

航空工艺装备设计手册

刀具设计

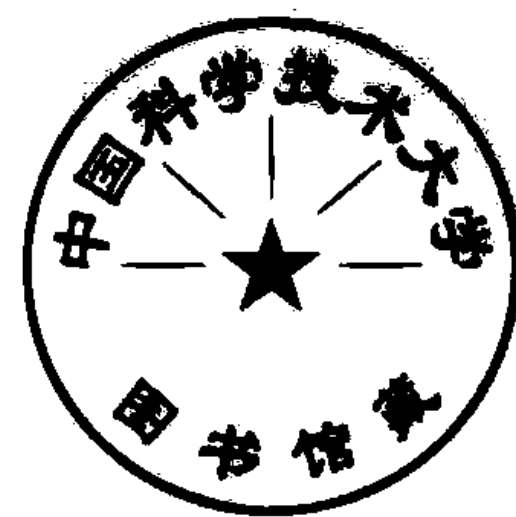


国防工业出版社

航空工艺装备设计手册

刀具设计

《航空工艺装备设计手册》编写组 编



国防工业出版社

内 容 简 介

本分册内容包括工厂所需用的各类刀具的设计计算方法及步骤和有关图表数据。书中所介绍的内容大多取自工厂中现行的设计计算方法，比较实用。

为了便于使用，将小模数齿轮刀具专列一章。

本分册供航空工厂刀具设计人员使用，也可供工厂及大专院校有关人员参考。

航空工艺装备设计手册

刀 具 设 计

《航空工艺装备设计手册》编写组 编

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第 074 号

国防工业出版社印刷厂印装 内部发行

*

787×1092¹/₁₆ 印张 72³/₈ 插页 2 1704千字

1979年11月第一版 1979年11月第一次印刷 印数：0,001-5,000册

统一书号：N15034·1741 定价：9.50元

出版说明

为总结二十多年来我国航空工业中工艺装备设计的经验,在有关单位的大力支持和热情帮助下,组成了编写小组,编写了这套《航空工艺装备设计手册》。其中包括:《通用部分》、《刀具设计》、《量具设计》、《夹具设计》、《冷冲模设计》、《铸模设计》、《锻模设计》、《橡胶、塑料模设计》、《飞机装配夹具设计》等九个分册。

手册中所选内容,主要以总结各有关工厂、院、校、所在航空工艺装备设计、制造和使用方面的实践经验为主;同时搜集整理了部分与航空工艺装备设计有关的国家标准、部颁标准和企业标准;对工艺装备设计中的一些关键性问题和设计方法也作了简明扼要的阐述和分析。

在调查研究、编写和审稿过程中,曾得到很多工厂、科研单位和大专院校的大力支持和协助,并提供了不少宝贵资料,在此表示衷心的感谢。

由于我们的水平有限,再加上经验不足,时间仓猝,因此,手册中难免存在缺点和错误,恳切希望同志们批评指正。

目 录

第一章 常用资料

第一节 刀具和辅助工具的编号	1
第二节 切削工具材料	2
一、刀具材料中各主要合金元素的作用及其对性能的影响	2
二、刀具材料	5
三、新刀具材料	7
四、各类切削工具使用材料的推荐	13
五、刀具材料、锻件和热处理金相技术条件	15
六、部分刀具材料的热处理硬度范围	45
第三节 切削工具用硬质合金的型号和规格	45
一、切削工具用硬质合金的型号	45
二、刀片规格及尺寸	48
三、硬质合金机械夹固刀片	62
第四节 刀具的紧固形式及刀体上有关尺寸的推荐	85
一、用圆柱销紧固刀具	85
二、连接紧固工具用的键尺寸推荐	87
三、一些刀具的尾柄型式和装卡	89
四、切削工具刀体上的环槽、倒角及凸缘	97
第五节 切削工具用中心孔	99
一、中心孔的选择	99
二、改变锥面大小的中心孔尺寸	100
第六节 切削工具圆柱柄直径和前后导柱尺寸的推荐	100
一、切削工具的圆柱柄直径	100
二、前后导柱尺寸的推荐	102
三、导柱的结构要素	103
第七节 刀片连接形式与用途	104
一、焊接	105
二、无机粘结	113
三、机械夹固	116
第八节 对焊长度及直径的选择	125
一、对焊毛坯在电极中应伸出的长度	125
二、对焊中的毛坯尺寸选用表	126
三、对焊后软带区域的推荐	126
第九节 高速钢刀具常用的几种表面强化处理	127

第二章 车 刀

第一节 车刀切削部分的几何参数	128
一、前面形状及应用范围	128
二、车刀切削部分几何参数的推荐	130

第二节 各类车刀装夹部分尺寸	131
一、普通车刀的刀杆尺寸及选用	131
二、成形车刀的结构尺寸	132
第三节 成形车刀截形的修正计算	135
一、成形车刀的种类及应用范围	135
二、成形车刀的修正计算	136
三、成形车刀的修正计算查表法	146

第三章 孔加工刀具

第一节 钻头	161
一、麻花钻	161
二、硬质合金钻头	183
三、套料钻	188
四、深孔钻	194
第二节 铰钻	199
一、铰钻的种类和用途	199
二、扩孔钻的构造和主要结构要素的选取	199
三、扩孔钻的技术条件	201
四、设计带后引导铰钻时应注意的几个问题	202
五、方孔铰钻	204
六、常用各种铰钻	210
第三节 铰刀	261
一、铰刀的种类和用途	261
二、铰刀的构造和主要结构要素的选取	261
三、通孔用铝合金机用铰刀	267
四、带后引导的斜刃机用铰刀	271
五、硬质合金铰刀	274
六、几种铰刀结构尺寸	280
七、铰刀的技术条件	285

第四章 螺纹工具

第一节 丝锥	286
一、丝锥的切削形式	286
二、丝锥的各种结构形式与用途	287
三、丝锥的结构要素	290
四、丝锥各主要参数的确定	291
五、丝锥的精度与公差	300
六、丝锥螺纹中径测量值的计算	309
七、丝锥的技术要求	311
八、丝锥设计实例	312
九、几种其它结构形式的切削丝锥	314
十、挤压式丝锥	336
十一、丝锥辅助工具	339
第二节 板牙	345
一、板牙的用途	345

