

高等学校教材

合金钢与 有色合金锻造

郭鸿镇 主编



西北工业大学出版社

高等学校教材

合金钢与有色金属锻造

郭鸿镇 主编

西北工业大学出版社

1999年6月 西安

(陕)新登字 009 号

【内容简介】 本书共分为八章,其中第一章至第七章分别对合金结构钢、合金工具钢、高速钢、Cr12 型模具钢、不锈钢、高温合金、铝合金、镁合金、铜合金和钛合金的材质、可锻性、锻造热力参数、锻造工艺特点及锻件缺陷等方面作了较详细的分析和讨论,第八章综述了有色合金及合金钢的锻件和模具设计特点。书中还穿插介绍了部分新型材料(例如一些复合材料、粉末合金等)的锻造问题,并注重反映了近 10 多年来迅速发展的一些难变形材料锻造新工艺、新技术等。

本书可作为高等院校锻压专业的教科书,亦可作为科研单位研究人员及工厂技术人员的参考书。

高等学校教材
合金钢与有色金属锻造

郭鸿镇 主编
责任编辑 李珂
责任校对 钱伟峰
耿明丽

*

©1999 西北工业大学出版社出版发行
(邮编:710072 西安市友谊西路 127 号 电话:8493844)
陕西新华书店经销
西安福利彩印厂印装
ISBN 7-5612-1134-1/TG·42(课)

*

开本:787 毫米×1092 毫米 1/16 印张:18.125 字数:432 千字
1999 年 6 月第 1 版 1999 年 6 月第 1 次印刷
印数:1—2 000 册 定价:20.00 元

购买本社出版的图书,如有缺页、错页的,本社发行部负责调换。

前 言

本书是根据航空锻压专业《合金钢与有色合金锻造》教学大纲编写的。书中共有八章,包括合金结构钢和工具钢锻造、高速钢和 Cr12 型模具钢锻造、不锈钢锻造、高温合金锻造、铝合金和镁合金锻造、铜合金锻造、钛合金锻造、锻件和模具设计特点等内容。课程原用教材《有色金属锻造》及《合金钢锻造》分别于 1979 年和 1984 年编写并出版。10 余年来在有色合金及合金钢的材料和加工领域出现了许多新进展,为了补充新内容,并更加适合现今教学及作为科研、生产参考书的需要,我们在吸收原有教材重要内容的基础上,重新编写了本书。本书将各合金的成分、工艺、组织及性能紧密联系起来进行论述,力求做到既有理论深度,又有丰富的实践内容,并能较好地反映国内外先进技术及科技新成果,在内容上尽量兼顾航空军品和民用锻压生产的不同需要。

本书编写分工:第一、四、五章由西北工业大学郭鸿镇教授编写,第二、六章由西北工业大学王敏讲师编写,第三、七章由西北工业大学姚泽坤副教授编写,第八章由南昌航空学院王家宣副教授编写。郭鸿镇教授担任主编。

在本书编写过程中,曾得到苏祖武、陈诗荪、罗子健等教授在多方面的大力支持和帮助,并得到了有关工厂刘润农、王慈校、姜明、常庆生、吴新民等专家的热情支持和帮助。在此表示衷心的感谢。

本书承蒙钟春生教授认真审稿,在此深表谢意。

由于编者水平的限制,书中难免有不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

1998 年 7 月

目 录

第一章 合金结构钢和工具钢锻造	1
§ 1-1 合金结构钢和合金工具钢	1
一、合金结构钢	1
二、合金工具钢	2
§ 1-2 锻造用原材料	6
一、冶炼工艺对钢材质量的影响	6
二、成形工艺对钢材质量的影响	7
三、钢锭和钢材的冶金质量问题	8
§ 1-3 可锻性	9
一、塑性	9
二、变形抗力	12
§ 1-4 锻造热力规范	13
一、锻造温度范围	13
二、变形程度	18
§ 1-5 锻造工艺特点	23
一、备料	23
二、加热	23
三、自由锻	24
四、模锻	25
五、锻件冷却	26
六、热处理	26
§ 1-6 模锻工艺举例	27
一、侧吊挂支架开式模锻	27
二、尾杆平锻机模锻	28
§ 1-7 锻件典型缺陷	29
一、脱碳	29
二、綦状断口	29
三、石状断口	29
四、层状断口(木纹状断口)	30
五、低倍粗晶	30
六、本质晶粒度粗大不均	30
七、低倍“螺旋线”	31

