



第七章 焊接

本课题重点与难点

教学重点

焊接的特点、分类及应用，
焊条电弧焊，常用金属材料的焊接。

教学难点

焊接应力与变形。

7.1 焊接工艺基础

7.1.1 焊接的特点、应用与分类

1、焊接的主要特点

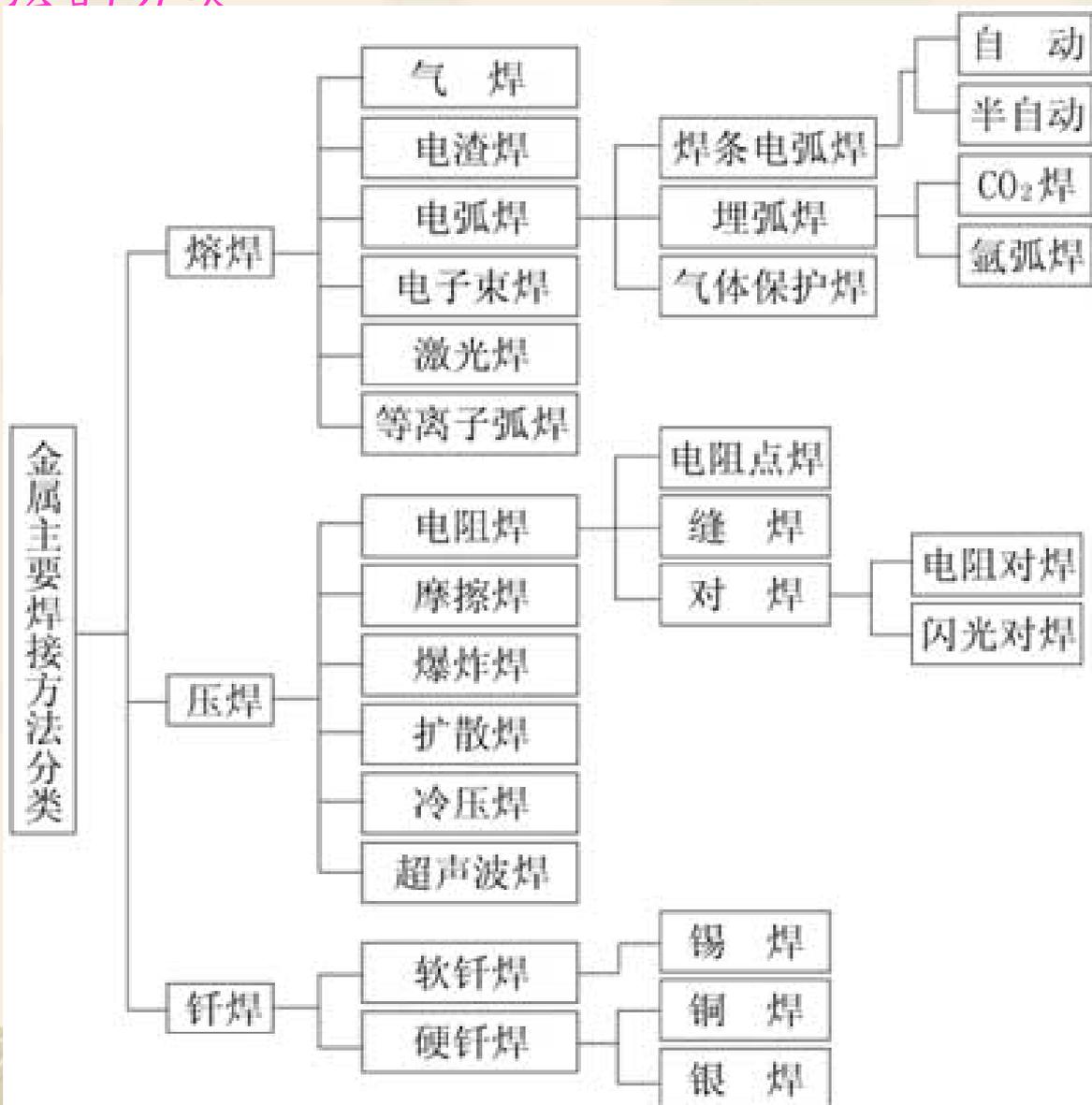
焊接与铆接等其他加工方法相比，具有减轻结构重量，节省材料；生产效率高，易实现机械化和自动化；接头密封性好，力学性能高；工作过程中无噪音等优点。其不足之处是会引起焊接接头组织、性能的变化，同时焊件还会产生较大的应力和变形。

2、焊接在工业生产中的应用

焊接主要用于制造各种金属构件，如建筑结构、船体、车辆、锅炉及各种压力容器。此外，焊接也常用于制造机械零件，如重型机械的机架、底座、箱体、轴、齿轮等。

7.1 焊接工艺基础

3、焊接方法的分类



7.1 焊接工艺基础

7.1.2 焊接接头的组织与性能

1、焊缝的组织与性能

用焊接方法连接的接头称焊接接头，简称接头。焊接时，电弧沿着工件逐渐移动并对工件进行局部加热。因此在焊接过程中，焊缝及其附近的母材经历了一个加热和冷却的过程。由于温度的分布不均匀，焊缝受到一次复杂的冶金过程，焊缝附近区域受到一次不同规范的热处理，所以引起相应的组织和性能变化，从而直接影响焊接质量。离焊缝越远的点，被加热的温度越低；反之，被加热的温度就越高。

7.1 焊接工艺基础

焊接接头由焊缝区、熔合区、热影响区三部分组成的。焊缝两侧因焊接热作用而导致母材的组织性能发生变化的区域称为焊接热影响区。焊缝和母材的交界线称为熔合线，熔合线两侧有一个比较窄小的焊缝与热影响区的过渡区，称为熔合区。焊缝组织是由熔池金属结晶得到的柱状铸态组织，由铁素体和少量珠光体组成。铸态组织晶粒粗大，组织不致密。但由于焊接熔池体积小，冷却速度快，焊条药皮、焊剂或焊丝在焊接过程中的渗合金作用，使得焊缝金属中锰、硅等合金元素含量可能高于母材，所以焊缝金属的力学性能不低于母材，特别是强度容易达到。

7.1 焊接工艺基础

2、热影响区及熔合区的组织与性能

(1) 熔合区

也称半熔化区，化学成分不均匀，金属组织晶粒粗大，其力学性能最差。

(2) 热影响区

由于热影响区各点温度不同，热影响区可分为过热区、正火区和部分相变区等。

(1) 过热区。焊接时被加热到 Ac_3 以上 $100 \sim 200^\circ C$ 至固相线温度区间，奥氏体晶粒急剧长大，冷却后产生晶粒粗大的过热组织。因而其塑性及韧性很低，容易产生焊接裂纹。

(2) 正火区。被加热到 Ac_3 至 Ac_3 以上 $100 \sim 200^\circ C$ 区间，金属发生重结晶，冷却后得到均匀而细小的铁素体和珠光体组织，其力学性能优于母材。

