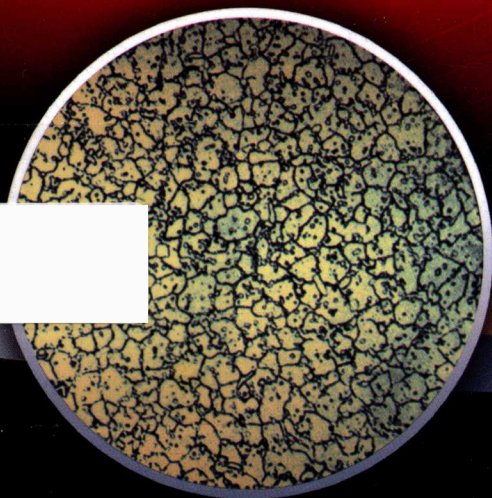


GONGJU RECHULI
JISHU YU SHIJIAN

工具热处理 技术与实践

李惠友 编著



★ 丰富的热处理实践数据

★ 合理地选择热处理工艺

★ 充分发挥工具材料性能

★ 提高工具质量实用指南



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

工具热处理技术与实践

李惠友 编著

常州大学图书馆
藏书章



机械工业出版社

本书全面系统地介绍了工具热处理技术。其主要内容包括：工具钢的选择与材料质量，工具钢的热处理相变，工具钢的热处理工艺，高速钢工具的表面强化，工具热处理的生产实践，高速钢的组织、性能与工具寿命，工具热处理的加热技术。本书综合了作者长期从事工具热处理工作积累的技术经验和国内外先进实用的工具热处理技术资料，内容实用，图表丰富，操作性强。

本书适合热处理工程技术人员和工人阅读，也可供相关专业的在校师生参考。

图书在版编目（CIP）数据

工具热处理技术与实践/李惠友编著. —北京：机械工业出版社，2017.6

ISBN 978-7-111-56918-3

I. ①工… II. ①李… III. ①工具-热处理 IV. ①TG162.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2017）第 114341 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：陈保华 责任编辑：陈保华 崔滋恩 责任校对：刘 岚

封面设计：马精明 责任印制：常天培

涿州市京南印刷厂印刷

2017 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·17.25 印张·418 千字

0001-2000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-56918-3

定价：79.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线：010-88361066

读者购书热线：010-68326294

010-88379203

策划编辑：010-88379734

封面防伪标均为盗版

网络服务

机工官网：www.cmpbook.com

机工官博：weibo.com/cmp1952

金书网：www.golden-book.com

教育服务网：www.cmpedu.com

前言

热处理是工具制造过程中的一个重要环节，它不仅影响工具制造时废品率的高低，也影响工具的制造精度和寿命。国家刀具检测中心早年进行的多次对比试验表明，国产高速钢工具的寿命与国外先进国家相比有一定差距，热处理和表面强化的不足是其中的重要原因。

经过全国工具热处理工作者多年的试验研究和生产实践，我国工具热处理技术有了长足的进步，这主要体现在：对各种工具的热处理工艺进行了全面的改进和优化，制定了全行业统一的工具热处理金相检验标准；工具表面强化技术由蒸汽处理、氧氮共渗到氮化钛涂层，使工具的寿命大幅度提升；高速钢工具采用真空热处理的数量不断增加，这对环保和稳定工具的寿命都有很大的好处。

作者全面收集并精选了国内的工具热处理试验数据和生产经验，同时也查阅了半个世纪以来国外与工具热处理相关的期刊文献，结合自己多年来长期从事工具热处理积累的技术经验，经过加工整理编写了这本书《工具热处理技术与实践》。本书全面系统地介绍了工具热处理实用技术。主要包括：工具钢的选择与材料质量，工具钢的热处理相变，工具钢的热处理工艺，高速钢工具的表面强化，工具热处理的生产实践，高速钢的组织、性能与工具寿命，工具热处理的加热技术。

本书的特点是：内容全面，涵盖了工具热处理技术的方方面面；图表丰富，实用性和操作性强，书中不少技术内容可以直接用于改进热处理工艺，有少量的技术内容虽然不能直接用于生产，但对开发新工艺、新技术有一定的启发性；实践与理论相结合，在介绍各个热处理环节的同时，提供了工艺的理论基础，如工具钢热处理时的相变和微观组织的变化等。

