

第五章 合金钢

ALLOY STEELS

第一节 概述

一、碳钢的优缺点

优点：冶炼工艺较简单，成本低，压力加工性能好，切削加工性能好，综合力学性能好

缺点：淬透性低，回火抗力差，强度较低，无特殊性能

THE END

二、合金元素在钢中的作用

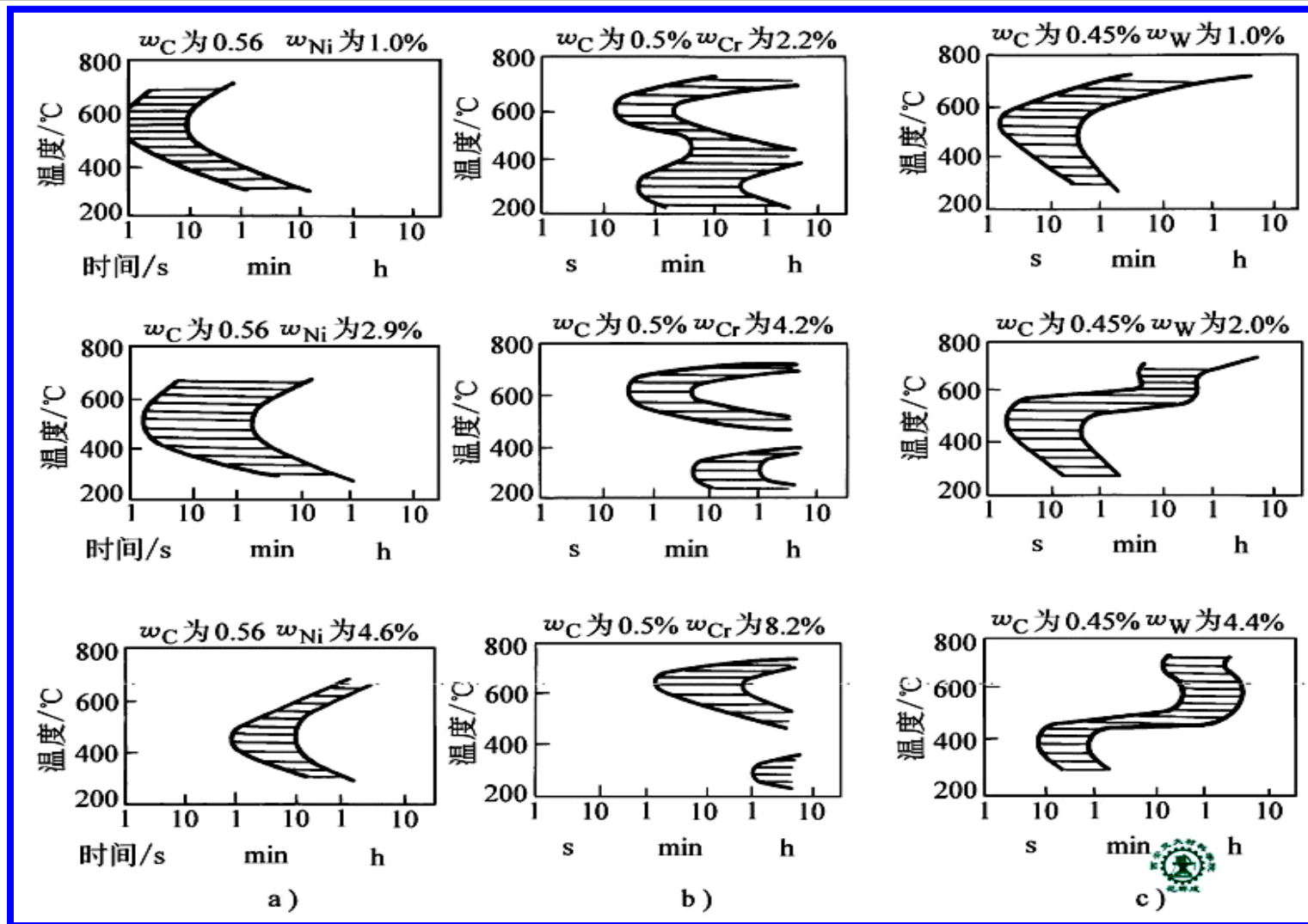
1. 改善钢的热处理工艺性能

1) 细化奥氏体晶粒

加入 Ti、V、Nb、Zr、Al 等，形成细小的碳化物颗粒，阻止奥氏体晶粒长大

2) 提高钢的淬透性

除 Co 以外，其他合金元素都能使钢 "C" 曲线向右移动，从而提高钢的淬透性

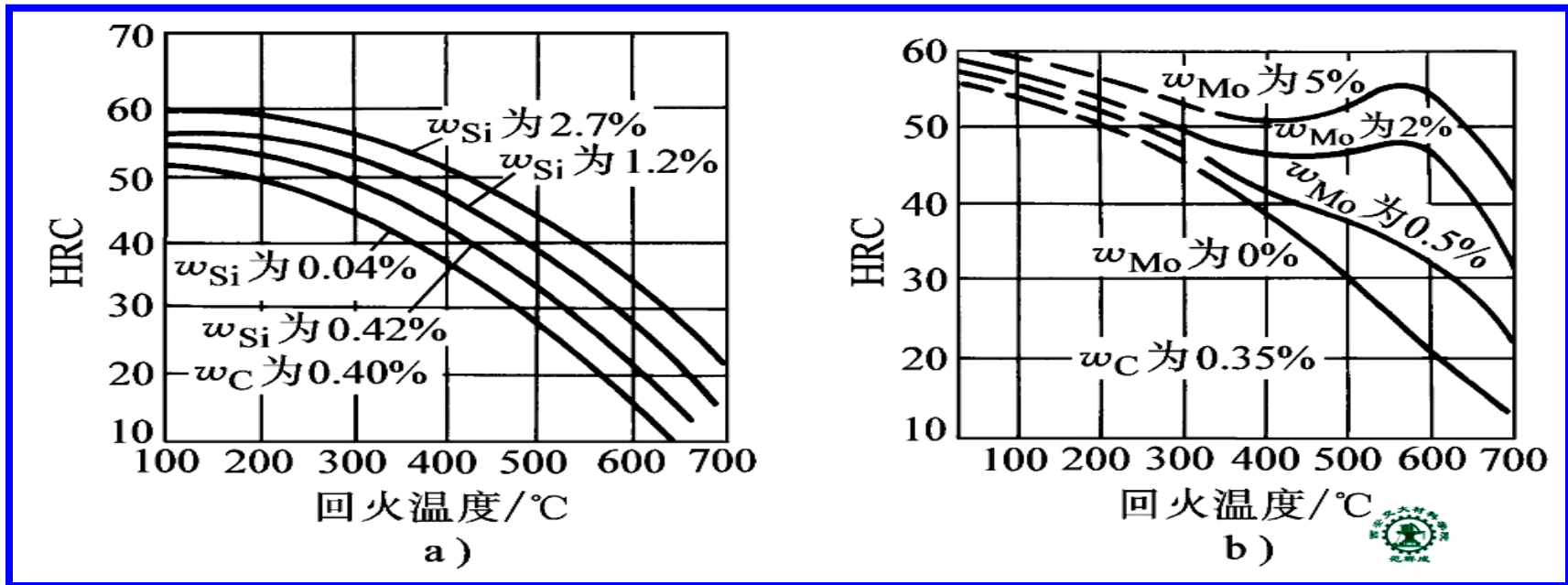


合金元素对奥氏体等温转变图的影响

a) Ni的影响 b) Cr的影响 c) W的影响

THE END

- 3) 提高钢的回火抗力，产生二次硬化
 合金元素固溶于马氏体中，使马氏体回火时分解的难度增大，延缓硬度下降
 W、Cr、V、Mo 等，回火时会形成特殊碳化物，使硬度重新升高——二次硬化



合金元素对回火的影响 a) Si的影响 b) Mo的影响

4) 防止第二类回火脆性

回火脆性 — 钢经回火后韧性下降的现象

第一类回火脆性:

发生在 $\sim 300^{\circ}\text{C}$

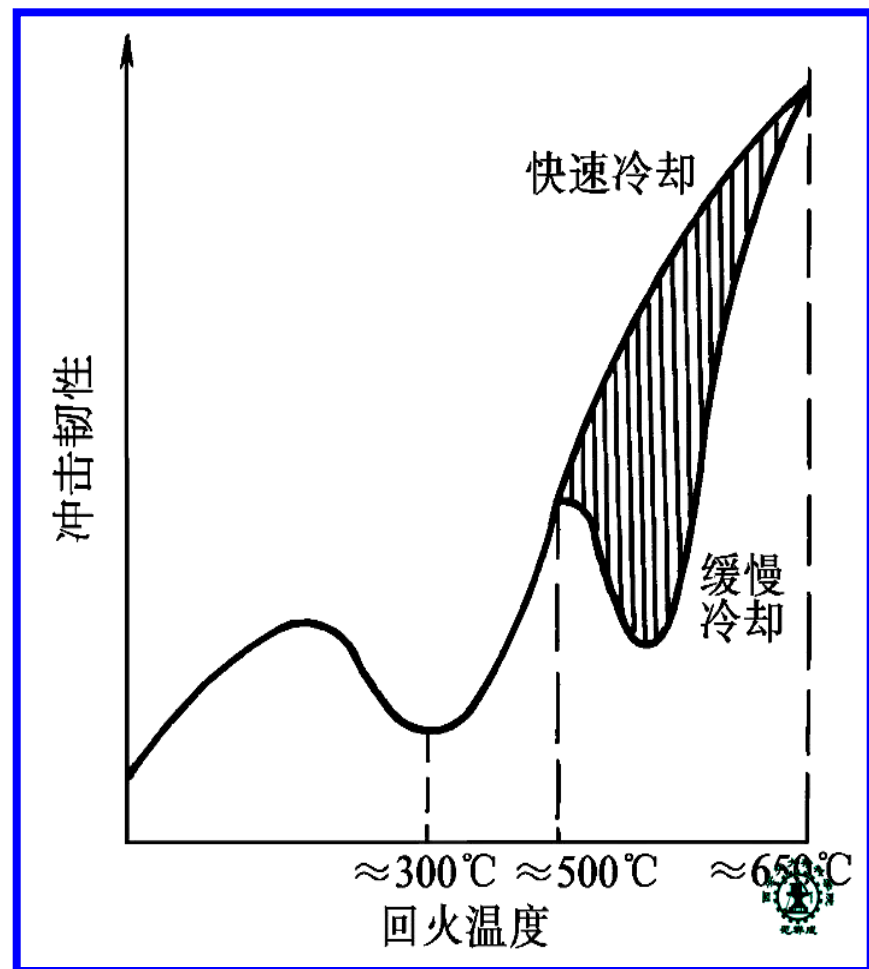
防止: 避开

第二类回火脆性:

发生在 $\sim 600^{\circ}\text{C}$

防止 { 回火后快冷
加W、Mo等

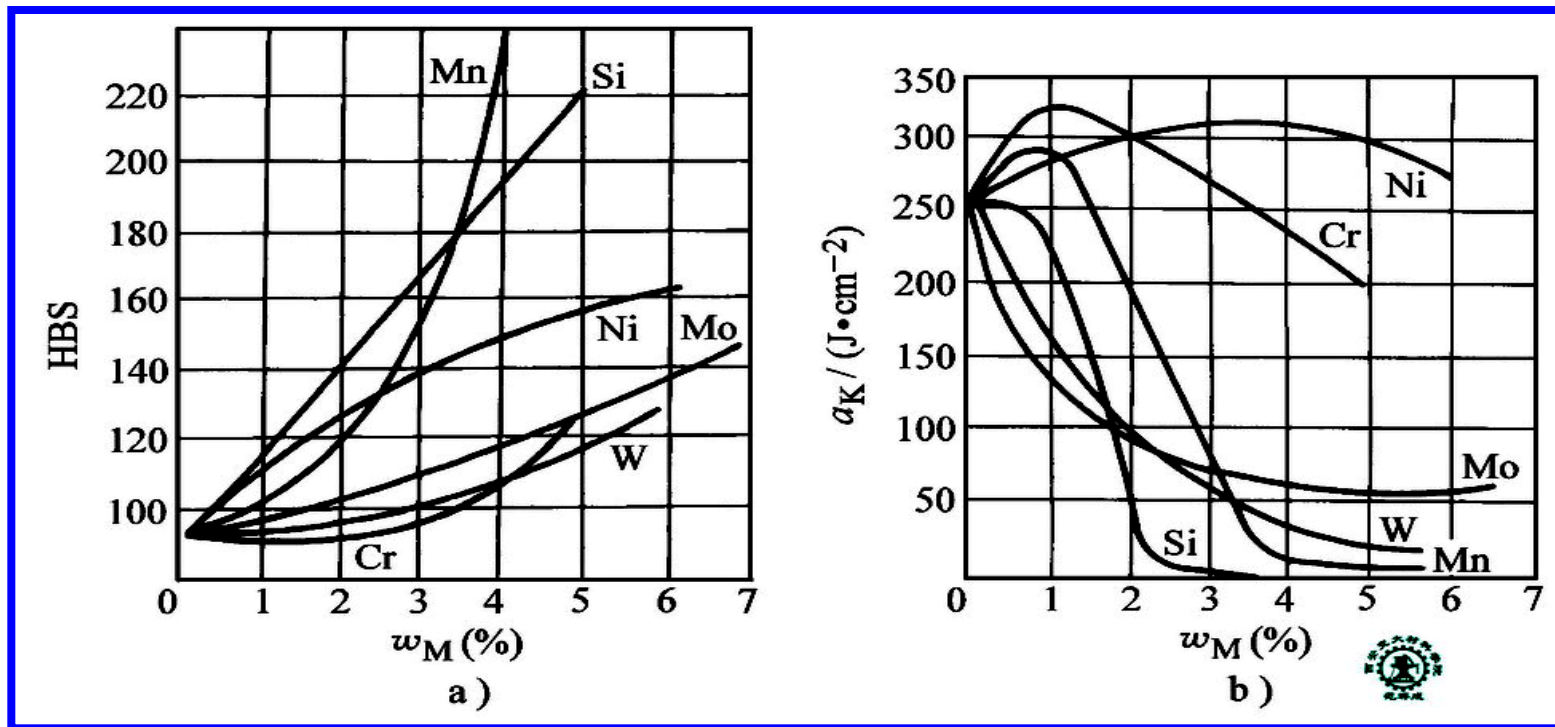
钢的回火脆性示意图



2. 提高钢的力学性能

1) 产生固溶强化

Cr, Ni, Mn, Si 等合金元素固溶于铁素体中，形成合金铁素体，提高钢的强度



合金元素对铁素体硬度 (a) 和冲击韧性 (b) 的影响

2) 产生第二相强化

Mn, Cr, Mo, W, V 等合金元素形成合金渗碳体或特殊碳化物, 提高钢的强度

表 4-1 钢中常见碳化物的类型及基本性质

碳化物类型	M ₃ C		M ₂₃ C ₆	M ₇ C ₃	M ₆ C		M ₆ C		MC		
	Fe ₃ C	(Fe, Me) ₃ C ^①	Cr ₂₃ C ₆	Cr ₇ C ₃	W ₆ C	Mo ₆ C	Fe ₃ W ₃ C	Fe ₃ Mo ₃ C	VC	NbC	TiC
常见碳化物	Fe ₃ C	(Fe, Me) ₃ C ^①	Cr ₂₃ C ₆	Cr ₇ C ₃	W ₆ C	Mo ₆ C	Fe ₃ W ₃ C	Fe ₃ Mo ₃ C	VC	NbC	TiC
硬度 HV	900~1050	稍大于 (900~1050)	1000~1100	1600~1800	—	—	1200~1300		1800~2200		
熔点 / °C	~1600		1500	1670	2700	2750			2750	3500	3200
在钢中溶解的温度范围	A _{cm} 至 950~1000	A _{cm} 至 1050~1200	950~1100	大于 950℃ 可直到熔点	回火时析出, 大于 650~700℃ 时转变为 M ₆ C		1150~1300		大于 1100~1150	几乎不溶解	
含有此类碳化物的钢种	碳钢	合金结构钢和低合金工具钢	高合金工具钢及不锈钢和耐热钢	少数高合金工具钢	高合金工具钢, 如高速钢, Cr12MoV, 3Cr2W8V 等		同左		ω _C > 0.3% 的所有含钒合金钢	几乎所有含铌, 钛的钢种	

① Me 可以是 Mn, Cr, W, Mo, V 等碳化物形成元素。

3) 产生细晶强化

Ti, V, Nb, Zr, Al 等合金元素形成 C 化物、N 化物，阻止奥氏体晶粒长大，从而细化热处理后的组织，提高钢的强度、韧性

3. 使钢具有特殊性能

提高钢的抗腐蚀性能

提高钢的抗高温氧化性能

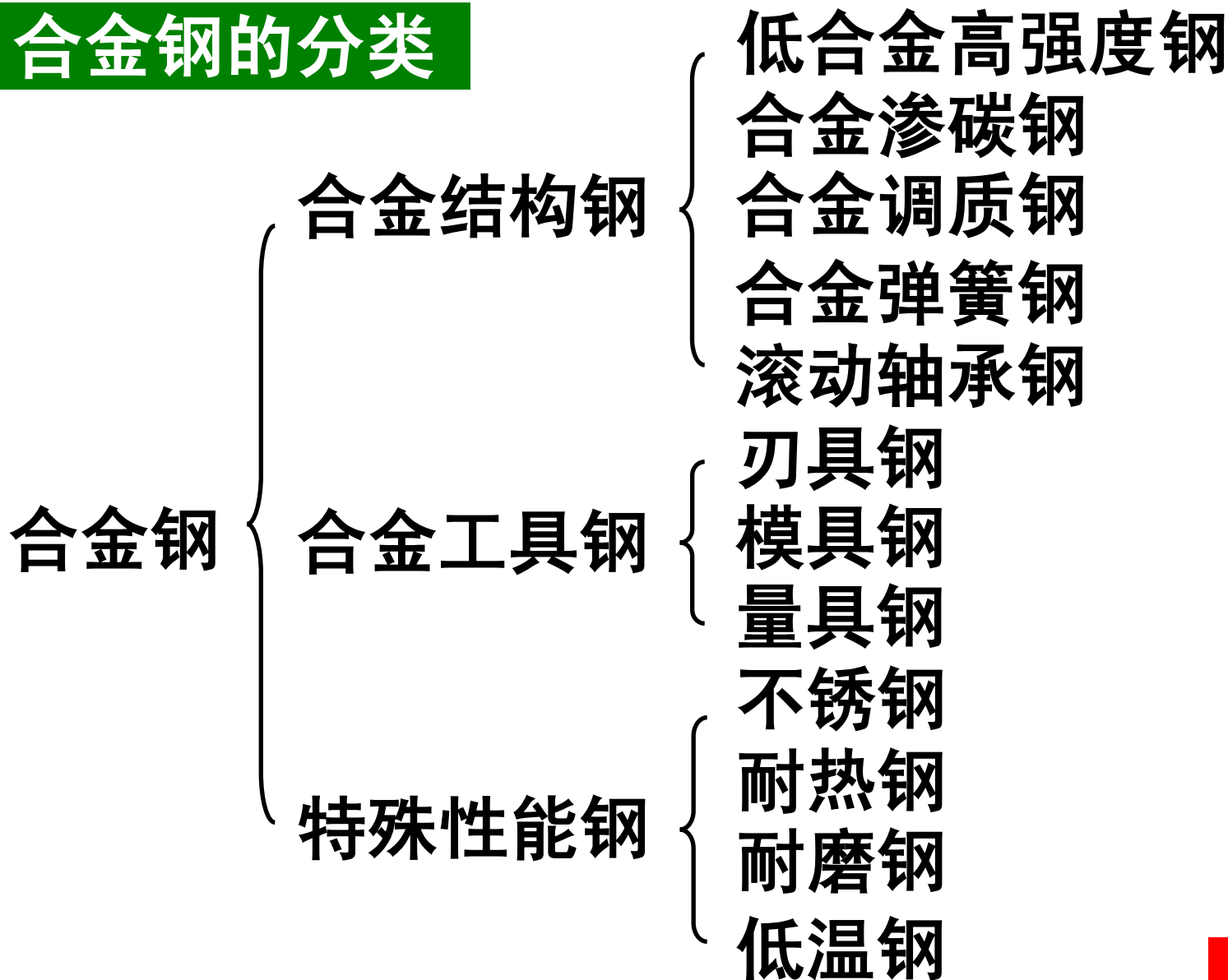
提高钢的高温强度

提高钢的抗冲击磨损性能

提高钢的耐低温性能

THE END

三、合金钢的分类

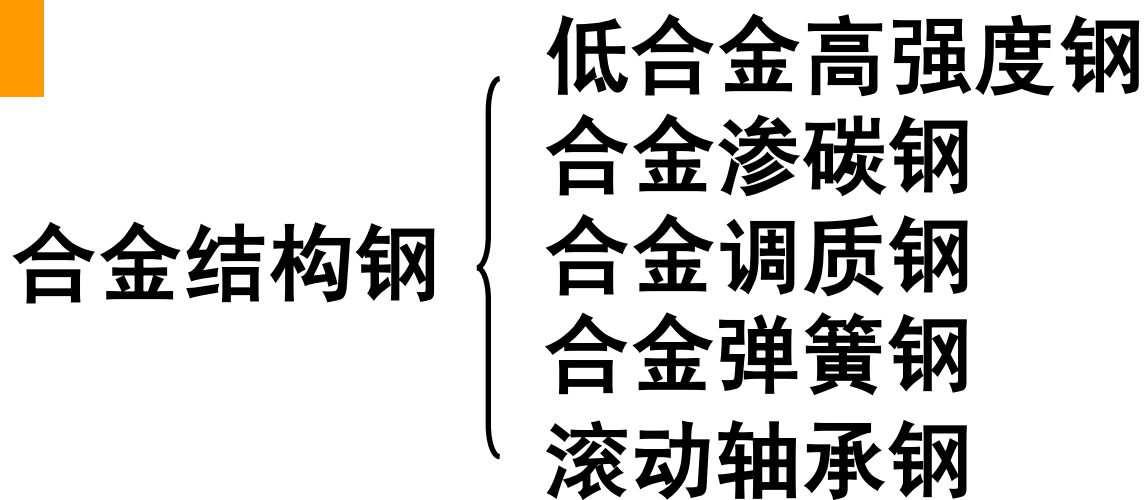


THE END

第二节 合金结构钢

一、合金结构钢的分类及编号

1. 分类



2. 编号

数字 + 合金元素符号 + 数字

↓
平均碳的质量分数 合金元素平均质量分数

二、低合金高强度钢

	低合金钢	中合金钢	高合金钢
合金元素总量	< 5%	5%~10%	> 10%

1. 用途

重要的构件，如：桥梁，船舶，高压容器，输油管，输气管

2. 典型牌号

Q345 (新) → 16Mn (旧)



最低屈服强度

THE END

3. 成分特点

碳含量: $\leq 0.2\%$, 易于压力加工、焊接

合金元素: Mn, Ti, V, Nb



强化铁素体 细化晶粒, 抗大气腐蚀

4. 性能特点

高强度, 较好塑、韧性, 良好的焊接性, 抗大气腐蚀

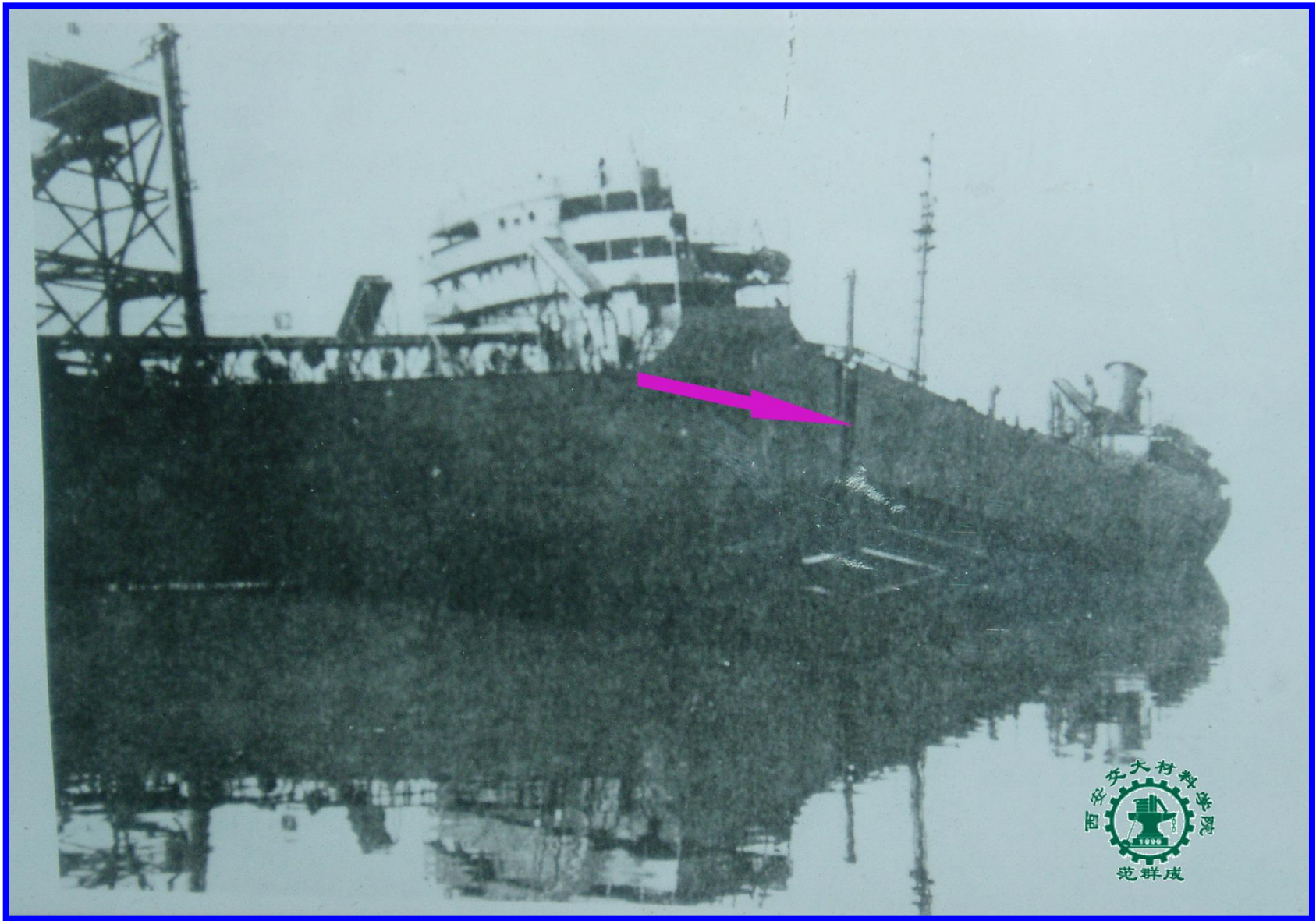
5. 热处理特点

一般不进行热处理

有时焊后正火处理

特殊情况 (如高压容器) 调质处理

THE END





氧—乙炔气焊

机器人气体保护电弧焊

表 4-2 低合金高强度结构钢的牌号、成分、力学性能与用途 (GB/T1591-1994)