7.1 焊接工艺基础

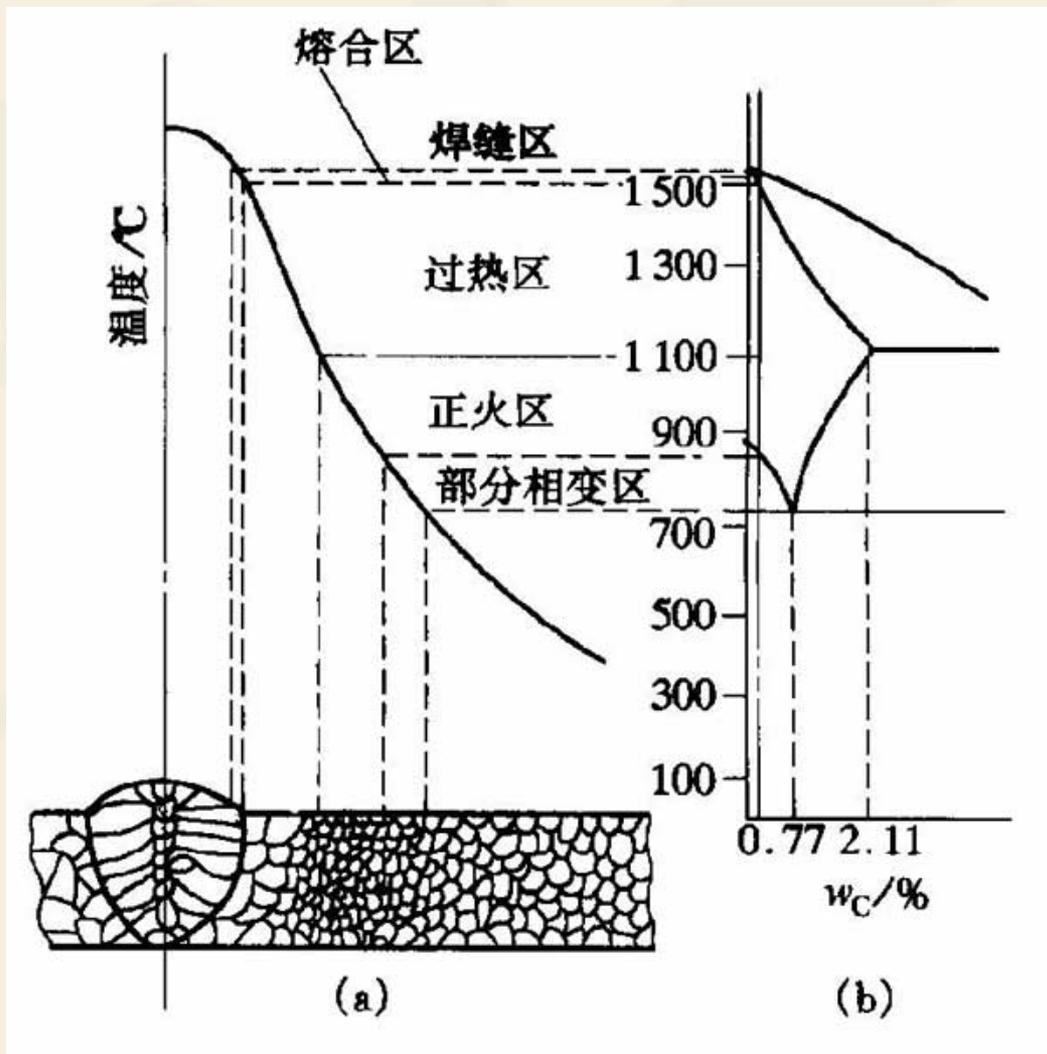
(3) 部分相变区

被加热到 $Ac_1 \sim Ac_3$ 温度区间，珠光体和部分铁素体发生重结晶，晶粒细化；部分铁素体来不及转变。冷却后晶粒大小不均匀，其力学性能较差。

综上所述，熔合区和过热区是焊接接头中比较薄弱的部分，对焊接质量影响最大。因此在焊接过程中尽可能减小其宽度。

焊接接头组织和性能的好坏主要与焊接材料、焊接方法和焊接工艺有关，其中焊接工艺是影响焊接接头组织和性能的主要因素

7.1 焊接工艺基础



7.2 常用焊接方法

7.2.1 焊条电弧焊

焊条电弧焊是利用电弧产生的热量来熔化焊条和部分工件，从而使两块金属连成一体的人工操作的焊接方法。由于它使用的设备简单，操作灵活方便，能够适应各种条件下的焊接，因此成为熔焊中应用最广泛的一种焊接方法。但焊条电弧焊要求操作者技术水平较高，生产率较低，劳动条件较差。

1、焊接过程

焊接电弧是由焊接电源供给的，具有一定电压的两电极间或电极与母材间，在气体介质中产生的强烈而持久的放电现象。

1) 焊接电弧的产生

7.2 常用焊接方法

2) 电弧的组成及热量分布

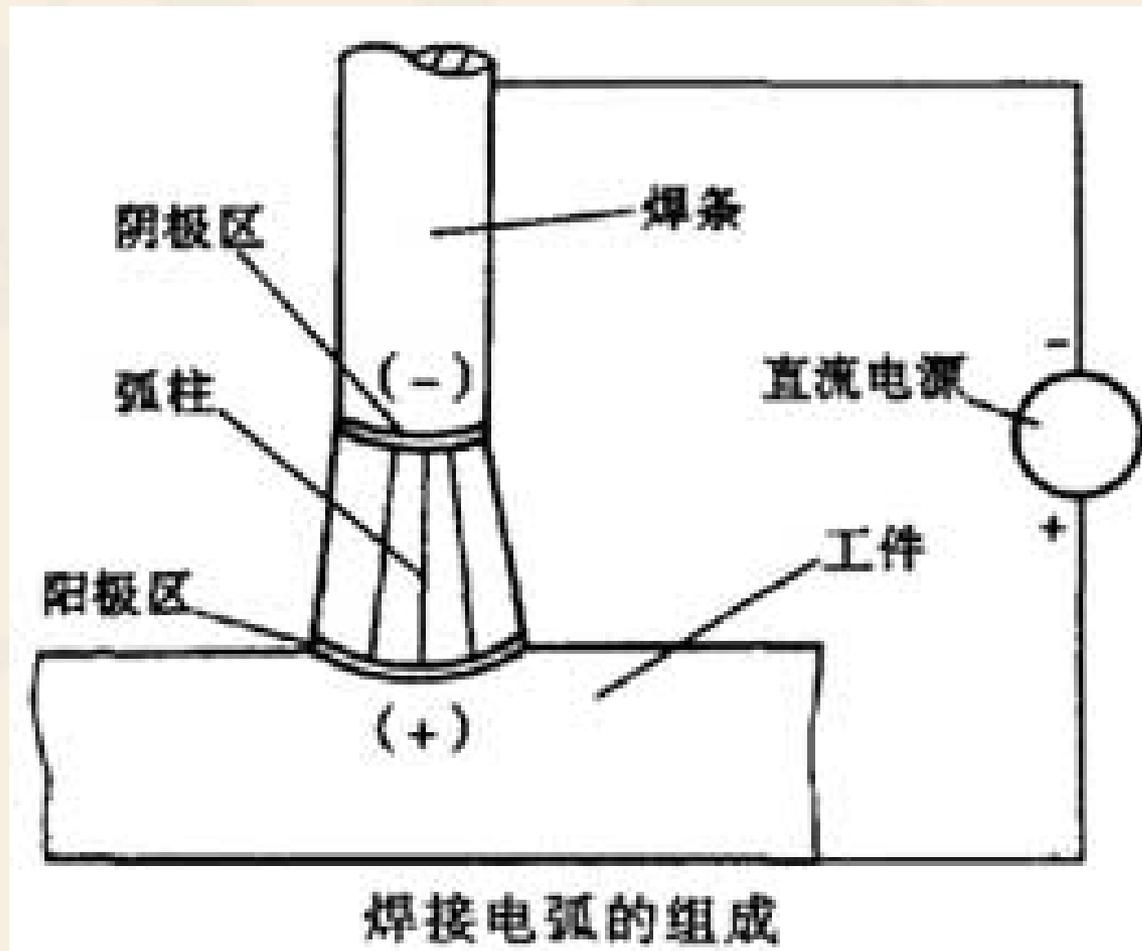
焊接电弧分三个区域，即阴极区，阳极区和弧柱区。当采用直流电源时，如焊条接负极，工件接正极，则阴极区在焊条末端，阳极区在工件上。

