

化工类用

机械基础

JIXIE JICHU

下 册

上海化工学院

目 录

第七章 焊 接	7-1
§ 7-1 手工电弧焊、埋弧自动焊和氩弧焊	7-1
§ 7-2 焊接材料	7-4
§ 7-3 焊接接头和坡口型式	7-8
§ 7-4 钢材的可焊性、焊前预热及焊后热处理	7-12
§ 7-5 金属的切割	7-14
§ 7-6 焊接质量的检验	7-17
附录一 常用对接接头坡口型式及尺寸表	7-18
附录二 接管与筒体焊接接头型式	7-20
第八章 化工设备的制造及装配	8-1
§ 8-1 零件制造概述	8-1
§ 8-1 轴、盘类零件的车削加工	8-3
§ 8-3 孔、平面、槽的加工	8-8
§ 8-4 筒体、封头的制造	8-12
§ 8-5 弯管及法兰毛坯制造简介	8-20
§ 8-6 化工设备的整体组装	8-22
第九章 化工容器设计基础	9-1
§ 9-1 容器设计概述	9-1
§ 9-2 容器强度计算	9-2
§ 9-3 圆筒形容器壁厚设计	9-9
§ 9-4 容器压力试验的强度校核	9-15
§ 9-5 球形容器的壁厚设计	9-18
§ 9-6 容器强度特殊问题——边缘应力概念	9-19
§ 9-7 封头壁厚设计	9-22
§ 9-8 容器开孔削弱和补强的概念	9-33
§ 9-9 外压容器的设计	9-36
§ 9-10 塔设备强度设计	9-53
§ 9-11 管道和容器温度应力的计算	9-70
附录一 高温下钢材许用应力的确定方法	9-77
附录二 主要符号表	9-79
第十章 通用化工零部件	10-1
§ 10-1 零部件的标准化	10-1
§ 10-2 法兰联接	10-4
§ 10-3 设备的支座	10-15
§ 10-4 工艺接管口	10-23
§ 10-5 人孔、手孔、视镜	10-26

第七章 焊 接

化工、炼油设备通常由许多零部件组成，如列管式换热器即由筒体、封头、法兰、管板、管子等几十种零部件组成。由若干零件组成一个部件以至整体设备，需采用各种方法加工并进行装配。焊接是化工、炼油设备制造中很重要的加工方法，如封头与筒体、封头与法兰、管板与筒体、接管与法兰、接管与筒体等之间的联接都采用了焊接的方法，因此焊接技术水平直接影响着化工、炼油设备制造工业的技术水平。全国解放以来在毛主席革命路线指引下，焊接技术随着机械制造（包括造船、化工、炼油设备）、建筑工程的发展取得了很大发展，从单一的手工电弧焊发展到普遍采用埋弧自动焊、半自动焊、各种保护气体焊，目前一些先进的焊接技术已得到了较为广泛的应用，焊接工艺的劳动生产率和自动化水平已有了显著的提高。

金属的焊接方法很多，在化工、炼油设备制造中，广泛采用的是电弧焊。所谓电弧焊，就是利用电弧放电所产生的热量来熔化焊条和焊件，使分离的金属材料局部加热熔化，再凝固结合，从而获得牢固接头的焊接过程。

§ 7—1 手工电弧焊、埋弧自动焊和氩弧焊

一、手工电弧焊

图 7—1 为手工电弧焊示意图。焊接前，将焊件 4 和焊钳 2 分别与电焊机的两极连接，并用焊钳夹持焊条 1。焊接时使焊条与焊件瞬时接触，形成短路，随即把它们分开一定距离（约 2~4 毫米），就引燃了电弧。电弧温度高达 6000℃ 左右。于是，焊条与焊件接头处均在电弧热的作用下熔化而形成熔池 3。随着焊条不断向前移动并均匀地向下送进，熔化的金属陆续冷却，凝固成焊缝，从而使焊件的两部分连接成整体。

1. 焊接电弧

焊接电弧是在焊条与焊件间的气体介质中强烈放电现象，也就是在这局部气体介质中有大量电子流通过的导电现象。为了使气体导电，必须使气体本身电离。因此，电弧的引燃过程就是使电极发射电子并使气体介质电离的过程。

引弧时，先将焊条与焊件瞬时接触（将焊条向焊件一触或一擦），造成电路短路。由于焊条的端头和焊件表面不平，它们的接触实际上只是一些点的接触。在这些接触点上电流密度相当大，将产生大量电阻热。在电阻热的作用下，局部的金属被加热熔化，甚至使一部分

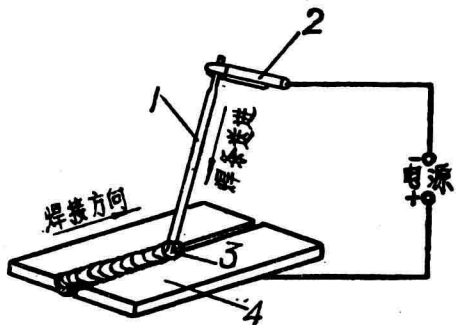


图 7—1 手工电弧焊示意图

1—焊条；2—焊钳；3—熔池；4—焊件。

金属变成气体。随着焊条与焊件的迅速分开，在电焊机电压的作用下，炽热的金属就能发射出大量的电子。电子碰撞气体介质，使气体介质电离。这样，正离子奔向阴极，负离子和电子奔向阳极，就形成了电弧。

2. 手工电弧焊设备

手工电弧焊的主要设备是电焊机。电焊机是产生焊接电弧的电源，有交流和直流两种。

为了保证焊接正常进行并得到质量优良的焊缝，对焊接电源有一定的要求。这些要求主要有以下几个方面：

(1) 空载电压应高些。

所谓空载电压就是引弧前焊件与焊条两端的电压。空载电压高些，就便于引弧。目前我国生产的电焊机中，一般直流电焊机的空载电压为 55~90 伏；交流电焊机的空载电压为 60~80 伏。过高的空载电压，虽然有利于引弧，但对焊工操作时的安全不利。所以手工电弧焊机空载电压限制在 90 伏以下。

(2) 能承受瞬时短路。

由于在焊接过程中，经常产生短路现象，为了保障电焊机不因短路电流过大而烧坏，要求电焊机的短路电流不超过焊接电流的 150%。例如采用 200 安培焊接电流时，短路电流不应大于 300 安培。

(3) 电焊机工作电压能随着电弧长度的变化而迅速相应地改变。

所谓工作电压就是焊接时焊件与焊条两端的电压。因为焊接电弧的电阻随电弧长度的变化而改变，电弧长度增加时，电阻增大；电弧长度减小时，电阻也减小。这就要求电焊机电压能随电弧长度的增加或减小而升高或降低。一般电焊机的工作电压为 25~40 伏。

(4) 能迅速而方便地调节电流的大小。

如焊接厚钢板时要求提供大电流，以提高生产率，又可避免焊不透；而焊接薄钢板时，电流需要降低些，以免烧穿钢板。平焊时电流要大些，立焊、仰焊时电流要小些。（平焊、立焊、仰焊见 §7-2。）所以操作时要根据焊件厚薄和焊接条件，选用合适的焊接电流。