牌号	质量等级	化学成分 ω (%)								力学性能					用途
		C \leq	Mn	Si \leq	P \leq	S \leq	V	Nb	Ti	厚度或直径/mm	σ_s /MPa 不小于	σ_b /MPa	δ_5 (%)	A_{kv} (纵向, 20°C) /J	
		不小于													
Q295	A	0.16	0.80	0.55	0.045	0.045	0.02	0.015	0.02	≤ 16	295	390~570	23	34	桥梁、车辆、容器、油罐
	B	0.16	~ 1.50	0.55	0.040	0.040	~ 0.15	~ 0.060	~ 0.20	> 16 ~35	275	390~570	23	34	
Q345	A	0.20		0.55	0.045	0.045				≤ 16	345		21	34	桥梁、车辆、船舶、压力容器、建筑结构
	B	0.20	1.00	0.55	0.040	0.040	0.02	0.015	0.02	≤ 16		470~630	21	34	
	C	0.20	~	0.55	0.035	0.035	~	~	~	> 16		470~630	22	34	
	D	0.20	1.60	0.55	0.030	0.030	0.15	0.060	0.20	~ 35	325		22	34	
	E	0.20		0.55	0.025	0.025							22	34	
Q390	A	0.20		0.55	0.045	0.045				≤ 16	390		19	34	桥梁、船舶、起重设备、压力容器
	B	0.20	1.00	0.55	0.040	0.040	0.02	0.015	0.02	≤ 16		490~650	19	34	
	C	0.20	~	0.55	0.035	0.035	~	~	~	> 16		490~650	20	34	
	D	0.20	1.60	0.55	0.030	0.030	0.20	0.060	0.20	~ 35	370		20	34	
	E	0.20		0.55	0.025	0.025							20	34	
Q420	A	0.20		0.55	0.045	0.045				≤ 16	420		18	34	桥梁、高压容器、大型船舶、电站设备、管道
	B	0.20	1.00	0.55	0.040	0.040	0.02	0.015	0.02	≤ 16		520~680	18	34	
	C	0.20	~	0.55	0.035	0.035	~	~	~	> 16		520~680	19	34	
	D	0.20	1.70	0.55	0.030	0.030	0.20	0.060	0.20	~ 35	400		19	34	
	E	0.20		0.55	0.025	0.025							19	34	
Q460	C	0.20	1.00	0.55	0.035	0.035	0.02	0.015	0.02	≤ 16	460	550~720	17	34	中温高压容器 (<120°C) 锅炉、石油化工高压厚壁容器 (<100°C)
	D	0.20	~	0.55	0.030	0.030	~	~	~	> 16	440	550~720	17	34	
	E	0.20	1.70	0.55	0.025	0.025	0.20	0.060	0.20	~ 35			17	34	

三、合金渗碳钢

1. 典型牌号 20CrMnTi

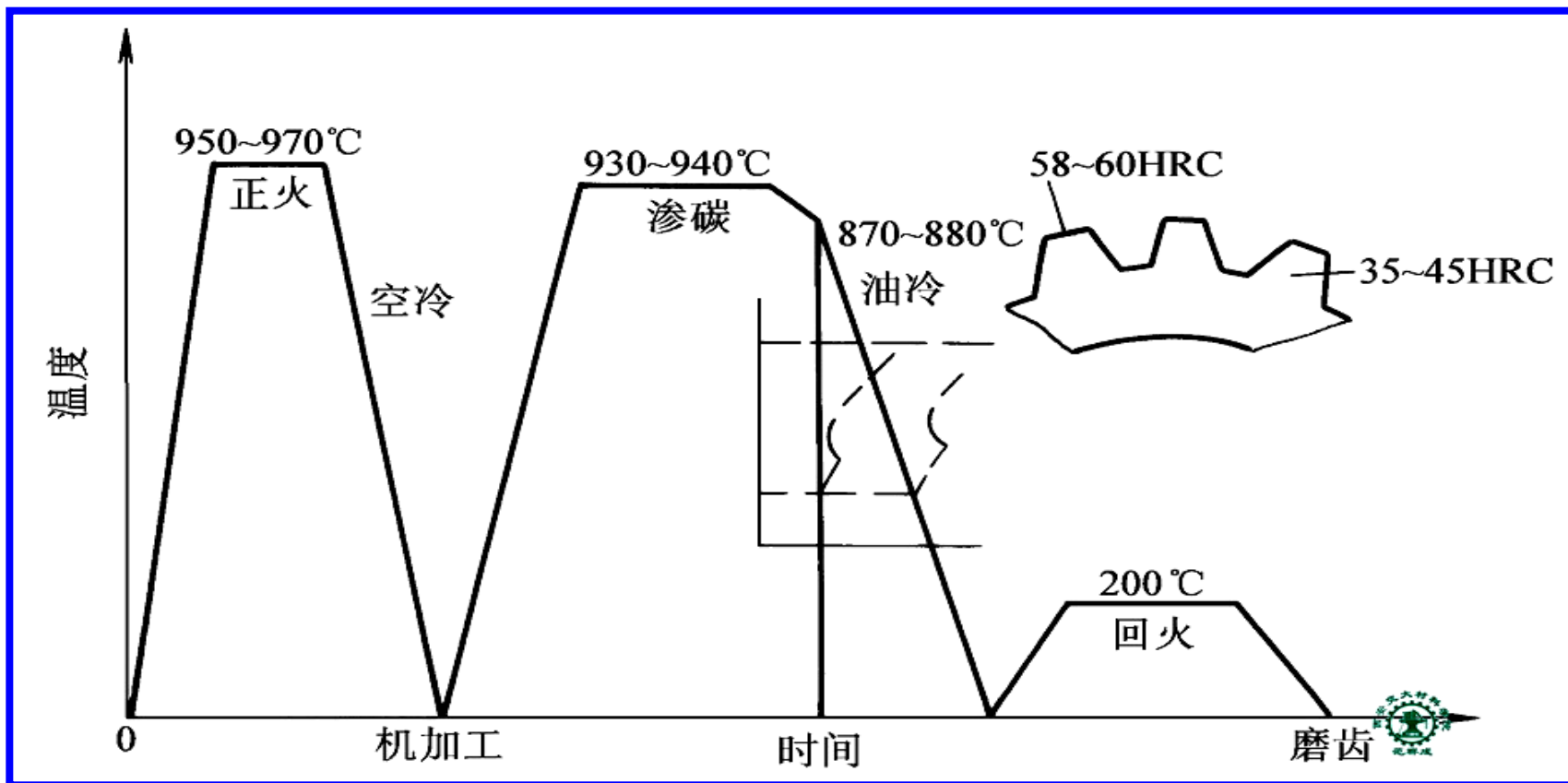
2. 成分特点

碳含量： 0.1~0.25%

合金元素： Cr, Ni, Mn, B 提高淬透性, 强化
Ti, V, Mo, W 细化奥氏体晶粒

3. 热处理特点 渗碳, 淬火+低温回火

例： 20CrMnTi 钢制汽车变速齿轮工艺路线
下料→锻造→正火→机加工→渗碳→
淬火→低温回火→精磨→喷丸→成品



4. 最终组织

表层: 高碳 $M_{回}$ + 粒状碳化物 + $A_{残}$
 心部: 低碳 $M_{回}$

5. 性能特点

表硬、心韧 + F

THE END

渗碳齿轮

表 4-3 常用合金渗碳钢的成分、热处理、力学性能和用途 (GB/T3077-1999)

钢号	主要化学成分 ω(%)							热处理 / °C			力学性能					毛坯尺寸 / mm	用途
	C	Mn	Si	Cr	Ni	V	其他	第一次 淬火	第二次 淬火	回火	σ_s /MPa	σ_b /MPa	δ_5 (%)	ψ (%)	A_{kv} /J		
20Mn2	0.17~ 0.24	1.40~ 1.80	0.17~ 0.37					850		200	785	390	10	40	47	15	小齿轮、小轴 活塞销等
								水、油		水、空							
20Cr	0.18~ 0.24	0.50~ 0.80	0.17~ 0.37	0.70~ 1.00				880	780~820	200	835	540	10	40	47	15	齿轮、小轴、 活塞销等
								水、油	水、油	水、空							
20MnV	0.17~ 0.24	1.30~ 1.60	0.17~ 0.37			0.07~ 0.12		880		200	785	390	10	40	55	15	同上,也用作 锅炉、高压容器管 道等
								水、油		水、空							
20CrMn	0.17~ 0.23	0.90~ 1.20	0.17~ 0.37	0.90~ 1.20				850		200	930	735	10	45	47	15	齿轮、轴、蜗 杆、活塞销、摩擦 轮
								油		水、空							
20CrMnMo	0.17~ 0.23	0.90~ 1.20	0.17~ 0.37	1.10~ 1.40			Mo 0.20~ 0.30	850		200	1180	885	10	45	55	15	汽车、拖拉机 上的后桥齿轮
								油		水、空							
20CrMnTi	0.17~ 0.23	0.80~ 1.10	0.17~ 0.37	1.00~ 1.30			Ti 0.04~ 0.10	880	870	200	1080	850	10	45	55	15	汽车、拖拉机 上的变速箱齿轮
								油	油	水、空							
20MnTiB	0.17~ 0.24	1.30~ 1.60	0.17~ 0.37				Ti 0.04~ 0.10 B 0.0005 ~0.0035	860		200	1130	930	10	45	55	15	代 20CrMnTi
								油		水、空							
20Cr2Ni4	0.17~ 0.23	0.30~ 0.60	0.17~ 0.37	1.25~ 1.65	3.25~ 3.65			880	780	200	1180	1080	10	45	63	15	大型渗碳齿 轮和轴类
								油	油	水、空							
18Cr2Ni4WA	0.13~ 0.19	0.30~ 0.60	0.17~ 0.37	1.35~ 1.65	4.00~ 4.50		W 0.80~ 1.20	950	850	200	1180	835	10	45	78	15	大型渗碳齿 轮和轴类
								空	空	水、空							

注: 渗碳零件应先经渗碳处理后再进行热处理

四、合金调质钢

1. 典型牌号 40Cr

2. 成分特点

碳含量: 0.3~0.5%

合金元素: Cr, Ni, Mn, Si, B, 提高淬透性,
提高力学性能

Mo, 防止第二类回火脆性

V, 细化晶粒

3. 热处理特点 淬火+低温回火

例1: 40Cr 钢制汽车连杆螺栓工艺路线

下料→锻造→退火→机加工→调质→
精加工→成品

THE END

例2: 40Cr 钢制内燃机曲轴工艺路线

下料→锻造→退火→机加工→调质→半精加工
→轴颈处感应淬火+低温回火→精磨→成品

最终组织

表层: 中碳 $M_{\text{回}} + A_{\text{残}}$

心部: $S_{\text{回}}$

性能: 表硬, 心韧

内
燃
机
活
塞
连
杆
机
构





表4-4常用合金调质钢的成分、热处理、力学性能和用途 (GB/T3077-1999)

钢号	主要化学成分 (%)								热处理			力学性能						退火 正火 调质 回火	用途
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V	其他	淬火	回火	调质 温度/℃	σ_b	σ_s	δ_5	ψ	α_k	σ_{HRC}		
45Mn2	0.42-0.49	1.40-1.80	0.17-0.37						840油	550水油	25	885	735	10	45	47	217	代替45钢的调质件等	
40MnB	0.37-0.44	1.10-1.40	0.17-0.37				0.0005-0.0035		840油	550水油	25	980	785	10	45	47	207	代替45钢的调质件等	
40MnVB	0.37-0.44	1.10-1.40	0.17-0.37				0.05-0.10	0.0005-0.0035	850油	550水油	25	980	785	10	45	47	207	可代替45钢的调质件等	
35SiMn	0.32-0.40	1.10-1.40	1.10-1.40						900油	570水油	25	885	735	15	45	47	229	防锈调质件等	
40Cr	0.37-0.44	0.50-0.80	0.17-0.37	0.80-1.10					850油	520水油	25	980	785	9	45	47	217	调质件等	

钢号	主要化学成分 (%)								热处理			力学性能					退火或高温回火状态 HB _S 不大于	用途
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V	其他	淬火 /°C	回火 /°C	毛坯尺寸 /mm							
38CrSi	0.35-0.43	0.30-0.60	1.00-1.30	1.30-1.60					900 油	600 水、油	25	980	835	12	50	55	255	受荷类车的调 承轴及上零件 作大的轴类零件
40CrMn	0.37-0.45	0.90-1.20	0.17-0.37						840 油	550 水、油	25	980	835	9	45	47	229	代 40CrNi
30CrMnSi	0.27-0.34	0.80-1.10	0.90-1.20	0.80-1.10					880 油	520 水、油	25	1080	885	10	45	39	229	高强度、高刚度、 高速轴、轴外片 等
35CrMo	0.32-0.40	0.40-0.70	0.17-0.37	0.80-1.10		0.15-0.25			850 油	550 水、油	25	980	835	12	45	63	229	重要调 重质件，如轴、 连杆、轴套、 40CrNi代 作大轴类 面件
38CrMoAlA	0.35-0.42	0.30-0.60	0.20-0.45	1.35-1.65		0.15-0.25	A10.70-1.10		940 油	640 水、油	30	980	835	14	50	71	229	氮 件，精密高 如机床、轴、 套、阀、缸 等
40CrNi	0.37-0.44	0.50-0.80	0.17-0.37	0.45-0.75	1.00-1.40				820 油	500 水、油	25	980	785	10	45	55	241	大和曲主连 较重要、轴、 轴套、轴杆 等

