



山东交通学院

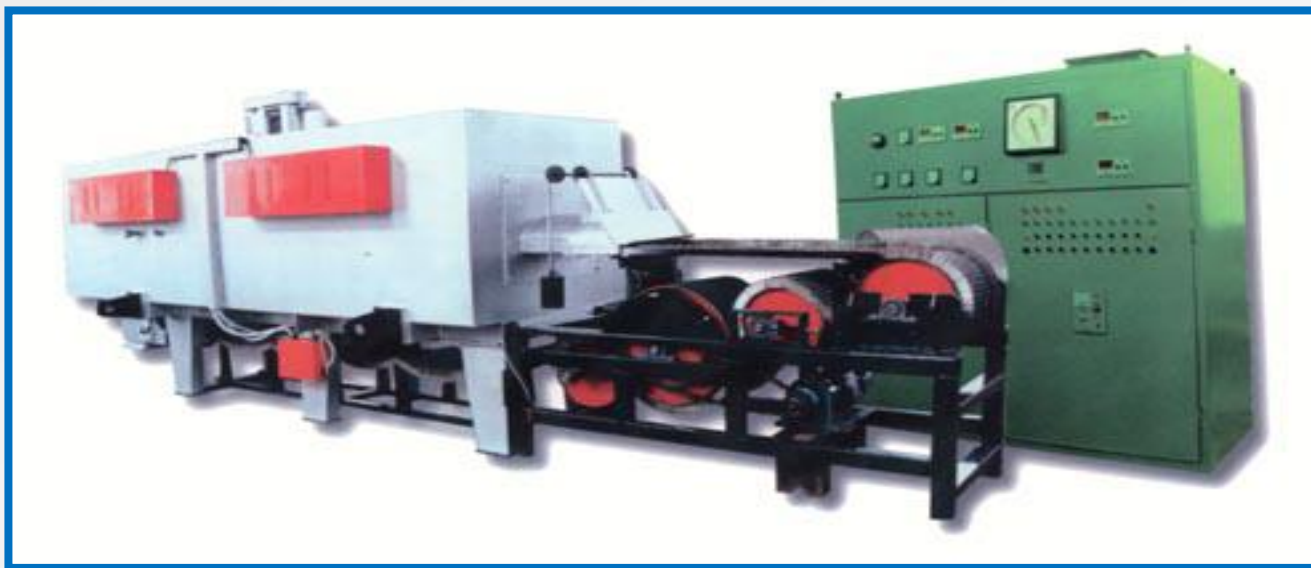
# 淬火钢的回火

主讲教师：孔秀华

轮机  
工程材料

## ☑ 回火

- ❑ 为了改善淬火钢的组织 and 性能、降低脆性和消除淬火应力，将淬火钢重新加热，创造原子扩散的条件，这就是对淬火钢进行的回火热处理。
- ❑ 把淬火钢重新加热到A1以下一定温度，保温一段时间后在空气中冷却的操作称为回火，回火是在钢淬火后立即要进行的热处理。



网带式回火电炉

## ☑ 回火的目的

- ❑ 减少或消除淬火内应力，防止变形或开裂。
- ❑ 淬火钢一般硬度高，脆性大，回火可降低硬度，提高塑性。
- ❑ 稳定工件组织和尺寸。淬火M和A'都是非平衡组织，有自发向平衡组织转变的倾向。回火可使M与A'转变为平衡或接近平衡的组织，防止使用时变形。

