

工程材料

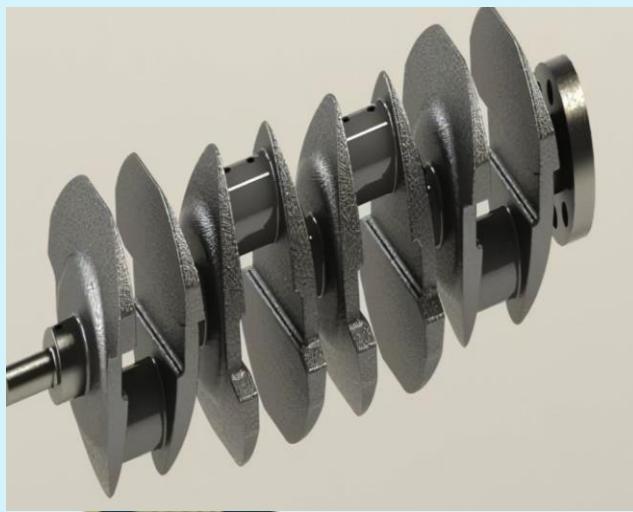
专业基础必修课

北京化工大学 贾明印

jiamy@mail.buct.edu.cn

13522357136





● 第3章 金属材料(metals)

以铁或铁
为基的合
金，称为
黑色金属

金属材料

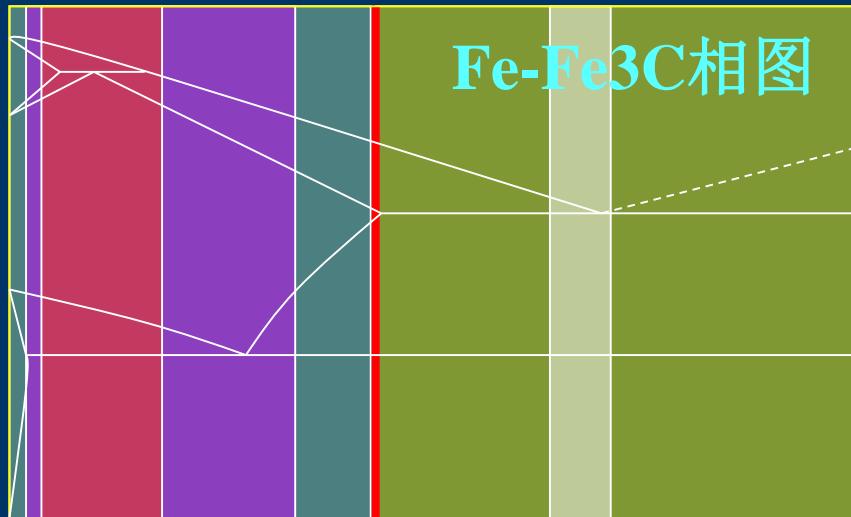
黑色金属 (Ferrous metals)

碳钢 (carbon steels)

合金钢 (alloys)

铸钢 (cast steels)

铸铁 (cast irons)



因为都有一
定的色彩，
并且相对稀
少珍贵，统
称有色金属

有色金属 (Nonferrous metals)

铝及铝合金 (Aluminum alloys)

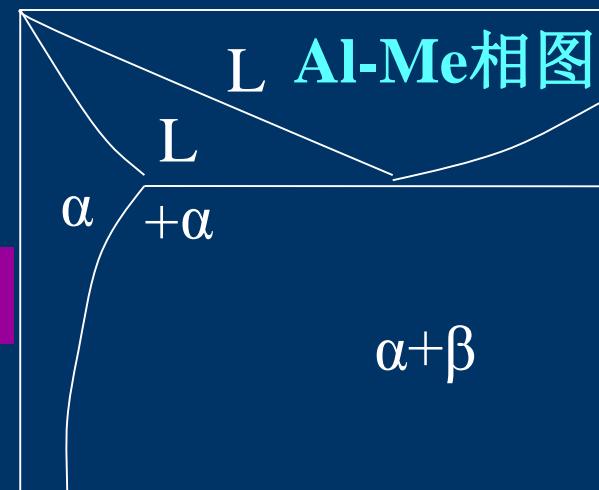
铜及铜合金 (Copper alloys)

钛及钛合金 (Titanium alloys)

镁及镁合金 (Magnesium alloys)

镍及镍合金 (Nickel alloys)

轴承合金 (Cast bearing metals)



第3章 金属材料

内容提要：

简要阐述碳钢的钢号、成份和应用。

重点阐明合金钢的钢号、成份特点、热处理工艺、组织、性能和应用。

介绍铸铁、有色金属的牌号、性能及应用。

学习目标：

重点掌握碳钢、合金钢的钢号、成份特点、热处理工艺、组织、性能及应用。熟悉铸铁的牌号、热处理工艺、组织及其应用。一般了解有色金属性能特点和应用。 15分

● 本次课内容

3.1 碳钢

1、碳钢的成分和分类

2、碳钢的牌号及用途

- 1、碳素结构钢
- 2、优质碳素结构钢
- 3、碳素工具钢

3.2 合金钢

1、合金钢的分类和编号

2、合金结构钢

3、合金工具钢

4、特殊性能钢 不锈钢/耐热钢/耐磨钢

- 1、低合金高强度结构钢
- 2、合金渗碳钢
- 3、合金调质钢
- 4、非调质机械结构钢
- 5、合金弹簧钢
- 6、滚动轴承钢

金属材料的分类、牌号、成分、组织、性能、用途、热处理

● 3. 1 碳钢(carbon steels)

3.1.1 碳钢的成分和分类

碳钢的成分(碳含量一般小于1. 3%)

Fe、C、Mn、Si、S、P (磷)

C: 决定钢的性能

Mn、Si: 有利于改善钢的机械性能，含量小于1% (1.5%以下不标)。

S: 易使钢热脆。

热脆: S生成FeS，其与Fe形成985℃的低熔点共晶体存在于晶界上，在热加工时，会导致钢的开裂。

P: 易使钢冷脆。

冷脆: P生成 Fe_3P ，在100 °C以下使钢的塑性和韧性急剧下降。
必须严格控制在牌号规定的范围之内。

3.1 碳钢(carbon steels)

3.1.1 碳钢的成分和分类

成分

C含量

低碳钢 ($w(C) \leq 0.25\%$)

中碳钢 ($0.25\% < w(C) \leq 0.6\%$)

高碳钢 ($w(C) > 0.6\%$)

分类

S、P
含量

普通碳素钢 ($w(S) \leq 0.04\%, w(P) \leq 0.04\%$)

优质碳素钢 ($w(S) \leq 0.035\%, w(P) \leq 0.035\%$)

高级优质碳素钢 ($w(S) \leq 0.030\%, w(P) \leq 0.030\%$)

用途

碳素结构钢 (制造各种工程构件、机械零件)

碳素工具钢 (刀具、量具)

● 3.1 碳钢(carbon steels)

3.1.2 碳钢的牌号和用途

1、碳素结构钢

Q235-A·F F\Z\TZ

质量等级：A、B、C、D，质量依次提高。

碳素结构钢的牌号用Q+数字表示。

“Q”为屈服点 “屈” 字的汉语拼音字首。

数字表示屈服强度的数值。 (一般小于300MPa)

如：Q275是屈服强度为275MPa的碳素结构钢。

若牌号后面标注A、B、C、D，表示钢材质量等级。

A级钢含硫、磷量最高。

D级钢含硫、磷量最低。

F/Z/TZ分别表示沸腾钢、镇静钢和特殊镇静钢（脱氧方式）。

3.1 碳钢(carbon steels)

3.1.2 碳钢的牌号和用途

1、碳素结构钢

GB/T 700-2006 碳素结构钢(Carbon structural steels)

牌号	等 级	化学成分(质量分数) /%, 不大于					机械性能 (厚≤16)		用途	热处理	
		C	Mn	Si	S	P	σ_s (16mm)	δ (40mm)			
Q195		0.12			0.040	0.035	195	33	轧制成钢筋、钢板、钢管等，用于桥梁、建筑物等构件或螺钉、铆钉等	一般情况下不再进行热处理	
Q215	A	0.15			0.050	0.045	215	31	可用于重要的焊接件		
	B				0.045		235	26	但对某些零件，可以进行正火、调质、渗碳等处理，以提高其使用性能。		
Q235	A	0.22			0.050	0.045	275	22		轧制成型钢、钢板作构件	
	B	0.20			0.045						
	C	0.17			0.040						
	D	0.17			0.035	0.035					
Q275	A	0.24			0.050	0.045	275	22		轧制成型钢、钢板作构件	
	B	0.21			0.045	0.045					
	C	0.22			0.040	0.040					
	D	0.20			0.035	0.035					

● 3.1 碳钢(carbon steels)

3.1.2 碳钢的牌号和用途

1、碳素结构钢

常用碳素结构钢：

•Q195、Q215、Q235A、
Q235B

塑性较好，有一定的强度，通常轧制成钢筋、钢板、钢管等。

可用于做桥梁、建筑物等构件，也可用做普通螺钉、螺帽、铆钉等。



钢板、钢筋



螺钉、铆钉

● 3.1 碳钢(carbon steels)

3.1.2 碳钢的牌号和用途

1、碳素结构钢

常用碳素结构钢：

●Q235C、Q235D

可用于重要的焊接件。

●Q255、Q275

强度较高，可轧制成型钢、钢板作
构件用



建筑构件



钢桥梁

老师提示 这类钢常在热轧状态下使用，不再进行热处理。对某些小零件，可以进行正火、调质、渗碳等处理，以提高其使用性能。

● 3.1 碳钢(carbon steels)

3.1.2 碳钢的牌号和用途

2、优质碳素结构钢

优质碳素结构钢的钢号用**平均碳质量分数的万分数的数字表示。**

例如：钢号“20”即表示碳质量分数为0.20%（万分之二十）的优质碳素结构钢。

若钢中锰含量较高，钢号后加符号“Mn”，如15Mn、45Mn等。

优质碳素结构钢主要用来制造各种机器零件。

● 3. 1 碳钢(carbon steels)

按照GB/T 13304.1分类，Mn含量小于1.0%的为非合金钢。

3.1.2 碳钢的牌号和用途

2、优质碳素结构钢

GB/T 699-1999 优质碳素结构钢(Quality carbon structural steels)

牌号	化学成分, %						机械性能与用途	热处理
	C	Mn	Si	S	P	Cr		
08F	0.05~0.11						塑性好, 冷冲压件, 如搪瓷盆	一般情况下都要进行热处理, 常用正火、(淬火+回火)
10	0.07~0.13						冷冲压性与焊接性能良好, 作冲压件及焊接件, 经过渗碳等热处理也可以制造轴、销等零件	
20/20Mn	0.17~0.23							
35/35Mn	0.32~0.39						热处理后, 可获得良好的综合机械性能, 用来制造齿轮、轴类、套筒等零件	
40/40Mn	0.37~0.44							
45/45Mn	0.42~0.50							
50/50Mn	0.47~0.55							
60/60Mn	0.57~0.65							
65/65Mn	0.62~0.70						主要用来制造弹簧件	

● 3.1 碳钢(carbon steels)

