

焊接技术与高招

全国技术能手、中华技能大奖获得者

沈惠塘 编著



焊接技术与高招

沈惠塘 编著



机械工业出版社

本书以焊接实际操作技能为主线,涉及焊接基础知识,常用金属材料及焊接特点,各种弧焊、热切割、电阻焊、钎焊、特种焊等工艺方法,并以两个章节重点介绍各种位置单面焊双面成形技术和钢铁材料、有色金属、非金属、异种金属等典型结构焊接实例。

本书可供初、中、高级焊工,焊接技师和初、中级焊接技术人员阅读,也可供高等院校焊接专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

焊接技术与高招/沈惠塘编著. —北京:机械工业出版社, 2002
ISBN 7-111-11156-7

I. 焊… II. 沈… III. 焊接工艺 IV. TG44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 086294 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:李正民 版式设计:冉晓华 责任校对:刘志文

封面设计:姚毅 责任印制:闫焱

北京交通印务实业公司印刷·新华书店北京发行所发行

2003 年 2 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·25.5 印张·627 千字

0 001—4000 册

定价:42.00 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、88379646

封面无防伪标均为盗版

中国航天科工集团总经理夏国洪题词

航天
衣无缝

夏国洪

二〇〇二年十一月

FAET 01/03

前 言

从 20 世纪至今的 100 多年,随着生产技术和新金属材料应用的日益增多,差不多每 10 年就出现一个新的焊接能源或焊接工艺,相应地使焊接技术出现了一次次飞跃。1900 年以前主要是碳弧焊;1910 年左右主要是气焊;20 世纪 20 年代出现了薄皮和厚皮等优质焊条的电弧焊;40 年代氩弧焊、埋弧焊和电阻焊在生产上得到应用;50 年代出现了电渣焊、二氧化碳气体保护焊和超声波焊接;60 年代大力发展了电子束和等离子弧焊接;70 年代出现激光焊接;80 年代已有太阳能焊接用于生产;90 年代已应用高性能的遥控机械手和智能型机器人焊接。进入新世纪,随着人类对宇宙空间探索的进展,用焊接方法在地球轨道或外层空间组装大型复杂空间结构的时代即将到来。

焊接作为制造业的基础工艺与技术在 20 世纪为工业经济的发展做出了重要的贡献,在人类引以为自豪的各个领域都利用了焊接技术的优秀成果。21 世纪,在材料方面将显示出 5 个方面的变化趋势,即:从黑色金属向有色金属变化;从金属材料向非金属材料变化;从结构材料向功能材料变化;从多维材料向低维材料变化;从单一材料向复合材料变化。新材料的连接对焊接技术提出了更高的要求。在今天,焊接作为一种传统技术,已面临着 21 世纪的严峻挑战。

为了充分反映 20 世纪焊接技术的成果和 21 世纪对焊接技术提出的新的挑战,作者凭借自己 30 年来对焊接技术的认识和实践知识,以及通过对各种焊接书刊资料的归纳整理,编写了这本名为《焊接技术与高招》的书,使更多的焊接从业人员有机会多了解一些这方面的技术,本书之所以这样命名,是因为在编写过程中遵循了以下 3 点原则:

1. 实用性 尽量避免一般性的理论叙述,力求使读者能较快地在实践中运用。
2. 先进性 作者凭借多年经验和焊接技术的发展趋势,只选择了那些更新颖、比较有实用价值的焊接技术资料。
3. 系统性 全书内容涉及各种焊接方法以及各种材料的焊接,比较系统地归纳了各种焊接技能的全过程。

作者期望本书对机械制造业,特别是对广大焊接从业人员有所帮助。但由于作者视野较窄,水平有限,书中难免会存在缺点和错误,恳请广大读者批评指正。

本书编写出版过程中得到了中国航天科工集团公司、机械工业出版社和风华机器厂领导的大力支持,同时得到了风华机器厂吴佳齐副总工程师的热情帮助,在此表示衷心的感谢。

沈惠塘

2002 年 5 月 1 日

目 录

前言

第1章 概论 1

- 1.1 焊接的优缺点 1
 - 1.1.1 焊接的优点 1
 - 1.1.2 焊接的缺点 1
- 1.2 焊接方法分类 1
 - 1.2.1 常用熔焊方法 2
 - 1.2.2 常用压焊方法 5
 - 1.2.3 常用钎焊方法 5
 - 1.2.4 特种焊接方法 7
- 1.3 热切割种类 8
 - 1.3.1 气体切割原理和应用范围 8
 - 1.3.2 电弧切割原理和应用范围 9
 - 1.3.3 激光切割原理及应用特点 9

第2章 焊接基础知识 10

- 2.1 常用金属材料知识 10
 - 2.1.1 常用金属材料的性能 10
 - 2.1.2 金属材料的力学性能 11
 - 2.1.3 常用金属材料的牌号、性能和用途 13
- 2.2 焊接接头形式和坡口 20
 - 2.2.1 焊接接头的形式 20
 - 2.2.2 焊接坡口 22
 - 2.2.3 焊接位置 23
- 2.3 焊缝与焊接符号 23
 - 2.3.1 焊缝类型 23
 - 2.3.2 焊缝符号与焊接方法代号 24
 - 2.3.3 焊缝符号表示法 33
- 2.4 焊接缺陷和检验方法 34
 - 2.4.1 焊接缺陷 35
 - 2.4.2 焊接检验 41
- 2.5 焊接应力与变形 51