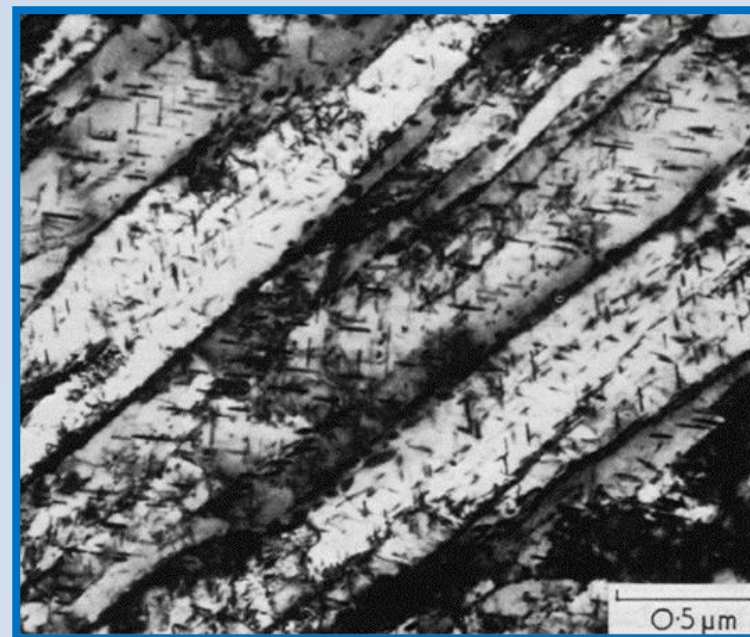
## ☑ 组织转变和性能变化

淬火钢在回火时内部组织发生复杂的变化，既有马氏体的分解、残余奥氏体的分解和碳化物的转变，还有铁素体的恢复和再结晶等组织转化。

## ☑ 组织转变和性能变化

### □ 200℃以下的马氏体分解阶段

- 当回火温度小于100℃时，钢的组织没有变化。在100~200℃时，马氏体中的碳以  $\epsilon$  碳化物（即 $\text{Fe}_2.4\text{C}$ ）形式析出，使马氏体含碳的过饱和度降低，而钢的硬度并不降低。 $\epsilon$  碳化物以极细小的片状分布于马氏体基体上，此种组织称为回火马氏体 $M'$ （Tempered Martensite）。
- 回火马氏体与淬火马氏体形状基本一样，仍为条状；高碳钢回火马氏体呈黑色针状。
- 性能变化：内应力逐渐减小，力学性能基本不变。



透射电镜下的回火马氏体形貌

## ☑ 组织转变和性能变化

### □ 200~300℃时的残余奥氏体分解阶段

- 200~300℃时， 由于马氏体的不断分解，减轻了对残余奥氏体的压力。  
Ms 上升，A' 分解，转变为回火马氏体。
- 性能变化：残余奥氏体的分解使钢的体积增大，脆性显著增加，出现回火脆性。

## ☑ 组织转变和性能变化

### □ 250~400℃时的碳化物转变阶段

- 在此温度范围内回火马氏体中的  $\varepsilon$  碳化物由亚稳状态转变为稳定的渗碳体，同时马氏体脱溶基本完成恢复铁素体的平衡成分，从而形成在保持马氏体形态的铁素体基体上分布着细粒状渗碳体的两相机械混合物。这种组织称为回火屈氏体，用  $T'$  表示。
- 性能变化：内应力基本消除，硬度下降，塑韧性增加。

