

国外机械工业基本情况

焊 接

机械工业部哈尔滨焊接研究所

机械工业出版社

一九八六

内容简介 本资料为《国外机械工业基本情况》的焊接部分，内容主要介绍了近几年来国外焊接技术、焊接工艺及焊接自动化方面的发展水平及应用情况。可供从事焊接生产、科研人员以及有关领导参考。

焊 接

机械工业部哈尔滨焊接研究所

*

机械工业部科学技术情报研究所 编辑

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

机械工业出版社发行·机械工业书店经售

*

开本 787×1092¹/₁₆·印张 3¹/₂·字数 84 千字
1987年6月北京第一版·1987年6月北京第一次印刷

印数 0,001—2,000·定价: 1.20 元

*

统一书号: 15033·7158Q

出版说明

机械工业肩负着为国民经济各部门提供技术装备的重任。为适应四化建设的需要，必须大力发展机械工业。上质量、上品种、上水平，提高经济效益，是今后一个时期机械工业的战略任务。为了借鉴国外机械工业的发展道路、措施方法和经验教训，了解国外机械工业的生产、技术和管理水平，以便探索我国机械工业具有自己特色的发展道路，我们组织编写了第三轮《国外机械工业基本情况》。这一轮是在前两轮的基础上，更全面、系统地介绍了国外机械工业的行业、企业、生产技术和科学研究等方面的综合情况，着重报道了国外机械工业七十年代末和八十年代初的水平以及本世纪末的发展趋向。

第三轮《国外机械工业基本情况》共一百余分册，参加组织编写的主编单位包括研究院所、工厂和高等院校共一百余个，编写人员计达一千余人。本书为《焊接》分册。主编单位是机械工业部哈尔滨焊接研究所，参加编写人员武云飞、董卫国、芦香芝、裴岱、凡里。责任编辑何祚芝。

机械工业部科学技术情报研究所

目 录

一、前言	(1)
二、基本情况	(2)
(一) 焊接结构	(2)
(二) 焊接材料	(2)
(三) 焊接设备	(3)
(四) 焊接自动化水平	(5)
三、焊接工艺	(6)
(一) 气体保护焊	(6)
(二) 埋弧焊	(11)
(三) 窄间隙焊	(15)
(四) 摩擦焊	(19)
(五) 等离子焊	(23)
(六) 电子束焊	(26)
(七) 激光焊	(32)
四、焊接自动化	(37)
(一) 电弧焊接传感器及传感系统	(37)
(二) 微处理器在焊接中的应用	(42)
(三) 焊接机器人	(46)
五、结束语	(51)
参考文献	(52)

一、前 言

焊接技术目前已成为金属加工的重要方法,广泛地应用于材料加工和结构制造中。近几年来,随着科学技术的发展,国外焊接技术有了很大的进展,可以说,近代先进工业的发展,是与焊接技术分不开的。例如,世界上最大的原子能反应堆,工作参数为330atm, 650℃;功率达120kW的电站锅炉几乎全部是用焊接方法制成的。此外,如480kt油轮, 10^5m^3 的储油罐,各种化工高压设备的制造都离不开焊接。工业的发展也大大促进了焊接技术的发展,气电焊得到广泛地应用,现已发展到对大型结构进行全自动焊的水平。埋弧焊采用多丝法把它的生产率提高10~20倍。窄间隙焊接已用于厚板结构,特别是窄间隙埋弧焊,在核电站压力壳的焊接上,收到良好的技术经济效果。电子束焊不仅成为一般民用工业许多批量生产的零部件的高效率、高质量的焊接方法,而且在厚壁结构及大型部件上也开始应用。大功率激光焊的发展,为用于民用工业提供了可能性。

随着空间技术、海洋开发、能源利用的发展及焊接结构的大型化,铸、锻—焊联合结构的应用,都为焊接生产提出了繁重的任务。为了满足工业生产发展的需要,进一步提高焊接机械化和自动化水平,已引起了人们的极大的重视,许多国家已大量地采用了焊接机器人、微处理机,这些都有利地推动了焊接机械化和自动化的发展。

二、基本 情况

(一) 焊 接 结 构

据统计，目前世界钢产量的45%，是应用于焊接结构的。1975年全世界焊接结构用钢量占钢产量的43.3%，1980年上升到45%。根据国外预测，1975~2000年世界钢产量与焊接结构用钢量如表1所示^[1]。由表可知，随着钢产量的不断增加，焊接结构产量也在逐年增长。

表1 1975~2000年全世界钢产量与焊接结构用钢量

年 份	世界钢产量(百万吨)	焊接结构用钢量 (百万吨)	年 份	世界钢产量(百万吨)	焊接结构用钢量 (百万吨)
1975 年	770	334	1990年	1250	545
1980 年	920	400	2000年	1500	650

苏联1977~1980年间，钢产量及焊接结构产量列于表2^[1]。

表2 苏联1977~1980年间钢产量及焊接结构产量

年度	钢产量(亿吨)	焊接结构产量(亿吨)	比例 (%)	年度	钢产量(亿吨)	焊接结构产量(亿吨)	比例 (%)
1977年	1.467	0.700	47.7	1979年	1.441	0.740	51.4
1978年	1.515	0.724	47.8	1980年	1.480	0.746	50.4

苏联1981年在工业和建筑部门焊接结构产量为73.1Mt^[2]，1982年为74.2Mt^[3]，1983年为75.7Mt^[4]。

(二) 焊 接 材 料

从国外焊接材料的发展趋势来看，随着手工电弧焊不断地减少，涂料焊条的产量也相应下降。1980年美国涂料焊条的产量约占全部焊接材料产量的50%，日本占58%，到1985年美

