



国际电气工程先进技术译丛

钢铁制造中的过程控制

鉄鋼業における制御

(日) 高桥亮一 著

马立新 译



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

国际电气工程先进技术译丛

钢铁制造中的过程控制

(日) 高桥亮一 著
马立新 译



机械工业出版社

由于钢铁制造是一个批量化大规模生产的过程,若能够进行高准确度的控制,则工业生产的效益就会有很大的改善,本书在这方面研究尝试了各种先进的控制方法和技术。在钢铁制造中,从处理伴随着化学反应、固态和液态的相变化的高温熔化的炼铁与炼钢的过程开始,到钢板、钢管、棒材、型钢等多种形态的钢铁制品的塑性成型加工过程中存在各种的工序。本书围绕生产量最多的薄钢板,各章节中就炼铁、炼钢、热轧、冷轧、表面处理的各个制造过程和控制进行了介绍。其内容包括:钢铁制造过程与控制;炼铁过程的控制;炼钢过程的控制;带钢热轧机的控制;带钢冷轧机的控制;连续退火与表面处理过程的控制。

本书适应于从事工业自动化控制工程和理论研究的工程技术人员,以及大专院校相关专业的师生参考。

Copyright © 2002 by Ryoichi Takahashi & Corona Publishing Co., Ltd.

All rights reserved. Chinese translation rights arranged with Corona Publishing Co., Ltd. Tokyo, Japan through TOHAN CORPORATION. Tokyo, Japan.

本书的中文简体字版由机械工业出版社出版,未经出版者书面允许,本书的任何部分不得以任何方式复制或抄袭。版权所有,翻印必究。

本书版权登记号:图字01-2009-5472号

书名原文:鉄鋼業における制御

英文书名:Control Technology in Steel Industry

图书在版编目(CIP)数据

钢铁制造中的过程控制/(日)高桥亮一著;马立新译.—北京:机械工业出版社,2014.1

(国际电气工程先进技术译丛)

ISBN 978-7-111-44826-6

I. ①钢… II. ①高…②马… III. ①钢铁工业—生产过程控制 IV. ①TF4

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第274533号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:张沪光 责任编辑:张沪光

版式设计:霍永明 责任校对:佟瑞鑫

封面设计:赵颖喆 责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2014年1月第1版第1次印刷

169mm×239mm·9.5印张·183千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-44826-6

定价:39.90元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203

封面防伪标均为盗版

译者序

统计显示,2012年全球粗钢总产量为15.478亿t,由于根据微量元素的调节与加工方法而异,其强度、延展性、韧性等存在不同,因而被广泛地使用在不同的地方,钢铁占金属材料总使用量的约95%。被称为钢板、钢管、棒材的钢铁产品,是由原材料的铁矿石与煤炭经过多种的制造过程而制成的。因此,控制技术在产品品质提高、生产性能提高、降低制造成本等方面发挥着很重要的作用。日本的钢铁制造业早在1960年引进了计算机控制,并且推进了制造过程的自动化,现在的控制功能几乎已经覆盖了制造过程的全部范围。其结果是生产效率提高、品质提高、成品率及单位能源消耗等生产诸环节中的效果有了很大的提高,处于世界领先地位。

从炼铁、炼钢过程到轧制加工过程,再到热处理、表面处理过程等诸多过程的钢铁生产环节中,要推进产品品质、成品率的提高,节能及自动化、省力的基础技术中,控制技术的作用至关重要。再者,由于钢铁制造过程为批量大规模生产过程,若能实现高准确度的控制,则钢铁制造工业的效益会更显著,从而能够带动人们积极尝试各种各样先进的控制方法。

