

第七章 合金钢

- ✧ 第一节 概述
- ✧ 第二节 合金元素在钢中的作用
- ✧ 第三节 合金结构钢
- ✧ 第四节 轴承钢
- ✧ 第五节 合金工具钢
- ✧ 第六节 不锈钢耐蚀钢和耐热钢
- ✧ 第七节 粉末冶金材料

第一节 概述

一、合金钢的概念

为了改善性能（力、物、化）而特意加入某些合金元素的钢，这类钢就称为合金钢。

二、钢中的合金元素

Me	Ti、Zr、Nb、V、	W、Mo、Cr、Mn、	Fe	Si、Ni、Al、Cu、Co
化学性质	强碳化物形成元素	碳化物形成元素		非碳化物形成元素
	强←与 C 亲和力（形成 MeC 强弱程度）			
与 Fe、C 结合类型	形成①Fe (Me) ₃ C 型 ②特殊 TiC、VC、	①Fe (Me) ₃ C 型 ②WC ③溶于 α		只溶于 α，固溶强化 *对 Ak 有影响：一般 > 1%， Ni > 3%会使 Ak ↓， ∴结构钢不能太高
对钢作用	①使钢 HB、耐磨性、热硬性 ↑。 ②细化晶粒 (Mn 除外)			



第一节 概述

三、合金钢的分类及编号方法

1、分类

(1) 按成分分类

	低碳钢	中碳钢	高碳钢
C%	<0.25	0.25~0.6	>0.6
	低合金钢	中合金钢	高合金钢
Me总量%	<2.5	2.5~10	>10

(2) 按使用特性分类



按使用特性分类

合金钢	合金结构钢	工程结构钢	普通碳素结构钢	Q235
			低合金高强度结构钢	Q345 (16Mn 等)
			高锰钢	Mn13
		机械结构钢	渗碳钢	20CrMnTi
			调质钢	45, 40Cr
			弹簧钢	65Mn, 60Si2Mn
			低合金超高强度钢	30CrMnSiNi2A
			易切削钢	Y40Mn
	轴承钢	GCr15		
	合金工具钢	刀具钢	碳素工具钢	T7~T13
			低合金刀具钢	9SiCr
			高速钢	W18Cr4V
		模具钢	冷作模具钢	Cr12MoV
			热作模具钢	5CrNiMo
			塑料模具钢	含 Cr, Ni, Mo, Mn 等的各种钢
		量具钢	用刀具钢、弹簧钢、不锈钢等	
	不锈钢耐蚀钢、耐热钢	不锈钢	M 型不锈钢	1Cr13~4Cr13
			γ 型不锈钢	1Cr18Ni9Ti
		耐热钢	抗氧化钢	3Cr18Mn12Si2N
			热强钢	15CrMo (P), 1Cr11MoV (M), 1Cr18Ni9Ti



合金钢的分类及编号方法

2. 编号方法

合金钢的编号能反映出该钢号的主要成分，包括碳质量分数、合金元素及其质量分数。

编号原则：数字+元素符号+数字

i 碳质量分数

ii 合金元素及其质量分数



合金钢的编号方法

数字+元素符号+数字

➤合金结构钢：

- 前面的数字表示钢的平均碳质量分数的万分数。
- 元素符号后面的数字则表示元素平均质量分数的百分数。当元素质量分数小于1.50%时，编号中只标明元素符号而不标出表示质量分数的数字。

例如：**60Si2Mn**

➤铬轴承钢则属特殊，钢号前冠以专业用钢代号“**G**”， **Cr**

的质量分数以千分数表示。
例如：**GCr15**表示该钢**Cr**的质量分数为**1.5%**。



合金钢的编号方法

数字+元素符号+数字

➤ 合金工具钢及不锈钢:

- 前面的数字表示钢的平均碳质量分数的千分数。但当钢中的碳质量分数大于或等于1.0%时，不标数字。

例：5CrMnMo, 1Cr18Ni9Ti, Cr12MoV

有例外：高速工具钢W18Cr4V,

Wc为0.7-0.8%, 但不标。

- 后面数字表示方法同合金结构钢



第二节 合金元素在钢中的作用

- 合金元素在合金钢中可能处于的三种状态：
固溶状态、化合状态及游离态。
- 合金元素在钢中的作用包括：
 - 对钢中基本相的影响
 - 对**Fe-Fe₃C**相图的影响
 - 对热处理过程的影响



一、合金元素对钢中基本相的影响

1、溶于铁素体，固溶强化。

2、形成碳化物

- 合金渗碳体： **$(\text{FeMe})_3\text{C}$**

- 合金碳化物： **Mn_3C 、 Cr_7C_3 、 Cr_{23}C_6 、 $\text{Fe}_4\text{W}_2\text{C}$** 等

□ 特殊碳化物： **WC 、 MoC 、 W_2C 、 VC 、 TiC**

Me	Ti、Zr、Nb、V、	W、Mo、Cr、Mn、	Fe	Si、Ni、Al、Cu、Co
化学性质	强碳化物形成元素	碳化物形成元素		非碳化物形成元素
	强←与C亲和力（形成MeC强弱程度）			
与Fe、C结合类型	形成①Fe(Me) ₃ C型 ②特殊TiC、VC、	①Fe(Me) ₃ C型 ②WC ③溶于α		<u>只溶于α，固溶强化</u> *对Ak有影响：一般>1%， Ni>3%会使Ak↓， ∴结构钢不能太高
对钢作用	① <u>使钢HB、耐磨性、热硬性↑。</u> ②细化晶粒(Mn除外)			



二、合金元素对Fe-Fe₃C相图的影响

1. 扩大 γ 区(如图)

- [A3 ↓、A4(NJ) ↑]、S点、E点向左下方移。
- Ni、Mn显著，甚至使A3 ↓ < 室温 → γ 钢：1Cr18Ni9Ti、Mn13。

2. 缩小 γ 区(如图)

- [A3 ↑、A4(NJ) ↓]、S点、E点向左上方移。
- Cr显著，甚至使 γ 区消失 → α 钢：Cr17

3. S点左移

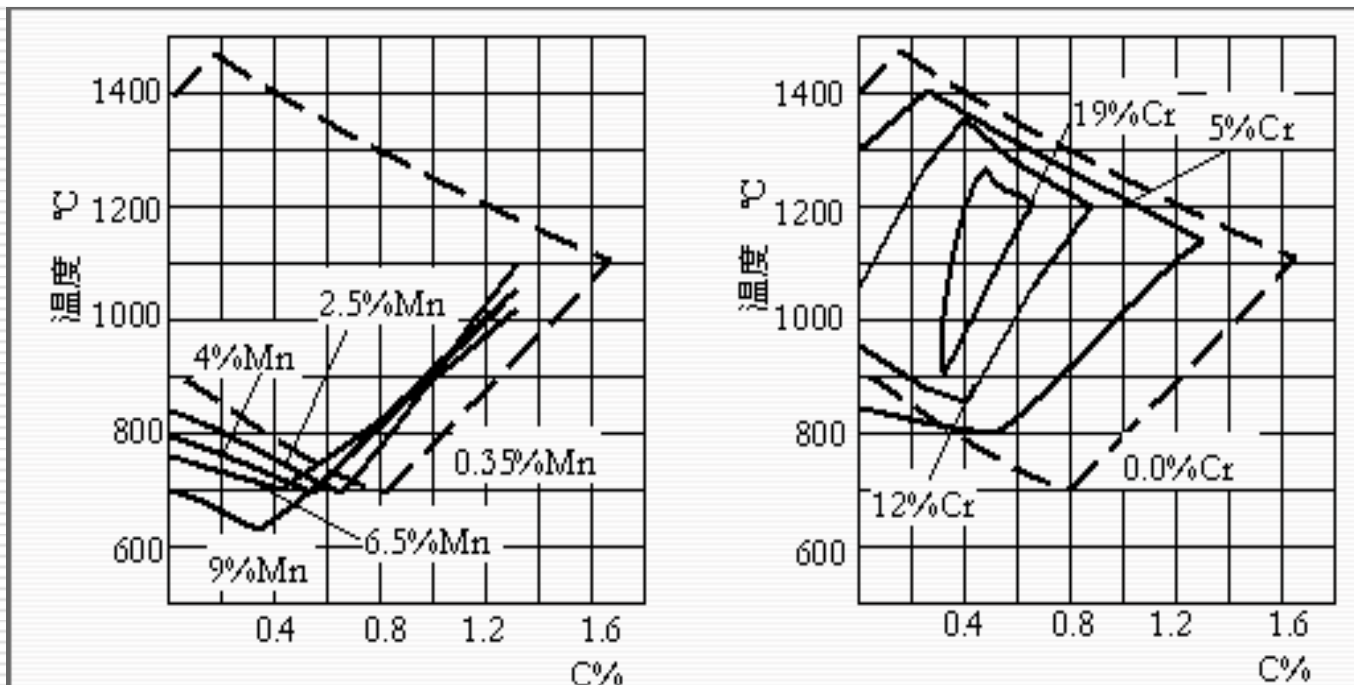
(共析点 < 0.77%C)：如3Cr2W8V (0.3%C) 为过共析钢。

E点左移

(E点 < 2.11%C)：如W18Cr4V (0.7~0.8%C) 为莱氏体钢。



合金元素对Fe-Fe₃C相图的影响



Mn对Fe-Fe₃C相图的影响

Cr对Fe-Fe₃C相图的影响



三、合金元素对热处理过程的影响

1、对加热转变的影响

● 加热（奥氏体化）：

除Ni、Mn外，**Me**使 A_1 、 A_3 、 A_{cm} \uparrow ， $\therefore T_{\gamma \text{ 化}} \uparrow$ ；

Me阻碍Fe、C原子扩散，且本身扩散困难，

$\therefore T_{\gamma \text{ 化}} \uparrow$ 。

● 阻碍奥氏体晶粒长大，即**细化晶粒**：

Ti、V、W、Mo

2、对冷却转变的影响

除Co外，当**Me**溶入 γ 时，

- 使“C曲线”右移，淬透性 \uparrow （如**W18Cr4V**在空气中即可
淬火获得**M**）；

甚至使“C曲线”分离，或只有P转变，或只有B转变。12



合金元素对热处理过程的影响

3、残余奥氏体量 ($A'\%$)