二、圆板牙的结构要素	345
三、圆板牙各部分参数的确定	346
四、圆板牙螺纹公差	350
五、圆板牙的技术要求	353
六、圆板牙设计实例	353
七、锥螺纹板牙	355
八、圆板牙架	357
第三节 梳形螺纹铣刀	359
一、梳形螺纹铣刀的特点及其用途	359
二、梳形螺纹铣刀的类型	359
三、梳形螺纹铣刀铣削时的干扰	360
四、梳形螺纹铣刀的设计	361
五、梳形螺纹铣刀的技术要求	368
六、梳形螺纹铣刀设计实例	369
第四节 滚压工具	371
一、滚压原理与滚压方法	371
二、滚压螺纹的优缺点	371
三、滚丝轮	372
四、搓丝板	391

第五章 铣 刀

第一节 尖齿铣刀	398
一、尖齿铣刀的结构要素及其设计原则	398
二、切削部分的几何形状	402
三、角铣刀的设计	407
四、加工螺旋槽形的成形铣刀	417
五、铣刀的开齿计算	419
六、尖齿铣刀的技术条件	421
七、几种标准铣刀	423
第二节 镶齿铣刀	473
一、高速钢镶齿盘铣刀	473
二、高速钢镶齿面铣刀	473
三、硬质合金盘铣刀	475
四、硬质合金面铣刀的设计	479
五、镶齿铣刀技术条件	482
六、几种镶齿铣刀	482
第三节 铲齿成形铣刀	505
一、铲齿铣刀的特点与铲削方法	505
二、铲齿铣刀的结构及设计方法	509
三、铲齿成形铣刀截形的修正计算	513
第四节 尖齿成形铣刀	537
一、尖齿成形铣刀型面的磨削	537
二、铣刀后角的刃磨	539

第六章 拉 刀

第一节 拉刀的种类	540
一、引言	540
二、拉刀的种类	540
三、拉刀的主要部分	541
第二节 拉刀设计的共同部分	541

一、拉削方式的选择	541
二、拉削余量的确定	542
三、切削部分的设计	546
四、校正部分的设计	553
五、拉刀柄部形式与尺寸	554
六、前引导部分	562
七、拉刀前端至第一个切削齿的长度	563
八、后引导长度和支承枢长度	564
九、拉刀总长度的确定	565
十、拉削力的计算	566
十一、拉刀的强度验算	575
十二、拉刀的制造公差、表面光洁度和技术条件	576
十三、拉刀材料的选择	579

第三节 圆孔拉刀的设计和计算

一、普通圆孔拉刀	579
二、轮切式圆孔拉刀	588
三、螺旋圆孔拉刀	609

第四节 键槽拉刀的设计与计算

一、键槽拉刀的种类	611
二、键槽拉刀的设计	612
三、导向心轴的计算	614
四、倒角齿的计算	614

第五节 方孔拉刀和六方孔拉刀的设计与计算

一、结构特点及计算	619
二、方孔拉刀的计算步骤及计算实例	624

第六节 花键拉刀的设计与计算

一、矩形花键拉刀	629
二、渐开线花键拉刀	645
三、三角形花键拉刀	660

第七节 涡轮盘枞树形榫槽拉刀的设计与计算

一、前言	663
二、典型涡轮盘的枞树形榫槽和涡轮盘材料	663
三、涡轮盘枞树形榫槽的拉削方式	664
四、拉刀的齿升、前角和后角	666
五、容屑系数、齿距和齿形	667
六、拉削高温合金时切削力的计算	667
七、渐切拉削涡轮盘榫槽拉刀在刃磨齿形时， 抬高量和测量尺寸的计算	668
八、拉刀的结构型式	670
九、设计实例	671

第八节 压气机盘燕尾形叶片槽拉刀的设计与

计算	699
一、前言	699
二、拉削方式的选择	699
三、拉削深度和长度的计算	700
四、槽型尺寸的选取和换算	701
五、拉削余量的确定	701
六、拉刀结构尺寸的选择	702
七、圆弧齿形的计算	702
八、设计实例	705

第九节 外拉刀的设计

	720
--	-----

一、外拉刀概述	720
二、外拉刀的切削方式	720
三、成形拉削外拉刀的设计	720
四、累进法外拉刀的设计	724
五、渐切式拉刀	725
六、用成形法拉削压气机叶片的外拉刀设计举例	725

第七章 小模数齿轮刀具

第一节 小模数齿轮滚刀	739
一、小模数齿轮滚刀的结构要素与结构特点	740
二、小模数齿轮滚刀的设计与计算	741
三、小模数齿轮滚刀的技术条件	746
四、小模数齿轮滚刀的设计示例	751
第二节 小模数蜗轮滚刀	753
一、小模数蜗轮滚刀的设计与计算	753
二、小模数蜗轮滚刀的技术条件	755
三、小模数蜗轮滚刀设计示例	758
第三节 几种特殊要求的齿轮滚刀	762
一、小模数齿轮剃前滚刀	762
二、全型切削滚刀	764
三、谐波齿轮滚刀	764
四、滚切插齿刀的滚刀	768
第四节 小模数外啮合直齿插齿刀	769
一、插齿刀的结构特点	770
二、小模数直齿外啮合插齿刀的设计	772
三、小模数插齿刀的技术条件	779
四、小模数插齿刀的设计示例	782
第五节 小模数内啮合直齿插齿刀	787
一、各种干涉现象	787
二、插制内啮合齿轮副的插齿刀的设计	791
三、内啮合齿轮副插齿刀设计示例	793
第六节 几种特殊要求的插齿刀	800
一、谐波齿轮插齿刀	800
二、直齿端面齿轮插齿刀	802
第七节 小模数定装直齿锥齿轮滚刀	803
一、小模数定装直齿锥齿轮滚刀的工作原理	803
二、定装滚刀的特点	804
三、定装滚刀的齿形计算	805
四、定装滚刀齿距 t 的确定	808
五、定装滚刀的设计计算	810
六、定装滚刀技术条件	813
第八节 小模数齿轮剃齿刀	813
一、剃齿的一般概念	813
二、小模数盘形剃齿刀的设计	814
三、小模数剃齿刀的技术条件	816
四、小模数剃齿刀计算示例	819

第八章 齿轮刀具

第一节 有关被切齿轮的几点说明	821
-----------------	-----

一、关于齿轮的齿形误差	821
二、关于齿轮的变位系数	822
三、关于齿轮的渐开线起始点直径	824

第二节 梳齿刀

一、概述	824
二、I型梳齿刀的设计与计算	826
三、I型梳齿刀计算卡的说明	829
四、梳齿刀的技术条件	832

第三节 插齿刀

一、外啮合直齿圆柱齿轮插齿刀的设计	834
二、内啮合直齿圆柱齿轮插齿刀的设计	855
三、大前后角直齿插齿刀的设计	863
四、斜齿插齿刀的设计	874
五、插齿刀的技术条件	887