阴极区：热量约占电弧总热量的38%，温度约为2100℃。

阳极区：热量约占电弧总热量的42%，温度约为2300℃。

弧柱区：热量约占电弧总热量的20%，弧柱中心温度可达5700℃以上。图中纵坐标表示力拉伸力 F ，单位为N；横坐标表示绝对伸长量 Δl ，单位为mm。

7.2 常用焊接方法



7.2 常用焊接方法

3) 电弧的极性及应用

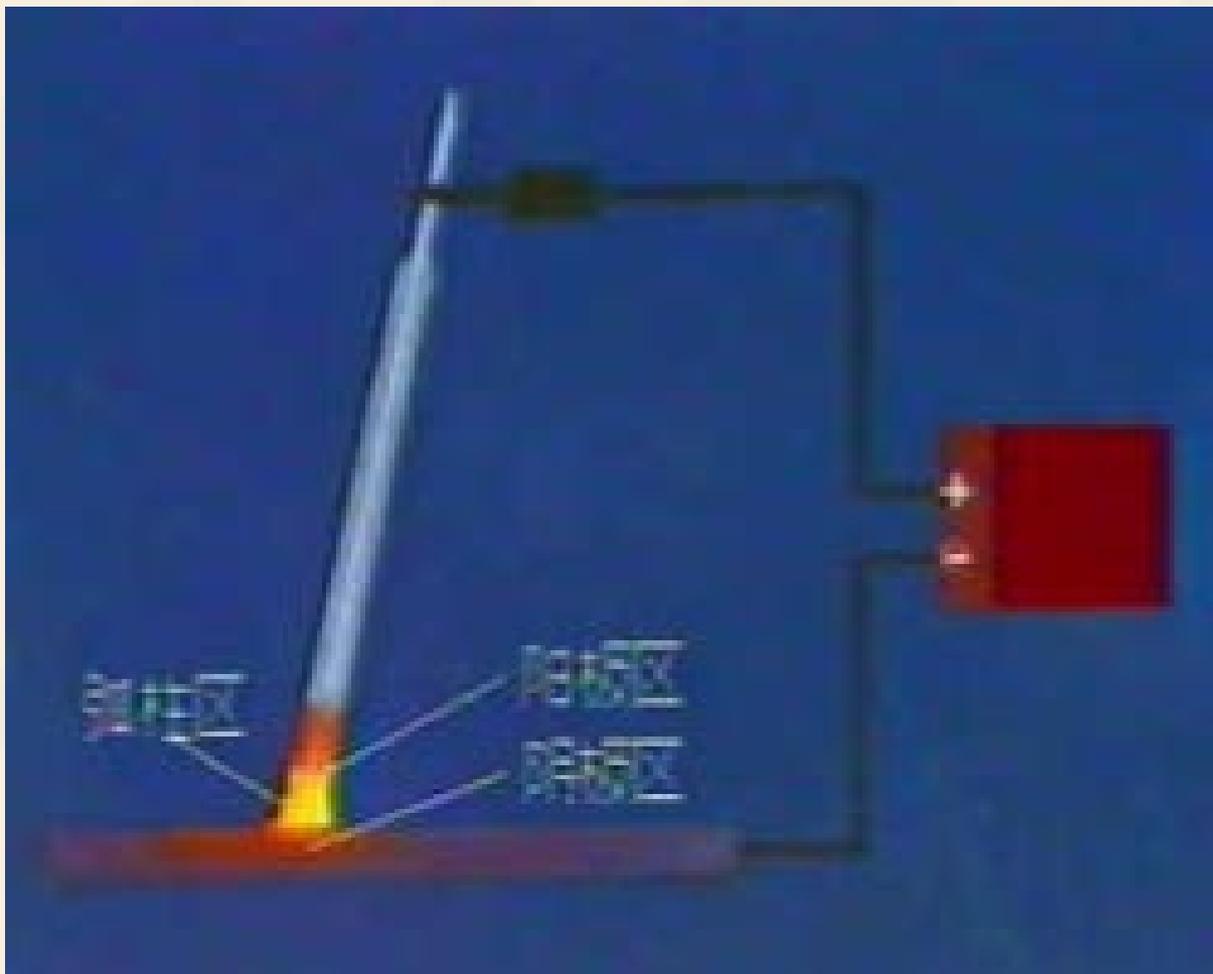
(1) 直流电源焊接

正接法：焊件接电源正极，焊条接负极，见左下图。正接时，工件上热量较大，可保证有较大的熔深，用于厚件焊接。

反接法：焊件接电源负极，见右下图用于薄板和有色金属焊接。

(2) 交流弧焊电源焊接时，不存在正、反接问题。与外力相等而方向相反的相互作用力，称为内力。单位截面积上的内力称为应力，拉伸时的应力用符号 σ 表示。

7.2 常用焊接方法



7.2 常用焊接方法

2、焊条电弧焊设备

焊条电弧焊的主要设备是电焊机，实际上是一种弧焊电源。按产生的电流种类不同，分为直流弧焊机和交流弧焊机。

(1) 直流弧焊机

直流弧焊机分焊接发电机和弧焊整流器两部分。

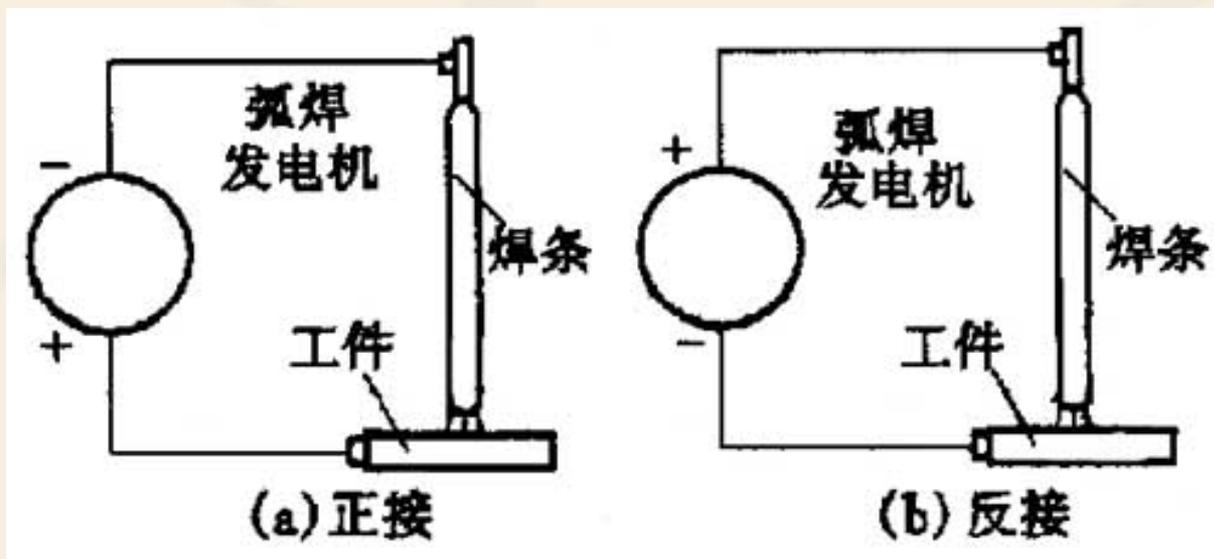
1) 焊接发电机

焊接发电机由交流电动机和直流电焊发电机同轴组装而成。请看焊接发电机实物录像。采用焊接发电机焊接时电弧稳定，能适应各种焊条，但结构复杂，噪音大，成本高。焊接发电机适用于小电流焊接。

7.2 常用焊接方法

2) 弧焊整流器

弧焊整流器是一种将交流电通过整流转换为直流电的直流弧焊机。请看弧焊整流器实物录像。弧焊整流器没有旋转部分，结构简单，噪音小，维修容易，使用已趋普遍。



7.2 常用焊接方法

(2) 交流弧焊机

它是符合焊接要求的降压变压器。请看交流弧焊机实物录像。交流弧焊机其结构简单，制造方便，成本低廉，节省电能，使用可靠，维修方便。缺点是电弧不够稳定。交流弧焊机是一种常用的焊条电弧焊设备。

(3) 焊钳和面罩

焊钳是用来夹持焊条和传递电流的。面罩是用来保护眼睛和面部，以避免弧光伤害。



7.2 常用焊接方法

3、焊条

(1) 焊条的组成

手工焊焊条由焊芯和药皮两部分组成。

1) 焊芯 焊芯是焊条中被药皮包覆的金属芯。它起导电和填充金属的作用。焊芯用钢丝通常采用焊接专用钢丝。常用的焊芯直径为2.5 - 6.0 mm，长度为 350 - 450 mm。

