

GAODANG GANGBAN
SHENGCHAN GONGYI YU KONGZHI

高档钢板

生产工艺与控制

许秀飞 等编著



化学工业出版社

高档钢板生产 工艺与控制

许秀飞 等编著



化学工业出版社

·北京·

以镀锌和冷轧两大系列产品为主的高档钢板,代表了薄板产品的最高技术水平。本书详细介绍了低碳钢、超低碳钢、传统高强钢、先进高强钢等钢种的生产原理,以及热轧、酸洗、冷轧、镀锌、退火等主要生产过程的生产工艺,并涉及生产过程的控制技术。

本书作者长期在生产一线工作,内容从生产实际需要出发,以问答的形式,紧紧围绕问题点展开,通俗易懂,可读性强。

本书适合钢铁薄板制造和流动行业的研发、生产、技术、设备、质量、管理、销售人员,以及相关专业的高等院校和科研单位的师生、科研人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

高档钢板生产工艺与控制/许秀飞等编著. —北京:化学工业出版社, 2018.4
ISBN 978-7-122-31625-7

I. ①高… II. ①许… III. ①钢板-生产工艺
IV. ①TG335.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 040728 号

责任编辑:刘丽宏 段志兵
责任校对:宋 玮

文字编辑:孙凤英
装帧设计:刘丽华

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷:三河市延风印装有限公司

装 订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 18¼ 字数 493 千字 2018 年 8 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

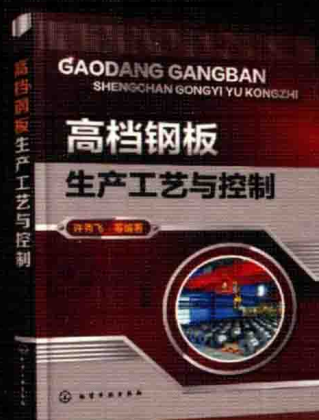
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:98.00 元

版权所有 违者必究



许秀飞，男，1962年7月1日出生，江苏省如皋市人，1982年1月毕业于南京工程学院金属材料专业，系教授级高级工程师、九三学社社员、长江师范学院特聘教授、重庆市涪陵区政协四届常委，获得全国钢铁工业劳动模范、重庆市有突出贡献的中青年专家、重庆市工业先进个人等荣誉称号，享受国务院特殊津贴，现任中冶赛迪高级咨询师，建有重庆市组织部认定的专家工作室。已经出版了《钢带热镀锌技术问答》和《钢带连续涂镀和退火疑难对策》两本专业著作，主持起草国家标准6项、行业标准8项。主持完成的多项成果，分获重庆市科技进步奖一等奖1项、二等奖1项、三等奖2项，以及浙江省科技进步奖二等奖1项；参与完成的成果，获得冶金行业科技进步一等奖1项、重庆市科技进步奖二等奖1项。





序

我国的宽带钢连续热镀锌技术已经走过了 30 年的发展历程。目前，我国宽带钢热镀锌板和退火板生产的规模已经处于国际领先的地位，产品的品种和质量也在不断赶超国际先进水平。特别是近几年来，高档钢板生产技术得到了飞速的发展。为此做出努力的有老一辈的热镀锌技术开拓者，有新一代工艺技术研究员，也有在生产一线默默无闻进行智能化设备操作的时代工匠，我们向各位同行推荐的许秀飞老师就是其中的杰出代表。

再先进的产品，没有生产操作人员的劳动也无法生产出来，即使是智能化高度发达的今天，无论是数学模型控制还是大数据分析系统，也仅仅是一种先进的工具，还要靠操作人员来驾驭并不断完善，许秀飞所做的工作就是将独特的操作技术与先进的智能化工具有机结合，解决了大量生产实际技术难题，提高了生产效率、降低了能耗，达到了优质产品和绿色环保国内先进技术水平。几年前，他将在国外学到的技术和自己在一线摸索出来的生产经验总结出来，编著了《钢带热镀锌技术问答》和《钢带连续涂镀和退火疑难对策》两部专著，对全国薄板行业的技术进步做出了贡献。目前，他又与时俱进，加入了中冶赛迪冷轧产品开发与智能化应用国家队，开展高档钢板产品生产工艺研究，以及数学模型控制和大数据系统在镀锌连退生产线的应用技术开发，并面向全国镀锌和退火行业开展技术咨询服务，编写了《高档钢板生产工艺与控制》专著，在书中不但介绍了各种软钢、高强钢镀锌和退火板的生产工艺原理，更重要的是对机电仪表设备，特别是智能控制系统技术进行了全面的说明，还有大量自己摸索出来的独特的经验和生产控制方法，成为智能控制的有机补充。

