

第三章 压力容器用材以及环境和时间 对其材料性能的影响

**MATERIALS FOR PRESSURE VESSELS
AND INFLUENCES OF ENVIRONMENT AND
TIME ON PROPERTIES OF THESE MATERIALS**

第二节 压力容器制造工艺 对钢材性能的影响

压力容器制造



冷、热加工

焊接

热处理（必要时）

3.2 压力容器制造工艺对钢材性能的影响

教学重点：

钢材的焊接。

教学难点：

无。

3.2 压力容器制造工艺对钢材性能的影响

3.2.1 塑性变形

3.2.2 焊接

3.2.3 热处理

研究冷或热压力加工造成的塑性变形、
焊接工艺和热处理对钢材性能的影响

3.2.1 塑性变形

材料在载荷
作用下的变形

弹性变形:卸载后变形消失

塑性变形或永久变形

3.2.1 塑性变形

一、应变硬化

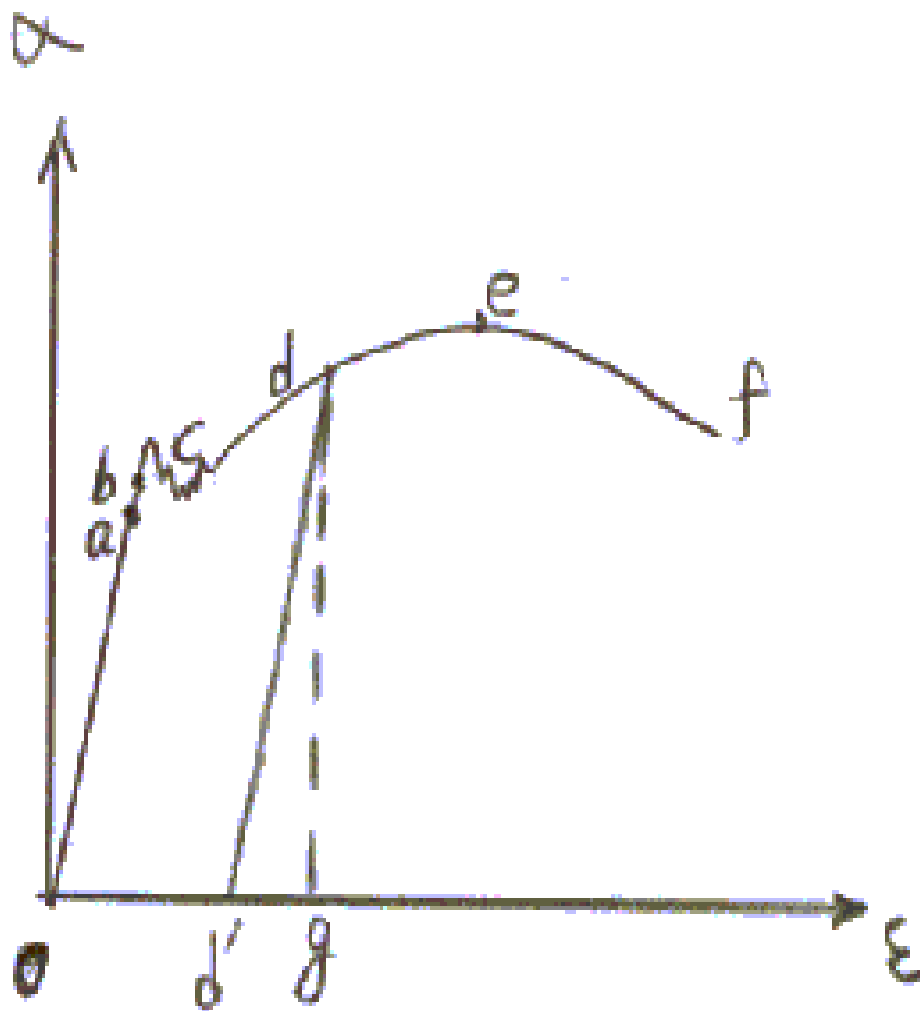
二、热加工和冷加工★

三、各向异性

四、应变时效

一、应变硬化

见应力-应变曲线图



加工硬化可提高材料的抗变形能力，但塑性降低

一、应变硬化

—— 见应力-应变曲线图

d 卸载后，**d' g**----消失的弹性变形

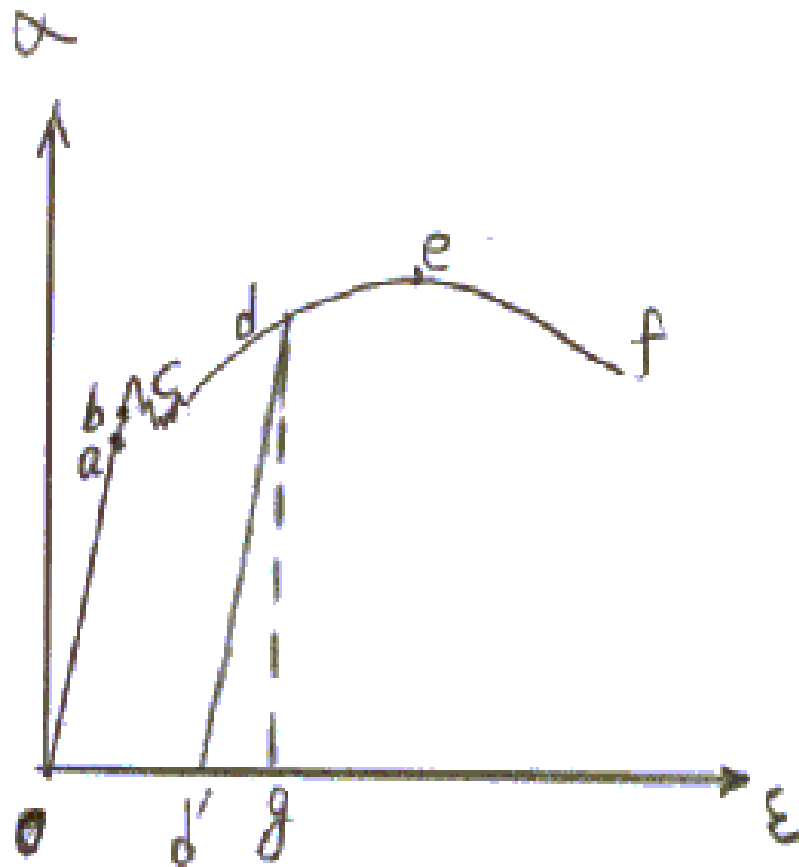
od' -----不再消失的塑性变形。

卸载后，在短时间内再次加载，应力应变关系按照**dd'**变化，到了**d**以后，按照**de f**变化。**d**以前材料是弹性的，以后才出现塑性变形。相当于形成了新的材料曲线。