以上要求是普通照明电源（220 伏）或一般工业电源（380 伏）所不能满足的，因而它们不能直接用作电弧焊的电源。电焊机就是根据以上要求而设计制造的。

目前国内生产的电焊机品种很多，按电焊机的结构不同可分为：交流电焊机、旋转式直流电焊机和硅整流式直流电焊机三种。

交流电焊机实质上是一种特殊的变压器，它将工业用电的电压降低。由于交流电源的电压和电流方向是不断改变的，在这个改变过程中电弧总要经历一个瞬时熄弧、重新引弧和再次稳定燃烧的过程，因此交流电弧的稳定性较差些。

旋转式直流电焊机是由一台交流电动机带动一台直流发电机组成的，它供给直流电。由于直流电源的电压和电流方向不变，能使电弧持续而稳定地燃烧，因此焊缝质量更容易得到保证。

交流电焊机具有构造简单、维护方便、节省电能等优点，与旋转式直流电焊机相比较，在经济上有很大的优越性，但电弧稳定性较差；旋转式直流电焊机电弧稳定性好，但又有成本高、噪音大、重量大、维护不方便等缺点。近年来硅整流式电焊机得到了迅速发展，它弥补了上述两种电焊机的缺点，因而目前有代替旋转式直流电焊机的趋势。

直流电焊机有两种不同的接法。当焊件接正极、焊条接负极时,称正接法;反之,焊件接负极,焊条接正极时,称反接法。在选用极性接法时,主要是根据焊条的性质和焊件所需的热量决定。(焊条见§7—2。)一般用碱性低氢型焊条(如结507、结557等)焊接时,为了使电弧稳定燃烧,规定要用直流反接法。而用酸性焊条(如结422等)使用直流电焊接厚钢板时,采用正接法,因为阳极部分的温度高于阴极部分,用正接法可以得到较大的熔深;焊接薄钢板及有色金属时,则采用反接法。

交流电焊接时,由于极性是交替变化的,所以不需要选择极性接法。

二、埋弧自动焊

焊接过程的机械化与自动化是近代焊接技术的一项重要发展。

在手工电弧焊过程中,主要的焊接动作是引燃电弧,向下送进焊条以维持一定的弧长和沿焊缝移动电弧。如果前两个动作由机器完成,而沿焊缝移动电弧这一动作仍需手工完成,就叫半自动焊。如果这几个动作都由机器来自动完成,就叫自动焊。目前应用较广的是埋弧自动焊。

埋弧自动焊所用设备是埋弧自动焊机,其焊接过程工作原理如图7—2所示。焊接电源的两极,分别接在导电嘴5和焊件1上。电流由导电嘴传到焊丝4端头,通过焊丝和焊件之间的空隙组成一个焊接回路。焊接开始时,先使焊丝与焊件接触短路,焊机启动时,靠焊丝的向上回抽使电弧引燃。焊丝送进机构将焊丝送入电弧燃烧区,此时焊丝的下送速度与焊丝熔化速度相等。同时,焊剂6从焊剂漏斗2流出,落在电弧区前面,堆积成焊剂带,焊接电弧就埋在焊剂层下的焊丝与焊件之间燃烧。在完成焊接后,就形成了焊缝8和坚硬的渣壳7,未熔化的焊剂则回收使用。

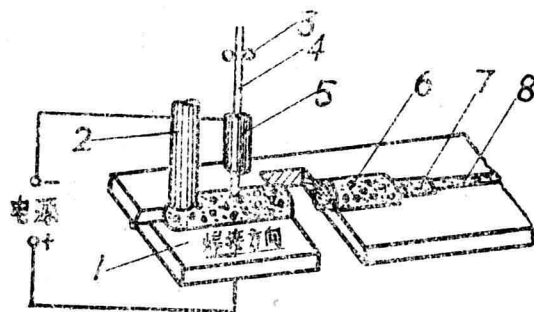


图 7—2 埋弧自动焊示意图

1—焊件; 2—焊剂漏斗; 3—焊丝送进滚轮; 4—焊丝;
5—导电嘴; 6—焊剂; 7—渣壳; 8—焊缝。

埋弧自动焊与手工电弧焊相比,主要有如下优点:

1. 生产率高。

由于电弧是在焊剂层下的密封空间中燃烧,焊丝没有飞溅损失,所以自动焊用的电流可以大大提高。这样,埋弧自动焊的熔透深度就比手工焊大得多,一般一次熔深可达8~10毫米,约为手工焊的2~3倍,大大提高了生产率。

2. 焊缝质量好。

由于自动焊焊剂充足,保护严密,焊接电流稳定,热量集中,焊件变形小等原因,焊缝质量较容易得到保证。

此外,自动焊大大改善了劳动条件。

但埋弧自动焊的设备较复杂,一般又较适用于平焊位置,因此大都用于平焊厚的、长的直焊缝或直径较大的环焊缝。

三、氩弧焊

利用氩气作为保护介质而进行电弧焊接的方法叫做氩弧焊（图 7—3）。它是利用从喷嘴流出的氩气在电弧及焊接熔池的周围形成连续封闭的气流，保护钨极（或焊丝）和焊接熔池不被氧化，避免了空气对熔化金属的有害作用。同时，由于氩气是惰性气体，它与熔化金属不起化学反应，也不溶解于金属，因此，氩弧焊的焊接质量较高。