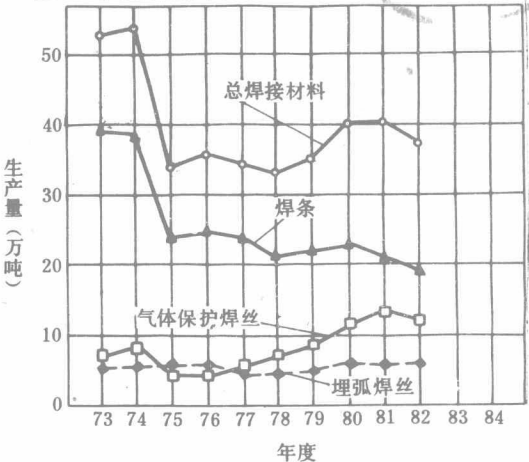


图1 日本焊接材料生产量

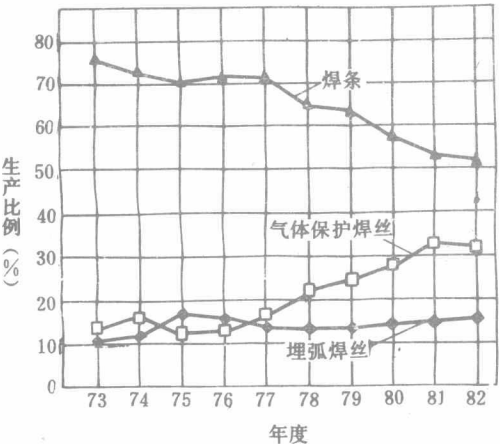


图2 日本焊接材料生产比例

国预计下降到40%。而随着自动和半自动焊的增长，特别是气体保护焊的增长，使焊丝的产量和焊接用气体在迅速增加^[5]，目前美国气体保护焊丝的使用率约占整个填充材料的40%，日本1982年已达到34%。日本焊接材料生产量及焊接材料的生产比例变化如图1及图2所示^[6]。美国各种焊接材料构成比例的变化见图3^[7]。

焊接材料生产量比值（即每吨钢所需焊接材料）各国相差较大，但以美国为最高。在1980年，日本为3.3kg/t，联邦德国为3.4kg/t，法国为3.7kg/t，美国为4.1kg/t^[5]。

日本1980年，焊接材料生产量为406298t（包括埋弧焊剂），1981年焊接材料生产量为400227t^[8]，1984年有所下降，为346667t^[9]。美国1982年，焊条、焊丝总产量为337.7kt，由于受到美国经济下降的影响，是十几年来生产最低的一年^[10]。苏联1980~1983年焊条和焊丝生产量示于表3^[2,3,4]。

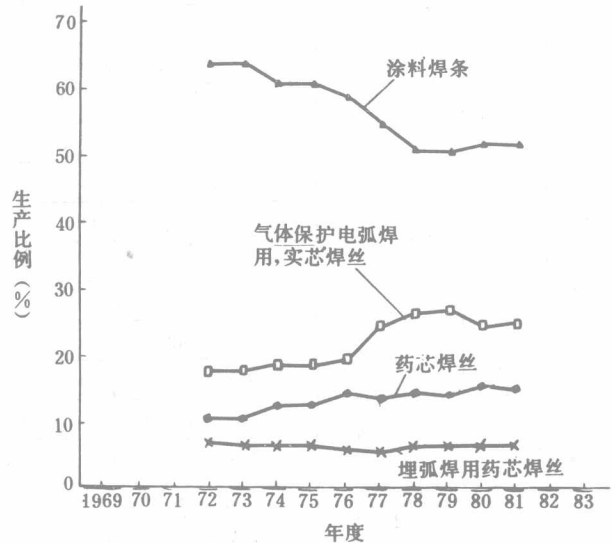


图3 美国各种焊接材料构成比例变化

表3 苏联1980~1983年焊丝、焊条生产量 (千吨)

	1980年	1981年	1982年	1983年
焊条	667.0	650.4	635.2	665.0
焊丝	420.7	403.9	404.9	429.0

(三) 焊 接 设 备

焊接设备目前世界上已有400多个品种，每年生产焊接设备超过100万台。据日本资料报道，1978年日本拥有电焊机151万台，而使用量为96万台（其中手工弧焊机70万台）^[11]。日本1983年焊机生产量为151602台，1984年生产147640台^[12]。苏联1980~1983年焊接设备生产量列于表4^[2,3,4]。美国、日本电焊机产量及构成比例如表5所示。美国、日本、苏联钢产量和焊机台数比例，如表6所示^[11]。

表4 苏联1980~1983年焊接设备生产量 (千台)

	1980年	1981年	1982年	1983年
产 量	302.7	309.1	314.9	314.2

英国焊接设备预测见表7^[11]。

表5 美国、日本焊机生产量及构成比

国别	年份	合 计 (台)	直流弧焊机		交 流 弧 焊 机	自动半自 动弧焊机	电 阻 焊 机	特 种 焊 机
			旋转直流	硅整流				
日本	1980	187706	40409		80595	50584	13299	2819
			28220	12189				
		100 %	21.5 %		43 %	27 %	7 %	1.5 %
			15 %	6.5 %				
	1981	177656	78719		76681	47535	11880	2841
			27116	11603				
		100 %	21.8 %		43 %	26.7 %	6.9 %	1.6 %
			15.3 %	6.5 %				
	1982	163862	43296		62040	44720	11219	2587
			28936	14360				
		100 %	26.4 %		37.9 %	27.3 %	6.8 %	1.6 %
			17.7 %	8.7 %				
	1983	151602	56958		44706	36652	10851	2435
			42310	14648				
		100 %	37.5 %		29.5 %	24.2 %	7.2 %	1.6 %
			27.8 %	9.7 %				
美国	1978	396226	157698		74887	63000	82811	17830
			70132	87566				
		100 %	39.8 %		18.9 %	15.9 %	20.9 %	4.5 %
			17.7 %	22.1 %				

