



中国教师发展基金会教师出版专项基金资助

钢铁质量 及其构件失效分析

吴 润 吴志方 编著



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS

教师发展基金会教师出版专项基金资助

钢铁质量及其构件失效分析

吴润 吴志方 编著



北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书主要对钢铁生产流程中各环节对钢铁质量的影响规律进行了总结,在简明介绍钢铁生产过程的基础上,分析了影响钢铁质量的各种缺陷的形成及特征,系统论述了钢铁在冶炼、浇注和热轧、冷轧或冷拔中产生的缺陷,并依据其形成规律提出防止措施。其内容也凝聚了作者的多年研究成果和知识积累;同样,也是对钢材质量的评估和合理选材的依据。

本书可作为理工类与金属材料制备及其加工专业的高年级本科生、研究生的教材,也可作为冶金行业有关工程技术人员的应用参考书。

图书在版编目(CIP)数据

钢铁质量及其构件失效分析 / 吴润, 吴志方 编著

. — 北京: 北京航空航天大学出版社, 2018. 3

ISBN 978-7-5124-2673-3

I. ①钢… II. ①吴… ②吴… III. ①钢结构—结构构件—失效分析②钢—结构构件—失效分析 IV. ①TG14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 045842 号

版权所有,侵权必究。

钢铁质量及其构件失效分析

吴 润 吴志方 编著

责任编辑 张冀青

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:bhpress@263.net 邮购电话:(010)82316936

北京九州迅驰传媒文化有限公司印装 各地书店经销

*

开本:710×1 000 1/16 印张:17.75 字数:378 千字

2018 年 4 月第 1 版 2018 年 4 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5124-2673-3 定价:59.00 元

若本书有倒页、脱页、缺页等印装质量问题,请与本社发行部联系调换。联系电话:(010)82317024

前 言

目前,我国钢产量稳居世界第一。钢铁行业正压缩产能,从规模生产转向生产附加值高的产品,行业的转化使我国正迈进钢铁强国之列,因而钢的产品质量是行业必须重点关注的问题。作为一名在冶金行业从事教学和科研的工作者,总想为钢铁行业做点什么,从事金属材料专业教学多年,深知许多毕业生正从事产品质量检验工作或生产工艺运行的质量保证工作,工作中对各种钢制零件与器件的质量及失效分析显得尤为重要。因此想撰写一本有关钢材质量方面的书。

该念头来源于教学实践,1987年武汉科技大学金属材料工程系针对大学生就业急需冶金产品质量分析知识,进行了教学改革实验,增加了与实践课程相关的专业综合基础课,获“湖北省教学改革二等奖”。同年,通过相关教师的讨论和论证,为高年级本科生开了“冶金产品质量分析”课程。因反映良好,1991年大冶钢铁集团公司进行工程师培训时,指名要开出该课程。当时所用的是自编教材,相关教师的研究也逐渐集中在该方向。从武汉科技大学金属材料工程系已毕业的本科生反馈教学课程的重要性来看,许多届校友都提到1987年所开的“冶金产品质量分析”课程。

行业需要懂得钢的质量及其内在品质的人才,我校“省部共建耐火材料与冶金国家重点实验室”许多科学工作者在高性能新钢种的开发、引进生产线的产品质量分析方面做了大量研究工作,积累了相当多的素材,因此有条件编写一本有关钢铁质量方面的书作为“冶金产品质量分析”课程教材。该课程主要对高年级本科生讲授钢材的质量及其构件的失效分析,因此将本书命名为《钢铁质量及其构件失效分析》。

本书由吴润、吴志方编著。第1章由熊玮编写,第2章由张诗昌编写,第3章和第5章由吴志方编写,第4章由朱诚意编写,第6章由甘章华编写。本书大量夹杂物图片由李光强教授提供,许多现场缺陷照片由吴润教授已经工作的学生提供,这里不一一提名。在此,谨代表心系祖国

高等教育事业的同仁和未来使用该书学习的本科生、研究生向他们表示感谢。本书所涉及的一些实验由国家自然科学基金面上项目(No. 51771139、No. 51674180)和第 53 批中国博士后研究基金面上项目(No. 2013M540609)提供经费支持。由于编写时间仓促,水平有限,本书难免存在疏漏或不妥之处,欢迎读者批评指正。