八、锻造裂纹	31
复习思考题	31
第二章 高速钢和 Cr12 型模具钢锻造	32
§ 2-1 高速钢	32
一、高速钢的用途及主要性能要求	32
二、高速钢的成分及分类	32
三、高速钢中主要合金元素的作用	32
四、高速钢的铸态组织	34
五、高速钢的碳化物偏析	36
§ 2-2 锻造用原材料	37
一、铸锭	37
二、钢材	37
§ 2-3 可锻性和锻造温度范围	38
一、合金元素对高速钢热塑性的影响	38
二、高速钢的热塑性和锻造温度范围	40
三、高速钢的超塑性	42
§ 2-4 锻前加热和锻后冷却	42
一、锻前加热	42
二、加热设备的选择及加热操作	43
三、锻后冷却	44
§ 2-5 锻造工艺特点	45
一、备料	45
二、锻造	45
三、锻后热处理	51
§ 2-6 锻件典型缺陷	52
一、过烧	52
二、表面严重脱碳	52
三、菜状断口	52
四、重复加热开裂	52
五、锻造裂纹	52
§ 2-7 Cr12 型模具钢锻造	56
一、Cr12 型高碳高铬模具钢的化学成分、牌号与用途	56
二、Cr12 型模具钢的改锻	57
三、Cr12 型模具钢锻坯的纤维方向	57
四、Cr12 型模具钢锻造操作要点	58
五、Cr12 型模具钢锻件的退火	59
§ 2-8 钢结硬质合金锻造	59
一、几种新型的高速钢钢种	59

二、钢结硬质合金的锻造工艺特点	61
复习思考题	63
第三章 不锈钢锻造	64
§ 3-1 不锈钢	64
一、铁素体不锈钢	64
二、马氏体不锈钢	65
三、奥氏体不锈钢	65
四、沉淀硬化不锈钢	66
§ 3-2 可锻性和锻造温度范围	68
一、不锈钢在高温下的变形抗力	68
二、过剩铁素体对不锈钢工艺塑性的影响	69
三、不锈钢的锻造温度范围	71
§ 3-3 锻造工艺特点	74
一、下料	74
二、毛坯加热	74
三、模锻	75
四、切边	75
五、锻后冷却	75
六、表面清理	76
§ 3-4 锻件热处理	77
一、铁素体型不锈钢	77
二、马氏体型不锈钢	77
三、奥氏体型不锈钢	78
四、沉淀硬化不锈钢	78
§ 3-5 模锻工艺举例	79
一、安装座锻件的模锻工艺	79
二、长轴类锻件的模锻工艺	80
§ 3-6 锻件常见缺陷	81
一、加热不当引起的缺陷	81
二、锻造引起的缺陷	81
三、锻后冷却过程中形成的缺陷	82
复习思考题	82
第四章 高温合金锻造	83
§ 4-1 变形高温合金	83
一、变形高温合金的特性、分类及用途	83
二、变形高温合金的合金化与组织特点	86
三、杂质和微量元素的影响	86

四、高温合金的冶炼特点	87
五、高温合金锻造用的原材料	89
§ 4-2 可锻性	89
一、高温塑性	89
二、变形抗力	90
§ 4-3 锻造工艺参数对高温合金组织和性能的影响	92
一、锻造比对铸锭组织和性能的影响	92
二、工艺参数对晶粒尺寸的影响	93
§ 4-4 锻造温度范围	96
一、锻造温度范围与合金成分及组织的关系	96
二、始锻温度的确定	96
三、终锻温度的确定	98
§ 4-5 锻造工艺特点	100
一、备料	100
二、加热	100
三、锻造	101
四、切边	102
五、冷却	102
六、清理	102
§ 4-6 锻件热处理	103
一、铁基高温合金锻件的热处理	103
二、镍基高温合金锻件的热处理	103
§ 4-7 锻造工艺举例	105
一、火焰筒安装边模锻	105
二、承力环轧制	106
§ 4-8 锻件典型缺陷	106
一、过热、过烧	106
二、合金元素贫化	107
三、粗晶	108
四、锻造裂纹	108
§ 4-9 粉末高温合金锻造	109
一、粉末冶金高温合金的特点	109
二、粉末高温合金的成分及生产工艺	109
复习思考题	112
第五章 铝合金和镁合金锻造	113
§ 5-1 铝及变形铝合金	113
一、纯铝	113
二、变形铝合金	114

