

材料成形基础

山东大学材料学院 孙俊生



焊接技术的应用

- 焊接在机械制造中是一种十分重要的加工工艺。据工业发达国家统计，每年用于制造焊接结构的钢材占钢总产量的70%左右。
- 焊接不仅能解决各种钢材的连接，而且还能解决有色金属和钛、锆等特种金属材料的连接。焊接既能连接异种金属，又能连接厚薄相差悬殊的金属。因而已广泛地应用于机械、汽车、船舶、石油化工、电力、建筑、原子能、海洋工程、宇航工程、电子技术等工业部门。
- 随着现代工业生产的需要和科学技术的蓬勃发展，焊接技术进步很快，到现在焊接方法已发展到数十种之多。

- 目前许多新的焊接工艺正逐步用于焊接生产，极大地提高了焊接生产率和焊接质量。
- 在重型机械、冶金矿山机械、工程机械、电站锅炉压力容器、石油化工、机车车辆、汽车等行业中普遍采用了数控切割技术、埋弧自动焊、电渣焊、CO₂气体保护焊、TIG焊、MIG焊、电阻焊和钎焊等焊接方法并具有成套的焊接工艺装备。
- 汽车生产线中采用了CO₂气体保护焊、TIG焊、MIG焊等焊接机器人、电阻焊机器人和自动生产线，大大提高了焊接质量和生产效率，焊接机械化、自动化水平已达到总焊接工作量的35~45%。与工业发达国家相比，我国的焊接机械化和自动化水平还较低，按熔化焊来计算，目前日本为67%，德国为80%，美国为56%，原苏联为40%，而我国还不到20%，其主要原因是我国焊接生产主要还靠手工电弧焊，自动化水平高的气体保护焊和埋弧自动焊应用少。从焊接生产工艺装备水平来看，我国近年来，生产了成套的焊接工艺装备和焊接生产线，也有的厂家从国外引进了自动化水平较高的焊接辅助装置，焊接质量和生产效率有了很大提高。
- 计算机控制系统在焊接生产工艺的应用，在国外已经比较普遍，除用于焊接工艺参数的控制之外，还可用于整条生产线、焊机的群控。它还可以根据材料厚度自动选择并预置焊接工艺参数，对焊接过程实现自适应控制、最佳控制以及智能控制等。
- 研究开发具有智能的焊接机器人，特别是具有自动路径规划，自动校正轨迹，自动控制熔深的机器人将是近期和二十一世纪的重点方向。

- 电子束、激光、等离子等高能束流用于焊接，可以完成难熔合金和难焊材料的焊接，焊接熔深大、热影响区小、焊缝性能好、焊接变形小、精度高，并具有较高的生产率。必将在核、航空、航天、汽车等工业中得到广泛的应用，推进焊接工艺的进步
- 采用复合热源焊接是焊接工艺的又一发展动向。利用复合热源焊接不仅可以降低焊接成本，而且可以扩大焊接的材料。目前激光加电弧的复合热源已在国外开始采用，采用等离子和位于工件背面的TIG电弧复合热源也有效地增大了熔深，为大厚度工件的焊接开辟了新途径。

焊接的基本概念：

- 金属连接的条件：只有两块金属的距离 d 达到 $(3\sim5) \times 10^{-8}\text{cm}$ 时，金属原子之间便形成了金属键，实现连接。
- 使 d 达到 $(3\sim5) \times 10^{-8}\text{cm}$ 的条件：
 - ✓ 两块金属件要接触；
 - ✓ 要有足够高的能量。
- 实现的方法：
 - ✓ 加热  熔焊
 - ✓ 加压  压焊
- 焊接定义：通过加热或加压，或两者并用，并且用或不用填充材料，使工件达到原子结合的一种加工方法。

按能量分类的焊接方法

表2-1

按能量分类的焊接方法

| 类别 | 能源形式 | 焊接方法 |
|-----|------|---|
| 电能 | 电弧 | 焊条电弧焊、埋弧焊、氩弧焊、CO ₂ 气体保护焊、等离子弧焊 |
| | 电阻 | 电渣焊、点焊、缝焊、对焊、高频焊、盐浴钎焊、烙铁钎焊 |
| | 感应 | 感应焊 |
| | 能束 | 电子束焊 |
| 机械能 | 摩擦 | 摩擦焊 |
| | 热锻 | 锻焊 |
| | 冷压 | 冷压焊 |
| | 真空压 | 扩散焊 |
| 化学能 | 火焰 | 氧-炔焰焊、氢-氧焰焊 |
| | 热剂 | 铝热焊 |
| | 炸药 | 爆炸焊 |
| 声能 | 超声波 | 超声波焊 |
| 光能 | 激光 | 激光焊 |
| | 太阳光 | 太阳能焊 |

根据焊接过程的特点-焊接方法的分类

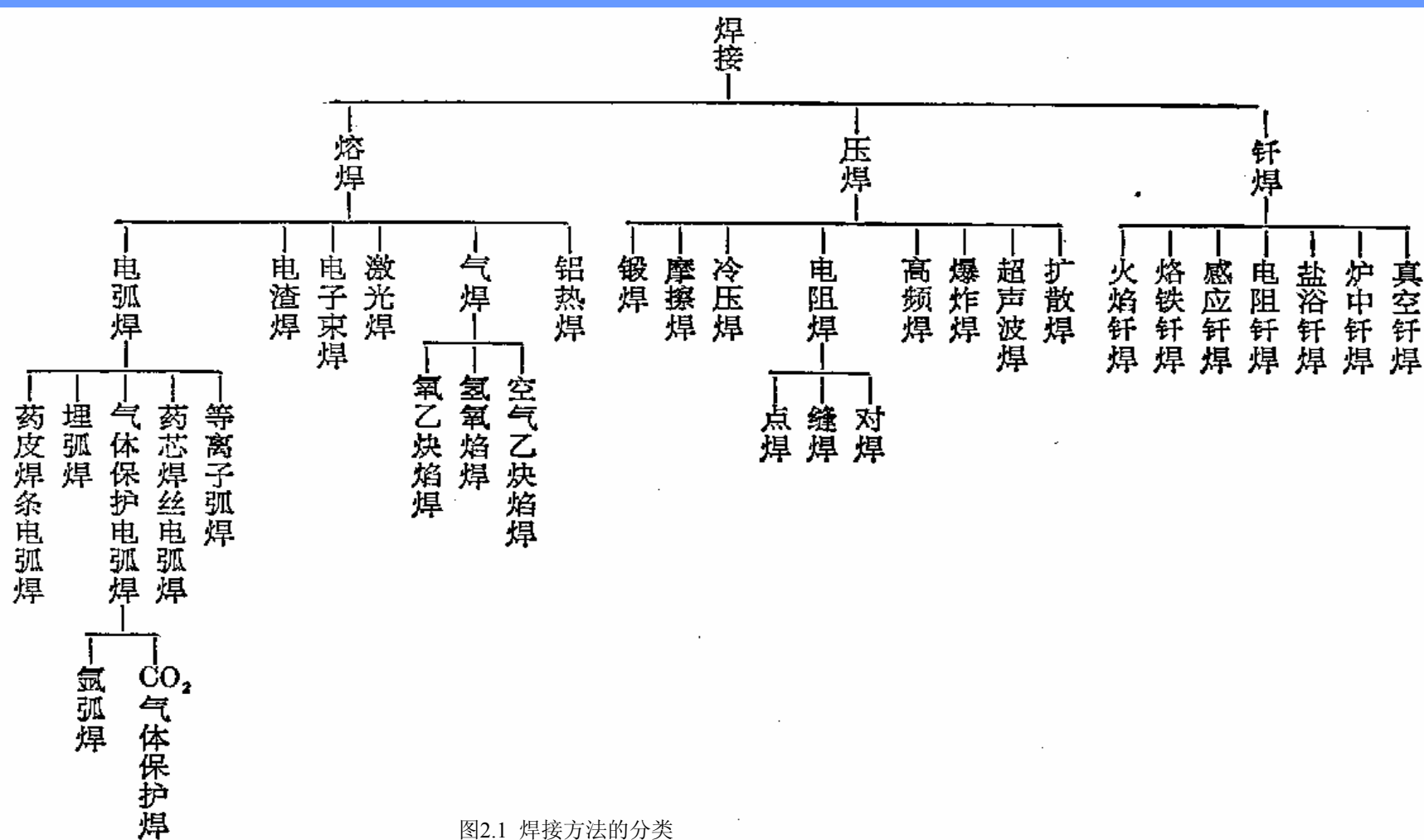


图2.1 焊接方法的分类

常用焊接热源的特性

表 2.2 常用焊接热源的特性

| 热源 | 最小加热面积 /cm ² | 最大功率密度 /W·cm ² | 正常焊接工艺 下的温度 /K |
|-----------------------------------|----------------------------|----------------------------------|-------------------|
| 氧乙炔火焰 | 10 ⁻² | 2×10 ³ | 3473 |
| 金属极电弧 | 10 ⁻³ | 10 ⁴ | 6000 |
| 钨极氩弧 (TIG) | 10 ⁻³ | 1.5×10 ⁴ | 8000 |
| 埋弧焊热源 | 10 ⁻³ | 2×10 ⁴ | 6400 |
| 电渣焊热源 | 10 ⁻³ | 10 ⁴ | 2273 |
| 熔化极氩 (MIG)、CO ₂ 气体保护电弧 | 10 ⁻⁴ | 10 ⁴ ~10 ⁵ | — |
| 等离子弧 | 10 ⁻⁵ | 1.5×10 ⁵ | 18000~24000 |
| 电子束 | 10 ⁻⁷ | | — |
| 激光 | 10 ⁻⁸ | 10 ⁷ ~10 ⁹ | — |

根据焊接冶金特点-焊接方法分类

- 分为三大类：**液相焊接**、**固相焊接**、**固—液相焊接**。
- 利用热源加热待焊部位，使之发生熔化，利用液相的相溶而实现原子间结合，即属**液相焊接**。熔焊属于最典型的液相焊接。除了被连接的母材(同质或异质)，还可填加同质或非同质的填充材料，共同构成统一的液相物质。常用的填充材料就是焊条或焊丝。
- **固相焊接**属于典型的压焊方法。因为固相焊接时，必须利用压力使待焊部位的表面在固态下直接紧密接触，并使待焊表面的温度升高(但一般低于母材金属熔点)，通过调节温度、压力和时间以充分进行扩散而实现原子间结合。在预定的温度(利用电阻加热、摩擦加热、超声振荡等)紧密接触时，金属内的原子获得能量、增大活动能力，可跨越待焊界面进行扩散，从而形成固相接合。电阻点焊、摩擦焊、超声波焊属典型的固相焊接。
- **固—液相焊接**，与固相焊接不同之处，就是待焊表面并不直接接触，而是通过两者毛细间隙中的中间液相相联系。于是，在待焊的同质或异质固态母材与中间液相之间必存在两个固—液界面，由于固液相间能更充分进行扩散，可实现很好的原子结合。钎焊即属此类方法。形成中间液相的填充材料称为钎料。显然，钎料的熔点必须低于母材的熔点。

常用焊接方法的热效率

表 2.4 · 常用焊接方法的热效率

| 焊接方法 | 碳弧焊 | 厚皮焊条 手工电弧焊 | 埋弧焊 | 钨极氩弧焊 | | 熔化极氩弧焊 | |
|--------------|----------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | | | 交流 | 直流 | 钢 | 铝 |
| 热效率 η_w | 0.5~0.65 | 0.77~0.87 | 0.77~0.99 | 0.68~0.85 | 0.78~0.85 | 0.66~0.69 | 0.70~0.85 |

焊接方法的发明年代及发明国家

| 焊接方法↵ | 发明↵ | | 焊接方法↵ | 发明↵ | |
|------------|-------|-----|--------------|-------|-----|
| | 年代↵ | 国别↵ | | 年代↵ | 国别↵ |
| 碳弧焊↵ | 1885↵ | 苏↵ | 冷压焊↵ | 1948↵ | 英↵ |
| 电阻焊↵ | 1886↵ | 美↵ | 高频电阻焊↵ | 1951↵ | 美↵ |
| 金属极电弧焊↵ | 1892↵ | 苏↵ | 电渣焊↵ | 1951↵ | 苏↵ |
| 热剂焊↵ | 1895↵ | 德↵ | CO2 气体保护电弧焊↵ | 1953↵ | 美↵ |
| 氧乙炔焊↵ | 1901↵ | 法↵ | 超声波焊↵ | 1956↵ | 美↵ |
| 金属喷镀↵ | 1909↵ | 瑞士↵ | 电子束焊↵ | 1956↵ | 法↵ |
| 原子氢焊↵ | 1927↵ | 美↵ | 磨擦焊↵ | 1957↵ | 苏↵ |
| 高频感应焊↵ | 1928↵ | 美↵ | 等离子弧焊↵ | 1957↵ | 美↵ |
| 惰性气体保护电弧焊↵ | 1930↵ | 美↵ | 爆炸焊↵ | 1963↵ | 美↵ |
| 埋弧焊↵ | 1935↵ | 美↵ | 激光焊↵ | 1965↵ | 美↵ |

焊条电弧焊

❖ 定义与工作原理

焊条电弧焊是药皮焊条手工电弧焊的简称。是用手上操纵焊条进行焊接的电弧焊方法。

它利用焊条与工件之间燃烧的电弧热熔化焊条端部和工件的局部，在焊条端部迅速熔化的金属以细小熔滴经弧柱过渡到工件已经局部熔化的金属中，并与之融合一起形成熔池，随着电弧向前移动，熔池的液态金属逐步冷却结晶而形成焊缝。焊接过程中，焊条芯是焊接电弧的一个极，并作为填充金属熔化后就成为焊缝的组成部分；焊条的药皮经电弧高温分解和熔化而生成气体和熔渣，对金属熔滴和熔池起防止大气污染的保护作用和冶金反应作用；某些药皮加入金属粉末为焊缝提供附加的填充金属。

电弧中心的温度在 5000°C 以上，电弧电压在 $16\text{—}40\text{ V}$ 范围，焊接电流在 $20\text{—}500\text{ A}$ 之间。图3-2-1是焊条电弧焊典型焊接装置组成，图3—2—2为电弧区的详图。

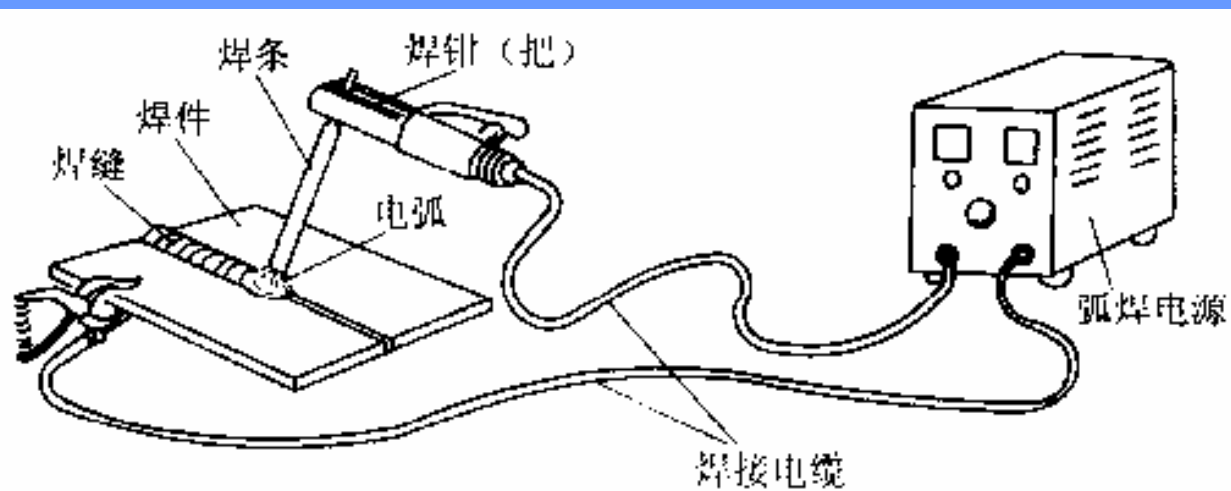


图 3-2-1 焊条电弧焊装置组成

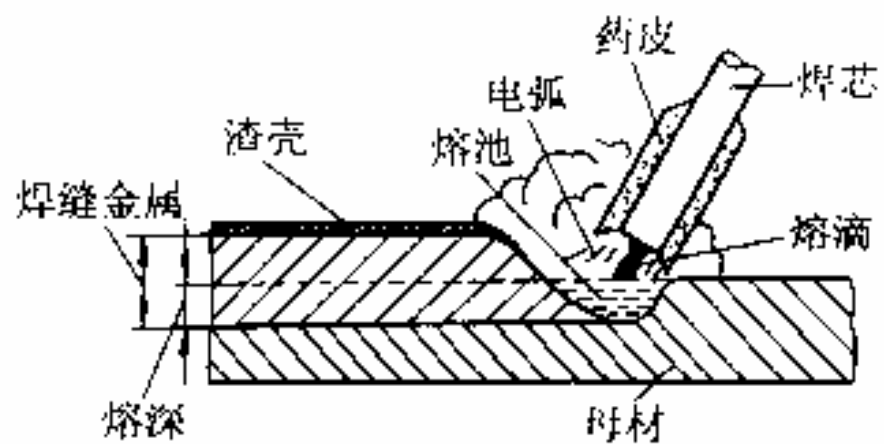


图 3-2-2 焊接电弧区

❖ 工艺特点

- 1)焊条电弧焊设备简单，操作灵活方便，适应性强，可达性好，不受场地和焊接位置的限制，在焊条能达到的地方一般都能施焊。这些都是被广泛应用的重要原因。
- 2)可焊金属材料广，除难熔或极易氧化的金属外，大部分工业用的金属均能焊接：
- 3)待焊接头装配要求较低，但对焊工操作技术要求高，焊接质量在一定程度上取决于焊上的操作水平；
- 4)劳动条件差，熔敷速度慢，生产率低。因所用焊条尺寸一般已固定，其直径在1.6—5mm范围，长度在200—450mm之间，焊接电流一般在500A以下。每焊完一根焊条，必须更换焊条，并残留下一截焊条头，而未被充分利用，焊后还须清渣等，故生产率低。

❖ 适用范围与局限性

1) 可焊工件厚度范围

见表3—2—1，1mm以下的薄板不宜用焊条电弧焊；采取坡口多层焊的厚度虽不受限制，但效率低，填充金属量大，其经济性下降，所以一般多用在3-40mm之间。

表 3-2-1 焊条电弧焊可焊工件厚度范围

| 因 素 | 厚 度/mm | | | | | | | | | | | |
|--------|--------|-----|-----|-----|-----|----|------|----|----|----|-----|-----|
| | 0.4 | 1.6 | 3.2 | 4.8 | 6.4 | 10 | 12.7 | 19 | 25 | 51 | 102 | 203 |
| 单层不开坡口 | | ←→ | ←→ | | | | | | | | | |
| 单层开坡口 | | | ←→ | ←→ | ←→ | | | | | | | |
| 多层 | | | ←→ | ←→ | ←→ | ←→ | ←→ | ←→ | ←→ | ←→ | ←→ | ←→ |
| 单层填角 | | ←→ | ←→ | ←→ | ←→ | ←→ | | | | | | |

2) 可焊金属范围

能焊的金属有：碳钢、低合金钢、不锈钢、耐热钢、铜、铝及其合金；能焊但可能需预热、后热或两者兼用的金属有：铸铁、高强度钢、淬火钢等；不能焊的金属主要有：低熔点金属如锌、铅、锡及其合金；难熔金属如钨、钼、钽等，活性金属如钛、铌、锆等。

3) 最合适的产品结构和生产性质

结构复杂的产品，在结构上具有很多短的或不规则的、具有各种空间位置及其它不易实现机械化或自动化焊接的焊缝，最宜用焊条电弧焊：单件或小批量的焊接产品多采用焊条电弧焊：在按装或修理部门因焊接位置不定，焊接工作量相对较小，亦宜采用焊条电弧焊。

❖ 焊接设备

焊接设备主要有弧焊电源、焊钳和焊接电缆；面罩、敲渣锤、钢丝刷和焊条保温筒等，统称辅助设备或工具。

1) 弧焊电源

焊条电弧焊用的弧焊电源是一台额定电流在500A以下的具有下降外特性的弧焊电源，它既可是普通交流电的，如弧焊变压器；也可是直流电的，如弧焊整流器、弧焊逆变器等。特殊情况下也可使用矩形波交流弧焊电源和脉冲弧焊电源。在具体选用时还须考虑如下因素：

A. 对电流种类的选择

- (1) 电压降 交流电在焊接电缆中电压降较小，若焊接在远离电源处进行，宜选用交流电。但要注意，传导交流电的电缆不应盘绕，否则产生感应电流而减少电流输出。
- (2) 小电流 使用小直径焊条和低的焊接电流时，直流电具有较好的操作性。它易引弧和稳弧，故宜选用直流电。因此，薄板焊接用直流电比交流电更合适。
- (3) 电弧长度 需要采用短弧焊工艺时，(如用碱性焊条施焊时)，因电弧电压低，用直流比交流电容易实现。
- (4) 电弧偏吹 用交流电焊接很少引起电弧偏吹，因磁场每秒钟100次不断地变换极性。用直流电焊接钢材时，若电弧周围的磁场不平衡，就可能出现电弧偏吹。电弧偏吹能造成焊接缺陷。
- (5) 焊接位置 进行立焊和仰焊时，常用较低的焊接电流，用直流电焊接略优于交流电。若用交流电，则须使用可以进全位置焊接的电焊条。
- (6) 焊条 各类焊条均可用直流电焊接，在药皮中含有稳弧剂的焊条才可交流电焊接。有极性要求的焊条，必须采用直流电焊接。

B 外特性的选择

焊条电弧焊时，焊工很难保持弧长恒定。因此，具有恒压(平)外特性的弧焊电源不适用。而应选用恒流(或陡降)外特性的弧焊电源，因为在恒流电源中，弧长发生变化时，电流只产生很小的变化。当用于焊接非平焊位置的焊缝或装配间隙大小不均的接头根部焊道时，宜采用具有较为缓降外特性的弧焊电源。这样，焊工可以利用弧长变化在特定的范围内调控焊接电流，以控制焊缝成形。如果为了提高引弧性能和电弧熔透能力，而须增加焊接短路电流时，可以选用更为理想的恒流加外拖的外特性。

焊条电弧焊电源要具有一定的空载电压是为了易于引弧，一般在50-100V之间。引燃后的电弧电压(即工作电压)在16-40V之间。该电压由电弧长度和所用焊条类型决定。

2) 辅助器具

(1) 焊钳

焊条电弧焊时，用以夹持焊条进行焊接的工具谓焊钳，俗称电焊把。除起夹持焊条作用外。还起传导焊接电流的作用。对焊钳的要求是导电性能好、外壳应绝缘、重量轻、装换焊条方便、夹持牢固和安全耐用等。焊钳有各种规格，以适应各种标准焊条直径。每种规格的焊钳是以所要夹持的最大直径焊条需用的电流设计的。采用不致过热的最小规格的焊钳，对于焊接作业最为合适。这是最轻的，并保证操作最方便。

电接触不良和超负荷使用是焊钳发热的原因。绝对不许用浸水方法去冷却焊钳。

(2) 面罩与护目镜

面罩是防止焊接时的飞溅、弧光及其它辐射对焊工面部及颈部损伤的一种遮蔽工具。有手持式和头盔式两种，对面罩的要求是质轻、坚韧、绝缘性和耐热性好。

面罩正面安装有护目滤光片，即护目镜，起减弱弧光强度，过滤红外线和紫外线以保护焊工眼睛的作用。有各种颜色，从人眼对颜色的适应性，以墨绿、蓝绿和黄褐色为好。颜色有深浅之分，应根据焊接电流大小和焊接方法以及焊工的年龄与视力情况选用，改正不论电流大小均使用一块滤光片的陋习。在护目滤光片外侧，应加一块尺寸相同的一般玻璃，防止被金属飞溅污染。

现已发展一种光电式镜片，它是利用光电转换原理制成的新型护目滤光片。起弧前是透明的，起弧后迅速变黑，起滤光作用。这样可以观察焊接操作全过程，杜绝电弧“打眼”和消除因盲目引弧而产生的焊接缺陷。

