

CH3. 材料成形热过程.

一. 基本特点.

1. 热源比较集中
2. 局部的不均的集中加热过程, 温度梯度大, 加热速度快
3. 热源是移动的

二. 热效率.

$$\eta = \frac{Q}{Q_0}, \quad P_0 = UI, \quad P = \eta UI$$

电弧有效热功率 = 基本金属 + 焊接材料

焊缝 + 热影响区

三. 焊接温度场. 在集中热源作用下, 各点在某瞬时的温度分布

1. 传热形式: 电弧 $\xrightarrow{\text{辐射, 对流}}$ 焊件 $\xrightarrow{\text{热传导}}$ 其余

2. 影响因素: 热源的性质.

焊接参数 $v \uparrow$ 等温区 \downarrow ; $q \uparrow$ 等温区 \uparrow ; $v, q \uparrow$ 等温区扩大

被焊金属的热物性性质.

$\lambda, c, \rho, \alpha, a, h$; 热扩散性 \uparrow 等温区 \downarrow , 应用更大的 q .

焊件的板厚及形状:

四. 焊接热循环: 某一点温度随时间的变化

加热速度 \uparrow 峰值温度 \uparrow , 冷却时间速度 \uparrow

主要参数: 加热速度 V_H , 峰值温度 T_{max} , 高温停留时间 t_H

\hookrightarrow 影响相变点 A_c, A_{c3}

\hookrightarrow 影响组织 粗细

冷却速度 V_C , 冷却时间 $t_{8/5}, t_{8/3}$

一般合金钢: 540°C ; 淬硬倾向较大: 300°C

五. 多层焊热循环: 1. 厚度较大 2. 产生热应力以提高接头质量.

1. 卡段多层焊接热循环: 焊第二层时第一层已基本冷却.

↳ 有可能淬硬: 1. 用淬硬倾向低 2. 预热/缓冷 3. 退火(回火)焊道

2. 短段多层焊接热循环

1. 4点均在AG上停留时间短, 不易长大;

1点冷却速度慢; 4点应再加退火焊道.

3. 影响因素: 焊线尺寸, 接头形式, 焊速, 焊接热输入, 预热温度, 冷却条件

六. 焊接化学冶金过程.

(一). 特点:

1. 金属的保护: 造气剂, 造渣剂, 熔渣, 随焊性气体, 真空

2. 反应区: 药皮反应区 熔滴反应区 熔池反应区
温度分布不均匀.

(二). 气体与金属的作用.

	来源	影响	控制
N 1. 溶解 2. 氮化物	周围空气	1. 气孔的主要原因 2. 提高强度降低塑性 3. 时效脆化	1. 加强保护 2. 控制参数 3. 添加合金
			1. 控制材料 2. 清除表面 3. 冶金处理 4. 控制参数 5. 焊后脱氧
H 1. 溶解	材料水分	1. 氢脆: 氢脆, 白点 2. 永久: 气孔, 冷裂纹	1. 纯化材料 2. 控制参数 3. 焊后脱氧
		1. 强度韧性下降 2. 焊接性能下降 3. 气孔	1. 纯化材料 2. 控制参数 3. 焊后脱氧
O 1. 原子氧 2. 氧化亚铁			

CH4 塑性成形理论基础

4.1 金属塑性变形的物理基础

一、冷态下的塑性变形

1. 变形机理
- 晶内变形
 - 滑移 (主要) 晶内的一部分沿一定方向晶内相对另一部分移动
 - 孪生 次要 在切应力作用下晶内的一部分沿一定方向发生切变

晶间变形: 晶粒间的相互滑动和转动

2. 变形特点:
- 首先在位向有利和切应力临界晶粒上发生

2) 连续: 要求各晶粒间相互配合, 多次滑移

3) 变形不均匀性

晶粒越细: 屈服点 \uparrow , 塑性 \uparrow , 表面质量 \uparrow 粗 \rightarrow “桔皮”