书中很多资料数据是国内外热处理技术工作者，特别是我国专业工具厂的热处理技术工作者的试验成果和生产经验的结晶，在此向他们表示衷心的感谢！

作者水平有限，书中谬误之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

作者

目 录

前言	49
第 1 章 工具钢的选择与材料质量	1
1.1 工具钢的种类与用途	1
1.1.1 碳素工具钢	1
1.1.2 合金工具钢	2
1.1.3 高速钢	3
1.2 对工具钢的性能要求	7
1.2.1 对工具钢的基本性能要求	7
1.2.2 对工具钢的工艺性能要求	8
1.3 工具钢的选择	10
1.3.1 工具钢选择的主要依据	10
1.3.2 如何更好地选择工具钢	11
1.3.3 国内专业工具厂工具钢使用情况	12
1.4 工具钢的质量要求	12
1.4.1 碳素工具钢的质量要求	13
1.4.2 合金工具钢的质量要求	13
1.4.3 高速钢的质量要求	20
第 2 章 工具钢的热处理相变	32
2.1 工具钢的相组成与相变点	32
2.1.1 工具钢中的相	32
2.1.2 工具钢的相组成	34
2.1.3 工具钢的相变点	35
2.2 工具钢加热时的相变	38
2.2.1 工具钢加热时奥氏体的形成	38
2.2.2 工具钢加热时碳化物的溶解	42
2.2.3 工具钢加热时晶粒尺寸的变化	45
2.2.4 各种热处理工艺加热温度比较	46
2.3 工具钢冷却时的相变	49
2.3.1 工具钢冷却时相变的类型和相变产物的形貌	49
2.3.2 碳素工具钢与合金工具钢冷却时的相变	53
2.3.3 高速钢冷却时的相变	55
2.3.4 工具钢连续冷却时的相变	57
2.4 工具钢回火的相变	60
2.4.1 碳素工具钢与合金工具钢的回火相变	60
2.4.2 高速钢回火的相变	62
第 3 章 工具钢的热处理工艺	67
3.1 碳素工具钢与合金工具钢的热处理工艺	67
3.1.1 碳素工具钢与合金工具钢的退火	67
3.1.2 碳素工具钢与合金工具钢的正火与调质	72
3.1.3 碳素工具钢与合金工具钢的淬火	76
3.1.4 碳素工具钢与合金工具钢的回火	80
3.2 高铬工具钢的热处理工艺	82
3.2.1 高铬工具钢的特点	82
3.2.2 高铬工具钢的退火	83
3.2.3 高铬工具钢的淬火	84
3.2.4 高铬工具钢的回火	86
3.2.5 高铬工具钢的冷处理	87
3.3 高速钢的热处理工艺	88
3.3.1 高速钢的预备热处理和退火	88
3.3.2 高速钢的淬火	92
3.3.3 高速钢的回火	104
3.3.4 高速钢热处理工艺的改进	108



3.3.5 粉末高速钢的热处理	110	5.2.4 高速钢回火质量的检验	167
3.4 高速钢的深冷处理	112	5.3 工具热处理的组织缺陷	170
3.4.1 深冷处理的发展概况	112	5.3.1 碳素工具钢的退火脱碳	170
3.4.2 深冷处理的影响因素	114	5.3.2 碳素工具钢的退火石墨化	171
3.4.3 深冷处理的机理	117	5.3.3 碳素工具钢的退火网状碳化物	171
3.4.4 高速钢深冷处理存在的问题	118	5.3.4 碳素工具钢的淬火脱碳	171
第4章 高速钢工具的表面强化	120	5.3.5 碳素工具钢淬火组织中含有大量托氏体	172
4.1 蒸汽处理、氧氮共渗与硫氮共渗	120	5.3.6 碳素工具钢淬火过热	172
4.1.1 蒸汽处理	120	5.3.7 合金工具钢的退火片状珠光体	173
4.1.2 氧氮共渗	122	5.3.8 合金工具钢的淬火裂纹	173
4.1.3 硫氮共渗	123	5.3.9 圆板牙的淬火开裂	174
4.2 QPQ 技术	123	5.3.10 合金工具钢的淬火过烧	174
4.2.1 QPQ 技术及其在工具上的应用	123	5.3.11 高速钢淬火脱碳	174
4.2.2 高速钢工具的 QPQ 处理	124	5.3.12 高速钢碳化物宽带引起的淬火裂纹	175
4.2.3 QPQ 技术在国内高速钢工具上的应用	127	5.3.13 高速钢齿轮铣刀淬火内孔裂纹	175
4.3 物理涂层	129	5.3.14 高速钢淬火晶粒度不均匀	175
4.3.1 物理涂层的基本原理	129	5.3.15 高速钢淬火加热不足	176
4.3.2 物理涂层的种类	130	5.3.16 高速钢淬火过热	177
4.3.3 涂层设备的类型	131	5.3.17 碳化物堆积造成高速钢淬火过热	177
4.3.4 涂层技术的现状和发展方向	131	5.3.18 高速钢淬火过烧	178
4.4 激光强化和离子注入	132	5.3.19 高速钢严重淬火过烧	178
4.4.1 激光强化	132	5.3.20 高速钢工具淬火局部烧损	178
4.4.2 离子注入	133	5.3.21 高速钢淬火奈状断口	179
4.5 超声波强化、磁场处理和电火花强化	134	第6章 高速钢的组织、性能与工具寿命	181
4.5.1 超声波强化	134	6.1 高速钢中的碳化物	181
4.5.2 磁场处理	135	6.1.1 高速钢中的碳化物类型与数量	181
4.5.3 电火花强化	135	6.1.2 锻造和热处理对碳化物的影响	185
第5章 工具热处理的生产实践	136	6.1.3 碳化物对高速钢性能的影响	186
5.1 典型切削工具的热处理	136	6.2 高速钢的晶粒度	191
5.1.1 锉刀、手用锯条和金属带锯的热处理	136	6.2.1 高速钢晶粒度的评定	191
5.1.2 螺纹刀具的热处理	140	6.2.2 高速钢晶粒度的影响因素	192
5.1.3 钻头、车刀、铣刀的热处理	143	6.2.3 高速钢晶粒度对工具寿命的影响	195
5.1.4 齿轮刀具的热处理	150	6.3 高速钢的基体和残留奥氏体	198
5.1.5 拉刀的热处理	153	6.3.1 高速钢基体的合金元素浓度	199
5.1.6 焊接刀具的热处理	157	6.3.2 高速钢的平衡碳问题	199
5.2 工具热处理的金相组织检验	158	6.3.3 高速钢中的残留奥氏体	201
5.2.1 碳素工具钢与合金工具钢淬火马氏体级别的检验	158	6.4 高速钢的耐磨性、韧性和热硬性	204
5.2.2 高速钢淬火晶粒度的检验	160		
5.2.3 高速钢淬火过热程度的检验	164		

