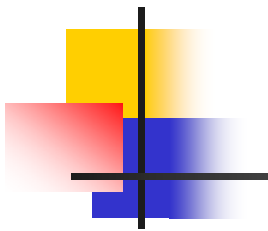


焊接



- 
- 焊接——是指通过适当的物理化学过程使两个分离的固态物体产生原子（分子）间结合而连接成一体的加工方法。
 - 对被连接的材料施加压力，破坏接触表面的氧化膜和吸附层，增加有效接触面积。
 - 加热待连接材料（局部或整体）
 - 金属的连接在现代工业中具有重要的意义。



焊接可分为三大类

- **熔焊（液相焊接）** 利用局部加热，使焊件接头处熔化并加入填充金属，待其冷却凝固后连接成整体的焊接方法，如气焊、电弧焊、电渣焊、等离子弧焊和激光焊等。
- **压焊（固相焊接）** 利用加热或其它方法使金属接头处于半熔化或高塑性状态，在足够的压力下产生塑性变形，通过原子间的结合连结金属的方法，如电阻焊、摩擦焊等。
- **钎焊（液-固相焊接）** 利用低熔点钎料被加热熔化，在焊件接头处与母材相互扩散而形成焊接接头的方法。钎焊可分为**软钎焊**和**硬钎焊**。



焊接接头形式

- 对接接头
- 角接接头
- 搭接接头
- T型接头

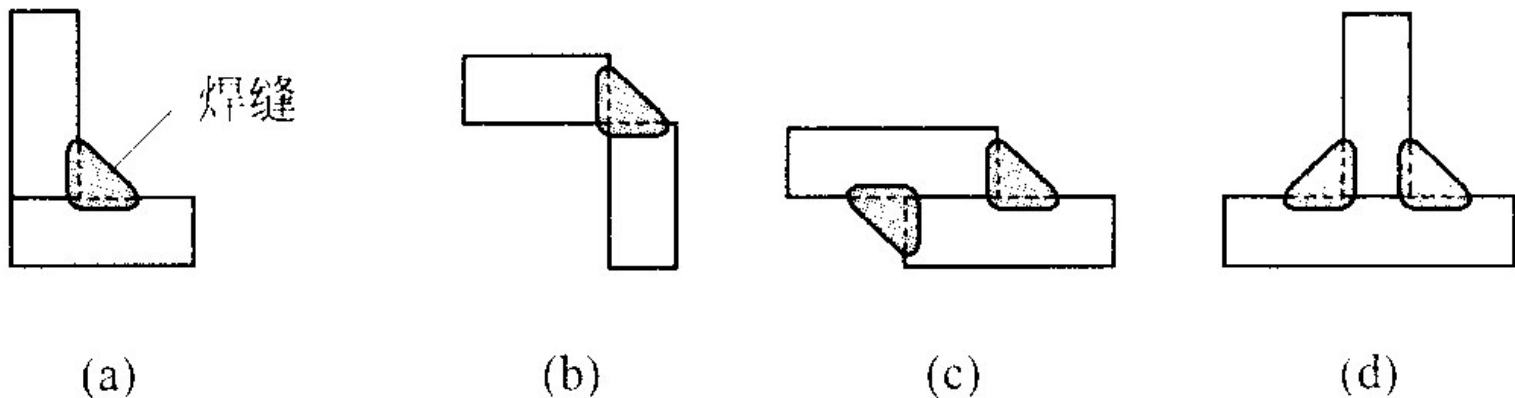
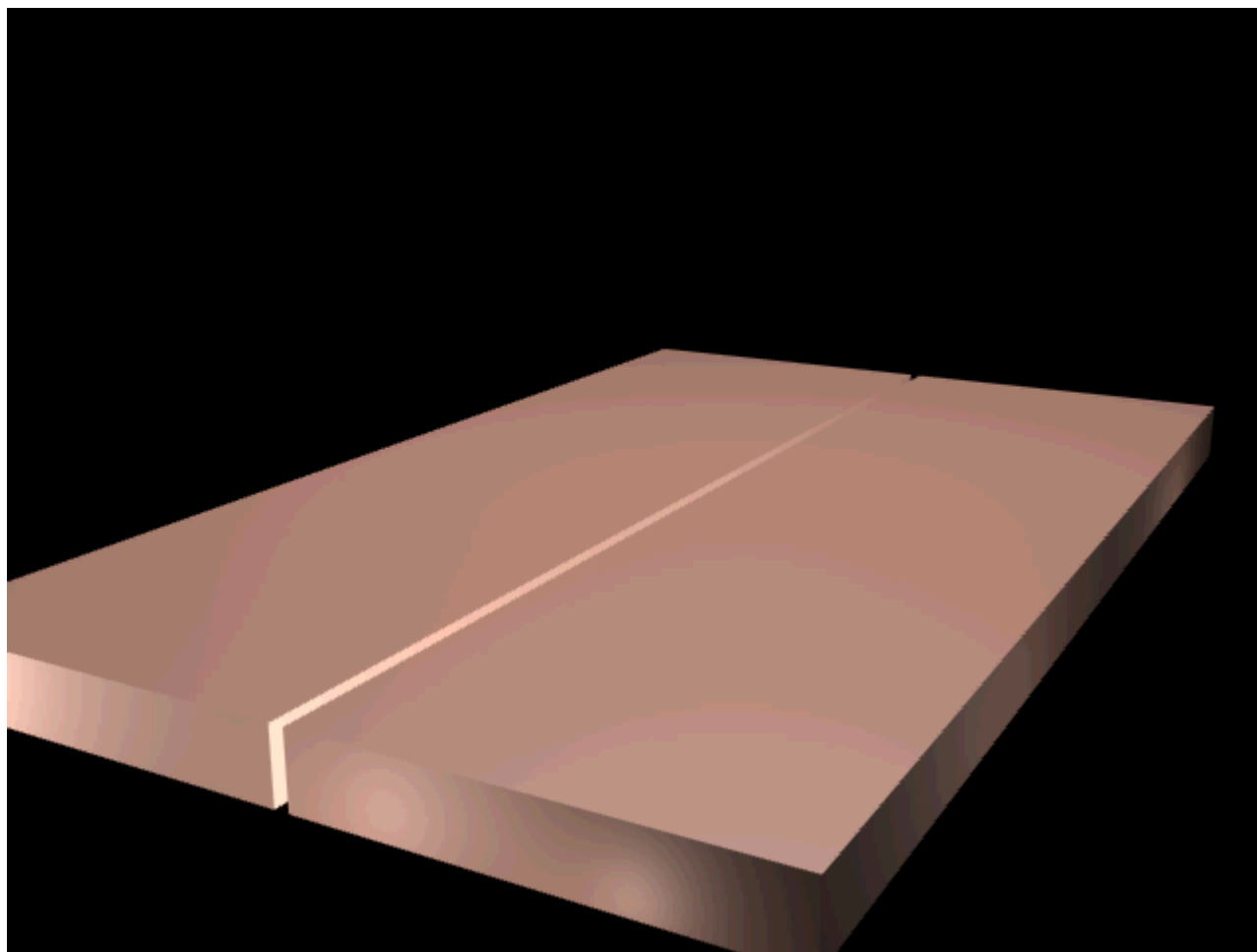
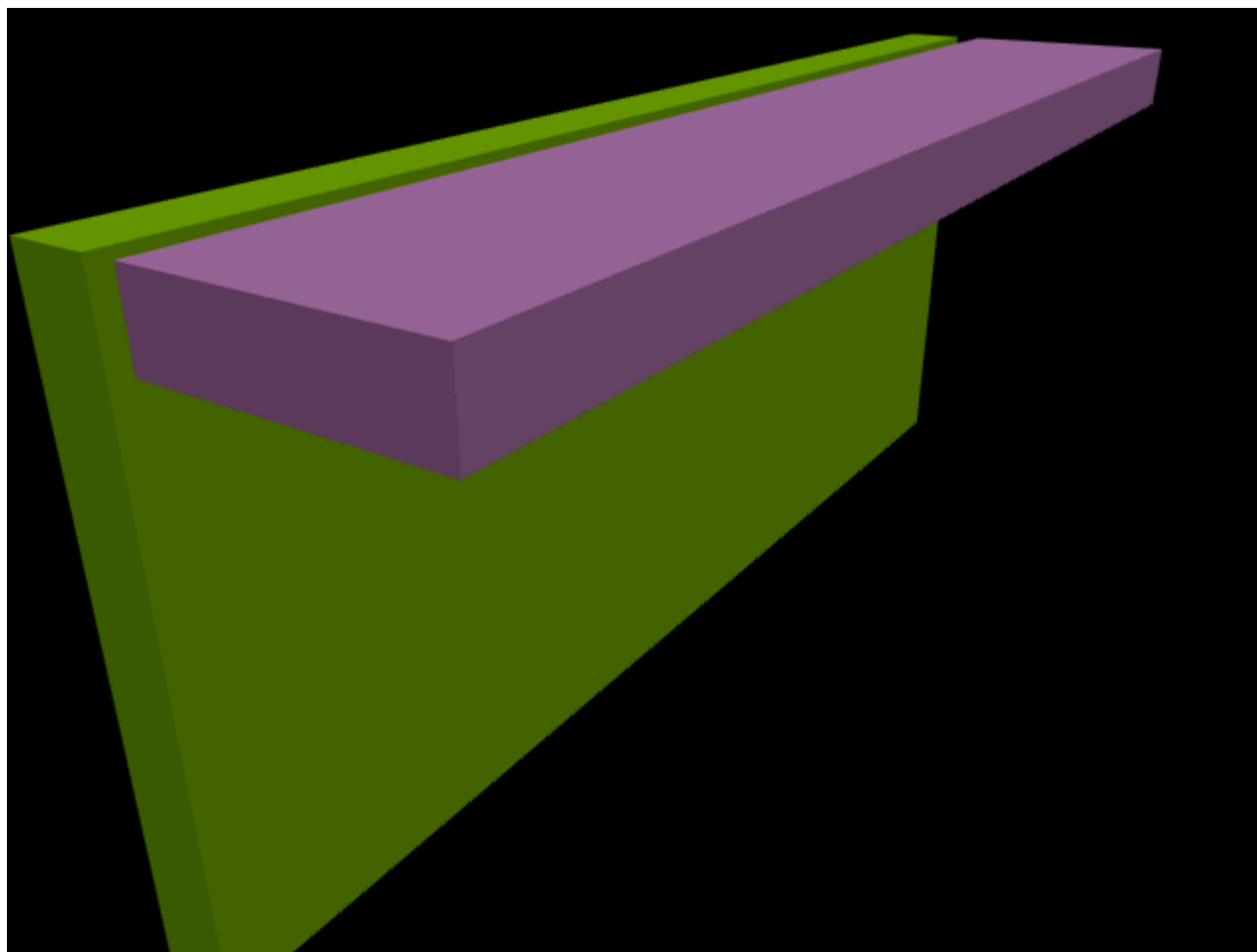
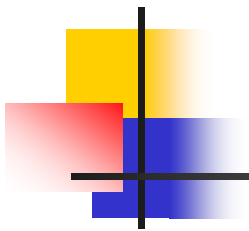


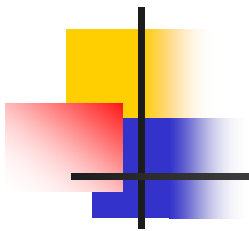
图 9-4 不同形式的角焊焊缝,虚线表示原始工件端面

(a) 内单角焊; (b) 外单角焊; (c) 双角焊搭接; (d) 双角焊 T 型接头









对接接头的坡口形式

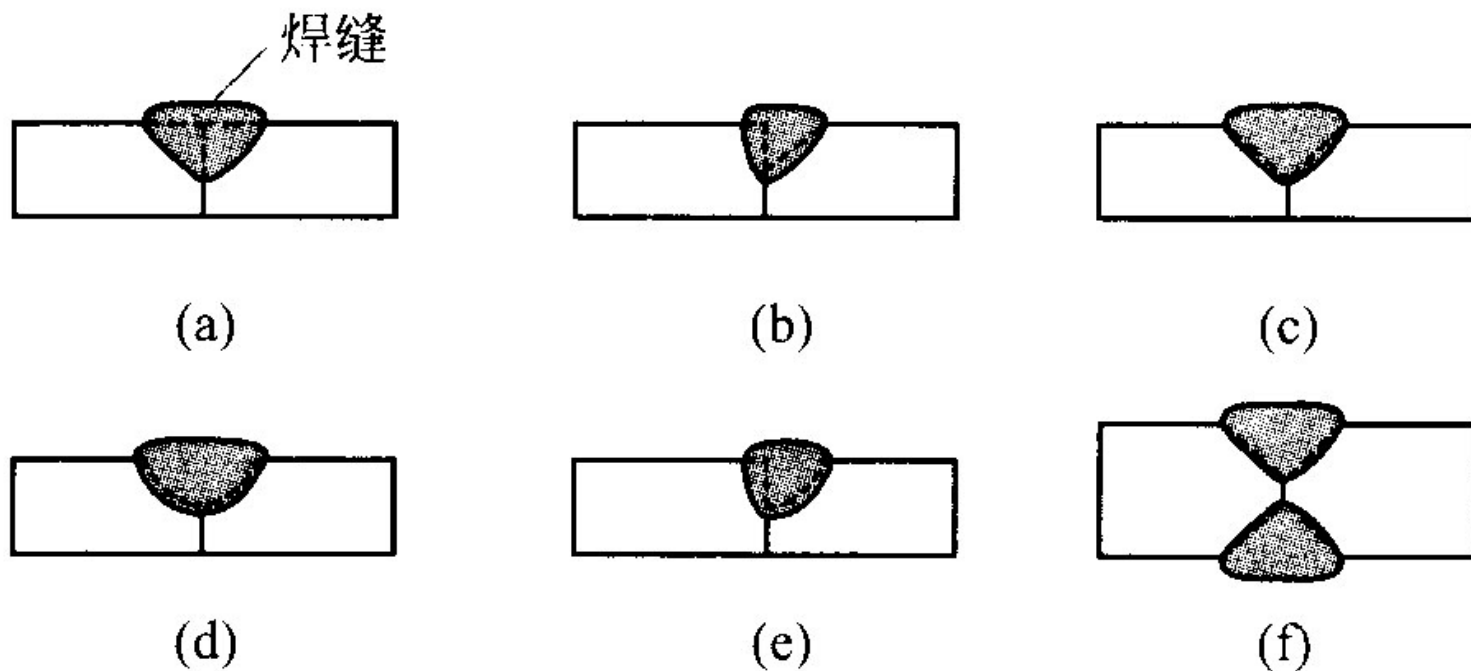
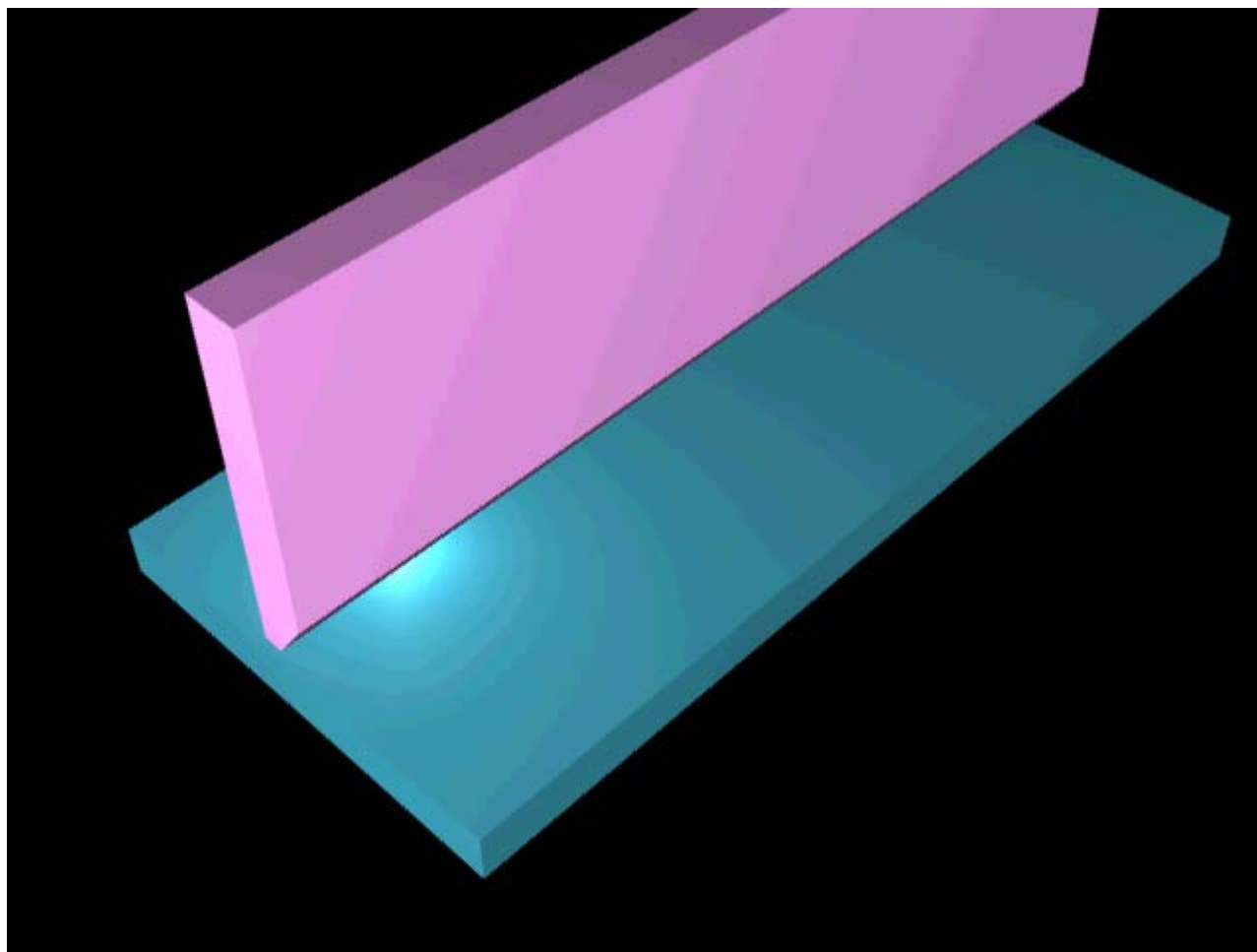
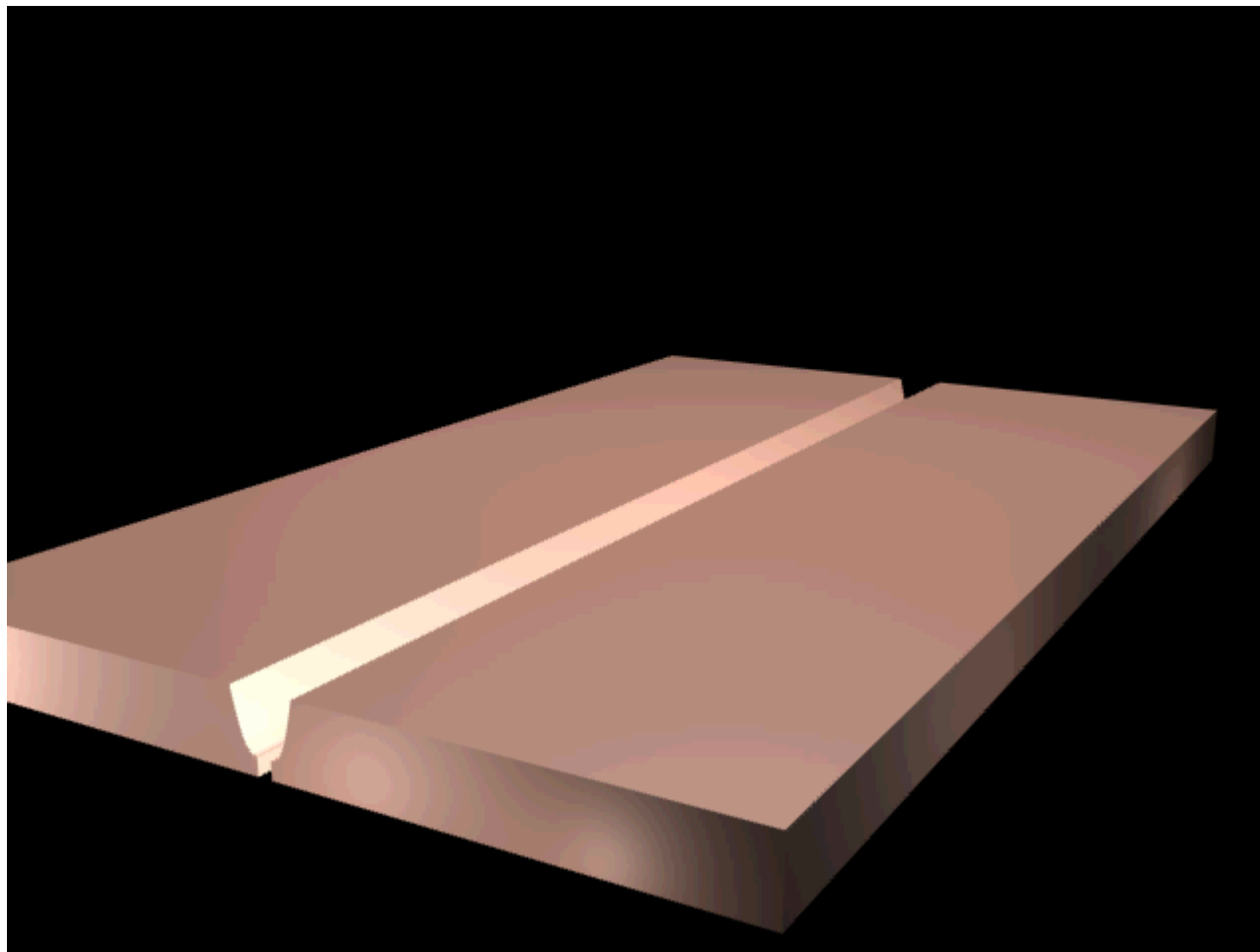


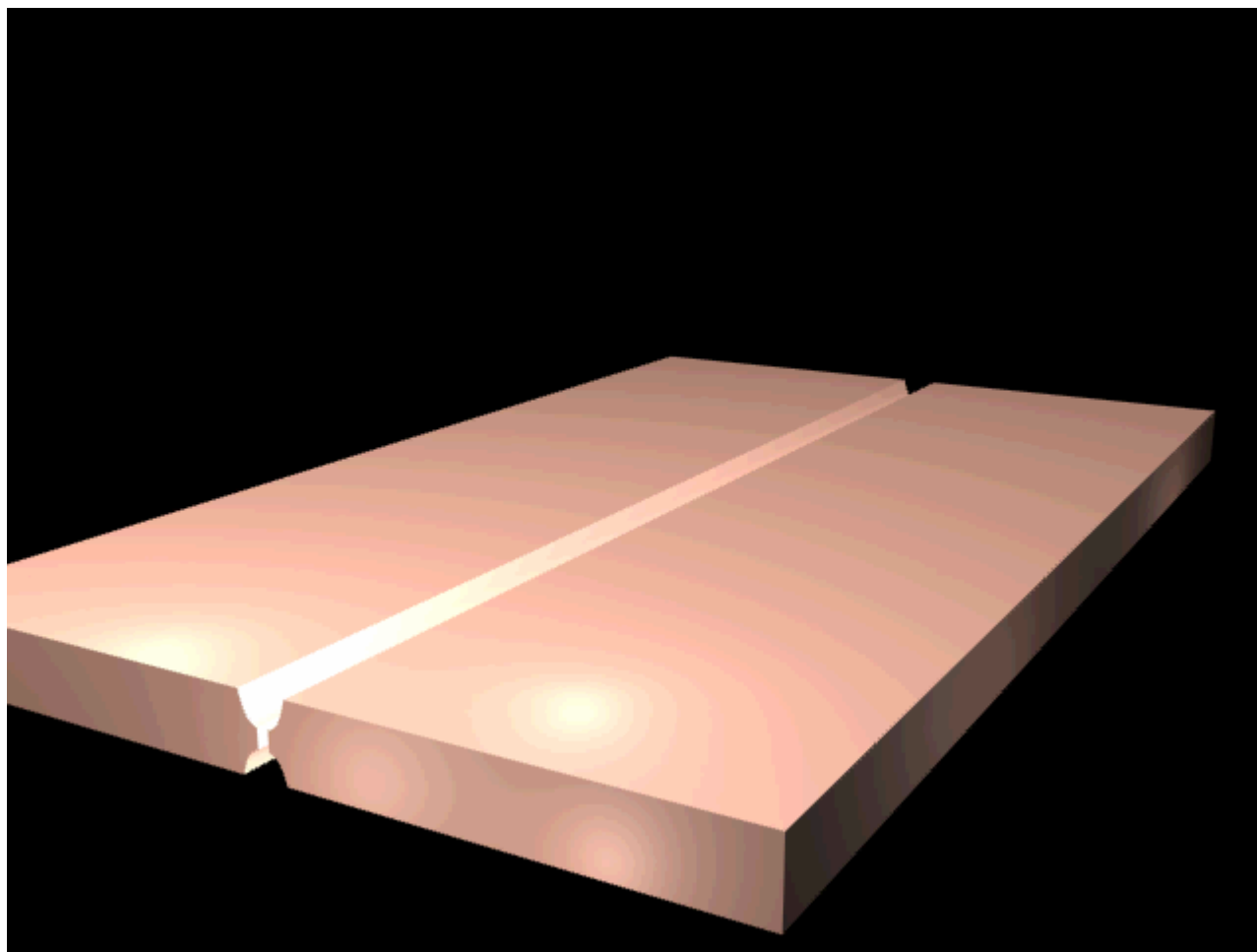
图 9-5 一些典型的坡口焊缝(虚线表示原始工件端面)