可见第2次加载时，比例极限提高，塑性变形和延伸率有所减低，表明，在常温下把材料拉伸到塑性变形，然后卸载，当再次加载时，将使材料的比例极限提高，而塑性减低。

这种现象叫做**加工硬化或应变硬化**

冷做硬化经退火，可消失。



加工硬化可提高材料的抗变形能力，但塑性降低

3.2.1 塑性变形

二、冷加工和热加工

从金属学的观点来区分，冷、热加工的分界线是金属的再结晶温度。

热加工或热变形： 凡是在再结晶温度以上进行的塑性变形

特点

热变形时加工硬化和再结晶现象同时出现，但加工硬化被再结晶消除，变形后具有再结晶组织，因而**无加工硬化现象**。

冷加工或冷变形： 在再结晶温度以下进行的塑性变形

特点

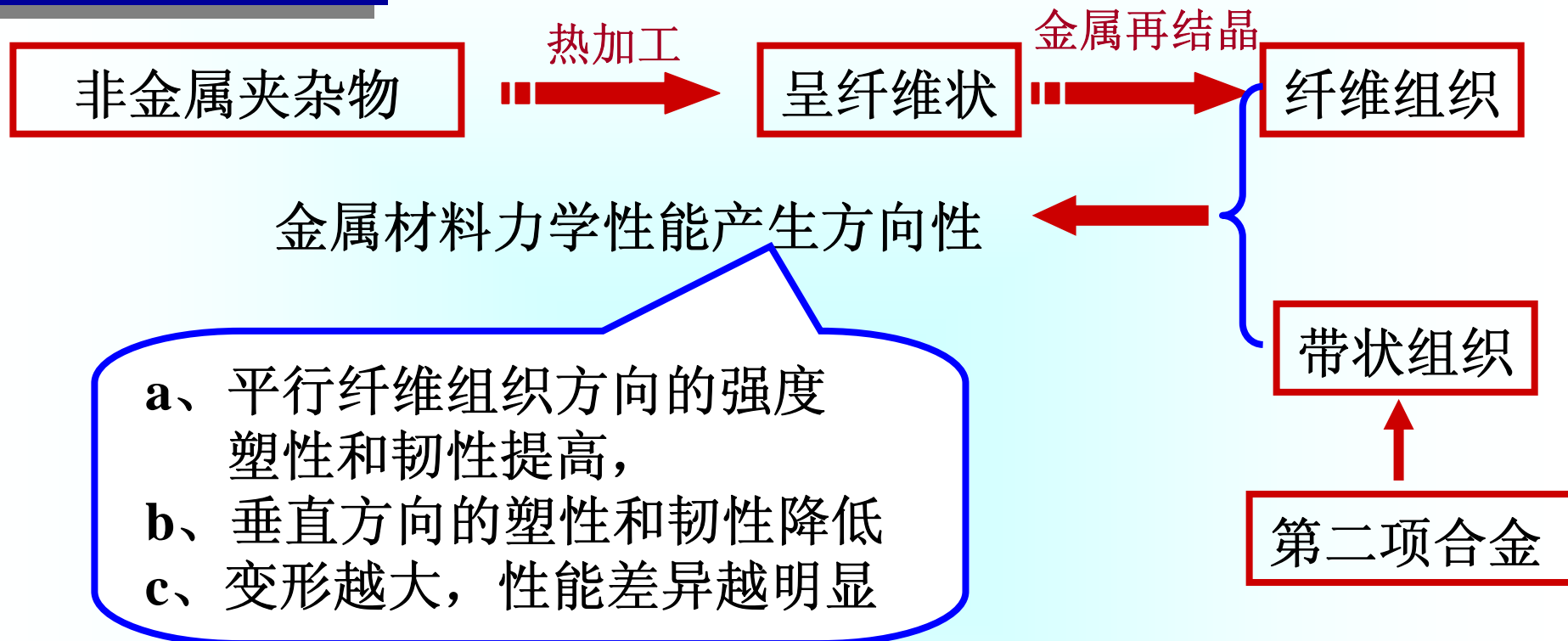
冷变形中无再结晶出现，因而**有加工硬化现象**。由于冷变形时有加工硬化现象，塑性降低，每次的冷变形程度不宜过大，否则，变形金属将产生断裂破坏。

