

# 金属材料学

Metal Material and Heat Treatment

主讲教师：曾燕屏

## § 2-5 钢的贝氏体转变

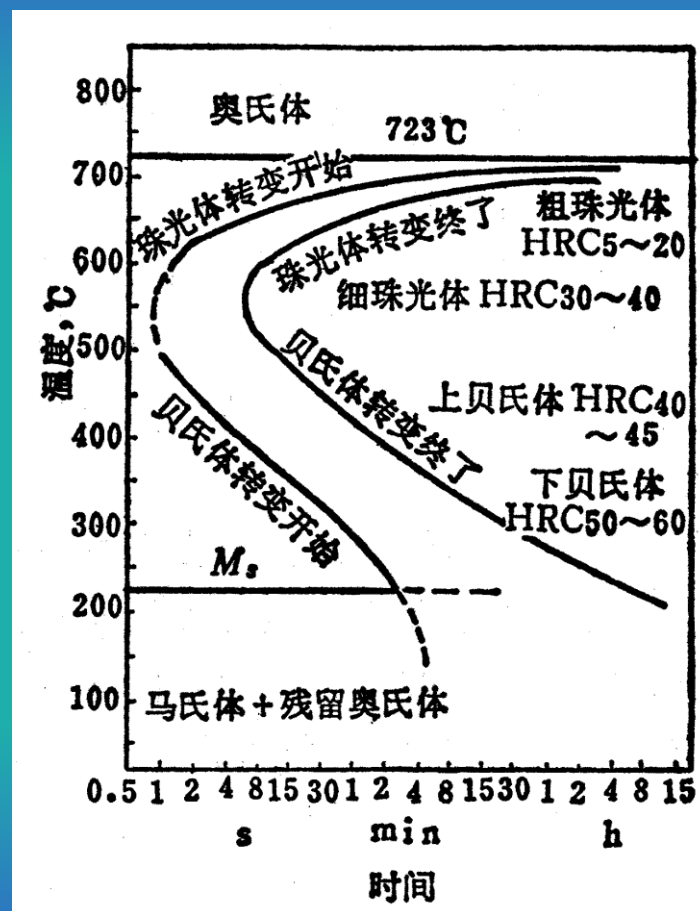


图2-49 共析碳钢的C曲线

# 一、贝氏体的组织形态及性能特点

## 1. 贝氏体的组织形态

按照组织形态的不同，贝氏体大致可分为以下六种：

- 上贝氏体
- 下贝氏体
