



职业技能训练用书

HAN GONG

焊工

(高级)

王飞 盛国荣 王德涛○主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



职业技能训练用书

焊工

(高级)

主 编 王 飞 盛国荣 王德涛
副主编 张莉娟 王 建 王宏伟 郑守英
参 编 王万军 王建涛 陈红彬 孔令辉
赵恒炜

机械工业出版社

本书依据国家职业标准,紧密结合技能训练编写。本书的主要内容包括:特殊材料的焊接技能训练、异种金属的焊接技能训练、焊条电弧焊或其他焊接方法运用技能训练及焊后检查等内容,并精选了综合技能训练。

本书可作为高等职业院校、中等职业学校技能培训用书,还可作为就业和再就业、SYB(创业培训)以及农民工培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

焊工:高级/王飞,盛国荣,王德涛主编. 北京:机械工业出版社,2011.6

职业技能训练用书

ISBN 978-7-111-35404-8

I. ①焊… II. ①王…②盛…③王… III. ①焊接-技术培训-教材
IV. ①TG4

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第145632号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:朱华 责任编辑:侯宪国

版式设计:石冉 责任校对:闫玥红

封面设计:陈沛 责任印制:李妍

唐山丰电印务有限公司印刷

2011年10月第1版第1次印刷

184mm×260mm·7.75印张·187千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-35404-8

定价:19.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

职业技能训练是培养技能型人才的重要途径之一，而教材的质量直接影响着高技能型人才培养的质量。目前，技能培养的教材匮乏，多数内容陈旧，并且有相当一部分内容与国家职业技能标准不对应，广大的培训机构和读者都迫切需要一套与国家职业技能标准对接的适合于技能培训的教材。为了满足社会的需要，我们特编写了《焊工（初级）》、《焊工（中级）》、《焊工（高级）》教材三册。

职业技能训练用书——《焊工（高级）》是以人力资源和社会保障部最新颁布的国家职业技能标准为依据，以客观反映现阶段本职业、本等级功能水平和对从业人员的要求为目标，在充分考虑和谐社会经济发展和产业结构多元化对本职业影响的基础上，重点突出对从业人员技能、技巧和必备知识的培养。

本书共包含五个模块：特种材料的焊接技能训练、异种金属的焊接技能训练、焊条电弧焊或其他焊接方法运用技能训练、焊后检查、综合技能训练。每个模块下又涵盖若干个操作项目，目的在于使学员通过训练达到学以致用，巩固、提高基本技能和技巧。

本书的编写特色是：

1. 以职业能力建设为核心，在职业分析、专项能力构成分析的基础上，把职业岗位对人才的素质要求，即将知识和技能进行重新整合，注重技能的培养。
2. 内容上，涵盖国家职业技能标准对焊工（高级）技能培养的要求，注重现实社会发展和就业需要，从而实现对学员实际操作技能的训练与职业能力的培养。
3. 以模块和项目形式构架训练体系。一个模块包含若干个项目，一个项目就是一个知识点，重点突出，主题鲜明。
4. 以项目训练为基础，从提出训练目的和要求开始，设定训练内容，突出工艺要领和操作技能的培养。

本书可作为高等职业院校、中等职业学校技能培训用书，还可作为就业和再就业、SYB（创业培训）以及农民工培训用书。

本书由王飞、盛国荣、王德涛任主编，张莉娟、王建、王宏伟、郑守英任副主编，王万军、王建涛、陈红彬、孔令辉、赵恒炜参加编写；本书由武建设主审，王春晖参审。

本书在编写过程中，得到有关省市人力资源和社会保障部门以及一些高等职业技术学院、高级技校、技师学院的大力支持，在此我们表示衷心的感谢！同时，恳切希望广大读者对本书提出宝贵的意见和建议，以便修订时加以完善和补充。

编 者

目 录

前言

模块一 特殊材料的焊接技能训练	1
项目一 铸铁的焊接	1
项目二 铝及铝合金的焊接	6
项目三 铜及铜合金的焊接	12
模块二 异种金属的焊接技能训练	17
项目一 珠光体钢和奥氏体不锈钢的单面焊双面成形	17
项目二 低碳钢与低合金钢的焊接	25
模块三 焊条电弧焊或其他焊接方法运用技能训练	32
项目一 低碳钢板对接仰位单面焊双面成形	32
项目二 骑座式管板仰位单面焊双面成形	40
项目三 小直径管垂直固定和水平固定加障碍物的单面焊双面成形	48
项目四 小直径管 45° 倾斜固定单面焊双面成形	59
项目五 典型容器和结构的焊接	68
模块四 焊后检查	78
项目一 焊接缺陷分析	78
项目二 焊接检验	87
模块五 综合技能训练	111
项目一 Q235-A 钢板 V 形坡口对接仰位焊条电弧焊	111
项目二 Q235-A 钢管 V 形坡口对接水平固定焊条电弧焊	111
项目三 16MnR 管-管 V 形坡口对接斜 45° 固定焊条电弧焊	112
项目四 骑座式管-板仰位焊条电弧焊	113
项目五 Q235-A 钢板 V 形坡口对接仰位手工钨极氩弧焊	113
项目六 小管水平固定加障碍物的手工钨极氩弧焊	114
项目七 Q235-A 钢管 V 形坡口对接水平固定气焊	114
项目八 Q235-A 钢板 V 形坡口对接仰位半自动二氧化碳气体保护焊	115
项目九 Q235-A 钢板 I 形坡口对接仰位半自动二氧化碳气体保护焊	115
项目十 骑座式管-板 T 形接头、垂直仰位气体保护焊	116
参考文献	117