§ 5-2 锻造用原材料	119
一、铸锭	119
二、锻坯	120
三、轧制板材	120
四、挤压棒材	120
§ 5-3 可锻性和锻造热力规范	121
一、可锻性	121
二、锻造热力规范	123
§ 5-4 锻造工艺特点	127
一、备料	127
二、加热	128
三、自由锻	128
四、模锻	128
五、模具预热	129
六、润滑	129
七、冷却	130
八、切边	130
九、清理	130
十、修伤	130
§ 5-5 锻件热处理	131
一、退火	131
二、淬火、时效	132
§ 5-6 模锻工艺举例	135
一、安装座模锻工艺	135
二、接头模锻工艺	135
§ 5-7 锻件典型缺陷	136
一、过烧	136
二、折叠	137
三、裂纹	137
四、流线不顺、涡流、穿流和穿筋	139
五、粗晶	141
六、氧化膜	142
七、残留铸造组织	142
八、表面气泡、表面起皮和表面粗糙	142
§ 5-8 新型铝合金锻造	143
一、铝-锂合金锻造	143
二、粉末铝合金锻造	144
三、铝基复合材料锻造	146
§ 5-9 镁合金锻造	148

一、镁及变形镁合金	148
二、可锻性	150
三、锻造工艺特点	151
四、锻件缺陷	156
五、镁合金的超塑性	156
复习思考题	157
第六章 铜合金锻造	158
§ 6-1 铜及铜合金	158
一、纯铜	158
二、黄铜	163
三、青铜	165
四、白铜	167
§ 6-2 锻造用原材料	168
一、铸锭	168
二、挤压棒材	169
§ 6-3 可锻性和锻造热力规范	169
一、可锻性	169
二、锻造温度范围	172
三、应力状态、变形程度和变形速度	173
§ 6-4 锻造工艺特点	174
一、下料	174
二、加热	174
三、锻造	176
四、冷却和切边	178
五、模锻时的润滑	178
六、设备吨位选择	178
七、清理	179
八、锻件热处理	180
§ 6-5 锻造工艺举例	181
一、冷凝器管板自由锻	181
二、底盖复合挤压	181
三、法兰盘开式模锻	181
§ 6-6 锻件典型缺陷	182
一、残余缩孔与分层	183
二、过热、过烧裂纹	183
三、桔皮状表面	183
四、应力裂纹	184
五、锻造裂纹	184

复习思考题	185
第七章 钛合金锻造	186
§ 7-1 钛及钛合金	186
一、纯钛	186
二、钛合金	187
§ 7-2 可锻性和锻造温度范围	192
一、加热温度对合金组织及工艺塑性的影响	192
二、加热温度和变形程度对变形抗力的影响	194
三、应变速率对变形抗力和工艺塑性的影响	194
四、锻造温度范围	196
§ 7-3 锻造工艺	197
一、下料	197
二、加热	198
三、自由锻	199
四、模锻	199
五、模具预热	201
六、润滑	202
七、顶件力计算	204
八、切边	204
九、校正	205
十、清理	205
§ 7-4 锻件热处理	206
一、退火	207
二、淬火、时效	208
§ 7-5 模锻工艺举例	209
一、钛合金叶片模锻工艺	209
二、火箭发动机壳体帽盖的模锻	211
§ 7-6 锻件典型缺陷	213
一、表面缺陷	213
二、内部缺陷	214
§ 7-7 其他模锻方法	216
一、等温模锻	216
二、热模锻造	217
三、 β 锻造	218
复习思考题	219
第八章 锻件和模具设计特点	220
§ 8-1 有色合金锻件设计	220