表6 各国钢产量和焊机台数对比表

国 别	美 国 (81年)	日 本 (80年)	苏 联 (79年)
焊机台数/万吨钢	27.8	15.7	20.5
平 均	21		

表7 英国焊接设备的销售及预测

(百万英镑)

设 备 类 型	1980年		1985年		平均年增长率 (%)
	销售额	百分比	销售额	百分比	
手工弧焊	35.1	52	33.0	50	-1.2
自动电弧焊	7.5	11	9.5	14	+4.8
气 焊	9.0	13	6.0	9	-3.4
电子束焊	4.2	6	5.5	8	+5.5
电阻焊	6.8	10	4.7	7	-7.7
激光焊	1.1	2	2.8	5	+20.5
螺柱焊	2.0	3	2.3	3	+2.8
摩擦焊	1.8	2	2.0	3	+2.1
超声波焊	0.5	1	0.75	1	+8.4
总 计	68.0	100	66.55	100	-0.4

(四) 焊接自动化水平

目前, 国外焊接机械化、自动化、半自动化水平为45~50% (按填充金属量计算)^[1]。

日本1975年焊接机械化水平, 按焊工人数(即自动焊工与手工焊工)比例计算为15.2%, 按熔敷金属量比例计算为30%。日本1982年自动化水平为48%^[1]。

苏联1978~1983年焊接机械化水平列于表8^[1,4]。苏联按其第11个五年计划要求, 到1985年将提高到70%^[13]。

表8 苏联1978~1983年焊接机械化水平

	1978年	1979年	1980年 [*]	1981年	1982年	1983年
焊接机械化 (%)	53.8	53.1		53.9	56.0	56.6
其中工业部门机械化(%)	63.7	63.2	62.9	63.8	65.6	66.3
其中建筑部门机械化(%)	15.5	15.0		15.4	18.5	19.5

美国从1978年以来, 机械化水平一直保持在50%左右^[1]。

部分工业先进国家机械化水平的统计数字见表9^[1]。

表9 部分工业先进国家机械化水平

国 家	手 工 焊	半自动焊	自 动 焊
美 国	51%	32%	17%
瑞 典	50%	23%	27%
西欧 (平均)	50%	26%	24%
全世界 (平均)	55%	25%	19%

三、焊 接 工 艺

(一) 气 体 保 护 焊

1. CO₂ 气体保护焊

CO₂ 气体保护焊是五十年代发展起来的一种焊接方法。与手工电弧焊相比,可节能50~70%,提高劳动生产率1~2.5倍,而且焊后变形小,是一种比较理想的焊接方法。因此二十多年来得到了迅速的发展,在一些工业发达的国家中,已成为重要的焊接方法,苏联1978年生产的CO₂ 气体保护焊焊丝已超过140kt; CO₂ 半自动和自动焊设备的总数已达10万台^[14]。在苏联由于有效的解决了CO₂ 气体供应问题及研制成功一系列适应各种用途的焊丝,使CO₂ 气体保护焊得到了广泛地应用。目前苏联CO₂ 半自动焊有取代手工焊和其它半自动焊的趋势,在个别工厂正在试验用CO₂ 自动焊代替埋弧焊^[15]。日本1965年到1970年钢产量增加了1.3倍,而CO₂ 焊丝增加了14倍。1980年半自动焊用焊丝占焊接材料的比例从1969年的4.3%增加到30%,1981年CO₂ 焊丝产量达130kt^[16]。在日本应用CO₂ 气体保护焊接最多的行业是汽车制造业,但自从1980年以来,在造船业有了相当快的发展,如日立造船公司的广岛船厂在1980年CO₂ 焊接只占全厂焊接的5%,而1983年达到30%。日本CO₂ 焊接使用的实芯焊丝直径大多为 $\phi 1.2\text{mm}$ 和 $\phi 1.6\text{mm}$;药芯焊丝为 $\phi 1.6\text{mm}$ 和 $\phi 2.0\text{mm}$,成盘和成桶供应^[17]。

目前这种焊接方法已广泛地应用于汽车制造、机车制造、农业机械、压力容器、船舶制造等各个工业部门。

尽管CO₂ 气体保护焊已被认为是一种成熟的焊接工艺,并已得到广泛应用,但仍然存在一系列缺点,如飞溅大,焊缝成形不良,不能实现喷射过渡、焊缝的低温韧性及抗疲劳强度低,因此它的进一步应用受到了限制。针对这些问题,国外许多国家做了大量的试验研究工作,并取得了一些效果。

国外在焊接材料方面研究的比较多,苏联研制成带有多组份的易电离和表面活化焊丝。这种焊丝,可降低锰、硅烧损,并改善了电弧燃烧的稳定性,扩大了无短路和无断弧的焊接参数范围。在电流、电压给定时,焊接参数可以在很宽的范围内变化,使焊丝金属呈细熔滴过渡。AΠ-AH,和AΠ-AH₂牌号的活性焊丝,可使飞溅从10~12%降低到2~3%,并且熔透良好,焊缝光滑。在多层焊时,可使焊接线速度提高0.5~1倍,焊缝不出现过渡凸起,咬边和其它缺陷^[14]。

为实现粗丝机械化CO₂ 气体保护焊焊接,苏联还研制成直径为3~4mm的AΠ-AH₂活性焊丝和截面为1×7及1.2×10.5mm的扁状活性焊丝。这种焊丝的熔化系数比一般的CB-08Г2C焊丝高10%。在焊接速度很高时,也不产生飞溅。在对接焊和角焊接时,焊缝成形良好。由于焊缝熔池液态金属表面张力降低,明显地减少了熔深形状最佳时对接和角接焊缝的余高。同时在进行单丝机械化焊接,能保证焊缝成形良好的最大许用线速度在焊脚为3~7mm的角焊缝时,比用CB-08Г2C焊丝焊接要高出0.5~1倍。使用直径为3mm的活性焊丝能保证每小时120~130m的速度焊成焊脚为3~4mm的焊缝。采用扁状活性焊丝