2) 药皮 药皮是压涂在焊芯表面的涂料层。

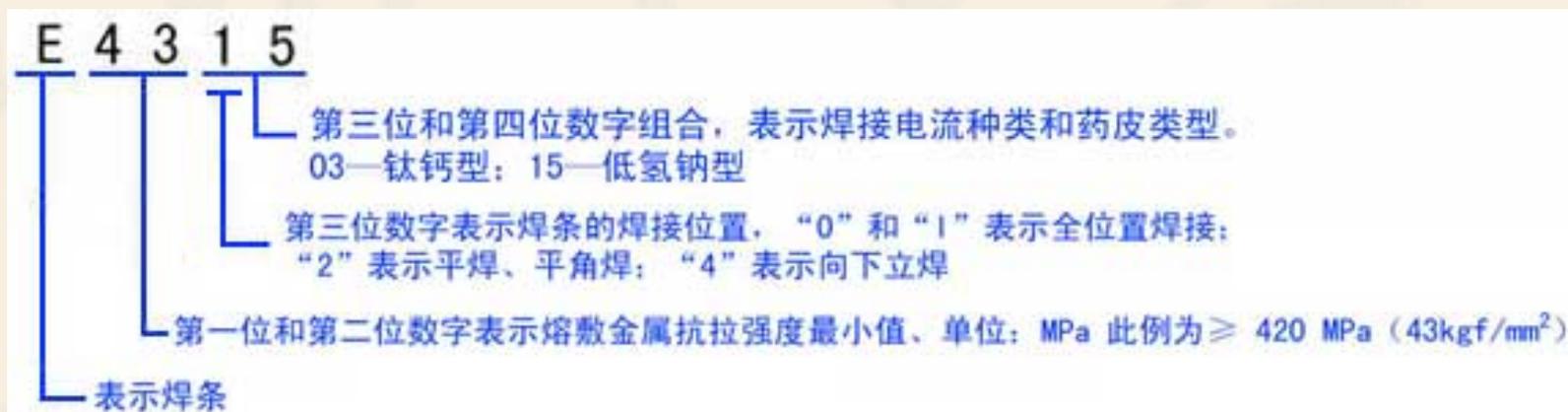
(2) 焊条的分类、型号与牌号

碳钢焊条	低合金钢焊条	不锈钢焊条	堆焊焊条
铸铁焊条	镍及镍合金焊条	铜及铜合金焊条	
特殊用途焊条	铝及铝合金焊条		

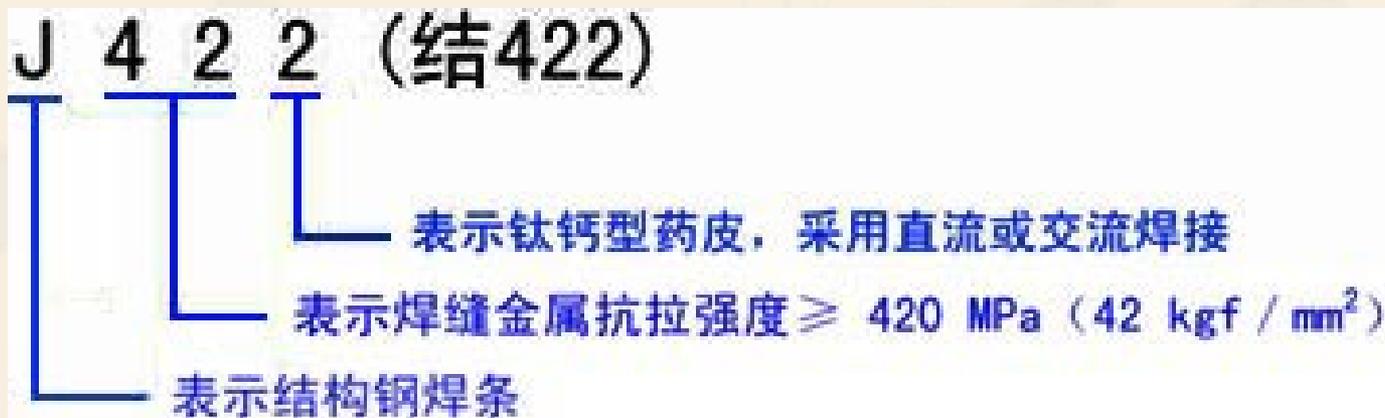
7.2 常用焊接方法

焊条的型号与牌号

GB 5117—1995 规定了碳钢焊条型号编制方法。



7.2 常用焊接方法



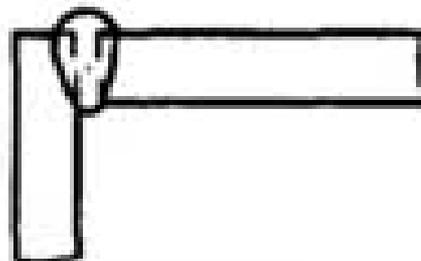
7.2 常用焊接方法

4、焊条电弧焊工艺

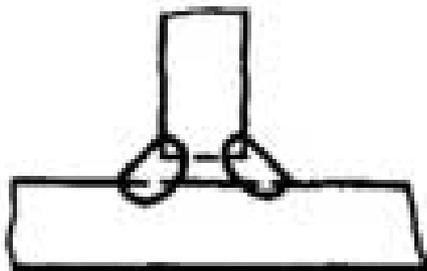
(1) 接头形式



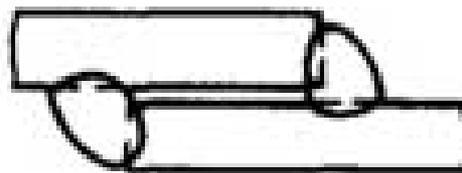
(a) 对接接头



(b) 角接接头



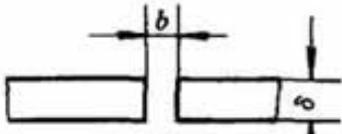
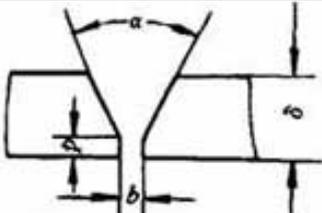
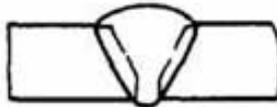
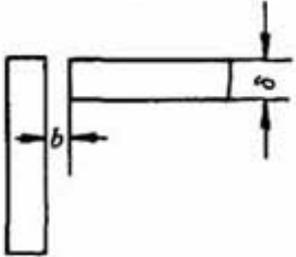
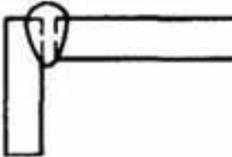
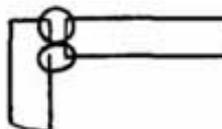
(c) T形接头



(d) 搭接接头

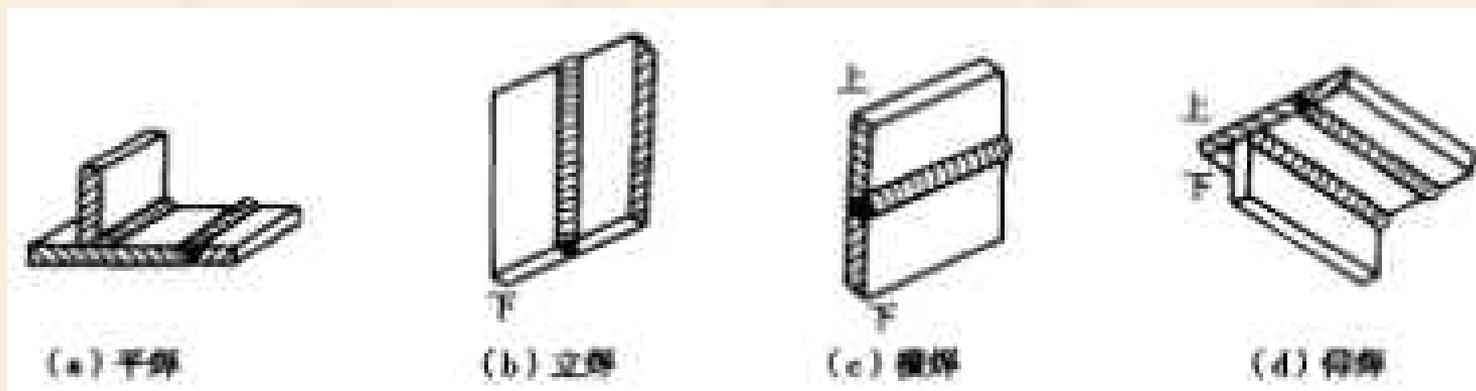
7.2 常用焊接方法

(2) 坡口形式

δ / mm	名称	坡口形式, 坡口尺寸 / mm	焊缝形式
1 ~ 3	I形坡口		 $b = 0 \sim 1.5$
3 ~ 6			 $b = 0 \sim 2.5$
3 ~ 26	Y形坡口	 $\alpha = 40^\circ \sim 60^\circ$ $b = 0 \sim 3$ $P = 1 \sim 4$	 
	I形坡口	 $b = 0 \sim 2$	 

7.2 常用焊接方法

(3) 焊缝的空间位置



(4) 焊接规范

1) 焊条直径

由工件厚度、焊缝位置和焊接层数等因素确定。
选用较大直径的焊条，能提高生产率。

但如用过大直径的焊条，会造成未焊透和焊缝成形不良。

7.2 常用焊接方法

2) 焊接电流

主要由焊条直径和焊缝位置确定 $I = K \cdot d$

式中: I ——焊接电流, A;

d ——焊条直径, mm;