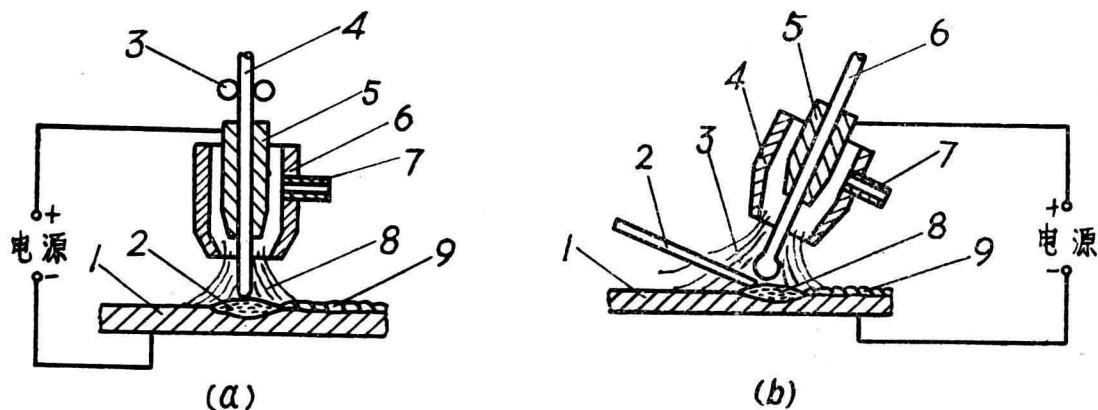


图 7—3 氩弧焊示意图

(a) 熔化电极氩弧焊

(b) 钨极氩弧焊

1—焊件，2—熔池，3—送丝滚轮，4—焊丝，5—导电嘴，6—喷嘴，7—进气管，8—氩气流，9—焊缝。

1—焊件，2—焊丝，3—氩气流，4—喷嘴，5—导电嘴，6—钨极，7—进气管，8—熔池，9—焊缝。

氩弧焊按照电极的不同分为熔化电极（金属极）和不熔化电极（钨极）两种：

1. 熔化电极氩弧焊（图 7—3 a）

它是采用连续送进的焊丝（金属丝）作为电极，在氩气层流的保护下，依靠焊丝与焊件之间产生的电弧熔化基本金属及焊丝而进行焊接的一种焊接方法。

2. 不熔化电极氩弧焊（图 7—3 b）

它是采用高熔点的钨棒作为电极，在氩气层流的保护下，依靠钨极与焊件之间产生的电弧熔化基本金属及填充焊丝而进行焊接的一种焊接方法，简称钨极氩弧焊。

氩弧焊用于焊接铝及铝合金、不锈钢及高合金钢等金属。

§ 7—2 焊接材料

在手工电弧焊与自动焊等焊接中，都需要使用焊接材料，而焊接材料对焊接接头的质量有着非常重要的影响。随着焊接方法的不同，焊接材料也有所不同。下面介绍手工电弧焊和埋弧自动焊所用焊接材料。

一、手工电弧焊用焊接材料

手工电弧焊使用的焊接材料称为焊条，它由钢芯和包在钢芯外的药皮所组成。

钢芯熔化即成填充金属，它可用各种不同的钢材来制造。为了保证焊缝的质量，对钢芯

的化学成分有严格的规定。目前碳钢手工电弧焊常用的焊条钢芯牌号是 H 08 和 H 08 A。H 表示焊接用钢芯, 08 表示钢芯含碳量为 0.08% 左右 (标准为不大于 0.10%)。钢芯中含碳量较低, 是为了防止产生气孔和避免焊接接头塑性的降低。字母 A 则表示其硫与磷的含量较少, 如 H 08 含硫、磷量不大于 0.04%, 而 H 08 A 含硫、磷量不大于 0.03%。

在 H 08 后的合金元素符号和数字, 表示该焊条钢芯的主要合金元素和含量范围。如牌号为 H 08 Mn 的钢芯, 表示主要合金元素锰的标准含量在 0.80~1.10% 范围内。

钢芯直径的常用规格有 2、2.5、3.2、4、5、6 毫米等几种。焊条直径的选择主要根据焊件厚度和焊缝位置等因素。厚度较大的焊件, 应选用较大直径的焊条; 焊接平焊缝时焊条直径也可大些。

焊条的药皮在焊接过程中起着很重要的作用。它的作用有:

1. 气体和熔渣的保护作用。

由于焊接时金属熔池温度很高, 周围空气要对金属侵袭。氧气与金属生成氧化物, 使焊缝金属中的碳、锰、硅等元素烧损, 强度降低; 氢气、氮气侵入, 使焊缝金属韧性、塑性下降。这些气体还促使焊缝中产生气孔。因此在药皮中加入造气物质, 这些物质在高温下分解出 CO、CO₂ 等气体包围在弧柱外面, 使熔化金属与大气隔离。同时, 加入造渣物质使生成熔渣复盖在焊缝上面, 以保护高温下的金属不与大气接触。同时熔渣还能使焊缝金属缓慢冷却, 促进了气体的逸出, 也改善了焊缝结晶及成形的条件。

2. 脱氧和合金化作用。

利用气体、熔渣等保护方法, 基本上可以排除焊接区周围空气中的氮、氧侵入焊缝金属的可能。但由于保护气氛中尚含有二氧化碳、水蒸气等氧化性很强的物质, 熔渣中也含有一些氧化性很强的物质 (如 FeO), 这些物质都能使焊缝金属产生极为有害的氧化现象。因此, 在焊条药皮中加入脱氧剂以使氧化铁还原, 常用的脱氧剂有锰铁、硅铁、钛铁等。

另外, 为了补偿合金元素在焊接过程中的烧损, 在某些焊条药皮中加入锰铁、硅铁、铬铁、钒铁等, 使合金元素掺入焊缝金属中。

3. 稳定电弧作用。

焊条药皮中加入容易电离的物质使引弧容易, 电弧稳定。对交流电弧焊接, 稳弧尤其重要。

按药皮的化学性质有酸性焊条与碱性焊条之分。所谓酸碱性, 是根据药皮中分解出来的酸性氧化物 (如 SiO₂、TiO₂ 等) 与碱性氧化物 (如 CaO、MgO 等) 的多少来划分的。如焊接熔渣中含酸性氧化物多的焊条叫做酸性焊条; 焊接熔渣中含碱性氧化物多的焊条叫做碱性焊条。

酸性焊条焊接工艺性能好, 成形整洁, 去渣容易, 不易产生气孔和夹渣等缺陷。但由于药皮的氧化性较强, 致使合金元素的烧损也大, 焊缝金属的机械性能 (特别是冲击韧性) 比较低。

碱性焊条的药皮中大理石 (CaCO₃) 和萤石 (CaF₂) 含量较多, 焊接时大理石分解成 CO₂ 作为保护气体。与酸性焊条相比较, 保护气体中氢很少, 因此又称为低氢型焊条。用碱性焊条焊接的焊缝机械性能良好, 特别是冲击韧性比较高, 因此主要用于重要结构的焊接。必须注意, 由于氟化物的粉尘有害于焊工身体健康, 焊接时应加强现场的通风排气, 以改善劳动条件。

我国生产的焊条品种很多，其中结构钢焊条编号按我国统一标准以结×××（符合国家标准 T×××）表示，如结 422、结 427 等。“结”表示结构钢焊条；紧接着的两位数字表示焊缝金属抗拉强度，如“42”表示焊缝金属 $\sigma_b = 42 \text{ kg/mm}^2$ ；末位数字表示焊条药皮类型及适用的焊接电源。如“2”表示钛钙型（酸性），交直流两用。“7”表示碱性低氢型，用直流电源（由于碱性焊条含有较多量的 CaF_2 ，而氟是阻碍气体电离的元素，所以要用直流电源）。“6”也是碱性低氢型，但在药皮中增加了少量稳弧剂（如 K_2CO_3 、 Na_2CO_3 ），因而可用交流电源。焊条编号末位数字的意义可参见表 7—1。

国家标准焊条编号末位数字的意义

表 7—1

数字	药皮类型	特 点	电源
1	钛 型 (酸性)	焊接工艺性好，适用于各种位置焊接，特别适用于薄板焊接； 焊缝金属塑性和抗裂性能较差。	交 流 或 直 流
2	钛 钙 型 (酸性)	焊接工艺性好，适用于各种位置焊接。	
3	钛铁矿型 (酸性)	焊接工艺性好，适用于各种位置焊接。	
4	氧化铁型 (酸性)	焊接工艺性较差，焊缝金属抗裂性能较好，适宜中厚板平焊， 立焊及仰焊操作性能较差。	
5	锰 型 (酸性)	焊接工艺性较差，焊缝金属抗裂性能良好，适用于含碳量较高的 中厚板焊接，立焊及仰焊操作性能较差。	
6	低 氢 型 (碱性)	焊接工艺性一般，焊缝金属具有特别良好的抗热裂性能和机械 性能，适宜于焊接重要结构。	直 流
7			

