

板带钢质量缺陷 特征与控制

BANDAIGANG ZHILIANG QUEXIAN
TEZHENG YU KONGZHI

宋进英 刘 倩 田亚强 陈连生 著



冶金工业出版社
www.cnmp.com.cn

板带钢质量缺陷特征与控制

宋进英 刘倩 田亚强 陈连生 著

北 京

冶金工业出版社

2017

内 容 提 要

本书针对板带钢生产过程中质量缺陷特征与控制进行了详细介绍。主要包括检测手段的简介,对板带钢生产中遇到的典型缺陷进行详细论述,分别就板带材边裂、起皮、结疤、氧化铁皮压入、孔洞、线状缺陷、分层、开裂等缺陷进行了原因分析及工艺改进措施研究,同时分析了镀锌板、40Mn、610L 钢以及冶金锯片 65Mn 用钢等典型实例的质量缺陷,并提出有效整改措施。

本书可供冶金、材料、机械、交通、能源等领域从事生产和研究的技术人员和科研人员阅读,也可供大专院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

板带钢质量缺陷特征与控制/宋进英等著. —北京:冶金工业出版社, 2017. 6

ISBN 978-7-5024-7034-0

I. ①板… II. ①宋… III. ①板材轧制—质量检查—缺陷—防治 ②带材轧制—质量检查—缺陷—防治 IV. ①TG335. 5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 124659 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcbbs@cnmp.com.cn

责任编辑 卢 敏 美术编辑 彭子赫 版式设计 孙跃红

责任校对 郑 娟 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-7034-0

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷

2017 年 6 月第 1 版, 2017 年 6 月第 1 次印刷

169mm×239mm; 14 印张; 272 千字; 209 页

59.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前 言

国内外对板带钢缺陷的研究经历了相当曲折的道路，这是因为板带钢质量缺陷形态各异、形成原因复杂，会受到炼铁、炼钢、连铸、轧制、镀锌等诸多方面因素的影响。当原材料、加工工艺、加工设备等生产过程涉及的任何一个环节出现问题，都有可能导致产品缺陷，并且有些缺陷外貌特征不易区分。因此，缺陷的检测技术与质量控制对板带钢的生产显得尤为迫切与重要。

鉴于板带钢实际生产中存在众多质量缺陷及其检测手段不足这些问题，本书针对板带钢生产过程中质量缺陷特征与控制进行了详细研究。整个内容首先从板带钢质量缺陷检测手段入手，对板带钢质量缺陷检测过程中所使用的检测仪器的构成、原理及操作进行简要介绍，然后根据板带钢实际生产中不同质量缺陷特征实例，结合相关研究内容以及国内外大量文献，对具体缺陷进行判定并加以分析研究，采用图文并茂的方式将板带钢实际生产中所涉及的炼铁、炼钢、连铸、热轧、冷轧及镀锌等实际工艺与理论分析充分相结合，针对钢厂出现质量异议的钢板样品进行质量检测和分析，在分析传统依靠经验和工艺手册进行工艺设计的不足的基础上，提供一种更完善、更合理的工艺设计方法和生产过程控制措施，最终提升板带钢产品质量。

本书主要由目录、前言、检测手段及分析原理、板带钢典型缺陷检测实例介绍与控制以及参考文献等五部分组成。除去目录及参考文献部分，本书一共由16章组成，分为4部分内容，就钢厂实际生产中所遇到的板带钢缺陷进行了原因分析，并采取了相应的控制措施，取得了良好的效果：

(1) 第1部分，主要对板带钢质量缺陷与控制的研究背景、内容及意义等作简要介绍。

(2) 第2部分, 主要对板带钢质量缺陷检测过程中所涉及的检测手段进行简要介绍及原理分析, 主要包括超声波清洗器、光学显微镜、扫描电子显微镜以及X射线能谱分析仪等常用仪器, 所述内容涉及仪器的构成、试样的制备, 使用方法、实验参数的设定及使用过程应该注意的具体事项等一系列问题。