2.5.1 焊接应力 51

2.5.2 焊接变形 60

2.6 焊接安全知识 72

- 2.6.1 个人防护 73
- 2.6.2 安全用电 73
- 2.6.3 防火、防爆 75
- 2.6.4 特殊环境焊接的安全技术 76
- 2.6.5 焊接安全卫生 77

第3章 常用金属材料及其焊接

特点 79

3.1 钢铁材料及其焊接特点 79

- 3.1.1 碳素结构钢 80
- 3.1.2 低合金结构钢 85
- 3.1.3 耐热钢 87
- 3.1.4 低温钢 92
- 3.1.5 不锈钢 94
- 3.1.6 铸铁 97

3.2 有色金属材料及其焊接特点 102

- 3.2.1 钛及钛合金 102
- 3.2.2 铝及铝合金 105
- 3.2.3 镁及镁合金 108
- 3.2.4 铜及铜合金 110
- 3.2.5 银及银合金 117
- 3.2.6 金及金合金 118
- 3.2.7 镍及镍合金 120
- 3.2.8 铀及铀合金 121
- 3.2.9 铂及铂合金 122
- 3.2.10 锆及锆合金 123
- 3.2.11 铅及铅铋合金 124
- 3.2.12 锌及锌合金 126

第4章 焊接材料 128

- 4.1 焊条 128

4.1.1 焊条的组成及作用	128	5.7.1 气焊基本知识与工艺参数	200
4.1.2 焊条的分类	128	5.7.2 气割基本知识与工艺参数	203
4.1.3 酸性、碱性焊条的特性	136	5.8 水下热切割	207
4.1.4 常用焊条及选用原则	141	5.8.1 氧弧切割	207
4.1.5 焊条质量检验	157	5.8.2 电弧水刨或弧水切割	208
4.2 熔化焊用钢丝、焊丝、焊剂 ..	158	5.8.3 氧—可燃气切割	208
4.2.1 钢丝、焊丝	158	5.8.4 水下等离子弧切割	208
4.2.2 焊剂	160	5.8.5 热割缆与热割矛切割	209
4.2.3 焊丝和焊剂的选用与匹配	166		
4.3 气体保护焊用焊接材料	167	第6章 电阻焊工艺	210
4.3.1 焊丝	167	6.1 点焊方法和工艺参数	210
4.3.2 焊接用气体	180	6.1.1 点焊方法	210
4.3.3 钨电极	180	6.1.2 点焊工艺参数	211
第5章 各种熔焊、切割工艺	182	6.2 缝焊方法和工艺参数	216
5.1 焊条电弧焊特点及工艺参数 ..	182	6.2.1 缝焊方法	216
5.1.1 焊条电弧焊的特点	182	6.2.2 缝焊工艺参数	218
5.1.2 焊条电弧焊的工艺参数	182	6.3 凸焊工艺特点和工艺参数	221
5.2 埋弧焊特点及工艺参数	184	6.3.1 凸焊的工艺特点	222
5.2.1 埋弧焊的特点	185	6.3.2 凸焊的工艺参数	223
5.2.2 埋弧焊的工艺参数	186	6.4 对焊方法和工艺参数	224
5.2.3 焊接坡口的基本形式及尺寸 ..	186	6.4.1 对焊方法	225
5.3 钨极氩弧焊特点及工艺参数 ..	187	6.4.2 对焊工艺参数	225
5.3.1 钨极氩弧焊的特点	187		
5.3.2 钨极氩弧焊的工艺参数	187	第7章 钎焊、扩散焊工艺	231
5.4 熔化极氩弧焊特点及工艺参数		7.1 钎焊方法和生产工艺	231
选择	189	7.1.1 钎焊方法	231
5.4.1 熔化极氩弧焊的特点	189	7.1.2 钎焊生产工艺	235
5.4.2 熔化极氩弧焊的工艺参数		7.1.3 钎焊材料和钎焊间隙的	
选择	189	选择	236
5.5 CO ₂ 气体保护焊特点及工艺		7.2 扩散焊特点、种类和工艺	
参数	190	参数	252
5.5.1 CO ₂ 气体保护焊的特点	191	7.2.1 扩散焊特点	252
5.5.2 CO ₂ 气体保护焊的工艺		7.2.2 扩散焊种类	253
参数	192	7.2.3 扩散焊工艺和参数	253
5.6 等离子弧焊与等离子弧切割 ..	192	第8章 特种焊工艺	256
5.6.1 等离子弧焊	192	8.1 电子束焊	256
5.6.2 等离子弧切割	197	8.1.1 电子束焊工作原理和分类	256
5.7 气焊与气割	200	8.1.2 电子束焊设备	258