3.2.1 塑性变形

- ▲ 钢板冲压成各种封头后，由于塑性变形，厚度会发生变化。例如，钢板冲压成半球形封头后，底部变薄，边缘增厚。在压力容器设计时，应注意这种厚度的变化。

3.2.1 塑性变形

三、各向异性



因势利导：纤维组织的稳定性高，不能用热处理方法加以消除。压力容器设计时，应尽可能使零件在工作时产生的最大正应力与纤维方向重合，最大切应力方向与纤维方向垂直。

3.2.1 塑性变形

四、应变时效

应变时效

经冷加工塑性变形的碳素钢、低合金钢，在室温下停留较长时间，或在较高温度下停留一定时间后，会出现屈服点和抗拉强度提高，塑性和韧性降低的现象，称为应变时效。

冷加工应用举例：



筒节冷卷

封头冷旋压

3.2.1 塑性变形

应变时效危害

发生应变时效的钢材，不但冲击吸收功大幅度下降，而且韧脆转变温度大幅度上升，表现出**常温下的脆化**。

降低应变时效的措施

一般认为，合金元素中，碳、氮增加钢的应变时效敏感性。减少碳、氮含量，加入铝、钛、钒等元素，使它们与碳、氮形成稳定化合物，可显著减弱钢的应变时效敏感性。

3.2.2 焊接

焊接：两件或两件以上零件，在加热或加压的状态下，通过原子或分子的结合和扩散，形成永久性连接的工艺过程。

压力容器制造过程的重要环节和质量必须得到保证的环节

焊接方法 { 熔焊 — （压力容器制造中应用最广）
压焊
钎焊

熔焊机理

焊接接头加热至熔化

融化的母材

填充金属

熔池

冷却结晶后

形成牢固的原子间结合，使待连接件成为一体

3.2.2 焊接



一、焊接接头的组织和性能

二、焊接应力与变形

三、减少焊接应力和变形的措施

四、焊接接头常见缺陷

五、焊接接头检验

3.2.2 焊接

一、焊接接头的组织和性能

焊接接头组成

焊缝

熔合区

热影响区

1、焊缝

- 由熔池的液态金属凝固结晶而成，通常由填充金属和部分母材金属组成。
- 因结晶是从熔池边缘的半熔化区开始的，低熔点的硫磷杂质和氧化铁等易偏析集中在焊缝中心区，影响焊缝的力学性能。

3.2.2 焊接

2、熔合区

焊接接头中，焊缝向热影响区过渡的区域。

组织

熔合区的加热温度在合金的固相和液相线之间，其化学成分和组织性能有很大的不均匀性

性能

塑性差、强度低、脆性大、易产生焊接裂纹，是焊接接头中最薄弱的环节之一

3.2.2 焊接

3、热影响区

焊缝两侧母材因焊接热作用（但未熔化）而发生金相组织和力学性能变化的区域。

组织及性能

在热影响区内，各处离开焊缝金属距离不同，材料被加热和冷却速度也不同，从而形成了多种金相组织区，使其力学性能也不同。

3.2.2 焊接

以低碳钢为例说明热影响区各个金相组织区：

过热区：对于焊接刚度大的结构或含碳量高的易淬火钢，常在此区产生裂纹

正火区：焊接接头中组织和性能最好的区域

部分正火区：由于晶粒大小不均匀，所以力学性能很不均匀

3.2.2 焊接

二、焊接应力与变形

焊接



焊接件产生
温度梯度



接头组织和性
能的不均匀

焊接应力和应变

焊接应力和变形

分别是指焊接过程中**焊件内**产生的应力和变形。

焊接残余应力

焊后残留在焊件内的焊接应力

3.2.2 焊接

焊接残余应力的危害

焊接残余应力

没有外载荷作用时
就已经存在的应力

与外载荷产生的应力叠加

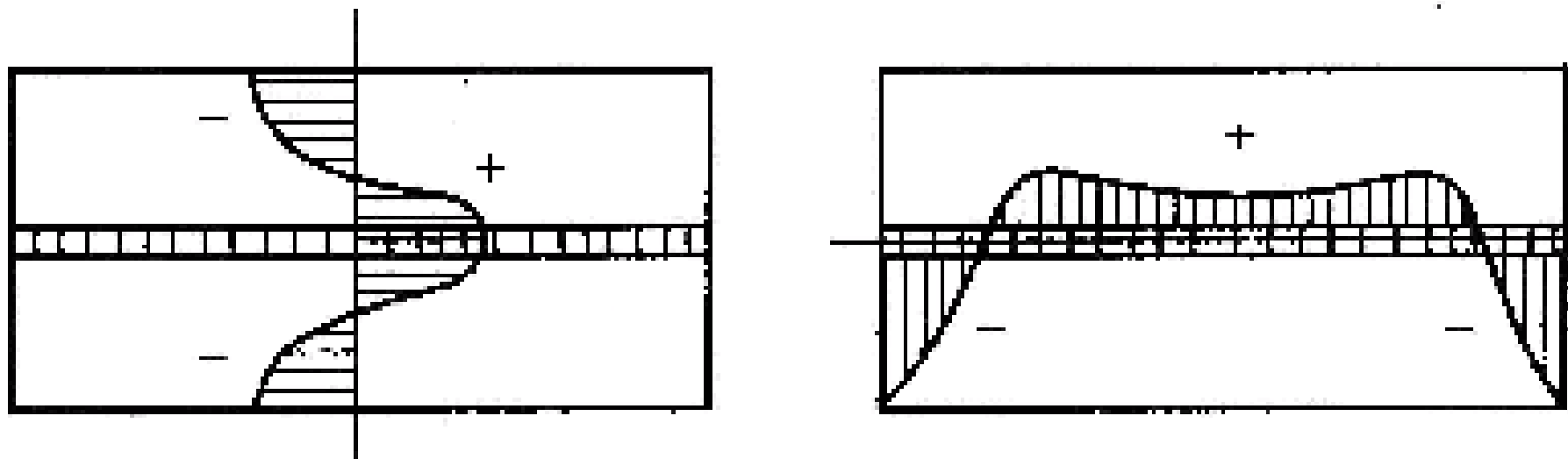
局部区域应力过高，使结构承载能力下降，引起**裂纹**，甚至导致结构**失效**