焊接时，由于焊缝在空间的位置不同，而分为平焊、横焊、立焊、仰焊，如图 7—4 所示，平焊容易保证焊接质量。

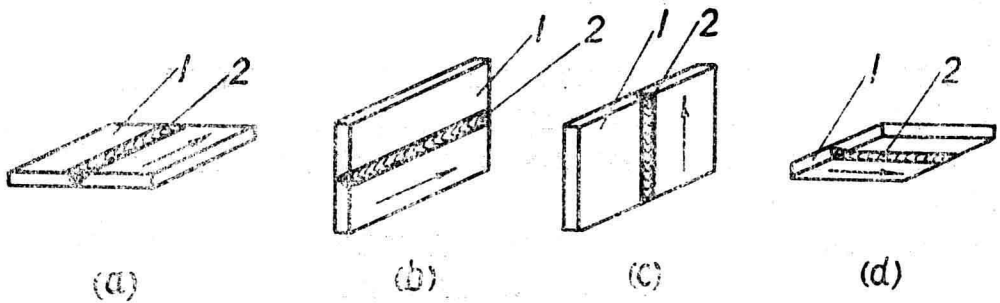


图 7—4 各种空间位置的焊接

(a) 平焊， (b) 横焊， (c) 立焊， (d) 仰焊。
1—焊件， 2—焊缝， —→焊接方向。

表 7—1 中“适用于各种位置焊接”是指这一种焊条能顺利地胜任上述四种位置焊缝的焊接，也可简称为“全位置焊条”。焊条的焊接位置是焊条的一个极重要的工艺性能，它主要

与焊接熔渣的物理性能（粘度、熔点等）有关。通常焊接熔渣的粘度总是随着焊缝金属温度的降低而增加，最后凝固成渣壳，复盖在焊缝上。由于焊条药皮的组成不尽相同，焊接熔渣凝固的速度也有很大差别，有的焊渣凝固速度很快，有的则很慢。通常称能够迅速凝固的焊接熔渣为“短渣”；而凝固缓慢、凝固时间拖得较长的渣为“长渣”。由于短渣能在很短时间内凝固成渣壳，仰焊时这渣壳托住尚处于液态或半液态的铁水，有效地防止了铁水的流散，从而可保证仰焊过程的顺利进行。而长渣凝固缓慢，当立焊、仰焊时渣壳老是处在粘粘糊糊的较软状态，包复不住铁水，铁水会因自重的作用而流散掉。所以长渣的焊条不宜用作仰焊、立焊等焊接位置，只适合于平焊。因此选用焊条时要注意焊条的这一特性。

由于电焊条对焊接质量有很大的影响，因此生产中必须正确地选用焊条。选用焊条时考虑的因素较多，其最基本的要求是要能够形成机械性能与基体金属一致的焊缝。至于化学成分方面，如焊件是一定合金成分的钢种，那么选用的焊条焊缝金属的成分也应符合或接近该钢种的要求。

低碳钢和普通低合金钢一般按其强度等级选用相应的焊条。例如 A3F 或 A3 钢，其抗拉强度为 40 kg/mm^2 左右，可选用结 42× 焊条，其焊缝金属的抗拉强度为 42 kg/mm^2 。对于一般焊接结构可选用结 422；当焊件需承受动载荷或冲击载荷时，除了要求保证抗拉强度外，还对冲击韧性、延伸率有较高要求，此时可选低氢型焊条，即结 426 或结 427。又如 16 锰钢，其抗拉强度为 50 kg/mm^2 左右，通常选用低氢型焊条结 506、结 507。至于 15 锰钒、15 锰钛钢，其抗拉强度为 52 kg/mm^2 左右，对于厚度不大坡口不深的焊件，可选用结 506 或结 507 焊条；对于厚度较大的结构，可选用结 557 焊条。近年来新研制成功的结 502、结 503 和结 552、结 553 等酸性焊条，用于以上几类普低钢的焊接，也取得了良好的效果。

奥氏体不锈钢焊条统一牌号用“奥×××”表示。“奥”表示奥氏体不锈钢焊条；牌号第一位数字，表示焊缝金属主要化学成分组成等级；第二位数字表示同一焊缝金属主要化学成分组成等级中的不同牌号、品种；第三位数字表示药皮类型和焊接电源（见表 7—1 所示）。例如奥 132，“1”表示焊缝金属主要化学成分组成等级为含铬量约 18%，含镍量约 8%；“3”表示牌号、品种编号为 3；“2”表示钛钙型药皮，交直流两用。

奥氏体不锈钢焊条的药皮通常有钛钙型和低氢型（直流）两种。钛钙型药皮的不锈钢焊条一般适宜于平焊薄板，低氢型药皮的不锈钢焊条则适宜于全位置中板以上的焊接。焊条钢芯要控制合适的合金元素含量，硫、磷和碳一般含量均较低。从以上分析可知，在选择奥氏体不锈钢电焊条时，应根据焊接位置及板厚确定药皮类型，再根据焊件的化学成分选用相适应的焊条。如 1 铬 18 镍 9 钛，其主要化学成分为： $C \leq 0.12\%$ ， $Cr = 17 \sim 19\%$ ， $Ni = 8 \sim 11\%$ ， $Ti \approx 0.8\%$ ，焊条可选用奥 132（符合国标 TA 1 Nb—2）、奥 137（符合国标 TA 1 Nb—7）。

“奥 132”药皮为钛钙型，“奥 137”药皮为低氢型，这两种焊条焊缝金属主要化学成分是： $C \leq 0.08\%$ ， $Cr = 18 \sim 21\%$ ， $Ni = 8 \sim 11\%$ ， $Nb \approx 1.0\%$ 。又如 1 铬 18 镍 12 钼 2 钛，其主要化学成分为 $C \leq 0.12\%$ ， $Cr = 16 \sim 19\%$ ， $Ni = 11 \sim 14\%$ ， $Mo = 2.0 \sim 3.0\%$ ， $Ti = 0.3 \sim 0.6\%$ 。焊条可选奥 207（符合国标 TA 1 Mo 2—7）、奥 212。这两种焊条焊缝金属主要化学成分是： $C \leq 0.08\%$ ， $Cr = 17 \sim 20\%$ ， $Ni = 10 \sim 13\%$ ， $Mo = 2 \sim 3\%$ ，“奥 212”还含 Nb 约 1.0%。可以看出，以上两种不锈钢所选焊条其焊缝金属主要化学成分铬、镍含量与基本金属基本一致；而碳含量稍低和含有少量铌是防止产生晶间腐蚀现象，以提高钢材耐腐蚀性能。

