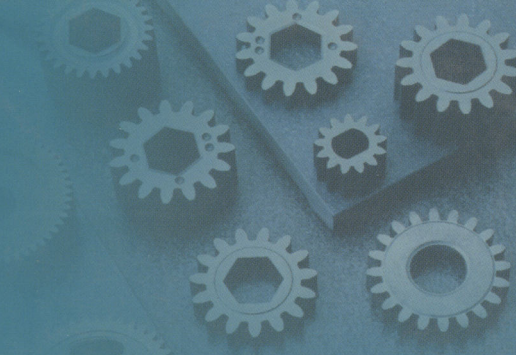




高钒钢的组织与性能

徐流杰 魏世忠 韩明儒 李 炎 著

3



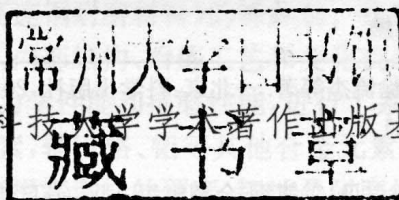
科学出版社

www.sciencep.com



高钒钢的组织与性能 -15

徐流杰 魏世忠 韩明儒 李 炎 著



河南科技大学学术著作出版基金资助出版

TG142.33

x752

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统介绍了河南省耐磨材料工程技术研究中心研制的新型耐磨材料高钒高速钢的组织与性能。第1章绪论综合介绍了当前国内外耐磨材料的研究与发展趋势;第2章介绍了目前材料显微结构的先进检测方法;第3章论述了摩擦磨损的基本理论和磨料磨损评定的基本方法;第4章、第5章论述了高钒高速钢的凝固组织和碳化钒的微细结构;第6~8章论述了变质处理对碳化钒的影响、高钒高速钢的连续冷却曲线和热处理工艺;第9~15章介绍了高钒高速钢的滚动磨损性能、滑动磨损性能、滚滑动磨损性能、磨粒磨损性能、冲击磨损性能、抗酸腐蚀性能、高温抗氧化性能等;第16章、第17章介绍了高钒高速钢在水泥行业和轧钢行业的应用情况。

本书可供从事矿山机械行业及为其提供产品和服务的机械设备设计、耐磨产品生产厂家的工程技术人员和经营管理人员,以及从事材料科学、机械工程的研究人员、大专院校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

高钒钢的组织与性能/徐流杰等著. —北京:科学出版社,2010
ISBN 978-7-03-028012-1

I. ①高… II. ①徐… III. ①钒钢-金相组织 IV. ①TG142.33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 114523 号

责任编辑:耿建业 于宏丽/责任校对:李奕莹
责任印制:赵 博/封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新 蕾 印 刷 厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010年7月第 一 版 开本:B5(720×1000)
2010年7月第一次印刷 印张:20
印数:1—2 000 字数:485 000

定价:68.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

新材料是支撑现代文明社会的基石和高新技术发展的先导,是科技进步、社会发展、国力增强的重要物资基础。新型材料、生物工程和信息技术成为国家发展水平的重要标志。

高钒钢是河南省耐磨材料工程技术研究中心(简称工程中心)十年来研制的新一代耐磨材料新钢种。工程中心是由河南省科技厅、河南省教育厅与河南科技大学联合投资兴建的高科技产业,是国内唯一的省部级耐磨材料工程技术研究中心。工程中心集科学研究、新产品开发及其工程化、产业化于一体,是耐磨材料生产技术和优质耐磨材料的聚散地和扩散源。

本书是《高钒高速钢耐磨材料》的姊妹篇。在原有研究成果的基础上,对高钒耐磨钢的显微组织、内部结构、冶炼工艺和变化机理,及其在各种服役条件下的物理性能、化学性能、力学性能和抗磨性能,进行了系统、深入、细致的研究。新钢种以钒为主要添加元素,辅以铬、钼等其他合金元素,充分利用钒碳化物(VC)硬度高、形态好的特点来提高钢材的硬度、韧性及耐磨性,取得了具有国内领先水平的科技成果,研制出应用于矿山机械粉磨行业的高碳高钒高速钢复合磨辊、复合锤头;开发出应用于冶金行业的半连续铸造电磁复合轧辊等关键耐磨件,深受广大矿山机械企业的好评。

本书是工程中心全体科研技术人员多年心血的结晶和科技成果的精华荟萃。在成书过程中,很多同志给予作者热情的帮助和大力的支持,特别是马陟祚、季英萍、张新庄、许春伟、郭杰、周定方、倪锋、彭涛、王强、陈慧敏、邵抗振等同志提供了有关的技术资料,王丽红同志帮助进行了资料收集工作。在此表示衷心的感谢!

