

高强度钢船体 焊接工程技术

GAOQIANGDU
GANGCHUANTI
HANJIE
GONGCHENG
JISHU

桂赤斌 编著

湖北长江出版集团
湖北科学技术出版社

高强度钢船体焊接工程技术

桂赤斌 编著

湖北科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

高强度钢船体焊接工程技术 / 桂赤斌编著. —武汉:
湖北科学技术出版社, 2006.3
ISBN 7-5352-3515-8

I. 高... II. 桂... III. 高强度钢—船体—焊接工艺 IV. U671.33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 005895 号

高强度钢船体焊接工程技术

© 桂赤斌 编著

责任编辑: 罗炳阳

封面设计: 王 梅

出版发行: 湖北长江出版集团
湖北科学技术出版社

电话: 87679468

地 址: 武汉市雄楚大街 268 号湖北出版文化城 B 座 12-13 层

邮编: 430070

印 刷: 荆州市翔羚印刷有限公司

邮编: 434000

787 毫米 × 1092 毫米

16 开

19 印张

428 千字

2006 年 3 月第 1 版

2006 年 3 月第 1 次印刷

ISBN 7-5352-3515-8 / U · 35

定价: 68.00 元

本书如有印装质量问题 可找承印厂更换

序

焊接技术是船舶建造的关键技术之一,受到各有关部门的高度重视。特别是在大型船舶建造中大量使用不同强度级别各类高强度钢。因此,高强度钢船体的焊接是难度大、要求高的技术问题更加受到各个专业领域的关注。

作者在总结多年来我国高强度船体钢及其焊接技术的研究与应用的基础上,吸取了国内外最新的技术与研究成果以及作者十多年来从事高强度船体钢焊接的研究成果,撰写出《高强度钢船体焊接工程技术》一书。该书理论阐述系统、紧密联系造船工程实际,是一本针对性强,具有重要工程应用价值的专著。书中对高强度船体钢的生产与性能、高强度船体钢的焊接物理冶金、高强度船体钢的焊接工艺、焊接接头质量检测及焊接力学等,作了深入的阐述,是一本指导高强度钢船体焊接的好书,对推动我国船舶焊接工程技术的发展有十分重要的意义。

中国工程院院士
中国工程机械学会副理事长
装甲兵工程学院教授



2003年1月16日

前 言

船体是各类船舶的搭载平台,是一种大型的、复杂的焊接壳体结构。以焊接为主要加工手段的船体建造是一个复杂的系统工程。它涉及到船体结构设计、材料科学与加工技术、焊接技术、无损检测技术、断裂力学等多个学科理论和技术领域的交叉。

半个世纪以来,我国造船工业取得了长足的发展,特别是改革开放 20 多年来,我国造船工业的发展更是举世瞩目。近年来,随着我国钢铁工业和焊接技术的发展,各种新型高强度船体钢及焊接新工艺技术应用于船体建造工程。为适应这一形势的发展,并考虑到尚未见高强度钢船体焊接工程的系统专著,作者尝试编著此书,以期对我国高强度钢船体焊接技术与工程应用有所作为。

本书共分八章。第一章简要介绍了焊接电弧理论、目前我国船厂主要使用的弧焊电源和焊接方法;第二章对不同强度级别的高强度船体钢的生产过程与性能特点进行了阐述,同时介绍了配套焊接材料;第三章讨论了船体材料的焊接性,重点阐述了高强度钢船体的工艺焊接性与使用焊接性;第四章阐述了船体结构的焊接设计;第五章专题阐述了高强度钢船体的焊接;第六章介绍了焊接接头的无损检测。第七章阐述了船体焊接结构的防断设计和使用安全评定;第八章讨论了船体焊接结构的疲劳问题。

本书力求一方面联系我国造船工程实际,以体现实用性;另一方面尽可能反映国内外最新科研成果和先进的技术应用以及作者的研究成果,本书还注意吸取其它焊接工程领域的先进经验,力求先进性;另外,本书尽可能涉及面广,以期系统性,使有关船舶生产应用、设计与研究部门能较全面了解高强度钢船体建造中的焊接相关问题。同时,作者期望本书能为相关工程技术人员和高校相关专业师生提供参考。

由于作者水平有限,书中会有错误与不当之处,敬请读者批评指正。

本书在编著过程中得到中国工程院院士徐滨士教授的热心帮助与指导,并为之作序,在此特致衷心的感谢!还要特别向书中所援引文献的作者表示谢意!同时对关心本书出版的湖北科学技术出版社、海军工程大学各级领导以及造船与焊接界的同行表示谢意!