3. 影响: 组织
- 1. 晶粒形状变化 性能: 加工硬化
 - 2. 晶粒内产生亚结构 \rightarrow 成因: 位错的交互作用
 - 3. 晶粒位向改变

二、热态下的塑性成形

1. 软化过程:
- 热变形过程中
 - 动态回复
 - 动态再结晶
 - 热变形后高温区
 - 静态回复
 - 静态再结晶
 - 亚动态再结晶

2. 变形机理: (变形应力比冷变形强) 晶内滑移, 晶界滑移, 扩散蠕变

3. 影响: 改善晶粒组织 锻造内部缺陷

破碎并改善夹杂物

形成纤维组织 \rightarrow 沿流线方向力学性能

4.2. 应力状态和应变状态分析.

一. 点的应力状态分析.

1. 外力、内力和应力: 外力: f_i , P ; 内力: 各质点间相互作用力, 应力: 二阶张量.

2. 一点的应力状态: 对称二阶张量; 切应力互等.

3. 主应力和应力不变量: $\sigma^3 - J_1 \sigma^2 - J_2 \sigma - J_3 = 0$

4. 主切应力和最大切应力: σ 最大切应力达临界值, 由弹性状态进入塑性状态.

· 主应力平面: 与某主应力的垂直, 与另两个主平面成 45° .

$$\tau_{12} = \pm \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \quad \tau_{13} = \pm \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \quad \tau_{23} = \pm \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{2}$$

5. 球形张量与偏斜张量:

$\sigma_m = \frac{1}{3} \sigma_{RR}$: 静水应力; $-\sigma_m$: 静水压力.

· 球形张量 \rightarrow 引起体积变化 (弹性)

形状变化 \leftarrow 偏斜张量. (偏量满足一定关系 \rightarrow 发生塑性变形)

6. 微分方程: $\sigma_{ij,j} + f_i = 0$

二. 点的应变状态分析:

2. 点的应变状态和小变形几何方程: $\epsilon = \frac{1}{2}(\nabla u + u \nabla)$

3. 结论: 主应变, 不变量, 球+偏.

4. 体积不变条件: $\epsilon_{RR} = 0$

5. 变形力学简图:

主应力简图: 9 种形式: 单向 2 种, 平面 3 种, 体 4 种

主应变简图: 3 种形式: 一拉一压, 二拉一压, 二压一拉

4.3. 屈服准则：当应力状态满足某种关系，才进入屈服（塑性变形）。

一. 屈雷斯加准则：

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_s$$

二. 密塞斯屈服准则：

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 = 2\sigma_s^2$$

$$(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_x - \sigma_z)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2) = 2\sigma_s^2$$

物理意义：
$$\frac{1+\mu}{6E} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2] = \frac{1+\mu}{3E} \sigma_s^2$$

$$W$$
 单向拉屈服时的 W

三. 比较： $\sigma_2 = \sigma_1$ / $\sigma_2 = \sigma_3$ 时，无差别； $\sigma_2 = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$ 时，差别最大。

4.4. 塑性变形时的应力应变关系。

一. 特点：1. 非线性 2. 不可逆 3. 与历史有关。

二. 等效应力：
$$\bar{\sigma} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_x - \sigma_z)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2)}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2}$$

等效应变：
$$\bar{\varepsilon} = \sqrt{\frac{2}{9} [(e_x - e_y)^2 + (e_y - e_z)^2 + (e_x - e_z)^2 + \frac{3}{2} (\gamma_{xy}^2 + \gamma_{yz}^2 + \gamma_{xz}^2)]}$$

$$= \sqrt{\frac{2}{9} [(e_1 - e_2)^2 + (e_1 - e_3)^2 + (e_2 - e_3)^2]}$$

三. 增量理论：

1. 列维-密塞斯：
$$d\varepsilon_{ij} = \sigma_{ij}' \cdot d\lambda$$

1. σ_{ij}' ：偏量； $d\lambda$ ：瞬时比例系数， >0

2. 增量主轴与应力主轴重合

3. 应变增量 \propto 应力偏量

2. 圣维南塑性流动：
$$\varepsilon_{ij} = \sigma_{ij}' \cdot \lambda$$

$$\lambda = \frac{3}{2} \frac{\bar{\varepsilon}}{\bar{\sigma}}$$
：等效应变流动

3. 普朗特-洛埃斯方程：
$$d\varepsilon_{ij} = d\lambda \sigma_{ij}' + \frac{1}{2m} d\sigma_{ij}' + \frac{1-2m}{E} d\sigma_m \delta_{ij}$$

