金属材料及热处理

1. 材料性能
   1. 力学性能
   2. 硬度
      1. 静压法
         1. Brinell hardness 布氏硬度 HB：把一定大小的淬火钢球火硬质合金球压入被测金属的表面并保持规定时间后卸除试验力，测出压痕的平均直径d，然后按公式求出布氏硬度值
            1. HBS 采用淬火钢球压头，适用于布氏硬度低于450的材料
            2. HBW 采用硬质合金钢球，适用于布氏硬度为450~650之间的材料
            3. Pros & Cons

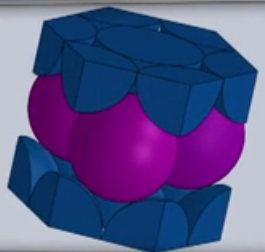
优点：较高测量硬度，按布氏硬度值近似确定抗拉强度

局限性：不能用于太薄件、不能用于成品件、不能归为无损检测

* + - 1. Rockwell hardness 洛氏硬度 HR：顶角为120°的金刚石圆锥体或者钢球压入被测材料的表面，由压痕深度求出材料的硬度
         1. HRA：采用60Kg载荷和金刚石圆锥压入所求的的硬度，用于硬度很高的材料
         2. HRB：采用100Kg载荷和淬硬钢球求得的硬度，用于硬度较低的材料
         3. HRC：采用150Kg载荷和金刚石圆锥压入所求得的硬度，用于硬度很高的材料（应用最广）
         4. 优点：压痕小，被归为无损检测，对同一测试件，在不同部位测取三点后取平均值
      2. Vickers hardness 维氏硬度：方锥形金刚石压入被测材料表面，测量压痕对角线长度后用公式计算硬度
         1. 深度浅，测量精确，测试范围广
    1. Shore scleroscope hardness 回跳法：肖氏硬度：HS将顶端为金刚石的冲头从固定高度自由下落到试样表面后测量其回跳高度，以此来反应被测材料的硬度值HS
    2. 划痕法：莫氏硬度：将棱锥形金刚钻针刻划所试矿物的表面而发生划痕，是一种相对硬度
    3. 不同硬度法测得的硬度之间没有可比性，要通过关系换算表进行换算后比较
  1. 物化性能和工艺性能

1. 材料结构
   1. 纯金属
      1. 金属原子特点
         1. 最外层价电子少，与原子核联系微弱易失去
         2. 失去后的电子在金属离子间自由运动形成电子云
      2. 金属键：金属正离子和自由电子之间相互吸引而将所有的离子结合在一起，这种结合方式就是金属键
      3. 纯金属的晶体结构：组成晶体的原子、离子或分子做长程有序的规则排序
         1. Lattice & unit cell 晶格和晶胞
            1. Lattice：用假想的直线将结点连接起来形成的三维空间格架
            2. Unit cell：晶格中能代替晶体原子排列规律的最小几何单元
         2. Lattice constant & crystal system 晶格常数和晶系
            1. 晶格常数：晶胞各边长度a、b、c，单位为nm
         3. 常见结构
            1. Body-Centered-Cubic lattice BCC 体心立方晶格 图片包含 图示

               描述已自动生成
            2. Face-Centered-Cubic lattice 面心立方晶格 图表

               中度可信度描述已自动生成
            3. Hexagonal-Close-Packed lattice 密排六方晶格图表, 散点图, 气泡图

               描述已自动生成
         4. 晶胞内原子排列的描述方法

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | #Atoms | Atomic radius | Coordination# | APF |
| BCC | 2 |  | 8 | 0.68 |
| FCC | 4 |  | 12 | 0.74 |
| HCP | 6 |  | 12 | 0.74 |