还可以进一步提高 CO_2 和混合气体保护焊的熔敷率,电弧稳定燃烧,抗气孔性能良好,即使
在高电流和高焊速的情况下,也可得到无缺陷的焊缝^[18]。

日本研制成适用于 CO_2 气体保护焊的“MG-50S”焊丝。这种焊丝可进行大电流立向
下角焊。对直径为 $\phi 1.2\text{mm}$ 的焊丝,焊接电流可达 $260\sim 300\text{A}$ 。对立体焊接结构,即有水平
角焊,立向下角焊、立向下对接等各种焊接位置,若采用这种“MG-50S”焊丝,在不改
变焊接规范条件下,即可进行焊接,而且焊接效率极高^[19]。

为了适应 CO_2 半自动焊接的需要,几年来,日本神钢专门研究了 CO_2 气体保护焊用焊丝,
定型的焊丝新品种有MC-1 (厚板、大电流)和MG-2 (薄板、小电流、全位置焊接)。这
两种焊丝的机械性能和工艺性能均良好,为了减少 CO_2 焊接时的飞溅,在焊丝表面镀铜工艺
上作了改进并施以表面处理。由于镀铜比较均匀,焊丝送丝速度稳定,使焊接电流波动很小,
从而减少了飞溅。

近些年来,国外药芯焊丝 CO_2 气体保护焊得到了大量的应用,其原因是由于药芯焊丝含
有造渣剂和合金粉,可提高焊缝金属的机械性能并改善焊缝成形和减少飞溅。

日本日铁焊接工业公司研制成适用于 CO_2 气体保护焊的 $\diamond\text{SF-1}$ CO_2 细丝无缝药芯焊
丝。焊丝表面无缝,表面镀铜,已有几种牌号。从电弧观察来看,这种药芯焊丝,电弧沿
焊丝四周无不连续现象,在焊丝端部无偏转,特别适用于 CO_2 全位置自动焊,在长距离送丝
时,送丝稳定。此外,烟尘小,熔敷金属中扩散氢含量比实芯焊丝小,不易吸潮,熔敷效率
虽比实芯焊丝稍低,但熔敷速度高。在角焊时,只要焊接规范选择得当,可得到无缺陷的焊
缝。特别适于造船及钢结构件的焊接^[20]。

日本还研制了可用于全位置的大电流 CO_2 气体保护焊的管状焊丝“DW-140”。这种焊
丝对各种焊接位置都可进行大电流焊接。对 $\phi 1.2\text{mm}$ 的焊丝,电流为 250A 。这种管状焊丝
飞溅呈颗粒状,并很小,熔渣和脱渣性极好,焊缝成形美观,熔敷速度比实芯焊丝高 10% ,
是一种理想的 CO_2 电弧焊用焊丝,一般实芯焊丝只能采用小电流短弧进行立向上角焊,这种
管状焊丝最高可以用 250A 的大电流进行立向上角焊^[19]。

纯 CO_2 气体保护焊飞溅大,焊缝成形不好,而且由于焊缝含氧量高,使焊缝低温冲击韧
性及抗疲劳强度降低,一般认为 CO_2 焊接不能用于强度级别高于 $40\text{kg}\cdot\text{f}/\text{mm}^2$ 高强度、压力
容器及承受动载荷的结构。因此,国外许多工业发达国家使用 $\text{Ar}+\text{CO}_2$ 的混合气体保护。采
用混合气体后,可使飞溅降低 50% ,质量提高 22% ,效率及经济效果可提高 27% 。国外一般
采用 $80\%\text{Ar}+20\%\text{CO}_2$ 的混合气体。美国因 Ar 气售价便宜,只为 CO_2 气体的两倍,所以得到
广泛地应用。欧洲目前使用率已达 50% ,日本也在积极的发展^[21]。

为减少飞溅,改善焊接工艺性能,国外研制成了双层气体保护的 CO_2 焊。内层通 Ar 气,
外层通以 CO_2 气, Ar 气通过处在导电嘴外层环的气体喷嘴送到焊丝端头,喷嘴形状使 Ar
气保护形成层流,而不致被四周的 CO_2 气所驱散。焊丝端部的 Ar 气形成一种收缩力,在这
个力的作用下,使填充金属以细熔滴形式沿轴向过渡,不产生飞溅,可获得光滑的焊缝成
形,这种双层保护气体的最佳配比为: $80\sim 85\%\text{CO}_2$, $15\sim 20\%\text{Ar}$ 。采用这种焊接方法,
焊缝成形良好。通过高速度摄影观察,在电弧中心区,熔融的填充金属进入熔池非常平稳,
无飞溅,而且在各种温度下的冲击韧性都优于 CO_2 或混合气体保护焊^[22]。

2. TIG焊 (钨极惰性气体保护焊)

TIG焊最初主要用于焊接 Al 、 Mg 、 Ti 等易氧化金属或较薄的高合金钢部件,现在除

焊接铝及铝合金的薄板及中厚板以外,在不锈钢、合金钢也有广泛应用。

前些年,国外对脉冲TIG焊进行了大量的研究,并在生产上得到了大量的应用,TIG加脉冲可在同样的平均电流下获得较大的熔深,因此,可以焊接厚板,用作封底焊时可保证背面焊透。脉冲TIG焊在美国、英国、日本等国家都进行过大量的试验研究。在英国脉冲TIG焊已应用到核反应堆管板的焊接;联邦德国联合锅炉厂采用脉冲TIG焊成功地焊接了 $\phi 32 \times 5 \text{ mm}$ 的过热管的全位置接头^[23]。