\hookrightarrow 考虑泊松比与体积变化

四. 全量理论：

简单加载条件下：
$$\varepsilon_{ij} = \lambda \sigma_{ij}'$$
，
$$\lambda = \frac{3}{2} \frac{\bar{\varepsilon}}{\bar{\sigma}}$$
 则塑性：
$$\varepsilon_{ij}' = \varepsilon_{ij}$$

4.5. 应力状态对塑性和变形抗力的影响.

一. 对塑性的影响:

球量产生作用: 等压型性好:

1. 阻止晶间变形
2. 利于损伤的愈合
3. 抑制缺陷的发展
4. 消除不均匀变形的附加拉应力, 防止裂纹.

二. 对变形抗力的影响: “达到屈服(塑性变形)的难易程度”

单向主应力图: 减少变形抗力, 但降低塑性.

三向等压: 提高塑性, 但增加变形抗力.

4.6. 真实应力-应变曲线

一. 用拉伸试验绘制应力-应变曲线

应力: $S = \frac{F}{A}$ (未颈缩)

$S = \frac{F}{A(1 + \frac{\Delta l}{l_0})}$ (颈缩, 形状硬化)

应变: $\delta = \frac{l - l_0}{l_0}$

$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0}$

$\epsilon = \int_{l_0}^{l_1} \frac{dl}{l} = \ln \frac{l_1}{l_0}$

↳ 颈缩: $A_0 l_0 = A_1 l_1$; 颈缩: $A_0 l_0 \neq A_1 l_1$

↳ 对数应变, 又称真实应变 严重.

二. 近似数学表达式:

$$S = B \epsilon^n, \quad B = \frac{S_b}{\epsilon_b^n}, \quad n = \epsilon_b$$

三. 影响:

1. 变形温度: \uparrow , $S \downarrow$, 加工硬化速率 \downarrow

扩展

2. 变形速率: \uparrow , $S \uparrow$, 但 ΔS 与温度有关, $T \uparrow$, $\Delta S \uparrow$

4.7. 主应力法

1. 化为平面问题 / 轴对称问题

2. 假设主应力与某坐标轴无关

$\frac{d\sigma_x}{dx} + \frac{\sigma_x}{r} \rightarrow$ 近似平衡方程

3. 主应力为主应力:

近似所求方程: $(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2 = \frac{4}{3}\sigma_s^2$; $(\sigma_x - \sigma_y) = \pm \frac{2}{\sqrt{3}}\sigma_s$

CH6. 塑性成形技术

板料成形: 冲压

成形: 弯曲、拉深、胀形、翻边

体积成形: 锻造、轧制、挤压、拉拔

§6.1. 板料成形方法及其模具

冲裁: 弹性变形、塑性变形、断裂分离

主要变形区: 以凸、凹模刃口为连线为中心以刃钝形区域

断面特征: 圆角带、光亮带、断裂带、毛刺。光亮带↑, 质量↑

工艺参数: 凸凹模间隙: C 为材料厚度 $\times 5\% \sim 10\%$

弯曲: 弹性弯曲、弹-塑弯曲、塑性弯曲

主要变形区: 弯曲发生变化的圆角部分

变形特征: 外层减薄大于内层增厚量; 板料变薄, 总长度增加

工艺参数: 相对弯曲半径: $\frac{r}{\delta}$ $\frac{r}{\delta} < \frac{r}{\delta}_{min}$ 开裂, 过大: 回弹严重