(3) 第3部分, 主要对板带钢易于出现的各种缺陷进行了归纳总结, 分别就板带材边裂、起皮、结疤、氧化铁皮压入、孔洞、线状、分层、开裂等缺陷的形成机理及措施进行了较为深入的探究, 缺陷形成原因中会涉及夹杂物、气泡、脱碳、氧化通道、保护渣、轧制工艺以及连铸工艺异常等一系列因素。

(4) 第4部分, 主要针对镀锌板、40Mn、610L钢以及冶金锯片用钢65Mn等典型实例, 就同一种板材出现的不同质量缺陷进行了具体原因及措施探究。针对板带钢不同质量缺陷, 提出了相应的整改措施, 最终实现了对板带钢质量的有效控制。

本书汇集了作者八年来的研究成果, 在700多份质量异议报告的基础上, 并尽可能地搜集国内外的有关科研成果。在编写过程中, 得到了唐山国丰钢铁有限公司技术处何立新、陈业雄、董双鹏、焦景民、刘志兴的大力支持, 并提供了宝贵的资料, 同时得到了在读研究生张明山、胡宝佳的大力支持。本书出版得到了为华北理工大学冶金与能源学院现代冶金技术重点实验室的技术支持。在此一并表示感谢。

书中若有不足之处, 诚恳希望读者予以指正。

作 者

2016年12月

目 录

1 绪论	1
2 检测手段及分析原理	3
2.1 超声波清洗器	3
2.1.1 超声波设备概述	3
2.1.2 超声波清洗设备构成	4
2.1.3 超声波清洗机的主要参数	4
2.1.4 超声波清洗特点	5
2.1.5 超声波清洗中应注意的几个问题	6
2.2 光学显微镜	7
2.2.1 普通光学显微镜	8
2.2.2 显微镜的使用方法	12
2.2.3 使用显微镜应注意的事项	13
2.2.4 显微镜的保养与维护	13
2.3 扫描电子显微镜	14
2.3.1 扫描电镜的基本结构和原理	14
2.3.2 扫描电镜样品要求与制备	17
2.3.3 扫描电子显微镜的操作	19
2.4 X 射线能谱分析	28
2.4.1 实验原理	28
2.4.2 试样的制备	30
2.4.3 实验参数的选择	31
2.4.4 实验步骤	32
2.4.5 应用实例	34
3 边裂缺陷	38
3.1 试验材料及方法	40
3.2 由夹杂引起的边裂	40

3.2.1 夹杂物的类型	40
3.2.2 钢中夹杂物的来源及成因	41
3.2.3 典型实例检测及原因分析	42
3.2.4 整改措施	44
3.3 由聚集气泡引起的边裂	44
3.3.1 典型实例检测及原因分析	44
3.3.2 气泡来源及形成机理	45
3.3.3 整改措施	46
3.4 因横向冷却的不均而引起的边裂	47
3.4.1 典型实例检测	47
3.4.2 原因分析	47
3.4.3 整改措施	48
3.5 由钢板边部脱碳严重而引起的边裂	48
3.5.1 典型实例检测	48
3.5.2 原因分析	50
3.5.3 整改措施	51
3.6 由轧制工序引起的边裂	51
3.6.1 冷轧板带生产概述	51
3.6.2 冷轧工序引起边裂缺陷的典型实例检测及分析	53
3.6.3 冷轧工序引起边裂缺陷的整改措施	55
3.6.4 热轧板带生产概述	55
3.6.5 热轧工序引起边裂缺陷的典型事例及分析	56
3.6.6 热轧工序引起边裂缺陷的整改措施	58
3.7 铸坯本身存在较多的角横裂引起的边裂	58
3.7.1 铸坯角横裂形成机理	58
3.7.2 典型实例检测	60
3.7.3 角横裂引起的边裂缺陷形成机理	62
3.7.4 整改措施	63
4 起皮缺陷	64
4.1 试验材料及方法	65
4.2 由夹杂物聚集引起的起皮	66
4.2.1 典型实例检测	66
4.2.2 原因分析	67
4.2.3 整改措施	67