本书主要基于上述理念研究探讨适用于各个过程的控制方法,其很大一部分依赖于控制模型与控制目的。对于炼铁与炼钢过程,以固相、气相、液相的流动与变化或者伴随化学反应的现象作为控制对象,论述从描述现象的物理、化学规则到构筑的数学模型。针对带钢热轧机的加热、轧制、冷却的各过程的现象,建立实时处理的数学模型与使用这个数学模型的控制进行讨论。以连轧机为主要内容介绍了带钢冷轧机的控制。然后对带钢冷轧机中被冷轧制的钢板,进行连续退火炉的板温控制及表面处理的镀着量控制做了介绍。

本书的内容以系统建模和分析、过程控制及其控制方法为主线,讨论炼钢过程的控制方法与技术。译者多年来从事智能科学与控制技术的研究应用、电气自动化与信息处理以及翻译工作,对该领域技术和发展趋势有着浓厚的研究兴趣。本书的翻译工作得到了许多本领域专家的建议,在此表示真诚的感谢。由于译者的水平有限,如有错误与不妥之处,敬请批评指正。在此向所有关注我的人们谨致谢忱。

译者

2013年7月

原 书 序

有过试图尽可能快地，并以更低价格地生产出更好的产品的人，大概都有一种欲罢而不能的感受。在生产的第一线，几乎是日益增长永无止境地追求着这个目标，而控制工程领域为了实现此目标做出了贡献。作为实现上述目标的直接方法，自动装置（Automation）是第二次世界大战以后在欧洲诞生的术语，控制技术则是占据了其核心的关键技术（Key Technology）。说到自动装置，自然让人联想到“自动化”，但是现代控制技术并不仅仅是“自动化”，还会通过结合“系统化”，“最优化”和“智能化”，为了更快、更低成本地生产更好的产品，在各个产业领域中不断地突破极限。

控制技术并不只是在产品制造过程中，在产品的使用中也被灵活地应用。为了提高汽车、照相机、空调等消费品的功能，内置先进的控制技术，使其附加值得以提高。适用于制造技术的控制产品技术方面的应用范围也在快速扩大。而且在制造业范畴之外，控制技术也在日新月异地发展。

例如，飞机、火车、船舶等交通工具的控制是现代控制技术的一个重点，在环境工程中控制技术也发挥了关键技术的作用，而且通过家庭自动化（Home Automation），控制技术在提高个人生活方面也做出巨大贡献。

最近，控制技术的显著发展在很多情况下负有推动各产业领域的具体技术进步的责任。作为控制技术的基础是传感器和传动装置，如果没有与之相关的信号处理技术的进步，以及包含通信或图形接口的软件、硬件这两项计算机技术的进步，是根本得不到发展的。另一方面，控制技术也是与各行业共通而普遍的技术。是所谓的“跨学科”的技术，具有跨越了各行业具体技术的通用性技术。

这个情景类似于“材料”。“材料”在自然科学（物性物理或化学等）中有着普遍性，对控制而言，控制理论就充当了这个角色。控制理论和其他工程理论相比较，不仅有非常古老的历史，最近也取得了令人瞩目的发展。作为控制普遍性学科，其控制理论与产业现场的控制技术之间的关系并不是直接的，但是却有很强的关联性。控制技术在近年来的发展中，控制理论发挥了至关重要的作用。

本系列专著中，产业界的控制技术的最新发展，以“控制理论的贡献”为主线来介绍各领域中的成熟技术。基于控制理论的控制系统设计“追求合理性”，就是指在基本成型的产品生产现场可以达成怎样的控制效果，作为这个系列专著的中心课题。到目前为止，已经出版过大量控制理论方面的教科书、手

册和专业书，有限领域或对象的控制技术方面的手册类书籍也不在少数。但是到目前为止至少在日本还没有出版过像本系列专著这样覆盖各个产业领域，从理论观点讲述与技术相关的控制方面书籍。我们相信这个系列专著会给在制造或开发现场兢兢业业工作的控制技术人员、希望了解控制理论应用现状的研究人员，以及学习控制相关知识的大学生们提供一个十分有用的参考书。