编 者

2017 年 6 月

目 录

第 1 章 钢铁生产及其质量检验	1
1.1 钢铁生产简述	1
1.1.1 钢铁生产基本流程	1
1.1.2 炼 铁	1
1.1.3 炼 钢	4
1.1.4 轧 钢	7
1.1.5 钢材品种及用途	8
1.2 钢的冶炼	13
1.2.1 铁水预处理	13
1.2.2 转炉炼钢	16
1.2.3 电炉炼钢	20
1.2.4 炉外精炼	22
1.3 电渣重熔	28
1.3.1 电渣冶金原理	28
1.3.2 电渣冶金去除杂质元素	29
1.4 钢材的检验	31
1.4.1 钢材的技术标准	31
1.4.2 钢材质量的评定方法	39
1.4.3 钢材工艺性能的评定方法	40
1.4.4 钢材使用性能的评定方法	40
1.4.5 钢铁生产中常规检验项目	41
第 2 章 钢铁铸件及连铸坯的质量分析	45
2.1 铸钢件及其质量分析	45
2.1.1 铸钢的凝固方式及其对铸钢件质量的影响	45
2.1.2 铸钢件的铸造缺陷及其影响因素	48
2.1.3 提高铸钢件质量的工艺措施	56
2.2 铸铁件及其质量分析	62
2.2.1 铸铁石墨化及其影响因素	62
2.2.2 灰口铸铁与球墨铸铁的凝固特征	65

2.2.3	铸铁件的铸造缺陷及其质量分析	69
2.2.4	提高铸铁件质量的措施	77
2.3	连铸坯及其质量分析	81
2.3.1	连铸工艺流程	81
2.3.2	连铸坯凝固及其组织特点	81
2.3.3	连铸坯的缺陷及其质量控制	85
第3章	钢中的气体	94
3.1	钢中气体的来源	94
3.1.1	冶炼中原材料带入的气体	94
3.1.2	脱氧剂和铁合金带入的气体	95
3.1.3	浇注及其他冶金过程中带入的气体	96
3.2	钢中氢的作用	97
3.2.1	钢中氢的来源	97
3.2.2	氢在钢中的存在形式和溶解	97
3.2.3	氢损伤和氢致开裂	100
3.2.4	减少钢中氢含量的措施	106
3.3	钢中氮的作用	108
3.3.1	氮在钢中的溶解及其分布	108
3.3.2	氮在钢中的有利作用	110
3.3.3	氮在钢中的不利影响	110
3.3.4	减少钢中氮含量的措施	117
3.4	钢中氧的作用	119
3.4.1	氧在钢中的溶解	119
3.4.2	氧在钢中的有利作用	120
3.4.3	氧在钢中的不利影响	121
第4章	钢中的非金属夹杂物及其检测	124
4.1	钢中非金属夹杂物的来源	124
4.1.1	内生非金属夹杂物	125
4.1.2	外来非金属夹杂物	126
4.2	钢中非金属夹杂物的分类	127
4.2.1	按非金属夹杂物形态和分布特点分类	127
4.2.2	按非金属夹杂物化学组成特点分类	128
4.2.3	按非金属夹杂物在热加工过程中的变形特性分类	130
4.2.4	按非金属夹杂物尺寸分类	132

4.3 钢中的氧化物	132
4.3.1 钢中氧的来源	132
4.3.2 炼钢工艺中常见的脱氧方式	132
4.3.3 钢中常用的脱氧剂	134
4.3.4 钢中内生氧化物夹杂的形成机理	135
4.4 钢中的氮化物和碳化物	138
4.4.1 钢中的碳氮化钛	138
4.4.2 钢中的碳氮化铌	140
4.4.3 钢中的碳氮化铬和氮化铝	140
4.5 钢中的硫化物	141
4.5.1 钢中硫的来源及其化合物的形成	141
4.5.2 硫化物的作用	144
4.6 钢中典型的非金属夹杂物或析出物	147
4.6.1 钢中典型的显微夹杂物($1\sim 13\ \mu\text{m}$)	147
4.6.2 钢中典型的微细夹杂物或析出物($<1\ \mu\text{m}$)	152
4.6.3 铸坯中典型的大型夹杂物	153
4.7 非金属夹杂物对钢性能的影响及控制	156
4.7.1 非金属夹杂物对钢材性能的影响	156
4.7.2 典型钢种中夹杂物对钢性能的影响	157
4.7.3 对钢中氧化物夹杂的控制	159
4.7.4 对钢中硫化物的控制	161
4.8 非金属夹杂物或析出物的检测	163
4.8.1 钢中夹杂物的检测内容与方法	163
4.8.2 钢中非金属夹杂物的常规检测	164
4.8.3 钢中非金属夹杂物的微观分析	172
4.8.4 非金属夹杂物快速检测法——火花诱导发射光谱法	175
4.8.5 非金属夹杂物的分离提取及化学成分分析	175
4.8.6 常用夹杂物检测方法的选择与改进	178
第5章 塑性加工对钢的质量的影响	180
5.1 钢的锻造过程的质量分析	180
5.1.1 钢的锻造过程	180
5.1.2 钢锻造后的质量	181
5.1.3 钢锻造的典型缺陷及防止措施	182
5.2 钢的热轧过程的质量分析	184
5.2.1 热轧板带钢的质量分析	185

