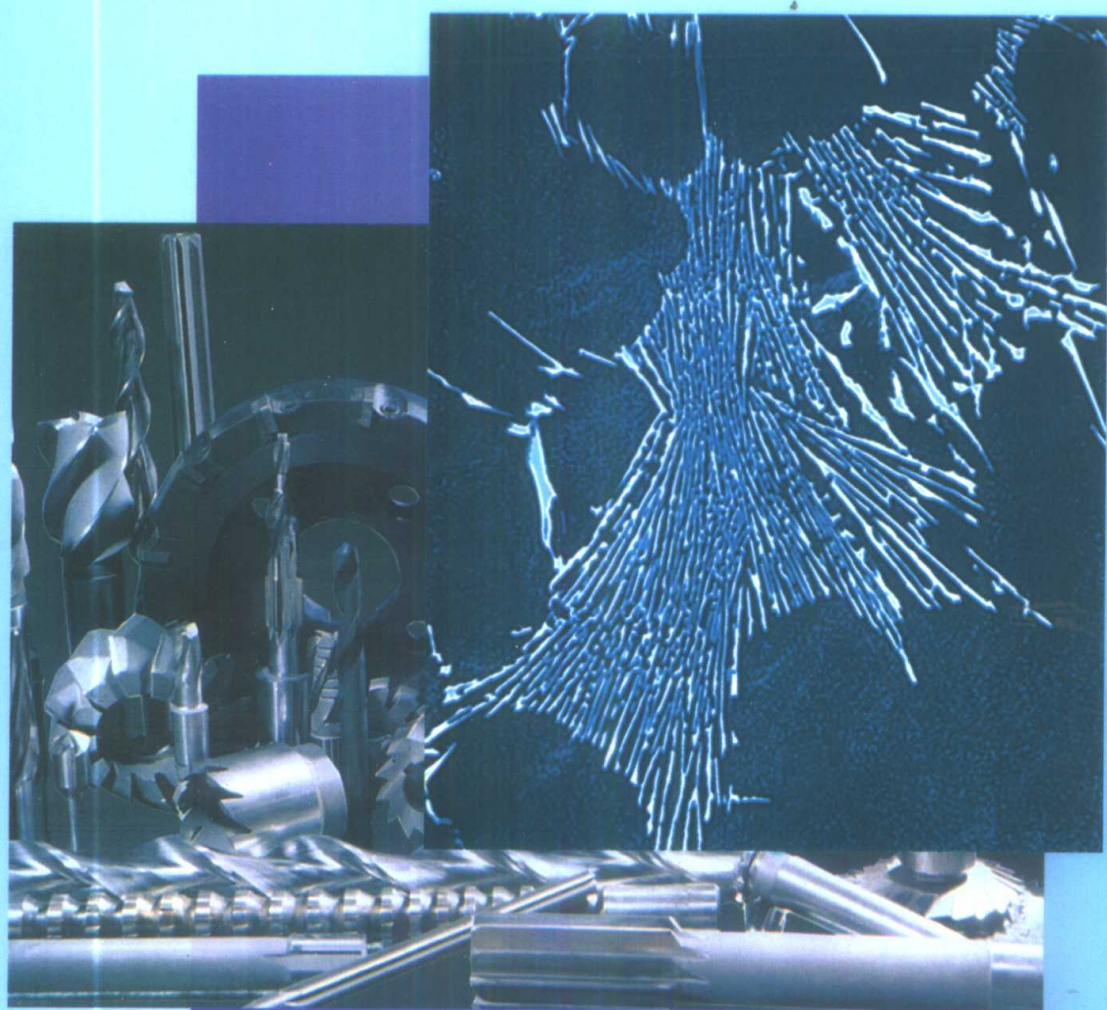


特 殊 钢 丛 书

高速工具钢

邓玉昆 陈景榕 王世章 主编



冶 金 工 业 出 版 社

特殊钢丛书

高速工具钢

邓玉昆 陈景榕 王世章 主编

北 京

冶金工业出版社

2002

内 容 简 介

本书系统全面地阐述了高速工具钢的发展过程、国内外现状及发展动向,介绍了其合金化原理、组织结构及转变、生产工艺要点与检验方法以及高速钢的热处理工艺,并提供了一些材料的主要性能数据,反映了国内外有关最新科研成果及生产、应用的经验。

全书共分 11 章,依次对高速钢的基本原理、通用型高速钢、高性能高速钢、低合金高速钢、粉末冶金高速钢及其生产、检验与热处理等作了较为详细的介绍。

本书可供从事高速钢研究开发、生产与从事高速钢刀具、模具制造的科技人员和技术工人参考,也可供大专院校有关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