3.1.2 碳钢的牌号和用途

2、优质碳素结构钢



常用优质碳素结构钢

- 08F 塑性好，可制造冷冲压零件；
- 10、20钢 冷冲压性与焊接性能良好，可用作冲压件及焊接件，经过热处理（如渗碳）也可以制造轴、销等零件。
- 35、40、45、50钢 经热处理后，可获得良好的综合机械性能，制造齿轮、轴类、套筒等零件。

热处理：调质处理，或加表面淬火。

● 3.1 碳钢(carbon steels)

3.1.2 碳钢的牌号和用途

2、优质碳素结构钢

● 60、65钢

主要用来制造弹簧。

热处理：淬火+中温回火



提示 优质碳素结构钢使用前一般都要经过热处理。

● 3.1 碳钢(carbon steels)

3.1.2 碳钢的牌号和用途

3、碳素工具钢

碳素工具钢的碳质量分数在0.65% ~ 1.35%之间，钢号用平均碳质量分数的千分数的数字表示，数字之前冠以“T”（碳）。

如：T9表示碳质量分数为0.9%（即千分之九）的碳素工具钢。

碳素工具钢均为优质钢，若含硫、磷更低，为高级优质钢，钢号后标注“A”。

如：T12A表示碳质量分数为1.2%的高级优质碳素工具钢。

用途：制造各种刃具、量具、模具等。

3.1 碳钢(carbon steels)

3.1.2 碳钢的牌号和用途

3、碳素工具钢

GB/T 1298-2008 碳素工具钢(Carbon tool steels)

牌号	化学成分(质量分数) / %					机械性能与用途	热处理	
	C	Mn	Si	S	P			
T7	0.65~0.74			≤ 0.030	≤ 0.035	硬度高、韧性较高， 制造冲头、凿子、锤子	一般情况下热处理： 正火 ↓ 球化退火 ↓ 淬火+低温回火	
T8	0.75~0.84							
T8Mn	0.80~0.90							
T9	0.85~0.94					硬度高，韧性适中，可制造丝锥、手锯条等刀具及冷作模具		
T10	0.95~1.04							
T12	1.15~1.24					硬度高，韧性较低，可制作锉刀、刮刀等刀具及量规等量具		
T13	1.25~1.35							

注：高级优质钢在牌号后加“A”，其S、P含量分别不大于0.020%、0.030%，如“T8A”。

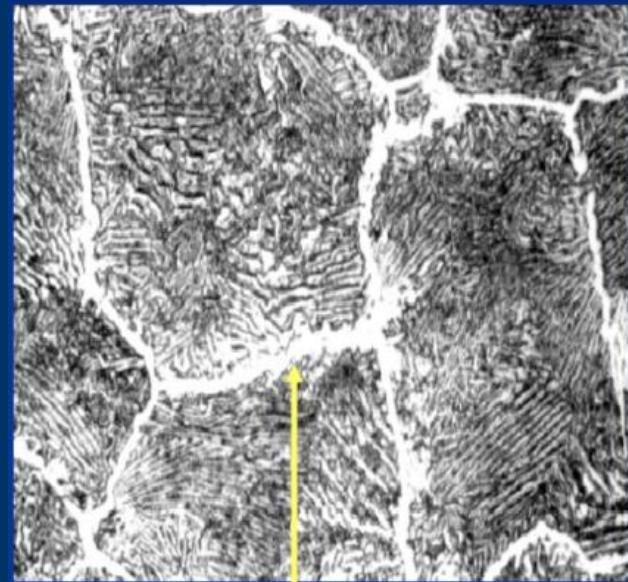
● 3.1 碳钢(carbon steels)

3.1.2 碳钢的牌号和用途

3、碳素工具钢

正火 \rightarrow 球化退火 \rightarrow 淬火+低温回火

正火目的: 如果终锻温度比较高和锻造后冷却速度比较慢，会出现网状碳化物的缺陷。这种网状碳化物在球化退火时不易被消除，需要在球化退火前用正火工艺进行消除。



球化退火目的: 便于切削，为淬火作组织准备，粒状珠光体在加热时渗碳体不容易溶解，得到含碳量为0.45~0.6%右的A+未溶渗碳体，渗碳体呈细小球状均匀分布在奥氏体基体上。

本节小结

常用碳钢

普通碳素结构钢 Q215、Q235

优质碳素结构钢 20、45、60

碳素工具钢 T8、T10、T12

- 1、制造普通铁钉材料（Q195、45、65）
- 2、制造普通螺母、螺钉材料（Q235、08、60Mn）
- 3、制造小轿车便携备用油箱材料（08F、T10、80）
- 4、制造曲轴材料（08F、45、Q235）
- 5、制造钳工锉刀材料（T7、T12、Q235）

● 课堂小测试

- 1、碳素工具钢经热处理后有良好的硬度和耐磨性，但红硬性不高，故只宜作手动工具等。 (✓)
- 2、在碳钢中具有共析成分的钢，较之于亚共析钢和过共析钢有更好的淬透性。 (✓)
- 3、手用锯条应当选用(A)。
 - (a)T12钢经淬火和低温回火
 - (b)Cr12Mo钢经淬火和低温回火
 - (c)65钢淬火后中温回火

3. 2 合金钢(alloys)

随着科学技术和工业的发展，对材料提出了更高的要求，如更高的强度，抗高温、高压、低温，耐腐蚀、磨损以及其它特殊物理、化学性能的要求。

碳钢已不能完全满足要求。

碳钢的不足：

(1) 淬透性低

一般情况下，碳钢水淬的最大淬透直径只有 $10\text{ mm} \sim 20\text{ mm}$ 。

(2) 强度和屈强比较低

普通碳钢Q235钢的 σ_s 为 235 MPa ，

低合金结构钢Q345 (16Mn)的 σ_s 则为 345 MPa 以上。

40钢的 σ_s / σ_b 仅为 0.43 (屈强比)

合金钢35CrNi3Mo的 σ_s / σ_b 高达 0.74 。

● 3.2 合金钢(alloys)

碳钢的不足：

(3) 回火稳定性差 (淬火钢在回火时抵抗强度、硬度下降的能力。在较高温度回火时乃能保持高度强度、硬度，说明钢的回火稳定性好)

碳钢进行调质处理时，为保证较高的强度，采用较低的回火温度，韧性偏低；为保证较好的韧性，采用高的回火温度，但强度又偏低。

碳钢的综合机械性能水平不高。

(4) 不能满足特殊性能的要求

碳钢在抗氧化、耐蚀、耐热、耐低温、耐磨损以及特殊电磁性等方面较差。

提示：碳钢不能完全满足科学技术和工业展要求。为了提高钢的性能，在铁碳合金中加入合金元素，得到合金钢。

3.2 合金钢(alloys)

3.2.1 合金钢的分类和编号

加入合金元素的目的

- 提高钢的淬透性
- 提高钢的强度和屈强比
- 提高钢的回火稳定性
- 满足特殊性能要求

合金钢的分类

Me含量	低5%/中5-10%/高合金钢10%
主要Me元素	铬/铬镍/锰/硅锰钢
正火/铸态显微组织	P/M/A/Ie钢
用途	<ul style="list-style-type: none">➤ 合金结构钢➤ 合金工具钢➤ 特殊性能钢

● 3.2 合金钢(alloys)

3.2.1 合金钢的分类和编号

合金钢的编号

牌号首部用数字标明平均碳质量分数。

结构钢以万分之一为单位的数字（两位数）；

工具钢和特殊性能钢以千分之一为单位的数字表示碳质量分数，工具钢的碳质量分数超过1%时，碳质量分数不标。

主要合金元素用元素符号表明，其后标明质量分数。

质量分数少于1.5%时不标，质量分数为1.5% ~ 2.49%、2.5% ~ 3.49%、...时，相应地标以2、3、...

● 3.2 合金钢(alloys)

3.2.1 合金钢的分类和编号

合金钢的编号

• 合金结构钢40Cr

平均碳质量分数为0.40%。

合金元素Cr的质量分数在1.5%以下。

• 合金工具钢5CrMnMo

平均碳质量分数为0.5%。

合金元素Cr、Mn、Mo的质量分数均在1.5%以下。

3.2 合金钢(alloys)

3.2.1 合金钢的分类和编号

合金钢的编号

专用钢：

用其用途的汉语拼音字首来标明。

●**滚珠轴承钢** 钢号前标 “G”。

GCr15表示碳质量分数约1.0%、铬质量分数约1.5%(这是一个特例)的滚珠轴承钢。

●**易切削钢** 钢号前标 “Y”。

Y40Mn 表示碳质量分数为0.4%、锰质量分数少于1.5%的易切削钢。

●**高级优质钢** 钢的末尾加 “A”，

例如：**20Cr2Ni4A**

● 3.2 合金钢(alloys)

3.2.2 合金结构钢

用于制造重要工程结构和机器零件的合金钢称为
合金结构钢。

主要有：

低合金高强度结构钢

合金渗碳钢（☆重点掌握）

合金调质钢（☆重点掌握）

合金弹簧钢

滚珠轴承钢（☆重点掌握）

● 3.2 合金钢(alloys)

3.2.2 合金结构钢

1、低合金高强度结构钢

用途

替代碳素结构钢

性能要求

结构件

✓ 桥梁



✓ 车辆

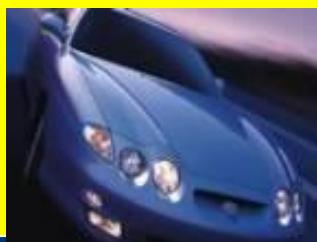


✓ 船舶

✓ 锅炉

✓ 高压容器

✓ 油气管道



- ✓ **高强度：**一般屈服强度在300 MPa以上。
- ✓ **高韧性：**要求延伸率为15%~20%，室温冲击韧性大于 600 kJ/m^2 ~ 800 kJ/m^2 。对于大型焊接构件，还要求有较高的断裂韧性。冷弯、焊接容易；
- ✓ 良好的焊接性能和冷成型性能。
- ✓ 低的冷脆转变温度。低温使用；
- ✓ 良好的耐蚀性。

3.2 合金钢(alloys)

3.2.2 合金结构钢

1、低合金高强度结构钢

牌号及成分特点

GB/T 1591-2008 低合金高强度结构钢(High strength low alloy structural steels)

牌号	化学成分, %						机械性能		旧牌号	用途	热处理
	C	Mn	Si	V	Nb	Ti	σ_s	δ			
Q345	0.18 ~ 0.20	≤ 1.70		韧性、焊接性和冷成形性能要求高，低碳:W(c) < 0.2% 低合金:W(Me) < 3%			345	21	12MnV 16Mn 18Nb	桥、船舶、车辆、建筑结构	一般在热轧空冷状态下使用，不需要专门的热处理
Q390		≤ 1.70		主加元素Mn 固溶强化及细化晶粒			390	19	15MnV 15MnVTi	桥、船、容器、起重设备	
Q420		≤ 0.20		形成细碳化物或碳氮化化合物，获得细小铁素体晶粒和提高钢的强度和韧性。阻止A晶粒长大及弥散硬化，铌、钛、钒			420	18	15MnVN	桥、船、高压容器、管道、	
Q460		≤ 1.80		Nb、Ti、V			460	17	14MnMoV	锅炉、化工容器	
Q690	≤ 0.18	≤ 2.00					690	/		锅炉蒸汽包 液化石油气罐	