这本专著的出版发行是对我国宽带钢连续热镀锌、连续退火行业发展的一份最好的礼物。可以肯定，这本专著对镀锌和退火行业的技术人员，特别是对大量的生产现场操作人员一定会大有帮助。

中国带钢连续热镀锌奠基人：李汝金教授

全国冷轧协会副主席：张永泉教授

武钢特钢首席专家：张永泉教授

2018 年 4 月



前言

近几年来,我国高档热镀锌板和退火板生产规模迅猛增长,产品品种呈现不穷,生产技术飞速提高,从业人员逐年增多。为了满足大家系统性研究和学习高档钢板产品特点和生产技术的需要,编写了这本著作。

本书以高档钢板有关的生产技术人员、现场管理人员、操作技术骨干,以及科研人员、大学院校学生为读者对象,介绍了连续热镀锌板和退火板两大类产品的产品特点、工艺原理、生产技术、质量管理,以及生产设备、电气系统、智能控制等全方位的内容,还有作者在长期生产实践中摸索出的经验和方法,在钢种上既有传统的铝镇静钢、无间隙原子钢、高强钢,也有近几年发展起来的各种先进高强钢,确保读者有系统性、全面性的掌握。本书采用了问答的形式,以便读者的阅读与查找,内容由浅入深、环环紧扣,文字形象生动、通俗易懂,图表一目了然、简单明了,既适合初入门的各类人员,也适合有一定基础的从业人士。

本书由中冶赛迪许秀飞策划、统筹。中冶赛迪谢二虎参与编著了第一章的第四节、第五节,常州东方特钢陈水盛参与编著了第二章的第一节、第二节,冶金工业信息标准研究院赵晶晶参与编著了第三章的第五节~第七节,冶金信息标准研究院王姜维参与编著了第一章的第二节、第四章的第六节,中冶赛迪许秀飞编著了其他章节。我国带钢连续热镀锌奠基人李九岭教授和宝武集团张雨泉教授、张凤泉教授对书稿进行了认真的审核,提出了宝贵的修改意见,并作序向读者推荐。

在本书的编著过程中,得到了各方面的热情支持和帮助。书中吸收了行业内研究的最新成果,作者对此深表感谢!

同时,借此机会,向长期以来,从各个方面对笔者给予关怀帮助的,中国金属学会丁波教授,钢铁研究总院张启富教授、俞钢强教授、江社明教授、顾宝珊教授、刘忠诚教授、刘灿楼博士、仲海峰博士、陈彬锴博士,重庆大学王雨教授、梁小平教授、伍成波教授,宝武集团李九岭教授、张雨泉教授、张凤泉教授、杨芃教授,攀钢于丹教授、邹桂明教授、周山宝教授、郭太雄教授、徐权教授,首钢吕军教授、齐春雨博士,重庆理工大学朱新才、黄伟九教授,冶金工业信息标准院仇金辉教授、董莉教授,燕山大学王益群教授,常州大学苏旭平教授、彭浩平博士,长江师院彭程教授,重庆科技学院戴庆伟博士,武汉吉瑞汪晓林高级工程师,邯钢李守华博士,酒钢董世文教授,黄石山力马国和教授,以及其他多位专家、学者,表示衷心的感谢!

中冶赛迪、常州东方特钢和冶金工业信息标准研究院的多位领导和同事,对本书的编著提供了很大的便利和支持,对此深表感谢!