除Co、Al外，大部分合金元素使 $M_s \downarrow$ ， $A' \uparrow$ 。

4、回火转变

●提高回火稳定性——把回火转变过程向较高温度推移。

●甚至出现二次硬化：

- 1) Ti、V、W、Mo等 $[\rightarrow \gamma (M)]$ ，在500~600℃沉淀析出特殊碳化物，起沉淀（弥散）硬化作用；
- 2) A' 稳定，500~600℃仍不分解，回火冷却时转变成M，称二次淬火。

●消除第二类回火脆性：Mo、W



第三节 合金结构钢

□ 合金结构钢的定义

- 在碳素结构钢的基础上适当加入一种或几种合金元素而制成。
- 常用元素主要有**Cr**、**Si**、**Ni**、**Mo**、**W**、**V**、**Ti**等。

□ 合金结构钢的分类（按用途）

- 工程结构钢（最常用的是低合金结构钢及高锰钢）
- 机械结构钢（包括渗碳钢、调质钢、弹簧钢及易切削钢等）



一、工程结构钢

1. 低合金结构钢

多数情况不经热处理使用。热轧空冷状态下使用，经焊接、铆接或压力成型后一般不再进行淬火回火处理。



车辆



船舶



容器



桥梁



气储罐



低合金结构钢

(1) 常见牌号: **Q295**、**Q345 (16Mn)**、**Q390**

(2) 成分及组织特点

- **C% < 0.2%**, 在高强度基础上保持良好的塑性及韧性。
- 合金元素含量 \leq **3.0%**
- 组织: 铁素体 + 索氏体

(3) 合金元素作用及性能特点

- 合金元素: **Mn**、**Ti**、**V**、**Nb**、**Cu**、**Mo**和**Re**等。
- 合金元素的作用:
 - ① **Mn**: 强化铁素体, **Mn% < 1.8%** ;
 - ② **Ti**、**V**、**Nb**在钢中形成微细碳化物, 起细化晶粒和弥散强化作用;
 - ③ **Cu**、**P**提高抗大气腐蚀能力。



工程结构钢

2. 高锰钢

ZGMn13, 13%Mn, A型钢

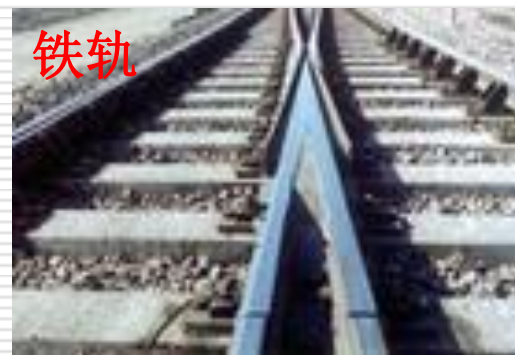
- 铸态组织 ($\gamma + K$) \rightarrow 水韧处理 ($1000 \sim 1100^{\circ}\text{C}$ 加热、水冷) $\rightarrow \gamma$ (**HB180~220**) \rightarrow 冲击、压力, 加工硬化 (**HB450~550**)

铸造成型: $\gamma +$ 碳化物, 晶粒粗大, 不均匀, 耐磨性差

水韧处理: 消除碳化物, 获得单相奥氏体组织。

- 性能: 在工作过程中受到剧烈冲击或较大压力作用时, 表层 γ 组织因为塑性变形而迅速产生加工硬化, 并有马氏体及 ϵ 碳化物形成, 获得高硬度、高耐磨性。

- 应用: 广泛应用于受强力冲击和磨擦的零件, 如: 铁道辙岔、挖掘机铲斗、碎石机颚板、防弹板及保险箱壳体等。



铁轨



二、机械结构钢

按用途分类：

- 渗碳钢
- 调质钢
- 弹簧钢
- 易切削钢

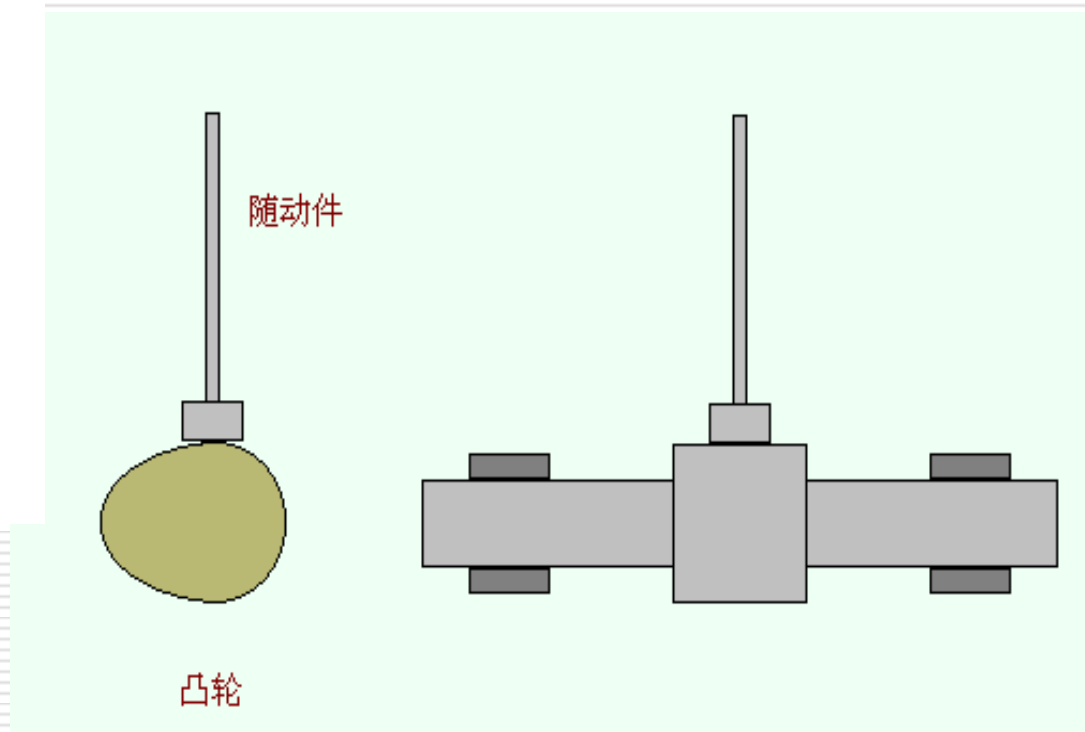


二、机械结构钢

1. 渗碳钢



汽车变速箱齿轮



凸轮机构

渗碳钢

➤定义

利用渗碳的方法获得表面高硬度耐磨、心部具有良好强韧性的钢。

➤用途

制造汽车、机车及工程机械等动力机械的传动齿轮、凸轮轴、活塞等。(典型零件：汽车、拖拉机变速齿轮)

➤常用牌号

20、 20Cr、 20CrMnTi、 20Cr2Ni4A 、 18Cr2Ni4W

➤成分

- 低C: 0.1~0.25%, 表面以渗碳方法增碳, 心部保持良好的塑性和韧性。
- 合金元素
 - 主要元素: Cr、 Ni、 Mn、 B, 提高淬透性;
 - 渗层 (σ_b 、耐磨性)、心部强韧性↑
 - 辅加元素: V 、 W 、 Mo 、 Ti, 细化晶粒



渗碳钢

➤ **热处理：**渗碳+淬火+低温回火。

典型零件：汽车变速齿轮



◆ **材料：** 20CrMnTi

◆ **工艺路线：**锻造→正火→机加工→渗碳+淬火
+低温回火→喷丸(压应力、 $\sigma_{-1} \uparrow$)→磨

◆ **各部分热处理组织及作用：**

正火： S+ α (少量)

①消除锻造缺陷（晶粒粗大、应力）；

②调整硬度、以利于切削加工。

渗碳+淬火+低温回火： 表：M_回+K+A' (少量)；

心：M_{低碳}，达到“**表硬心韧**”，
满足使用要求。



机械结构钢

2. 调质钢



曲轴



连杆



齿轮



机床主轴



调质钢

➤ 调质钢定义：

调质钢指采用调质处理（**淬火+高温回火**，获得**回火索氏体**组织）作为预先热处理或最终热处理的结构钢。

➤ 调质钢用途：

制造各类结构件及轴类零件，如机床主轴、连杆螺栓、内燃机曲轴等。

➤ 常用牌号：**45、40Cr、35CrMo、38CrMoAl**

➤ 成分特点：

- **中碳：0.30~0.50% C**；

- **合金元素：**

Cr、Ni、Mn、Si —— **提高淬透性**和强韧性

Mo —— 减轻或抑制第二类回火脆性

Al —— 加速氮化过程、提高渗氮层硬度和耐磨性



调质钢

➤ 热处理

典型零件：连杆螺栓（要求力学性能一致）

材料：40Cr

锻→正（退）火→粗车→调质→精车→装配

正火：S+α(少量)

① 消除锻造缺陷（晶粒粗大、应力）；

② 调整硬度、以利于切削加工。

调质：S_回，满足整体力学性能要求：良好的综合力学性能。



调质钢

➤ 热处理:

典型零件: 机床齿轮 :

材料: 45 (或40Cr)

锻→正火→粗机加工→调质→精机加工
→高频表面淬火+低温回火→磨

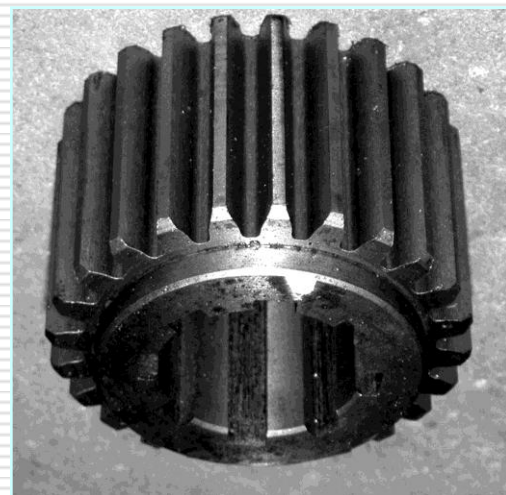
正火: 同上

调质: $S_{\text{回}}$, 保证心部的强度和韧性

高频表面淬火+低温回火:

表: $M_{\text{回}}+A'$ (少量); 心: $S_{\text{回}}$

达到“表硬心韧”, 满足使用要求。



机床变速箱齿轮



机械结构钢

3. 弹簧钢



弹簧



离合器弹簧



拉力弹簧



汽车板簧



弹簧钢

➤ 性能要求:

高的抗拉强度、高的屈强比 (σ_s / σ_b) 及高的疲劳强度, 同时还要求有较好的淬透性和低的脱碳敏感性。

➤ 分类及用途:

热轧弹簧钢: 大截面尺寸, 一般加热成型, **淬火+中温回火**, 获得回火托氏 (即屈氏体) 组织, 并进行喷丸处理, 提高疲劳强度。如汽车板簧;

冷拉 (轧) 弹簧钢: 小截面, 钢丝或薄钢带。冷绕成型后低温去应力定形处理。如气门弹簧。

➤ 典型牌号: **65、65Mn、60Si2Mn**

➤ 成分特点:

1) **碳%**: 0.50—0.75%C

2) **Me%: Si、Mn、Cr、V** —— **淬透性↑**, **回火稳定性↑**;
强化铁素体; **细化晶粒**。



弹簧钢

➤ 弹簧钢的热处理

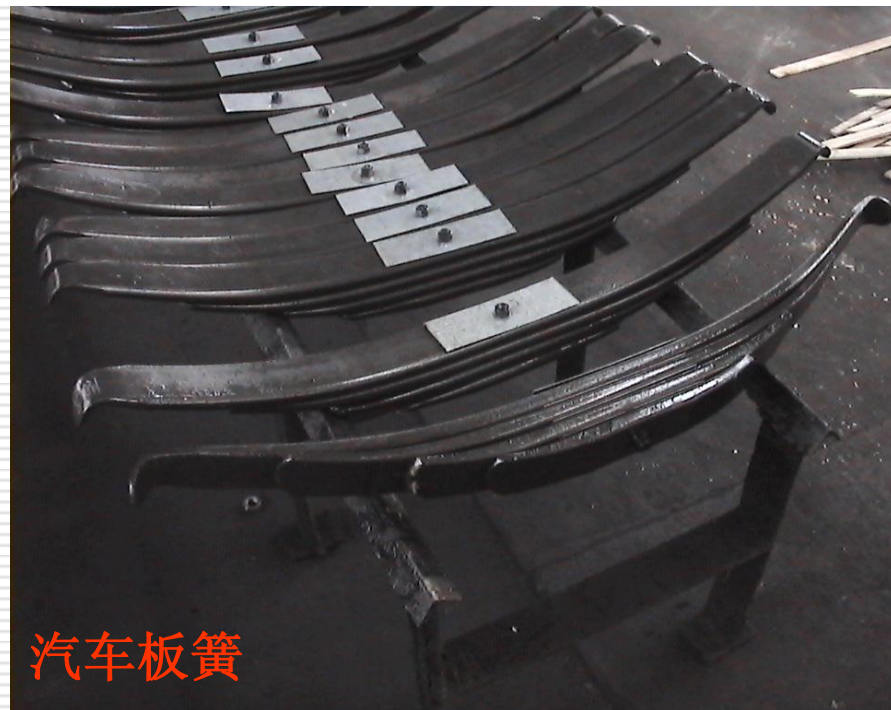
◆ 热成型弹簧：典型零件：60Si2Mn汽车板弹簧

扁钢剪断→加热成型→**淬火**→**中温回火** ($T_{\text{回}}$) →喷丸

◆ 冷绕成型弹簧：

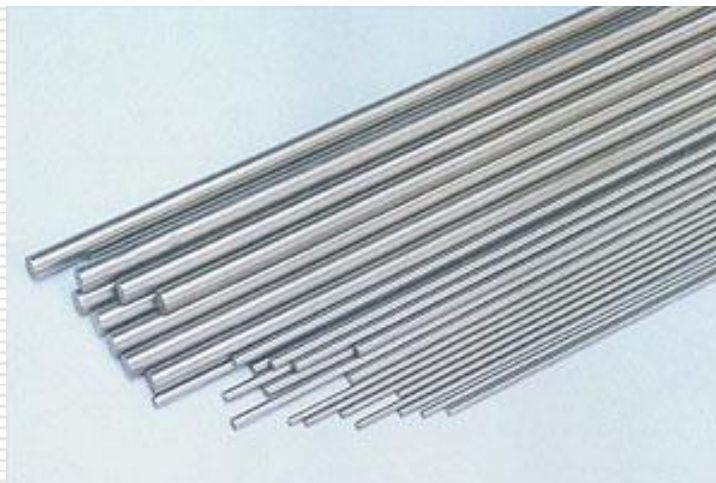
200~300℃去应力

定型处理



机械结构钢

4. 易切削钢



易切削钢棒



易切削钢油路部件



照相机外壳



易切削钢

➤加入元素:

S、P、Pb、Ca等，提高刀具寿命。

➤用途:

小型大批量标准件。（如仪表、钟表、照相机和计算机等的零件。）

➤性能要求:

在高速切削下易断屑、切削阻力小、表面质量好

➤编号及应用

钢号前冠以“**Y**”或“易”字样，其后面的数字表示万分之几的碳质量分数。若含**Mn**量较高者，在钢号后标出**Mn**或锰。

➤牌号:

Y12~Y30、Y40Mn、T10Pb、Y40CrSCa



第四节 轴承钢



滚珠

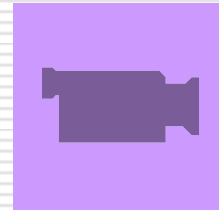


滚珠轴承

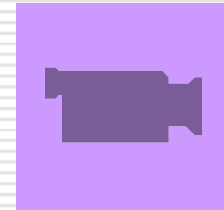


轴承

圆锥齿轮轴



各种轴承



轴承钢

➤用途:

制造滚动轴承组件（内外圈、滚子、滚珠）

➤典型牌号: **GCr15**

➤化学成分:

S ($\leq 0.02\%$)、**P** ($\leq 0.027\%$) 等杂质控制严格。

C: **0.95~1.15%**, 保证高硬度、高耐磨性能。

Cr: **1.5%**, 提高淬透性, 形成 $(\text{Fe,Cr})_3\text{C}$ 合金渗碳体,
获得高而均匀的硬度及耐磨性。

大型轴承: 添加适量 **Si+Mn**

(淬透性、弹性极限、 $a_k \uparrow$)



轴承钢

➤ 热处理

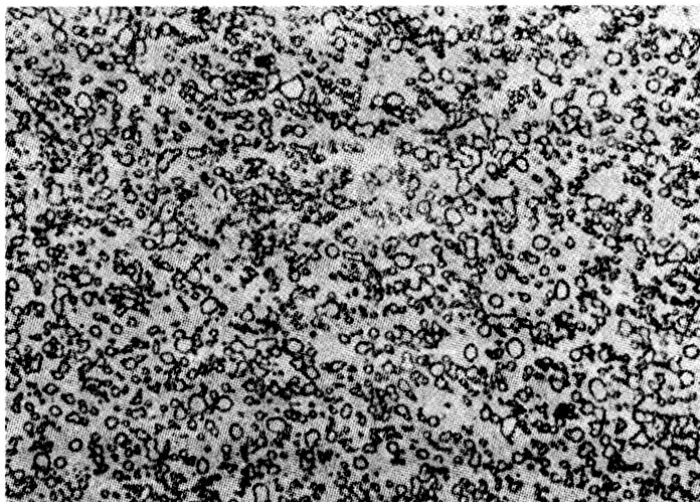
锻压→球化退火→机加工→淬火、低温回火→磨加工→成品

(预先热处理)



降低硬度

获得**F**+细小粒状(球状)碳化物



(最终热处理)



淬火: **830℃ (GCr15)**, 保护气氛
防氧化、脱碳;

回火: **150~170℃**

组织: 回火马氏体+粒状碳化物+A'

精密: 淬火+**冷处理**+低温回火
A' ↓, 保证尺寸稳定性



第五节 合金工具钢

- 刃具钢
 1. 碳素工具钢
 2. 低合金刃具钢
 3. 高速钢
- 模具钢
 1. 冷作模具钢
 2. 热作模具钢
 3. 塑料模具钢



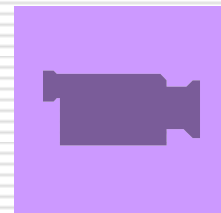
一、刀具钢

➤ 用途

制造各种金属切削刀具，如车刀、铣刀、钻头。

➤ 刀具工况

1. 切削时受工件的压力，刃部与切屑之间产生强烈的摩擦；
2. 由于切削发热，刃部温度可达 $500^{\circ}\text{C} \sim 600^{\circ}\text{C}$ ；
3. 承受一定的冲击和震动。



视频

➤ 性能要求（四高）

(1) 高淬透性

(2) 高硬度 ($>\text{HRC}60$)

(3) 高耐磨性 不仅取决于钢的硬度，而且与钢中硬化物的性质、数量、大小和分布有关。

(4) 高热硬性 热硬性是指钢在高温下保持高硬度的能力（亦称红硬性）。

➤ 成分：

过共析钢



华南理工大学

South China University of Technology

2007-05-12

35

机械工程材料精品课程

刀具钢

1. 碳素工具钢

T7~T13

D₀=5~20、热硬性↓（< 200℃）——手动工具：
手用锯条、锉刀



特殊碳素工具钢钢板



刀具钢

2. 低合金刀具钢

➤ 用途:

板牙、丝锥、铰刀、搓丝板及拉刀

➤ 典型钢号: **9SiCr**、**CrWMn**

➤ 成分特点:

① **高碳**: **0.9%~1.1%C**, 保证
高硬度和高耐磨性。

② **合金元素** (总量<5%):

Cr、**Mn**、**Si**—低温热硬性250°C

W、**V**—细化晶粒

➤ 热处理:

锻→球化退火→机加工→淬火+低温回火 ($M_{\text{回}}+K+A'$) →磨



螺丝板牙



英制模板刀



华南理工大学

South China University of Technology

2007-05-12

37

机械工程材料精品课程

刀具钢

3. 高速钢

➤ **用途：**高速切削刀具——车刀、铣刀、刨刀、拉刀及钻头。



高速钢圆锯片



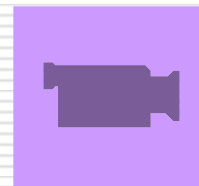
高速钢直柄麻花钻



阶梯钻



铣刀



高速钢钻头钻孔
动画演示



高速钢

➤ 典型钢号:

W18Cr4V、W6Mo5Cr4V2

➤ 性能特点:

高的淬透性（风钢），良好的热硬性（ $> 560^{\circ}\text{C}$ ），
高硬度（HRC65），高耐磨性

➤ 成分特点:

① 高碳：**0.70%~0.8%C**

- 1、与**W**、**Cr**、**V**等形成足够数量的碳化物；
- 2、碳溶于奥氏体中，以保证马氏体的**高硬度**。

② 合金元素：**Cr**、**W**、**Mo**、**V**等，总量**>10%**：

1、**W**、**Mo** ——

提高热硬性（产生“二次硬化”），细化晶粒

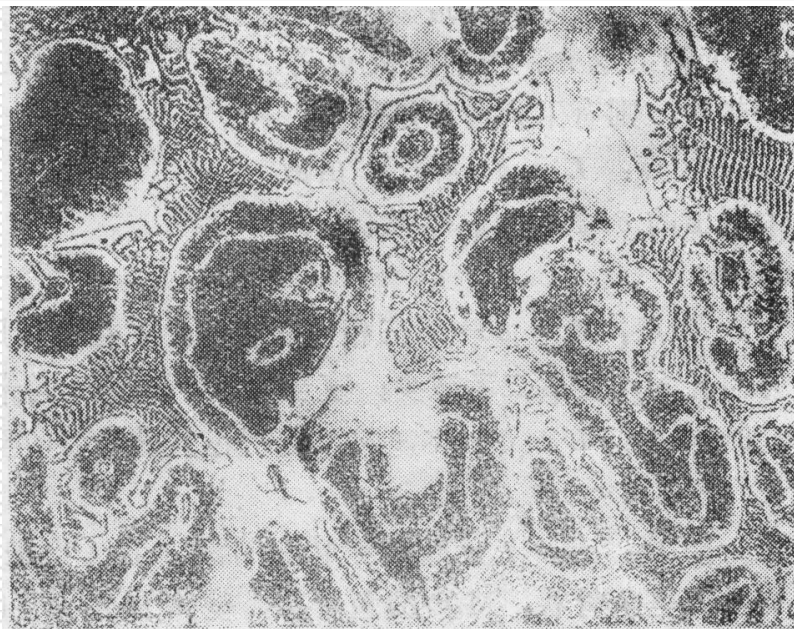
2、**Cr** —提高淬透性

3、**V**—细化晶粒，产生“二次硬化”



高速钢

➤ 典型钢号：W18Cr4V



高速钢的铸态组织 ×400

主要由鱼骨状（或网状）共晶碳化物、黑色组织（ δ 共析体）和白色组织（ $M+A'$ ）组成

铸态组织及锻造作用：

◆ 莱氏体钢

◆ 锻造作用：

不仅是为了成型，更重要的是为了击碎粗大碳化物，使之均匀分布。



高速钢—W18Cr4V

➤ 加工工艺及热处理

锻造→860~880°C退火→机加工→840°C预热、1270°C加热、600°C分级淬火+560°C三次回火→磨

退火：消除应力、降低硬度、为随后的淬火处理提供较好的原始显微组织。

淬火：800~840°C预热——减少变形，防止开裂

淬火加热温度：1270~1280°C，使合金元素充分固溶于A中，以保证高速钢的热硬性及回火稳定性。

若温度过高，奥氏体晶粒将迅速长大

回火： 560°C，目的产生“二次硬化”

①使A' → M(二次淬火)

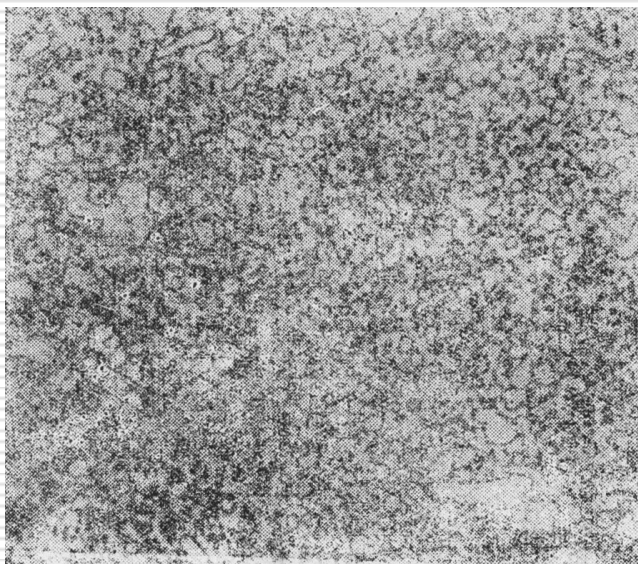
②沉淀析出W₂C, VC(弥散硬化)

回火三次： A' ↓ ↓ (最后获得组织：M_回+K+ A')

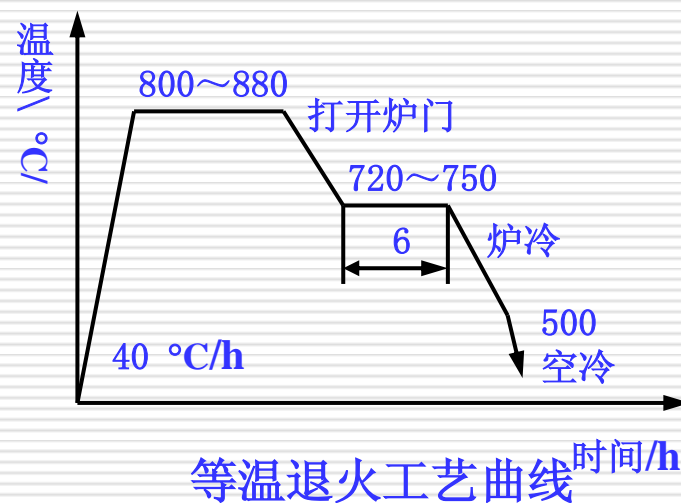
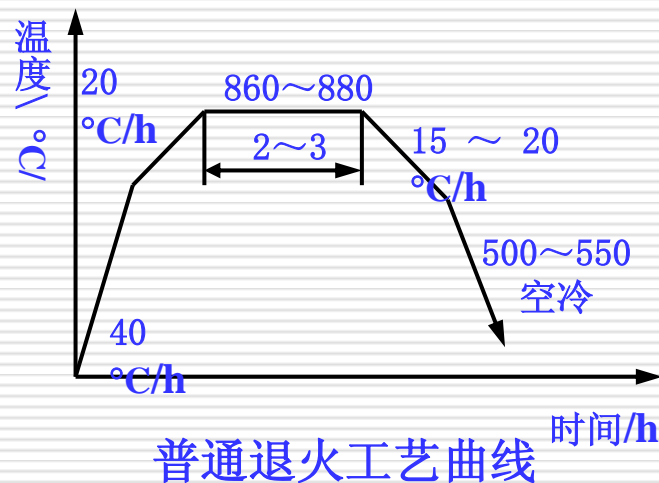


高速钢—W18Cr4V

W18Cr4V的两种工艺退火曲线

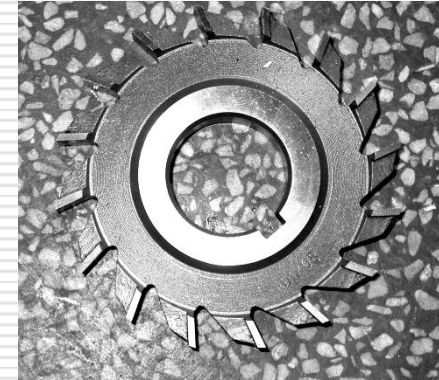
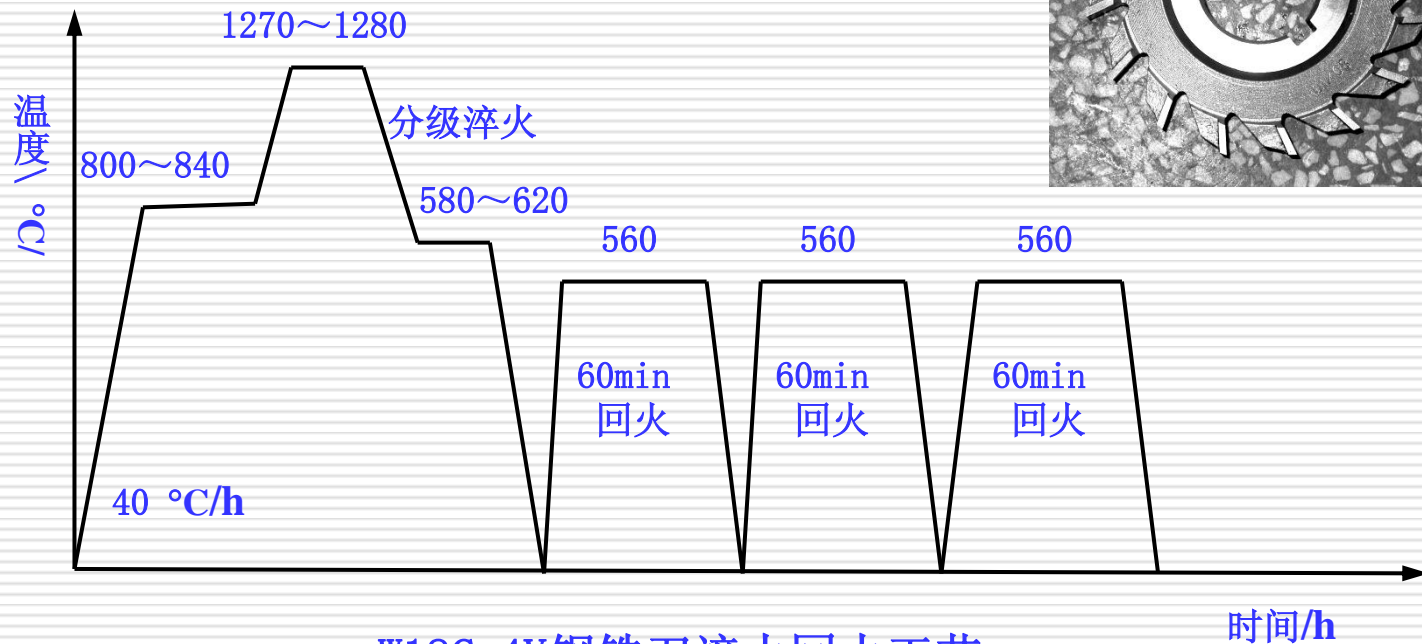


