

# 东北电力大学

## 教案封皮

开课单位	工程训练教学中心	课程名称	金工实习-焊接 1
授课教师	邢健、耿富生、刘可心、段利利	授课对象	2014 级工科本科
选用教材	金属工艺学实习	总学时	2
课次	1	第 4 章	第 1、2、3、4、5 节
教学目的及要求	1、了解焊接工艺的概念与应用； 2、掌握气焊设备、材料、火焰类型及适应范围； 3、了解气焊的操作要领和工艺； 4、掌握氧气切割操作方法及适用范围； 5、掌握手工电弧焊原理、设备结构、工艺参数的选择、焊接手工电弧焊操作方法。		
教学重点处理安排	1、氧气切割与气焊操作以演示操作为主，选取部分学生手把手指导练习。 2、电焊操作以练习为主，做到学生人人动手，反复练习引弧，边练边指导，加深学生对焊接相关知识的理解。		
教学难点处理安排	1 焊接工艺参数的选择及焊接操作方法,焊缝质量的保证（现场讲解）及实践练习。 2 气焊火焰分类、用途（实例讲解）及安排学生动手调节火焰。		
教学方式、方法	现场讲解与示范操作结合		
教学内容及时间分配	1 焊接工艺概述及安全操作规程（5 分钟） 2 氧气切割原理及操作方法讲解（10 分钟） 3 气焊设备、材料、火焰类型（5 分钟） 4 气焊基本操作方法讲解（5 分钟） 5 手工电弧焊简介及其操作方法讲解（20 分钟） 6 手工电弧焊引弧及运条练习（40 分钟） 7 授课总结（5 分钟）		
例题、练习题	1 焊条的组成及其作用。 2 气焊三种火焰类型，适用范围。 3 可被氧气切割的金属应具备的条件。		
作业、思考题	1 焊接不锈钢的焊条可以焊接铜质材料吗，为什么？ 2 焊接时，哪种焊接位置施焊最容易，哪种位置最难？ 3 氧气切割可否切割不锈钢，为什么？		

# 教 案

内 容	备注
<p><b>一、焊接工艺概述（5分钟）</b></p> <p>1、焊接是通过加热或加压，或两者并用，并且用或不用填充材料，使焊件达到原子间结合的一种加工方法。</p> <p>在工业生产中应用的焊接方法种类很多，根据焊接过程中金属所处的状态不同，可以把焊接分为熔化焊、压焊和钎焊三大类。</p> <p>熔化焊：利用局部加热使连接处的母材金属熔化，加入（或不加入）填充金属而结合的方法，是工业生产中应用最广泛的焊接工艺方法。熔化焊的特点是焊件间的结合为原子结合，焊接接头的力学性能较高，生产率高，缺点是产生的应力、变形较大。</p> <p>压焊：在焊接过程中，必须对焊件施加压力，加热或不加热完成焊接的方法。虽然压焊件焊缝结合亦为原子间结合，但其焊接接头的力学性能较熔化焊稍差，适合于小型金属件的加工，焊接变形极小，机械化、自动化程度高。</p> <p>钎焊：采用熔点比母材金属低的金属材料作钎料，将焊件和钎料加热到高于钎料熔点、低于母材熔点温度，利用液态的钎料润湿母材，填充接头间隙并与母材相互扩散实现连接焊件的方法。钎焊的特点是加热温度低，接头平整、光滑，外形美观，应力及变形小，但是钎焊接头强度较低，装配时对装配间隙要求高。</p> <p>2、安全操作规程</p> <p>严格按照老师指导的事项进行相关操作，注意防火、防电、防爆，严禁打闹，严禁随意触动设备。</p> <p><b>二、氧气切割（10分钟）</b></p> <p>1、氧气切割的基本原理：氧气切割是利用气体火焰的热能将工件切割处预热到燃点后，喷出高速切割氧流，使金属燃烧并放出热量而实现切割的方法。</p> <p>2、氧气切割过程：</p> <p>1) 预热 气割开始时，利用气体火焰（氧乙炔焰或氧丙烷焰）将工件待切割处预热到该种金属材料的燃烧温度——燃点（对于碳钢约为 1100~1150℃）</p> <p>2) 燃烧 喷出高速切割氧流，使已达燃点的金属在氧流中激烈燃烧，生成氧化物。</p> <p>3) 吹渣 金属燃烧生成的氧化物被氧流吹掉，形成切口，使金属分离，完成切割过程。</p> <p>3、氧气切割的三条件：</p> <p>金属材料要进行氧气切割应满足以下三个条件：</p> <p>1) 金属燃烧生成氧化物的熔点应低于金属熔点，且流动性要好。</p> <p>2) 金属的燃点应比熔点低。</p> <p>3) 金属在氧流中燃烧时能放出大量的热量，且金属本身的导热性要低。</p> <p>符合上述气割条件的金属有纯铁、低碳钢、中碳钢、低合金钢以及钛。其它常用的金属材料如铸铁、不锈钢、铝和铜等由于不满足此三条件，所以不能应用氧气切割，这些材料目前常用的切割方法是等离子弧切割。</p> <p>4、切割低碳钢演示。</p> <p><b>三、气焊（10分钟）</b></p> <p>1、气焊用焊接材料</p> <p>1) 氧气：气焊和气割的助燃气体，其纯度直接影响气焊和气割的质量与效率。目前大、中型企业焊割时，氧气主要由管道输送或由氧气瓶提供。</p> <p>2) 乙炔：易燃、易爆气体，自燃点为 480℃，空气中着火温度为 428℃，工业乙炔是</p>	