由于本书的内容是近期最新科研成果,理论与技术上都有需要完善之处,加之作者水平有限,如有不当之处,敬请读者批评指正。

作 者

2010年5月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 耐磨材料的应用背景	1
1.2 耐磨材料的发展过程与趋势	2
1.2.1 耐磨材料的发展过程	2
1.2.2 耐磨材料的发展趋势	3
1.2.3 常用的耐磨材料	5
1.3 高钒高速钢的研究与应用现状	7
1.3.1 高钒高速钢的由来	7
1.3.2 高钒高速钢的研究	7
1.3.3 高钒高速钢研发过程中有待解决的问题	12
参考文献	13
第 2 章 显微结构检测方法	18
2.1 材料显微结构检测的重要意义	18
2.2 X 射线衍射物相分析法	18
2.2.1 X 射线衍射仪结构原理	18
2.2.2 样品制备	20
2.2.3 衍射实验方法	20
2.2.4 定性相分析方法	22
2.2.5 物相定性分析	22
2.3 透射电子显微镜分析法	24
2.3.1 透射电子显微镜的基本构成	24
2.3.2 透射电子显微镜的成像原理	26
2.3.3 透射电子显微镜的样品制备	26
2.3.4 电子衍射物相分析	28
2.3.5 透射电镜的图像衬度	30
2.4 扫描电子显微分析法	34
2.4.1 扫描电子显微镜的成像原理	34
2.4.2 扫描电子显微镜的镜像衬度	35

2.5 X射线能谱(EDS)分析法	37
2.5.1 特征X射线的产生	37
2.5.2 能谱仪的工作原理	38
参考文献	42
第3章 摩擦磨损原理及测试方法	43
3.1 摩擦学原理	43
3.1.1 摩擦的概念	43
3.1.2 摩擦学的研究	43
3.1.3 摩擦的分类	45
3.2 摩擦定律	46
3.2.1 古典摩擦定律	46
3.2.2 摩擦理论	47
3.3 磨料磨损的定义及特征	50
3.3.1 人类对摩擦磨损的认识	50
3.3.2 磨损的定义	50
3.3.3 磨料磨损的三要素	51
3.3.4 磨料磨损的主要特征	52
3.4 磨料磨损的分类	52
3.4.1 决定摩擦磨损系统的三因素	52
3.4.2 磨损的七种分类方法	53
3.4.3 磨料磨损机理的研究	55
3.5 材料摩擦性能的测定	55
3.5.1 摩擦阻力的测定	55
3.5.2 摩擦系数的测定	57
3.5.3 摩擦温度的测定	57
3.6 材料磨损性能的测定	58
3.6.1 磨损评定试验的类型	58
3.6.2 材料磨损的评定方法	59
3.7 摩擦磨损试验机的分类	61
3.7.1 按磨损机理或磨损形式分类	61
3.7.2 按试验温度分类	61
3.7.3 按相对运动速度分类	61
3.7.4 按专门用途分类	61
参考文献	62