6.4.1 高速钢的硬度和耐磨性	204	7.2 工具热处理的盐浴加热技术	228
6.4.2 高速钢的强度和韧性	208	7.2.1 盐浴加热技术的特点	228
6.4.3 高速钢的热硬性	210	7.2.2 工具热处理用盐的基本成分	229
6.5 高速钢工具的寿命	212	7.2.3 防止盐浴脱碳的方法——校正剂与混合盐	231
6.5.1 工具材料对工具寿命的影响	213	7.2.4 盐浴加热的脱碳及脱元素问题	235
6.5.2 热处理对工具寿命的影响	214	7.2.5 高温盐浴炉的温度控制	242
6.5.3 表面状态和表面强化对工具寿命的影响	216	7.3 工具热处理的真空加热技术	244
6.5.4 工具质量稳定性对工具寿命的影响	218	7.3.1 工具真空热处理的优缺点	244
第7章 工具热处理的加热技术	220	7.3.2 高速钢真空热处理时的物理现象	246
7.1 工具热处理加热技术的发展概况	220	7.3.3 高速钢的真空油淬技术	251
7.1.1 工具热处理加热方法的进展	220	7.3.4 高速钢的真空气淬技术	253
7.1.2 工具热处理表面防护方法的进展	221	7.3.5 真空淬火炉的类型	257
7.1.3 工具热处理加热设备的发展进程	222	7.4 工具热处理的其他加热技术	261
7.1.4 几种加热方法的比较	226	7.4.1 保护气氛炉	261
		7.4.2 流态粒子炉	262
		参考文献	264

第 1 章

工具钢的选择与材料质量

材料的选择是工具制造的第一步，也是重要的一步。材料质量的高低决定了工具性能的高低。工具材料的选择与材料质量的好坏不仅对工具的质量和寿命有重大影响，而且与工具的热处理有密切关系。本章给出了国家标准中可供选择的工具钢的具体牌号，包括碳素工具钢、合金工具钢、高速钢（又称高速工具钢），还介绍了国外的低合金高速钢和粉末高速钢的牌号，同时介绍了工具制造对工具钢性能的要求，以及选择工具材料的主要原则，并提供了国家标准规定的工具钢质量检验标准和技术指标。

1.1 工具钢的种类与用途

用于制造切削工具的钢材有三大类，即碳素工具钢、合金工具钢和高速钢。碳素工具钢与合金工具钢多用于手用工具和低速切削的工具，通常高速钢用于切削速度较高的机用切削工具，高性能高速钢用于制造某些切削性能要求很高的特殊工具。

1.1.1 碳素工具钢

碳素工具钢有 T7、T8、T8Mn、T9、T10、T11、T12 和 T13 共 8 个牌号，其化学成分见表 1-1。

表 1-1 碳素工具钢的牌号与化学成分

序 号	牌 号	化学成分(质量分数,%)		
		C	Mn	Si
1	T7	0.65~0.74	≤0.40	≤0.35
2	T8	0.75~0.84		
3	T8Mn	0.80~0.90	0.40~0.60	
4	T9	0.85~0.94	≤0.40	
5	T10	0.95~1.04		
6	T11	1.05~1.14		
7	T12	1.15~1.24		
8	T13	1.25~1.34		

注：1. 高级优质钢在牌号后加“A”。
2. 优质钢： $w(P) \leq 0.035\%$ ， $w(S) \leq 0.030$ 。高级优质钢： $w(P) \leq 0.030$ ， $w(S) \leq 0.020\%$ 。
3. 优质钢与高级优质钢微量合金元素含量是相同的，即 $w(Cu) \leq 0.25\%$ ， $w(Cr) \leq 0.25\%$ ， $w(Ni) \leq 0.20\%$ ， $w(Mo) \leq 0.20\%$ ， $w(W) \leq 0.30\%$ ， $w(V) \leq 0.02\%$ 。



碳素工具钢热处理后可以得到较高的硬度和耐磨性。碳素工具钢有良好的可加工性，价格便宜。但由于不含合金元素，碳素工具钢的热硬性低，淬透性低，淬火畸变和开裂倾向大。碳素工具钢适用于制造形状简单、耐磨性和热硬性要求不太高的手用工具。

除尺寸很小的工具外，碳素工具钢工具一般要采用冷却速度较大的淬火冷却介质进行淬火，如水、盐水、碱水等。

T7 钢中碳的质量分数为 0.7%，为亚共析钢，热处理后有较高的硬度和耐磨性，并有较高的韧性和抗冲击能力，通常用于制造承受冲击较大的手用工具，如手工用的锤子和木工用的斧头、钳子等工具。

T8 钢、T10 钢和 T12 钢的耐磨性较高，韧性较低，适用于制造要求耐磨性较高而承受冲击较小的工具，如手用丝锥、手用铰刀、手用锯条、锉刀等工具。

1.1.2 合金工具钢

合金工具钢分为量具刃具用钢、耐冲击工具用钢、冷作模具用钢、热作模具用钢等。其中在工具制造业常用的切削工具用钢不仅有量具刃具用钢的 6 个牌号，还包括冷作模具钢中的 Cr12MoV1、9Mn2V 和 CrWMn 等牌号，此外在工具行业还常用 GCr6、GCr9、GCr15 等轴承钢制造切削工具，因此也将其列入合金工具钢中。用于制造切削工具的合金工具钢的牌号和化学成分见表 1-2。

表 1-2 用于制造切削工具的合金工具钢的牌号和化学成分

序号	牌号	化学成分(质量分数,%)						
		C	Si	Mn	Cr	W	Mo	V
1	9SiCr	0.85~0.95	1.20~1.60	0.30~0.60	0.95~1.25	—	—	—
2	8MnSi	0.75~0.85	0.30~0.60	0.80~1.10	—	—	—	—
3	Cr06	1.30~1.45	≤0.40	≤0.40	0.50~0.70	—	—	—
4	Cr2	0.95~1.10	≤0.40	≤0.40	1.30~1.65	—	—	—
5	9Cr2	0.80~0.95	≤0.40	≤0.40	1.30~1.70	—	—	—
6	W	1.05~1.25	≤0.40	≤0.40	0.10~0.30	0.80~1.20	—	—
7	9Mn2V	0.85~0.95	≤0.40	1.70~2.00	—	—	—	0.10~0.25
8	CrWMn	0.90~1.05	≤0.40	0.80~1.10	0.90~1.20	1.20~1.60	—	—
9	Cr12MoV1	1.40~1.60	≤0.60	≤0.60	11.00~13.00	—	0.70~1.20	0.50~1.10
10	GCr6	1.05~1.15	0.15~0.35	0.20~0.40	0.40~0.70	—	—	—
11	GCr9	1.00~1.10	0.15~0.35	0.20~0.40	0.75~1.05	—	—	—
12	GCr15	0.95~1.10	0.15~0.35	0.20~0.40	1.30~1.65	—	—	—

