kg 的铁球置于 1.3m 的架子上，当焊后时间达到 1min 时，让铁球以初速为零的自由落体运动锤击试板中心。各种焊条锤击次数不同，其中，E4313 型焊条第一层连续锤击 5 次，第二层连续锤击 3 次；E4303 型焊条第一层连续锤击 5 次，缓冷至室温后再锤击 5 次，第二层连续锤击 5 次；E4315、E5016、E5015 型焊条第一层连续锤击 10 次，第二层连续锤击 5 次。

每层脱渣率计算如下

$$\text{脱渣率} = \frac{\text{焊缝总长} - \text{未脱渣焊缝总长}}{\text{焊缝总长}} \times 100\%$$

对于 E4303 型焊条，由于其第一层锤击试板焊缝两回，因而需计算出每一回的脱渣率，然后再平均，即为其第一层脱渣率。

(4) 熔渣的流动性和焊缝成形试验

1) 上坡焊和下坡焊 将两块 Q235-A 钢试板放置成与水平面倾斜 10° ，然后，由同一焊工用同一台焊机和尽量一致的焊接参数分别对两块试板进行上坡焊和下坡焊。上坡焊时，焊条由下向上做直线运动；下坡焊时，焊条由上向下做直线运动。焊条与试板的倾斜角均为 80° 左右。施焊过程中，观察熔渣的流动性。焊

完清渣以后，用肉眼或放大镜观察焊缝的表面成形。

2) 宽波焊 将 Q235-A 钢试板置于水平位置，使焊条与试板的夹角为 70° ，在试板上堆焊两层焊缝金属，第一层宽度为 20~25mm，待试板冷却至室温后堆焊第二层，第二层宽度与第一层接近，施焊过程中观察熔渣的流动性。焊完清渣以后，用肉眼或放大镜观察焊缝的成形情况。

(5) 飞溅性试验 将 $250\text{mm} \times 50\text{mm} \times 20\text{mm}$ 的 Q235-A 钢试板垂直放在厚 5mm 的纯铜板上，并用 1mm 厚的纯铜皮围成高 300mm 的椭圆形屏蔽，以便收集飞溅物。由一名焊工按一定的焊接参数在钢板的侧面进行平堆焊，焊完整根焊条。焊前称出焊条的质量，焊后收集飞溅物（钢珠和焊渣），称出质量，再称出剩余焊条质量，代入下式计算飞溅率，要求焊 3 根焊条，取平均值。

$$\text{飞溅率} = \frac{\text{飞溅物质量}}{\text{焊前焊条质量} - \text{焊后焊条质量}} \times 100\%$$

(6) 焊条效率、金属回收率和熔敷系数试验 按 GB3731—83《涂料焊条效率、金属回收率和熔敷系数的测定》标准规定的试验方法：每一种焊条在平焊位置焊一块碳的质量分数小于或

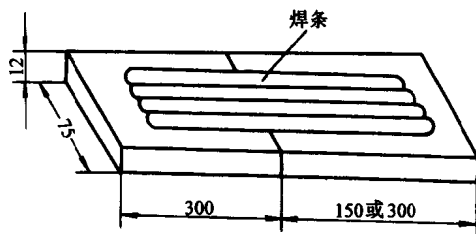


图 1-3 涂料焊条效率、金属回收率和熔敷系数试验的试板尺寸

等于 0.25% 的碳素钢试板，其尺寸为 $300\text{mm} \times 75\text{mm} \times 12\text{mm}$ 。如果焊一根焊条试板不够长时，可以把 150mm（若有必要或为 300mm）长的另一块试板与该试板端头对端头地平放在一起，见图 1-3。试板表面，用打磨或其他合适的方法去除氧化皮、铁锈、油污等。清理后，试板称重，准确度应达到 1g。

试验时，如果 1 根焊条的熔敷金属质量少于 100g 时，需使用 5 根焊条，如果大于 100g，可使用 3 根焊条。将焊条分道焊在一

块试板上。焊前，这些焊条要称重，并求出总质量 m_g 。另外取相同数量的同一批号焊条去除涂料，称取总质量 m_w 和焊芯总长 L_w 。焊接时，采用该焊条最常用的电弧长度和焊接工艺。焊接电流 I 取焊条生产厂家在包装上所注明的平均电流最大值的 90% 左右。测量焊接电流的仪器为二级精度的阻尼电流表。每一根焊条需连续焊，中间不能中断，一直到剩余 50mm 时为止。焊接时需测每根焊条的燃弧时间，并准确到 0.2s，然后将其相加求出总燃弧时间 t （以 min 为单位），焊完一道后，试板可在水中冷却，但在重新焊接前，应将试板上的水全部除尽，并仔细清理焊渣和飞溅，层（道）间温度不能超过 100℃。焊完的焊条头要称重（准确度达到 $\pm 1g$ ），求出总质量 m_s ，然后去除所有涂料后称重，求出焊条头的总质量 m_{ws} ；测出每根焊芯头的长度（准确度达到 $\pm 1mm$ ），求出焊芯头的总长度 L_s ，3 根焊条头总长度应介于 144~156mm 之间，5 根焊条头的总长度应介于 240~260mm 之间，否则，需重新试验。全部焊完后，当试板冷却到室温后，清除上面所有的焊渣和飞溅，对试板称重，准确度为 $\pm 1g$ 。将该质量减去试板原始质量即得熔敷金属的总质量 m_D 。