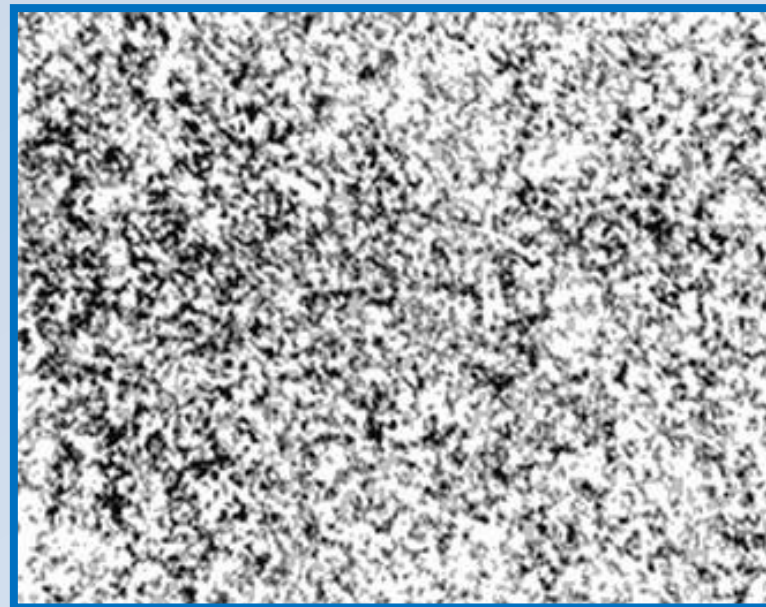


回火屈氏体

## ☑ 组织转变和性能变化

### □ 大于400℃时Fe<sub>3</sub>C聚集长大和铁素体再结晶阶段

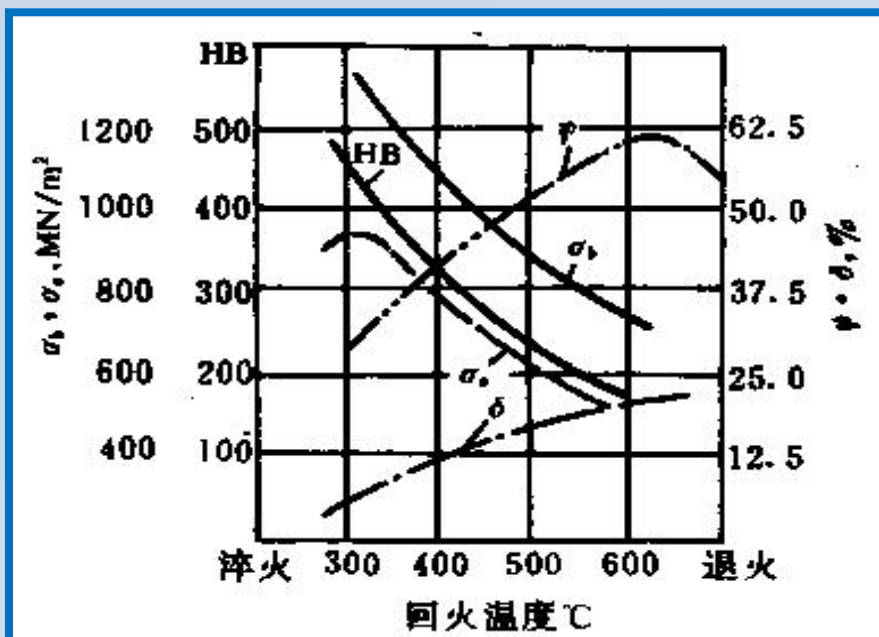
- 在高于400℃时，渗碳体逐渐聚集长大形成较大颗粒。同时，铁素体的成分虽恢复到平衡成分，但形状仍保留马氏体的针状。
- 在回火加热到500℃左右时发生再结晶，由针状变为等轴晶粒。这种粒状的铁素体与渗碳体的机械混合物称为回火索氏体S'（Tempered Sorbite）表示。
- 性能变化：获得良好的综合机械性能。