8.1.3 电子束焊接接头设计和焊接 工艺	263	9.1.5 中碳钢厚壁管高压管道 TIG 焊接	307
8.2 激光焊	268	9.1.6 耐热钢管的焊接	308
8.2.1 激光焊特点	268	9.1.7 40 MnVB 钢的焊接	309
8.2.2 激光焊设备	268	9.1.8 40 Cr钢与 35 钢的焊接	310
8.2.3 激光焊原理及过程	271	9.1.9 气焊铸缸体十二字诀	311
8.2.4 脉冲激光焊	273	9.1.10 铸铁电弧冷焊法	314
8.2.5 连续 CO ₂ 激光焊	274	9.1.11 细丝 CO ₂ 气体保护冷焊铸铁 ...	314
8.3 超声波焊	278	9.1.12 奥氏体不锈钢焊条电弧焊	315
8.3.1 超声波焊工作原理、种类及 应用范围	278	9.2 有色金属焊接实例	316
8.3.2 超声波焊接工艺	280	9.2.1 简便优质的铝合金钎焊	316
8.4 爆炸焊	283	9.2.2 2A12 铝合金冷凝器 TIG 焊	317
8.4.1 爆炸焊原理	283	9.2.3 87 m ³ 纯铝浓硝酸贮槽 MIG 焊 ...	318
8.4.2 可爆炸焊接的金属材料	284	9.2.4 镁合金铸件的补焊	320
8.4.3 爆炸焊方法及安装工艺	285	9.2.5 纯钛外冷器的焊接	320
8.4.4 爆炸焊工艺参数	285	9.2.6 工业纯钛的自动等离子弧 焊接	322
8.5 水下焊接	286	9.2.7 锌合金铸件的补焊	323
8.5.1 水下焊接分类	287	9.2.8 锆蛇形管冷却器的焊接	324
8.5.2 湿法水下焊接工艺	288	9.2.9 纯镍管与板的焊接	325
8.5.3 高压干法水下焊接工艺	289	9.2.10 蒙乃尔合金的焊接	326
8.6 核辐射条件下的焊接	291	9.2.11 钨棒的氩弧钎焊	326
8.6.1 辐射条件下焊接方法与特点 要求	292	9.2.12 铅管的焊接	327
8.6.2 核电站维修的典型焊接 技术与实例	292	9.2.13 钢质酸洗槽铅内衬的焊接	328
8.7 空间焊接	296	9.2.14 厚纯铜法兰的碳弧焊	330
8.7.1 空间钎焊	296	9.2.15 铜排软连接的氩弧焊	332
8.7.2 空间焊接方法	297	9.2.16 海底充油电缆软接头 TIG 焊	333
8.7.3 空间焊接设备要求	299	9.2.17 黄铜螺旋桨壳体裂纹的 补焊	335
8.7.4 空间结构材料的焊接性	300	9.2.18 艉轴铜套的补焊	336
第 9 章 各种材料在不同环境下 的焊接实例	302	9.3 非铁材料及非铁材料与有色 金属焊接实例	336
9.1 钢铁材料焊接实例	302	9.3.1 塑料的焊接	336
9.1.1 泄漏管道的补焊	302	9.3.2 陶瓷与金属的扩散焊	339
9.1.2 蒸气管道的带压补焊	302	9.3.3 陶瓷与金属的电子束焊	340
9.1.3 超薄壁材料的焊接	303	9.4 异种金属焊接实例	341
9.1.4 金属管道全位置下向焊接	306	9.4.1 Q345 与 Q235 钢的高压容器焊条 电弧焊	341

9.4.2	石墨板与Q345钢板的扩 散焊	341	10.1.9	小直径薄壁管对接, 水平固 定焊	365
9.4.3	K20硬质合金与 2 Cr13 不锈钢 的钎焊	342	10.1.10	小直径薄壁管对接, 加障碍物 垂直固定焊	368
9.4.4	TA2钛板与Q235钢板的 TIG 焊接	343	10.2	手工钨极氩弧焊单面焊双面 成形操作技能	369
9.4.5	E5015 焊条外缠纯铜丝焊接铜 与钢	344	10.2.1	薄板的板—板对接, 平焊位	369
9.4.6	T3铜管与 1 Cr18Ni9Ti 不锈钢板的 MIG 焊	344	10.2.2	小管径对接, 水平转动焊	371
9.4.7	T2与 1 Cr18Ni9Ti 糊化锅的埋 弧焊	345	10.2.3	薄板的板—板对接, 立焊位	372
9.4.8	铝及其合金与异种材料的 钎焊	346	10.2.4	管—板 T 形接头, 骑座式水平固 定焊	373
9.5	严酷条件下的焊接	346	10.2.5	小直径管对接, 垂直 固定焊	374
9.5.1	寒冷环境的焊接技术	346	10.2.6	铝板 V 形对接, 平焊位	376
9.5.2	输油管线的在线焊接	348	10.2.7	异种钢的板—板对接, 横焊位	377
9.5.3	复合材料超高真空度的焊接	349	10.2.8	薄板的板—板对接, 仰焊位	378
第 10 章	单面焊双面成形焊接 操作技能	352	10.2.9	骑座式管—板 T 形接头, 垂直仰焊位	379
10.1	焊条电弧焊单面焊双面成形 操作技能	352	10.2.10	异种材料的管对接, 水平 固定加障碍物焊	381
10.1.1	中厚板的板—板对接, 平焊位	352	10.3	CO ₂ 气体保护焊单面焊双面成形 操作技能	382
10.1.2	管—板 T 形接头骑座式, 俯焊位	353	10.3.1	中厚板的板—板对接, 平焊位	382
10.1.3	中厚板的板—板对接, 横焊位	355	10.3.2	大直径管对接, 水平位 转动焊	383
10.1.4	中厚板的板—板对接, 立焊位	357	10.3.3	中厚板的板—板对接, 横焊位	384
10.1.5	管—板 T 形接头骑座式水平固 定焊	358	10.3.4	大直径管对接, 垂直 固定焊	386
10.1.6	大直径管对接垂直固 定焊	360	10.4	埋弧焊操作技能	388
10.1.7	中厚板异种钢的板—板对接, 立焊位	362	10.4.1	中厚板的板—板对接, 平双 面焊	388
10.1.8	中厚板的板—板对接, 仰焊位	363	10.4.2	厚板的板—板对接, 平双 面焊	389

