

耐磨

高锰钢

*Austenitic
Manganese Steel*

张增志 编著

冶金工业出版社

耐磨

高锰钢

Abundant
Phosphorus Steel

张增忠 编著

冶金工业出版社

耐 磨 高 锰 钢

张增志 编著

北 京

冶 金 工 业 出 版 社

2002

内 容 提 要

本书共分六章,较系统全面阐述了高锰钢的基础知识、冶炼、铸造、热处理、切削加工和焊接的相关知识 with 科研成果。本书可供从事冶金、矿山、电力、建材、铁路、煤矿、军工等领域与高锰钢相关的科研和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

耐磨高锰钢/张增志编著. —北京:冶金工业出版社,2002.12

ISBN 7-5024-3164-0

I. 耐… II. 张… III. 耐磨钢:高锰钢
IV. TG142.33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 089769 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 王耀忠 责任校对 侯 璐 责任印制 牛晓波

北京鑫正大印刷有限公司印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2002 年 12 月第 1 版,2002 年 12 月第 1 次印刷

850mm×1168mm 1/32; 17 印张; 455 千字; 532 页; 1-3000 册

45.00 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)

前 言

高锰钢作为耐磨材料,在抵抗强冲击、大压力作用下的磨料磨损或凿削磨损方面,其耐磨性比其他材料所无法比拟的。

高锰钢在较大的冲击载荷或接触应力作用下,其表层迅速产生加工硬化,并有高密度位错和形变孪晶相继生成,从而产生高耐磨的表面层,而此时内层奥氏体仍保持着良好的韧性。高锰钢最大的特点有两个,一是外来冲击载荷越大,其自身表层耐磨性越高;二是随着表面硬化层的被磨耗,在外载荷作用下产生的新的加工硬化层连续不断地形成。高锰钢这一特殊的性能使其长期以来广泛应用于冶金、矿山、建材、铁路、电力、煤炭等机械装备中,如破碎机锤头、齿板、轧臼壁、挖壁机斗齿,球磨机衬板,铁路道岔等。高锰钢虽然问世较早,但一百年来,它不但没有被其他材料所取代,而且发展速度很快,科研工作不断深入,新产品不断涌现。尤其是近年来,随着现代工业的高速发展和科学技术的突飞猛进,高锰钢已成为磁悬浮列车、凿岩机器人、新型坦克等先进装备中首选的耐磨材料。许多新型材料和现代表面工程技术在性能价格比上无法与高锰钢相比。高锰钢的高耐磨性使其切削加工成为难题,它曾经被认为是“不可加工材料”。高锰钢奥氏体再热碳化物析出和低熔点共晶物出现,也曾使高锰钢一度成为“不可焊接材料”。但随着对高锰钢应用要求的不断扩展、切削技术和刀具材料的不断进步以及焊接工艺和材料的不断改进,这些高锰钢切削加工和焊接的难题已经在逐步得到解决。

本书共分6章,分别介绍高锰钢的基础知识、冶炼、铸造、热处理、切削加工和焊接等内容。基础知识部分介绍高锰钢的成分、组织和性能,其中对高锰钢加工硬化机理的研究,学术界仍有争议,本书以显微观察到的并为多数人所接受的高密度位错缠结和形变