通过电石与水反应获得的。

3) 气焊丝: 气焊丝的化学成分直接影响焊缝金属的性能, 常用的气焊丝种类有碳素结构钢用焊丝、合金结构钢用焊丝、不锈钢用焊丝、铸铁用焊丝、铜及铜合金用焊丝、铝及铝合金用焊丝、镁合金用焊丝。有时无法获得与工件相当成分的焊丝时, 可采用剪切工件来代替。

4) 气焊熔剂: 具有很强的反应能力, 可迅速溶解某些氧化物或高熔点化合物, 改善润湿性。常用的气焊熔剂有气剂 101 (用于不锈钢和耐热钢气焊)、气剂 201 (用于铸铁气焊)、气剂 301 (用于铜气焊)、气剂 401 (用于铝气焊)。

## 2、气焊设备

1) 氧气瓶: 储存和运输氧气的高压容器。由瓶体、瓶箍、瓶阀、防震圈、瓶帽、底座等构成。氧气瓶外表漆成天蓝色, 并表明黑色“氧气”字样。其容积为 40L、工作压力为 15Mpa, 可内存常压下  $6\text{m}^3$  氧气。氧气瓶应直立使用, 若躺放时必须使减压器处于最高位置, 操作时氧气瓶应距离乙炔发生器、明火或热源不小于 5m。

2) 乙炔瓶: 储存和运输乙炔的容器。由瓶体、瓶阀、硅酸钙填料、易熔塞、过滤网、瓶帽、瓶座等构成。乙炔瓶外表漆成白色, 并标明红色“乙炔”、“不可近火”等字样。其容积为 40L、工作压力为 15Mpa, 可内存常压下  $5.3\text{--}6.3\text{m}^3$  乙炔气。乙炔瓶应直立使用, 不得卧放, 且卧放的乙炔瓶直立使用时, 必须静置 20min 后方可使用。

3) 减压器: 是将高压气体降为低压气体的调节装置, 使输送给焊炬的气体压力稳定不变, 以保证火焰能够稳定燃烧。对不同性质的气体, 必须选用符合各自要求的专用减压器, 各种气体专用的减压器, 禁止换用或替用。减压器在专用气瓶上应安装牢固。

4) 回火保险器: 正常气焊时, 火焰在焊炬的焊嘴外面燃烧, 但当气体供应不足、焊嘴阻塞、焊嘴太热或焊嘴距离焊件太近时, 火焰会沿乙炔管路往回燃烧。这种火焰进入喷嘴内逆向燃烧的现象称为回火。如果回火蔓延到乙炔发生器, 就可能引起爆炸事故。回火保险器的作用就是截留回火气体, 保证乙炔发生器的安全。

5) 焊炬: 又称焊枪, 作用是用来控制气体混合比例、流量以及火焰结构, 它是焊接的主要工具。所以对焊炬的要求是能方便地调节氧与乙炔的比例和热量的大小, 同时要求结构重量轻、安全可靠。焊炬按可燃气体与氧气混合的方式不同分为等压式 (如图 1 所示) 与射吸式 (如图 2 所示) 两种。



图 1 等压式焊炬

1 焊嘴 2 混合气体通道  
3 射吸管 4 喷射管 5 喷嘴

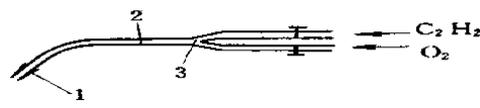


图 2 射吸式焊炬

1 焊嘴 2 混合气通道 3 混合室

## 3、气焊火焰

改变氧气和乙炔的混合比例, 可获得三种不同性质的火焰, 如图 3 所示。

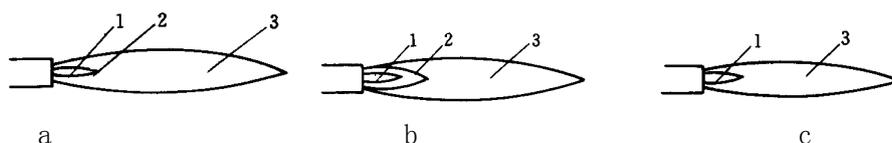


图 3 气焊火焰

a 中性焰 b 碳化焰 c 氧化焰  
1 焰心 2 内焰 3 外焰

中性焰：如图 3a 所示，氧气和乙炔的体积混合比为 1.1-1.2 时燃烧所形成的火焰称为中性焰，又称为正常焰。它由焰心、内焰和外焰三部分构成。中性焰在距离焰心前面 2-4mm 处温度最高，可达 3150℃。中性焰适用于焊接低碳钢、中碳钢、普通低合金钢、不锈钢、紫铜、铝及铝合金等金属材料。