与碳素工具钢相比，合金工具钢中含有不同种类和数量的合金元素。合金元素的主要作用在于提高钢的淬透性，有些合金元素在一定程度上也会提高钢的强度、韧性和回火稳定性。

合金工具钢与碳素工具钢最主要的区别在于淬透性的提高，可以制造尺寸更大、形状较复杂的工具。合金工具钢的淬火冷却介质多用油或硝盐熔液，因此淬火畸变大大减少，淬火开裂的危险降低。由于合金元素的加入和淬火应力的减少，合金工具钢的强度和韧性比碳素



工具钢有所提高。

合金工具钢有较好的可加工性，价格稍高于碳素工具钢，但比高速钢便宜得多。在耐磨性、热硬性和工具寿命方面与碳素工具钢大体相近，与高速钢相差甚远。合金工具钢的用途与碳素工具钢大体相近，如用于制造丝锥、铰刀、板牙等工具。在专业工具厂这些工具通常采用 9SiCr 等牌号工具钢制造。

Cr12 型高碳高铬工具钢在价格和性能方面介于普通低合金工具钢和高速钢之间。Cr12MoV1 等牌号高铬钢在耐磨性、强度和回火稳定性等方面远远高于 9SiCr、CrWMn 等普通合金工具钢，但在热硬性等方面与高速钢有较大差距，因此通常用来制造要求高耐磨性，但切削速度较低的切削工具，如滚丝轮、搓丝板等切削工具。

1.1.3 高速钢

1. 高速钢的概况

在切削工具中，高速钢是应用面最广，应用量最大的工具钢。高速钢的耐磨性和热硬性远远高于碳素工具钢和合金工具钢；同时淬硬深度深，淬火畸变和开裂的倾向小。但是高速钢的韧性低，价格昂贵。高速钢一般用于制造切削速度较高的机用切削工具，包括形状复杂的各种大规格切削工具，如车刀、钻头、铣刀、齿轮刀具、拉刀等。

除普通的冶炼高速钢外，还有一种冶金质量较高的高速钢——电渣重熔高速钢。电渣重熔高速钢是普通高速钢再经过电渣炉重熔冶炼的高速钢。高速钢的电渣重熔改善了碳化物分布，可以减少碳化物偏析 1~2 级。电渣重熔高速钢具有较高的热塑性，较高的强度和冲击韧性，用于制造某些大尺寸的切削工具，可以大大减少钢材表面与中心碳化物偏析的差异，有利于减少淬火开裂和提高工具的寿命。电渣重熔高速钢不是新成分高速钢，只是对普通高速钢中的某些牌号在有改善性能要求时，才进行电渣重熔。

彻底解决高速钢碳化物偏析问题的方法是采用粉末冶金方法制造高速钢，同时采用粉末冶金法，还可以制造出采用冶炼法无法制造的特殊成分的高速钢。

在研究改善高速钢性能的同时，国内外也试验研究尽量减少高速钢合金元素的含量，由此开发了低合金高速钢。低合金高速钢不仅可以减少合金元素的消耗，同时也可以降低切削工具的制造成本，但是低合金高速钢只是在某些特殊情况下作为高速钢的代用品。

2. 高速钢的牌号与化学成分

GB/T 9943—2008 中，高速钢共有 19 个牌号，其中的 W3Mo3Cr4V2 和 W4Mo3Cr4VSi 两个牌号为低合金高速钢。高速钢的牌号与化学成分见表 1-3。

表 1-3 高速钢的牌号与化学成分

序号	牌 号	化学成分(质量分数,%)					
		C	W	Mo	Cr	V	Co
1	W18Cr4V	0.73~0.83	17.20~18.70	—	3.80~4.50	1.00~1.20	—
2	W2Mo8Cr4V	0.77~0.87	1.40~2.00	8.00~9.00	3.50~4.50	1.00~1.40	—
3	W2Mo9Cr4V2	0.95~1.05	1.50~2.10	8.20~9.20	3.50~4.50	1.75~2.20	—
4	W6Mo5Cr4V2	0.80~0.90	5.50~6.75	4.50~5.50	3.80~4.40	1.75~2.20	—
5	CW6Mo5Cr4V2	0.86~0.94	5.90~6.70	4.70~5.20	3.80~4.50	1.75~2.10	—



(续)

