

船舶工人培训丛书

# 船舶焊接工艺学

陈倩清 主编



哈尔滨工程大学出版社

责任编辑 / 郜殿英 封面制作 / 桉梓文化

# 船舶工人培训丛书

## 技校教材

船舶辅机与轴系  
船舶柴油机  
船舶电工工艺学  
船舶电工基础  
船舶电工识图  
船舶电工操作技能  
船舶管系工识图  
船舶管系工工艺  
船舶管系工操作技能  
**船舶焊接工艺学**  
船舶焊工操作技能  
船体装配工艺  
船体装配工操作技能  
船舶钳工识图  
船舶木塑工工艺  
船舶木塑工操作技能  
木塑工识图  
船体识图  
船体放样

ISBN 7-81073-730-9



9 787810 737302 >

ISBN 7-81073-730-9

定价: 16.00 元

# 船舶焊接工艺学

陈倩清 主编

哈尔滨工程大学出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

船舶焊接工艺学/陈倩清主编.—哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2005  
ISBN 7-81073-730-9

I.船… II.陈… III.造船-焊接工艺  
IV.U671.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 088944 号

---

### 内 容 简 介

本书依据中国船舶工业总公司 1997 年颁发的《职业技能鉴定规范》(考试大纲)编写而成,本书由两部分组成,即专业理论基础知识、焊接技能操作技术。专业理论基础知识内容主要包括:常用焊接方法及其一般工艺知识、焊接设备、焊接材料、金属材料的焊接、焊接应力及变形、焊接检验和焊接缺陷的修整及焊补知识;焊接技能操作技术包括:焊条电弧焊仰对接单面焊双面成形、CO<sub>2</sub> 气体保护焊垂直固定管——管对接焊接指导、手工电弧焊仰对接单面焊双面成形、焊条电弧焊管——管对接全位置焊(水平固定)、焊条电弧焊管——管对接横焊(垂直固定)、板材手工钨极氩弧焊平对接、钨极氩弧焊管对接等训练课题。可供船舶技工学校、职业技能鉴定培训中心电焊专业作教材使用,并可作船厂和其他行业焊工的参考用书。

---

哈尔滨工程大学出版社出版发行  
哈尔滨市南通大街145号 哈尔滨工程大学11号楼  
发行部电话:(0451)82519328 邮编:150001  
新华书店经销  
黑龙江省地质测绘印制中心印刷厂印刷

\*

开本 787mm×1 092mm 1/16 印张 13.75 字数 331 千字

2005 年 9 月第 1 版 2005 年 9 月第 1 次印刷

印数:1—2 000 册

定价:16.00 元

## 编者的话

中国船舶工业总公司 1997 年颁发《职业技能鉴定规范》(考试大纲),据此要求编写了《船舶焊接工艺学》,供船舶技工学校、职业技能鉴定培训中心电焊专业作教材使用,并可作船厂和其他行业焊工的参考用书。

针对各船厂焊工队伍来源现状,在本书的编写中强调新工艺、新标准、新设备、新材料、新技术并注重理论与实践相结合,注重实用性、针对性,以期培养学员在一定的专业理论基础上有较强的动手能力,能较快地胜任本岗位工作。

本书由两部分组成,分别是专业理论基础、焊接技能操作技术。

《船舶焊接工艺学》由陈情清同志主编,其中埋弧焊及焊接检验部分由刘海清同志编写,技能训练课题分别由 2003 年获工程建设系统第六届全国焊工技能大赛第 13 名的高级技师孙漱平同志和 2003 年获武汉市焊工技能大赛状元高级技师代能武及他们的教练高级技师谢蒙生同志编写。全书最后由武昌造船厂研究员级高级工程师张昆同志审定。

在此书的编写过程中,还得到武昌造船厂舰船事业部工艺所黄丽同志、胡友珍同志的热情帮助,借此对他们的帮助、支持表示真诚的感谢。

因编者水平有限,时间仓促,本书中缺点、错误难免,请批评指教。

编者  
2005 年 5 月

# 目 录

## 第一编 常用焊接方法及其一般工艺知识

<b>第一章 埋弧自动焊</b> .....	1
第一节 埋弧自动焊概述 .....	1
第二节 埋弧自动焊的主要特点与焊机分类 .....	1
第三节 埋弧自动焊规范参数 .....	3
第四节 埋弧自动焊操作技术 .....	10
第五节 埋弧焊常见缺陷及其防止方法 .....	21
<b>第二章 CO<sub>2</sub> 气体保护焊</b> .....	24
第一节 CO <sub>2</sub> 气体保护焊的特点、分类及应用 .....	24
第二节 CO <sub>2</sub> 气体保护焊的冶金特点 .....	26
第三节 细丝 CO <sub>2</sub> 气体保护半自动焊工艺 .....	29
第四节 带焊接衬垫 CO <sub>2</sub> 气体保护半自动单面焊工艺 .....	40
<b>第三章 钨极氩弧焊</b> .....	46
第一节 氩弧焊概述 .....	46
第二节 钨极氩弧焊的特点 .....	47
第三节 钨极氩弧焊工艺 .....	48
<b>第四章 电渣焊</b> .....	53
第一节 电渣焊的基本原理和特点 .....	53
第二节 电渣焊的分类及应用 .....	54