特殊材料的焊接技能训练

项目一 铸铁的焊接

[学习目标]

用电弧冷焊法补焊灰铸铁时焊接参数及焊接顺序的正确选择。能够进行灰铸铁的补焊。

一、技术准备

1. 铸铁的概念

铸铁是碳的质量分数大于2%的铁碳合金，并含有一定数量的硅和少量的锰，此外还含有少量的硫、磷等有害杂质。为了获得某些特殊的性能，常在铸铁中加入铝、铬、钼、镍、铜等合金元素，称为合金铸铁。

铸铁的焊接技术主要应用在铸造缺陷的补焊和已损坏铸件的修复，很少作为零部件生产的手段。

铸铁按照碳在组织中存在形式不同可分为灰铸铁、白口铸铁、可锻铸铁和球墨铸铁等。

(1) 灰铸铁：灰铸铁中的碳以片状石墨的形式分布于金属基体中，断口呈暗灰色。片状石墨在铸铁中相当于小裂纹，割裂了基体，使灰铸铁抗拉强度较低，塑性几乎为零。由于灰铸铁中石墨以片状存在，因而具有良好的耐磨性、消振性和切削加工性，并具有较高的抗压强度，在工业上应用极广。

(2) 白口铸铁：白口铸铁中的碳全部以渗碳体 (Fe_3C) 的形式存在于金属中，其断面呈银白色，故称白口铸铁。其性质硬而脆，冷加工和热加工均很困难，工业上应用极少。

(3) 可锻铸铁：可锻铸铁中的石墨呈团絮状，它是白口铸铁经长时间石墨化退火而成。可锻铸铁具有很高的抗拉强度和良好的塑性，适于制造形状复杂，塑性和韧性要求较高的小型零件，如各种管接头，以及拖拉机、汽车、纺织机械零件等。

(4) 球墨铸铁：球墨铸铁中的石墨以球状分布。球墨铸铁是浇铸前向铁液中加入稀土金属、镁合金和硅铁等球化剂处理而成。球墨铸铁的强度接近碳钢，具有良好的耐磨性和一定的塑性，并能通过热处理提高其性能，因此广泛应用于机械制造中。

铸铁是工业上广泛应用的一种金属材料，但由于铸件在生产中往往产生铸造缺陷，如砂眼、缩孔、裂纹等。因此，铸铁的补焊就成为很普遍、很重要的问题。

2. 铸铁的牌号、力学性能和用途 (见表 1-1、表 1-2)

表 1-1 灰铸铁的牌号、力学性能及应用范围

牌号	力学性能		应用举例
	δ_b /MPa	HBW	低负荷和不重要的零件, 如盖、外罩、手轮、支架、齿轮箱
			承受中等负荷要求, 如汽轮机、泵体、轴承座、齿轮箱
HT100	≥ 100	143 ~ 229	低负荷和不重要的零件, 如盖、外罩、手轮、支架、齿轮箱
HT150	≥ 150	163 ~ 229	承受中等负荷要求, 如汽轮机、泵体、轴承座、齿轮箱
HT200	≥ 200	170 ~ 241	承受较大载荷的零件, 如气缸、齿轮、油缸、阀壳、飞轮、机床床身、活塞、联轴器, 轴承座、刹车轮等
		170 ~ 241	
HT300	≥ 300	187 ~ 255	承受高负荷的重要零件, 如齿轮、凸轮、车床卡盘、剪床和压力机身、高压筒、滑阀壳体等
HT350	≥ 350	197 ~ 269	
HT400	≥ 400	207 ~ 269	

表 1-2 球墨铸铁的牌号、力学性能和用途

牌号	力学性能			应用举例
	σ_b /MPa	δ (%)	HBW	
	不小于			
QT400—15	400	15	130 ~ 180	阀体、汽车、内燃机零件、机床零件
QT450—10	450	10	160 ~ 210	
QT500—07	500	7	170 ~ 230	机油泵齿轮、机车、车辆轴瓦
QT600—03	600	3	190 ~ 270	柴油机曲轴、凸轮、气缸体、气缸套、活塞环、部分磨床、铣床、车辆的主轴等
QT700—02	700	2	225 ~ 305	
QT800—02	800	2	245 ~ 335	
QT900—02	900	2	280 ~ 360	汽车的螺旋圈锥齿轮、拖拉机减速齿轮、柴油机凸轮轴

3. 灰铸铁的焊接性

灰铸铁的焊接性不良, 特别是在电弧焊时, 如果焊条选用不当, 或者没有采取一些特殊的工艺措施, 则会产生一系列的缺陷。在补焊时, 主要存在以下问题:

(1) 焊接接头容易产生白口组织 在补焊灰铸铁时, 往往会在熔合线处生成一层白口组织, 严重时会使整个焊缝断面全部白口化。由于白口组织硬而脆, 难以进行机械加工, 这给焊后需要进行机械加工焊接接头的工作带来很大困难。

产生白口组织的原因主要是由于冷却速度快和石墨化元素不足。在一般的焊接条件下, 补焊区的冷却速度比铸件在铸造时快得多, 特别是在熔合线附近, 是整个焊缝冷却速度最快的地方, 而且其化学成分又和母材接近, 所以首先在该处形成白口组织。

防止白口组织的方法:

1) 减慢焊缝的冷却速度。延长熔合区处于红热状态的时间, 使石墨能充分析出, 通常将焊件预热到 400℃ (半热焊) 左右或 600 ~ 700℃ (热焊) 后进行焊接, 或在焊接后将焊件保温冷却, 均可减慢焊缝的冷却速度, 使焊缝不产生白口组织。