第四节 齿轮滚刀

一、概述	889
二、齿轮滚刀的设计计算步骤及示例	890
三、齿轮滚刀计算卡的说明	895
四、齿轮滚刀的技术条件	900

第五节 蜗轮滚刀

一、概述	905
二、蜗轮滚刀的设计计算	906
三、加工多头蜗轮用单头滚刀的设计	910
四、蜗轮滚刀的技术条件	911

第六节 渐开线齿轮剃齿刀

一、概述	914
二、外啮合圆柱齿轮盘形剃齿刀的设计计算	917
三、剃齿刀的技术条件	924
四、内齿轮剃齿刀的设计计算	926

第七节 弧齿锥齿轮铣刀

一、弧齿锥齿轮基本参数的计算	935
二、轴间夹角不等于 90° 的弧齿锥齿轮	940
三、格里生零度弧齿锥齿轮的基本参数	940
四、弧齿锥齿轮的加工原理及方法	944
五、弧齿锥齿轮铣刀盘的结构	947
六、用固定安装法加工螺旋及零度锥齿轮时的计算	950
七、铣刀盘刀片的修复	972
八、铣刀盘的一般设计步骤	972
九、铣刀盘的订货要求	973
十、铣刀盘的刃磨及检验	974
十一、铣刀盘的标准结构及尺寸	977
十二、铣刀盘的主要技术条件	991

第九章 加工非渐开线齿形的刀具

第一节 花键滚刀

一、展成花键滚刀	993
二、成形花键滚刀	1014
三、长齿滚刀	1018

第二节 花键插齿刀

一、加工花键轴的插齿刀	1020
-------------	------

二、加工花键孔的插齿刀	1028
三、花键插齿刀的公差与技术条件	1031
第三节 摆线滚刀	1032
一、有关摆线的一些基本知识	1032
二、摆线针轮啮合中的齿形及其方程	1036
三、滚刀法向齿形的计算	1038
四、摆线滚刀齿形的计算步骤及示例	1040
附录 确定刀具齿形的图解分析法	1042

第十章 磨 具

第一节 磨轮	1046
---------------------	-------------

一、砂轮与磨头的选择	1046
二、金刚石磨轮的选择	1066
三、电解磨轮的选择	1073
第二节 研磨工具	1078
一、研磨器的设计	1078
二、研磨剂的选择	1098
三、研磨器与研磨剂的使用方法	1102
四、研磨工具使用中经常出现的问题及其解决方法	1103
第三节 珩磨工具	1104
一、内孔珩磨工具的设计	1105
二、齿轮珩磨工具	1125

第一章 常用资料

第一节 刀具和辅助工具的编号

1. 刀具的编号

按 HB35-73《工艺装备编号制度》中的规定，其分组号见表 1-1[●]。

表 1-1

组名	别称	分组号	分 组 名 称	组名	别称	分组号	分 组 名 称
钻	头	100	中心钻	铣	刀	150	圆柱形铣刀
		101	圆柱柄短麻花钻			151	立铣刀和面铣刀
		102	圆柱柄长麻花钻			152	套式槽铣刀和圆盘铣刀
		103	圆锥柄麻花钻			153	带柄槽铣刀和角铣刀
		104	直槽钻头			154	套式角铣刀和成形铣刀
		106	深孔钻头、扁钻、环形钻			155	螺纹铣刀
		108	复合钻头			156	工具用铣刀
		109	其它钻头			157	镗齿铣刀、刀片和刀头
扩孔钻、铰钻	钻	110	圆柱柄整体扩孔钻			158	组铣刀
		111	圆锥柄整体扩孔钻	159	其它铣刀		
		112	套式扩孔钻	切	刀	160	螺纹车刀
		114	扁扩孔钻			161	外圆车刀
		115	端面扩孔钻和铰钻			162	镗刀
		116	锥面铰钻			163	六角与自动车床用的外圆车刀
		117	镗刀片和组合镗刀			164	六角与自动车床用的镗刀
		118	复合扩孔钻和铰钻			165	刨刀
119	其它扩孔钻、铰钻	166	插刀				
铰刀	刀	120	圆柱柄机用铰刀			167	刀片与断屑块
		121	圆锥柄机用铰刀			169	其它切刀
		123	套式机用铰刀	切齿、拉削和其它工具	刀	170	齿轮铣刀、齿轮滚刀
		125	锥体铰刀			171	其它型面用滚刀
		126	手用铰刀			172	剃齿刀
		128	复合铰刀			173	切齿刀
		129	其它铰刀			174	插齿刀
130	螺母丝锥	175	拉刀和推刀				
132	普通螺纹机、手用丝锥	176	滚压轮(滚花轮、型面滚压轮等)				
丝锥	锥	133	其它螺纹机、手用丝锥	177	电加工用电极		
		134	手用丝锥	179	其它切齿、拉削工具和其它工具		
		136	螺纹工具用丝锥	磨削和光洁加工用工具	刀	180	磨轮
		139	其它丝锥			182	冷压光工具
		140	普通螺纹用板牙			184	珩磨工具
141	其它螺纹用板牙	185	砂瓦和油石				
144	螺纹切头	186	修整砂轮用工具				
146	滚压螺纹工具	187	抛光研磨工具				
147	滚丝轴	188	喷丸工具				
149	其它板牙和滚压螺纹工具	189	其它磨削和光洁加工用工具				