- 粒状贝氏体
- 无碳化物贝氏体
- 反常贝氏体
- 柱状贝氏体。

## (1) 上贝氏体

- 在贝氏体转变温度范围内，在接近珠光体转变温度的较高温区域内形成的贝氏体是上贝氏体。
- 上贝氏体是一种两相组织，由铁素体和渗碳体组成。

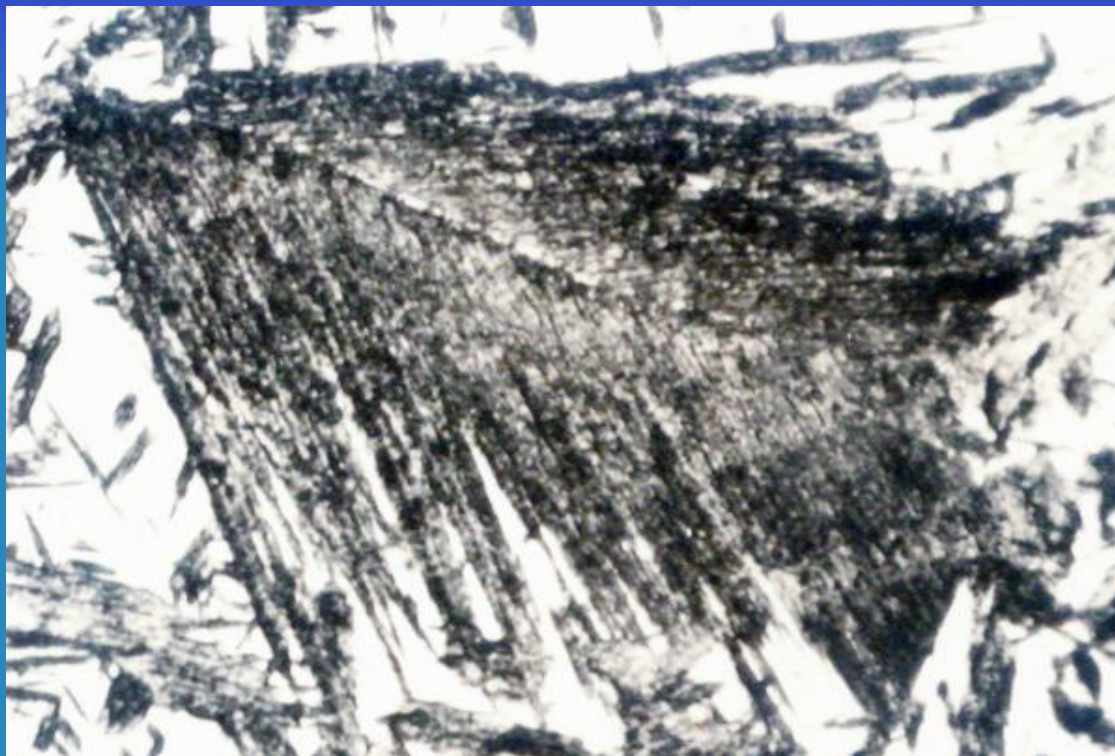


图2-50 上贝氏体的典型组织形态

(65Mn钢：铅浴淬火， $\times 750$ )