## 第二编 焊接冶金过程和焊接接头的组织与性能

<b>第一章 焊条(或焊丝)金属的熔化及熔滴过渡</b> .....	56
第一节 焊条(或焊丝)的熔化 .....	56
第二节 焊条(或焊丝)金属的熔滴过渡 .....	57
<b>第二章 焊接化学冶金过程</b> .....	60
第一节 焊接区内气体的来源及其影响 .....	60
第二节 焊缝金属的脱氧、脱硫、脱磷及合金化 .....	61
<b>第三章 焊接结晶过程</b> .....	67
第一节 焊接熔池金属的结晶 .....	67
第二节 焊接热循环 .....	70
第三节 焊接热影响区的组织和性能 .....	73

## 第三编 焊接设备

第一章 焊条电弧焊电源的分类及型号 .....	75
第二章 常用弧焊电源的基本原理和性能 .....	78
第一节 交流弧焊变压器 .....	78
第二节 直流弧焊机 .....	80
第三章 埋弧自动焊机 .....	84
第一节 MZT-1000型埋弧自动焊机的构造及使用 .....	84
第二节 埋弧焊机的维护保养和安全技术 .....	86
第四章 CO <sub>2</sub> 气体保护焊机 .....	87
第一节 CO <sub>2</sub> 气体保护焊设备概述 .....	87
第二节 CO <sub>2</sub> 气体保护焊焊机常见故障、原因和对策 .....	90
第五章 手工钨极氩弧焊机 .....	92

## 第四编 焊接材料

第一章 焊条 .....	94
第一节 焊芯 .....	94
第二节 药皮 .....	95
第三节 焊条性能 .....	97
第二章 焊丝与焊剂 .....	101
第一节 焊丝 .....	101
第二节 焊剂 .....	103
第三章 焊接用保护气体及辅助材料 .....	108
第一节 氩气 .....	108
第二节 CO <sub>2</sub> 气体 .....	108
第三节 混合保护气体 .....	109
第四节 钨极 .....	112
第五节 焊接用辅助材料 .....	112

## 第五编 金属材料的焊接

第一章 金属的焊接性 .....	116
第一节 焊接性的含义 .....	116
第二节 钢的焊接性 .....	116
第三节 钢材焊接材料的选配 .....	117
第二章 不锈钢的焊接 .....	121
第一节 不锈钢的分类 .....	121
第二节 铬镍奥氏体不锈钢的焊接 .....	121

第三节 铁素体不锈钢的焊接	125
第四节 马氏体不锈钢的焊接	126
第三章 铬钼耐热钢的焊接	127
第四章 有色金属的焊接	129
第一节 铝及铝合金的焊接	129
第二节 铜及铜合金的焊接	135
第五章 船用铸钢件的焊接和补焊工艺	140

## 第六编 焊接应力及变形

第一章 焊接应力及变形产生的原因和影响因素	143
第一节 焊接应力与焊接变形的概念	143
第二节 焊接应力与焊接变形的形成	143
第三节 各类焊接变形产生的原因	144
第四节 影响焊接变形与焊接应力的因素	145
第二章 控制焊接变形的措施	148
第三章 焊接应力	153
第四章 船体结构焊接变形的控制	158
第一节 船体结构的焊接程序	158
第二节 整体建造船体结构的焊接程序	160
第三节 分段法建造船体结构的焊接程序	162
第四节 船台大合拢的焊接程序	169

## 第七编 焊接检验和焊接缺陷的修整及焊补知识

第一章 焊接检验	172
第一节 无损检验	172
第二节 破坏性检验	176
第二章 焊接缺陷的产生与防止	177
第三章 焊接缺陷的修整方法	184

## 第八编 实际操作训练课题

课题一 焊条电弧焊仰对接单面焊双面成形	186
课题二 焊条电弧焊管——管对接全位置焊(水平固定)	190
课题三 焊条电弧焊管——管对接横焊(垂直固定)	193
课题四 CO <sub>2</sub> 气体保护焊立焊位置,带陶质焊接衬垫单面焊实训指导	196
课题五 CO <sub>2</sub> 气体保护焊垂直固定管——管对接焊接指导	200
课题六 板材手工钨极氩弧焊平对接	203
课题七 钨极氩弧焊水平固定管对接	208
参考文献	212



# 第一编 常用焊接方法及其一般工艺知识

## 第一章 埋弧自动焊

### 第一节 埋弧自动焊概述

埋弧自动焊又称焊剂层下自动焊,即焊接时电弧被颗粒状的焊剂所覆盖掩埋而不外露。当焊接电弧移动是自动完成时称埋弧自动焊,焊接电弧移动为人工操作完成时称埋弧半自动焊。

电弧将焊丝、焊件、焊剂熔化形成熔池,熔池受到同时被熔化的焊剂形成的熔渣和焊剂蒸气保护,随着电弧向前移动熔池随之冷却凝固形成焊缝;熔渣也随之冷却凝固形成渣壳,因密度较小而覆盖在焊缝上。