● 摘自 HB35-73《工艺装备编号制度》。专用刀具的具体编号方法，请参阅本手册通用部分分册，第四章第一节中“航空工业专用工艺装备的编号”。

2. 辅助工具的编号

按HB35-73《工艺装备编号制度》中的规定，其分组号见表1-2[●]。

表 1-2

组名	别称	分组号	分 组 名 称	组名	别称	分组号	分 组 名 称
钻床和镗床辅助工具		200	刚性衬套	自动、半自动机床	(单、多轴)辅助工具	240	停档、衬套
		201	弹性衬套		241	钻夹头、螺纹夹头	
		203	钻床用刀杆、镗刀杆		242	单轴机床用纵向、横向刀座	
		204	钻夹头		244	多轴机床用纵向、横向刀座	
		205	镗床用夹头和刀杆		246	靠模装置	
		206	切螺纹用夹头		249	自动、半自动机床(单、多轴)用的其它辅助工具	
		209	钻床和镗床用的其它辅助工具				
车床和立式车床辅助工具		210	普通车床刀杆	自动、半自动机床	(多刀)辅助工具	250	带柄刀夹
		212	普通车床刀座		251	单刀刀座	
		213	普通车床滚压轮支架、中心架		252	多刀刀座	
		214	立式车床用的刀杆及刀座		253	组合刀座	
		219	车床和立式车床用的其它辅助工具		254	靠模装置	
				259	自动、半自动机床(多刀)用的其它辅助工具		
立轴式六角车床辅助工具		220	停档、衬套	铣床辅助工具		260	衬套、垫圈、弹性衬套
		221	钻夹头、螺纹夹头		261	夹头	
		223	刀杆		262	悬臂刀杆	
		224	刀座		263	双支承刀杆	
		227	滚压轮支架和中心架		265	靠模装置	
		229	立轴式六角车床用的其它辅助工具		269	铣床用的其它辅助工具	
卧轴式六角车床辅助工具		230	停档、衬套	其它辅助工具		271	刨床、插床辅助工具
		231	钻夹头、螺纹夹头		272	齿轮、花键机床辅助工具	
		233	刀杆		273	拉床辅助工具	
		234	刀座		274	磨床、研磨抛光机及其它机床用辅助工具	
		236	靠模装置		275	刀具磨床辅助工具	
		237	滚压轮支架和中心架		277	电加工机床用辅助工具	
		239	卧轴式六角车床用的其它辅助工具		279	其它辅助工具	

第二节 切削工具材料

一、刀具材料中各主要合金元素的作用及其对性能的影响

1. 高速钢中合金元素对其性能的影响(见表1-3)

表 1-3

元素	对钢的组织的影响	对性能的影响	对工艺性能的影响	我国资源情况
碳 (C)	1. 是强的奥氏体形成元素，扩大 γ 相区； 2. 降低 Ac_1 、 Ac_3 和 M_s 点； 3. 与碳化物形成元素作用，生成各种碳化物	1. 含碳量与碳化物形成元素的含量应为一定的合适的比例，即所谓“平衡碳”，碳不足时达不到高硬度和高热硬性；碳过多则生成大块碳化物，使机械性能变坏，脆性增高； 2. 强化固溶体，获得马氏体，提高淬透性； 3. 形成碳化物，提高耐磨性和热硬性	一般是随含碳量的增加，钢的熔点降低，淬火温度降低；锻造性变坏；碳化物不均匀性增大，韧性下降，焊接性变坏	易得元素

● 摘自 HB35-73《工艺装备编号制度》，辅助工具的具体编号方法，请参阅本手册通用部分分册，第四章第一节中“航空工业专用工艺装备的编号”。

(续)

元素	对钢的组织的影响	对性能的影响	对工艺性能的影响	我国资源情况
钨 (W)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 铁素体形成元素, 封闭γ相区; 2. 提高Ac_1和Ac_3点, 稍为降低Ms点; 3. 强的碳化物形成元素, 主要有W_2C、WC、$(W, Fe)_3C$、$(W, Fe)_6C$、$(W, Cr, Fe)_{23}C_8$等形式; 4. 此外还能部分溶入铁中形成固溶体, 如果过量后还能形成金属间化合物如Fe_2W、Fe_3W或Fe_7W_6 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 其碳化物能提高硬度和耐磨性, 阻止高温时晶粒长大; 溶入奥氏体的碳化物回火时析出产生二次硬化效应, 提高热硬性; 2. 增加回火稳定性和对回火的抗力; 3. 对提高淬透性有一定的作用, 但不很强; 4. 增加钢的比重、强烈降低导热系数 	<p>因钢的导热性差, 加热应缓慢; 钨的含量高, 可锻性变坏; WC的大量生成(如长时间退火加热)能使钢的热硬性下降, 也可能达不到应有的高硬度</p>	丰产元素
钼 (Mo)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 铁素体形成元素, 封闭γ相区; 2. 提高Ac_1和Ac_3点, 降低Ms点; 3. 强的碳化物形成元素, 主要有:Mo_2C、MoC、$(Mo, Fe)_3C$、$(Mo, Fe)_6C$、$(Mo, Cr, Fe)_{23}C_8$等形式; 4. 此外部分的溶入铁中形成固溶体, 如果过量还可能生成金属间化合物如Fe_7Mo_8或Fe_3Mo_2、$FeMo$、Fe_2Mo 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 作用基本同于钨元素, 每1%的Mo相当于2~3%的W的作用; 2. 含钼高速钢碳化物颗粒细小, 分布均匀, 因而韧性较高 	<p>使钢的氧化和脱碳倾向增大, 须采取保护措施; 过热的敏感性较大, 须精确控制淬火温度</p>	比较丰富, 但钼有更重要的用途, 应控制合理使用
钒 (V)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 铁素体形成元素, 封闭γ相区; 2. 提高Ac_1和Ac_3点, 降低Ms点; 3. 是强的碳化物形成元素, 它和碳、氮、氧都有极强的亲和力; 和碳化合生成VC、V_2C两种稳定的碳化物; 如钒量过高而碳不足, 将有δ铁素体存于钢中, 对钢的性能大为不利, 因而含钒量增加, 碳量也要随之增加 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 钒的碳化物是最硬最耐磨的, 比硬质合金中的WC还硬, 它对高速钢的硬度和耐磨性的增高作用很大; 2. 强化基体, 细化晶粒, 降低钢过热的敏感性; 产生二次硬化, 提高热硬性; 3. 增加回火稳定性; 4. 增加含钒量可能减少钨的含量, 在有的情况下增加1%的V能减少4%的W 	<p>V_4C_3极为稳定, 故热处理需要较高的温度和较长的保温时间; 含钒量提高, 磨削加工性变坏, 目前多以单晶刚玉、多孔性碳化硅或人造金刚石等砂轮来磨, 以防烧伤刀刃</p>	丰产元素, 但目前生产量尚不能充分满足, 而从长期看, 可大力推广使用
铬 (Cr)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 铁素体形成元素, 封闭γ相区; 2. 提高Ac_1和Ac_3点, 降低Ms点; 3. 碳化物形成元素, 与碳的亲合力大于铁和锰而次于钨和钼, 但它有较强的形成特殊碳化物倾向, 有$(Cr, Fe)_{23}C_8$、$(Cr, Fe)_7C_3$、$(Cr, Fe)_3C$等及其它复杂碳化物等形式 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 铬的含量固定在一定的范围(3.8~4.5%), 主要是进入钨或钼的复合碳化物的铬, 能降低其溶入奥氏体的温度, 使之加速溶解, 从而保证了细小晶粒, 同时有利于二次硬化和提高热硬性; 改善耐磨性; 2. 显著地提高钢的淬透性和回火稳定性; 3. 铬本身也能产生二次硬化, 但其原理是大量残留奥氏体回火时向马氏体转化 	<p>铬能提高钢的焊接性; 降低导热性; 含量过多则降低热硬性, 增加残留奥氏体的量, 可能使钢达不到应有的高硬度</p>	目前不能满足需要, 应合理使用, 正研究部分或全部用其它丰产元素来代替
铌 (Nb)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 铁素体形成元素, 缩小γ相区; 2. 略降低Ac_1点, 提高Ac_3点, 降低Ms点; 3. 较强的碳化物形成元素, 与碳形成NbC、Nb_2C(钢中只存在Nb_4C_3); 4. 与氮有极强的亲和力, 形成极稳定的化合物; 5. 含铌量过高而碳不足时, 有可能在钢中出现δ铁素体, 对性能影响较坏 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 铌的作用和钒相似, 但铌还有特殊的作用, 微量的铌能改善钢的韧性, 含铌的钢即便是硬度不很高, 而耐磨性却也特别好; 2. 细化晶粒, 强化基体; 降低钢的热敏感性; 3. 铌以固溶体状态存在时, 提高钢的淬透性, 以碳化物状态存在时, 降低钢的淬透性 	<p>铌的碳化物较钒、钽的碳化物更难溶入奥氏体, 所以要有较高的温度加热和较长时间的保温</p>	资源比较丰富, 但多是铁铌共生, 由于冶炼技术关系, 金属铌和高铌铁应合理使用
铝 (Al)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 较强的铁素体形成元素, 封闭γ相区; 2. 提高Ac_1和Ac_3点, 也提高Ms点; 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 向高速钢中加入0.4~0.6%的Al很有益, 经研究认为可创造出超硬型高速钢; 2. 加入适当的铝(约1%)可有效地 	<p>易于接受氮化、硫化等强化处理</p>	易得元素, 可广泛使用