李晶机理加以阐述和解释,并引入新近发现的高能冲击下纳米晶与非晶镶嵌分布机理。冶炼部分介绍国内外广泛应用的碱性电弧炉氧化法和碱性电弧炉返回法。铸造部分介绍高锰钢的铸造工艺、铸造特性、变质处理和铸造新方法,后两者是近年来研究的热点,本书阐述了典型的稀土变质剂作用和工艺方法以及有代表性的铸造新方法或新措施。热处理部分介绍高锰钢的水韧处理工艺、组织转变和最新强化处理方法。切削加工部分系统研究了硬质合金、涂层硬质合金、复合氮化硅、复合碳化硅、立方氮化硼等刀具材料切削高锰钢时的切削机理和规律,为高锰钢的切削加工提供了有价值的参考数据和资料。焊接部分介绍高锰钢焊条、焊接方法、堆焊和与异种钢的焊接,总结了近年来具有实用价值的高锰钢焊接的一些最新研究成果。为保证上述内容详细、完整,作者在编写过程中参考了前人重要的文献数据,纳入了大量的高锰钢最新发展和我们自己的科研成果。综上所述,本书较系统全面地阐述了高锰钢的基础理论、冶炼、铸造、热处理、切削加工和焊接的相关知识和研究成果,尽量使读者能得到详实的参考资料,以为我国高锰钢的发展尽一点微薄之力。

本书在编写过程中,张利梅帮助了第二章部分内容的编写,程国清帮助了第三章部分内容的编写,李文龙和白兵占帮助了第五章内容的编写,作者对他们的大力支持和帮助表示衷心感谢。本书参考了参考文献中专家学者们的重要文献资料和数据,保证了本书在结构和内容上的完整性,作者向他们表示诚挚的敬意和感谢!

由于作者水平有限,加之时间仓促,不当或遗漏之处请读者指正。

作 者

2002 年 10 月于北京

目 录

第一章 高锰钢的基础知识

第一节 高锰钢的化学成分	1
一、高锰钢化学成分标准	1
二、高锰钢平衡状态组织	4
三、合金元素对高锰钢组织和性能的影响	7
第二节 高锰钢的组织 and 性能	49
一、高锰钢的显微组织	49
二、高锰钢的物理性能	50
三、高锰钢的加工硬化	54
四、高锰钢的力学性能	70
五、高锰钢的耐磨性	75
六、高锰钢的再热性能	90
七、高锰钢的切割性能	92
八、高锰钢的锻造性能	93
主要参考文献	94

第二章 高锰钢的冶炼

第一节 碱性电弧炉氧化法	96
一、碱性电弧炉氧化法冶炼工艺	96
二、碱性电弧炉氧化法冶炼工艺要点	97
三、碱性电弧炉氧化法冶炼工艺原理	99
第二节 碱性电弧炉返回法	107
一、碱性电弧炉返回法冶炼工艺	107
二、碱性电弧炉返回法冶炼工艺要点	108
三、碱性电弧炉返回法净化钢液措施	110

第三节 冶炼因素对高锰钢质量的影响	111
一、还原期锰的含量	111
二、熔渣制度	113
三、脱氧方法	116
四、熔炼方法	119
五、高锰钢的精炼	121
主要参考文献	122

第三章 高锰钢的铸造

第一节 高锰钢铸造特性	124
一、液态高锰钢的流动性	124
二、高锰钢的结晶组织	131
三、高锰钢的结晶收缩	134
四、高锰钢的裂纹缺陷	139
第二节 高锰钢铸造工艺	145
一、造型材料的选择	146
二、工艺参数的选择	147
三、浇注系统	147
四、冷铁的选择	148
五、工艺补缩	153
六、铸件修补	158
七、部分铸造工艺图例	162
八、浇注工艺	169
九、冷却工艺	199
第三节 铸造因素对高锰钢力学性能和耐磨性能 的影响	200
一、化学成分对高锰钢性能的影响	200
二、结晶组织对高锰钢性能的影响	207
三、致密度对高锰钢铸件性能的影响	212
第四节 高锰钢的变质处理	219
一、稀土变质剂对高锰钢的作用	219

二、稀土高锰钢的生产工艺要点	228
三、稀土在高锰钢中的加入方法	230
四、单一稀土变质剂	232
五、复合稀土变质剂	235
六、稀土变质及合金化处理	243
七、非稀土变质剂	246
第五节 高锰钢铸造新方法	247
一、高锰钢消失模法铸造工艺	247
二、高锰钢消失模法铸造用新型涂料	250
三、高锰钢消失模法铸态直接水韧处理	255
四、高锰钢的悬浮铸造	256
五、高锰钢 VRH 法铸造	258
六、高锰钢普通铸造涂料的改进	260
主要参考文献	264