桂赤斌

2005 年 1 月 6 日

目 录

第一章 弧焊电源与船体主要焊接方法	1
1.1 焊接电弧.....	1
1.1.1 焊接电弧的产生.....	1
1.1.2 焊接电弧的结构.....	2
1.1.3 电弧的静特性.....	3
1.1.4 交流电弧.....	3
1.1.5 电弧的偏吹.....	5
1.2 弧焊电源.....	6
1.2.1 对弧焊电源外特性的要求.....	6
1.2.2 对弧焊电源调节特性的要求.....	7
1.2.3 对弧焊电源动特性的要求.....	8
1.3 弧焊变压器与硅弧焊整流器.....	8
1.3.1 弧焊变压器.....	8
1.3.2 硅弧焊整流器.....	9
1.4 其它类型弧焊电源.....	10
1.4.1 晶闸管式弧焊整流器.....	10
1.4.2 弧焊逆变器.....	11
1.5 船体主要焊接方法及特点.....	12
1.5.1 手工电弧焊方法—电焊条手工焊接.....	13
1.5.2 金属极气体保护焊—实芯焊丝或药芯焊丝焊接.....	14
1.5.3 埋弧自动焊—焊剂+焊丝组合焊接.....	16
1.6 各类船体焊接设备和工艺方法的发展.....	16
1.6.1 船体焊接设备的发展.....	16
1.6.2 船体焊接工艺方法的改进.....	18
第二章 高强度船体材料	21
2.1 引言.....	21
2.2 高强度船体钢的基本要求.....	21
2.2.1 高强度船体钢的成分特点.....	21
2.2.2 高强度船体钢的加工工艺性能.....	27
2.2.3 高强度船体钢的耐海水腐蚀性能.....	28
2.3 高强度船体钢的冶金.....	28
2.3.1 冶炼方法.....	28

2.3.2	高强度船体钢的表面和内部质量要求	29
2.3.3	船体用钢要求的提高和冶金技术的进步	29
2.4	高强度船体钢的性能分析	31
2.4.1	高强度船体钢的强化	31
2.4.2	高强度船体钢的韧化	34
2.4.3	高强度船体钢的进展	36
2.5	我国高强度船体钢介绍	37
2.5.1	高强度船体钢的成分要求	37
2.5.2	高强度船体钢的生产工艺过程	38
2.5.3	不同强度级别的高强度船体钢的化学成分与力学性能	38
2.6	高强度船体钢的配套焊接材料	42
2.6.1	高强度船体焊接材料的配套要求	42
2.6.2	焊接冶金与焊接材料设计配套	43
2.6.3	我国高强度船体钢配套焊接材料	46
第三章	高强度船体材料的焊接性	53
3.1	引言	53
3.2	金属的焊接性概念	53
3.3	各种工艺缺陷的产生与防止	54
3.3.1	焊接冷裂纹的产生与防止	54
3.3.2	船体材料抗焊接冷裂纹的能力评价	66
3.3.3	焊接热裂纹的产生与防止	70
3.3.4	再热裂纹的产生与防止	77
3.3.5	其它焊接裂纹的产生与防止	80
3.3.6	关于混合型裂纹	84
3.3.7	其它焊接缺陷的产生与防止	85
3.4	钢焊接接头的韧性	86
3.4.1	焊缝金属的韧性、影响因素及控制	86
3.4.2	焊接热影响区的韧性、影响因素及控制	98
3.5	焊接(熔焊)工艺对船体材料发展的促进	109
第四章	船体结构的焊接设计	111
4.1	焊接接头的受力	111
4.1.1	焊接接头类型	111
4.1.2	焊接残余应力与变形	113
4.1.3	焊接残余应力与变形的研究进展	125
4.1.4	焊接残余应力的消除方法	126
4.1.5	控制焊接变形的的方法	129
4.1.6	焊接接头的应力集中及危害	133
4.2	船体焊接接头设计与计算	135

4.2.1 船体焊接接头设计	136
4.2.2 焊接接头计算	142
第五章 高强度钢船体的焊接	153
5.1 船体建造焊接概论	153
5.1.1 船体的构成	153
5.1.2 现代造船工艺流程	156
5.1.3 船体装配与焊接	157
5.2 高强度钢船体的焊接	163
5.2.1 焊接工艺编制	163
5.2.2 船体焊接次序及要点	168
5.2.3 船体焊接的预热与后热	182
5.2.4 固定焊与定位焊	186
5.2.5 船体的手工焊条电弧焊	188
5.2.6 船体的金属极气体保护焊	190
5.2.7 船体的埋弧自动焊	194
5.2.8 焊接线能量的选择	196
5.2.9 船体焊接缺陷的修补	198
第六章 船体的焊接质量检测	201
6.1 焊缝的射线检测	201
6.1.1 射线检测的原理	201
6.1.2 观察底片与评定缺陷	201
6.2 焊缝的超声波检测	204
6.2.1 超声波检测的原理	204
6.2.2 超声检测仪系统的主要性能	204
6.2.3 探头	205
6.2.4 试块	205
6.2.5 焊缝的超声波检测	205
6.2.6 钢板的超声波检测	207
6.3 焊缝的磁粉检测	208
6.3.1 磁粉检测的原理	208
6.3.2 磁粉检测仪器系统的性能	209
6.3.3 磁痕的观察与评定	209
第七章 船体焊接结构的防断设计与安全评定	211
7.1 焊接结构的脆性断裂	211
7.1.1 脆性断裂的特征及影响因素	211
7.1.2 防断设计准则及相关试验方法	214
7.1.3 焊接结构的防断设计	221
7.1.4 焊接结构特点及影响结构断裂失效的因素	225