3.2 合金钢(alloys)

3.2.2 合金结构钢

1、低合金高强度结构钢

北京奥运会主会场——国家体育场：鸟巢

“鸟巢”钢结构所用钢材为Q460EZ235，由我国自主创新研发生产，是顶级建筑用钢，

“460”指钢材的强度，表明这种钢的强度是普通钢的两倍，“E”指的是-40度的冲击韧性指标，这表明此钢的韧性十足，而“Z235”则表明“鸟巢”钢材的性能是最高级别的。



长轴为332.3m，短轴为297.3m，最高点高度为68.5m，最低点高度为40.1 m；

● 3.2 合金钢(alloys)

☆ 重点内容

3.2.2 合金结构钢

2、合金渗碳钢

用途

传动件：主要用于制造汽车、拖拉机中的变速齿轮，内燃机上的凸轮轴、活塞销等机器零件。这类零件在工作中遭受强烈的摩擦磨损，同时又承受较大的交变载荷，特别是冲击载荷。



变速齿轮



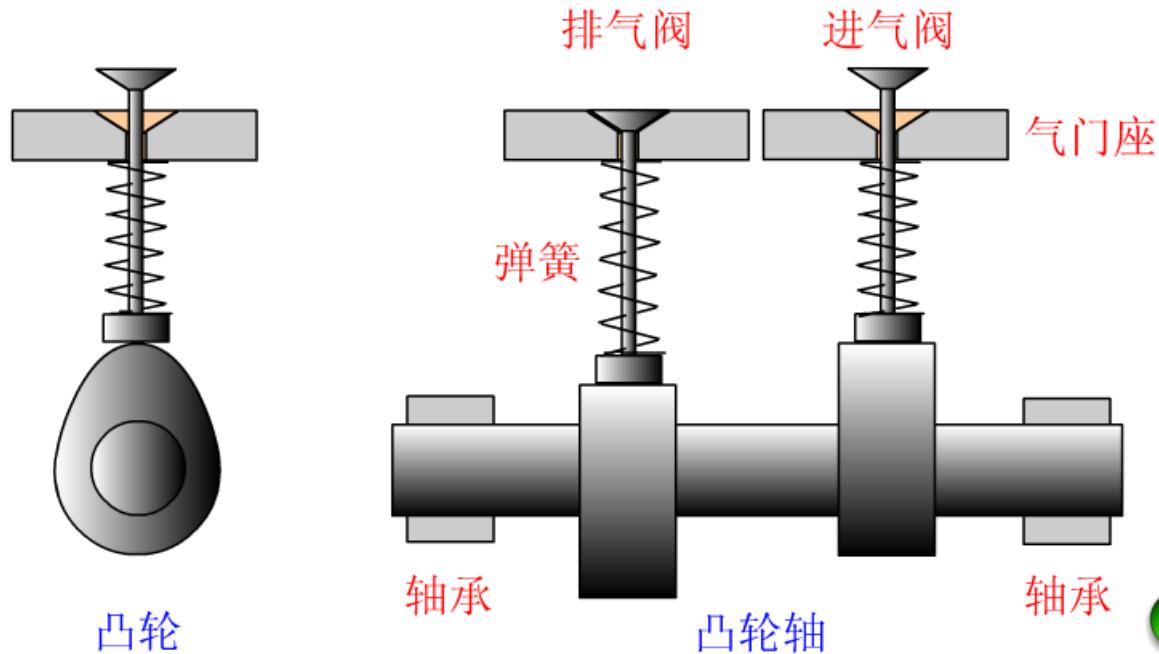
东风eq系列曲轴

3.2 合金钢(alloys)

3.2.2 合金结构钢

2、合金渗碳钢

凸轮机构：接触表面受到强烈的摩擦磨损。



● 3.2 合金钢(alloys)

3.2.2 合金结构钢

2、合金渗碳钢

性能要求

(1) 表面硬度高、耐磨

保证优异的耐磨性和接触疲劳抗力，同时具有适当的塑性和韧性。

(2) 心部具有高的韧性和足够高的强度

在冲击载荷或过载作用下不易断裂。

(3) 有良好的热处理工艺性能

在高的渗碳温度 ($900^{\circ}\text{C} \sim 950^{\circ}\text{C}$) 下，奥氏体晶粒不易长大，并有良好的淬透性。

3.2 合金钢(alloys)

3.2.2 合金结构钢

2、合金渗碳钢

成分特点

GB/T 3077-1999 合金结构钢(Alloy structural steels)

类别	牌号	化学成分w/%							热处理			机械性能			用途
		C	Mn	Si	Cr	Ni	V	其它	渗碳	淬火	回火	σ_b	σ_s	δ	
低淬透性	20Mn2	0.17~0.24	低碳: W(c) = 0.1%~0.25% 使零件心部有足够的塑性和韧性。							880油	200	785	590	小变速 齿轮、 小轴、 活塞销	
	20Cr		加入提高淬透性的元素 Mn、Cr、Ni							800油		835	540		
	20MnV		加入提高淬透性的元素 Mn、Cr、Ni							880油		785	590		
中淬透性	20CrMn	0.17~0.23	形成稳定的合金碳化物。阻止A晶粒长大(细化)及沉淀硬化 Ti、V、W、Mo							850油		930	735	10 变速齿 轮、轴、 蜗杆、 变速箱	
	20CrMnTi		形成稳定的合金碳化物。阻止A晶粒长大(细化)及沉淀硬化 Ti、V、W、Mo							870油		1080	850		
	20MnTiB		形成稳定的合金碳化物。阻止A晶粒长大(细化)及沉淀硬化 Ti、V、W、Mo							860油		1130	930		
高淬透性	18Cr2Ni4WA	0.13~0.19	形成稳定的合金碳化物。阻止A晶粒长大(细化)及沉淀硬化 Ti、V、W、Mo							850空		1180	835	大型变 速齿轮、 轴	
	20Cr2Ni4		形成稳定的合金碳化物。阻止A晶粒长大(细化)及沉淀硬化 Ti、V、W、Mo							880油		1180	1080		

● 3.2 合金钢(alloys)

3.2.2 合金结构钢

2、合金渗碳钢

钢种及牌号

● **20Cr 低淬透性合金渗碳钢 (与20优质碳素结构钢的区别)**

淬透性较低，心部强度较低。

● **20CrMnTi 中淬透性合金渗碳钢**

淬透性较高、过热敏感性较小，渗碳过渡层比较均匀，具有良好的机械性能和工艺性能。

● **18Cr2Ni4WA、20Cr2Ni4A**

高淬透性合金渗碳钢

含有较多的Cr、Ni等元素，淬透性很高，且具有很好的韧性和低温冲击韧性。

3.2.1

3.2.2

热处理

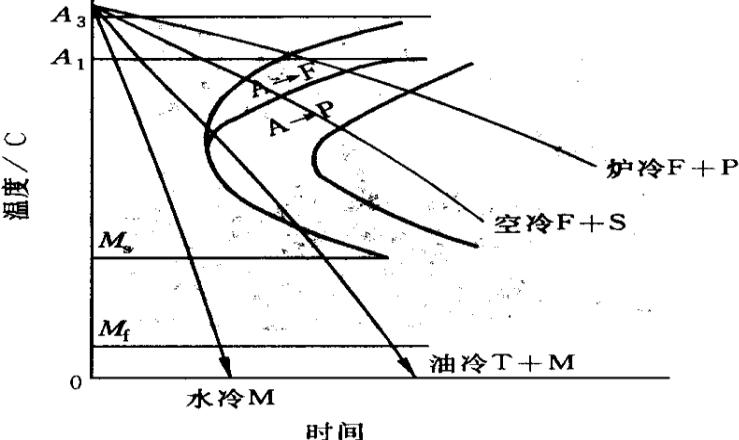
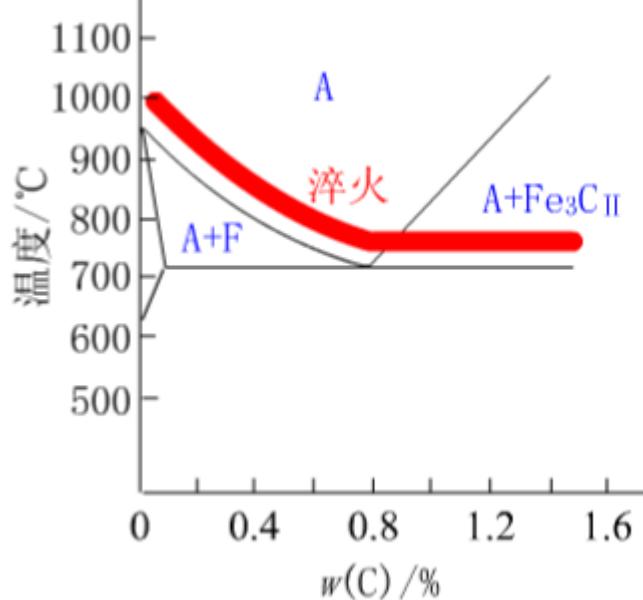


图 2-78 亚共析钢过冷奥氏体的连续冷却转变



渗碳后直接淬火，再低温回火。

表面组织：回火马氏体（高碳）+少量残余奥氏体+粒状合金渗碳体，硬度为60 HRC ~ 62 HRC。

心部组织与钢的淬透性及零件截面尺寸有关。**亚共析钢**

完全淬透时为回火马氏体（低碳），硬度为40 HRC ~ 48 HRC；

多数情况下是回火马氏体（低碳）+屈氏体+少量铁素体，硬度为25 HRC ~ 40 HRC。油淬 心部韧性一般都高于700 kJ/m²。

20CrMn 制造蜗杆。棒料锻造后正火，机加工后 930 °C 渗碳，预冷至 850 °C 油淬火，200 °C 低温回火。屈强大于 736 MPa，表面硬度 62~65 HRC。蜗杆整体强韧，表面耐磨。（玻璃的硬度 61 HRC）

● 课堂小测试

4、要制造直径25mm的螺栓，要求整个截面上具有良好的综合机械性能，应选用(c)。

- (a)45钢经正火处理 (b)60Si₂Mn经淬火和中温回火
- (c)40Cr钢经调质处理

5、适合制造渗碳零件的钢有(c)。

- (a)16Mn、15、20Cr、1Cr13、12Cr2Ni4A
- (b)45、40Cr、65Mn、T12
- (c)15、20Cr、18Cr2Ni4WA、20CrMnTi

低碳: W(c) = 0.1%~0.25%

使零件心部有足够的塑性和韧性。

加入提高淬透性的元素

Mn、Cr、Ni

3.2 合金钢(alloys)