第 4 章 高钒高速钢的凝固过程及凝固组织	63
4.1 高钒高速钢的凝固过程	63
4.2 凝固过程曲线与准二元相图	67
4.2.1 凝固过程曲线及相变温度	67
4.2.2 (Fe-5Cr-2Mo-9V)-C 准二元相图	68
4.3 V11 高速钢的凝固过程与 VC 相的形态	69
4.3.1 试验材料及方法	69
4.3.2 试验结果与分析	70
4.3.3 小结	73
4.4 高钒高速钢中碳化钒的形态分布	73
4.4.1 碳化钒的基本形态	74
4.4.2 碳化钒的分布状况	75
4.4.3 碳化钒的析出过程	76
4.4.4 碳化钒分布及形成条件	77
4.4.5 小结	77
4.5 高钒高速钢碳化钒形态的数值化分析	78
4.5.1 图像预处理	78
4.5.2 高钒高速钢的碳化钒形态的数值化处理	78
4.5.3 不同碳含量 V9 高速钢形态的数值化处理	79
4.5.4 小结	80
4.6 碳化钒形核长大过程的理论研究	80
4.6.1 碳化钒晶格结构	80
4.6.2 碳化钒的非匀质形核	81
4.6.3 碳化钒的生长机制	81
4.7 碳化物三维形态研究	83
4.7.1 试验条件	83
4.7.2 试验结果与分析	84
4.7.3 深腐蚀条件下其他碳化物形貌	86
4.7.4 讨论	87
4.7.5 小结	88
4.8 本章结论	88
参考文献	89
第 5 章 高钒高速钢中碳化钒类型及微细结构	90
5.1 碳化钒的相结构	90
5.2 碳化钒的微细结构	92

5.2.1 碳化钒的内部结构	92
5.2.2 碳化钒的成分分析	93
5.3 碳化钒和基体界面	94
5.4 结论	95
参考文献	96
第6章 变质处理对高钒高速钢中碳化钒的影响	97
6.1 变质处理在现实铸造合金中的运用	97
6.1.1 变质处理的优点	97
6.1.2 本章主要研究内容	98
6.2 试验方法	99
6.2.1 高钒高速钢成分设计	99
6.2.2 熔炼工艺	100
6.2.3 变质剂的选用	100
6.2.4 试样浇铸方案	100
6.2.5 金相组织与相的检测方法	102
6.3 变质处理对高钒高速钢中碳化物形态的影响	102
6.3.1 试验条件及方法	102
6.3.2 钾盐复合变质处理实验结果	103
6.3.3 稀土复合变质处理实验结果	108
6.4 遗传性对高钒高速钢中碳化物结晶形态的影响	112
6.4.1 金属遗传性概念的提出	112
6.4.2 试验方法	114
6.4.3 试验结果与分析	114
6.4.4 结论	119
6.5 高钒高速钢中碳化物结晶过程与变质机理研究	119
6.5.1 铸造合金相的分类及生长过程特点	119
6.5.2 铸造合金初生晶相的变质机理学说	121
6.5.3 表面能与界面能对初生晶相形态的影响	123
6.5.4 不同变质剂的作用及变质处理对碳化钒形态的影响	123
6.5.5 几点建议	125
6.6 结论	125
参考文献	126
第7章 高钒高速钢连续冷却转变(CCT)曲线	127
7.1 连续冷却过程中的热膨胀曲线	127
7.2 连续冷却转变组织	128

7.3 显微硬度	131
7.4 连续冷却过程中的相转变	132
7.5 连续冷却转变(CCT)曲线	132
7.6 结论	133
第8章 高钒高速钢热处理工艺	134
8.1 热处理工艺设计	134
8.2 显微组织	134
8.3 热处理对高钒高速钢中残余奥氏体量的影响	135
8.3.1 残余奥氏体量测量	135
8.3.2 试验结果与分析	136
8.4 力学性能	138
8.5 人工神经网络在高钒高速钢热处理中的应用	140
8.5.1 残余奥氏体量模型	140
8.5.2 硬度模型	141
8.5.3 冲击韧性	143
8.5.4 小结	144
8.6 高钒高速钢的高温硬度	145
8.6.1 试验方法	145
8.6.2 热处理工艺	145
8.6.3 结论	146
参考文献	146
第9章 高钒高速钢的滚动磨损性能	147
9.1 碳含量对高钒高速钢磨损性能的影响	147
9.1.1 试验材料及方法	147
9.1.2 试验结果与分析	148
9.1.3 结论	151
9.2 基于BP神经网络的高钒高速钢滚动磨损模型	151
9.2.1 神经网络模型构建	151
9.2.2 网络训练及测试	151
9.2.3 磨损性能预测	153
9.3 高钒高速钢滚动磨损的多次回归模型	154
9.3.1 基体中碳含量	154
9.3.2 磨损量与滚动磨损循环次数的一元方程	155
9.3.3 关于循环次数和基体中碳含量的二元磨损量方程模型	156
9.3.4 结果预测	157