（3）接地夹钳

接地夹钳是将焊接导线或接地电缆接到工件上的一种器具。接地夹钳必须能形成牢固的连接，又能快速且容易地夹到工件上。对于低负载持续率来说，弹簧夹钳可能是合适的。但在使用大电流时，可能需要螺丝夹钳，以使夹钳不过热并形成良好的连接。

（4）焊接电缆

利用焊接电缆将焊钳和接地夹钳接到电源上。焊接电缆是焊接回路的一部分。焊接电缆应具有最大的挠度，以便能够容易操作，特别是焊钳的操纵。电缆也必须耐磨和耐擦伤。

焊接电缆由许多股绞合在一起的细铜丝或铝丝组成，并且包在软的绝缘包皮内。包皮是用合成橡胶或采用韧性好、电阻高和耐热性好的塑料制成。在绞合导线和包皮之间缠绕有保护层，以使导线和包皮之间有一些活动余地而获得最大的柔软性。

焊接电缆可制成各种规格。每一特定用途所要求的电缆规格取决于焊接所用的最大电流、焊接电路长度（焊接电缆和接地电缆的总和）以及焊机的负载持续率。如使用铝电缆，它应比该种用途的铜电缆大两个规格。电缆直径随着焊接电流增加而增大，以使电缆中的电压降和附带的电能损耗保持在允许的水平上。

如果需要长电缆，可用相配的电缆接头将短电缆连接起来。接头必须保证低电阻的良好接触，其绝缘必须相当于电缆的绝缘。利用每根电缆端头的接线片将电缆接到电源上。电缆和接头或接线片之间的连接必须牢固，而且电阻要小。可采用钎焊接头和机械接头。铝电缆要求良好的机械接头，以避免过热。铝的氧化显著地提高了接头的电阻。当然，这可导致过热、过大的电能损耗乃至烧坏电缆。必须注意防止损坏电缆的包皮，特别是接焊条的电缆。与热金属和尖锐边缘接触可能会烧坏和割破包皮和接地电缆。

(5) 防护服

在焊接过程中，电弧中会飞出火花或熔滴，特别是在非平焊位置或采用非常大的焊接电流焊接时，这个问题更为突出。为保证在这些条件下防止烧伤，焊工应戴防护手套、穿防护裙和工作服。也要求防护焊工的踝关节和脚不受熔渣和飞溅物的烧伤。建议穿平脚裤或带护脚套。

(6) 焊条保温筒

焊条保温筒是装载已烘干的焊条，是能保持一定温暇以防止焊条受潮的一种筒形容器。有立式和卧式两种，内装焊条2.5-5kg，焊工可随身携带到现场，随用随取。通常是利用弧焊电源二次电压对筒内加热，温度一般在100℃-450℃之间，能维持焊条药皮含水率不大于0.4%。

用碱性低氢型焊条焊接重要结构，如压力容器等产品，焊工每人应配备一个。


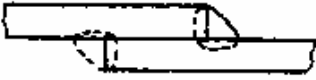
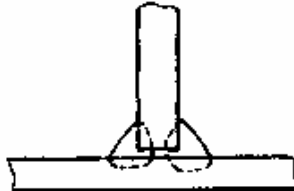
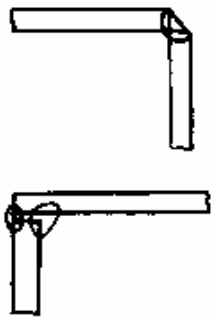
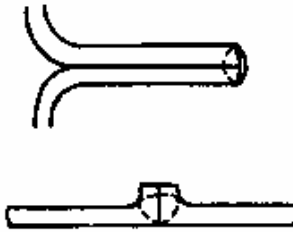
国产TRB—5(立式)和TRB—5W(卧式)焊条保温筒可装焊条5kg，使用电压为25-80V，加热功率100W，恒温温度(135±35)℃。

5 焊条电弧焊接头的设计与选用

(1) 接头的基本形式

最适于焊条电弧焊的焊接接头有对接、搭接、T形接、角接和端接等5种基本形式。设计或选用接头形式时，主要是根据产品结构特点和焊接工艺要求，并综合考虑承载条件、焊接可达性、焊接应力与变形以及经济成本等因素。表3-2-4是焊条电弧焊常用的接头基本形式及其主要特点，每一种接头的基本形式中，都可根据焊件的实际情况和需要，设计出不同的构造形状，如对接接头就可以设计成开坡口的或不开坡口的，可以两面施焊的或只能单面焊的等等。

表 3-2-4 手弧焊常用接头的基本形式















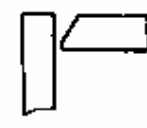
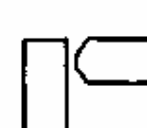
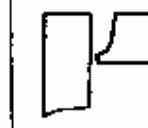
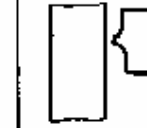
| 名 称 | 简 图 | 基 本 特 点 |
|----------|--|---|
| 对接接头 |  | <p>在同一平面上的两被焊工件相对而焊接起来所形成的接头</p> <p>受力合理、应力集中程度较小，两对接焊件厚度很少受限制，厚板对接为了焊透可采用坡口对接焊</p> <p>对接接头要求对接边缘的加工和装配质量严格</p> |
| 搭接接头 |  | <p>两被焊工件部分地重叠在一起（或外加专门的搭接待件）用角焊缝或塞（槽）焊缝连接起的接头</p> <p>接头工作应力分布不均匀，受力不合理，疲劳强度低，不节省金属，是不理想的接头形式。但因其焊前准备和装配工作简单，在不重要的结构上仍有采用</p> |
| T形（十字）接头 |  | <p>一焊件的端面与另一焊件的平面构成直角或近似直角的接头。通常用角焊缝连接</p> <p>能承受各方面的力和力矩。应力分布较对接接头复杂，应力集中较大。熔透的 T 形接头强度按对接接头计算，其动载强度也较高</p> |
| 角接头 |  | <p>是两被焊件端面间构成大于 30°，小于 135° 夹角的接头</p> <p>接头的承载能力较差，单独使用时特别抗弯能力很弱，改进连接处的构造能有所改善。主要用于箱形结构</p> |
| 端接头 |  | <p>是两焊件重叠放置或两焊件之间夹角小于 30° 在端部进行连接的接头，气焊或 TIG 焊时，通常不需填充金属</p> <p>常用于受力不大的薄板密封结构或壳体结构</p> |

(2) 焊缝坡口的基本形式

坡口是根据设计或工艺需要，在焊件的待焊部位加工成一定几何形状的经装配后构成的沟槽。预制坡口(俗称开坡口)的主要目的是为了获得设计所要求的熔透深度和焊缝形状，焊条电弧焊通常板厚 $\geq 3\text{mm}$ 时，才考虑开坡口。表3-2-5列出焊条电弧焊最为常用几种接头焊缝坡口的基本形式，可见，I形、V形和U形是坡口的基本型，其余都是它们的变化形式。I形是由两焊件端平面组合，V形是由两焊件端斜面的组合，U形是两焊件端曲面组合；V形节纯边就变成Y形，V形的一半构成半边V，双半边V构成了K形，双V构成了X形，U它的一半变成J形等。设计或选用坡口形式要综合考虑如下因素：

- A)达到设计所需的熔深和焊缝成形 这是保证焊接接头工作性能主要因素。
- B)具有可达性 即焊工能按工艺要求自如地进行运条，顺利地完 成焊缝金属的熔敷，获得无工艺缺陷的焊缝。
- C)有利于控制焊接变形和焊接应力 这是为了避免焊接裂纹和减少焊后矫形的工作量。
- D)经济 要综合坡口加工费用和填充金属量消耗的大小。

表 3-2-5 焊条电弧焊常用坡口的基本型式

| | 坡 口 形 式 | | | | | | | |
|-------|--|--|---|---|--|--|---|---|
| 坡口名称 | I 形 | 单边 V 形 | Y 形 | 双 V 形 | 单边 J 形 | 双 J 形 | U 形 | 双 U 形 |
| 对接接头 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| T 形接头 |  |  | (K 形)  | — |  |  | — | — |
| 角接头 |  |  | (K 形)  | — |  |  | — | — |
| 符号 | | ✓ | Y (K 形) | X | μ | K | Υ | ⋈ |

(3) 坡口的制备

坡口制备包括坡口形状的加工和坡口侧的清理工作。根据焊件结构形式、板厚和材料的不同，坡口制备的方法也不同，图3-2-4列出无须加工的坡口和须要加工的坡口。常用的坡口加工方法有：

A) 剪切

用于I形坡口(即不开坡口)的薄钢板的边缘加工。

B) 刨削

用刨床或刨边机加工直边的坡口，能加工任何形状的坡口，加工后的坡口平直、精度高。薄钢板I形坡口的加工可以多层钢板叠在一起，一次刨削完成，可提高效率。

C) 车削

圆管、园柱体、圆封头或圆形杆件的坡口均可在个床上车削加工。D) 专用坡口加工机加工

有平板直边坡口加工机和管接头坡口加工机，可分别加工平钢板边缘或管端的坡口。

E) 热切割

普通钢的坡口加工应用最广泛的是氧-乙炔火焰切削，不锈钢采用等离子弧切割。能切割各种角度的直边坡口和各种曲线状焊缝的坡口，尤其适用切割厚钢板。

F) 碳弧气刨

目前主要用了多层焊背面清焊根和开坡口。为了防止焊缝渗碳，焊前必须用砂轮把气刨的坡口表面打磨，以消除坡口表面渗碳层。

经坡口加工后的待焊边缘，若受到油锈等污染，焊前须消除干净，简易方法有火焰烧烤或砂轮打磨等。

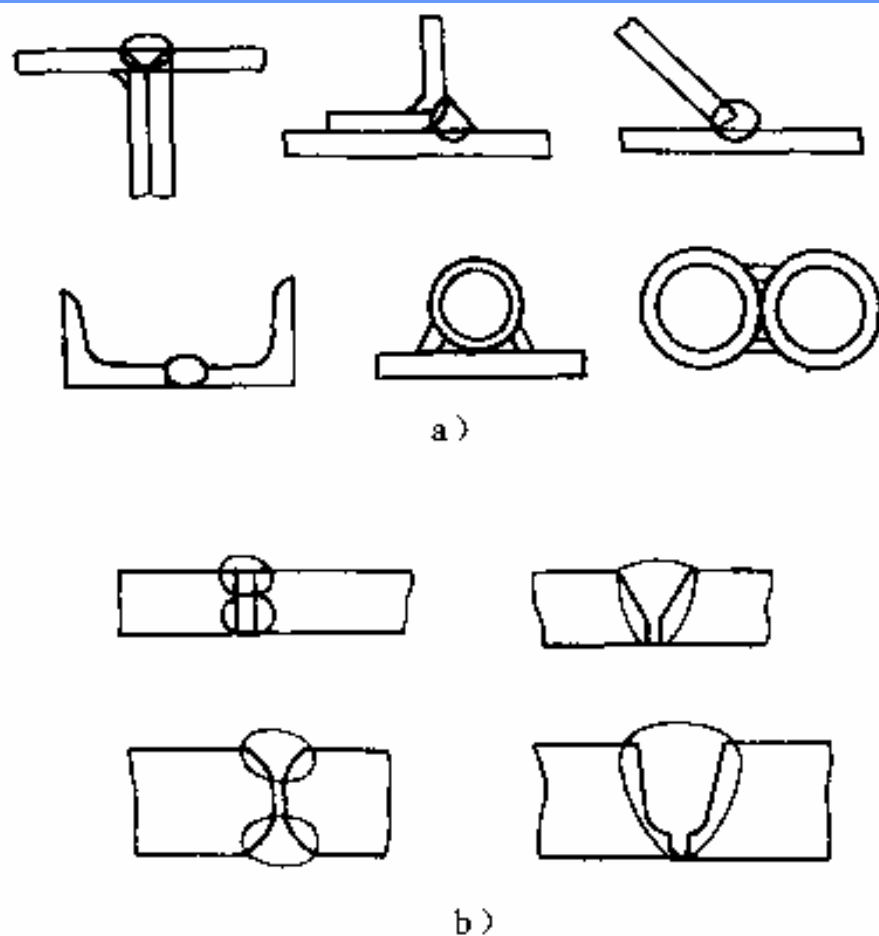
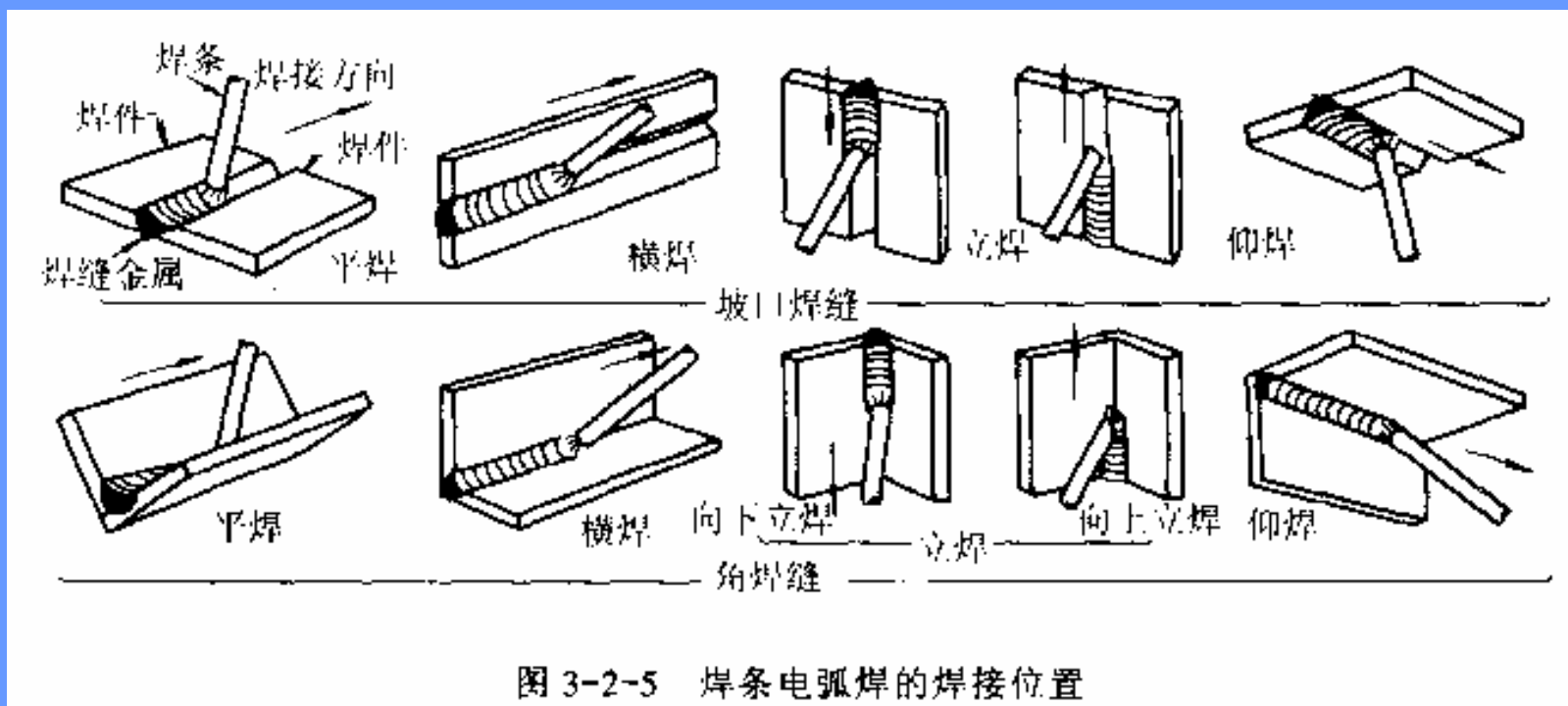


图 3-2-4 无须加工和必须加工的坡口

a) 带自然坡口的接头 b) 必须加工的坡口

(4) 焊接位置

熔焊时，焊缝所处的空间位置称焊接位置。尽管焊条电弧焊具有任何位置的焊缝均能完成焊接，但只要条件允许，都尽可能使之在平焊位置(对角焊缝又叫“船形”位置)进行焊接。因为此位置重力有利于焊接焊缝成形好，操作最容易，对技能要求较低，焊接质量易于保证；可以使用较大的焊条直径和较高的焊接电流，因而可获得较高的熔敷率。



(5) 焊条电弧焊接的工艺参数

焊接时，为保证焊接质量而选定的诸物理量的总称，叫焊接工艺参数。焊条电弧焊的工艺参数也括：焊条直径、焊接电流、电弧电压、焊接速度、热输入等。过去又称焊接规范。

A) 焊条直径

焊条直径大小对焊接质量和生产率影响很大。通常是在保证焊接质量前提下，尽可能选用大直径焊条以提高生产率。如果从保证焊接质量来选焊条直径时，则须综合考虑：焊件厚度、接头形式、焊接位置、焊道层次和允许的线能量等因素。

厚焊件可以采用大直径焊条及相应大的焊接电流，这样有助于焊缝金属在接头中完全熔合和适当的熔深，其熔敷速度也高于小直径焊条，表3-2-8是按板厚来选用焊条直径。

表 3-2-8 焊条直径的选择

| 板 厚/mm | ≤4 | 4~12 | >12 |
|---------|---------|-------|-----|
| 焊条直径/mm | 不超过焊件厚度 | 3.2~4 | ≥4 |

B) 焊接电流

焊接电流是焊条电弧焊的主要工艺参数，它直接影响焊接质量和生产率。总的原则是在保证焊接质量的前提下，尽量用较大的焊接电流以提高焊接生产率。

确定焊条电弧焊焊接电流大小要根据焊条类型、焊条直径、焊件厚度、接头形式、焊接位置、母材性质和施焊环境等因素。其中最主要的是焊条直径和焊接位置。有三种方法可确定焊接电流：

- ① 经验公式 一般碳钢焊接结构是根据焊条直径按下式来确定焊接电流。

$$I=kD$$

I —焊接电流(A)：

D —焊条(即焊芯)直径(mm)

k —经验系数，可按下表确定：

| 焊条直径/mm | $\phi 1.6$ | $\phi 2 \sim \phi 2.5$ | $\phi 3.2$ | $\phi 4 \sim \phi 6$ |
|---------|------------|------------------------|------------|----------------------|
| k | 20~25 | 25~30 | 30~40 | 40~50 |

根据上面经验公式计算出的焊接电流，只是大概的参考数值，在实际使用时还应根据具体情况灵活掌握。例如板厚较大时，或T形接头和搭接接头时，施焊环境温度低时，均因导热快，焊接电流必须大一些；立焊、横焊和仰焊时，为了防止熔化金属从熔池中流淌，须减小熔池面积以便于控制焊缝成形，须采用较小一些的焊接电流，一般比平焊位置小10%-20%。焊接不锈钢，使用不锈

钢焊条时，为了减小晶间腐蚀，以及减少焊条发红，焊接电流应小一些。

②查焊接工艺参数表 根据板厚、坡口形式、焊条规格，从表中根据焊接位置查出焊接电流。表3-2-9可供参考。

表 3-2-9 焊条电弧焊用的焊接工艺参数^[112]

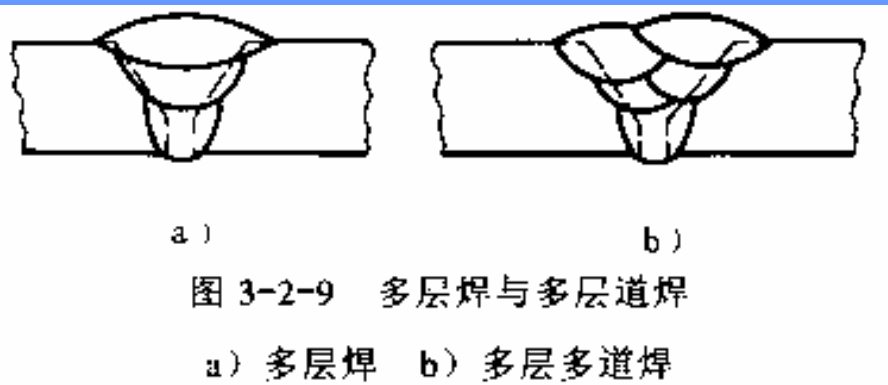
| 焊缝空间位置 | 焊缝横断面形式 | 焊件厚度或焊脚尺寸/mm | 第一层焊缝 | | 其他各层焊缝 | | 封底焊缝 | |
|--------|---------|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | | 焊条直径/mm | 焊接电流/A | 焊条直径/mm | 焊接电流/A | 焊条直径/mm | 焊接电流/A |
| 平对接焊缝 | | 2 | 2 | 55~60 | — | — | 2 | 55~60 |
| | | 2.5~3.5 | 3.2 | 90~120 | — | — | 3.2 | 90~120 |
| | | 4~5 | 3.2 | 100~130 | — | — | 3.2 | 100~130 |
| | | | 4 | 160~200 | — | — | 4 | 160~210 |
| | | | 5 | 200~260 | — | — | 5 | 220~250 |
| | | 5~6 | 4 | 160~210 | — | — | 3.2 | 100~130 |
| | | ≥6 | 4 | 160~210 | 4 | 160~210 | 4 | 180~210 |
| | | | | | 5 | 220~280 | 5 | 220~260 |
| | | ≥12 | 4 | 160~210 | 4 | 160~210 | — | — |
| | | | | | 5 | 220~280 | — | — |
| 立对接焊缝 | | 2 | 2 | 50~55 | — | — | 2 | 50~55 |
| | | 2.5~4 | 3.2 | 80~110 | — | — | 3.2 | 80~110 |
| | | 5~6 | 3.2 | 90~120 | — | — | 3.2 | 90~120 |
| | | 7~10 | 3.2 | 90~120 | 4 | 120~160 | 3.2 | 90~120 |
| | | | 4 | 120~160 | | | | |
| | | ≥11 | 3.2 | 90~120 | 4 | 120~160 | 3.2 | 90~120 |
| | 4 | | 120~160 | 5 | 160~200 | | | |
| | | 12~18 | 3.2 | 90~120 | 4 | 120~160 | — | — |
| | | | 4 | 120~160 | | | | |
| | | ≥19 | 3.2 | 90~120 | 4 | 120~160 | — | — |
| 4 | | | 120~160 | 5 | | | | |
| 横对接焊缝 | | 2 | 2 | 50~55 | — | — | 2 | 50~55 |
| | | 2.5 | 3.2 | 80~110 | — | — | 3.2 | 80~110 |
| | | 3~4 | 3.2 | 90~120 | — | — | 3.2 | 90~120 |
| | | | 4 | 120~160 | — | — | 4 | 120~160 |
| | | 5~8 | 3.2 | 90~120 | 3.2 | 90~120 | 3.2 | 90~120 |
| | | | | | 4 | 140~160 | 4 | 120~160 |
| | | ≥9 | 3.2 | 90~120 | 4 | 140~160 | 3.2 | 90~120 |
| | | | | | | | 4 | 140~160 |
| | | | 3.2 | 90~120 | | | | |

- ③由焊接工艺试验确定 对于普通结构，利用经验公式或查表确定焊接电流一般已足够。但是对于某些金属材料如合金钢焊接或重要的焊接结构如锅炉压力容器的焊接等，焊接电流必须通过试验加以确定。对热输入敏感的金属材料，必须根据试验得出的许用热输入来确定焊接电流范围。总之，重要金属结构必须按焊接工艺评定合格后的工艺来确定焊接电流。

C) 焊接层数

厚板焊接常是开坡口采用多层焊或多层多道焊，见图3-2-9。层数增多对提高焊缝的塑

性和韧性有利，因为后焊道对前焊道有回火作用，使热影响区显微组织变细，尤其对易淬火钢效果明显。但随着层数增多，生产效率下降，往往焊接变形也随之增加。层数过少，每层焊缝厚度过大，接头易过热引起晶粒粗化，反而不利。一般每层厚度以小大于4-5mm为好。



埋弧焊

基本原理

埋弧焊是电弧在焊剂层下燃烧进行焊接的方法。

- 焊剂漏斗1在焊接区前方不断输送焊剂8于焊件9的表面上；
- 送丝机构2由电动机带动压轮，保证焊丝3不断地向焊接区输送；焊丝经导电嘴5而带电，保证焊丝与工件之间形成电弧；
- 焊剂漏斗、送丝机构、导电嘴等安装在一个焊接机头或小车上，通过机头或小车上的行走机构以一定的焊接速度向前移动；
- 控制盒(箱)6对送丝速度和机头行走速度以及焊接工艺参数等进行控制与调节，小形的控制盒常没在小车上，大的控制箱则作为配套部件而独立设置；
- 电源7向电弧不断提供能量。