5.2.2 热轧型钢的质量分析	195
5.3 冷拔钢丝的质量分析	203
5.3.1 冷拔钢丝的质量控制	203
5.3.2 钢丝中典型缺陷及其对拉拔质量的影响	204
5.4 冷轧带钢的质量分析	208
5.5 热镀锌带钢质量分析及典型缺陷	216
第 6 章 钢制构件的失效分析	230
6.1 失效分析的定义及类型	230
6.2 失效分析基础	231
6.2.1 取样方法与制样方法	231
6.2.2 失效分析的常用方法	234
6.2.3 失效分析的步骤与过程	238
6.3 失效分析案例	240
6.3.1 42CrMo 钢制车桥的疲劳失效分析	240
6.3.2 13 英寸钢制轮毂的疲劳失效分析	242
6.3.3 帆布用不锈钢接头断裂失效分析	248
6.3.4 工作辊失效分析	252
6.3.5 水轮发电机定子铁芯拉紧螺杆的失效分析	257
6.3.6 构件失效检验举例	267
参考文献	271

第 1 章 钢铁生产及其质量检验

钢铁材料是国民经济和社会发展的物质基础,机器及机械制造、交通运输、军工、能源、航空航天、建筑、国防和民用等部门都离不开钢铁材料。钢铁工业的发展水平主要体现在钢铁生产总量(或人均产量)、品种、质量、单位能耗、排放、经济效益和劳动生产率等方面。人类进入铁器时代以来,积累了丰富的生产和加工钢铁材料的经验。与其他工业相比,钢铁工业生产规模大、效率高、质量好、成本低,具有强大的成本优势。目前,还没有其他材料能够替代钢铁产品的地位。

1.1 钢铁生产简述

1.1.1 钢铁生产基本流程

现代钢铁生产的过程是将铁矿石在高炉内冶炼成生铁,用铁水精炼成钢,再将钢水铸成钢锭或连铸坯,经轧制等塑性变形加工成各种用途的钢材。其基本流程如图 1.1 所示。

由图 1.1 可见,钢铁生产是一项系统工程,主要由原料准备(烧结矿、球团矿、焦炭和少量熔剂石灰石)、高炉中炼铁、电炉或转炉中炼钢、轧钢等生产环节组成,是一个复杂而庞大的生产体系。钢铁企业除了上述主体工序外,正常运行还要有耐火材料和石灰生产、机修、动力、制氧、供水供电、通信、交通运输和环保等辅助行业为其服务。

1.1.2 炼 铁

钢铁冶金中的铁元素主要来自铁矿石(在当前技术下,可以从中经济地提取出金属铁的岩石)。从铁矿石中提取铁元素的主流工艺是高炉炼铁。其技术较为成熟、单体设备生产能力大、消耗低、铁水质量较好,不足之处在于必须使用高质量的焦炭。在高炉上采用喷煤技术,不仅降低了焦比(生产每吨生铁所消耗的焦炭量),也缩小了焦炭的生产规模,减少了环境污染,从而增强了高炉炼铁工艺的生命力。

高炉炉体剖面及生产流程如图 1.2 和图 1.3 所示。除高炉本体外,还包括原燃料系统、上料系统、送风系统、喷吹系统、渣铁处理系统、煤气处理系统等辅助系统。通常在建设上的投资,高炉本体占 15%~20%,辅助系统占 80%~85%。生产中,各个系统相互配合、互相制约,形成一个连续的、大规模的高温生产过程,整个系统必须夜以继日地进行生产,除了计划检修和特殊事故暂时休风以外,一般要到高炉一代寿命終了的时候才停炉。