★ 重点内容

3.2.2 合金结构钢

3、合金调质钢

用途

重要传动件

广泛用于制造汽车、
拖拉机、机床和其它机
器上的各种重要零件，
如机床齿轮、主轴、汽
车发动机曲轴、连杆、
螺栓等。

性能要求

- ✓ 综合机械性能好
- ✓ 截面受力均匀工件，需要整个截面淬透
- ✓ 截面受力不均匀工件，弯曲、扭转受力件心部可不淬透

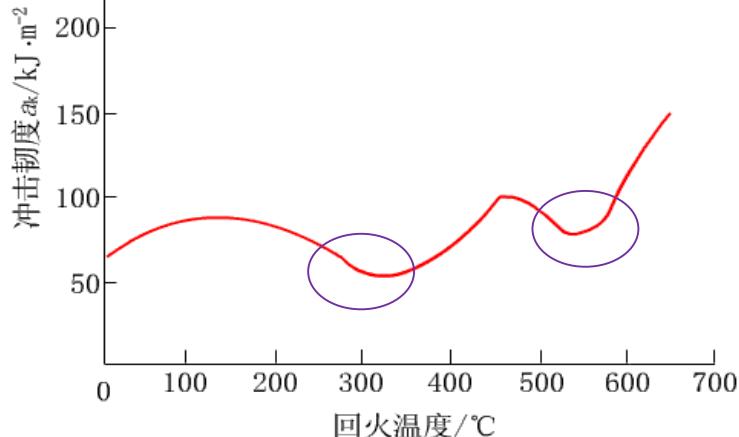


曲轴

3.2 合金钢(alloys)

3.2.2 合金结构钢

成分特点



(1) 中碳 碳质量分数一般在0.25% ~ 0.50%之间，以0.4%居多；

(2) Cr、Mn、Ni、Si 提高淬透性，形成合金铁素体，提高钢的强度；

(3) 加入防止第二类回火脆性的元素Mo、W
含Ni、Cr、Mn的合金调质钢，易产生第二类回火脆性。
加入Mo、W可以防止第二类回火脆性。

适宜含量：Mo的质量分数为0.15% ~ 0.30%，或W的质量分数为0.8% ~ 1.2%。可消除高温回火脆性。

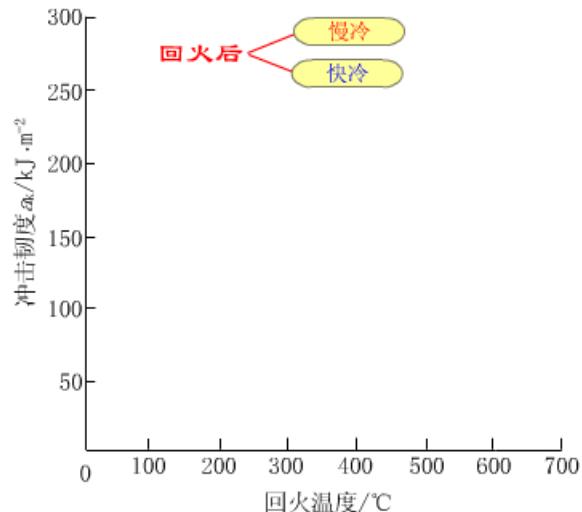
3.2 合金钢(alloys)

3.2.2 合金结构钢

3、合金调质钢

成分特点

如何消除第二类回火脆性?



总结：回火后快冷(通常用油冷)可防止回火脆性发生。钢中加入适当Mo或W(0.5%Mo, 1%W)可基本上消除这类脆性。

● 3.2 合金钢(alloys)

3.2.2 合金结构钢

3、合金调质钢

钢种及牌号

● **40Cr** 低淬透性合金调质钢，油淬临界直径为30 mm ~ 40 mm，用于制造一般尺寸的重要零件。

● **35CrMo** 中淬透性合金调质钢，油淬临界直径为40 mm ~ 60 mm，加入钼提高淬透性，还可防止第二类回火

● **40CrNiMo** 高淬透性合金调质钢，油淬临界直径为60 mm ~ 100 mm，铬镍钢中加入适当的钼，不但具有好的淬透性，还可消除第二类回火脆性。

● 3.2 合金钢(alloys)

3.2.2 合金结构钢

3、合金调质钢

热处理

热处理：调质（淬火+高温回火）

合金调质钢淬透性较高，一般都用油淬，淬透性特别大时可以空冷，减少热处理缺陷。

合金调质钢一般采用 $500\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 650\text{ }^{\circ}\text{C}$ 回火。

为防止第二类回火脆性，回火后快冷（水冷或油冷）。

● 3.2 合金钢(alloys)

3.2.2 合金结构钢

3、合金调质钢

热处理后的组织

- 合金调质钢常规热处理后的组织是回火索氏体，用于螺栓、连杆等。
- 表面要求耐磨的零件（如齿轮、主轴），再进行感应加热表面淬火+低温回火，表面组织为回火马氏体，表面硬度可达 $55 \text{ HRC} \sim 58 \text{ HRC}$ 。心部组织是回火索氏体。

合金调质钢淬透调质后的屈服强度约为 800 MPa , 冲击韧度在 800 kJ/m^2 , 心部硬度可达 $22 \text{ HRC} \sim 25 \text{ HRC}$ 。若截面尺寸大未淬透时，性能显著降低。

● 课堂小测试

6、20CrMnTi钢根据其组织和机械性能，在工业上主要作为一种（A）使用。

- A. 合金渗碳钢 B. 合金弹簧钢
- C. 合金调质钢 D. 滚动轴承钢

7、调质钢的合金化主要是考虑提高（A）和（B）。

- (a)淬透性
- (b)消除第二类回火脆性
- (c)红硬性

3.2 合金钢(alloys)

3.2.2 合金结构钢

4、非调质机械结构钢

GB/T 15712-2008 非调质机械结构钢 (Microalloyed medium carbon steels)

牌号	化学成分w/%					机械性能					应用
	C	Mn	Si	V	其它	Rm	Rel	A	Z	KU2	
F35VS						≥590	≥390	≥18	≥40	≥47	优于调质态的40钢
F40VS	中碳: W(c) = 0.32%~0.52%					≥640	≥420	≥16	≥35	≥37	代替40钢生产连杆
F45VS	细化晶粒及沉淀硬化: V					≥685	≥440	≥15	≥30	≥35	代替45钢生产曲轴
F30MnVS						≥700	≥450	≥14	≥30	实测	
F35MnVS	细化及增加P含量, 提高强度: Mn					≥735	≥460	≥17	≥35	≥37	代替55钢生产连杆
F38MnVS						≥800	≥520	≥12	≥25	实测	
F40MnVS						≥785	≥490	≥15	≥33	≥32	代替45、40Cr
F45MnVS						≥835	≥510	≥13	≥28	≥28	代替45钢
F49MnVS						≥780	≥450	≥8	≥20	实测	

3.2 合金钢(alloys)

3.2.2 合金结构钢

5、合金弹簧钢

用途

各种弹簧
弹性元件



性能要求

- (1) 高的弹性极限 σ_e , 尤其是高的屈强比 σ_s / σ_b 。以保证弹簧有足够的高的弹性变形能力和较大的承载能力。
- (2) 高的疲劳强度 σ_r , 以防止在震动和交变应力作用下产生疲劳断裂。
- (3) 足够的塑性和韧性, 以免受冲击时脆断。
- (4) 要求有较好的淬透性, 不易脱碳和过热, 容易绕卷成形等。

成分特点

- (1) 中、高碳 保证高的屈强比, 碳的质量分数一般为0.50%~0.70%。碳含量过高时, 塑性、韧性降低, 疲劳抗力也下降。
- (2) 加入Si、Mn 提高淬透性。Si和Mn同时也提高屈强比。
重要用途的弹簧钢还须加入Cr、V、W等元素。

3.2 合金钢(alloys)

3.2.2 合金结构钢

5、合金弹簧钢

GB/T 1222-2007 弹簧钢(Spring steels)

牌号	化学成分w/%					热处理		机械性能			应用
	C	Mn	Si	Cr	其它	淬火	回火	σ_b	σ_s	δ	
65Mn	 	830	540	980	785	8	<p>截面≤25mm的弹簧，如车厢缓冲弹簧</p> <p>截面≤30mm的重要弹簧，如小型汽车、载重车板簧，温度低于350°C的耐热弹簧</p>				
60Si2Mn								870	480	1275	
60Si2MnA								870	440	1570	
55SiMnVB								860	460	1375	
60Si2CrA								870	420	1800	6
60Si2CrVA								850	410	1900	6
50CrVA								850	500	1300	9
55CrMnA								850	500	1250	$\sigma_{0.2}$ 1100 6

冷成型小弹簧：小尺寸弹簧一般用冷拔弹簧钢丝（片）卷成，不需要热处理

热成型大弹簧：热成型→淬火→中温回火(回火 T)

老师提示：为了提高弹簧的疲劳寿命，广泛采用喷丸强化处理。



2) 性能要求



☆ 重点内容

滚动体、内外套圈

量具、模具、丝杠

① 高的接触疲劳强度

滚珠、滚柱与套圈运动时为点或线接触，压应力高达 $1500 \text{ MPa} \sim 5000 \text{ MPa}$ ；交变应力易造成接触疲劳破坏，产生麻点或剥落。轴承钢疲劳强度应很高。

② 高的硬度和耐磨性

硬度一般为 $62\text{HRC} \sim 64\text{HRC}$ 。

③ 足够的韧性和淬透性

④ 耐腐蚀及尺寸稳定性



3.2 合金钢(alloys)

3.2.2 合金结构钢

6、滚动轴承钢

3) 成分特点

①高碳: $W(c) = 0.95\% \sim 1.10\%$

保证高硬度、高耐磨性和高强度。

②基本合金元素 $W(Cr) = 0.4\% \sim 1.65\%$: 形成 $(Fe,Cr)_3C$

提高淬透性，形成合金渗碳体 $(Fe, Cr)_3C$ 细密、均匀分布，提高钢的耐磨性、疲劳强度。

③加入硅、锰、钒等，提高淬透性

Si、Mn提高淬透性。V部分溶于奥氏体中，部分形成碳化物VC，提高钢的耐磨性并防止过热。

④高冶金质量: $S < 0.025\%$, $P < 0.027\%$

非金属夹杂对钢的接触疲劳强度影响很大。

3.2 合金钢(alloys)

3.2.2 合金结构钢

6、滚动轴承钢

4) 钢种

①铬轴承钢：最常用的是**GCr15**

GCr15 $w(C)1\%、w(Cr)1.5\%$
最常用，使用量占轴承钢的绝大部分

②添加 Mn、Si、Mo、V的轴承钢：

GCrl5SiMn、GCrl5SiMnMoV

在铬轴承钢中加入Si、Mn可提高淬透性。

为了节约铬，加入Mo、V可得到无铬轴承钢，如
GSiMnMoV、GSiMnMoVRE等，其性能与GCr15相近。

3.2 合金钢(alloys)