埋弧焊接过程

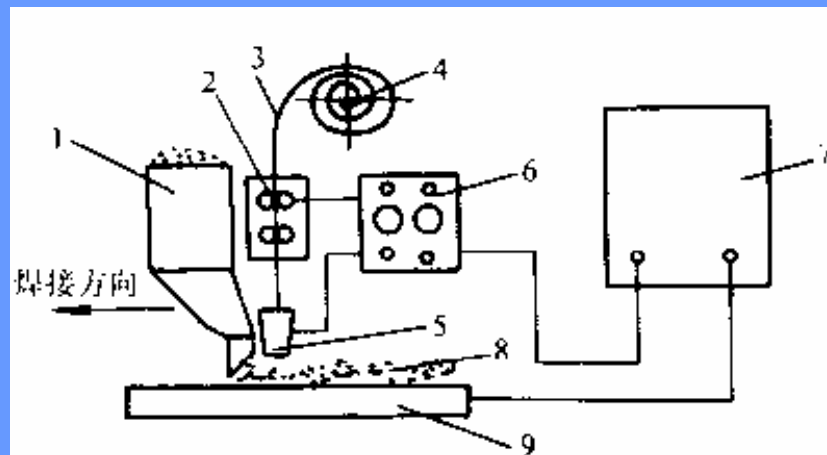


图 3-3-1 埋弧焊接装置示意图

- 1—焊剂漏斗 2—送丝机构 3—焊丝
4—焊丝盘 5—导电嘴 6—控制箱(盒)
7—弧焊电源 8—焊剂 9—焊件

埋弧焊的焊接过程

焊接电弧1是在焊剂3层下的焊丝4与母材2之间产生，电弧热使其周围的母材、焊丝和焊剂熔化以致部分蒸发。金属和焊剂的蒸发气体形成一个气泡，电弧就在这个气泡内燃烧。气泡的上部被一层熔化了的焊剂-熔渣7构成的外膜所包围，这层外膜以及覆盖在上面的未熔化焊剂共同对焊接起隔离空气、绝热和屏蔽光辐射作用。焊丝熔化的熔滴落下与已局部熔化的母材混合而构成金属熔池8，部分熔渣因密度小而浮在熔池表面。随着焊丝向前移动，电弧力将熔池中熔化金属推向熔池后方，在随后的冷却过程小，这部分熔化金属凝固成焊缝10。熔渣凝固成渣壳9，覆盖在焊缝金属表面上。在焊接过程中，熔渣除了对溶池和焊缝金属起机械保护作用外，还与熔化金属发生冶金反应(如脱氧、去杂质、渗合金等)，从而影响焊缝金属的化学成分。

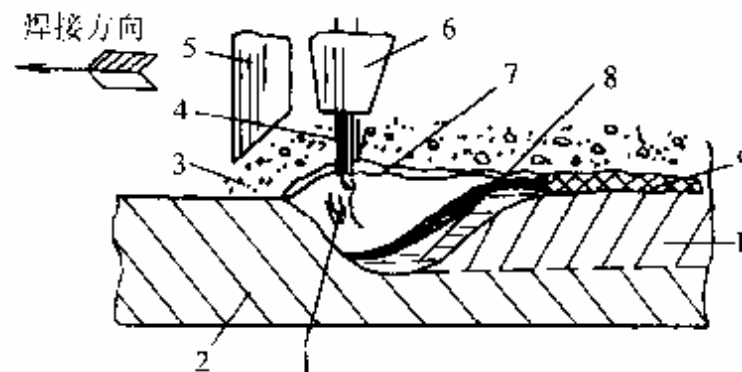


图 3-3-2 埋弧焊接基本原理

- 1—电弧 2—母材 3—焊剂 4—焊丝
5—焊剂漏斗 6—导电嘴 7—熔渣
8—金属熔池 9—渣壳 10—焊缝

材料范围

埋弧焊最广泛用于低碳钢的焊接生产。其次是用于低合金钢和不锈钢的焊接。对高、中碳钢和合金钢不常使用埋弧焊，因为焊时常须采用比较复杂的工艺措施。




埋弧焊可以在普通结构钢基体的表面上堆焊覆层，使其具有耐蚀或其他性能。

► 厚度范围

埋弧焊最适于焊接中厚以上的钢板，这样能发挥大电流高熔深的优点。随着厚度增加，在待焊部位开适当坡口以保证焊透和改善焊缝成形。

表 3-3-1 埋弧焊焊接厚度范围

(单位: mm)

| | 0.13 | 0.4 | 1.6 | 3.2 | 4.8 | 6.4 | 10 | 12.7 | 19 | 25 | 51 | 102 | 205 |
|-------|---|-----|-----|-----|-----|-----|----|------|----|----|----|-----|-----|
| 单层无坡口 |  | | | | | | | | | | | | |
| 单层带坡口 |  | | | | | | | | | | | | |
| 多层焊 |  | | | | | | | | | | | | |

埋弧焊设备

- ✓ 焊接电流是直接影响焊缝成型的主要工艺参数，在埋弧焊接过程中它的变化主要是由于弧长变化而引起，而弧长的变化多是受到诸如网络电压波动、焊件表面起伏不平、焊接接头坡口加工不规则、在焊道上有定位焊点的存在等外界因素所干扰，而这些因素在生产中往往难以避免。因此，保持弧长稳定就成为实现埋弧焊接自动控制中的关键。于是要求在焊接过程中当出现干扰引起弧长变化时，埋弧焊机能自动调整，使弧长立即恢复到原来的长度。
- ✓ 目前埋弧焊机采用着两种能自动调节电弧长度的系统，即电弧自身调节系统和电弧电压自动(强制)调节系统。根据这两种不同调节原理，设计和制造了等速送丝式和变速送丝式两类自动埋弧焊机。
- ✓ 完整的自动埋弧焊机一般包括弧焊电源、送丝机构、行走机构、控制箱(盒)、焊(枪)头调整机构和易损件及辅助装置等组成。
- ✓ 适用于埋弧焊的电源，一类是具有陡降外特性曲线的，另一类是具有缓降的或平的外特性曲线的。

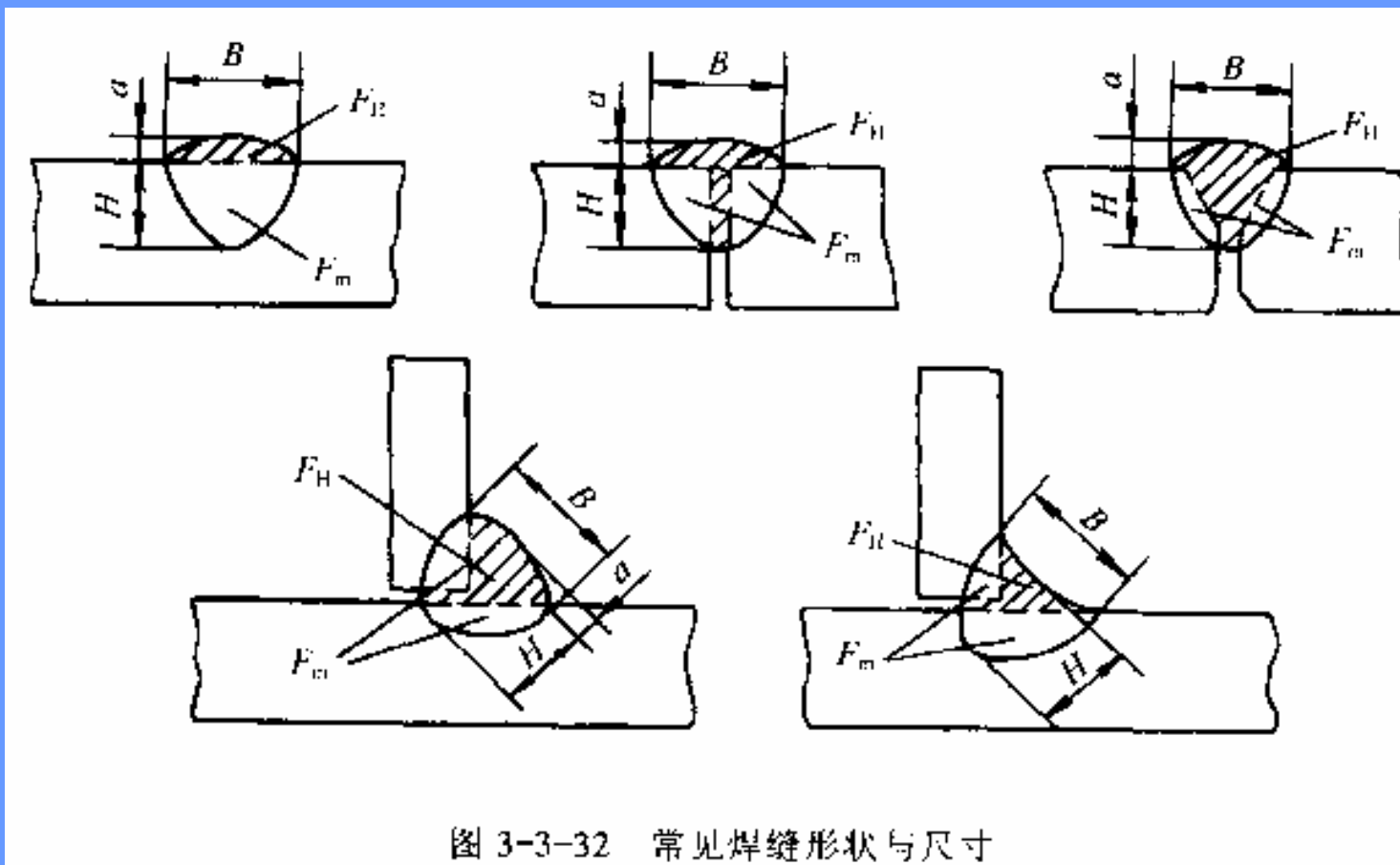
焊接材料—焊丝与焊剂

埋弧焊时使用的焊接材料为焊丝和焊剂。焊丝与焊剂直接参与焊接过程中的冶金反应，它们的化学成分和物理特性都会影响焊接的工艺过程，并通过焊接过程对焊缝金属的化学成分、组织和性能发生影响。正确地选择焊丝并与焊剂配合使用是埋弧焊接技术的一项关键内容。

埋弧焊接工艺与技术

➤ 焊缝形状与尺寸

焊缝形状由熔池形状所确定。一般用熔深 H 、焊缝宽度 B 和余高 a 三个参数来表征焊缝的形状和尺寸。



- ✓ 熔深H反映焊接的熔透程度，它决定着焊接接头的承载能力，是说明焊缝质量的重要指标之一。
- ✓ 焊缝宽度B不直接反映接头的承载能力，但它和熔深H构成的焊缝的基本形状，影响着焊缝的质量。
- ✓ 综合熔深、焊缝宽度的焊缝成形系数描述焊缝形状。

焊缝成形系数 $\Phi = B / H$

- ❖ 当 Φ 小时，焊缝窄而深，这样的焊缝往往在熔池金属冷凝过程中气体难以逸出而易产生气孔，同时熔池的结晶方向有利于焊接裂纹的生成；另一方面，这样的焊缝反映其焊接热量较集中，其接头的热影响区较小；
- ❖ 当 Φ 大时，焊缝浅而宽，这样的焊缝根部不易焊透。
- ❖ 通常埋弧焊接头的 $\Phi > 3$ 较为合理。若是埋弧堆焊，为了保证堆焊层成分和高的堆焊生产率，其焊缝成形系数 Φ 一般要求较大，可达10。

- ✓ 焊后焊缝产生凹陷是不允许的。焊缝余高是为了避免熔池金属凝固时产生凹陷而留出的工艺允差，它的存在还能增大焊缝工作截面，从而提高其承受静载的能力。
- ✓ 余高过大，则在焊趾处引起应力集中，使接头的疲劳寿命下降。所以要加以限制，使余高 a 与焊缝宽 B 应有一个合理的比例关系。
- ✓ 常用余高系数— B/a 来表达对余高的要求。
- ✓ 一般要求 $B/a > 4 \sim 8$ ；为了提高焊件的疲劳寿命，最好的办法是把对接接头的焊缝余高去掉；或把角焊缝焊成凹面的或者焊后加工焊趾，使余高向母材平滑过渡。

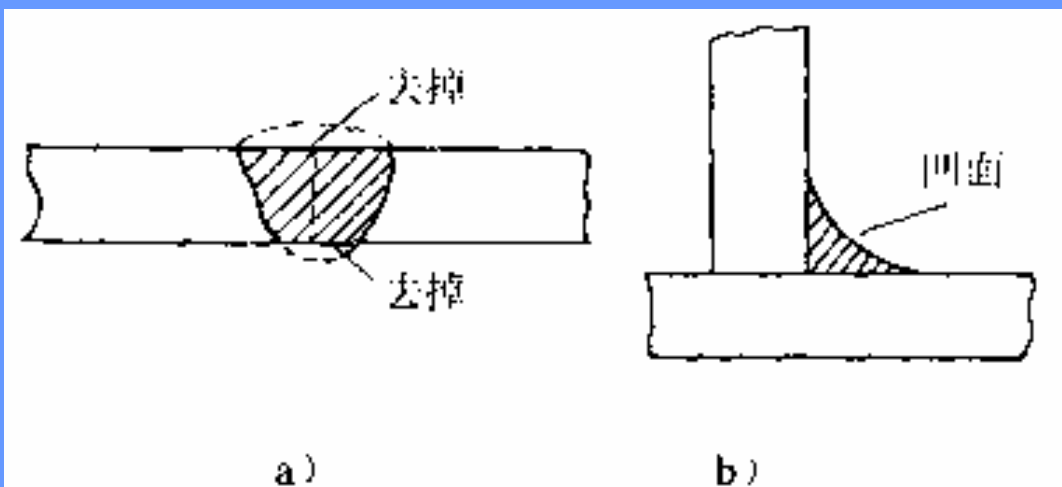
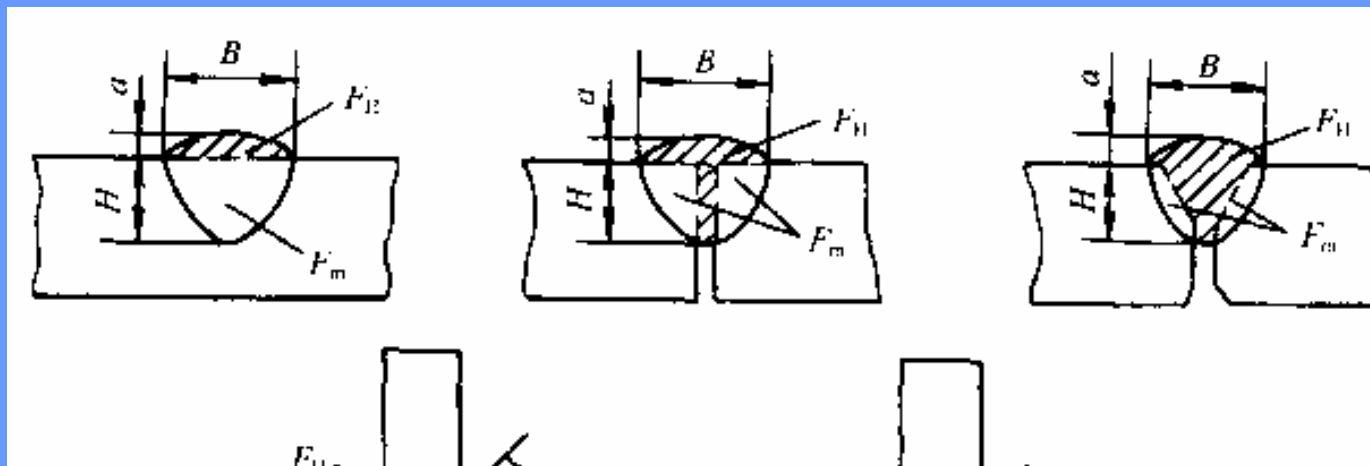


图 3-3-33 高疲劳寿命的焊缝表面形状

- ✓ 熔焊时，被熔化的母材在焊缝金属中所占的体积分数称焊缝熔合比。
- ✓ 由图3-3-32可见熔合比 θ 可用下式表示

$$\theta = F_m / (F_m + F_H)$$

式中， F_m 、 F_H —母材熔化的横截面积和填充金属熔敷(图3—3—32中影线部分)的横截面积(mm²)。



熔合比 θ 随坡口和熔池的形状与尺寸的改变而改变，在焊接中碳钢、合金钢和有色金属时。可以通过改变熔合比的大小来调整焊缝的化学成分和组织，这是防止焊缝产生冶金缺陷、提高焊缝力学性能的有效途径。

图 3-3-32 常见焊缝形状与尺寸

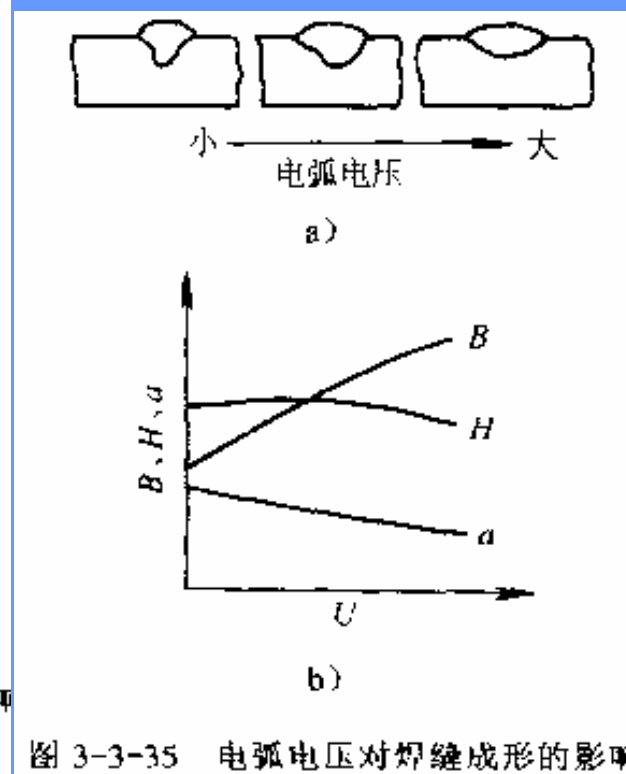
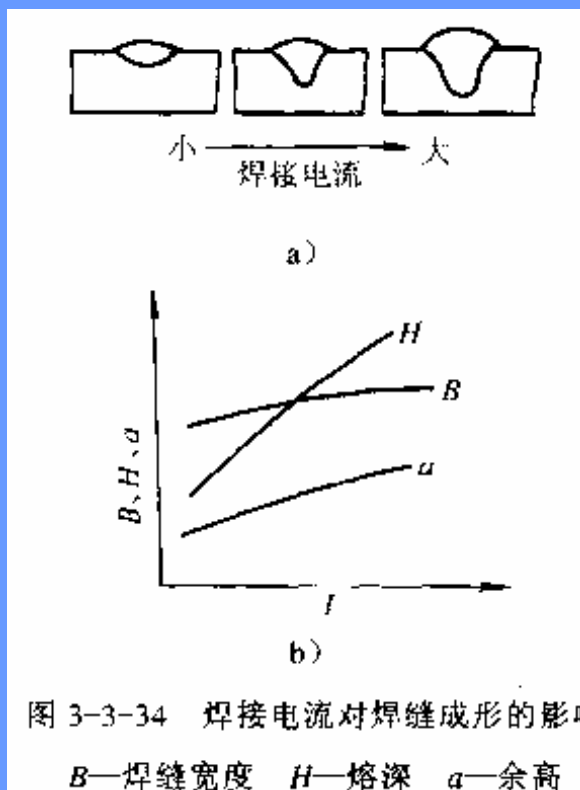
➤ 影响焊缝形状及尺寸的因素

影响焊缝形状及尺寸的因素：焊接工艺参数、工艺因素和结构因素

✓ 焊接工艺参数

埋弧焊接的工艺参数主要是焊接电流、电弧电压和焊接速度等。

- 焊接电流：其他条件不变时，作平面堆焊，焊接电流对焊缝形状及尺寸的影响如图3-3-34所示，熔深 H 几乎与焊接电流成正比。
- 电弧电压：在其他条件不变的情况下，电弧电压对焊缝形状及尺寸的影响如图3-3-35所示。



在实际生产中电弧电压和电流有图3-3-36所示的关系，表示在焊接电流增加时，电弧电压也相应增加，或熔深增加的同时，电弧电压也相应增加。但是，在每一档焊接电流上约有10V左右的电压变动范围，较低的电压将焊出窄焊道，而较高电压将焊出宽焊道，超出10V的工作范围焊缝金属的质量下降。

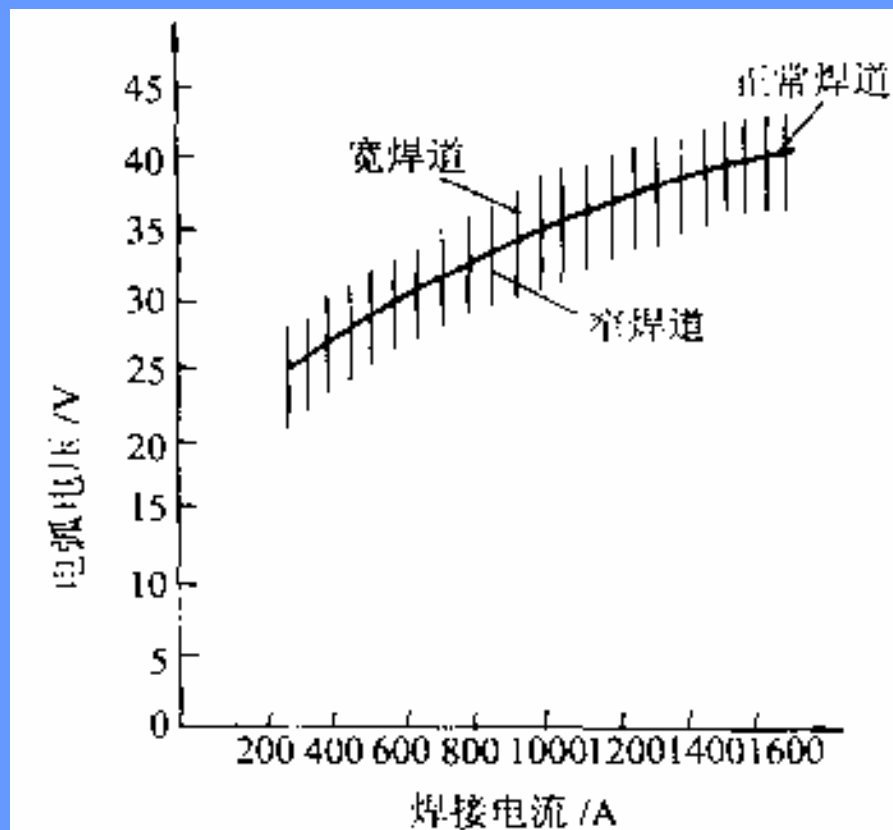
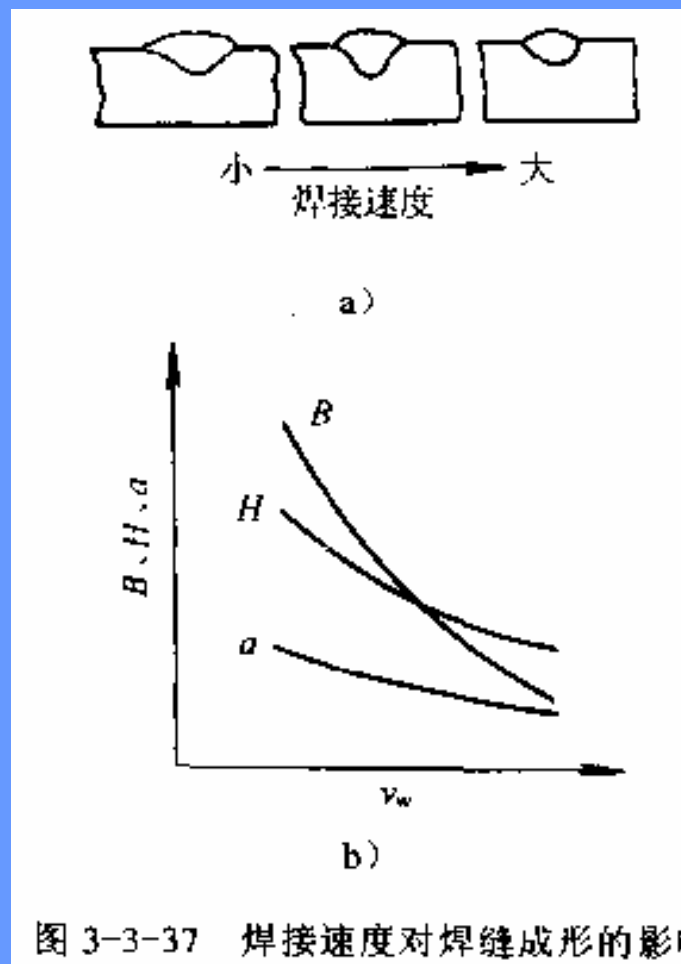