经锻造+退火后的显微组织
(索氏体+粒状或小块碳化物)



高速钢—W18Cr4V

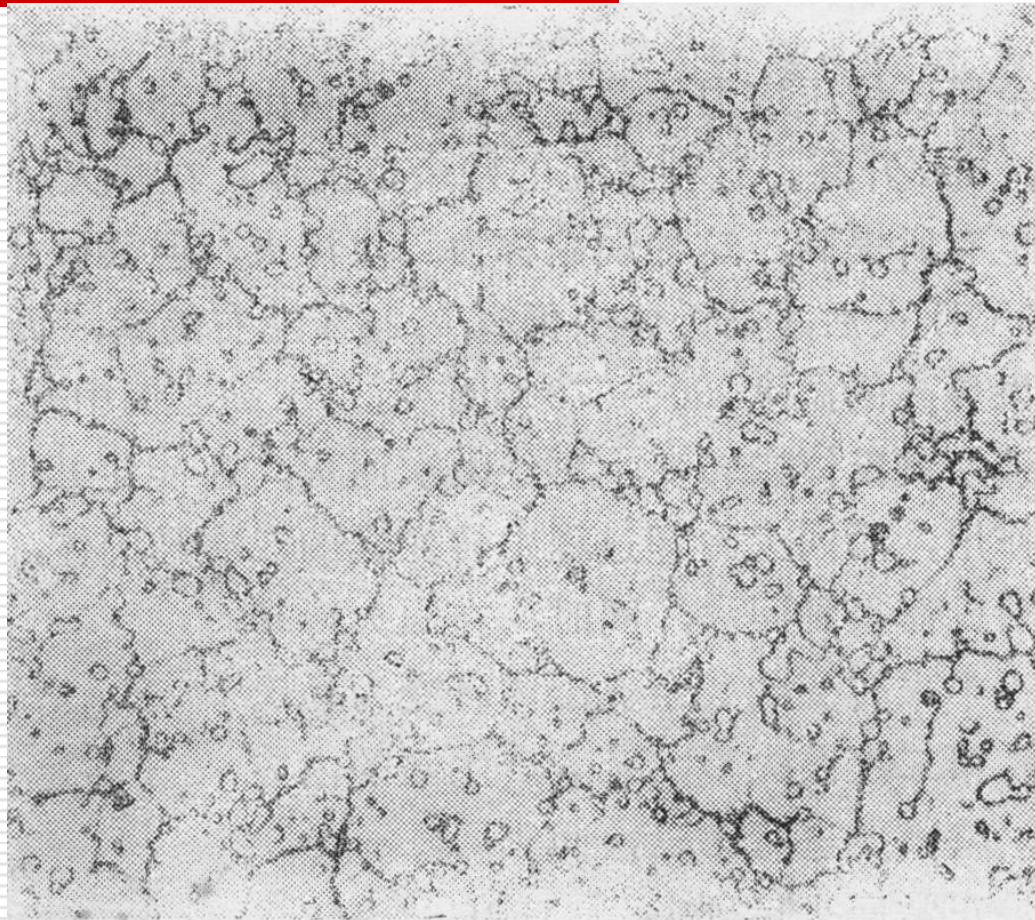
W18Cr4V钢铣刀淬火回火工艺



W18Cr4V钢铣刀淬火回火工艺



高速钢—W18Cr4V

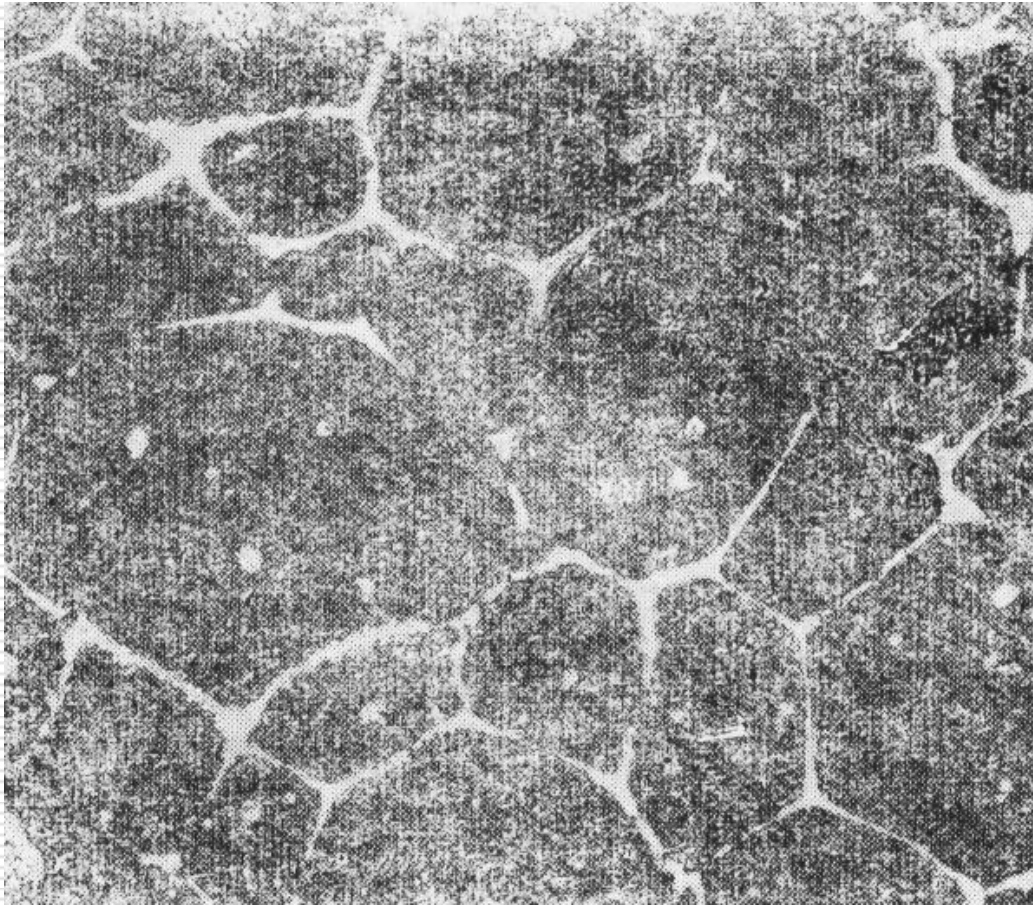


W18Cr4V钢正常淬火组织:

淬火马氏体+碳化物+残留奥氏体



高速钢—W18Cr4V



现象:

晶粒过大，剩余碳化物数量减少，碳化物出现粘连、拖尾、角状或沿晶界呈网状分布。

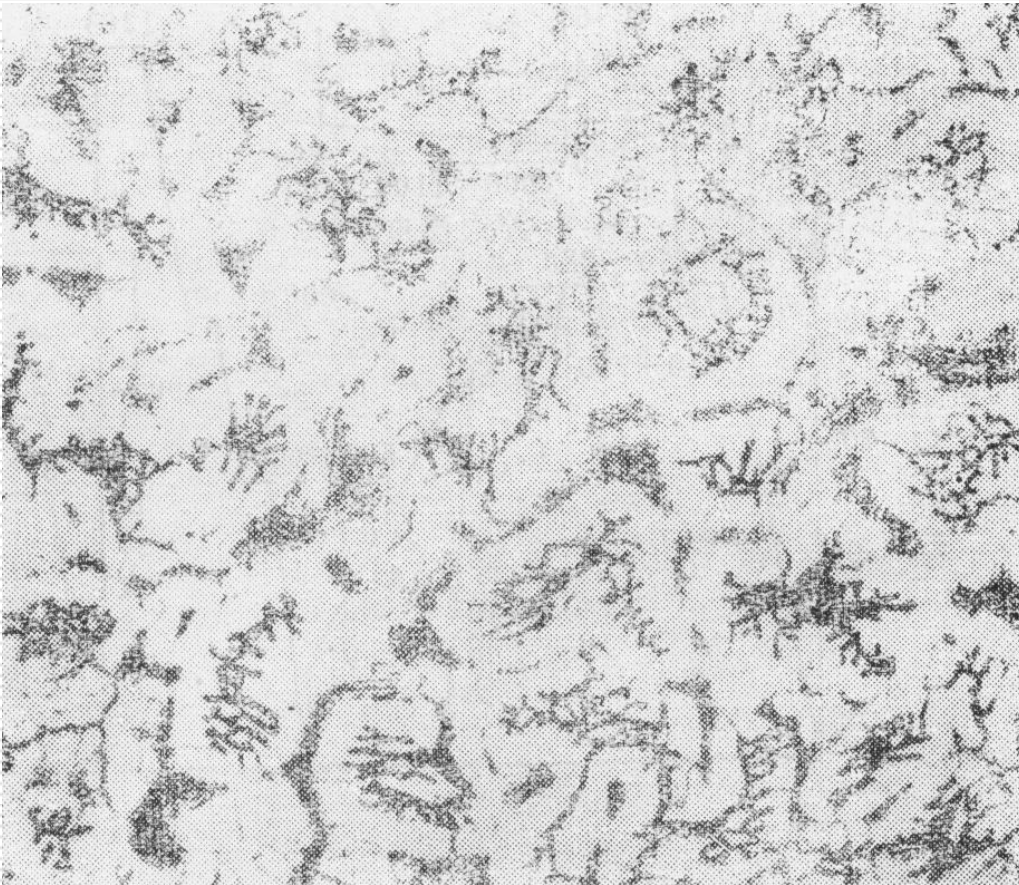
原因:

淬火温度过高。

高速钢的过热组织 ×500



高速钢—W18Cr4V



现象:

晶界熔化，出现
莱氏体及黑色组织。

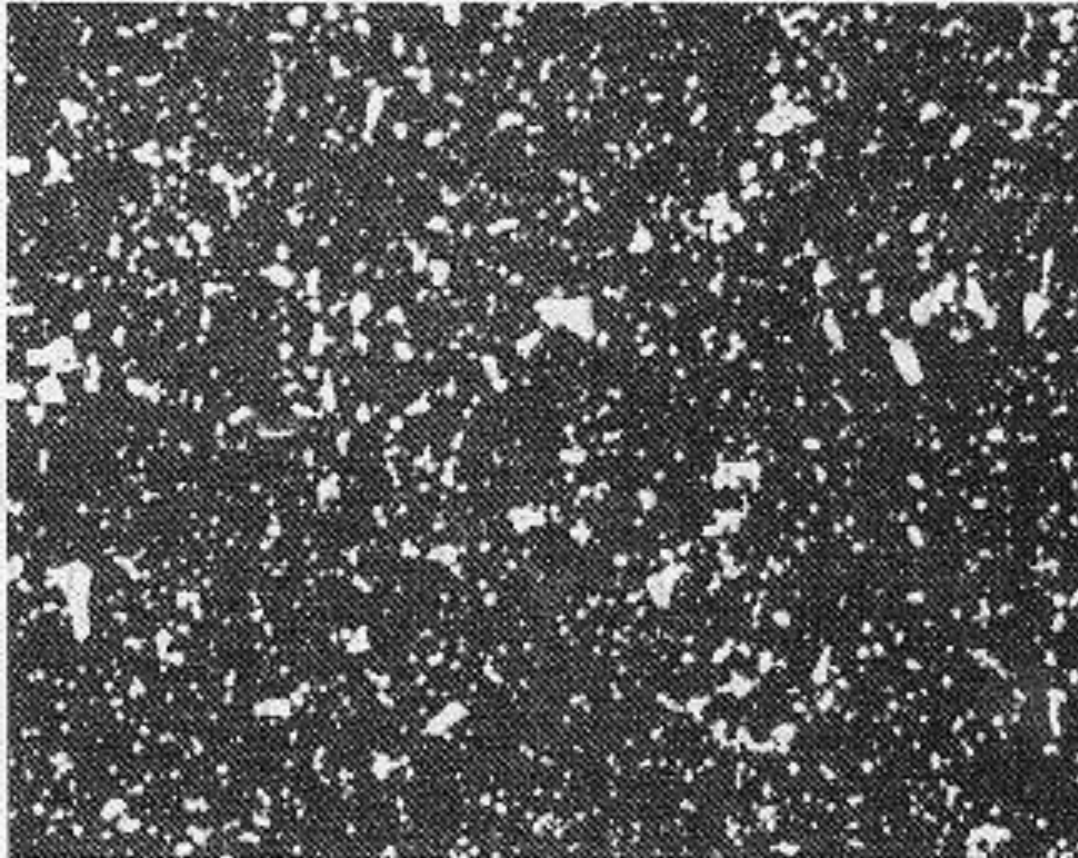
原因:

淬火温度接近钢
的熔化温度。

高速钢的过烧组织 ×500



高速钢—W18Cr4V



W18Cr4V高速钢淬火回火后组织:

回火M+碳化物+少量残余A



二、模具钢

1. 冷作模具钢

(1) 用途

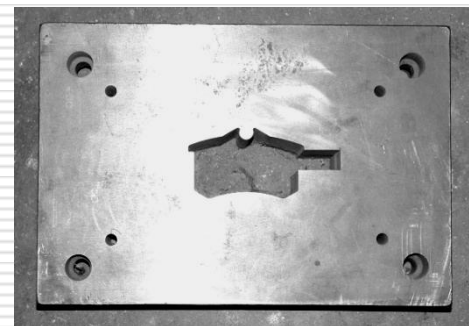
用于制造各种冷冲模、冷镦模、冷挤压模和拉丝模等，工作温度不超过 **$200^{\circ}\text{C} \sim 300^{\circ}\text{C}$** 。



冲裁模



冷镦模



钢板冷冲模

(2) 工作条件

冷模具工作时受挤压、弯曲、冲击及摩擦。主要失效形式是磨损，也常出现崩刃、断裂和变形等失效现象。



冷作模具钢

(3) 基本性能要求:

- ① 高硬度，一般为**HRC58~HRC62**;
- ② 高耐磨性;
- ③ 足够的韧性和疲劳抗力;

➤ 选用材料

(1) 轻载、形状简单、小尺寸模具

——碳素工具钢，如**T8A、T10A、T12A**

(2) 轻载，形状复杂或大尺寸模具

——低合金刃具钢，如**9SiCr, 9Mn2V, CrWMn**

(3) 重载，复杂、大尺寸模具

——**Cr12型 (Cr12, Cr12MoV-日本SKD11)**



冷作模具钢

➤ 典型钢号：**Cr12、Cr12MoV**

- 成分特点

① 高**C**：**1.7~2.3% C**——保证高硬度、高耐磨性。

② 合金元素：高**Cr**（**12%Cr**）

——提高淬透性；

形成高硬度碳化物，提高耐磨性。

Mo、V——细化晶粒，产生二次硬化。

- 组织特点：

淬火组织中存在大量残余奥氏体；

—铸态组织中有大量共晶碳化物，又称莱氏体钢。



冷作模具钢—Cr12、Cr12MoV

- 热处理

Cr12、Cr12MoV钢的热处理方案有两种：

- ① **一次硬化法**：在较低温度（**950℃~1000℃**）下淬火，然后低温（**150℃~180℃**）回火，硬度可达**61HRC~64HRC**，使钢具有较好的耐磨性和韧性，适用于重载模具。
- ② **二次硬化法**：在较高温度（**1100℃~1150℃**）下淬火，然后于**510℃~520℃**多次（一般为三次）回火，产生二次硬化，使硬度达**60HRC~62HRC**，红硬性和耐磨性都较高。适用于在**400℃~450℃**温度下工作的模具。



冷作模具钢—Cr12、Cr12MoV

• 工艺过程

锻造→球化退火→机加工→淬火+回火→磨

锻造：击碎粗大碳化物，使碳化物均匀分布

球化退火：消除应力、降低硬度、为随后的淬火处理提供好的原始显微组织（索氏体+粒状碳化物）。

淬火+回火：

Cr12：一次硬化法：**1000℃**淬火+**200℃**（**2~3次**）回火，**HRC60**

Cr12MoV：1）一次硬化法：**1000℃**淬火+**200℃**（**2~3次**）回火，**HRC60**

2）二次硬化法：**1100℃**淬火+**520℃**（**2~3次**）回火，**HRC60**

热硬性↑，可做热作模具。

组织： $M_{\text{回}}+K+A'$ （少量）



模具钢

2. 热作模具钢

➤ **用途：**热作模具是使金属材料在被加热状态下成型的模具。

主要用于制造各种热锻模、热挤压模和压铸模等。

➤ **性能要求**

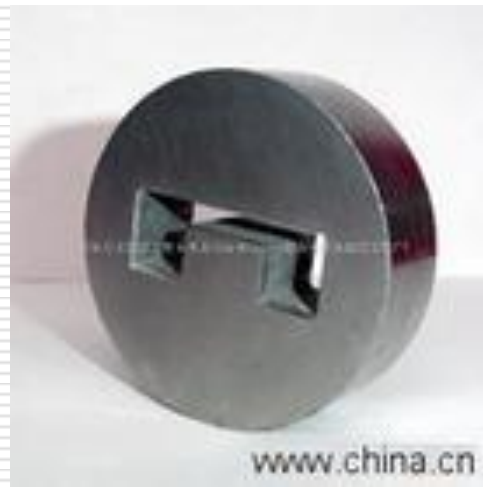
- ① 高的热硬性和高温耐磨性；
- ② 高的热强性和足够的韧性；
- ③ 良好的淬透性和导热性

➤ **类别：**

热锻模具钢—5CrNiMo

热挤压模具钢—4Cr5MoSiV1

压铸模具钢—3Cr2W8V



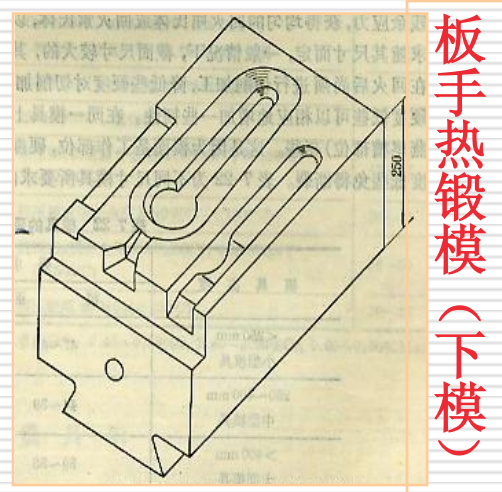
热挤压模



热作模具钢

(1) 热锻模具钢

- 典型钢号: **5CrNiMo**、**5CrMnMo**
- 成分特点
 - ① 碳%: **0.5%C**, 高强度、高韧性、较高的硬度和较高的热疲劳抗力 (太低 $\sigma_b \downarrow$; 太高则 $a_k \downarrow$)。
 - ② 合金元素: **Cr**、**Ni**—**J** \uparrow 、回火稳定性 \uparrow 、 $\sigma_b \uparrow$
Mo—防止第二类回火脆性
- 热处理:
锻造 \rightarrow 退火 (**P+F**) \rightarrow
机加工 \rightarrow 淬火 + 高温回火
($T_{\text{回}}$ 或 $S_{\text{回}}$) \rightarrow 磨