焊接变形的危害

焊接变形使焊件形状和尺寸发生变化，需要进行**矫形**。变形过大会因无法矫形而**报废**。

3.2.2 焊接

平板对接焊缝焊接残余应力分布见图3-1所示



(a) 纵向应力

(b) 横向应力

图3-1 对接焊缝焊接残余应力分布

3.2.2 焊接

由于焊缝和近焊缝区的热变形受到约束，会产生焊接残余变形。如果在焊接过程中，焊件能较自由伸缩，则焊后的变形较大而焊接应力小；反之，变形小，焊接应力大。

此外，焊接前压力容器成形不符合要求，例如筒体的不圆度，也会产生焊接装配应力，使局部区域应力升高。

三、减少焊接应力和变形的措施



设计

焊接工艺

如：

- * 尽量减少焊接接头数量
- * 相邻焊缝间应保持足够的间距
- * 尽可能避免交叉，避免出现十字焊缝
- * 焊缝不要布置在高应力区
- * 焊前预热等等
- * 当焊接造成的残余应力会影响结构安全运行时，还需设法消除焊接残余应力。

四、焊接接头常见缺陷

3.2.2 焊接

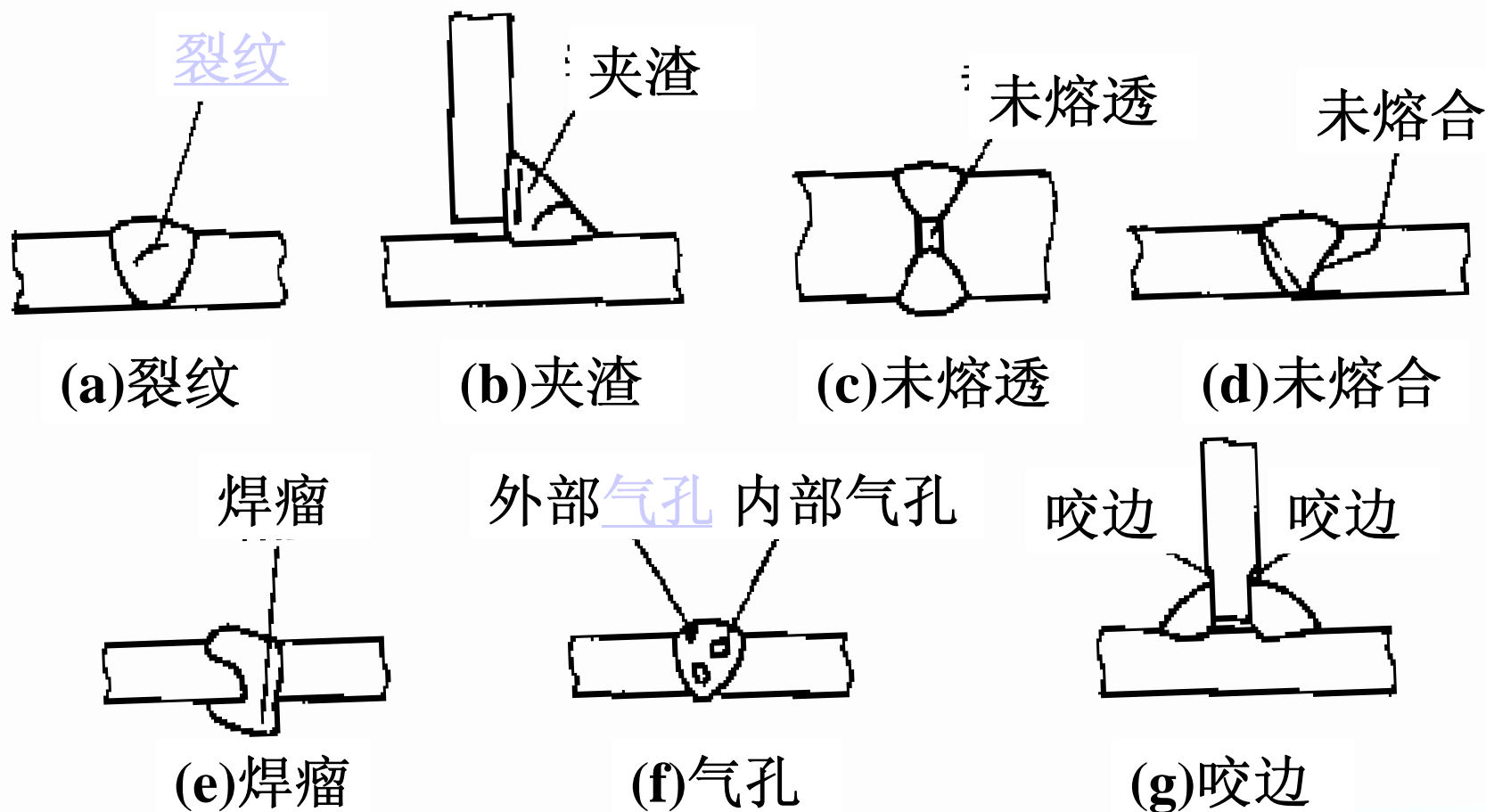


图3-2 常见焊接缺陷