3.2.2 合金结构钢

6、滚动轴承钢

5) 热处理

淬火温度要求严格。

温度过低，淬火后硬度不足。

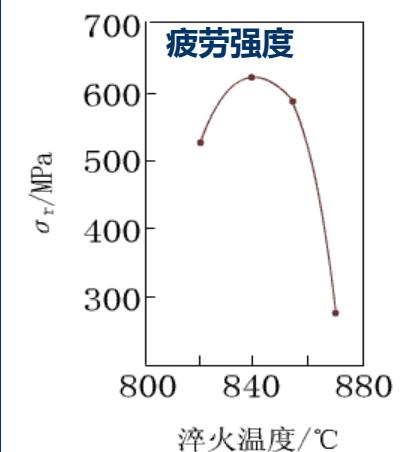
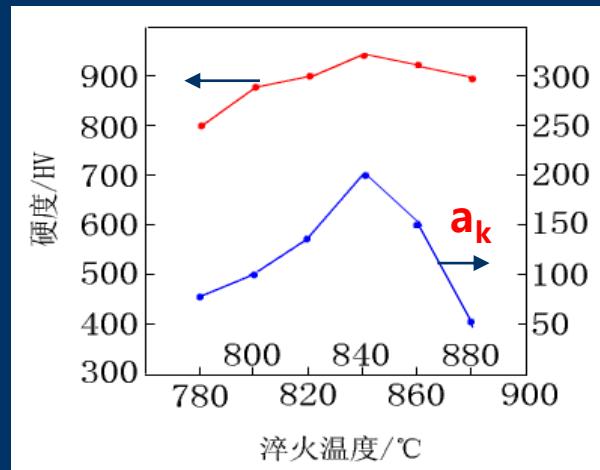
温度过高，韧性、疲劳强度下降，易淬裂和变形。

工艺：GCr15钢的淬火温度严格控制在820°C ~ 840°C范围内，回火温度一般为150°C ~ 160°C。

极细的回火马氏体粒状碳化物
少量残余奥氏体

图 3-4 GCr15 钢淬火、回火后的显微组织

正火→球化退火→(淬火 + 低温回火)



GCr15钢淬火温度对机械性能的影响

组织：极细的回火马氏体、均匀分布的粒状碳化物以及少量残余奥氏体。

● 课堂小测试

8、调质钢加入合金元素主要是考虑提高其红硬性。(X)

9、T8与20MnVB相比，淬硬性和淬透性都较低。 (X)

10、65、65Mn、60Si2Mn、50CrV等属于(C)类钢，其热处理特点是()。

- (a)工具钢，淬火+低温回火
- (b)轴承钢，渗碳+淬火+低温回火
- (c)弹簧钢，淬火+中温回火

☆ 练习

请选择制造下列零件的材料：

汽车齿轮（E）、机床主轴（F）、汽车板簧（D）、
滚珠（B）。

- A、Q390 (15MnV)； B、GCr15； C、T8
- D、60Si₂Mn； E、20CrMnTi； F、45

轴类零件常用45钢（一般的齿轮、轴类、套筒等零件），精度较高的轴可选用40Cr；

● 3.2 合金钢(alloys)

3.2.3 合金工具钢

1、合金刃具钢

☆ 重点内容

2、合金模具钢

3、量具用钢

3.2 合金钢(alloys)

☆ 重点内容

3.2.3 合金工具钢

1、合金刃具钢

用途

主要用于制造各种金属切削刀具，如车刀、铣刀、钻头等



性能要求

切削时刃部与切屑之间强烈摩擦发热，刃部温度可达 $500\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；承受冲击和震动。

- (1) **高硬度** 一般在60 HRC以上。
- (2) **高耐磨性** 与钢的硬度、钢中硬质点的性质、数量、大小和分布有关。
- (3) **高热硬性 (红硬性)** 钢在高温下保持高硬度的能力。
- (4) 足够的**塑性和韧性** 防止刃具受冲击震动时折断和崩刃。

分类

- (1) **低合金刃具钢**
(低速下使用)
- (2) **高速钢**
(高速下使用)

3.2 合金钢(alloys)

3.2.3 合金工具钢

1、合金刃具钢

GB/T 1299-2000 合金工具钢(Alloy tool steels)

GB/T 9943-2008 高速工具钢(High-speed tool steels)

类别	牌号	化学成分							热处理		性能 HRC	应用
		C	Mn	Si	Cr	W	V	Mo	淬火(油)	回火		
低合金刃具钢	9SiCr	1、高 碳: 保证高硬度							860~880	180~200	60~62	使用温度 <300℃ 低速刃具 量具
	Cr2	2、锰硅铬: 保证淬透性							830~860	150~170	61~63	
	8MnSi	3、硅: 保证回火稳定性							800~820	150~160	64~65	
	W	4、钨 钒: 细化晶粒 提高耐磨性							840~860	130~140	62~65	
高速钢	W18Cr4V	1、高碳: 保证高硬度							1270~1285	550~570	≥ 63	使用温度 <600℃ 高速刃具
	W6Mo5Cr4V2	2、铬: Cr ₂₃ C ₆ 淬火加热时全部分解, 溶解在A中, 提高淬透性。									≥ 63	
	W6Mo5Cr4V3	3、钨钼: (Fe,Me)C ₆ 部分溶解在A中, 回火后产生二次硬化。未溶解部分提高耐磨性, 防止A过热, 细化晶粒 4、钒: VC不溶解在A中, 提高耐磨性, 防止A过热, 细化晶粒 5、W提高红硬性									≥ 64	形状复杂的 耐磨和耐热 刃具

3.2 合金钢(alloys)

3.2.3 合金工具钢

1、合金刃具钢

钢种及牌号

(1) 低合金刃具钢

典型钢种为9SiCr。

$w(C)0.9\%$ 、 $w(Si)1.4\%$ 、 $w(Cr)1\%$

加工过程：

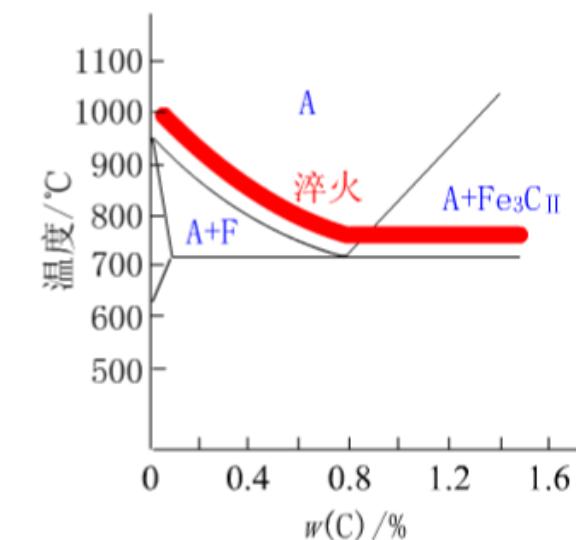
球化退火、机加工，然后淬火和低温回火。

热处理后的组织：

回火马氏体+碳化物+少量残余奥氏体。

应用：

制造低速切削刀具，如丝锥、板牙、钻头。



3.2 合金钢(alloys)

3.2.3 合金工具钢

1、合金刃具钢

钢种及牌号

(2) 高速钢 (碳含量并不很高)

W18Cr4V $w(C)0.75\%$ 、 $w(W)18\%$ 、 $w(Cr)4\%$ 、
 $w(V)1.2\%$ 、 **W6Mo5Cr4V2** $w(C)0.85\%$ 、 $w(W)6\%$ 、
 $w(Cr)4\%$ 、 $w(V)2\%$ 、

W18Cr4V钢的热硬性较好, 热处理时的脱碳和过热倾向较小。

(Cr提高淬透性, W提高红硬性, V细化晶粒提高耐磨性)

W6Mo5Cr4V2钢的耐磨性、热塑性和韧性较好。

高速钢铸态组织中含有大量呈鱼骨状分布的粗大共晶碳化物(M_6C)，需要多次镦拔，得到小块均匀的碳化物。

3.2 合金钢(alloys)

* 合金刀具钢的热处理

1) 低合金刃具钢

◆ 为什么淬火温度高?

一般为 $1220\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 1280\text{ }^{\circ}\text{C}$, 使难溶碳化物溶于奥氏体中, 在冷却时可析出细小的粒状碳化物。

回火马氏体+碳化物+少量残余奥氏体

正火→球化退火→淬火→低温回火

2) 高速钢

反复锻打→球化退火→预热→淬火→三次回火

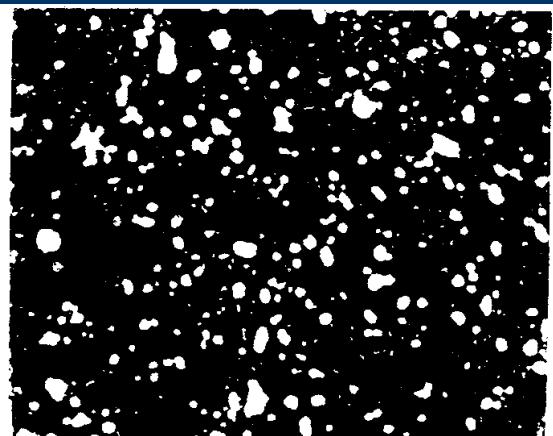


图 3-6 高速钢淬火、回火后的组织

回火马氏体
粒状碳化物
少量残余奥氏体



3.2 合金钢(alloys)

* 合金刃具钢的热处理

2) 高速钢

三次高温回火的目的：一是让残余奥氏体尽可能转变为马氏体；一是利用二次硬化效应提高高速钢的红硬性。不是调质。

反复锻打→球化退火→预热→淬火→三次回火

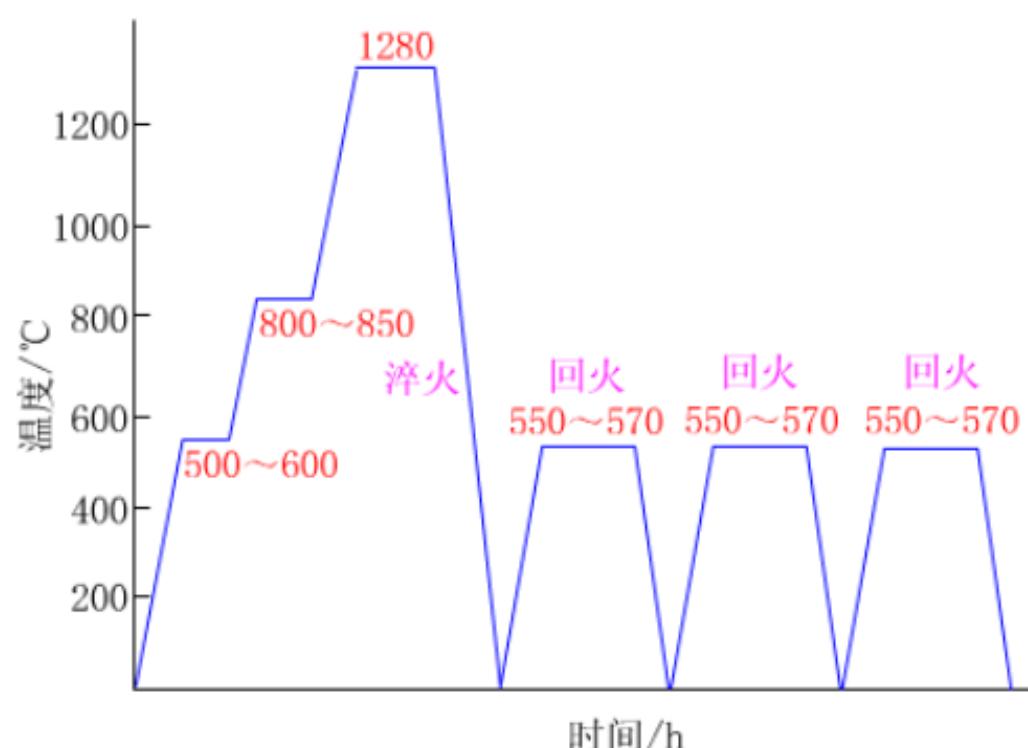
◆ 为什么采用三次回火？

减少残余A的量，第一次回火后部分残A转变为M，第二次回火后又有部分A残转变为M...