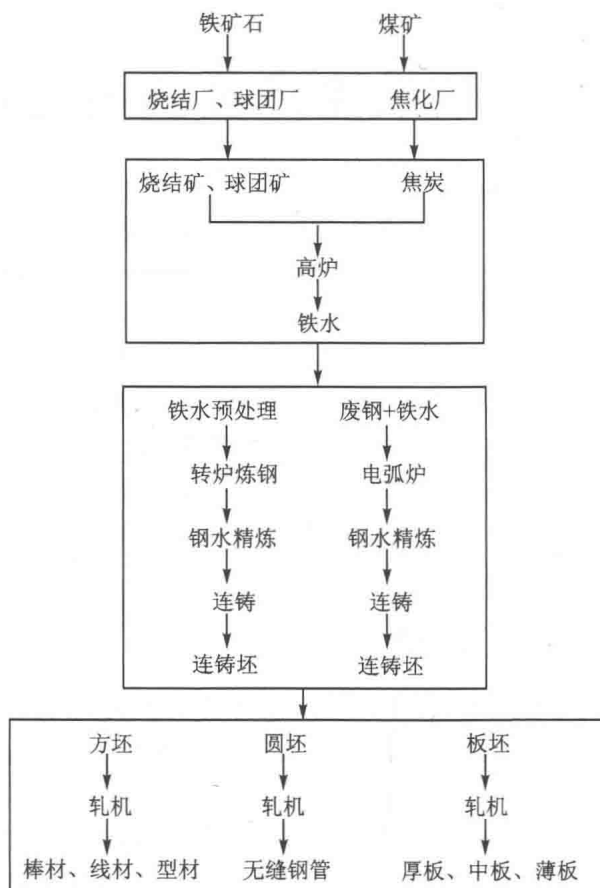


图 1.1 钢铁生产基本流程

高炉产物为铁水、高炉煤气和高炉渣。铁水送炼钢厂炼钢；高炉煤气主要用来烧热风炉，同时供炼钢厂和轧钢厂使用；高炉渣经水淬后送水泥厂生产水泥。

高炉炼铁的本质是铁的还原过程，使用焦炭做燃料和还原剂，在高温下将铁矿石或含铁原料中的铁从氧化物或矿物状态（如 Fe_2O_3 、 Fe_3O_4 、 Fe_2SiO_4 、 $\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot \text{TiO}_2$ 等）还原为液态生铁。冶炼过程中，炉料（矿石和焦炭）按照一定的比例通过装料设备分批地从炉顶装入炉内，从高炉下部的风口通入 $1\,000 \sim 1\,300\text{ }^\circ\text{C}$ 的热风，焦炭在风口前与鼓风中的氧发生燃烧反应，生成 $2\,000\text{ }^\circ\text{C}$ 以上的还原性煤气；炉料在下降过程中被加热、还原、熔化、造渣，发生一系列物理、化学变化，最后生成液态渣，铁聚集于炉缸，周期地从高炉中排出。煤气在上升过程中，温度不断降低，成分逐渐变化，最后形成高炉煤气从炉顶排出。