第四章 高锰钢的热处理

第一节 水韧处理工艺	267
一、水韧处理温度	267
二、水韧处理的保温时间	270
三、水韧处理的加热速度	272
四、水韧处理中的冷却	275
五、水韧处理时的脱碳现象	277
六、水韧处理中晶粒的细化	279
七、水韧处理中的低温均热	283
八、铸造余热水韧处理	285
九、水韧处理金相组织	288
第二节 水韧处理的组织转变	298
一、奥氏体共析转变	298
二、共析前碳化物析出	299
三、化学成分对组织转变的影响	301
四、高锰钢中的马氏体	308

第三节 高锰钢的强化处理	309
一、高锰钢的沉淀强化原理	309
二、高锰钢的沉淀强化工艺	313
三、高锰钢的弥散强化	323
四、高锰钢的表面合金化	326
五、高锰钢的爆炸硬化	328
六、高锰钢的分散镶铸强化	331
主要参考文献	333

第五章 高锰钢的切削加工

第一节 绪论	335
一、高锰钢及其切削加工性能	335
二、国内外高锰钢加工现状	341
三、本章研究的内容	344
第二节 ZGMn13 的切削研究	345
一、刀具材料的发展概况	345
二、刀具材料的切削性能简介	349
三、实验方案的制定	356
四、刀具磨损与切削时间的关系	359
五、刀具磨损与切削速度的关系	366
六、切削力与切削力经验公式	373
七、切削温度与切削温度经验公式	377
八、刀具磨损与刀具耐用度经验公式	383
第三节 切削 ZGMn13 刀具的磨损与破损形态	387
一、各种刀具的磨损形态	387
二、各种刀具的破损形态	403
三、各种刀具的磨损曲线对比	410
第四节 刀具的磨损和破损理论分析	413
一、刀具的切削过程	413
二、刀具磨损的理论分析	420
三、陶瓷刀具的破损	426

四、本节小结	429
第五节 切削 ZGMn13 硬质合金及其涂层刀具的失效机理	430
一、前言	430
二、硬质合金与 TiN 涂层硬质合金刀具的切削性能	430
三、切削 ZGMn13 硬质合金及其涂层刀具的破损规律和机理初探	432
四、硬质合金及涂层刀具加工 ZGMn13 的磨损机理分析	441
五、本节小结	447
第六节 切削 ZGMn13 复合氮化硅、碳化硅刀具的失效研究	448
一、复合氮化硅、碳化硅刀具概述	448
二、切削时的耐磨损性能	450
三、刀具磨损的微观研究	453
四、复合氮化硅和碳化硅刀具破损的研究	467
五、本节小结	472
第七节 切削 ZGMn13 立方氮化硼刀具的失效研究	473
一、立方氮化硼(CBN)刀具概述	473
二、立方氮化硼刀具的切削性能	475
三、磨损理论分析	476
第八节 切削高锰钢的研究结论及工程实践	484
一、切削 ZGMn13 钢的研究结论	484
二、ZGMn13 钢的车削加工	485
三、ZGMn13 钢的铣削加工	486
四、ZGMn13 钢的钻削加工	489
五、切削 ZGMn13 钢托轮的经济效益分析	492
主要参考文献	494