整体上看呈羽毛状

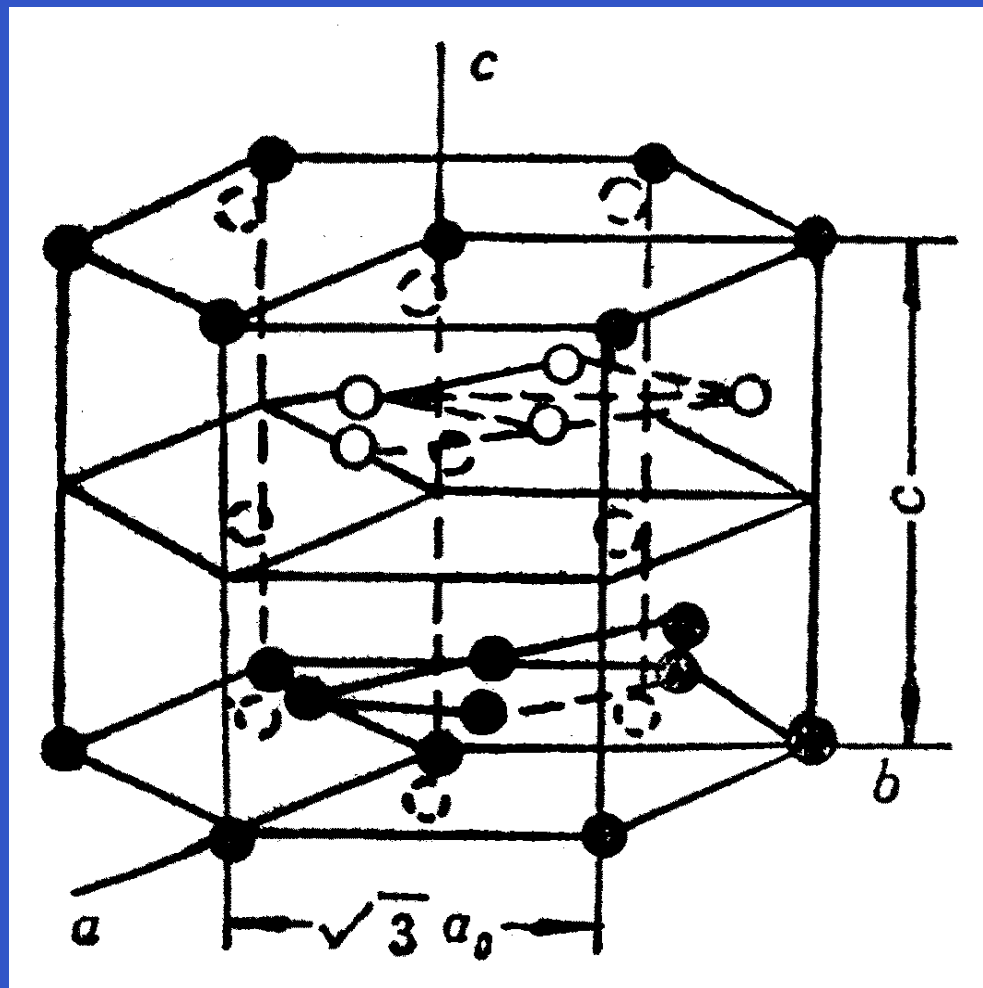




图2-51 上贝氏体中的渗碳体  
(60钢：900℃奥氏体化，按50℃/s冷却，×5000)

## (2) 下贝氏体

- 在贝氏体转变温度范围内，在靠近马氏体转变温度的较低温度区域内形成的贝氏体是下贝氏体。
- 下贝氏体也是一种两相组织，由含碳量过饱和的**铁素体**和亚稳定的 $\epsilon$ **碳化物**组成。



$\epsilon$  碳化物为密排六方点阵，化学式可写为  $\text{Fe}_{2.4}\text{C}$

图2-52  $\epsilon$ 碳化物的晶格模型





图2-50 下贝氏体的典型组织形态

(0.545C-1.2Cr-4.12Ni-0.43Mo-0.82W钢: 850℃  
加热30min, 按0.006℃/s冷却,  $\times 1500 \times 3/4$ )



图2-51 下贝氏体内的碳化物

(0.545C-1.2Cr-4.12Ni-0.43Mo-0.82W钢：850℃加热  
30min，按0.006℃/s冷却，×5000)