铁氧化物的还原过程是从高级氧化物到低级氧化物逐级进行的。

当温度 $> 570\text{ }^\circ\text{C}$ 时，



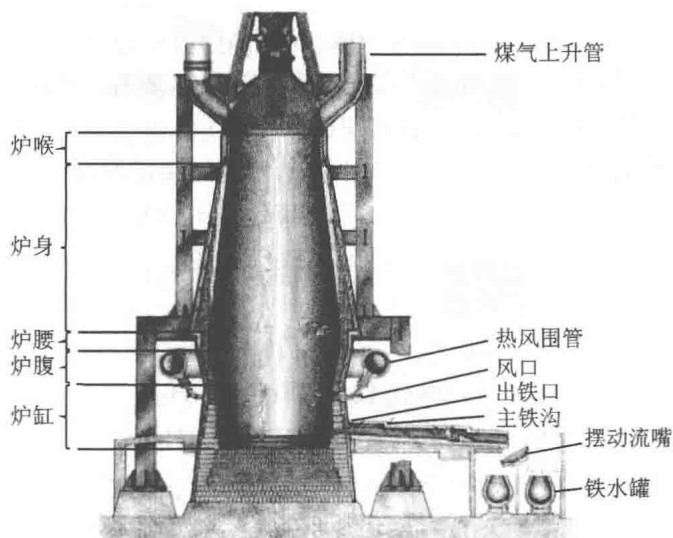


图 1.2 高炉炉体剖面图

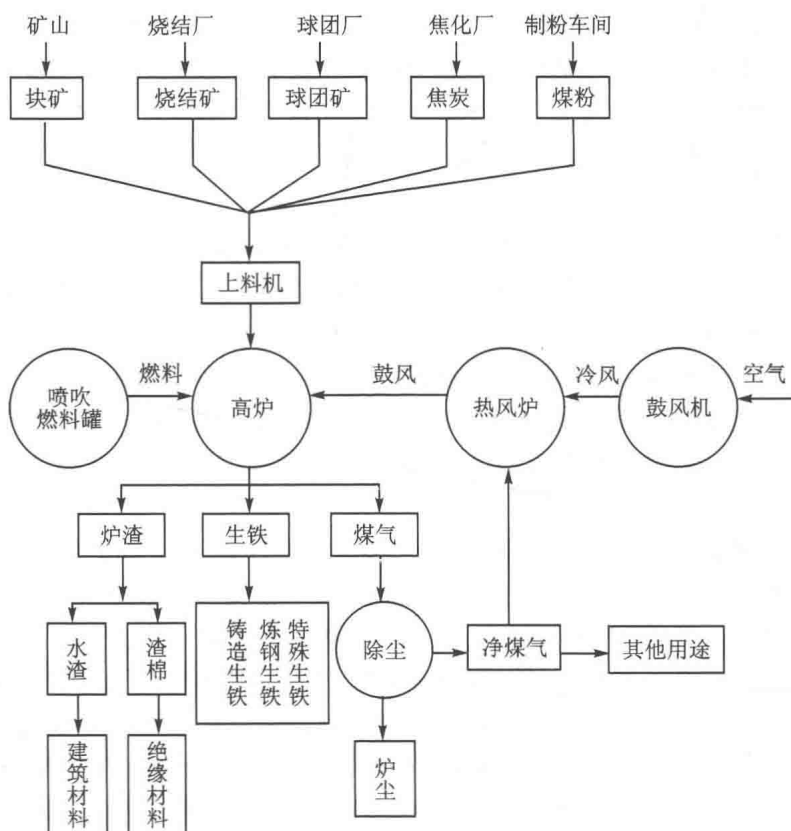


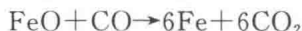
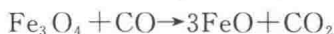
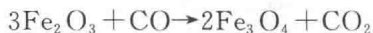
图 1.3 高炉炼铁生产流程

当温度 $<570\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,

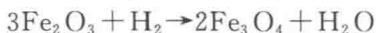


若还原剂为气态的 CO 或 H_2 , 产物为 CO_2 或 H_2O , 则称为“间接还原”; 若还原剂为固态的碳, 产物为 CO , 则称为“直接还原”。

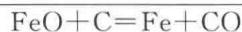
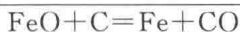
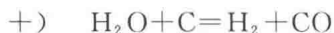
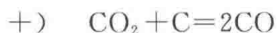
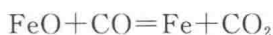
在低温区和中温区($570\text{ }^{\circ}\text{C} < t < 1\ 000\text{ }^{\circ}\text{C}$), 发生间接还原反应, 用 CO 还原:



用 H_2 还原:



在高温区($t > 1\ 100\text{ }^{\circ}\text{C}$), 进行直接还原反应:



实际的直接还原反应是借助于碳素溶解损失反应以及水煤气反应与间接还原反应叠加而实现的。

1.1.3 炼 钢

高炉及其他方法生产的铁水或生铁含碳量高, 硬而脆, 冷热加工性能差, 因而必须经再次冶炼才能得到良好的金属特性。铁水或生铁还含有其他元素, 如 Si 、 Mn 、 P 和 S 等, 其中 P 和 S 对大多数钢种来说是有害元素。为了得到具有较高的强度、韧性或其他特殊性能的钢, 需要通过冶炼降低生铁中的碳, 去除有害杂质 P 和 S , 脱除冶炼过程中作为氧化剂使用而残留在钢水中的氧及混入液态钢水中的氮和氢, 再根据对钢性能的要求加入适量的合金元素, 最后脱除各种杂质元素(在钢水中生成的或卷入的夹杂物颗粒)。

