

## 第一章 工程材料导论

### 重点与难点

- (1) 重点：铁碳合金状态图、热处理工艺及其应用。
- (2) 难点：铁碳合金状态图的凝固过程分析。

### 第一节 金属材料的主要性能

两大类：1 使用性能：机械零件在正常工作情况下应具备的性能。

包括：力学性能、物理、化学性能

2 工艺性能：铸造性能、锻造性能、焊接性能、热处理性能、切削性能等。

#### I、金属材料的力学性能：

力学性能——受外力作用反映出来的性能。

一 弹性和塑性：

1 弹性：金属材料受外力作用时产生变形，当外力去掉后能恢复其原来形状的性能。

力和变形同时存在、同时消失。如弹簧：弹簧靠弹性工作。

2 塑性：金属材料受外力作用时产生永久变形而不至于引起破坏的性能。（金属之间的连续性没破坏）塑性大小以断裂后的塑性变形大小来表示。

塑性变形：在外力消失后留下的这部分不可恢复的变形。

3 拉伸图：金属材料在拉伸过程中弹性变形、塑性变形直到断裂的全部力学性能可用拉伸图形象地表示出来。

1) 弹性阶段  $\sigma_e$

2) 屈服阶段：过e点至水平段右端  $\sigma_s$ ——塑性极限，s——屈服点，过s点水平段——说明载荷不增加，试样仍继续伸长。（P一定， $\sigma = P/F$ 一定，但真实应力 $P/F^1 \uparrow$  因为变形， $F^1 \downarrow$ ）发生永久变形

3) 强化阶段：水平线右断至b点  $P \uparrow$  变形  $\uparrow$   
 $\sigma_b$ ——强度极限，材料能承受的最大载荷时的应力。

4) 局部变形阶段 $b_k$

过b点，试样某一局部范围内横向尺寸突然急剧缩小。“缩颈”（试样横截面变小，拉力 $\downarrow$ ）

4 延伸率和断面收缩率：——表示塑性大小的指标

1) 延伸率： $\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0}$ ——试样原长， $L_1$ ——拉深后长

2) 断面收缩率： $F_0$ ——原截面， $F_1$ ——拉断后截面

(1)  $\delta$ 、 $\psi$ 越大，材料塑性越好

(2)  $\epsilon$  与  $\delta$  区别：拉伸图中  $\epsilon = \epsilon_{弹} + \epsilon_{塑}$ ， $\delta = \epsilon_{max塑}$

(3) 一般  $\delta > 5\%$ 为塑性材料， $\delta < 5\%$ 为脆性材料。

5 条件屈服极限  $\sigma_{0.2}$

有些材料在拉伸图中没有明显的水平阶段。通常规定产生 0.2 塑性变形的应力作为屈服极限, 称为条件屈服极限。

二 刚度：金属材料在受力时抵抗弹性变形的能力。

### 1 材料本质

弹性模量—在弹性范围内, 应力与应变的比值. 其大小主要决定材料本身. 相当于单位元元变形所需要的应力。

$$\sigma = E \varepsilon, \quad E = \sigma / \varepsilon = \operatorname{tg} \alpha$$

### 2 几何尺寸、形状、受力

相同材料的 E 相同, 但尺寸不同, 则其刚度也不同. 所以考虑材料刚度时要把 E\形状\尺寸同时考虑. 还要考虑受力情况。

三 强度：强度指金属材料在外力作用下抵抗塑性变形和断裂的能力。

按作用力性质的不同, 可分为: 抗拉强度  $\sigma_+$  抗压强度  $\sigma_-$  抗弯强度  $\sigma_w$  抗剪强度  $\tau_b$  抗扭强度  $\sigma$

常用来表示金属材料强度的指标:

屈服强度: (Pa N/m<sup>2</sup>)  $P_s$ —产生屈服时最大外力,  $F_0$ —原截面

抗拉强度 (Pa N/m<sup>2</sup>)  $P_b$ —断裂前最大应力。

$\sigma_s / \sigma_b$  在设计机械和选择评定材料时有重要意义. 因金属材料不能在超过  $\sigma_s$  的条件下工作, 否则会塑变. 超过  $\sigma_b$  工作, 机件会断裂。

$\sigma_s$ — $\sigma_b$  之间塑性变形, 压力加工

四 硬度：金属抵抗更硬的物体压入其内的能力—

是材料性能的综合物理量, 表示金属材料在一个小的体积范围内的抵抗弹性变形、塑性变形或断裂的能力。

### 1 布式硬度 HB

用直径 D 的淬火钢球或硬质合金球, 在一定压力 P 下, 将钢球垂直地压入金属表面, 并保持压力到规定的时间后卸荷, 测压痕直径 d (用刻度放大镜测) 则

$HB = P/F$  (N/mm<sup>2</sup>) 单位一般不写. F—压痕面积。

HBS—压头用淬火钢球, HBW—压头用硬质合金球

因钢球存在变形问题, 不能测太硬的材料, 适于 HBS < 450, 如铸铁, 有色金属, 软钢等. 而 HBW < 650

特点: 压痕大, 代表性全面

应用: 不适宜薄件和成品件

### 2 洛式硬度 H R

用金刚石圆锥在压头或钢球, 在规定的预载荷和总载荷下, 压入材料, 卸载后, 测其深度 h, 由公式求出, 可在硬度计上直接读出, 无单位. 不同压头应用范围不同如下表:

HRB	d = 1.588 淬火钢球	980.7	退火钢 灰铁 有色金属
HRC	120°金刚石圆锥	1471	淬火 回火件

HRA	588.4	硬质合金 碳化物
-----	-------	----------

优点:易操作,压痕小,适于薄件,成品件

缺点:压痕小,代表性不全面需多测几点.

\*硬度与强度有一定换算关系,故应用广泛.根据硬度可近似确定强度,如灰铁:  $\sigma_b=1\text{HBS}$

3 显微硬度(HV)

用于测定金属组织中个别组成体,夹杂物等硬度.

显微放大测量 显微硬度(查表)与HR有对应关系.如:磨削烧伤表面,看烧伤层硬度变化.

五 冲击韧性 $a_k$

材料抵抗冲击载荷的能力

常用一次摆锤冲击试验来测定金属材料的冲击韧性,标准试样一次击断,用试样缺口处单位截面积上的冲击功来表示 $a_k$

$$a_k=A_k/F(\text{J}/\text{m}^2) \quad A_k=G(H-h) \quad G\text{-重量} \quad F\text{-缺口截面}$$

脆性材料一般不开口,因其冲击值低,难以比较差别.

1  $a_k \uparrow$ ,冲击韧性愈好.

2  $A_k$ 不直接用于设计计算:在生产中,工件很少因受一次大能量冲击载荷而破坏,多是小冲击载荷,多次冲击引起破坏,而此时,主要取决于强度,故设计时,  $a_k$ 只做校核.

3  $a_k$ 对组织缺陷很敏感,能够灵敏地反映出材料品质,宏观缺陷,纤维组织方面变化.

所以,冲击试验是生产上用来检验冶炼、热加工、热处理工艺质量的有效方法。

(微裂纹——应力集中——冲击——裂纹扩展)

六 疲劳强度:

问题提出:许多零件如曲轴、齿轮、连杆、弹簧等在交变载荷作用下,发生断裂时的应力远低于该材料的屈服强度,这种现象——疲劳破坏。据统计,80%机件失效是由于疲劳破坏。

疲劳强度——当金属材料在无数次交变载荷作用下而不致于引起断裂的最大应力。

1 疲劳曲线——交变应力与断裂前的循环次数N之间的关系。

例如:纯弯曲,有色金属 $N \gg 10^8$  钢材 $N > 10^7$  不疲劳破坏

2 疲劳破坏原因

材料有杂质,表面划痕,能引起应力集中,导致微裂纹,裂纹扩展致使零件不能承受所加载荷突然破坏.

3 预防措施

改善结构形状,避免应力集中,表面强化-喷丸处理,表面淬火等.

## II、金属材料的物理,化学及工艺性能:

一 物理性能

比重:计算毛坯重量,选材,如航天件 :轻熔点:铸造 锻造温度(再结晶温度)热膨胀性:铁轨 模锻的模具、量具、导热性:铸造:金属型 锻造:加热速度、导电性:电器元件 铜 铝磁性:变压器和电机中的硅钢片 磨床:工作台

二 化学性能

金属的化学性能, 决定了不同金属与金属, 金属与非金属之间形成化合物的性能, 使有些合金机械性能高, 有些合金抗腐蚀性好, 有的金属在高温下组织性能稳定. 如耐酸, 耐碱等  
如化工机械, 高温工作零件等

### 三 工艺性能

金属材料能适应加工工艺要求的能力.

铸造性, 可锻性, 可焊性, 切削加工性等。

## 第二节 金属和合金的晶体结构与结晶

### I、金属的晶体结构

#### 一基本概念:

固体物质按原子排列的特征分为:

晶体: 原子排列有序, 规则, 固定熔点, 各项异性. 如金属, 合金, 金刚石—晶体

非晶体: 原子排列无序, 不规则, 无固定熔点, 各项同性 如: 玻璃, 松香 沥青—非晶体

晶格: 原子看成一个点, 把这些点用线连成空间格子.

结点: 晶格中每个点.

晶胞: 晶格中最小单元, 能代表整个晶格特征.

晶面: 各个方位的原子平面

晶格常数: 晶胞中各棱边的长度(及夹角), 以 $A$ ( $1A=10^{-8}$  cm)度量

金属晶体结构的主要区别在于晶格类型, 晶格常数.