4.3 由氧化通道引起的起皮	67
4.3.1 典型实例检测及分析	67
4.3.2 整改措施	69
4.4 由皮下气泡引起的起皮	69
4.4.1 皮下气泡来源	69
4.4.2 外来气泡行为特征	70
4.4.3 典型实例检测及原因分析	70
4.4.4 整改措施	71
4.5 由氧化铁皮压入引起的起皮	72
4.5.1 典型实例检测	72
4.5.2 氧化铁皮压入的原因	73
4.5.3 整改措施	74
5 结疤缺陷	75
5.1 试验材料及方法	75
5.2 铸坯切割时返渣积瘤压入所致的结疤	76
5.2.1 典型实例检测	76
5.2.2 原因分析	78
5.2.3 整改措施	79
5.3 转炉碱性渣所致的结疤	79
5.3.1 终期转炉钢渣成分控制	79
5.3.2 典型实例检测	81
5.3.3 原因分析	82
5.3.4 整改措施	82
5.4 缩孔引起结疤	83
5.4.1 缩孔（松）简介	83
5.4.2 典型实例检测及原因分析	84
5.4.3 整改措施	85
5.5 精炼渣引起结疤	86
5.5.1 精炼渣分类及特点	86
5.5.2 精炼渣的主要成分与作用	87
5.5.3 典型实例检测及原因分析	88
5.5.4 整改措施	89
5.6 轧制工艺引起结疤	89
5.6.1 典型实例检测	89

5.6.2 原因分析	91
5.6.3 整改措施	91
6 氧化铁皮压入缺陷	92
6.1 氧化铁皮产生来源	92
6.2 氧化铁皮的类型及形成机理	92
6.3 实验材料及方法	94
6.4 一次氧化铁皮的形貌及产生原因分析	94
6.4.1 典型实例检测	94
6.4.2 原因分析	96
6.4.3 整改措施	96
6.5 二次氧化铁皮的缺陷形貌及产生原因分析	97
6.5.1 典型实例检测	97
6.5.2 原因分析	98
6.5.3 整改措施	99
6.6 三次氧化铁皮的缺陷形貌及产生原因分析	99
6.6.1 典型实例检测	99
6.6.2 原因分析	100
6.6.3 整改措施	101
6.7 红色氧化铁皮缺陷形貌及产生原因分析	101
6.7.1 典型实例检测	101
6.7.2 原因分析	102
6.7.3 整改措施	103
7 孔洞缺陷	104
7.1 试验材料及方法	104
7.2 孔洞缺陷类型及研究现状	104
7.3 夹杂引起的孔洞缺陷	106
7.3.1 夹杂物影响钢板质量的作用机理	107
7.3.2 夹杂物的数量、尺寸及分布对轴承钢质量的影响	107
7.3.3 含 Ti 元素夹杂引起的孔洞缺陷	108
7.3.4 复合夹杂引起的孔洞缺陷	111
7.3.5 Al_2O_3 夹杂引起的孔洞缺陷	112
7.3.6 夹杂引起孔洞缺陷的整改措施	114
7.4 异物压入引起的孔洞缺陷	114