现代炼钢工艺主要的流程有两种, 即以氧气转炉炼钢工艺为中心的钢铁联合企业生产流程和以电炉炼钢工艺为中心的小钢厂生产流程。通常将“高炉—铁水预处理—转炉—精炼—连铸”称为长流程, 而将“废钢—电弧炉—精炼—连铸”称为短流程。短流程无需庞杂的焦化、烧结和高炉炼铁, 因而工艺简单, 投资低, 建设周期短。但短流程生产规模相对较小, 生产品种范围相对较窄, 生产成本相对较高, 并且受废钢和直接还原铁供应的限制。大多数短流程钢铁生产企业也开始建高炉和相应的原料准备系统, 电弧炉采用“废钢+铁水”热装技术吹氧熔炼钢水, 降低了电耗, 缩短了冶炼周期, 提高了钢水品质, 扩大了品种, 降低了生产成本。

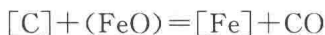
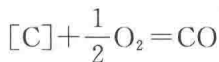
炼钢就是要减少钢水中杂质元素和降低碳含量。此过程伴随有钢水温度的改

变,因此为保证得到合乎成分要求的钢水并最终能够铸造成理想形状的铸坯或钢锭,炼钢过程的基本任务可以归纳为“四脱”(脱碳、脱氧、脱磷和脱硫)、“两去”(去气和去夹杂)、“二调整”(调整成分和调整温度)。采用的主要技术手段有:供氧、造渣、升温、加脱氧剂和合金化操作。

1. 四 脱

1) 脱 碳

脱碳主要通过吹入钢液中氧气或空气与碳发生反应:



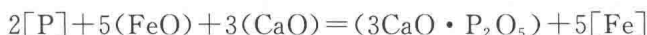
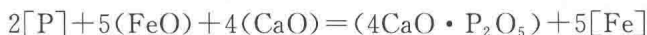
这是钢液中的碳与氧化合生成 CO 而被脱除的物理、化学过程。脱碳反应生成 CO 气泡(在含碳量很低时也生成少量 CO_2),在析出时强烈地搅动熔池,可使钢中气体和钢中非金属夹杂物随上浮的气泡去除掉,使钢水成分和温度均匀化;以及增大气—渣—钢之间的接触面积,提高反应速率,缩短冶炼时间。

2) 脱 氧

脱氧方法有 3 种,即沉淀脱氧法、扩散脱氧法和真空脱氧法。沉淀脱氧法是将脱氧剂添加到钢液中,它直接与钢液中的氧反应生成稳定的氧化物,即直接脱氧。扩散脱氧法一般用于电炉还原期或钢液的炉外精炼,由于钢液中氧向炉渣中扩散,渣中 FeO 渐多,需要加脱氧剂还原渣中 FeO,保证钢液中的氧不断向外扩散,即间接脱氧。真空脱氧法是将钢包内的钢液置于真空条件下,通过抽真空打破原有的碳、氧平衡,促使碳与氧的反应,达到通过钢中的碳去除氧的目的。

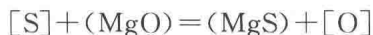
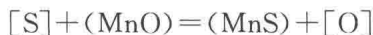
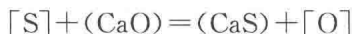
3) 脱 磷

脱磷主要是在炼钢过程中进行,因为高炉冶炼不具备脱磷的条件,所以铁矿石中的磷几乎全部进入到铁水中。炼钢过程的脱磷反应是在金属液与熔渣界面进行的, $[\text{P}]$ (加方括号表示金属相)被氧化成 (P_2O_5) (加圆括号表示渣相),而后与 (CaO) 结合成稳定的磷酸钙:



4) 脱 硫

脱硫主要通过两种途径来实现,即钢液表面层炉渣脱硫和钢液挥发时的气化脱硫。一般炼钢操作下,炉渣脱硫占主导。氧化渣脱硫占总脱硫量的 90%,气化脱硫占 10%。碱性氧化渣与金属间的脱硫反应为

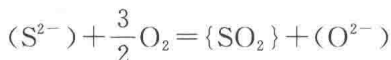


渣-钢间的脱硫反应可以认为是这样进行的:钢液中的硫先扩散至熔渣中,即 $[\text{FeS}] \rightarrow (\text{FeS})$ 。进入熔渣中的 (FeS) 与游离的 CaO 或 MgO 结合生成稳定的 CaS 或 MnS 。