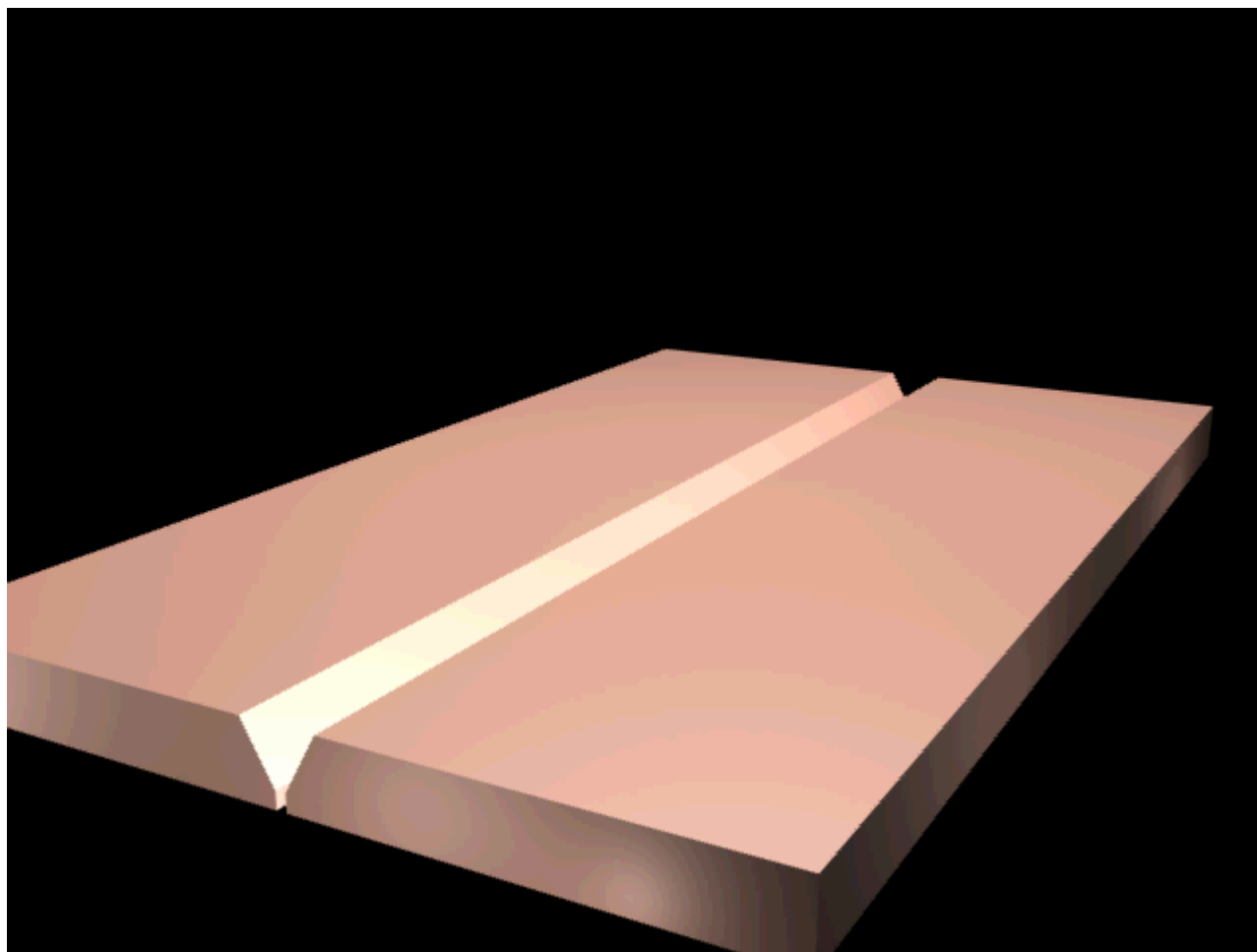
(a) 单面四方形; (b) 单斜面; (c) 单 V 形; (d) 单 U 形;

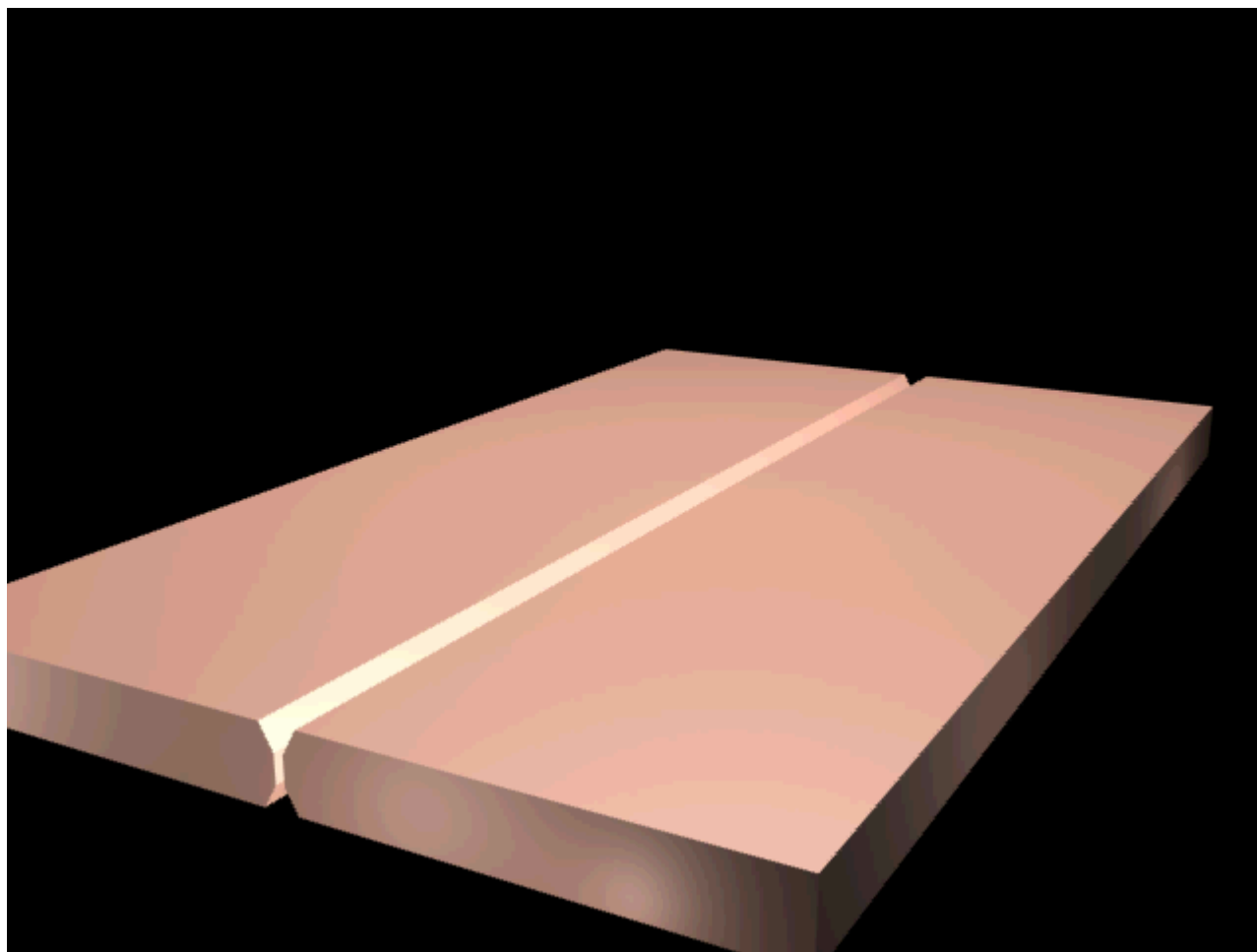
(e) 单 J 形; (f) 用于厚大断面的双 V 形











局部焊缝

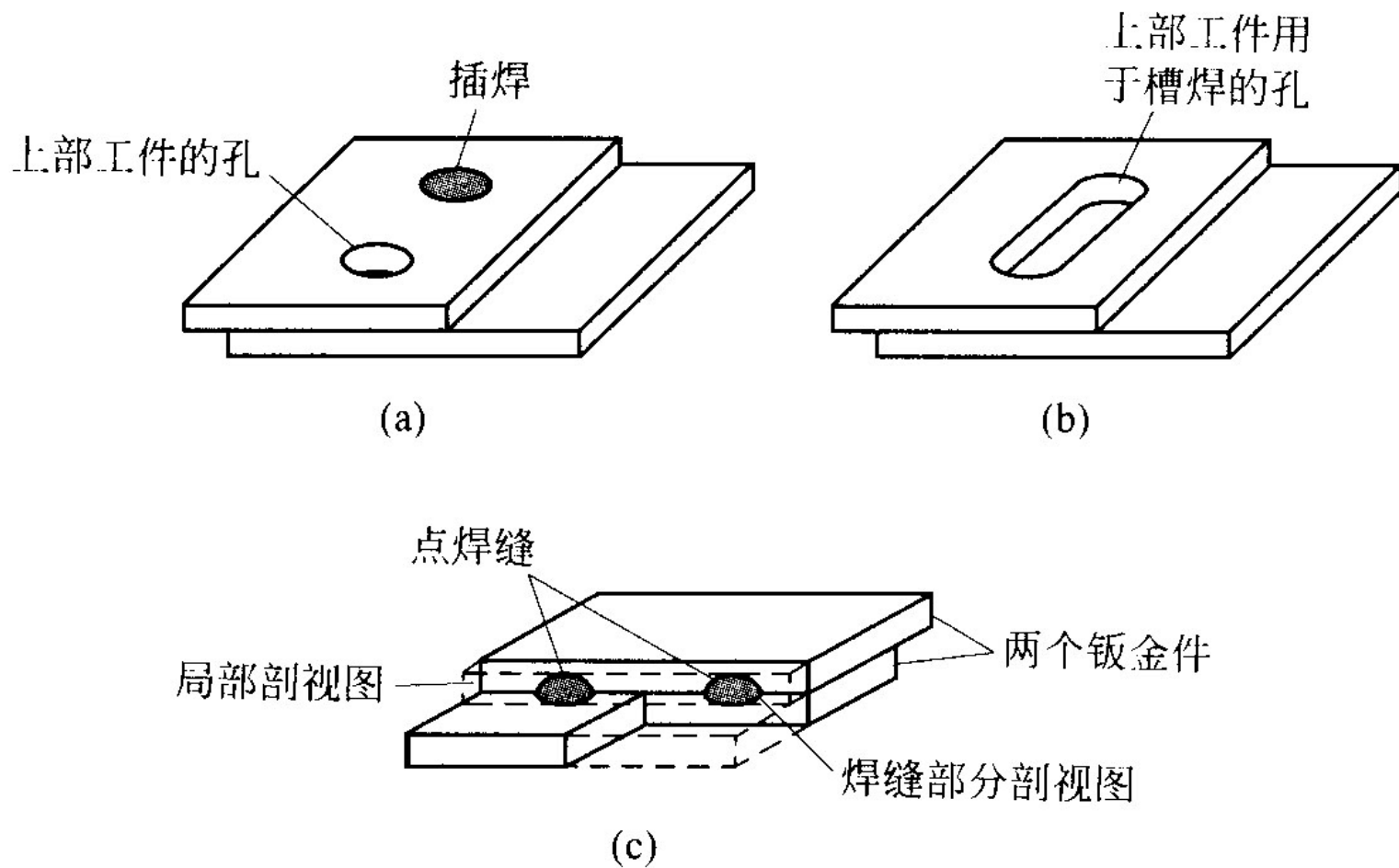
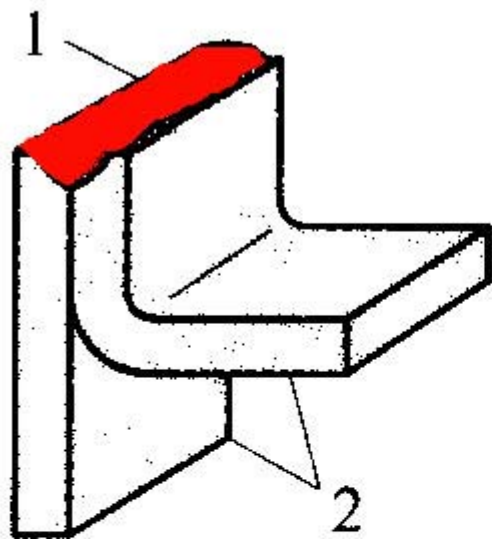


图 9-6 局部焊缝

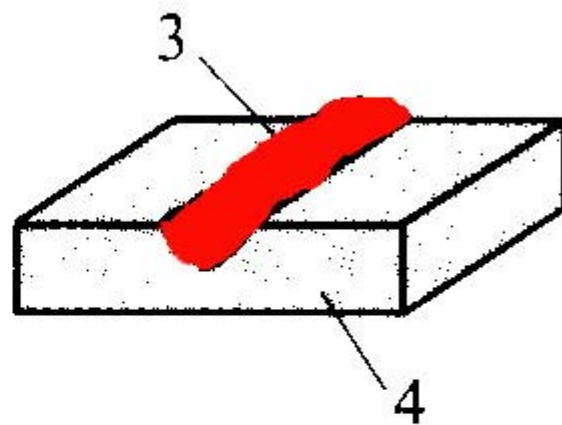
(a) 插焊; (b) 槽焊; (c) 点焊



凸缘焊和表面焊



(a)



(b)

图 9-7 凸缘焊和表面焊

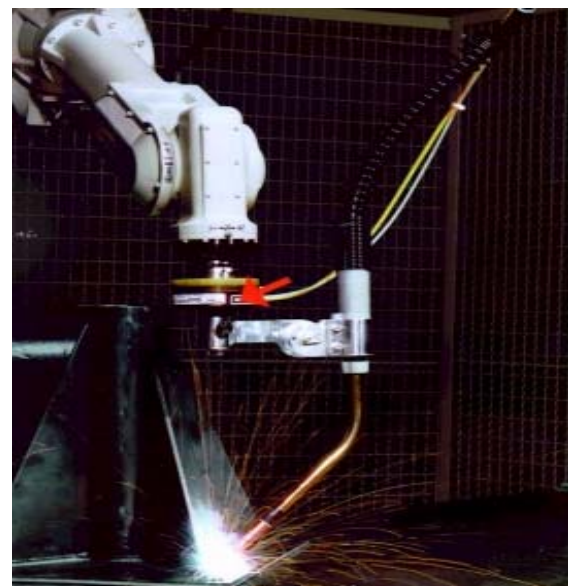
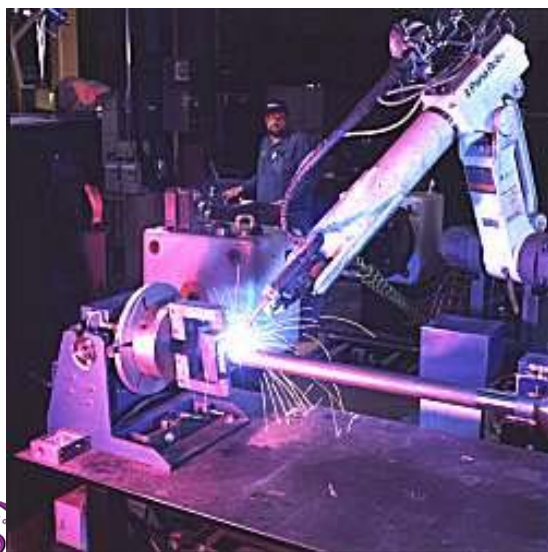
1—凸缘焊；2—钣金件；3—表面焊；4—工件



电弧焊



电弧焊

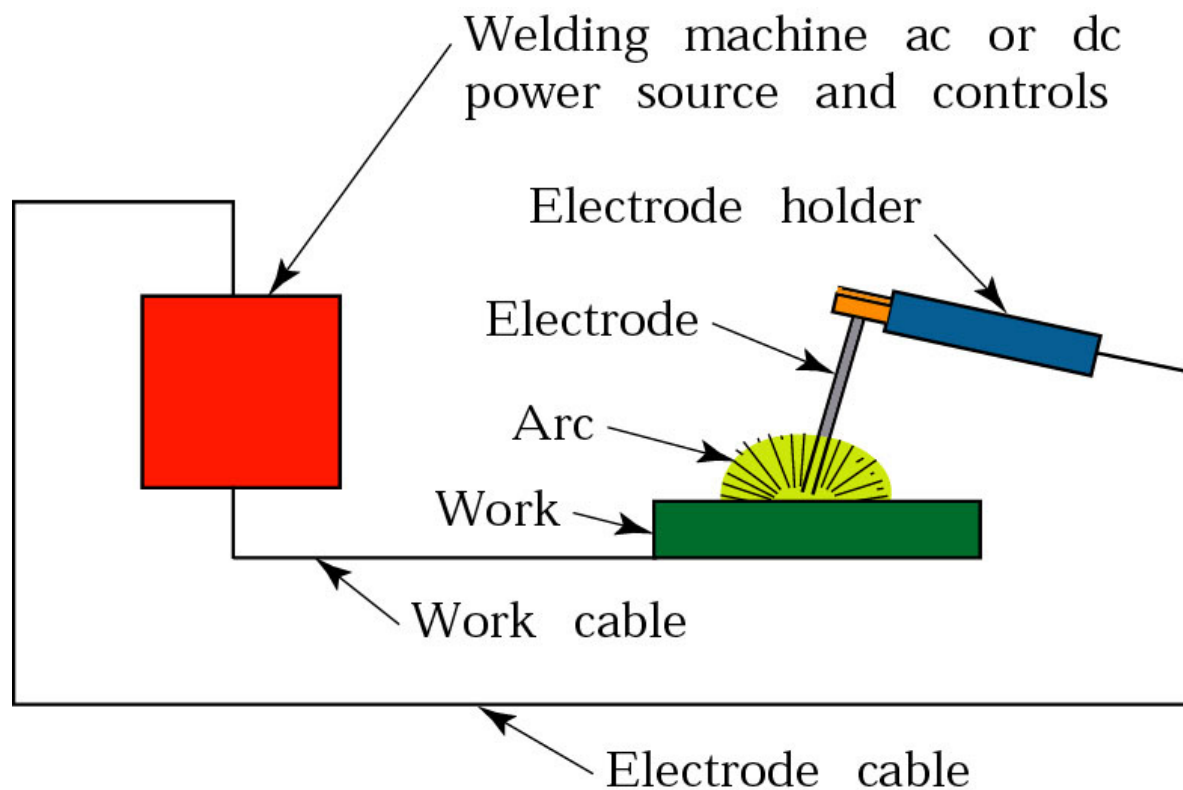


电弧焊

- 电弧焊工艺原理
- 利用气体介质在两电极之间强烈而持久的放电电弧所产生的热能使金属熔化，实现待焊金属的焊接过程，称为电弧焊。
- 手工电弧焊，埋弧焊，气体保护焊。

电弧焊

- 电弧焊工艺原理
- 接触引弧
- 非接触引弧：借助于高频或高压脉冲引弧装置。



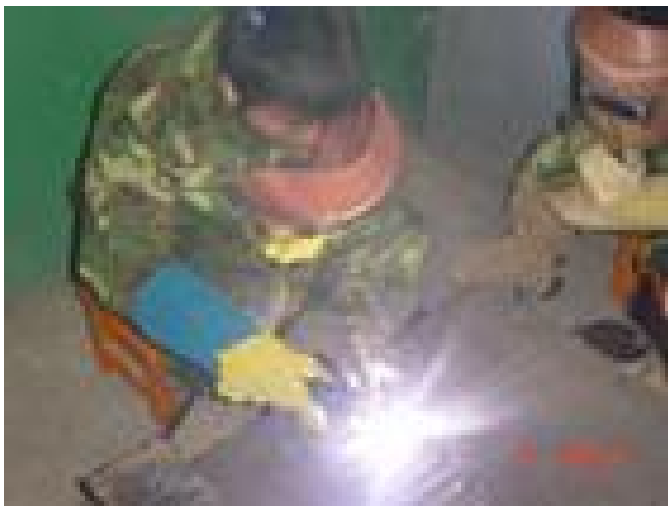
电极

- 溶化电极：焊条或焊丝
- 非溶化电极：钨极

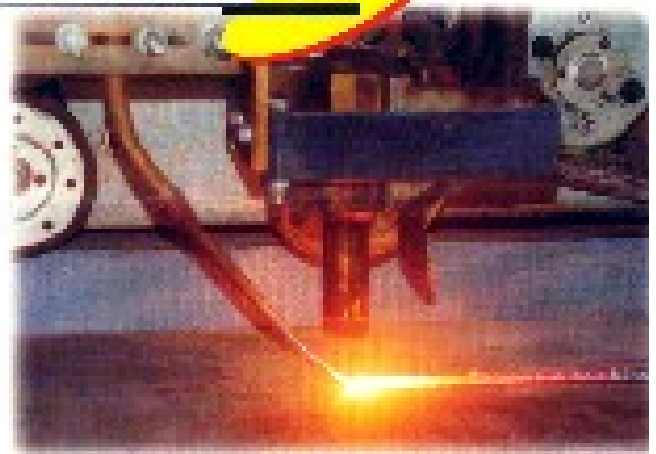


电弧防护

- 气体防护
- 溶剂防护



热丝填充埋弧焊装置



电弧焊焊接电源

- 直流电和交流电均可用于电弧焊。交流焊机比较便宜，但一般只限于钢铁材料的焊接。直流焊机可以用于所有金属的焊接并可获得很好的效果，而且一般可以得到较好的电弧控制。



电弧焊设备必须满足下列要求

- 容易引弧，即电焊机应有较高的空载电压，便于电子发射和电离，以便引燃电弧。
- 焊接过程稳定。
- 电焊机的短路电流不应太大，以免引起电焊机过载和金属飞溅严重，一般不超过焊接时工作电流的1.25倍—2倍。
- 焊接电流能够调节，可以根据不同产品和工件厚度选择所需要的电流。



手工电弧焊

➤ 采用填充金属焊条作为熔化电极。

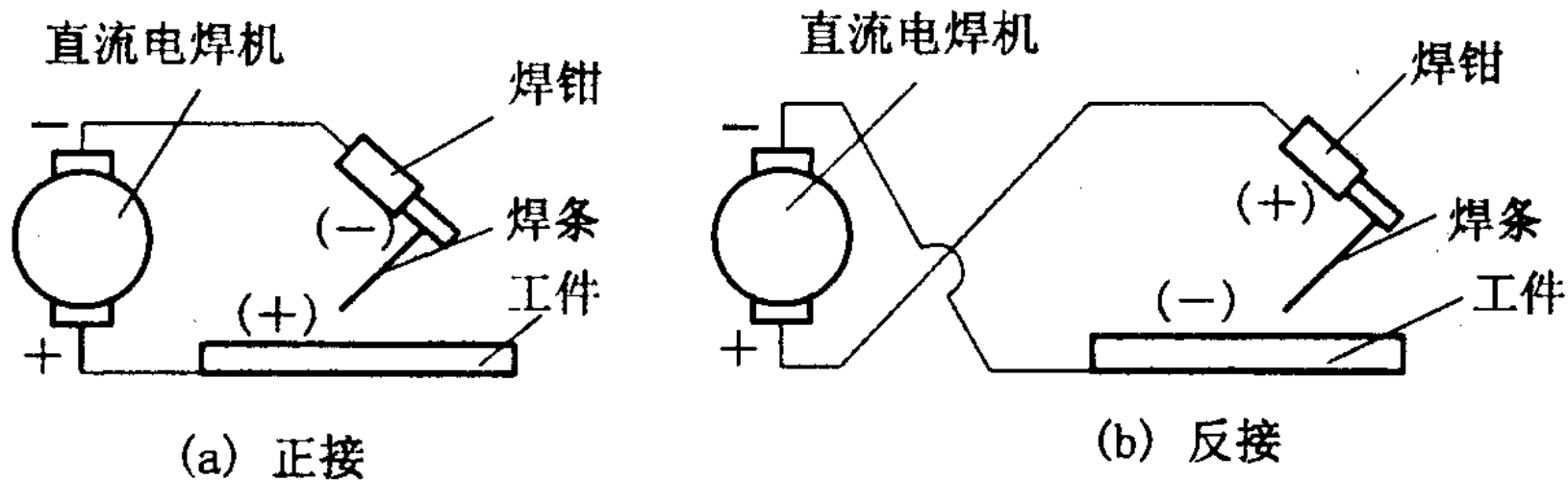
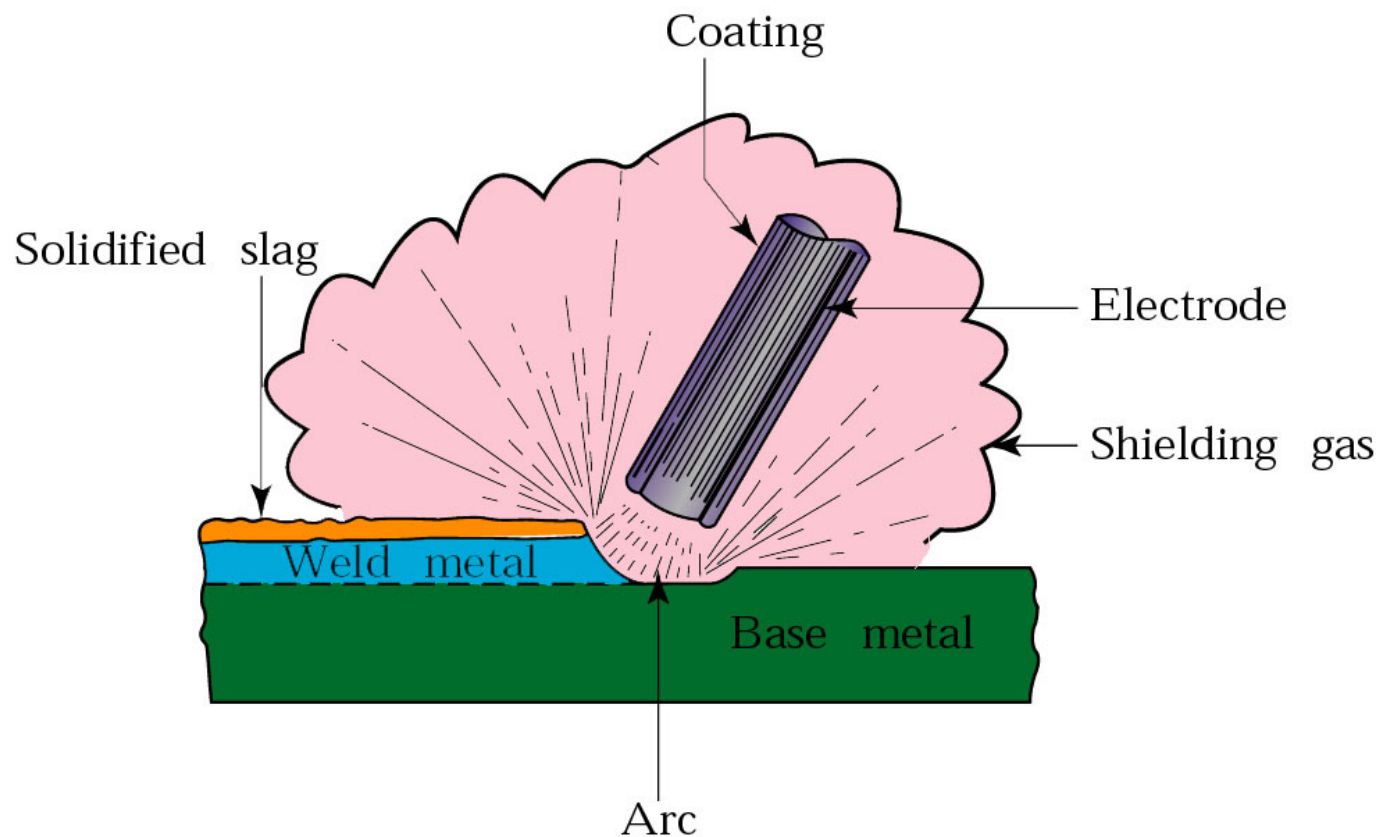