* + - * 1. Number of atoms per unit cell 晶胞原子数：一个晶胞内所包含的原子数目
        2. 原子半径：晶胞中原子密度最大方向上相邻原子间距的一半尺寸
        3. Atomic Packing Factor APF 致密度：晶胞中原子本身所占有的体积百分数
        4. Coordination number 配位数：晶体中与任一原子最近的且相等的原子数目（配位数越大则原子排列的致密度越高）
    1. 晶向指数/晶面指数
       1. 晶面：在晶体中由一系列原子组成的平面
       2. 晶面指数的标定
       3. 晶向：任意一条两个原子之间的连线称为原子列所指方向
       4. 晶向指数的标定
       5. 晶向及晶面的原子密度
          1. 晶向原子密度：该晶向上单位长度上的原子个数
          2. 晶面原子密度：该晶面上单位面积中的原子个数
  1. 实际金属的晶体结构
     1. Imperfection in crystals 晶体缺陷
        1. Point defect 点缺陷
           1. Vacancy 空位
           2. Self-interstitial 间隙原子
           3. Substitutional atom 置换原子
        2. Linear defect: Dislocation 线缺陷：位错图示

           低可信度描述已自动生成
        3. Interfacial/boundary defect 面缺陷
           1. 晶界
           2. 亚晶界
  2. Crystal structure of alloy 合金的晶体结构
     1. 组元：组成合金最简单、最基本且能独立存在的物质
        1. 二元合金
        2. 三元合金
        3. 多元合金
     2. 相：化学成分相同，晶体结构相同，与其他部分由截面分开的均匀组织部分
        1. Solid solution 固溶体：合金中的各组元相互溶解，结晶时形成一种在某组元的晶格中含有其他组元原子的新固相
           1. 置换固溶体
           2. 间隙固溶体
           3. 固溶强化：通过形成固溶体使金属强度、硬度增加
        2. 金属化合物：合金中其晶体结构与组成元素的晶体结构不相同的固相
     3. 组织：用肉眼或显微镜所观察到的材料的微观形貌

1. 材料的凝固（结晶）
   1. 纯金属结晶
      1. 过程：过冷度条件下Generation of crystal nucleus 晶核生成（孕育期）晶核生成和晶核长大交替进行（相邻晶粒接触形成晶界）液态金属完全消失，得到多晶体结构
         1. Size of crystal grain 结晶后晶粒的大小
            1. 成核方式

自发成核

非自发成核（固态杂质微粒聚集成核）

* + - * 1. 晶核长大方式

均匀长大：过冷度小，生长均匀

树枝状长大：过冷度大（主要方式）

* + - * 1. Grain size 晶粒度：表示晶粒大小的一种尺寸，可以用单位面积的晶粒数目或以晶粒的平均直径来表示。晶粒越细越好，但高温下不能过大过小。
        2. 影响因素

形核率N：单位时间单位体积内形成晶核的数目

晶核的长大速度G：单位时间晶体生长的线长度

* + - * 1. 控制晶粒尺寸的方法

过冷度增大

降低浇铸温度

增大冷却速度

* + 1. 结晶的必要条件：过冷
  1. 合金的结晶
     1. 合金相图的建立图示, 示意图

        描述已自动生成
     2. 二元匀晶相图及杠杆定律
        1. 形成无限互溶的条件：组元晶体结构相同，原子半径相差不大
        2. Isomorphous reaction 匀晶：从液相中直接结晶出固溶体
     3. 二元共晶相图
        1. Eutectic reaction 共晶反应：一定温度下由一定成分的液相同时结晶出两个成分和结构都不相同的新固相
     4. 包晶、共析和稳定化合物相图
        1. Peritectic reaction 包晶：在某一温度下一种液相和一种固相相互作用生成另一种固相的转变过程称为包晶反应
        2. Eutectoid reaction 共析：在某一温度下，由一定成分的固相同时析出两个成分和结构完全不同的新固相的反应 。和共晶反应相比，固态下原子扩散难，过冷度要大，因此晶粒组织细很多
  2. 铁碳合金的结晶
     1. 铁碳合金
        1. Carbon steel 碳钢：含碳量0.0218%~2.11%
        2. Cast iron 铸铁：含碳量大于2.11%
     2. 铁碳合金相图（Fe-Fe3C/铁-渗碳体相图）的组元和相图示

        描述已自动生成
        1. 纯铁的同素异构转变:
        2. 碳在铁碳合金中的存在形式
           1. 固溶体：C溶于Fe的不同晶格中形成间隙固溶体