2) 改变焊缝化学成分。增加焊缝中石墨化元素的含量, 可以在一定条件下防止焊缝金

属产生白口。例如在焊条或焊丝中加入大量的碳、硅元素，并在一定的焊接工艺条件配合下，使焊缝形成灰口组织。此外，还可采用非铸铁焊接材料（镍铜、铜钢、高钒钢）来避免焊缝金属产生白口或其他脆硬组织。

3) 选用适当的焊接方法（如气焊）可使焊缝的冷却速度减慢而减小焊缝处的白口倾向。

4) 采用钎焊方法进行补焊。由于钎焊过程中母材不熔化，因而可以完全避免白口组织。

(2) 焊接接头易产生裂纹

1) 产生裂纹的原因：灰铸铁的塑性接近零，抗拉强度又低，而焊接过程中工件受热不均匀，焊接应力大及冷却速度快，因此补焊铸铁时，焊缝和热影响区容易产生裂纹。

此外，当接头存在白口组织时，因白口组织硬而脆，它的冷却收缩率又比基体金属灰铸铁大得多（白口铸铁收缩率为2.3%，而灰铸铁为1.26%），使得应力更加严重，加剧裂纹倾向，使焊缝金属在冷却时更易于开裂，严重时使整个焊缝沿半熔化区从母材上剥离下来。

铸铁焊接裂纹一般为冷裂纹，产生温度在400℃以下，产生部位为焊缝或影响区。当采用非铸铁型材料焊接时，焊缝也会产生热裂纹。

2) 防止裂纹的方法：

①焊前预热和焊后缓冷：焊前将焊件整体或局部预热和焊后缓冷不但能减少焊缝的白口倾向，而且能减小焊接应力和防止焊件开裂。

②采用合理的补焊工艺：采用电弧冷焊减小焊接应力，其措施如下：选用塑性较好的焊接材料，如用镍、铜、镍铜、高钒钢等作为填充金属，使焊缝金属通过塑性变形释放应力，防止裂纹，采用细直径焊条、小焊接电流、断续焊、分散跳焊等工艺措施可减小焊缝处和基体金属的温度差，从而减小焊接应力，焊后立即锤击焊缝等方法，也可以减少焊接应力，防止裂纹。

③调整焊缝化学成分：可采用非铸铁型焊接材料，以得到塑性好、强度高的焊缝，使焊缝产生塑性变形、松弛焊接应力，避免裂纹。

④采用栽螺钉法：对于深坡的焊接，在母材材质差、焊缝强度高时，或工件受力大、要求强度高时，可采用栽螺钉法，如图1-1所示，其方法是在基体金属坡口内钻孔攻螺纹并把螺钉拧在坡口上，然后进行补焊。这样，使熔合区附近的应力主要由螺钉承受，从而防止了焊缝处的裂纹。

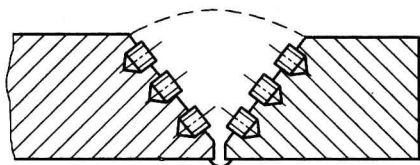


图1-1 螺钉分布的位置

⑤采用加热减应区法：在焊件上选择适当的区域进行加热，使焊接区域有自由热胀冷缩的可能，以减小焊接应力，防止产生裂纹的方法叫加热减应区法。如图1-2所示，灰铸铁工件中间有一条裂纹，若仅补焊裂纹，因四周刚度很大，加热时阻碍焊接处膨胀及伸长，冷却时阻碍焊接处收缩及缩短，因此，焊后焊缝或其他部位必然开裂。但如果焊前加热框架上下两个杆件与裂纹对称的部位，然后补焊裂纹，这样补焊处及两个加热部位可以自由膨胀和收缩，所以便可大大减小应力，避免裂纹

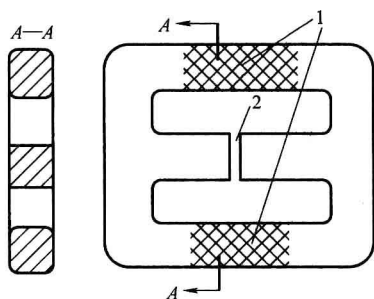


图1-2 加热减应区补焊示意图

1—加热处 2—补焊处

产生。减应区的选择原则是：应是阻碍补焊处膨胀收缩的部位，应与其他部位联系不多，而且强度较大的部位；该区的变形对其他部位无很大影响。

4. 灰铸铁的补焊

灰铸铁的补焊方法主要是采用电弧焊或气焊，也可采用钎焊或电渣焊。按照焊件在焊接前是否预热，可把焊条电弧焊分为冷焊、半热焊（预热温度在 400°C 以下）和热焊（预热温度为 $600 \sim 700^{\circ}\text{C}$ ）。

(1) 电弧焊

1) 冷焊法：电弧焊冷焊法就是焊件在焊前不预热，焊接过程中也不辅助加热，因此可以提高生产率，降低成本，改善劳动条件，减少焊件因预热不均匀而产生的变形和焊件已加工面的氧化。因此，在可能的条件下应尽量采用冷焊法。冷焊法因焊接后焊缝及热影响区的冷却速度很快，极易形成白口组织。此外因焊件受热不均匀，常形成较大内应力，易造成裂纹。从减少焊件熔化，避免混入更多的碳及硫，尽量降低热影响区宽度出发，在冷焊时应注意以下几点：