拉深: 弯曲、胀形、拉深的变形过程

变形区: 底部: 拉力区; 壁部: 挤压力区, 已变形; 法兰: 主要变形区

工艺参数: 拉深系数 $\frac{d}{D} = m$; $R = \frac{D}{d}$ $m < m_{min}$ 时, 多次拉深

胀形: 变形过程: 弯曲、局部胀形, 由于加工硬化 \rightarrow 贴膜面积增加 \rightarrow 胀形向外扩展

主要变形区: 不断扩大的

翻边: 弯曲、扩孔、翻边

工艺参数: $K_f = \frac{d_0}{d}$ $K_f < K_{fmin}$: 破裂

二. 典型模具结构.

1. 工件零件 定位零件. 原料缺料出料零件. 导向零件 固定零件
 工艺结构零件 辅助结构零件

2. 种类: 简单模. 复合模. 级进模

§6.2. 锻造成形技术及其模具.

一. 锻造: { 自由锻
 { 模锻 { 锤上模锻
 { 压力机上模锻 { 开式模锻
 { 闭式模锻

自由锻:

锻粗: 1. I 难变形. II 大变形. III 小变形.

2. $H_0/D_0 > 3$: 头稳. 2~3 双鼓
 $0.5 \sim 2$: 均匀 < 0.5 难变形

3. 相对压下量: $\epsilon = \frac{H_0 - H_1}{H_0} \times 100\%$

拔长: 1. $l < 0.5h$. 质量下降. 锻不透

2. $l > a$: 过宽及流动
 $l < a$: 轴向伸长量大

3. Δh : 利于缺陷愈合. 但太大难以变形

4. 锻造比: $K = \frac{A_0}{A_1}$

模锻:

1. 工步: 制坯: —————> 模锻: —————> 切断:

{ 饼类零件: 锻粗
 { 轴类零件: 卡压. 滚挤. 弯曲
 { 成形. 压扁

预锻
 终锻.

分离毛边/夹钳部位夹持

2. 锤上模锻: 1) 锻挤 → 填充 → 打靠

2) 飞边槽: 造成阻力. 控制流动
 保证尺寸精度

3) 后期成形力急剧下降
 沿高度流动充形少
 对靠挤入方式有利

压力机上模锻: 惯性作用不明显.

对靠挤入方式成形零件

应多模膛模锻逐步成形

沿水平方向. 上部易充不满
 静压力: 适应低塑性. 精度高

§ 二. 挤压: { 热
 温
 冷 } { 正
 反
 复 }.

1. 变形: I: 弹性变形区

II: 塑性变形区: 主要变形区) II 存在较大切应力, 使 II 粗晶.

III: 死区, 变形与高度及 f 有关

IV: 已变形区, 与 III 模出口有摩擦

2. 流动: 1) 高, f 小: 变形集中在孔口, 死区小

2) 高, f 大: 除死区外均塑性变形

3) 高, f 大, 挤压比大: 第三种金属流动, 在瓶状流线

§ 3. 工艺参数: $\epsilon = \frac{A_0 - A}{A_0} \times 100\%$ 挤压比: $R = \frac{A_0}{A}$

$\epsilon, R \uparrow$, 模具损坏 \uparrow ; 一次加工容许的变形程度: 许可变形程度

CH7. 焊接成形技术

§7.1 焊接本质及方法分类

一. 本质: 通过化学物理方法, 使两个分离的固体物体产生分子间结合力而连接成一体
为什么不能自动连接: 1. 表面有粗糙度 2. 氧化膜、杂质

二. 焊接方法分类:

熔焊: 使被连接两物体表面局部加热熔化成液体, 然后冷却成一体
气焊、铝热焊、弧焊、激光焊、电子束焊

压焊: 利用摩擦、扩散、加压等物理作用克服表面不平, 在固态条件下实现连接
(固相焊接) 冷压焊、摩擦焊、电阻焊

钎焊: 利用熔点低于被连接材料作接头的媒质在两物体表面扩散浸润。
火焰钎焊、炉中钎焊、感应钎焊

§7.2. 弧焊: { 熔化极电弧焊: 焊条、埋弧、惰性气体保护焊
非熔化极电弧焊: 钨极氩弧焊、等离子弧焊

一. 焊条电弧焊:

- 原理及特点: 手工操作焊条, 利用焊条与焊件间的电弧熔化焊条
· 简便灵活, 适应性强 → 可以仰焊
· 技术要求高, 劳动条件差, 生产率低 → 短, 不规则, 小批量

2. 焊条: 焊芯 + 药皮

药皮作用 → 电极、填充金属

药皮作用

{ 保护

冶金

良好工艺性

{ 酸性焊条

碱性焊条 → 直流反接

产生电子轰击, 焊条与Al

{ 钛型 → 熔渣粘度低, 可向下立焊

钛钙型

钛铁矿型

氧化铁型

E xx 15

06 (MPa)

二. 埋弧焊.

1. 原理及特点: 焊丝与焊件间的电弧在焊剂下
· 生产率高, 质量好, 劳动条件好
· 只适用于平焊, 设备复杂.

2. 高效埋弧焊: 窄间隙埋弧焊: 低合金钢厚壁容器.

3. 焊接材料: 焊丝: 钨丝 焊剂: 保护和冶金作用

三. 钨极氩弧焊 (非熔化极氩弧焊, TIG焊)

1. 原理及特点: 在Ar保护下, 利用钨极与母材间的电弧熔化填充焊丝
· 保护好; 明弧无渣, 熔池可见度好, 热源与焊丝分别控制
· 熔池浅, 生产率低; 成本高, 对工作表面质量要求高.

2. 电流:

直流:	直流正接	直流反接	直流脉冲
	发热量小, 电极不易坏	阴极雾化	较低热输入, 薄板构件
交流:	正弦	矩形	
	负: 清理阴极 正: 深熔池	平稳; 不对称: 负小正大	

四. 熔化极气体保护焊:

1. 原理及特点: 同轴送进; 喷嘴喷保护气
· 所有金属 · 电流密度大, 熔深大 · 直流反接

2. 过渡:	自由	滴状	射流	短路混合
		轴向 Ar	非轴向 CO ₂	
		射滴	射流	
			强大电弧力	
				重力
				电磁力
				电弧收缩力, 张力

MIG: 电弧短, 性能好
射滴+短路
MAG: 短路+喷射+脉冲

§7.3 压焊及钎焊.

一. 电阻焊: 焊件组合后施加压力, 利用电阻热加热至熔化/塑性阶段.

点焊, 缝焊, 凸焊, 对焊.

二. 摩擦焊: 利用摩擦产生的热使工件热塑性, 顶锻加压.

旋转~, 搅拌~, 轨道~

三. 钎焊

1) 软~: 钎料熔点 $< 450^{\circ}\text{C}$: 电子元件 2) 硬: $> 450^{\circ}\text{C}$: 铜管连接

§7.4. 常用金属材料焊接.

一. 金属焊接性及试验方法.

1. 金属焊接性: 工艺焊接性

使用焊接性

2. 影响因素: 材料, 工艺, 结构, 使用条件.

3. 试验方法.

1) 间接评估: ① 碳当量 C_{eq} 间接评估法: $C_{eq}(\text{IW}) > 0.5\%$ 淬硬倾向↑

② 冷裂纹敏感系数: P_c : $P_c \uparrow$ 越易冷裂

2) 直接试验方法:

① 斜Y形坡口焊接裂纹试验: 小铁研试裂纹试验

表面裂纹, 断面裂纹

② 插销试验: 临界断裂应力 σ_{cr} → 评价热影响区冷裂纹敏感性

二. 结构钢的焊接

- 中碳钢: 预热, 控制焊接温度 (层间)
- 冷裂纹: 正确选用预热温度
- 消除粗晶区脆化: 正确选用预热温度和回火温度
- 防止再热裂纹: 避免在 600°C 回火

CH 8. 增材制造