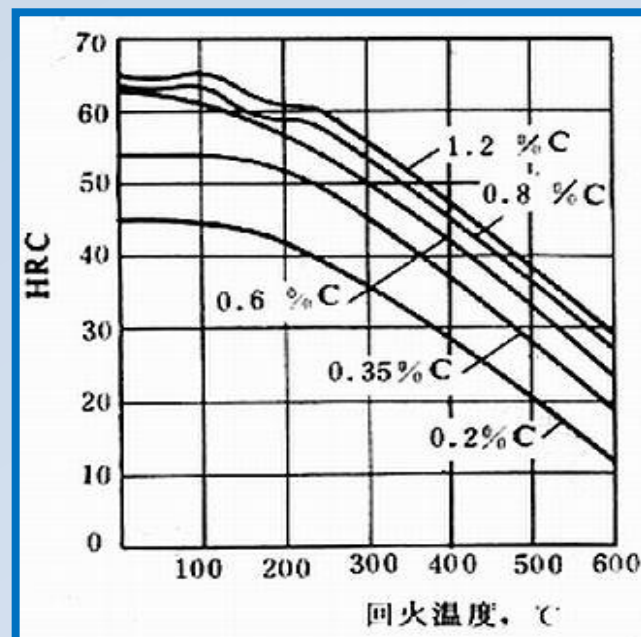
回火索氏体

## ☑ 回火时的性能变化

- 回火时力学性能变化总的趋势是随回火温度提高，钢的强度、硬度下降，塑性、韧性提高。



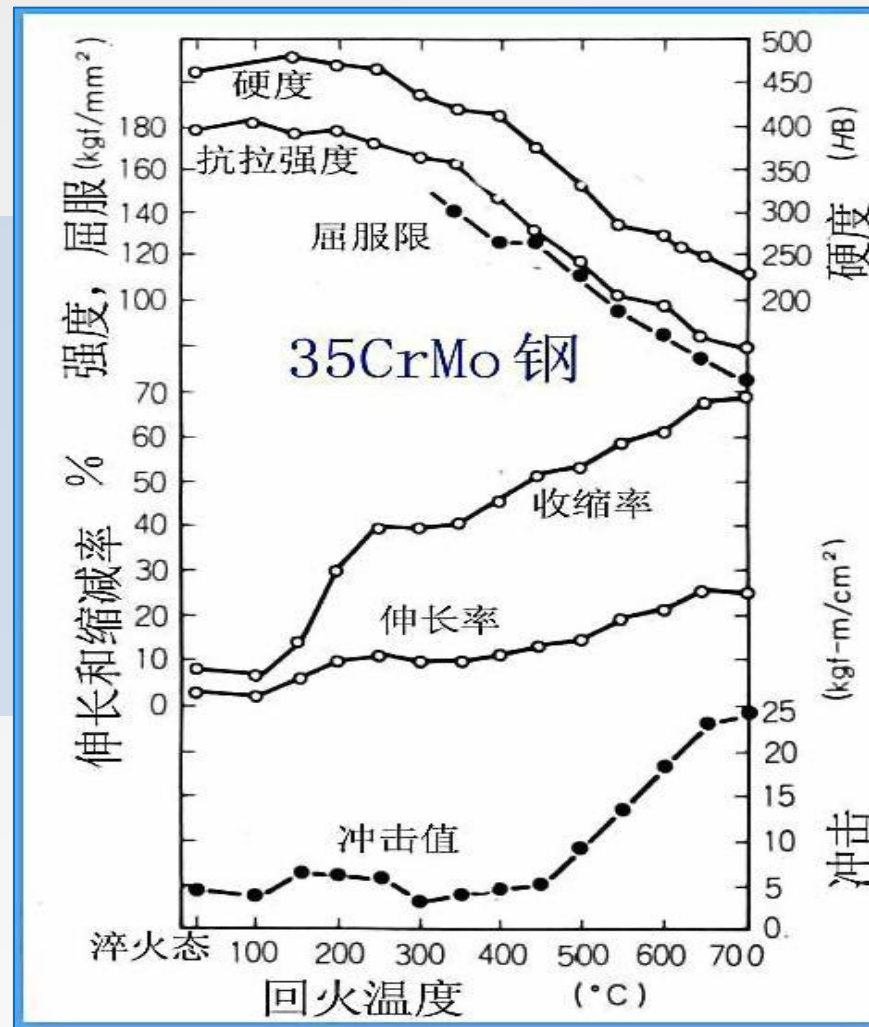
40钢力学性能与回火温度的关系



淬火钢硬度随回火温度的变化

## ☑ 回火脆性

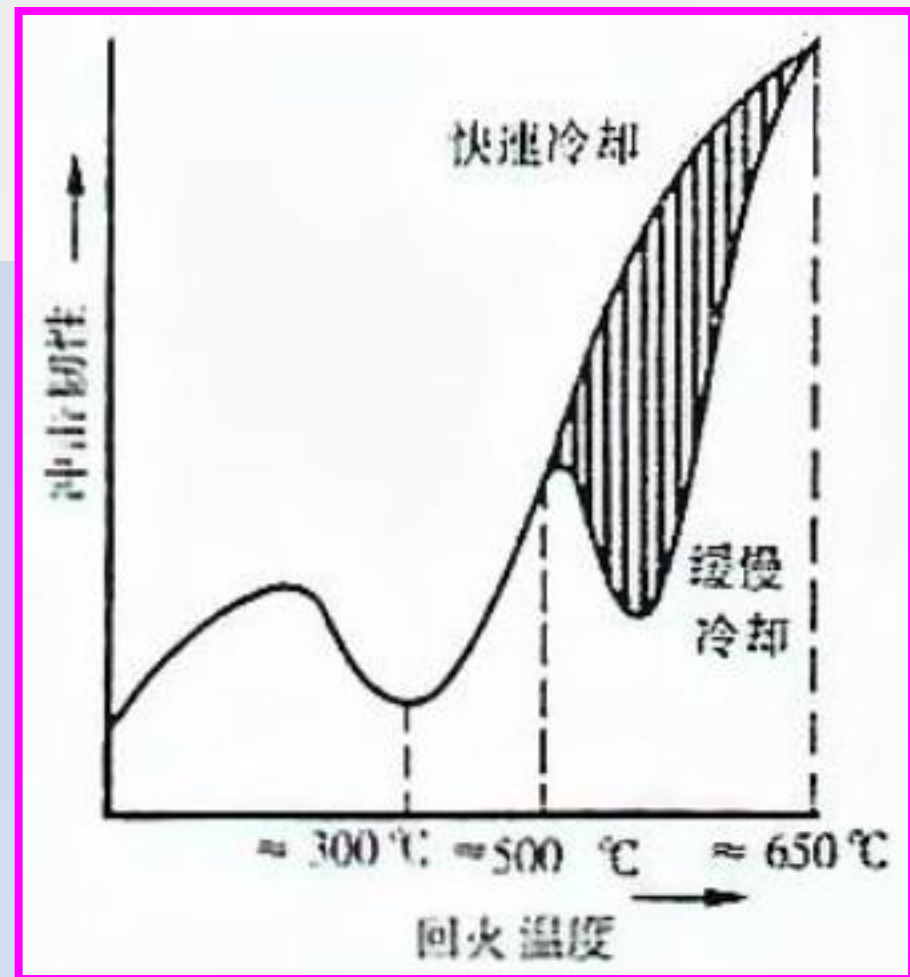
- ❑ 淬火钢的韧性并不总是随温度升高而提高。
- ❑ 在某些温度区间或回火后缓冷通过该温度区间时，会出现冲击韧性下降的现象，称回火脆性。