① 焊前应彻底清理油污，裂纹两端要打止裂孔，孔径 5mm 左右，如图 1-3 所示。加工的坡口形状要保证补焊及减少焊件的熔化量。

② 采用钢芯或铸铁芯以外的焊条时，小直径焊条应尽量用小直径的焊接电流，以便减小内应力和热影响区的宽度。

③ 采用短焊道焊接法。一般每次焊 $10 \sim 40\text{mm}$ ，待其充分冷却后再焊。

④ 采用分段倒退焊。这样可以大大降低拉应力，对防裂很有好处。

⑤ 每焊一短道后，立即用圆头锤快速锤击焊缝。

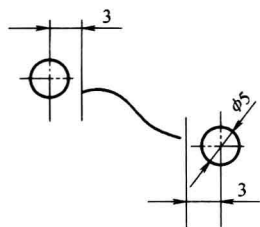


图 1-3 止裂孔部位

冷焊焊条按焊后焊缝的可加工性分为两类：一类用于焊后不需要机械加工的铸件，钢芯灰铸铁焊条 EZC (Z208)，只适用于小型薄壁铸件刚度不大部位的缺陷补焊；另一类用于焊后需要机械加工的铸件，如纯镍焊条 EZNi—1 (Z308)、镍铁铸铁焊条 EZNiFe—1 (Z408)、镍铜铸铁焊条 EZNiCu—1 (Z508) 等。

2) 热焊法：热焊法是在焊接前将焊件全部或局部加热到 $600 \sim 700^{\circ}\text{C}$ ，并在焊接过程中保持一定温度，焊后在炉中缓冷的焊接方法。采用热焊法时，焊件冷却缓慢，温度分布均匀，有利于消除白口组织，减小应力，防止产生裂纹。热焊时，焊条型号用 EZC，采用大焊接电流，连续焊。焊后要保持缓冷，以利于石墨析出，防止产生白口组织。

3) 半热焊法：半热焊法是在焊前将焊件预热至 $300 \sim 400^{\circ}\text{C}$ 。该法介于冷焊与热焊之间，用于刚度不很大的焊件上的焊接。半热焊时，采用大焊接电流、慢焊速，中等弧长连续焊接。

(2) 钎焊：钎焊加热温度低，焊接速度快，因此焊接应力小，补焊过程中基体金属又不熔化，所以组织变化很小。常用铜合金及其他有色金属作钎料，钎缝塑性较好，容易避免裂纹。

二、操作前准备

1) 工量具：面罩、焊工手套、锤子、扁铲、锉刀、角向砂轮机。

- 2) 设备: ZX5—400 型弧焊整流器。
- 3) 焊条: EZNiFe—1 (Z408) 直径为 3.2mm, 焊前经 150℃ 烘干 1~2h。
- 4) 焊件: 有裂纹的灰铸铁件。

三、加工步骤

- 1) 在裂纹端部钻止裂孔, 进行坡口加工。
- 2) 清除坡口及外缘 20mm 范围内的水分及污物。
- 3) 选择合适的焊接参数。
- 4) 由内向外采用分段逆向焊法。
- 5) 每焊一短焊道后立即锤击焊缝。
- 6) 每层焊道之间的熔渣要清理干净。
- 7) 焊接时的层间温度要保持在 60℃ 左右。
- 8) 焊后保温或作低温退火。
- 9) 焊后打磨补焊的焊缝。

[操作练习题]

用电弧焊冷焊法补焊减速箱上盖。

1. 坡口准备

- 1) 减速箱上盖材料为灰铸铁, 牌号为 HT250。
- 2) 裂纹情况: 由铸造缺陷引起箱盖结合面上开裂, 并延伸至箱壁, 裂纹总长约 150mm, 裂纹部位及形状如图 1-4 所示, 箱壁厚 12mm, 和盖结合面厚 20mm。

3) 坡口加工: 在裂纹端部钻直径为 5mm 的止裂孔, 并用钻头和砂轮清除裂纹, 开 U 形坡口将裂纹清除干净。



图 1-4 减速箱上盖裂纹

2. 补焊工艺及操作要点

- 1) 焊条: EZNiFe—1 (Z408), 直径为 3.2mm, 焊前经 150℃ 烘干 1~2h。焊接电流 90~100A。
- 2) 清除坡口及外缘 20mm 范围内油、锈等污物, 直至露出金属光泽。
- 3) 操作要领。此补焊件是减速箱上盖裂纹的补焊, 材质为灰铸铁, 采用电弧焊冷焊法。由于灰铸铁的焊接性较差。焊后易产生白口组织和裂纹, 因此补焊时应从减少焊件熔化, 避免熔池过热和增强焊缝的抗裂性能等方面出发, 采取下列措施:
 - ①焊接方向由内壁向外缘进行, 以减小最后焊道的应力。
 - ②采用小焊接电流, 分段逆向焊法并不作横向摆动, 每段焊缝长约 20~30mm。
 - ③每焊一段焊道后必须立即用小锤轻轻锤击, 待冷却到 50~60℃ 再焊下一段。
 - ④每层焊完后, 要彻底清除熔渣, 焊接时的层间温度应保持在 60℃ 左右 (应以不烫手为准)。
 - ⑤焊后保温或低温退火。
 - ⑥打磨箱盖结合面焊道, 检查补焊焊道质量。
- 4) 注意事项
 - ①防止产生白口组织、裂纹等缺陷。

②焊接时一定要严格遵守操作规程。

项目二 铝及铝合金的焊接

[学习目标]

掌握铝合金手工钨极氩弧焊时焊接参数的选择及基本操作方法。

一、操作前准备

1. 工量具

头盔式面罩、焊工手套、锤子、扁铲、钢丝刷、钢直尺、锉刀、焊缝测量器、角向砂轮机。

2. 设备

NSA—400 焊机。

3. 场地

有良好的采光及排尘条件, 具有适合各种焊接位置以及各种焊件形式的焊接胎夹具。

4. 焊接方法

手工钨极氩弧焊。

5. 试件尺寸及要求

- 1) 试件材料牌号: 1035。
- 2) 试件及坡口尺寸如图 1-5 所示。
- 3) 焊接位置: 平焊。
- 4) 焊接要求: 单面焊双面成形。
- 5) 焊接材料: HS301, 焊丝直径 $\phi 4\text{mm}$ 。