3.2.2 焊接

a、裂纹

形成： 在焊接应力及其它致脆因素共同作用下，焊接接头中局部区域的金属原子结合力遭到破坏而形成的缝隙。

特点： 它具有尖锐的裂端和大的长宽比。

位置： 裂纹多数发生在焊缝中，也有的产生在焊缝热影响区。

3.2.2 焊接

危害

裂纹是焊接接头中最危险的缺陷，压力容器的破坏事故多数是由裂纹引起的。

根据裂纹的形成条件、时间和温度的不同，焊接裂纹一般可分为

热裂纹

冷裂纹

再热裂纹

应力腐蚀裂纹

层状撕裂

3.2.2 焊接

b、夹渣

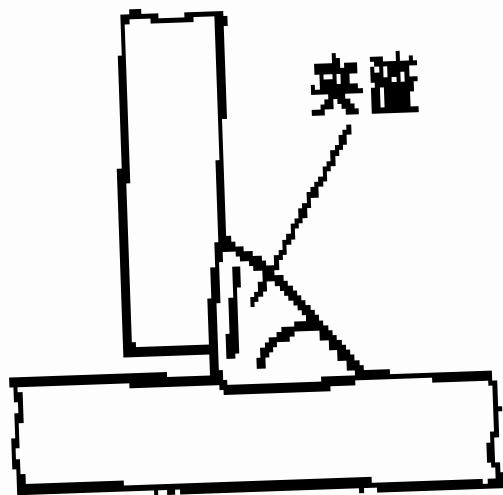
残留在焊缝金属中的熔渣称为夹渣

危害：因夹渣的几何形状不规则，存在棱角或尖角，易造成应力集中，它往往是裂纹的起源，过长和密集的夹渣是不允许存在的。

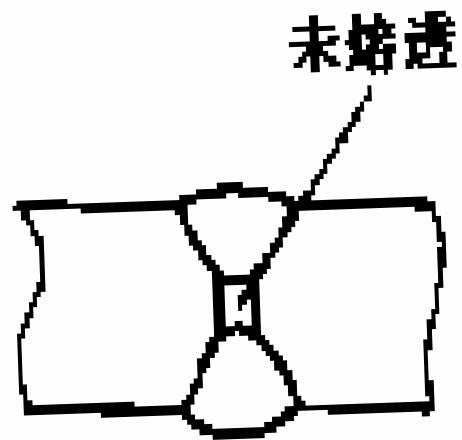
c、未焊透

焊接接头根部未完全熔透而留下空隙的现象称为未焊透。

危害 它减少了焊缝的有效承载面积，在根部处产生应力集中，容易引起裂纹，导致结构破坏。



(b)



(c)