K ——经验系数, 一般为25 - 60;

平焊时 K 取较大值; 立、横、仰焊时取较小值。使用碱性焊条时焊接电流要比使用酸性焊条时略小。增大焊接电流能提高生产率, 但电流过大, 易造成焊缝咬边和烧穿等缺陷;

焊接电流过小, 使生产率降低, 并易造成夹渣、未焊透等缺陷。

3) 电弧长度和焊接速度

电弧长度一般不超过2 - 4 mm。焊接速度以保证焊缝尺寸符合设计图样要求为准。

7.2 常用焊接方法

(5) 操作过程

1) 引弧

即电弧的引燃，就是使被焊工件和焊条之间产生稳定的电弧。将焊条与工件表面接触形成短路，然后迅速提起焊条并保持 2~4mm，即可产生电弧。引弧方法有碰撞引弧法和摩擦引弧法。

2) 运条

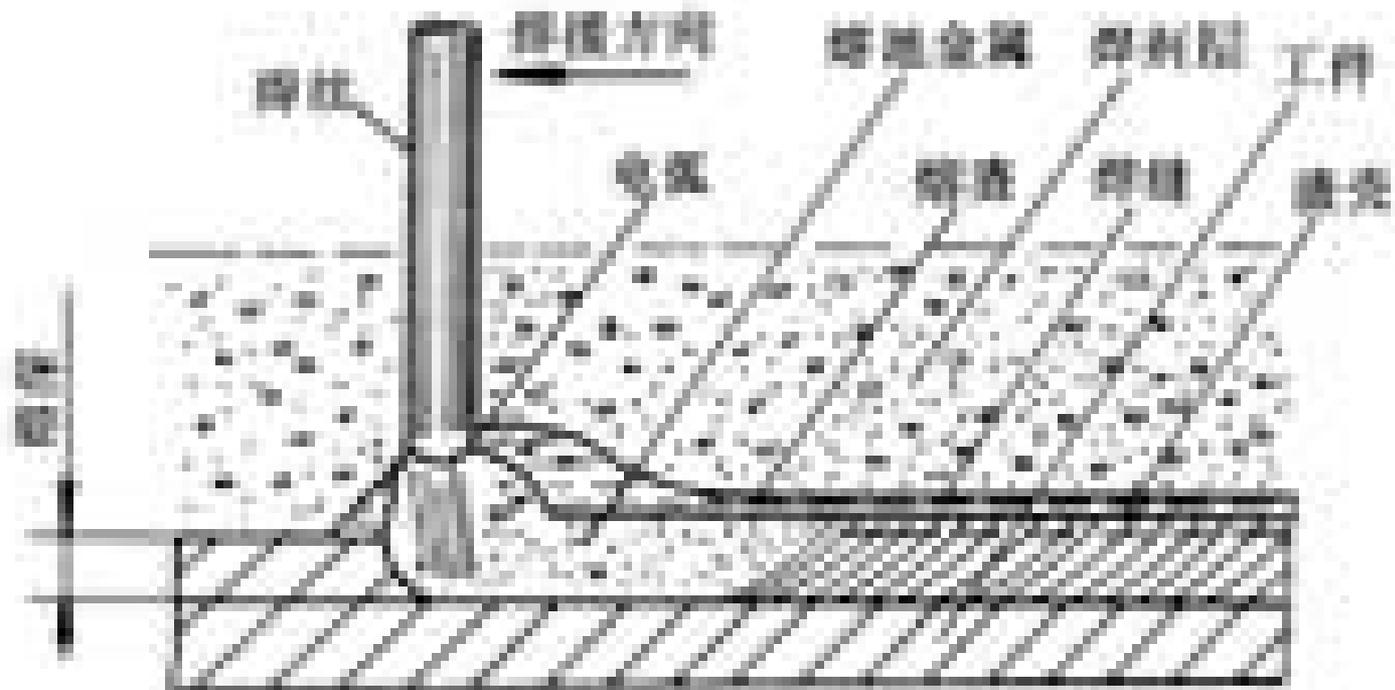
即焊条的运动。电弧引燃后，进入正常焊接过程，这时焊条作三个方向的运动：焊条向下均匀送进，以保证弧长不变；焊条沿焊缝方向逐渐向前移动；焊条作横向摆动，以利于熔渣和气体的浮出。