7.4.1 异物压入引起的“坑状”孔洞缺陷	115
7.4.2 异物压入引起的“疤状”孔洞缺陷	115
7.4.3 异物压入引起孔洞缺陷的整改措施	116
7.5 轧辊异常引起的孔洞缺陷	117
7.5.1 轧辊异常现象	117
7.5.2 典型实例检测及原因分析	117
7.5.3 整改措施	118
8 线状缺陷	119
8.1 试验材料及方法	120
8.2 气泡引起的线状缺陷	120
8.2.1 典型实例检测	120
8.2.2 原因分析	121
8.2.3 整改措施	121
8.3 划伤引起的线状缺陷	121
8.3.1 热轧划伤在冷轧过程中引起的线状缺陷	121
8.3.2 冷擦伤引起的线状缺陷	123
8.4 夹杂引起的线状缺陷	125
8.4.1 典型实例检测	125
8.4.2 原因分析	126
8.4.3 整改措施	126
8.5 氧化铁皮压入引起的线状缺陷	127
8.5.1 典型实例检测及原因分析	127
8.5.2 整改措施	128
9 分层缺陷	129
9.1 试验材料及方法	129
9.2 钢板分层缺陷及形成原因	129
9.2.1 连铸坯的初始缺陷	130
9.2.2 夹杂物的影响	132
9.3 带状组织引起的分层缺陷	133
9.3.1 典型实例检测	133
9.3.2 原因分析	133
9.3.3 整改措施	133
9.4 保护渣引起的分层缺陷	134

9.4.1 典型实例检测	134
9.4.2 原因分析	135
9.4.3 整改措施	135
9.5 硫化物引起的分层缺陷	135
9.5.1 典型实例检测	135
9.5.2 原因分析	136
9.5.3 整改措施	136
9.6 异常组织引起的分层缺陷	136
9.6.1 典型实例检测	136
9.6.2 原因分析	137
9.6.3 整改措施	138
9.7 折叠引起的分层缺陷	138
9.7.1 折叠缺陷的定义	138
9.7.2 折叠缺陷形式	138
9.7.3 典型实例检测及原因分析	140
9.7.4 整改措施	141
10 焊管冷弯开裂缺陷	142
10.1 试验材料及方法	142
10.2 焊管简介	142
10.2.1 无缝焊管原始材料的生产	142
10.2.2 直缝埋弧焊接钢管	143
10.2.3 螺旋焊管	144
10.3 非金属夹杂引起的焊管冷弯开裂缺陷	145
10.3.1 非金属夹杂概述	145
10.3.2 非金属夹杂的评定	145
10.3.3 硅酸盐类夹杂引起的焊管冷弯开裂缺陷	146
10.3.4 硫化物引起的焊管冷弯开裂缺陷	147
10.4 锆系耐材脱落引起的焊管冷弯开裂缺陷	149
10.4.1 铝碳-锆碳复合浸入式水口	149
10.4.2 铝碳-锆碳复合浸入式水口损毁机理	150
10.4.3 二氧化锆的物理性质	150
10.4.4 二氧化锆的晶型稳定	151
10.4.5 典型实例检测及原因分析	152
10.4.6 整改措施	153

10.5 加工硬化程度过高引起的焊管冷弯开裂缺陷	153
10.5.1 加工硬化及加工硬化曲线	153
10.5.2 加工硬化机理	155
10.5.3 典型实例检测及原因分析	159
11 冷轧镀锌板典型缺陷	161
11.1 试验材料及方法	161
11.2 表面漏镀缺陷	162
11.2.1 典型实例检测	162
11.2.2 原因分析	163
11.2.3 整改措施	163
11.3 黑点缺陷	163
11.3.1 典型实例检测	163
11.3.2 原因分析	164
11.3.3 整改措施	165
11.4 线状缺陷	165
11.4.1 典型实例检测	165
11.4.2 原因分析	166
11.4.3 整改措施	166
11.5 孔洞缺陷	166
11.5.1 典型实例检测	166
11.5.2 原因分析	167
11.5.3 整改措施	167
12 40Mn 链片断裂	168
12.1 试验材料及方法	168
12.2 非金属夹杂物引起的链片断裂	169
12.2.1 典型实例检测及原因分析	169
12.2.2 整改措施	170
12.3 带状组织引起的链片断裂	171
12.3.1 典型实例检测及原因分析	171
12.3.2 整改措施	172
12.4 C、Mn 元素含量偏低引起的链片断裂	173
12.4.1 典型实例检测及原因分析	173
12.4.2 整改措施	173