近几年来,国外TIG焊向两个方向发展:一是提高熔敷速度,解决TIG焊在大型结构中的应用;另一个是大电流高焊速下,保证焊缝成形良好。

(1) 多电极热丝TIG焊^[24]

日本日立公司笠立工厂为了解决3.5%Ni钢优质高效的焊接,开发了三电极热丝TIG焊新工艺(见图4),其目标是使熔敷率达到手弧焊的3倍,即4 kg/h以上。通过对三电极的极距分布、电流分布及对熔深形状和火口形状的影响的研究认为,由于多电极的热效应,对金属组织起到细化作用,使焊缝的低温性能比手工焊大为改善。以3.5%Ni焊丝焊接3.5%Ni钢时,焊缝中不再出现枝晶组织,在以热丝进行三极TIG焊时,其效率相当于MIG焊。

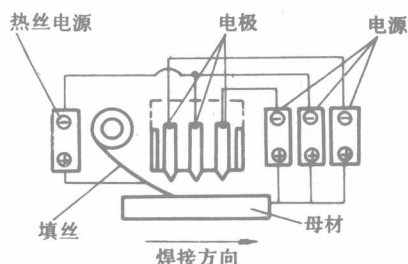


图4 三电极热丝TIG焊

(2) 通电填丝TIG焊^[25]

这种焊接方法是日本神户制钢公司研制成功的。该法钨极与工件采用直流正接,填充焊丝采用直流反接。填充焊丝通电后,在焊丝周围形成磁场,通过钨极的电流形成的磁场相互作用使电弧向焊接方向偏移,从而使得熔池的前方的母材得到加热。同时由于电磁力对熔池有搅拌作用,提高了焊接速度也可改善熔池金属与母材的熔合,不但使熔敷速度提高,而且焊缝成形良好,能用于全位置焊接。神钢认为,这一技术的焊接效率约相当于常规TIG焊的二倍,可以在不增加成本的情况下用于建造大型结构。

利用通电焊丝法对液化天然气罐(厚12mm)进行立向上单面焊,尽管以大于30 g/min高熔敷速度施焊,与一般TIG焊相比,热输入没有增加,接头强度及冲击韧性均良好。在大型水电站进水管处于45°倾斜位置焊接时,不但能实现高熔敷焊接,而且各个位置可用同一规范进行焊接,容易实现焊接自动化。

这种方法的另一优点,是不需要外加磁场装置,为施工操作带来方便。

(3) 大电流TIG焊^[26]

一般非熔化极惰性气体保护焊,使用的电流均小于350 A,因为大于350 A的电流会强烈增加电弧压力,导致焊缝中形成缺陷。日本研制了一种采用大电流施焊的TIG焊接方法。为了降低大电流焊接时的电弧压力,在钨极的端头上钻一个钨极同心孔,这时电弧均匀地沿孔边缘分布。由于降低了电流密度而大大地减少了电弧压力。如电弧直径为8 mm,孔的直径4~5 mm时,则可使用800 A电流。经研究,这种方法可保证得到平滑无缺陷的焊缝。采用这种方法焊接铜、复合钢和9%Ni钢效果良好。

(4) 双开关电弧TIG焊^[25]

这种焊接方法是日本日立公司日立研究所研制成功的。为了提高熔敷效率和焊接速度曾试验过多极TIG焊接方法,但当接在各自电源的几个电极相距较近时,电弧互相干扰,造成不稳定现象,使熔化效率降低。双极开关电弧TIG焊法,焊接电流顺序接通每个电极,避免了电弧间的干扰,它与普通双电极TIG焊法相比,焊速可提高1~2倍,熔深和熔宽分别提高40~60%和20~50%。

3. MIG 焊(金属极惰性气体保护焊)

MIG 焊是一种高质量、高效率的焊接方法。这种焊接方法在焊接铝及铝合金、铜及铜合金、不锈钢、合金钢等方面得到了广泛地应用。

MIG 焊接方法除了进行水平焊接以外,现已实现全位置的MIG 焊。日本三菱电机公司采用程序控制的MIG 焊,对直径为300~1100mm的低碳钢管及Cr-Mo钢管的对接焊和套管的角焊缝完成了全位置的焊接。这种焊接方法也用于焊接厚度60~80mm 铝合金板的液化石油气贮罐。脉冲MIG 焊接方法的出现,使电弧具有较大的电弧压力和挺度,大大地改善了焊接工艺性能,使MIG 焊对薄板、厚板、全位置焊接具有更大的适应性。

近几年来,MIG 焊接又有较大的发展。从发展方向来看,正在向高效率、高质量方向发展。

(1) 大电流密度细直径药芯焊丝MIG 焊^{[2 7][2 4]}

这种方法是日本钢管公司研制成功的,是一种低热输入、高效率的焊接方法。对于 $\phi 1.6\text{mm}$ 的焊丝,焊接电流可达到500A,利用焊丝外伸部分的电阻热可获得370g/min的高熔敷系数,是常规气电焊(140g/min)的两倍多。熔敷速度的提高与下列因素有关:①小直径药芯焊丝中熔剂的比例是通常的二倍,因此,焊丝的固有电阻值是通常的5倍,促使焊丝外伸部分的发热量增加;②焊剂中铁粉比例为通常的二倍;③由于采用大电流密度焊接,收缩力大,使熔滴易脱离。采用这种方法,热输入可控制在100kJ/cm以下,对高强钢冲击韧性没有影响。日本钢管公司用这种方法建造了六台大型油罐,全部采用单面焊接,焊接速度为203mm/min,一台250万加仑的油罐,用一台焊机,只需要14天就可装焊完毕。