(续)

元素	对钢的组织的影响	对性能的影响	对工艺性能的影响	我国资源情况
铝 (Al)	3.与碳的亲合力不如铁,故钢中无 Al_4C_3 存在,但与氮、氧有极强的亲合力,能形成细小的AlN等稳定化合物,可以沉淀硬化; 4.还能形成如下金属间化合物: $FeAl$ 、 $FeAl_2$ 、 Fe_3Al_5 和 $FeAl_3$; 5.过高将有铁素体出现,对性能很不利	提高硬度、热硬性和高温硬度,降低刃刃磨损系数		
钴 (Co)	1.是较弱的奥氏体形成元素,扩大 γ 相区; 2.降低 Ac_1 ,并略提高 Ac_3 温度,提高 M_s 点; 3.不形成碳化物,但能形成比较稳定的金属间化合物 $(Co, Fe)_7W_6$ 和化合物 $FeCo$	1.阻止对热硬性起决定作用的碳化物扩散、脱溶和集聚过程,从而提高热硬性;长期来被认为是作用非常好的元素,国外特殊用途的高速钢都加入钴; 2.提高硬度和高温硬度;提高回火抗力;降低淬透性和韧性	可锻性变差,但不影响磨削加工性	稀少元素,力争少用或不用
钛 (Ti)	1.铁素体形成元素,封闭 γ 相区; 2.强烈地提高 Ac_1 和 Ac_3 点; 3.与碳的亲合力最强,形成TiC,但不与其他金属元素联合形成复合碳化物; 4.钛与氮形成稳定的TiN,并能与铁形成金属间化合物 Fe_2Ti	1.能有效地提高硬度和高温硬度,显著地提高耐磨性; 2.强化基体,细化晶粒; 3.钛以固溶体存在时,有提高淬透性的作用,但若以TiC状态存在时,则降低钢的淬透性; 4.降低钢的韧性	含钛高速钢的磨削加工性差	丰产元素,可广泛合理使用
其它元素 硅 (Si) 锰 (Mn) 硼 (B)	1.硅不形成碳化物,是铁素体强化元素; 2.锰既能形成易溶的碳化物 Mn_3C ,又能比较容易地溶入铁中; 3.硼,加入微量(0.0005~0.005%),作用显著,能提高淬透性等	1.硅可以提高硬度和高温硬度,有部分代替钴的作用; 2.锰加入可提高硬度和耐磨性,但可能对高温、硬度发生不利影响; 3.锰和硼都能有效地提高淬透性,有代替铬的可能性; 4.氮可提高硬度和高温硬度,大部分形成氮化物,可阻止晶粒长大,且分布均匀,不影响其韧性	硅含量过高使锻造困难,且加热时容易脱碳	硅、锰、硼都是丰产元素,用以加入高速钢内,目前正在研究中

注:表中简述,是根据单一元素而言,视高速钢成分的不同,作为判断其性能的参考。实际上高速钢中的多种元素,彼此互相作用,影响相当复杂,一种新型高速钢的出现,是经大量的试验和研究的结果,因此通过使用来掌握每一牌号的特征更为重要。

2. 硬质合金中的组成物对其性能的影响(表1-4)

表 1-4

名称	化学符号	对硬质合金性能的影响
碳化钨	WC	1.在钨钴合金中,碳化钨的比例越大,则硬度越高,耐磨性越好,但抗弯强度和韧性降低; 2.其弹性模数高于碳化钛,故抗压强度高; 3.导热性高于碳化钛,刃磨和焊接性比较好,不易裂纹; 4.切削钢时,易生成切削瘤和形成月牙洼磨损
碳化钛	TiC	1.切削时,碳化钛表面能形成一层氧化钛薄膜,使钢屑不易粘附在刀具表面,因而表现出有很高的耐磨性;故加工钢料时,钨钴钛(YT)类显得比钨钴(YG)类好; 2.在钨钴钛合金中,碳化钛的数量越多,硬度越高,耐磨性越好,但抗弯和抗压强度都下降,韧性变差; 3.导热性比钨钴(YG)类低,对急热急冷敏感,含量越高越敏感;焊接、刃磨时的裂纹倾向大
碳化钽	TaC	1.碳化钽加入钨钴合金中,强度稍有降低,但热硬性增加;能减小加工韧性材料时切削刃的磨损和切屑粘附等倾向;少量加入并能阻碍碳化物相再结晶,细化晶粒,提高强度; 2.碳化钽加入钨钴钛合金中,不但热硬性特别好,而且能提高强度和密度; 3.硬质合金中加入碳化钽,能有效地提高合金的切削效率,很有发展前途,但它的价格贵

(续)