图 10-33 直流正接和反接接法

手工电弧焊



手工电弧焊

➤ 焊条

- 焊条的种类很多，分为结构钢焊条、珠光体耐热钢焊条、低温钢焊条、钼和铬钼耐热钢焊条、奥氏体不锈钢焊条、堆焊焊条、铸铁焊条、铜及铜合金焊条、镍及镍合金焊条、铝及铝合金焊条以及特殊用途焊条等。



气体保护焊

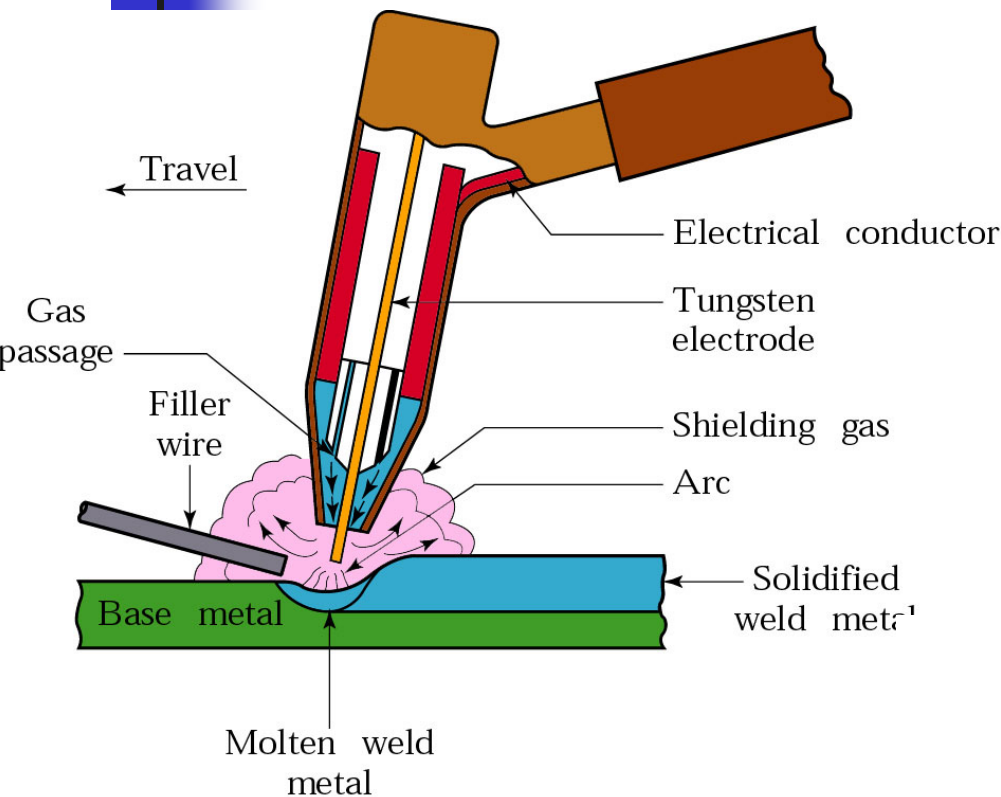
- 气体保护焊是用外加气体作为电弧介质并保护熔池、焊接区金属及电弧，使之与周围的空气隔绝，从而保证获得优质焊接接头的电弧焊方法。

保护气体和电极材料

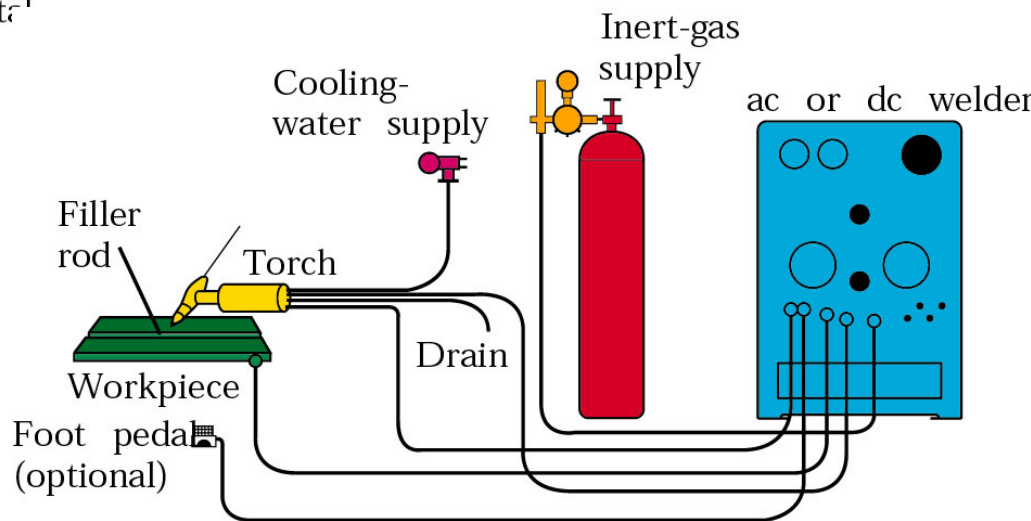
- 在惰性气体中燃烧的电弧热量损失较少。
- Ar: 成本低，电弧燃烧非常稳定，熔滴很容易呈稳定的轴向射流过渡，飞溅极小。
- He: 电弧燃烧温度高，焊速较快，但飞溅大，成本高。
- 二氧化碳



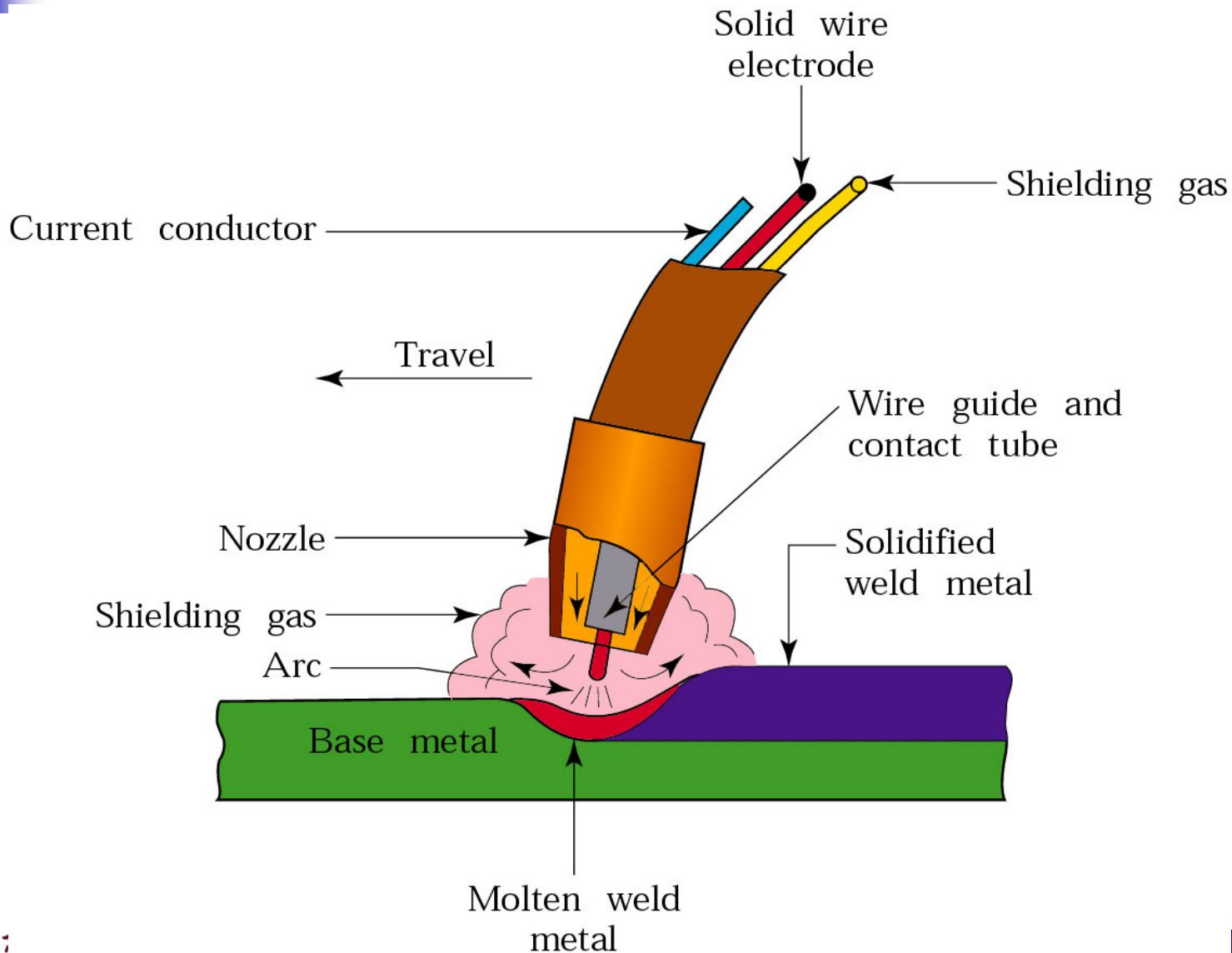
氩弧焊



- 钍钨极或铈钨极
- 电极不熔化
- 焊接电流不能太大，易焊薄板



氩弧焊



氩弧焊

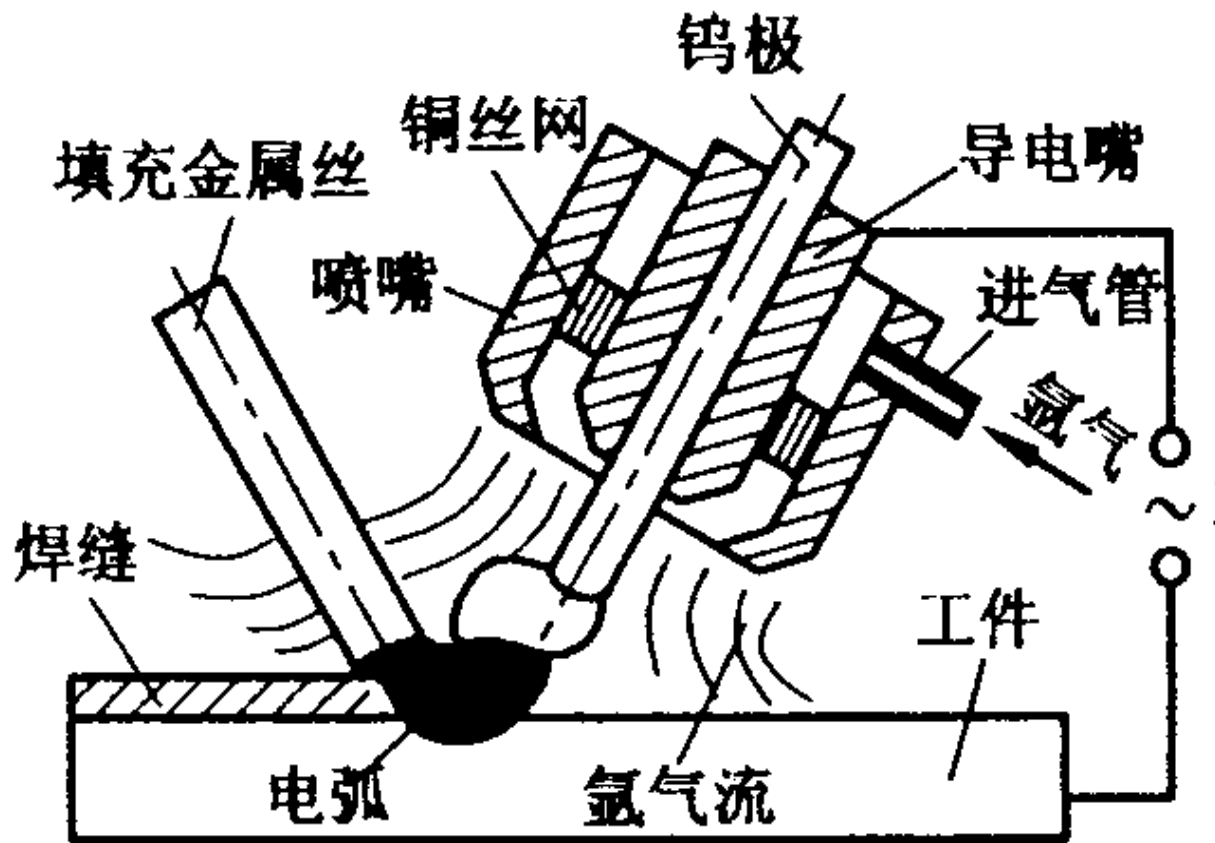


图 10-40 钨极氩弧焊示意图

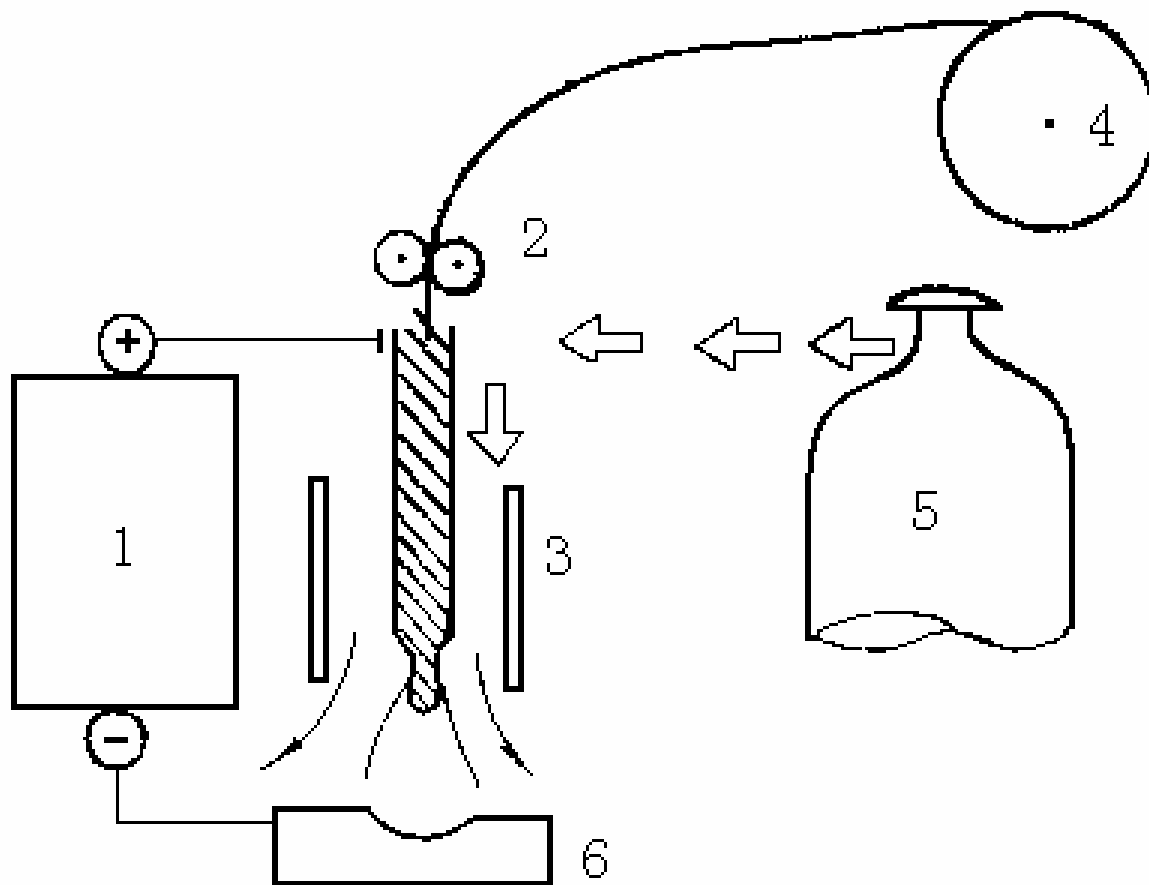
氩弧焊

- 钨极氩弧焊电极是难熔金属钨或钨的合金棒，在电弧燃烧过程中不熔化，故易维持恒定的电弧长度，焊接过程稳定，焊缝质量优良。
- 焊接时，电极和电弧区及熔化金属都处在氩气保护之中。由于氩气保护，隔离了空气对熔化金属的有害作用，能够焊接易氧化的有色金属及其合金、不锈钢、高温合金、钛和钼、铌、锆等难熔和活性金属。





二氧化碳气体保护焊



二氧化碳气体保护焊

- 由于 CO_2 气体密度较大，并且受电弧加热后体积膨胀也较大，所以在隔离空气保护焊接熔池和电弧方面效果良好。
- 与焊条手弧焊相比， CO_2 电弧的穿透力强熔深大，而且焊丝的熔化率高，熔敷速度快，生产率高。
- CO_2 气体来源广、价格低，因而焊接成本只有埋弧焊和焊条手弧焊的40~50%左右。

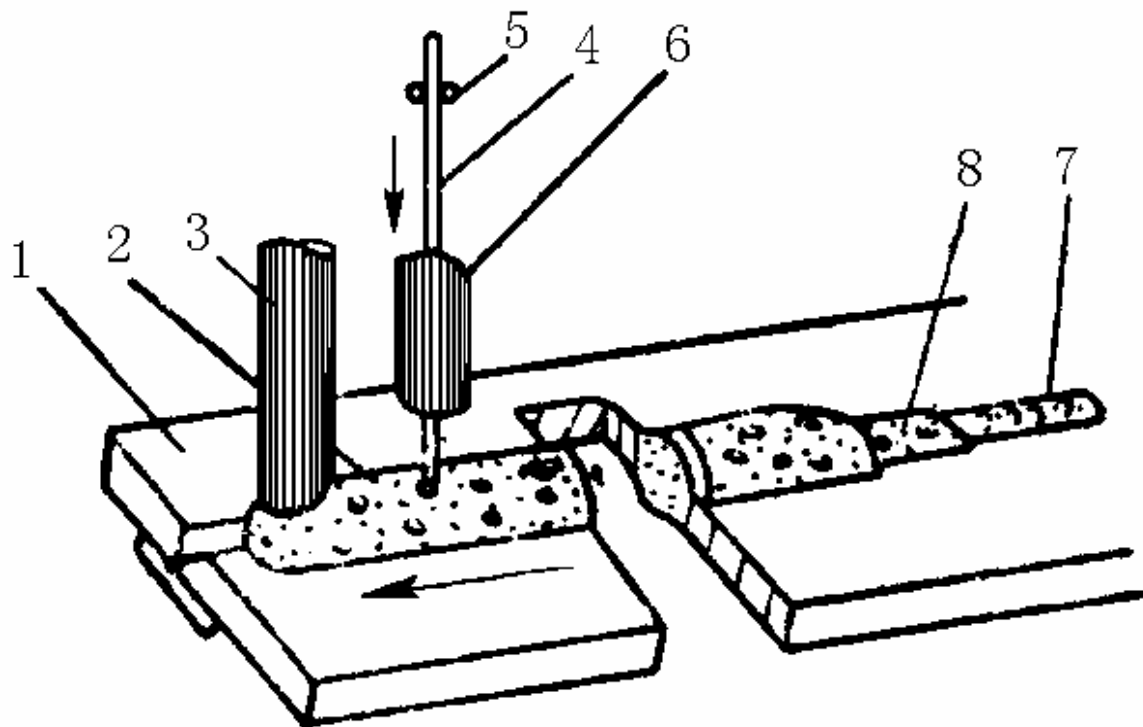
二氧化碳气体保护焊

- CO_2 电弧焊与焊条手弧焊相比，对于3mm厚的低碳钢板对接焊缝，每米焊缝消耗的电能，前者为后者的70%左右；对于25mm厚的低碳钢板对接焊缝，每米焊缝消耗的电能，前者仅为后者的40%。所以是较好的节能焊接方法。
- 适用范围广，可全位置进行焊接。薄板可焊到1mm左右，最厚几乎不受限制（采用多层焊）。而且焊接薄板时，较之气焊速度快、变形小。



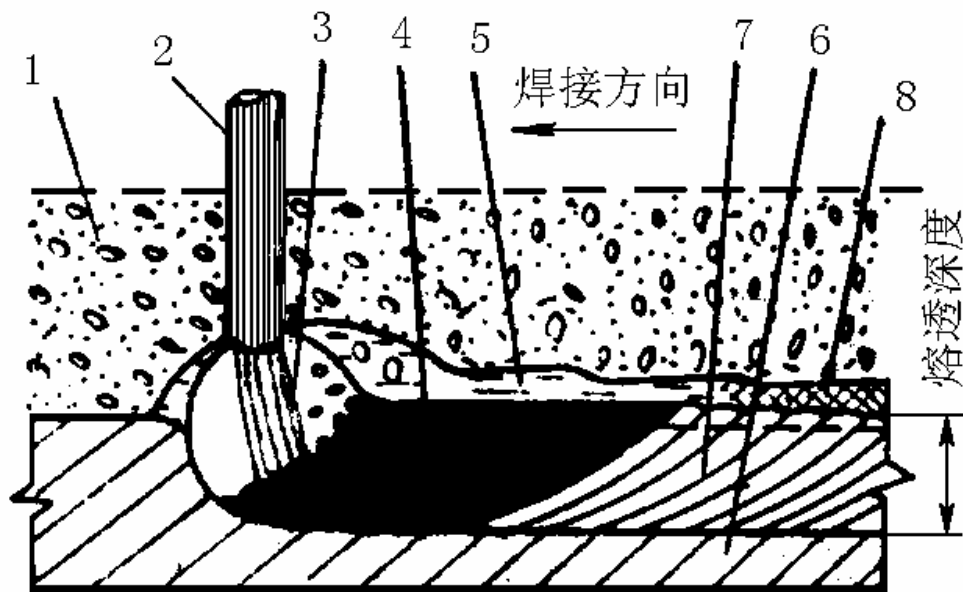
埋弧自动焊

- 埋弧焊过程如图所示：焊剂2由漏斗3流出后，均匀地堆敷在装配好的焊件1上，焊丝4由送丝机构经送丝滚轮5和导电嘴6送入焊接电弧区，焊接电源输出端分别接在导电嘴和焊件上。



埋弧自动焊

- 埋弧焊的电弧是掩埋在固态颗粒状焊剂下面的。当焊丝和焊件之间引燃电弧 3 时，电弧热使焊件 6、焊丝 2 和焊剂 1 熔化以致部分蒸发；金属和焊剂的蒸发气体形成了一个气泡，电弧就在这个气泡内燃烧；气泡的上部被一层烧化了的焊剂 (熔渣) 5 所构成的外膜包围，这层外膜很好地隔离了空气与电弧和熔池 4 的接触，并使有碍操作的弧光不再辐射出来；8 是熔化再凝固的渣壳，7 为脱壳后的焊缝。



等离子弧焊

- 利用等离子弧发生装置使电弧经过喷嘴的细孔道使电弧收缩(机械压缩效应),由通入的等离子气(Ar或N₂)冷气流迫使电弧进一步压缩(热压缩效应),电弧中带电粒子流在电弧自身磁场电磁力的作用下又一次被压缩(磁压缩效应),产生很细的能量高度集中的等离子弧进行的焊接方法