另外,在化工、炼油设备制造中,常有异种钢的焊接问题,必须选用适宜的焊条。一般碳钢和低合金钢的异种钢焊接,选择焊条的原则是:应使焊接接头的强度不低于被焊钢材中最低的强度;焊接接头的塑性和冲击韧性也不应低于被焊钢材中最低者。如 A 3 钢和 16 锰钢焊接,可选用结 422、结 427 焊条。对于碳钢或低合金钢与奥氏体不锈钢焊接,一般可选用奥 302 (符合国标 TA 2—2)、奥 307 (符合国标 TA 2—7)。这两种焊条焊缝金属中铬、镍含量较高 ($Cr = 22 \sim 26\%$, $Ni = 11 \sim 14\%$),能保证不锈钢的耐腐蚀性能。对于不重要的这类异种钢结构,也可选用与不锈钢相应的焊条。

对于耐热钢、低温钢等钢种焊接,应选用相应的专用焊条。

各种牌号焊条的化学成分、机械性能和主要用途等在焊条说明书上均有规定,设计时可查阅各种手册。

二、埋弧焊用焊接材料

埋弧焊用的焊接材料是指焊丝和焊剂。

1. 焊丝

埋弧焊用焊丝的作用相当于手工电弧焊焊条的钢芯。对低碳钢焊件进行自动与半自动焊接时,使用的焊丝牌号有 H 08、H 08 A、H 10 Mn 2、H 15 Mn 等,其中 H 08 A 焊丝应用最为普遍。当焊件厚度较大或对机械性能要求较高时,可考虑使用后几种含锰焊丝。为了焊接不同厚度的钢板,同一牌号的焊丝加工成各种不同的直径,常见规格有 1.6、2、3、4、5、6 毫米等几种。

2. 焊剂

埋弧焊用焊剂的作用相当于手工电弧焊焊条的药皮。我国目前对焊剂的分类主要是根据化学成分和制造方法。牌号前面加“焊剂”二字。“焊剂”二字的后面有三位数字,第一位数字表示焊剂中氧化锰的平均含量,4 为高锰,3 为中锰,2 为低锰,1 为无锰。第二位数字表示焊剂中二氧化硅、氟化钙的平均含量,如 1 为低硅低氟、2 为中硅低氟、3 为高硅低氟、4 为低硅中氟等等。第三位数字表示同一类型焊剂的不同序号。

焊剂的选用要与焊丝相配合。在焊接低碳钢时,多选用高锰高硅型焊剂,如焊剂 430、焊剂 431、焊剂 433 等配合焊丝 H 08 A 或 H 08 Mn A 等使用;或选用低锰或无锰型焊剂配合焊丝 H 08 Mn A 或 H 10 Mn 2 等使用,都能获得满意的机械性能。一般以前者应用较多。

目前我国生产的埋弧焊焊剂在品种和数量方面基本上能满足社会主义建设的需要,但生产中广泛使用的焊接低碳钢和低合金钢结构的高锰高硅型焊剂与我国矿产资源情况不相适应。随着普低钢的大量采用和焊接自动化进一步提高,必须大量发展和推广适应我国矿产资源的无锰与低锰型焊剂。

§ 7—3 焊接接头和坡口型式

根据国家标准规定,焊接接头型式可分为:对接接头、角接接头、T 字接头和搭接接头四种,如图 7—5 所示。

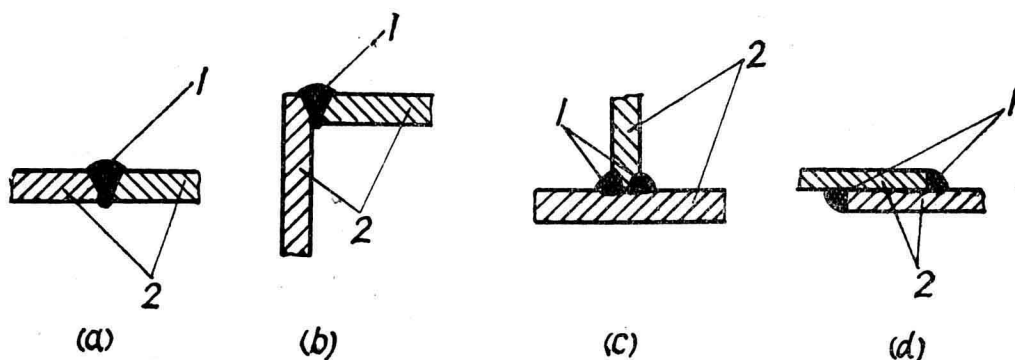


图 7-5 各种焊接接头型式
(a) 对接接头; (b) 角接头; (c) T字接头; (d) 搭接接头。
1—焊缝; 2—焊件。

一、对接接头

对接接头是化工、炼油设备制造中用得最多的接头型式。如筒体、封头本身的拼接以及筒体与封头的联接多采用对接接头。对接接头容易焊透，受力情况好，应力分布均匀，联接强度高，因而焊接接头质量容易保证。

为了保证焊接质量，必须在焊接接头处开适当的坡口。坡口的主要作用是保证焊透；此外，所开坡口还形成足够容积的金属液熔池，以便焊渣浮起，不致造成夹渣。但要注意，坡口尺寸要使填充金属尽量少，以减少焊接工作量和减少变形。图 7-6 是焊接变形的几个例子。

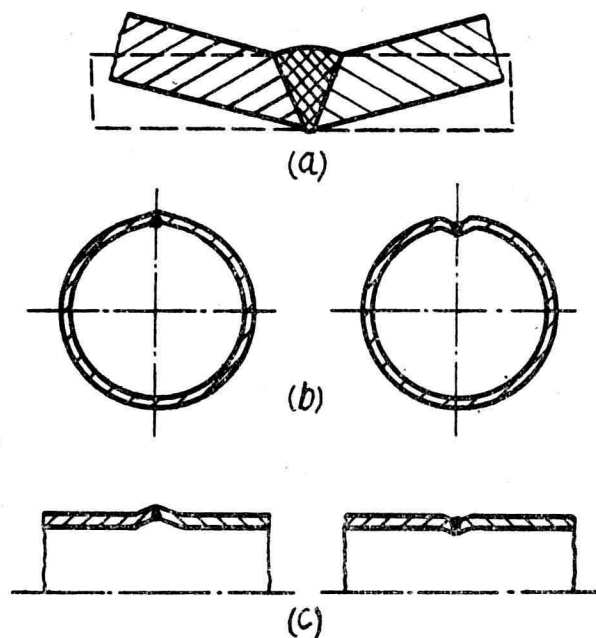


图 7-6 焊接变形示意图
(a) V型坡口; (b) 筒体纵焊缝; (c) 筒体环焊缝。

子。产生焊接变形的主要原因是焊件不均匀地局部加热和冷却。因为焊接时，焊件仅在局部

区域被加热到高温，离焊缝愈近，温度愈高，膨胀也愈大。但是，加热区域的金属因受到周围温度较低的金属阻止，却不能自由地膨胀；而冷却时又由于周围金属的牵制不能自由地收缩。结果这部分加热的金属存在拉应力，而其它部分的金属则存在与之平衡的压应力。当这些应力超过金属的屈服极限时，将产生焊接变形；当超过金属的强度极限时，则会出现裂缝。减少和防止焊接变形与应力的方法很多，而坡口型式和尺寸的选择也是一个重要的方面。