## 2. 贝氏体的性能特点

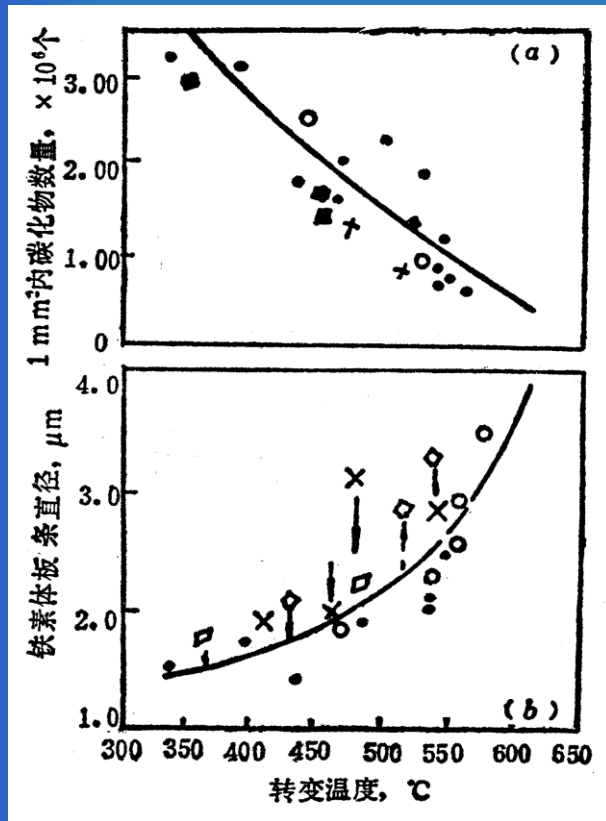


图2-52 贝氏体形成温度对碳化物弥散度(a)和铁素体板条宽度(b)的影响

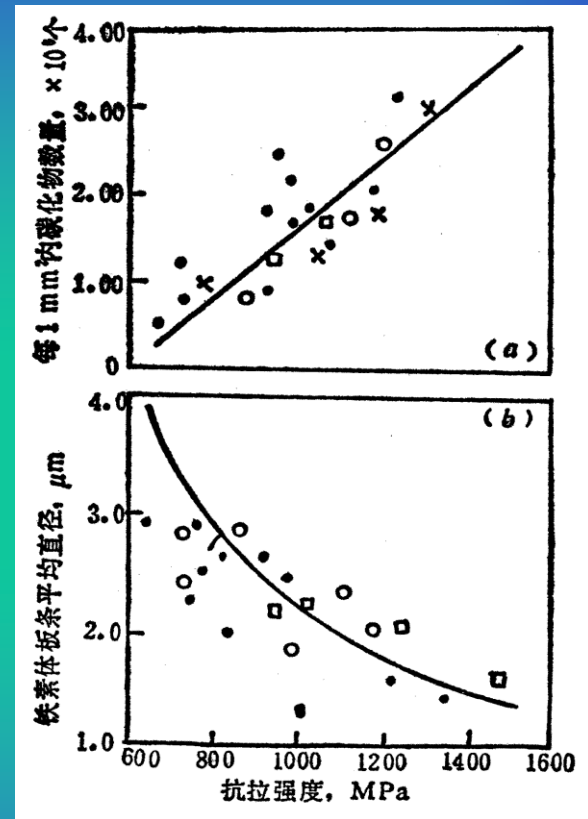


图2-53 贝氏体中的碳化物弥散度(a)和铁素体板条宽度(b)对强度的影响

- **上贝氏体**中铁素体和渗碳体的分布都具有明显的方向性，且铁素体和渗碳体的尺寸均较大，因此**强度较低**。
- 这种组织对裂纹扩展的抗力较小，铁素体板条甚至可能成为裂纹扩展的通道，故其**塑性、韧性较差**。
- **下贝氏体**的形成温度低，贝氏体中铁素体片较细，且是位错亚结构，碳化物的弥散度也大，与上贝氏体相比，不但**强度高**，而且**韧性好**。