石油钻井机械



表 4-5 低碳马氏体 15MnVB 钢与调质 40Cr 钢性能对比

钢号	状态	HRC	$\sigma_{0.2}/\text{MPa}$	σ_b/MPa	$\delta_5(\%)$	$\phi(\%)$	$a_k/\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}$	$a_k(-50^\circ\text{C时})$ $/\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}$
15MnVB	低碳马氏体	43	1133	1353	12.6	51	95	70
40Cr	调质态	38	800	1000	9	45	60	≤ 40

四、其他合金结构钢

合金弹簧钢：60Si2Mn，淬火+中温回火， $T_{\text{回}}$

滚动轴承钢：GCr15，淬火+低温回火， $M_{\text{回}}$

表 4-6 合金弹簧钢的成分、热处理、力学性能和用途 (GB/T 1222-1984)

钢号	主要化学成分 a (%)						热处理 °C		力学性能				用途		
	C	Mn	Si	Cr	V	其他	淬火	回火	σ_s /MPa	σ_b /MPa	δ (%)			(%)	
											δ_5	δ_{10}			
65	0.62-0.70	0.50-0.80	0.17-0.37	≤0.25			840 油	500	800	1000	不小于		9	35	截面<12mm 的小 弹簧
65Mn	0.62-0.70	0.90-1.20	0.17-0.37	≤0.25			830 油	540	800	1000	不小于		8	30	截面<25mm 的各 种螺旋弹簧, 板弹簧
60Si2Mn	0.56-0.64	0.60-0.90	1.50-2.00	≤0.25			870 油	480	1200	1300	不小于		5	25	截面<25mm 的各 种螺旋弹簧, 板弹簧
60Si2CrA	0.56-0.64	0.40-0.70	1.40-1.80	0.70-1.00			870 油	420	1600	1800	不小于		6	20	制造高温(≤350°C) 截面<50mm 的强度要 求较高的弹簧
50CrVA	0.46-0.54	0.50-0.80	0.17-0.37	0.80-1.10	0.10- 0.20		850 油	500	1150	1300	不小于		10	40	制造截面<30mm 重载 有板簧和螺旋弹簧, 以及工 作温度<400°C的各种弹簧
55CrMnA	0.52-0.60	0.65-0.95	0.17-0.37	0.65-0.95			830- 860 油	460-510	1100 ()	1250	不小于		9	20	车辆、拖拉机上用直径 <50mm 的圆弹簧和板弹簧
60CrMnA	0.65-0.64	0.70-1.00	0.17-0.37	0.70-1.00			830- 860 油	460-520	1100 0	1250	不小于		9	20	同上
60CrMnBA	0.56-0.6 4	0.70-1.00	0.17-0.37	0.70-1.00		B0.0 005- 0.004	830- 860 油	460-520	1100 0	1250	不小于		9	20	同上
30WCr2VA	0.26-0.34	≤0.40	0.17-0.37	2.00-2.50	0.50- 0.80	W4.0 -4.5	1050 -1100 油	600	1350	1500	不小于		7	40	制造工作温度≤450°C 的圆弹簧和板弹簧

表 4-7 高碳铬轴承钢的成分及轴承零件淬火、回火后的硬度
(GB/T 18254—2002 及 JB/T 1255—2001)

牌号	主要化学成分 w(%)					热处理		零件名称	成品尺寸 /mm	硬度 HRC							
	C	Si	Mn	Cr	Mo	淬火/℃	常规回火/℃			淬火后不小于	常规回火后	高温回火后					
												200℃	250℃	300℃	350℃不小于		
GCr4	0.95	0.15	0.15	0.35	≤	800	150~	套圈有效壁厚	≤12	63	60	59	57	55	52		
	~	~	~	~	0.08	~	~				~	~	~	~		~	~
GCr15	1.05	0.30	0.30	0.50	≤	800	150~		12~30	62	85	64	62	59	52		
	~	~	~	~							64	62	60	58			
									~	~	57	56	55	53			
											63	61	59	57			
									>30	60	61	61	61	56	52		
	66	66	66	60													
GCr15SiMn	0.95	0.45	0.95	1.40	≤	820	170~		钢球直径	30~50	62	59	59	57	55	52	
	~	~	~	~								0.1	~	~	~		~
	~	~	~	~						0.1	840	190	64	64	61	59	
													>50	61	58	58	56
								64							64	61	58
								65					65	65	59		
GCr15SiMo	0.95	0.65	0.20	1.40	≤	820	170~	滚子有效直径	20~40	62	60	60	60	55	52		
	~	~	~	~							~	~	~	~			
	~	~	~	~					0.40	840	190	63	~	~	~	~	
												>40	60	57	57	56	53
														65	65	65	59
												63	63	59	57		

注：中、小尺寸轴承零件选用 GCr4、GCr15 钢，大尺寸轴承零件选用 GCr15SiMn、GCr15SiMo、GCr18Mo 钢制造。

第三节 合金工具钢

一、合金工具钢的分类及编号

1. 分类

合金工具钢

刃具钢
模具钢
量具钢

2. 编号

数字 + 合金元素符号 + 数字



碳的平均质量分数

合金元素平均质量分数

(>1.0%不标, 有例外)

如, 9SiCr, Cr12MoV, W18Cr4V

THE END

二、刀具钢

1. 刀具的服役条件、失效方式及性能要求

1) 刀具的服役条件

弯曲或扭转应力；摩擦，发热；冲击；震动

2) 刀具的常见失效方式

卷刃；崩刃；刀刃磨损；刀体折断

3) 对刀具的性能要求

高硬度，高耐磨；足够的强、韧性；高速切削时高的红硬性

2. 典型合金刀具钢及其热处理

1) 高碳低合金刀具钢

(1) 典型牌号：9SiCr

(2) 成分特点

高碳

合金元素： Si, Cr, Mn, W, V

↑ 淬透性, ↑ 回火抗力
强化M

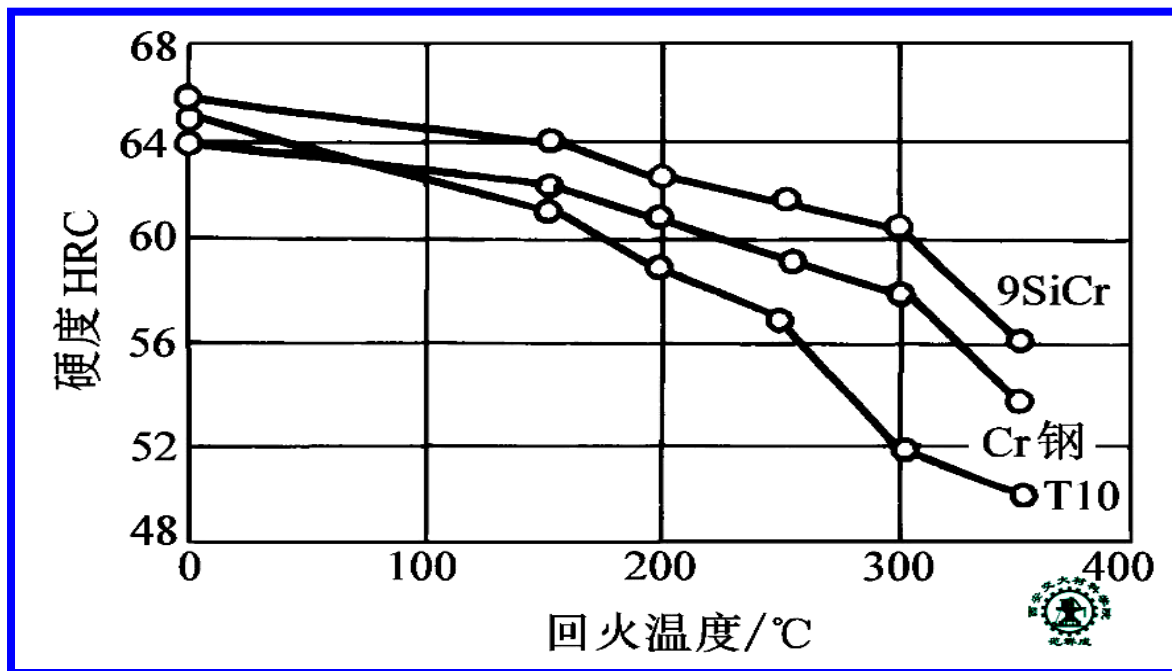
形成碳化物
细化组织
↓脆性

(3) 热处理特点：球化退火， 淬火+低温回火

(4) 组织： 球状珠光体， $M_{回}$ +粒状碳化物+ $A_{残}$

(5) 用途： 低速切削刀具， 如丝锥、板牙、绞刀、刮刀、拉刀、铣刀、车刀、钻头

T10、Cr、9SiCr
钢的硬度与回火温度的关系



THE END

2) 高速钢（高碳高合金刃具钢）

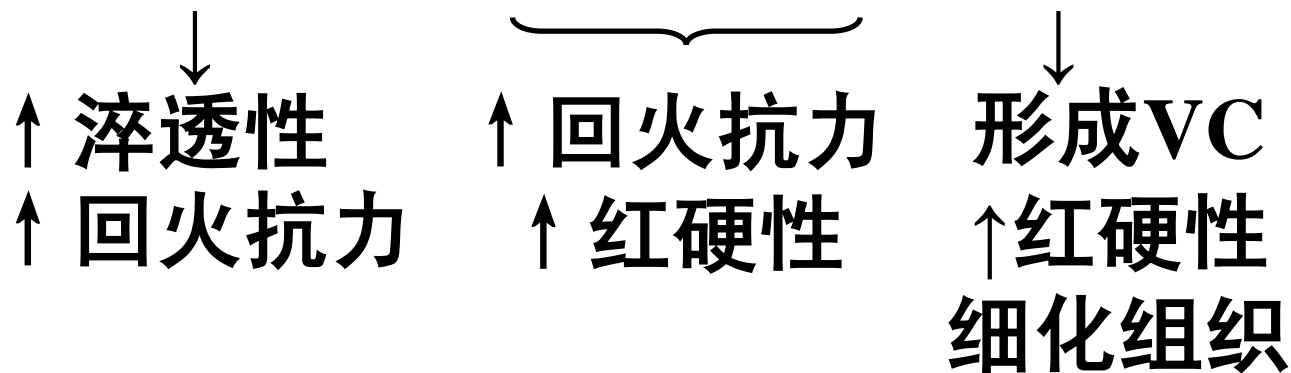
(1) 典型牌号：W18Cr4V (18-4-1)

W6Mo5Cr4V2 (6-5-4-2)

(2) 成分特点

高碳：0.7%~0.9%

合金元素： Cr, W, Mo, V



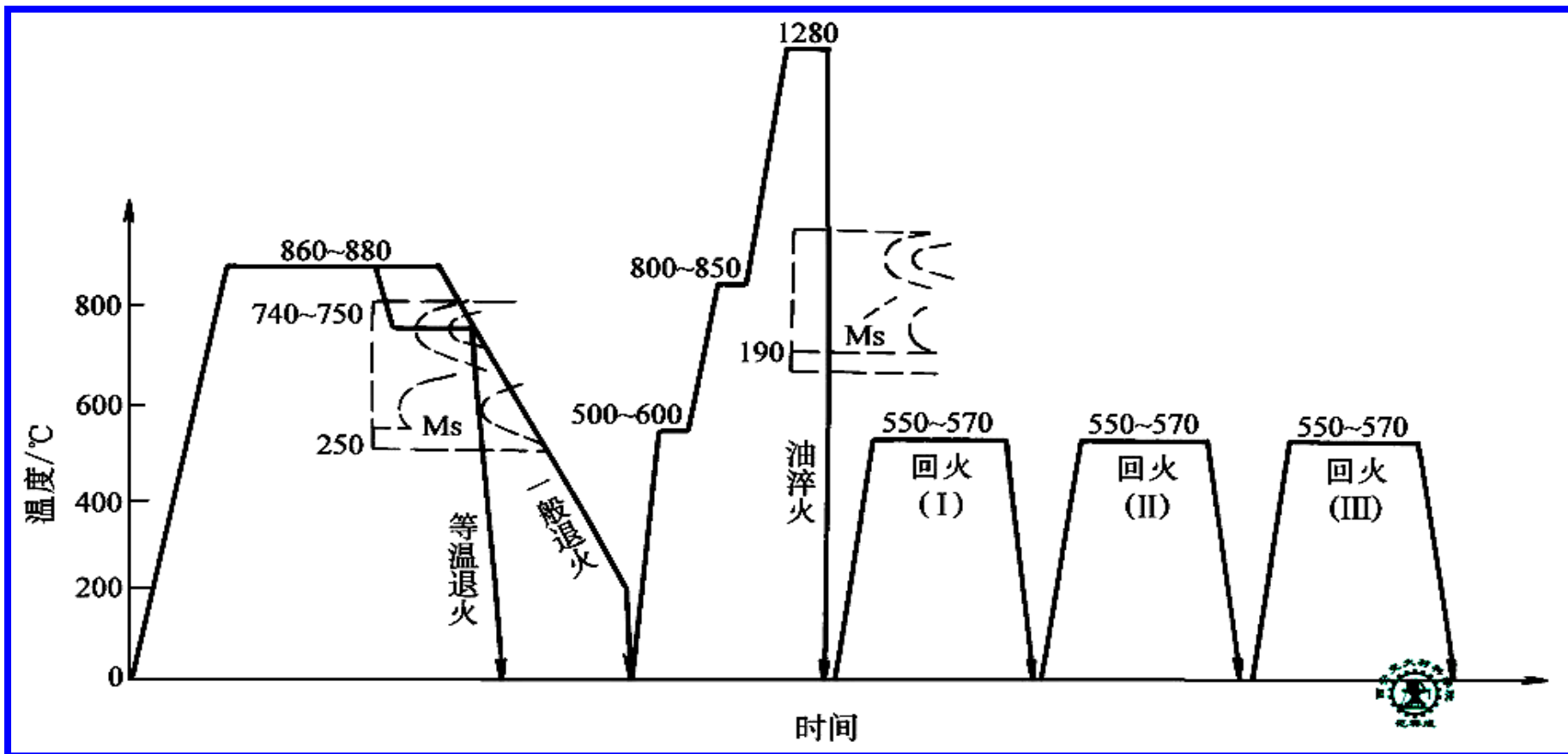
(3) 热处理特点：球化退火，淬火+高温回火

(4) 制造工艺路线 (W18Cr4V)