◆ 回火温度550~570 °C？

Mo、W、V含量较高，可产生二次硬化。提高红硬性

由于高合金含量，回火稳定性增大，在回火时仍得到回火马氏体。

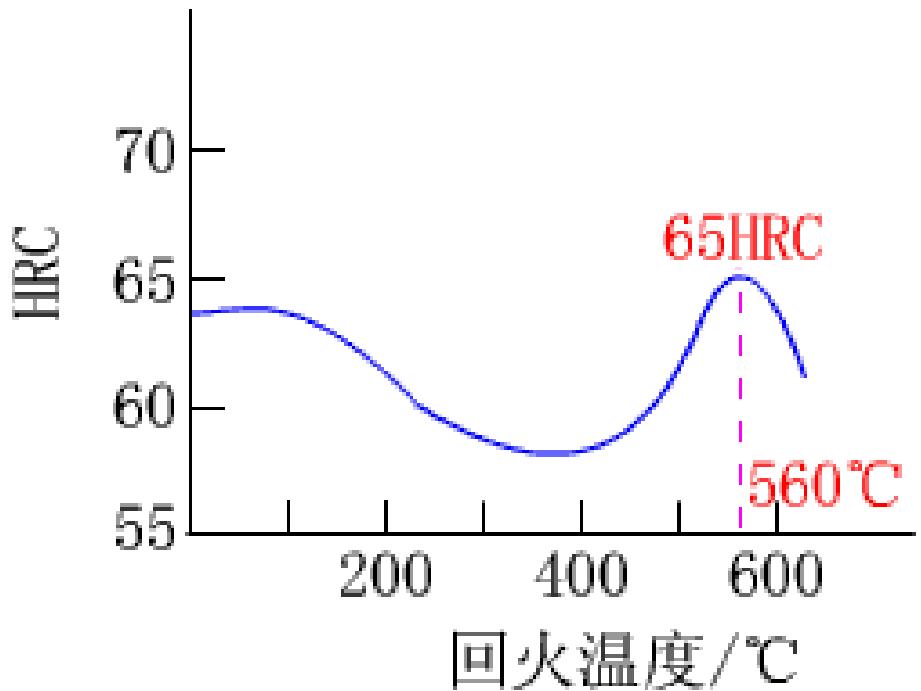


3.2 合金钢(alloys)

含Mo、W、V较多时采用

3.2.3 合金工具钢

2) 高速钢



高速钢W18Cr4V硬度与回火温度的关系
高速钢通常在二次硬化峰值温度或稍高
一些的温度 (550-570°C)

Mo、W、V含量较高的合金钢回火时, 硬度不是随回火温度升高单调降低, 到某一温度(约400 °C)后开始增大, 并在更高温度(一般为550 °C左右)达到峰值。称**二次硬化现象**。

产生二次硬化的因素

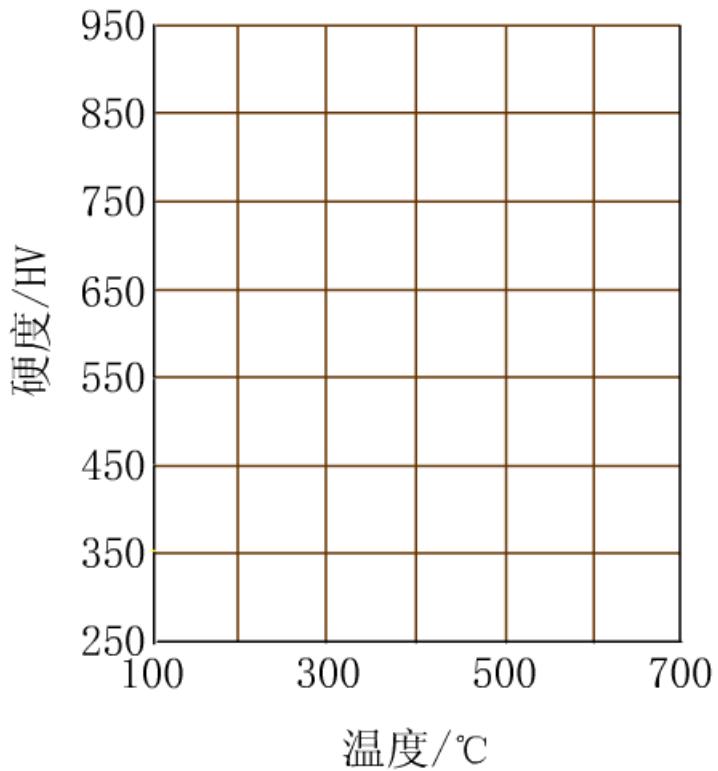
在450 °C以上渗碳体溶解, 钢中开始沉淀出弥散稳定的难熔碳化物 Mo₂C、W₂C、VC等, 使硬度升高, 称为**沉淀硬化 (第二相强化)**。

为什么能在高速下使用的原因

3.2 合金钢(alloys)

3.2.3 合金工具钢

T12、9SiCr、W18Cr4V的硬度与温度的关系



1、合金刃具钢

2) 高速钢

- 碳素工具钢T12，只能在100 °C以下使用；
- 低速合金刃具刚9SiCr，只能在300°C以下使用；
- 由于产生二次硬化高速钢W18Cr4V热硬性好，在600 °C仍保持650HV(56HRC)的高硬

● 课堂小测试

11、二次硬化属于(**d**)。

- (a) 固溶强化
- (b) 细晶强化
- (c) 位错强化
- (d) 第二相强化

12、高速钢的红硬性取决于(**b**)。

- (a) 马氏体的多少
- (b)淬火加热时溶入奥氏体中的合金元素的量
- (c)钢中的碳含量

● 3.2 合金钢(alloys)

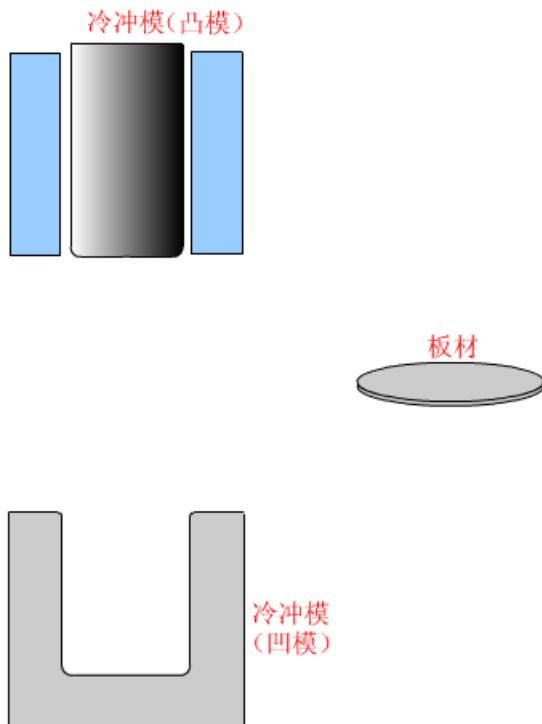
3.2.3 合金工具钢

2、合金模具钢

1) 高铬冷作模具钢

用途

制造冷冲模、
冷镦模、冷挤
压模和拉丝模
等，工作温度
不超过200
 $^{\circ}\text{C}$ ~ 300 $^{\circ}\text{C}$ 。



性能要求

模具工作时承受很大的压力、弯曲力、冲击载荷和摩擦。主要失效形式是磨损，常出现崩刃、断裂和变形等失效现象。

- ① 高硬度，一般为58 HRC ~ 62 HRC;
- ② 高耐磨性；
- ③ 足够的韧性和疲劳抗力；
- ④ 热处理变形小。

3.2 合金钢(alloys)

3.2.3 合金工具钢

2、合金模具钢

2) 高铬热作模具钢

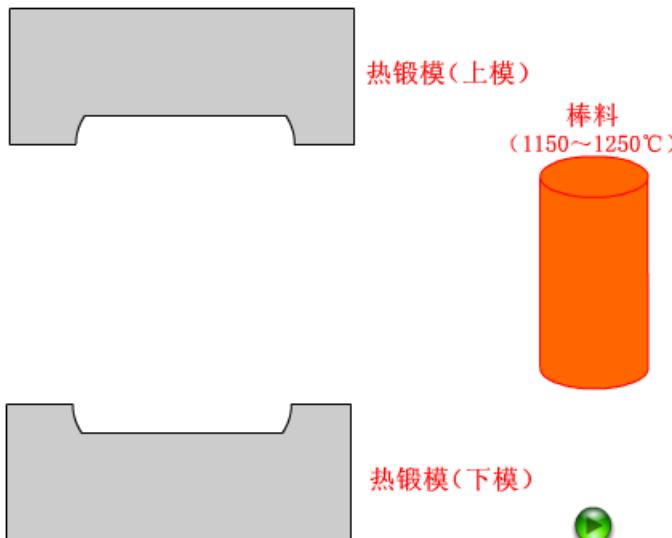
用途

制造热锻模、热压模、热挤压模和压铸模等，工作时型腔表面温度可达600 °C以上。

性能要求

承受很大的冲击载荷、强烈的摩擦、热应变和热应力，高温氧化，出现崩裂、磨损、龟裂等失效形式。

- ① 高的热硬性和高温耐磨性；
- ② 高的抗氧化性能；
- ③ 高的热强性和足够的韧性，尤其是受冲击较大的热锻模钢；
- ④ 高的热疲劳抗力，以防止龟裂破坏；
- ⑤ 有高的淬透性和导热性。



3.2 合金钢(alloys)

3.2.3 合金工具钢

2、合金模具钢

GB/T 1299-2000 合金工具钢(Alloy tool steels)

GB/T 24594-2009 优质合金模具钢 (quality alloy mould steels)

	牌号	化学成分							热处理			性能 硬度	应用
		C	Si	Mn	Cr	Mo	W	V	退火	淬火	回火		
冷作模具钢	9Mn2V	成分：高碳高铬 ① 高碳 碳质量分数多在1.0%以上，个别钢种达到2.0%，以保证高的硬度和高耐磨性。 ② 加入Cr、Mo、W、V等合金元素 形成难熔碳化物，提高耐磨性。	750~770	780~820	150~200	60 ~62	<300 °C 冷冲模 冷镦模 拉丝模 挤压模						
	CrWMn		760~790	820~840	140~160	62~65							
	Cr12		870~900	950~1000	200~450	58 ~64							
	Cr12MoV		850~870	1020~1040	150~425	55 ~63							
	6W6Mo5Cr4V		850~870	1180~1200	三次回火 560~580	60 ~63							
	4CrW2Si		710~740	860~900	200~250	53 ~56							
	6CrW2Si		700~730	860~900	200~250	53~56							
热作模具钢	5CrMnMo	成分：中碳合金钢 ① 中碳 0.3% ~ 0.6%，保证高强度、高韧性、较高的硬度 (35 HRC ~ 52 HRC) 和较高的热疲劳抗力； ② Cr、Ni、Mn、Si等 提高淬透性，提高回火稳定性。Ni强化铁素体，增加钢的韧性； ③ Mo、W、V等元素 产生二次硬化；	780~800	830~850	490~640	30 ~47	600 °C 热锻模 热镦模 锻压模 塑料模						
	5CrNiMo		780~800	840~860	490~660	30 ~47							
	4Cr5MoSiV		840~900	1000~1020	540~650	40 ~54							
	3Cr3Mo3W2V		845~900	1100~1040	550~600	40 ~54							
	5Cr4W5Mo2V		850~870	1130~1140	600~630	50 ~56							
	3Cr2MnNiMo												