碳化焰：如图 3b 所示，碳化焰是指氧和乙炔的体积混合比小于 1.1 时燃烧所形成的火焰。由于氧气较少，燃烧不完全，过量的乙炔分解为碳和氢，其中碳会渗到熔池中造成焊缝增碳。碳化焰比中性焰的火焰长，也由焰心、内焰和外焰构成，其明显特征是内焰呈乳白色。碳化焰最高温度为 2700-3000℃。碳化焰适用于焊接高碳钢、铸铁和硬质合金等材料。

氧化焰：如图 3c 所示，氧和乙炔的体积混合比大于 1.2 时燃烧所形成的火焰称为氧化焰。氧化焰比中性焰短，分为焰心和外焰两部分。由于火焰中有过量的氧，故对熔池金属有强烈的氧化作用，一般气焊时不宜采用。只有在气焊黄铜、镀锌铁板时才采用轻微氧化焰，以利用其氧化性，在熔池表面形成一层氧化物薄膜，减少低沸点的锌蒸发。氧化焰的最高温度为 3100-3300℃。

#### 4、气焊基本操作技术

1) 点火、调节火焰与灭火：点火时，先微开氧气阀门，在打开乙炔阀门，然后点燃火焰。这时的火焰为碳化焰。随后逐渐开大氧气阀门，将碳化焰调节成中性焰。同时按需要把火焰大小也调整合适。灭火时，应先关乙炔阀门，再关氧气阀门。

2) 焊接：左手拿焊丝，右手拿焊炬，两手动作协调，沿焊缝向左或右焊接。焊嘴轴线的投影应与焊缝重合，同时要掌握好焊嘴与焊件的夹角。焊炬向前移动的速度应能保持焊件熔化并保持熔池具有一定的大小。焊件熔化形成熔池后，再将焊丝适量地点入熔池内熔化。

### 四、手工电弧焊的原理及其操作方法（20 分钟）

手工电弧焊是利用电弧产生的热量来熔化母材和焊条的一种手工操作的焊接方法。适用于厚度在 2mm 以上多种金属材料和各种形状结构的焊接。

#### 1、手工电弧焊焊接设备

手弧焊机按其供给的焊接电流种类不同分为交流弧焊机和直流弧焊机两类。交流弧焊机又称为弧焊变压器，弧焊变压器是一种具有下降外特性的降压变压器，有分体式弧焊机、同体式弧焊机、动铁漏磁式弧焊机、动圈式弧焊机和抽头式弧焊机等类型。直流弧焊机分为直流弧焊发电机和弧焊整流器。

直流弧焊机输出端有正、负极之分，焊接时电弧两端极性不变。弧焊机正、负两极与焊条、焊件有两种不同的接线法：将焊件接到弧焊机正极，焊条接至负极，这种接法称正接；反之，将焊件接到负极，焊条接至正极，称为反接。焊接厚板时，一般采用直流正接，这是因为电弧正极的温度和热量比负极高，采用正接能获得较大的熔深。焊接薄板时，为了防止烧穿，常采用反接。但如果使用碱性焊条，均采用直流反接。

#### 2、手工电弧焊的工艺特点

手工电弧焊具有许多优点，其工艺灵活、适应性强，适用于碳钢、低合金钢、耐热钢、低温钢和不锈钢等各种材料的平、立、横、仰各种位置以及不同厚度、不同结构形状的焊接。与气焊和埋弧焊相比，金相组织细小，热影响区小，焊接接头性能好。易于通过工艺调整来控制变形和改善应力，且设备简单、操作方便。

但手工电弧焊对焊工要求高，焊工的操作技术和经验直接影响产品质量的好坏。在焊接作业中，需要承受高温烘烤，及毒、烟、尘和金属蒸气的危害，劳动条件差，生产效率低。

#### 3、手工电弧焊的焊接过程

焊接前，将焊钳和焊件分别连接弧焊机输出端的两极，并用焊钳夹持焊条。焊接时，

首先在焊件和焊条之间引出电弧，电弧同时将焊件和焊条熔化，形成金属熔池。随着电弧沿焊接方向前移，熔化金属迅速冷却凝固形成焊缝，使两焊件牢固地连接在一起。

#### 4、对接平焊焊接基本操作技术

1) 备料：厚 3-4mm 低碳钢钢板两块，校直钢板，保证接口处平整。

2) 清理：在焊件连接处 20mm 范围内，清除铁锈、油污、水分等。

3) 组对：将两块钢板水平对齐放置，间隙为 1-2mm。

4) 练习引弧：就是使焊条和焊件之间产生稳定的电弧。引弧时，首先将焊条末端与焊件表面接触形成短路，然后迅速将焊条向上提起 2-4mm 的距离，电弧即引燃。引弧方法有敲击法（如图 1）和摩擦法（如图 2）两种。