埋弧自动焊过程如图 1.1-1 所示。调整、点动焊丝使之与焊件坡口对中并接触良好,打开焊剂斗铺撒适量焊剂,启动焊机电源,电流通过导电嘴传到焊丝,并与焊件产生电弧,焊丝经送丝轮均匀输送,保持电弧稳定燃烧,焊接小车匀速行走,电弧稳定地向前移动,注意保证各仪表数值稳定,焊剂铺撒通畅均匀至终点停止,回收焊剂,敲开焊渣,便是已成形的焊缝。

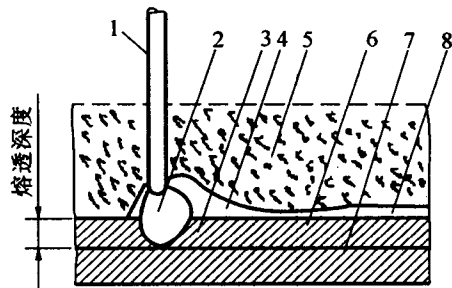


图 1.1-1 埋弧自动焊过程示意图

1—焊丝;2—电弧;3—熔池;4—焊缝;5—焊剂;  
6—熔渣;7—焊件;8—焊渣

### 第二节 埋弧自动焊的主要特点与焊机分类

#### 一、埋弧自动焊的主要特点

##### 1. 生产效率高

焊接时,电弧将电能转换为热能而做功,当焊接电流和电流密度提高时,电弧的熔深和焊丝的熔敷效率都会大大地提高。埋弧自动焊的焊接电流是通过特制的具有良好导电性、耐磨性的导电嘴传导给作为金属电极的焊丝,而焊丝从导电嘴到焊件的长度远远小于焊条电弧焊时的电焊条长度,所以能使用比焊条电弧焊时大得多的焊接电流和电流密度,从而增加了电弧的熔深,提高了焊接熔敷率。两种焊接方法的焊接电流值,电流密度值比较见表

1.1-1。

另外,由于在焊剂的覆盖下,埋弧焊的电弧空间被液态的渣膜包围,电弧辐射、气流和飞溅等造成的热量损失很小,虽然用于熔化焊剂的热量损耗有所增大,但总的效率仍然很高,在常用的几种电弧焊方法中,埋弧焊的热效应系数是最高的,见常用电弧焊热效应系数对照表 1.1-2。

表 1.1-1 焊条电弧焊与埋弧自动焊焊接电流、电流密度值比较

焊丝直径 /mm	焊条电弧焊		埋弧自动焊	
	焊接电流 /A	电流密度 /(A/mm <sup>2</sup> )	焊接电流 /A	电流密度 /(A/mm <sup>2</sup> )
2	50~65	16~21	200~400	64~127
3	80~130	11~18	350~600	50~85
4	125~200	10~16	500~800	40~64
5	190~250	10~13	700~1 000	36~51

表 1.1-2 常用电弧焊热效应系数对照表

弧焊方法	热效应系数
药皮焊条电弧焊	0.65~0.85
埋弧自动焊	0.8~0.9
CO <sub>2</sub> 气体保护焊	0.75~0.9
熔化极氩弧焊(MIG)	0.70~0.80
钨极氩弧焊(TIG)	0.65~0.70

由于焊接电流密度增大,电弧的熔深显著增加、热效应大的特点,在实际生产中,对钢板厚度 16 mm 以下的对接焊缝不开坡口,采用双面埋弧自动焊已是很成熟的焊接工艺。

焊接速度快,以厚度 8~10 mm 钢板对接焊为例,单丝埋弧焊速度可达 30~50 m/h,而焊条电弧焊则不超过 6~8 m/h。

因为不开坡口可熔透,从而减少焊缝的填充金属,节约了焊接材料和电能,与焊条电弧焊相比还没有飞溅与焊条头的损失。

综上所述,可见埋弧自动焊是一种高效焊接方法,特别适用于厚钢板、长直焊缝的焊接。为提高生产率,还有双丝、三丝埋弧自动焊。

## 2. 焊接质量好

因埋弧焊电弧受到焊剂良好的保护,其隔离空气的效果远比焊条电弧焊好,焊缝金属的含氧量、含氮量大大降低。熔池存在时间长,液态金属与熔化的焊剂间有较长时间进行冶金反应,减少了焊缝中产生气孔、裂纹等缺陷的可能性。又因熔深大而不易产生未焊透、夹渣。焊缝表面成形光滑、平直、均匀。