图 3-3-36 埋弧焊实际应用中的焊接
电流与电弧电压的关系^[5]

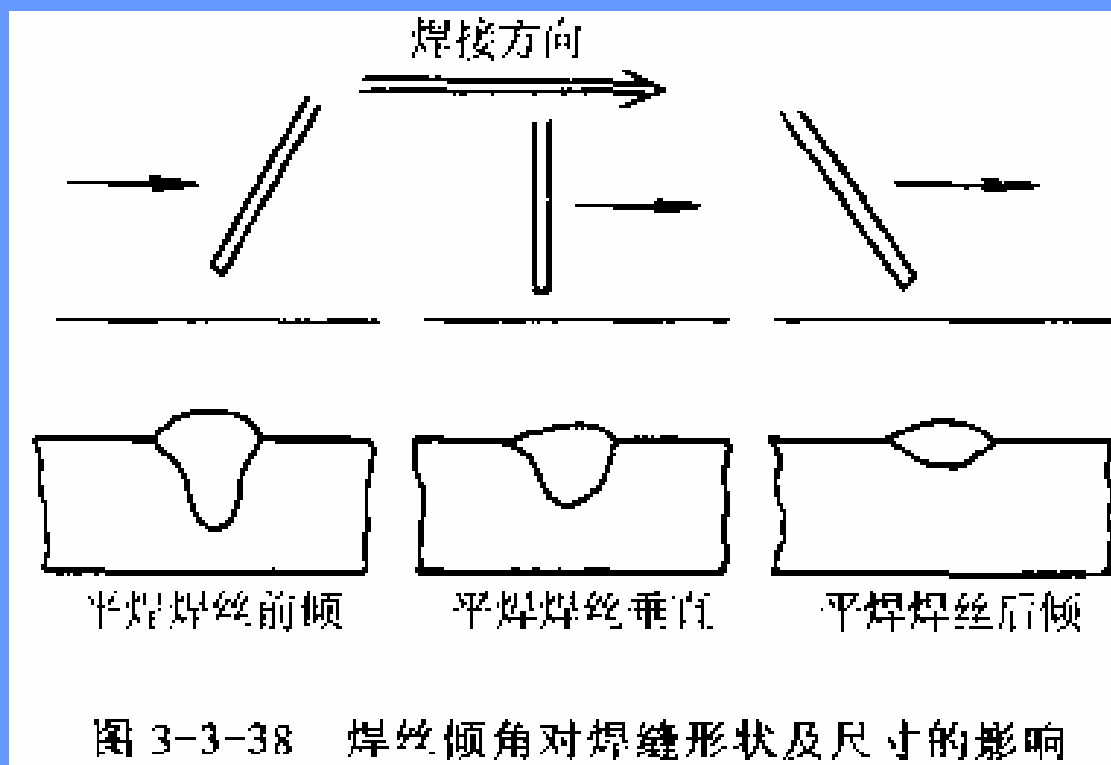
- 焊接速度：在其他条件不变的情况下，焊接速度对焊缝形状及尺寸的影响如图3-3-37所示。提高焊接速度则单位长度焊缝上输入热量减小，加入的填充金属量也减少，于是熔深减小、余高降低和焊道变窄。



✓ 工艺因素

主要指焊丝倾角、焊件斜度和焊剂层的宽度与厚度等。

- 焊丝倾角：通常认为焊丝垂直水平面的焊接为正常状态，若焊丝在前进方向上偏离垂线，如产生前倾或后倾，其焊缝形状是不同的，后倾焊熔深减小，熔宽增加，余高减少；前倾恰相反，见图3-3-38。



- 焊件倾斜：指焊件倾斜后使焊缝轴线不处在水平线上，出现了俗称的上坡焊或下坡焊。

□ 上坡焊随着斜角 β 增加重力引起熔池向后流动，母材的边缘熔化并流向中间，熔深和熔宽减小，余高加大。当倾斜度 β 角 $> 6^\circ \sim 12^\circ$ ，则余高过大，两边出现咬边，成形明显恶化，见图3-3-39a。应避免上坡焊，或限制倾角 β 小于 6° 。(约1: 10)。

□ 下坡焊效果与上坡焊相反，若 β 过大，焊缝中间表面下凹，熔深减小，熔宽加大，就会出现未焊透、未熔合和焊瘤等缺陷。在焊接圆筒状工件的内、外环缝时，一般都采用下坡焊，以减少烧穿的可能性，并改善焊缝成形。

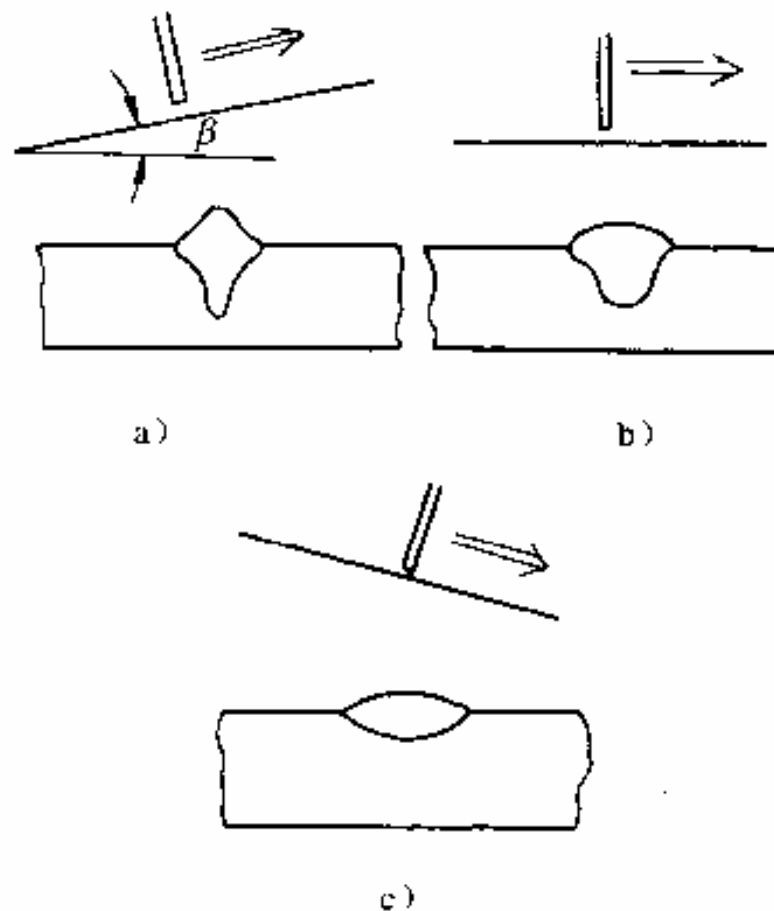


图 3-3-39 焊件倾斜对焊缝形状及尺寸的影响

a) 上坡焊 b) 平焊 c) 下坡焊

- 焊剂层厚度：在正常焊接条件下，被熔化焊剂的重量约与被熔化的焊丝的重量相等。焊剂层的厚度对焊缝外形与熔深的影响见图3-3-41。
 - ❑ 焊剂层太薄时，则电弧露出，保护不良，焊缝熔深浅，易生气孔和裂纹等缺陷。
 - ❑ 过厚则熔深大于正常值，且出现峰形焊道。
 - ❑ 在同样条件下用烧结焊剂焊的熔深浅，熔宽大。其熔深仅为熔炼焊剂的70%-90%。

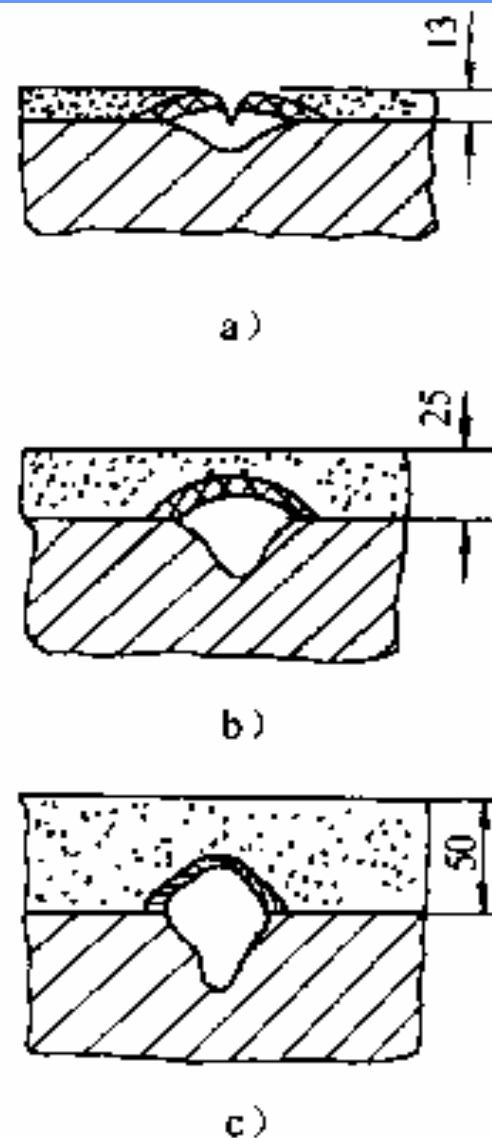
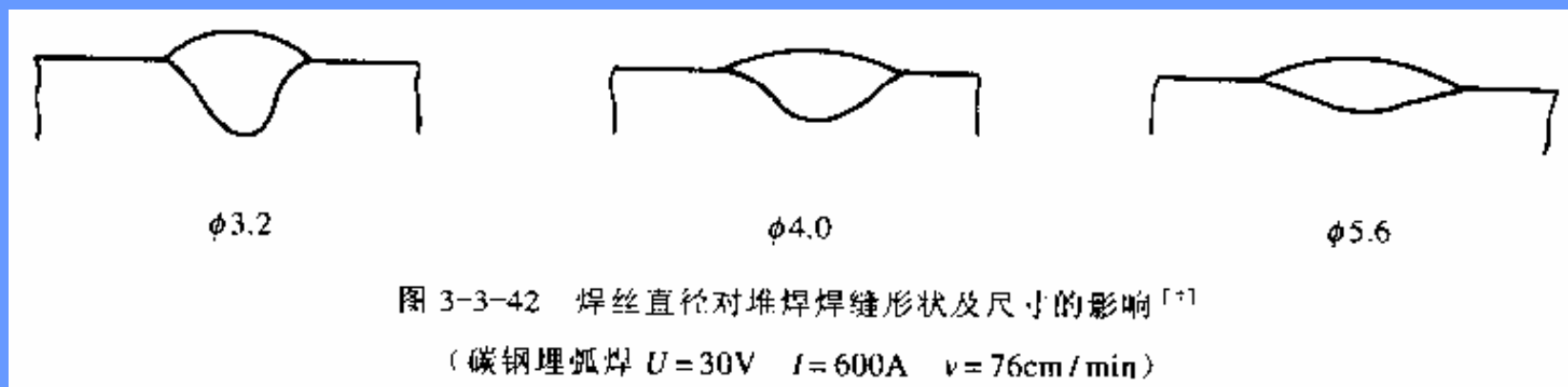


图 3-3-41 焊剂层厚度对焊缝形状的影响
a) 焊剂层太薄 b) 正常 c) 焊剂层太厚


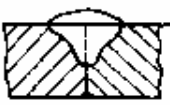




- 焊剂粗细：焊剂粒度增大时，熔深和余高略减，而熔宽略增，即焊缝成形系数和余高系数增大，而熔合比稍减。
- 焊丝直径：在其他工艺参数不变的情况下，减小焊丝直径，意味着焊接电流密度增加，电弧窄，因而焊缝熔深增加，宽深比减小，见图3-3-42。
- 极性：直流正极性(焊件接正极)，焊缝的熔深和熔宽比直流反接的小，而交流电乎两者之间。



✓ 结构因素

主要指接头形式、坡口形状、装配间隙和工件厚度等对焊缝形状和尺寸的影响。表3-3-10列出其它焊接条件相同情况下坡口形状和装配间隙对接接头焊缝形状的影响。

表 3-3-10 接头的坡口形状与装配间隙对焊缝形状的影响

| 坡 口 名 称 | 表 面 堆 焊 | I 形 坡 口 | | | V 形 坡 口 | |
|---------|--|--|--|--|--|--|
| 结构状况 | 平面 | 无间隙 | 小间隙 | 大间隙 | 小坡口角 | 大坡口角 |
| 焊缝形状 |  |  |  |  |  |  |

高效埋弧焊接工艺与技术

- 多丝埋弧焊
- 带极埋弧焊
- 窄间隙埋弧焊

➤ 多丝埋弧焊

同时使用两根以上焊丝完成同一条焊缝的埋弧焊称为多丝埋弧焊。

- ✓ **优点：**它既能保证获得合理的焊缝成形和良好的焊缝质量，又可大幅度地提高焊接生产率。目前工业上应用最多的是双丝和三丝埋弧焊，在特殊情况下可用到十几根焊丝的埋弧焊。
- ✓ 双丝埋弧焊为例，它的两根焊丝之间的排列有横列式和纵列式两种。
- ✓ 横列式是一根焊丝位于另一根焊丝的一侧沿着焊接方向移动，它可以焊出较宽的焊缝，这对于装配不良的接头焊接或表面堆焊很有利；
- ✓ 纵列式是沿着焊接方向一前一后向前移动，当两焊丝靠近（一般在10-30mm）时，两电弧共形成一个大熔池，其体积大，存在时间长，冶金反应充分，有利于气体逸出，冷凝过程不易生气引等缺陷。

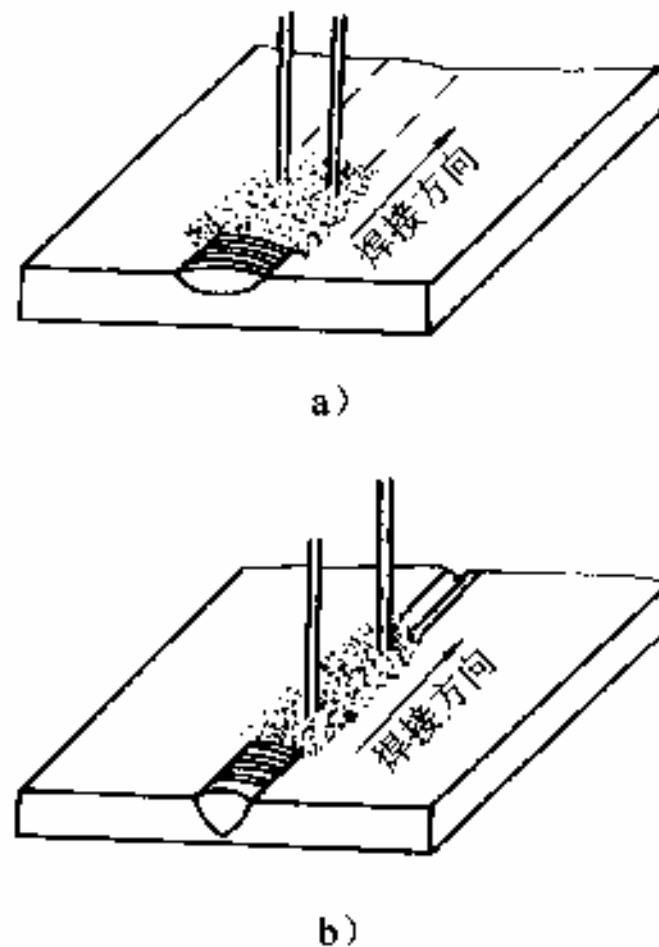
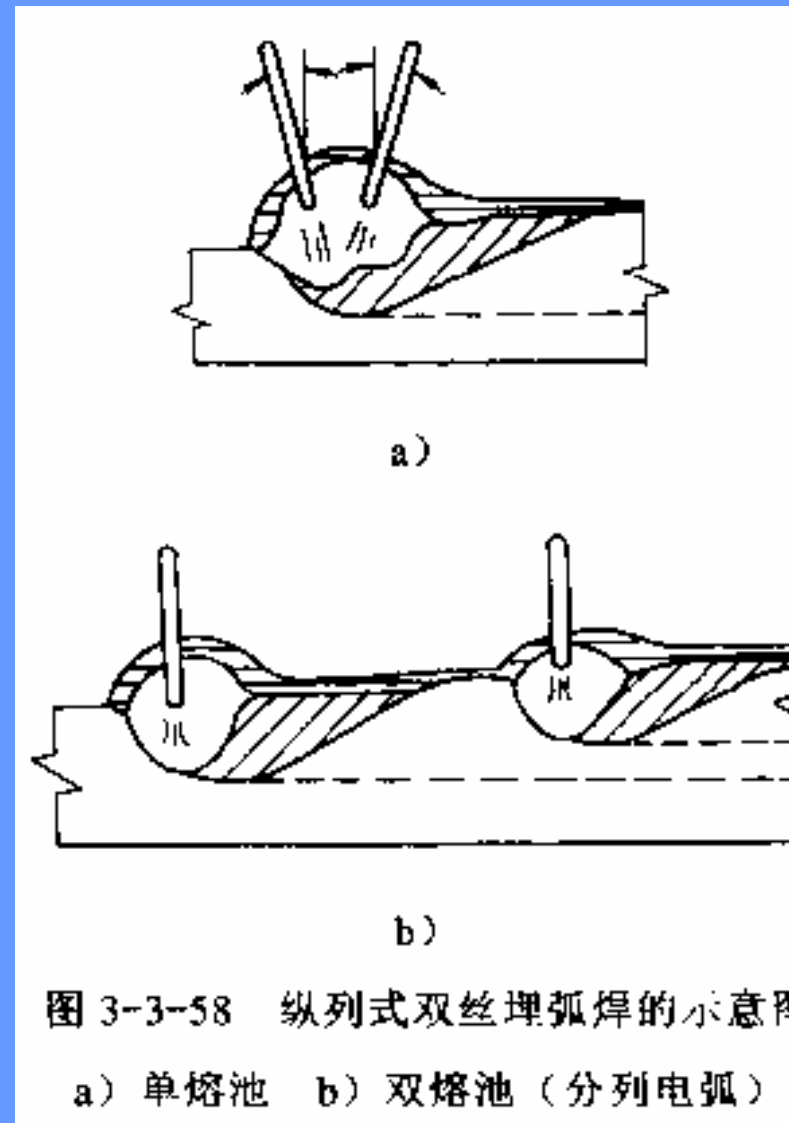


图 3-3-57 双丝埋弧焊焊丝排列方式

a) 横列式 b) 纵列式

- 当前后焊丝远离(一般大于100mm)时,两熔池则分离,见图3-3-58,后随电弧不是作用在基本金属上,而是作用在前导电弧已熔化而又凝固的焊道上。同时后随电弧必须冲开已被前一电弧熔化而尚未凝固的熔渣层,若前后焊丝使用不问的焊接电流和电压,就可以控制焊缝成形。通常使前导电弧获得足够大的熔深,使后随电弧获得所需的缝宽。这种力法很适合水平位置平板拼接的单面焊背面成形工艺,对于厚板大熔深的焊接也十分有利。



- 双丝埋弧焊可以由一个电源同时供给两根焊丝用电，见图3-3-59（并联连接）。这种情况通常采用较小直径的焊丝，从一个共用导电嘴送出。两根焊丝靠得较近，形成一个长形熔池，以改善熔池的形状特征，在保持适当的焊道外形的情况下可以加快焊接速度。这种焊接工艺可以进行角焊缝的横焊和“船形”焊，以及对接坡口焊缝焊，其熔敷率比一般单丝埋弧焊高40%以上，其焊接速度对薄件比单丝埋弧焊快25%以上，对厚件快50%-70%；由于焊接热输入小，可以减小焊接变形，对热影响区韧性要求高而对热敏感的高强钢焊接很有利。

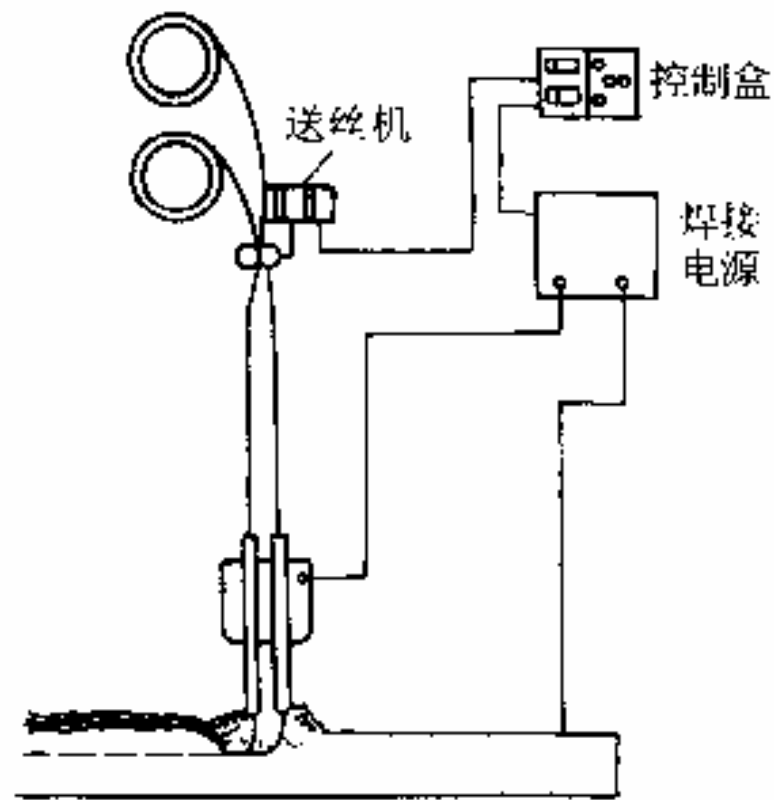


图 3-3-59 单电源的双丝埋弧焊（并联）

而图3-3-60则为双丝埋弧焊串联连接，串联连接焊接时，电流从一根焊丝通过焊接熔池流到另一根焊丝。焊件与电源之间并不连接，几乎所有焊接能量都用于熔化焊丝，而很少进入工件中，因此，这种连接很适于在母材上熔敷具有很小稀释率的堆焊层。