9.4 高钒高速钢与高铬铸铁的滚动疲劳磨损性能对比	159
9.4.1 高钒高速钢与高铬铸铁试样的选择与方法	159
9.4.2 力学性能及磨损性能	161
9.4.3 磨损试样的显微组织	162
9.4.4 位错理论解释	163
9.4.5 高钒高速钢耐磨性的理论分析	164
9.5 残余奥氏体量对高钒高速钢滚动磨损性能的影响	166
9.5.1 试验材料及方法	167
9.5.2 试验结果与分析	168
9.5.3 小结	171
9.6 本章结论	172
参考文献	172
第10章 高钒高速钢滑动磨损性能研究	173
10.1 碳含量对高钒高速钢组织及滑动磨损性能的影响	173
10.1.1 试验条件及方法	173
10.1.2 试验结果与分析	174
10.1.3 讨论	178
10.1.4 小结	179
10.2 高钒高速钢、高铬铸铁滑动磨损性能研究	179
10.2.1 试验材料及试验过程	179
10.2.2 试验结果与分析	180
10.2.3 讨论	182
10.2.4 小结	182
10.3 结论	182
参考文献	183
第11章 高钒高速钢的滚滑动磨损性能	184
11.1 碳含量与滑动率对高钒高速钢滚滑动摩擦磨损性能的影响	184
11.1.1 试验材料及方法	184
11.1.2 试验结果与分析	186
11.2 高钒高速钢与高铬铸铁滚滑动磨损性能对比	194
11.2.1 试验材料及方法	194
11.2.2 试验结果与分析	194
11.3 本章结论	196
参考文献	197

第 12 章 高钒高速钢的磨粒磨损性能	198
12.1 碳含量对高钒高速钢磨粒磨损性能的影响	198
12.1.1 试验材料及方法	198
12.1.2 试验结果与分析	198
12.2 残余奥氏体量及力学性能对高钒高速钢磨粒磨损性能的影响	199
12.2.1 试验材料及方法	200
12.2.2 试验结果与分析	201
12.3 本章结论	205
参考文献	206
第 13 章 高钒高速钢的冲击磨损性能	207
13.1 高钒高速钢冲击磨损性能的研究内容	207
13.2 试验方法	208
13.2.1 试样制备	208
13.2.2 力学性能测试	208
13.2.3 显微组织分析	208
13.2.4 冲击磨损试验	208
13.2.5 冲击磨损试验机的试用	211
13.3 碳含量对冲击磨损性能与机理的影响	212
13.3.1 试验条件	212
13.3.2 试验结果与分析	213
13.3.3 讨论	217
13.3.4 小结	218
13.4 热处理工艺对冲击磨损性能的影响	218
13.4.1 试验条件	219
13.4.2 试验结果与分析	219
13.4.3 小结	221
13.5 高钒高速钢与高铬铸铁、高锰钢比较研究	221
13.5.1 试验条件	222
13.5.2 试验结果与分析	222
13.5.3 磨面分析	224
13.5.4 正切面分析	225
13.5.5 讨论	226
13.5.6 小结	228
13.6 冲击过程中的组织损伤演化分析	228
13.6.1 冲击磨损模型	228

13.6.2 损伤演化分析	230
13.6.3 小结	231
13.7 结论	231
参考文献	232
第 14 章 高钒高速钢抗酸腐蚀性能	233
14.1 高钒高速钢抗酸腐蚀性能的研究内容	233
14.2 试验方法	233
14.2.1 化学成分	233
14.2.2 试样的制备	234
14.2.3 力学性能的测试方法	234
14.2.4 腐蚀性能测试方法	235
14.2.5 显微组织分析	236
14.3 试验结果及分析	236
14.3.1 显微组织	236
14.3.2 高钒高速钢的力学性能	238
14.3.3 腐蚀性能	238
14.3.4 腐蚀表面观察	241
14.3.5 腐蚀亚表层观察	247
14.3.6 分析与讨论	249
14.3.7 结论	251
参考文献	252
第 15 章 高钒高速钢的高温抗氧化性能	253
15.1 高钒高速钢高温抗氧化性能研究的意义	253
15.1.1 金属的高温氧化	253
15.1.2 本章研究的主要内容	254
15.2 试验方法	255
15.2.1 试样化学成分	255
15.2.2 试样的制备	255
15.2.3 抗氧化测试方法	255
15.2.4 显微组织分析	256
15.3 试验结果及分析	256
15.3.1 氧化性能测试	256
15.3.2 高温氧化动力学分析	258
15.3.3 高钒高速钢组织分析	260
15.3.4 氧化表层观察	261