7.1.5 防止脆性断裂的措施·····	233
7.2 焊接结构的使用安全评定·····	235
7.2.1 断裂力学的基本概念·····	235
7.2.2 “合于使用”原则安全评定的发展·····	238
7.3 主船体首次用材的确认·····	242
7.3.1 主船体首次用材的确认过程·····	242
7.3.2 10CrSiNiCu 钢配套 CO ₂ 气保护药芯焊丝首次使用的确认 过程·····	244
第八章 船体焊接结构的疲劳 ·····	252
8.1 引言·····	252
8.2 疲劳的基本概念·····	252
8.2.1 疲劳断裂特征·····	252
8.2.2 变动载荷(应力)及其描述参量·····	253
8.2.3 高周疲劳·····	254
8.2.4 低周疲劳·····	256
8.3 焊接结构的疲劳强度·····	265
8.3.1 焊接接头的疲劳性能·····	266
8.3.2 影响焊接结构疲劳强度的其他因素·····	270
8.3.3 改善焊接接头疲劳强度的方法·····	274
8.3.4 疲劳设计·····	275
8.3.5 焊接接头低周疲劳特性与强度设计·····	278
8.4 疲劳裂纹扩展·····	282
8.4.1 应力、裂纹长度与疲劳裂纹扩展的关系·····	283
8.4.2 平均应力的影响·····	284
8.4.3 组织对疲劳裂纹扩展速率的影响·····	285
8.4.4 疲劳裂纹扩展寿命的估算·····	287
8.5 疲劳裂纹萌生和扩展机理·····	288
8.5.1 疲劳裂纹的萌生·····	289
8.5.2 疲劳裂纹扩展的方式和机理·····	290
8.5.3 改善疲劳强度的方法·····	293
8.6 裂纹起始寿命评估·····	294
引用文献 ·····	295

第一章 弧焊电源与船体主要焊接方法

目前电弧焊是船体建造工程中最重要、应用最广泛的一种焊接方法。它是将电能转变为热能来熔化金属、实现焊接的。

不同的弧焊电源对电弧的燃烧有不同的影响,因而对整个焊接过程的进行和船体焊接质量的影响也不同。为了满足船体焊接工艺的需要和保证焊接质量,必须正确选用弧焊电源。而弧焊电源的影响是通过电弧表现出来的,所以首先应了解电弧的有关特性。

1.1 焊接电弧

1.1.1 焊接电弧的产生

焊接电弧的产生有两种形式,即接触引弧和非接触引弧。

电弧是气体放电的一种形式,即气体导电现象。中性气体是不导电的,要使之导电,则必须在其中产生带电粒子。且为了使电弧维持燃烧,还要不断向电弧空间输送能量。因此,电弧的产生与维持要具备两个条件,即气体电离与阴极电子发射。以最常用的接触引弧为例。接触引弧是在电源接通的情况下,将电极(焊条或焊丝)与焊件接触短路。由于两接触面在微观上凹凸不平,两接触面只是一些凸点接触,这些接触点中通过的短路电流比正常的焊接电流大,且由于接触面积小,电流密度大,产生大量的电阻热使接触点发热、熔化甚至部分蒸发,引起强烈的热发射和热电离。随后在迅速拉开电极的瞬间,由于电弧间隙极小,在电源空载电压的作用下建立了强电场,因而又产生强烈的场致发射,并使已产生的带电粒子加速,在高温下进一步发生撞击电离、热电离和光电离。电离的结果使电弧空间充满高度电离的气体,由正离子、电子和少数高温气体分子组成。在电离的同时也有部分正离子与电子重新复合为中性分子和原子,电离与复合形成动平衡。弧焊电源不断地向电弧输送能量,补充电弧对金属的熔化热损失,维持电弧的温度燃烧。引弧时电子发射的主要方式取决于电极材料。如高熔点的钨或碳极以热发射为主,称为热电极;低熔点的铜或铝板以场致发射为主,称为冷电极。熔点介于二者之间的钢焊芯或焊丝作电极时,热发射和场致发射同时起作用。