由于编著者水平有限,书中不足之处在所难免。

编著者

2018年4月



➡➡➡➡➡➡ 目录

第一章 常见各钢种生产工艺	1
第一节 铝镇静钢及其生产工艺	1
1. 什么是低碳钢和微碳钢的时效性?	1
2. 时效性产生的根本原因是什么?	2
3. 时效性与产品含碳量有什么关系?	2
4. 时效性与基体固溶碳含量有什么关系?	3
5. 低碳、微碳钢在退火加热时组织发生什么转变?	4
6. 微碳钢在退火加热时的组织转变有什么特点?	4
7. 低碳钢在退火加热时的组织转变有什么特点?	5
8. 低碳、微碳钢在连续退火保温时发生什么转变?	7
9. 低碳、微碳钢在连续退火冷却时发生什么转变?	7
10. 低碳、微碳钢在连续退火过时效阶段发生什么转变?	8
11. 低碳、微碳钢的组织对力学性能有什么影响?	8
12. 铝镇静钢常见元素各起什么作用?	9
13. 化学成分对铝镇静钢的性能有何影响?	9
14. 碳、锰含量对低碳钢的性能有什么影响?	10
15. 如何选择铝镇静钢的化学成分?	11
16. 理论上过时效处理温度有什么影响?	11
17. 连续退火工艺对产品性能有什么影响?	12
18. 快冷速度和过时效工艺对产品性能的影响?	15
19. 快冷速度和过时效温度对渗碳体形态的影响?	16
20. 快冷速度和过时效温度对渗碳体间距的影响?	17
21. 快冷速度是怎样影响晶粒内部固溶碳分布的?	18
22. 晶粒内部固溶碳分布的量化计算有什么结果?	19
23. 终冷后最大固溶碳的量化计算有什么结果?	19
24. 热镀锌生产工艺对产品性能有何影响?	20
第二节 镀锡基板生产工艺	21
25. 镀锡基板有何特点?	21
26. 镀锡基板的钢种如何分类?	22
27. 镀锡基板的化学成分有什么要求?	22
28. 镀锡基板的调质度如何分级?	22
29. 不同调质度产品的生产工艺有何不同?	23
30. 镀锡基板化学成分选择的原则是什么?	24
31. 如何选择镀锡基板的含碳量?	24
32. 镀锡基板加铌的原理如何?	24
33. 镀锡基板加氮的原理如何?	24
34. 如何采用连退生产所有调质度的镀锡基板?	25
35. 如何采用连退生产 T-1 级镀锡板?	26

36. 镀锡基板对炼钢有何要求?	26
37. 镀锡基板对连铸有何要求?	26
38. 镀锡基板对轧制有什么要求?	27
第三节 无间隙原子钢及其生产工艺	27
39. 什么是无间隙原子钢?	27
40. Ti-IF 钢和 Nb-IF 钢的性能有什么差异?	27
41. Ti-IF 钢和 Nb-IF 钢的组织有什么差异?	28
42. (Ti + Nb)-IF 钢有什么特点?	28
43. IF 钢的生产工艺有什么特点?	29
44. 如何选择 IF 钢的合金元素含量?	30
45. 如何选择 IF 钢的含碳量?	30
46. IF 钢有哪几种冶炼工艺路线?	32
47. IF 钢的冶炼工艺有什么要点?	32
48. IF 钢的热轧工艺有什么要点?	33
49. IF 钢的冷轧工艺有什么要点?	34
50. IF 钢的退火工艺有什么要点?	34
51. 如何确定 (Ti + Nb)-IF 钢的退火工艺?	35
第四节 传统高强钢及其生产工艺	35
52. 钢材常见的强化途径有哪些?	36
53. 汽车板生产中常用哪些强化方法?	36
54. 高强度低合金钢有什么特点?	37
55. 磷强化低合金钢有什么特点?	38
56. 如何确定高强度低合金钢的生产工艺?	39
57. 高强 IF 钢有什么特点?	39
58. 在高强 IF 钢中常加入哪些合金元素?	40
59. 不同合金元素对高强 IF 钢的性能有什么作用?	40
60. 如何选择高强 IF 钢的化学成分?	41
61. 如何确定高强 IF 钢的生产工艺?	42
62. 烘烤硬化钢有何特点?	43
63. 如何选择 BH 钢的化学成分?	44
64. BH 钢的生产工艺有何特点?	44
65. BH 钢的退火工艺与性能有什么关系?	45
第五节 先进高强钢及其生产工艺	47
66. 什么是先进高强钢?	47
67. 冷轧薄板常见哪些组织?	48
68. 常见组织的性能有什么特点?	49
69. 什么是过冷奥氏体转变的 TTT 曲线?	50
70. 过冷奥氏体等温状态发生哪些转变?	51
71. 什么是过冷奥氏体的 CCT 曲线?	51
72. 怎样通过调整冷却路线来改变组织的性能?	53
73. 什么是 DP 钢、FB 钢和 CP 钢?	53
74. DP 钢的组织有什么特点?	54
75. DP 钢的性能有什么特点?	55
76. DP 钢化学成分有什么特点?	55