等离子弧焊

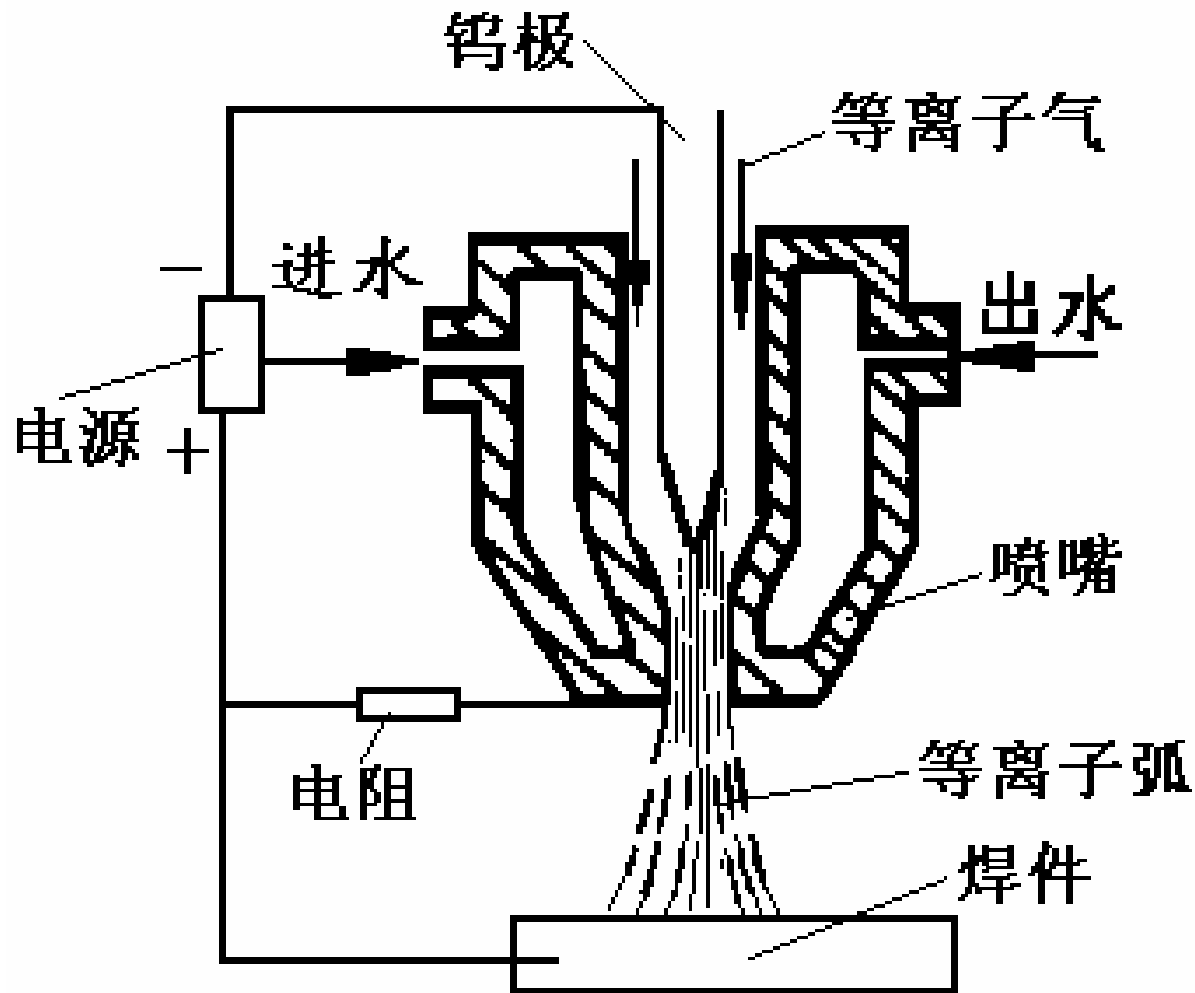


图4-15 等离子弧发生装置示意图



等离子弧焊的特点

- 等离子弧能量密度大($10^5 \sim 10^6 \text{w/cm}^2$), 弧柱温度高(20000K), 穿透能力强, 可单面焊接双面成形;
- 焊接电流小到0.1A, 等离子弧仍能保持良好的挺直性和方向性, 可焊厚度为0.025mm的金属箔材;
- 焊接速度快, 生产率高, 热影响区小, 焊接变形小, 焊缝质量高。
- 可焊接难熔、易氧化和热敏感性强的材料, 如钼、钨、钛、镍等合金和双金属焊接;
- 焊接设备复杂, 气体消耗量大, 宜在室内焊接。



等离子弧切割

- 利用高温、高速、高能量密度的等离子焰流冲击力大的特点，将被切割材料局部加热熔化并随即吹除，从而形成较整齐的割口。
- 可以切割不锈钢、铸铁、铝、铜、钛、镍、钼、钨及其合金以及非金属材料等。
- 割口窄，切割面的质量较好，切割速度快，切割厚度可达**150~200mm**。



等离子弧切割

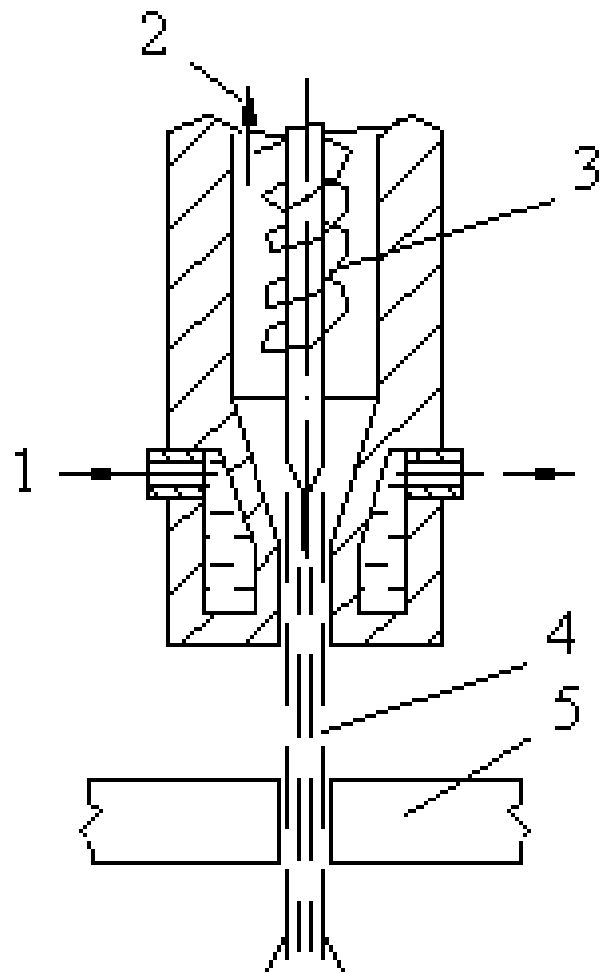


图7-22 等离子弧切割原理示意图



等离子弧切割



焊接温度场

➤ 焊接传热过程的明显特征

- 热作用的集中性：组织不均匀、性能变化、焊接变形；
- 热作用的瞬时性：焊接化学冶金变化的不平衡性。
- 对焊接接头的质量产生影响

焊接温度场

- 在热源的作用下，焊件上各点的温度均随时间的变化而变化，某瞬时焊件上各点的温度分布称为焊接温度场。
- 稳定温度场

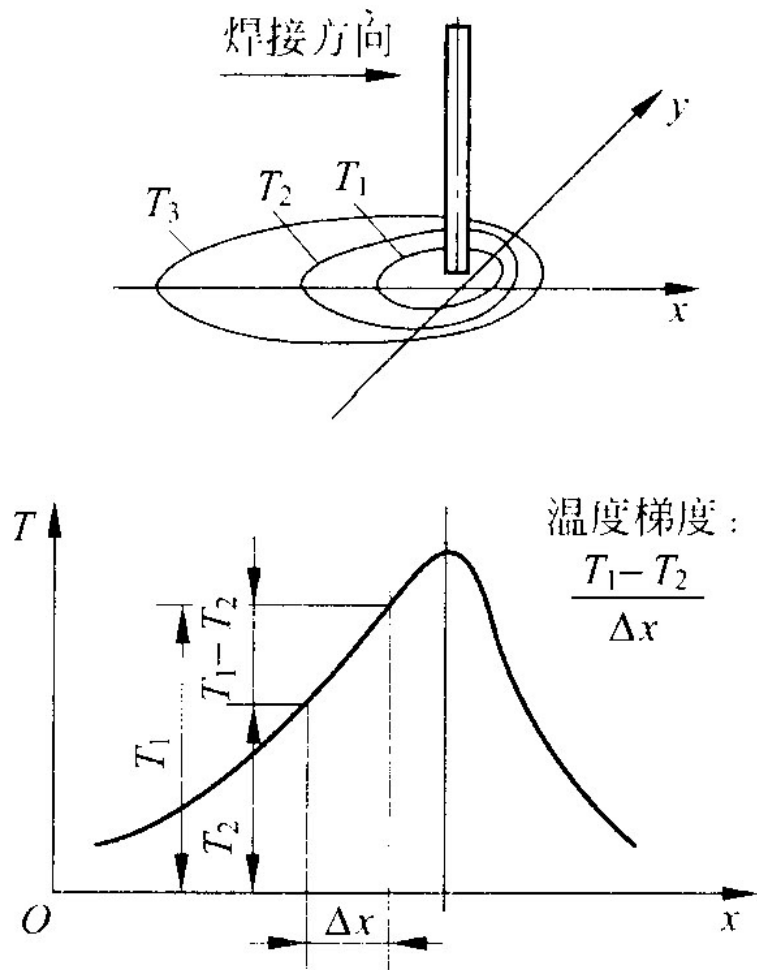


图 9-18 焊接温度场中的等温线和温度梯度



影响焊接温度场的因素

- 热源的性质：能量集中，温度梯度大，热源作用面积大，温度梯度小。
- 焊接工艺参数：
- 金属热物理性质



焊接热循环

- 在焊接热源作用下，焊件上某点的温度随时间的变化过程称为焊接热循环。

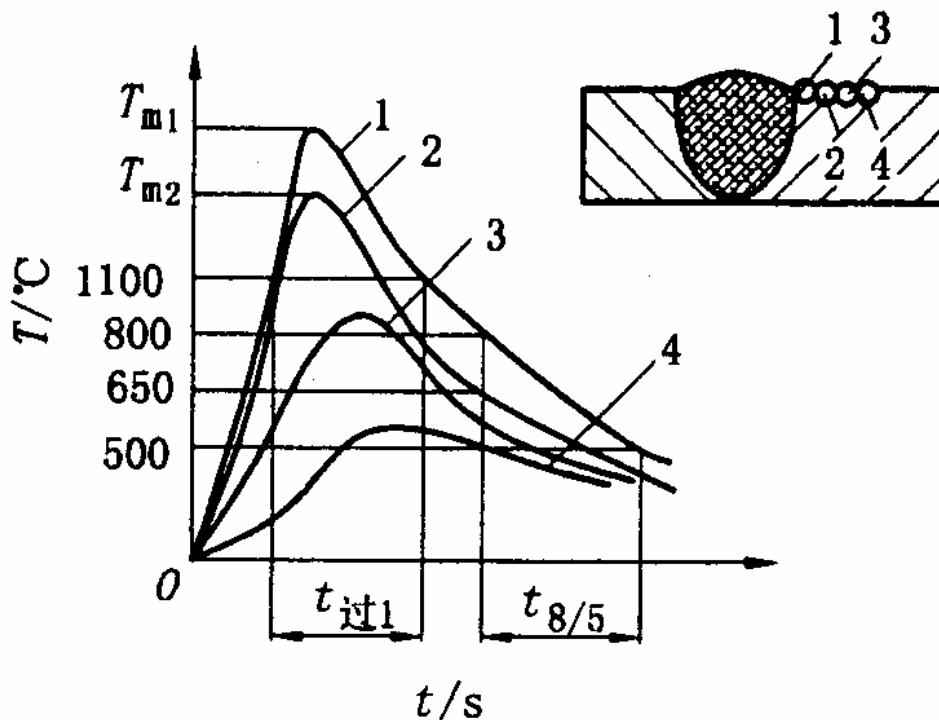


图 10-10 焊接热循环特征



决定热循环特征的参数

- 加热速度：使相变难以充分进行
- 最高加热温度：发生晶粒长大和再结晶，塑性下降；
- 在相变温度以上的停留时间：利于奥氏体均匀化，但晶粒易长大；
- 冷却速度或冷却时间：
- 多层焊：预热和后热作用



接头的形成

- 焊接材料熔化与熔池形成
- 焊接材料(焊条、焊丝等)在热源作用下将被熔化，形成熔滴。
- 熔滴以滴状形式向熔池过渡。
- 熔池的形成初期要经历一个过渡期

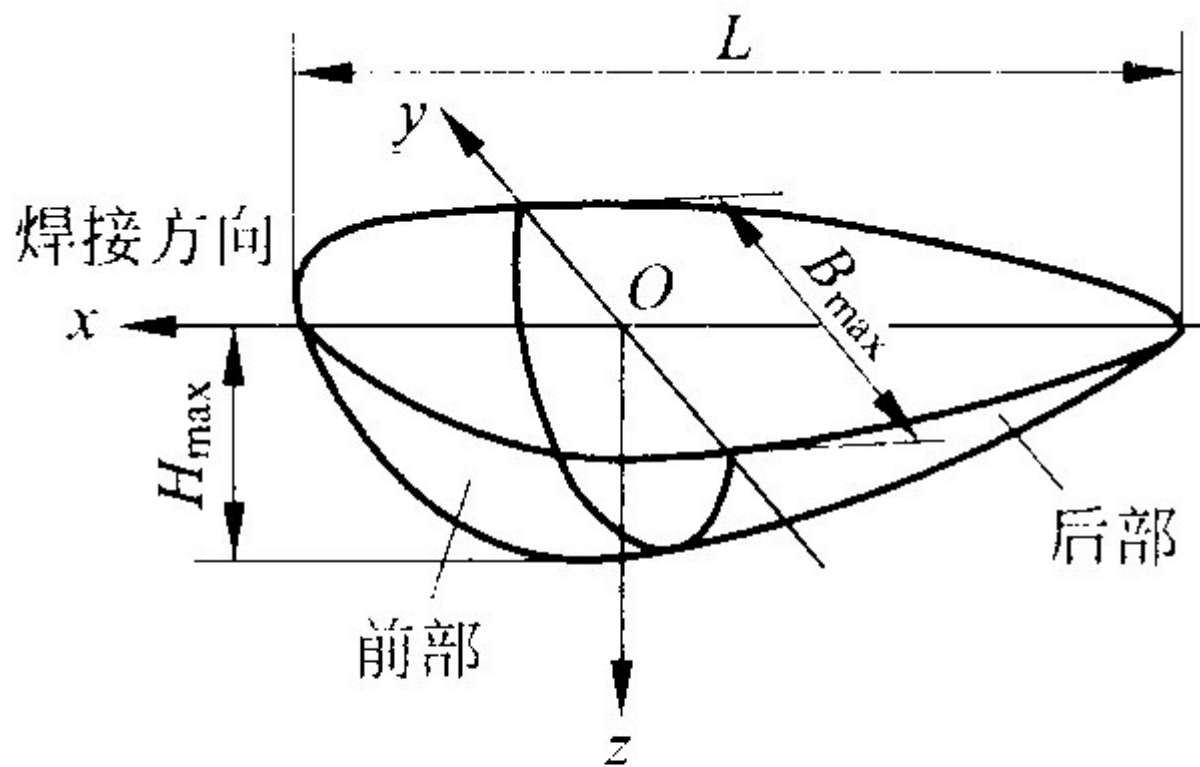


图 9-22 焊接熔池形状示意图

➤ 熔池中温度分布不均匀

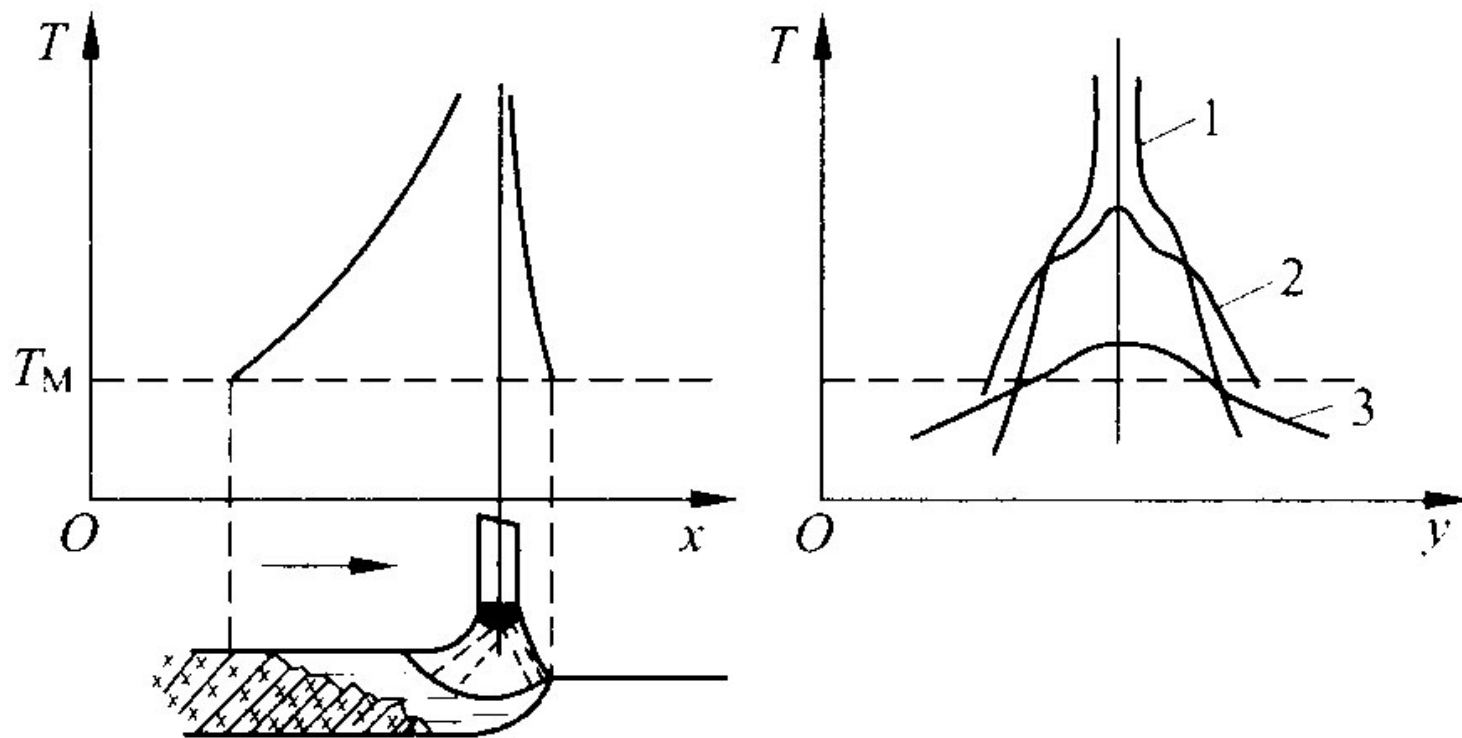


图 9-23 焊接熔池的温度分布

1—熔池中部；2—熔池前部；3—熔池后部

焊接接头的形成

- 熔化焊接头的横断面，由如下区域组成：熔化区，焊接界面，热影响区，非热影响区

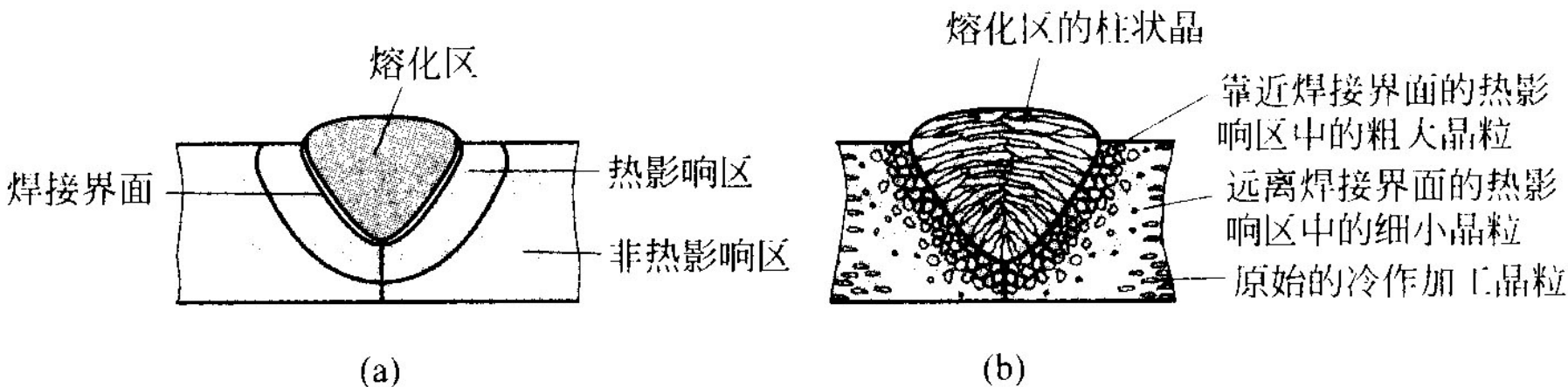


图 9-24 典型的熔化焊接头的横截面

(a) 主要区域；(b) 典型的晶粒结构

接头焊缝性能

- 焊缝金属的力学性能，特别是强度与韧性，是影响焊接接头使用可靠性的重要因素。
- 焊缝金属力学性能的影响因素众多，其中主要是焊缝的化学成分(包括杂质元素)和冷却条件(焊接工艺)。



气焊与气割

- 利用气体火焰为热源的一种焊接方法。以往最为普遍的是以乙炔气作燃料的氧——乙炔火焰，另外以氢气、液化石油气（丙烷）作为燃料的气割和气焊也有应用。乙炔在纯氧中燃烧，火焰温度达 3150°C 。由于不需要电源，气焊设备简单，操作方便。但与电弧相比，气体火焰温度较低，热量分散，对工件加热速度慢，生产率较低，热影响区较大，且容易引起大的变形。