非接触引弧是使两电极间存在一定间隙,施以高电压击穿气体间隙而引燃电弧。可见,这是一种依靠高电压使电极表面产生场致发射,进而造成气体电离、把电弧引燃的方法。它一般用于钨极氩弧焊和等离子弧焊。因为若钨极与焊件直接接触会污染焊件的引弧点,且损坏电极端面的几何形状。

非接触引弧需要引弧器来实现。引弧器可分为高频高压引弧和高压脉冲引弧。

电弧按电源的性质可分为直流电弧、交流电弧和脉冲电弧。

1.1.2 焊接电弧的结构

以直流电弧为例,电弧可近似看成一个圆柱形的气体导体,沿其长度方向可分为三个区域,见图 1.1。电弧与电源所接的一端称为阳极区,与负极相接的一端为阴极区,阳极区和阴极区之间的部分为弧柱区。阴极区的长度很短,约为 $10^{-5} \sim 10^{-6}$ cm,阳极区的长度稍长,约为 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ cm,因此可认为电弧的长度近似等于弧柱长度。

电极端面上高温发强光的区域称活性斑点。负极上的称为阴极斑点,正极上的称为阳极斑点。

如图 1.1 所示,沿电弧长度方向的电压分布是不均匀的。电弧电压 U_f 由阴极压降 U_i 、阳极压降 U_a 和弧柱压降 U_z 三部分组成:

$$U_f = U_i + U_a + U_z \quad (1.1.1)$$

通常,阳极压降基本不变,阴极压降在一定条件(指电弧电流、电极材料和气体介质等一定)下,也基本是定值,弧柱压降则在一定气体介质下与弧长成正比。

在弧柱区进行着电离与复合过程。弧柱气体是否易于电离,是影响电弧稳定性的主要因素。由于金属(特别是碱金属)的电离电压低,故电弧中存在金属蒸气可提高电弧的稳定性。焊条药皮中的稳弧剂(钾盐或钠盐)就是利用这一点。

弧柱的温度由电极材料、弧柱气氛、电弧电流、弧柱压缩程度等决定。一般自由焊接电弧的弧柱温度达 $5000 \sim 8000$ K,而等离子弧的温度则高达 24000 K 以上,有的甚至达 50000 K。

弧柱区的外加电能大部分转变为热能。这部分热能一般在熔化极焊接中不能直接用于熔化金属,而只是在填丝电弧焊和等离子切割时,才用来熔化金属。

阴极表面在热能和电场的作用下产生强烈的电子发射。阴极斑点是阴极表面电子发射处,即电流集中流过的地方。

阴极压降 U_i 产生电场,用来发射电子和加速带电粒子,一般与这两点有关因素均影响 U_i 。如电极温度低,热发射差;弧柱温度高,粒子动能大;形成负离子减少电子数目;需发射更多的电子等均使 U_i 增大。若阴极表面有碱土、稀土元素或它们的化合物时,则 U_i 会因逸出功的降低而减小。

阴极区的能量来自弧柱中经阴极区加速的正离子的动能及其与电子复合所释放的电离能。其中小部分能量消耗于电子发射,大部分能量使阴极被加热熔化及蒸发。阴极压降 U_i 与电极材料、弧柱气氛有关。 U_i 的增大可提高阴极的热量与温度。焊条药皮中添加提高阴极压降的成分可增大焊接熔深就是这个道理。

阴极斑点的温度不会超过材料的沸点。一般阴极材料的熔点越高,阴极斑点的温度

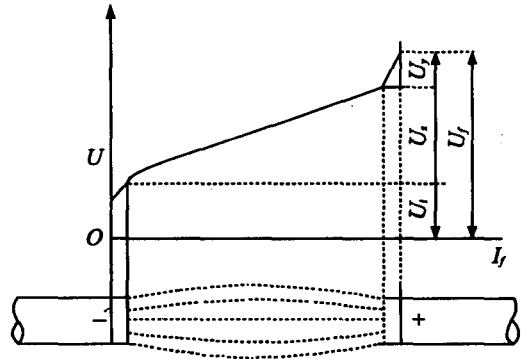


图 1.1 电弧结构及压降分布

也越高。如沸点为 5950K 及 4300K 的钨极和碳极的温度可达 3500K 以上。

阳极压降 U_y , 主要用来加速带电粒子。阳极外加电能中, 用来加速正离子的能量绝大部分传向弧柱。加热阳极的能量有来自弧柱区、经 U_y , 加速电子的动能及进入阳极释放出的逸出功提供。阳极区的产热机构一般比较稳定。一般阳极斑点的温度高于阴极斑点的温度, 但同样也不可能超过材料的沸点。