3) 焊缝的连接与收尾

7.2.2 埋

埋弧焊

埋弧自动焊

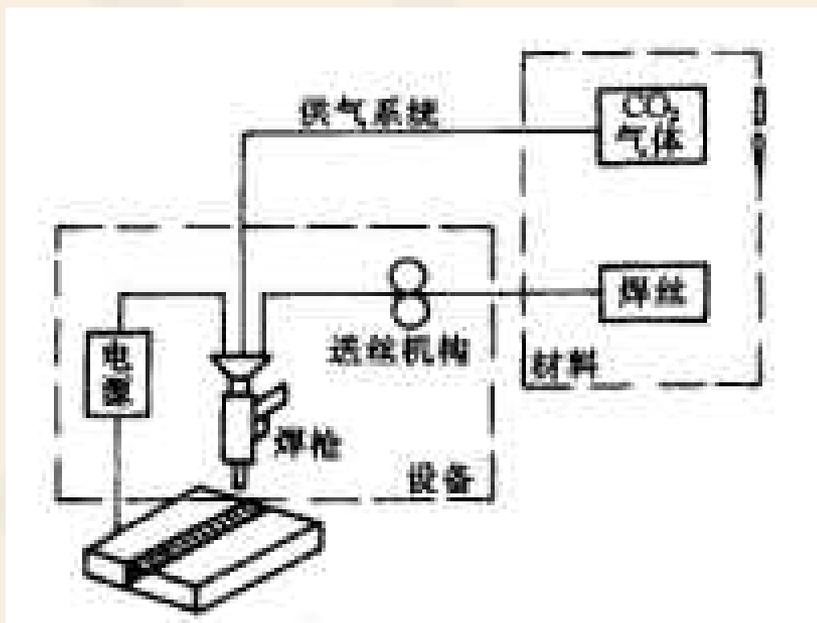


7.2 常用焊接方法

7.2.3 气体保护电弧焊

1、二氧化碳气体保护焊（简称CO₂焊）

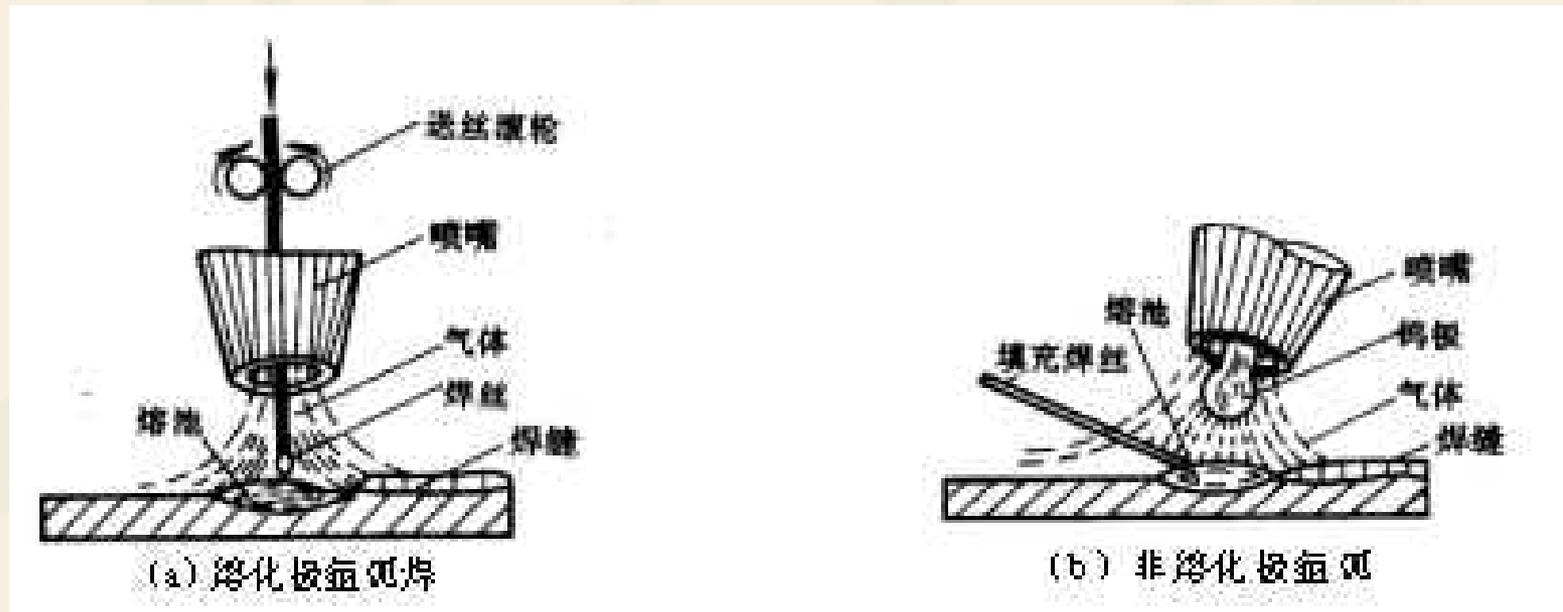
二氧化碳气体保护焊是利用CO₂作为保护气体的电弧焊



7.2 常用焊接方法

2、氩弧焊

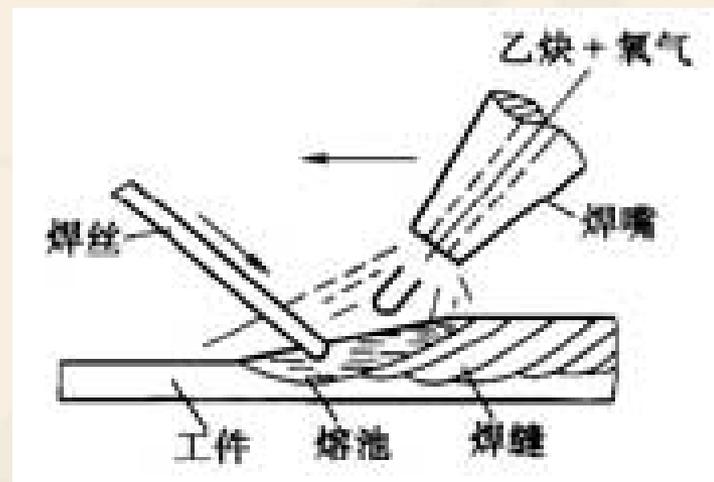
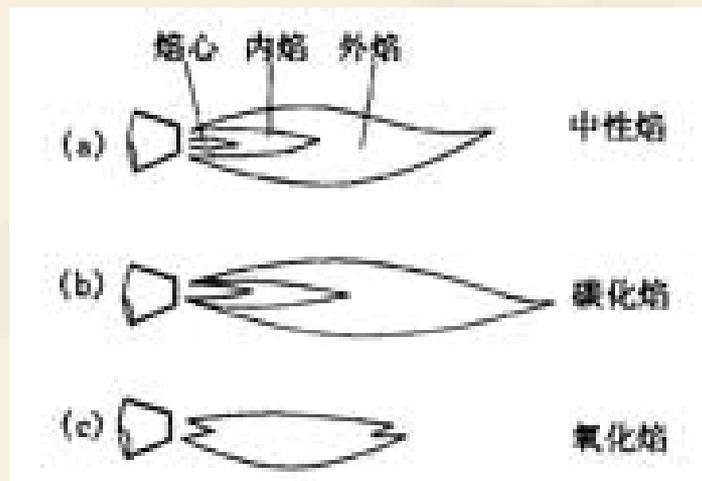
氩弧焊是以氩气作为保护气体的电弧焊。



7.2 常用焊接方法

7.2.4 气焊

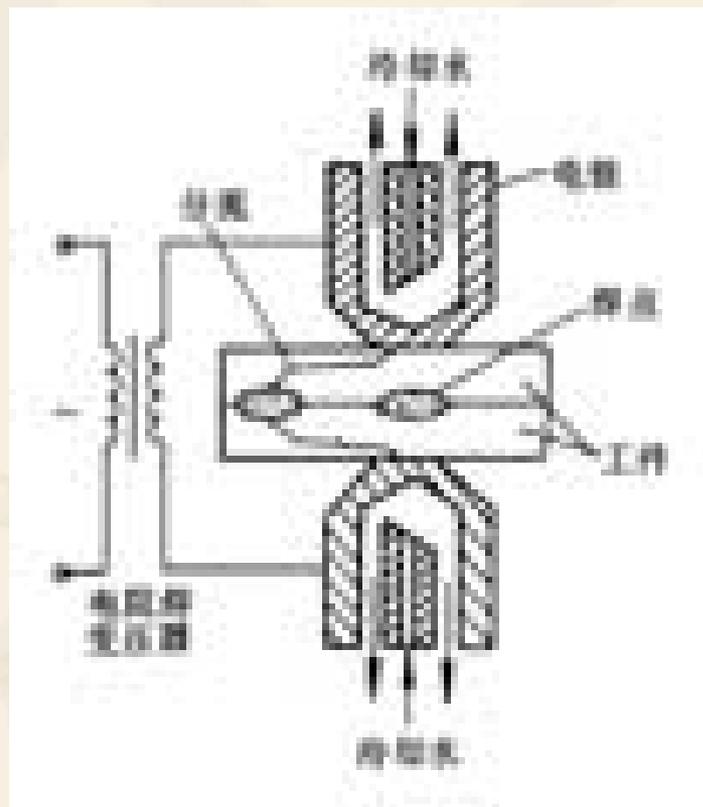
气焊是利用气体火焰作为热源，将工件和焊丝熔化而进行焊接的的一种方法。气焊时通过调节氧和乙炔的混合比值，可得到三种不同性质的气焊火焰：中性焰、碳化焰和氧化焰。



7.2 常用焊接方法

7.2.5 电阻点焊

电阻点焊是指将焊件装配成搭接接头，并压紧在两极间，利用电阻热熔化母材金属，形成焊点的电阻焊接方法。由于焊接处熔化的金属不与外界空气接触，所以焊接强度高，工件表面光滑，变形较小。电阻点焊主要用于板厚小于 4mm 的薄板结构，特殊情况可达 10mm。电阻点焊广泛用于制造汽车车箱、飞机外壳和仪表等轻型结构。



7.2 常用焊接方法

7.2.6 钎焊

钎焊是将熔点低的金属材料作钎料和工件共同加热到高于钎料熔点，在工件不熔化的情况下，使钎料熔化后填满被焊工件连接处的间隙，并与被焊工件相互扩散而形成接头的焊接方法。

钎焊与熔焊相比，优点是加热温度低，接头组织和力学性能变化小，工件变形小；能焊接同种金属或不同种金属；设备简单，易实现自动化；焊接过程简单，生产效率高；钎焊接头强度低，常用搭接接头来提高承载能力。钎焊主要用于精密仪表、电气零部件、异种金属构件、复杂薄板构件及硬质合金刀具的焊接。

7.3 常用金属材料焊接

7.3.1 金属材料的焊接性

(1) 焊接性概念

焊接性反映金属材料在一定的焊接工艺条件下，获得优质焊接接头的难易程度。

它包括两方面内容：

1) **接合性能**：即在一定的焊接工艺条件下，形成焊接缺陷的敏感性。

2) **使用性能**：即在一定的焊接工艺条件下，焊接接头对使用要求的适应性。

7.3 常用金属材料的焊接

(2) 钢焊接性的评定

钢的焊接性取决于碳及合金元素的含量，其中碳含量影响最大。把钢中合金元素（包括碳）的含量按其作用换算成碳的相当含量，用符号 W_{CE} 表示，它可作为评定钢材焊接性的一种参考指标，见下面公式。

$$W_{CE} = W_C + \frac{W_{Mn}}{6} + \frac{W_{Mn} + W_{Ni}}{15} + \frac{W_{Cr} + W_{Mo} + W_V}{5}$$

式中元素的符号表示其在钢中含量的百分数。当：

$W_{CE} < 0.4\%$ 时，焊接性优良。

$W_{CE} = 0.4\%$ 时，焊接性较差。

$W_{CE} > 0.4\%$ 时，焊接性差，须焊前预热和严格的

工艺措施。

7.3 常用金属材料的焊接

7.3.2 常用金属材料的焊接

1、低碳钢的焊接

低碳钢的碳质量分数 $W_c < 0.25\%$ ，塑性好，焊接性优良。焊前一般不需预热，适应各种不同接头、不同位置、不同焊接方法和交直流弧焊机的焊接。

2、低合金高强度结构钢的焊接

强度级别较低的低合金高强度结构钢，当 $W_{CE} < 0.4\%$ 时，焊接性良好。当 $W_{CE} > 0.4\%$ 时，焊接性较差，焊前需预热；焊接时增大焊接电流，减慢焊接速度，选用低氢型焊条，减少冷裂纹；焊后应及时进行热处理，以消除应力。