图 7-7 所示为对接接头的几种坡口型式。由于坡口的主要作用是保证焊透，而手工电弧焊的熔深一般不超过 4 毫米，所以 ≤ 3 毫米的钢板可以单面焊不开坡口，6 毫米钢板双面焊时也可以不开坡口。钢板厚度为 6~40 毫米时，采用 V 型坡口。V 型坡口便于加工成型，生产中用得很多。缺点是当板厚大时，填充金属量也多，劳动生产率低，变形也大。因此，对于 20 毫米以上的钢板，可采用 U 型坡口。U 型坡口同 V 型坡口一样，大部分焊接工作在一侧进行，加热不均匀，所以对变形控制较严的结构，可采用 X 坡口，或双 U 型坡口，因为它们是对称焊的，可以减少变形量。单 U 型和双 U 型坡口填充金属量少，焊件产生的变形也小，但这种坡口加工困难，一般用于较重要的焊接结构。

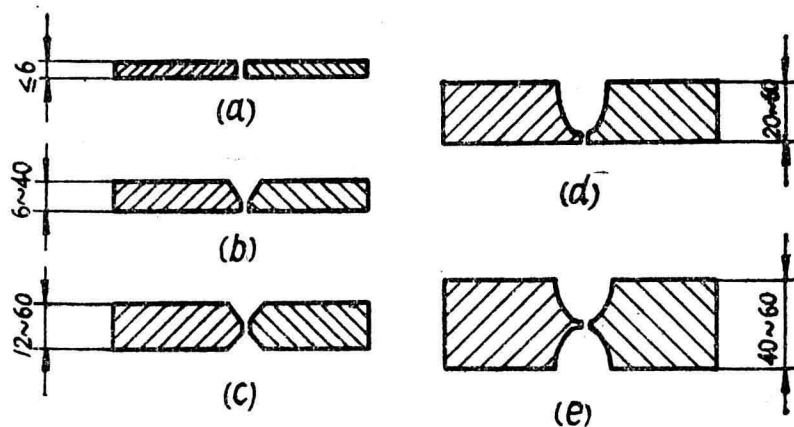


图 7-7 对接接头坡口型式

(a) 不开坡口；(b) V 型坡口；(c) X 型坡口；(d) 单 U 型坡口；(e) 双 U 型坡口。

由于埋弧自动焊的熔深可达 10 毫米，一般焊件厚度超过 12 毫米才开设坡口。坡口的型式与手工电弧焊基本相同，其中以 V 型、X 型较为常用。通常当焊件厚度为 12~20 毫米时，多开 V 型坡口；厚度为 20~50 毫米时，可开 X 型坡口或单 U、双 U 型坡口。

化工受压容器常要求主要焊缝采用保证焊透的双面焊，当遇到无法双面施焊的情况时（如容器的公称直径 $Dg < 400 \sim 600 \text{ mm}$ ），往往采用带垫板的单面焊（图 7-8）。焊后应设法将垫板敲掉，但由于实际上取下垫板有困难，所以往往让它留在里边。

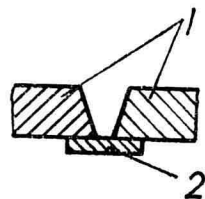


图 7-8 带垫板的 V 型对接焊缝
1—焊件； 2—垫板。

二、角接头

角接头在管道、容器法兰联接中经常见到。当设备承受常压或压力较低时，可采用不开坡口单面焊或双面焊（图 7-9）；压力容器

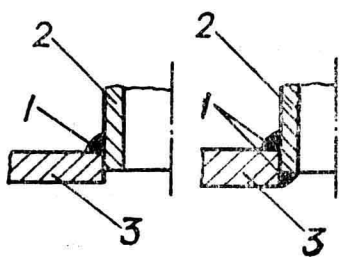


图 7-9 不开坡口单面焊及双面焊角接头
1—焊缝，2—接管，3—筒体。

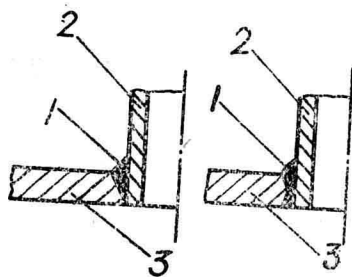


图 7-10 V型及K型坡口角接头
1—焊缝，2—接管，3—筒体。

三、T 字接头

T 字接头常用于塔设备裙座与基础环的焊接，或悬挂式支座与筒体（或垫板）的焊接等。T 字接头也有单面焊或双面焊，不开坡口或开有 V 型、K 型坡口等型式。

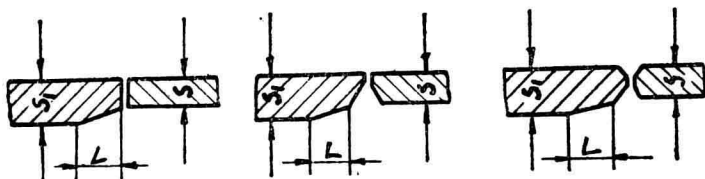
四、搭接接头

搭接接头在化工、炼油设备制造中应用很少，通常只用于补强圈或垫板与筒体的联接等。

在考虑焊接接头时采用等厚度焊接是一条很重要的原则。这样可以防止焊接时薄的一边金属过热，而厚的一边金属难于熔化的现象，避免焊不透或烧穿；还可减少由于接头处厚度不等、刚度不一而产生焊接变形与裂纹的可能性。因此，JB 741—73《钢制焊接容器技术条件》中规定：对接焊接不等厚钢板，当薄板厚度 $\leq 10\text{mm}$ ，两板厚度差超过 3mm 时；以及薄板厚度 $> 10\text{mm}$ ，两板厚度差大于薄板厚度 30% ，或超过 5mm 时，需按图 7-11 的要求削薄厚板边缘。

在列管式换热器中，管子与管板的焊接有时也应用等厚度原则，如图 7-12 所示。这种结构可以更好地保证焊接接头的质量。但由于管板上每个管孔处都要加工出环形凹槽，很不方便。因此，这种焊接结构多用在设备承受压力较高或操作温度较高的情况下。

由于焊接接头坡口型式和尺寸的标准较多，各制造厂还有其具体条件和经验，因此设计时可参考各种标准，或由制造厂自行决定。



$$L \geq 3(S_1 - S)$$

图 7-11

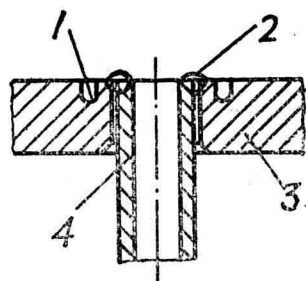


图 7-12 管子与管板焊接结构型式之一
1—管板上环形凹槽，2—焊缝，3—管板，4—管子。

§ 7—4 钢材的可焊性, 焊前预热及焊后热处理

一、焊接热影响区的组织与性能

所谓焊接热影响区, 是指焊缝附近的金属受到焊接电弧加热影响而发生组织和性能变化的区域。

在焊接过程中, 焊缝区及焊缝附近区的金属都是由常温状态开始, 被加热到较高的温度, 甚至熔化, 然后再冷却到常温。由于金属所在位置离焊缝的距离不同, 其最高受热温度是不同的。焊缝区金属熔化, 电弧移开后熔池逐渐冷却, 发生金属的结晶过程。焊缝区附近的金属则受到一次加热温度不同的热处理, 因此发生不同的组织变化, 从而引起性能的变化。