高速工具钢/邓中民,陈景裕,王世章主编. —北京:
冶金工业出版社, 2002.3
(特殊钢丛书)
ISBN 7-5024-2912-3

I. 高… II. ①邓… ②陈… ③王…
III. 高速工具钢 IV. TG142.45

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 080210 号

出版人 曹胜利(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009)
责任编辑 郭庚辰 美术编辑 李心 责任校对 王贺兰 责任印制 牛晓波
北京昌平百善印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销
2002 年 3 月第 1 版,2002 年 3 月第 1 次印刷
850mm×1168mm 1/32;18.375 印张;493 千字;572 页;1-2000 册
40.00 元
冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893
冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081
(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

《高速工具钢》编委会

主	任	刘 宇		
委	员	陈景榕	王世章	赵 燕
		罗 迪	孙绍华	王洪海
		袁家栋	王孝侗	初洪星
		庄亚昆	唐律今	盛占玉
		邓玉昆	李忠之	刘惠文

序

特殊钢是钢铁工业的一个重要领域。特殊钢的品种繁多,性能各异,质量要求高,应用范围广,从国家的经济建设、国防建设到人民的日常生活用品都与特殊钢有密切关系,因而通常把特殊钢品种、质量、产量作为衡量一个国家钢铁工业科学技术和工业化水平的重要尺度。

当前,我国的四化建设和改革开放正向深广方向发展,中共中央和国务院作出关于加强科学技术进步的决定,广大职工积极要求掌握科学技术专业知识。在这样的形势下,中国金属学会特殊钢专业学会发起并组织编写一套具有自己特色的《特殊钢丛书》,是有时代意义的。

本套丛书将分卷撰写,陆续出版。这套丛书是由中国金属学会特殊钢专业学会及其 15 个专业学术委员会组织国内冶金与材料界的知名专家教授编写的,因此具有一定的权威性。编写这套丛书是为了介绍中国特殊钢工业的发展情况和科学研究成果以及国外在这方面的进展情况,总结和整理国内老一辈专家们的丰富学识和实践经验。这套《特殊钢丛书》将重点介绍特殊钢的现代生产工艺技术、特殊钢各大钢类钢种的性能特点和应用指南,为特殊钢生产、科研和使用部门的科技人员在职学习提供素材,为有关大专院校师生提供教学参考。

组织编写特殊钢方面的系列图书,在国内尚属首次,在国外也不多见,难免存在疏漏和不足之处,欢迎指正。期望这套《特殊钢丛书》能在普及提高科学知识、合理生产和合理使用钢材方面发挥积极作用。

《特殊钢丛书》编委会

前 言

高速工具钢问世至今已经整整一百年。该钢因其独特的冶金成分和后续热处理所获得的优异切削性能,引起了机床与工具制造行业的革命性变革,推动了工业的发展和社会进步。在当今世界新经济时代,高速钢仍然保持着其在制造业中基础工具材料的地位,而且在模具及结构材料等方面的应用日益广泛,所以高速钢的发展仍然受到人们的关注。

在我国,由于高速钢中含有的主要合金元素 W、Mo、V 等蕴藏丰富,因此生产高速钢的条件十分有利。经过半个多世纪的努力,国产高速钢的数量已居世界之首,通用型和部分超硬型钢的质量也达到了国外同类产品的先进水平。同时,我国冶金与材料工作者在高速钢的理论研究、新产品开发、生产工艺改革、新技术应用、试验方法及刀具热处理等方面也取得了丰硕的成果。本书除介绍有关高速钢的基本原理和国外先进技术之外,更着重于总结国内的经验和成果,以期对我国高速钢的发展和应用起到一定的促进作用。

在中国金属学会特殊钢专业学会《特殊钢丛书》编委会的统一组织下,素有我国高速钢生产基地之称的大连钢铁集团公司承担了本书编写的组织工作,聘请了多位国内专家参与编撰。本书的第 1 章、第 2 章和第 4 章由王世章执笔,第 3 章由罗迪执笔,第 5 章由孙绍华执笔,第 7 章由赵燕执笔,第 9 章由王洪海执笔,第 6 章和第 11 章由陈景榕执笔,第 8 章和第 10 章由邓玉昆执笔。王世章还为本书制定了编写大纲,并对部分章节进行了初审和复审。邓玉昆和陈景榕对全书进行审定。书中采集的数据资料多数来自各单位的科研成果及实践经验总结,特别是袁家栋为第 11 章的编写直接提供了大量宝贵的资料。对此表示衷心感谢。