气焊与气割

➤ 氧-乙炔气焊

➤ 气焊设备与工具

- 乙炔发生器
- 回火防止器
- 氧气瓶
- 焊炬



气焊与气割

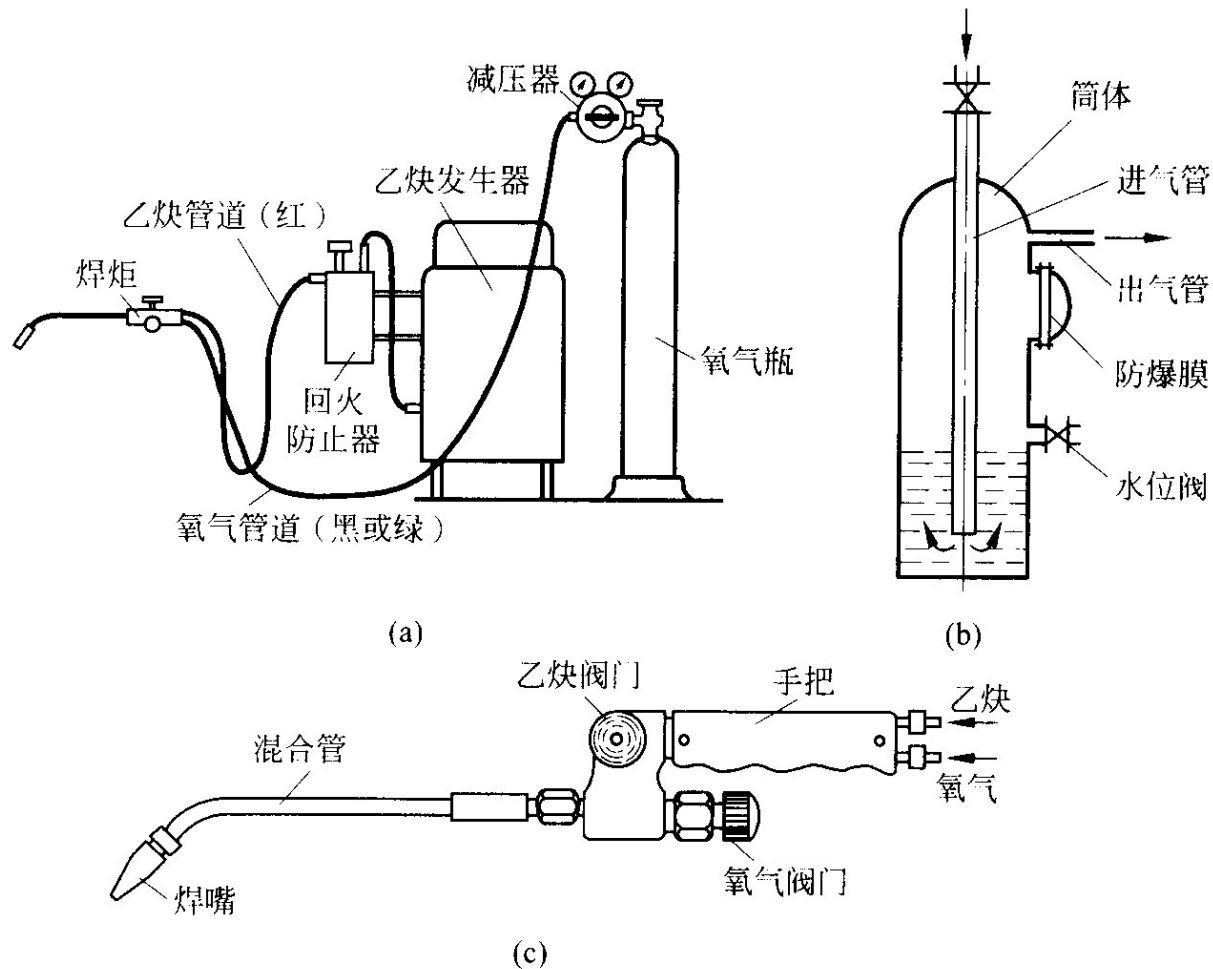


图 9-25 气焊设备与工具

(a) 气焊设备与工具系统组成；(b) 回火防止器；(c) 焊炬





焊接工艺与火焰调整

- 根据氧和乙炔的比例不同，气焊火焰可分为：
- 中性焰：焊接碳钢、紫铜和低合金钢；
- 氧化焰：焊接黄铜
- 碳化焰：高碳钢、铸铁及高速钢的焊接

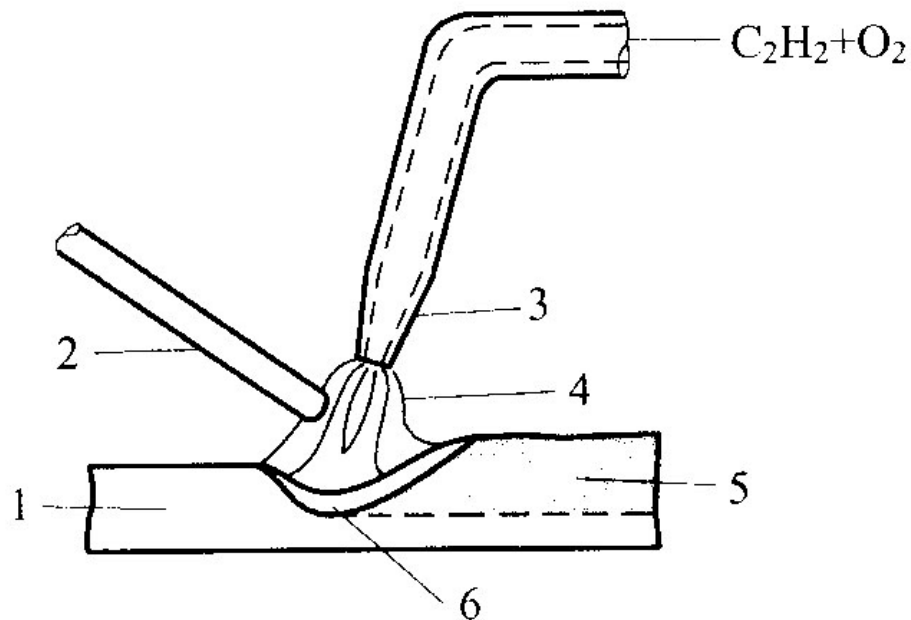


图 9-26 气焊操作

1—母材；2—焊条；3—焊炬喷嘴；
4—火焰；5—凝固焊接金属；6—熔融焊接金属



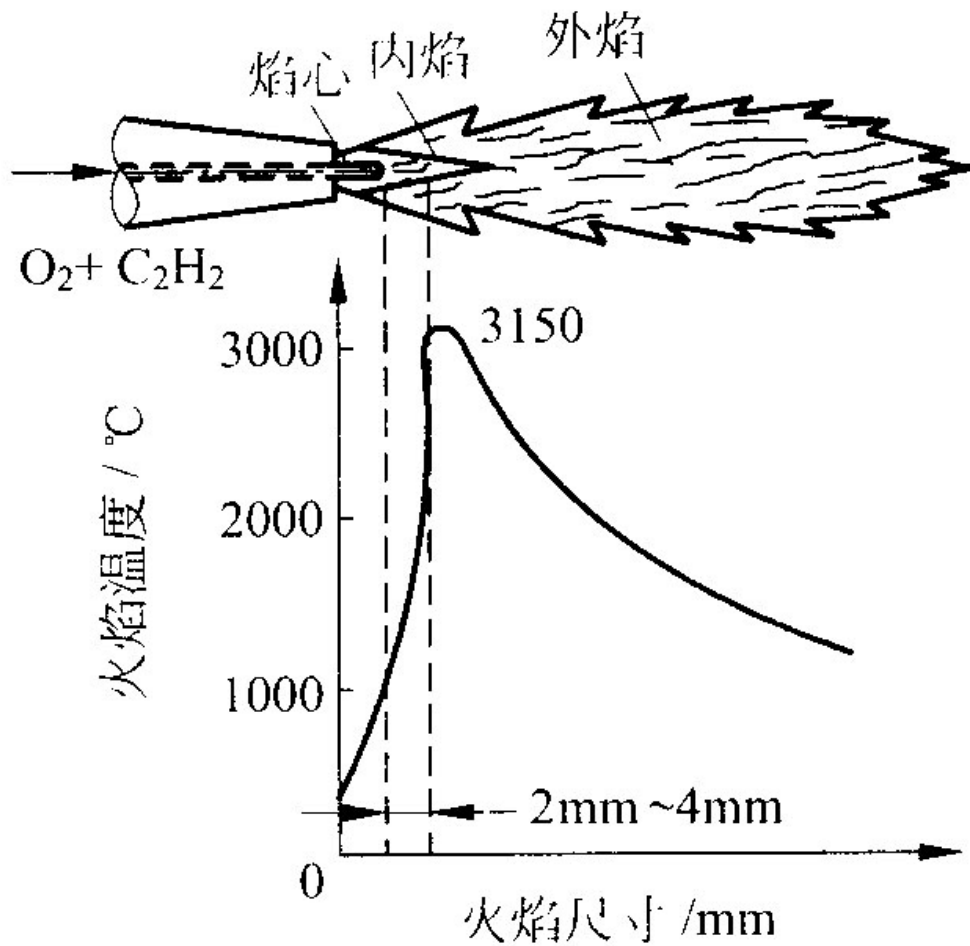


图 9-27 中性焰的焰形及温度分布



氧气切割

➤ 氧气切割建立在金属燃烧的基础上

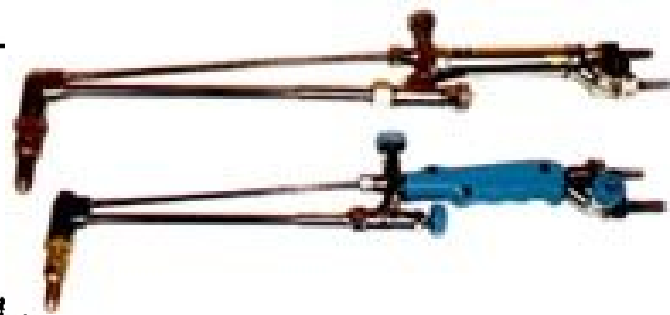
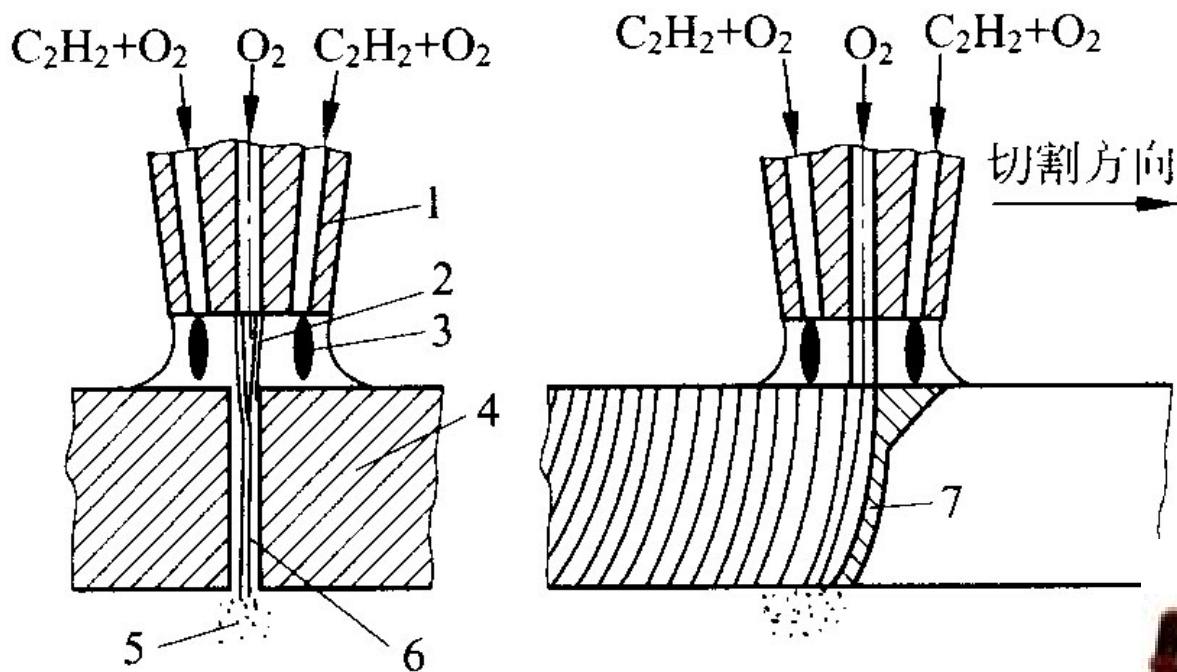


图 9-28 氧气切割过程示意图

1—割嘴；2—切割氧气流；3—预热火焰；4—被切金属；

5—熔渣；6—切口；7—金属到达燃点的区域

被切割的金属必须满足的条件

- 金属的燃点应低于其熔点，否则，切割之前金属已被熔化，将使切口凹凸不平。
- 燃烧生成的金属氧化物熔点应低于金属本身的熔点，以便使熔化的氧化物从切口中被吹掉。
- 金属燃烧时应放出足够的热量，以利于切割过程的不断进行。例如切割低碳钢时，燃烧产生的热量约占切割过程所需热量的70%，而预热火焰所供给的热量仅为30%。
- 金属导热性不能太高，以利于被切割金属温度保持在燃点以上。



机械切割

- 机械切割已逐步代替手工切割广泛应用于各工业部门。
- 机械切割设备有小车式切割机，可以切割直线或圆。另外还有可以切割任意形状的仿形切割机、直角坐标气割机、光电跟踪气割机和数字控制气割机等。
- 氧气切割由于生产率高、成本低，适于切割厚件及形状复杂件，所以广泛应用于碳素结构钢及低合金钢的下料。另外也可用于开坡口及切割铸钢件浇冒口等。

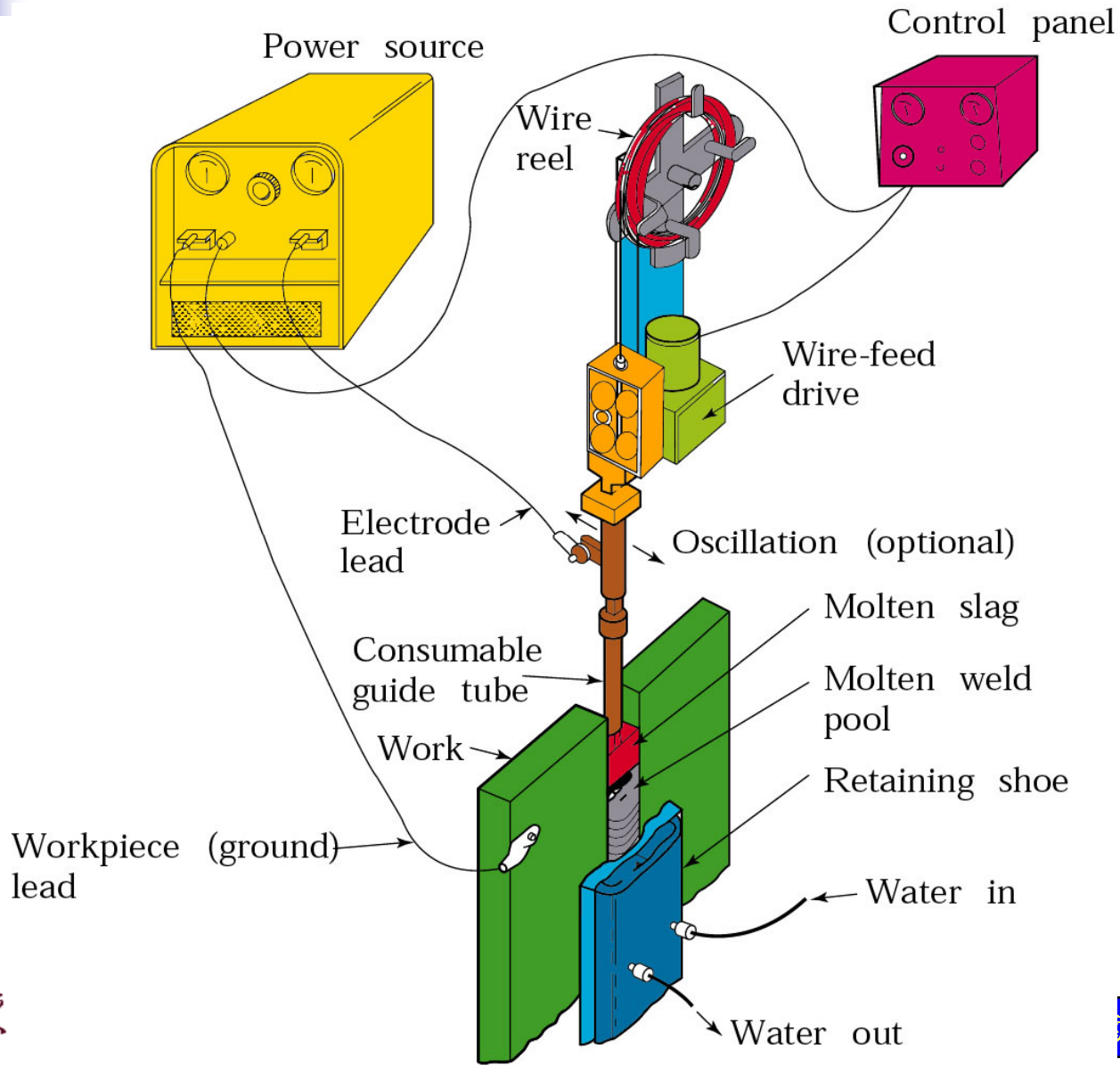
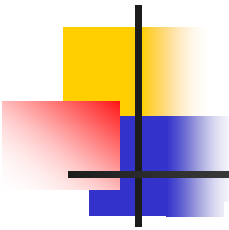






电渣焊

- 利用电流通过液体熔渣产生的电阻热作为热源，将工件和填充金属熔合成焊缝的立焊（焊缝与地面垂直线夹角小于 30° ）工艺方法。焊接过程中，渣池保护金属熔池不被空气污染，由两被焊工件端面与两侧水冷铜滑块构成空腔挡住熔池和渣池，保证熔池金属凝固成形。根据焊接时所用的电极形状，电渣焊分为丝极电渣焊、板极电渣焊和熔嘴电渣焊。



电渣焊的主要特点

- 适合于大厚度(一般在25mm以上)工件焊接, 可以不开坡口, 一次焊成, 成本低, 生产率高; 焊接过程只宜在垂直或接近垂直位置进行。电渣焊技术比较简单, 工艺方法容易掌握, 在重型机械、大型设备制造中得到广泛应用。



电阻焊

- 电阻焊是利用电流通过焊件金属接头接触处形成的电阻产生电阻热，将焊件局部加热到塑性状态或部分熔化状态，在压力的作用下，使焊接金属表面原子之间接近到晶格距离，形成金属键，获得焊接接头。



操作顺序

- 待焊件插入两电极间;
- 电极夹紧并施加压力;
- 焊接(电流通);
- 电流断, 压力继续保持或增压(有时在本步骤临近结束前通过一个较小的电流, 以使焊接区的应力释放);
- 电极打开, 取出焊件。



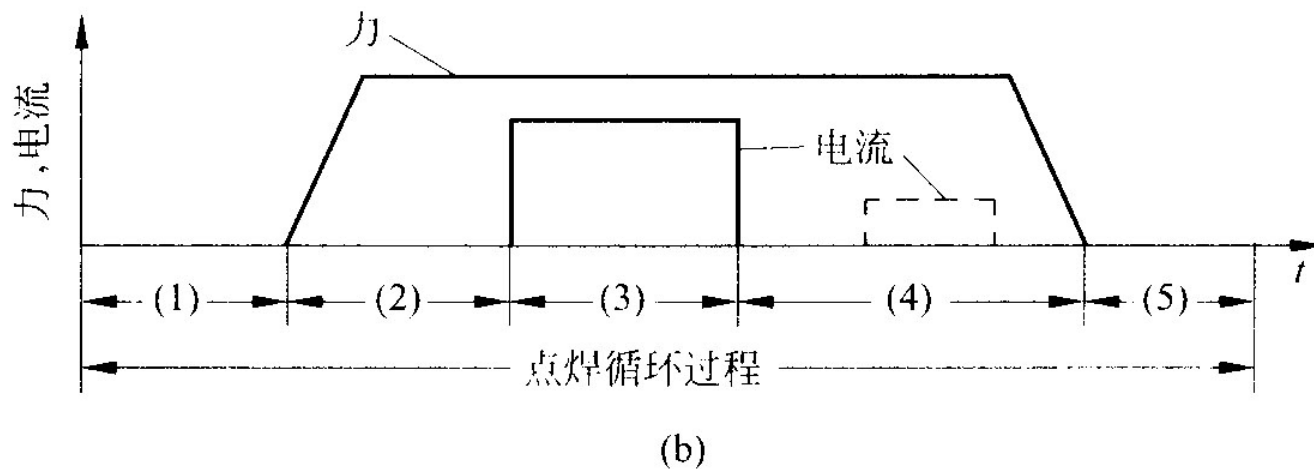
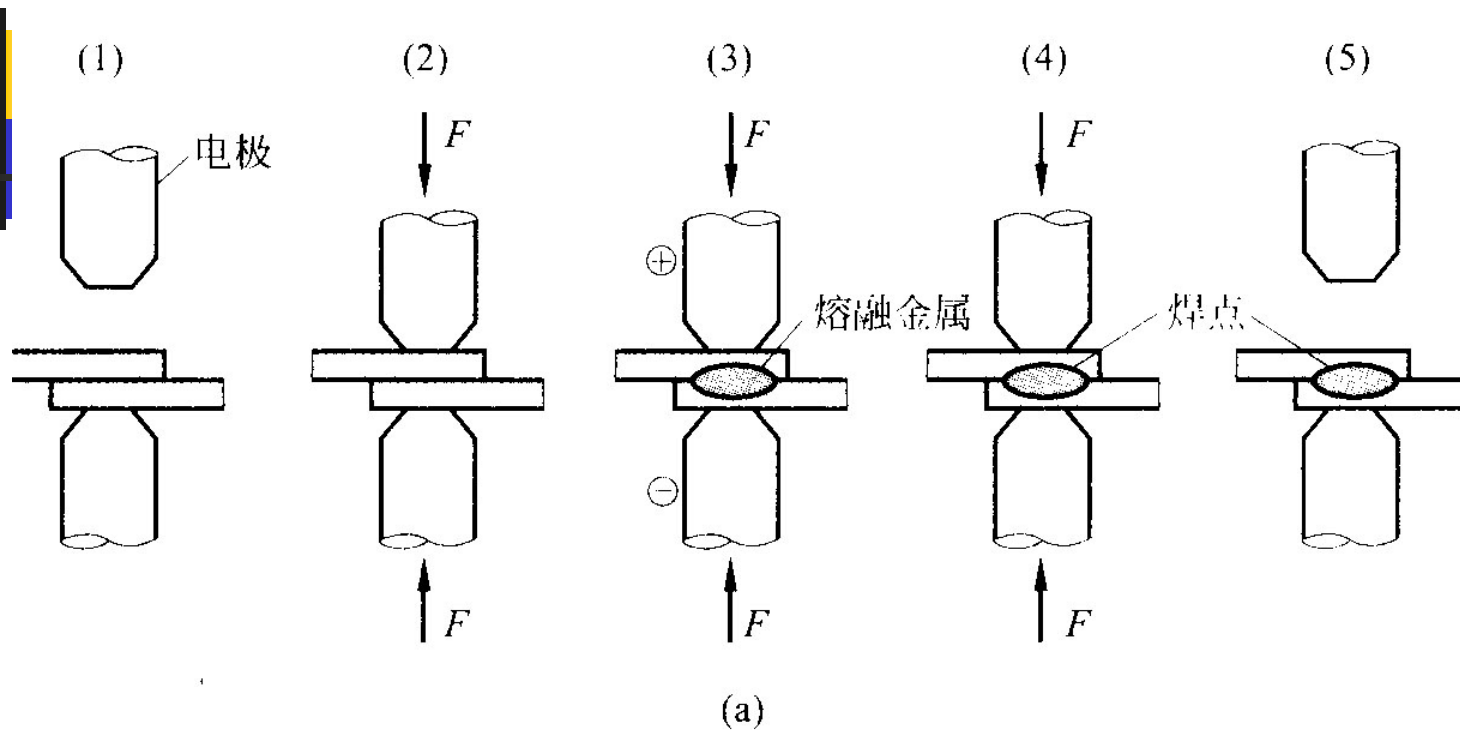


图 9-30 电阻点焊循环的步骤(a)及点焊循环中的挤压力和电流作用(b)



分类

- 电阻焊按接头形式可以分为：
 - 搭接电阻焊
 - 对接电阻焊；
- 按工艺特点则分为：
 - 点焊；
 - 缝焊；
 - 凸焊和对焊：
- 所使用的电源特征又可分为交流、直流和脉冲三类。



缝焊

- 缝焊是指焊件装配成搭接或对接接头并置于两滚轮电极之间，滚轮对焊件加压并转动，连续或断续送电，形成一条连续焊缝的电阻焊方法，

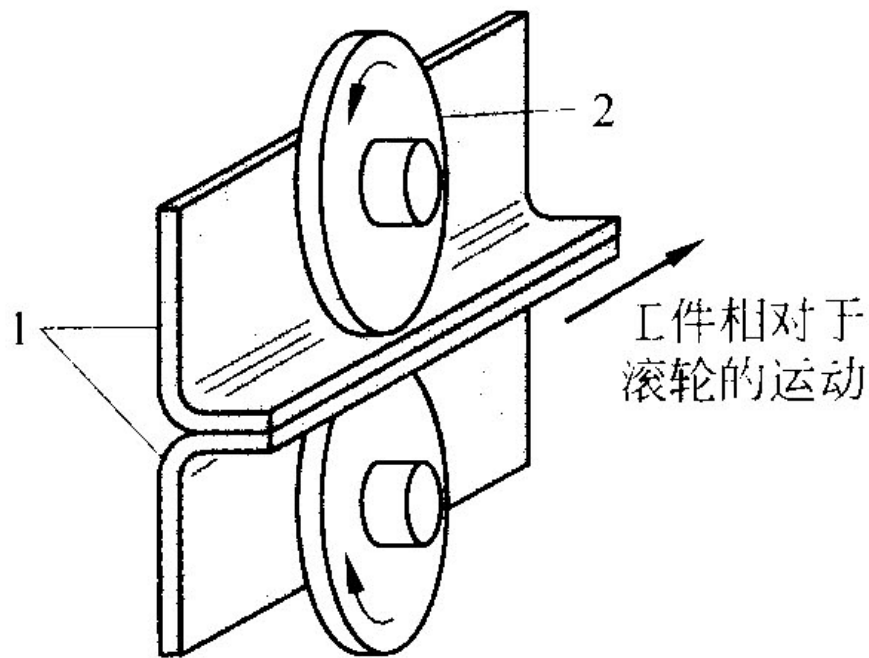


图 9-31 电阻缝焊

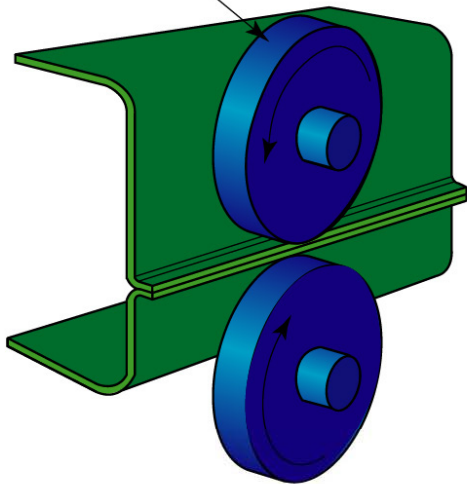
1—钣金件；2—滚轮电极



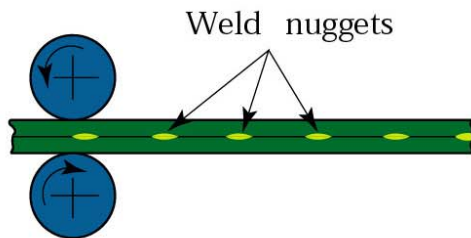


(a)

Electrode wheels

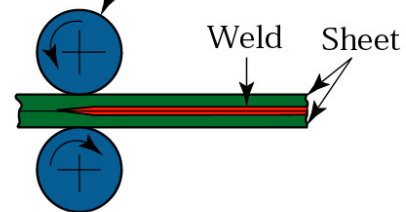


(c)

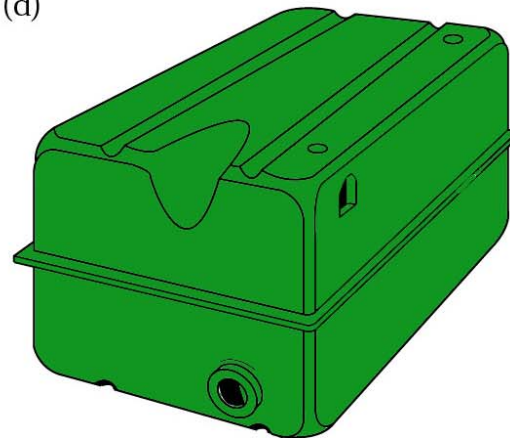


(b)

Electrode wheel



(d)