名称	化学符号	对硬质合金性能的影响
硬 质 相		
碳化钪	HfC	在WC-TiC-TaC基合金中，碳化钪可100%代替碳化钽，而强度和硬度均有所改善
碳化铌	NbC	能提高高温强度和硬度，在WC-TiC-TaC基合金中，碳化铌可代替碳化钽30%
碳化钒	VC	少量加入，可细化晶粒，提高高温强度
碳化铬	Cr ₃ C ₂	<ol style="list-style-type: none"> 1.一般以碳化铬为基，用镍作粘结剂，密度要比钨钴合金小一半； 2.除高的耐磨性外，主要特征是有良好的抗氧化性，抛光后，在1100℃下保持24小时以后才开始变暗，但无氧化皮，故此类合金可在较高的温度下作耐磨零件，如拉丝模及热挤压模等； 3.有极好的抛光性，膨胀系数与钢相近，很适合作量具
粘 结 剂		
钴	Co	<ol style="list-style-type: none"> 1.能很好地润湿各种碳化物，绝大多数硬质合金都用钴作粘结剂； 2.含钴量少时，碳化钨粒度愈细。高温抗弯强度愈高，而含钴量高时则相反，碳化钨粒度愈粗，高温抗弯强度愈低； 3.合金中含钴量愈少，碳化物比例愈大，耐磨性愈好，韧性愈差；相反，含量增多，合金的强度、韧性提高，而硬度和耐磨性下降； 4.合金的含钴量愈高，急冷急热性能愈好，但导热率随之减小； 5.资源少，应节约使用，现正寻找其它金属来代替
镍 镍+钼 氧化物 硼 铜 铁+镍 钨 铌	Ni Ni+Mo B Cu Fe+Ni W Nb	<ol style="list-style-type: none"> 1.镍可以作碳化铬基硬质合金的粘结剂； 2.在TiC-WC-NbC系合金中，可以镍、钼同时加入代替钴作粘结剂；镍量增加，合金的比重直线增加，抗弯强度也增加，硬度降低；但当镍少于10%时，硬度仍可保持HRA>93；当镍固定10%时，加入钼可消除游离的碳和氧，改善粘结剂对碳化物相的润湿性，并使合金有足够的强度时提高合金的硬度； 3.在合金中加入2~10%（体积）的氧化物（如ThO₂氧化钍）能强化钴或镍基体，可在高温下保持合金的强度； 4.在粘结剂中加入0.05~0.5%的硼（B），可提高合金的耐磨性和韧性； 5.在WC-TiC-TaC-Co系合金中加0.3~1.0%的铜（Cu），可提高抗弯强度； 6.以“铁+镍”代替钴作粘结剂，由于烧结时碳化钨的扩散和溶解，易形成有害的脆性物π相（即W₃Fe₃C、W₃Ni₃C），使合金强度急剧下降，但有可能加过量碳（超过与碳化钨结合的量）来防止； 7.在合金中加入一定数量的钨粉或铌粉，可有效地提高合金的抗弯强度，并且保持高硬度
硬 质 相 的 粒 度		
粗颗粒	C	粗颗粒，由于碳化物减小了总表面积，相对的增大了钴（粘结剂）层的厚度，故当钴含量一定时，在一定范围内，碳化物粒度愈粗，合金的强度愈高，韧性愈好
细颗粒	X	耐磨性高，抗压强度高，但韧性差，抗弯强度低
极细颗粒	J	耐磨性更高，但韧性更差

注：硬质相、粘结剂和粒度等对硬质合金性能的影响是错综复杂的，对每一合金牌号的性能都应有一个比较明确的了解，才能够较正确地选择和使用。

二、刀具材料（见表1-5）

表 1-5

材 料	淬 火 后 HRC≥	性 能	应 用 实 例	代 用 材 料
碳素 工具 钢	T7A 56~62	切削温 度低 于 250℃ 的 刀 具 能够承受震动和冲击，并且在硬度 适中的情况下有比较大的韧性，切削 能力差	手锤、顶尖、凿子、剪刀	T7

(续)

材 料	淬 火 后 HRC \geq	性 能	应 用 实 例	代 用 材 料	
碳 素 工 具 钢	T8A	56~62	能承受震动, 具有足够的韧性和较高的硬度, 切削能力比较差	冲头、剪刀刀片、打眼工具	T9A
	T10A	56~64	韧性比较差, 不能承受突然和剧烈的震动, 硬度和耐磨性比T7A、T8A高	用于制造在锋利刃口上需要有些韧性的刀具如铰刀、锉刀、锯条和扩孔工具	T11A
	T12A		不受震动和冲击, 具有较高的硬度, 耐磨性好, 并能刃磨出锋利的刃口	用于制造加工小余量的低速切削刀具如铰刀、钻头、丝锥、板牙、锉刀、锯条、剪刀片	T12 T13A
合 金 工 具 钢	Cr2GCr15	62	强度和韧性的比碳素工具钢高, 切削加工性较差, 时效后尺寸的稳定性好	适宜制造手用丝锥、滚丝轮和直径小于2毫米的刀具	GCr9
	CrC6	64	淬火后能获得很高的硬度和耐磨性, 磨削性好, 易于磨得非常锋利的刃口	适宜制造锋利的切削刀具如刮刀、刻刀、锉刀	
	CrMn	60~64	碳化物的分布相当不均匀, 因而机械性能较差, 耐磨性高, 变形小, 尺寸较稳定	低速耐磨刀具	CrWV Cr12W
	CrW5	65~68	能获得很高的硬度和耐磨性, 因晶粒细小, 原始组织不好, 淬火的硬度不易保证	用于制造低速高耐磨性的刀具, 如精铰刀、铣刀、车刀、刨刀等(适宜于加工有色金属)	CrWMn
	CrWMn	62	淬火后的硬度和耐磨性都高, 强度高而具有适当的韧性; 冷、热加工的工艺性能较稳定, 变形量小	用于制造低速切削的薄刃刀具及成型刀具如: 铰刀、拉刀、丝锥、螺纹量规	9SiCr
	Cr12MoV		机械性能高, 淬透性大; 冷、热加工性好, 变形量小	用于制造搓丝板、滚丝轮、钻套等	Cr6WV
	9SiCr		有较高的耐磨性和韧性, 并具有深透的可淬性; 磨削性好, 能获得光洁而锋利的刃口	主要用于制造薄刃刀具如板牙、丝锥、铰刀、钻头、拉刀、镗刀、齿轮铣刀等	9Mn2V
	9Cr18	60~64	抗腐蚀性能好, 在室温下的硝酸中有较好的安定性。硬度和耐磨性高, 但焊接性、切削加工性能较差	适宜制造要求光亮而不锈的刀具	4Cr13
高 速 工 具 钢	W18Cr4V	63~66	强度和耐磨性都较高, 并具有高的热硬性, 切削性能和韧性均好, 并能承受冲击, 热处理的变形也比较小	适宜制造加工铸铁、有色金属及其合金、一般结构钢和工具钢的各种成型刀具及刃口形状复杂的切削刀具如: 钻头、铰刀、铣刀、拉刀、滚刀、插刀、板牙丝锥、螺纹梳刀、滚花轮等	