限于编著者的业务水平,书中不妥之处诚望读者批评指正。

《高速工具钢》编委会

2001 年 6 月

《特殊钢丛书》编辑工作委员会

(按姓氏笔画为序)

主任委员	刘嘉禾	杨 栋	
委 员	马绍弥	王建英	王洪发
	关玉龙	刘 宇	那宝魁
	刘福魁	杨树森	李士琦
	谢 蔚	董 瀚	
秘 书 长	林慧国		

目 录

1 概述	(1)
1.1 高速钢的发展简史	(1)
1.2 高速钢的现状与展望	(5)
1.3 我国高速钢的生产与发展	(8)
1.4 高速钢的分类、钢号及成分	(10)
参考文献	(16)
2 合金元素在高速钢中的作用	(17)
2.1 碳的作用	(17)
2.1.1 碳含量对工具钢中合金碳化物类型的 影响	(17)
2.1.2 碳含量对高速钢淬、回火组织和性能 的影响	(20)
2.2 碳化物形成元素的作用	(24)
2.2.1 碳化物形成元素含量对合金碳化物类型 的影响	(24)
2.2.2 钨的影响	(25)
2.2.3 钼的影响	(27)
2.2.4 钒的影响	(33)
2.2.5 铬的影响	(36)
2.2.6 其他碳化物形成元素的影响	(38)
2.3 碳化物形成元素和碳的相互作用	(39)
2.3.1 定比碳	(40)
2.3.2 以斯蒂文平衡计算式为基础的判别与 控制法	(41)
2.4 钴的作用	(42)
2.5 其他合金元素的作用	(46)

2.5.1	硅的作用	(46)
2.5.2	铝的作用	(47)
2.5.3	铜的作用	(48)
2.5.4	镍的作用	(49)
2.5.5	稀土元素的作用	(50)
2.5.6	氮的作用	(51)
2.5.7	硼的作用	(52)
2.6	杂质元素的影响	(52)
2.6.1	氧的影响	(52)
2.6.2	磷的影响	(53)
2.6.3	硫的影响	(53)
2.6.4	锡、砷、锑的影响	(54)
	参考文献	(55)
3	高速钢的组织与转变	(57)
3.1	相图	(58)
3.1.1	Fe-W-C 相图	(58)
3.1.2	Fe-W-Cr-C 系的 Fe-C 伪二元相图	(59)
3.2	凝固过程	(61)
3.2.1	平衡状态下的凝固顺序	(61)
3.2.2	实际凝固过程	(63)
3.3	铸态组织	(66)
3.3.1	铸态组织的不均匀性	(66)
3.3.2	莱氏体	(67)
3.3.3	铸态共晶碳化物高温加热时的变化	(72)
3.3.4	铸态共晶碳化物在热塑变加工中的 变化	(75)
3.4	碳化物	(75)
3.4.1	常用试验研究方法	(76)
3.4.2	高速钢中碳化物的类型和结构	(77)
3.4.3	碳化物特性	(79)

3.4.4	一次碳化物	(80)
3.4.5	二次碳化物	(86)
3.5	退火组织与转变	(87)
3.6	淬火组织与转变	(90)
3.6.1	加热过程中的转变	(91)
3.6.2	冷却过程中的转变	(94)
3.6.3	淬火组织相分析	(102)
3.6.4	奥氏体晶粒	(103)
3.7	回火组织与转变	(108)
3.7.1	回火过程组织变化	(108)
3.7.2	有关二次硬化碳化物的研究	(110)
3.7.3	回火组织相分析	(113)
	参考文献	(114)
4	高速钢的性能特点	(116)
4.1	硬度和红硬性	(117)
4.2	强度和韧性	(121)
4.2.1	抗压强度	(121)
4.2.2	抗弯性能	(122)
4.3	耐磨性	(127)
4.4	工艺性能	(128)
4.4.1	热塑性	(128)
4.4.2	冷加工塑性	(131)
4.4.3	淬火过热敏感性	(131)
4.4.4	裂纹敏感性	(132)
4.4.5	异向性	(134)
4.4.6	氧化与脱碳倾向	(134)
4.4.7	可磨削性	(135)
4.4.8	可焊性	(136)
	参考文献	(136)
5	通用高速钢	(138)