10.5 组合焊单面焊双面成形	
操作技能·····	390
10.5.1 小直径薄壁管对接, 45°倾斜	
固定组合焊·····	390

10.5.2 大直径厚壁管对接, 水平转动	
组合焊·····	392
参考文献·····	395

第1章 概 论

在金属构体和机械制造中，总是需要将两个或两个以上的零件，按一定形状和位置连接起来，并保证有足够的连接强度。连接的方法主要分两大类：一类是可以拆卸的，如螺栓联接，销钉、键联接等；另一类是永久性的，如铆接、焊接。

焊接是一种生产不可拆卸结构的工艺方法。随着近代科学技术的发展，焊接已发展成为一门独立的学科，广泛应用于国民经济的各个领域，并渗透到家庭生活日用品中。据统计，我国目前焊接件用钢量占钢材总产量的25%~28%，而世界工业发达国家焊接耗钢量已占钢材总产量的45%左右，可见我国焊接技术应用的前景是很广阔的。

1.1 焊接的优缺点

1.1.1 焊接的优点

焊接与螺钉联接、铆接，铸件及锻件相比，具有下列优点：

- 1) 节省金属材料，减轻结构重量，经济效益好。
- 2) 简化加工与装配工序，生产周期短，生产效率高。
- 3) 结构强度高（接头能达到与母材等强度），接头密封性好。
- 4) 为结构设计提供较大的灵活性。例如，按结构的受力情况可优化配置材料，按工况需要，在不同部位选用不同强度、不同耐磨性、耐腐蚀性、耐高温性等的材料。
- 5) 焊接工艺过程容易实现机械化和自动化。

1.1.2 焊接的缺点

1) 焊接结构容易引起较大的残余变形和焊接内应力。由于绝大多数焊接方法都采用局部加热，经焊接后的焊件，不可避免地在结构中会产生一定的焊接应力和变形，从而影响结构的承载能力、加工精度和尺寸稳定性。同时，在焊缝与焊件交界处还会引起应力集中，对结构的脆性断裂有较大的影响。

2) 焊接接头中易存在一定数量的缺陷；如裂纹、气孔、夹渣、未焊透、未熔合等。缺陷的存在会降低强度、引起应力集中、损坏焊缝致密性，是造成焊接结构破坏的主要原因之一。

3) 焊接接头具有较大的性能不均匀性。由于焊缝的成分及金相组织与母材不同，接头各部位经历的热循环不同，使不同区域接头的性能不同。

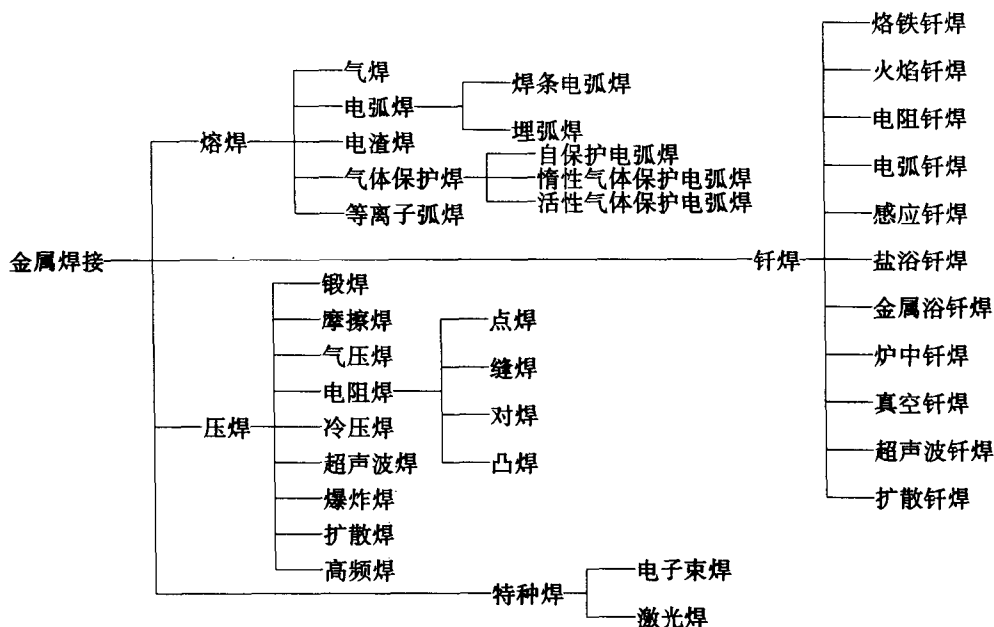
4) 焊接过程中产生高温、强光及一些有毒气体，对人体有一定的损害，故需加强劳动保护。