77. DP 钢对热轧和冷轧工艺有什么要求?	56
78. DP 钢对连续退火工艺有什么要求?	56
79. 如何选择 DP 钢的连续退火工艺参数?	57
80. 什么是 TRIP 钢?	58
81. TRIP 钢的组织有什么特征?	59
82. TRIP 钢各种组织分别起什么作用?	60
83. TRIP 钢的性能有什么特点?	62
84. TRIP 钢的化学成分对性能有什么影响?	62
85. TRIP 钢轧钢工艺有什么要求?	63
86. TRIP 钢连续退火工艺有何特点?	63
87. 什么是 TWIP 钢?	65
88. TWIP 钢的组织和性能有什么特点?	66
89. TWIP 钢的化学成分有什么特点?	68
90. 什么是马氏体高强度钢 (Ms 钢)?	69
91. 淬火过程的马氏体转变有什么特点?	69
92. 马氏体钢生产工艺有什么特点?	70
93. 什么是 Q&P 钢?	72
94. Q&P 钢连续退火工艺有什么特点?	73
95. Q&P 钢与马氏体钢有什么区别?	74
96. 如何选择 Q&P 工艺参数?	74
97. 如何选择 Q&P 钢的成分?	75
98. 什么是中锰钢?	75
99. 中锰钢的化学成分有什么特点?	76
100. 中锰钢的生产工艺有什么特点?	76
101. 中 Mn-TRIP 钢的组织有何特点?	77
102. 中锰钢的组织强化机理如何?	78
103. 什么是热成形钢?	78
104. 热成形钢的化学成分有什么特点?	80
105. 热成形钢板的退火工艺有什么特点?	81
106. 热成形钢对镀层有什么要求?	82
107. 热成形钢对热成型工艺有什么要求?	83
第二章 轧钢生产工艺	86
第一节 热轧生产工艺	86
1. 板坯加热温度对冷轧产品力学性能有什么影响?	86
2. 热轧工艺对冷轧产品铁素体的晶粒有何影响?	86
3. 热轧工艺对渗碳体形态有何影响?	87
4. 不同的温度组合会有怎样不同的结果?	87
5. 如何选择终轧温度和冷却速度?	88
6. 如何选择罩退产品的卷取温度?	88
7. 如何选择连退产品的卷取温度?	89
8. 热轧带钢质量的主要指标有哪些?	90
9. 如何提高除鳞效果?	90
10. 带钢的厚度偏差产生的主要原因有哪些?	91
11. 带钢的宽度偏差产生的主要原因有哪些?	91

第二节 酸洗生产工艺	92
12. 为什么要对热轧板进行酸洗?	92
13. 去除氧化皮的方法有哪些?	92
14. 带钢表面氧化铁皮的结构是怎样的?	92
15. 典型的酸洗工艺流程如何?	93
16. 拉矫破鳞的工艺原理如何?	93
17. 酸洗去除氧化皮的工艺原理如何?	94
18. 酸洗后为什么要进行水洗?	94
19. 如何选择酸洗所用的酸?	95
20. 浅槽酸洗有何特点?	95
21. 紊流酸洗有何特点?	96
22. 带钢酸洗机组的主要形式有哪些?	97
23. 推拉式酸洗生产线有何特点?	97
24. 连续式酸洗生产线有何特点?	98
25. 酸洗-冷轧联合生产线有何特点?	99
26. 带钢酸洗会产生哪些缺陷?	99
第三节 冷轧生产工艺	101
27. 冷轧生产有什么特点?	101
28. 按辊系结构分, 冷轧有哪些主要形式?	101
29. 按轧制的形式分, 冷轧机有哪些主要形式?	102
30. 冷轧机组由哪些部分组成?	103
31. 轧机机架由哪几部分组成?	103
32. 轧机的检测仪表有哪些?	104
33. 可逆式冷轧工艺有什么特点?	104
34. 连续式轧制工艺有什么特点?	105
35. 全连续式轧机工艺有什么特点?	106
36. 酸连轧式冷轧工艺有什么特点?	107
37. 为什么要对带钢的厚度进行检测?	108
38. 什么是厚度自动控制 (AGC) 系统?	108
39. 为什么要对带钢的板形进行控制?	109
40. 如何对带钢的板形进行测量?	110
41. 带钢的板形与哪些因素有关?	110
42. 如何设计轧辊的原始辊形?	111
43. 如何进行实际辊形的控制?	111
44. 四辊轧机是如何控制板形的?	112
45. 六辊 HC 轧机是如何控制板形的?	112
46. CVC 轧机是如何控制板形的?	114
第三章 镀锌生产工艺与设备	116
第一节 镀锌前处理和退火设备	116
1. 怎样提高电解脱脂的效果?	116
2. 碱液磁过滤设备的构成与技术原理如何?	117
3. 对连续退火燃烧技术有什么新的要求?	119
4. 影响氮氧化物产生的因素有哪些?	119
5. 常用的“高温低氮”燃烧技术有哪些?	120