5.1	W18Cr4V(T1)钢	(139)
5.1.1	基本参数	(140)
5.1.2	热变形加工	(142)
5.1.3	最终热处理与组织性能	(143)
5.1.4	使用性能	(153)
5.2	W6Mo5Cr4V2(M2)钢	(156)
5.2.1	基本参数	(156)
5.2.2	热变形加工	(157)
5.2.3	最终热处理与组织性能	(158)
5.2.4	使用性能	(169)
5.3	W9Mo3Cr4V 钢	(170)
5.3.1	基本参数	(171)
5.3.2	热塑变形加工	(172)
5.3.3	冷塑变形加工	(175)
5.3.4	最终热处理及组织性能	(176)
5.3.5	使用性能	(183)
5.4	M1 钢(W2Mo8Cr4V)	(186)
5.4.1	基本参数	(187)
5.4.2	最终热处理与组织性能	(188)
5.4.3	使用性能	(193)
5.5	W2Mo9Cr4V2 钢(M7).....	(197)
5.5.1	基本参数	(197)
5.5.2	热塑变加工	(198)
5.5.3	最终热处理与组织性能	(199)
5.5.4	使用性能	(205)
5.5.5	各类刀具适用的热处理制度	(208)
	参考文献	(208)
6	高性能高速钢	(210)
6.1	概述.....	(210)
6.2	加钴和高钒高速钢	(213)

6.2.1	加钴高速钢	(213)
6.2.2	高钒高速钢	(220)
6.2.3	加钴和高钒高速钢的用途	(224)
6.3	超硬高速钢	(225)
6.3.1	M40 高速钢	(225)
6.3.2	10-4-4-3 + 10Co 型超硬高速钢	(235)
6.4	国产高性能高速钢	(237)
6.4.1	W12Mo3Cr4V3N 无钴超硬高速钢	(238)
6.4.2	W6Mo5Cr4V2Al 无钴超硬高速钢	(253)
6.4.3	Co3N 低钴超硬高速钢	(267)
6.4.4	W9 系列高性能高速钢	(275)
6.5	时效硬化高速钢	(285)
6.5.1	力学性能	(289)
6.5.2	凝固态合金相和组织	(291)
6.5.3	淬火(固溶)态组织	(293)
6.5.4	时效硬化机制	(294)
6.5.5	逆转奥氏体问题	(294)
6.5.6	切削性能	(295)
	参考文献	(296)
7	低合金高速钢	(298)
7.1	国内外低合金高速钢的发展状况	(298)
7.2	低合金高速钢主要钢种及其组织性能	(301)
7.2.1	D950 钢	(301)
7.2.2	Vasco Dyne 钢	(311)
7.2.3	W4Mo3Cr4VSi 钢	(312)
7.2.4	W3Mo2Cr4VSi 钢	(319)
	参考文献	(324)
8	高速钢生产艺	(326)
8.1	冶炼	(327)
8.1.1	电弧炉及其工艺	(327)

8.1.2	氧化物炼钢	(331)
8.1.3	炉外精炼	(339)
8.1.4	浇注	(341)
8.1.5	连铸	(351)
8.1.6	孕育处理	(355)
8.1.7	电渣重熔	(359)
8.1.8	钢锭缓冷与退火	(366)
8.2	热加工	(368)
8.2.1	高速钢热变形的特点	(368)
8.2.2	热加工过程对钢材质量的影响与控制	(371)
8.2.3	开坯	(379)
8.2.4	成材	(396)
8.2.5	缓冷	(404)
8.2.6	退火	(406)
8.3	精整与深加工	(415)
8.3.1	矫直	(416)
8.3.2	钢坯精整修磨	(419)
8.3.3	成品在线检验	(420)
8.3.4	银亮钢	(421)
8.3.5	冷拉钢	(423)
	参考文献	(430)
9	粉末冶金高速钢	(432)
9.1	粉末高速钢的原理	(432)
9.1.1	快速凝固	(432)
9.1.2	雾化粉末	(433)
9.1.3	致密化	(436)
9.2	生产工艺	(437)
9.2.1	热等静压法	(437)
9.2.2	冷压烧结法	(441)
9.3	粉末冶金高速钢的质量特性	(443)