#### 二 常见晶格类型

1 体心立方晶格: Cr, W,  $\alpha$ -Fe, Mo, V 等, 特点: 强度大, 塑性较好, 原子数:  $\frac{1}{8} \times 8 + 1 = 2$  20 多种

2 面心立方晶格: Cu, Ag, Au, Ni, Al, Pb,  $\gamma$ -Fe 塑性好 原子数: 4 20 多种

3 密排六方晶格: Mg, Zn, Be,  $\beta$ -Cr,  $\alpha$ -Ti, Cd(镉)

纯铁在室温高压( $130 \times 10^8 \text{N/M}^2$ )成  $\epsilon$ -Fe

原子数 =  $\frac{1}{6} \times 12 + \frac{1}{2} \times 2 + 3 = 6$ , 30 多种

#### 三 多晶结构

单晶体—晶体内部的晶格方位完全一致.

多晶体—许多晶粒组成的晶体结构. 各项同性.

晶粒—外形不规则而内部晶各方位一致的小晶体.

晶界—晶粒之间的界面.

### II、金属的结晶:

#### 一 金属的结晶过程(初次结晶)

1 结晶: 金属从液体转变成晶体状态的过程.

晶核形成: 自发晶核: 液体金属中一些原子自发聚集, 规则排列.

外来晶核: 液态金属中一些外来高熔点固态微质点.

晶核长大:已晶核为中心,按一定几何形状不断排列.

\*晶粒大小控制:晶核数目:多—细(晶核长得慢也细)

冷却速度:快—细(因冷却速度受限,故多加外来质点)

晶粒粗细对机械性能有很大影响,若晶粒需细化,则从上述两方面入手.

结晶过程用冷却曲线描述!

## 2 冷却曲线

温度随时间变化的曲线—热分析法得到

1) 过冷:液态金属冷却到理论结晶温度以下才开始结晶的现象.

2) 过冷度:理论结晶温度与实际结晶温度之差.(实际冷却快,结晶在理论温度下)

## 二 金属的同素异构转变(二次结晶\重结晶)

同素异构性——一种金属能以几种晶格类型存在的性质.

同素异构转变——金属在固体时改变其晶格类型的过程.如:铁 锡 锰 钛 钴

以铁为例:  $\delta$ -Fe(1394°C)  $\gamma$ -Fe(912°C)  $\alpha$ -Fe

体心                      面心                      体心

因为铁能同素异构转变,才有对钢铁的各种热处理.

(晶格转变时,体积会变化,以原子排列不同)

## III、合金的晶体结构:

### 一 合金概念

合金:由两种或两种以上的金属元素或金属与非金属组成的具有金属特性的物质.

组元:组成合金的基本物质.如化学元素(黄铜:二元)金属化合物

相:在金属或合金中,具有相同成分且结构相同的均匀组成部分.相与相之间有明显的界面.

如:纯金属——一个相,温度升高到熔点,液固两相.合金液态组元互不溶,几个组元,几个相.

固体合金中的基本相结构为固溶体和金属化合物,还可能出现由固溶体和金属化合物组成的混合物。

### 二 合金结构

#### 1 固溶体

溶质原子溶入溶剂晶格而仍保持溶剂晶格类型的金属晶体。根据溶质在溶剂晶格中所占的位置不同,分为:

1) 置换固溶体:溶质原子替代溶剂原子而占据溶剂晶格中的某些结点位置,所形成的固溶体。

\*溶质原子,溶剂原子直径相差不大时,才能置换如:Cu—Zn Zn溶解度有限。Cu—Ni溶解度无限  
晶格畸变——固溶强化:畸变时塑性变形阻力增加,强、硬增加。这是提高合金机械力学性能的一个途径。

#### 2) 间隙固溶体

溶质原子嵌入各结点之间的空隙,形成固溶体。溶质原子小,与溶剂原子比为  $< 0.59$ 。溶解度有限。也固溶强化。

#### 2 金属化合物

合金各组成元素之间相互作用而生成的一种新的具有金属性质，可用分子式表示的物质。如  $\text{Fe}_3\text{C}$   $\text{WC}$

特点：（1）较高熔点、较大脆性、较高硬度。

（2）在合金中作强化相，提高强度、硬度、耐磨性，而塑性、韧性下降，如  $\text{WC}$ 、 $\text{TiC}$ 。可通过调整合金中的金属化合物的数量、形态、分布来改变合金的性能