(2) 加大焊丝伸出长度的细丝MIG 焊^{[2 4][2 8]}

这种焊接方法是由日本神户钢铁公司研制成的。焊丝直径为0.9mm,伸出长度比普通MIG 焊要大,因此,焊接熔敷率高,焊接速度快,熔化好。为使电流稳定,焊丝伸出长度 $<30\text{mm}$,采用这种方法焊接时,对于板厚 $<25\text{mm}$,要开 20°V 形坡口,板厚 $>25\text{mm}$ 要开 25°V 形坡口。平焊位置焊接时,保护气体为60%Ar+CO₂,仰焊时气体为80%Ar+CO₂。神户钢铁公司使用这种方法焊接了直径为900mm壁厚为22mm的SS41钢制水平固定管及倾斜45°角的管。

(3) 附加控制气流MIG 焊^[2 5]

为了在大电流高焊接速度情况下改善MIG 气体保护焊焊缝成形,美国发明了一种带附加控制气流的焊接方法。这种方法在大电流高速施焊时,焊缝成形良好,无咬边和突起等缺陷。

这种方法能有效地控制焊接熔池形状,改善焊缝成形。其原理是在一般的气体保护大喷嘴中装上一个控制气流的小喷嘴,其出气口对着工件上的熔化金属。小喷嘴位于电极(焊丝)与大喷嘴内壁之间,对于焊接方向来讲在电极(焊丝)的后面,小喷嘴向熔池表面喷出控制气体,其冲击压力比大喷嘴喷出的保护气体压力大得多。研究表明,附加控制气流对熔化金

属有冷却作用,使熔池的长度缩短,对熔池中的熔池最大宽度线以后的熔化金属有压力,使熔池最大宽度线的熔化金属表面升高,促使熔化金属填满了整个最大宽度线,从而避免了咬边缺陷。该气流把阳极或阴极斑点推向前方,使电弧沿着焊接方向线倾斜,使电弧吹力减小,电弧下空腔深度减少,使熔化金属后移的电弧分力也减小,熔池长度得以缩短;周期性地喷出附加控制气流,能提高熔化金属的润湿性,有利于防止焊缝咬边和突起缺陷的产生。

(4) 双保护喷嘴大电流MIG焊^[29]

在大直径焊丝大电流MIG焊接时,为了提高焊接电弧的稳定性,改善焊接性能,日本研制出一种双保护喷嘴大电流的MIG焊。这种双保护喷嘴焊枪,外径为74mm,所用焊丝直径为2.4~6.4mm,内喷嘴气体为50%He+Ar,外喷嘴气体为Ar。内喷嘴和外喷嘴均为水冷,内喷嘴和外喷嘴气体流量对焊接性影响较大,当内外喷嘴流量几乎相等时,层流长度最长,焊接结果良好。当两个流量增加太大时,焊道成形变坏,这是由紊流造成的。通过在最小流量下选择内喷嘴与外喷嘴的气体流量比,在它们的平均流速几乎是相等的情况下,能得到最好的焊接性能。使用这种焊枪,选择适宜的焊接材料和合适的焊接范围,即使在900~1000A的大电流情况下,也能得到稳定的电弧,并且能在厚达75mm的A5083铝合金上进行单面单道焊。

(5) 送丝速度与脉冲参数相配合的MIG焊^[30]

普通的MIG焊可以在很宽的电流范围内,满足焊丝速度与熔化速度相平衡的要求,但要获得优质的焊缝的电流范围是有限的,这是因为要实现金属的射流过渡,必须使焊接电流高于临界电流时才能出现,而电流较小时,则产生大熔滴过渡,将造成未焊透。对脉冲MIG焊接时,对于一个给定的送丝速度,脉冲幅度和持续时间必须同时调整好,使每个脉冲至少能分离出一个小熔滴,使焊丝熔化速度与送丝速度相平衡,以维持恒定的电弧长度。但这样的调整实际上是很困难的,而且即使送丝速度的微小变化(这在设备上经常发生的),都能导致已建立的焊接条件恶化,使电弧和金属过渡不稳定,发生返烧或粘住,可能出现焊缝缺陷,这是脉冲MIG焊在工业上不利广泛应用的主要原因。为了解决这些问题,英国研究了一种使送丝速度与脉冲参数相配合的MIG焊接方法,消除了常规的MIG焊及脉冲焊接方法的某些局限性。

这种焊接方法所选择的脉冲电流参数(脉冲频率、幅度和持续时间以及基值电流)与焊接速度是相互配合的,基值电流和脉冲频率或脉冲持续时间的变化,必须与送丝速度的变化成正比。这种关系可满足MIG焊工艺要求,送丝速度与熔化速度是平衡的,电弧长度恒定,并在整个有效的送丝速度范围内控制着金属的过渡。实际这种配合操作非常简单,用一台测速发电机测量送丝速度,输出信号送到专门设计和制造的电控装置。这个装置自动完成配合关系,并控制三极管电源,将给定送丝速度下所需的参数加到电弧上。这种配合关系适合于所有的送丝速度,对0.5到大于10m/min的送丝速度都适合。随着送丝速度的不断增加平均电流从25A(0.6m/min送丝速度)变到400A(约10m/min送丝速度)电弧始终非常稳定,并始终保持射流过渡。

这种焊接方法可焊接薄板材料,对非平焊位置焊接时,易于控制焊接熔池,送丝稳定,不会发生返烧或粘住现象,适合于各种金属材料的焊接。这种焊接方法已经在工业中得到应用。通过实践证明还可以在困难位置焊接难焊的材料。

(6) 开关电弧MIG焊接法^[31]

开关电弧MIG焊接法是英国焊接研究所研制成功的。它是一种多电极系统，焊缝的成形不是用传统的电磁或机械摆动来控制，而是利用焊接电流按次接通电极，通过改变电极之间的距离以及相对焊缝的位置来控制焊缝成形。这种方法具有以下的特点：