## ☑ 回火脆性

### □ 第一类回火脆性

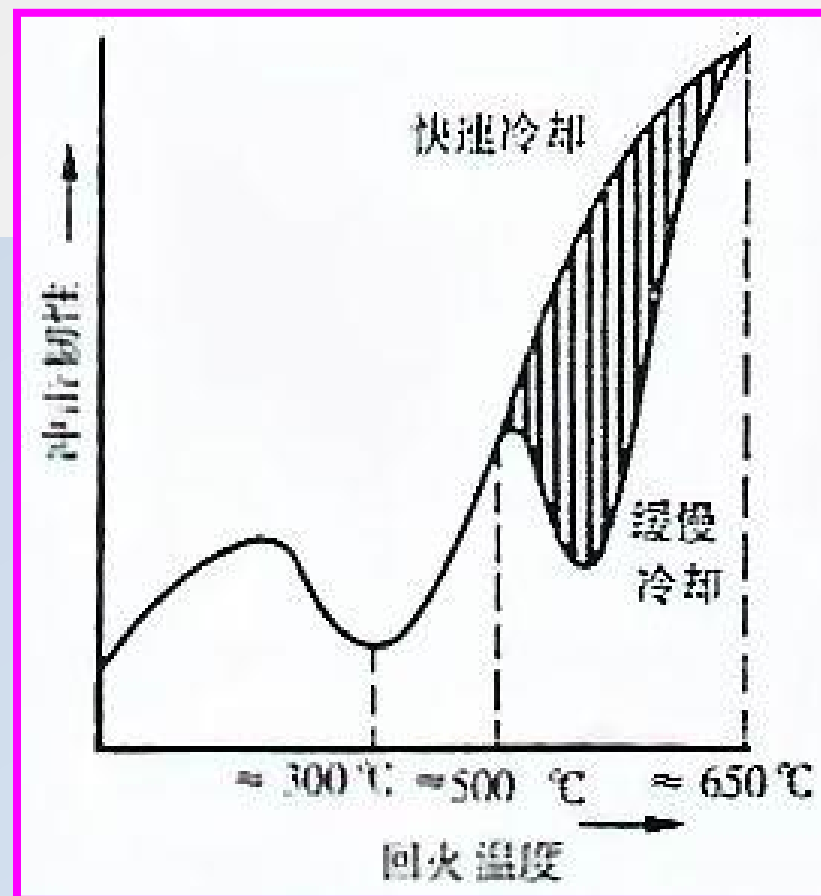
淬火钢在 $250\sim 350^{\circ}\text{C}$ 回火时产生的脆性称第一类（或低温）回火脆性，这种回火脆性是不可逆的。这是因为 $A'$ 分解成 $M'$ 。几乎所有的钢都不同程度地产生这种脆性。目前尚无消除此种脆性的方法，回火时应避开这一温度范围。