凸焊

➤ 凸焊是指在一焊件的贴合面上预先加工出一个或多个凸起点，使其在压力作用下与另一焊件表面接触并通电加热，使凸起点坍塌，从而形成焊点的电阻焊方法

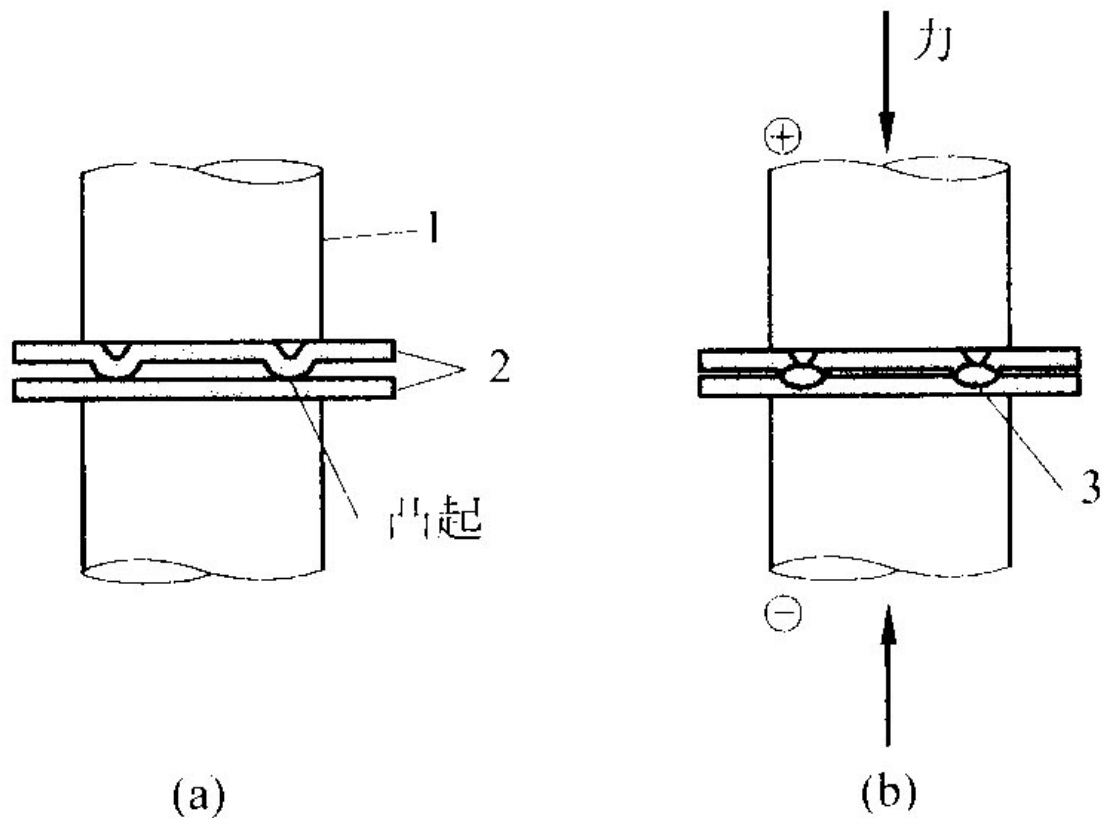
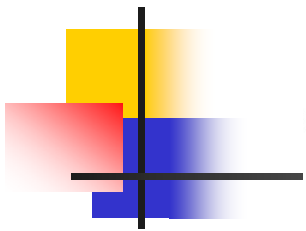


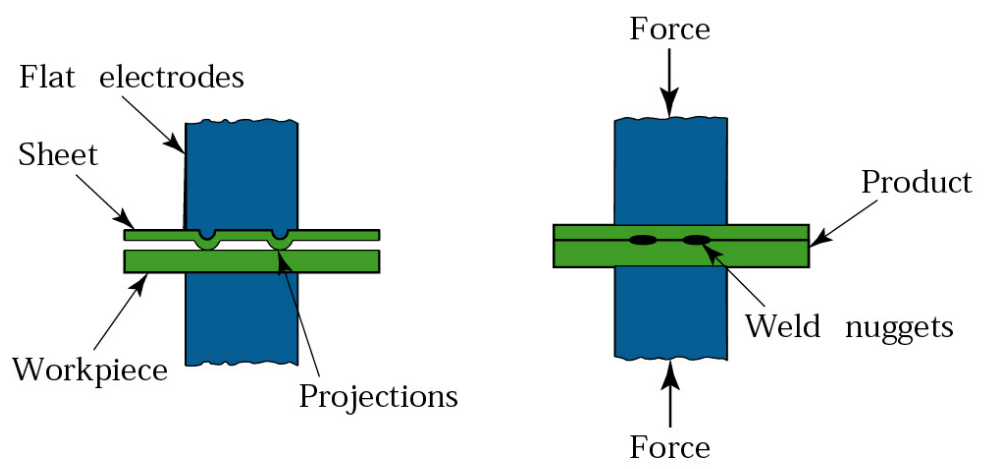
图 9-32 凸焊接头形成过程

1—电极；2—钣金件；3—焊点

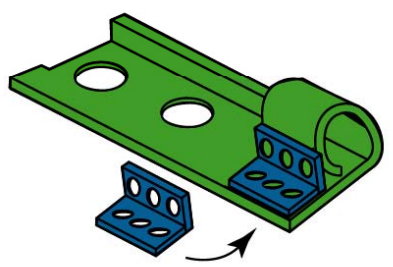




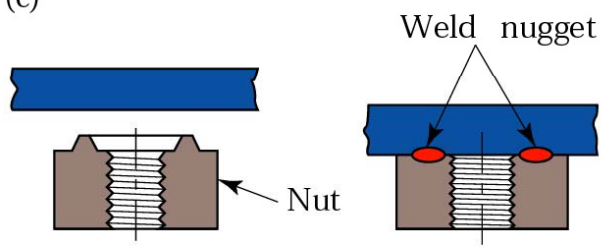
(a)



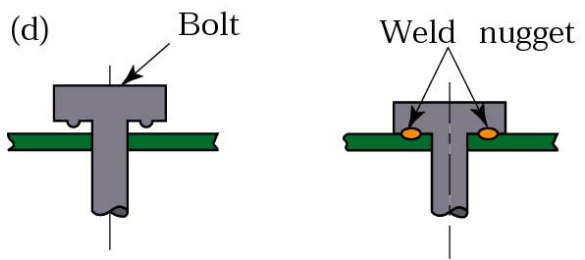
(b)



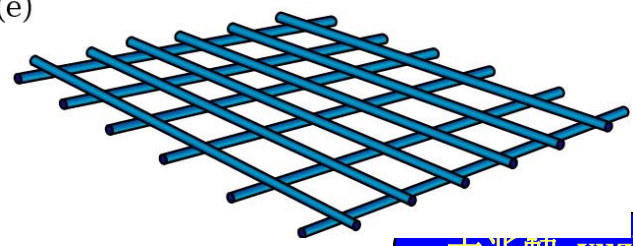
(c)



(d)



(e)



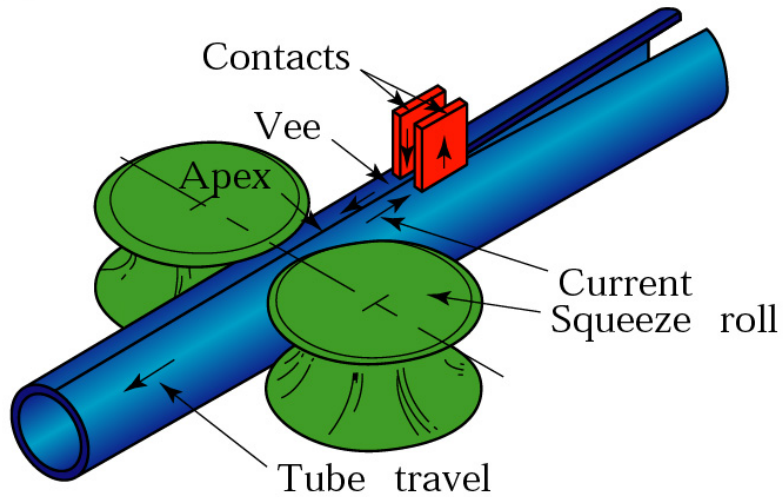
对焊

- 对焊是把两待焊工件端部相对放置，利用焊接电流加热，然后加压完成焊接的电阻焊方法。对焊包括电阻对焊和闪光对焊两种。
- 电阻对焊是将工件装配成对接接头，使其端面紧密接触，利用电阻热将其加热至塑性状态，然后迅速施加顶锻力完成焊接的方法；

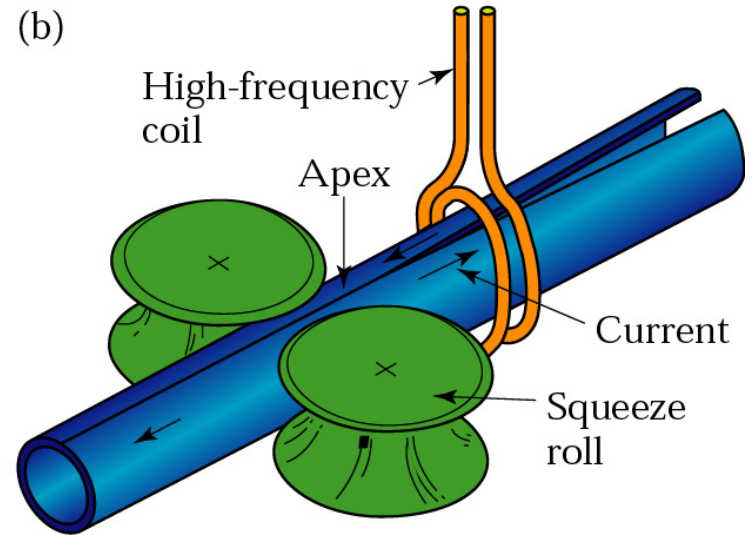


高频对焊

(a)

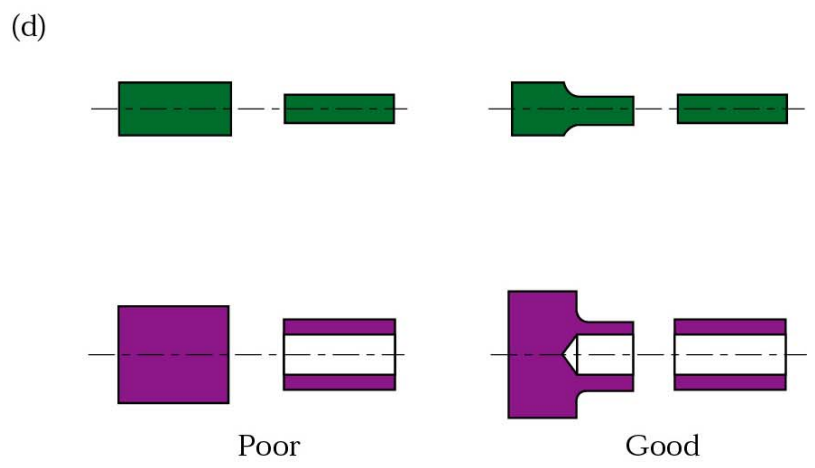
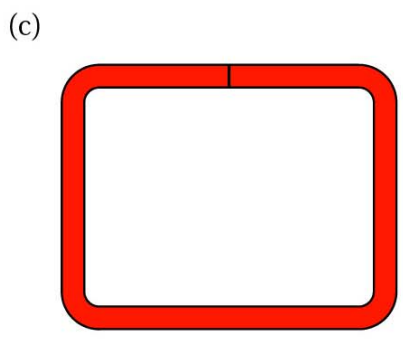
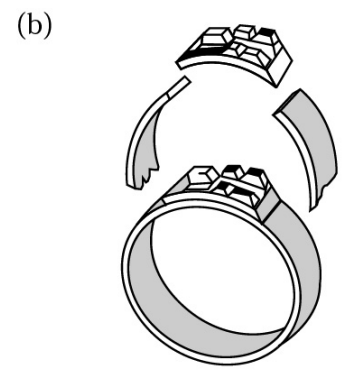
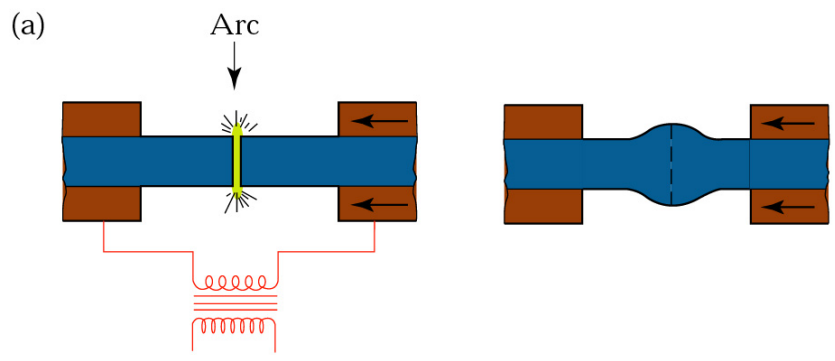
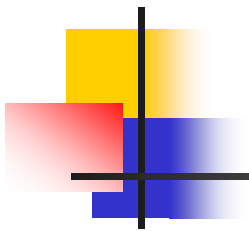


(b)



闪光对焊

- 闪光对焊指焊件装配成对接接头，接通电源，使其端面逐渐移近达到局部接触，利用电阻热加热这些接触点(产生闪光)，使端面金属熔化，直至端部在一定深度范围内达到 预定温度时，迅速施加顶锻力完成焊接的方法。







电阻焊的特点

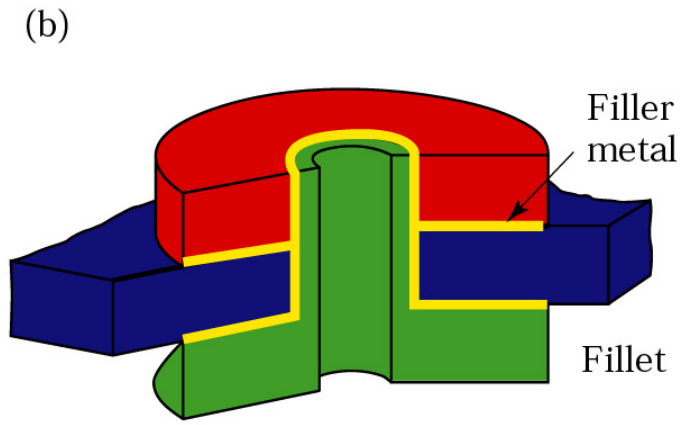
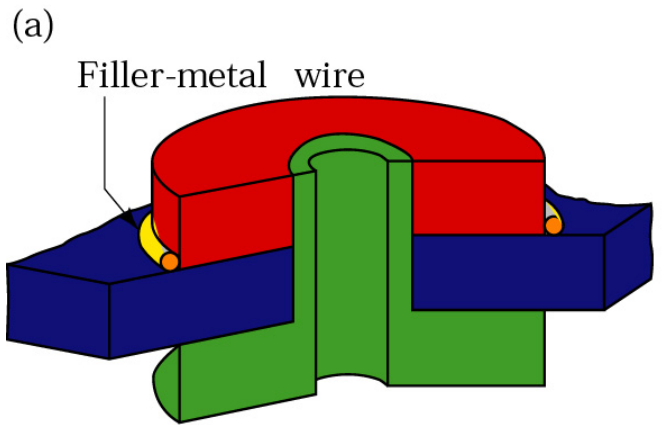
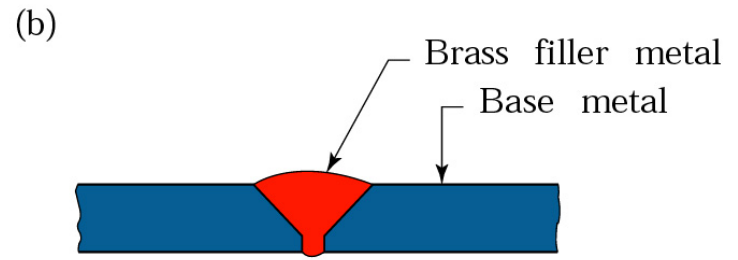
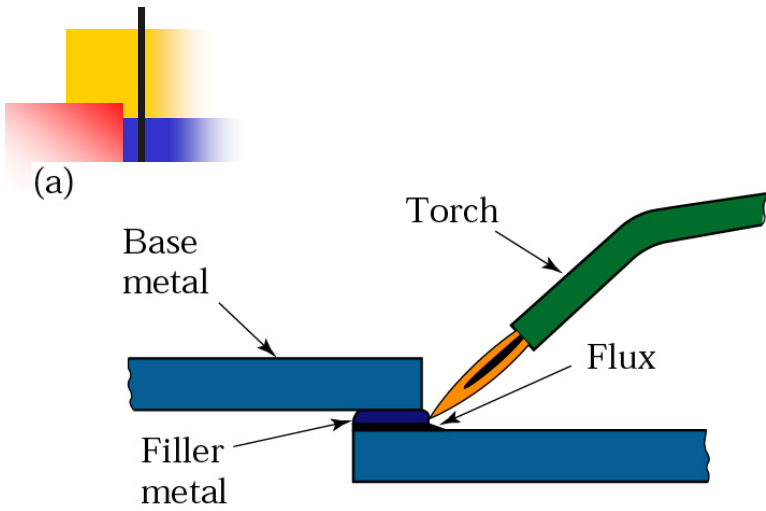
- 电阻焊具有接头质量高、辅助工序少、无须填充焊接材料及文明生产等优点，尤其易于实现机械化和自动化，生产效率高，经济效益显著，适宜于大量成批生产，广泛应用于汽车、飞机制造及电子、仪表、家用电器的钣金件装配连接。

钎焊

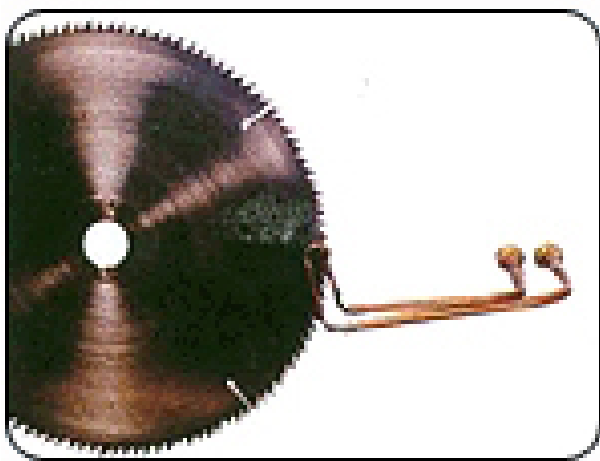
- 钎焊指待焊工件以搭接形式装配，接头间保持很小的间隙，选用熔点低于母材熔点的填充材料(钎料)，在低于母材熔点、高于钎料熔点的温度下，使钎料熔化并填充接头间隙，液态钎料与母材相互作用，冷却凝固成牢固的接头。







钎焊实例



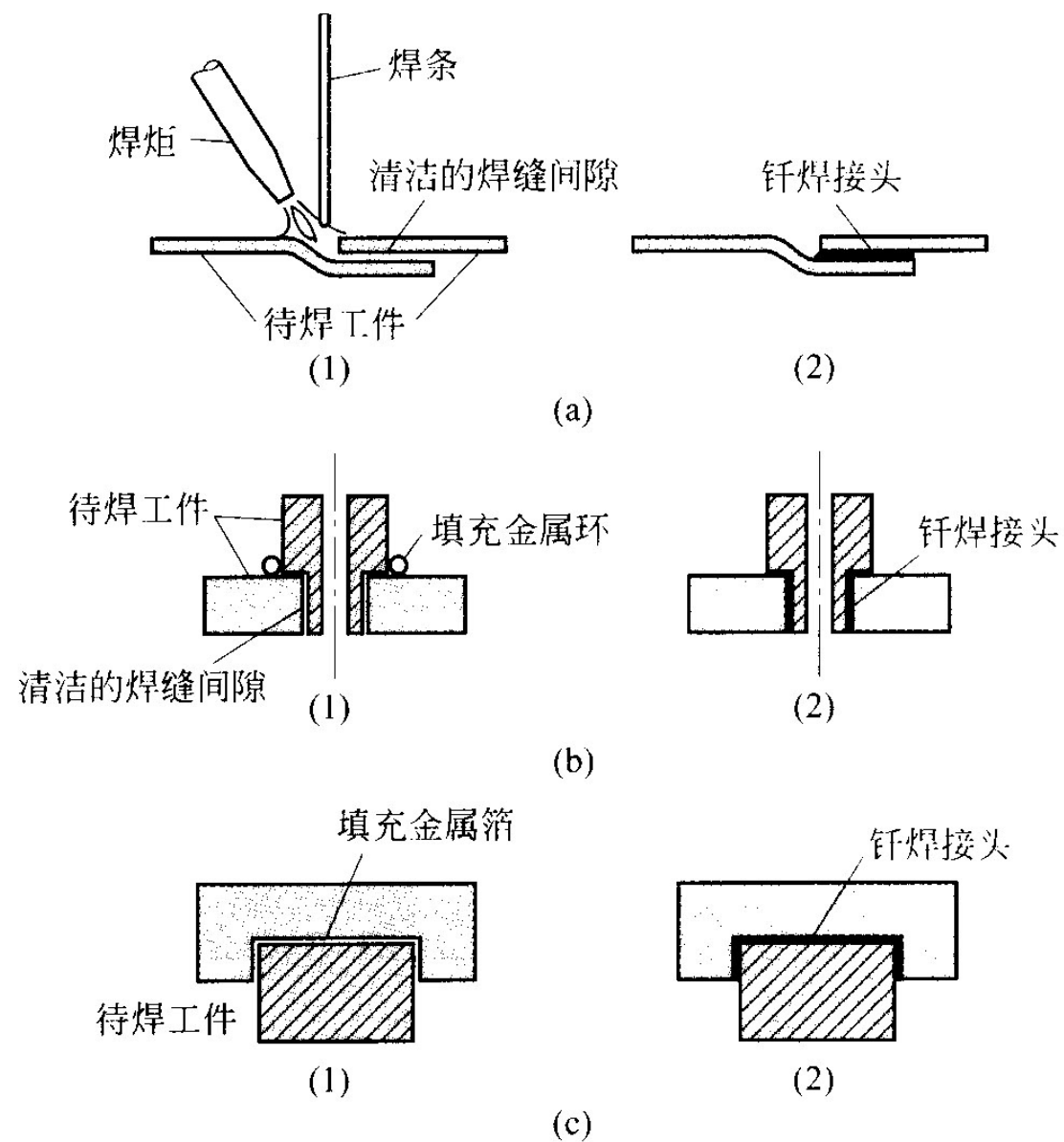
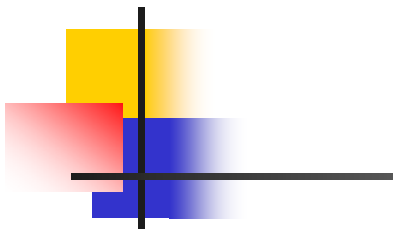


图 9-34 钎焊中钎料的几种使用方法

钎焊分类

- 工程中通常将钎焊分为两类：
- 硬钎焊
- 钎料液相线温度在 450°C 以上，接头强度较高(200MPa)，如铜焊、银焊、铝焊等。常用的钎料有铜基、银基、铝基和镍基等，钎剂有硼砂、硼酸、氟化物、氯化物等。银基钎料钎焊的接头具有较高的强度、导电性和耐蚀性，且熔点较低、工艺性好，但价格较高，因此，仅用于要求高的焊件；镍铬合金钎料可用于钎焊耐热的高强度合金与不锈钢，工作温度 900°C ，但钎焊温度高(1000°C)，工艺要求严格。硬钎焊主要用于受力较大的钢铁和铜合金构件以及工具、刀具的焊接。



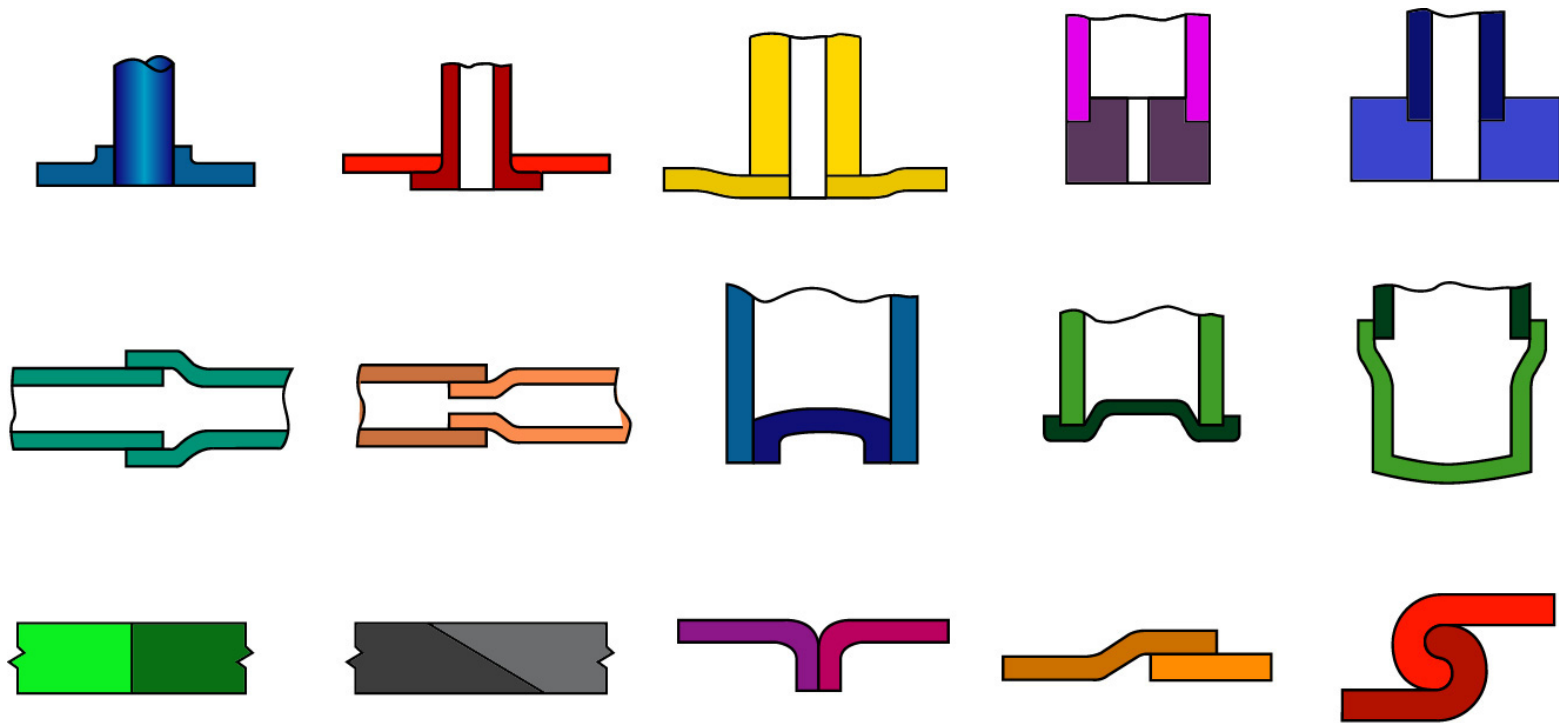


软钎焊

- 钎料液相线温度在 450°C 以下，接头强度较低($\leq 70\text{MPa}$)，仅用于钎焊受力不大、工作温度较低的工件，如锡焊所用钎料为锡铅合金，通常称为焊锡。常用钎剂有松香、氯化锌溶液等。这类钎料熔点低($\leq 230^{\circ}\text{C}$)，渗入接头间隙的能力较强，所以具有较好的焊接工艺性能。