由于电弧电流主要是电子流构成, 所以一般阳极产生的热量多于阴极。但在实际生产中, U_i 会受某些因素的影响而提高, 使阴极温度有时会高于阳极。例如, 采用碱性焊条或含 CaF_2 的焊剂焊接时, 由于含有负电元素氟而使 U_i 增大, 故阴极温度高于阳极温度。气电焊时, 保护气对电极有较强的冷却作用, 且焊丝细, 电流密度大, 要求发射更多的电子而使 U_i 升高, 因此阴极温度高于阳极。

直流电弧两极的温度与产热机构不同, 因而可采用不同的接法来控制加热过程。当焊件接正极为正接或正极性; 焊件接负极为反接或反极性。根据各种工艺条件下正负极的热量情况和焊件所需要的热量选用不同的接法。高强度钢船体的焊接在手工焊条焊接和 CO_2 气保护焊接时, 必须采用直流反接。

1.1.3 电弧的静特性

一定长度的电弧在稳定燃烧的状态下, 电弧电压 U_f 和电弧电流 I_f 之间的关系称为电弧的静特性。可用下式表示

$$U_f = f(I_f) \quad (1.1.2)$$

焊接电弧电阻呈非线性。当电弧电流从小到在很大范围变化时, 焊接电弧的静特性近似为 U 形曲线, 故也称 U 形特性。见图 1.2。不同焊接工艺方法在正常电流范围内, 并不包括电弧静特性的所有部分。静特性的下降段由于电弧不稳而很少用, 仅在小电流的直流氩弧焊、钨极脉冲氩弧焊的维弧中使用。手工电弧焊与埋弧自动焊一般工作在静特性的水平段, 电弧电压只随弧长的增加成正比增加, 与电流无关。细丝大电流的埋弧焊、气电焊和等离子弧焊等方法经常工作在静特性的上升段。

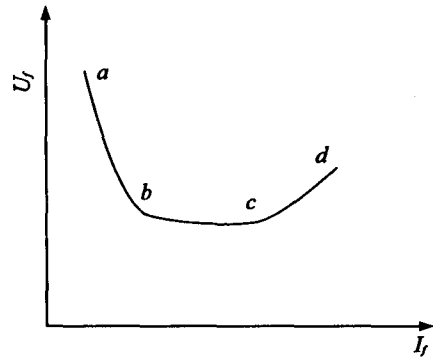


图 1.2 电弧静特性曲线

1.1.4 交流电弧

交流电弧燃烧的物理本质与直流电弧相同, 其电阻也是非线性的, 因此直流电弧的结论也适合交流电弧。即交流电弧的伏安特性曲线 $U_f = f(I_f)$ 也为 U 形。其中 U_f 和 I_f 为有效值。

但由于交流电的特点, 使交流电弧在作为弧焊电源负载时还有其特殊性。

1. 交流电弧的特点

由于供电的特点, 交流电弧在燃烧中, 存在周期性的熄灭、电流换向并重新引燃的过

程。电弧瞬时熄灭后,当供电电压升至大于重新引燃电压 U_{re} 时才能重新被引燃。 U_{re} 与电弧气氛、空间温度等多因素有关;电流的换向、熄弧时间的延长均会使 U_{re} 升高。

纯电阻性回路交流电弧的电流和电压的波形如图 1.3 所示,熄弧时间 $t_1 + t_3$ 越长,电弧越不稳定。

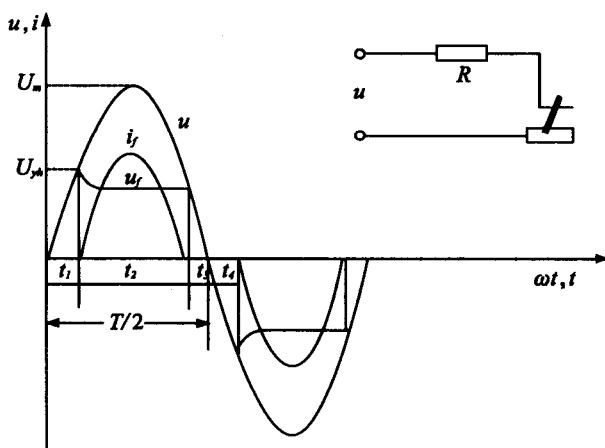


图 1.3 纯电阻性回路交流电弧的电流、电压波形

2. 交流电弧连续稳定燃烧的条件

交流电弧在电流换向后如能立即被重新引燃,电弧就能连续稳定燃烧。

为此,希望熄弧时间减少至零。

常用的交流弧焊电源——弧焊变压器是增大回路的感抗或漏抗,形成电感性回路,使电流滞后于电源电压足够的相位,以保证电流换向时,电源电压达到或超过 U_{re} 而使电弧立即重新引燃,如图 1.4 所示。在此情况下,交流电弧连续稳定燃烧的条件可用下式表示:

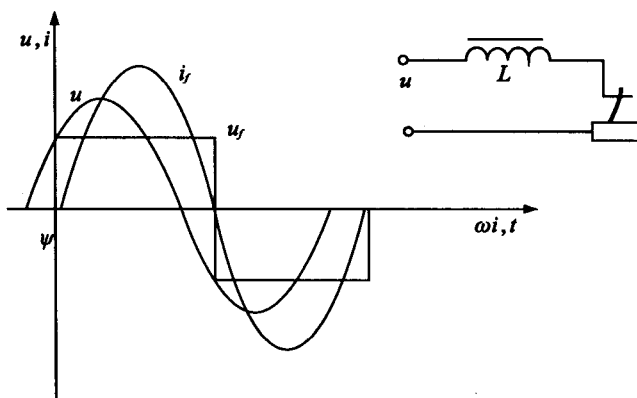


图 1.4 电感性回路的交流电弧的电压、电流波形

$$\frac{U_0}{U_f} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{U_{re}^2}{U_f^2} + \frac{\pi^2}{4}} \quad (1.1.3)$$

式中 U_0 —电源空载电压(有效值);

U_f —电弧电压(有效值);

$U_{\text{引}}$ —电弧重新引燃电压

为了提高交流电弧的稳定性,在弧焊电源方面除了焊接回路中有足够大的电感外,还可以采用提高电源频率,适当提高电源空载电压,改善电弧电流波形(如矩形波交流电源),以及叠加稳弧脉冲等措施。

1.1.5 电弧的偏吹

正常焊接时,电弧的轴线总是沿着焊条的中心线。当二者不在同一中心线上就发生电弧偏吹现象。电弧偏吹引起电弧燃烧不稳定,使焊接过程难以进行,且焊缝成形恶化,还会使弧长变长,增加有害气体及杂质的侵入而降低焊缝质量。

电弧偏吹的原因如下:

(1)气流的影响 电弧周围气体的剧烈流动会造成电弧偏吹,采用一定的挡风措施,可减轻由此导致的偏吹。

(2)焊条偏心度的影响 焊条偏心是药皮厚薄不均造成的。焊接时电弧会向药皮薄的一侧偏吹。此时,使焊条顺着电弧偏吹方向倾斜一定的角度以减轻偏吹的影响。对于焊条的偏心度,国标中有明确的规定。

(3)磁场的影响 当电弧周围磁场分布不均匀时,电弧会受到磁场的作用偏向磁力线密度较小的一侧而形成偏吹。采用直流弧焊电源时,焊接电流自身建立的横向磁场会造成电弧偏吹。见图 1.5。焊件接导线的一侧磁力线密度大,电弧被推向另一侧,其偏吹的程度与电流的平方成正比,当电流大到 300~400A 时,会严重妨碍焊接的正常进行。只有当导线接点正好在电弧下方才不会使电弧两侧磁场不均匀。

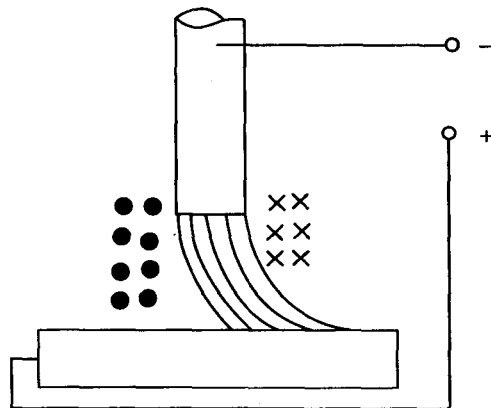


图 1.5 电弧自身产生的磁偏吹

显然,当电弧附近有大块铁磁物质时也会引起电弧两侧磁场不均匀。此时电弧会偏向铁磁物质而造成偏吹。焊角焊缝有时会出现这种现象。

实际生产中往往会遇到焊件带磁,使熔化的焊条金属不沾焊件而被吹掉,焊接过程也无法进行。

为提高焊接生产率采用大电流焊接,如何消除磁偏吹是值得注意的问题。如上述,改变焊件的接线位置,使接点在电弧的正下方并随电弧移动,可消除磁偏吹,但应用很不方便。焊接小件时,可在焊件两端接线以免产生磁偏吹。压短电弧与调整焊条倾角也能有效地减小磁偏吹。还可以加纵向磁场消除磁偏吹。如焊接管件时,只需将焊接电缆在管子上缠绕数圈便可得到外加纵向磁场。