一、锻件设计依据	220
二、分模线位置的确定	220
三、机械加工余量和公差	222
四、模锻斜度	223
五、圆角半径	228
六、冲孔连皮	235
七、筋的厚度与高度	236
八、腹板厚度	238
§ 8-2 有色合金锻模设计特点	241
一、锻模结构特点	241
二、毛边槽	242
三、锻模钳口	246
四、终锻型槽、预锻型槽和制坯型槽	247
五、锻模表面	248
六、锻模材料和硬度	248
§ 8-3 合金钢锻件及模具设计特点	248
一、概述	248
二、锻件图设计	249
三、锻模设计要点	253
四、锻模材料选择	256
附 录	257
附录 1 部分碳钢及合金钢各国牌号对照表	257
附录 2 变形高温合金各国牌号对照表	263
附录 3 变形铝合金、镁合金各国牌号对照表	264
附录 4 钛合金各国牌号对照表	265
附录 5 铜合金各国牌号对照表	266
附录 6 美国变形铝合金牌号及状态标记法	267
附录 7 锻件公差及加工余量表	269
主要参考文献	276

第一章 合金结构钢和工具钢锻造

§ 1-1 合金结构钢和合金工具钢

一、合金结构钢

用于制造各种机械零件以及各种工程构件的钢材称为结构钢。在碳素结构钢的基础上,有意识地加入一种或几种合金元素,如 Cr, Mn, Si, Ni, W, V, Ti, Nb 及稀土等,就形成合金结构钢。合金结构钢在航空工业上应用很广,主要用作飞机和发动机上的承力构件,如梁、框、轴、接头等。

合金结构钢按其用途或热处理特点可分为调质钢、渗碳钢、超高强度钢、弹簧钢及轴承钢。航空工业中目前常用的合金结构钢的牌号、化学成分、热处理制度及机械性能,如表 1-1 所示。

1. 合金调质钢

合金调质钢主要用于制作承受较大负荷的零件,如航空发动机的涡轮轴、飞机起落架的承力构件等。对这类钢的性能要求是具有良好的综合机械性能,即同时具有较高的强度、硬度及较好的塑性和韧性。调质钢的碳含量一般在 0.25%~0.5% 之间,属于中碳钢。碳量过低,影响强度;碳量过高,韧性不足。钢中的主加合金元素有 Cr, Ni, Mn, Si 等,它们的主要作用是增加钢的淬透性,并使回火索氏体得到强化。其余少量的辅加合金元素有 Mo, V, Al, B 等。Mo 用于防止产生第二类回火脆性。V 能形成熔点较高的碳化物,从而阻止奥氏体晶粒长大。B 能强烈使等温转变曲线向右移而显著增加钢的淬透性。合金调质钢中的合金元素总量一般不超过 5%。30CrMnSiA, 40CrNiMoA 是航空工业中应用最广泛的合金结构钢钢种。

2. 合金渗碳钢

飞机或发动机中的某些零件如齿轮、活塞销及凸轮等,在工作过程中,除承受较大的各种载荷外,表面还承受强烈的磨损,故要求零件具有坚硬耐磨的表层和软硬适当的心部。为了达到上述要求,可采用低碳钢渗碳淬火等方法。合金渗碳钢的含碳量一般都很低,大约介于 0.12%~0.25% 之间,以保证渗碳零件心部具有良好的韧性。为了提高钢的心部强度,在钢中加入一定量的合金元素,如 Cr, Mn, Ni, Mo, W, Ti, B 等。其中 Cr, Mn, Ni, B 显著增加钢的淬透性, V, W, Ti 等可细化晶粒,增加表面耐磨性。

3. 超高强度钢

一般将 $\sigma_s > 1500 \text{ MPa}$, $\sigma_t > 1400 \text{ MPa}$ 的钢称为超高强度钢,它是为了使材料具有更高的比强度而发展起来的新钢种。表 1-1 中的 40CrNi2Si2MoVA 是我国仿制的美国 300M 钢,是一种中碳低合金超高强度钢,它是 40CrNiMoA 钢的改进型,主要是提高了 Si 和 Ni 的含量,增加了 V 元素,因此它的淬透性很高,在淬火加低温回火后可达 1931~2069 MPa 的高强度,

是目前飞机结构中使用强度最高的一个钢种,用于制造主起落架的外筒、活塞杆等重要承力构件。30CrMnSiNi2A 是航空工业中应用较广泛的一种低合金高强度钢,它是在30CrMnSiA钢的基础上加入 1.4%~1.8%Ni 而得到的,用于制造机翼主梁、起落架支柱等。

4. 合金弹簧钢

航空工业中常用的弹簧钢中以硅锰钢(例如 60Si2Mn)应用最广。弹簧钢的含碳量较高(0.46%~0.9%),主加元素 Mn, Si 等用以保证钢的淬透性及机械性能,而辅加元素 Cr, V, W, Nb 等,主要是防止 Mn, Si 的不良影响,并提高弹簧的弹性、屈强比和耐热性。