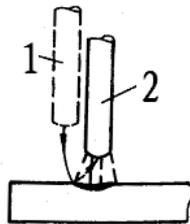


图 1 敲击法

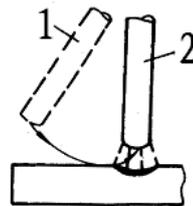


图 2 摩擦法

1 引弧前位置

2 引弧后位置

5) 点焊：主要目的是定位，固定两块钢板的相对位置，焊后清渣。若焊件较长，可每隔一定距离焊接一定长度的焊缝。

6) 焊接：就是在平焊位置上堆焊焊缝。操作关键是掌握好焊条角度（如图 3 所示）和运条基本动作（如图 4 所示）。保持合适的电弧长度（即向下送进焊条速度合适）和均匀的焊接速度。

在焊接操作中，应注意保持电弧的长度，电弧的长度大约等于焊条的直径；同时焊条与焊缝平面两侧的夹角应保持相等；焊条的送进速度要均匀。

在焊接操作中，应注意保持电弧的长度，电弧的长度大约等于焊条的直径；同时焊条与焊缝平面两侧的夹角应保持相等；焊条的送进速度要均匀。

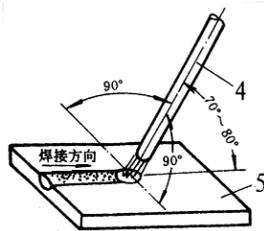


图 3 焊条角度

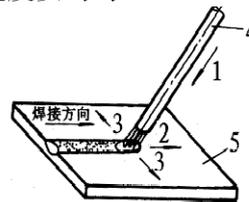


图 4 运条基本动作

1 向下送进 2 沿焊接方向移动 3 横向移动 4 焊条 5 工件

运条方法有几种（如图 5 所示），焊薄板时，焊条可作直线移动；焊厚板时，焊条在作直线移动的同时，还要有横向移动，以保证得到一定的熔宽和熔深。



图 5 运条方法

a 锯齿形运条法 b 圈形运条法

7) 焊后清理：清除渣壳及飞溅。

8) 检查焊缝质量：检查焊缝外形和尺寸是否符合要求，有无焊接缺陷。

#### 4、电焊条的组成及作用

手弧焊时所用的涂敷药皮的熔化电极就是电焊条，由焊芯及药皮两部分组成。如图 6 所示。

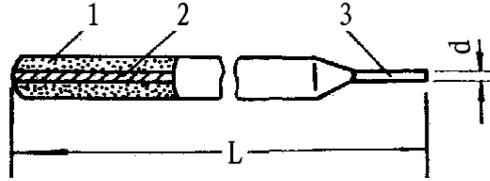


图 6 焊条结构

1 药皮 2 焊芯 3 焊条夹持部分

##### 1) 焊芯

焊芯是焊条内的金属丝，它具有一定的直径和长度。焊接时焊芯有两个作用：一是作为电极传导电流，产生电弧；二是熔化后作为填充金属，与熔化的母材一起组成焊缝金属。焊条的直径和长度就是以焊芯的直径和长度来表示的，常用的焊条直径有  $\phi 2$ 、 $\phi 2.5$ 、 $\phi 3.2$ 、 $\phi 4$ 、 $\phi 5$  等几种。

如果焊芯外面没有涂敷药皮，则称之为焊丝。焊芯和焊丝牌号用“H”，即“焊”字的汉语拼音的第一个字母表示，其后的牌号表示方法与钢号表示方法相同，按国家标准规定的“焊接用钢丝”有 44 种，可分为碳素结构钢、合金结构钢、不锈钢三大类。

##### 2) 药皮

药皮是压涂在焊芯表面上的涂料层，由矿石粉、铁合金粉、粘结剂等原料按一定比例配制而成。药皮的主要作用是：使电弧容易引燃，保持电弧燃烧的稳定性；使熔滴向熔池顺利过渡，减少飞溅和热量损失，改善焊接工艺性，提高生产率；药皮内“造气剂”、“造渣剂”可与熔池金属互相发生作用，产生大量气体与熔渣，隔离空气，对液态金属起“渣气”联合保护作用；另外，药皮内加入一定量合金元素，通过冶金反应去除有害杂质（O、H、N、S、P 等），同时添加有益的合金元素，使焊缝达到要求的力学性能。

#### 五、手工电弧焊引弧及运条练习（40 分钟）

低碳钢平焊，焊条 E4303，焊条直径 3.2mm，板厚  $\delta = 5\text{mm}$ ，焊接电流 120A；焊接设备：直流电焊机（8 台）

#### 六、授课总结（5 分钟）

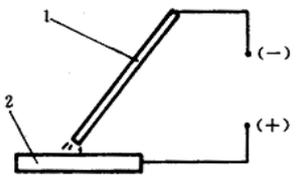
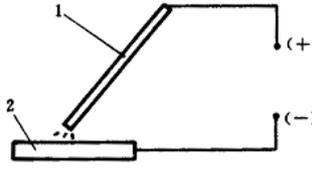
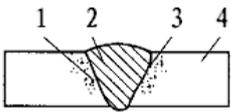
结合实物、挂图与实例进行焊接基础知识的讲解，包括焊接工艺概述、气焊及气焊基本操作技术、氧气气割操作技术及适用范围、手工电弧焊的实质及其操作方法、电焊条的组成及作用，尤其注重手工电弧焊的操作练习，通过练习更好的理解相关焊接知识。针对授课内容，布置相关思考题进行解答，以加深学生对上课内容理解。