### 3 机械混合物

固溶体+金属化合物、固+固——综合性能

## 三、二元合金状态图的构成

### 1 基本概念

合金系：由给定的组元可以配制成一系列成分含量不同的合金，这些合金组成一个合金系统——为研究合金系的合金成分、温度、结晶组织之间的变化规律、建立合金状态图来描述。

合金状态图——合金系结晶过程的简明图解。

实质：温度——成分作标图，是在平衡状态下（加热冷却都极慢的条件下）得到的。

### 2 二元合金状态图的建立

以  $\text{Pb}$ （铅）- $\text{Sb}$ （锑）合金为例：

1) 配置几种  $\text{Pb}$ - $\text{Sb}$  成分不同的合金。

2) 做出每个合金的冷却曲线

3) 将每个合金的临界点标在温度—成分坐标上，并将相通意义的点连接起来，即得到  $\text{Pb}$ - $\text{Sb}$  合金的状态图。

## IV、铁碳合金基本组织：

一铁素体：碳溶于  $\alpha$ - $\text{Fe}$  形成的固溶体——铁素体  $F$  体心立方，显微镜下为均匀明亮的多边形晶粒。

性能：韧性很好（因含  $\text{C}$  少），强、硬不高。  $\delta = 45 \sim 50\%$ ， $\text{HBS} = 80$ ， $\sigma_s = 250 \text{Mpa}$  含碳：  $727^\circ\text{C}$ ， $0.02\%$

二 奥氏体：碳溶于  $\gamma$ - $\text{Fe}$  中形成的固溶体——“ $A$ ”面心立方，显微镜下多边形晶粒，晶界较  $F$  平直。性能：塑性好，压力加工所需要组织。含碳最高： $1147^\circ\text{C}$ ， $2.11\%$   $\text{HBS} = 170 \sim 220$

三渗碳体：金属化合物  $\text{Fe}_3\text{C}$  复杂晶格，含碳： $6.69\%$ 。性能：硬高  $\text{HB}(\text{sw}) > 800$ ，脆，作强化相。在一定条件下会分解成铁和石墨，这对铸造很有意义。

四 珠光体： $P$  ( $F + \text{Fe}_3\text{C}$ ) ——机械混合物，含碳  $0.77\%$ ，组织：两种物质相间组成，性能：介于两者之间。强度较高： 硬度  $\text{HBS} = 250$

五 莱氏体： $> 727^\circ\text{C}$   $A + \text{Fe}_3\text{C}$  —— $\text{Ld}$  高温莱氏体  $< 727^\circ\text{C}$   $P + \text{Fe}_3\text{C}$  —— $\text{Ld}'$  低温莱氏体

性能：与  $\text{Fe}_3\text{C}$  相似  $\text{HBS} > 700$  塑性极差。

铁碳合金状态图：

是表明平衡状态下含  $\text{C}$  不大于  $6.69\%$  的铁碳合金的成分，温度与组织之间关系，是研究钢铁的成分，自治和性能之间关系的基础，也是制定热加工工艺的基础。

含C>6.69在工业上无实际意义,而含C6.69%时,Fe与C形成 $Fe_3C$ ,故可看成一个组元,即铁碳合金状态图实际为Fe- $Fe_3C$ 的状态图。

### 1 各特性点的含义

1)A: 纯铁熔点	含C: 0%	1538℃
2)C: 共晶点	4.3%	1148
3)D: $Fe_3C$ 熔点	6.69	1600
4)E: C在A中最大溶解度	2.11	1148
5)F: $Fe_3C$ 成分点	6.69	1148
6)G: $\alpha$ -Fe与 $\gamma$ -Fe转变点	0%	912
7)K: $Fe_3C$ 成分点	6.69	727
8)P: C在 $\alpha$ -Fe中最大溶解度	0.02	727
9)S: 共析点	0.77	727
10) Q: C在 $\alpha$ -Fe中溶解度	0.0008	室温

### 2 主要线的意义

- 1) ACD:液相线,液体冷却到此线开始结晶.
- 2) AECF:固相线 此线下合金为固态
- 3) ECF:生铁固相线,共晶线,液体—Ld
- 4) AE: 钢的固相线,液态到此线—A
- 5) GS: "A<sub>3</sub>" A到此线开始析出F
- 6) ES: "A<sub>cm</sub>" A到此线开始析出 $Fe_3C_{II}$
- 7) PSK: "A<sub>1</sub>" 共析线. A同时析出P(F+ $Fe_3C$ )

### 3 主要区域

- 1) ACE: 两相区L+A
- 2) DCF: 两相区L+ $Fe_3C_I$
- 3) AESG: 单相区 A
- 4) GPS: A+F 两相区

## 二 钢铁分类

1 工业纯铁: 含C<0.0218% 组织:F

2 钢: 含碳: 0.0218~2.11

共析钢 含C=0.77% P

亚共析钢 含C<0.77% P+F

过共析钢 含C>0.77% P+ $Fe_3C_{II}$

3 铁 含C:2.11%~6.69%

共晶生铁 4.3% C Ld'

亚共晶生铁 < 4.3% C P+Ld' +  $Fe_3C_{II}$

过共晶生铁 > 4.3% C Ld' +  $Fe_3C_I$

### 三 典型合金结晶过程分析

1 共析钢 L—L+A—A—P

2 亚共析钢 L—A+L—A—A+F—F+P

3 过共析钢 L—L+A—A—A+ Fe<sub>3</sub>C<sub>11</sub>— Fe<sub>3</sub>C<sub>1</sub>+P

4 共晶铁 L—Ld—Ld'