6. 烟气外循辐射管的结构和原理如何?	121
7. 双 P 型辐射管的结构和原理如何?	122
8. 直焰炉为什么重新被人们所重视?	123
9. 直焰炉如何进行布置设计?	124
10. 还有哪些降低氮氧化合物的措施?	125
11. 怎样防止炉内因为喷气引起的炉灰?	125
12. 高频感应加热的原理如何?	126
13. 炉内带钢温度测量会受到哪些因素的影响?	127
14. 如何准确测量带钢的温度?	127
15. 镀锌线用辐射高温计有几类?	128
16. 退火炉露点的控制有什么意义?	128
第二节 热浸镀锌设备	129
17. 怎样提高锌锅温度的控制精度?	129
18. 锌锅升降装置有什么作用?	131
19. 无芯感应锌锅有什么特点?	131
20. 锌锅辊系常用的喷涂方法和材料有哪些?	132
21. 怎样提高锌锅辊系刮渣器的效果?	134
22. 锌锅辊系用轴承的失效原因有哪些?	134
23. 常用的锌锅辊系轴承材料有哪些?	135
24. 锌锅辊系轴承采用什么方法加工?	136
25. 常用锌锅辊系轴承轴套和轴瓦有哪些装配形式?	137
26. 常用锌锅辊系轴承与辊臂有哪些连接形式?	137
27. 带钢表面的白线状缺陷是什么原因产生的?	140
28. 怎样采用炉鼻加湿控制锌灰的产生?	141
29. 怎样通过炉鼻内气体过滤控制锌灰的产生?	142
30. 怎样使用锌泵将炉鼻内的杂质排出?	143
31. 电磁稳定装置是怎样防止带钢振动的?	144
32. 带钢气垫防振器的原理如何?	146
33. 怎样提高镀后冷却速度?	147
34. 怎样防止镀后冷却风箱造成的带钢飘动?	148
35. 举例说明解决带钢飘动问题?	149
36. 镀锌板表面高压水清洗系统有什么作用?	151
37. 自动辊面擦拭器有什么优点?	151
第三节 带钢热镀锌工艺	152
38. 汽车板对表面质量有什么要求?	152
39. 锌锅内成分和温度是怎样分布的?	153
40. 锌锅含铝量是怎样影响铁溶解在锌液中的?	154
41. 锌锅含铝量是怎样抑制带钢与锌液的反应的?	155
42. 锌锅含铝量与镀锌层含铝量有什么关系?	157
43. 怎样提高锌锅内有效铝含量?	157
44. 锌锅温度和成分的波动对锌渣的产生有何影响?	158
45. 带钢热镀锌工艺参数设定的原则是什么?	159
46. 锌锅温度控制的依据是什么?	160
47. 怎样进行锌锅温度的动态精准控制?	161