Ferrite 铁素体：C溶于中形成的间隙固溶体

BCC单个间隙小，高温下最大溶碳量为0.0218%，近似于纯铁

强度硬度低，塑性和韧性好

Austenite 奥氏体 ：C溶于中形成的间隙固溶体

FCC单个间隙大，1148高温碳含量2.11%

强度较低、硬度不高，塑性好，易于压力加工

室温下不存在，但当钢中含有某些其他合金元素可部分或全部转化为奥氏体组织

Ferrite 铁素体：C溶于中形成的间隙固溶体BCC

* + - * 1. 金属化合物：C与Fe形成金属化合物，即渗碳体 Cementite

可以认为铁碳合金中所有碳都在渗碳体中

硬度很高但很脆，塑性几乎为0

* + 1. 铁碳合金分类：可用成分跨度大
       1. 工业纯铁：室温下的平衡组织几乎全部为铁素体的铁碳合金
          1. 强度、硬度低，塑性、韧性好
          2. 利用优良导磁率制造电工材料，很少拿来制造机械零件
       2. 钢（熟铁）：含碳量为0.0218%~2.11%，高温固态组织为单相奥氏体
          1. 亚共析钢：室温下平衡组织为铁素体与珠光体（Pearlite 铁素体和渗碳体的机械混合物）
          2. Eutectoid steel 共析钢
          3. 过共析钢
       3. 白口铸铁（生铁）：液态结晶时都有共晶反应，且室温下的平衡组织中含有变态莱氏体
          1. 熔点低，流动性好便于铸造成形
          2. 不能锻造、轧制，不宜切削加工
    2. 钢的结晶过程
    3. 白口铸铁的结晶过程
    4. 相图与性能
    5. 铁碳合金相图和杠杆定律

1. 金属的塑性变形与再结晶
   1. 金属的塑性变形
      1. 塑性变形
      2. 塑性变形对金属组织和性能的影响
   2. 金属加热后的变化
      1. 回复与再结晶
      2. 金属的热加工
   3. 金属材料的强化方式
2. 钢的热处理：P点和E点之间的铁碳合金
   1. 基本概念
      1. 工艺过程
         1. 加热：为了获得高温阻止
         2. 保温：工件内外温度一致，使显微阻止完全转变
         3. 冷却：改变冷却速度来控制成分和结构，以获得相应组织和性能
      2. 分类
         1. 普通热处理/整体热处理
         2. 表面热处理
         3. 其他热处理
   2. 钢在加热时的变化
      1. 热处理概念
      2. 钢的奥氏体化
         1. 奥氏体晶核的形成
         2. 晶核长大
         3. 残余渗碳体溶解
         4. 奥氏体均匀化
   3. 钢在冷却时的转变
      1. 钢的等温冷却曲线
      2. 钢的连续冷却曲线
   4. Annealing 退火：将钢加热至适当温度、保温，然后缓慢冷却，从而获得接近平衡状态组织的热处理工艺
      1. 目的
         1. 调整硬度以便进行切削加工
         2. 消除残余内应力，以防止钢件在后续加工或热处理中产生变形或开裂
         3. 细化晶粒，改善组织，提高力学性能，为最终热处理作组织准备
      2. 工艺
         1. 临界温度
            1. 临界温度以上