焊接过程稳定,不受人为因素的影响,只要焊接参数和工艺正确,埋弧自动焊的质量易于得到保证。

### 3. 焊接变形小

埋弧自动焊热量集中,焊接速度快,焊件受热均匀,焊接层数少焊接变形小。

### 4. 改善劳动条件

焊接过程的自动化和大的焊接功率使焊工劳动强度降低,另外,埋弧焊有毒气体较少,同时消除了弧光辐射的危害,改善劳动条件。

由于埋弧自动焊的特点特别适用于中厚板金属结构的长焊缝的焊接,在造船、锅炉、压力容器、桥梁、车辆、核电站和海洋结构等制造部门中得到广泛的应用,是现在焊接生产中普遍使用的高效焊接方法之一。在某些有特殊要求,如阀门、轧辊、核电站、压力容器等构件,采用特制的焊丝、焊带和焊剂进行埋弧焊堆焊具有耐磨、耐腐蚀要求的表面层,因焊接质量稳定,焊后变形小,故经常采用。用于焊接镍基合金、铜合金也比较理想。

与焊条电弧焊相比其局限性如下。

目前埋弧自动焊只适用于直线、正圆的平面位置,使用范围受到限制。国外虽有研究用特殊装置和焊剂实现横、立、仰位置的埋弧焊,但应用不普遍。

由于焊剂主要是  $MnO$ 、 $SiO_2$  等金属和非金属氧化物,而难以用来焊接铝、钛等氧化性强的金属。

对焊件的预处理,装配质量要求高,辅助准备时间长,对现场条件有一定的要求,不如焊条电弧焊方便。

当焊接电流过小时,焊接电弧不太稳定,所以薄板焊接难度较大。

## 二、埋弧自动焊机的分类

虽然在生产中使用的埋弧自动焊机有很多品种,但按其送丝方法或焊接电弧自动调节原理,一般分为两大类:

焊丝等速输送式(电弧自调节式) 典型机如国产 MZ1-1000 型埋弧自动焊机;

焊丝变速输送式(电弧电压反馈自动调节式) 典型机如国产 MZ-1000 型埋弧自动焊机。

按用途可分为万能式埋弧自动焊机、专用埋弧自动焊机,如角焊机、带极堆焊机。

按焊丝数目可分为单丝埋弧自动焊机、多丝埋弧自动焊机。

按机头行走方式可分为悬挂机头式、自动小车式。

另外,还有自动送丝而行走为人工操作的半自动埋弧焊机。

## 第三节 埋弧自动焊规范参数

### 一、焊缝形状与尺寸,焊缝成形系数及熔合比概述

图 1.1-2 为焊缝横截面的形状和尺寸示意图,其中焊缝宽度  $B$  与焊缝计算厚度  $H$  之比称为成形系数  $\psi$ ,所谓焊缝成形系数  $\psi$  是指“熔焊时,在单道焊缝横截面上焊缝宽度( $B$ )与焊缝计算厚度( $H$ )的比值( $\psi = B/H$ )”。

可以认为,焊缝即凝固了的熔池,熔池形状即焊缝形状,当  $\psi$  值过小时说明焊接电流过大,电弧深入基本金属之内,熔深显著增加则焊缝的宽度小而焊缝计算厚度增大,焊缝呈深

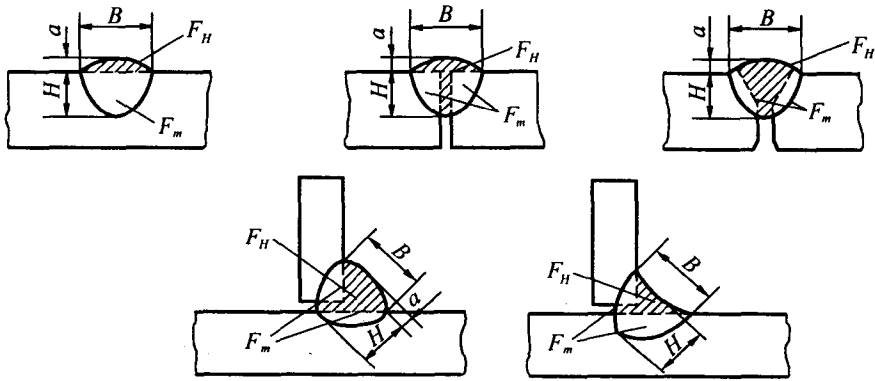


图 1.1-2 焊缝的形状和尺寸示意图

$\alpha$ —焊缝余高;  $B$ —焊缝宽度;  $H$ —焊缝计算厚度;  $F_m$ —母材金属在焊缝横截面中所占的面积;  
 $F_H$ —填充金属在焊缝横截面中所占的面积

而窄状。当  $\psi$  值过大时则说明焊接电弧作用于基本金属较浅,焊缝的熔深浅则焊缝计算厚度小而宽度大。 $\psi$  值的大小会影响到熔池中的气体逸出的难易、熔池的结晶方向、焊缝中心偏析严重程度等等,这些条件直接影响到焊缝产生气孔,影响裂纹的敏感性,致密性及焊缝的机械性能。当  $\psi$  值过小时,因冷却时熔池结晶方向的原因,低熔点夹杂物会富集在焊缝最后结晶的树枝晶会合处即焊缝的中心,形成局部偏析,容易造成焊缝的气孔、裂纹缺陷,同时形成焊缝余高过大,焊缝成形不良,不能与母材光滑过渡,造成应力集中。当  $\psi$  值过大时,则因电弧熔深不够而造成未焊透缺陷。埋弧自动焊对接焊缝成形系数  $\psi$  一般要求大于 1.3,而在堆焊时,为了保证堆焊层材料成分尽量小的变化和较高的生产率,则要求焊缝计算厚度小而宽度大,此时成形系数  $\psi$  可达到 10。

焊缝余高  $\alpha$  可避免熔池金属凝固收缩时形成的缺陷,也可增大焊缝截面提高承受静载荷能力,但余高不能过大,并应与母材表面光滑过渡,否则会引起应力集中或疲劳寿命的下降,所以焊缝成形在满足规定尺寸的同时还要保证焊缝的外表成形。一般对接接头埋弧自动焊缝的余高为  $\alpha = 0 \sim 3 \text{ mm}$ 。

焊缝横剖面中母材金属熔化截面积  $F_m$  与焊缝金属截面积 ( $F_m + F_H$ ) 之比称为熔合比  $\gamma$ ,即

$$\gamma = \frac{F_m}{F_m + F_H}$$

式中  $F_m$ ——母材金属在焊缝横截面中所占面积;

$F_H$ ——填充金属在焊缝横截面中所占面积。

从上式和图 1.1-2 可见,当接头的坡口、焊缝熔池改变时,熔合比将随之变化,而熔合比的变化会直接影响焊缝的化学成分、金相组织和机械性能,特别是在焊高合金钢或堆焊时更敏感。通过改变熔合比来调整焊缝金属的化学成分,在焊接生产中具有重要的实用价值,为保证焊缝金属成分和性能的稳定性,必须正确选择并严格控制焊接规范参数。

必须严格区分焊缝计算厚度  $H$  与熔深之间的不同,GB/T3375-94《焊接术语》对熔深的定义是在焊接接头横截面上,母材或前道焊缝熔化的深度。从图 1.1-3 可以清楚地看出,

这是两个不同的概念,不能混淆。当堆焊或 I 形坡口对接焊时,熔深尺寸等同焊缝计算厚度,而角焊缝或 Y 形坡口焊缝则熔深仅为母材或前道焊缝熔化的深度(多层多道焊同理),不应将计算厚度与熔深等同。对于埋弧自动焊而言,确定焊缝熔深尺寸至关重要,它直接影响到焊缝是否熔透、致密,配合适当熔宽才能形成合格的焊缝,这一点明显有别于其他电弧焊方法。

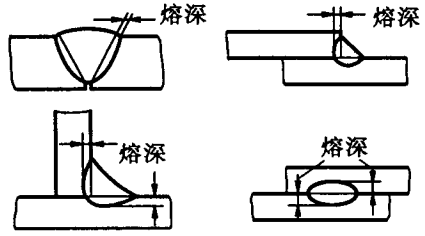


图 1.1-3 熔深示图

## 二、焊接规范参数对焊缝形状的影响及其选择

通过调节焊接规范参数可调节焊缝的形状、成形系数和熔合比,埋弧自动焊的焊接参数主要有焊接电流、电弧电压、焊接速度、焊丝直径、焊丝伸出长度等。

另外,焊件、焊丝的倾斜程度等也会对焊缝的形状等带来影响。

### 1. 焊接电流

焊接电流对焊缝成形的影响见图 1.1-4。当其他条件不变,增加焊接电流,焊缝熔深增加,焊缝余高增加,而焊缝宽度变化不大。因为首先焊接电流增大后,母材所受的电弧吹力和热输入量都增大,电弧能较深地潜入母材而使熔深显著增加。随着焊接电流增大,电弧弧柱直径增大,但因电弧深入母材的深度增大后电弧斑点移动范围受到限制,所以熔宽几乎不变。焊接电流的增大使焊丝熔化量以近似比例地增多而熔宽不变,所以焊缝余高增大,此时焊缝成形系数则由于熔深增大,熔宽不变而减小,熔合比则因母材熔化量增大而增大。所以,为获得适当的焊缝成形系数,在提高焊接电流的同时,必须相应地提高电弧电压,即提高电弧的长度。

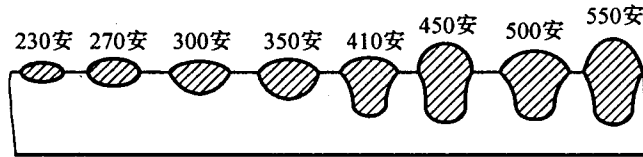


图 1.1-4 焊接电流对焊缝成形的影响

焊接电流继续增大,电弧吹力增大,焊缝熔深、焊缝余高都增加,焊缝宽度变化仍很小,此时焊缝成形系数变小,焊缝成形恶化易促成热裂纹缺陷的产生,并不利于焊缝结晶直至影响焊接接头的机械性能,所以低合金钢埋弧焊时焊接电流不宜过大。

当焊接电流小时,焊缝熔深和余高减小,焊缝宽度变化不大;焊接电流更小时,焊缝熔深则进一步减小,并因电弧吹力减小而容易造成未焊透、夹渣等焊缝缺陷。由于焊接电流过小电弧燃烧不稳定,焊接冶金不充分,熔池凝固过快还会造成气孔缺陷。

随着焊接电流的增加焊缝熔深随之增加,焊接电流与焊缝熔深存在近似正比的关系:熔深 =  $K_m I$ 。  $K_m$  为熔深系数,它与焊接电流种类、极性、焊丝直径、焊剂成分有关。表 1.1-3 为焊钢时不同直径焊丝的熔深系数。

表 1.1-3 不同直径焊丝的熔深系数

焊丝直径 /mm	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 /(m/h)	电流密度 /(A/mm <sup>2</sup> )	熔深系数 $K_m$ /(mm/100A)
2	200 ~ 700	32 ~ 40	15 ~ 100	63.6 ~ 222.9	1.0 ~ 1.7
5	450 ~ 1 200	34 ~ 44	30 ~ 60	22.9 ~ 61.1	0.7 ~ 1.3

## 2. 电弧电压

电弧电压是焊接时电弧长度的量化,其数值与电弧长度成正比。焊条电弧焊时电弧长度靠肉眼观察,被焊剂掩埋的埋弧焊电弧长度则通过电压表显示。电弧电压升高,即焊接电弧拉长,电弧作用于母材的面积增大,焊缝熔宽明显增加,而被熔化的焊丝填充量不变,所以焊缝余高相应减小。同时,因电弧拉长部分电弧热量被更多的焊剂吸收熔化,拉长的电弧对熔池底部液体金属作用减弱而使焊缝熔深略有减小。当焊接电流不变,电弧电压减小,即电弧压短,作用于母材的面积减小而填充金属量不变,所以焊缝熔宽减小,余高增大,熔深有所增加。电弧电压对焊缝熔宽的影响见表 1.1-5。

当焊接电流不变,电弧电压过小,即焊接电弧过短致使焊缝成形尖窄,成形系数过小,多层焊时会造成夹渣缺陷。电弧电压过大,焊接电弧过长而飘忽不稳,易使空气侵入,焊缝成形不良,并会造成夹渣、气孔、未熔合等缺陷,角焊缝时易造成焊缝咬边缺陷。当使用大的焊接电流时,电弧电压对熔深的影响不敏感;而使用小电流焊接薄板时,电弧电压的影响则是一个很重要的因素。

注意电弧电压是根据焊接电流而确定的,即一定的焊接电流要保持一定范围电弧长度,以保证电弧的稳定燃烧,所以电弧电压的调节范围是有限的,应综合焊接电流、焊接速度及焊件具体情况确定。需要强调的是,当电弧电压不稳定时,焊接电流肯定也不稳定,而究其原因可能是工艺参数、电焊机的电路、机械或焊接回路中任何一个环节的异常所致。

焊剂成分、焊接电源极性不同时,虽然电弧电压不变,但焊缝成形也将发生变化。

## 3. 焊接速度

根据线能量公式

$$q = \eta \cdot IU / V$$

当焊接速度提高时,线能量减小,焊缝熔宽和熔深都减小,余高也随之减小,因为单位长度焊缝上的焊丝金属的熔化量与焊接速度成反比,而熔宽则近似于与焊接速度成反比,所以焊接速度对焊缝成形的影响明显,焊缝的熔深、熔宽随焊接速度变化而变化,焊接速度快,焊缝熔深、熔宽小;焊接速度慢则焊缝熔深、熔宽大。

当焊接速度过慢,电弧下的液态金属不易后排,垂直向下的电弧吹力受到熔池液态金属的阻挡,焊缝熔深反而减小,并引起液态金属满溢造成夹渣、未熔合,严重时焊缝不能成形。当焊接速度适当时,电弧弧柱向后倾斜,有利于熔池内液态金属向后流动而保证熔深。随着焊接速度的增快熔池存在时间缩短,焊缝凝固速度增快,有利于防止晶粒长大和减少焊缝热影响区高温停留时间,如在奥氏体不锈钢埋弧焊时焊接速度一般较快。但焊接速度太快,则电弧作用时间过短,焊缝单位长度内得到的电弧热量太少,使焊缝的熔深、熔宽和余高都减小,并会造成未焊透、气孔、咬边等缺陷。

为提高生产率,根据埋弧自动焊的特点,希望尽量使用快的焊接速度,注意在提高焊接速度的同时要相应地提高焊接电流和电弧电压,才能满足焊缝的内部质量和规定的焊缝尺寸。焊接速度对焊缝成形的影响见图 1.1-5。

#### 4. 焊丝直径

随着焊丝直径增大焊缝熔宽增加,这是因为电弧弧柱直径也增大,使电弧作用于母材热面积增加所致,而此时熔深则稍有下降。当焊接电流不变而改变焊丝直径时,焊缝形状发生较大的变化,因为电流密度变化的原因,焊丝直径减小,电流密度增大,电弧热量更集中,熔深便增加。从表 1.1-3 可看出,当达到同样熔深时,焊丝直径越细,则所需的焊接电流越小,相应的电流密度却显著提高,同时说明细焊丝的熔深系数大。

从电弧自身调节原理上讲,对于一定直径的焊丝,如果电流足够大即有足够大的电流密度时,就有足够的电弧自身调节灵敏度,而电流密度不够大时电弧自身调节灵敏度相应降低。在一定的工艺条件下,每一直径的焊丝都有一个能依靠自身调节作用,保证焊接电弧过程稳定的最小电流值。不同直径的焊丝各有其焊接电流使用范围值(表 1.1-4),但在焊接实践中以取其中间值为宜。

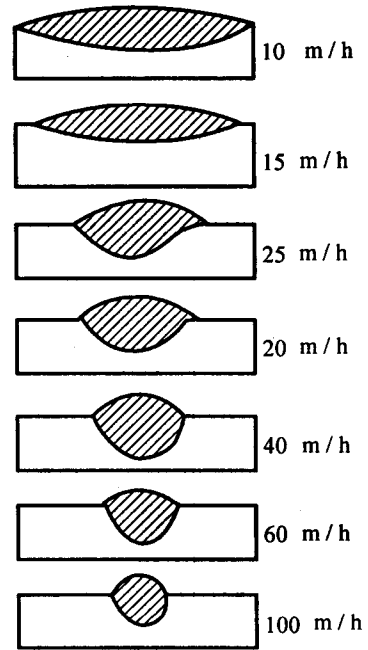


图 1.1-5 焊接速度对焊缝成形的影响

表 1.1-4 不同直径焊丝适用焊接电流范围

焊丝直径/mm	焊接电流范围/A
3	320 ~ 650
4	400 ~ 800
5	500 ~ 1 000

说明:焊丝牌号为 H08A, 10Mn2; 焊剂为 HJ431, HJ350。

#### 5. 焊丝伸出长度

焊丝伸出长度是指焊丝从导电嘴伸出的长度,又叫干伸长。伸出长度部分的焊丝也就是焊接电源的导体,显然这个长度是受到限制的,视焊丝直径而定,一般为焊丝直径的 8 ~ 10 倍左右。焊丝伸出长度过短会形成“挂渣”,影响焊缝成形或烧坏导电嘴;当焊丝伸出长度过长,焊接电流通过产生的电阻热使其熔化速度加快,此时焊丝的熔化量增多,余高增大,熔深略有减小,熔合比也减小,特别是小直径或电阻系数大的焊丝更加敏感。在生产中用直径 3 mm 以下或不锈钢焊丝焊接时,焊丝伸出长度变化范围必须严格控制。

在某些形状特殊的构件焊接时,可采用加长导电嘴的办法,以保证适当的焊丝干伸长。

#### 6. 焊件、焊丝倾斜的影响

在大型构件焊接时,焊缝很难处在水平位置,便有向上方向或向下方向焊,习惯称为爬坡焊或溜坡焊。爬坡焊时,熔池液态金属后淌,导致电弧对熔池液态金属后排作用加强,焊缝熔深和余高增加而熔宽明显减小,即焊缝成形系数减小,会造成气孔、裂纹等缺陷,造成严重咬边,使焊缝成形恶化。溜坡焊时,向前(焊接方向)流动的熔池液态金属阻挡了电弧对母材的吹力,这样,焊缝熔深减小而熔宽增大,易造成未焊透、夹渣、未熔合等缺陷且焊缝成形不良。所以焊缝的倾斜角不能超过 $6^{\circ}\sim 8^{\circ}$ 。

焊丝倾斜焊接时,对焊缝成形的影响与上述现象相似。有时在焊缝间隙较大或薄板焊接时,会采用焊丝前倾的方法以防止焊穿。焊件、焊丝倾斜的影响见图 1.1-6。

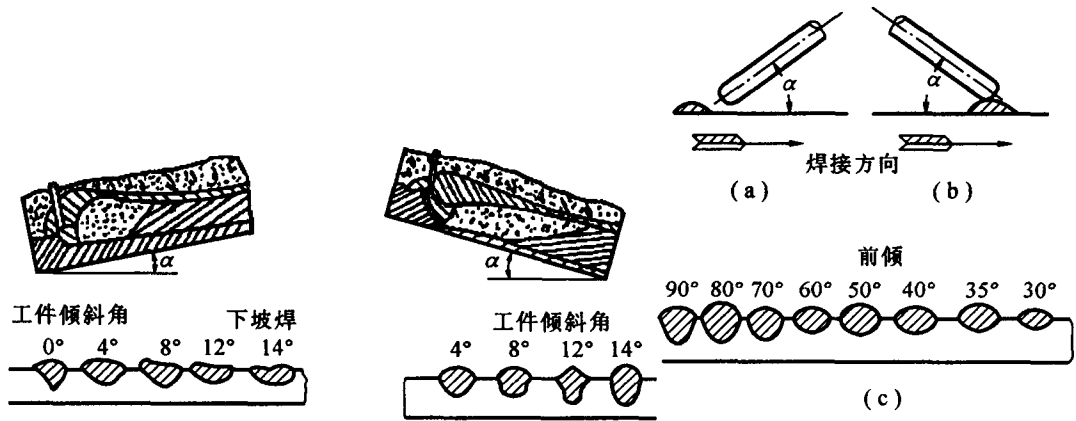


图 1.1-6 焊件、焊丝倾斜的影响

在实际生产中不可避免地会碰到一些非水平位置的焊缝,这时将根据焊缝所处位置的具体情况,用调整焊接规范参数并结合其他手段的方法来改善焊缝成形。

上坡焊时的调整:

- (1)为使焊缝熔宽不至于过窄,适度增大电弧电压,比水平位置的电弧电压增大 $1\sim 3\text{V}$ ;
- (2)因上坡焊时的熔深自然增加,焊接电流可比水平位置时稍小;
- (3)将焊丝适当前倾以减少熔深,增加焊剂堆积高度。

下坡焊时的调整

- (1)为削弱熔池液态金属下淌,可适当减小电弧电压 $1\sim 3\text{V}$ 。
- (2)焊丝适当后倾以增加液态金属后排能力,增加焊接速度。

注意:上述方法都只是一种补救措施,其效果是有限的。

#### 7. 坡口与间隙

当其他条件不变时,坡口或间隙的尺寸越大,焊缝余高越小,此时的熔合比减小,从横截面上看相当于整个焊缝空间位置下降(图 1.1-7),因此调整坡口角度可用来控制焊缝余高的大小,以改善焊缝成形和调整熔合比。当厚板用粗直径焊丝焊接时,适当的间隙可增加熔深,并对焊缝成形有利。

从 GB986-88《埋弧焊焊缝坡口的基本形式和尺寸》可看到,同样钢板厚度的对接焊缝坡口有开 I 形和 Y 形、U 形的选择。因为在 I 形坡口对接焊时,必须有足够大的焊接电流才能保证焊缝熔透,虽然焊接接头并不存在超标缺陷,但因线能量过大而对焊缝金属组织的结



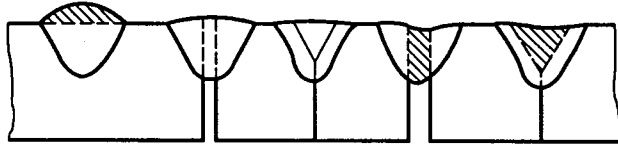


图 1.1-7 间隙和坡口对焊缝形状的影响

晶不利,并使热影响区晶粒粗大而降低了接头的塑性和韧性,所以在有一定综合性能要求的低合金钢焊接时,会选择 Y 形或 X 形坡口多层焊的方法。采用多层焊法可以有效地提高焊缝金属的性能,这是因为一方面每层焊缝焊接线能量、焊缝截面变小,高温停留时间变短,而改善了凝固结晶的条件;另一方面,更重要的原因是后一层对前一层焊缝具有附加热处理的作用,从而改善了焊缝固态相变的组织。

注意:I形坡口的熔深与 Y 形和 U 形坡口的熔深不能相提并论,当采用相同的焊接规范参数施焊时,Y 形 U 形坡口的熔深远远小于 I 形坡口的熔深。

对于埋弧自动焊还要求坡口角度、间隙一致,不能有突变现象存在。

#### 8. 电流种类和极性

用不同的电流种类和极性施焊所得到的焊缝形状和尺寸是不同的,如直流反接极(工件接负极)时,焊缝熔深和熔宽都要比直流正接极大而熔敷率小,这是因为工件负极析出的能量大而形成的(表 1.1-5);当直流正接极焊接时,焊丝为负极,则焊丝的熔化率较大而熔深较浅。直流反接极时的熔深比正接极时约大 40%~50%,而用交流电源焊接时的熔深介于两者之间。

表 1.1-5 埋弧焊(焊剂 431)电源极性对熔宽的影响

电弧电压/V	焊缝宽度/mm	
	正极性	反极性
30~32	21~23	22~24
40~42	25~27	28~30
50~52	26~28	33~35

注:电流 500 A,焊丝直径  $\phi 5$  mm,焊接速度 24 m/h。

一般情况下,粗焊丝、大电流焊接时可选用交流电源;细焊丝、小电流、快速度焊接时宜选用直流电源。当薄板焊接时选用直流电源正接极可有效地防止焊穿;厚板焊接则应采用直流反接法或交流电源。

#### 9. 焊剂的影响

焊剂对焊缝的形状、熔深都有影响,并影响到接头的使用性能。不同的焊剂具有不同的成分,会影响到电弧极区压降和弧柱电位梯度的大小。稳弧剂主要影响电弧的长度,稳弧性差的焊剂使焊缝的熔深较大;焊剂形成的熔渣粘度小则透气性好,焊缝表面成形光洁平滑;而熔渣粘度过大或熔化温度较高则透气性不良,在焊缝表面形成许多压痕而使成形较差;当焊剂密度小颗粒度大时,堆积比重较小,电弧周围的压力小而弧柱膨胀,电弧在焊剂中燃烧