采用交流弧焊电源时,由于变化的磁场在导体内引起涡流,涡流本身又会产生磁场,

且涡流在相位上与焊接电流相差 180° ，涡流产生的磁场大大削弱了焊接电流产生的磁场，因此交流焊接时磁偏吹的现象很弱。另外，交流电弧在恒向磁场中的受力方向也是交变的，且电弧的偏动响应跟不上交变速度，因此焊件带磁时，采用交流电源会使操作较顺利。

1.2 弧焊电源

弧焊电源是用来对焊接电弧提供电能的一种专用设备，它除了满足一些电力电源的要求外，还应满足电弧特性及焊接工艺的要求，即

- ①保证引弧容易、电弧燃烧稳定；
- ②保证焊接规范稳定；
- ③具有较宽的焊接规范调节范围；

根据这些要求，对弧焊电源提出以下几点基本要求。

1.2.1 对弧焊电源外特性的要求

1. 电源的外特性

在电源内部参数一定的条件下，改变负载时，电源输出的电压稳定值 U_y 与输出的电流稳定值 I_y 之间的关系称为电源的外特性。可用 $U_y = f(I_y)$ 的曲线图表示。 U_y, I_y 对于直流电源为平均值；而对于交流电源则为有效值。

2. 对弧焊电源外特性曲线形状的要求

在焊接过程中，弧焊电源与焊接电弧构成“电源—电弧”系统。为使电弧稳定燃烧，应要求“电源—电弧”系统有稳定的工作点。如图 1.6 所示，电源的外特性曲线与电弧静特性曲线的交点 A、B 都是工作点 ($U_y = U_f, I_y = I_f$)。稳定工作点是指系统受到干扰引起偏移，当干扰消失后能自动恢复的工作点。显然，A 点不是稳定工作点，当受到干扰使 I_A 减小为 I_A' 时，则 $U_y < U_f$ ，供小于求，电流将一直减小至电弧熄灭。若 I_A 增大至 I_A'' ，则 $U_y > U_f$ ，电流将增大至 B 点。

在 B 点，当电流稍有减小，则 $U_y > U_f$ ，电流将增大到 B 点，反之亦然。因此 B 点是稳定工作点。判断工作点是否是稳定工作点的条件是电弧静特性曲线在此点的斜率大于电源外特性在此点的斜率。从这个意义上讲，若电弧工作在 U 曲线的水平段，则需配置下降外特性的电源，并且外特性曲线下降越陡，电弧越稳定。若工作在上升段，则下降、水平、上升特性的电源均可满足要求。

3. 对弧焊电源空载电压的要求

空载电压 U_0 是弧焊电源的一个主要技术数据。较高的 U_0 有利于引弧与稳弧。但

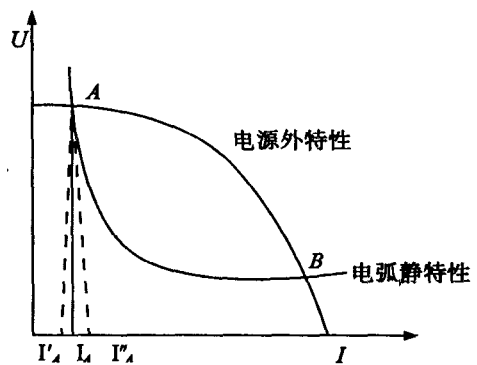


图 1.6 “电源—电弧”系统工作示意图

从安全和经济的观点出发,希望 U_0 不要太高,合适即可。一般对空载电压的要求是:

手工电弧焊 $U_f = 25 \sim 30\text{V}$ 直流 $U_0 = 45 \sim 70\text{V}$,交流 $U_0 = 50 \sim 70\text{V}$;

埋弧自动焊 $U_f = 35 \sim 40\text{V}$ 直流 $U_0 = 60 \sim 90\text{V}$,交流 $U_0 = 70 \sim 90\text{V}$ 。

4. 对弧焊电源短路电流的要求

引弧和熔滴过渡时经常会发生短路。当短路电流 I_{sc} 过大,焊条易过热、飞溅增大且造成电源过载;但 I_{sc} 过小,又会使引弧和熔滴过渡发生困难。

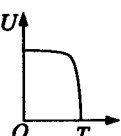
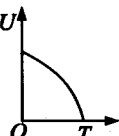
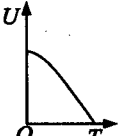