3.2.2 焊接

d、未熔合

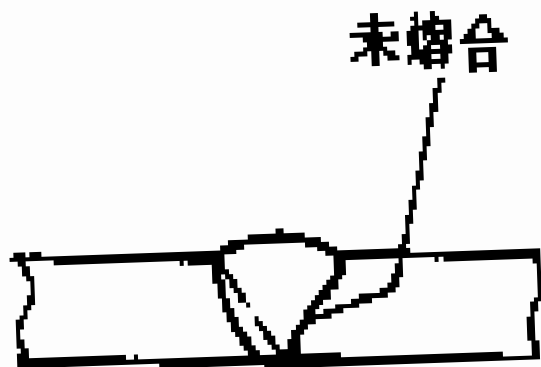
对于厚截面结构，熔焊时需要多道焊接。焊道与母材之间，或焊道与焊道之间，未能完全熔化结合的部分称为未熔合。

危害 它类似于裂纹，易产生应力集中，是危险缺陷。

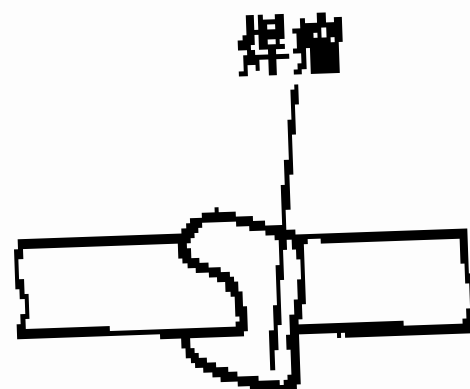
e、焊瘤

是焊接过程中，熔化金属流到焊缝以外未熔化的母材上所形成的金属堆积。

危害 易造成应力集中，并在下面伴随着未熔合、未熔透等缺陷。



(d)



(e)

3.2.2 焊接

f、气孔

气孔是焊接过程中，熔池金属中的气体在金属凝固时未来得及逸出，而在焊缝金属中残留下来所形成的孔穴。

危害

它在一定程度上减少了焊缝的承载面积，但由于没有尖锐的边缘，危害性相对较小。

g、咬边

沿着焊趾的母材部位产生的凹陷或沟槽，称为咬边

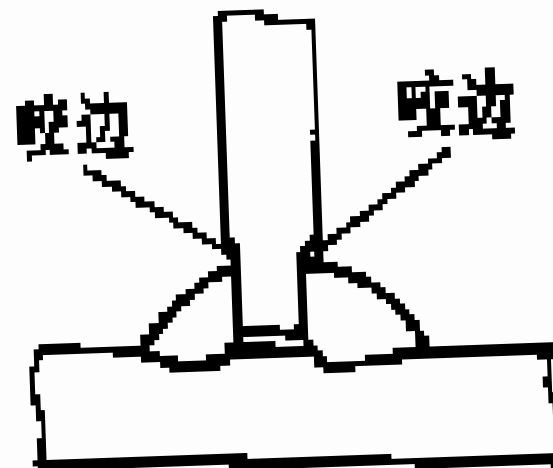
危害

它不仅会减少母材的承载面积，还会产生应力集中，危害较为严重，较深时应予消除。

外部气孔 内部气孔



(f)



(g)

3.2.2 焊接

五、焊接接头检验

破坏性检验

非破坏性检验

外观检验

直观检验

量具检验

密封性检验

(用水、气、油等)