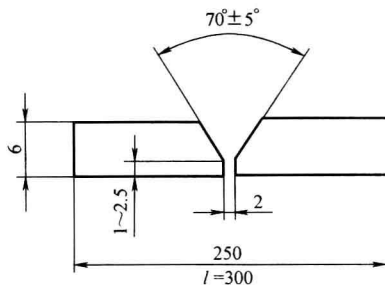


图 1-5 试件及坡口尺寸

二、图样工艺分析

1. 技术要求

- 1) 单面焊双面开形。
- 2) 钝边高度与间隙自定。
- 3) 试件坡口两端不得安装引弧板。
- 4) 焊件一经施焊, 不得任意更换和改变焊接位置。
- 5) 焊前将坡口处的油污氧化膜等清洗干净, 焊丝除锈。
- 6) 点固时允许做反变形。
- 7) 不允许破坏焊缝原始表面。
- 8) 时限: 35min。

此处, 时限指引弧开始至最后焊完熄弧。包括过程清理及最终清理。不包括施焊前的清理、装焊。

2. 工艺分析

(1) 铝及铝合金的焊接性

- 1) 易氧化: 铝和氧的亲合力很大, 因此在铝合金表面总有一层难熔的氧化铝薄膜。氧

化铝的熔点 2050℃，远远超过铝合金的熔点（一般约 660℃左右）。在焊接过程中，氧化铝薄膜会阻碍金属之间的良好结合，造成熔合不良与夹渣。氧化膜不导电，影响焊接电弧的稳定性，同时，氧化膜还吸附一定量的结晶水，使焊缝产生气孔。因此焊前必须清除氧化膜，但在焊接过程中铝会在高温下继续氧化，因而还必须采取措施破坏和清除氧化膜，如 TIG 焊时采用交流焊等。

2) 易产生气孔：氮不溶于液态铝，铝也不含碳，因此不会产生氮和一氧化碳气孔。焊接铝合金时，使焊缝产生气孔的气体是氢气。氢能大量地溶于液态铝，但几乎不溶于固态铝，因此熔池结晶时，原来溶于液态铝中的氢几乎全部析出，形成气泡。同时铝和铝合金的密度小，气泡在熔池里的浮升速度较小，加上铝的导热性强，冷凝快，因此在焊接铝时，焊缝产生气孔的倾向很大。

焊接时为了减少氢的来源，焊前对焊件、焊丝、焊条等都应认真清除氧化膜、潮气和油污。焊接过程尽可能少中断，以防止气孔的形成。另外在选择焊接参数时采用强参数，则使氢以过饱和状态固溶在固体中，减少氢气孔的产生。

3) 易焊穿（塌陷）：铝及铝合金由固态转变为液态时，没有显著的颜色变化，所以不易判断熔池的温度。因此，焊接时常因温度过高无法察觉而导致烧穿。为了防止烧穿，可以在焊件坡口下面放置垫板，并控制好焊接参数。

4) 热裂纹：铝的线胀系数比铁将近大一倍，而其凝固时的收缩率又比铁大两倍，因此铝焊件的焊接应力大。此外合金的成分对热裂纹的产生有很大影响，当合金的液相线和固相线的距离较大或杂质过多形成低熔点共晶体时，均容易造成热裂纹。焊接铝及铝合金时应从防止热裂纹从而减小焊接应力，调节熔池金属成分，改善熔池结晶条件，正确选择焊接方法及焊接参数等几方面来考虑。为了防止热裂纹，焊前有时应进行预热。

实践证明，热处理强化铝合金焊接时，产生热裂纹的倾向比较大，而工业纯铝及大部分非热处理强化铝合金在熔焊时，很少产生热裂纹，只有在杂质含量超过规定或刚度很大的不利条件下，才会产生热裂纹。

5) 接头强度低于母材：对于非热处理强化铝合金，在退火状态下焊接时，可以认为接头同母材是等强的，而在冷作硬化状态下焊接时，接头强度低于母材。对于所有热处理强化铝合金，焊后其接头强度均低于母材，发生软化现象。

解决接头软化的措施有：焊后对焊件进行热处理，选择热量集中的热源如电子束焊、氩弧焊、使焊接热影响区变小。

(2) 铝及铝合金的焊接

1) 焊前准备：

①焊前清理：焊前清理是保证铝及铝合金焊接质量的重要工艺措施。在焊前应严格清除焊件坡口及焊丝表面的氧化膜和油污，清理的方法可采用化学清洗或机械清理。

化学清洗用 10%（质量分数）左右的氢氧化钠水溶液，使氢氧化钠与氧化铝作用生成易溶的氢氧化铝 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 。机械清理先用有机溶剂（丙酮、松香水或汽油）擦试表面以脱脂，随后用细铜丝刷或不锈钢丝刷刷去氧化膜。

②预热：由于铝的比热比钢大一倍，导热性比钢大两倍，所以为了防止焊缝区热量的大量流失，焊前可对焊件进行预热。

薄、小铝件一般可不预热。厚度超过 5~8mm 的铝件可预热 100~300℃。

2) 焊后清理。焊后留在焊缝及邻近的残存焊粉和焊渣,在空气、水分的参与下会强烈地腐蚀铝件,所以必须及时清理干净。

焊后清理的方法是将焊件在 10% (质量分数) 的硝酸溶液中浸洗,处理温度分 15 ~ 20℃ 和 60 ~ 65℃ 两种。前者处理时间为 10 ~ 20min,后者处理时间为 5 ~ 15min。浸洗后用冷水再冲洗一下,然后用热空气吹干或在 100℃ 干燥箱内烘干。