第六章 高锰钢的焊接

第一节 概述	496
一、高锰钢的焊接性	496
二、高锰钢焊接性试验方法	497
三、高锰钢焊接接头形式	499

第二节 高锰钢的焊接方法	500
一、电弧焊	500
二、等离子弧堆焊	503
三、闪光焊	504
四、MAG 焊	505
第三节 高锰钢堆焊	506
一、合金元素对高锰钢堆焊热裂纹的影响	506
二、堆焊高锰钢焊层	509
三、堆焊不锈钢焊层	511
四、堆焊复合焊层	513
第四节 高锰钢与异种钢的焊接	514
一、高锰钢与异种钢的焊接性	514
二、高锰钢与钢轨钢的焊接	516
三、高锰钢与结构钢的焊接	521
四、高锰钢与不锈钢的焊接	522
五、高锰钢与矿用钢的焊接	524
第五节 高锰钢焊接焊条	525
一、高锰钢堆焊焊条	525
二、高锰钢与异种钢的焊接焊条	526
三、稀土元素在高锰钢焊条中的应用	529
主要参考文献	531

第一章 高锰钢的基础知识

第一节 高锰钢的化学成分

一、高锰钢化学成分标准

(一) 国内高锰钢部颁标准

国内各工业部门根据产品对象、工作条件不同,制定了相应的部颁标准,机械行业标准化学成分见表 1-1,国内重型机械行业标准与钢号对照见表 1-2。

表 1-1 国内高锰钢化学成分标准/%

元 素 牌 号	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
ZGMn13-1	1.10 ~ 1.50	0.30 ~ 1.00	11.00 ~ 14.00	≤0.090	≤0.050			
ZGMn13-2	1.00 ~ 1.40							
ZGMn13-3	0.90 ~ 1.30	0.30 ~ 0.80		≤0.080				
ZGMn13-4	0.90 ~ 1.20							
ZGMn13Cr	1.05 ~ 1.35	0.30 ~ 1.00		≤0.070		0.30 ~ 0.75		
ZGMn13Cr2						1.50 ~ 2.50		
ZGMn13Ni4	0.70 ~ 1.30	≤1.00				11.5 ~ 14.0		3.00 ~ 4.00
ZGMn13Mo							0.90 ~ 1.20	
ZGMn13Mo2	1.05 ~ 1.45							1.80 ~ 2.10

表 1-2 重型机械行业标准与钢号对照表

序号	重型机械行业标准 (JB/ZQ×××—85)	ASTM 标准号 A128—79a	序号	重型机械行业标准 (JB/ZQ×××—85)	ASTM 标准号 A128—79a
1	ZGMn13	A _b	6	ZGMn13—Cr2	C
2	ZGMn13-1	E—1	7	ZGMn13Ni3.5	D
3	ZGMn13-2	E—2	8	ZGMn13Mo1.05	E—1
4	ZGMn13-3	E—3	9	ZGMn13Mo1.85	E—2
5	ZGMn13-4	E—4	10	ZGMn13Mo1.05	F

(二) 国内高锰钢国家标准

国内根据高锰钢用途不同,在部颁标准的基础上制定了国家标准(GB 5680—85),其化学成分如表 1-3 所示。

表 1-3 国内高锰钢化学成分国家标准

牌 号	化 学 成 分 $w/\%$					适用范围	
	C	Mn	Si	S	P		
ZGMn13-1	1.10~1.50	11.00~14.00	0.30~1.00	≤ 0.050	≤ 0.090	低冲击件	
ZGMn13-2	1.00~1.40					普 通 件	
ZGMn13-3	0.90~1.30		0.30~0.80		≤ 0.080	复 杂 件	
ZGMn13-4	0.90~1.20				≤ 0.070	高冲击件	

(三) 日本高锰钢化学成分国家标准

表 1-4 是日本高锰钢化学成分国家标准。

表 1-4 日本高锰钢化学成分国家标准

标准名称	标准编号	钢种牌号	化 学 成 分 $w/\%$					其他合金元素
			C	Mn	Si	S	P	
日本 国家 标准	JIS G5131 —1978	SCMnH1	0.9~1.3	11~14		≤ 0.05	≤ 0.10	Cr1.5~2.5 Cr2.0~3.0 V0.4~0.7
		SCMnH2	0.9~1.2	11~14	≤ 0.8	≤ 0.04	≤ 0.07	
		SCMnH3	0.9~1.2	11~14	0.3~0.8	≤ 0.035	≤ 0.05	
		SCMnH11	0.9~1.3	11~14	≤ 0.8	≤ 0.04	≤ 0.07	
		SCMnH211	1.0~1.35	11~14	≤ 0.8	≤ 0.04	≤ 0.07	