15.3.5 氧化表层的能谱分析	264
15.3.6 氧化亚表层分析	268
15.3.7 高钒高速钢氧化产物的 X 射线分析	270
15.3.8 高温氧化机理分析	270
15.3.9 结论	272
参考文献	273
第 16 章 高钒高速钢在水泥行业中的应用	274
16.1 高钒高速钢在水泥行业的典型应用情况	274
16.2 高钒高速钢锤头的研制及使用	276
16.2.1 材料	277
16.2.2 冶炼、铸造工艺及热处理工艺	278
16.2.3 工业试验	280
16.2.4 结论	280
16.3 高钒高速钢/碳钢双金属复合锤头铸造工艺的改进	280
16.3.1 研制条件	280
16.3.2 研制结果与分析	282
16.3.3 结论	284
16.4 高钒高速钢复合磨辊在辊式破碎机上的应用	284
16.4.1 磨辊材料的选择	285
16.4.2 复合磨辊的生产工艺要点	285
16.4.3 高钒高耐磨合金复合磨辊的金相组织与力学性能	287
16.4.4 磨辊的耐磨性	288
16.4.5 结论	290
参考文献	290
第 17 章 高钒高速钢在轧钢行业的应用	291
17.1 高钒高速钢的应用情况	291
17.2 高钒高速钢复合轧辊的制备与性能	292
17.2.1 铸造复合轧辊的方法及技术经济性能比较	292
17.2.2 高钒高速钢复合轧辊的化学成分	293
17.2.3 高钒高速钢的磨损机理	294
17.2.4 合金元素对高钒高速钢耐磨性的影响	294
17.2.5 小结	295
17.3 半连续铸造高钒高速钢电磁复合轧辊	295
17.3.1 化学成分	295
17.3.2 电磁复合铸造轧辊试验装置的设计	295

17.3.3	电磁复合铸造轧辊工艺研究	296
17.3.4	电磁复合铸造轧辊界面结合机理	298
17.3.5	生产试验	298
17.3.6	小结	298
17.4	电磁复合铸造高铬铸铁/45#钢轧辊界面的组织与性能	299
17.4.1	试验方法	299
17.4.2	试验结果及分析	301
17.4.3	结论	305
	参考文献	306

第 1 章 绪 论

1.1 耐磨材料的应用背景

近年来,我国经济持续高速发展,钢铁、煤炭、水泥等产量均居世界首位。在上述产品产量快速增长的过程中,原材料(如矿石)、半成品(如生产水泥熟料)、成品(如金刚砂)的破碎、粉磨工作量剧增,消耗了大量的耐磨材料。我国已成为耐磨材料的生产、消耗大国^[1]。据冶金、电力、建材、建筑、煤炭、石化、交通和机械行业的初步统计,国内年生产、消耗耐磨材料约为 $3 \times 10^6 \text{ t}$, 价值 300 亿元人民币, 已形成一個日益受到人们关注的行业。近年来,我国耐磨材料领域的科技水平和生产水平已有显著进步,但距耐磨材料生产强国与科技强国还有很大差距。提高耐磨材料的科研和生产水平,获得自主知识产权,形成国际知名的耐磨材料品牌与大型跨国企业应当是我们长期为之奋斗的目标。