7.3 常用金属材料的焊接

3、奥氏体不锈钢的焊接

奥氏体不锈钢焊接性良好，一般采用快速焊，收弧时注意填满弧坑，焊接电流比焊低碳钢时要降低20%左右。

4、有色金属的焊接

(1) 铝及铝合金的焊接

铝及铝合金的焊接性不良，易产生夹渣、气孔、烧穿、热裂纹等缺陷。须采取特殊工艺措施，才能保证焊接质量。常用的焊接方法有氩弧焊、气焊和焊条电弧焊等。

(2) 铜及铜合金的焊接

铜及铜合金焊接性能较差，易产生未焊透、不熔合、夹渣、热裂、气孔、变形大等缺陷。

7.3 常用金属材料的焊接

5、铸铁的焊接

铸铁含碳量高，杂质多，塑性差。焊接性较差。焊接只用来修补铸铁件缺陷和修理局部损坏的零件。补焊铸铁的常用方法是气焊和焊条电弧焊。铸铁补焊的主要问题是出现白口组织和裂纹。

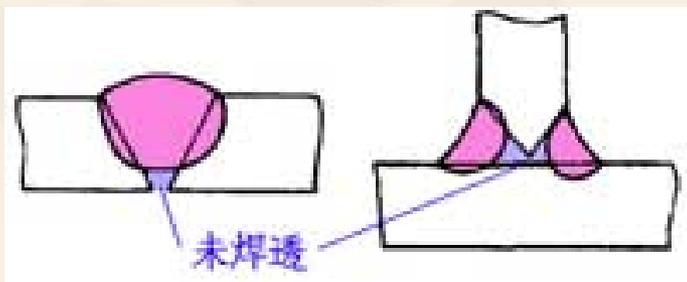
预防白口的措施是在焊条或焊丝中加入碳、硅等石墨化元素，使焊缝形成灰口组织；减慢冷却速度，条件允许时采用钎焊等。

预防裂纹的措施是注意焊前预热和焊后缓冷，控制连续焊的焊缝长度；采用小电流、断续焊等方法。铸铁焊补时必开坡口，并清除坡口及附近的铸造缺陷及脏物。

7.4 常见焊缝缺陷及检验

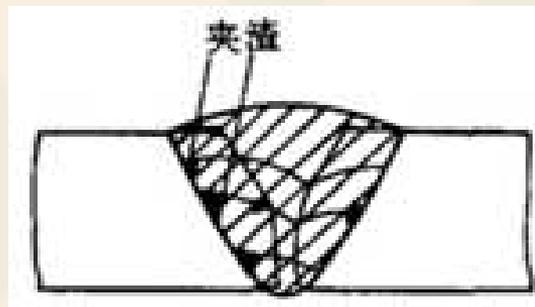
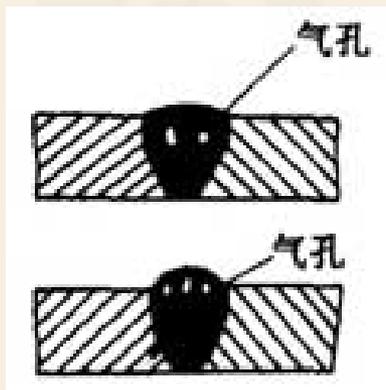
在焊接过程中，焊接接头区域有时会产生不符合设计或工艺文件要求的各种焊接缺陷。焊接缺陷的存在，不但降低承载能力，更严重的是导致脆性断裂，影响焊接结构的使用安全。所以，焊接时应尽量避免焊接缺陷的产生，或将焊接缺陷控制在允许范围内。常见焊接缺陷有：

1、未焊透与未熔合

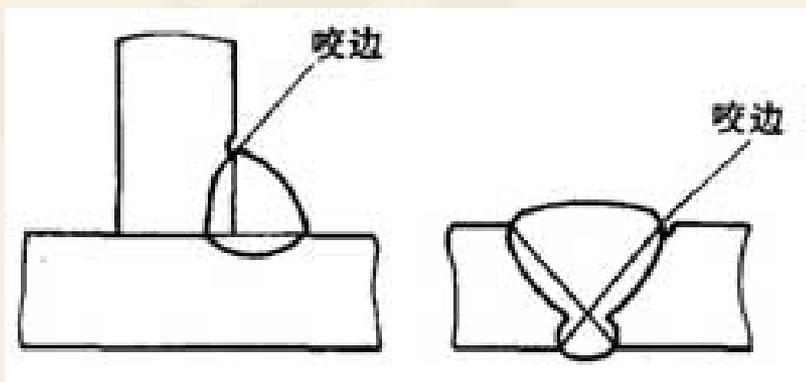


7.4 常见焊缝缺陷及检验

2、气孔与夹渣

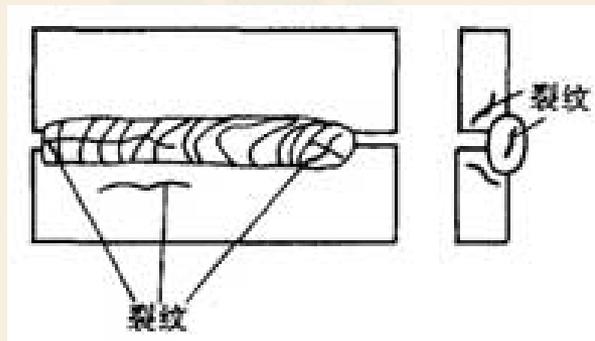


3、咬边

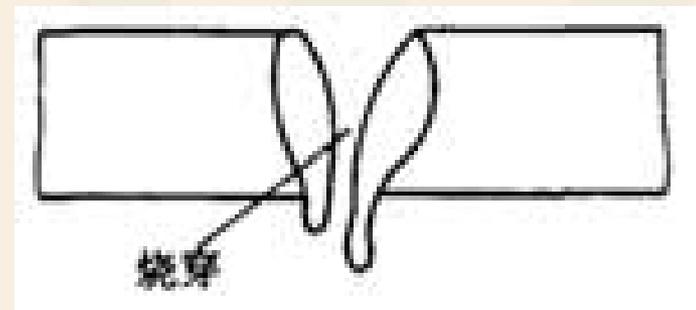


7.4 常见焊缝缺陷及检验

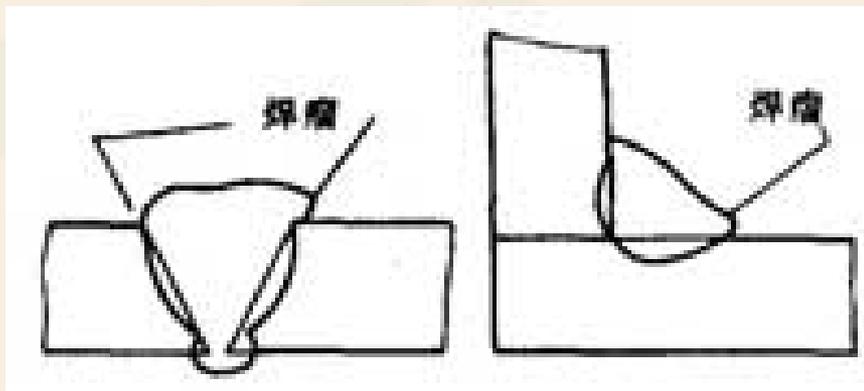
4、裂纹



5、烧穿



6、焊瘤



7.5 焊接新技术简介

7.5.1 传统焊接方法的新发展

为提高焊接质量和焊接生产率，利用传统的焊接方法，组织生产线，实现机械化，使焊接过程自动化、智能化是重点发展方向，目前全世界 50% 以上的工业机器人是用于焊接技术。