## ☑ 回火脆性

### □ 第二类回火脆性

- 淬火钢在 $450\sim 650^{\circ}\text{C}$ 回火时产生的脆性称为高温（或第二类）回火脆性，或称可逆回火脆性。它主要发生在含Cr、Ni、Mn、Sn的合金调质钢中。是由于保温时间过长或冷速过低引起的。
- 为防止第二类回火脆性的出现，小零件可采用重新高温回火时快冷；大零件可选用含有0.5%Mo或1%W元素的合金钢。

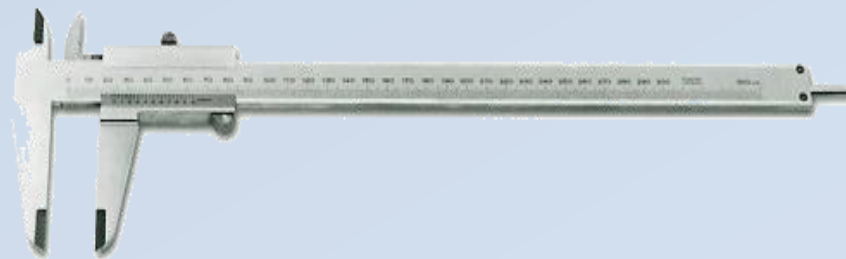


镍铬钢高温回火脆性与冷速的关系

## ☑ 回火工艺种类及应用

### □ 低温回火

- 温度：150~250℃。
- 组织：回火马氏体组织。
- 目的：降低淬火应力和脆性；并保持高硬度（58-64HRC）和高耐磨性。
- 应用：渗碳件、表面淬火件以及各种高碳钢制作的刀具、量具、冷作模具、滚动轴承等。



## ☑ 回火工艺种类及应用

### □ 中温回火

- 温度：350~500℃。
- 组织：回火屈氏体组织。硬度为35~45HRC。
- 目的：提高的弹性极限和屈服极限，并有一定的塑性和韧性。
- 应用：各种弹簧、热锻模等。



模具



弹簧

## ☑ 回火工艺种类及应用

### □ 高温回火

- 温度：500~650℃。
- 组织：获得粗粒状的回火珠光体。
- 目的：综合机械性能好。
- 应用：各种重要的结构零件，特别是承受交变载荷的柴油机曲轴、连杆、活塞杆及其他轴类零件、齿轮、重要螺栓等。



轴



齿轮



连杆



曲轴

## ☑ 回火工艺种类及应用

### □ 高温软化回火

- 温度：640～680℃。
- 组织：回火珠光体。
- 目的：具有强度低、塑性好和优良的可切削加工性。
- 应用：主要用于马氏体钢的软化和高碳合金钢的淬火返修，以代替球化退火。



## 考考你



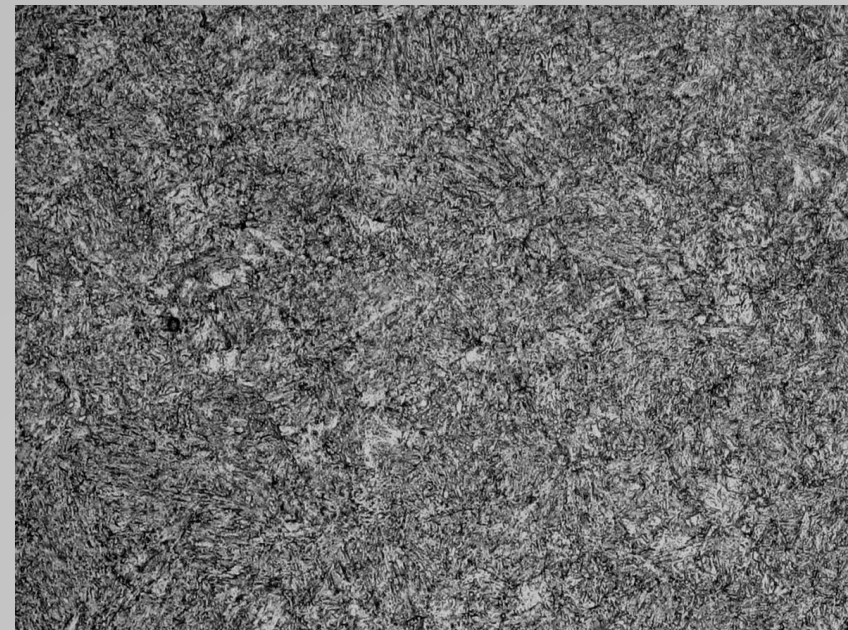
✓ 1. M随着回火温度的升高，强度和硬度、塑性和韧性的变化是\_\_**B**\_\_。