序号	牌 号	化学成分(质量分数,%)					
		C	W	Mo	Cr	V	Co
6	W6Mo6Cr4V2	1.00~1.10	5.90~6.70	5.50~6.50	3.80~4.50	2.3~2.60	—
7	W9Mo3Cr4V	0.77~0.87	8.50~9.50	2.70~3.30	3.80~4.40	1.30~1.70	—
8	W6Mo5Cr4V3	1.15~1.25	5.90~6.70	4.70~5.20	3.80~4.50	2.70~3.20	—
9	CW6Mo5Cr4V3	1.25~1.32	5.90~6.70	4.70~5.20	3.75~4.50	2.70~3.20	—
10	W6Mo5Cr4V4	1.25~1.40	5.20~6.00	4.20~5.00	3.80~4.50	3.70~4.20	—
11	W6Mo5Cr4V2Al	1.05~1.15	5.50~6.75	4.50~5.50	3.80~4.40	1.75~2.20	Al:0.80~1.20
12	W12Cr4V5Co5	1.50~1.60	11.75~13.00	—	3.75~5.00	4.50~5.25	4.75~5.25
13	W6Mo5Cr4V2Co5	0.87~0.95	5.90~6.70	4.70~5.20	3.80~4.50	1.72~2.10	4.50~5.00
14	W6Mo5Cr4V3Co8	1.23~1.33	5.90~6.70	4.70~5.30	3.80~4.50	2.70~3.20	8.00~8.80
15	W7Mo4Cr4V2Co5	1.05~1.15	6.25~7.00	3.25~4.25	3.75~4.50	1.75~2.25	4.75~5.75
16	W2Mo9Cr4VCo8	1.05~1.15	1.15~1.85	9.00~10.0	3.50~4.25	0.95~1.35	7.75~8.75
17	W10Mo4Cr4V3Co10	1.20~1.35	9.00~10.00	3.20~3.90	3.00~3.50	3.00~3.50	9.50~10.50
18	W3Mo3Cr4V2	0.95~1.03	2.70~3.30	2.50~2.90	3.80~4.50	2.20~2.50	—
19	W4Mo3Cr4VSi	0.83~0.93	3.50~4.50	2.50~3.50	3.80~4.50	1.20~1.80	Si:0.70~1.00

世界各国的高速钢牌号种类繁多，美国的高速钢牌号数量最多，最为齐全，其中有一些牌号是我国和其他一些国家所没有的，特别是 M40 系列高速钢其他国家较少列入标准。中外高速钢牌号对照见表 1-4。

表 1-4 中外高速钢牌号对照

序号	钢的标称成分 C-W-Mo-Cr-V-Co (质量分数,%)	美国牌号	中国牌号	日本牌号	德国牌号	俄罗斯 牌号
1	0.75-18-0-4-1-0	T1	W18Cr4V	SKH2	3355	P18
2	0.80-18-0-4-2-0	T2	—	—	—	—
3	0.75-18-0-4-1-5	T4	—	SKH3	3255	—
4	0.80-18-0-4-2-8	T5	—	SKH4A	3265	—
5	0.80-20-0-4.5-2-12	T6	—	—	—	—
6	0.75-14-0-4-2-5	T8	—	—	—	—
7	1.50-12-0-4-5-5	T15	W12Cr4V5Co5	SKH10	3202	—
8	0.85-1.5-8.5-4-1-0	M1	W2Mo8Cr4V	SKH50	3346	—
9	0.85-6-5-4-2-0	M2	W6Mo5Cr4V2	SKH51	3343	P6M5
10	1.00-6-5-4-2-0	高 CM2	CW6Mo5Cr4V2	SKH52	—	—
11	1.05-6-5-4-2.5-0	M3	W6Mo5Cr4V3	SKH53	3342	P6M5Φ3
12	1.20-6-5-4-3-0	高 CM3	CW6Mo5Cr4V3	—	3344	—
13	1.30-5.5-5-4.5-4-0	M4	W6Mo5Cr4V4	SKH54	—	—
14	0.80-4-5-4-1.5-12	M6	—	—	—	—
15	1.00-1.75-8.75-4-2-0	M7	W2Mo9Cr4V2	SKH50	3348	—

(续)

序号	钢的标称成分 C-W-Mo-Cr-V-Co (质量分数,%)	美国牌号	中国牌号	日本牌号	德国牌号	俄罗斯 牌号
16	0.9-0.8-4-2-0	M10	—	—	—	—
17	0.80-2-8-4-1.2-5	M30	—	—	—	—
18	0.90-1.5-9.5-4-1.2-8	M33	—	—	3249	—
19	0.90-2-8-4-2-8	M34	—	—	3249	—
20	0.80-6-5-4-2-5	M35	W6Mo5Cr4V2Co5	SKH55	—	P6M5K5
21	0.80-6-5-4-2-8	M36	W6Mo5Cr4V2Co8	SKH56	—	—
22	1.10-6.75-3.75-4.25-2-5	M41	W7Mo4Cr4V2Co5	—	3246	—
23	1.1-1.5-9.5-3.75-1.15-8	M42	W2Mo9Cr4VCo8	—	3247	—
24	1.2-2.75-8-3.75-1.6-8.25	M43	—	—	—	—
25	1.15-5.25-6.25-4.25-2-12	M44	—	—	—	—
26	1.25-2-8.25-4-3.2-8	M46	—	—	—	—
27	1.1-1.5-9.5-3.25-1.25-5	M47	—	—	—	—
28	1.5-10-5-4-3-9	M48	W10Mo4Cr4V3Co10	SKH57	—	—
29	1.0-6-5-4-2-Al	—	W6Mo5Cr4V2Al	—	—	—
30	0.8-9-3-4-1	—	W9Mo3Cr4V	—	—	—
31	1.5-12-0-4-1	—	—	SKH10	—	—
32	1.2-9.5-3-4-3-9	—	—	SKH57	—	—
33	1.0-2-10-4-1-8	—	—	—	S2-10-1-8	—
34	1.3-10-4-4-3-10	—	—	—	S10-4-3-10	—
35	0.80-18-1-4-2-5	—	—	—	S18-1-2-5	—
36	0.8-9-0-4-2	—	—	—	—	P9
37	1.0-12-0-4-3	—	—	—	—	P12Φ3
38	1.0-9-0-4-2.5-5	—	—	—	—	P9K5
39	0.9-18-0-4-2-5	—	—	—	—	P18K5Φ2

(1) 高速钢的分类 根据所含合金元素的种类和数量以及性能的不同,普通冶炼高速钢大体上可以分成以下几类:

1) 通用高速钢,包括 T1(W18Cr4V)、M2(W6Mo5Cr4V2)、W9Mo3Cr4V、M1(W2Mo8Cr4V)和 M7(W2Mo9Cr4V2)等牌号。