下料→锻造→球化退火→机加工
→淬火+高温回火→精磨→成品

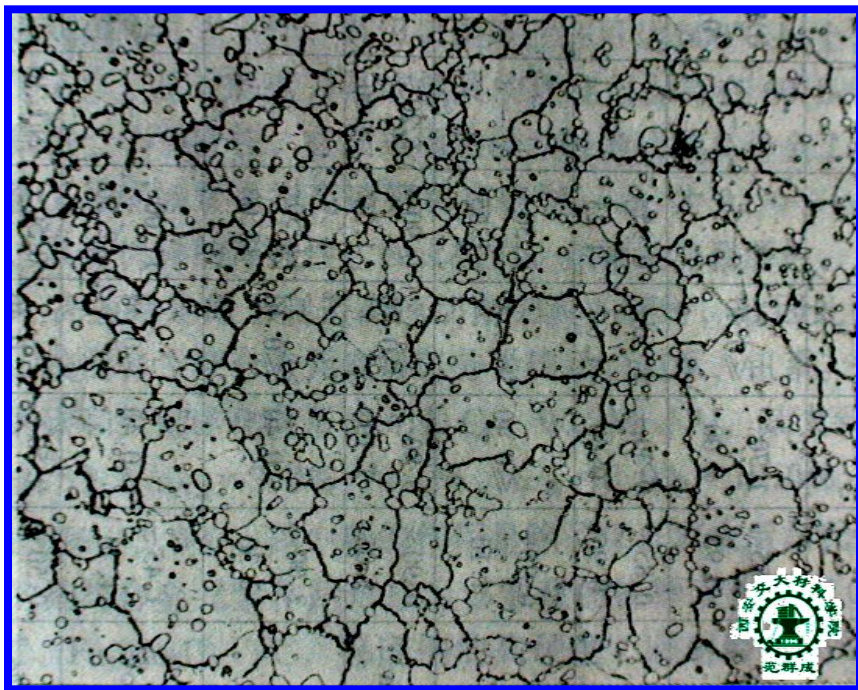
反复锻造：细化碳化物，提高强度、塑性、韧性

多次高温回火： $\downarrow A_{\text{残}}$ ，二次硬化， \uparrow 红硬性

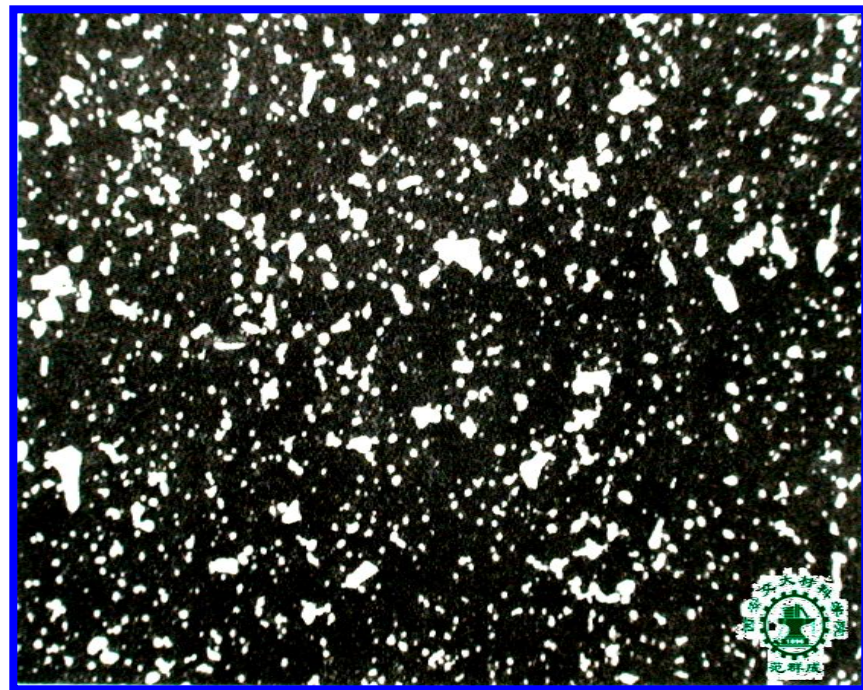


W18Cr4V 钢的热处理工艺规范图

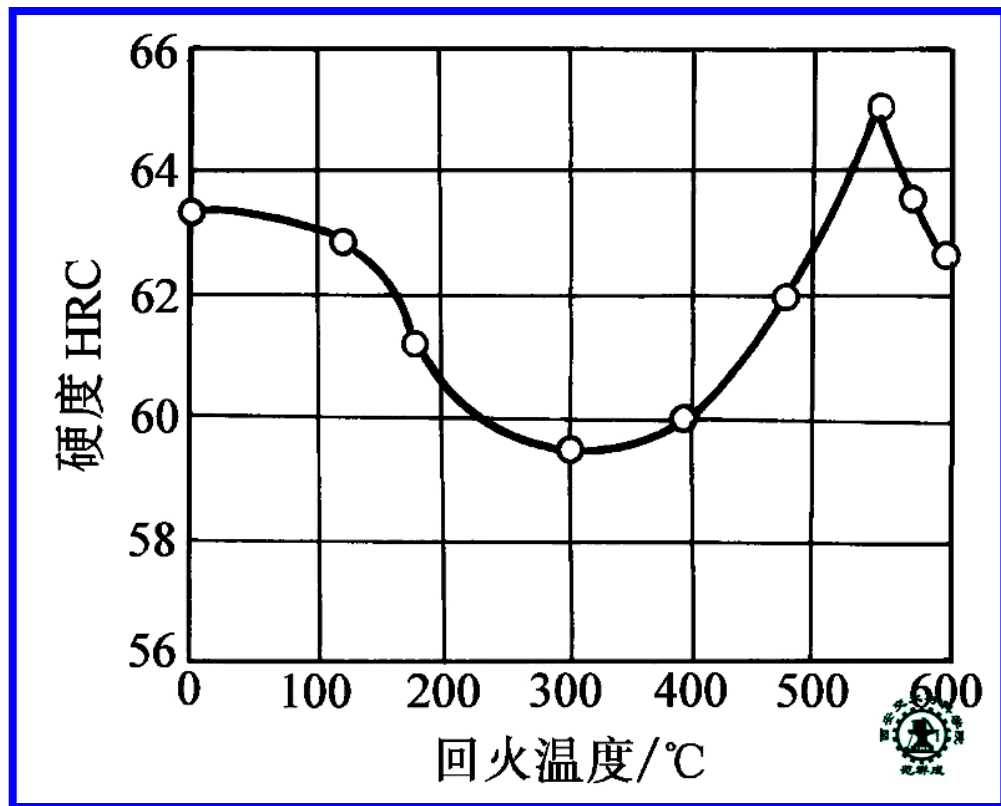
(5) 组织: 球化退火后 球状珠光体
淬火后 M + 粒状碳化物 + A_残
回火后 M_回 + 粒状碳化物



W18Cr4V 钢淬火组织 ×500



W18Cr4V 钢回火组织 ×500



W18Cr4V 的硬度与回火温度的关系

(6) 用途：高速切削刀具
车刀，刨刀，铣刀，钻头

THE END

表 4-15 常用高速钢的化学成分、热处理、硬度及用途 (GB/T 9943—1988)

牌号	化学成分 ω (%)						交货退火硬度 HBS 不大于	热处理 / $^{\circ}\text{C}$			回火后硬度 HRC 不小于	应用举例	
	C	W	Mo	Cr	V	Al 或 Co		预热	淬火				回火
									盐浴炉	箱式炉			
W18Cr4V	0.70 ~ 0.80	17.50 ~ 19.00	\leq ~ 0.30	3.80 ~ 4.40	1.00 ~ 1.40		255	820~ 870	1270~ 1285 油	1270~ 1285 油	550~ 570	63	制造一般高速切削用车刀、刨刀、钻头、铣刀等
W18Cr4V2Co8	0.75 ~ 1.85	17.50 ~ 19.00	0.50 ~ 1.25	3.75 ~ 5.00	1.80 ~ 2.40	Co7.00 ~9.50	285	820~ 870	1270~ 1290 油	1280~ 1300 油	540~ 560	63	制造形状简单截面较粗的刀具, 用于加工难切削材料, 如高温合金、难熔金属、超高强度钢、钛合金以及奥氏体不锈钢等
W12Cr4V5Co5	1.50 ~ 1.60	11.75 ~ 13.00	\leq ~ 1.00	3.75 ~ 5.00	4.50 ~ 5.25	Co4.50 ~5.25	277	277	820~ 870	1230~ 1250 油	530~ 550	65	
W6Mo5Cr4V3	0.80 ~ 0.90	5.50 ~ 6.75	4.50 ~ 5.50	3.80 ~ 4.40	1.75 ~ 2.20		255	730~ 840	1210~ 1230 油	1210~ 1230 油	540~ 560	63 (箱式炉) 64 (盐浴炉)	制造要求耐磨性和韧性很好配合的高速切削刀具, 如丝锥、钻头
W6Mo5Cr4V3	1.00 ~ 1.10	5.00 ~ 6.75	4.75 ~ 6.50	3.75 ~ 4.50	2.25 ~ 2.75		255	730~ 840	1190~ 1210 油	1200~ 1220 油	540~ 560	64	制造要求耐磨性和热硬性较高、耐磨性和韧性较好配合、形状稍为复杂的刀具, 如拉刀、铣刀等
W6Mo5Cr4V2Co5	0.80 ~ 0.90	5.50 ~ 6.50	4.50 ~ 5.50	3.75 ~ 4.50	1.75 ~ 2.25	Co4.50 ~5.50	269	730~ 840	1190~ 1210 油	1200~ 1220 油	540~ 560	64	
W7Mo4Cr4V2Co5	1.05 ~ 1.15	6.25 ~ 7.00	3.25 ~ 4.25	3.75 ~ 4.50	1.75 ~ 2.25	Co4.75 ~5.75	269	730~ 840	1180~ 1200 油	1190~ 1210 油	530~ 550	66	制造形状简单截面较粗的刀具, 如直径在 15mm 以上的钻头及某些刀具, 用于加工难切削材料, 例如高温合金、难熔金属和合金, 超高强度钢、钛合金以及奥氏体不锈钢等, 也用于切削硬度 $\leq 300\sim 350$ HBS 的合金调质钢
W2Mo9Cr4Vco8	1.05 ~ 1.15	1.15 ~ 1.85	9.00 ~ 10.00	3.50 ~ 4.25	0.95 ~ 1.35	Co7.75 ~8.75	269	730~ 840	1170~ 1190 油	1180~ 1200 油	530~ 550	66	
W6Mo5Cr4V2Al	1.05 ~ 1.20	5.50~ 6.75	4.50 ~ 5.50	3.80 ~ 4.40	1.75~ 2.20	Al 0.80~ 1.20	285	820~ 870	1230~ 1240 油	1230~ 1240 油	540~ 560	65	在加工一般材料时, 刀具使用寿命为 W18Cr4V 的 2 倍, 在切削难加工的超高强度钢和耐热钢时, 其使用寿命接近含钴高速钢

三、模具钢

模具 { 冷作模具: 冷拉模, 冷镦模, 冷挤压模等
热作模具: 热锻模, 热轧辊, 热挤压模等

1. 冷模具钢

1) 服役条件

挤压; 摩擦; 冲击; 震动等

2) 常见失效方式

磨损; 断裂; 疲劳等

3) 性能要求

高硬度, 高耐磨; 足够的强、韧性

THE END

冷
墩
模
具
的
接
触
疲
劳
磨
损



4) 典型牌号: Cr12MoV

5) 成分特点

高碳: 1.45%~1.70%, 形成碳化物, ↑硬度

合金元素:

Cr,

Mo,

V

↓
↑ 淬透性
↑ 耐磨性

↓
↑ 淬透性
↑ 回火稳定性

↓
细化组织
↓ 脆性

6) 热处理特点: 球化退火, 淬火+低温回火

1. 热模具钢

1) 服役条件

挤压；摩擦；交变温度；冲击；震动等

2) 常见失效方式

磨损；断裂；热疲劳（龟裂）等

3) 性能要求

高淬透性；高硬度，高耐磨；足够的强、韧性；高回火稳定性；高热疲劳抗力；高导热

4) 典型牌号：5CrNiMo

THE END

5) 成分特点

中碳： 0.5~0.6%，良好的强度韧性、导热性

合金元素： Cr Ni Mo

	↓		↓		↓
↑ 淬透性,					防第二类回火
↑ 回火稳定性		↑ 强韧性			脆, 细化组织

6) 热处理特点： 退火， 淬火 + 高温回火

表 4-14 常用合金工具钢的牌号、成分、推荐的热处理及用途举例 (GB/T 1299—2000)