热作模具钢

(2) 热挤压模具钢

- 典型钢号：**4Cr5MoSiV1**（即美国**H13**）

C: 0.32~0.45%

Cr: 4.75~5.50%，提高淬透性

Mo: 1.10~1.75%，提高淬透性

V: 0.80~1.20%，二次硬化

Si: 0.80~1.20%，提高抗氧化性

Si、Cr提高回火稳定性

- 合金元素↑，淬透性、热硬性、热疲劳抗力↑
- 铝合金型材热挤压模具、铝合金压铸模具及铜合金机锻模具。



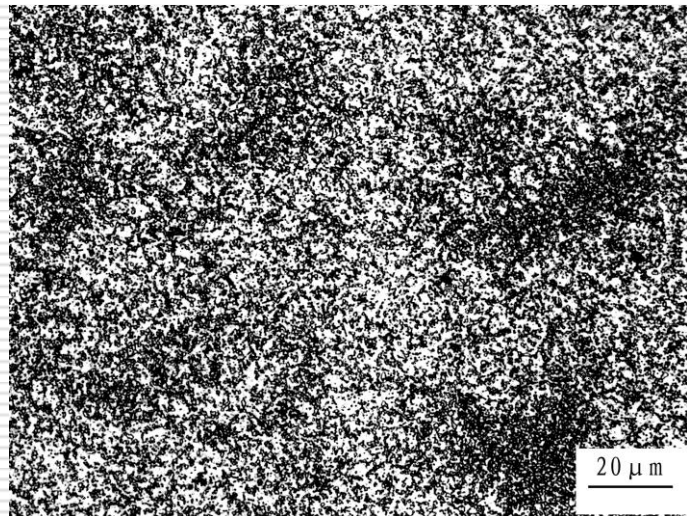
热挤压模具钢—4Cr5MoSiV1 (H13)

● 热处理

预先热处理：球化退火

球化退火后组织：

点状和小球状珠光体



H3钢的球化组织

最终热处理

淬火：1050~1080℃

回火：500~650℃（两次）

1) 530℃ 回火→回火托氏体+回火马氏体

2) 630℃ 回火→回火托氏体+回火索氏体



热作模具钢

(3) 压铸模具钢

- 典型钢号：**3Cr2W8V**

C：（过共析钢）—保证韧性和塑性

Cr：提高淬透性和抗氧化性能

W：细化晶粒，产生“二次硬化”

- 热处理：

预先热处理：球化退火

淬火：**1080~1150℃**

回火：**560~600℃** 回火（两次），

回火后油冷（避免回火脆性）

回火后组织：回火马氏体+碳化物+A'



灯饰铝合金压铸模



模具钢

3. 塑料模具钢

➤ 塑料制品常用成型方法:

压塑、挤塑、注射、挤出、发泡、吹塑等**6种**

➤ 失效形式:

塑料模具在工作过程中主要受温度、压力及摩擦作用，其失效形式大多以摩擦磨损为主。

➤ 性能要求

良好的抛光性能及冷热加工性能

良好的抗腐蚀性能

一定的耐热性

高的硬度和耐磨性



塑料模具钢

➤ 选材:

各种结构钢、工具钢、模具钢

渗碳钢: **20Cr**、**20CrNi3**

调质钢: **45**、**40Cr**、**35CrMo**、**38CrMoAl**

热模具钢: **5CrMnMo**、**5CrNiMo**

合金工具钢: **9Mn2V**、**CrWMn**

不锈钢: **4Cr13**、**1Cr18Ni9Ti**

预硬型塑料模具钢: **P20(3Cr2Mo)**、**718**
专用塑料模具钢



第六节 不锈钢和耐热钢

• 不锈钢

1. 金属的腐蚀及合金化原理

(1) 化学腐蚀

(2) 电化学腐蚀

2. 常用不锈钢

按正火状态的组织可分为

马氏体型不锈钢

奥氏体型不锈钢

铁素体型不锈钢

• 耐热钢

1. 抗氧化钢

2. 热强钢

3. 耐热合金材料: 时效型Ni基合金 (**700~800C**时效) -- 涡轮机叶片



一、不锈钢



不锈钢船用螺旋桨



不锈钢剪刀



1Cr18Ni9Ti 不锈钢



不锈钢容器



不锈钢

1、金属腐蚀及合金化原理（防腐措施）

（1）化学腐蚀

金属直接与腐蚀介质发生化学反应，从而使金属逐渐被破坏。

如：钢在高温下的氧化。

腐蚀过程：氧化膜-脱落-氧化膜-脱落 ...， $T \uparrow$ 显著。

措施：如果化学反应所形成产物层很致密，而且与基体结合得很牢固，它将可有效地阻挡外界腐蚀介质原子往里扩散，对基体起到保护作用措施。

故可加入Cr、Si、Al使钢的表面形成致密的氧化膜（钝化膜）—— Cr_2O_3 、 SiO_2 、 Al_2O_3 。



金属腐蚀及合金化原理

(2) 电化学腐蚀

➤ 概念:

两种金属或同一金属中的两种相电极电位不同，在电解质中形成原（微）电池，产生电流，电极电位低的阳极受腐蚀。

➤ 产生电化学腐蚀的条件是:

- (1) 必须有两个电位不同的电极;
- (2) 有电解质溶液与两电极接触;
- (3) 两个电极构成通路。

➤ 措施:

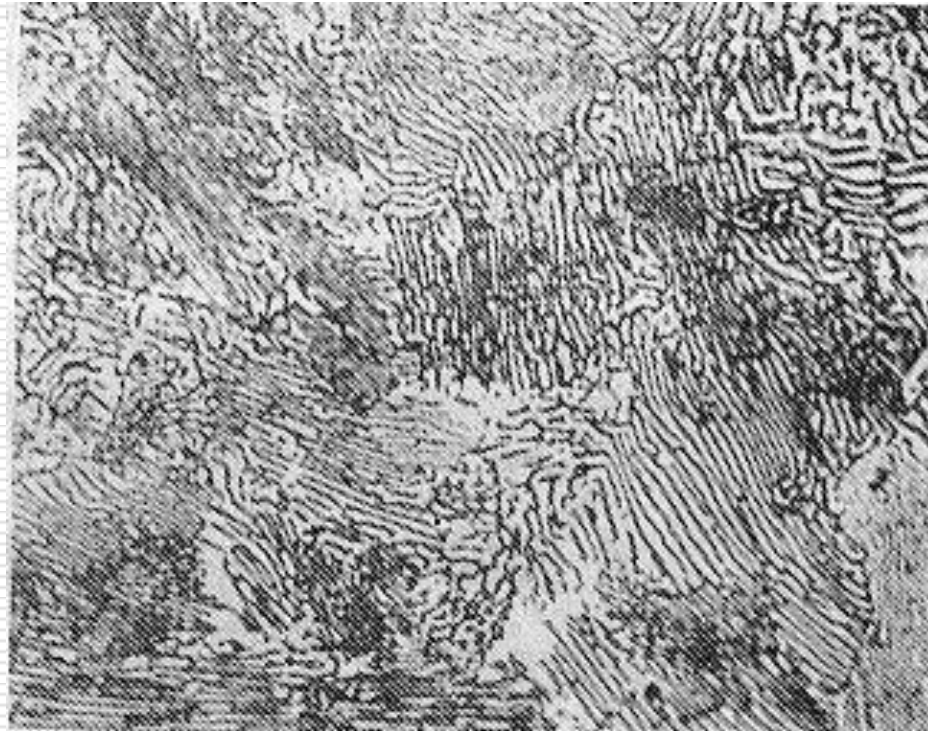
- (1) 加入Ni—使钢在室温下形成单相 γ 组织;
- (2) 加入13%Cr—提高铁素体的电极电位。

电极电位从-0.6→+0.2



电化学腐蚀

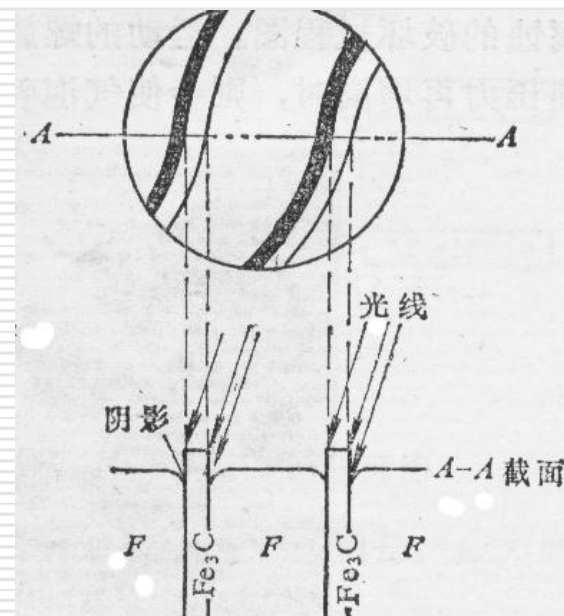
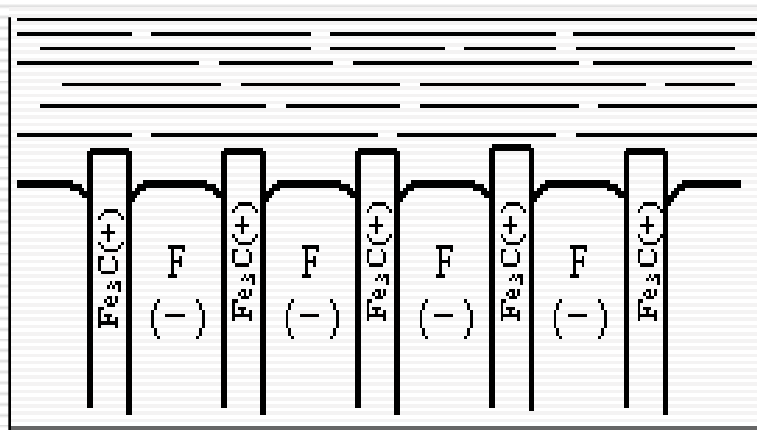
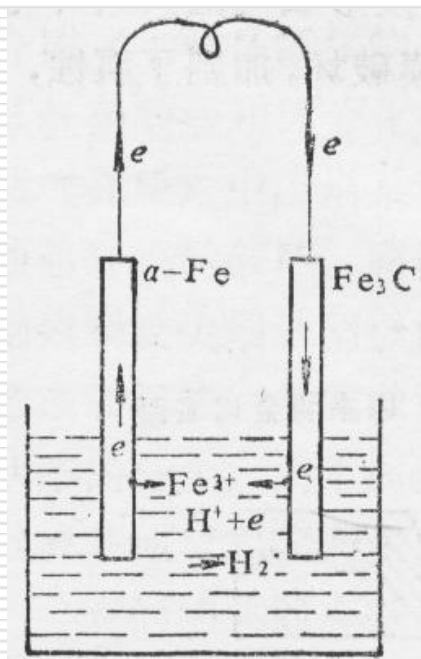
➤ 珠光体的电化学腐蚀