# 东北电力大学

## 教案封皮

开课单位	工程训练教学中心	课程名称	金工实习-焊接 2
授课教师	邢健、耿富生、刘可心、段利利	授课对象	2014 级工科本科
选用教材	金属工艺学实习	总学时	2
课次	2	第 4 章	第 1、2、3、4、5 节
教学目的及要求	1、掌握手工电弧焊相关工艺； 2、了解氩弧焊焊接方法； 3、进一步练习手工电弧焊平焊操作要领，初步达到考核标准。		
教学重点处理安排	1、手工电弧焊平焊操作，对掌握不好的同学手把手教学。 2、以焊接理论为引导，在练习中加深理解焊接相关知识。 3、引导学生现场提问，现场做解答。		
教学难点处理安排	掌握引弧方法，焊接运条动作。（示范讲解加手把手教学）		
教学方式、方法	演示及实践操作		
教学内容及时间分配	1 手工电弧焊工艺基础讲解（30 分钟） 2 氩弧焊（10 分钟） 3 手工电弧焊平焊对接演示操作及氩弧焊演示操作（10 分钟） 4 手工电弧焊引弧及运条联系（10 分钟） 5 手工电弧焊平焊对接考核（25 分钟） 6 授课总结（5 分钟）		
例题、练习题	1、说明手工电弧焊直流正接、直流反接的区别及应用。 2、焊缝内部检测的方法及每种方法的特点。		
作业、思考题	铝及铝合金还有铜金属如何应用氩弧焊焊接？		

# 教 案

内 容	备 注
<p><b>一、手工电弧焊焊接工艺基础（30 分钟）</b></p> <p><b>1、焊条选择与电源极性</b></p> <p>1) 焊条种类和牌号的选择：主要依据母材的性能、接头的刚性和工作条件选择焊条，焊接一般碳钢和低合金钢主要是按等强原则选择焊条的强度级别，对一般结构选用酸性焊条，重要结构选用碱性焊条。</p> <p>2) 焊接电源种类和极性的选择：手弧焊时采用的电源有交流和直流两大类，根据焊条的性质进行选择。通常，酸性焊条可同时采用交、直流两种电源，一般优先选用交流弧焊机，采用直流电源时，通常采用正接（如图 7 所示）。碱性焊条由于电弧稳定性差，所以必须使用直流弧焊机，常采用反接（如图 8 所示）。对药皮中含有较多稳弧剂的焊条，可使用交流弧焊机，但电源的空载电压应较高些。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>图 7 正接法</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>图 8 反接法</p> </div> </div> <p>3) 焊条直径：根据焊件的厚度进行选择。厚度越大，焊条直径应越粗。另外，还要综合考虑接头形式、焊缝空间位置等。</p> <p>4) 电弧电压：手弧焊时，电弧电压主要决定弧长。电弧长，电弧电压高。在焊接时应使弧长始终保持一致，并尽可能采用短弧焊接（弧长不超过焊条直径的 0.5-1 倍）。</p> <p><b>2、焊接接头</b></p> <p>焊接时，被焊的工件材料称为母材（或基本金属），焊条、焊丝、焊剂和钎料称为焊接材料（或填充金属）。熔焊过程中，母材局部熔化与熔化的填充金属形成液态熔池，熔池金属冷却凝固后为焊缝。焊缝两侧某些区域母材金属由于受到焊接时加热和冷却的影响，会发生组织转变，导致力学性能发生变化，这部分区域称为热影响区。热影响区与焊缝的交接处称为熔合区。焊缝、熔合区、热影响区统称为焊接接头。如图 1 所示。</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">图 1 焊接接头</p> <p style="text-align: center;">1 热影响区 2 焊缝金属 3 熔合线 4 母材</p> <p>一个焊接结构是由若干个焊接接头组成。对接接头、T 形接头、搭接接头、角接头是应用最广的四种接头。</p> <p><b>3、焊接位置</b></p> <p>1) 平焊 平焊是在水平面上任何方向进行焊接的一种操作方法。由于焊缝处在水平位置，熔滴主要靠自重过渡，操作技术比较容易掌握，可以选用较大</p>	

直径焊条和较大焊接电流，生产率高，因此在生产中应用较普遍。如果焊接工艺参数选择和操作不当，容易造成根部焊瘤或未焊透。

2) 立焊 立焊是在垂直方向进行焊接的一种操作方法，由于受重力作用，焊条熔化所形成的熔滴及熔池金属要向下坠落，造成焊缝成形困难，影响质量。因此，立焊时选用的焊条直径和焊接电流均应小于平焊，并同时采用短弧施焊。

3) 横焊 横焊是在垂直面上焊接水平焊缝的一种操作方法。由于熔化金属受重力作用，容易下淌而产生各种缺陷。因此，应采取短弧焊接，并选用较小直径焊条和较小焊接电流以及适当的运条方法。