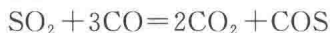
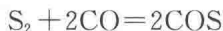
气化脱硫是指金属液中的 $[\text{S}]$ 以气态 SO_2 的方式被去除:



钢液脱硫的最大可能性是钢液中的 $[\text{S}]$ 进入熔渣后再被气化去除:



在顶吹氧气转炉熔池的氧流冲击区,由于温度高,硫以 S 、 S_2 、 SO 、 COS 的形态挥发是可能的,所以可能发生下列脱硫反应:



2. 两 去

1) 去除有害气体

钢中的气体主要是指氢与氮,它们可以溶解于液态和固态纯铁和钢中。钢液中的气体会显著降低钢的性能,而且容易造成钢的许多缺陷。在低碳钢中增加氮含量会产生老化现象,碳含量越低影响越大,同时氮是表面活性物质,会降低钢液的表面张力,使氮容易析集在晶界,降低钢的抗热裂纹的性能。降低钢中氮的方法靠脱碳沸腾,吹氩搅拌去气,在真空下去气。由于氮的原子半径比较大,在铁液中扩散较慢,所以不如氢的去除效果好,钢中残余的氮可用与钛、铌、钒、铝结合生成氮化物来消除影响,细小的氮化物有调整晶粒、改善钢质的作用。钢中的氢可使钢产生白点(发裂)、疏松和气泡,使钢变脆。因此冶炼易产生白点等缺陷的钢种时要特别注意原材料(尤其是石灰)的干燥、清洁,冶炼时间要短;要求严格的钢种应充分发挥炉内脱碳的去气作用,炉外吹氩或真空处理,甚至采用真空熔炼的方法使钢中的氢降低到很低的水平。

2) 去除非金属夹杂物

非金属夹杂物包括氧化物、硫化物、氮化物、碳化物和它们的复合物或化合物。绝大多数氧化物夹杂和一些硫化物夹杂已在钢液中形成,如果在钢凝固之前这些夹杂还没有去除,那么它们将引起连铸产品的缺陷。钢中非金属夹杂物通常被认为是有害的,所以要通过各种措施使其含量尽可能降低,但不管炼钢技术如何发展、改进,总是还有夹杂物,有些仍然影响钢的使用性能。由于工艺上的困难和经济上的问题,因此不能无限制地降低非金属夹杂物。

3. 二调整

① 调整成分 为保证钢的各种物理、化学性能,应将钢的成分调整到规定的范围内,主要涉及的是控制钢液中的碳、锰、硅及铝等含量。

② 调整温度 铁水温度一般只有 1300°C ,而钢水温度必须高于 1500°C ,为了

将钢水浇注为铸坯,要求钢水温度为 $1\ 600\ ^\circ\text{C}$ 。为此,在炼钢过程中,需要对金属料和其他原料加热升温,使钢液温度达到出钢要求。

炼钢的基本任务完成后,钢液中各元素含量达到设定的目标值,就要将钢液从冶炼炉中倾倒入盛钢桶。高品质钢还要进行炉外精炼,进一步去气,去夹杂,微调成分(向钢液中加入易氧化的合金元素),然后浇注。

钢铁企业一般是将钢液用连铸机浇注、冷凝、切割直接得到铸坯,这道工序称为连铸。连铸是连接炼钢与轧钢的环节。连铸机主要包括钢包运载装置、中间包、中间包车、结晶器、结晶器振动装置、二次冷却装置、拉坯矫直装置、切割装置和铸坯运出装置,如图 1.4 所示。