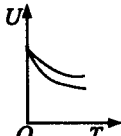
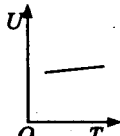
下降外特性电源的短路电流 I_{sc} 与工作电流 I_f 应满足以下条件:

$$1.25 < I_{\text{sc}} / I_f < 2 \quad (1.2.1)$$

5. 弧焊电源外特性的种类

从弧焊工艺的要求出发,已研制出各种各样外特性形状的电源。表 1.1 列出常用弧焊电源外特性形状及其应用范围。

表 1.1 弧焊电源外特性的分类及其应用范围

外特性	下降特性				平特性	
图形						
特性	在运行范围内 $I_f \approx$ 常数,又称垂直下降特性或恒流特性。	图形接近 1/4 椭圆,又称缓降特性。	在运行范围内,图形接近一斜直线,也称缓降特性。	在运行范围内恒流带外拖,外拖的斜率和拐点可调。	在运行范围内 $U \approx$ 常数,又称恒压特性,有时电压稍有下降。	在运行范围内随电流增加电压稍有增加,有时称上升特性
适用范围	钨极氩弧焊、非熔化极等离子弧焊。	焊条手工焊、变速送丝埋弧焊。	焊条手工焊、特别适合立焊、仰焊,粗丝 CO_2 焊、埋弧焊。	焊条手工焊。	等速送丝粗细丝气保护焊和细丝(直径 $< 3\text{mm}$)埋弧焊。	等速送丝细丝气保护焊(包括水下焊接)

1.2.2 对弧焊电源调节特性的要求

焊接时,根据具体工况的不同,要求焊接规范参数能在较大范围内调节。

弧焊电源能够满足不同工作电压、电流的需求的可调性能称为调节特性。它多是通过对电源外特性的调节来实现的(见图 1.7)。因此要求电源的外特性能在较大范围内均匀

可调。

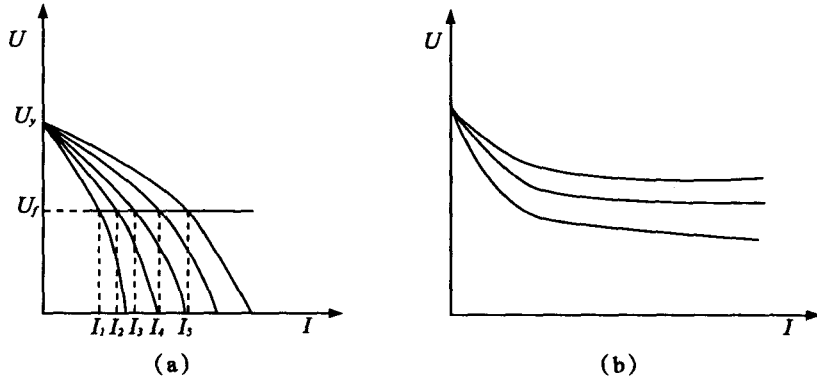


图 1.7 可调的外特性
(a)下降外特性 (b)平外特性

1.2.3 对弧焊电源动特性的要求

所谓电源动特性,是指电源负载状态发生突然变化时,弧焊电源输出电压与电流的响应过程。可用弧焊电源的输出电压与电流对时间的关系,即 $U_f = f(t)$ 、 $I_f = \phi(t)$ 来表示,它说明弧焊电源对负载的适应能力。

弧焊电源的动特性良好,才能获得良好的工艺性能,得到美观的焊缝成形和令人满意的焊接质量。这对采用短路过渡的熔化极电弧焊来说,是特别重要的。

弧焊电源的动特性指标因焊接方法、电源类型等而异。直流手工弧焊电源的动特性指标为瞬态短路冲击电流 I_s 和恢复电压最低值 U_{min} ;而短路过渡细丝 CO_2 焊时,则为短路电流峰值、短路电流增长速率和空载电压恢复速度。

1.3 弧焊变压器与硅弧焊整流器

1.3.1 弧焊变压器

弧焊变压器是交流弧焊电源,是一种具有下降外特性的特殊降压变压器。它与普通电力变压器的主要不同之处在于漏抗较大(或加串联电抗器),因而具有下降的外特性。此外,还需要满足一定的电流调节范围,并有合适的空载电压。将弧焊变压器接入交流电网后,可将工频交流电变换成低电压、大电流来适应焊接。焊机电感的感抗是可调的。典型的弧焊变压器有动铁芯式的 BX1-330、动线圈式的 BX3-300、串联电抗器式的 BX2-500 和变换抽头式的 BX6-120。

BX1-330 型弧焊变压器的电气原理图见图 1.8。该焊机为动铁芯式弧焊变压器,具有下降的外特性,并且体积小、重量轻。有两个对称的带间隙的铁芯,焊接电流脉动小,小电流时工作也较稳定。一次绕组在窗形铁芯的一侧。二次绕组分成两部分,一部分在一次绕组外部,起降压作用;另一部分绕在窗形铁芯的另一侧,起电抗线圈作用,用以得到下