5. 轴承钢

轴承在工作时,承受着高压和集中的周期交变负荷,接触应力可达 3 000~5 000 MPa。通常所说的轴承钢是指高碳铬钢,其含碳量为 0.95%~1.15%,含铬量为 0.5%~1.65%,尺寸较大的轴承可用铬锰硅钢。高的含碳量主要是为了得到足够的碳化物,使钢具有高强度和高耐磨性。Cr 是为了提高钢的淬透性和强度,并使钢得到均匀细小的碳化物 $(Fe, Cr)_3C$,从而提高耐磨性。加入 Si 和 Mn,可进一步改善淬透性,提高钢的强度和弹性极限。

二、合金工具钢

工具钢按化学成分可分为碳素工具钢、合金工具钢和高速钢三大类。按用途可分为刀具钢、模具钢和量具钢三种。某些刀具钢也可制造模具或量具。常用合金工具钢的牌号、化学成分、热处理制度,如表 1-2 所示。

1. 合金刀具钢

刀具钢要求具有高的硬度和耐磨性,一定的强度和韧性,在大负荷高速切削时还要求具有热硬性。合金刀具钢含碳量为 0.7%~1.5%,以保证钢的硬度并满足形成合金碳化物的需要。合金元素总含量在 5%以下,其中主要是 Cr, W, Mn, V, Si 等。这些合金元素都不同程度地提高钢的淬透性,因此这类钢可用油淬。W, V 等是强碳化物形成元素,能减少钢的过热倾向,并提高耐磨性和硬度。Si 能有效地提高钢的回火稳定性,具有较好的热硬性。Mn 是强烈降低 Ms 点的元素,能使钢淬火后的残余奥氏体增加,使工具淬火变形少。常用的合金刀具钢有铬钢、锰钒钢、硅铬钢、铬锰钨钢等,例如 9SiCr, GCr15, CrWMn, 9M2V 等。

2. 合金量具钢

合金量具钢都是过共析钢,以保证淬火后有高的硬度和耐磨性。对形状复杂、精度要求高的量具(块规、量规等)可用 Cr12, CrMn, CrWMn 等钢种。其中 CrWMn 钢由于含有 Cr, W, Mn 元素,不仅提高钢的淬透性和耐磨性,而且有效地减少热处理变形,适于制作形状复杂、精度要求高的量具。

3. 合金模具钢

(1) 冷变形模具钢 冷变形模具包括冷冲模、剪切模、拉丝模、冷挤模、弯曲模等。这些模具在工作中承受很大的压力、弯曲应力、冲击力和摩擦力等作用,因此要求具有高硬度、高耐磨性,并具有足够的韧性。

碳素工具钢一般用来制造小型不重要的低负荷冷变形模具,而对于较大型的、形状复杂的重要模具可用 9SiCr 钢制造,要求变形极小的高精度模具可用 CrWMn 钢制造。对于大型的、要求高的冷变形模具,往往用 Cr12 系高合金工具钢(含碳 2%以上)制造。