4) 仰焊 仰焊是焊缝位于燃烧电弧的上方而进行焊接的一种方式，即焊工在仰视位置进行焊接。仰焊劳动强度大，是最难焊的一种焊接位置。由于仰焊时，熔化金属在重力作用下容易坠落，熔池形状和大小不易控制，容易出现夹渣、未焊透、凹陷现象，运条困难，焊缝表面不易平整。焊接时，必须正确选用焊条直径和焊接电流，以便减少熔池的面积。尽量使用厚药皮焊条和维持最短的电弧，有利于熔滴在很短时间内过渡到熔池中，促使焊缝成形。

#### 4、坡口形式及尺寸

##### 1) 坡口形式

当焊件较薄时，在焊件接头处只要留一定的间隙，就能保证焊透。焊件较厚时，根据设计或工艺需要，在两个焊件的待焊部位加工成一定的几何形状的沟槽叫坡口。

坡口的作用是为了保证焊缝根部焊透，使焊接电源能深入接头根部，以保证接头质量。同时，还能起到调节基体金属与填充金属比例的作用。

坡口按形状，可分为 I 形、V 形、X 形、U 形、单边 V 形、K 形、双 U 形、J 形等。

##### 2) 坡口尺寸

根部间隙 b: 打底焊时，为保证根部可以焊透，焊接前在焊接接头根部之间预留的空隙叫根部间隙。

钝边 P: 焊件开坡口时，为防止焊缝根部焊穿，沿焊件厚度方向未开坡口的端面部分。

坡口面: 焊件上的坡口表面。

坡口面角度和坡口角度: 焊件表面的垂直面与坡口面之间的夹角叫坡口面角度  $\beta$ ，两坡口面之间的夹角叫坡口角度  $\alpha$ 。

#### 5、焊接工艺参数

为保证焊接质量所选定的各物理量的总称叫焊接工艺参数。手弧焊的焊接工艺参数包括焊条直径、焊接电流、电弧电压、焊接速度和焊接层数等。

1) 焊接电流 其它工艺参数不变时，增加焊接电流，则焊缝厚度和余高都增加，而焊缝宽度几乎保持不变。

焊接电流的选择应考虑焊条直径的大小。例如，焊接低碳钢时，可根据下面的经验公式选择焊接电流。

$$I = (30-55) d$$

其中 I——焊接电流 (A)

d——焊条直径 (mm)

焊条直径的选择依据是焊件厚度，如表所示。多层焊的第一层焊缝和在非水平位置施焊时，应采用直径较小的焊条。

需要注意的是，电流强度是决定焊缝厚度的主要因素，在实际生产中，还

要根据焊件厚度、接头形式、焊接位置、焊条种类等因素，通过试焊来调整和确定焊接电流的具体取值。

2) 电弧电压 其它工艺参数不变时，电弧电压增大，焊缝宽度显著增加而焊缝宽度和余高有所减少。

电弧电压由电弧长度决定，是影响焊缝宽度的主要因素。电弧长，电弧电压高；电弧短，电弧电压低。电弧过长时，燃烧不稳定，熔深减小，并且容易产生焊接缺陷。因此，焊接时必须采用短电弧。一般要求电弧长度不超过焊条直径。

3) 焊接速度 焊接速度是单位时间内完成的焊缝长度。焊接速度增加时，焊缝厚度和焊缝宽度都明显的下降。这是因为焊接速度增加时，焊缝中单位时间内输入的热量减少了。手弧焊时，焊接速度由焊工凭经验掌握。

## 6、焊接检验方法

### (1)、焊接接头破坏性检验方法

破坏性检验是从焊件或试件上切取试样，或以产品的整体破坏做试验，以检查其各种力学性能、抗腐蚀性能等的检验方法。

#### 1) 力学性能检验

力学性能试验就是采用材料、坡口形式、焊接工艺等均与产品的实际情况相符的焊接试板，对焊接试板进行拉伸、弯曲、冲击、硬度和疲劳等试验，以测定焊缝金属的抗拉强度、屈服强度、延伸率、断面收缩率、韧性及疲劳强度等力学性能指标。

#### 2) 金相检验

分为宏观检验和微观检验两种。宏观检验是在焊接试板上截取试样，经过刨削、打磨、抛光、侵蚀和吹干，用肉眼或低倍放大镜观察，检验焊缝的金属结构、未焊透、夹渣、气孔、裂纹、偏析等缺陷。微观检验是将试样的金相磨片在显微镜下观察以检验焊缝、热影响区、母材的金相组织和确定内部缺陷。

#### 3) 焊缝金属的化学分析

用直径为 6mm 的钻头，从焊缝中或堆焊层上钻取 50~60g 焊缝金属碎屑，检验焊缝的化学成分，必要时，需要分析焊缝中的氢、氧或氮的含量。

#### 4) 腐蚀试验

一般用于不锈钢焊件，确定其在给定条件下，金属抵抗腐蚀的能力，估计使用寿命，分析引起腐蚀的原因并找出防止方法。

#### 5) 焊接性试验

评定母材焊接性的试验叫焊接性试验。焊接性试验的种类和方法很多，如碳当量法、根部裂纹敏感性评定法、热影响区最高硬度法、小铁研法、刚性板拘束法等。由于焊接裂纹是焊接接头中最危险的缺陷，所以用得最多的是焊接裂纹试验。通过焊接性试验，可以选择适合作母材的焊接材料；确定合适的焊接工艺参数，如确定焊接电流、焊接速度、预热温度等；研究和发新型材料。