材 料	硬 度 HRA \geq	性 能	应 用 实 例	代 用 材 料	
① 钨 钴 硬 质 合 金	YG3	90	在钨钴类合金中, 此种合金的耐磨性最好, 但冲击韧性差	适用于制造中等强度和高速切削的刀具; 如连续表面的精车和半精车加工; 非金属材料(橡皮、纤维、玻璃、塑料等)的切削加工	
	YG3X	89.5	耐磨性很好, 冲击韧性较差	用于制造加工铸铁、有色金属及其合金的精镗、精车刀具, 亦可用于制造合金钢和淬火钢的精加工刀具	YG3 YG4
	YG4C	90	耐磨性高于YG8, 使用强度与YG8相似	用于制造不连续表面或间断表面的粗加工刀具	
	YA6	92	耐磨性和使用强度都较高	用于硬铸铁、有色金属及其合金的半精加工刀具; 亦可用于高锰钢、淬火钢和合金钢的半精加工及精加工刀具	YG6 YG6X

(续)

材 料	硬 度 HRA \geq	性 能	应 用 实 例	代用材料	
钨 钴 硬 质 合 金	YG6	89.5	耐磨性较高, 但对冲击和震动没有 YG3 合金那样敏感, 能用较 YG8 合金为高的切削速度	适用于铸铁、有色金属及其合金和非金属材料连续切削时的粗车; 间断切削时的半精车、精车、粗车螺纹、旋风车丝; 连续断面的精铣、半精铣; 孔的粗扩、精扩、顶尖、拉丝模等	
	YG6X	91	耐磨性比 YG6 高, 使用强度与 YG6 相似	加工冷硬合金铸铁和耐热合金钢可获得良好的效果, 亦可用于铸铁的精加工	
	YG8C	88	使用性能与 YG15 相似, 而耐磨性比 YG15 合金高	用于连续表面的粗加工或半精加工, 如车、刨等刀具	
	YG8	89	抗冲击、抗震动性能好, 使用强度高; 但耐磨性和容许的切削速度均较低	不平整断面和断续表面的粗车、粗刨、粗铣; 一般孔和深孔的钻、扩及其它变动负荷下的切削刀具	
	YG11	87	使用强度和抗冲击韧性很高, 耐磨性比 YG8 低	适用于难以加工的特殊钢的切削加工刀具如钻头	YG11C
	YG15		在钨钴类合金中, 此种合金的使用强度最好, 抗冲击韧性最高, 但耐磨性是最低的	用于制造拉伸模和冲压工具	YG14
② 钨 钴 钛 硬 质 合 金	YT5	89.5	强度最高, 抗冲击和抗震动的性能最好, 不易崩刃, 耐磨性较低	用于制造碳素钢和合金钢(包括钢锻件和冲压件的粗表皮)的加工刀具; 不平整断面和断续表面的粗车、粗刨、粗铣、成型车刀、切断刀、钻头及其它变动负荷下的切削加工刀具	
	YT14	90.5	使用强度高, 抗冲击和抗震动性能好, 耐磨性和容许的切削速度较高	适用于不平整断面和连续切削时的粗车、粗铣、铸件孔的扩孔、间断切削时的精车或半精车等刀具	YT15
	YT15	91	耐磨性比 YT5 合金高, 但抗冲击韧性较 YT5 差	用于碳素钢和合金钢加工中, 连续切削时的粗车、半精车和精车; 连续表面的半精铣、精铣、间断切削时的小断面精车、旋风车丝	
	YT30	92.8	耐磨性和容许的切削速度比 YT15 合金高, 但使用强度、抗冲击和抗震动性能均较差。对冲击和震动很敏感, 因此要求按照正确的工艺进行刃磨和焊接	适用于制造高速精加工的刀具如精车、精镗、精扩等	
③ 通用 合金	YW1	92	耐磨性和热硬性都比较好, 能够承受一定的冲击负荷	是一种加工钢和铸铁通用性比较好的刀具材料	
	YW2	91	耐磨性稍次于 YW1, 但其使用强度较高, 能承受较大的冲击负荷	适用于制造特殊钢材和铸铁的粗加工、半精加工刀具	

① YG类合金的耐热性能较低, 与钢的熔接温度也较低, 摩擦系数较大, 但它的强度、韧性、导热性和较高的硬度都比 YT类合金好, 故适用切削脆性材料: 如铸铁、青铜、淬火钢、耐热钢及非金属材料等。

② YT类合金性脆怕冲击, 耐磨性比 YG类合金高, 适用于高速切削钢料。

③ YW类合金的耐磨性和热硬性都较好, 适用于切削特殊铸铁和特殊合金钢材。

三、新刀具材料

由于高强度钢、高温合金和钛合金等新型材料的广泛应用和不断发展, 就给加工它的刀具材料带来了新的要求。这类材料的加工特性, 一是“韧而粘”, 二是“韧而硬”, 成为所谓“难切削材料”或“难变形材料”。为了解决其加工方面的问题, 近年来, 创制了许多新品种的硬质合金和高速工具钢。