表 1-1 合金结构钢的牌号、化学成分、热处理制度及机械性能

钢种	钢号	化学成分/(%)							热处理		机械性能				
		C	Mn	Si	Cr	Ni	其他	淬火温度 ℃	淬火介质	回火温度 ℃	σ_b MPa	$\sigma_{0.2}$ MPa	δ %	ψ %	HB
调质钢	38CrA	0.34~0.42	0.5~0.8	0.17~0.37	0.8~1.1			860 油	590 油		950	800	12	50	169~321
	40CrA	0.35~0.46	0.5~0.8	0.17~0.37	0.8~1.1			850 油	590 油		1 000	800	9	45	267~302
	30CrMnSiA	0.28~0.35	0.8~1.1	0.9~1.2	0.8~1.1			880 油	550 油		1 100	850	10	45	302~363
	37CrNi3A	0.33~0.41	0.25~0.55	0.17~0.37	1.2~1.6	3.0~3.5		820 油	550 油		1 100	1 000	9	50	≥269
	38CrMoAlA	0.35~0.42	0.3~0.6	0.17~0.37	1.35~1.65		0.15~0.25Mo 0.7~1.1Al	940 油	640		1 000	850	15	50	306~332
	40CrNiMoA	0.36~0.44	0.5~0.8	0.17~0.37	0.6~0.9	1.25~1.75	0.15~0.25Mo	860 油	580 油		1 090	970	15	58	306~332
渗碳钢	30Ni4CrMoA	0.26~0.33	0.2~0.6	0.1~0.4	1.2~1.5	3.3~4.3	0.3~0.6Mo								
	35Cr2Ni4MoA	0.3~0.4	0.3~0.6	0.15~0.4	1.6~2.0	3.5~4.2	0.25~0.6Mo								
	15CrA	0.15			0.7~1.0			860 油	160 空		600	400	15	50	211~298
	20MnV	0.20	1.2~1.5				0.1V	800 油	200 空		850	650	14	50	
	12CrNi3A	0.1~0.16	0.3~0.6		0.6~0.9	3.0		860 油	160		950	700	11	55	220~267
	20MnMoB	0.16~0.24	0.9~1.2				0.2~0.3Mo 0.001~0.005B	880 油	200 空		1 100	900	10	50	
低碳钢	16Cr2MnTiA	0.13~0.18	1.0~1.3		1.05~1.80	≤0.25	0.06~0.12Ti	830 油	170 油		1 100	880	11.5	53	306~401
	12Cr2Ni4A	0.10~0.15	0.3~0.6		1.25~1.65	3.25~3.65		800 油	160 空		1 000	880	12	55	291~391
	20SiMnMoVA	0.17~0.24	1.3~1.6	0.5~0.8		≤0.25	0.3~0.4Mo 0.15~0.25V	900 油	200 空		1 150	950	10	50	
	18CrNi4A	0.15~0.20	0.3~0.6	≤0.35	0.8~1.1	3.7~4.3	0.05V								
	18Cr2Ni4WA	0.14~0.20	0.25~0.55		1.35~1.65	4.0~4.4	0.8~1.2W	870 油	160 空		1 150	850	11	45	341~401

续表

钢种	钢号	化学成分/(%)						热处理		机械性能				
		C	Mn	Si	Cr	Ni	其他	淬火温度/℃		σ_b MPa	$\sigma_{0.2}$ MPa	δ %	ψ %	HB
								淬火介质	回火介质					
超高强度钢	40CrMnSiMoV	0.37~0.42	0.8~1.2	1.2~1.6	1.2~1.5	0.07~0.12V	0.45~0.6Mo	920油	200	1 943		13.745.4		
	40CrNi2Si2MoVA (300M)	0.38~0.43	0.60~0.90	1.45~1.80	0.7~0.95	1.65~2.00	0.30~0.50Mo ≥0.05V	871油	300空 (二次)	≥1 862	≥1 517	≥8	≥30	≤241
	40CrNiMoA (AISI4340)	0.37~0.44	0.6~0.8	0.2~0.35	0.7~0.9	1.65~2.0	0.2~0.3Mo 0.4~0.5Mo	900油	230	1 820	1 560	8	30	
	35Si2Mn2MoV	0.32~0.38	1.60~1.90	1.45~1.75			0.1~0.2V	920油	250	1 840	1 580	12	46	
	30Si2Mn2MoWV	0.27~0.31	1.5~2.0	2.0~2.5	0.05~0.15V	0.4~0.6W	0.55~0.75Mo	950油	250	≥1 900	≥1 500	10	25	
	30CrMnSiNi2A	0.26~0.38	1.00~1.30	0.9~1.2	0.9~1.2	1.4~1.8		900油	250	1 700	1 530	13.5	49	
	GC-19	0.32~0.37	0.8~1.2	0.8~1.2	1.3~1.7		2.0~2.5Mo 0.4~0.5V	1 020油	550	1 895		10.546.5		
弹簧钢	65Mn	0.62~0.7	0.9~1.2	0.17~0.37				870油	460	1 300	1 200	5	25	
	60Si2Mn	0.57~0.65	0.6~0.9	1.5~2.0				870水	460	1 300	1 200	5	25	
	70Si3MnA	0.66~0.74	0.6~0.9	2.4~2.8				860油	420	1 800	1 600	5	20	
	50CrVA	0.46~0.54	0.5~0.8	0.17~0.37	0.8~1.10		0.1~2.2V	850油	520	1 300	1 100	10	45	
	65Si2MnWA	0.61~0.69	0.7~1.0	1.5~2.0			0.8~1.2W	850油	420	1 900	1 700	5	20	
	55SiMnMoVNb	0.52~0.6	1.0~1.3	0.4~0.7		0.08~0.15V	0.3~0.4Mo 0.01~0.03Nb	880油	530	≥1 400	≥1 300	≥7	≥35	
	60Si2MnBRE	0.56~0.64	0.6~0.9	1.6~2.0			0.001~0.005H 0.15~0.2RE	870油	460	≥1 600	≥140	≥5	≥20	
轴承钢	GCr6	1.05~1.15	0.15~0.35	0.2~0.4	0.4~0.7			810水	155空					62~64 (HRC)
	GCr9	1.0~1.1	0.15~0.35	0.2~0.4	0.9~1.2			820水	160空					62~64 (HRC)
	GCr9SiMn	1.0~1.1	0.9~1.2	0.4~0.7	0.9~1.2			820水	160空					62~66 (HRC)
	GCr15	0.95~1.05	0.2~0.4	0.15~0.35	1.3~1.65			830水	160空					62~66 (HRC)
	GCr15SiMn	0.95~1.05	0.9~1.2	0.4~0.65	1.3~1.65			830油	170空					≥82 (HRC)
	GSiMnMoV	0.95~1.10	0.75~1.05	0.4~0.65			0.2~0.3V 0.2~0.4Mo	790油	170空					≥62 (HRC)