5 亚共晶铁 L—1 点—L+A—A+Ld—P+Ld'

6 过共晶铁 L—1 点—L+Fe<sub>3</sub>C<sub>1</sub>—2 点—Ld+ Fe<sub>3</sub>C<sub>1</sub>—3 点— Fe<sub>3</sub>C<sub>1</sub>+Ld'

#### 四 铁碳合金状态图的应用

1 铸造确定浇铸温度 选材: 共晶点附近铸造性能好

2 锻造 锻造温度区间 A

3 焊接 焊接缺陷用热处理改善. 根据状态图制定热处理工艺

### 第三节 钢的热处理

一 钢的热处理: 把钢在固态下加热到一定的温度进行必要的保温, 并以适当的速度冷却到室温, 以改变钢的内部组织, 从而得到所需性能的工艺方法。

\* 只改变组织和性能, 而不改变其形状和大小. 热处理是改善材料性能的重要手段之一, 能提高产品质量, 延长机件寿命, 节约金属材料, 所以, 重要机件都要经过热处理.

(提问: 前面学过的改善金属材料性能的手段—固溶强化)

热处理工艺曲线: 各种热处理都可以用温度—时间的坐标图形表示.

应用广泛: 机械制造业中 70% 零件需热处理. 汽车 拖拉机 制造业 70~80% 量具 刀具 模具 滚动轴承等 100%

#### 二 目的

1 冶金、锻、铸、焊毛坯或成品, 消除缺陷, 改善工艺性能. 为后续加工(如机加)做好组织, 性能, 准备. 退火、正火

2 是钢件的机械性能提高, 达到钢件的最终使用性能指标, 以满足机械零件或工具使用性能要求. 淬火+回火、表面淬火、化学处理

三、依据: 状态图

#### I、热处理过程中的组织转变

一 钢在加热时的组织转变

1 临界温度:

2 组织转变

1) 共析钢: P(F+Fe<sub>3</sub>C)—A

(1) A晶核形成: F和Fe<sub>3</sub>C界面上先形成A晶核

(因界面原子排列不规则, 缺陷多, 能量低)

(2) A晶核长大: F晶格转变, Fe<sub>3</sub>C不断溶入A, A晶核不断生成, 长大. F转变快, 先消失.

(3) 残余渗碳体的溶解: 随保温时间加长, 残余Fe<sub>3</sub>C逐渐溶入A

(4) A成分均匀化: A转变完成后, 各处含C浓度不均匀, 继续保温, C充分扩散, 得到单一的均匀A 这个过程是A重结晶的过程.

- 2) 亚共析钢:  $F+P \rightarrow A_{C1} \rightarrow F+A \rightarrow A_{C3} \rightarrow A$   
 3) 过共析钢:  $P+Fe_3C_{II} \rightarrow A_{C1} \rightarrow A+Fe_3C_{II} \rightarrow A_{Ccm} \rightarrow A$  (晶粒粗化)

## 二 钢在冷却时的组织转变

(钢在室温时的机械性能不仅与加热,保温有关,与冷却过程也有关)

### 1 冷却方式

1) 连续冷却: 将加热到A的钢,在温度连续下降的过程中发生组织转变.

水冷 油冷 空冷(正火) 炉冷(退火)

2) 等温冷却: 将加热到A的钢,先以较快的速度冷却到 $A_{r1}$ 线下某一温度,成为过冷A,保温,使A在等温下发生组织转变,转变完,再冷却到室温. 等温退火 等温淬火

### 2 共析钢冷却时的等温转变

以共析钢为例,进行一系列不同过冷度的等温冷却实验,可以测出过冷奥氏体在恒温下开始转变和转变终了的时间,画到“温度—时间”坐标系中,然后,把开始转变的时间和转变终了的时间分别连接起来,即得到共析钢的奥氏体等温转变曲线.又叫C曲线.

#### 1) 高温产物:

$A_{r1} \sim 650^\circ C$  P 层片较厚 500X 显微镜 HRC10-20

$650 \sim 600^\circ C$  细珠光体 索氏体 S HRC25~35 层片较薄 800~1000X

$600 \sim 550^\circ C$  极细珠光体 屈氏体 T HRC30~40 层片极薄

a) 以上三种均为F+ $Fe_3C$ 层片相间的珠光体,只是层片厚度不同.

b) 由于过冷度从小到大,原子活动能力由强到弱,致使析出的渗碳体和铁素体层片越来越薄.

c) 珠光体层片越薄,塑变抗力越大,强,硬越大.

#### 2) 中温产物

$550 \sim 350^\circ C$  上贝氏体  $B_{上}$  电镜下观察,渗碳体不连续,短杆状,分布于许多平行而密集的铁素体条之间.