### (2)、焊接接头非破坏性检验方法

非破坏性检验又称无损检验，是指在不破坏被检查材料或成品的性能、完整性的条件下进行检测缺陷的方法。

#### 1) 外观检查

外观检查主要依据有关的国家标准、专业标准、产品技术条件以及考试规则等文件，用肉眼或不超过 30 倍的放大镜，借助量规、样板及专用测量工具，测定焊缝的外形尺寸和鉴定焊缝有无气孔、咬边、焊瘤、裂纹等表面缺陷，来

判断焊接接头外表质量，是一种最简单而不可缺少的检查手段。

#### 2) 密封性检验

检查有无漏水、漏气和漏油等现象的试验。分为气密性试验和煤油渗漏检验。气密性试验是在容器内部通一定压力（远低于工作压力）的压缩空气，在焊缝外表面涂刷肥皂液，观察是否出现肥皂泡。煤油渗漏检验是在低压薄壁容器的焊缝一面涂上白垩粉水溶液，带干燥后，在另一面涂上煤油，在焊缝有穿透性缺陷时，干燥的白垩粉一面会形成明显的油斑或带条。

#### 3) 耐压检验

将水或油充入容器内缓慢加压，检查其是否泄漏、耐压或破坏等的试验，分为水压试验和气压试验。

#### 4) 磁粉探伤

磁粉探伤适合于发现薄壁工件、导管的表面裂纹、一定深度和一定大小的未焊透，但很难发现气孔、夹渣和隐藏较深的缺陷。按磁粉分类，磁粉探伤有干法和湿法两种。其原理是：将被检的铁磁工件放在较强的磁场中，磁力线通过工件时，形成封闭的磁力线。由于铁磁性材料的导磁能力很强，如果工件表面或近表面有裂纹、夹渣等缺陷存在时，将阻碍磁力线通过，磁力线不但会在工件内部产生弯曲，而且会有一部分磁力线绕过缺陷而暴露在空气中，产生磁漏现象。这个漏磁场能吸引磁铁粉，把磁铁粉集成与缺陷形状和长度相近似的迹象，其中，磁力线若垂直于裂纹时，显示最清楚。注意，经磁粉探伤过的工件有剩磁存在，必须采取去磁措施。

#### 5) 渗透探伤

渗透探伤是利用带有荧光染料或红色染料的渗透剂的渗透作用，显示缺陷痕迹的无损检验法。其中，荧光法适用于小型零件，着色法适用于大型非铁磁性材料的表面缺陷检验，其灵敏度较荧光检验高。

#### 6) 超声波探伤

超声波传播到两介质的分界面上时，能被反射回来，超声波探伤就是利用这一性质来检查焊缝中的缺陷。超声波在金属中可以传播很远（达 10m），因此可探伤厚大工件；同时超声波在介质中的传播速度恒定不变，因此可进行缺陷的定位，但其判断缺陷类型和定位的准确性较差，最好与射线探伤配合使用，先超声波探伤，后射线探伤透视核实，检验效果更好。

#### 7) 射线探伤

X 射线和  $\gamma$  射线能不同程度地透过金属材料，利用这种性能，当射线通过被检查的焊缝时，因焊缝内的缺陷对射线的吸收能力不同，使射线落在胶片上的强度不一样，胶片感光程度不一样，这样就能准确地显示缺陷的形状、位置和大小。X 射线设备复杂，费用大，穿透能力比  $\gamma$  射线小，但透照时间短，速度快，适合于检查厚度小于 30mm 工件。 $\gamma$  射线透照时间长，不宜于小于 50mm 工件的透视，能透照厚板，透照时不需要电源，方便野外工作。

### 7、焊接变形和焊接缺陷

#### 1) 焊接变形

焊接过程中，焊接接头区域受不均匀的加热和冷却，而其周围的母材金属则对焊接接头产生一定的刚性拘束。焊接加热时，焊接接头区域不能自由膨胀，焊后冷却过程又不能自由收缩，必然会产生焊接应力和焊接变形。在焊接结构生产中，焊接应力和焊接变形既同时存在，又相互制约。当结构拘束度较小，焊接过程中能够比较自由地膨胀和收缩时，则焊接应力较小而焊接变形较大；

反之，若结构拘束度较大或外加较大刚性拘束时，焊接过程中难以自由膨胀和收缩，则焊接变形较小而焊接应力较大。

焊接变形的基本形式有：收缩变形、角变形、弯曲变形、扭曲变形和波浪形变形等。焊接变形降低了焊接结构的尺寸精度，严重的变形还会造成焊件的报废。在实际生产过程中，可通过选择合适的焊接方法、选择合理的装配—焊接顺序、刚性固定、散热、反变形等方法控制焊接残余变形的产生。