珠光体（硝酸酒精浸蚀，500×）
（F与Fe₃C片层相间的机械混合物）



珠光体的电化学腐蚀



(a) 珠光体的电化学腐蚀原理 (b) 珠光体的微电池腐蚀
(c) 珠光体组织的成像

金属腐蚀及合金化原理

(3) 不锈钢的合金化原理

➤合金化主要目的:

- (1) 使钢具有均匀化学成分的单相组织。
- (2) 减小两极间的电极电位，提高阳极的电极电位。
- (3) 使钢的表面形成致密的氧化膜保护层。

➤ 主要合金元素:

- (1) Cr: 形成致密的Cr₂O₃保护膜;

提高铁素体的电极电位

(加13%Cr: 电极电位从-0.6→+0.2)

- (2) Ni: 扩大 γ 相区, 使钢在室温下呈单相 γ 组织



2、常用不锈钢

按正火状态的组织可分为

- (1) 马氏体型不锈钢
- (2) 奥氏体型不锈钢
- (3) 铁素体型不锈钢



常用不锈钢

(1) 马氏体型不锈钢

► 典型钢号：

Cr13型不锈钢，

9Cr18不锈钢等。

① **0Cr13、1Cr13、2Cr13：**

—结构钢（如汽轮机叶片）

② **3Cr13、4Cr13：** 淬火+低温回火（ $M_{回}$ ）

—工具钢（如医疗器械、餐具、轴承）

③ **9Cr18：** 淬火+低温回火（ $M_{回}$ ）

—工具钢（如手术刀、刀具、耐蚀轴承）



汽轮机叶片



手术刀



常用不锈钢

(2) 奥氏体型不锈钢

➤ 典型钢号: **1Cr18Ni9Ti**

➤ 成分: **C** ($< 0.1\%$)



Cr— 钝化; 提高基体电极电位。

Ni— 扩大 γ 相区, 使钢在室温下呈单相 γ 组织。

Ti— 防止晶间腐蚀 (Ti优先与C形成TiC, 使 $(\text{Cr}, \text{Fe})_{23}\text{C}_6$ 不 出现, 防止晶界贫Cr)

- 耐蚀性 \uparrow , 塑性、韧性 \uparrow , 焊接性能 \uparrow
无磁性, 适宜作冷成型。

➤ 热处理: ①固溶处理

②稳定化处理

③除应力处理 (防止应力腐蚀)



常用不锈钢

(3) 铁素体型不锈钢

典型钢号:

1Cr17

C : 0.1%

Cr: 17%

——缩小 γ 相区，使钢呈单一的铁素体组织，
故不能用淬火方法强化。

● α_k 较低



二、耐热钢

➤ 概念

是指在高温下具有高的热化学稳定性和热强性的特殊钢。

➤ 用途

制造加热炉、锅炉、燃气轮机等高温装置中的零部件。

➤ 性能要求

高的热稳定性（抗氧化性）—具有较好的抗高温氧化性能
热强性—高温下具有良好的抗蠕变和抗断裂的能力。

➤ 成分特点

1. 耐热钢中不可缺少的合金元素是**Cr**、**Si**或**Al**，特别是**Cr**—形成 **Cr_2O_3** 、 **SiO_2** 、 **Al_2O_3** 保护膜，提高钢的抗氧化性，**Cr**还有利于热强性。
2. **Mo**、**W**、**V**、**Ti**等元素加入钢中，能形成细小弥散的碳化物，起弥散强化的作用，提高室温和高温强度。



耐热钢

1. 抗氧化钢

➤概念

在高温下具有良好的抗氧化性能，而且有一定强度的钢，又叫 耐热不起皮钢。

➤典型钢号

3Cr18Mn12Si2N(Cr-Mn-N);

$T_{\text{工作}} > 1000^{\circ}\text{C}$ ，加热炉附件等。

➤热处理

固溶处理。

➤应用举例



燃汽轮机



耐热钢

2、热强钢

要求蠕变强度 \uparrow

蠕变—在高温下，外加应力 $<$ 屈服强度，随时间 \uparrow 而缓慢变形的现象。

有**P**型：**15CrMo**—在正火和回火状态下使用

M型：**Cr13**、**4Cr9Si2**—在调质状态下使用

y型：**1Cr18Ni9Ti**、**4Cr14Ni14W2Mo**

——一般进行固溶处理或固溶加时效处理。



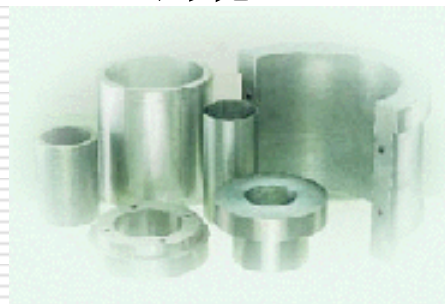
第七节 粉末冶金材料

➤定义

粉末冶金材料是将金属粉末（或和非金属粉末的混合物）混合，压制成型，然后对制品进行烧结及后处理而获得的材料。



齿轮



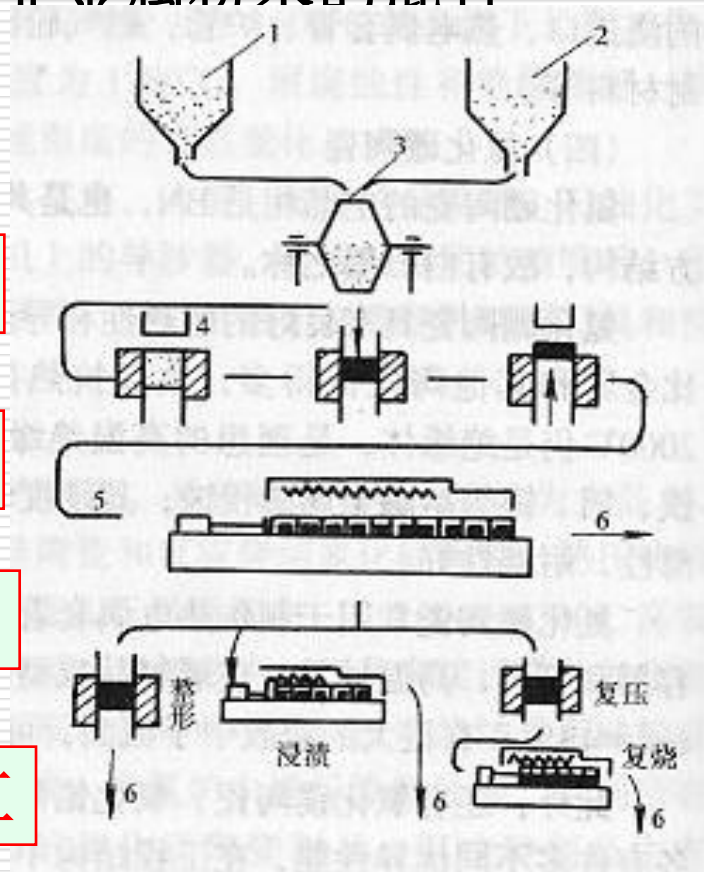
轴套（瓦）

粉末制备

压制成型

烧 结

后处理加工



粉末冶金生产工艺流程



粉末冶金材料

➤粉末冶金可以制备的合金

无密度偏析合金，过饱和合金，不互溶元素组成的合金

➤分类：

1. 粉末冶金铁基结构材料

粉末冶金铁基结构材料是以铁粉或合金钢粉为主要原料，采用粉末冶金法制成的结构零件或材料。

2. 粉末冶金摩擦材料

粉末冶金摩擦材料是由钢或铁作为基体金属，加上摩擦组元（石棉、二氧化硅、三氧化二铝和碳化硅等）和润滑组元（石墨、铅、二硫化钼、金属硫化物）等组成。

3. 硬质合金



粉末冶金材料

➤ 硬质合金

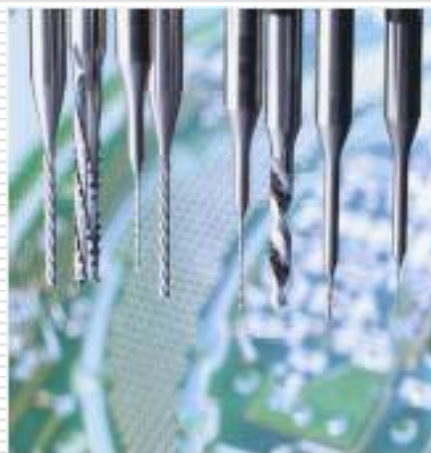
• 定义

硬质合金是以难熔的金属碳化物（WC、TiC）为基体，并以金属钴或合金钢粉末为粘结剂，用粉末冶金方法制成的多相组合材料。

• 分类

1) 金属陶瓷硬质合金

2) 钢结硬质合金



硬质合金

1) 金属陶瓷硬质合金

● 牌号

钨钴类硬质合金（WC和Co组成）：

YG3、 YG6、 YG8

└→ 数字8表示 $W_{Co} = 8\%$ ，其余为WC

钨钴钛类硬质合金（WC、TiC和Co组成）：

YT15 、 YT30

└→ 数字30表示 $W_{Co} = 30\%$ ，其余为WC、Co

● 性能特点：

高热硬性、高硬度、高耐磨性，
由于硬度太高、性脆，难以切削加工。



硬质合金车刀

2) 钢结硬质合金（如YE65）——需热处理



华南理工大学

South China University of Technology

2007-05-12 77

机械工程材料精品课程