$350 \sim 230^\circ C$  下贝氏体  $B_{下}$  比 $B_{上}$ 有较高强、硬、韧、塑。片状过饱和F和其内部沉淀的碳化物组织(因为过饱和F有析出 $Fe_3C$ 倾向,但过冷度太大,导致碳原子没能扩散超出F片,只是在片内沿一定晶面聚集,沉淀出碳化物粒子)

#### 3) 低温转变产物:

$230 \sim -50^\circ C$  马氏体(M)+残余A 马氏体:过饱和的 $\alpha$ 固溶体“M”

(由于温度低,原子活动能力低,晶格转变完成,但是,C原子不能从面心中扩散出来,仍留在体心中,形成过饱和 $\alpha$ 固溶体)

$\therefore$  晶格严重畸形,  $\therefore$  M硬 $\uparrow$  HRC65 塑 韧较低

### 3 共析钢连续冷却转变

连续冷却可能发生几种转变，很复杂。共析钢连续冷却，只有珠光体转变区和马氏体转变区。珠光体转变区：三条线构成：开始，终了，终止线；冷却速度过“开始”“终了”线，组织为珠光体；冷却速度过“开始”“终止”线，组织为珠光体和马氏体；冷却速度不过珠光体区，则为M

## II、钢的热处理工艺

热处理：整体热处理：退火 正火 淬火 回火

表面热处理：表面淬火 化学热处理—渗碳 渗氮

### 一 退火

将钢件加热到高于或低于钢的临界点，保温一定时间，随后在炉内或埋入导热性较差的介质中缓慢冷却，以获得接近平衡的组织，这种工艺叫—

目的：1) 降低硬度—切削加工

2) 细化晶粒，改善组织—提高机械性能

3) 消除内应力—淬火准备

4) 提高塑性，韧性—冷冲压，冷拉拔

1 完全退火：将钢加热到 $A_{c3}$ 以上  $30\sim 50^{\circ}\text{C}$ ，保温一定时间后，缓慢冷却以获得接近平衡状态组织(P+F)的热处理工艺。

目的：通过完全重结晶，使锻，铸，焊件降低硬度，便于切削加工，同时可消除内应力，使A充分转变成正常的F和P。

应用：亚共析钢

\* 不能用于共析钢，∵在 $A_{ccm}$ 以上缓冷，会析出网状渗碳体( $\text{Fe}_3\text{C}_{II}$ )，脆性↑

2 不完全退火：将共析钢或过共析钢加热到  $A_{c1}$  以上  $20\sim 30^{\circ}\text{C}$ ，适当保温，缓慢冷却的热处理工艺又叫球化退火。

目的：使珠光体组织中的片状渗碳体转变为粒状或球状，这种组织能将低硬度，改善切削加工性。并为以后淬火做准备。减小变形和开裂的倾向。

应用：共析钢，过共析钢(球化退火)

3 等温退火：将钢件加热到  $A_{c3A}$  (亚共析钢) 或  $A_{c1}$  (共析钢或过共析钢) 以上，保温后较快地冷却到稍低于  $A_{r1}$  的温度，再等温处理，A转变成P后，出炉空冷。

目的：节省退火时间，得到更均匀的组织，性能。

应用：合金工具钢，高合金钢

4 去应力退火：将钢加热到  $A_{c1}$  以下某一温度(约  $500\sim 650^{\circ}\text{C}$ )保温后缓冷。(又叫低温退火)

目的：消除内应力

应用：铸，锻，焊

\*不发生相变，重结晶 例子：杯裂

5 再结晶退火：将钢加热到再结晶温度以上  $150\sim 250^{\circ}\text{C}$ ，即  $650\sim 750^{\circ}\text{C}$ ，保温，空冷。

目的：发生再结晶，消除加工硬化。

应用：冷扎，冷拉，冷压等

\* 可能相变

6 扩散退火：均匀化退火，高温进行

目的：消除偏析，应用：铸件

## 二 正火

钢件加热到  $Ac_3$ (亚)或  $Accm$ (过共)以上  $30\sim 50^\circ C$ ，保温，空冷

\* 正火作用与退火相似，区别是正火冷速快，得到非平衡的珠光体组织，细化晶粒，效果好，能得到片层间距较小的珠光体组织。

实践表明：工件硬度 HB170-230 时，对切削有利

正火目的：1 提高机械性能

2 改善切削加工性

3 为淬火作组织准备一大晶粒易开裂

对于过共析钢，正火能减少二次渗碳体的析出，使其不形成连续的网状结构，有利于缩短过共析钢的球化退火过程，经正火和球化退火的过共析钢有较高的韧性，淬火就不易开裂，用于生产过共析钢的工具的工艺路线：

锻造—正火—球化退火—切削加工—淬火，回火—磨

低碳钢，正火代替退火，中 C 钢：正火代调质(但晶粒不均)

## 三 淬火

将钢件加热到  $Ac_3$ (亚)或  $Ac_1$ (过)以上  $30\sim 50^\circ C$ ，经过保温，然后在冷却介质中迅速冷却，以获得高硬度组织的一种热处理工艺。