## 2) 焊接缺陷

常见的焊接缺陷按其位置不同，可分为内部缺陷和外部缺陷两类：外部缺陷如焊缝外形尺寸不符合要求、咬边、焊瘤、内凹、弧坑、表面气孔、表面裂纹及表面夹渣等。内部缺陷如焊缝内部的夹渣、未焊透、未熔合、气孔、裂纹等。

焊缝表面尺寸不符合要求：焊缝表面高低不平、焊缝宽窄不齐、尺寸过大或过小、角焊缝单边以及焊脚尺寸不符合要求，均属于焊缝表面尺寸不符合要求。产生的原因主要是焊件坡口角度不对，装配间隙不均匀，焊接速度不当或运条手法不正确，焊条和角度选择不当或改变等。

焊接裂纹：在焊接应力或焊接残余应力的作用下，或者焊材本身具有较大的淬硬倾向，以及焊缝中的有害杂质的含量较高等因素的影响，焊接接头局部地区的金属原子结合力遭到破坏而形成的新界面所产生的缝隙叫焊接裂纹。焊接裂纹的特征是具有尖锐的缺口和大的长宽比。

气孔：焊接时，熔池中的气泡在凝固时未能逸出，残存下来形成的空穴叫气孔。

咬边：沿焊趾的母材部位产生的沟槽或凹陷叫咬边，主要是焊接参数选择不当，或操作工艺不正确造成的。

未焊透：焊接时接头根部未完全熔透的现象叫未焊透。

未熔合：熔焊时，焊道与母材之间或焊道与焊道之间，未完全熔化结合的部分叫未熔合，主要是焊接电流太小，层间清渣不干净，焊条偏心，焊条摆动幅度太窄等因素造成的。

夹渣：焊后残留在焊缝中的熔渣叫夹渣。

焊瘤：焊接过程中，熔化金属流淌到焊缝之外未熔化的母材上，所形成的金属瘤叫焊瘤。产生的主要原因是操作不熟练和运条角度不当。

塌陷：单面熔化焊时，由于焊接电流或装配间隙过大，造成焊缝金属过量透过背面，使焊缝正面塌陷、背面凸起的现象。

烧穿：焊接过程中，熔化金属自坡口背面流出，形成穿孔的缺陷，其产生原因是对焊件加热过甚造成的。正确选择焊接电流和焊接速度，严格控制焊件的装配间隙，或采用衬垫、焊剂垫等方法可有效防止烧穿现象的产生。

## 二、氩弧焊（10分钟）

以氩气作为保护气体的气体保护焊。按电极不同分为熔化极氩弧焊和钨极氩弧焊两种。

熔化极氩弧焊以连续送进的焊丝作为电极进行焊接，焊接过程可采用自动或半自动方式（焊丝送进采用机械控制，电弧移动由手工操作）。熔化极氩弧焊采用直流反接，使用电流强度较大，因此可焊接厚度为 25mm 以下的工件。

钨极氩弧焊焊接过程可以用手工进行，也可以自动进行。手工焊接时其操作与气焊相似，在钨极和焊件之间产生电弧，焊丝从一侧送入，在电弧热的作用下，焊丝与焊件熔化形成熔池，熔池金属冷却凝固后形成焊缝。整个焊接过

程中，钨极不熔化，但有少量损耗。因此，焊接钢材时，多用直流电源正接，以减少钨极的烧损，所以适合焊接较薄的材料。若焊接 3mm 以下的薄件时，常采用卷边接头直接熔合。若焊接铝、镁合金时，则希望用直流反接或交流电源，利用“阴极破碎”作用清除氧化物，同时减少钨极损耗。

氩弧焊适于焊接各类合金钢、易氧化的非铁金属及锆、钽、钼等稀有金属材料。其电弧燃烧稳定，飞溅小，焊缝致密，表面没有熔渣，成形美观。电弧在气流压缩下燃烧，热量集中，熔池小，焊接速度快，焊接热影响区窄，工件焊后变形小。容易实现全位置自动焊接。由于氩气价格较高，氩弧焊目前主要用于焊接铝、镁、钛及其合金，也用于焊接不锈钢、耐热钢和一部分重要的低合金结构钢焊件。

### 三、手工电弧焊平焊对接演示操作（5 分钟）

1、低碳钢平焊，焊条 E4303，焊条直径 3.2mm，板厚  $\delta = 5\text{mm}$ ，焊接电流 120A；  
焊接设备：直流电焊机（8 台）

#### 2、氩弧焊（5 分钟）

2mm 不锈钢板材平焊，焊丝直径 2mm，钨极直径 1.5mm，  
焊接设备：逆变氩弧焊机（2 台）

### 四、引弧、运条练习与考核（35 分钟）

要求：低碳钢平焊，焊条 E4303，焊条直径 3.2mm，板厚  $\delta = 5\text{mm}$ ，焊接电流 120A 左右；焊接设备：直流电焊机

### 五、授课总结（5 分钟）

针对焊接练习过程中出现的问题、原因及解决方法对学生进行说明，加强对授课内容的理解。