我国是全球最大的水泥生产国和消费国,2004 年水泥产量为 $9.34 \times 10^8 \text{ t}$, 约占全球水泥总产量的 40%,2007 年水泥产量已超过 $1.35 \times 10^9 \text{ t}$ 。2008 年水泥产量为 $1.39 \times 10^9 \text{ t}$, 比 2007 年增长 5.2%。水泥生产所用的原材料以及生产过程中的生料、熟料,均需大量破碎、粉磨设备,反击式破碎机与锤式粉碎机是近年来使用最广泛的节能型设备,提高其锤头、反击板等主要易损件的寿命是水泥行业以及相关行业(如采矿、砂石等)需要迫切解决的问题。

钢铁工业是衡量一个国家综合国力和工业水平的重要指标。在过去的 100 多年中,钢铁工业得到了飞速发展,进入 21 世纪,钢铁仍然是人类不可替代的原材料。我国是钢铁大国,1949~1996 年,我国用 47 年时间,登上年产 10^8 t 钢的台阶,之后又用了 7 年时间登上年产 $2 \times 10^8 \text{ t}$ 钢的台阶,1996~2003 年,我国已经连续 8 年钢产量居世界第一位,并成为世界上第一个年产钢超过 $2 \times 10^8 \text{ t}$ 的国家。据国家统计局统计,2005 年我国钢产量已超过 $3 \times 10^8 \text{ t}$,2006 年达到 $4.22 \times 10^8 \text{ t}$,2007 年达到 $4.8924 \times 10^8 \text{ t}$ 。在世界经济危机的情况下,2008 年我国钢产量仍然突破 $5 \times 10^8 \text{ t}$ 大关,达 $5.0116 \times 10^8 \text{ t}$, 同比增长 1.69%。轧制是钢材成型的主要生产方法,目前约 90% 的钢材是通过轧制方法生产的。此外,有色金属成材也主要采用轧制方法。轧辊是钢材轧制的关键部件,也是易损件,其使用寿命的长短直接影响钢材轧制的产量和质量,也影响着生产成本。目前,轧辊品种主要包括:合金冷硬铸铁轧辊、合金球墨铸铁轧辊、高镍铬无限冷硬铸铁轧辊、高铬复合铸造轧辊、合金

铸钢轧辊、半钢轧辊、复合铸钢支承辊、高速钢复合轧辊、锻钢轧辊等系列,其直径尺寸为10~3500mm。2000年,全球轧辊需求总量约为 10^6 t,我国轧辊年需求量达 2×10^5 t左右。轧辊消耗为轧钢生产成本的5%~15%,据此计算,每年由于轧辊失效而导致的损失巨大。近年来,我国生产的轧辊质量有较大提高,但与发达国家相比仍有较大差距。2004年,我国轧辊消耗为2.6kg/t钢,年消耗轧辊近 7×10^5 t,年消耗资金80亿元以上。而日本同期轧辊消耗仅为1.0~1.4kg/t钢,为我国轧辊耗量的38%~54%^[2]。此外,为了满足引进轧机的实际生产需要,我国每年进口优质轧辊的价值超过1亿美元。我国冷轧板进口量较大也主要与我国目前生产的冷轧辊质量难以满足轧制要求有关。因此,研究高耐磨性的优质轧辊(特别是冷轧辊)不仅具有巨大的经济效益,也具有很大的社会效益。

1.2 耐磨材料的发展过程与趋势

1.2.1 耐磨材料的发展过程

在耐磨材料发展的历史过程中,白口铁的应用、高锰钢的发明与高铬铸铁的研究成功具有划时代的意义。

2500多年前,在金属范(型)中铸出白口铁的铸和铲^[3]。这是人类由青铜器时代进入铁器时代的象征,是人类文明史上具有划时代意义的伟大事件。白口铁作为常用耐磨材料,沿用了两千多年,直至20世纪新型耐磨材料的研究和应用,它才逐步失去耐磨材料的主角作用。

1882年Hadfield发明高锰钢是耐磨材料史上的一个重要里程碑。高锰钢在高冲击载荷及高挤压应力下,使工件表面加工硬化,显微硬度由HV250提高到HV700左右,而工件内部仍然保持优良的韧性,即使零件很薄,仍能承受较大的冲击载荷而不致断裂,而其耐磨性则与HRC50的马氏体钢相当。因此,高锰钢广泛用于冶金、矿山机械、建筑机械、拖拉机履带板等易损件^[4,5]。高锰钢几乎被当作万能的耐磨材料统治了耐磨材料市场100多年。