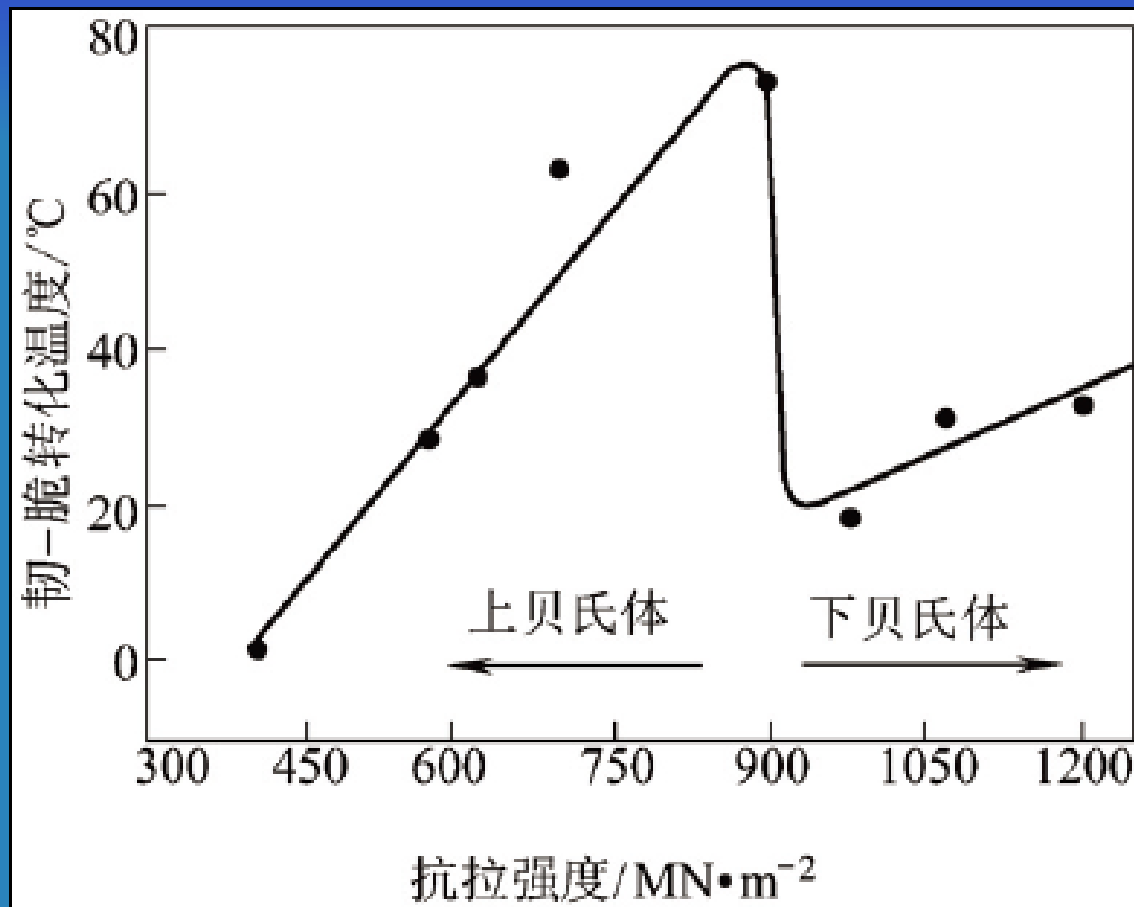


图2-54 低碳贝氏体钢上贝氏体与下贝氏体的抗拉强度与韧脆转化温度的关系

## 二、贝氏体转变的特点及机理

### 1. 贝氏体转变的基本特点

(1) 贝氏体转变有一个上限温度，即 $B_s$ 点；贝氏体转变也有一个下限温度，即 $B_f$ 点。

(2) 贝氏体转变也是一个形核与晶核长大的过程，一般以铁素体为领先相。

(3) 贝氏体转变的速度比马氏体转变慢得多。

(4) 贝氏体形成时会产生表面浮凸，新相与母相之间也存在一定的晶体学取向关系。

(5) 贝氏体转变可能与珠光体转变或马氏体转变重叠。

## 2. 贝氏体转变的机理

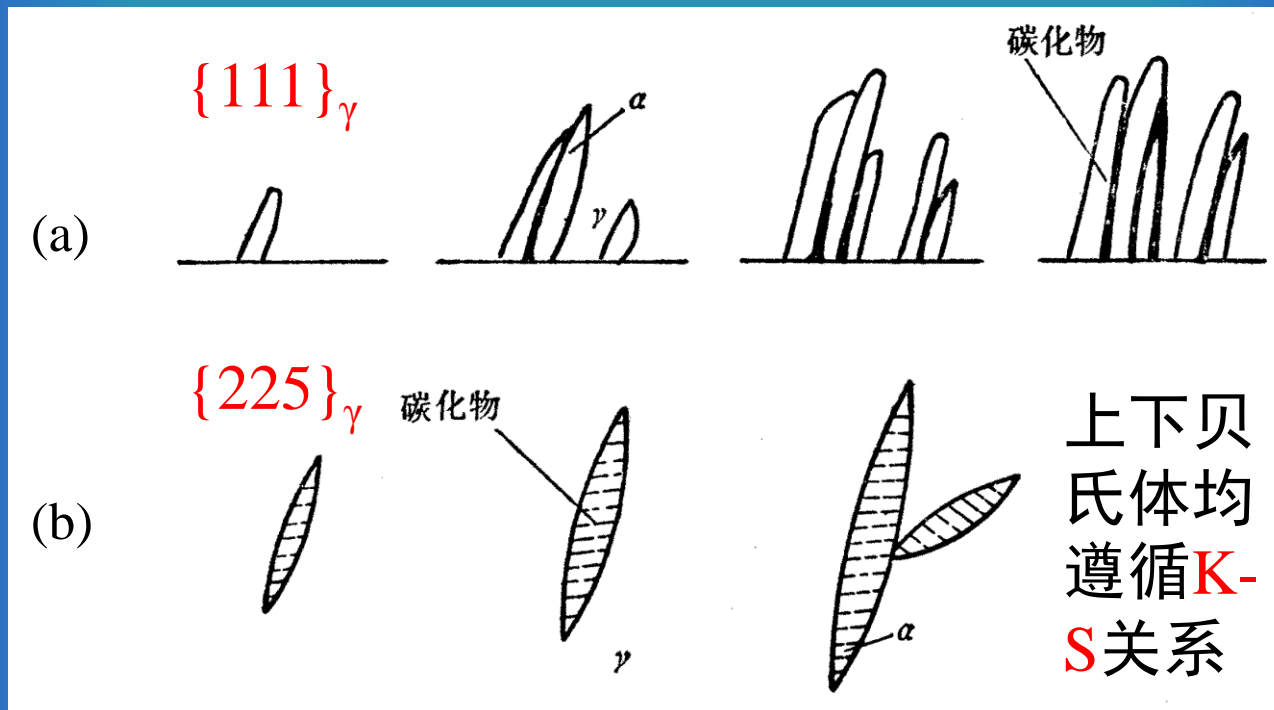


图2-55 切变机制示意图  
(a) 上贝氏体；(b) 下贝氏体



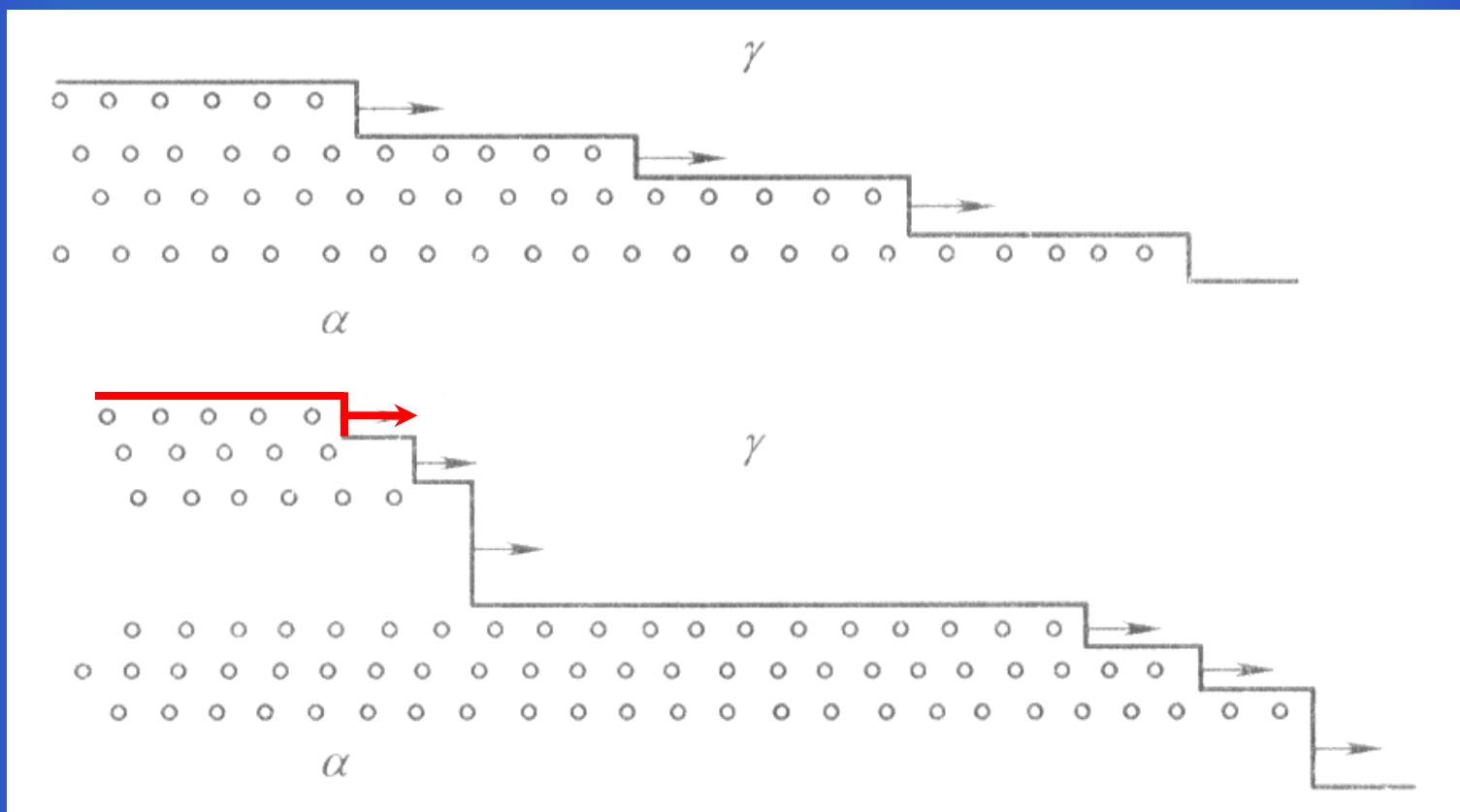