目的：提高硬度，耐磨性

应用：工具，模具，量具，滚动轴承。

组织：马氏体，下贝氏体

淬火冷却：决定质量，理想冷却速度两头慢中间快，减少内应力。

### 1 常用淬火法：

1) 单液淬火(普通淬火)：在一种淬火介质中连续冷却至室温。如碳钢水冷

缺点：水冷，易变形，开裂。油冷：易硬度不足，或不均

优点：易作，易自动化。

2) 双液淬火：先在冷却能力较强的介质中冷却到  $300^\circ C$  左右，再放入冷却到冷却能力较弱的介质中冷却，获得马氏体。

对于形状的碳钢件，先水冷，后空冷。

优点：防低温时 M 相变开裂。

3) 分级淬火：工件加热后迅速投入温度稍高于  $M_s$  点的冷却介质中，(如盐浴火碱浴槽中)停 2-5 分(待表面与心部的温差减少后再取出)取出空冷。

应用：小尺寸件(如刀具淬火) 防变形，开裂

优点：工艺理想，操作容易

缺点：∴在盐浴中冷却，速度不够大 ∴只适合小件

4) 等温淬火:将加热后的钢件放入稍高于 Ms 温度的盐浴中保温足够时间, 使其发生下贝氏体转变, 随后空冷.

应用: 形状复杂的小零件, 硬度较高, 韧性好, 防变形, 开裂.

例子: 螺丝刀 (T7 钢制造)

用淬火+低温回火 HRC55, 韧性不够, 扭 10° 时易断

如用等温淬火, HRC55~58 韧性好, 扭 90° 不断

等温淬火后如有残余 A, 需回火, A-F. 如没有残余 A, 不需回火

缺点: 时间长

## 2 钢的淬透性与淬硬性

淬透性: 钢在淬火时具有获得淬硬层深度的能力.

淬硬性: 在淬火后获得的马氏体达到的硬度, 它的大小取决于淬火时溶解在奥氏体中的碳含量.

## 四 回火

将淬火后的钢加热到 Ac1 以下某一温度, 保温一定时间, 后冷却到室温的热处理工艺.

目的: 消除淬火后因冷却快而产生的内应力, 降低脆性, 使其具有韧性, 防止变形, 开裂, 调整机械性能.

### 1 低温回火: 加热温度 150~250°C

组织: 回火马氏体—过饱和度小的  $\alpha$ -固溶体, 片状上分布细小  $\epsilon$ -碳化物

目的: 消除内应力, 硬度不降. HRC58~64

应用: 量具, 刀具 低碳钢: 高塑性, 韧性, 较高强度配合

### 2 中温回火: 加热温度 350~500°C

组织: 极细的球(粒)状  $\text{Fe}_3\text{C}$  和 F 机械混合物. (回火屈氏体)

目的: 减少内应力, 提高弹性, 硬度略降.

应用: (0.45~0.9%) 弹簧, 模具 高强度结构钢

### 3 高温回火: 500~650°C

组织: 回火索氏体—较细的球(粒)状  $\text{Fe}_3\text{C}$  和 F 机械混合物.

目的: 消除内应力, 较高韧性, 硬度更低.

应用: 齿轮, 曲轴, 连杆等(受交变载荷)

淬火+高温回火——调质

## 五 表面淬火

表面层淬透到一定深度而中心部仍保持原状态.

应用: 既受摩擦, 又受交变, 冲击载荷的件.

目的: 提高表面的硬度, 有利的残余应力.

提高表面耐磨性, 疲劳强度

加热方法: 1 火焰: 单间小批局部, 质量不稳

2 感应加热: 质量不稳

## 六 化学热处理

工件放在某种化学介质中加热,保温,使化学元素渗入工件表面,改善工件表面性能。

应用:受交变载荷,强烈磨损,或在腐蚀,高温等条件下工作的工件。

渗C:表面成高碳钢,细针状高碳马氏体(0.85~1.05%),心部又有高韧性的受力较大的齿轮,轴类  
件

固体渗碳,液体渗碳,气体渗碳(常用:渗碳剂如甲醇+丙酮 900~930℃)

如:低碳钢,表层:P+Fe<sub>3</sub>C<sub>II</sub> 内部:P+F

热处理:淬火+低温回火 得到回火M(细小片状)+ Fe<sub>3</sub>C<sub>II</sub>

表面含C: 0.85~1.05% 若表面含C低,得到低含C的回火M,硬度低

含C高,网状或大量块状渗C体,脆性↑

渗N:表面硬度,耐磨性,耐蚀性,疲劳强度↑

温度:500~570℃ 最后工序. 为保证内部性能,氮化前调质

优点:氮化后不淬火,硬度高(>HV850),氮化层残余压应力,疲劳强度↑

氮化物抗腐蚀. 温度低,变形小.

碳氮共渗:硬度高,渗层较深,硬度变化平缓,具有良好的耐磨性,较小的表面脆性.