牌号	化学成分 ω (%)							热处理					应用举例
	C	Mn	Si	Cr	W	V	Mo	淬火		回火			
								淬火加 热温度/ ℃	冷却 介质	硬度 HRC	回火温 度/℃	次数 2h/次	
9Mn2V	0.85	1.70	≤	—	—	0.10	—	780~ 810	油	≥62	200	1	小冲模, 冲模及剪刀、冷压模、雕刻模、落料模、 各种变形小的量规、样板、丝锥、冷轧
	—	—	0.40	—	—	—							
	0.95	2.00	—	—	—	0.25							
9SiCr	0.85	0.30	1.20	0.95	—	—	—	860~ 880	油	≥62	200	1	板牙、丝锥、钻头、铰刀、齿轮铣刀、冷冲模、 冷轧辊等
	—	—	—	—	—	—							
	0.95	0.60	1.60	1.25	—	—							
Cr2	0.95	≤	≤	1.30	—	—	—	830~ 860	油	≥62	200	1	切削工具、车刀、铣刀、齿轮铣刀、冷冲模、冷 轧辊等
	—	≤	≤	—	—	—							
	1.10	0.40	0.40	1.65	—	—							
CrWMn	0.90	0.80	≤	0.90	1.20	—	—	800~ 830	油	≥62	200	1	板牙、拉刀、量规形状复杂高精度的冲模等
	—	—	0.40	—	—	—							
	1.05	1.10	—	1.20	1.60	—							
Cr12	2.00	≤	≤	11.50	—	—	—	950~ 1000	油	≥60	200	1	冷冲模冲头, 冷切剪刀(硬薄的金属), 钻套、量 规、螺紋滚模、粉末冶金模、落料模拉丝模、木工切 削工具等
	—	≤	≤	—	—	—							
	2.30	0.40	0.40	13.00	—	—							
Cr12MoV	1.45	≤	≤	11.00	—	0.15	0.40	950~ 1000	油	≥58	200	1	冷切剪刀、圆锯、切边模、滚边模、进口模标准工 具与量规拉丝模、螺紋滚模等
	—	≤	≤	—	—	—	—						
	1.70	0.40	0.40	12.50	—	0.30	0.60						
5CrNiMo	0.50	0.50	≤	0.50	Ni1.	—	0.15	830~ 860	油	—	500	2	热压模、大型锻模等
	—	—	0.40	—	40~	—	—						
	0.60	0.80	—	0.80	1.80	—	0.30						
5CrNiMo	0.50	1.20	0.25	0.60	—	—	0.15	820~ 850	油	—	500	2	中型锻模等
	—	—	—	—	—	—	—						
	0.60	1.60	0.60	0.90	—	—	0.30						
3Cr2W8V	0.30	≤	≤	2.20	7.50	0.20	—	1075~ 1125	油	—	500	2	高应力压模、螺钉或铆钉热压模, 热剪刀、压 棒模等
	—	≤	≤	—	—	—	—						
	0.40	0.40	0.40	2.70	9.00	0.50	—						

第四节 特殊性能钢

特殊性能钢 {
不锈钢
耐热钢
耐磨钢
低温钢

一、不锈钢

1. 金属电化学腐蚀原理及防止措施

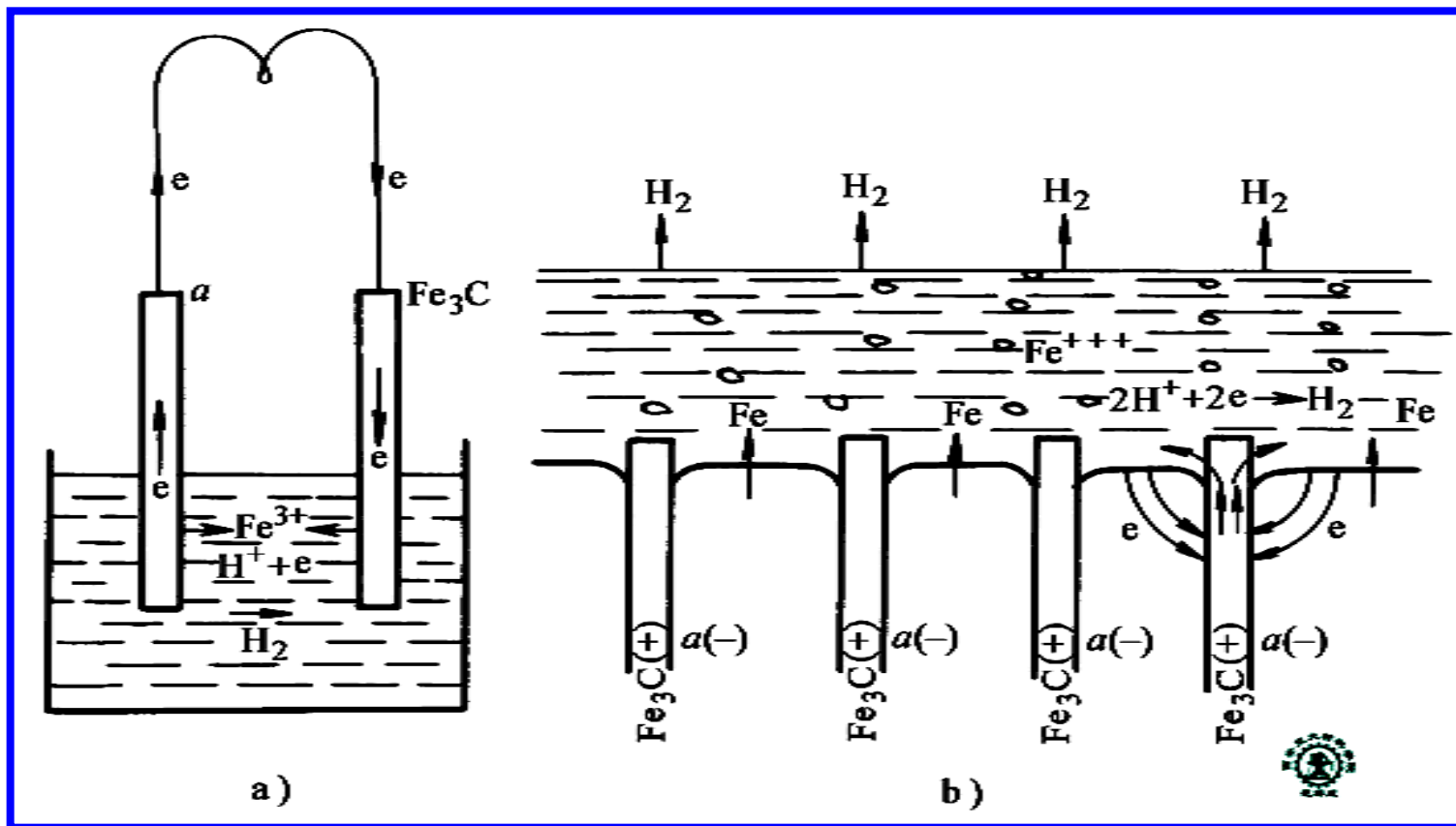
金属腐蚀 {
化学腐蚀—不发生电化学反应的(过程中无电流产生)腐蚀,如钢的高温氧化
电化学腐蚀—发生电化学反应的(过程中有电流产生)腐蚀,如钢的室温氧化

THE END

石油钻杆内壁的腐蚀磨损

汽缸套外壁的微孔腐蚀

电化学腐蚀条件 { 金属各部分有电极电位差 在电解质溶液中构成微电池



珠光体的电化学腐蚀 a) 电化学腐蚀原理 b) 腐蚀结果示意图

防止电化 学腐蚀的措施

使钢处于单相状态，如加入大量Cr得到单相F；加入大量Ni得到单相A

减小两相的电极电位差，如F中含Cr量大于12.5%，即可明显减小与渗碳体间的电极电位差

2. 常用不锈钢

1) 马氏体不锈钢（热轧空冷后基本上是M）

(1) 典型牌号：1Cr13, 2Cr13, 3Cr13, 4Cr13

(2) 用途

结构钢
汽轮机叶片

工具钢
医疗器械，刃具

(3) 热处理特点: $\underbrace{1\text{Cr}13, 2\text{Cr}13, 3\text{Cr}13, 4\text{Cr}13}$

高温淬火
高温回火

高温淬火
低温回火

(4) 组织:

$S_{\text{回}}$

$M_{\text{回}}$

(5) 性能特点: 满意的力学性能, 中等耐蚀性

2) 铁素体不锈钢 (正火后基本上是 F)

(1) 典型牌号: 1Cr17, 1Cr28

(2) 热处理特点: 退火或正火态下使用

(3) 组织: F

THE END

(4) 性能特点：满意的耐蚀性, 较低的力学性能

(5) 用途：硝酸、磷酸工业用零构件

3) 奥氏体不锈钢（奥氏体状态下使用）

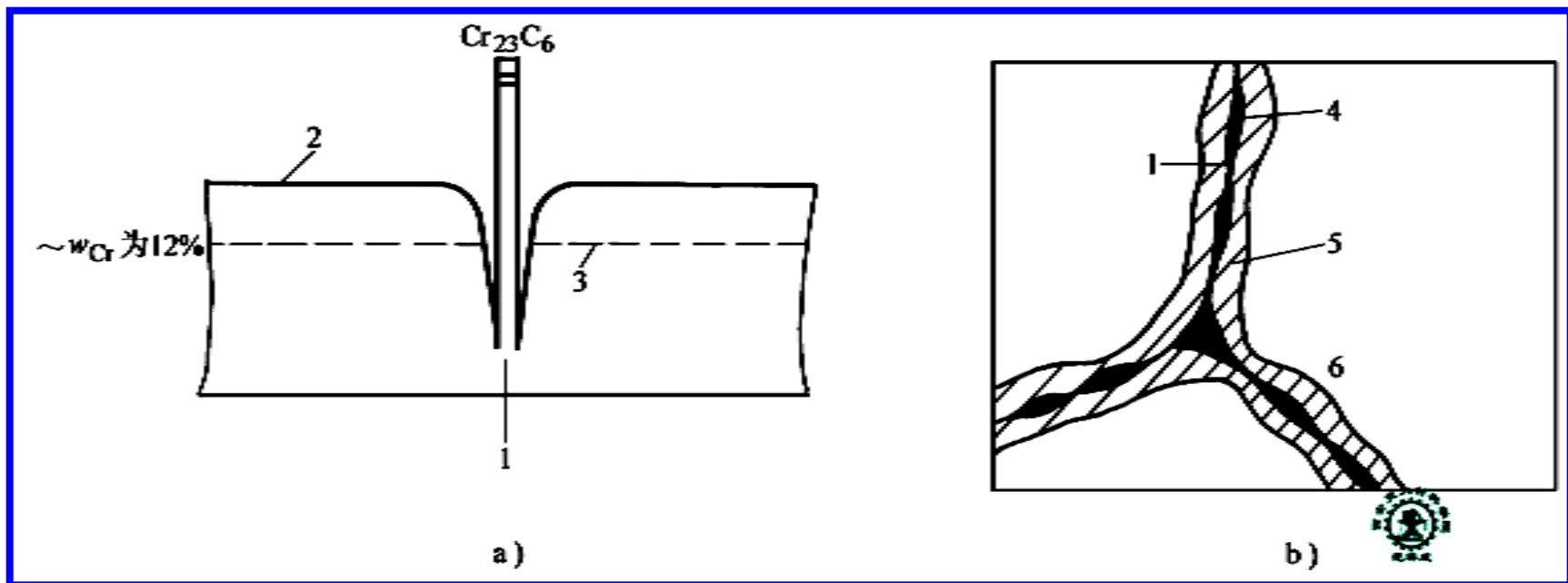
(1) 典型牌号：1Cr18Ni9, 1Cr18Ni9Ti

(2) 室温组织：

加热后 { 缓冷：A + F + $(\text{Cr,Fe})_{23}\text{C}_6$
快冷（固溶处理）：A

(3) 晶间腐蚀及其防止

原因：晶界附近的铬原子与碳在晶界处形成铬的碳化物，造成晶界附近贫铬，使该处电极电位降低，从而易受腐蚀



不锈钢的晶界贫铬和晶间腐蚀示意图

- 1—晶界的碳化物 2—铬含量 3—化学稳定的最小含铬量 4—析出
5—晶界附近的贫铬区（阳极） 6—晶内（阴极）

防止措施 {
↓ 碳含量, 如 0Cr18Ni9
加 Ti 或 Nb, 形成 TiC 或 NbC 而不
形成铬的碳化物, 如 1Cr18Ni9Ti
进行固溶处理或退火, 使 Cr 在奥氏
体中分布均匀, 从而加以消除