2) 高钒高速钢,包括 M3(W6Mo5Cr4V3)、M4(W6Mo5Cr4V4)和 T15(W12Cr4V5Co5)等牌号。

3) 含钴高速钢,包括 M36(W6Mo5Cr4V2Co8)和 M35(W6Mo5Cr4V2Co5)等牌号。

4) M40 系列高速钢,包括 M41(W7Mo4Cr4V2Co5)、M42(W2Mo9Cr4VCo8)、M43(W3Mo8Cr4V2Co8)、M44(W5Mo6Cr4V2Co12)、M46(W2Mo8Cr4V3Co8)和 M48(W10Mo4Cr4V3Co10)等牌号。

通用高速钢一般用于制造大多数没有特殊要求的机用切削工具,如钻头、铰刀、铣刀、丝锥等通用型刀具。在国内滚刀、插齿刀等齿轮刀具通常也用通用高速钢制造,只有切削难



加工材料时才采用高性能高速钢制造。在国外齿轮刀具经常采用高性能高速钢,如用钴高速钢制造。

(2) 高性能高速钢的应用推荐 对于高钒高速钢和含钴高速钢的使用,有时会出现应用不当的情况。美国金属学会(ASM)曾对高钒高速钢和含钴高速钢的用途以举例方式推荐如下:

1) 钨系加钴高速钢,如 T4 (W18Cr4VCo5)、T6 (W20Cr4V2Co12) 高速钢用于加工铸铁和钢的单刃切削工具。

2) 钼系及钨、钼系加钴高速钢,如 M33 (W2Mo9Cr4VCo8)、M34 (W2Mo8Cr4V2Co8) 钴高速钢用于加工高硬度、高强度(硬度为 50HRC)钢和耐热合金(硬度为 45HRC)及钛合金的麻花钻, M35 (W6Mo5Cr4V2Co5)、M36 (W6Mo5Cr4V2Co8) 钴高速钢用于加工硬度为 35~45HRC 调质钢的铣刀和滚刀。

3) 高钒高速钢, M3 (W6Mo5Cr4V3) 及高碳 M3 (CW6Mo5Cr4V4) 高速钢用于加工硬度<250HBW 钢材的单刃切削工具及较难切削材料的麻花钻、精铰刀, M4 (W6Mo5Cr4V4) 高速钢用于加工硬度为 30~50HRC 调质钢的铣刀、滚刀。

4) 高钒加钴高速钢, T15 (W12Cr4V5Co5) 钴高速钢用于加工难切削材料的镶片刀具的刀片,加工淬硬高强度钢(硬度为 55HRC)和耐热合金(硬度为 45HRC)、不锈钢及钛合金的麻花钻,加工硬度为 35~45HRC 调质钢的铣刀、滚刀。

3. 低合金高速钢

低合金高速钢合金元素含量比普通高速钢稍低,成本也稍低,在性能方面也稍逊于标准的高速钢,因此多用于制造不太重要或要求性能不太高的切削工具。国内有的工具厂试验用低合金高速钢作为物理涂层氮化钛刀具的基体材料,降低了刀具的制造成本,提高了工具的寿命。

中外典型的低合金高速钢牌号与化学成分对照见表 1-5。

表 1-5 中外典型的低合金高速钢牌号与化学成分对照

国别	牌号	化学成分(质量分数, %)						
		C	W	Mo	Cr	V	Si	其他
美国	M50	0.81	—	4.25	4.0	1.0	—	—
	Vasco Dyne	1.00	1.60	4.00	4.75	1.95	0.85	—
瑞典	D950	0.95	1.70	5.00	4.00	1.00	0.30	—
德国	S3-3-2	0.95~1.03	2.70~3.00	2.50~2.80	3.80~4.50	2.20~2.50	≤0.45	—
俄罗斯	P2M5	0.95~1.05	1.70~2.30	4.80~5.30	4.00	0.90~1.30	—	N:0.05~0.08
中国	W3Mo3Cr4V2	0.95~1.03	2.70~3.00	2.50~2.90	3.80~4.50	2.20~2.50	≤0.45	—
	W4Mo3Cr4VSi	0.83~0.93	3.50~4.50	2.50~3.50	3.80~4.40	1.20~1.80	—	—

4. 粉末高速钢

粉末高速钢是国外开发的采用粉末冶金方法制造的高速钢。粉末高速钢不仅没有碳化物偏析,而且可以制造出一些采用普通冶炼方法不可能制造的碳含量很高,钒含量很高的新品种高速钢。

用粉末冶金法制造的高碳高钒高速钢,由于碳和钒等合金元素的含量远远超出常规冶炼

法的添加量，因此具有极高的耐磨性，用其制造的工具的寿命大幅度提高。粉末高速钢碳化物的颗粒均匀细小，克服了以往高碳高钒高速钢可磨削性极差的缺点，因此更适用于制造形状复杂的齿轮刀具和其他磨削量较大的切削工具。

粉末高速钢的性能远优于冶炼高速钢，在很多场合下有其特殊的用途。

粉末高速钢的主要生产国家有瑞典、美国、日本、奥地利等国。国外粉末高速钢典型的牌号与化学成分见表 1-6。

表 1-6 国外粉末高速钢典型的牌号与化学成分

国别	牌号	主要合金元素(质量分数,%)					
		C	W	Mo	Cr	V	Co
瑞 典	APS23	1.28	6.40	5.00	4.20	3.10	—
	ASP30	1.28	6.40	5.00	4.20	3.10	8.50
	ASP53	2.45	4.20	3.10	4.20	8.00	—
	ASP60	2.30	6.50	7.00	4.00	6.50	10.50
美国	CPM Rex T15	1.50	12.0	—	4.00	5.00	5.00
	CPM Rex 76	1.50	10.0	5.30	3.80	3.10	9.00
	CPMRex 10V	2.40	—	1.30	5.30	9.80	—
	CPM Rex 20	1.30	6.30	10.50	4.00	2.00	—
	CPM Rex 25	1.80	12.50	6.50	4.00	5.00	—
日本	HAP 50	1.50	7.50	6.00	4.00	4.00	8.00
	HAP 63	2.15	11.50	2.50	5.20	7.00	8.00
	HAP 72	1.90	10.00	7.50	4.20	5.00	9.50
	KNA 33H	0.97	5.90	5.80	4.00	3.40	—
奥地利	S390PM	1.55	10.70	2.20	4.90	5.20	8.20