图2-56 台阶机制示意图

### 三、合金元素对贝氏体转变的影响

- 在一般情况下，除了Co能加速贝氏体转变以外，其他合金元素，如C、Mn、Ni、Cr、Si、W、Mo、V、B等，只要溶于奥氏体都延缓贝氏体转变，并使转变的温度区间降低(除Ni外)。
- 其中以C、Mn、Cr、Ni最为明显，尤其是对下贝氏体形成的影响尤为显著。

# 表2-1 珠光体、马氏体与贝氏体转变特点的比较

转变类型	珠光体转变	贝氏体转变	马氏体转变
转变温度范围	高温转变( $A_{r1} \sim 550^{\circ}\text{C}$ )	中温转变 ( $500^{\circ}\text{C} \sim M_s$ )	低温转变 ( $M_s$ 以下)
扩散性	铁原子、合金元素原子与碳原子均扩散	碳原子扩散	铁原子、合金元素原子与碳原子均不扩散
形核、长大与领先相	形核、长大，一般以渗碳体为领先相	形核、长大，一般以铁素体为领先相	形核、长大
共格性	无共格性	具有共格性，产生表面浮凸现象	具有共格性，产生表面浮凸现象
组成相及组织	两相组织 $\gamma\text{-Fe(C)} \rightarrow \alpha\text{-Fe} + \text{Fe}_3\text{C}$	两相组织 $\gamma\text{-Fe(C)} \rightarrow \alpha\text{-Fe(C)} + \text{Fe}_3\text{C}$ (约 $350^{\circ}\text{C}$ 以上) $\gamma\text{-Fe(C)} \rightarrow \alpha\text{-Fe(C)} + \text{Fe}_x\text{C}$ (约 $350^{\circ}\text{C}$ 以下)	单相组织 $\gamma\text{-Fe(C)} \rightarrow \alpha\text{-Fe(C)}$