48. 怎样保证带钢入锅温度的精确性?	161
49. 怎样进行带钢温度的动态精准控制?	162
50. 怎样解决与镀锌工艺参数相关的产品缺陷?	163
51. 为什么要采用镀锌附着量的数学模型控制?	164
52. 影响镀锌量的主要因素有哪些?	164
53. 采用镀锌附着量数学模型控制的原理如何?	165
54. 怎样采用大数据的方法进行镀锌量的精确控制?	166
55. 采用大数据进行镀锌量的精确控制有什么优越性?	167
第四节 高强钢镀锌板生产工艺	167
56. 在镀锌线生产 DP 高强钢有哪两种工艺路线?	167
57. 在镀锌线上如何生产 TRIP 钢?	168
58. DP 钢与 TRIP 钢对退火炉结构有什么特殊要求?	169
59. 怎样采用高速冷却工艺生产高强钢?	169
60. 什么是合金元素的选择性氧化现象?	170
61. 合金元素的选择性氧化对镀锌有什么影响?	171
62. 预氧化-还原工艺的原理是什么?	172
63. 怎样选择预氧化的工艺?	172
64. 预氧化工艺是怎样实现的?	174
65. 如何进行预氧化工艺的控制?	174
第五节 合金化镀锌板生产工艺	175
66. 合金化镀锌钢板有何性能特点?	175
67. 合金化热镀锌钢板的生产需要增加什么设备?	177
68. 合金化镀层的形成有哪几个步骤?	179
69. 什么是合金化度?	180
70. 怎样检测合金化镀锌板的合金化度?	181
71. 影响合金化进程的主要因素有哪些?	181
72. 为什么合金化镀锌板易产生镀层剥离缺陷?	182
73. 怎样消除合金化镀锌板的镀层剥离缺陷?	182
74. 怎样消除合金化镀锌板表面的缺陷?	183
第六节 镀铝锌硅板生产工艺	185
75. 热浸镀铝锌硅板有什么特点?	185
76. 镀铝锌硅生产设备主要有什么特点?	186
77. 镀铝锌硅生产工艺有什么主要特点?	186
78. 镀铝锌硅底渣是从何而来的?	187
79. 铝锌硅渣主要是由哪些成分组成的?	188
80. 铝锌硅渣主要有哪几种形式?	189
81. 顶渣是怎样形成的?	189
82. 悬浮渣是怎样存在于熔体内的?	190
83. 悬浮游渣有什么危害?	190
84. 底渣是怎样存在于锅底的?	191
85. 硅含量与温度对铁的溶解度有何影响?	191
86. 硅含量对底渣的形态有什么影响?	192
87. 铝锌硅锭是如何生产的?	193
88. 对铝锌硅锭质量有什么要求?	193

89. 怎样减少铝锌硅渣的产生量?	194
90. 怎样防止和处理镀锅结渣?	194
第七节 镀锌铝镁板与镀铝板的生产	195
91. 热浸镀锌铝镁板镀层有哪些种类?	195
92. ZAM 镀层成分是怎么确定的?	196
93. 锌铝镁板的组织有什么特点?	196
94. 锌铝镁板的耐腐蚀机理有什么特点?	197
95. 锌铝镁板的耐腐蚀性能有什么特点?	198
96. 锌铝镁板的加工性能有什么特点?	199
97. 锌铝镁板的生产技术有什么特殊性?	199
98. 锌铝镁的板生产有哪些难点?	199
99. 锌铝镁板生产技术有哪些对策?	200
100. 镀铝钢板有什么特点?	200
101. 镀铝板的生產有哪些难点?	201
102. 镀铝生产如何进行还原退火炉气氛控制?	202
103. 如何进行热浸镀铝工艺控制?	204
104. 如何进行镀铝的镀层控制和镀后冷却?	205
第四章 退火生产工艺与控制	207
第一节 连续退火炉的温度控制	207
1. 连续退火炉中热量传递有哪几种基本方式?	207
2. 辐射管提供的热量有哪几部分?	208
3. 怎样进行带钢的热平衡计算?	208
4. 怎样计算退火炉能耗?	209
5. 炉温控制系统有几级?	210
6. 双交叉限幅比例控制法原理如何?	210
7. 双交叉限幅比例控制法有何优缺点?	211
8. 如何进行烧嘴燃烧的平衡控制?	211
9. 板温控制系统是怎样实现的?	212
10. 脉冲控制法原理如何?	212
11. 脉冲控制法有何优缺点?	213
12. 如何进行空燃比的精确控制?	214
13. 为什么要采用数学模型进行板温控制?	214
14. 什么是数学模型控制系统?	214
15. 数学模型控制系统可以达到什么效果?	214
16. 数学模型系统离线仿真有哪些功能?	215
17. 数学模型系统在线运行有哪些功能?	215
18. 数学模型控制的流程和方法是什么?	215
19. 如何进行带钢温度的计算?	216
20. 带钢加热过程有哪几种优化方法?	216
21. 产品变化时数学模型控制有什么特别意义?	217
22. 产品变化时数学模型是怎样进行控制的?	217
23. 斯坦因的换带数学模型有何特点?	218
24. CMI 的换带数学模型有何特点?	219
25. 赛迪换带数学模型有何特点?	220