表 1-2 常用合金工具钢的牌号、化学成分及推荐的热处理制度

钢 号		化 学 成 分 / (%)							热 处 理				
		C	Mn	Si	Cr	W	V	Mo	淬火加热 温度/℃	淬 火 冷却介质	硬 度 (HRC)	回 火 回火温度 ℃	硬 度 (HRC)
9Mn2V		0.85~0.96	1.70~2.00	≤0.35	—	—	0.10~0.25	—	780~810	油	≥62	150~200	60~62
9SiCr		0.85~0.95	0.30~0.60	1.20~1.60	0.95~1.25	—	—	—	860~880	油	≥62	180~200	60~62
Cr		0.95~1.10	≤0.40	≤0.35	0.75~1.05	—	—	—	830~860	油	≥62	150~170	61~63
CrW5		1.25~1.50	≤0.30	≤0.30	0.40~0.70	4.50~5.50	—	—	800~820	水	≥65	150~160	64~65
CrMn		1.30~1.50	0.45~0.75	≤0.35	1.30~1.60	—	—	—	840~860	油	≥62	130~140	62~65
CrWMn		0.90~1.05	0.80~1.10	0.15~0.35	0.90~1.20	1.20~1.60	—	—	820~840	油	62	140~160	62~65
Cr12		2.00~2.30	≤0.35	≤0.40	11.50~ 13.00	—	—	—	980	油	62~65	180~220	60~62
									1 080	油	45~50	500~520 (三次)	59~60
Cr12MoV		1.45~1.70	≤0.35	≤0.40	11.00~ 12.50	—	0.15~0.30	0.40~0.60	1 030	油	62~63	160~180	61~62
									1 120	油	41~50	510(三次)	60~61
5CrNiMo		0.50~0.60	0.50~0.80	≤0.35	0.50~0.80	Ni 1.40~1.80	—	0.15~0.30	830~860	油	≥47	530~550	HB 364~402
5CrMnMo		0.50~0.60	1.20~1.60	0.25~0.60	0.60~0.90	—	—	0.15~0.30	820~850	油	≥50	560~580	HB 324~364
4Cr5MoSiV		0.32~0.42	≤0.40	0.80~1.20	4.50~5.50	—	0.30~0.50	1.00~1.50	1 000	油	55	580(二次)	51
3Cr2W8V		0.30~0.40	0.20~0.40	≤0.35	2.20~2.70	7.50~9.00	0.20~0.50	—	1 150~ 1 100	油	>50	560~580 (三次)	44~48
4Cr5W2VSi		0.32~0.41	≤0.40	0.80~1.20	4.50~5.50	1.60~2.40	0.60~1.00						HB 461~514
3Cr3Mo3VNb		0.22~0.33	≤0.35	≤0.60	2.60~3.20	Nb 0.08~0.15	0.60~0.80	2.70~3.2					HB 444~495