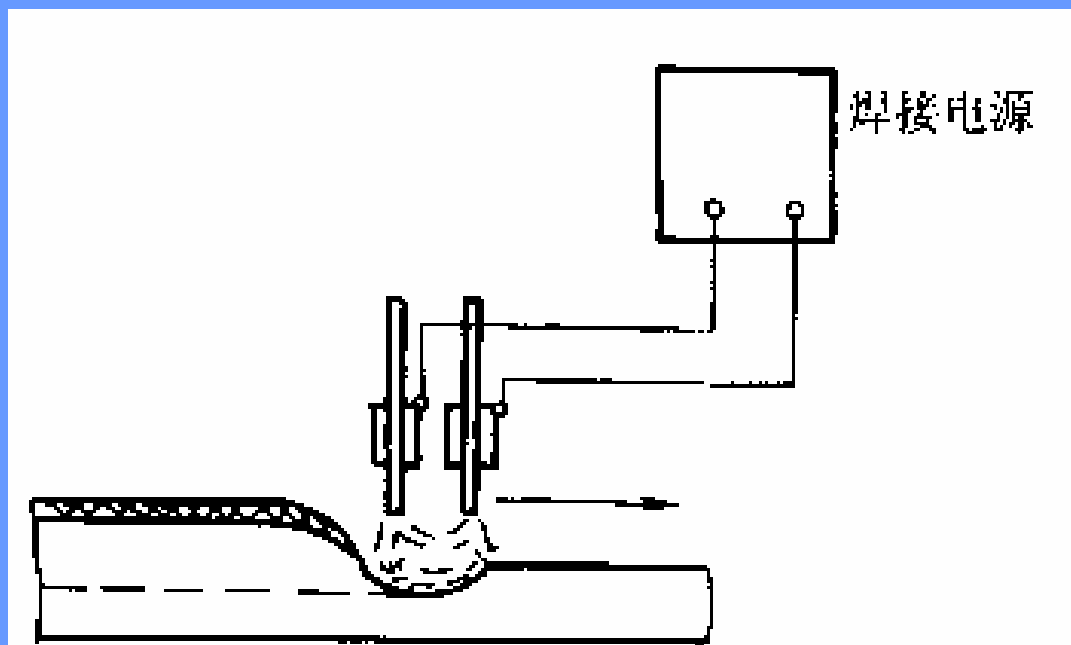


图 3-3-60 单电源的双丝埋弧焊（串联）

➤ 带极埋弧焊

带极埋弧焊是利用金属带作电极的一种埋弧焊接方法。其主要目的是提高焊缝金属的熔敷率和改善焊缝成形。熔敷速度高达60-70kg / h，熔化系数可达60g / (A·h)，比丝极埋弧焊高2-3倍。宽的金属带用于表面堆焊，窄的金属带多用于接缝的焊接。

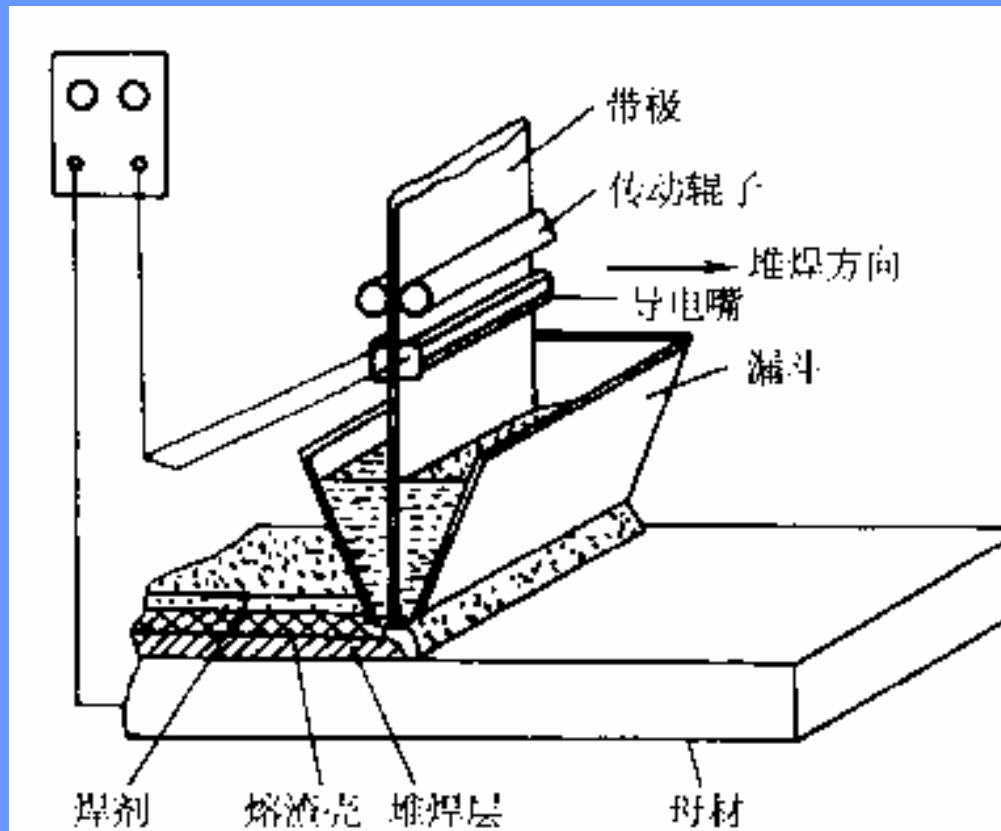
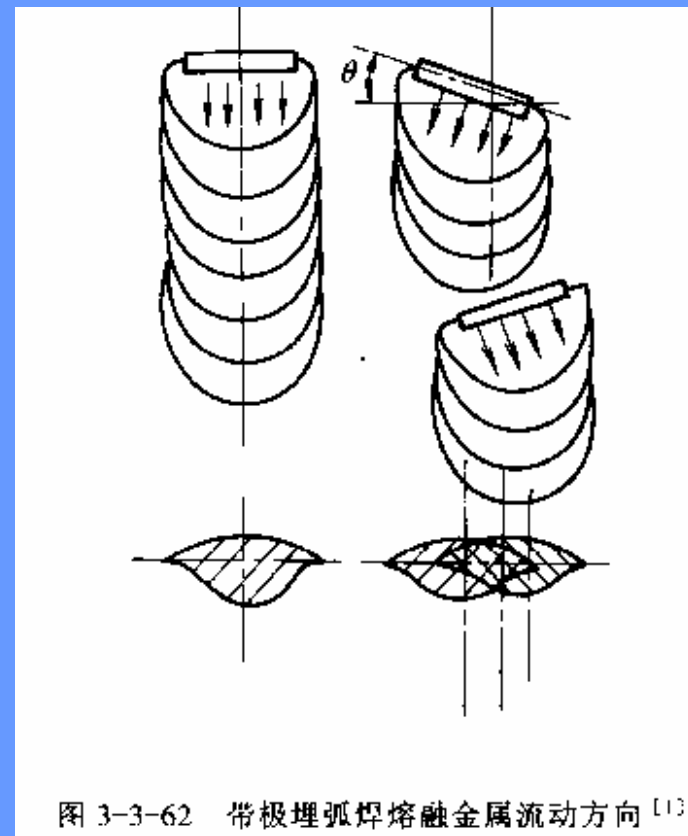


图 3-3-61 带极埋弧焊装置示意图

带极埋弧焊特点

- a) 与丝极埋弧焊对比，可使用更大的焊接电流。用丝极焊时，电流加大则熔深增加而缝宽变窄，即焊缝形状系数减小，容易产生裂纹。用带极焊时，电弧在电极端面上往返快速运动，使热量分散，焊缝形状系数得以提高，焊缝抗裂纹能力强；
- b) 熔深浅，稀释率低，熔敷率高，熔敷面积大，焊缝边缘平整，熔合线整齐、焊剂耗量小等，很适于表面堆焊。
- c) 焊接时，熔融的金属与电极宽度方向成直角流动（见图），将电极偏转一个角度，就可使焊道移位，用此法可控制焊道的形状和熔深。在坡口中多层焊时，交替地和对称地改变电极偏转角 θ ，有可能获得均匀分布的焊缝。



带极埋弧焊设备:

带极埋弧焊所用设备与丝极埋弧焊几乎相同，只须对送丝装置、导电嘴等作适于带极需要的修改即可。可以使用直流或交流焊接电源。

带极埋弧焊焊接材料:

堆焊用带极的厚度一般在0.4-1.0mm范围，宽度常用25-100mm之间，亦有用到150mm以上的，焊接工艺参数由带极的尺寸确定。带极材料由堆焊层的化学成分和性能要求决定，而且要和焊剂合理组配。带极埋弧堆焊主要采用烧结焊剂，因为烧结焊剂可以很容易地加入堆焊层所需的合金元素，焊时再通过焊剂过渡到堆焊层中去。带极材料与焊剂组配原则与丝极埋弧焊相同。

➤ 窄间隙埋弧焊

窄间隙埋弧焊是由窄间隙气电立焊演变而成，是近年发展起来的一种高效、省时和节能的厚板焊接的方法。焊接时，采用I形或接近I形坡口单面焊，其间隙在20-30mm之间，比普通埋弧焊接同样厚板须采用U形成双U形坡口，可节省大量填充金属和焊接时间。

窄间隙埋弧焊的特点：

优点：

- 缩短焊接时间
- 减少焊接材料消耗或费用
- 还有焊接热输入小，改善接头韧性和减少焊接变形，从而提高焊接质量。

缺点：

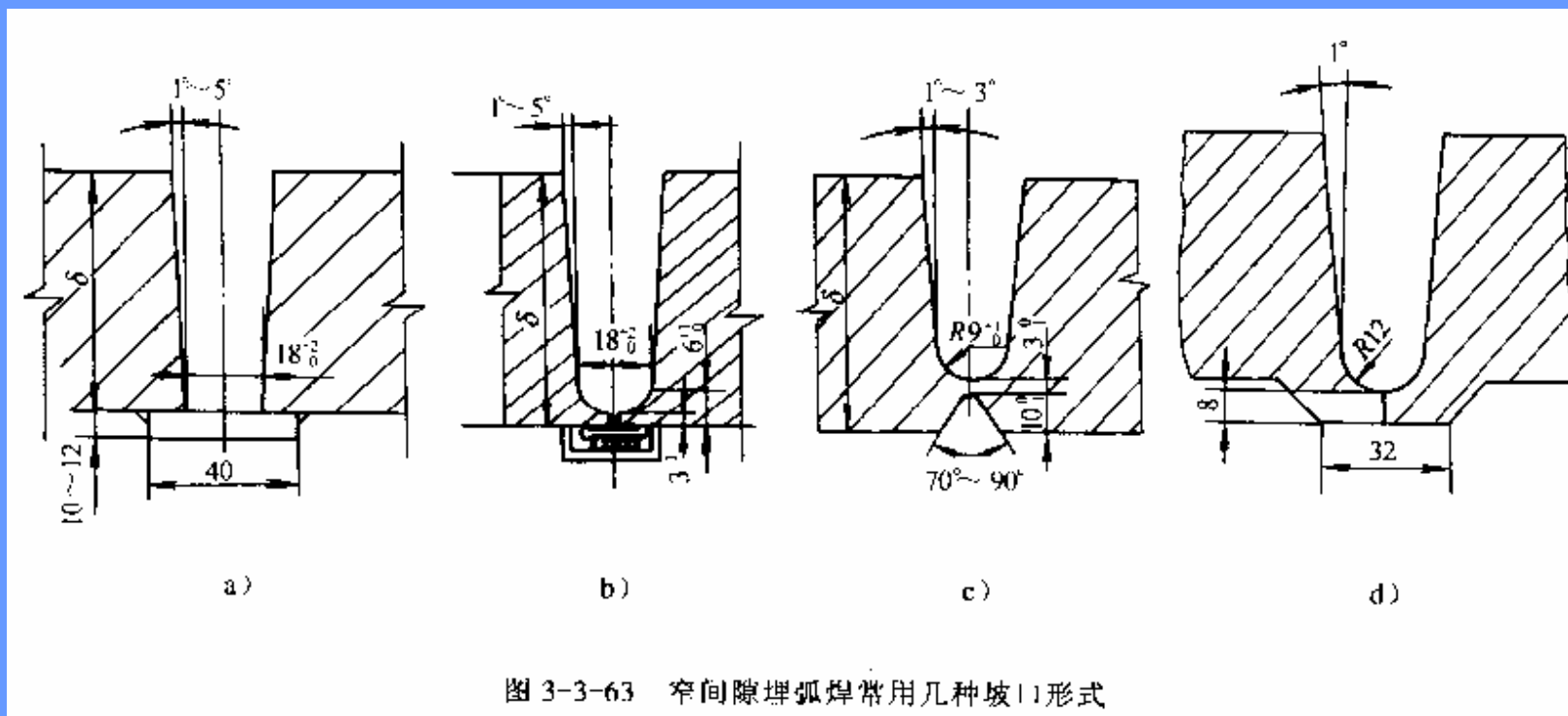
- 要求高的焊接技能
- 装配质量要求高，要有精确的焊丝位置(能自动对中)
- 对焊剂的脱渣性要求高
- 出现缺陷，进行焊接修补困难

窄间隙埋弧焊的设备:

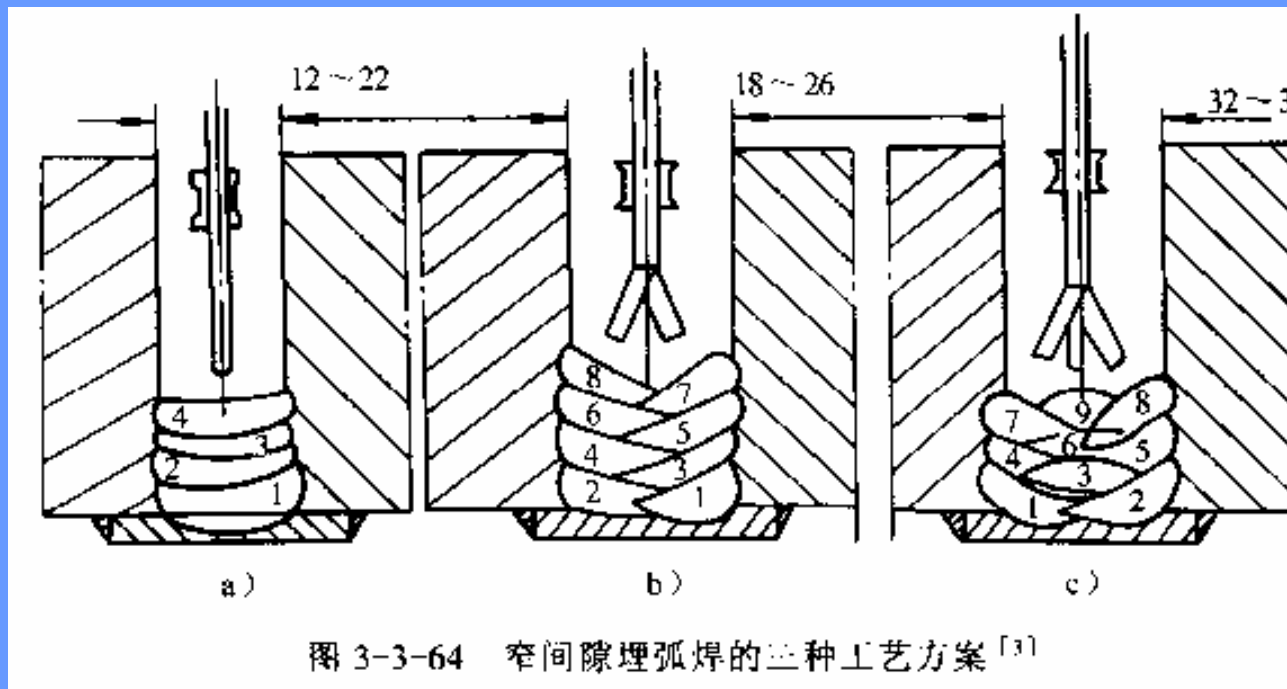
窄间隙埋弧焊使用的是普通埋弧焊机，但需安装一套特殊的导电嘴，它能插入到窄间隙中去，和一套能自动监控的跟踪装置保证焊丝的位置与对中。

窄间隙埋弧焊常用的坡口形式

与焊缝背向清根的可能性有关，图3-3-63是常用的几种形式。图中a和b带固定衬垫和陶瓷衬垫的坡口，主要用于直缝对接；容器环缝多采用图c和d的坡口。装配时，对坡口两侧壁的距离沿缝要均匀一致，允差不应超过3mm，否则很难保证焊缝的高质量。



- 每层单道焊(图3-3-64a)适用于板厚70-150mm的焊件，但须严格控制坡口精度和焊接工艺参数，否则焊道根部易产生热裂纹。特别当焊接碳当量较高的钢材时，宜用较低的焊接电流和焊接速度，以获得较大的焊缝宽深比。
- 每层双道焊(图3-3-64b)适用于板厚 $>150-300\text{mm}$ ，双道焊易焊透也易清渣，工艺参数允许范围大，热输入小，因而焊缝韧性更好。
- 板厚 $>300\text{mm}$ 宜用每层三道焊(图3-3-64c)。



钨极氩弧焊(TIG焊)

1. 基本原理

在惰性气体的保护下，利用钨电极与工件之间产生的电弧热熔化母材和填充焊丝的焊接方法称钨极惰性气体保护焊，简称TIG(Tungsten Inert Gas Welding)。

焊接时，惰性气体1从焊枪的喷嘴2中连续喷出，在电弧4周围形成气体保护层隔绝空气，以防止对钨极3、熔池5及邻近热影响区的有害影响，从而获得优质焊缝6。薄板焊接一般不需填充金属。需填充金属时，把焊丝8从旁边不断送入焊接区，靠电弧热熔入熔池而成为焊缝金属的组成部分。

TIG焊接过程

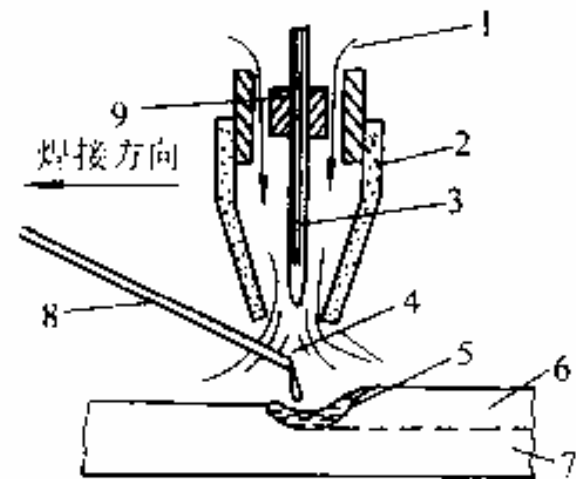


图 3-4-1 TIG 焊原理示意图

1—惰性气体 2—喷嘴 3—钨电极

4—电弧 5—熔池 6—焊缝金属

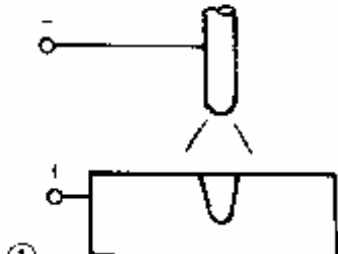
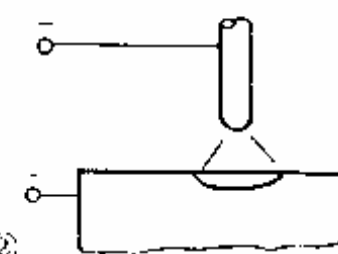
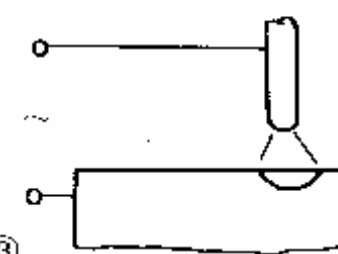
7—母材 8—焊丝（填充金属） 9—导电嘴

- ✓ TIG焊有手工焊、半自动焊和自动焊三种操作方式。
- ✓ 手工焊时，焊枪的运动和焊丝的送进均由焊工左右手同时操作；
- ✓ 半自动焊时，焊枪由手工操作，焊丝由专门的送丝机构等速地自动输送；
- ✓ 自动焊时，分别有行走机构、送丝机构完成焊枪的运动和焊丝的送进。
- ✓ 手工TIG焊宜用于结构形状较复杂的焊件和难以接近的部位或间断的短焊缝的焊接；自动TIG焊适于焊接长焊缝，包括纵缝、环缝和曲线焊缝。

2. TIG焊的工艺特点

- 1)焊接时使用不熔化的钨电极，不存在电极熔化对弧长的影响问题，故电弧长度易于控制。需要填充金属时，可从侧面向电弧送进焊丝，焊接电流不受影响。
- 2)焊接时，保护焊接区的是惰性气体，不需加入任何焊剂即可获得纯净的焊缝金属。因此，几乎可以焊接所有的金属。
- 3)为了避免钨极损坏和焊缝金属被钨污染，一般不用接触(短路)式引弧，而采用非接触式引弧。为此，需配备一个引弧装置；对于普通交流TIG焊，还需配备稳弧装置，以使焊接过程电弧稳定。
- 4)无论使用直流电源还是使用交流电源，都要求具有陡降或垂直下降(即恒流)的外特性，以减小或排除因弧长变化引起焊接电流的波动。

表 3-4-1 各种电流 TIG 焊的工艺特点

| 电流种类 | 直 流 | | 交流对称波形 |
|------------|--|--|--|
| | 正 接 | 反 接 | |
| 示意图 |  ① |  ② |  ③ |
| 两极热量的近似比例 | 焊件 70%，钨极 30% | 焊件 30%，钨极 70% | 焊件 50%，钨极 50% |
| 焊缝形状特征 | 深，窄 | 浅，宽 | 中等 |
| 钨极许用电流 | 最大（ $\phi 3.2\text{mm}$ ，400A） | 小（如 $\phi 6.4\text{mm}$ ，120A） | 较大（如 $\phi 3.2\text{mm}$ ，225A） |
| 稳弧措施 | 不需要 | 不需要 | 需要 ^① |
| 阴极清洗（破碎）作用 | 无 | 有 | 有（当焊件为负半周时） |
| 消除直流分量装置 | 不需要 | 不需要 | 需要 ^① |
| 适用材料 | 氩弧焊：除铝、镁及其合金、铝青铜外的其余金属。 氦弧焊：几乎所有金属 | 一般不采用 | 铝、镁及其合金，铝青铜等 |

① 若使用方波电源，则不需要。

- 使用直流电源焊接时，对于绝大多数金属应采取正接法。但是，正接法没有阴极清洗作用，无法焊接那些容易被氧化的铝、镁及其合金。
- 直流反接法具有阴极清洗作用，能够焊接铝、镁及其合金，但是直流反接的焊缝熔深浅、缝宽大，若增加焊接电流又受到钨极易烧损的限制，故这类金属多采用交流TIG焊。
- 利用交流TIG焊焊接铝、镁等轻金属，主要是因它具有阴极清洗作用，但是在焊接电路中又出现直流分量问题和电弧不稳定问题。直流分量削弱了阴极清洗作用，恶化焊接变压器的工作条件，因此，需要有消除直流分量的装置。电弧不稳定需使用当电流过零时，能使电弧再引燃的稳弧装置。

3. TIG焊的优缺点

1) 优点

- (1) 在惰性气体保护下焊接，不需使用焊剂就可以焊接几乎所有的金属；特别适于焊接化学活性强和形成高熔点氧化物的铝、镁及其合金。
- (2) 焊接工艺性能好。明弧，能观察电弧及熔池；电弧燃烧稳定，无飞溅，焊后不须去渣，焊缝成形美观；能进行全位置焊接。是实现单面焊背面成形的理想焊接方法。
- (3) 能进行脉冲焊接，减少焊接热输入，很适于薄板或对热敏感材料的焊接。

2) 缺点

- (1) 熔深浅，熔敷速度小，焊接生产率较低；
- (2) 钨极载流能力有限，过大焊接电流会引起钨极熔化和蒸发，其微粒可能进入熔池，造成对焊缝金属的污染；
- (3) 焊接时，需采取防风措施；
- (4) 惰性气体较贵，生产成本较高。

4. 适于范围

1) 适焊的材料

TIG几乎可焊接所有的金属和合金，但因其成本较高，生产中主要用于焊接铝、镁、钛、铜等有色金属及其合金，不锈钢和耐热钢。对于低熔点的易蒸发的金属如铅、锡、锌等因焊接操作困难，一般不用TIG焊。对已镀有锡、锌、铝等低熔点金属层的碳钢，焊前须去掉镀层，否则熔入焊缝金属中生成中间合金会降低接头性能。

2) 适焊的焊接接头和位置




常规的对接、搭接、T形接和角接等接头处在任何位置(即全位置)只要结构上具有可达性均能焊接,薄板〔 $\leq 2\text{mm}$ 〕的卷边接头,搭接的点焊(又叫电铆焊)接头均可以焊接,而且无需填充金属。