26. 赛迪换带数学模型的具体步骤如何?	220
第二节 连续退火炉张力控制	221
27. 退火炉张力控制有什么特殊意义?	221
28. 退火炉张力控制有什么难点?	221
29. 为什么炉内带钢的张力会发生波动?	222
30. 退火炉转向辊是怎样影响炉内张力的?	222
31. 炉内张力波动与炉辊结瘤有什么关系?	223
32. 如何防止炉辊结瘤?	223
33. 为什么要使用炉内张力辊?	224
34. 怎样选择炉区传动控制的速度基准辊?	224
35. 炉内张力控制采用什么模式?	225
36. 炉内张力是怎样分区控制的?	226
37. 炉内各个张力控制区是怎样实现级联控制的?	226
38. 高精度炉内张力控制模型有什么功能?	228
39. 什么是炉内张力控制的加减速电流前馈控制?	228
40. 什么是炉内张力控制的张力电流前馈补偿?	229
41. 什么是炉内张力控制的机械损耗前馈补偿?	229
42. 什么是炉内张力控制的 S 型速度给定算法?	229
43. 炉内带钢在长度方向上的张力大小如何分布?	230
44. 决定炉区带钢单位张力的根本原则是什么?	231
45. 炉区带钢安全运行单位张力与宽度有什么关系?	231
第三节 连续退火的冷却工艺	232
46. 现代连退工艺对冷却技术有什么要求?	232
47. 连续退火冷却技术是怎样发展起来的?	232
48. 液体介质冷却技术有什么特点?	233
49. 辊冷技术有什么特点?	234
50. 高速气体喷射冷却技术有什么特点?	234
51. 高氢保护气体喷射冷却技术有什么特点?	235
52. 气体喷射冷却系统设计不能忽略什么问题?	236
53. 气体喷射冷却系统的喷嘴有几种形式?	237
54. 气体喷射冷却系统的风箱有几种形式?	238
55. 缓冷段气体喷射冷却有什么特点?	240
56. 怎样防止带钢的抖动?	241
第四节 连续退火炉炉辊运行技术	241
57. 为什么炉辊要设计凸度?	241
58. 影响辊形选择的因素有哪些?	242
59. 炉辊凸度与带钢的走偏和瓢曲有什么关系?	242
60. 什么是炉辊的实际凸度?	243
61. 带钢的板形对炉辊热凸度有何影响?	244
62. 带钢温度对炉辊凸度有何影响?	244
63. 带钢运行速度对凸度有何影响?	244
64. 带钢的规格对炉辊的凸度有什么影响?	245
65. 隔热板有几种形式和作用?	246
66. 热凸度控制系统有何作用?	247