(四) 美国高锰钢化学成分国家标准

表 1-5 是美国高锰钢化学成分国家标准。

表 1-5 美国高锰钢化学成分国家标准

标准名称	标准编号	钢种牌号	化 学 成 分 $w/\%$					
			C	Mn	Si	S	P	其他合金元素
美国国家标准	ANSI/ ASTM A128— 79a	A ₆	1.05~1.35	最小 11.0	最大 1.0		最大 0.07	
		B-1	0.9~1.05	11.5~14.0	最大 1.0		最大 0.07	
		B-2	1.05~1.20	11.5~14.0	最大 1.0		最大 0.07	
		B-3	1.12~1.28	11.5~14.0	最大 1.0		最大 0.07	
		B-4	1.20~1.35	11.5~14.0	最大 1.0		最大 0.07	
		C	1.05~1.35	11.5~14.0	最大 1.0		最大 0.07	Cr1.5~2.5
		D	0.7~1.3	11.5~14.0	最大 1.0		最大 0.07	Ni3.0~4.0
		E-1	0.7~1.3	11.5~14.0	最大 1.0		最大 0.07	Mo0.9~1.2
		E-2	1.05~1.45	11.5~14.0	最大 1.0		最大 0.07	Mo1.8~2.1
		F	1.05~1.35	6.0~8.0	最大 1.0		最大 0.07	Mo0.9~1.2

(五) 前苏联高锰钢化学成分国家标准

表 1-6 是前苏联高锰钢化学成分国家标准。

表 1-6 前苏联高锰钢化学成分国家标准

牌 号	化 学 成 分 $w/\%$								
	C	Mn	Si	Cr	Mo	V、B	Ni	S	P
110Г13Л	0.9~ 1.4	11.5~ 15	0.3~ 1.0	≥1.0			≥1.0	≥0.05	≥0.12
120Г13Х 2БЛ	1.0~ 1.4	11.5~ 14.5	0.3~ 1.0	1.5~ 2.5		B 0.08~ 0.10	≥1.0	≥0.05	≥0.10
130Г14 ХМФАЛ	1.2~ 1.4	12.5~ 15	≥0.6	1.0~ 1.5	0.2~ 0.3	V 0.08~ 0.12	≥1.0	≥0.05	≥0.07

二、高锰钢平衡状态组织

(一) Fe-Mn 二元合金相图

含碳 0.9%~1.3%、含锰 11%~14% (质量分数, 本书以下未特殊指明者均为质量分数) 的高锰钢, 经水韧处理后可获得单一的奥氏体组织。该组织在较大冲击或接触应力作用下, 其表面将迅速产生加工硬化, 并有高密度位错和形变孪晶形成, 从而产生具有高耐磨性的表面层。一般, 在较宽的成分范围内形成稳定的奥氏体组织, 需要加入的合金元素必须符合下列条件:

- (1) 合金元素应具有面心立方晶格结构;
- (2) 原子半径应和铁原子的半径相近;
- (3) 合金元素原子与铁原子之间应有较强的金属键作用。

锰元素属于周期表中第四周期的Ⅶ族, 3d 层电子不满, 3s 和 3d 层能量与铁元素相近, 锰是符合上述条件的合金元素。

图 1-1 是 Fe-Mn 二元合金相图。从图 1-1 中可以看出, 常温

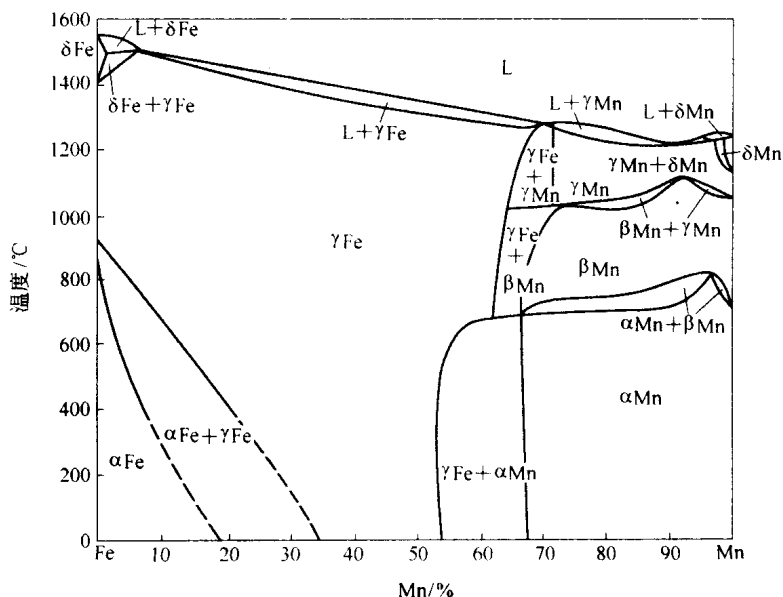


图 1-1 Fe-Mn 二元合金相图

条件下锰含量超过 30% 时才能得到单相奥氏体。此种二元合金的奥氏体稳定性较低,没有实际的使用价值。

(二) Fe-Mn-C 三元合金相图

图 1-2 是 Fe-Mn-C (含 1% C) 三元合金相图。从图 1-2 中可以看出,碳的加入明显扩大了 γ 相区。当碳含量为 1.0% ~ 1.3% 时,锰含量只需 9.0% ~ 15.0%,就可以得到单相奥氏体。

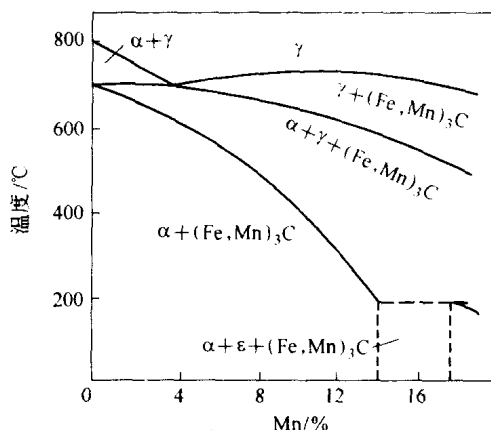


图 1-2 Fe-Mn-C 三元合金相图(含 1% C)

在含锰低于 20%、含碳低于 2.0% 成分范围内,高锰钢存在 γ 、 α 、 ϵ 及碳化物相。碳化物的类型是 $(\text{Fe}, \text{Mn})_3\text{C}$, $(\text{Fe}, \text{Mn})_3\text{C}$ 的形成温度视合金中锰、碳含量而定。当锰含量为 13%、碳含量为 1% 左右时,其形成温度在 800℃ 以上。根据实验资料证明,碳在 $(\text{Fe}, \text{Mn})_3\text{C}$ 中固溶并以离子状态存在,具有正电荷。它的扩散系数高也是以离子状态存在的一个证明。碳原子半径和铁原子半径的比值很接近于 0.59,符合间隙固溶原子的条件。碳在晶格中是处于八面体的空隙之中。 ϵ 相是密排六方晶体结构,它存在于 Fe-Mn-C 三元系之中。

图 1-3 是 Fe-Mn-C 三元系相图的截面图(含 13% Mn)。从图 1-3 可知,临界点 S 和 E 均明显左移。当碳含量为 1.3% 的锰钢结