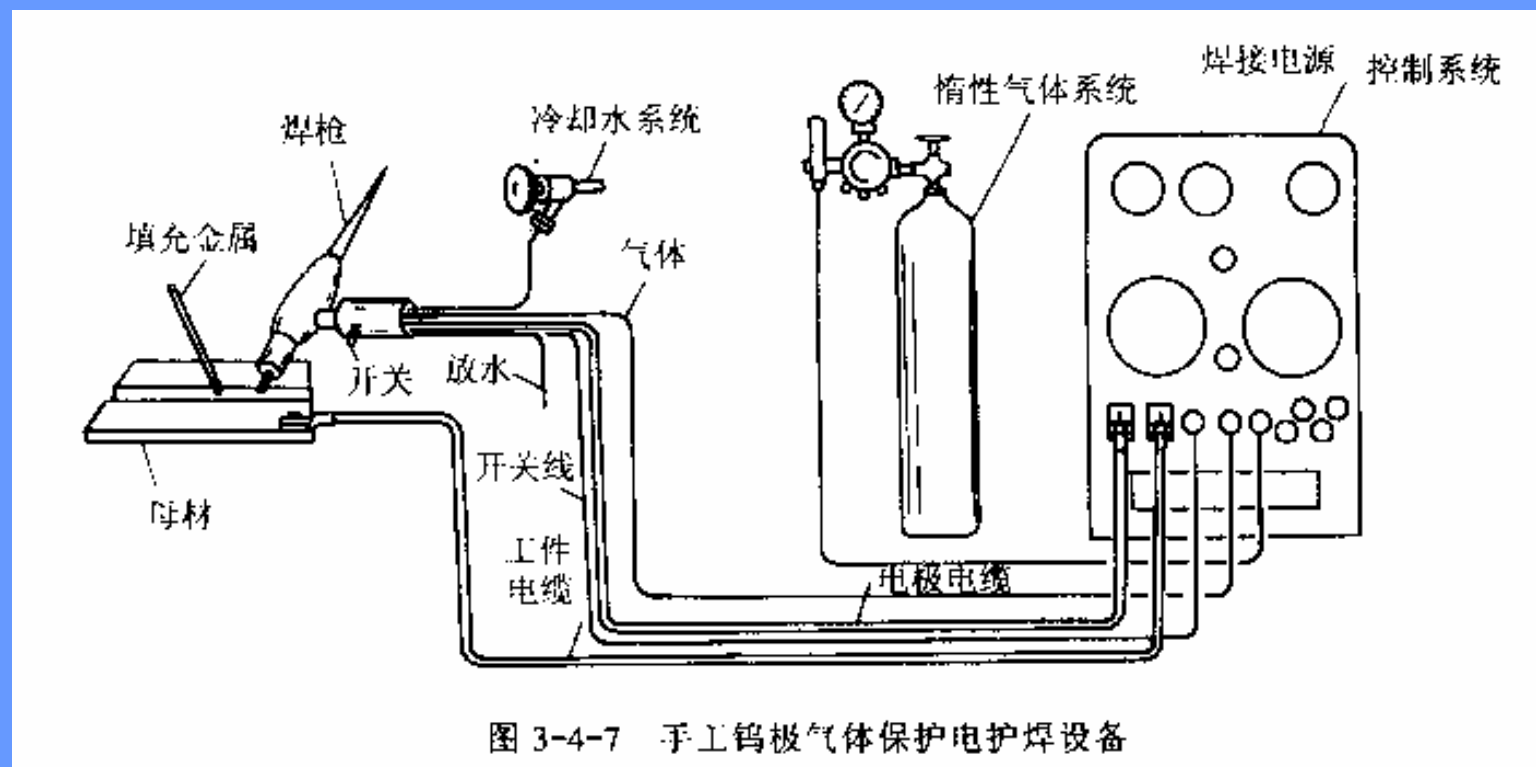
3) 适焊的板厚与产品结构

表3-4-2给出了TIG焊适用的焊件厚度一般范围，若从生产率考虑以3mm以下的薄板焊接最适宜。

厚壁构件如压力容器、管道、汽轮机转子等对接焊缝的根部熔透焊道或其他结构窄间隙焊缝的打底焊道，为了保证焊接质量，有时采用TIG焊。

表 3-4-2 TIG 焊焊件厚度的适用范围

| 厚度/mm | ① | 0.13 | 0.4 | 1.6 | 3.2 | 4.8 | 6.4 | 10 | 12.7 | 19 | 25 | 51 | 102 |
|---------|---|---|-----|-----|-----|-----|-----|----|------|----|----|----|-----|
| 不开坡口单道焊 | ② |  | | | | | | | | | | | |
| 开坡口单道焊 | ③ |  | | | | | | | | | | | |
| 开坡口多层焊 | ④ |  | | | | | | | | | | | |



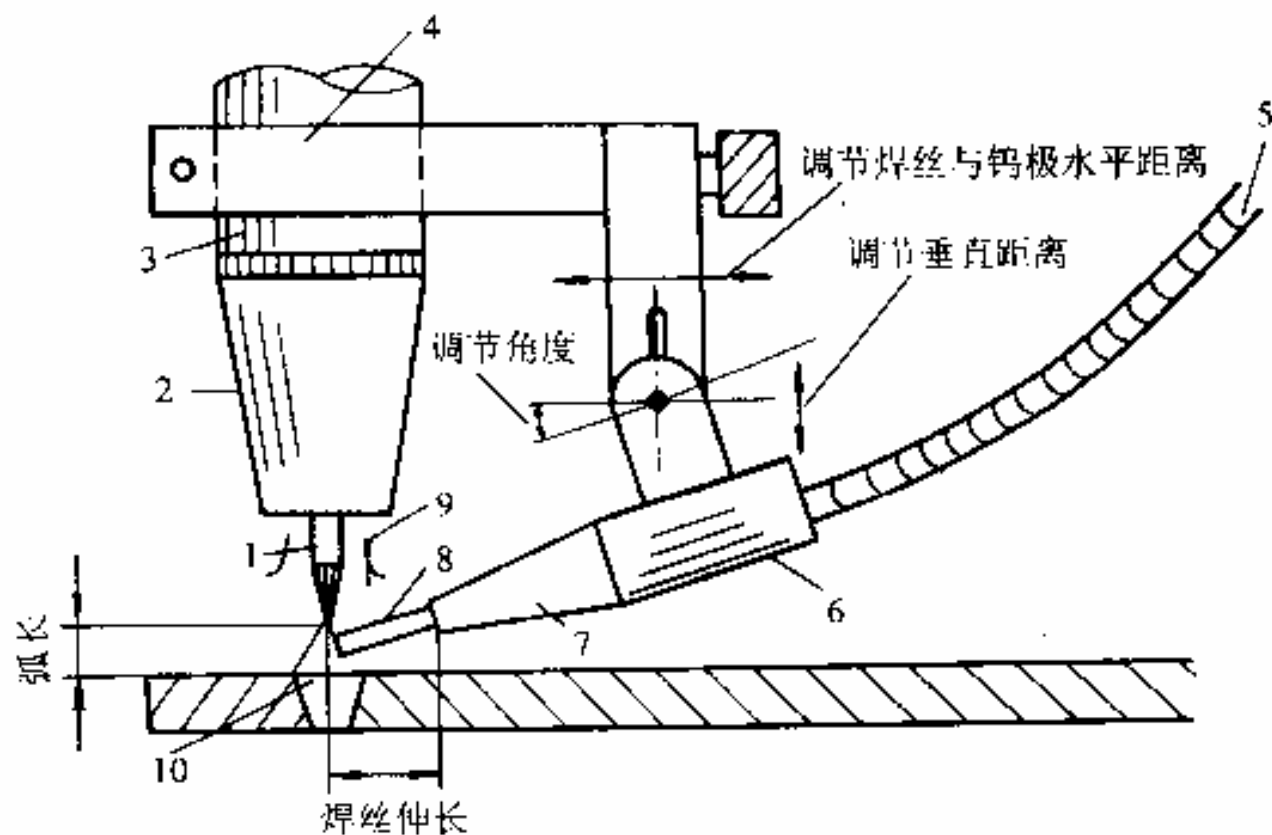


图 3-4-8 自动 TIG 焊焊枪与导丝嘴的调节

1—钨极 2—喷嘴 3—焊枪体 4—焊枪夹 5—焊丝导管
6—导丝装置 7—导丝嘴 8—焊丝 9—保护气流 10—熔池

4) 焊接材料

(1) 钨极

钨极是TIG焊焊枪中的易耗材料。钨〔W〕的熔点为 3400°C ，是熔点最高的金属，其电子逸出功为 4.54eV ，与铁相当。但因其熔点比其他金属高，在高温时有强烈的电子发射能力，故是目前最好的一种不熔化电极的材料。

钨的纯度约99.5%(质量分数)，当在钨中加入微量逸出功较小的稀土元素，如钍(Th)、铈(Ce)、锆(Zr)等，或它们的氧化物，如氧化钍(ThO_2)、氧化铈(CeO)等，则能显著地提高电子发射能力。铈钨极的逸出功为 24eV ，钍钨极为 27eV 。既易于引弧和稳弧，又可提高其电流的承载能力。

表 3-4-11 国产钨电极的种类与化学成分^[4]

| 种类与牌号 | | 化 学 成 分 (质量分数, %) | | | | | | |
|-------|--------|-------------------|------|------------------|--|------|------|----|
| | | ThO ₂ | CeO | SiO ₂ | Fe ₂ O ₃ +Al ₂ O ₃ | CaO | Mo | W |
| 纯钨极 | W | — | — | 0.06 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 余量 |
| 钍钨极 | WTh—7 | 0.7~0.99 | — | | | | | |
| | WTh—10 | 1.0~1.49 | | | | | | |
| | WTh—15 | 1.5~2.0 | | | | | | |
| | WTh—30 | 3.0~3.5 | | | | | | |
| 铈钨极 | WCe—5 | — | 0.50 | <0.1 | | | | 余量 |
| | WCe—13 | — | 1.30 | | | | | |
| | WCe—20 | — | 2.00 | | | | | |

表 3-4-12 钨电极载流能力^[28]

(单位: A)

| 电极直径/mm | 直 流 正 接 | | | 直 流 反 接 | 交 流 |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 纯钨 | 钍钨 | 铈钨 | 纯钨 | |
| 1.0 | 20~60 | 15~80 | 20~80 | — | — |
| 1.6 | 40~100 | 70~150 | 50~160 | 10~30 | 20~100 |
| 2.0 | 60~150 | 100~200 | 100~200 | | |
| 3.0 | 140~180 | 200~300 | — | 20~40 | 100~160 |
| 4.0 | 240~320 | 300~400 | — | 30~50 | 140~220 |
| 5.0 | 300~400 | 420~520 | — | 40~80 | 200~280 |
| 6.0 | 350~450 | 450~550 | — | 60~100 | 250~300 |

(2) 保护气体

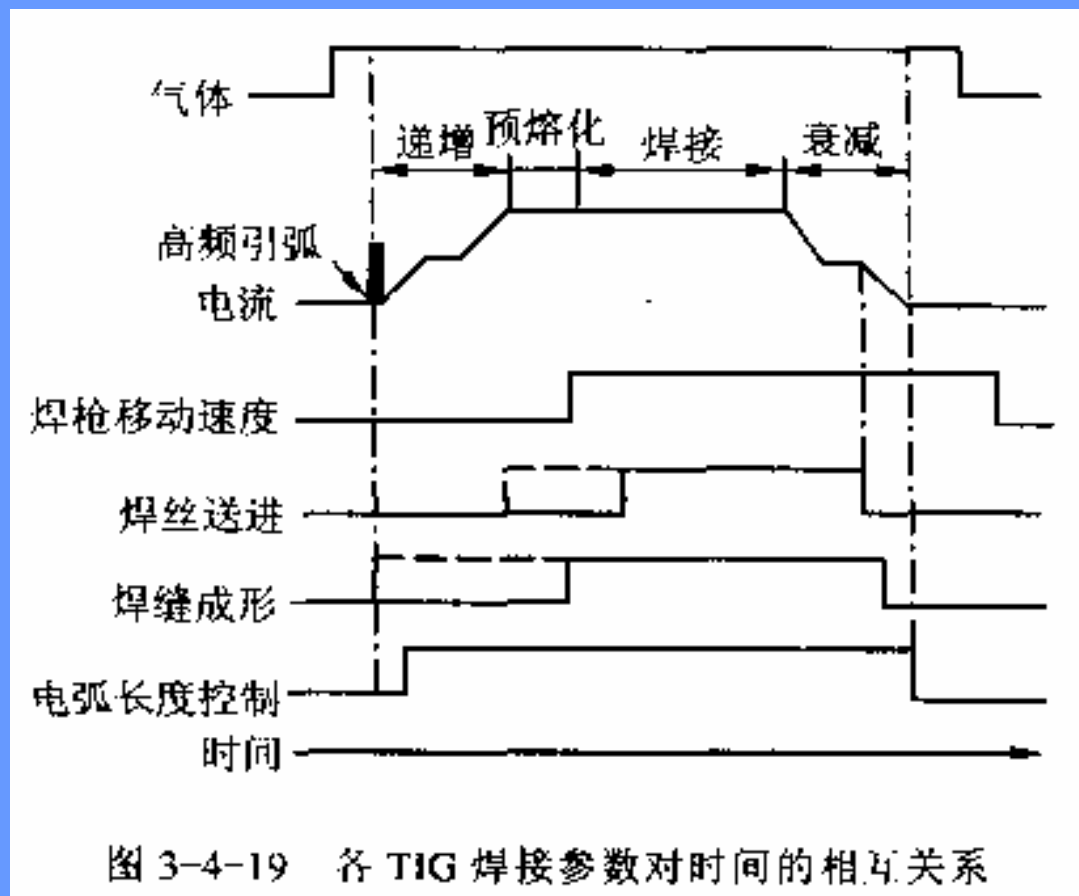
- TIG焊用的保护气体是氩(Ar)气、氦(He)气或氩、氦混合的惰性气体。
- 焊接不锈钢时在氩或氦中加入少量氢，可以提高焊接速度；
- 焊接铜及其合金时，有些情况在氩中加入些氦。由于氦(He)价格较贵，我国应用较少，主要用氩(Ar)气。
- 氩气电弧稳定而柔和，阴极清洗作用好；氦气电弧发热量大而集小，具有较大的熔深。如果两者混合使用就同时具有两者的优点。按体积分数计算，以氦占75%-80%，氩占25%-20%比较有效。
- 当用氩气保护焊接铝时，为了获得较大熔深，而加入氦，随氦的加入量增加，熔深也随之增加，实际使用时，是加至达到所需熔深为止。
- 惰性气体的纯度愈高，保护效果愈好，但其价格也愈昂贵，通常99.99%以上属高品位，只用于焊缝质量要求更高、更精密的焊接或极易氧化和难熔的金属的焊接。普通金属焊接对纯度的要求可适当降低，表3-4-13可供参考。

表 3-4-13 TIG 焊时材质对氩气纯度的要求

| 金 属 材 料 | 铜、铜合金、 铬镍不锈钢 | 铝、镁及 其合金 | 钛、难 熔金属 |
|----------|-----------------|-------------|------------|
| 氩气纯度 (%) | ≥99.7 | ≥99.9 | ≥99.98 |

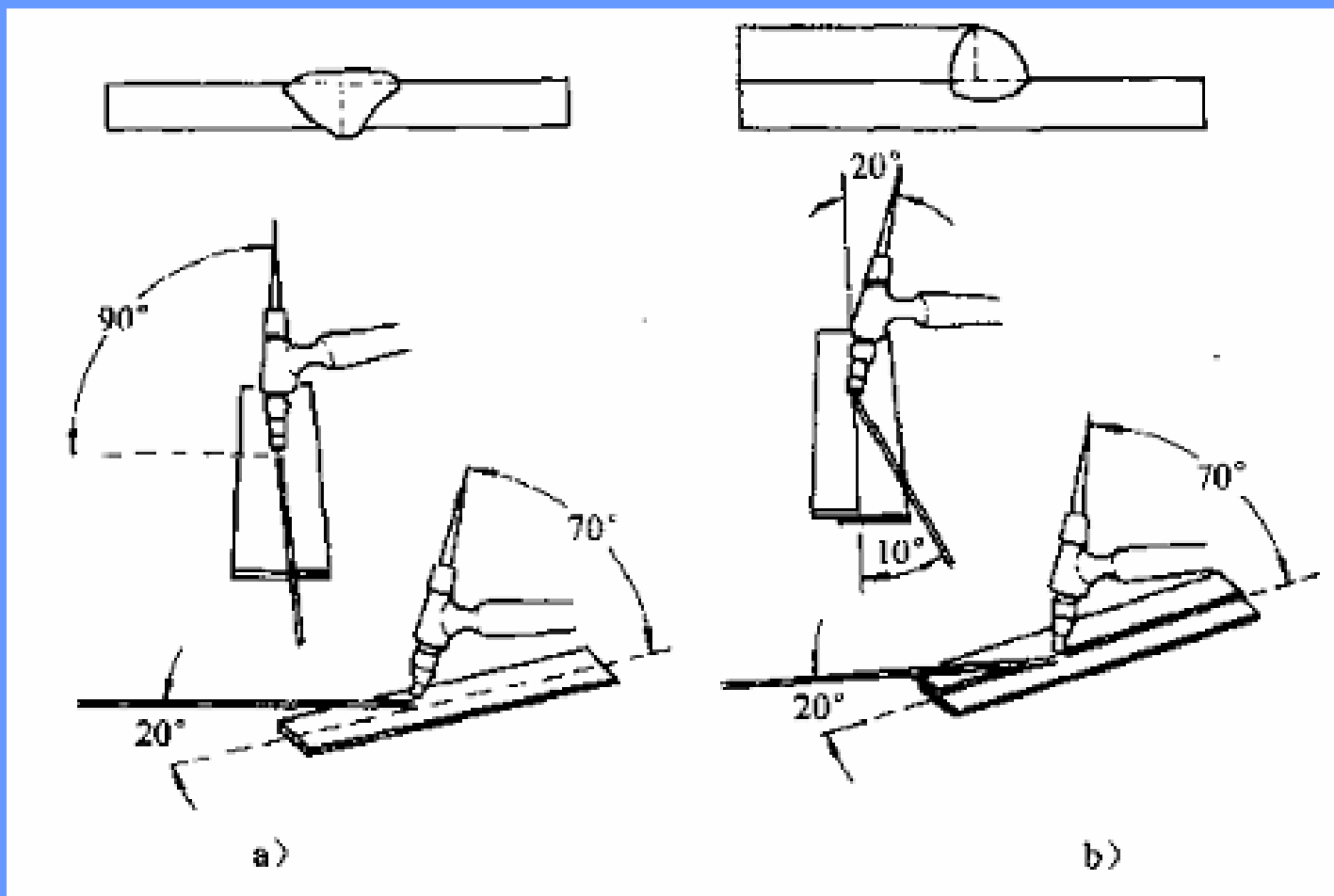
(3) 焊接工艺参数

TIG焊接的工艺参数主要是：焊接电流、钨极直径、喷嘴大小和保护气体流量、电弧电压(弧长)和焊接速度。此外，还有钨极伸出长度、喷嘴与工件之间相对位置等。焊接过程中某些焊接参数对时间的相互关系如图3-4-19所示。



TIG焊接的操作

常用焊接方法及其应用



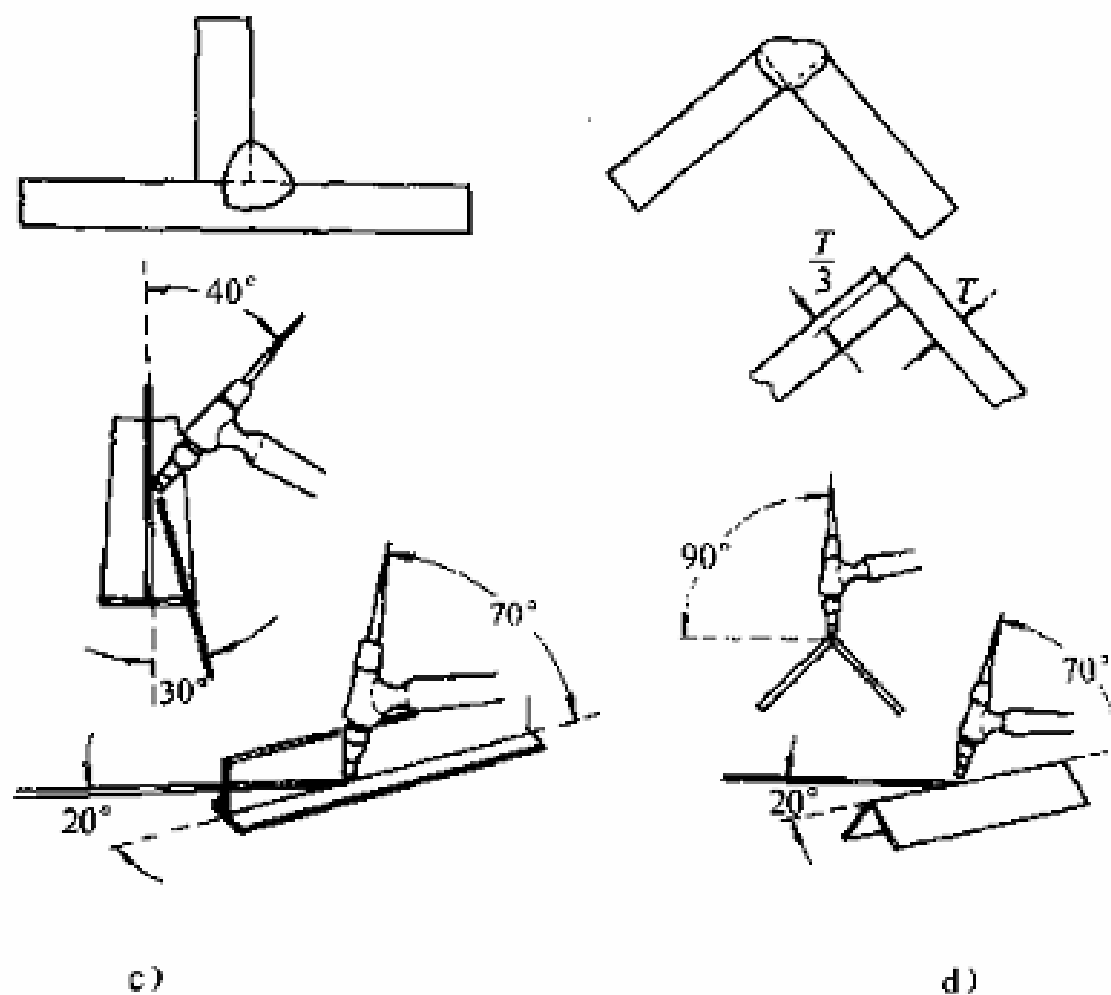


图 3-4-22 手工 TIG 焊焊接各种接头焊枪焊丝与工件之间的位置^[31]

a) 对接接头 b) 搭接接头 c) T形接头 d) 角接头

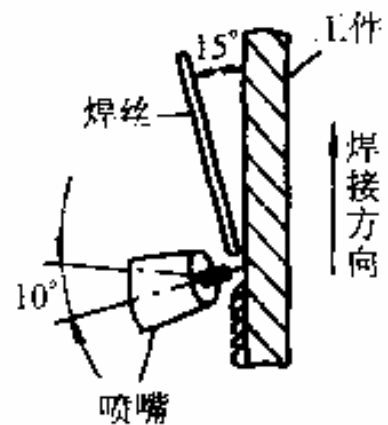
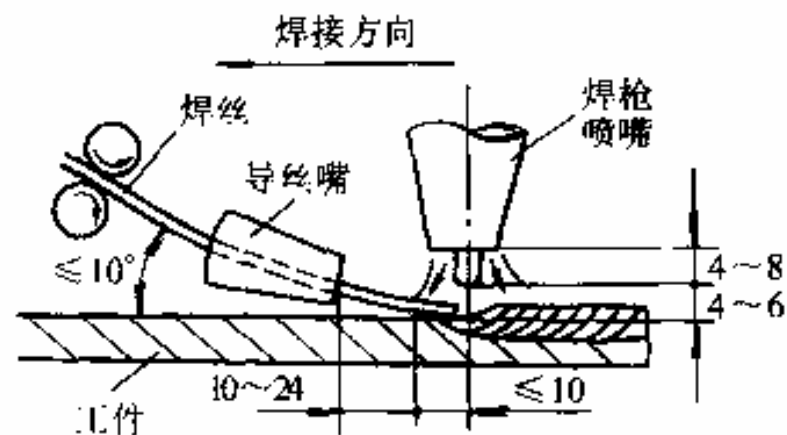