书中，变形后的瓦特离心调速器的封盖设计图样是由北神由子提供的[⊙]。并借此机会对向本系列专著提供了相应产品的各位表示衷心的感谢。

策划、编辑委员长 木村 英纪

⊙ 译著封面未采用此图。

前 言

作为工业控制系列著作之一的《钢铁制造中的过程控制》自策划以来经过了数年，这期间，钢铁行业周围的环境也发生了很大的变化。继 20 世纪 60~70 年代的高速增长期的大型化、高速化，到这之后的 80~90 年代初期的高品质化、节能化的设备投资相继出现，新型控制系统的研究开发非常的活跃。

由于钢铁制造是一个批量化大规模生产的过程，若能够进行高精度的控制，则工业生产效果会有很大的改善，在这方面积极尝试了各种先进的控制方式。在经济形势发生着变化、设备投资减少的当今时代，日本国内的控制系统没有太多新型开发，高品质、高成品率、节能、高生产率，即以实现更快的速度和更便宜的价格生产出合格商品为目标的技术进步在生产活动中继续发展的空间是有限的，因此没有控制技术就不可能实现制造技术的进步。在追求以高效率生产出高质量的新产品的技术之基础上，控制技术的作用在今后将会发挥更大的作用。

在钢铁制造中，从处理伴随着化学反应、固相和液相的相变化的高温熔化的炼铁与炼钢的过程开始，到钢板、钢管、棒材、型钢等多种形态的钢铁制品的塑性成型加工过程中存在各种的工序。若要全部介绍这些过程的内容，有限的版面是很难完成的。本书围绕生产量最多的薄钢板，各章节中就以炼铁、炼钢、热轧、冷轧、表面处理的各个制造过程进行了介绍。

本书将重点介绍炼钢过程的建模与以此模型为基础的控制，将用较大篇幅分析描述过程的数学模型。对于控制而言，必须充分理解控制对象的行为。因此，对于控制技术者而言，构筑表现控制对象的数学模型是研究工作的开端。对于对钢铁制造过程不熟悉的读者而言略微有点详细了，但这样做是希望读者们深刻理解控制过程的特征。

另外，合适的控制方法根据对象过程的动态特性与外部干扰的特征或者要求规范由设计者选择。因此，设计者重点阅读书中的哪一部分可以根据各种不同的控制方法的应用而决定，由于本书的叙述方法在不同的状况下所选择的方法未必是最为合适的，读者可以当做参考书来阅读。本书中不仅是针对炼铁炼钢过程的控制方法，在其他各种各样的过程中应用控制技术的情况下也可以参考本书。

在本书编纂的过程中，首先得到了以住友金属工业（株式会社）综合技术研究所测量控制研究开发部的各位的多方面的帮助。特别是，柏原 义之（第 2 章），岩村 健、北田 宏（第 3 章），木村 和喜（第 4 章）、大井 俊哉（第 5 章），上田 一郎（第 6 章），不仅是资料的引用，还得到了很多的建议，对此一并表示衷心的感谢。

最后，对本系列的策划、编辑委员长木村 英纪教授给予的鼓励与指导表示深切的感谢。

高桥 亮一
2002 年 8 月

目 录

译者序

原书序

前言

第 1 章 钢铁制造过程与控制	1
1.1 钢铁业的发展与控制技术的作用	1
1.2 钢铁制造过程	2
1.2.1 炼铁的过程	2
1.2.2 钢铁制造过程	3
1.2.3 热轧过程	4
1.2.4 冷轧与表面处理过程	5
1.3 钢铁制造过程的控制	6
参考文献	8
第 2 章 炼铁过程的控制	9
2.1 高炉炉况控制	9
2.1.1 炉况监视	10
2.1.2 铁液温度控制	11
2.2 热风炉的燃料投入量控制	15
2.2.1 热风炉的过程模型	15
2.2.2 热风炉燃料投入量控制	17
2.3 炼焦炉的排放温度控制	21
2.3.1 炼焦温度预测模型	22
2.3.2 炉膛热量输入控制	23
2.4 烧结品质控制	25
2.4.1 烧成成品成分控制	26
2.4.2 烧透点控制	26
2.5 小结	27
参考文献	27
第 3 章 炼钢过程的控制	28
3.1 转炉吹炼控制	28
3.1.1 转炉的炉内反应模型	29
3.1.2 采用辅助喷枪的动态控制	33
3.2 转炉炉口压力控制	35