12.5 淬火加热时表面脱碳引起的链片断裂	173
12.5.1 典型实例检测及原因分析	174
12.5.2 整改措施	174
12.6 淬火冷却速度不足引起的链片断裂	174
12.6.1 典型实例检测及原因分析	174
12.6.2 整改措施	175
13 硫化物夹杂及成分偏析对 610L 钢冷弯开裂的影响	176
13.1 试验材料及方法	176
13.2 钢中硫化物	177
13.2.1 钢中硫化物的分类	177
13.2.2 钢中硫化物的形成原因	178
13.3 偏析缺陷	179
13.3.1 偏析缺陷的概念	179
13.3.2 偏析缺陷的分类及形成原因	179
13.4 610L 钢组织中的成分偏析	180
13.4.1 典型实例检测及原因分析	180
13.4.2 610L 钢成分偏析的整改措施	181
13.5 610L 钢断口硫化物分析	182
13.5.1 典型实例检测及原因分析	182
13.5.2 针对硫化物夹杂的整改措施	183
13.6 结论	184
14 冶金锯片用 65Mn 钢球化退火后矫直断裂	185
14.1 试验材料与方法	185
14.2 脆断形貌与组织	186
14.3 脆断断口及产生机理	187
14.4 热轧板粗大渗碳体片层产生机理	189
14.5 偏析原因与改进措施	191
14.6 结论	192
15 冶金锯片用 65Mn 热轧窄带钢硬度不均	193
15.1 试验材料及方法	193
15.2 化学成分不均对硬度的影响	194
15.3 珠光体片层间距对硬度的影响	195

15.4 带状组织对硬度的影响	196
15.5 脱碳层对硬度的影响	197
15.6 结论	198
16 冶金锯片用 65Mn 钢珠光体组织与性能的窄范围控制	199
16.1 试验材料及方法	199
16.2 终轧温度对组织和力学性能影响	200
16.3 终轧后冷速对组织和力学性能影响	201
16.4 卷取后冷速对组织和力学性能影响	203
16.5 结论	204
参考文献	205

1 绪 论

近年来,钢铁技术的发展、机械电气工业的进步与计算机控制技术的广泛应用使得板带钢生产技术进入了一个崭新的时代。然而,板带钢质量缺陷却一直是国内外钢厂感到棘手的问题,被认为是常见而又难以消除的顽症。板带钢生产易于出现诸如边裂线状或条带状缺陷、孔洞、疤坑、夹杂、氧化铁皮压入等问题,不仅严重影响板材外观质量,而且往往会恶化其使用性能,成为破裂与诱蚀的策源地,是应力集中的薄弱环节,易导致板带钢抗腐蚀性、抗层状撕裂能力、冲击等物理化学性能下降,同时也会给厂家及下游用户带来不必要的经济损失,增加企业生产成本。

国内外对板带钢缺陷的研究经历了相当曲折的道路,这是因为板带钢质量缺陷形态各异、形成原因复杂,会受到炼铁、炼钢、连铸、轧制、镀锌等诸多方面因素的影响。当原材料、加工工艺、加工设备等生产过程涉及的任何一个环节出现问题,都有可能对产品缺陷,并且有些缺陷外貌特征极为相似,不易区分。当受到捕捉缺陷源的困扰,以及现场工艺记录与实验室分析结果相矛盾时,要想重复原工艺再现缺陷又极其困难。尽管许多钢铁企业都配备有先进的图像在线检测手段,但在转化为生产力的过程中未能更多地结合实际生产的需要做出改进,没有克服生产环境的变化给这些技术实现带来的障碍,仍然不能完全避免最终产品中表面缺陷的形成。因此,缺陷的检测技术与质量控制对板带钢的生产显得尤为迫切与重要。