① 工作电流范围广，与普通射流的MIG焊（在 $\text{Ar}-2\%\text{O}_2$ ， $\phi 1.2\text{mm}$ 焊丝，约为 $280\sim 340\text{A}$ ）相比较，对 $\phi 1.2\text{mm}$ 焊丝可达到 $160\sim 400\text{A}$ ，如果用三丝，最大电流可达 600A 。这是由于在开关电弧方法中，每个电极只承受总电流的一部分，每根焊丝上的平均电弧压力比单丝焊时显著降低。

② 可控制焊缝成形，能在很大范围内改变焊缝成形，能量分布可用电极间距离或电极相对焊缝位置来调节。

③ 能适当的分布焊缝中的热量，如使边壁热量增加，对焊缝根部和薄板不易烧穿，对焊缝装配间隙允差和错位适应性强。

④ 熔滴分前后进入熔池，起搅拌作用，有助于消除气孔，提高机械性能。

⑤ 由于不需要摆动焊丝，可适应焊接空间位置，有利于实现焊接机械化。

（二）埋 弧 焊

埋弧焊是四十年代发展起来的一种焊接方法，由于焊接质量稳定，焊工劳动条件不断得到改善，尤其是生产效率大为提高，因此，使埋弧焊成为目前重要的焊接方法之一。在七十年代初，由于气体保护焊和药芯焊丝的应用，使埋弧焊曾一度下降，但八十年代又开始回升。据美国韦末勒氏对埋弧焊前景的估计：今后埋弧焊的主要市场是压力容器、压力管道和桥梁。特别是今后能源工业要大力发展，需要建造更多的压力容器和管道，因此，埋弧焊是大有前途的^[24]。

近些年来，埋弧焊又有了新的进展，主要是向实用化、高效率方向发展。

1. 多丝埋弧焊

多丝埋弧焊在苏联、日本、美国、英国均得到应用。其中尤以苏联和日本应用最多。多丝埋弧焊的最大优点是生产效率高，如双丝埋弧焊与普通单丝埋弧焊相比，在焊接中等厚度板时，焊速可达 $1.1\text{m}/\text{min}$ ，提高效率二倍以上，三丝埋弧焊的焊接速度约为单丝的五倍。从熔敷率来看，单丝焊时，焊接电流最大不超过 1200A ，熔敷率为 $12\sim 20\text{kg}/\text{h}$ ，增加一根焊丝以后，熔敷率可达 $25\sim 35\text{kg}/\text{h}$ ，三根焊丝时，可用 3000A 电流，熔敷率可达 $60\text{kg}/\text{h}$ ，四丝时，电流为 5000A ，熔敷率达 $80\sim 95\text{kg}/\text{h}$ 。在大电流及高速度焊接情况下，可避免产生咬边并能控制焊缝成形，在选择焊剂合适时，可获得良好的焊缝成形。

现就美国焊接学会研究的几种多丝埋弧焊介绍如下^[38]：

（1）双丝埋弧焊

① 并联焊丝焊

这种方法是一种最简单的双丝埋弧焊接法，焊丝共用一个电源，两根焊丝并联。它与普通的单丝埋弧焊没有多大差别。采用这种方法时，焊丝通常是沿焊接方向纵向布置或横向布置，热量集中在接头边缘，而不集中在接头中心。这种方法最能适应装配不良或留有间隙的焊接接头。当焊丝沿着焊缝方向一前一后“串列”布置时，形成一个拉长的熔池和向前倾斜的尾随电弧。由于尾随电弧控制焊缝的成形，便可采用较高的焊速而不产生咬边。

⑥ 直流-直流双丝焊

这种方法(见图5)每根焊丝的送丝装置、控制装置和电源都是分别设置的。焊接过程控制通常是程序化的,在前导焊丝点燃之后,尾随焊丝的起弧有一短时的滞后。电源为直流平特性、等速送丝。焊丝直径采用1.2~2.4mm。当焊丝间距为12~20mm时,可得到最大的焊速,采用小直径焊丝时,可使电流密度超过 $60\text{A}/\text{mm}^2$ 。每根焊丝的电流一般不超过500~550A。前后两焊丝都采用直流反接,前导焊丝电弧短而硬,穿透力强,可获得大的熔深,而尾随焊丝电弧较长,并且电流密度较低以控制焊缝成形。采用这种方法焊接时,当焊接板厚为3mm时,单道对接焊的焊速可达 $60\text{mm}/\text{s}$ 。但这种方法的缺点是易产生磁偏吹。

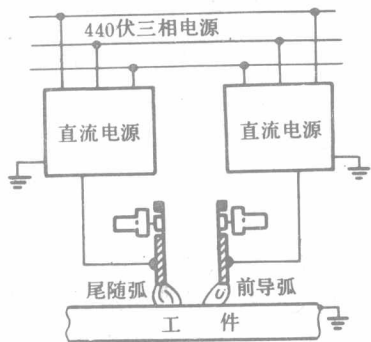


图5 直流-直流双丝焊接法示意图

⑦ 直流-交流双丝焊

为减少电弧偏吹和有可能采用大电流焊接,可采用直流-交流双丝焊接法(见图6)。这种方法前导焊丝采用直流平特性电源,尾随焊丝采用交流电源。当采用普通的串列焊丝时,前导电弧和尾随电弧产生相互作用,交流电流引起了相互的吸力和斥力,因此,电流方向每改变一次,电弧就沿焊缝摆动一次。弧长较短、而电流较大的前导电弧由于电弧刚度比较大,因此,摆动比较小。如果前导焊丝电流足够大时,则会产生电弧偏吹。在电流限制在1000A或1200A时,可使电弧偏吹控制在最小范围内。直流-交流法所用焊丝直径为2.4~4.8mm。为获得最大和均匀的熔深,前导焊丝与工件垂直,尾随焊丝与焊接方向有一定倾斜角度。在焊丝距离接近12~16mm时,可得到最高的焊接速度。这种方法多用于对接接头和角接头。在一般结构上,它比单丝焊的焊接速度提高了100%,焊缝成形和质量与单丝焊的相同。