#### 第四节 常用金属材料

按化学成分:碳钢: <2.11%C 少量 Si Mn S P 等杂质

I、合金钢:加入一种或几种合金元素

一 碳钢

1 含碳量对碳钢性能的影响

<0.9%C C↑强,硬↑ 塑,韧↓ FeC 强化相

>0.9%C C↑ 硬↑, 强, 塑, 韧↓ FeC 分布晶界, 脆性↑

2 钢中常见杂质对性能的影响

Si: 溶于F, 强化F, 强, 硬↑ 塑, 韧↓. 含量<0.03~0.4% 有益作用不明显

Mn: 1)溶于F, Fe<sub>3</sub>C. 引起固溶强化. 2)与FeS反应—MnS 比重轻, 进入熔渣, 如量少, 有益作用不明显.

S: FeS—(FeS+Fe) 共晶体, 熔点 985℃, 分布晶界, 引起脆性”热脆”

P: 溶于F, 是强度, 硬度↑, 但室温塑性, 韧性↓↓ “冷脆”

3 碳钢的分类

1) 按含碳量分

低碳钢 <0.25%C 中碳钢: 0.25~0.6%C, 高碳钢>0.6%C

2) 按质量分(含S, P多少分)

普通钢 S<=0.055%, P<=0.045%

优质钢 S, P<=0.04%

高级优质钢 S<=0.03% P<=0.035%

3) 按用途分 碳素结构钢, 碳素工具钢 >0.6%C

#### 4 碳钢的编号和用途

1) 普通碳素结构钢: Q235 数字表示屈服强度 单位 Mpa

2) 优质碳素结构钢

正常含锰量的优质碳素结构钢: 0.25~0.8%Mn

较高含锰量 0.15~0.6%C 0.7~1.0%Mn, >0.6%C 0.9~1.2%Mn

08 10 15 20 25 强↓ 塑↑ 冲压件 焊件

30 35 40 45 50 55 60 强↑ 硬↑ 弹簧, 轴, 齿轮 耐磨件

65 70 75 80 85 耐磨件

数字表示含 C 万分之几

3) 碳素工具钢

T<sub>7</sub> T<sub>8</sub> T<sub>13</sub> 数字表示含 C 千分之几

高级优质钢加 A 含 Mn 高, 加 Mn T<sub>8</sub>MnA

#### 二 合金钢

常加合金元素: Mn Si Cr Ni Mo W V Ti B(硼) 稀土元素(Xt)等

##### 1 合金结构钢

“数+元素符号+数”表示

数—含碳万分之几, 符号—合金元素,

符号后面数表示含合金%, <1.5%不标, =1.5% 标 2

若为高级优质钢, 后加 A 如: 60Si2Mn 0.6%C, 2%Si <1.5%Mn 18Cr2Ni4WA 0.18%C, 2%Cr, 4%Ni, <1.5%W 高级优质

应用: 工程结构件, 机械零件

主要包括: 低合金钢, 合金渗碳钢, 合金调质钢, 合金弹簧钢, 滚动轴承钢等

##### 2 合金工具钢:

数+元素符号+数 与结构钢同

数—一位数, 含 C 千分之几, 含 C>=1.0%不标

如: 9SiCr (板牙, 丝锥) 0.9%C <1.5%Si <1.5%Cr CrWMn (长铰刀, 丝锥, 拉刀, 精密丝杠)

\*高速钢 含 C<1.0 也不标 W18Cr4V 0.7~0.8%C, 18%W, 4%Cr, <1.5%V

应用: 刀具, 模具, 量具等

##### 3 特殊性能钢

不锈钢: 1Cr13 1Cr18Ni9Ti 等

耐热钢: 1Cr13 2Cr13 >400℃ 工作

耐磨钢: 高锰钢水韧处理, 冲击下工作, 表面产生加工硬化. 并有马氏体在滑移面形成, 表面硬度达 HB450~550, 表面耐磨, 心部为 A.

水韧处理: 钢加热到临界点以上(1000~1100℃)保温, 碳化物全溶于 A, 水冷, 因冷速快, 无法析出碳化物, 成单一 A 组织.

## II、金属零件选材的一般原则

产品的质量和生产成本如何,与材料选择的是否恰当有直接关系,机械零件进行选材时,主要考虑零件的工作条件,材料的工艺性能和产品的成本.

基本原则如下:

1 满足零件工作条件:

受力状态—机械性能,基本  $\sigma$   $\delta$   $\alpha_k$  等工作温度环境介质—使用环境,高温—耐热,抗腐蚀—不锈钢 高硬度—工具钢

2 材料的工艺性能

零件的生产方法不同,直接影响其质量和生产成本.

如:灰口铁,铸造性能 切削加工性很好,可锻性差.

3 经济性

价值=功能/成本

如:耐腐蚀容器: 1)普通碳素钢:5000 元 用一年

2)奥氏体不锈钢: 40000 元 用 10 年

3)铁素体不锈钢: 15000 元 用 6 年

1):2):3) =1:1.25:2