无损检测

射线透照检测

超声检测

表面检测

测内部缺陷

磁粉检测

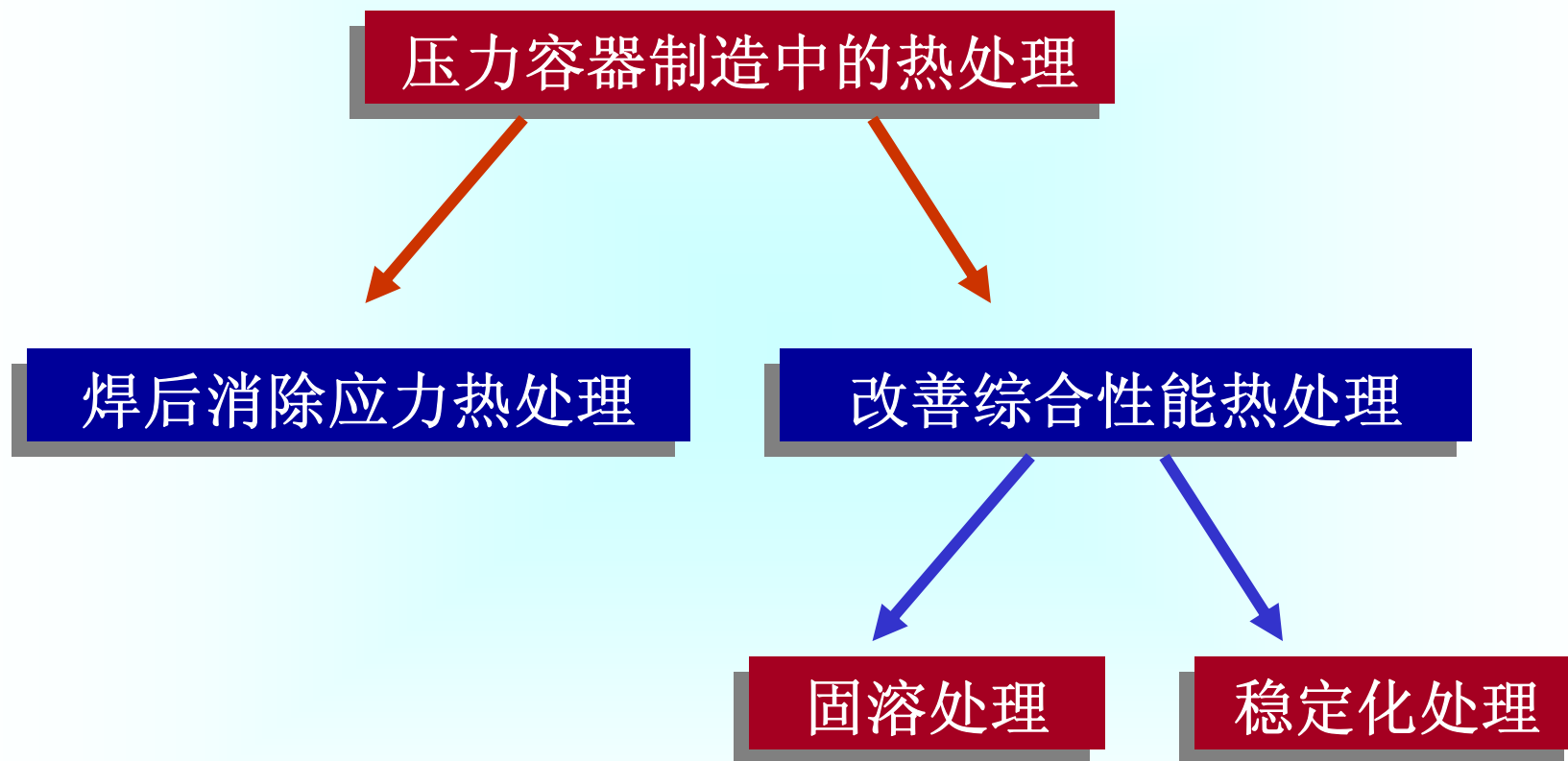
渗透检测

涡流检测

设计中要给出相应的检测方法

测表面和近表面缺陷

3.2.3 热处理



3.2.3 热处理

一、焊后消除应力热处理

目的： 尽量消除因塑性变形加工、锻造、焊接等引起的残余应力，改善焊接接头的塑性和韧性，恢复因冷作和时效而劣化的力学性能。

应用： ◇当钢板很厚，介质的毒性程度为极度或高度危害，或有应力腐蚀倾向时，压力容器应进行焊后热处理。

◇由于有色金属、不锈钢的塑性好，用它们制造的压力容器一般不进行热处理。

对于压力容器中经常遇到的厚截面钢板或锻件，很难使整个截面上的性能尽可能均匀，此时应精心设计热处理工艺并严格执行。

3.2.3 热处理

二、改善综合性能热处理

1、固溶处理

将合金加热到一定温度并保持足够长时间,使过剩相充分溶解到固溶体中,然后在水中或空气中快速冷却,以抑制这些被溶物质重新析出,从而得到在室温下的过饱和固溶体的工艺,称为**固溶处理**。

目的: 提高合金的韧性和抗腐蚀性。

3.2.3 热处理

2、稳定化处理

目的：稳定组织，防止构件形状和尺寸发生时效性变化。

例如，含钛或铌的奥氏体不锈钢在850~900℃温度范围内加热适当时间，使钛或铌以碳化物的形式析出，从而达到稳定组织的目的，提高抗晶间腐蚀的能力。