图 7—13 为低碳钢焊接接头组织示意图, 其焊接热影响区可以分为六个区段:

1. 不完全熔化区

它是从熔化金属到基本金属的过渡部分。在此区内晶粒是过热的、粗大的组织, 因而此区虽然很狭窄, 但对焊接接头的塑性及冲击韧性带来极为不利的影响。

2. 过热区

它是基本金属被加热至 $1100 \sim 1490^{\circ}\text{C}$ 的区段。由于高温加热而晶粒粗大, 使焊接接头塑性、冲击韧性大大降低, 通常能使冲击值 (α_K) 下降约 25~30% 左右。

3. 正火区

它是基本金属被加热至 $900 \sim 1100^{\circ}\text{C}$ 的区段。当焊接接头在空气中冷却时, 可形成晶粒细小的正火组织, 机械性能较好。

4. 不完全正火区

它是基本金属被加热至 $723 \sim 900^{\circ}\text{C}$ 的区段。此区内晶粒大小不一, 强度、冲击韧性有些降低。

5. 再结晶区

它是基本金属被加热至 $450 \sim 723^{\circ}\text{C}$ 的区段。此区硬度稍有降低。

6. 兰脆区

当加热至 $200 \sim 450^{\circ}\text{C}$ 时, 金属变脆称为兰脆区。

以上六个区段是理论上的分析, 实际上在焊接低碳钢时, 仅能看到三个区段: 过热区、正火区、不完全正火区。

由上可见, 焊接热影响区内各点对焊接接头的机械性能有着不同的影响。通常, 由于焊

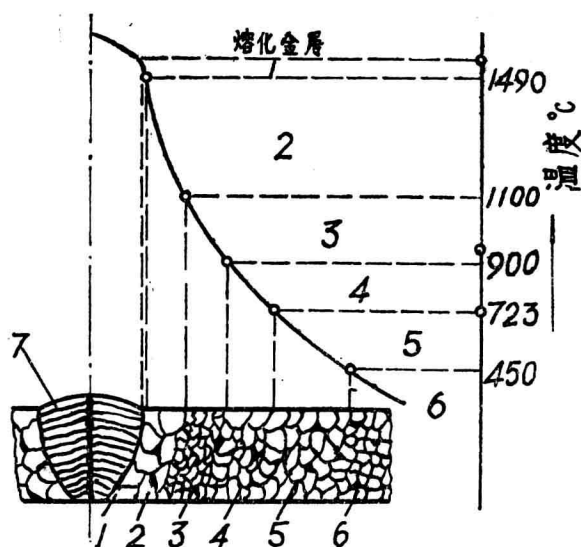


图 7—13 低碳钢焊接接头组织示意图

1—不完全熔化区; 2—过热区; 3—正火区; 4—不完全正火区; 5—再结晶区; 6—兰脆区; 7—焊缝金属。

条材料较好，焊缝的机械性能并不比基本金属差，而焊缝两侧的热影响区中尤其是不完全熔化区和过热区中，因晶粒严重长大，脆性增加，以致这些部位往往是最易断裂的地方。因此在焊接中，一般总是希望减少热影响区的范围。

热影响区的大小和组织性能变化的程度和焊接方法、焊接速度、接头型式及焊后冷却速度等因素有关。例如焊接方法不同，则加热温度和焊接速度不同，热影响区的大小就不同。表 7—2 为低碳钢焊件用不同的焊接方法焊接时，热影响区大小的变化情况。

低 碳 钢 焊 件 热 影 响 区 尺 寸

表 7—2

焊 接 方 法	热影响区总宽度 (mm)	过热区宽度 (mm)
手 工 电 弧 焊	6.0	2.2
埋 弧 自 动 焊	3.0	0.8~1.2

由上表可知，埋弧自动焊焊接速度快，热影响区窄，过热区的影响小。因而一般说来，在质量允许的情况下，增加焊接速度就能减小热影响区；多层焊也比一次焊完的单层焊好。

二、钢材的可焊性、焊前预热及焊后热处理

钢材的可焊性是钢材的一项极重要的工艺性能。在生产中，可以把可焊性理解为钢材在某一种焊接方法下，是否能得到具有良好机械性能的优质焊接接头的的能力。一般常把钢材在焊接时形成裂纹的倾向及焊接接头区产生脆性的倾向作为评价钢材可焊性的主要指标。在目前的技术条件下，绝对不能焊接的钢材是没有的，因此可焊性只是一个相对比较的概念。

钢材可焊性的好坏，主要取决于它的化学成分。对于碳钢来说，含碳量的多少，一般可以作为它可焊性好坏的依据。在化工、炼油设备中广泛应用的低碳钢（A 3、10、20 等），由于塑性好，可焊性总是良好的，焊接时只需用普通的钛钙型焊条（如结 422）直接进行焊接，即可获得优良的焊接接头。但是，当钢材含碳量超过 0.25% 时，在焊缝附近处的热影响区就出现了发硬、发脆的淬硬倾向。含碳量越高，硬脆现象越严重，甚至会产生裂纹。因此，对于要焊接的结构，应尽可能选用低碳钢来制造。

钢中所含合金元素与碳一样对钢的可焊性有着不良的影响。因此普通低合金钢的焊接性能比低碳钢差些，主要表现为热影响区的淬硬倾向及发生在焊缝及热影响区的裂纹。随着普低钢强度级别的提高，以及板材厚度的增加，所引起的焊接问题也就趋向严重。为此就需要采取附加的工艺措施，以保证获得合格的焊接接头。

焊前预热和焊后热处理就是附加工艺措施的一个重要方面。预热是指焊件焊接时，先使焊缝附近的钢板加热至 $\geq 100 \sim 150^{\circ}\text{C}$ ，使焊接接头在焊接前后保持一个比室温为高的温度。焊后热处理通常是指焊接以后，将焊件整体或仅仅使焊缝附近的金属局部加热至 $600 \sim 650^{\circ}\text{C}$ ，并保温一段时间。

预热和焊后热处理的主要目的在于消除焊件的焊接内应力和热影响区的硬化组织，以避免焊接接头上出现裂纹。JB 741—73 中规定，符合下列情况之一者，需作焊后热处理。