1.2 焊接方法分类

焊接是通过加热或加压，或两者兼用，并且用或不用填充材料，使焊件达到原子结合的一种加工方法。

焊接不仅可以连接金属，还可以连接塑料、玻璃、陶瓷等非金属。在工业生产中，焊接主要用于连接金属材料。

按焊接时的工艺特点和母材金属所处的状态，可以把焊接方法分成熔焊、压焊、钎焊和特种焊四类。金属焊接的分类如下：



熔焊——焊接过程中，将焊件接头加热至熔化状态，不加压力的焊接方法。

压焊——焊接过程中，必须对焊件施加压力，加热或不加热的焊接方法。

钎焊——采用熔点比母材低的金属材料作钎料，将焊件和钎料加热到高于钎料熔点，但低于母材熔点的温度，利用毛细作用使液态钎料润湿母材，填充接头间隙并与母材相互扩散连接焊件的方法。

特种焊——能焊接难熔、易氧化、易氮化等特殊材料的焊接方法。

1.2.1 常用熔焊方法

1. 焊条电弧焊，用手工操纵焊条进行焊接的电弧焊方法，称为焊条电弧焊，见图 1-1 所示。

焊条电弧焊的焊接材料是电焊条。焊条由焊芯和药皮两部分组成，焊接时可作为电极和填充材料。

(1) 焊接特点

1) 设备简单、操作灵活。可在室内、室外及各种空间位置焊接；对于不同接头形式，短的或曲折的焊缝，均能方便地进行焊接。

2) 容易控制形状复杂焊件的焊接变形。

3) 焊条品种齐全，可以按技术要求选配与母材相应的焊条，能获得性能优良的焊缝金属。

(2) 适用范围 可焊接碳钢、低合金高强度钢、不锈钢及耐热钢。也可用于铸铁和铝、铜及其合金的焊接。最小焊接厚

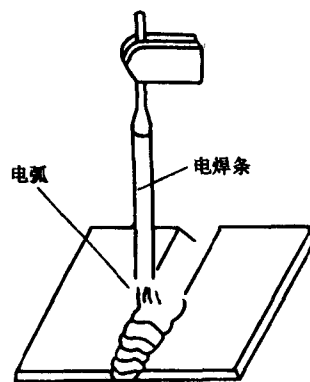


图 1-1 焊条电弧焊

度为 0.5mm。

焊条电弧焊由于受到使用电流范围的限制，焊条熔敷率较低；进行长焊缝焊接时需不断地更换焊条，每道焊缝焊后必须清除熔渣，增加了辅助时间，降低了焊接生产率，劳动强度大；焊接质量受焊工操作水平和体力影响。但是，随着重力焊条、铁粉焊条、立向下焊焊条等高效或专用焊条，以及低毒焊条不断地被广泛采用，焊条电弧焊方法仍在某些焊接结构上被广泛应用，并得到进一步的发展。

2. 埋弧焊 电弧在焊剂层下燃烧，利用电气和机械装置控制送丝和移动电弧的埋弧焊方法，见图 1-2 所示。

埋弧焊的焊接材料主要是焊剂和焊丝。

(1) 焊接特点

1) 熔敷率高，是焊条电弧焊的 5 ~ 10 倍；焊缝成形美观、质量好；由于采用焊剂保护，可采用大电流进行焊接，能获得较大的熔深，30mm 以下的焊件短焊缝时，可开 I 形坡口或开小角度坡口，提高了生产率、节省了焊接材料。

2) 容易实现焊接过程自动化，同时无弧光辐射，改善了焊工劳动强度。

3) 一般只能用于水平位置和船形位置的焊接。对于短焊缝、小直径环缝纵缝、形状不规则焊缝、以及处在狭窄空间位置的焊接、薄板的焊接等，均受到限制。

4) 焊接时看不见电弧，对坡口加工与装配要求较高；同时，这种方法占地面积较大，设备投资费用较高。但目前，多丝、带极和窄间隙埋弧焊等特种形式的工艺方法已应用于生产，提高了产品质量和效率。

(2) 适用范围 目前主要用于碳素钢、低合金高强度钢、耐热钢以及不锈钢长焊缝的水平位置焊接，特别适用于厚度 20mm 以上的纵缝、环缝焊接。也可以进行不锈钢和低合金高强度钢的带极堆焊，这种焊接方法已在锅炉等压力容器、金属构件、船舶和车辆制造中广泛应用。

3. 气焊 利用气体火焰作热源的焊接方法。见图 1-3 所示。

气体火焰由可燃气体和助燃气体燃烧形成，最常用的氧乙炔焊就是用乙炔做燃气，氧气做助燃气。气焊通常要使用焊丝和助熔剂。

(1) 焊接特点

1) 氧乙炔焊与电弧焊相比，火焰温度低，加热速度慢。

2) 火焰和焊丝是各自独立的，气体的火焰性质可随意调整，因而能够顺利地用来焊接需要预热和缓冷的金属材料。

3) 可以在各种复杂位置焊接，同时也能够方便地观察焊接过程。

4) 设备简单、移动方便、具有很大的通用性，特别是在没有电的情况下也能焊接。

(2) 适用范围 主要应用于焊接薄钢板、薄壁小直径管子。对于厚度小于 3mm 的焊件，

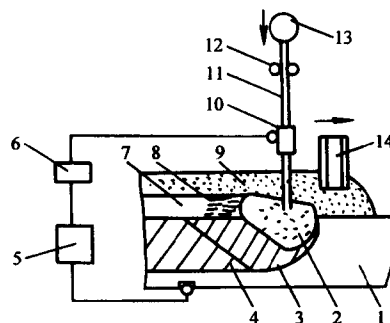


图 1-2 埋弧焊

- 1—母材 2—电弧 3—熔池 4—焊缝
5—焊接电源 6—电控箱 7—渣壳
8—熔渣 9—焊剂 10—导电嘴
11—焊丝 12—送丝滚轮
13—焊丝盘 14—焊剂输送管