3) 焊接方法采用氩弧焊。由于氩弧焊的保护作用好,热量集中,焊缝质量好,成形美观,热影响区小和焊件的变形小,因此对质量要求高的铝及铝合金构件常用氩弧焊焊接。另外,氩弧焊在焊接时具有良好的保护作用,且使用适当的电源极性时,对熔池表面氧化膜有“阴极破碎”作用,故在焊接时可以不用熔剂,避免了焊后清除熔渣工序。

钨极氩弧焊的电源应采用交流电源,这样既对熔池表面铝的氧化膜有“阴极破碎”作用,又可得到较高的电流密度。

4) 焊接参数。钨极氩弧焊焊接铝及铝合金的焊接参数见表1-3。

表 1-3 铝及铝合金手工钨极氩弧焊焊接参数

板材厚度 /mm	焊丝直径 /mm	钨极直径 /mm	预热温度 /℃	焊接电流 /A	氩气流量 / (L/min)	喷嘴孔径 /mm	焊接层数 (正面/反面)	备注
1	1.6	2	—	45 ~ 60	7 ~ 9	8	正 1	卷边焊
1.5	1.6 ~ 2.0	2	—	50 ~ 80	7 ~ 9	8	正 1	卷边或单面对接焊
2	2 ~ 2.5	2 ~ 3	—	90 ~ 120	8 ~ 12	8 ~ 12	正 1	对接焊
3	2 ~ 3	3	—	150 ~ 180	8 ~ 12	8 ~ 12	正 1	V 形坡口对接
4	3	4	—	180 ~ 200	10 ~ 15	8 ~ 12	1 ~ 2/1	V 形坡口对接
5	3 ~ 4	4	—	180 ~ 240	10 ~ 15	10 ~ 12	1 ~ 2/1	V 形坡口对接
6	4	5	—	240 ~ 280	16 ~ 20	14 ~ 16	1 ~ 2/1	同上
8	4 ~ 5	5	100	260 ~ 320	16 ~ 20	14 ~ 16	1/2	同上
10	4 ~ 5	5	100 ~ 150	280 ~ 340	16 ~ 20	14 ~ 16	3 ~ 4/1 ~ 2	同上
12	4 ~ 5	5 ~ 6	150 ~ 200	300 ~ 360	18 ~ 22	16 ~ 20	3 ~ 4/1 ~ 2	同上
14	5 ~ 6	5 ~ 6	180 ~ 200	340 ~ 380	20 ~ 24	16 ~ 20	3 ~ 4/1 ~ 2	同上
16	5 ~ 6	6	200 ~ 220	340 ~ 380	20 ~ 24	16 ~ 20	4 ~ 5/1 ~ 2	同上
18	5 ~ 6	6	200 ~ 240	360 ~ 400	25 ~ 30	16 ~ 20	4 ~ 5/1 ~ 2	同上
20	5 ~ 6	6	200 ~ 260	360 ~ 400	25 ~ 30	20 ~ 22	4 ~ 5/1 ~ 2	同上
16 ~ 20	5 ~ 6	6	200 ~ 260	300 ~ 380	25 ~ 30	16 ~ 20	2 ~ 3/2 ~ 3	X 形坡口对接
22 ~ 25	5 ~ 6	6	200 ~ 260	360 ~ 400	30 ~ 35	20 ~ 22	3 ~ 4/3 ~ 4	X 形坡口对接

三、加工步骤

1. 试件装配

(1) 钝边尺寸 1 ~ 2.5mm。

(2) 试件的清理 试件通常有两种方法进行清理。

1) 机械方法:采用刮刀将坡口面及其正反两侧 20mm 范围内的氧化膜刮除,并再用丙酮清洗该区,清除氧化膜的试件应立即焊接,放置不宜过久,至于焊丝的清理可用砂布仔细

打光后，再用丙酮清洗即可，同样应随用随清理，放置不得过久。

2) 化学方法：可用质量分数为 10% ~ 15% NaOH 溶液在 40 ~ 60℃ 清洗 10 ~ 15min 或用质量分数为 4% ~ 5% NaOH 溶液在室温中和处理 1 ~ 2min，置于 100 ~ 150℃ 烘干 30min，这种处理同样适用于焊丝的清理，同样要求清洗后的试件不宜久置。

(3) 装配

1) 装配间隙为 2mm。

2) 定位焊。采用与焊接试件相同的焊丝进行定位焊接，定位焊应焊于坡口内，要求焊透并不得存有焊接缺陷，焊缝长度为 10 ~ 15mm，左右，焊点宽度不得超过焊缝宽度的 2/3，定位焊缝间距为 100mm（共四点）。

3) 预置反变形量 5° ~ 6° 左右。

4) 装配错边量 ≤ 0.6mm。

(4) 焊接参数（见表 1-4）

表 1-4 焊接参数

焊接层数	焊丝直径/mm	钨极直径/mm	焊接电流/A	氩气流量/（L/min）	喷嘴直径/mm	钨极伸出长度/mm
1 ~ 2	4	5	240 ~ 280	16 ~ 20	14 ~ 16	3 ~ 5