⑧ 交流-交流双丝焊

采用这种全交流双丝法可以完全消除电弧偏吹。电源接法有多种,一种方法是使尾随焊丝的电流与前导焊丝电流相位差为 90° ,或者是使尾随焊丝电流比前导焊丝的电流滞后 90° ,这时电弧很稳定。获得这种关系的接线法为斯科特接线法,如图7所示。

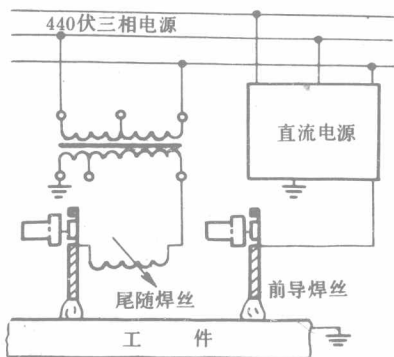


图6 直流-交流双丝焊法简图

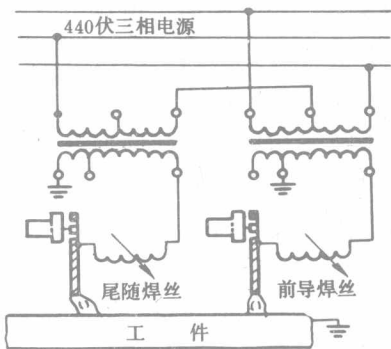


图7 交流-交流双丝焊斯科特电路图

电源的次级是独立地连接到每根焊丝和工件上,两根焊丝亦在同一个熔池里焊接,每个焊丝间电弧关系仅仅是电磁相互作用。采用的焊丝直径为2.4~6mm,前导焊丝的电流可

以高达1500A，以获得大的熔深，尾随焊丝电流比前导焊丝电流低15~20%。两焊丝相距12~25mm，尾随焊丝沿焊接方向倾角为10~20°。这种方法可用于焊接管道的内焊缝以及大厚度钢板的多层焊缝。在生产中，焊接速度均能超过32m/s，而且在整个焊缝长度上，焊缝熔深均匀。

(2) 交流-交流-交流三丝埋弧焊

三丝焊接法焊接速度是单丝焊的五倍。为使高速焊过程稳定采用图8所示接线法为最好。这种接线法为：前导焊丝和中间焊丝按斯科特接线法连接在两个输出相位上，而尾随焊丝则接在前导焊丝的相位上。当前导焊丝电流为1100~1400A时，这个焊丝的电弧对于对接焊缝的熔深可以形成80%，中间焊丝的焊接电流为800~1000A，它布置在距前导焊丝20mm的位置，并在前导焊丝熔深的基础上，形成其余20%的熔深。尾随焊丝焊接电流为500~700A，距中间焊丝18mm，主要用以控制焊缝成形。这种方法适用于输气和输油管的制造。

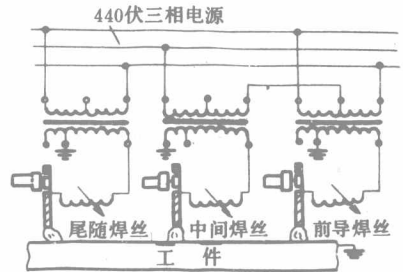


图8 交流-交流-交流三丝焊接法简图

(3) 四丝埋弧焊^[33]

四丝埋弧焊可焊板厚，在同样焊接速度下比三丝焊增加15mm。四丝埋弧焊，在电源接法上有两种较好的方法。

① 直流-交流-交流-交流法

四根焊丝，第一根焊丝为直流，其余三根焊丝均采用交流，相位差依次滞后120°。其特点是焊接电弧稳定，但只能使用碱性焊剂，并对磁偏吹敏感。

② 交流-交流-交流-交流法

四根焊丝全部接交流电源，相位依次排列彼此相差90°。

四丝埋弧焊可用于200mm厚板的焊接。在采用四丝埋弧焊接时，当丝距不太大，四丝共形成一个渣腔，在焊接过程中保持稳定，不会发生渣腔的爆炸和坍塌。

目前，在国外多丝埋弧焊均以双丝埋弧焊应用最多。日本川崎制铁所采用双丝埋弧焊焊接了板厚为25~65mm的板材，采用双面焊法其速度可达700mm/min。美国Valtek公司采用双丝埋弧焊焊接直径2.5~122cm的各种阀门，解决了以前用药芯焊丝气体保护焊或药皮焊条焊接时，存在飞溅、烟尘、弧光及操作条件恶劣等问题。澳大利亚采用双丝埋弧焊焊接了直径860mm，壁厚为8.5mm，长为12m圆筒的内缝及第二道外焊缝，用来制造管子。美国燃烧公司对双丝埋弧应用的较多，对200mm以上厚板的汽包、反应堆压力壳、热交换器等大厚度的筒体、封头和管板，无论纵缝和环缝、拼焊均采用双丝埋弧焊。由于采用双丝埋弧焊，使焊接速度由原来的19m/h提高到30m/h。

苏联在焊接管子时，采用了三丝埋弧焊，焊速可达到200m/h。在英国Swan Hunt造船厂，所有大面积钢板拼接，均采用三丝埋弧焊，电源为直流-交流-交流，为双面焊。

2. 加金属粉末的埋弧焊

这种方法是预先在被焊接焊缝的坡口中填充一定的金属粉末（或铁粉），这些金属粉末在焊接过程中被熔化，成为焊缝金属的一部分，从而达到提高焊接生产效率的目的。对20mm厚的钢板可一次焊透，填加金属粉末除能提高焊接效率以外，还能起到调节焊接规