A. 提高/降低

B. 降低/提高

C. 不变/提高

D. 降低/不变



参考答案：



## 考考你



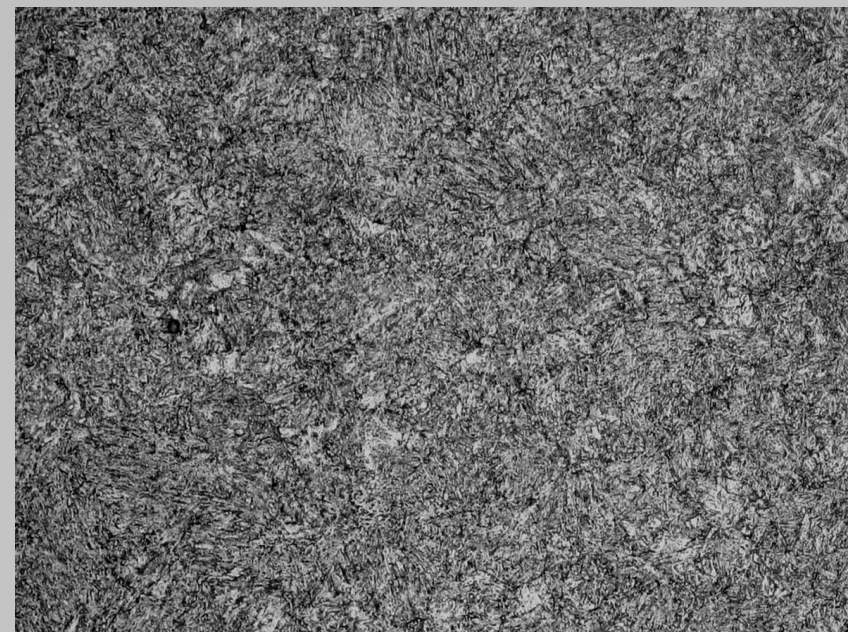
☒ 2. 用淬火后再进行低温回火的热处理工艺可提高钢的  
    C    。