表 1-6

钢号 (按GB221-63的规定表示)	代号或 国外牌号	化 学 成 分 (%)											其 它	
		碳 (C)	钨 (W)	钼 (Mo)	铬 (Cr)	钒 (V)	钴 (Co)	铝 (Al)	硅 (Si)	钛 (Ti)	铌 (Nb)	硼		
W6Mo5Cr4V2Al	M2A	1.08~1.15	5.5~7.0	4.5~5.5	3.8~4.4	1.7~2.3	—	0.8~1.2	≤0.6	—	—	—	—	—
W6Mo5Cr4V2Ti	M2T	1.37~1.47	5.5~7.0	4.5~5.5	3.8~4.4	1.7~2.3	—	—	≤0.6	0.8~1.2	—	—	—	—
W6Mo5V5Cr4SiNb	B201	1.55~1.65	5.5~6.5	5.0~6.0	3.8~4.4	4.5~5.2	—	—	1.2~1.4	—	0.2~0.5	—	—	—
W6Mo5V5SiNb	B202	1.6~1.7	5.5~6.5	5.0~6.0	—	4.5~5.5	—	0.8~1.6	1.2~1.4	—	0.2~0.5	0.0005~0.003	—	—
W6Mo6Cr4V5Co3SiAlNb	B211	1.6~1.9	5.5~6.5	5.0~6.5	3.8~4.4	4.5~5.5	2.5~3.5	0.8~1.6	1.0~1.4	—	0.2~0.5	—	—	—
W18Cr4V4SiAlNb	B212	1.45~1.6	16~20	—	3.8~4.4	3.0~4.0	—	0.8~1.6	1.0~1.4	—	0.08~0.25	—	—	—
W9Mo4Cr4V5Co3SiAlNb	B213	1.6~1.9	8~10	3.0~4.0	3.8~4.4	4.5~5.5	2.5~3.5	0.8~1.6	1.0~1.4	—	0.2~0.5	—	—	—
W6Mo6Cr4V5SiAlNb	B214	1.6~1.9	5.5~6.5	5.0~6.5	3.8~4.4	4.8~5.4	—	0.8~1.6	1.0~1.4	—	0.2~0.5	—	—	—
W10Mo4V2SiAlTiMn	5F-4	1.4~1.5	9.5~10.5	3.5~4.5	—	1.8~2.2	—	0.1~0.2	0.7~0.9	0.8~1.2	0.7~0.9	0.0013	—	—
W10Mo4Cr4V2SiAlMn	5F-5	1.4~1.5	9.5~10.5	3.5~4.5	3.8~4.4	1.8~2.2	—	0.1~0.2	0.4~0.6	—	0.4~0.6	0.00086	—	—
W10Mo5Cr4V3Al ^①	5F-6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
95W18Cr4V	—	0.9~1.0	17.5~19.0	—	3.8~4.4	1.0~1.4	—	—	0.4	—	—	—	—	—
W12Cr4V3Mo3AlSiNb	—	1.42	12.34	3.01	4.05	3.14	—	0.78	1.19	—	0.68	—	—	—
W12Cr4V3Mo3Co5Si	—	1.36	11.87	3.22	4.13	3.28	5.0	—	1.22	—	—	—	—	—
W9Cr3V2Mo3Co6Si ^①	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
W9Cr4V5SiNbAl	—	1.62	10.05	—	4.21	4.88	—	—	1.02	—	1.25	—	—	—
W9Cr4V5Si	318-3	1.69	13.28	1.0~1.25	4.04	3.49	—	—	0.5~0.6	—	1.0~1.1	0.1~0.2	—	—
W9Cr4V5Si	—	1.42	9.5	—	4.16	5.08	—	—	1.0	—	—	—	—	—

① 其具体化学成分不详。

现介绍和推荐一些新刀具材料，供工装设计人员参考和试选应用，由于新的刀具材料的不断研究发现，应经常注意采用更新更好的刀具材料，以提高切削加工效率降低成本。

1. 新型高速钢的性能及应用

1) 新型高速钢的牌号及其化学成分

(1) 国内新钢种(见表1-6)

(2) 国外钢种(见表1-7)

表 1-7

钢 号	国外牌号	化 学 成 分 (%)										生 产 国 别
		碳 (C)	钨 (W)	钼 (Mo)	铬 (Cr)	钒 (V)	钴 (Co)	铝 (Al)	硅 (Si)	钛 (Ti)	铌 (Nb)	
W6Mo5Cr4V2	M2, SKH9	0.8~0.9	5.75~6.75	4.75~5.75	3.8~4.4	1.8~2.2	—	—	≤0.35	—	—	美, 日
W4Mo4Cr4V3	W4	1.04~1.15	4.0~4.5	3.8~4.5	4.0~4.6	2.6~3.2	—	—	—	—	—	
W12Cr4V4Mo	EV4	1.2~1.4	11.5~13.0	0.9~1.2	3.8~4.4	3.8~4.4	—	—	≤0.4	—	—	西 德
W9Cr4V5	P9Φ5	1.4~1.5	9.0~10.5	≤0.4	3.8~4.4	4.3~5.1	—	—	≤0.4	—	—	苏
W9Mo3Cr4V3Co10	HSP-15	1.25	9.0	3.20	4.10	3.10	9.5	—	—	—	—	瑞 典
W7Mo3Cr5V3Co5	HSP-16	1.20	7.3	3.20	4.80	3.30	5.3	—	—	—	—	
W9Mo3Cr4V4Co12	HSP-17	1.40	9.0	3.50	4.20	3.90	12.5	—	—	—	—	
W7Mo4Cr4V2Co5	M41	1.10	6.75	3.75	4.25	2.00	5.0	—	—	—	—	美
W2Mo10Cr4VCo8	M42	1.10	1.75	9.50	3.75	1.15	8.0	—	—	—	—	
W2Mo8Cr4V3Co8	M46	1.25	2.10	8.25	4.00	3.20	8.25	—	—	—	—	
W2Mo10Cr4VCo5	M47	1.10	1.60	9.50	3.75	1.25	5.0	—	—	—	—	

2) 新型高速钢的热加工数据(见表1-8)

表 1-8

钢 号	代 号 或 国外牌号	锻 造		热 处 理			热 硬 性 (HRC)② (600℃四次回火后的硬度)
		始锻温度(℃)	终锻温度(℃)	淬 火 温 度 (℃)①	三 次 回 火 温 度 (℃)	硬 度 (HRC)	
W6Mo5Cr4V2Al	M2A	1040~1080	900	1200~1250	550	67~70	66
W6Mo5Cr4V2Ti	M2T	1040~1080	900	1200~1250	550	67~70	66
W6Mo5V5Cr4SiNb	B201	1150~1180	850	1220~1240	530~560	65~67	60~61
W6Mo5V5SiNb	B202	1150~1180	850	1225~1235	530~560	65~67	60~61
W6Mo5Cr4V5Co3SiAlNb	B211	1170~1190	850	1240~1250	530~560	68~69	64.2
W18Cr4V4SiAlNb	B212	1170~1190	850	1260~1280	560~580	68~69	66.6
W9Mo4Cr4V5Co3SiAlNb	B213	1170~1190	850	1240~1260	560~580	67~68	65.8
W6Mo6Cr4V5SiAlNb	B214	—	—	1235~1245	530~560	68~69	—
W10Mo4V2SiAlTiMn	5F-4	—	—	1250~1260	560	65~67.5	—
W10Mo4Cr4V2SiAlMn	5F-5	—	—	1220~1240	560	67.5~68.5	—
W10Mo5Cr4V3Al	5F-6	1160	—	1220~1250	560	68	67
95W18Cr4V	—	1150~1180	—	1260~1280	580	66~68	(625℃)64
W12Cr4V3Mo3AlSiNb	—	—	—	1265~1275	560	68	—
W12Cr4Mo3V3Co5Si	—	—	—	1255~1265	560	68	—
W9Cr3V2Mo3Co6Si	—	—	—	1240~1260	560	67~69	—
W9Cr4V5SiNbAl	—	—	—	1240~1260	560	66~68	—