1. 对接焊缝处的厚度 S 符合以下情况：

低碳钢 $S > 34 \text{ mm}$ （如焊前预热 100°C 以上时， $S > 38 \text{ mm}$ ）；

- 16 Mn R $S > 30 \text{ mm}$ (如焊前预热 100°C 以上时, $S > 34 \text{ mm}$);
 15 Mn V R $S > 28 \text{ mm}$ (如焊前预热 100°C 以上时, $S > 32 \text{ mm}$);
 12 Cr Mo $S > 16 \text{ mm}$;
 15 Cr Mo、17 Mn Mo Nb R 任何厚度。
 2. 冷成型的筒体厚度 S 符合以下情况:
 低碳钢及 16 Mn R $S \geq 0.03 Dg$;
 低合金钢 (16 Mn R 除外) $S \geq 0.025 Dg$ 。

§ 7—5 金属的切割

为了适应生产不断发展的需要, 金属的切割方法日益增多, 本节仅介绍氧气切割、等离子切割及碳弧气刨等几种切割方法。

一、氧气切割

氧气切割简称气割。图 7—14 为氧气切割示意图。

氧气切割过程可归纳为三个阶段:

1. 预热

气割开始时, 用预热火焰将切割处的金属预热到燃烧温度 (燃点)。

2. 燃烧

向被加热到燃点的金属喷射切割氧气, 使金属剧烈地燃烧, 生成氧化物并产生大量热量。

3. 吹渣

氧化物熔化后, 迅速被氧气流吹走, 形成切口。

气割用的可燃气主要是乙炔 (C_2H_2), 乙炔和氧气混合燃烧成为预热火焰。气割时, 金属的燃烧是一个放热反应过程。在金属燃烧产生熔渣的同时放出大量的热量, 它和氧——乙炔焰共同对下层金属起预热作用, 使切割过程继续进行, 直到割件被分离为止。

氧气切割主要设备有乙炔发生器、氧气瓶以及割炬等。除手工气割外, 生产中还广泛使用自动和半自动气割法。氧气切割具有设备简单、切口平整以及可以切割几何形状较复杂和大厚度的钢材等优点, 因此在生产中获得了广泛的应用。

由于气割过程实质上是金属在纯氧中的燃烧过程, 并不是任何金属都能满足这个过程的要求, 而只有符合下列条件的金属才能进行氧气切割。

1. 金属的燃点应低于其熔点。否则切割处金属在燃烧前已有部分熔化, 切口将凹凸不平。
2. 燃烧生成的金属氧化物熔点, 应低于金属本身的熔点, 以便熔化后吹掉。
3. 金属燃烧时应放出足够的热量, 以利于切割过程不断地进行。
4. 金属导热性能要低, 以利于预热。

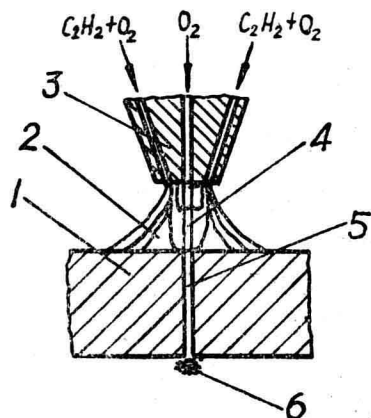


图 7—14 氧气切割示意图

1—割件; 2—预热焰; 3—割嘴; 4—切割氧射流; 5—切口; 6—熔渣。

在各种金属中,只有低碳钢及部分低合金钢符合上述条件。含碳量在 0.40% 以下的碳钢,以及含碳量在 0.25% 以下的低合金钢都能很好地用氧气切割。以低碳钢为例:其燃点约为 1350℃,熔点约为 1500℃,生成的氧化物熔点约为 1370℃,由金属燃烧所产生的热量约占 70% 左右(而由预热火焰所供给的热量仅为 30%),因而具有良好的气割条件。

当含碳量为 0.4~0.7% 时,切割表面硬度增加,切口容易发生裂纹,这时就应将被切割钢板预热到 250~300℃ 再进行氧气切割。当含碳量超过 0.7% 时,必须将工件预热至 400~700℃ 才能进行气割。当含碳量大于 1~1.2% 时,就不能进行正常气割。

铸铁在氧气中的燃点比熔点高很多;而且由于含碳量高,碳燃烧后产生 CO 及 CO₂ 降低了切割氧纯度,使气割发生困难。不锈钢含铬、镍较多,会产生高熔点的氧化铬和氧化镍(熔点约 2000℃),使气割发生困难。铜、铝及其合金具有较高的导热性,氧化物的熔点都高于铜、铝的熔点,都使气割发生困难。所以目前铸铁、不锈钢、铜、铝及其合金以采用等离子切割为宜。

在化工、炼油设备制造中,氧气切割应用极为广泛。它除了用于切割落料外,还用于坡口加工。

二、等离子弧切割

由于氧气切割有局限性,近年来我国对等离子体进行了广泛的研究和应用。所谓等离子体,就是完全电离了的气体。它是一种特殊的物理状态,现代物理学上把它列于固体、液体、气体之后的物质第四态。由于等离子体全部由离子和电子所组成,所以等离子体具有极好的导电能力,可以承受很大的电流密度,也具有极高的温度,这对熔化一些难熔金属和非金属是非常有利的。等离子弧切割就是利用高温(16000~30000℃)、高速等离子弧柱将被切割金属局部熔化并吹除熔化金属,形成狭窄的割缝而进行切割的。它用来切割气割所不能切割的金属和非金属,如铸铁、不锈钢、铝、铜、钼以及陶瓷、水泥和耐火材料等。

等离子弧的产生:一般电弧焊所产生的电弧,没有受到外界的限制,称为自由电弧。此电弧区内的气体尚未完全电离,能量也不是高度集中,电弧的温度被限制在 6000~8000℃ 左右。如果利用一种装置使自由电弧的弧柱强迫集中,受到“压缩”,就会产生温度达几万度的等离子弧。图 7-15 为等离子弧切割示意图。它由直流电源供电,电极 4 和工件 1(或喷嘴 2)之间发生电弧放电,产生电弧,此电弧在通过喷嘴狭窄的孔道时,受到机械压缩(称机械压缩效应),使电弧截面积缩小;当往装置内通入一定压力和流量的气体 3(如氮气、氩气)后,高速流动的气体使电弧柱外围受到强烈冷却,并在水冷管壁 5 的冷却下,弧柱外围的电离度大大减弱,电弧电流只能从弧柱中心通过,使电弧进一步被压缩(称热收缩效应);当喷嘴中电流密度达到足够高时,由于弧柱自身磁场力的作用,再一次压缩电弧,使弧柱导电面积再缩小(称磁收缩效应)。

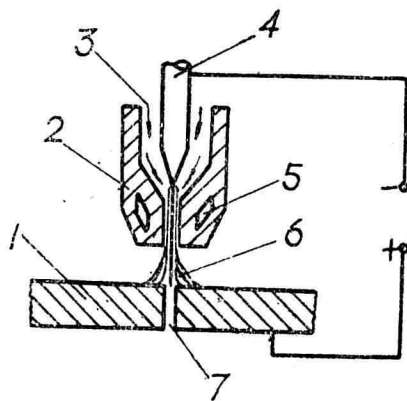


图 7-15 等离子弧切割示意图

1—工件; 2—喷嘴; 3—冷却气体; 4—电极; 5—水冷管; 6—等离子弧; 7—切口。