(4) 热处理特点 {
固溶处理: 获得单相 A
防晶间腐蚀
去应力退火: 于冷变形、焊接
后, ↓ 内应力, ↓ 晶间腐蚀

(5) 性能特点: 耐蚀性、力学性能均较好, 无磁性

(6) 用途: 应用最为广泛

THE END

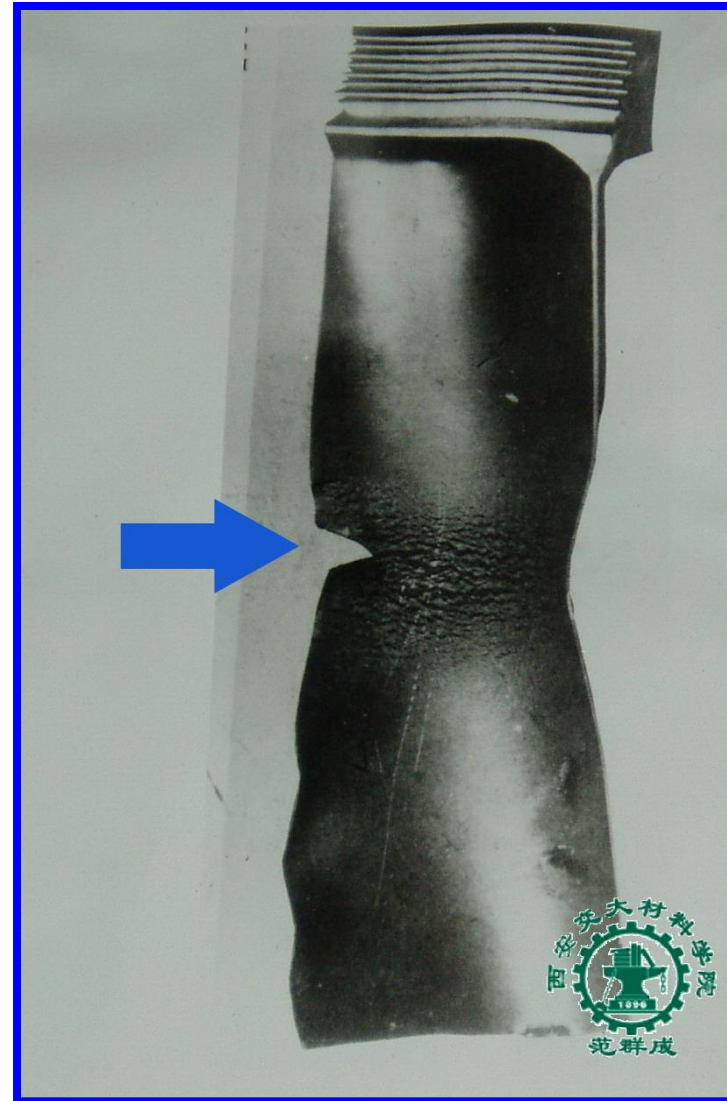
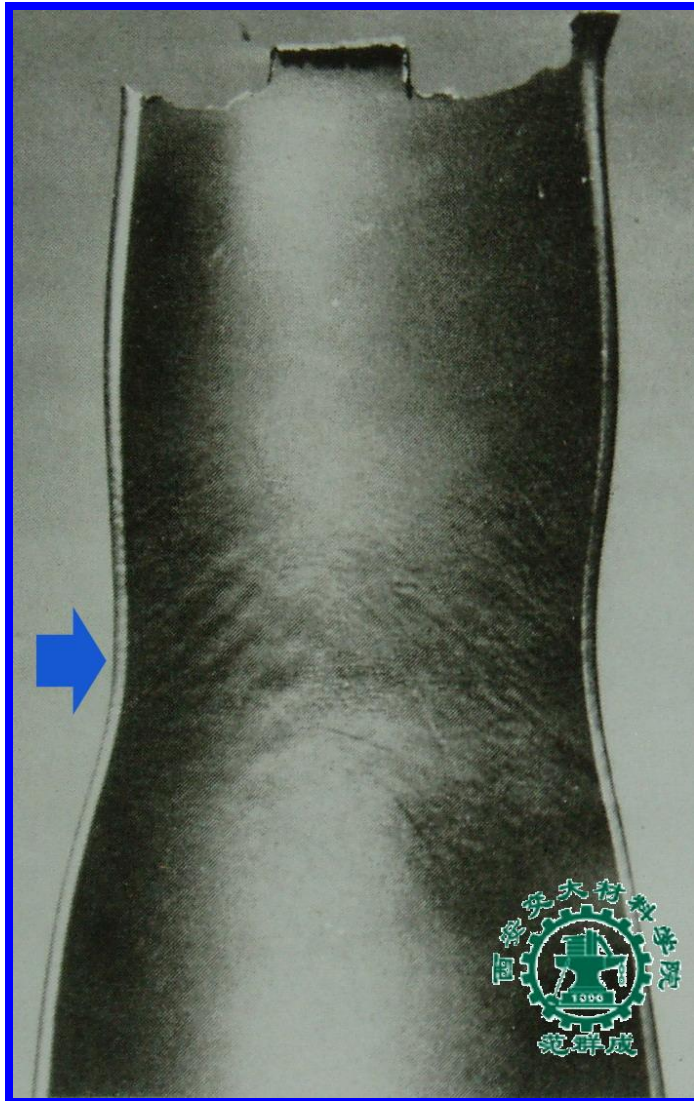
表4-18常用不锈钢的化学成分 (GB/T1220-1992)

类别	牌号	化学成分 ^a (%)									
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Ti	其他
马氏体型	1Cr13	≤0.15	≤1.00	≤1.80	≤0.035	≤0.030	11.50-13.50	-	-	-	-
	2Cr13	0.16-0.25	≤1.00	≤1.80	≤0.035	≤0.030	12.00-14.00	-	-	-	-
	3Cr13	0.20-0.30	≤1.00	≤1.80	≤0.035	≤0.030	12.00-14.00	-	-	-	-
	4Cr13	0.30-0.45	≤0.60	≤1.80	≤0.035	≤0.030	12.00-14.00	-	-	-	-
	1Cr17Ni2	0.13-0.17	≤0.60	≤1.80	≤0.035	≤0.030	16.00-18.00	1.30-2.50	-	-	-
	9Cr18	0.03-0.05	≤0.60	≤1.80	≤0.035	≤0.030	17.00-19.00	-	≤0.75	-	-
	9Cr18MoV						17.00-19.00	-	1.00-1.30	-	0.07-0.12
铁素体型	0Cr13Al	≤0.04	≤1.00	≤1.80	≤0.035	≤0.030	11.50-14.50	-	-	-	Al0.10-0.30
	1Cr17	≤0.12	≤0.75	≤1.80	≤0.035	≤0.030	16.00-18.00	-	-	-	-
	1Cr17Mo	≤0.12	≤1.00	≤1.80	≤0.035	≤0.030	18.00-16.00	-	-	0.75-1.25	-
	00Cr12	≤0.05	≤1.00	≤1.80	≤0.035	≤0.030	11.00-13.00	-	1.50-2.50	-	-
	00Cr30Mo2	≤0.01	≤0.40	≤1.80	≤0.030	≤0.030	28.50-32.00	-	-	-	Mo0.05
奥氏体型	00Cr19Ni10	≤0.030	≤1.00	≤2.00	≤0.035	≤0.030	18.00-20.00	8.00-12.00	-	-	-
	1Cr18Ni9	≤0.15	≤1.00	≤2.00	≤0.035	≤0.030	17.00-19.00	8.00-10.00	-	-	-
	1Cr18Ni9Ti	≤0.12	≤1.00	≤2.00	≤0.035	≤0.030	17.00-19.00	8.00-11.00	-	-	-
	0Cr18Ni9	≤0.07	≤1.00	≤2.00	≤0.035	≤0.030	17.00-19.00	8.00-11.00	-	57/PONT> (c%~0.2)	-
	0Cr17Ni12Mo2	≤0.06	≤1.00	≤2.00	≤0.035	≤0.030	16.00-18.00	10.00-14.00	2.00-3.00	-	-
	00Cr17Ni14Mo2	≤0.030	≤1.00	≤2.00	≤0.035	≤0.030	16.00-18.00	12.00-15.00	2.00-3.00	-	-
超奥氏体型	00Cr18Ni15Mo3Si2	≤0.030	1.30-2.00	1.00-2.00	≤0.035	≤0.030	18.00-19.50	4.50-5.50	2.50-3.00	-	-
	0Cr26Ni15Mo2	≤0.04	≤1.00	≤1.80	≤0.035	≤0.030	23.00-28.00	3.00-6.00	1.00-3.00	-	RE0.12 Mo0.25
	1Cr18Ni11Si4AlTi	0.10-0.20	≤1.00	≤1.80	≤0.035	≤0.030	17.50-19.50	6.00-10.00-12.00	3.00-3.00	0.40-0.70	Al0.10-0.30
超奥氏体型	0Cr17Ni4Cu4Nb	≤0.07	≤1.00	≤1.80	≤0.035	≤0.030	15.50-17.50	3.00-5.00	-	-	Cu3.00-5.00Nb0.15-0.45
	0Cr17Ni7Al	≤0.04	≤1.00	≤1.80	≤0.035	≤0.030	16.00-18.00	-	-	-	Al0.75-1.50Cu0.30
	0Cr15Ni7Mo2Al	≤0.05	≤1.00	≤1.80	≤0.035	≤0.030	14.00-16.00	6.50-7.50	2.00-3.00	-	Al0.75-1.50Cu0.30

表4-12 不锈钢的酸处理规范、力学性能及用途举例 (GB/T1220-1992)

类别	牌号	热处理规范				力学性能 (不小于)						用途举例
		淬火温度/℃	淬硬剂	回火温度/℃	淬硬剂	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ_5 (%)	ψ (%)	α_k /J	冲击功	
马氏体	1Cr13	950~1000	油	780~750	水、油	540	345	25	95	TS	1590BS	制造汽轮机叶片、泵叶轮、轴、转子、阀门、螺栓、螺母、如汽轮机叶片、泵叶轮、轴、螺母、螺栓、螺母等。 有较高强度和耐磨性的汽轮机、叶片、阀门、螺栓、螺母、刀片及磨床砂轮等件。 要求较高强度和耐蚀性及某些有抗酸腐蚀的零件和仪表。 不锈钢切削用刀具、剃须刀、手术刀片、高硬度、耐磨零件。
	2Cr13	920~980	油	780~750	水、油	635	460	20	80	CS	1420BS	
	3Cr13	920~980	油	200~300	-	-	-	-	-	-	60	
	4Cr13	1050~1100	油	200~300	-	-	-	-	-	-	50	
	1Cr17Ni2	950~1050	油	275~325	水、油	1000	-	10	-	30	-	
	9Cr18Ni9	1000~1050	油	200~300	-	-	-	-	-	-	55	
9Cr18Ni9	1050~1075	油	180~200	-	-	-	-	-	-	55		
铁素体	0Cr13Al	750~850	空	-	-	410	177	20	60	TS	1450BS	制造水蒸气、磷酸盐炉管、混合器、热交换器的设备。 制造工厂设备、机械零件、船舶热交换器、阀门、轴、螺栓等。食品工业设备。 同上。比1Cr17Ni2耐蚀性强。 制造汽车排气系统装置、锅炉汽轮机、喷管等。 制造制冰机、乳脂等有耐蚀的设备、可控温设备。
	1Cr17	750~850	空	-	-	450	245	22	50	-	1430BS	
	1Cr17Mo	750~850	空	-	-	450	245	22	60	-	1450BS	
	00Cr12	700~800	空	-	-	305	134	22	60	-	1430BS	
	00Cr20Ni2	900~1050	水	-	-	450	235	20	45	-	2250BS	
奥氏体	00Cr19Ni10	1010~1150	*	-	-	500	177	40	60	-	<167BS	具有良好的耐蚀及机械性能，为化工工业用的良好耐热材料。 制造汽轮机、冲压机、有耐蚀及强、减冲击腐蚀的设备零件。 制造容器及加工设备、制造管道、阀门和零件。制造汽轮机、阀门、螺栓、有耐蚀及强、减冲击腐蚀的设备。 用于制作汽轮机、阀门、螺栓及汽轮机耐热合金的零件、有良好的耐热性能。 用于制造汽轮机、阀门、螺栓及汽轮机耐热合金的零件、有良好的耐热性能。 用于制造汽轮机、阀门、螺栓及汽轮机耐热合金的零件、有良好的耐热性能。
	1Cr18Ni9	1010~1150	*	-	-	500	205	40	50	-	<167BS	
	1Cr18Ni9Ti	950~1150	*	-	-	500	245	40	50	-	<167BS	
	0Cr18Ni9	1010~1150	*	-	-	500	205	40	60	-	<167BS	
	0Cr17Ni12Mo2	1010~1150	*	-	-	500	245	40	60	-	<167BS	
	00Cr17Ni14Mo2	1010~1150	*	-	-	500	177	40	60	-	<167BS	
奥氏体-铁素体	00Cr19Ni10Mo2SS12	950~1150	水	-	-	500	330	20	40	-	-	在含氯离子的环境中应力腐蚀开裂倾向、应力腐蚀倾向、应力腐蚀倾向、应力腐蚀倾向。 在海水中有良好耐蚀性及较高应力腐蚀开裂的倾向。 制造汽轮机、阀门、螺栓、有耐蚀及强、减冲击腐蚀的设备。
	0Cr20Ni10Mo2	950~1100	水	-	-	500	330	18	40	-	<27BS	
	1Cr18Ni11Si4AlTi	950~1050	水	-	-	730	450	25	40	CS	-	
奥氏体-铁素体-双相	0Cr17Ni4Cu4Nb	1050~1050℃ (水)	-	-	-	-	-	-	-	-	<267 (BS)	制作汽轮机、阀门、螺栓及汽轮机耐热合金零件、有良好的耐热性能。 制作汽轮机、阀门、螺栓及汽轮机耐热合金零件、有良好的耐热性能。 制作汽轮机、阀门、螺栓及汽轮机耐热合金零件、有良好的耐热性能。 制作汽轮机、阀门、螺栓及汽轮机耐热合金零件、有良好的耐热性能。 制作汽轮机、阀门、螺栓及汽轮机耐热合金零件、有良好的耐热性能。 制作汽轮机、阀门、螺栓及汽轮机耐热合金零件、有良好的耐热性能。
		1020~1050℃ (水) +470~490℃回火4小时 (空)	-	-	1210	1180	10	40	-	-	40 (375BS)	
		1020~1050℃ (水) +540~560℃回火4小时 (空)	-	-	1050	1040	12	40	-	-	30 (350BS)	
		1020~1050℃ (水) +610~630℃回火4小时 (空)	-	-	900	930	15	60	-	-	20 (270BS)	
	0Cr17Ni7Al	1000~1100℃ (水)	-	-	<1050	<300	20	-	-	-	<300BS	
		1000~1100℃ (水) +760℃, 90分 (空) + 545℃回火90分 (空)	-	-	1140	950	5	25	-	-	>950BS	
0Cr18Ni9Ti	1000~1100℃ (水)	-	-	1230	1030	6	10	-	-	>950BS		
0Cr18Ni9Ti	1000~1100℃ (水)	-	-	-	-	-	-	-	-	<264BS		
	1000~1100℃ (水) +760℃, 90分 (空) + 545℃回火90分 (空)	-	-	1210	1180	7	25	-	-	>975BS		
	1000~1100℃ (水) +525℃, 10分 (空) + -73℃回火90分 +610℃回火60分 (空)	-	-	1320	1210	6	20	-	-	>950BS		