67. 如何控制冷却段炉辊的凸度?	248
68. 如何决定炉辊的表面粗糙度?	248
69. 如何选择炉辊涂层?	249
70. 影响带钢产生瓢曲的因素有哪些?	250
71. 发生瓢曲时如何进行应急处理?	250
第五节 连续退火炉稳定通板技术	251
72. 稳定通板技术包含哪些内容?	251
73. 不同板形的原料对连退炉运行有什么影响?	252
74. 连退炉对原料板形有什么要求?	252
75. 如何对产品退火模式进行归类?	253
76. 加热周期变更时各炉区要注意什么?	254
77. DP 模式与低碳模式之间如何进行转换?	255
78. 低碳模式与超低碳模式之间如何进行转换?	256
79. 低碳或超低碳模式与 BH 模式之间如何进行转换?	256
第六节 罩式退火生产工艺	257
80. 什么是罩式退火工艺?	257
81. 钢卷在罩式退火前的预清洗处理有什么特殊要求?	257
82. 如何选择罩式退火用的脱脂剂?	257
83. 如何进行罩式退火前的预清洗?	258
84. 如何提高涂硅和清洗效果?	258
85. 罩式退火炉的结构原理如何?	259
86. 罩式退火的工艺流程怎样?	260
87. 罩式退火炉的传热原理如何?	261
88. 为什么要采用强对流方法?	262
89. 为什么要采用高氢或全氢保护气体?	262
90. 罩式退火的钢卷温度如何控制?	263
91. 什么是罩式退火钢卷的热点和冷点温度?	263
92. 如何进行退火温度的控制?	264
93. 如何确定退火工艺参数?	264
94. 典型钢种的参考退火工艺参数如何?	265
95. 影响退火时间的主要因素有哪些?	266
附录	268
参考文献	278

常见各钢种生产工艺

第一节 铝镇静钢及其生产工艺

1. 什么是低碳钢和微碳钢的时效性？

到目前为止，虽然高冲压性能的 IF 钢和各种高强钢不断出现，生产技术也很成熟，使用的比例越来越大，但是采用铝镇静钢生产的 CQ、DQ 和部分 DDQ 级的产品仍然占据了相当大的比例，包括低碳钢和微碳钢。其中低碳钢一般指含碳量在 0.02%~0.10% 范围内的碳钢，微碳钢一般指含碳量在 0.01%~0.02% 范围内的碳钢，其生产技术有着很显著的特点，最大的特点就是具有时效性。

时效是指金属材料的性能随着时间的延长而改变的现象。低碳钢和微碳钢的时效性非常显著，用低碳钢和微碳钢生产的冷轧产品，不管是冷轧板、镀锌板还是彩涂板都有很强的时效性。低碳钢和微碳钢冷轧类产品的时效性表现在，生产了一段时间以后，一是机械性能发生变化，强度上升、塑性下降；二是已经在生产过程中消除掉的屈服平台又重新出现。这两者都会影响板材的加工性能，一方面屈服强度的提高，会使冲压加工的难度增加；另一方面有屈服平台的板材，会在加工时产生局部不均匀变形，即加工滑移线或滑移带，学名吕德斯带，造成橘皮类缺陷，影响产品的表面质量和使用性能。

这种时效性随着生产以后时间的延长，越来越明显。因此，采用低碳钢和微碳钢生产的冷轧类产品必须在生产以后尽快加工，否则就会因时效问题而影响加工性能。但在实际中是很难做到随时生产随时加工的，从这一点来看时效性是制约铝镇静钢应用的一大因素。

考核低碳钢时效性大小的指标是时效指数（AI），检测的方法是先在拉力试验机上使试样拉伸屈服，产生 8% 的拉伸预应变，同时产生一定的加工硬化值（WH）后卸载，这时一般情况下预应变的作用已经消除了屈服平台。接下来进行 100℃ 加热和保温 1h 的人工时效热处理，然后再进行拉伸，此时由于时效硬化作用，屈服强度会有所提高，并产生屈服平台，提高后的屈服强度值与第一次拉伸时的屈服强度、产生的加工硬化值之和的差，即为时效硬化值，即时效指数，如图 1-1 所示。

经验表明，为了保证钢板在夏季的 3 个月内不会因自然时效而出现性能恶化，必须要求应变时效指数在 30MPa 以下。

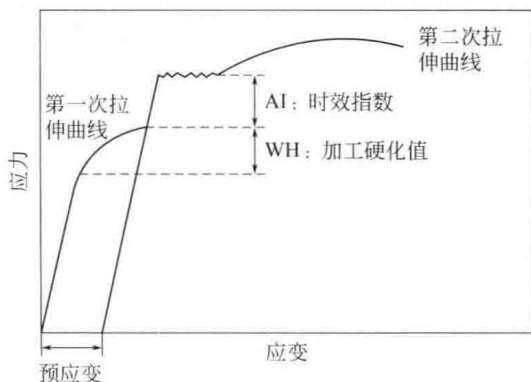


图 1-1 时效指数测量的方法