A. 强度和弹性

B. 硬度和弹性

C. 硬度和耐磨性

D. 韧性和耐磨性



参考答案：



考考你 ◆



山东交通学院

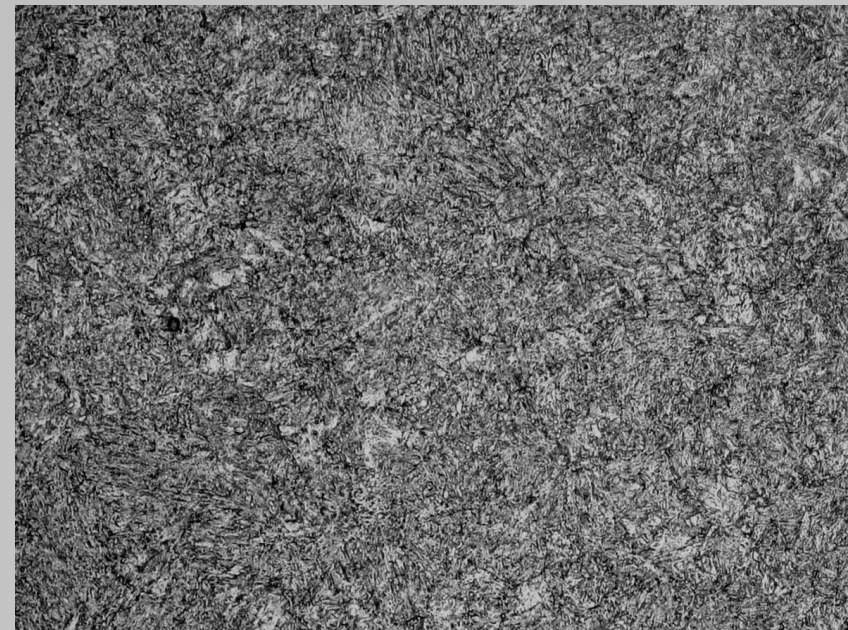
☒ 3. 调质处理是 C。

A. 淬火后低温回火

B. 淬火后中温回火

C. 淬火后高温回火

D. 淬火后冷处理



参考答案：



考考你 ◆



山东交通学院

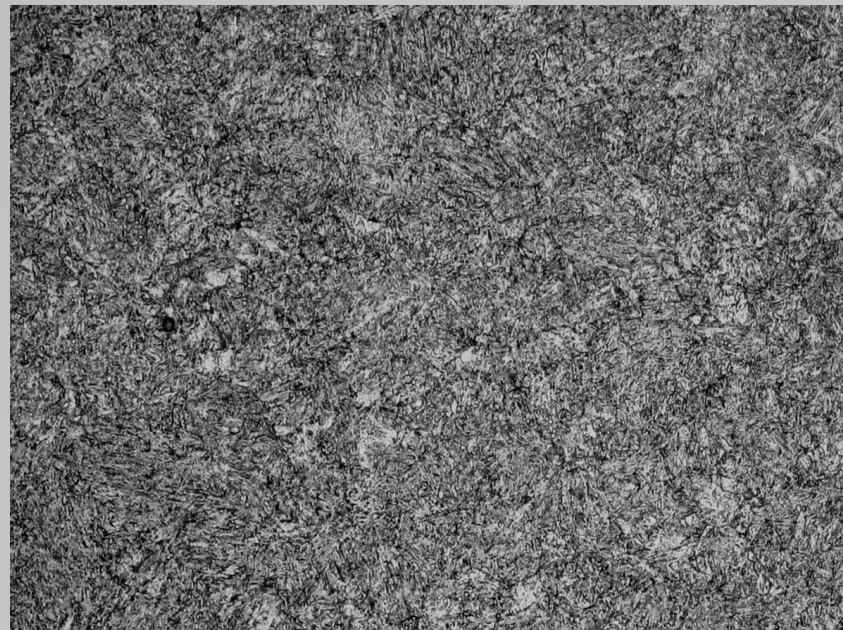
☒ 4. 淬火钢出现不可逆回火脆性的温度是\_\_\_\_\_A\_\_\_\_\_。

A. 150~250℃

B. 250~350℃

C. 350~450℃

D. 450~650℃



参考答案:



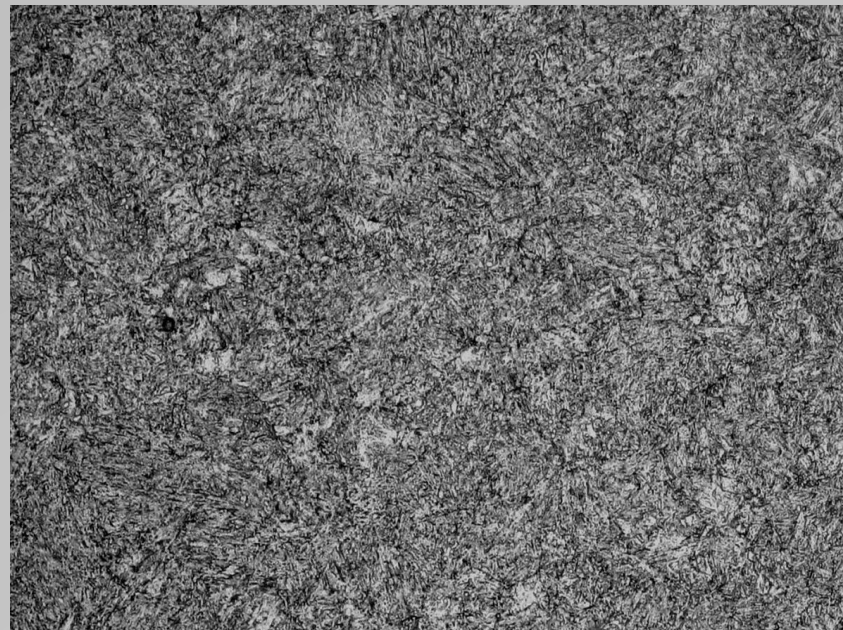
考考你 ◆



山东交通学院

☒ 5. 为消除高温回火脆性可在淬火钢中加入\_\_\_\_\_D\_\_\_\_\_。

A. Cr      B. Si      C. V      D. W



参考答案:



| 山东交通学院

谢 谢 观 看

Thanks for watching!

轮机  
工程材料