近几十年来,人们逐渐认识到高锰钢在低冲击载荷或低应力下耐磨性较低等缺点,因此开发了品类繁多的低合金马氏体耐磨钢。低合金马氏体钢成为中低应力工况条件下高锰钢的替代产品。由于高锰钢和低合金耐磨钢中都不含高硬度的硬质点,因此,与其后出现的含高硬碳化物的耐磨材料相比,韧性较好但耐磨性较差^[6]。

冶炼技术的提高,耐磨体形状的改变(如将零件设计得小而薄),复合技术的发展以及新型破碎设备的应用等,促进了合金白口铸铁,特别是高铬铸铁的应用。

镍硬铸铁是20世纪30年代开始发展并应用的合金白口铸铁^[7]。镍硬铸铁问

世后,合金白口铸铁逐渐代替普通白口铸铁,这是抗磨料磨损材料发展史上的一个重要转折。镍硬铸铁具有较高的耐磨性,但必须加入较多的镍,并且机械加工困难。因此,国内外纷纷开展镍的代替研究,从而产生了锰白口铸铁、锰铬白口铸铁、低铬铸铁、抗磨球铁等一系列低合金抗磨铸铁。以上这些铸铁的碳化物主要为 M_3C (HV900~1100)型,呈网状分布。

高铬铸铁的出现,是抗磨铸铁发展史上的又一个里程碑。它的碳化物为 M_7C_3 (HV1300~1800)型,硬度高,呈棒状、短棒状弥散分布,对基体割裂小,材料韧性与 M_3C (HV900~1100)型碳化物的合金白口铸铁的相比有大幅度提高,耐磨性好,已发展成为抗磨白口铸铁的主导产品。低合金白口铸铁、镍硬铸铁等的产量则逐渐下降^[8,9]。

近年来,国内外都在致力于提高高速钢的钒含量并将其应用于轧辊领域^[10,11]。高钒高速钢是从传统的高速钢的基础上发展而来的,碳含量为1.5%~5.0%(质量分数)。从其金相组织与性能上看,应属于白口铸铁的范畴,但根据习惯,仍称其为高速钢。它的碳化物以 MC (HV2600左右)型为主,硬度更大,抗磨性更好,并且呈点状、团球状或团块状分布,对基体的割裂更小,韧性也有所提高,用来制作高耐磨性的轧辊,取得了令人满意的成效。

1.2.2 耐磨材料的发展趋势

对耐磨材料的性能有两个基本要求:第一,硬度高,耐磨性好;第二,有一定的冲击韧性,在使用过程中不致破损、断裂。目前,国内外研制出的各种类型的耐磨钢铁材料,都是充分利用合金元素的作用,在普通碳钢和白口铸铁的基础上,朝着提高硬度与提高冲击韧性的方向发展起来的。

在长期的生产实践中,人们逐步认识到,对于同一种被粉磨的物料(磨料),金属工件的硬度越高,其耐磨性越好。而对于同一金属工件,被粉磨物料(磨料)的硬度越高,金属工件的耐磨性越低。金属工件的耐磨性与材料本身的显微硬度和磨料的显微硬度有关。概括地讲,可以用 H_a/H_m 比值定性地对金属工件的耐磨性能做出判断^[12,13]:

$H_a/H_m < 0.7$, 工件有很高的耐磨性;

H_a/H_m 在 0.7~1.1 之间, 工件开始有较大的磨损;

$H_a/H_m > 1.3$, 工件磨损增至最大。

其中, H_a 为被粉磨的物料(磨料)的显微硬度; H_m 为金属工件磨损后的显微硬度。

只有当耐磨材料磨损后的硬度接近或超过被粉磨物料(磨料)的硬度,耐磨材料才能够有效地抵抗磨料的磨损,表现出优良的耐磨性能。一般情况下,耐磨材料的显微硬度越高,其耐磨性可能越好。于是,人们朝着提高金属基体硬度、提高碳化物硬度、增加碳化物体积分数与改善碳化物形态及分布的方向不断探索,着力提