9.3.1	组织结构	(444)
9.3.2	工艺性能	(445)
9.3.3	强韧性	(446)
9.3.4	高合金化	(447)
9.4	国外粉末冶金高速钢牌号及性能	(448)
9.4.1	瑞典粉末冶金高速钢	(448)
9.4.2	美国粉末冶金高速钢	(453)
9.4.3	日本粉末冶金高速钢	(456)
9.4.4	奥地利粉末冶金高速钢	(457)
9.5	粉末冶金高速钢的新发展	(459)
9.5.1	烧结高速钢	(459)
9.5.2	近终形或异型粉末冶金高速钢	(459)
9.5.3	粉末冶金高速钢复合材料	(461)
	参考文献	(461)
10	高速钢的检验	(463)
10.1	常规检验	(463)
10.1.1	交货状态硬度	(464)
10.1.2	淬回火硬度	(466)
10.1.3	低倍组织	(467)
10.1.4	断口	(478)
10.1.5	共晶碳化物不均匀度	(479)
10.1.6	碳化物颗粒度	(482)
10.1.7	脱碳层	(483)
10.2	特殊检验	(486)
10.2.1	二次硬度、红硬性、高温硬度	(486)
10.2.2	冲击韧性	(488)
10.2.3	抗弯性能	(489)
10.2.4	热处理过热敏感性及晶粒度	(490)
10.2.5	抗压性能	(492)
10.2.6	抗拉性能	(493)

10.2.7	扭转性能·····	(493)
10.2.8	耐磨性·····	(494)
10.2.9	刀具效能试验·····	(496)
10.2.10	其他试验·····	(497)
参考文献	·····	(498)
11	高速钢的热处理·····	(499)
11.1	退火·····	(499)
11.2	淬火·····	(501)
11.2.1	淬火加热设备·····	(501)
11.2.2	淬火加热温度·····	(506)
11.2.3	用金相组织判定淬火质量和确定淬火 温度·····	(511)
11.2.4	淬火加热时间·····	(514)
11.2.5	淬火冷却·····	(518)
11.3	回火·····	(526)
11.3.1	回火温度与时间的互换性·····	(526)
11.3.2	常规回火工艺·····	(527)
11.3.3	回火充分与否的检测·····	(529)
11.3.4	大型复杂件的回火·····	(530)
11.3.5	快速回火·····	(531)
11.4	冷处理·····	(532)
11.5	高速钢的化学及表面处理·····	(533)
11.5.1	蒸汽处理·····	(534)
11.5.2	渗氮·····	(538)
11.5.3	渗碳·····	(556)
11.5.4	气相沉积(PVD与CVD)·····	(559)
11.5.5	激光热处理·····	(567)
参考文献	·····	(571)

1 概 述

高速钢是高速工具钢的简称。在我国冶金业中一般简称高工钢,民间还俗称为锋钢。它虽年产量不大(近年来,高速钢材世界年产量约 25 万 t,我国年产约 3~4 万 t),但由于成分复杂,合金含量高,生产工艺与性能特殊,价格昂贵,因此在特殊钢中一直占有独特的地位。高速钢属于高碳高合金莱氏体钢,是特殊钢中通过特殊热处理可以获得极高硬度(HRC63~70),而且在 550~600℃ 仍可以保持高硬度(HRC60 以上)和高耐磨性的耐热耐磨钢类,其主要用途为制造各种机床的切削工具,也部分用于高载荷模具,航空高温轴承及特殊耐热耐磨零部件等。

1.1 高速钢的发展简史^[1,2]

现代工具钢可追溯至 1740 年,英国 Sheffield 的 B. Huntsman 把钢料(渗碳钢或渗碳熟铁)放在坩锅中熔化得到成分均匀的高碳钢。这种坩锅钢含 C0.75%~1.5%,制成机床切削工具可以切削熟铁、铸铁和铜合金等,其切削速度不超过 5m/min。1868 年英国的 Robert Mushet 经长时间系统试验,发现往钢中加入大量钨连同较高的锰量,能使钢锻后在空气中冷却即可硬化,故称为自硬钢。由坩锅碳素工具钢发展到 Mushet 自硬钢已是很大进步,切削低碳钢的速度可达 8m/min。因此,自 1870 年到 1900 年近 30 年间, Mushet 钢成为当时被广泛应用的惟一合金工具钢。在此期间钢的成分略有变化,但典型成分是 C2.0%、W7%、Mn2.5%,属于 Mn-W 系工具钢。随着 19 世纪工业革命的进展,许多现代炼钢法如贝氏麦法(1856 年),平炉法(1865 年)、托马斯法(1878 年)相继出现,工业用钢的大量生产迫切要求机床和工具必须跟上。因此如何提高 Mushet 钢的性能使其所制工具的切削速度能大幅度提高已成为当时客观迫切的要求。Mushet 钢的锰含量高因而降低