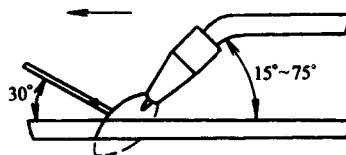


图 1-3 气焊

多采用左焊法；大于 3mm 的焊件，则多采用右焊法。

氧乙炔焊也可焊接铝、铜、铸铁，可进行钎焊和堆焊硬质合金等。焊接有色金属、铸铁及不锈钢等材料时，必须采用助熔剂。

氧乙炔焊由于生产效率低，热量不集中，因此焊件热影响区宽，过热严重、变形大，接头性能较差。目前，很多方面它已被新的焊接工艺替代，但在有色金属、铸铁焊接，以及某些特定场合，氧乙炔焊依旧具有重要地位。

4. 气体保护焊 利用外加气体作为电弧介质，并保护电弧、金属熔滴、焊接熔池和焊接区高温金属的电弧焊方法。

生产常用的外加气体有氩、氦、二氧化碳、氩加二氧化碳和氧的混合气体、氩和二氧化碳的混合气体等。

(1) 焊接特点 与其它焊接方法相比有以下特点：

1) 明弧焊接、熔池可见度好，操作方便；适用于各种空间位置的焊接，有利于实现机械化和自动化。

2) 电弧在保护气流的压缩下热量集中，焊接熔池和热影响区较小，因此焊件的变形和裂纹倾向不大，尤其适用于薄板焊接。

3) 采用氩、氦等惰性气体作保护，焊接化学性质活泼的金属和合金时，具有很高的焊接质量。但引弧较困难（因氩、氦电离电位高）。

4) 焊接区的保护气体抗外界干扰能力弱，电弧的光辐射较强，焊接设备较复杂。

(2) 适用范围 用氩气作为保护气体的电弧焊，特别适宜焊化学性质活泼的金属，例如不锈钢和铝、镁、钛及其合金。通常适用 0.5 ~ 5mm 范围的薄板或管子的全位置焊接和堆焊。氩弧焊还常使用在锅炉及压力容器重要受压元件根部的打底焊，从而确保焊缝根部的质量。

用二氧化碳气体或其它混合气体作为保护气体的电弧焊，可以用于低碳钢、低合金钢的薄、中及厚板的全位置焊接。在汽车、船舶、工程机械、机车车辆及矿山机械等制造部门应用较普遍。在压力容器、锅炉制造中，一些支座角焊缝、容器附件、膜式水冷壁的焊接，已逐步取代焊条电弧焊。

5. 等离子弧焊接 是利用特殊构造的等离子焊枪所产生的高温等离子弧来熔化金属的焊接方法。见图 1-4 所示。等离子弧焊接采用直流陡降外特性电源，通常与非熔化极气体保护焊相似。此外，等离子弧有两种特殊的焊接方法，即等离子弧穿孔焊接与微弧等离子焊接。

(1) 焊接特点

1) 与氩弧焊相比，等离子弧焊能量高度集中，热影响区小。

2) 电弧的温度梯度极大。等离子弧的横截面积很小（一般约 3mm），从温度最高的弧柱中心到温度最低的弧柱边沿，温度的差别是非常大的。

3) 有良好的电弧稳定性。由于等离子弧电离程度极高，所以放电过程稳定。弧柱呈圆柱形，挺度好，使焊件受热面积几乎不变，当弧长变化时，电弧电压

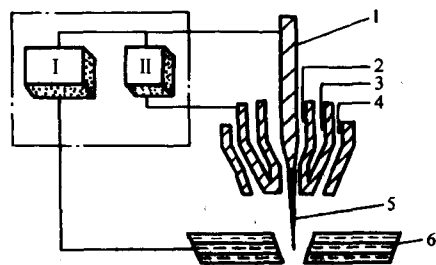


图 1-4 等离子弧焊接

1—电极 2—离子气 3—冷却水 4—保护气
5—等离子弧 6—焊件
I—等离子弧焊接电源 II—启动电弧电源

与焊接电流变化都较小。

4) 具有很强的机械冲刷力。等离子弧发生装置内通入常温压缩气体, 受电弧高温加热而膨胀, 在喷嘴的阻碍下使气体的压缩力大大增加, 当高压气流由喷嘴的细小通道中喷出时, 可达到很高的速度 (可超过声速), 所以等离子弧有很强的机械冲刷力。

(2) 适用范围 主要应用于热敏感性能强的不锈钢及各种高合金钢和钨、铜、钴等难熔及特种金属材料的焊接。

1.2.2 常用压焊方法

1. 点焊 点焊的接头形式都是搭接。点焊时, 将焊件压紧在两圆柱形电极间, 并通以很大的电流, 利用两焊件接触电阻较大, 产生大量热量, 迅速将焊件接触处加热到熔化状态, 形成似透镜状的液态熔池 (焊核)。当液态金属达到一定数量后断电, 在压力的作用下, 冷却凝固形成焊点。