(5) 操作要点 试件可采用一次焊成也可分两层进行，焊接时采用左焊法，焊丝、焊枪与试件的角度如图 1-6 所示。

起焊时弧长保持 4 ~ 7mm，使坡口能得到充分预热，电弧在起焊处停留片刻后，应用焊丝试探坡口根部，当该处已变软欲熔化时，即可填丝焊接。焊接时采用多进少退往复运动，每次前进 2/3 个熔池长度，后退 1/3 个熔池长度，使得每个熔池重叠 1/3。前进时压低电弧，弧长为 2 ~ 3mm，以加热坡口根部为主，焊枪后退时提高电弧，弧长达 6 ~ 7mm，此时填加焊丝，使熔滴落入坡口根部与前一熔池相接处。往复运动能防止熔池过热，焊丝间断地熔化，坡口根部断续地形成熔池，既能防止焊漏，又能双面成形。

每当焊至与定位焊缝相接处，应适当提高焊枪，拉长电弧，加快焊速，并使焊枪垂直工件，对坡口根部及定位焊缝加热，以保证与定位焊缝的接头熔合良好。收弧时多送几滴熔滴填满弧坑，防止产生弧坑裂纹。

若采用两层方法焊接时，操作方法相同，焊枪不作横向摆动，以防产生气孔和裂纹。

(6) 注意事项

1) 看清题目内容，了解技术要求。

2) 开机使用前，应检查各接线部位是否正确，牢靠。焊机启动后仔细检查焊机的电、水、气路系统工作情况是否正常。

3) 选择合适的焊丝直径，并确保焊丝的质量。

4) 选择合适的焊接电流和氩气流量。

5) 用机械或化学方法认真清理焊件的焊缝待焊处，且随用随清理。

6) 注意确保氩气对焊缝熔池和焊丝的保护作用，防止产生氧化物夹渣。



图 1-6 焊丝、焊枪与试件的角度

- 7) 定位焊注意根部间隙和预置反变形量。
- 8) 左焊法, 焊枪作进多退少往复运动, 电弧长短应有节奏的变化, 焊丝间断熔化。焊接时精力集中, 细致观察, 防止出现焊穿。
- 9) 收弧时, 注意填满弧坑, 防止弧坑裂纹的产生。
- (7) 考核配分及评分标准 (见表 1-5)。

表 1-5 考核配分及评分标准

项目	序号	考核技术要求	配分	评分标准
焊缝的外观质量	1	焊缝的外形尺寸: 焊缝余高 0.5 ~ 3mm, 焊缝宽度比坡口每侧增宽 0.5 ~ 2.5mm, 宽度差 ≤ 3mm	15	焊缝形尺寸有 1 项不符合本考核要求则扣 5 分, 直至扣光配分
	2	焊缝咬边深度 ≤ 0.5mm, 焊缝两侧咬边累计总长度不超过 39mm	15	焊缝两侧咬边累计总长度每 7mm 扣 3 分, 咬边深度 > 0.5mm 或累计总长度 > 39mm, 此项分扣光
	3	背面凹坑 ≤ 1mm, 累计总长度不超过 26mm	12	背面凹坑累计总长度每 8mm 扣 4 分, 背面凹坑 > 1mm 或累计总长度 > 26mm, 此项配分扣光
焊后变形		试件焊后的角度 ≤ 3°, 焊件的错边量 ≤ 0.6mm	8	焊后变形的角度 > 3° 扣 5 分, 错边量 > 0.6mm 扣 3 分
焊缝的内部质量		焊件经 X 射线探伤后, 焊缝内部不允许有裂纹, 不允许有密集气孔和夹渣, 单个气孔或夹渣 < 0.6mm, 在任何 100mm 长的焊缝内, 气孔和夹渣累计尺寸不超过 3mm	30	焊缝内部若有裂纹, 按不及格论, 焊缝内部若有密集气孔或夹渣扣 10 分, 焊缝内部若有气孔或夹渣, 但在本考核要求的范围内则得 6 分, 超出本考核要求的范围则扣 10 分
焊缝的抗弯曲性能		将试样冷弯至 90° 后, 其拉伸面上不得有任何 1 个横向 (沿试样宽度方向) 裂纹或缺陷的长度不得 > 1.5mm, 也不得有任何纵向 (沿试样长度方向) 裂纹或缺陷的长度不得 > 3mm	20	面弯经补样后才合格扣 10 分; 两个试样均不合格, 此项配分扣光
焊缝的表面状态	1	焊缝的表面应是原始状态, 不允许有加工、补焊或返修焊等		焊缝表面若有加工、补焊或返修焊等, 扣除该焊件焊缝外观质量的各部配分; 焊缝表面有裂纹、未熔合、夹渣、气孔、焊瘤以及未焊透等缺陷, 按不及格论
	2	焊缝表面不得有裂纹、未熔合、夹渣、气孔、焊瘤以及未焊透等缺陷		
安全文明生产		按国家颁布的安全生产法规中有关本工种规定或企业自定有关规定考核		根据现场记录, 视违反规定的程度扣 1 ~ 10 分
时限		焊件必须在考核时限内完成		在考核时限内完成不加分; 超出考核时限 5min 内扣 2 分; 超出考核时限 5min 外, 但小于 10min 扣 5 分; 超出考核时限 10min 为不及格

[操作练习题]

铝合金焊接技能训练。

1. 焊前准备

- (1) 设备 WS—300 型手工钨极交流氩弧焊机, QD—1 型单级反作用式减压器、氩气瓶, LZB 型转子流量计。
- (2) 钨极 直径为 4mm。
- (3) 焊丝 SAlMg—5 (HS331), 直径为 3.0mm。