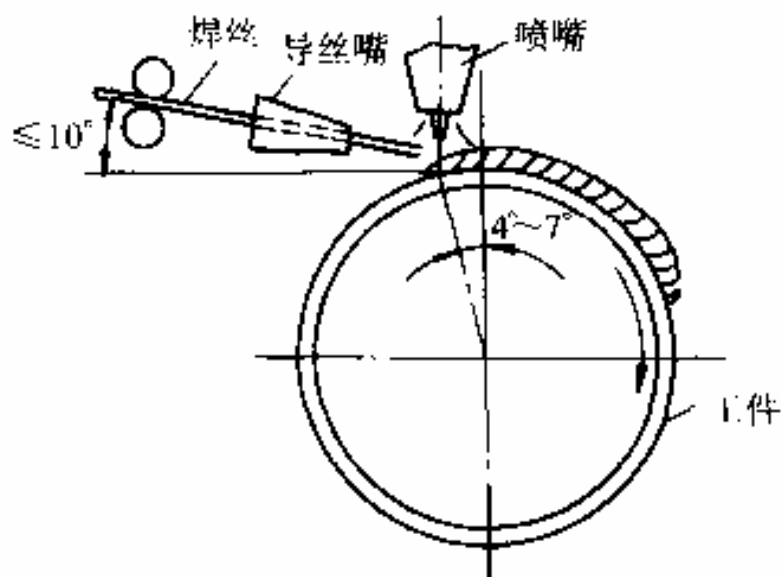
图 3-4-23 手工 TIG 立焊



a)

图 3-4-24 自动 TIG 焊

a) 平对接自动 TIG 焊



b)

图 3-4-24 自动 TIG 焊 (续)

b) 环缝自动 TIG 焊

热丝TIG

见“热丝TIG”

熔化极气体保护焊

1. 基本原理

熔化极气体保护焊是以可熔化的金属焊丝作电极，并由气体作保护的电弧焊。利用焊丝3和母材1之间的电弧2来熔化焊丝和母材，形成熔池8，熔化的焊丝作为填充金属进入熔池与母材融合，冷凝后即为焊缝金属9。通过喷嘴5向焊接区喷出保护气体，使处于高温的熔化焊丝、熔池及其附近的母材免受周围空气的有害作用。焊丝是连续的，由送丝轮6不断地送进焊接区。

- 操作方式主要是半自动焊和自动焊两种。
- 焊丝有实心的和药芯两类，前者一般含有脱氧用的和焊缝金属所需要的合金元素；后者的药芯成分及作用与焊条的药皮相似。

MAG焊接过程

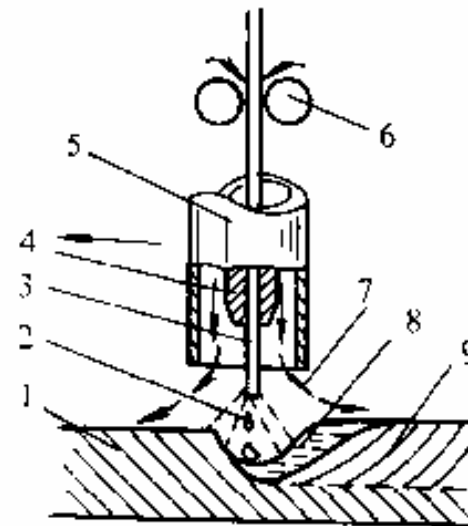
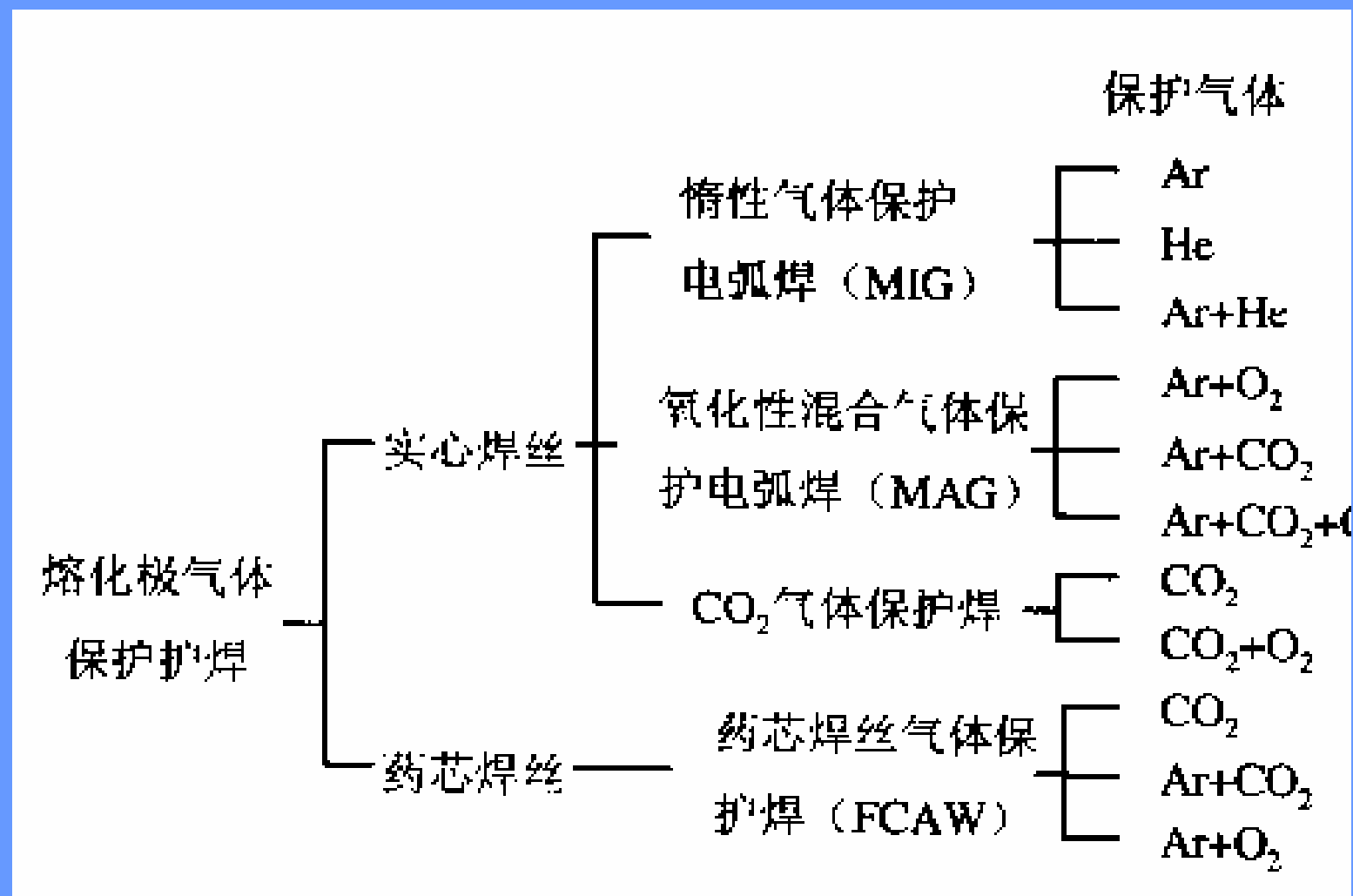


图 3-5-1 熔化极气体保护电弧焊示意图

1—母材 2—电弧 3—焊丝 4—导电嘴 5—喷嘴
6—送丝轮 7—保护气体 8—熔池 9—焊缝金属

2. 分类

按使用保护气体和焊丝的种类不同，熔化极气体保护焊分类如下：



- (1) 熔化极惰性气体保护电弧焊，简称MIG焊。使用的惰性气体可以是氩(Ar)、氦(He)、或氩与氦混合。因惰性气体与液态金属不发生冶金反应，只起包围焊接区使之与空气隔离的作用，所以电弧燃烧稳定，熔滴向熔池过渡平稳、稳定、无剧烈飞溅。这种方法最适合铝、铜、钛等有色金属的焊接、也可用于钢材，如不锈钢、耐热钢等的焊接。
- (2) 熔化极氧化性混合气体保护电弧焊，简称MAG焊，使用的保护气体是由惰性气体和少量氧化性气体(如 O_2 、 CO_2 或其混合气体等)混合而成。加入少量氧化性气体的目的，是在不改变或基本上不改变惰性气体电弧特性的条件下，进一步提高电弧稳定性，改善焊缝成形和降低电弧辐射强度等。这种方法常用于黑色金属材料的焊接。
- (3) 二氧化碳气体保护电弧焊，简称 CO_2 焊， CO_2 具有氧化性，本质上属于MAG焊。使用 CO_2 作保护气体是因其来源容易，价格低廉。但由于 CO_2 的热物理特性和化学特性，须要在焊接过程中从设备、工艺以及焊丝等方面采取措施，才能获得良好的焊接效果。目前， CO_2 焊已成为黑色金属材料最重要的焊接方法之一，在很多工艺部门中代替了焊条电弧焊和埋弧焊。
- (4) 药芯焊丝气体保护电弧焊又称管状焊丝气体保护焊，简称FCAW。在焊丝内部装有粉状焊剂，又称芯料。通过调整焊剂的各种合金元素的含量，可以达到改善焊接工艺性能、提高焊缝力学性能和接头内外质量。焊接时，主要采用 CO_2 作保护气体。也是目前用于焊接黑色金属材料的重要焊接方法之一，它有很大的发展前景。

3 优缺点

(1) 优点

与焊条电弧焊相比熔化极气体保护的主要优点是：

- 1)焊接效率高。因是连续送丝，没有更换焊条工序，焊道之间不须清渣，节省时间；通过焊丝的电流密度大，因而提高了熔敷速度。
- 2)可以获得含氢量较焊条电弧焊为低的焊缝金属、
- 3)在相同电流下，熔深比焊条电弧焊的大。
- 4)焊接厚板时，可以用较低的焊接电弧和较快的焊接速度，其焊接变形小。
- 5)烟雾少，可以减轻对通风要求。

与埋弧自动焊比其优点是：

- 1)明弧焊接，焊工可以观察到电弧和熔池的状态和行为。
- 2)可以进行全位置焊接。不像埋弧焊只能处在平焊位置焊接。
- 3)无需清渣，可以用更窄的坡口间隙，实现窄间隙焊接，节省填充金属和提高生产率。

(2) 缺点

与焊条电弧焊相比，其缺点是：

- 1)受环境制约。为了确保焊接区获得良好的气体保护，在室外操作需有防风装置。
- 2)半自动焊枪比焊条电弧焊钳重，不轻便、操作灵活性较差。对于狭小空间的接头，焊枪不易接近。
- 3)设备较复杂，对使用和维护要求较高。

5 保护气体

(1) 对保护气体的基本要求

在熔化极气体保护电弧焊中采用保护气体的主要目的，是防止熔融焊缝金属被周围气氛污染和损害。所选用的保护气体尽可能满足如下要求：

- 1)对焊接区(包括焊丝、电弧、熔池及高温的近缝区)起到良好的保护作用；
- 2)作为电弧的气体介质，它应有利于引弧和保持电弧稳定燃烧；
- 3)有助于提高对焊件的加热效率，改善焊缝成形；
- 4)在焊接时，能促使获得所希望的熔滴过渡特性，减小金属飞溅；
- 5)在焊接过程中，保护气体的有害冶金反应能进行控制，以减少气孔、裂纹和夹渣等缺陷。
- 6)易于获取，来源容易，价格低廉。

可供选用的保护气体有单一气体，如氩(Ar)、氦(He)、氢(H₂)、氮(N₂)和二氧化碳(CO₂)等；混合气体，如：Ar+He、Ar+H₂，Ar+O₂，Ar+CO₂，Ar+CO₂+O₂、和CO₂+O₂等。使用混合保护气体的主要目的是为了适应不同金属材料 and 焊接工艺的需要，促使获得最佳的保护效果、电弧特性、熔滴过渡特性、焊缝成形和质量等。例如在用熔化极脉冲氩弧焊焊接合金结构钢或不锈钢时，如果在氩气中加入少量O₂或CO₂在直流反接条件下，这种氧化气体能使熔池表面产生轻微氧化作用，以稳定阴极斑点，改善电子发射能力和减小电弧飘荡。此外、还可降低熔滴和熔池的表面张力，易于获得稳定的脉冲喷射过渡，改善焊缝成形。

6 焊丝

- ❖ 选用焊丝时，首先是考虑母材的化学成分和力学性能，其次是要与所用保护气体相配合。
- ❖ 通常焊丝与母材的成分应尽可能相近，并具有良好的焊接工艺性能和焊缝的物理化学性能。
- ❖ 采用含氧的保护气体时，焊丝中应添加适当的脱氧剂。钢焊丝中最经常使用的脱氧剂是锰、硅和铝；铜合金可使用钛、硅或磷作脱氧剂；镍合金中常使用钛和硅作脱氧剂。
- ❖ 熔化极气体保护电弧焊用的焊丝直径较小，小到0.5mm，大到3.2mm，焊接电流比较大，焊丝的熔化速度很高，大约在40-340mm/s，高的送丝速度需有很好的送丝机构。
- ❖ MAG焊接时由于保护气体有一定的氧化性，应适当提高焊丝中Si、Mn等脱氧元素的含量，其它成分可以与母材一致，也可以有若干差别。焊接高强钢时，焊缝中C的含量通常低于母材，Mn的含量则明显高于母材，这不仅为了脱氧，也是焊缝合金成分的要求。为了改善低温韧度，焊缝中Si的含量不宜过高。
- ❖ CO₂是活性气体，具有较强的氧化性，因此CO₂焊所用焊丝必须含有较高的Mn、Si等脱氧元素。CO₂焊通常采用C-Mn-Si系焊丝，如H08MnSiA、H08Mn2SiA、H04Mn2SiTiA等。CO₂焊焊丝直径一般是(mm)：0.8、1.0、1.2、1.6、2.0等。焊丝直径≤1.2mm属于细丝CO₂焊，焊丝直径≥1.6mm属于粗丝CO₂焊。

7. 熔化极气体保护电弧焊设备

熔化极气体保护电弧焊可分为半自动焊和自动焊两类。图3-5-6为半自动熔化极气体保护电弧焊全套设备的示意图，主要由焊接电源、焊枪、送丝机、供气系统、冷却系统和控制系统组成。如果是自动焊，则增加行走机构，它往往和焊枪及送丝机组合成焊接小车(机头)。

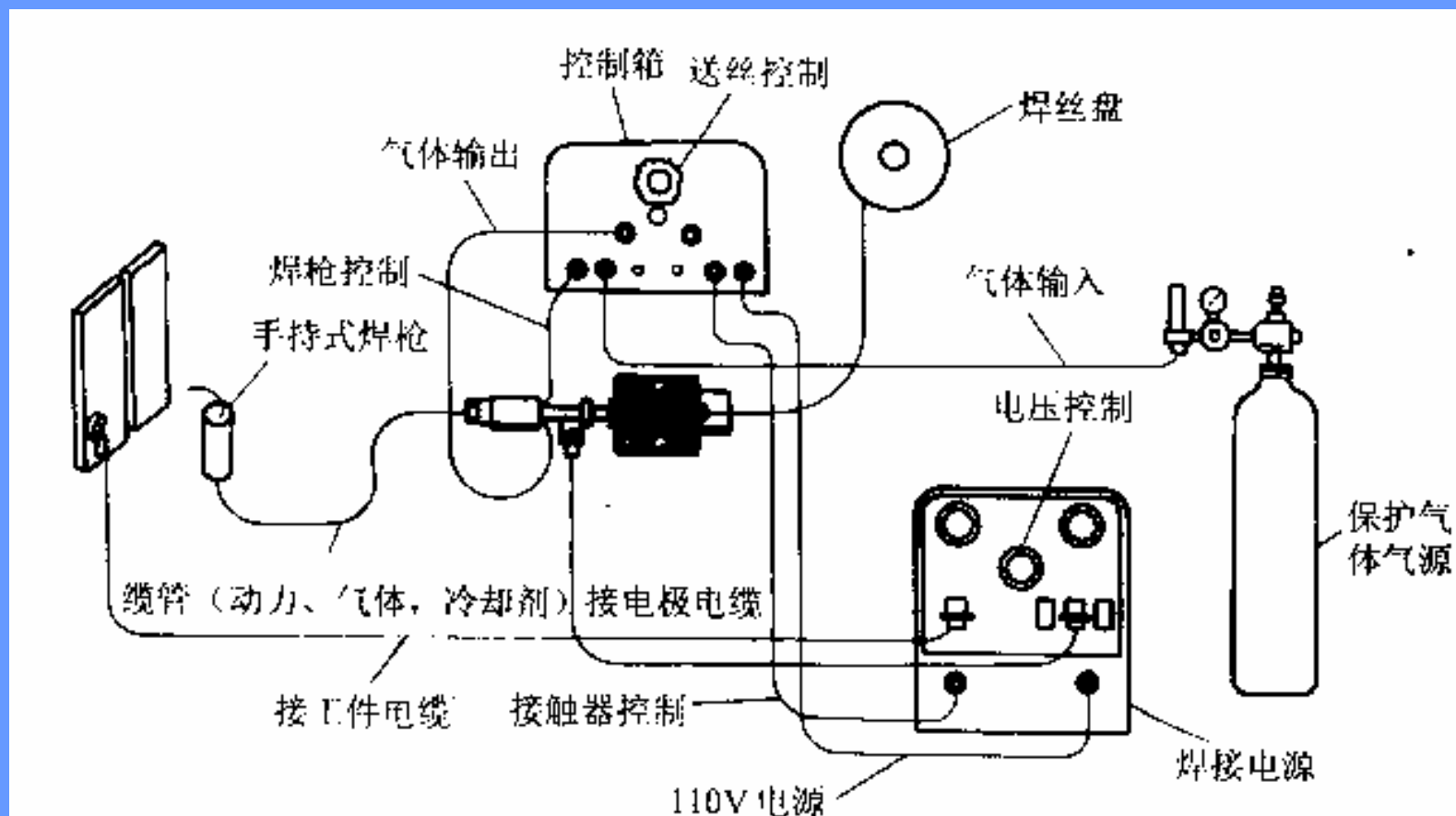


图 3-5-6 半自动熔化极气体保护电弧焊设备示意图^[5]

8. MIG焊接工艺

(1) 工艺特点

MIG焊通常采用惰性气体氩、氦或它们的混合气体作焊接区的保护气体。在焊接工艺上有如下特点：

- 1) 惰性气体几乎不与任何金属产生化学作用，也不溶于金属中，所以几乎可以焊接所有金属。出于经济考虑，目前主要用于焊接铝、镁及其合金、不锈钢和某些低合金钢。
- 2) 焊丝外表没有涂料层，焊接电流可提点，因而母材熔深较大，焊丝熔化速度快，熔敷效率高(达92%-98%，而焊条电弧焊只有60%-70%)，与TIG焊相比，其生产效率高。
- 3) 熔滴过渡主要采用射流过渡形式。短路过渡仅限于薄板焊接时采用，而滴状过渡在生产中很少采用。焊接铝、镁及其合金时，通常是采用亚射流过渡，因阴极雾化区大，熔池保护效果好，且焊缝成形好、缺陷少。
- 4) 若采用短路过渡或脉冲焊接方法，可以进行全位置焊接，但其焊接效率不及平焊和横焊。
- 5) 一般都采用直流反接，这样电弧稳定、熔滴过渡均匀和飞溅少，焊缝成形好。

但惰性气体价贵，成本较高。对母材及焊丝的油、锈很敏感，容易生成气孔。与CO₂相比其熔深较小，抗风能力弱，不宜室外焊接。

(2) 焊接材料选择

1) 保护气体

a) 单一气体

氩和氦很适于焊接活泼性金属，如铝、镁、镍等。但这两种惰性气体在焊接工艺性能上有差别。

在氩弧中，电弧电压和能量密度较低，电弧燃烧稳定，飞溅极小，很适合焊接薄板金属和热导率低的金属；在氦弧中，在给定的电弧长度和焊接电流下，其电弧电压比氩弧高很多，电弧温度和能量密度也高，其熔深大，焊接效率高，适于焊接中、厚板和热导率高的金属材料。但氦稀少而昂贵，单独使用成本太高。

b) 混合气体

以氩气为主混入一定量的氦，就综合了氩弧和氦弧的优点，不仅电弧燃烧稳定，温度高，而且焊丝熔化速度快，熔滴易呈现较稳定的射流过渡，熔池流动性得到改善，焊缝成形好，致密性提高，很适合于焊接铝、铜及其合金等高热导率材料。

图3-5-21为焊接铝合金时，氩和氦不同混合比例对焊缝形状的影响

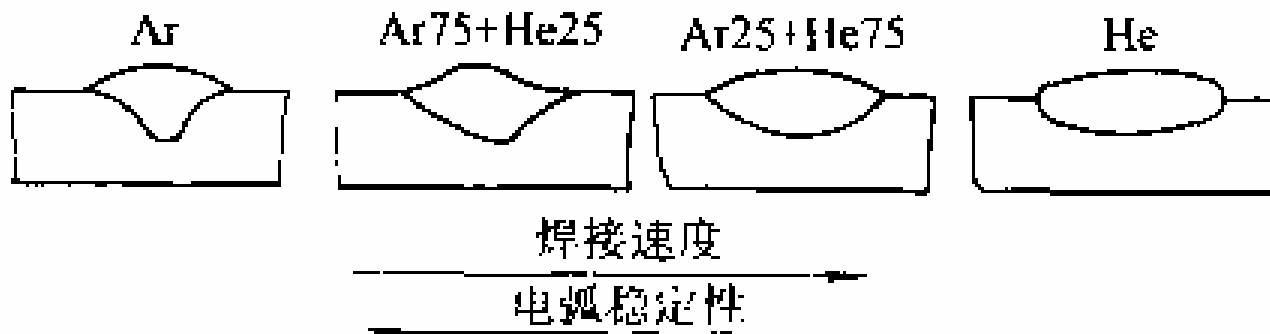


图 3-5-21 MIG 焊（长弧）焊接铝合金，
随着 He 增加焊缝形状的变化

2) 焊丝

MIG焊使用的焊丝化学成分通常应与母材的相同，在某些情况下使用稍微不同于母材化学成分的焊丝是为了改善焊缝金属的力学性能和焊接工艺性能。

焊丝直径通常在0.8-2.4mm范围，使用前须经严格化学或机械清理。生产厂家以一定规格缠绕成盘状，经密封包装后供应用户使用。

3) 焊接工艺参数

MIG焊接的工艺参数有焊接电流、电弧电压、焊接速度、焊丝直径、焊丝伸出长度、焊丝倾角、焊接位置和极性。此外，还有保护气体及其流量大小等，它们都影响着焊接工艺性能、熔滴过渡形式、焊缝的几何形状和焊接质量。焊接工艺参数根据有关手册或通过焊接工艺评定确定。

9. 药芯焊丝气体保护电弧焊

- ✓ 利用药芯焊丝作熔化极的电弧焊称药芯焊丝电弧焊，简称FCAW。
- ✓ 有两种焊接形式：一种是焊接过程中使用外加保护气体（一股是纯 CO_2 或 $\text{CO}_2 + \text{Ar}$ ）的焊接，称药芯焊丝气体保护电弧焊，它与普通熔化极气体保护电弧焊基本相同；
- ✓ 另一种是不用外加保护气体，只靠焊丝内部的芯料燃烧与分解所产生的气体和渣作保护的焊接，称自保护电弧焊。自保护电弧焊与焊条电弧焊相似，不同的是使用盘状的焊丝，连续不断送到电弧中。药芯焊丝气体保护电弧焊是一种很有发展前景的焊接方法，目前已经在工程中使用。

1) 工作原理

与实心焊丝气体保护焊的主要区别是所用焊丝的构造不同。药芯焊丝是在焊丝内部装有焊剂或金属粉末混合物(称芯料)，焊接时(见图3-5-45)，在电弧热的作用下熔化状态的芯料、焊丝金属、母材金属和保护气体相互之间发生冶金作用，同时形成一层较薄的液态熔渣包覆熔滴并覆盖熔池，对熔化金属构成又一层保护。所以实质上这是一种气渣联合保护的焊接方法。