点焊主要用于带蒙皮的骨架结构, 铁丝网布和钢筋交叉点等的焊接。

点焊的接头形式主要分为 4 种, 见图 1-5 所示。点焊可以根据组合件的结构特点及接头强度要求进行选用。

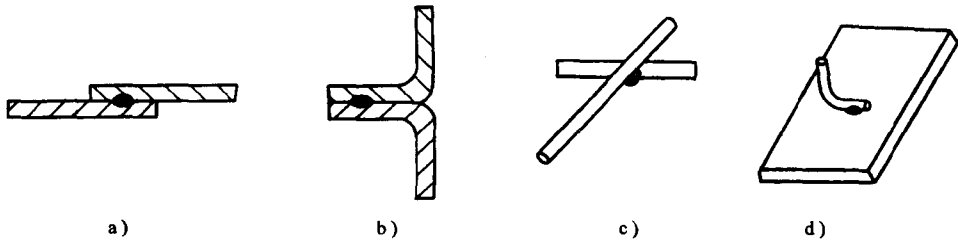


图 1-5 点焊接头形式

a) 搭接接头 b) 折边接头 c) 交叉接头 d) T形接头

2. 缝焊 缝焊与点焊相似, 它的电极是旋转的滚盘, 以代替点焊的圆柱形电极, 焊件在旋转滚盘的带动下前进, 见图 1-6 所示。当电流断续 (或连续) 地通过焊件时, 形成一个彼此重叠的焊点, 就成为一条连续的焊缝, 见图 1-7 所示。

缝焊主要用于要求气密性的薄壁容器, 如汽车油箱等。由于它的焊点重叠, 故分流很大, 因此焊件不能太厚, 一般不超过 2mm。

1.2.3 常用钎焊方法

钎焊是一种古老的焊接方法。它的过程是将钎料 (作填充金属用) 放置于焊件接缝间隙附近或间隙内, 当加热到钎料熔化温度后, 钎料就熔化 (钎料的熔点都较焊件金属熔点低), 并渗入到固态焊件的间隙内, 冷却凝固后就形成牢固的联接, 见图 1-8 所示。

钎焊与其它焊接方法相比有以下特点:

1) 钎焊时加热温度低于焊件金属的熔点, 所以钎焊时钎料熔化, 焊件不熔化, 焊件金属的组织性能变化较小。钎焊后, 焊件的应力与变

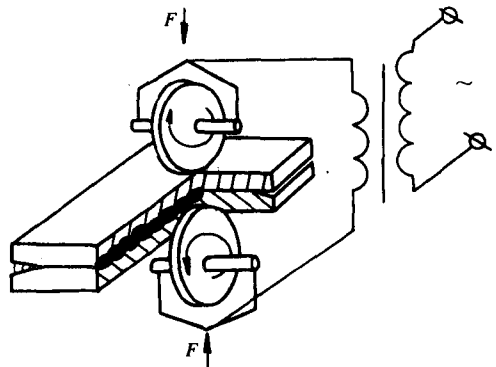


图 1-6 缝焊

形也较小,可以用于焊接尺寸精度要求较高的焊件。

2) 可以一次焊几条、几十条焊缝,甚至更多,所以生产率高。它还可以焊接用其它焊接方法无法焊接的结构形状复杂的接头。

3) 钎焊不仅可以焊接同种金属,也适宜焊接异种金属,甚至可以焊接金属与非金属,因此应用范围很广。

4) 钎焊的主要缺点是:在一般的情况下钎焊缝的强度和耐热能力都较基本金属低。为了弥补强度低的缺点,可以用增加搭接接触面积的办法来解决。

钎焊最简单、常见的加热方法是用烙铁和气体火焰(常用的是氧-乙炔火焰)加热。这两种方法,设备简单,使用灵活方便,但生产率低,且不能焊接复杂结构。除此两种加热方法外,还有电阻、高频感应、炉中、盐浴等加热方法。

1. 电阻钎焊 它是利用较大电流通过焊件时所产生的电阻热来加热焊件进行钎焊的,见图 1-9 所示。这种钎焊加热快,生产率高,可在电阻焊机上进行,主要用于硬质合金刀具的钎焊。

2. 高频感应钎焊 把钎焊件的焊接部位放在高频感应圈中,当感应圈通过高频电流时,在焊件中就会产生高频感应电流,由于高频交流电的集肤效应的作用,使得焊件表面发热,见图 1-10 所示。

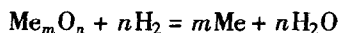
高频感应圈上的高频电流可以由高频发电机或电子管高频发生器来供给。感应圈由铜管绕成,中间通水冷却。

高频感应钎焊的特点是加热快,生产效率高,矿山用的一字形、十字形钎头和采煤用的电煤钻,常用这种钎焊方法。

3. 炉中钎焊 把焊件放入加热炉中加热进行钎焊,其特点是加热均匀,速度较慢,温度易控制,焊件被整体加热。按其炉内气氛不同,可分为四种:

(1) 空气炉中钎焊 焊件会严重氧化,故必须加熔剂。

(2) 还原性气体(H_2)炉中钎焊 它是在 H_2 保护下进行钎焊的,能使氧化膜还原,如



反应式中的 Me 表示焊件成分中的任一金属元素。

一般合金钢、不锈钢等可在 H_2 炉中钎焊,但不宜钎焊钛及其合金,因为它会形成脆性化合物。

(3) 惰性气体炉中钎焊 通常用纯氩作保护气体。可钎焊大多数金属与合金,主要用于钎焊沉淀硬化不锈钢制造的蜂窝结构,但钎焊含钛的不锈钢和高温合金时仍需用少量熔剂或自含熔剂的钎料。