二、耐热钢



1. 性能要求

{ 高的抗高温氧化能力
高的高温强度

2. 成分特点

在不锈钢的基础上，加入提高强度、形成致密氧化膜的元素

3. 常用耐热钢

1) 马氏体型耐热钢

(1) 典型牌号：4Cr9Si2（气阀钢）

1Cr12WMoV（叶片钢）

(2) 热处理特点：淬火(1000~1100℃) + 高温回火(650~800℃), $S_{\text{回}}$

(3) 性能特点：良好的高温强度

(4) 应用：汽轮机叶片，发动机排气阀等

THE END

2) 铁素体型耐热钢

(1) 典型牌号: 1Cr18Si2

(2) 热处理特点: 正火处理 (700~800°C 加热空冷), F

(3) 性能特点: 良好抗高温氧化性

(4) 应用: 加热炉构件等

3) 奥氏体型耐热钢

(1) 典型牌号: 1Cr18Ni12Ti

(2) 热处理特点: 固溶处理 (1000~1150°C 加热水冷或油冷), A

(3) 性能特点: 良好抗高温氧化性、热强性

(4) 应用: 汽轮机叶片等

THE END

表4-21 常用耐热钢的化学成分处理、力学性能及用途举例 (GB/T 1221-1992)

牌号	牌号	化学成分 (%)									
		C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	N	V	Ti	其他
奥氏体	1Cr13	<0.15	<1.00	<1.00	11.50~13.50						
	2Cr13	0.15~0.25	<1.00	<1.00	12.00~14.00						
	1Cr11Ni2W	0.11~0.15	<0.50	<0.60	10.00~11.50		0.50~0.70		0.25~0.40		
	1Cr12Ni2W	0.11~0.15	<0.50	0.50~0.90	11.00~13.00		0.50~0.70	0.70~1.10	0.15~0.30		
	6Cr9Si2	0.36~0.50	2.00~3.00		8.00~10.00	<0.60					
	6Cr10Si2Mo	0.36~0.45	1.90~2.40	<0.70	9.00~10.50	<0.60	0.70~0.90				
铁素体	0Cr13Al	<0.08	<1.00	<1.00	11.50~14.50						Al 0.10~0.30
	1Cr17	<0.12	<0.15	<1.00	16.00~18.00						
	2Cr25Ni	<0.20	<1.00	<1.50	23.00~27.00						N <0.25
	00Cr12	<0.03	<1.00	<1.00	11.00~13.00						
马氏体	1Cr18Ni9Ti	<0.12	<1.00	<2.00	17.00~19.00	9.00~11.00				570K- 0.02 0.30	
	1Cr20Ni14Si2	<0.30	1.50~2.50	<1.50	19.00~21.00	12.00~15.00					
	3Cr18Ni12Si2	0.30~0.50	1.40~2.20	10.50~12.50	17.00~19.00						Si 0.25~0.35
	4Cr14Ni14W2Co	0.40~0.50	<0.60	<0.70	13.00~15.00	13.00~15.00	0.25~0.40	2.00~2.75			
	0Cr15Ni25Ti2Co1W	<0.08	<1.00	<2.00	13.50~16.00	24.00~27.00	1.00~1.50		0.10~0.50	1.40~2.35	Al <0.35 Si 0.001~0.010

热处理规范				力学性能 (不小于)						用途举例
淬火温度 / °C	冷却剂	回火温度 / °C	冷却剂	$\sigma_{0.2}$ / MPa	σ_s / MPa	δ (%)	ψ (%)	A_{K1} / J	HB3	
950~1000	油	700~750	水	345	540	25	55	78	150	制造800℃以下抗氧化部件及400~450℃工作的汽轮机叶片、阀、螺栓、导管等
920~980	油	600~750	水	440	635	20	50	63	192	
1050~1100	空	720~740	空	490	685	16	55	47		制造535~540℃工作的汽轮机叶片及透平叶片和导向叶片等
1000~1050	油	680~700	空	585	735	15	45	47		制造550~580℃工作的汽轮机叶片、紧固件及透平叶片、紧固件、转子和轮盘等
1020~1040	油	700~780	油	590	885	19	50			制造内燃机进气阀和工作温度<700℃的轻负荷发动机排气阀等
1010~1040	油	120~160	空	685	885	10	35			
780~830	空、炉			177	410	20	60		183	制造燃气透平压缩机叶片、透火箱、淬火台架等
780~850	空、炉			205	450	22	50		183	制造900℃以下抗氧化部件、散热器、炉用部件、油喷嘴等
780~880	水			275	510	20	40		≤201	制作工作温度<1080℃的抗氧化部件、燃烧室等
700~820	空、炉			196	365	22	60		183	制造汽车排气阀净化装置、锅炉燃烧室、喷嘴等
920~1150	水、油			205	520	40	50		≤187	制造加热炉管、燃烧室筒体、透火炉罩、及工作温度<700℃的内燃机排气阀等
1080~1130	水、油			295	590	35	50		≤187	制造管壁温度<800℃的加热炉管及承受应力的各种炉用构件
1100~1150	水、油			390	685	35	45		≤248	制造工作温度<900℃的加热炉构件如吊挂支架、渗碳炉构件、加热炉传送带、料盘、炉爪等
820~850	水、油			315	705	20	35		≤248	制造工作温度<800℃的内燃机重负荷排气阀等
965~995	水、油			590	900	15	18		248	制造耐700℃高温的汽轮机转子、叶片、螺栓、轴及<800℃的高温机、紧固件等

三、耐磨钢

1. 服役条件

如坦克履带板、破碎机牙板、铁路道岔、冲击钻头等
冲击、摩擦，

2. 性能要求 抗冲击磨损

3. 典型牌号

ZGMn13（高锰钢）

$$w_C = 0.9 - 1.5\% \quad w_{Mn} = 11 - 14\%$$

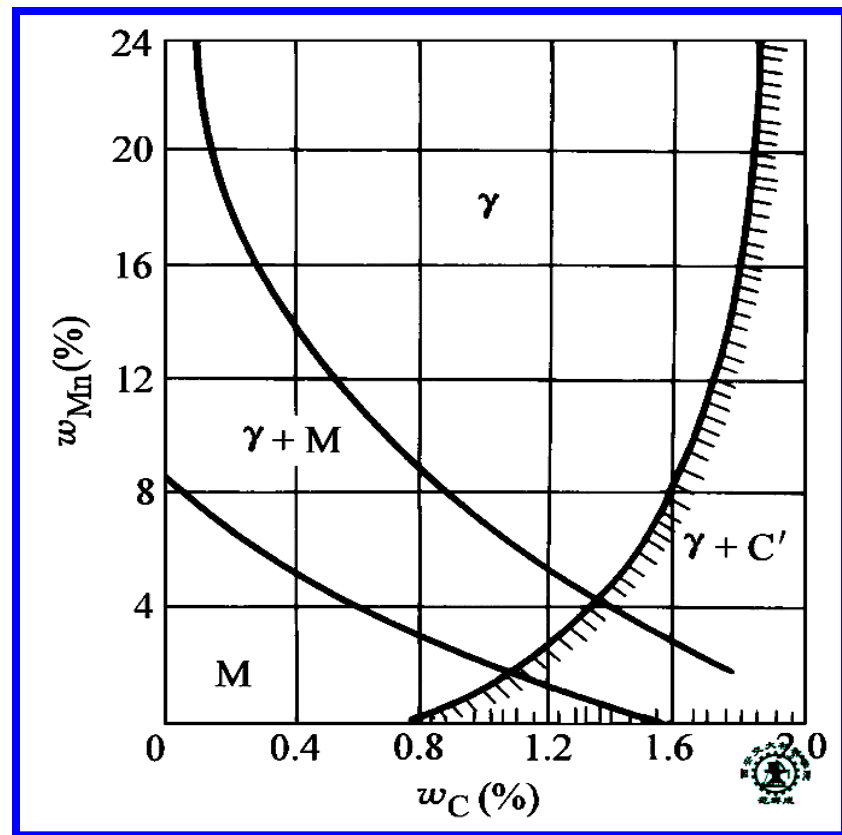
THE END

4. 热处理特点

水韧处理(固溶处理)
1060~1100℃水冷, A

5. 性能特点

强烈的加工硬化能力
良好的抗冲击磨损性



高锰钢1000℃加热水淬组织图

THE END

四、低温钢

低温钢 — 用于工作温度在 0°C 以下的零件和构件的钢种

1. 性能要求 { 低的韧脆转变温度
高的低温韧性

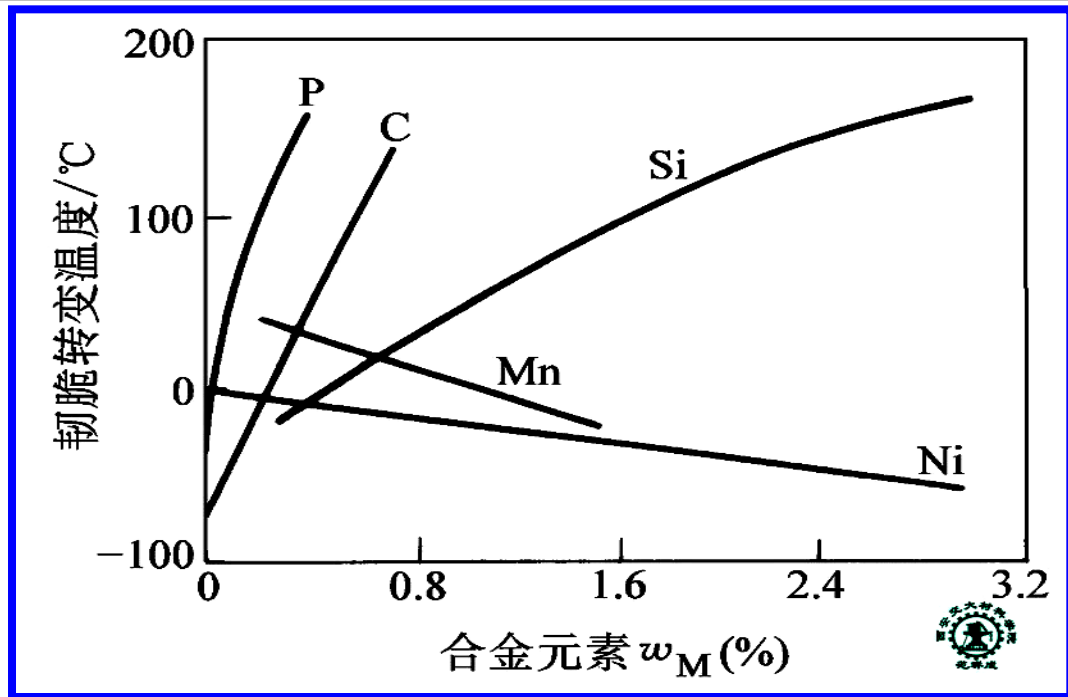
2. 影响金属低温韧性的主要因素

1) 晶体结构 { 面心立方, 高
体心立方, 低

2) 化学成分 { 有害元素: C、P、Si
有益元素: Ni、Mn

THE END

合金元素对韧脆转变温度的影响



3) 组织：
细晶粒好

4) 使用状态：高温回火态最好 ($S_{\text{回}}$)，冷轧态最差 (加工硬化，残余内应力)

5) 常用低温钢
奥氏体不锈钢
-269°C

低碳镍钢
-196°C

低碳锰钢
-70°C

THE END

表 4-23 低温压力容器用低合金钢板的成分、力学性能及低温冲击韧性 (GB 3531—1996)

牌 号	化学成分 ω (%)							热处理	钢板厚度 /mm	力学性能			低温冲击韧性		
	C	Si	Mn	Ni	Al	其他	P			S	σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 (%)	试验温度 /°C	A_{KV} /J
							不大于			不小于					
16MnDR	≤ 0.20	0.15 ~ 0.50	1.20 ~ 1.60		≥ 0.015		0.030	0.025	正火或 正火+回 火	6~16	490~620	315	21	-40	24
										>16~36	470~600	295			
										>36~60	450~580	275	-30		
										>60~100	450~580	255			
15MnNiDR	≤ 0.18	0.15 ~ 0.50	1.20 ~ 1.60	0.20 ~ 0.60	≥ 0.015	V ≤ 0.06	0.030	0.025	正火或 正火+回 火	6~16	490~630	325	20	-45	27
										>16~36	470~610	305			
										>36~60	460~600	290			
09Mn2VDR	≤ 0.12	0.15 ~ 0.50	1.40 ~ 1.80		≥ 0.015	V0.02 ~ 0.06	0.030	0.025	正火或 正火+回 火	6~16	440~570	290	22	-50	27
										>16~36	430~560	270			
09MnNiDR	≤ 0.12	0.15 ~ 0.50	1.20 ~ 1.60	0.30 ~ 0.80	≥ 0.015	Nb ≤ 0.04	0.025	0.020	正火或 正火+回 火	6~16	440~570	300	23	-70	27
										>16~36	430~560	280			
										>36~60	430~560	260			

注: DR 是指低温压力容器用钢, 为“低容”汉语拼音字首。