(4) 铝合金焊件 材质为 5A03，板件长×宽×厚为 300mm×125mm×5mm，每组两件。

2. 操作要领

该焊件为板的平对接焊，材质为 5A03，采用手工钨极交流氩弧焊。由于氩气的保护作用及对熔池表面氧化膜的“阴极破碎”作用，因而可以改善接头的组织和性能，减小焊件变形，获得高质量的焊缝。选用 SAlMg—5（HS331）焊丝，直径为 3.0mm；要求单面焊双面成形；采用左向焊法，短弧焊，焊枪均匀而平稳地向前作直线运动，并保持弧长恒定；焊丝端部始终放在氩气保护区范围内，以免氧化；钨极伸出长度为 3~4mm，钨极端部要对准焊缝中心线；采用高频振荡器引弧；引弧前应提前 5~10s 送气，熄弧后滞后 5~15s 关闭氩气。

3. 技能训练

铝合金板焊接技能训练的焊件如图 1-7 所示。

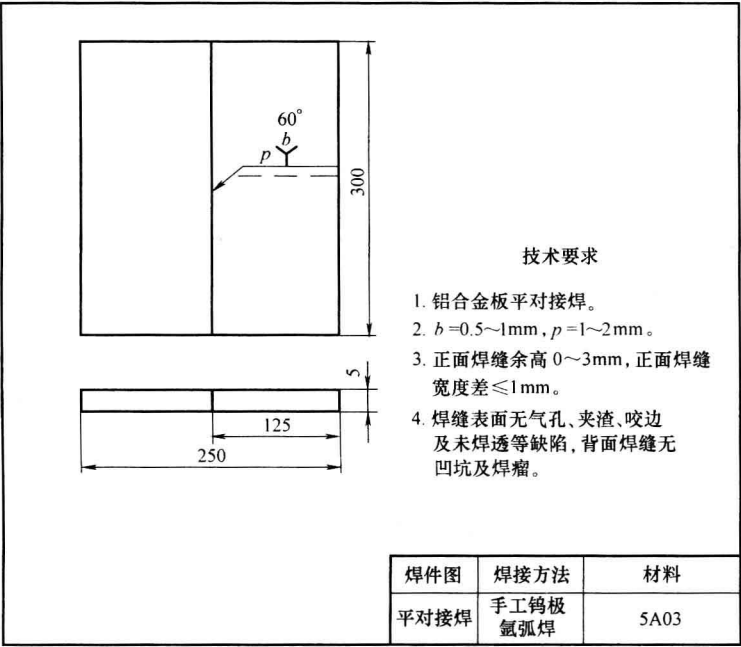


图 1-7 铝合金板的平对接焊焊件图

4. 操作过程

- 1) 焊件及焊丝表面的清理。
- 2) 装配及定位焊：定位焊焊缝长 6~15mm，间距 50~80mm。
- 3) 打底层要求单面焊双面成形。焊接时，焊接电流为 180~240A，氩气流量为 10~15L/min，喷嘴直径为 10~12mm。
- 4) 具体的操作方法如前所述。
- 5) 焊后检查焊缝质量。

5. 注意事项

- 1) 焊接过程中焊丝不可触及钨极，以免造成焊缝夹钨。
- 2) 收弧时，要防止出现过深的弧坑和弧坑裂纹。
- 3) 要求焊缝平直，成形美观。

项目三 铜及铜合金的焊接

[学习目标]

掌握铜及铜合金的焊接参数的选择及基本操作方法。

一、技术准备

铜及铜合金的焊接性主要从熔合性、氧化性、气孔的产生、热裂纹的产生及接头性能5个方面考虑。

1. 难熔合

铜及铜合金的导热性比钢好得多,铜的热导率是钢的7倍,随着温度的升高,导热性更好。焊接时,大量的热被传导出去,焊件难以局部熔化,必须采用功率大、热量集中的热源,有时还要预热。热影响区很宽。

2. 铜的氧化

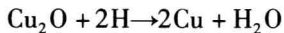
铜在常温时不易氧化,但是随着温度的升高,当超过300℃时,易氧化,当温度接近熔点时,最易氧化。氧化的产物是生成氧化亚铜(Cu_2O)。焊缝金属结晶时,氧化亚铜和铜形成低熔点的共晶,分布在铜的晶界上,大大降低了焊接接头的力学性能,所以铜的焊接接头的性能一般低于焊件本身。

3. 气孔

铜及铜合金产生气孔的倾向远比钢严重。其中一个直接原因是铜导热性好,焊接熔池凝固速度快,液态熔池中气体上浮的时间短,来不及逸出。但根本原因是气体溶解度随温度下降而急剧下降及化学反应产生气体所致。

铜合金中的气孔分两种类型:即氮造成的扩散气孔和水蒸气造成的反应气孔。铜及铜合金液态金属高温时氢的溶解度很大,随着温度的降低,溶解度降低,而在铜中溶解度降低的幅度比在钢中大得多。这就是说,在焊缝凝固前,会有很多氢要逸出,但铜焊缝的凝固速度比较快,氢来不及逸出便要形成气孔,这是扩散气孔。

高温时,铜与氧亲和力较大,形成的 Cu_2O 在1200℃以上可溶于液态铜中,低于1200℃便要游离出来,与氢发生如下反应



所形成的水蒸气不溶于液态铜,若来不及逸出也会形成气孔,这是反应气孔。

防止气孔产生的主要措施:

1) 防止焊缝金属吸氢及氧化,焊件表面在焊前应去油污、水分等,焊条、焊剂要烘干使用,焊丝表面不得有水分。

2) 对焊缝加强脱氧,加入硅、铝、钛、锰等脱氧元素。

3) 焊接时加强保护效果。

4) 选择合适的焊接参数,降低冷却速度,熔深不可过大。

4. 热裂纹

铜及铜合金焊接时在焊缝及熔合区易产生热裂纹。形成热裂纹的原因主要有以下几个方面: