

高等学校交流讲义

# 熔化焊工艺学

中 册

各种金属材料的焊接

清华大学焊接教研组编

只限学校内部使用



中国工业出版社



本书为各种金属材料的焊接，包括黑色金属和有色金属的焊接两大部分。书中介绍了各种金属材料的特性，分析了它们的可焊性和讨论了它们的焊接工艺问题。

本书为高等学校焊接专业“熔化焊工艺学”教材的一部分。主要对象是焊接专业的学生，也可供焊接工作者参考。

## 熔 化 焊 工 艺 学

中 册

各种金属材料的焊接

清华大学焊接教研组编

\*

第一机械工业部教材编审委员会编辑（北京复兴门外三里河第一机械工业部

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路丙10号）

（北京市书刊出版事业许可证出字第110号）

中国工业出版社第四印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

\*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张 $19^{5/8}$ ·字数467,000

1961年10月北京第一版·1962年6月北京第三次印刷

印数3,889—6,948·定价(10-5)2.35元

\*

统一书号：K 15165·774(一机-153)

DE 57/30

# 目 次

前言..... 3

## 第二篇 金属材料的焊接

### I. 黑色金属的焊接

#### 第一章 碳钢的焊接..... 7

第一节 碳钢的种类及特性..... 7

第二节 低碳钢的焊接..... 8

一、低碳钢的焊接工艺..... 8

二、低碳钢焊接接头的缺陷分析..... 13

三、低碳钢焊接接头的性能..... 14

第三节 中碳钢和高碳钢的焊接..... 15

一、中碳钢和高碳钢的可焊性..... 15

二、中碳钢和高碳钢的焊接工艺..... 17

参考文献..... 21

#### 第二章 合金结构钢的焊接..... 22

第一节 合金结构钢的种类及特性..... 22

一、合金结构钢的应用及其意义..... 22

二、合金结构钢的类型..... 22

三、合金结构钢的机械性能与化学成分的关系..... 24

第二节 合金结构钢的可焊性..... 28

一、热影响区低塑性组织的产生..... 29

二、焊缝的合金化问题..... 36

第三节 合金结构钢的焊接工艺..... 40

一、合金结构钢的焊接原则..... 40

二、合金结构钢的焊接材料..... 43

三、合金结构钢的焊接规范..... 45

参考文献..... 46

#### 第三章 不锈钢及耐热钢的焊接..... 47

第一节 不锈钢及耐热钢的种类和特性..... 47

一、不锈钢概述..... 47

二、耐热钢概述..... 57

三、典型不锈钢和耐热钢的特性..... 65

第二节 不锈钢及耐热钢的可焊性..... 78

一、冶金可焊性..... 78

二、热可焊性..... 92

第三节 不锈钢及耐热钢的焊接工艺..... 97

一、焊接接头对工艺条件的要求..... 97

二、焊接工艺条件的选定..... 98

第四节 典型不锈钢及耐热钢的焊接特点..... 111

一、铬钢的焊接..... 118

二、奥氏体不锈钢的焊接..... 113

三、25-20 类型热安定钢的焊接..... 117

四、热强度钢的焊接..... 118

五、高强度奥氏体钢的焊接..... 119

六、异种金属的焊接..... 120

参考文献..... 124

#### 第四章 铸铁的焊接..... 125

第一节 总论..... 125

一、铸铁的一般特性..... 125

二、灰口铸铁的焊接特点..... 125

第二节 灰口铸铁电弧冷焊法..... 130

一、采用铸铁焊条的灰口铸铁冷焊.....

二、采用钢焊条的灰口铸铁冷焊.....

三、采用铜钢焊条的灰口铸铁冷焊.....

四、采用镍基焊条的灰口铸铁冷焊..... 133

第三节 灰口铸铁预热电弧焊法..... 131

一、电弧热焊法..... 137

二、半热焊法..... 139

第四节 灰口铸铁气焊法..... 139

第五节 灰口铸铁电渣焊法..... 140

一、焊前准备工作..... 140

二、补焊过程..... 140

三、焊条与焊药..... 141

四、焊补质量及使用范围..... 141

五、焊补举例..... 141

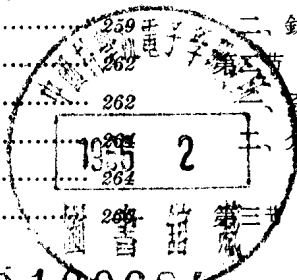
第六节 灰口铸铁焊接方法的选择..... 142

第七节 球墨铸铁焊接..... 144

一、手工电弧焊.....	144	四、主要堆焊方法的比較和选择.....	159
二、气焊.....	145	第三节 堆焊金属的合金化.....	160
三、电渣焊.....	145	一、合金系统的选定原则.....	160
参考文献.....	146	二、几种堆焊合金的性能分析.....	161
<b>第五章 耐磨合金堆焊.....</b>	<b>147</b>	三、渗合金方式及比較.....	171
第一节 概述.....	147	四、焊接及焊药的选用.....	171
一、堆焊的应用及发展.....	147	第四节 堆焊实例.....	175
二、堆焊的一般特点.....	148	一、鍛模堆焊.....	175
第二节 堆焊方法的选择.....	149	二、高速鋼刀具堆焊.....	178
一、焊药层下自动电弧堆焊的特点.....	149	三、軋輥堆焊.....	181
二、电渣堆焊的特点.....	153	参考文献.....	184
三、振动电弧自动堆焊的特点.....	157		

II. 有色金属的焊接

<b>第六章 鋁及其合金的焊接.....</b>	<b>188</b>	三、銅的磁弧焊.....	267
第一节 鋁及其合金的种类和特性.....	188	四、銅的优质焊条手工电弧焊.....	267
一、工业純鋁的組織及性能.....	188	五、銅的焊药层下自动焊.....	268
二、工业用鋁合金的类型及其强化.....	192	六、銅的气体保护焊接.....	270
三、鋁及其合金的抗腐蝕性.....	198	第四节 黃銅的焊接工艺.....	270
四、工业用鋁合金的机械性能.....	202	一、焊接方法的选择.....	270
第二节 鋁及其合金的可焊性.....	211	二、黃銅的气焊.....	271
一、冶金可焊性.....	211	三、黃銅的优质焊条手工电弧焊.....	272
二、热可焊性.....	227	四、黃銅的电弧焊的机械化.....	272
第三节 鋁及其合金的焊接工艺.....	235	第五节 青銅的焊接工艺.....	273
一、焊接方法的选择.....	235	参考文献.....	274
二、填充焊絲的选择.....	238	<b>第八章 鎂、鎳、鉛、鋅及其合金的焊接.....</b>	<b>275</b>
三、焊药及焊条的选择.....	238	第一节 鎂及其合金的焊接.....	275
四、焊前准备工作.....	241	一、鎂及其合金的一般性能和可焊性.....	275
五、焊接工艺参数的确定.....	242	二、鎂及其合金的焊接工艺.....	277
参考文献.....	246	第二节 鎳及其合金的焊接.....	279
<b>第七章 銅及其合金的焊接.....</b>	<b>247</b>	第三节 鉛及其合金的焊接.....	280
第一节 銅及其合金的种类和特性.....	247	第四节 鋅及其合金的焊接.....	281
一、銅的种类及特性.....	247	参考文献.....	282
二、銅合金的种类及特性.....	251	<b>第九章 鈦及其合金的焊接.....</b>	<b>283</b>
第二节 銅及其合金的可焊性.....	254	第一节 鈦及其合金的种类和特性.....	283
一、銅及合金元素的氧化与蒸发.....	254	一、鈦的特性.....	283
二、气孔的形成.....	259	二、鈦合金的类型及特性.....	284
三、裂縫問題.....	262	第三节 鈦及其合金的可焊性.....	288
四、焊接接头的机械性能.....	262	杂质引起的脆化.....	288
第三节 銅的焊接工艺.....	263	一、介稳組織 ( $\alpha'$ ; $\omega$ ) 引起的脆化.....	290
一、焊前准备工作.....	264	二、鈦及其合金的焊接工艺.....	293
二、銅的气焊.....	264		



1100694

一、焊接工艺选定原则 .....	293	一、惰性气体保护焊 .....	303
二、惰性气体保护焊 .....	294	二、真空电子束焊接 .....	306
三、焊药层下自动焊 .....	296	参考文献 .....	307
四、电渣焊 .....	298	<b>第十一章 钨的焊接</b> .....	308
参考文献 .....	299	第一节 钨的性质 .....	308
<b>第十章 钨及钨合金的焊接</b> .....	300	第二节 钨的可焊性 .....	310
第一节 钨及钨合金的特性 .....	300	第三节 钨的焊接工艺 .....	312
一、应用概述 .....	300	一、钨件在焊前的清除准备 .....	312
二、钨及钨的物理化学性质及机械性能 .....	300	二、可控制惰性气体室内焊接 .....	312
三、钨及钨的可焊性 .....	302	三、惰性气体保护不熔化电极电弧焊 .....	314
第二节 钨及钨的焊接工艺 .....	303	四、熔化电极惰性气体保护焊 .....	316
		参考文献 .....	316

原  
书  
缺  
页

原  
书  
缺  
页

71.7  
528

## 前 言

“熔化焊工艺学”是焊接专业中一门主要的专业课程，在培养焊接专业干部中起着重要的作用。现有的有关熔化焊工艺的一些教学参考书，基本上只是针对某一种熔化焊工艺或某一种金属材料焊接进行阐述的，尚不能满足该门课程的教学需要。根据上述具体情况，全国焊接专业教材会议作出编著“熔化焊工艺学”一书的决议，以满足该门课程教学的迫切需要。会议对该门课程的教材编写工作，作了如下的分工：

第一篇，“各种熔焊方法”，由哈尔滨工业大学焊接教研室编著；

第二篇，“各种金属材料的焊接”，由清华大学焊接教研组主编，哈尔滨工业大学焊接教研室与西安交通大学焊接教研组参加部分编著工作；

第三篇，“钎接”，由西安交通大学焊接教研组编著。

本书为“熔化焊工艺学”第二编，包括黑色金属与有色金属的焊接两部分，共分十一章。其中第四章由哈尔滨工业大学焊接教研室编写；第六、七、八章由西安交通大学焊接教研组周光琪同志参加编写；

考虑到焊接专业同学金属学方面的知识较为不足，本书中加强了有关材料特性的介绍。

随着国民经济的发展，不锈钢、耐热钢与铝合金在生产中应用越来越广泛，故在本书中用了较大的篇幅来讨论这些材料的焊接问题。

由于我国金属材料及焊接材料的编号还不完全，故本书中兼采用苏联的编号方法。

本书第一、二、三章承哈尔滨工业大学焊接教研室周振丰同志审阅，第四、五章承天津大学焊接教研室张文铖同志审阅，第六章至第十一章承西安交通大学焊接教研组华自圭同志。特此表示感谢。

由于时间仓促及限于编者的水平，错误在所难免，欢迎批评与指正，便于今后再版时修正。意见请寄北京清华大学焊接教研组。

清华大学焊接教研组

一九六一年六月北京



DE 57/30

# 目 次

前言..... 3

## 第二篇 金属材料的焊接

### I. 黑色金属的焊接

#### 第一章 碳钢的焊接..... 7

第一节 碳钢的种类及特性..... 7

第二节 低碳钢的焊接..... 8

一、低碳钢的焊接工艺..... 8

二、低碳钢焊接接头的缺陷分析..... 13

三、低碳钢焊接接头的性能..... 14

第三节 中碳钢和高碳钢的焊接..... 15

一、中碳钢和高碳钢的可焊性..... 15

二、中碳钢和高碳钢的焊接工艺..... 17

参考文献..... 21

#### 第二章 合金结构钢的焊接..... 22

第一节 合金结构钢的种类及特性..... 22

一、合金结构钢的应用及其意义..... 22

二、合金结构钢的类型..... 22

三、合金结构钢的机械性能与化学成分的关系..... 24

第二节 合金结构钢的可焊性..... 28

一、热影响区低塑性组织的产生..... 29

二、焊缝的合金化问题..... 36

第三节 合金结构钢的焊接工艺..... 40

一、合金结构钢的焊接原则..... 40

二、合金结构钢的焊接材料..... 43

三、合金结构钢的焊接规范..... 45

参考文献..... 46

#### 第三章 不锈钢及耐热钢的焊接..... 47

第一节 不锈钢及耐热钢的种类和特性..... 47

一、不锈钢概述..... 47

二、耐热钢概述..... 57

三、典型不锈钢和耐热钢的特性..... 65

第二节 不锈钢及耐热钢的可焊性..... 78

一、冶金可焊性..... 78

二、热可焊性..... 92

第三节 不锈钢及耐热钢的焊接工艺..... 97

一、焊接接头对工艺条件的要求..... 97

二、焊接工艺条件的选定..... 98

第四节 典型不锈钢及耐热钢的焊接特点..... 111

一、铬钢的焊接..... 112

二、奥氏体不锈钢的焊接..... 113

三、25-20 类型热安定钢的焊接..... 117

四、热强度钢的焊接..... 118

五、高强度奥氏体钢的焊接..... 119

六、异种金属的焊接..... 120

参考文献..... 124

#### 第四章 铸铁的焊接..... 125

第一节 总论..... 125

一、铸铁的一般特性..... 125

二、灰口铸铁的焊接特点..... 125

第二节 灰口铸铁电弧冷焊法..... 130

一、采用铸铁焊条的灰口铸铁冷焊.....

二、采用钢焊条的灰口铸铁冷焊.....

三、采用铜钢焊条的灰口铸铁冷焊.....

四、采用镍基焊条的灰口铸铁冷焊.....

第三节 灰口铸铁预热电弧焊法..... 131

一、电弧热焊法..... 137

二、半热焊法..... 139

第四节 灰口铸铁气焊法..... 139

第五节 灰口铸铁电渣焊法..... 140

一、焊前准备工作..... 140

二、补焊过程..... 140

三、焊条与焊药..... 141

四、焊补质量及使用范围..... 141

五、焊补举例..... 141

第六节 灰口铸铁焊接方法的选择..... 142

第七节 球墨铸铁焊接..... 144

一、手工电弧焊	144	四、主要堆焊方法的比較和选择	159
二、气焊	145	第三节 堆焊金属的合金化	160
三、电渣焊	145	一、合金系统的选定原则	160
参考文献	146	二、几种堆焊合金的性能分析	161
<b>第五章 耐磨合金堆焊</b>	147	三、渗合金方式及比較	171
第一节 概述	147	四、焊接及焊药的选用	171
一、堆焊的应用及发展	147	第四节 堆焊实例	175
二、堆焊的一般特点	148	一、鍛模堆焊	175
第二节 堆焊方法的选择	149	二、高速鋼刀具堆焊	178
一、焊药层下自动电弧堆焊的特点	149	三、軋輥堆焊	181
二、电渣堆焊的特点	153	参考文献	184
三、振动电弧自动堆焊的特点	157		

## II. 有色金属的焊接

<b>第六章 鋁及其合金的焊接</b>	188	三、銅的碳弧焊	267
第一节 鋁及其合金的种类和特性	188	四、銅的优质焊条手工电弧焊	267
一、工业純鋁的組織及性能	188	五、銅的焊药层下自动焊	268
二、工业用鋁合金的类型及其强化	192	六、銅的气体保护焊接	270
三、鋁及其合金的抗腐蝕性	198	第四节 黃銅的焊接工艺	270
四、工业用鋁合金的机械性能	202	一、焊接方法的选择	270
第二节 鋁及其合金的可焊性	211	二、黃銅的气焊	271
一、冶金可焊性	211	三、黃銅的优质焊条手工电弧焊	272
二、热可焊性	227	四、黃銅的电弧焊的机械化	272
第三节 鋁及其合金的焊接工艺	235	第五节 青銅的焊接工艺	273
一、焊接方法的选择	235	参考文献	274
二、填充焊絲的选择	238	<b>第八章 鎂、鎳、鉛、鋅及其合金的焊接</b>	275
三、焊药及焊条的选择	238	第一节 鎂及其合金的焊接	275
四、焊前准备工作	241	一、鎂及其合金的一般性能和可焊性	275
五、焊接工艺参数的确定	242	二、鎂及其合金的焊接工艺	277
参考文献	246	第二节 鎳及其合金的焊接	279
<b>第七章 銅及其合金的焊接</b>	247	第三节 鉛及其合金的焊接	280
第一节 銅及其合金的种类和特性	247	第四节 鋅及其合金的焊接	281
一、銅的种类及特性	247	参考文献	282
二、銅合金的种类及特性	251	<b>第九章 鈦及其合金的焊接</b>	283
第二节 銅及其合金的可焊性	254	第一节 鈦及其合金的种类和特性	283
一、銅及合金元素的氧化与蒸发	254	一、鈦的特性	283
二、气孔的形成	254	二、鈦合金的类型及特性	284
三、裂縫問題	262	第二节 鈦及其合金的可焊性	288
四、焊接接头的机械性能	262	一、杂质引起的脆化	288
第三节 銅的焊接工艺	264	二、 $\alpha$ 、 $\omega$ 稳定組織引起的脆化	290
一、焊前准备工作	264	第三节 鈦及其合金的焊接工艺	293
二、銅的气焊	264		

一、焊接工艺选定原则 .....	293	一、惰性气体保护焊 .....	303
二、惰性气体保护焊 .....	294	二、真空电子束焊接 .....	306
三、焊药层下自动焊 .....	296	参考文献 .....	307
四、电渣焊 .....	298	<b>第十一章 钼的焊接</b> .....	308
参考文献 .....	299	第一节 钼的性质 .....	308
<b>第十章 锆及锆合金的焊接</b> .....	300	第二节 钼的可焊性 .....	310
第一节 锆及锆合金的特性 .....	300	第三节 钼的焊接工艺 .....	312
一、应用概述 .....	300	一、钼件在焊前的清除准备 .....	312
二、锆及锆的物理化学性质及机械性能 .....	300	二、可控制惰性气体室内焊接 .....	312
三、锆及锆的可焊性 .....	302	三、惰性气体保护不熔化电极电弧焊 .....	314
第二节 锆及锆的焊接工艺 .....	303	四、熔化电极惰性气体保护焊 .....	316
		参考文献 .....	316

## 第二篇 金屬材料的焊接

### I. 黑色金屬的焊接

#### 第一章 碳鋼的焊接

##### 第一节 碳鋼的种类及特性

碳鋼是工业中广泛采用的材料。这类鋼包括很多牌号,彼此区别主要在于含碳量的多少。根据现行标准,碳鋼可划分为普通品质与优质两种。普通品质的碳鋼又可分为两类,一类鋼在供应时,只规定机械性能而不指定制造方法。另一类鋼在供应时,除规定化学成分外,又指定制造方法。在这些鋼料中,准许有 Cr、Ni、Cu 存在,其数量各不超过 0.3%。除了这些杂质以外,平炉鋼还含有少量的氢和氮,轉炉鋼则含有多量的氮 (0.08% 或更多)。现在大多数碳鋼是平炉鋼。

优质碳鋼与普通品质碳鋼的区别,在于化学成分允许波动范围較窄。

碳鋼按其熔炼方式划分,計有三种类型:沸騰鋼、鎮靜鋼和半鎮靜鋼。

当沸騰鋼脫氧不完全,含氧量較高,其鋼錠有显著带状偏析,軋成的鋼材,內部的杂质分布不均匀。沸騰鋼中硫、磷等杂质的局部濃度可能大大超过平均濃度,以致在焊接时导致产生裂縫。沸騰平炉鋼經過冷作或曾被加热到較高温度,則有时效傾向;其焊接接头有較高的冷脆性,故不宜用于极重要的焊接結構。由于成分的不均匀性,沸騰鋼有“分层現象”,鋼板表面层較純而里层杂质較多。沸騰鋼的机械性能随試样的位置而异。对鎮靜鋼而言,則此項变动甚小。

鎮靜平炉鋼通常具有致密而均匀的結構,有害杂质 (S、P) 分布較均匀。用鋁脫氧的鎮靜鋼时效傾向較小,所以被用来制造重要的焊接結構,如桥梁、蒸汽鍋炉等。

半鎮靜鋼的性质介于沸騰鋼与鎮靜鋼之間。

轉炉鋼由于含氮量高,其冷脆性非常大,在冷加工后也有显著的时效現象。因此这种鋼不能用来制造重要結構。焊接轉炉鋼是一項复杂的任务,因为难以保証焊縫具有較高的机械性能。但用鋁或鈦脫氧的鎮靜轉炉鋼比沸騰鋼容易焊接。有实验証明,当用含磷最低的焊药和含鋁的低碳鋼焊絲进行焊接时,可以得到最好的結果。

碳鋼的机械性能与可焊性随含碳量而异,故按习惯碳鋼可分为三类: 1) 低碳鋼 ( $C \leq 0.22\%$ ); 2) 中碳鋼 ( $C \leq 0.45\%$ ); 3) 高碳鋼 ( $C > 0.45\%$ )。

低碳鋼很容易焊接。它广泛用于多种結構。

中碳鋼的强度比低碳鋼高,它經過适当的热处理后,可以改善机械性能,故多用于制造各种机器零件,如軸、連杆、齿輪、螺釘等,但也常用于大型鑄造机件,如傳动軸、軋輥等。焊接常遇到的产品为后面这一类。

高碳鋼比中碳鋼具有更高的硬度与耐磨性,故多用于制造刀具、量具、冲模等工具,也有在鋼中加入某些合金元素而用来制造鍛模、鑄鋼車輪等。这类工件的堆焊和修补是常見的。

由于中碳钢与高碳钢含碳量高，故塑性低，淬火倾向大。要保证高质量的焊接接头，困难较多。

## 第二节 低碳钢的焊接

### 一、低碳钢的焊接工艺

焊接工艺已为大家所熟悉，这里只作一个简单的概括。

焊接工艺的任务就在于在全面分析政治上的重要性，经济上的合理性及技术上的可能性的基础上，确定焊接工艺方法，工艺材料及工艺参数，以保证多快好省地实现产品的设计要求，完成生产任务。

我们主要从技术上的可能性这一角度来讨论问题，具体说来就是：1) 根据产品材料及结构的特性，正确选定焊接方法及工艺材料；2) 根据焊缝成型及热循环的特性，正确控制工艺参数及热处理规范。

低碳钢焊接工艺方法及工艺材料的选定原则，是根据产品结构尺寸形状及接头型式，选择最经济，最方便而且高效率地保证焊接接头质量的工艺方法。手弧焊、自动焊半自动焊、气焊、 $\text{CO}_2$  保护焊、电渣焊、接触焊及钎焊、电钎焊、熔池焊法等焊接方法，都能保证低碳钢的焊接质量。可分别在不同场合下采用。这里就不赘述了。

工艺方法与工艺材料一经选定，工艺参数的选定就成为影响接头质量及生产率的重要因素了。选定工艺参数的主要依据是：

1. 保证焊接过程的稳定性。即保证电弧稳定燃烧或电渣过程稳定。为此，电流密度必须大于某临界值。根据焊接工艺材料特性决定用交流或直流电源，直流正接或直流反接。在焊接过程中，必须控制规范的稳定性，以保证焊缝化学成分的稳定与均匀的成型。

2. 保证获得理想的组织和性能的头。这决定于焊接热循环特性及焊后热处理，而热循环特性与工艺参数有密切的关系。对低碳钢而言，在电弧焊情况下，热循环对接头性能影响不大，只需考虑热场分布对应力变形的影响。而在电渣焊时，则需考虑近缝区晶粒长大的问题，而需要进行热处理。

3. 保证获得无缺陷的，符合设计要求的焊缝成型。这是低碳钢焊接时选择工艺参数的重要依据。

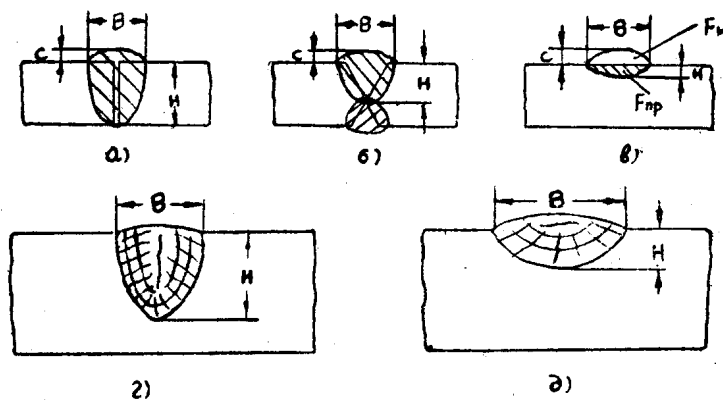


图 1-1 对接电弧焊焊缝的几种形状及裂缝情况

a, b, c—几种型式；d, e—裂缝情况；H—熔深；B—熔宽；C—加厚；  
 $F_{np}$ —母材熔化面积； $F_m$ —熔敷金属面积

焊缝几何形状影响焊缝化学成分及结晶情况,从而会影响焊接头的组织与性能。

电弧焊时,可以用三个参数( $\varphi$ ,  $\varphi_1$  及  $\gamma$ )来表示焊缝的成型特征(图 1-1)。此处  $\varphi$  为成型(形状)系数,  $\varphi = \frac{B}{H}$ ;  $\varphi_1$  为加厚系数,  $\varphi_1 = \frac{B}{C}$ ;  $\gamma$  为熔合比,  $\gamma = \frac{F_{np}}{F_{np} + F_M}$ 。

电渣焊时,也可以用  $\varphi$ ,  $\gamma$  来表示焊缝的形状特性(图 1-2)。

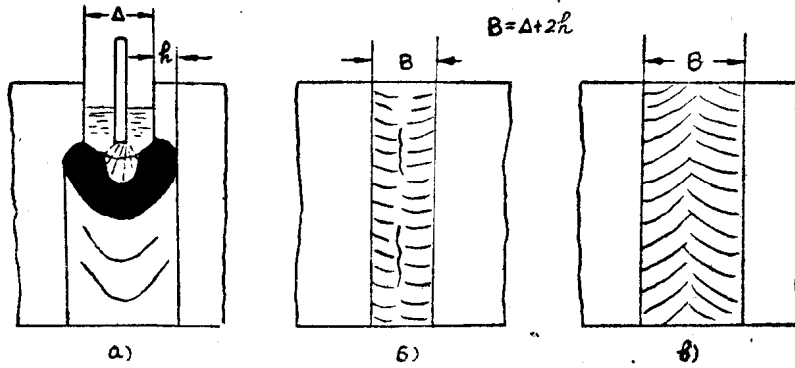
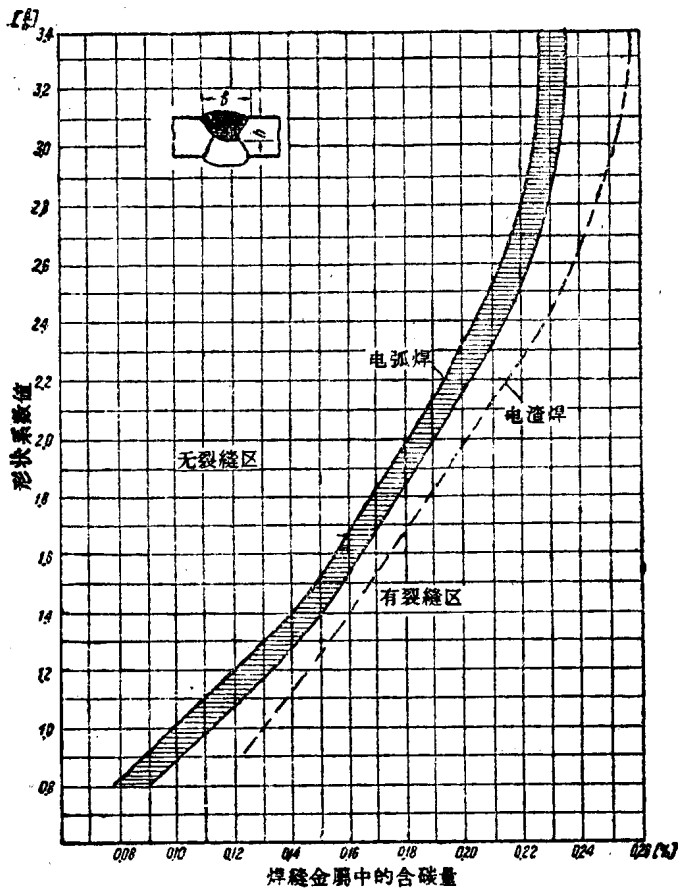


图 1-2 电渣焊焊缝的形状



$0.05 \sim 0.35\% \text{Si}$ ;  $0.02 \sim 0.035\% \text{S}$ ;  $> 0.65\% \text{Mn}$ ;  $\frac{\text{Mn}}{\text{S}} \geq 18$ 。

图 1-3 焊缝形状对焊缝热裂纹的影响

当规范选择不当时,由于结晶状态不良而易引起裂纹,如图1-3所示。

下面就电弧焊的工艺参数与焊缝成型的关系,来说明一下规范的选择方法。

影响焊缝成型的工艺参数可归纳为下列几方面:

- 1) 焊接规范 电流、电压、焊接速度。
- 2) 工艺因素 焊条直径;焊条与焊件的相对位置;焊件的倾斜度;电流极性等。
- 3) 结构因素 坡口形状角度;钝边尺寸;间隙尺寸。
- 4) 工艺材料特性 气体种类;熔渣特性等。对这个問題,这里不进行讨论。

这些因素所起作用的大小,在很大程度上决定于焊接方法(手工焊,自动焊或半自动焊),因为它决定了对焊缝成形影响最大的焊接规范所可能变化的限度。

焊接规范的选择,应该以最少的焊条消耗量来获得焊缝,这样也就降低了电能及劳动量的消耗。因此最合理的方向是尽量利用母材金属来形成焊缝。

經驗証明,增大电流密度是增大熔深,增大熔合比最重要的因素。但增大电流密度在不同方法时具有不同程度的限度。

手工电弧焊时,焊条有一定长度,因此电流密度便为电阻热加热焊条所限制,一般不超过10~18安/毫米<sup>2</sup>。电流太大也导致飞溅损失增加。只有在使用铁粉焊条及束状焊条时,电流密度可增大(如表1-1所示)。

表 1-1

焊 条 种 类	允許电流的經驗公式	电 流 密 度, 安/毫 米 <sup>2</sup>
正 常 焊 条	$I = (40 \sim 60) d_p$	10~18
铁 粉 焊 条	$I = (50 \sim 70) d_p$	15~20
束 状 焊 条	$I = (20 \sim 30) \sum d_p$	20~40

自动焊时,电流在最末端导入(焊丝外伸长度为25~40毫米),电流密度可达40~50安/毫米<sup>2</sup>,在半自动焊时,最大可达100~200安/毫米<sup>2</sup>。

电流增大不仅可合理地利用母材形成焊缝,而且也是提高生产率的一个重要因素。因为根据傳热学得:

$$F = K \frac{uI}{V_c} \text{ (厘米}^2\text{)}$$

式中,  $F$  表示焊缝截面;  $K$  为常数,与焊接方法及材料有关;  $I$ 、 $u$ 、 $V_c$  分别为焊接电流、电压、焊接速度。当焊缝截面設計一定时,焊接方法及材料均为一定时,则:

$$V_c = K' uI \text{ (厘米/秒)}$$

在手弧焊时,电压不能随便变化,自动焊时电压的变化范围也不太大,显然为了提高生产率,加快焊接速度,必須增大电流。如上所述,手弧焊时,电流密度的提高受限制,故其生产率是有限度的。

电弧电压改变时,弧长也改变,增加电压时,熔宽加大,但由于弧柱中心提高而改变了热量的分配,反而使熔深减少。

焊接速度增大时,熔深、熔宽均下降,但熔合比不减少。原因是焊接速度增加时,母材熔化量虽减少,但熔敷上的焊条金属量也在减少。为保証一定的熔深, $u$ 、 $I$ 、 $V_c$  必須配合好,

即要有一定的  $\frac{q}{v}$  (单位能)。

影响焊缝成型的工艺因素中, 首先应提出焊条直径。焊条直径的选择, 决定于电流大小。应该指出: 自动焊或半自动焊时, 用小直径焊丝和大电流密度焊接, 在获得同样熔深的条件下, 可以节省大量电能。因此希望用小直径焊丝, 如表 1-2 所示。

表 1-2

熔深 H 毫米	焊丝直径 $d_s=5$ 毫米		焊丝直径 $d_s=2$ 毫米	
	I 安	j 安/毫米 <sup>2</sup>	I 安	j 安/毫米 <sup>2</sup>
3	450	28	200	64
5	550	28	400	127
8	725	37	525	167
10	825	42	625	200
12	925	47	700	224

电流极性的影响, 在手弧焊时为直流正接(工件是阳极)熔深大; 自动焊时, 在含氟焊药的情况下, 直流反接时熔深大。

施焊时, 焊丝可以垂直于焊缝轴线, 也可以“前倾”和“后倾”。后倾焊与焊丝垂直焊接区别很少。可是前倾焊时则有下列特征: 热量分散在电弧之前, 金属从电弧下流出时软弱无力, 熔深减小。另一方面由于强烈加热被焊边缘, 可以用大的焊速(大于 80~100 米/小时)而不致发生焊缝与母材不熔合的危险。焊丝倾斜对焊缝成型的影响如图 1-4 所示。

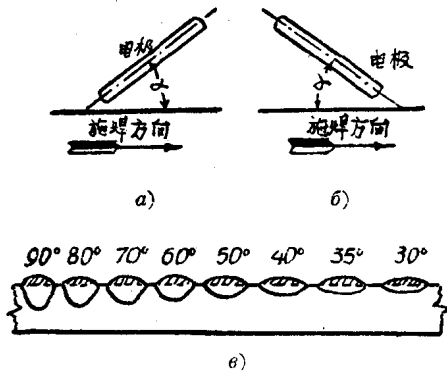


图 1-4 焊丝倾斜对焊缝成型的影响  
a—后倾焊; b—前倾焊; c—前倾焊时焊丝倾斜角对成型的影响

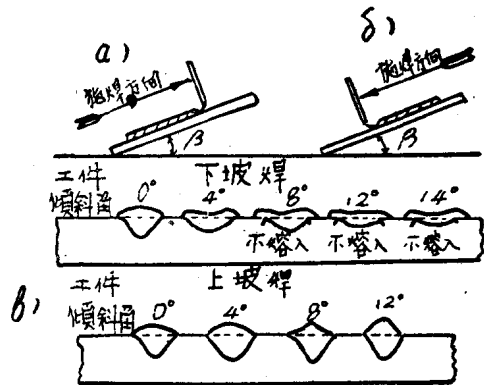


图 1-5 在倾斜的工件上焊接  
a—上坡焊; b—下坡焊; c—工件倾斜角对焊缝成型的影响

工件倾斜时, 可以进行“下坡”焊或“上坡”焊(图 1-5)。下坡焊时, 液体金属往电弧下面流而减少熔深。上坡焊时, 重力促使液体金属从电弧下流出, 电弧潜入母材较深, 而使熔深增大, 熔宽减少。经验证明, 焊缝的正确成型只有当工件倾斜角不超过 6~8° 时才有可能。焊件侧向倾斜角超过 15° 时, 也会产生溢流, 未焊透现象。

多丝焊时, 焊丝间距对焊缝成型也有影响(图 1-6)。横列双丝焊的焊丝间距不当时, 还



可能产生裂纹。

在结构因素对焊缝成型的影响方面,首先分析手弧焊情况。手弧焊时,电流密度、电压、焊速等因素变动范围很小,它们对焊缝成型影响不大。为了使工件完全焊透以保证形成符合设计要求的焊缝截面尺寸,焊件接缝处必须预先做成“坡口”。所以在手工焊一般情况下,焊缝在整个厚度方向的成形,主要决定于板边坡口形式,同时也在一定程度上也决定于工件的尺寸和位置。

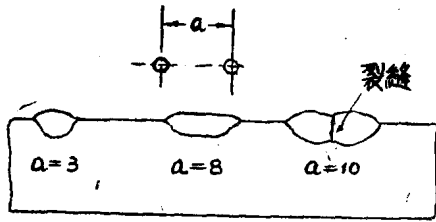


图 1-6 横列双丝焊时焊丝间距对焊缝成型的影响

手工对接焊时,通常熔深很小(0.5~5毫米)而熔宽较大(因焊条可以横向摆动)。故形状系数 $\phi$ 总是大于2,往往在6~8之间甚至到15。因此,板边无坡口的焊缝只能在板厚不大的情况下使用。对焊接

的坡口如图1-7所示,常用V形,U形,X形。 $\alpha, \beta, p$ 及 $a$ 的大小要能保证电弧达到根部而熔透,以及便于装配。此外,它必须使得焊条金属的消耗和劳动量的消耗少,以及母材被加工掉的金属量少等。从提高生产率,节省焊条方面来看,X形坡口比较好。V形坡口不仅消耗较多的金属,而且易引起较大的角变形。U形及X形坡口则可使板面变形较小。但X形坡口必须两面焊,工件难以翻转时就成为不经济甚至不可能的事。在开坡口的情况下,生产率的提高将主要取决于焊条的熔化速度,它正比于焊条熔敷系数及焊接电流。采用深熔焊法及多条焊法将能提高熔化速度,是提高生产率的途径。

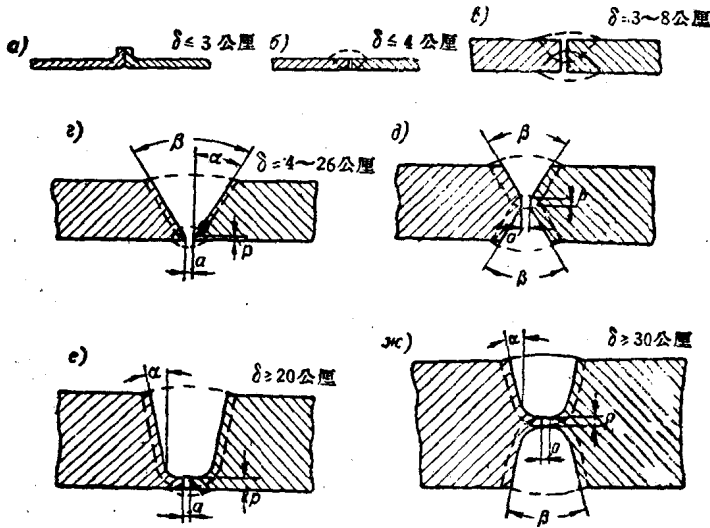


图 1-7 对接焊缝型式

$a$ —卷边焊缝;  $b$ 及 $c$ —不开坡口的单面焊缝和双面焊缝;  $d$ —V形坡口的焊缝;  
 $e$ —U形坡口的焊缝;  $ж$ —双面U形坡口的焊缝

其次,分析自动焊时结构因素的影响。从形成焊缝的观点来看,自动焊时的熔深及熔宽在一定程度上与坡口形式及间隙大小关系不大。这是因为电流密度高而且热量集中,熔透深度很大,坡口及间隙的影响就表现不出来了。60毫米板厚不开坡口,在一定空隙下,两面用单道焊缝完全可以熔透。但此时有两点缺陷:1)电流大,熔敷上的焊条量太多,焊缝太凸起;2)焊缝太窄,即成型系数太小,以致常在焊缝中部发生收缩裂纹。因此板边无坡口时,