1.2 对工具钢的性能要求

切削工具对材料的性能要求是可以制造出尺寸精度合格、切削性能良好的切削工具。为保证能够制造出尺寸精度合格的工具，工具钢必须具备良好的工艺性能，其中包括良好的可加工性和可磨削性，在某些情况下要有足够的冷塑性或热塑性，在热处理过程中需要有良好的淬透性、较小的过热敏感性和开裂敏感性、较小的氧化脱碳敏感性等。为保证工具有较高的寿命，工具钢必须具备足够高的硬度、耐磨性、热硬性、强度和韧性。

1.2.1 对工具钢的基本性能要求

1. 硬度和耐磨性

硬度是切削工具必须具备的最重性能，也是热处理工艺过程中唯一可以量化的性能指标。通常碳素工具钢与低合金工具钢工具的硬度都应该在 62HRC 以上，高速钢工具的硬度应该在 63HRC 以上。由于合金元素的加入，形成大量的合金碳化物，因此合金工具钢的耐磨性高于碳素工具钢。高铬工具钢和高速钢中有更多种类和更多数量的合金碳化物，因此有

更高的耐磨性。高碳高铬工具钢和高速钢的耐磨性大约是合金工具钢的 2 倍。

2. 热硬性

用于制造某些产生切削热量较大的切削工具，材料必须具备良好的热硬性。几种类型工具钢的热硬性数据比较见表 1-7。碳素工具钢回火稳定性最差，因此热硬性最低；合金工具钢由于有一定数量的合金碳化物，因此回火稳定性稍高一些，热硬性大约为碳素工具钢的 3 倍；高碳高铬工具钢中含有大量的合金元素，热硬性大约为碳素工具钢的 6 倍；高速钢的回火稳定性最高，热硬性大约为碳素工具钢的 8~9 倍。

3. 强度和韧性

强度对某些切削工具来说很重要，例如，拉刀在拉削过程中要承受巨大的拉力，丝锥在攻螺纹过程中要承受很大的扭力，小尺寸仪表钻头在切削过程中常常因强度不够而折断。同时，强度也是韧性的重要组成部分，有的研究认为，在进行拉伸试验时，钢的韧性由强度和挠度共同来表达。

各种工具钢的韧性有较大差别，见表 1-7。碳素工具钢与合金工具钢韧性最好，韧性指数为 3~7；合金工具钢的韧性指数为 3；高速钢的韧性指数仅为 1~3；高碳高铬工具钢由于碳含量过高，韧性指数最低，只有 1~2。

表 1-7 几种类型工具钢的相对性能指标

材料类型	耐磨性指数	韧性指数	热硬性指数	淬透深度	可加工性指数	可磨削性	畸变开裂倾向
碳素工具钢	2~4	3~7	1	浅	9	好	大
合金工具钢	4	3	3	中	7~8	好	小
高碳高铬钢	8	1~2	6	深	2~3	不好	小
高速钢	7~9	1~3	8~9	深	1~5	不好	小

1.2.2 对工具钢的工艺性能要求

1. 可加工性

工具钢可加工性的好坏，影响到工具制造的生产率和切削工具的消耗量，最终也会影响到工具制造的生产成本。工具钢的退火硬度过高，会使切削加工变得很困难；对碳素工具钢与合金工具钢来说，片状珠光体的退火组织比球状珠光体难加工。在国外为改善可加工性在高速钢中加入硫等元素，形成了易切削高速钢。

通常工具钢的硬度为 200HBW 左右时可加工性较好。当硬度达到 270HBW 以上时，材料的强度高，切削加工变困难。材料硬度在 150HBW 以下时，切削时发黏，不好加工，工件的表面质量变差。

各种工具钢的可加工性有较大差别，见表 1-7。碳素工具钢具有很好的可加工性，其相对可加工性指数为 9；合金工具钢的相对可加工性指数为 7~8；高碳高铬工具钢的可加工性较差，相对可加工性指数仅为 2~3；高速钢的可加工性也较差，相对可加工性指数仅为 1~5。

2. 塑性

为了提高生产率，有些工具需要采用冷成形或热成型的方法制造，这时要求工具钢必须有较高的冷塑性或热塑性。最典型的实例就是小规格钻头采用 4 辊轧机轧制成形，较大规格



钻头采用轧扭成形, 这要求用于轧制或轧扭钻头的高速钢必须有良好的热塑性。在高速钢中比较起来, W5Mo5Cr4V2 高速钢有较好的热塑性, 在国内通常都采用这种高速钢制造热成形钻头。

手用丝锥(滚牙丝锥)的螺纹采用冷滚压成型的方法制造, 这需要材料有较好的冷塑性, 9SiCr 钢可以较好地满足冷塑性要求, 因此通常采用这种材料制造滚牙丝锥。同时 9SiCr 钢的良好冷塑性也可以满足丝锥方尾用冷成形方法制造的塑性要求。

3. 可磨削性

在工具制造过程中, 通常热处理后工具表面要进行磨削, 特别是齿轮刀具等有较大的磨削量, 如果工具钢的可磨削性很差, 必然会大大增加磨削工时, 将大大降低生产率, 增加生产成本。