最大限度地采用熔化极气体保护焊和埋弧焊，代替焊条电弧焊是自动化发展的主要方向。

7.5 焊接新技术简介

7.5.2 高能束焊接方法的应用

高能束焊接方法能量密度高，可一次穿透较厚的焊缝而不需预制坡口，可焊接任何金属和非金属材料。

1、等离子弧焊

等离子弧焊是借助水冷喷嘴对电弧的拘束作用，获得较高能量密度的等离子弧进行焊接的方法。

2、真空电子束焊

真空电子束焊是将工件放在真空内，利用真空室内产生的电子束经聚焦和加速，撞击工件后动能转化为热能的一种熔化焊。

7.5 焊接新技术简介

3、激光焊

激光焊是以聚焦的激光束作为能源轰击工件所产生的热量进行焊接的方法。

激光束能量密度大，加热范围小，焊接速度快，焊缝可极为窄小，可以焊接所有金属，能在任何空间进行焊接，并可实现其他焊接方法所不能完成的远距离焊接。多用于仪器、微电子工业中超小型元件及空间技术中特种材料的焊接。

7.5 焊接新技术简介

7.5.3 特种焊接方法

1、超声波焊

超声波焊是利用超声波的高频振荡能对工件接头进行局部加热和表面清理，然后施加压力实现焊接的一种压焊方法。

它可以焊接一般焊接方法难以或无法焊接的焊件和材料，如铝、铜、镍、铂、金、银等薄件。

超声波焊广泛应用于无线电、仪表、精密机械及航空工业等部门。

7.5 焊接新技术简介

2、扩散焊

扩散焊是将工件在高温下加压，但不产生可见变形和相对移动的固态焊接方法。

它能焊接同种和异种金属材料，特别是不适于熔焊的材料，还可用于金属与非金属间的焊接，能用小件拼成力学性能均一和形状复杂的大件，以代替整体锻造和机械加工。

7.5 焊接新技术简介

3、爆炸焊

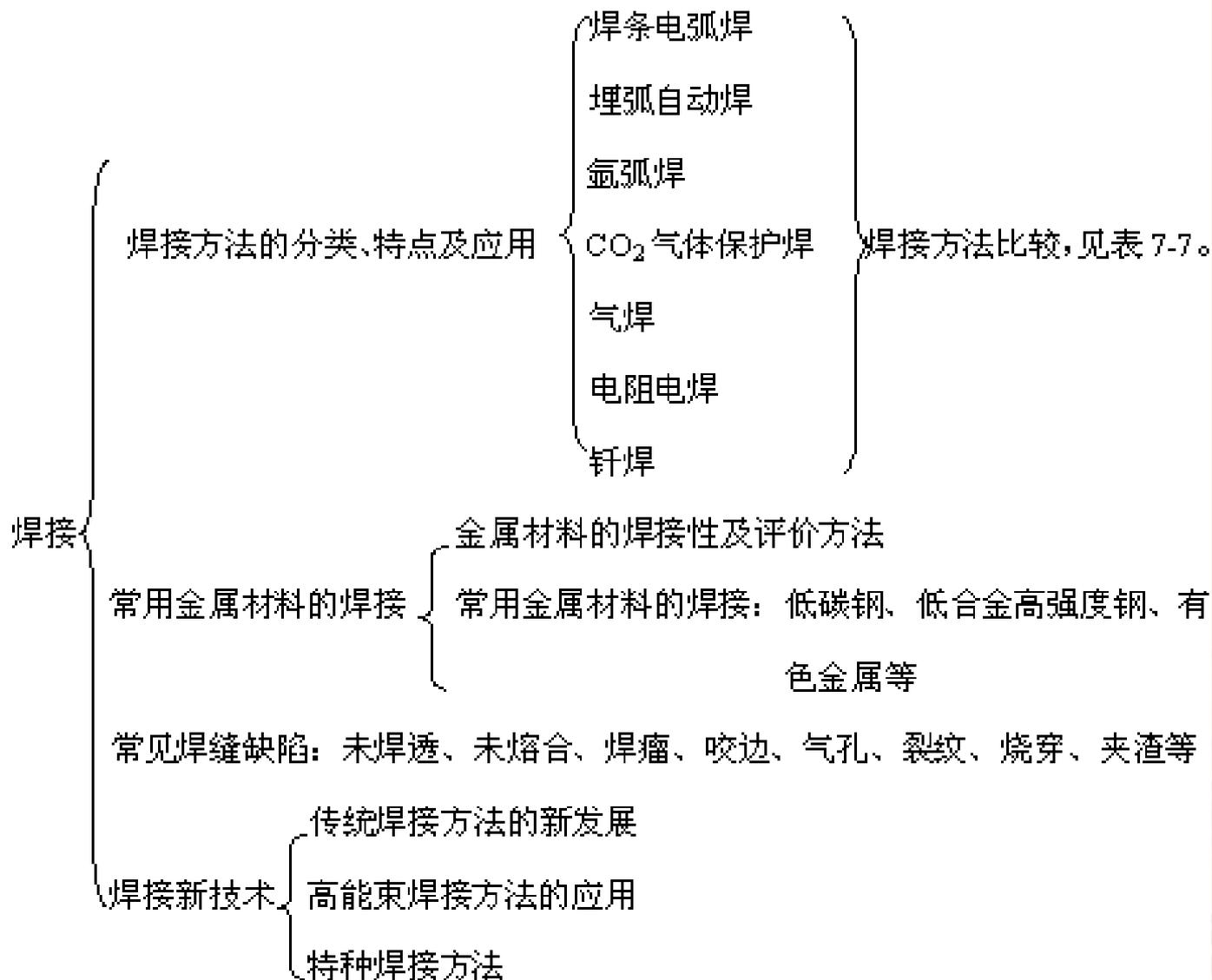
爆炸焊是利用炸药爆炸产生的冲击力造成焊件的迅速碰撞，实现连接焊件的一种压焊方法。

国外已用爆炸方法复合了近300种复合板材。

美国“阿波罗”登月宇宙飞船的燃料箱用钛板制成，它与不锈钢管的联结采用了爆炸焊方法。日本利用爆炸焊方法维修舰船，给磨损的水下机件重新加上不锈钢。

本章小节

本章学习的主要知识点见框图，各种焊接方法的比较见表 7-8。



本章小节

常用焊接方法比较

焊接方法	特点	应用
焊条电弧焊	<ul style="list-style-type: none"> (1) 焊接质量好 (2) 焊接变形小 (3) 生产率高 (4) 设备简单 (5) 适应性强，可焊接各种位置和短、曲焊缝 	<ul style="list-style-type: none"> (1) 单件小批生产 (2) 全位置焊接 (3) 短、曲焊缝 (4) 板厚 $> 1\text{mm}$
气焊	<ul style="list-style-type: none"> (1) 熔池温度易控制 (2) 焊接质量较差 (3) 生产率低 (4) 焊接变形大 (5) 不需要电源，可野外作业 (6) 设备简单 	<ul style="list-style-type: none"> (1) 铸铁补焊 (2) 管子焊接 (3) 薄板 $1 \sim 3\text{mm}$ (4) 野外作业
埋弧自动焊	<ul style="list-style-type: none"> (1) 对焊工操作技术要求低 (2) 焊接质量稳定，成形美观 (3) 生产率高，成本低 (4) 劳动强度高 (5) 适应性差，只适合平焊 (6) 设备较复杂 	<ul style="list-style-type: none"> (1) 成批生产 (2) 能焊长直缝和环缝 (3) 中厚板平焊
氩弧焊	<ul style="list-style-type: none"> (1) 焊接质量优良 (2) 电弧稳定 (3) 可全位置焊接 (4) 成本高 	<ul style="list-style-type: none"> (1) 铝及铁合金，不锈钢等合金钢 (2) 打底焊 (3) 管子焊接 (4) 薄板
CO ₂ 气体保护焊	<ul style="list-style-type: none"> (1) 成本低 (2) 焊薄板变形大 (3) 生产率高 (4) 可全位置焊接 (5) 没有氧化性 (6) 成形较差 (7) 设备使用和维修不方便 	<ul style="list-style-type: none"> (1) 单件小批量或成批生产 (2) 非合金钢和强度级别低的低合金结构钢 (3) 薄板或中板
电阻点焊	<ul style="list-style-type: none"> (1) 焊接变形小 (2) 生产率高 (3) 设备复杂，成本高 	<ul style="list-style-type: none"> (1) 大批量生产 (2) 可焊异种金属 (3) 可点焊、对焊和缝焊
钎焊	<ul style="list-style-type: none"> (1) 焊接变形小 (2) 生产率高 (3) 接头强度低 (4) 可焊接异种金属 (5) 可焊复杂的特殊结构 	<ul style="list-style-type: none"> (1) 电子工业 (2) 仪器仪表及精密机械零件 (3) 异种金属 (4) 复杂的、难焊的特殊结构