接头形式



扩散焊接

- 扩散焊接是将两待连接工件表面紧压在一起，在高温和压力作用下使之发生局部塑性变形，经过一定时间后，通过结合层原子间相互扩散而形成整体的可靠连接。

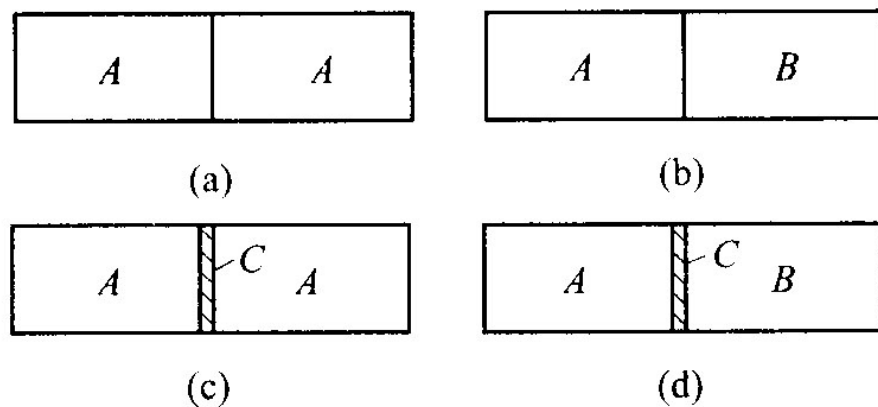


图 9-35 扩散焊接头的组合类型

(a) 同类材料；(b) 异类材料；

(c) 同类材料加中间扩散层；(d) 异类材料加中间扩散层

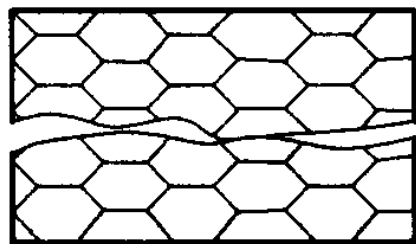




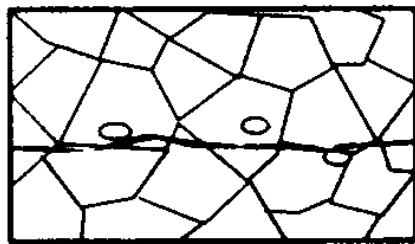
扩散焊接过程

- 物理接触阶段
- 接触界面原子间相互扩散，形成牢固的结合层
- 界面结合层逐渐向界面两侧发展，形成可靠的连接接头

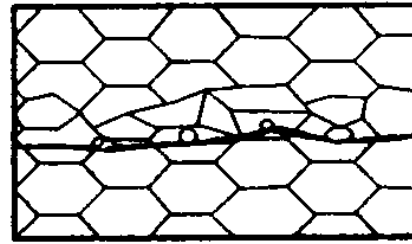




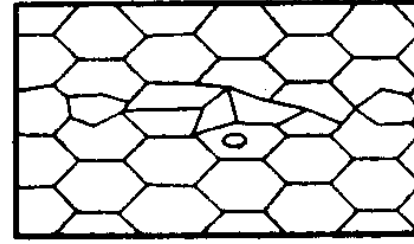
(a) 室温装配状态



(b) 第一阶段



(c) 第二阶段



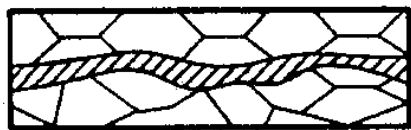
(d) 第三阶段

图 11-14 固态扩散焊过程示意图

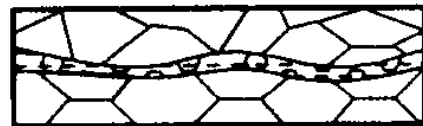
中间层

- 为了促进原子扩散，降低连接温度，加速扩散焊接过程的进行，提高接头性能，常常在待连接材料之间插入中间层，常使用比母材软的金属作为中间层，借助其塑性变形，促进连接界面的紧密接触。有关中间层的研究是扩散焊接的一个重要方面。使用中间层改变了原来的连接界面性质，使连接全部成为异种材料之间的连接。





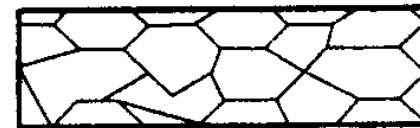
(a) 夹层材料装夹



(b) 液相生成

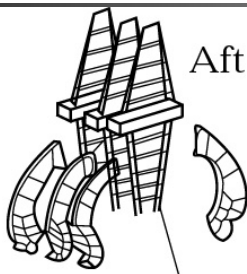


(c) 等温凝固



(d) 均匀化

图 11-15 瞬时液相扩散焊过程示意图

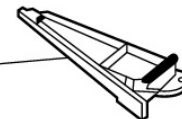


Aft fuselage frames

Outboard actuator fitting



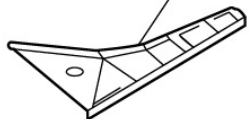
Inboard actuator fitting



Nacelle frame



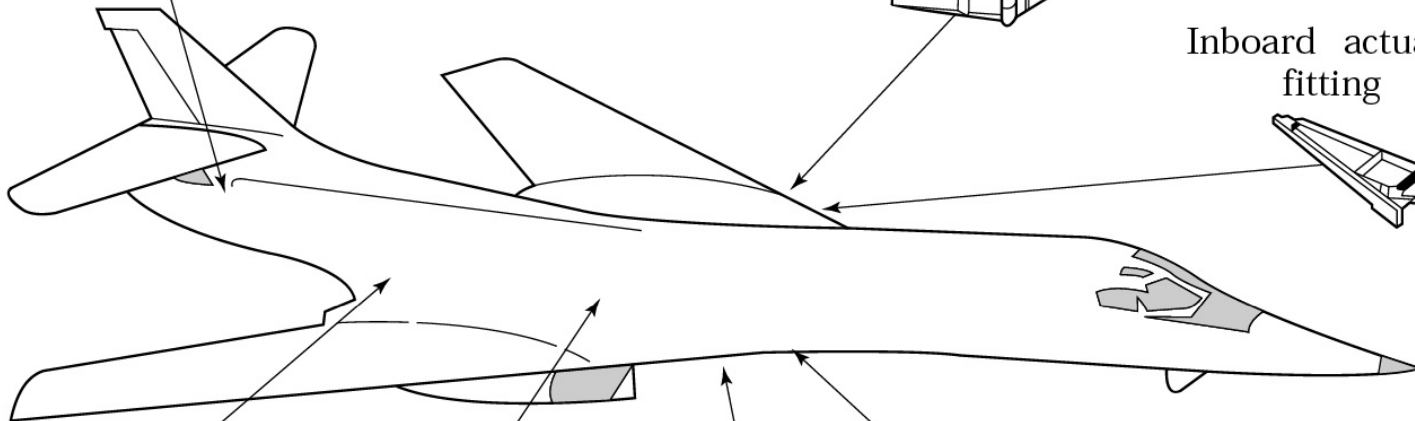
Nacelle support beam



Main landing gear trunnion



Bulkhead



摩擦焊

- 摩擦焊是一种压焊方法，是在外力作用下，利用焊件接触面之间的相对摩擦运动和塑性流动所产生的热量，使接触面及其邻近区金属达到粘塑性状态并产生适当的宏观塑性变形，通过两侧材料间的相互扩散和动态再结晶而完成焊接。

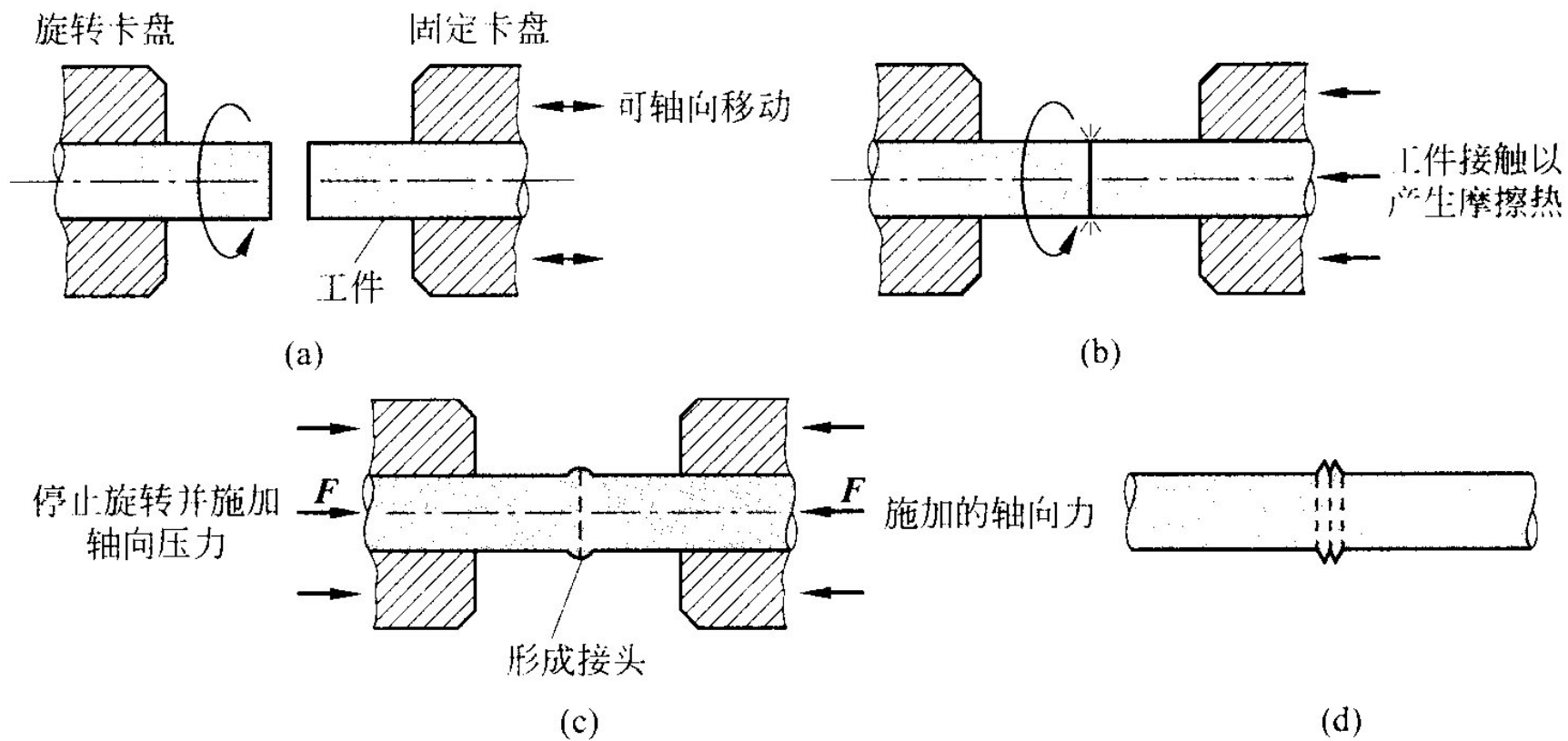
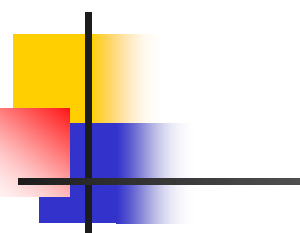


图 9-36 摩擦焊过程



摩擦焊的焊接材料

- 低碳钢、中碳钢、高碳钢、低合金钢、不锈钢、马氏体时效钢的同种或异类金属摩擦焊接适应性都很好，只是有的须进行必要的焊后热处理。
- 高温时塑性良好的同种金属及能够互相固溶和扩散的异类金属，例如Al, Cu, Ni, Cu—Ni及其与某些钢的摩擦焊都能获得优良的接头。
- 会形成脆性相的异类金属，若不设法防止脆性合金层增厚，则很难获得强度与塑性符合要求的接头，如铝—铜、钛—铜、铝—钢



摩擦焊的焊接材料

- 高温强度高、塑性差、导热性好的材质不易实现摩擦焊，异类金属的高温力学及物理性能差异越大，摩擦焊就越困难，如不锈钢—铜、硬质合金—钢等。
- 表面有镀膜、渗层及铸铁、黄铜等摩擦系数太小的金属难以实现摩擦焊接。
- 塑料及其他塑性较好的非金属材料也可以进行摩擦焊。



爆炸焊接

- 爆炸焊接利用炸药爆炸产生的巨大冲击力使两个或多个待焊工件表面迅速碰撞而实现连接，属于固态焊接方法。

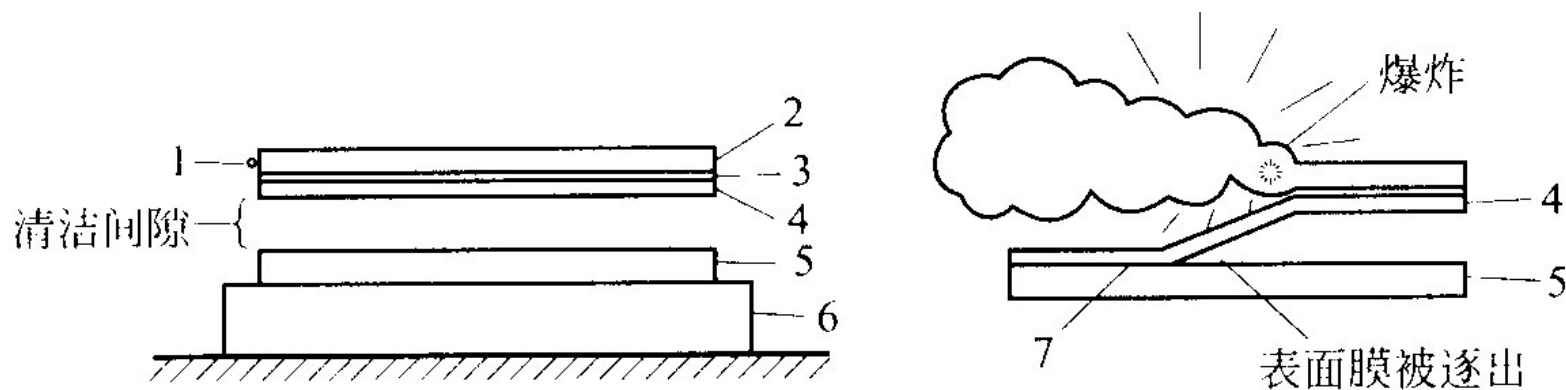
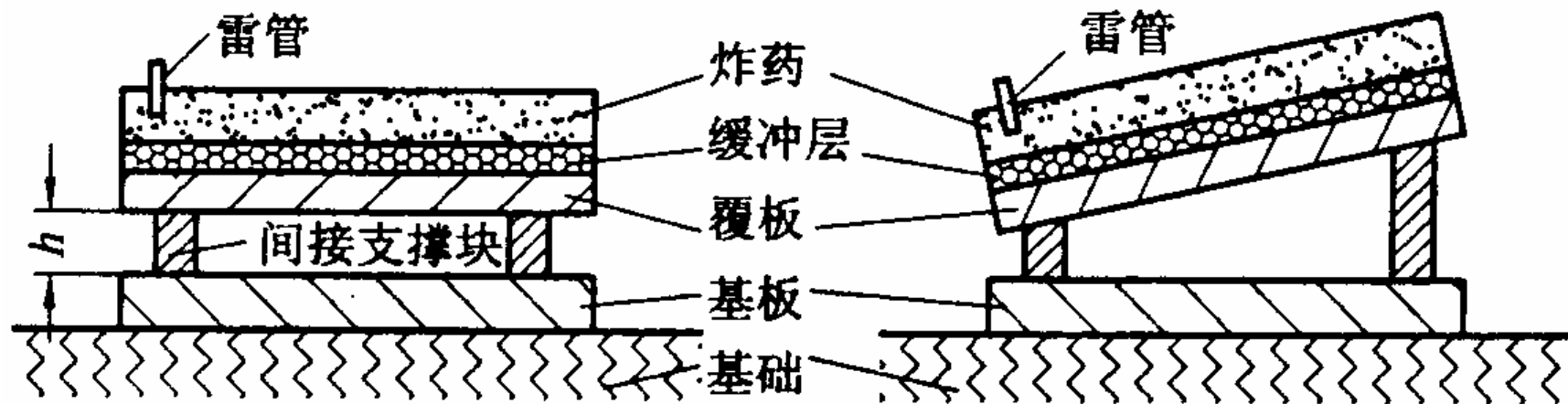


图 9-37 爆炸焊接过程示意图

1—引信；2—炸药；3—缓冲层；4—覆板；5—基板；6—砧板；7—焊缝

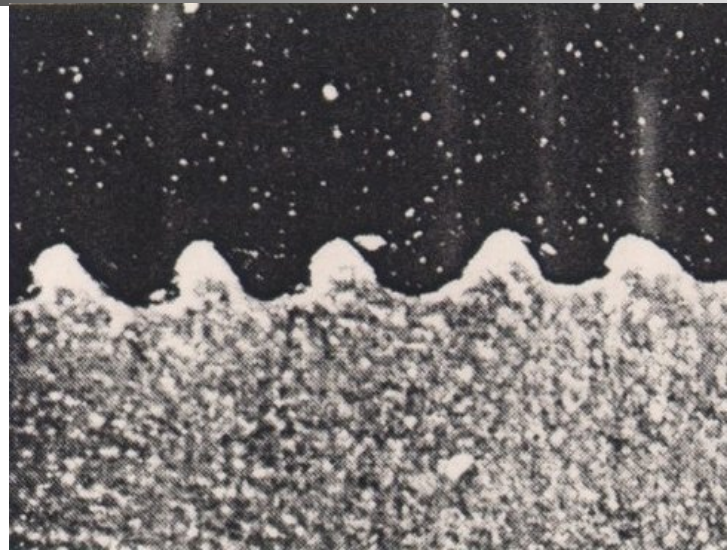




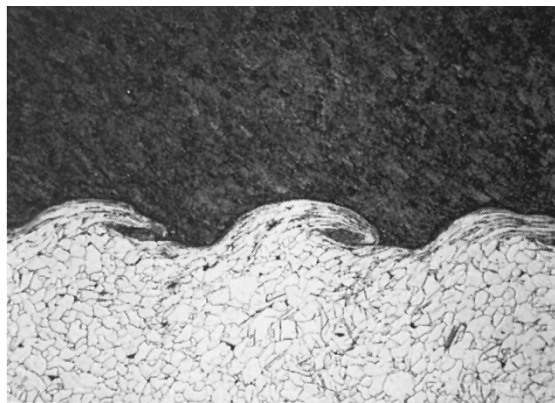
(a) 平行法

(b) 角度法

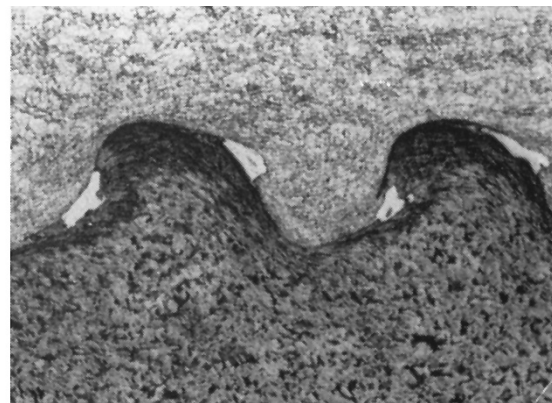
图 11-17 爆炸焊的安装方式示意图



(c)



(d)

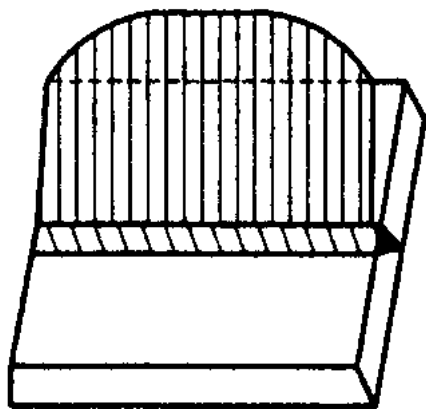


波峰焊

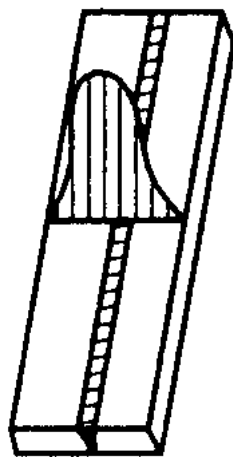


焊接质量与检验

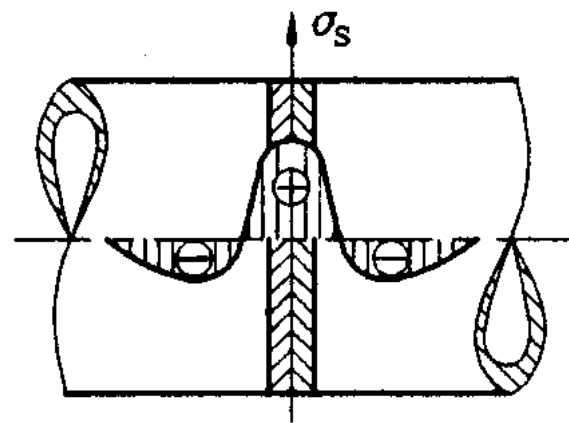
- 焊接缺陷
- 残余应力和变形



(a) 对接接头的纵向应力分布



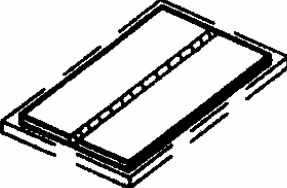
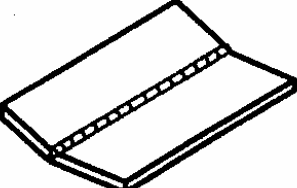

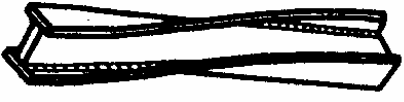
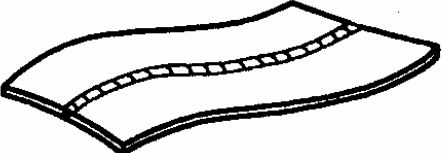
(b) 对接接头的横向应力分布



(c) 圆筒环焊缝的纵向应力分布

图 10-16 焊接残余应力的分布

表 1-5 常见焊接变形的种类和产生原因

变形种类	图 示	产 生 原 因
缩短变形		纵向缩短(沿焊缝方向)由于焊缝的纵向收缩引起,横向缩短(垂直焊缝方向)由于焊缝的横向收缩引起
角变形		由于焊缝截面形状上下不对称,造成焊缝横向收缩在厚度方向上分布不均匀引起
弯曲变形		由于焊缝位置在焊接结构中布置不对称,焊缝的纵向收缩引起
扭曲变形		由于装配质量不好、焊接时构件搁置不当或焊接顺序和焊接方向不合理引起
波浪变形		由于焊缝收缩使薄板局部产生较大的压应力而失去稳定引起