实际焊条效率 R_E 、金属回收率 R_G 和熔敷系数 D 按下列各式分别计算：

$$R_E = \frac{m_D}{m_w - m_{ws}} \times 100\%$$

$$R_G = \frac{m_D}{m_E} \times 100\%$$

$$D = \frac{m_D}{It} \times 100\%$$

(7) 焊条发尘量的测定 焊条发尘量按 GB1225—76 中规定的抽气捕尘法测定。测定装置见图 1-4。集尘器筒体的容积约为 0.12m³（直径 500mm、高 600mm）。试验前将容器内壁擦干净。静电滤膜和试验用的两块棉花应保持干燥，不得吸潮。对两块棉花、静电滤膜和焊条分别称重，准确到 0.1g，分别以 m_{01} 、 m_{02} 、 m_{03}

(以 g 为单位) 和 m_0 (以 kg 为单位) 表示。在筒体内焊接 Q235-A 钢板, 焊接电流采用焊条说明书中推荐的最大值。施焊时, 采用真空泵以 15L/s 的抽气速度抽气。一根焊条焊完后, 尚需抽气, 至少 2min。试验后用两块棉花擦拭容器及锥体内壁, 并对两块棉花、吸附有烟尘的静电滤膜和剩余的焊条称重, 准确到 0.1g, 分别以 m_1 、 m_2 、 m_3 (以 g 为单位) 和 m (以 kg 为单位) 表示。然后按下式计算发尘量, 一次试验重复用 3 根焊条, 取其平均值。

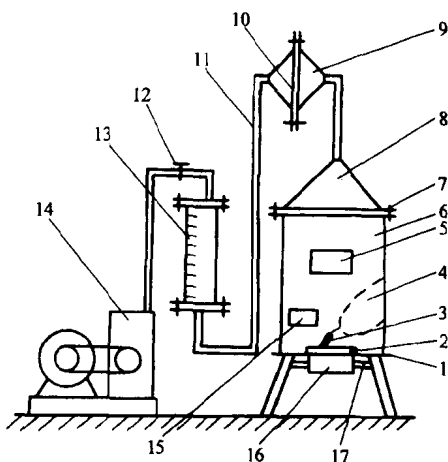


图 1-4 抽气捕尘法测尘装置

- 1—底板 2—试板 3—焊条 4—手孔密封手套
5—观察孔 6—筒体 7—连接螺栓 8—大锥帽
9—集尘器锥体 10—滤膜 11—真空橡胶管
12—二通活塞 13—流量计 14—真空泵 15—
安装孔 16—冷却夹层 17—冷却水管夹层

$$\text{发尘量} = \frac{(m_1 + m_2 + m_3) - (m_{01} + m_{02} + m_{03})}{m_0 - m} \times 100\%$$

将 3 张滤膜上的烟尘取下, 置于玛瑙乳体中研磨均匀, 于 $105^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ 烘干 1h, 放入干燥器中保存。

(8) T 形接头角焊缝试验 这是对焊条的焊接工艺性能、焊缝外观质量和内在质量具有综合考核作用的试验。试验中, 检查角焊缝表面、横断面和纵断面产生裂纹、焊瘤、夹渣、表面气孔、咬边、未熔合的情况以及焊脚尺寸、凸度和两焊脚尺寸差等, 也是评定焊条抗裂性的一种试验方法。

试件由立板和底板组对而成。材质为 Q235-A 钢或与焊条熔敷金属化学成分和力学性能相当的其他低碳钢。T 形接头角焊缝的试样及焊接位置分别见图 1-5 和图 1-6。试板的最低温度为

20℃。在接头的一侧焊一道单道角焊缝，第一根焊条应连续焊到焊条残头不大于 50mm 时为止，然后用第二根焊条完成整个接头的焊接。第一根焊条的焊道末端距试板末端小于 100mm 时，可采用引弧板或在较长的试板上焊接，引出电弧灭弧。立焊时，E5048 型碳素钢焊条应进行向下立焊；E5010-×、E5510-×、E5016-× 及 E7010-× 型低合金钢焊条可以进行向上立焊或向下立焊；其他型号焊条应向上立焊。

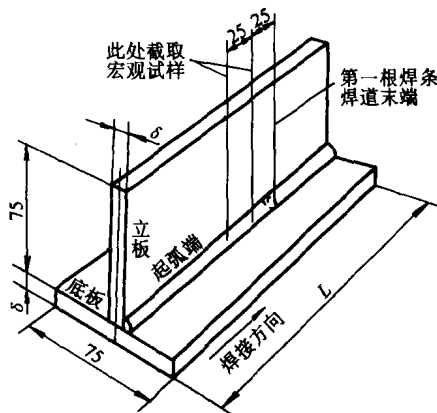


图 1-5 T 形接头角焊缝试样

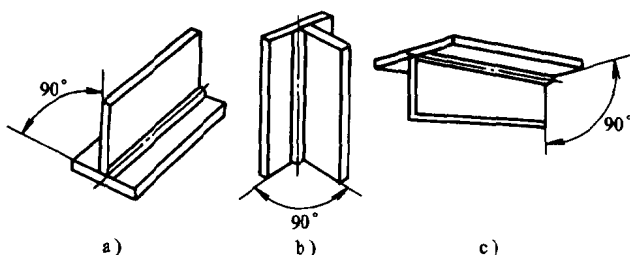


图 1-6 T 形接头角焊位置

a) 平角焊 b) 立角焊 c) 仰角焊

焊后的焊缝应首先用肉眼观察，然后按图 1-5 所示截取一个宏观试件，截得两断面中的任何一面均可用于检验。断面经抛光腐蚀后，测量焊脚尺寸、焊脚及凸度，精确到 0.1mm，见图 1-7。剩余的两块接头，按图 1-8 所示的折断方向沿整个角焊缝纵向弯断，检查断裂表面。如果断在母材金属上不能认为焊缝金属不合格，应重新试验。为保证断于焊缝，可采用下述的一种或几种方法：