(4) 真空炉中钎焊 在真空炉中钎焊,焊件的氧化物能在加热过程中蒸发或溶解入金属中,因此钎焊时可不加熔剂,能钎焊含有 Cr、Ti、Al 等各种元素的合金钢及高温合金、钛

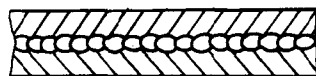


图 1-7 缝焊焊缝

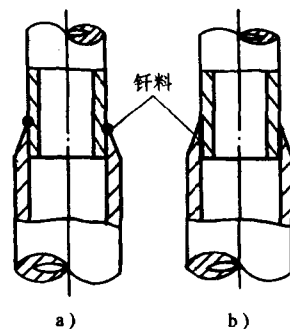


图 1-8 钎焊

a) 钎焊前 b) 钎焊后

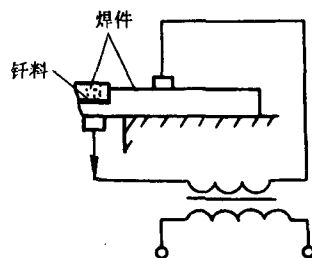


图 1-9 电阻钎焊

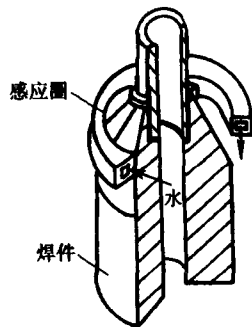


图 1-10 高频感应钎焊

合金等。钎焊质量高。缺点是设备复杂，加热冷却速度慢，能引起某些沸点较低的元素蒸发，不宜焊接复杂结构焊件。

1.2.4 特种焊接方法

1. 电子束焊 随着近代国防工业和尖端技术的发展，高熔点金属（W、Mo、Ta 等）和性能极活泼的金属（Nb、Ti、Zr、Be 等）及其合金得到越来越多的使用。由于这些材料的难熔、易氧化和氮化，用一般焊接方法焊接困难很大。经过大量的试验研究，终于创造出电子束焊接方法，解决了这些材料的焊接问题。

(1) 电子束焊的基本原理 电子束焊是利用加速和聚焦的电子束轰击置于真空或非真空中的焊件所产生的热能进行焊接的方法。电子束焊接时常用的加速电压范围为 30 ~ 150kV，电子束电流为 20 ~ 1000mA，电子束焦点直径约为 0.1 ~ 1mm，这样，电子束功率密度可达 10^6 W/cm^2 以上。

(2) 真空电子束焊接的特点与应用

1) 能量高度集中（表 1-1 列出了它与其它焊接热源的比较数值），能把焊件金属迅速加热到很高温度，因而能熔化任何难熔金属与合金。熔深大（深宽比可达 20:1），焊缝平整，组织致密，热影响区小，焊接变形也小。

2) 由于焊接在真空室中进行，所以焊缝不会被氧化或为其它物质所污染。因此，它的焊缝质量高，无气孔、裂纹、夹渣等缺陷。这种焊接方法在航空、航天等尖端科学技术领域中得到广泛的应用。

表 1-1 各种焊接热源能量密度比较

热源	最小加热面积 /mm ²	最大能量密度 /kW·mm ⁻²
氧—乙炔	25	0.02
电弧	10	0.2
电子束	0.01	30

2. 激光焊

(1) 激光焊的基本原理 激光与普通光不同，它具有能量密度高（可达 $10^5 \sim 10^{13} \text{ W/cm}^2$ ），单色性好与方向性强的特点。激光焊接就是利用激光发生器所产生的单色性和方向性非常好的激光，经过光学聚焦后，把光点直径聚集到 $10\mu\text{m}$ 的焦点上，能量密度达到 10^6 W/cm^2 以上。通过光能转变为热能，从而熔化金属，进行焊接。

(2) 激光焊接的特点与应用 激光焊接主要特点如下：

1) 辐射能极强大，可以将焊件加热到 5000 ~ 9000℃，因此能熔化任何难熔金属，进行焊接。

2) 由于激光能聚焦到很小光点（ $10\mu\text{m}$ 左右），故焊缝可以极为窄小。

3) 能量极为集中，热源强度高，作用时间极短（1ms 左右），故焊接时加热熔化、冷却凝固时间极短，热影响区极小，几乎看不出，晶粒长大也极小，焊缝是很细的柱状晶，适宜焊接某些难熔和敏感性强的金属，例如钼等。

4) 能在任何空间位置进行焊接。由于其焊接过程极短，所以不论是在真空中、惰性气体中或空气中进行焊接，效果几乎是等同的。焊件尺寸不受限制。

由于激光焊接具有上述特点，所以它被用于仪器、微型电子工业中的超小型元件和宇宙技术中的特殊材料的焊接。可以焊接同种或异种材料，其中包括铅、铜、不锈钢、镍、锆、铌以及难熔金属钽、钼、钨等等。

但是，由于受到激光本身功率的限制，目前为止激光焊接的使用还不广泛。