碳素工具钢与合金工具钢可磨削性很好, 不存在磨削困难的问题。高碳高铬工具钢和高速钢的可磨削性较差。在高速钢中有些牌号高速钢可磨削性很差, 因此在选择高速钢牌号时, 必须注意不同牌号高速钢在可磨削性方面的差异。W18Cr4V 高速钢可磨削性最好, W6MoCr4V2 高速钢的可磨削性不如 W18Cr4V 高速钢, W12Cr4V5Co5 (T15) 和 W6Mo5Cr4V4 (M4) 高碳高钒高速钢的可磨削性差。

高速钢中的高碳高钒高速钢可磨削性较差, 主要是由于大块的 VC 型碳化物的存在。氮含量高的高速钢可磨削性较差, W6Mo5Cr4V2Al 高速钢的可磨削性较差, 因此这两类高速钢一般只用于制作车刀、铣刀等热处理后磨削量不大、形状简单的刀具, 不太适用于制作齿轮刀具等热处理后磨削量较大的切削工具。

粉末高速钢由于碳化物颗粒均匀细小, 所以可磨削性很好, 即使钒含量和碳含量很高的高碳高钒的粉末高速钢, 仍然有很好的可磨削性。因此, 粉末高速钢很适于制作齿轮刀具等磨削量较大的形状复杂的切削工具。

4. 淬透性

对工具钢来说, 淬透性的影响主要是针对碳素工具钢, 因为碳素工具钢的淬硬深度较浅, 有时会产生废品。合金工具钢的淬透性比碳素工具钢好得多, 因此为避免淬透性问题, 很多手用工具常常选择合金工具钢制造。碳素工具钢制造的工具淬火时必须采用盐水冷却等急冷方法冷却, 因此产生开裂的概率较大, 同时淬火畸变也较大。如果采用合金工具钢制造, 则可以采用油冷或硝盐溶液冷却, 可以大大减少畸变和产生淬火开裂的概率。

高碳高铬工具钢和高速钢的淬透性很好, 采用油冷、盐浴冷却都不存在淬透性问题, 对小规格工具甚至可以采用空冷淬火。高速钢的淬透性很好, 通常小规格的高速钢工具可以采用空冷淬火。近些年来, 由于气冷真空淬火的发展, 淬透性的问题变得很重要。Cr12MoV 型高铬钢在真空炉中淬火时采用氮气冷却, 为提高淬透性和淬硬能力, 有时氮气的压力必须达到 $2\text{bar}^{\ominus}$ 以上。高速钢工具在真空气淬时, 大尺寸的工具为提高淬透性和淬硬能力, 常常采用 5bar 以上的高压气淬。

5. 淬火开裂敏感性

工具钢的淬火开裂敏感性是工具钢的重要工艺性能之一。碳素工具钢的淬火开裂敏感性

$\ominus$ $1\text{bar}=0.1\text{MPa}$ 。



最大，因为碳素工具钢制造的工具，除很小规格工具外，一般必须在水溶介质中淬火，淬火开裂的倾向很大。合金工具钢淬火开裂敏感性较小，因为合金工具钢制造的工具可以采用油冷淬火或硝酸盐溶液冷却淬火，大大减少了淬火开裂倾向。在制造同一种工具时，高速钢制造的工具淬火开裂敏感性较小，因为高速钢工具可以采用分级冷却淬火，大大降低了淬火冷却速度，因此可以减少淬火开裂倾向。对于某些形状复杂的切削工具，还可以采用等温淬火，可以有效地避免淬火开裂。

1.3 工具钢的选择

工具钢的选择，特别是在专业工具厂，几大类主要切削工具的常用工具钢的牌号已经基本定型，似乎不存在选择工具钢牌号的问题，但是作为材料和热处理工作者，应该明白为什么要做这样的选择，即明白选择的依据。同时，也会有一些非常规的特殊的订货，工具的切削条件可能有些特殊情况，这时可能采用常规用钢解决不了问题，必须要针对用户的特殊条件进行材料的选择，这就要求材料热处理工作者必须掌握工具选材的基本依据。对某些机械厂自制的特殊工具，可能有很多非常规的切削条件和技术要求，这时选择工具钢更有必要结合工具的实际使用条件，依据工具选材的基本要求做出最佳的选择，以便用尽量低的成本制造出寿命高的工具。

1.3.1 工具钢选择的主要依据

工具钢的选择应根据该种工具对材料的基本性能和工艺性能的要求，针对哪些牌号的工具钢可以满足这些性能要求，来从中选择。同一种工具可能有很多牌号的钢可以满足要求，但必须考虑工具的寿命，制造工具时的生产率和制造的难易，以及制造成本的高低等因素来综合考虑。

不同种类的工具对材料性能的要求有所不同。各种工具由于切削时的情况不同（连续切削还是断续切削，高速切削还是低速切削，重切削还是轻切削），对材料的性能要求有所不同。同时，被切削材料的硬度、可加工性，切削时是否带有冲击或切削时是否采用切削液等诸多条件，对工具材料的选择也有很大影响。

被切削材料的影响比较复杂，材料的合金元素含量影响材料的断面收缩率和热导率，因此合金工具钢比碳素工具钢难加工。切削高硬度的材料和切削低硬度的软材料所用的工具材料有所不同。

对切削工具的材料性能要求主要是对耐磨性、韧性和热硬性的要求。各种切削工具的切削方式和性能要求见表 1-8。该表根据某种性能对此类工具重要性程度的不同进行了排序。

表 1-8 各种切削工具的切削方式和性能要求

工具种类	切 削 方 式					性能要求的顺序			
	连续	断续	高速	低速	重切削	轻切削	耐磨性	韧性	高温硬度
钻 头	○			○	○		2	1	2
铰 刀	○			○		○	1	3	3
丝 锥	○			○		○	2	1	3
铣刀、滚刀	○		○		○		1	2	2