减少和消除焊接应力的措施

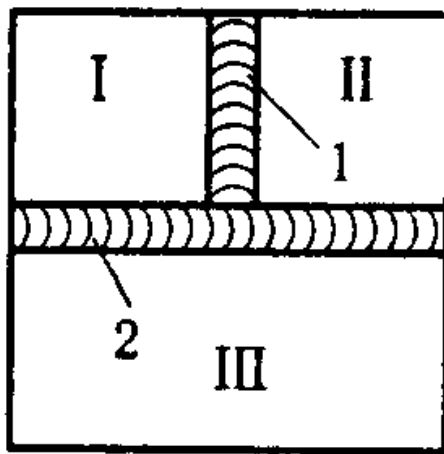
➤ 设计措施

- 尽量减少焊缝数量及尺寸
- 避免焊缝过分集中
- 采用刚性较小的接头形式
- 在拉应力区域，避免几何不连续性

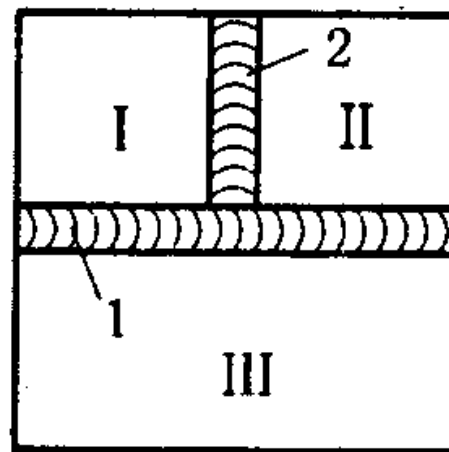


减少和消除焊接应力的措施

- 工艺措施
- 合理选择焊接顺序和方向



(a) 焊接应力小



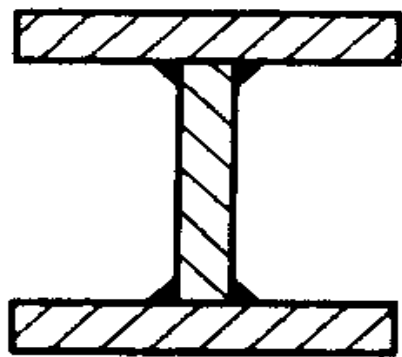
(b) 焊接应力大

图 10-17 焊接顺序对焊接应力的影响



减少和消除焊接应力的措施

➤ 工艺措施



(a) 对称焊缝



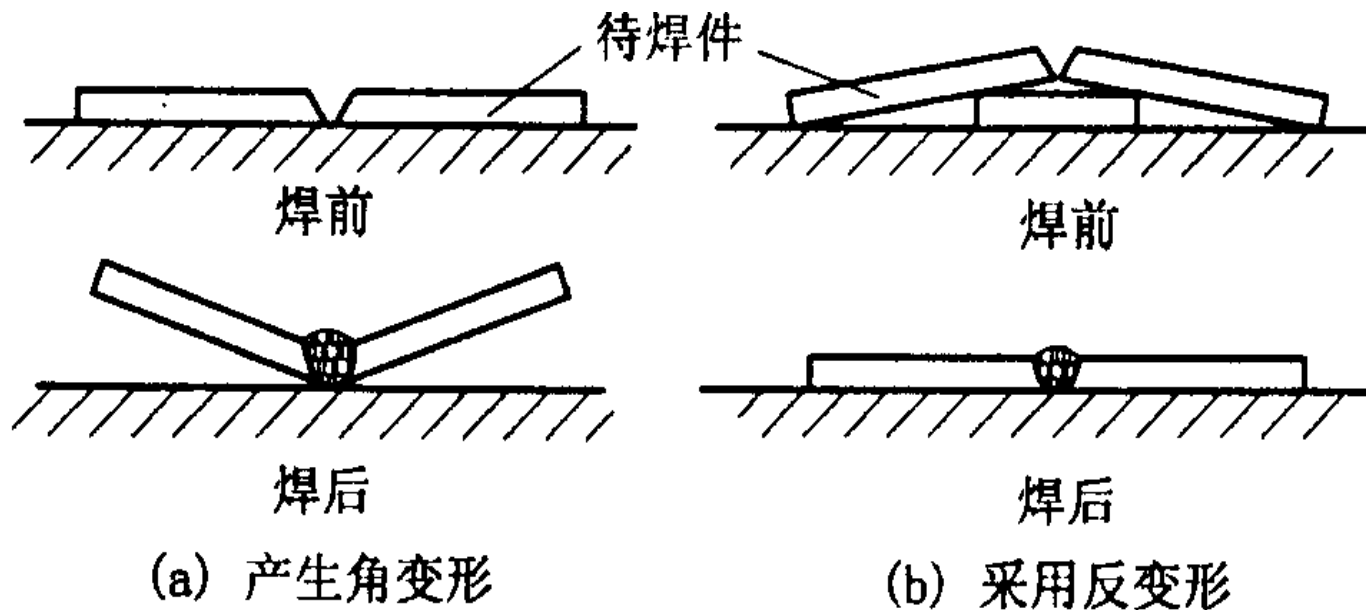
(b) 对称坡口

图 10-18 焊缝的对称布置



控制和矫正焊接变形的措施

➤ 焊前组装时采用反变形法



控制和矫正焊接变形的措施

➤ 选择合理的装配焊接顺序

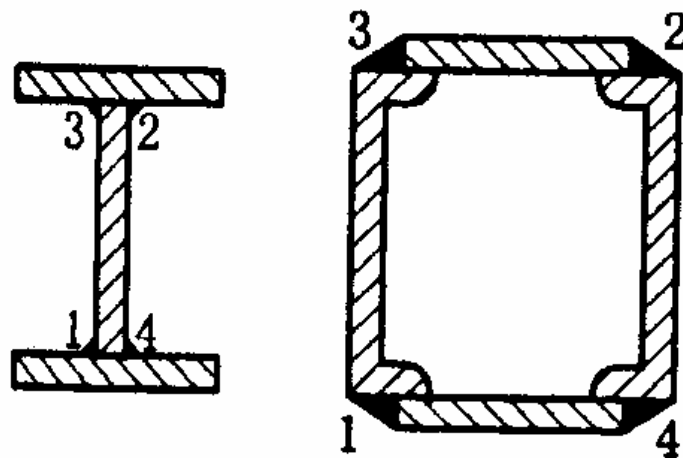


图 10-20 对称焊接方法示意图

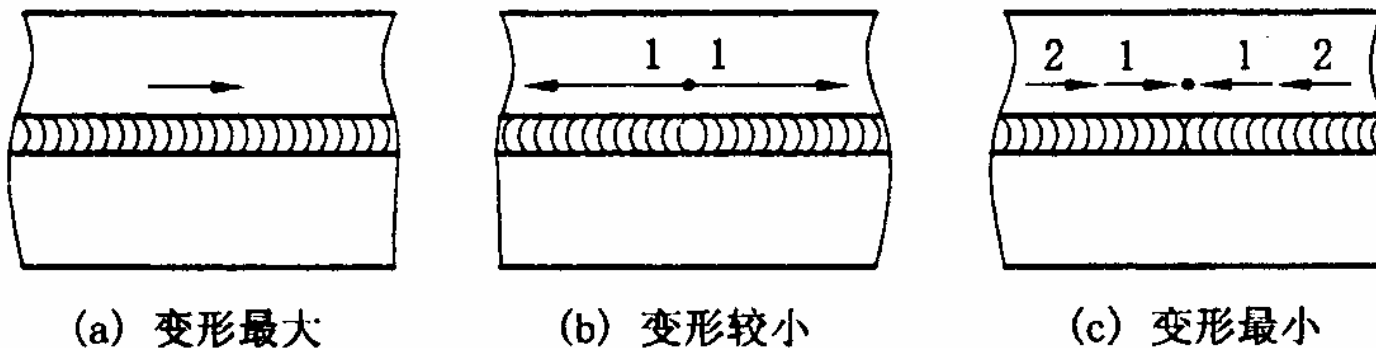


图 10-21 分段倒退焊方法在长焊缝中的应用



控制和矫正焊接变形的措施

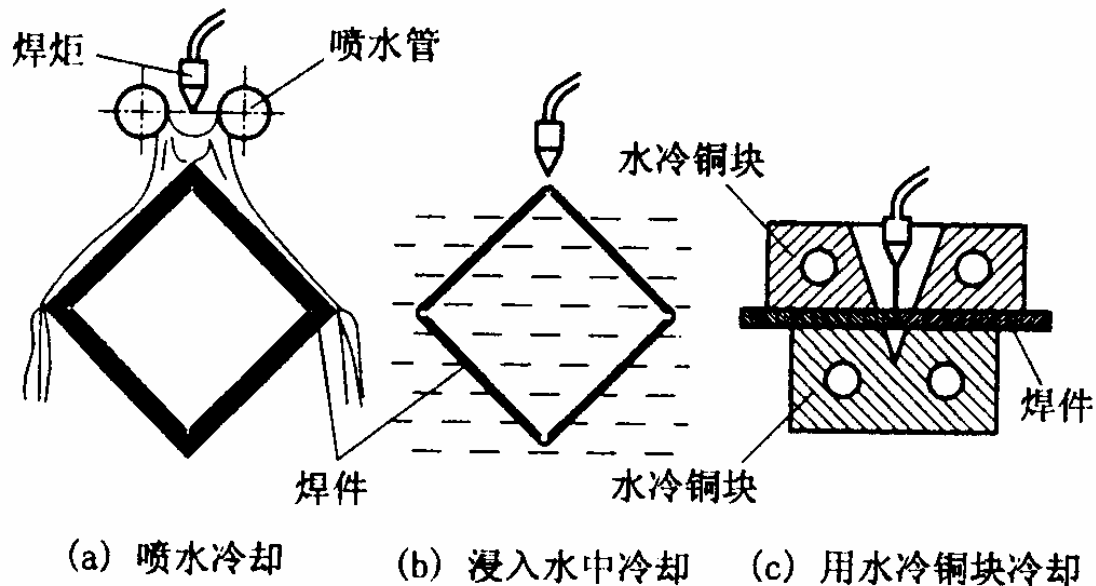
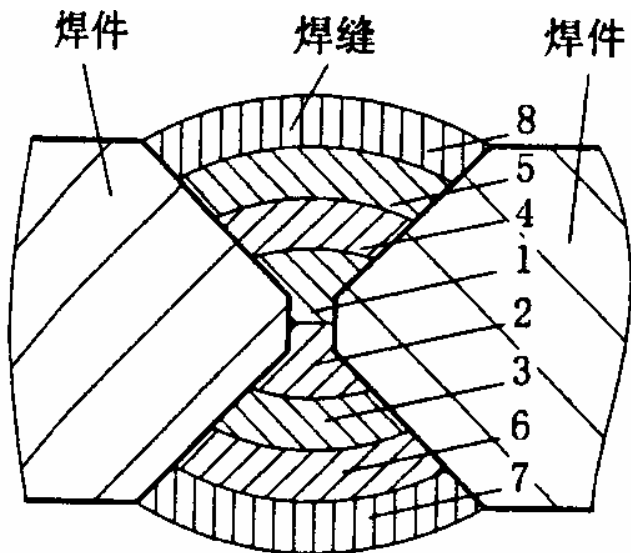


图 10-22 大型 X 型坡口的多层焊接工艺示意图

图 10-23 用散热法减小焊接变形的过程示意图

控制和矫正焊接变形的措施

- 机械矫正法
- 火焰矫正法

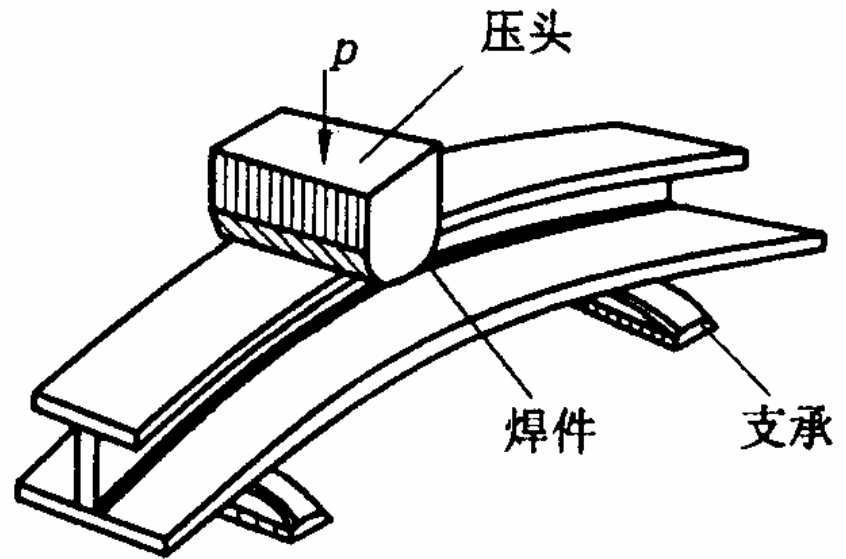


图 10-25 机械矫正法示意图

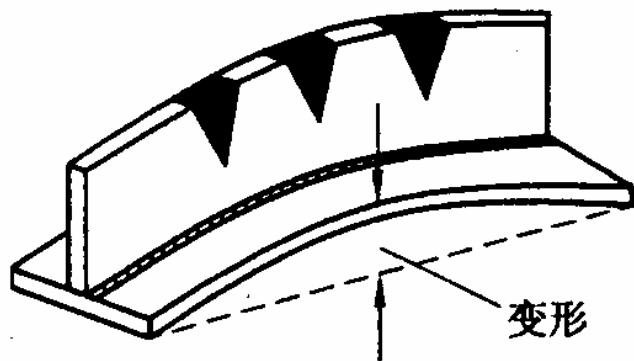


图 10-26 火焰矫正法示意图

气孔

- 气孔是指焊缝表面或内部形成的连续或不连续的孔洞。气孔的形成是由于熔池金属中的气体在金属结晶凝固之前未能及时逸出，从而以气泡的形式残留在凝固后的焊缝金属内部或出现在焊缝表面。
- 按照气体来源，焊接气孔分为析出型气孔和反应型气孔

气孔

- 预防措施
- 消除气体来源：清理和防护
- 正确选用焊接材料：
- 优化焊接工艺：电流、电压；焊接速度



焊接热裂纹

- 热裂纹是高温下在焊缝金属和焊接热影响区中产生的一种沿晶裂纹。

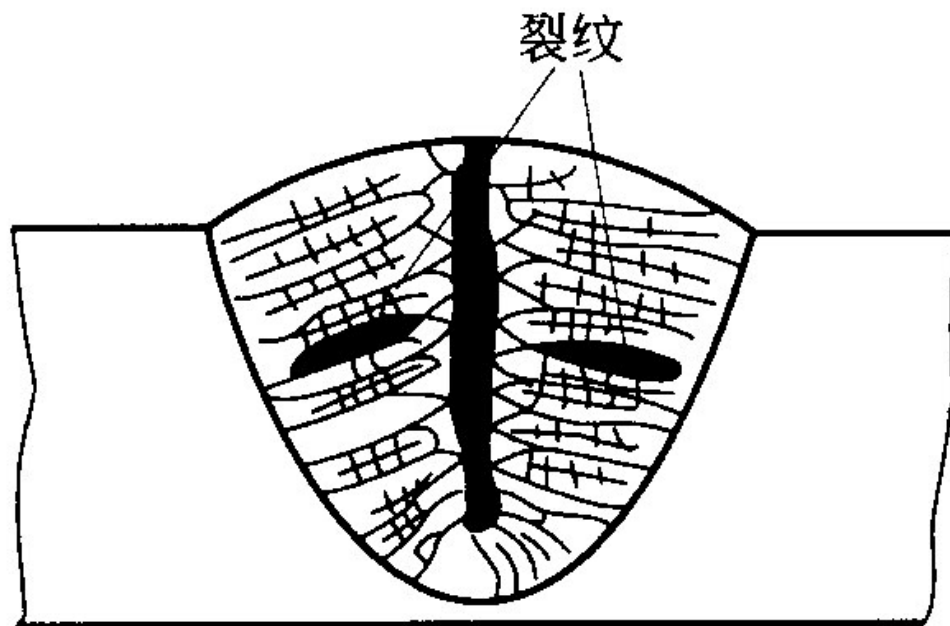


图 9-39 焊缝中结晶裂纹的分布



焊接热裂纹

➤ 预防措施:

➤ 冶金因素

- 合理选择焊接材料，控制一次结晶组织及其形态，改善焊缝凝固组织)，适当控制晶间易熔物质数量，降低含硫量，提高晶界的纯净度，合理利用合金元素等。



焊接热裂纹

➤ 预防措施:

➤ 工艺条件

- **熔合比**: 母材金属在焊缝金属中所占的比例
- **焊缝成形系数**: 焊缝宽度与焊缝实际深度之比称为焊缝成形系数。
- **焊缝冷却速度**: 焊接接头冷却速度越大, 变形速率也越大, 越容易产生热裂纹。
- **变形受约束程度**

冷裂纹

- 冷裂纹是由于材料在室温附近温度下脆化而形成的裂纹，其形成温度与热裂纹的形成温度截然不同。
- 冷裂纹多发生在中碳钢、高碳钢以及合金结构钢的焊接接头中，特别是易于出现在焊接热影响区。
- 冷裂纹的影响因素多且复杂，防止冷裂纹总的原则就是控制影响冷裂纹形成的三大因素，即尽可能降低拘束应力、消除氢的来源并改善组织。



预防冷裂纹的措施

➤ 1)冶金方面

- ①选择抗裂性好的钢材。
- ②选用适当的焊接材料，如低氢或超低氢焊条、低强焊条、奥氏体焊条。
- ③特殊微量元素的应用，如某些表面活性元素，如Te，Se及稀土元素Re等可以降低焊缝含氢量，其中以Te的效果最好。在焊条中复合加入Te和Re可以显著提高接头的抗冷裂性能。
- ④选用低氢焊接方法。CO₂气体保护焊由于具有一定的氧化性，故而可以获得低氢焊缝。



预防冷裂纹的措施

➤ 2) 焊接工艺方面

- ① 合理控制预热温度，环境温度越低，板越厚，钢种强度级别越高，预热温度就应高一些。
- ② 合理控制焊接线能量，降低冷却速度或延长从Ac3到奥氏体最低温度之间的冷却时间，同时注意避免奥氏体晶粒过分粗化从而形成粗大马氏体。
- ③ 多层焊层间时间间隔的控制。
- ④ 紧急后热的作用



焊接检测

➤ 焊接检验过程

- 焊接质量检验是焊接生产过程的重要组成部分，包括焊前检验、焊接生产过程中的检验以及焊后产品检验。





无损检验方法

- 外观检验
- 磁粉检验
- 着色检验
- 超声波检验
- X射线和 γ 射线检验



磁粉检测法

磁悬液



磁粉检测仪



将磁悬液喷洒在工件表面，将磁粉检测头夹持在被测工件上，通以数百安培的电流，工件中将产生磁场，工件表面的裂纹可因磁粉的不均匀分布而显示出来。

X光探伤



将x光发生器对准被测位置，将感光片贴在物体背面，人离开后通上高压电，再将感光片冲洗出影像，即可观察到缺陷。

计算机断层成像技术(CT)探伤

(参考中国工程物理研究院应用电子学研究所资料)

计算机断层成像技术(CT)是一种重要的无损检测技术(NDT)，是物理学与计算机科学的发展产物。它是基于射线与物质的相互作用原理，通过投影重建方法获取被检测物体的数字图像，全面解决了传统x射线摄影装置的影像重叠、密度分辨率低等缺点。



CT探伤成像 (参考中国工程物理研究院应用电子学研究所资料)



超声波探伤

超声波探伤是目前应用十分广泛的无损探伤手段。它既可检测材料表面的缺陷，又可检测内部几米深的缺陷，这是x光探伤所达不到的深度。

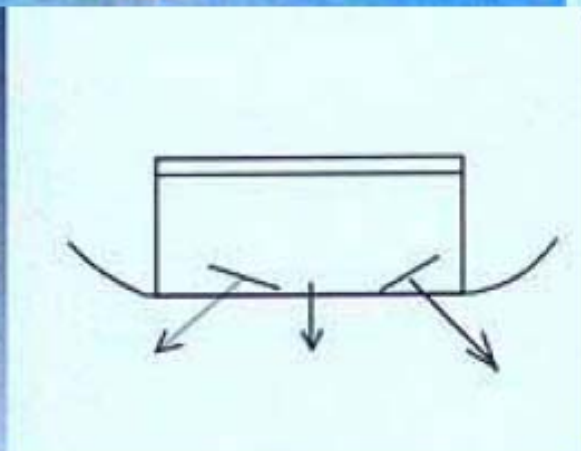
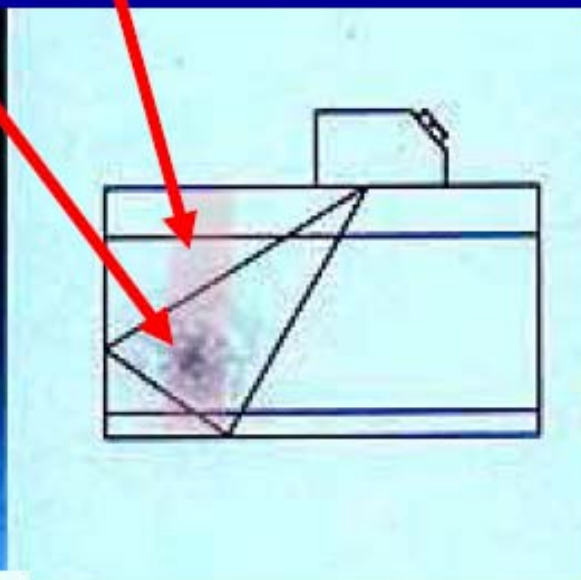


裂纹

A型超声探伤
反射波形

铁路钢轨探头

铁路钢轨对接焊
缝探测用探头



铁路钢轨探伤
用滑板式探头

焊缝性能检验

- 力学性能检验
- 密封性检验，常采用的方法有：
 - ①静气压试验
 - ②煤油检验
 - ③水压试验

常用金属材料的焊接

➤ 金属材料的焊接性

- 金属材料的焊接性是指被焊金属在采用一定的焊接方法、焊接材料、焊接工艺及结构形式条件下，获得优质焊接接头的难易程度，即金属材料在一定工艺条件下的焊接能力。
- 良好的焊接性具有以下主要特征：焊接过程容易实施、接头没有焊接缺陷并具有足够的强度、塑性与韧性。
- 影响焊接性的因素包括：焊接工艺方法、母材金属性能、填充金属及焊件表面条件等。



常用钢材的焊接

- 碳钢的焊接
- 低碳钢含碳量低于0.25%，塑性好，无淬硬倾向，焊接性良好，采用各种焊接方法，都能获得良好的焊接接头。焊接时不需要采取特殊的工艺措施，通常焊后也不需要热处理。

常用钢材的焊接

- 碳钢的焊接
- 中碳钢含碳量为0.25%~0.6%，焊接性较差

问题 { 焊缝区易产生热裂纹
热影响区易产生冷裂纹

措施 { 焊前预热（150~250℃），焊后缓冷。
选用低氢型焊条。
焊件开坡口，且采用细焊条、小电流、多层焊。



常用钢材的焊接

➤ 碳钢的焊接

高碳钢：C>0.60%

焊接性差。

问题 { 焊缝区易产生热裂纹
热影响区易产生冷裂纹

措施 { 焊前预热（250~350 ℃），焊后缓冷。
选用低氢型焊条。
焊件开坡口，且采用细焊条、小电流、多层焊。

避免选用高碳钢作为焊接**结构件**。



常用钢材的焊接

- 低合金结构钢的焊接
- 低合金结构钢种类很多，化学成分及性能差别很大，焊接性的差别也很显著。普通低合金结构钢强度较低，含碳及合金元素较少，具有良好的焊接性，在焊接结构中应用最广，用量最多；强度级别较高的低合金结构钢含碳及合金元素较多，焊接性则较差，焊接时需要采取严格的工艺措施。

铸铁的焊接

一、铸铁焊补的特点（困难）

1. 熔合区易产生白口组织和淬硬组织；
2. 焊缝区易产生裂纹；
3. 焊缝区易产生气孔；
4. 熔池金属易流失；

二、铸铁焊补的方法

1. 热焊法

焊前将焊件整体或局部预热至600~700℃并施焊，焊后缓冷。

用于形状复杂，焊后需要机械加工的重要件。

如汽缸体、汽缸盖、机床导轨等



铸铁的焊接

2. 冷焊法

焊前不预热或低温预热 ($\leq 400\text{ }^{\circ}\text{C}$) 的焊补方法。

- 焊条
- ①钢芯铸铁焊条：**适用于非加工表面的焊补**
 - ②石墨化铸铁焊条：**适用于较大灰口铸铁件的焊补**
焊缝性能与母材基本相同，具有良好的加工性
 - ③铜基铸铁焊条：**主要用于一般铸铁件的焊补**
抗裂性好，可进行机械加工。
 - ④镍基铸铁焊条：**主要用于重要件加工表面的焊补**
具有良好的抗裂性与加工性
 - ⑤高钒铸铁焊条：**主要用于一般铸铁件的焊补**



有色金属及合金的焊接

铜及铜合金的焊接

1. 铜及铜合金的焊接特点

- 1) 导热性强（纯铜的热导率约为低碳钢的8倍），因此要求强热源，否则容易产生焊不透等缺陷。对于厚而大工件焊前需预热。
- 2) 膨胀系数大，液固转变时的收缩也大。因此焊接时易产生较大的焊接应力，变形和裂纹倾向大。
- 3) 液态时易氧化生成 Cu_2O ，结晶时和铜形成低熔点的共晶体，也是产生裂纹的原因之一。
- 4) 液态时吸气性强，特别容易吸收氢，若凝固时析出不充分容易生成气孔。
- 5) 铜的电阻极小，故不适于采用电阻焊。



有色金属及合金的焊接

铜及铜合金的焊接

➤ 铜及铜合金的焊接工艺

- (1) 气焊 气焊时一般依工件厚度不同，开I形、V形、X形坡口。
- (2) 焊条电弧焊 焊条电弧焊应先开坡口并清理污物。一般采用低氢型焊条。
- (3) 手工氩弧焊 氩弧焊是铜及铜合金焊接的首选方案。可有效地焊前应清理除去焊件坡口边缘焊丝表面的氧化膜。焊接时要合理地选择焊接工艺规范，焊接速度要高；焊接电流选择与板厚、工件结构、预热温度等因素有关。焊后要进行热处理。



有色金属及合金的焊接

铝及铝合金的焊接

1. 铝及铝合金的焊接特点

- 1) 易氧化;
- 2) 易产生气孔;
- 3) 易变形开裂;
- 4) 接头易软化;

2. 铝及铝合金的焊接方法

氩弧焊、气焊、钎焊、电阻焊。