为了进一步提高检测的科学性,为工业的标准化生产提供准确的数据信息,同时也为了保持带钢表面缺陷分类的一致性,保护设备不受缺陷影响,并降低返工成本,十分有必要对板带钢的主要缺陷进行统一的评判,找出导致缺陷发生的根源所在,并有针对性地寻求最优解决措施,从而提升产品质量。这将有助于减少贸易纠纷,维护企业形象与信誉,保持企业核心竞争力。本书出于上述目的及原因,结合板带钢实际生产过程中所遇到的各种质量缺陷,利用先进的检测手段对其进行检测,并对板带钢质量与措施进行有效控制,这对于提升企业工艺设计水平与产品质量,降低成本,具有极其重要的指导意义和实用价值。同时,本书也可作为工程技术及高校、科研院所人员的一种生产实践及科研教学参考。

鉴于板带钢实际生产中存在众多质量缺陷及其检测手段不足这些问题,本书针对板带钢生产过程中质量缺陷特征与控制进行了详细研究。整个内容首先从板

带钢质量缺陷检测手段入手,对板带钢质量缺陷检测过程中所使用的检测仪器的构成、原理及操作进行简要介绍,然后根据板带钢实际生产中不同质量缺陷特征实例,结合相关研究内容以及国内外大量文献,对具体缺陷进行判定并加以分析研究,采用图文并茂的方式将板带钢实际生产中所涉及的炼铁、炼钢、连铸、热轧、冷轧及镀锌等实际工艺与理论分析充分结合,针对钢厂出现质量异议的钢板样品进行质量检测和分析,在分析传统依靠经验和工艺手册进行工艺设计的不足的基础上,提供一种更完善、更合理的工艺设计方法和生产过程控制措施,最终提升板带钢产品质量。

2 检测手段及分析原理

2.1 超声波清洗器

超声波清洗源于 20 世纪 60 年代。自超声波技术问世以来，科学家们发现：一定频率范围内的超声波，作用于液体介质里，可以达到清洗的作用。经过一段时间的研究和试验，不仅得到了满意的效果，而且发现其清洗效率极高，由此超声波清洗器被逐渐运用于各行各业中。在应用初期，由于电子工业的限制，超声波清洗设备电源的体积比较庞大，稳定性及使用寿命不太理想，价格昂贵，一般的工矿企业难以承受，但因其出色的清洗效率及效果，仍然受到部分实力雄厚的国有企业追捧。随着电子工业的飞速发展，新一代的电子元器件层出不穷，应用新的电子线路和电子元器件，超声波电源的稳定性及使用寿命进一步提高，体积减小，价格逐渐降低。

人们能听到的声音是频率 20~20000Hz 的声波信号，高于 20000Hz 的声波称之为超声波，声波的传递依照正弦曲线纵向传播，即一层强一层弱，依次传递，当弱的声波信号作用于液体中时，会对液体产生一定的负压，使液体内部形成许许多多微小的气泡，而当强的声波信号作用于液体时，则会对液体产生一定的正压，液体中形成的微小气泡被压碎。经研究证明：超声波作用于液体中时，液体中每个气泡的破裂会产生能量极大的冲击波，相当于瞬间产生几百度的高温和高达上千个大气压，这种现象被称之为“空化效应”，超声波清洗正是利用液体中气泡破裂所产生的冲击波来清洗和冲刷工件内外表面。

当超声波电源将日常供电频率改变后，通过输出电缆线将其输送到黏结在盛放清洗溶液的清洗槽底部的超声波发生器（换能器），由换能器将高频的电能转换成机械振动并发射至清洗液中。当高频的机械振动传播到液体里后，清洗液内部即产生空化现象，达到清洗的目的。由于超声波的频率很高，在液体中由于空化现象所产生的气泡数量众多且无所不在，因此对于工件的清洗可以非常彻底，即使是形状复杂的工件内部，只要能够接触到溶液，就可以得到彻底的清洗。又因为每个气泡的体积非常微小，因此虽然它们的破裂能量很高，但对于工件和液体来说，不会产生机械破坏和明显的升温。

2.1.1 超声波设备概述

超声波清洗器如图 2-1 所示，其采用超声波清洗的原理，可以达到物件全面