● 3.2 合金钢(alloys)

3.2.3 合金工具钢

2、合金模具钢

◆ 冷作模具钢

Cr12 大型冷模具用钢，热处理变形很小，制造重载和形状复杂的模具。

◆ 热作模具钢

5CrMnMo $\omega(C)0.5\%、\omega(Cr)0.7\%$ 、

$\omega(Mn)1.4\%、\omega(Mo)0.25\%$ 、

5CrNiMo $\omega(C)0.5\%、\omega(Cr)0.7\%$ 、

$\omega(Ni)1.6\%、\omega(Mo)0.25\%$ 、

制造对韧性要求高而热硬性要求不太高的热锻模。

3.2 合金钢(alloys)

* 合金模具钢的热处理与组织

多次回火一般是为降低残留的奥氏体数量，一次回火只是希望降低内应力，获得稳定的回火组织，对残留奥氏体分解的量很少，多次回火也有这个目的。含Mo, V, 二次硬化

1) 高铬冷作模具钢

一次硬化法
球化退火

↓
淬火

↓
低温回火

回火M
残余A
碳化物

二次硬化法
球化退火

↓
高温淬火

↓
三次回火

回火M
残余A
碳化物

2) 热作模具钢

Mo, W,
V含量高

热锻模具钢
球化退火

↓
淬火

↓
高温回火

热压模具钢
球化退火

↓
高温淬火

↓
三次回火
(600 °C)

与调质钢相似：
回火S

与高速钢类似：
回火M
残余A
碳化物

● 3.2 合金钢(alloys)

3.2.3 合金工具钢

3、量具用钢

用途

量具用钢用于制造各种量测工具，如卡尺、千分尺、螺旋测微仪、块规、塞规等。

性能要求

量具在使用过程中要求测量精度高，不能因磨损或尺寸不稳定影响测量精度。

- (1) 高硬度（大于56 HRC）和高耐磨性；
- (2) 高尺寸稳定性 热处理变形要小，在存放和使用过程中，尺寸不发生变化。

成分特点

量具用钢的成分与低合金刀具钢相同。

- 高碳 (0.9%-1.5%)。
- 加入提高淬透性的元素Cr、W、Mn等。



游标卡尺



千分尺



螺纹规

3.2 合金钢(alloys)

将淬火后的金属工件置于室温或较高温度下保持适当时间，以提高金属强度的金属热处理工艺。作用是为了消除精密量具或模具、零件在长期使用中尺寸、形状发生变化。

3.2.3 合金工具钢

3、量具用钢

GB/T 18254-2002 高碳铬轴承钢(High-carbon chromium bearing steels)

GB/T 20878-2007 不锈钢和耐热钢 牌号及化学成分

(Stainless and heat-resisting steels Designation and chemical composition)

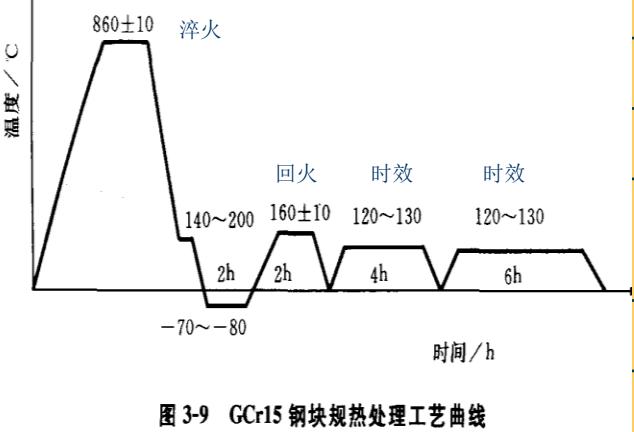
种类	牌号	化学成分						热处理	应用
		C	Mn	Si	Cr	W	其他		
优质碳素结构钢	10	1、高硬度； 2、高耐磨性； 3、尺寸稳定性好。						球化退火 ↓ 淬火 ↓ 冷处理 (M, 彻底)	样板、卡板
	20							↓ 低温回火 ↓ 时效处理	一般量规、块规
	65Mn								精密量规、块规
工具钢	T12A								复杂且精密量规、块规
低合金刃具钢	9SiCr								抗腐蚀量具
滚珠轴承钢	GCr15								
冷模具钢	CrWMn								
不锈钢	40Cr13								
	95Cr18								

图 3-9 GCr15 钢块规热处理工艺曲线

● 3.2 合金钢(alloys)

3.2.4 特殊性能钢

1、不锈钢 ✓

2、耐热钢

3、耐磨钢

3.2 合金钢(alloys)

金属
材料
腐蚀
概念

3.2.4 特殊性能钢

1、不锈钢

不锈钢是指在大气和一般介质中具有很高耐腐蚀性的钢种。

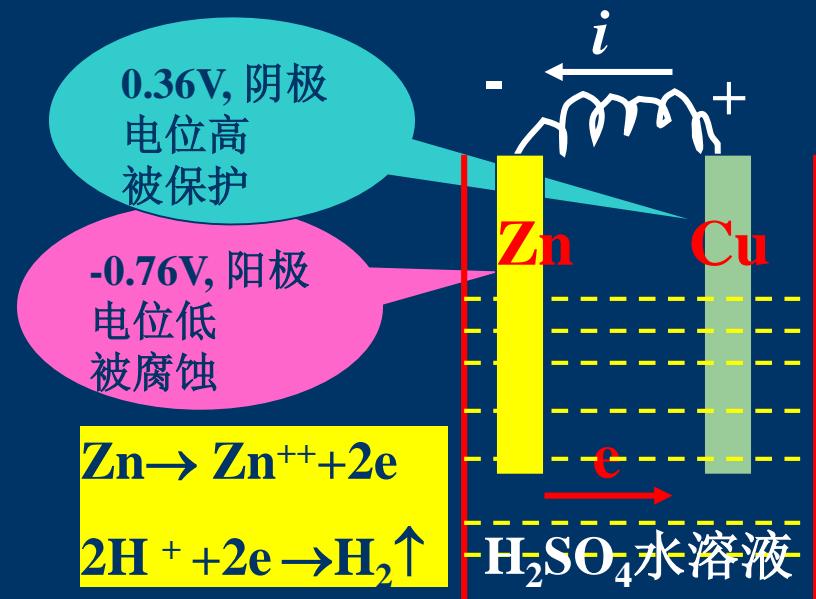
腐蚀是在外部介质的作用下金属逐渐破坏的过程。

化学腐蚀：金属同介质发生化学反应而破坏，不产生电流

电化学腐蚀：金属在电解质溶液中发生原电池作用而破坏，有电流

防止措施：

- 使金属材料具有均匀的单相组织，并尽量提高其电极电位。
(减小原电池形成的可能性)
- 提高阳极材料的电极电位，以尽可能减小电位差。
(减小电流)
- 在表面形成致密的、稳定保护膜，使金属“钝化”。
(将介质与材料隔离)



3.2 合金钢(alloys)

3.2.4 特殊性能钢

1、不锈钢

不锈钢成分特点

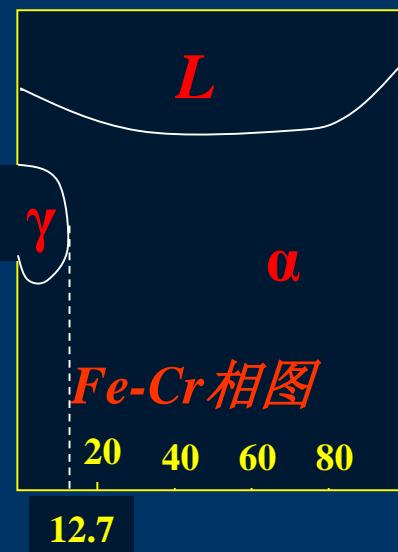
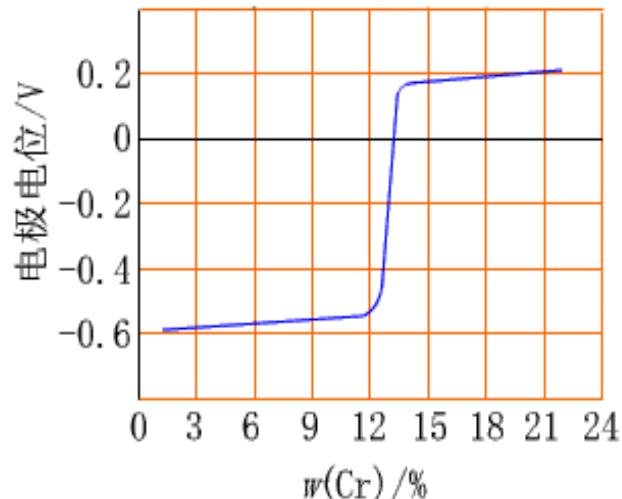
(1) 碳

耐蚀性要求愈高，碳含量应愈低。大多数不锈钢的碳质量分数为0.1% ~ 0.2%。硬度高时，碳质量分数高（0.85% ~ 0.95%），相应铬含量应提高。

(2) 铬 最主要的合金元素

提高基体的电极电位。铬在氧化性介质（水蒸气、大气、海水、氧化性酸）中极易钝化，生成致密的氧化膜、使钢的耐蚀性大大提高。

高铬可得单相铁素体组织。



铬质量分数对Fe-Cr合金电极
电位的影响(大气条件)

3.2 合金钢(alloys)

3.2.4 特殊性能钢

1、不锈钢

不锈钢成分特点

(3) 镍

获得单相奥氏体组织，显著提高耐蚀性；或形成奥氏体+铁素体组织，热处理后提高钢的强度。

(4) 钛、铌

优先同碳形成稳定碳化物，使Cr保留在基体中，避免晶界贫铬，减轻钢的晶界腐蚀倾向。 **(先占有碳)**

(5) 钼、铜

Cr在盐酸、稀硫酸和碱溶液中钝化能力差，Mo、Cu等元素可提高在非氧化性酸中的耐蚀性。

(6) 锰、氮

部分代镍以获得奥氏体组织，并能提高铬不锈钢在有机酸中的耐蚀性。

● 3.2 合金钢(alloys)

3.2.4 特殊性能钢

1、不锈钢

按室温下的组织分为：

马氏体不锈钢 (耐蚀性较好)

铁素体不锈钢 (耐蚀性好)

奥氏体不锈钢 (耐蚀性和强度均好)