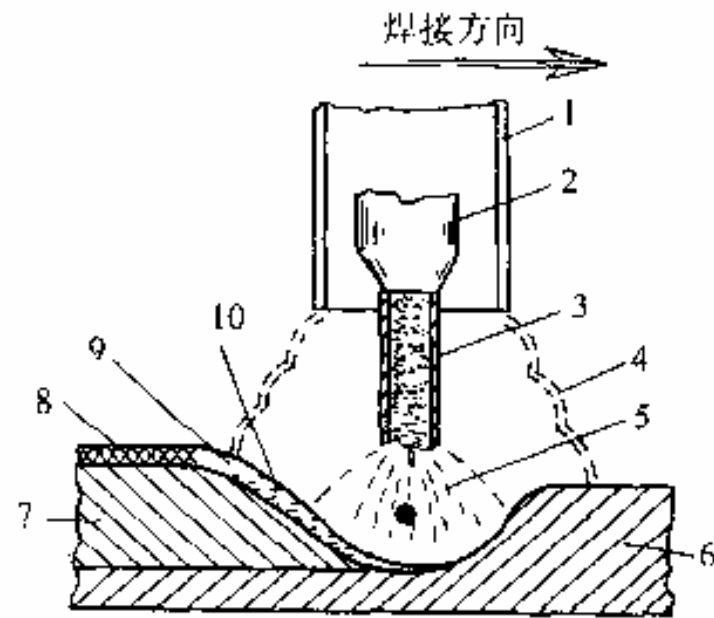


图 3-5-45 药芯焊丝电弧焊

- 1—喷嘴 2—导电嘴 3—药芯焊丝 4—保护气体
5—电弧 6—母材 7—焊缝金属
8—渣壳 9—熔渣 10—液态金属

2) 工艺特点

药芯焊丝气体保护电弧焊综合了焊条电弧焊和CO₂焊的工艺特点。如：


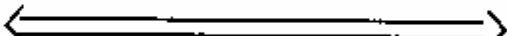

- (1) 由于药芯成分改变了纯CO₂电弧气氛的物理、化学性质，因而飞溅少、颗粒细、易于清除。因熔池表面覆盖有熔渣，焊缝成形类似于焊条电弧焊，焊缝外观比实心焊丝CO₂焊的美观。
- (2) 与焊条电弧焊相比，热效率高，电流密度比焊条电弧焊大(可达100A/mm²)，生产率为焊条电弧焊的3-5倍。既节省了填充金属又提高了焊接速度。
- (3) 与实心焊丝CO₂焊相比，通过调整药芯的成分就可以焊接不同钢种，适应性强，若研制适用同样钢种的实心焊丝在技术上将遇到许多困难。
- (4) 对焊接电源无特殊要求，交流和直流均可使用，平特性和陡降特性都适应，因为药芯成分能改变电弧特性。

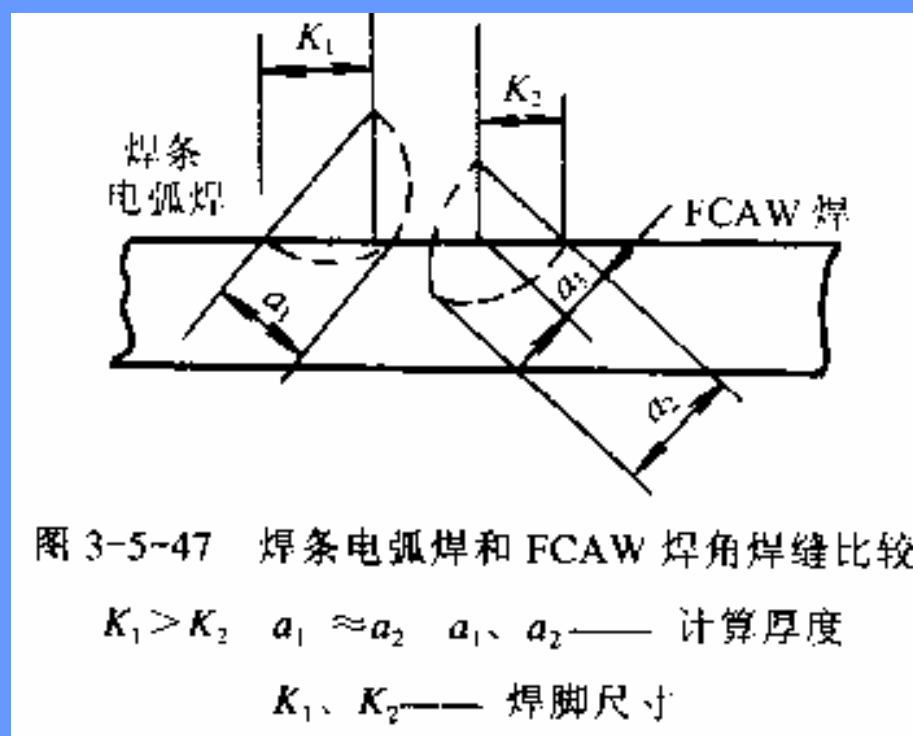
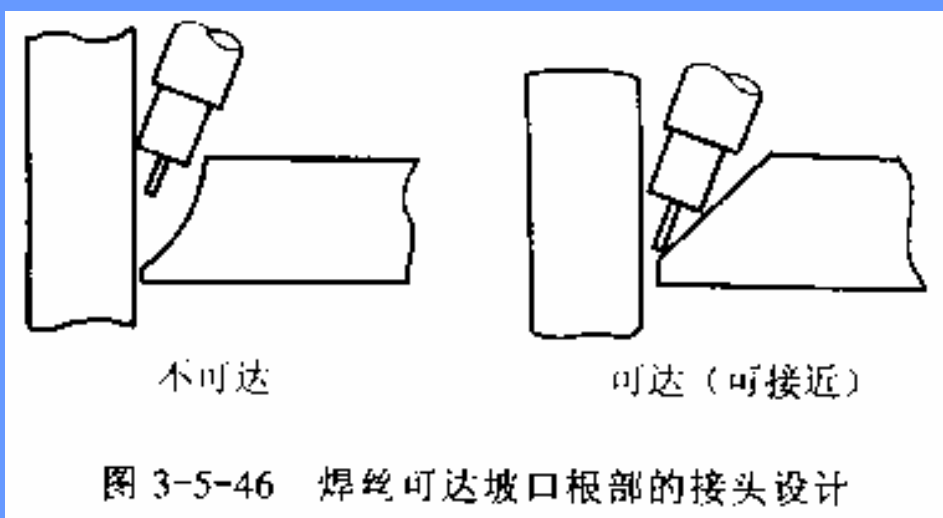
药芯焊丝CO₂焊也有不足，主要是送丝比实心焊丝困难，芯料易吸潮，须对药芯焊丝严加保存和管理。

3) 接头设计

凡是适于焊条电弧焊的接头形式同样适于药芯焊丝气体保护焊。但是，药芯焊丝气体保护焊的熔深比焊条电弧焊大，因此在适用厚度范围(见表3-5-32)和坡口设计上有些差别，可采用比焊条电弧焊的坡口角度更小，根部间隙更窄和钝边更大的坡口，这样能减少填充金属量。但必须保证在叠层焊时焊丝干伸长保持不变和根部可达(见图3-5-46)，且在焊接过程中能灵活操纵焊丝。在平焊或横焊位置上焊接的角焊缝，其焊脚尺寸可比焊条电弧焊减小2~3mm、这是因熔深大于焊条电弧焊，并不因此影响接头强度，见图3-5-47。

表 3-5-32 药芯焊丝气体保护焊适用厚度范围

| 厚度/mm | 0.13 | 0.4 | 1.6 | 3.2 | 4.8 | 6.4 | 10 | 12.7 | 19 | 25 | 51 | 102 | 203 |
|-------|---|-----|-----|-----|-----|-----|----|------|----|----|----|-----|-----|
| 单层无坡口 |  | | | | | | | | | | | | |
| 单层带坡口 |  | | | | | | | | | | | | |
| 多层 |  | | | | | | | | | | | | |



4) 焊接工艺参数

药芯焊丝气体保护电弧焊的工艺参数主要有：焊接电流、电弧电压、焊接速度，焊丝伸出长度、保护气体流量等。

10. 气电立焊

气电立焊是利用熔化极气体保护电弧焊自动地对厚板对接焊缝进行立焊的一种方法。它是从普通熔化极气体保护焊和电渣焊发展而来。在机械系统和操作应用上与电渣焊方法相似，但焊接的热源是电弧热而不是电渣的电阻热。起保护作用的主要是气体。

1) 工作原理

将厚板立焊接头的坡口挡上铜制滑块，构成封闭坡口，实心的或药芯的焊丝从坡口的上方向坡口送进，电弧在焊丝和接头底部的起焊板之间引燃，电弧热使焊丝和坡口表面熔化并汇流到电弧下面的熔池中，熔池凝固成焊缝金属。焊丝可沿接头整个厚度作横向摆动，使热量分布均匀并熔敷焊缝金属。随着坡口空间逐渐填充，滑块随焊接机头向上移动，便可从下而上一次完成整条垂直焊缝的焊接。虽然焊缝轴线和焊接行走方向都是垂直的，但却是从下而上作平焊位置的焊接。如用实心焊丝，则需使用外加气体作保护，若用药芯焊丝，其芯料的成分可提供全部或部分保护。铜滑块内通常用水冷却。

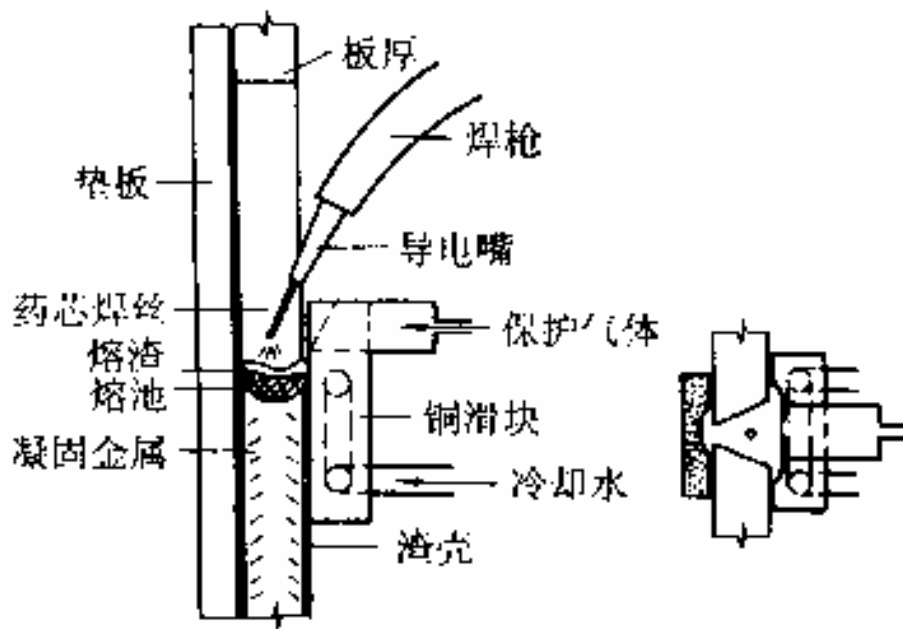


图 3-5-59 气电立焊原理图 [27]

2) 优缺点

气电立焊与电渣焊相同，均可进行厚板立焊，但在工艺上各具特点，两者比较，气电立焊的优点是：

- 1)重新起动焊接很容易。
- 2)焊接熔池可见。
- 3)焊后有可能不进行热处理，因而可以在现场施工，降低制造成本。
- 4)热输入小，焊缝冲击韧度得到改善。

缺点是：

- 1)接头不够清洁，有金属飞溅。
- 2)缺陷较多，尤其是气孔。
- 3)随着板厚的增加，气体保护效果变差。

3) 适用范围

(1) 可焊金属

主要用于碳钢和合金钢焊接，但也适用于焊接奥氏体不锈钢及其它金属和合金。

(2) 可焊材料厚度

可焊10-100mm的钢板。最适于13-76mm范围。小于13mm钢板立焊不如焊条电弧焊和普通熔化极气体保护焊。大于76mm的钢板最好采用电渣焊，因为板过厚气体保护不再充分。

(3) 可焊的接头形式

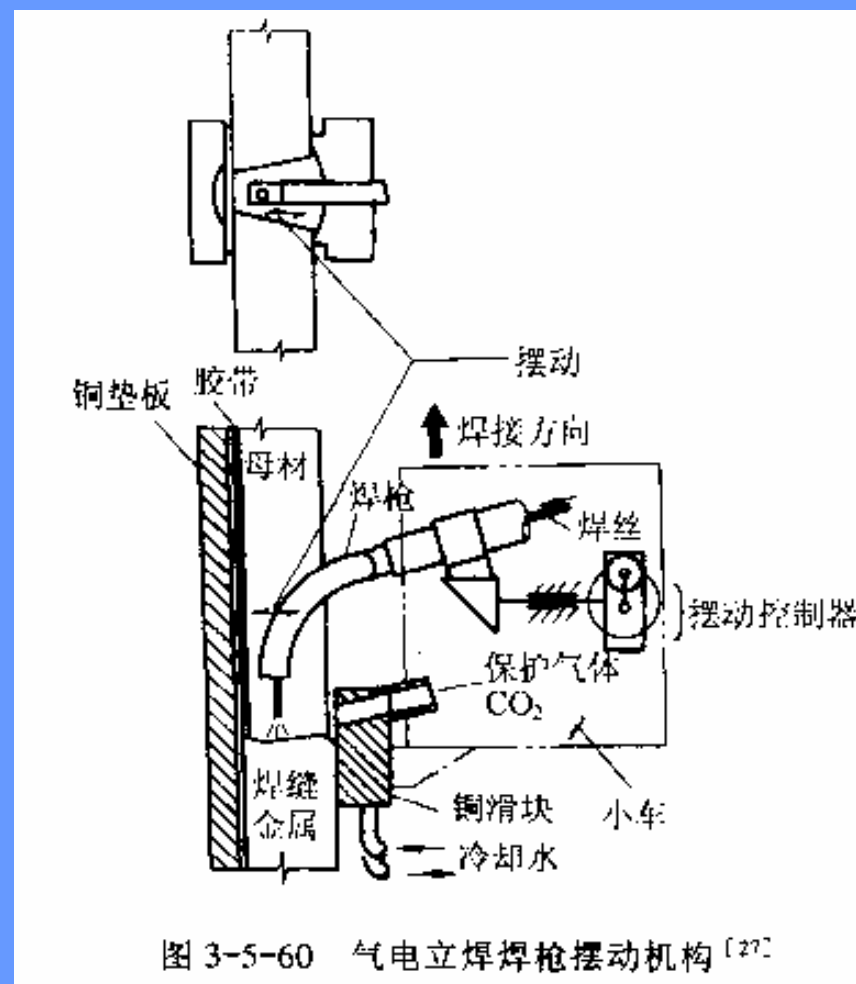
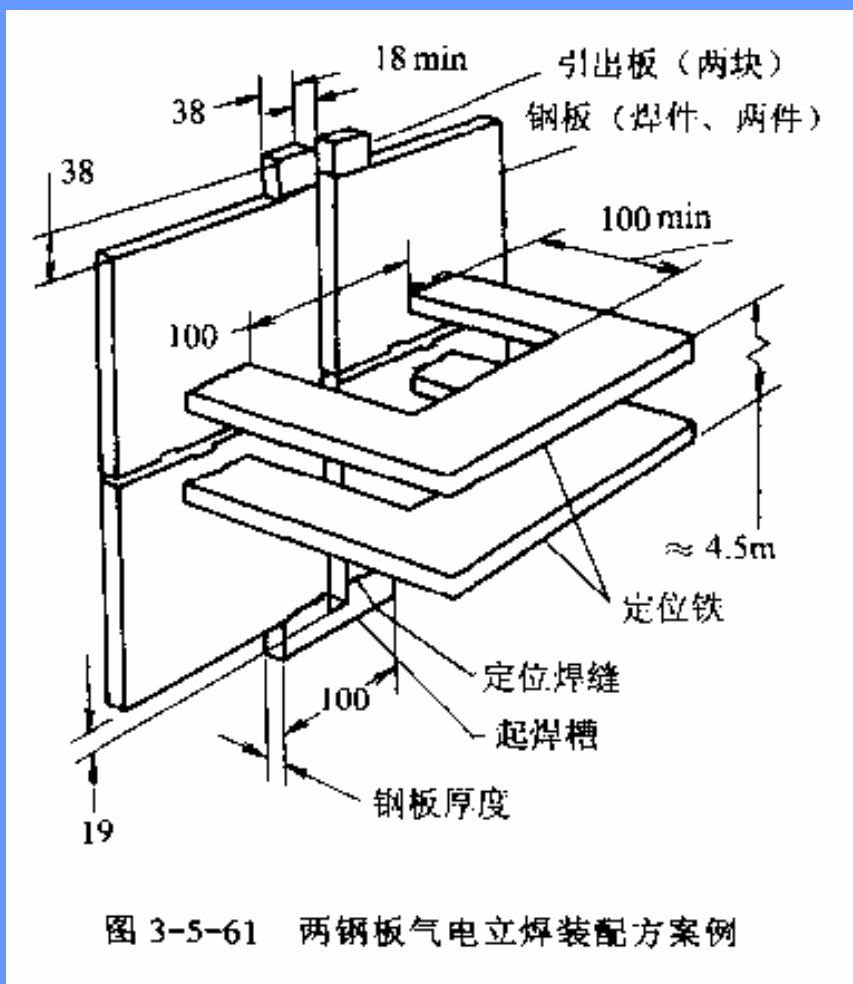
传统电渣焊的接头形式基本适合气电立焊。对于x形坡口，则需双程焊接且需特殊形状的滑块。

(4) 可焊的产品结构

接头愈长的结构。其生产效率愈高。因此，很适于大型金属结构，如船舶壳体、桥梁、贮罐、沉箱、海洋钻采设备和高层建筑等结构。也可用于大直径管道和筒式压力容器纵缝的焊接。

4) 焊接设备

气电立焊用的设备，主要有焊接电源，焊枪及其摆动机构、水冷滑块、送丝系统和送气系统。除电源外，其余都组合一起，焊接时整机以焊接速度向上移动，见图3-5-60。

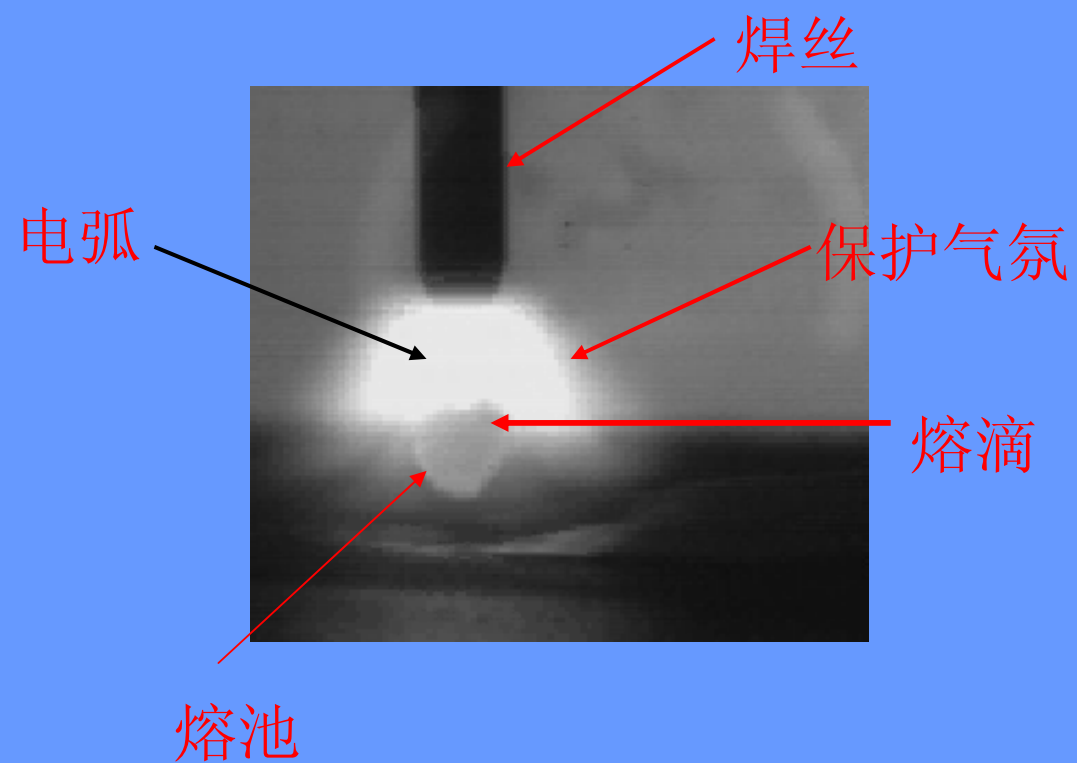


双丝MIG焊工艺 高速MAG焊接

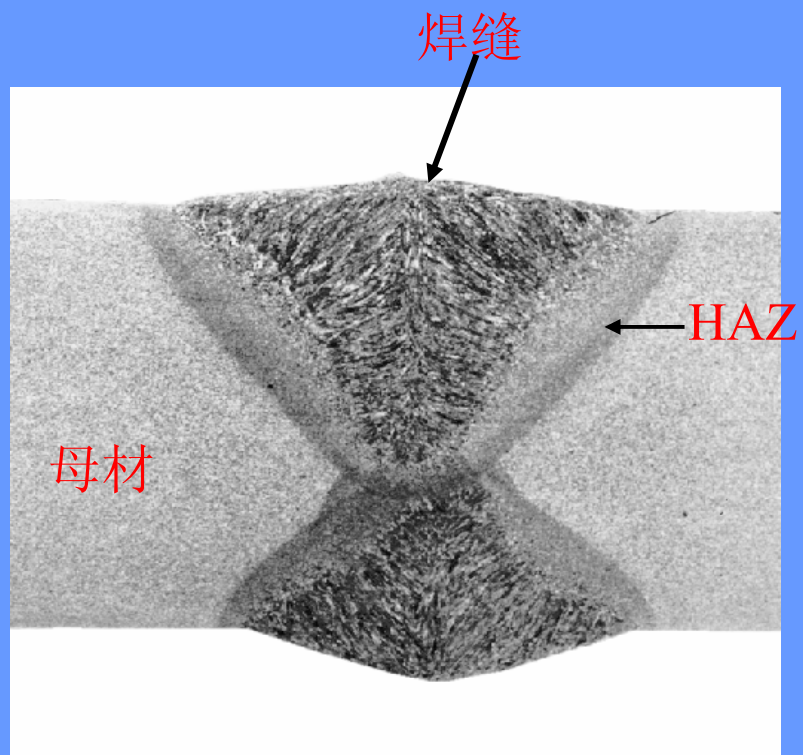
见文件“双丝MIG焊工艺”

见文件“高速MAG焊接”

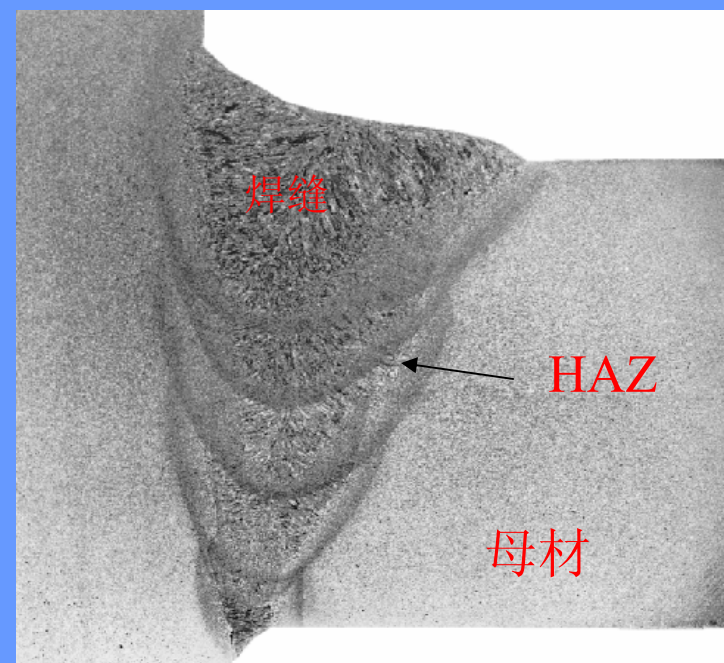
名词术语



名词术语



对接接头



角接头