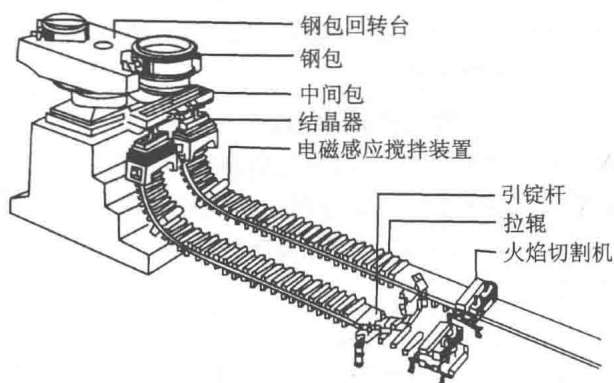


图 1.4 弧形连铸机结构图

浇钢时把装有钢液的盛钢桶通过钢包运载装置运送到连铸机上方,经盛钢桶底部的水口把钢水注入到中间包内。打开中间包塞棒后,钢水流入水冷结晶器中。钢液沿结晶器周边冷凝成坯壳。当结晶器下端出口坯壳有一定厚度时,启动拉坯机和结晶器振动装置,使带有液芯的铸坯通过弧形导向段,一边下行,一边经受二次冷却区强制冷却,继续凝固。当引锭杆出拉坯矫直机后将其与铸坯脱开,铸坯在全部凝固或带有液芯状态下被矫直。待铸坯被矫直且完全凝固后,由切割装置在水平位置将铸坯切割成定尺长度,由输送辊道运走。

钢液浇注的实质就是完成钢从液态向固态的转变。这一转变过程伴随着固态钢成型、固态相变、铜板与铸坯表面的换热、冷却水与铸坯表面间的复杂换热。

1.1.4 轧 钢

由炼钢厂生产出来的钢锭或连铸坯,被送往轧钢厂,在轧钢厂将其轧制成具有一定规格和性能的钢材。按照形状,连铸坯分为方坯、板坯和圆坯。在轧钢厂,方坯被轧机轧制成棒材、线材和型材;板坯被轧制成中厚板和薄板;圆坯被穿孔后轧制成无缝钢管。

轧钢有两种加工类型,即热轧和冷轧。将钢锭(或钢坯)先加热到一定温度,再进行轧制,称为热轧;将坯料在低于该钢的再结晶温度的压力下加工称为冷加工,在工业生产中,冷轧是指坯料轧前不经过再加热的常温轧制过程。由于金属在高温下变形抗力小,容易获得较大的变形量,所以当产品需要变形量较大的轧制加工时,多采用热轧。而冷轧变形量小,但所获得的制品表面较光洁,尺寸精确。

钢锭或连铸坯在常温下很难变形,不易加工,一般情况下都需要加热到 $950 \sim 1250\text{ }^{\circ}\text{C}$ 进行热轧。把钢锭热轧制成钢材,一般需经开坯、粗轧和精轧等阶段,即首先将钢锭在均热炉中均匀加热到所需温度后,在开坯机上开轧,再在粗轧机上粗轧成断面较小的半成品——大、中、小型钢坯。该工序一般采取较大的压下量,以减少轧制道次,提高生产率。再将钢坯送到各个成材车间精轧成各种钢材,精轧的压下量较小,以使轧件具有精确的尺寸和光洁的表面,其轧制温度和压下率直接影响到控冷效果,也是调整钢的性能的关键参数。

对于热轧,每一阶段的主要生产过程为:

- ① 加热:将钢坯在加热炉中加热到再结晶温度以上的某一温度;
- ② 轧制:不同品种或规格的产品,分别在不同类型的轧机上进行轧制;
- ③ 精整:包括剪切、冷却、矫正、检验、表面处理等。

冷轧的主要生产过程为:

- ① 酸洗:除去坯料表面的氧化铁皮;
- ② 轧制;
- ③ 退火:消除加工硬化;
- ④ 精整。

冷轧可以生产厚度更小(最薄可达 0.001 mm)、尺寸公差要求严格的带钢,其产品尺寸精确、厚度均匀且表面质量优越,不存在热轧常常出现的麻点、压入氧化铁皮等缺陷。

1.1.5 钢材品种及用途

钢材是由钢锭或钢坯通过压力加工制成的各种形状、尺寸和性能的材料。根据断面形状的不同,钢材一般分为型材、板材、管材和线材四大类。方坯加工成型钢,其产品分为重轨、轻轨、大型型钢、中型型钢、小型型钢、冷弯型钢和优质型钢;连铸板坯加工成板带钢,其产品分为中厚钢板、薄钢板、电工用硅钢片、带钢等;管材中焊接钢管由板带钢加工而成,无缝钢管钢材由方坯或圆坯加工而成;小方坯一般加工成盘圆线材。

1. 型 材

型钢是钢铁通过轧制、挤出、铸造等工艺制成的具有确定断面形状且长度和截面周长之比很大的实心长条钢材。型钢的品种很多,按钢的冶炼质量不同,型钢可分为普通型钢和优质型钢;按其生产方法可分为轧制型钢、弯曲型钢、焊接型钢;按其用途