双相 (A+F) 不锈钢

3.2 合金钢(alloys)

3.2.4 特殊性能钢

1、不锈钢

(1) 马氏体不锈钢 (主要为铬含量在12%-18%范围内的低碳或高碳钢)

铬的质量分数大于12%，只能在氧化性介质中（如大气、海水、氧化性酸等）耐蚀。在非氧化性介质中（浓盐酸、浓硫酸）不能达到良好的钝化，耐蚀性低。

12Cr13 (1Cr13) 、 20Cr13 (2Cr13) 耐蚀性较好，有较好的机械性能。一般采用调质处理。制作叶片、水压机阀、结构架、螺栓、螺帽等。

30Cr13 (3Cr13) 、 40Cr13 (4Cr13) 强度和耐磨性提高，但耐蚀性降低。采用淬火、低温回火处理。制作具有较高硬度和耐磨性的医疗工具、量具、滚珠轴承等。



不锈钢船用螺旋桨



不锈钢剪刀

马氏体不锈钢
可以淬火强化

3.2 合金钢(alloys)

3.2.4 特殊性能钢

1、不锈钢

(2) 铁素体型不锈钢 (碳少,铬多)

10Cr17 (1Cr17) 、10Cr17Ti (1Cr17Ti) 、06Cr13Al

铬质量分数为17% ~ 30%，碳质量分数低于0.15%，为单相铁素体组织。耐蚀性比Cr13钢更好。

退火或正火状态下使用。

强度较低、塑性很好，可用形变强化提高强度。

形变怎么提高强度？

加工硬化

应用：用作耐蚀性要求很高而强度要求不高的构件，例如化工设备、容器和管道等。



● 3.2 合金钢(alloys)

3.2.4 特殊性能钢

1、不锈钢

(3) 奥氏体型不锈钢(碳少, 铬多, 加入镍, 镍的存在使得钢在室温下呈现奥氏体组织)

06Cr18Ni11Ti、1Cr18Ni9、12Cr18Ni9Ti (1Cr18Ni9Ti)

碳含量很低, 耐蚀性很好。

钢中常加入Ti或Nb, 以防止晶间腐蚀。

强度、硬度低, 无磁性, 塑性、韧性和耐蚀性均较Cr13型不锈钢更好。 (熔炼成本高, 价格贵)

只能用形变强化 (加工硬化) 提高强度 (形变强化能力比铁素体型不锈钢要强)

为什么奥氏体不锈钢不能通过热处理强化, 只能用冷加工强化手段提高其强度?

淬火就是得到马氏体组织, 提高硬度, 但改变了相。另外, 热处理奥氏体钢的时候, 加热时会经过敏化区间, 过饱和的C会向晶粒边界扩散, 和Cr结合, 造成晶间贫Cr, 出现裂纹等缺陷, 强度就低了。

3.2 合金钢(alloys)

3.2.4 特殊性能钢

1、不锈钢

采用固溶处理进一步提高耐蚀性，也是奥氏体不锈钢常用的热处理工艺。

(1) 固溶处理

将钢加热至 $1050\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 1150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 使碳化物充分溶解，然后水冷，获得单相奥氏体组织，提高耐蚀性。

固溶处理和淬火有何区别？

- 固溶处理是指将合金加热到高温单相区恒温保持，使过剩相充分溶解到固溶体中后快速冷却，以得到过饱和固溶体的热处理工艺。
- 淬火是把钢加热到临界温度以上，保温一定时间，然后以大于临界冷却速度进行冷却，从而获得以马氏体为主的不平衡组织的一种热处理工艺方法。

3.2 合金钢(alloys)

3.2.4 特殊性能钢

1、不锈钢

采用固溶处理进一步提高耐蚀性，也是奥氏体不锈钢常用的热处理工艺。

(2) 稳定化处理(用于含钛或铌的不锈钢)

固溶处理后，加热到 $850\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 880\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，使钢中铬的碳化物完全溶解，钛、铌的碳化物不完全溶解。然后缓慢冷却，让碳化钛、碳化铌充分析出，将钢中的碳全部固定在碳化钛和碳化铌中。碳不再同铬形成碳化物，有效地消除晶界贫铬，避免晶间腐蚀产生。

判断：奥氏体不锈钢的热处理工艺是淬火后稳定化处理。（ ）

固溶+稳定化处理 \rightleftharpoons 淬火+回火

● 3.2 合金钢(alloys)

3.2.4 特殊性能钢

1、不锈钢

奥氏体不锈钢常用的热处理工艺

(3) 消除应力退火

将钢加热到 $300\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 350\text{ }^{\circ}\text{C}$ 消除冷加工应力；
加热到 $850\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上，消除焊接残余应力。

奥氏体型不锈钢应用：制作化工设备零件、输送管道、抗磁仪表、医疗器械等。



1Cr18Ni9Ti不锈钢表带



不锈钢容器

● 3.2 合金钢(alloys)

3.2.4 特殊性能钢

1、不锈钢

(4) 奥氏体和铁素体双相不锈钢 (碳少, 铬多, 镍多)

0Cr26Ni5Mo2

在奥氏体型不锈钢的基础上，提高铬含量或加入其它铁素体形成元素。

其晶间腐蚀和应力腐蚀破坏倾向较小，强度、韧性和焊接性能较好。节约Ni，得到广泛应用。

制造化工、化肥设备及管道，海水冷却的热交换设备等。

3.2 合金钢(alloys)

3.2.4 特殊性能钢

2、耐热钢

GB/T 20878-2007 耐热钢 牌号及化学成分
(Stainless and heat-resisting steels Designation and chemical composition)
GB/T 1221-2007 耐热钢棒 Heat-resistant steel bars

类别	牌号	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	其他	热处理	σ_b	$\sigma_{0.2}$	HB	应用
铁素体型	16Cr25N											510	275	201	燃烧室
	06Cr13Al											410	177	183	退火箱、淬火架
	022Cr12											365	196	183	喷嘴900°C
	10Cr17											450	205	183	喷嘴
马氏体型	42Cr9Si2											885	590		进气阀、排气阀
	14Cr11MoV											685	490		透平压缩机叶片
	12Cr13											540	345	159	耐氧化部件
奥氏体型	53Cr21Mn9Ni4N											885	560	302	高温排气阀
	22Cr21Ni12N											820	430	269	抗氧化排气阀
	16Cr23Ni13											560	205	201	重油燃烧器
	20Cr25Ni20											590	205	201	喷嘴、燃烧室
	06Cr19Ni10											520	205	187	通用耐氧化部件
	4Cr14Ni14W2Mo											705	315	248	重负荷排气阀
沉淀硬化	05Cr17Ni4Cu4Nb											1310	1180	375	燃气透平发动机
	07Cr17Ni7Al											1140	960	363	高温弹簧

一、性能要求:

- 1、高温抗氧化性: 形成的氧化物的稳定性、致密性、完整性及其与基体的结合能力至关重要。加入Cr、Si、Al, 形成氧化膜;
2、热强性: 抵抗高温下的蠕变, Mo、W、V

二、成分特点:

- 1、高温抗氧化性: 加Cr、Si、Al。
2、热强性: 加入V、Ti等, 弥散强化。

提高室温和高温强度:

- 3、中、低碳: 碳化物在高温下易聚集。

GB/T 5680-2010 奥氏体锰钢铸件
(Austenitic manganese steel castings)

牌号	化学成分			热处理	性能		
	C	Mn	Si		σ_b	Ku2	δ
ZGMn13	1.05-1.35	11-14		水韧处理	685MPa	200J	25%

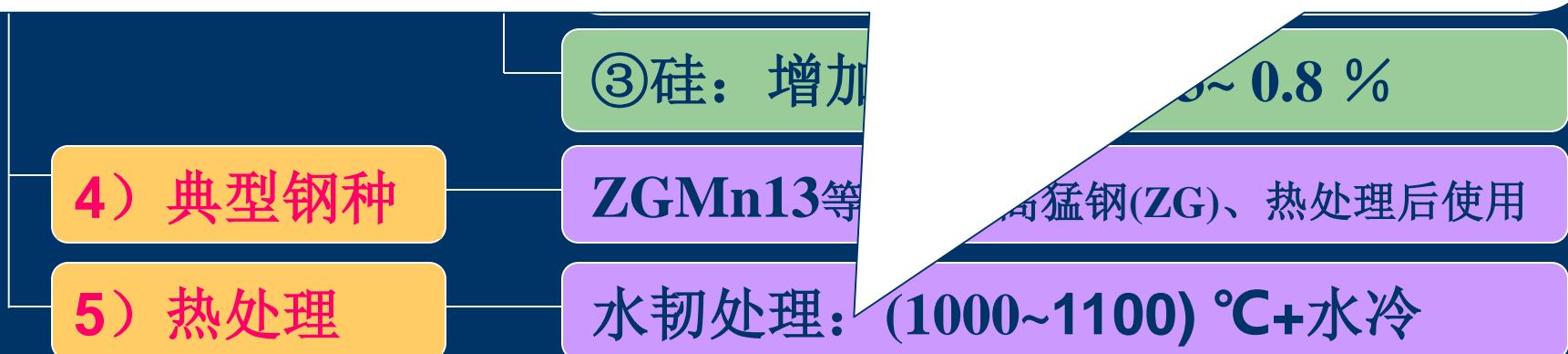
3、耐磨钢
wear-resisting steel

1) 用途

车辆履带、挖掘机铲斗、铁轨分道叉

很高的耐磨性和韧性。

钢(主要指高锰钢)加热到临界温度以上(加热至1100°C左右)，使钢中全部碳化物溶解到奥氏体中去，然后，迅速淬入水中，碳化物来不及从奥氏体中析出，保持了均匀的奥氏体状态(硬度不高，但具有良好的塑性和韧性)。类似固溶处理、淬火；



● 课堂小测试

1. 1Cr18Ni9Ti奥氏体型不锈钢，进行固溶处理的目的是(a)。
(a)获得单一的奥氏体组织，提高硬度和耐磨性
(b)提高抗腐蚀性，防止晶间腐蚀
(c)降低硬度，便于切削加工

2. 拖拉机和坦克履带板受到严重的磨损及强烈冲击，应选择用(b)。
(a)20Cr渗碳淬火后低温回火
(b)ZGMn13-3经水韧处理
(c)W18Cr4V淬火后低温回火

● 本次课小结

要熟练掌握的金属材料的牌号

普通碳素结构钢 Q215、Q235

优质碳素结构钢 20、45、60

碳素工具钢 T8、T10、T12

低合金结构钢 Q345(16Mn)、Q420(15MnVN)

调质钢 40Cr、40CrB、40CrNiMo、38CrSi

渗碳钢 20Cr、20MnVB、20CrMnTi、18Cr2Ni4WA

弹簧钢 65Mn、50CrV、60Si2Mn

轴承钢 GCr9、GCr15、GCr15SiMn

低合金刃具钢 9SiCr、CrWMn

高速钢 W18Cr4V

冷模具钢 Cr12MoV

热模具钢 5CrMnMo、5CrNiMo、4Cr5MoSiV

● 课后作业

第七次作业 合金钢

发到优慕课（北京化工大学在线综合教育平台）

提交截止日期：2024年11月19日