Full annealing 完全退火：将亚共析钢缓慢加热至以上30~50摄氏度之间，保温后缓冷的退火工艺，钢的组织能通过重新形核、长大得以全部奥氏体化转变

消除组织缺陷，使组织变细和变均匀，以提高钢件的塑性和韧性

降低硬度以便于切削加工，并消除内应力

Partial annealing 不完全退火

Spheroidizing annealing 球化退火

使渗碳体球状化，降低硬度，改善切削加工性能

为后续的淬火作组织准备

扩散退火

* + - * 1. 临界温度以下

再结晶退火

Stress relieving annealing 去应力退火：将工件随炉缓慢加热至500~600度，经一段时间保温后随炉缓冷至300~200度以下出炉

* + - 1. 冷却方式
         1. 连续冷却：连续退火
         2. Isothermal annealing 等温冷却：等温退火：和完全退火效果差不多但可以减少保温时间
  1. Normalizing 正火：将亚共析钢加热到以上30~50度之间，保温后空冷
     1. 目的
        1. 作为低、中碳结构钢的预备热处理，能适当提高硬度，改善切削加工性能
        2. 消除过共析钢中的二次渗碳体，为球状退火作组织准备
        3. 正火可细化晶粒，使组织均匀化，消除内应力，在一定程度上又提高韧性及硬度的效果，可作为大重型普通结构零件的最终热处理
     2. 正火与退火的主要区别
        1. 冷却速度：和退火相比，正火冷却速度较大，因此得到的珠光体组织更细，强度和硬度也更高
        2. 目的
           1. 低、中碳亚共析钢：改善切削加工性
           2. 过共析钢：消除网状的二次渗碳体（Network carbide：削弱金属间结合力，降低钢的力学性能），以保证球化退火时渗碳体能够全部球粒化
        3. 生产中的选用
           1. 正火占用炉子时间短，生产效率高，生产中一般尽可能用正火来代替退火
  2. Quenching 淬火/蘸火：加热到临界点以上，保温一段时间使之全部或部分奥氏体化后，以大于的速度冷却到点以下或等温，使奥氏体转化为马氏体组织或下贝氏体组织。淬火后产生的马氏体脆性很大，且钢件内部淬火内应力很大不能直接适用，要进行回火处理
     1. 目的
        1. 提高钢的刚度、硬度和耐磨性
        2. 是钢的最经济、最有效的强化手段之一
  3. Tempering 回火（最终热处理：淬火+回火）：重新加热到适当温度，冷却后增加材料韧性的一种热处理工艺
     1. 目的
        1. 获得工件所需要的性能
        2. 消除或减少淬火内应力，降低钢的硬度和脆性
        3. 防止工件变形与开裂
        4. 稳定工件的组织和尺寸
     2. 分类
        1. 低温回火：超高强度钢
        2. 中温回火：弹簧钢
        3. 高温回火（调质）：调制钢具有良好的综合力学性能
     3. 回火脆性
  4. 钢的淬透性&淬硬性
     1. Hardenability 淬透性：淬火时获得淬硬层深度的能力，即马氏体层深度的能力
     2. Hardening capacity 淬硬性：钢在淬火时的硬化能力，获得马氏体组织所能达到的最高硬度
  5. 钢的表面热处理：使表面形成马氏体组织而心部组织不变

1. 工业用钢
   1. 钢的分类
      1. 按化学成分分
         1. Carbon steel 碳素钢
            1. 低碳钢：<0.25%
            2. 中碳钢：0.25%~0.6%
            3. 高碳钢：>0.6%
         2. Alloy steel 合金钢
            1. 低合金钢：<5%
            2. 中合金钢：5%~10%
            3. 高合金钢：>10%
      2. 按质量分类：钢的质量是按硫、磷的含量划分的
      3. 按用途分类
         1. 结构钢 Q34516Mn
            1. 工程用钢
            2. 机械用钢：Cariminizing steel 渗碳钢
         2. 工具钢
            1. 模具钢
            2. 刃具钢
            3. 量具钢
         3. 特殊性能钢
            1. 不锈钢
            2. 耐热钢
      4. 按金相组织分类：亚共析钢、共析钢、过共析钢、珠光体钢、贝氏体钢、铁素体钢、奥氏体钢、莱氏体钢
      5. 按冶炼方法分类：沸腾钢、半镇静钢、镇静钢
   2. 工程结构钢
   3. 渗透钢
   4. Quenched & tempered steel 调制钢/弹簧钢
   5. 滚动钢/耐磨钢
   6. 工具钢
   7. 刃具钢/模具钢
2. 铸铁：Gray iron 灰口铸铁、Nodular cast iron 球墨铸铁、Vermicular cast iron 蠕墨铸铁、Malleable cast iron 可锻铸铁
3. 有色金属及其合金
4. 机器零件的失效与选材