3.3 连铸机铸模内的金属液面控制	36
3.3.1 钢液液位控制系统的概要	36
3.3.2 过程的模型化	37
3.3.3 根据 H^∞ 控制理论的金属液液位控制系统的设计	38
3.3.4 应用于调节器的设计与实际过程	40
3.4 连铸机二次冷却控制	42
3.4.1 铸锭温度计算铸模	43
3.4.2 控制方法	45
3.5 小结	46
参考文献	46
第4章 带钢热轧机的控制	48
4.1 连续加热炉的燃烧控制	48
4.1.1 控制系统的构成	49
4.1.2 材料温度计算模型	50
4.1.3 目标抽出温度计算模型	51
4.1.4 抽出间隔的预测	52
4.1.5 燃烧控制	53
4.2 轧机的装置	57
4.2.1 精轧机的装置	57
4.2.2 钢板的形状控制	64
4.2.3 边缘粗轧制的装置	72
4.3 钢板的厚度控制	75
4.3.1 测厚仪厚度控制	76
4.3.2 前馈控制	79
4.3.3 使用最优调节器的板厚-机架间拉力控制	82
4.3.4 使用干扰观测的活套支撑器控制	88
4.4 钢板的冷却控制	92
4.4.1 冷却设备概要	92
4.4.2 控制对象建模	92
4.5 小结	96
参考文献	97
第5章 带钢冷轧机的控制	98
5.1 串列式冷轧机组的控制	98
5.1.1 装置控制	99
5.1.2 动态控制	111
5.2 带钢冷轧机的板厚控制	114
5.2.1 带钢冷轧机的影响系数	114
5.2.2 冷轧机的动态特性解析	117

5.2.3 板厚与拉力控制系统的设计	120
5.3 小结	133
参考文献	133
第 6 章 连续退火与表面处理过程的控制	134
6.1 连续退火炉的板温控制	134
6.2 镀层的镀着量控制	139
6.3 小结	140
参考文献	141

第 1 章 钢铁制造过程与控制

全世界一年的钢铁产量约为 8 亿 t，由于微量元素的调节与加工方法不同，其强度、延展性（伸长率）、韧性等存在不同，因而被广泛地使用在不同的地方，钢铁约占总金属材料使用量的 95%^[1]。被称为钢板、钢管、棒材的钢铁产品，是由原材料的铁矿石与煤炭经过多种的制造过程而被制成的。因此，控制技术在产品品质提高、生产率提高、降低制造成本等方面发挥着重要作用。

本章，就钢铁制造过程和与之相关的控制技术的概要进行介绍。

1.1 钢铁业的发展与控制技术的作用

日本的钢铁业，自 1901 年国营八幡炼铁所的创建以来，经过了一个世纪的发展壮大。特别是以战后临海综合制铁所的建设为契机，得到了急速的发展，从而推进了设备的大型化与高速化。

例如，从 20 世纪 50 年代到 70 年代，由铁矿石炼出生铁的高炉内容积从 1000m³ 扩大到 5000m³，从而一台高炉每天的生铁生产量提高到了约 1 万 t。另外，对于精炼生铁而制造粗钢的转炉，一次精炼的粗钢的重量被扩大到约为 300t，制造冷轧钢板的冷轧带钢机的最高轧制速度也被提速到超过 2000m/min。该结果，使日本每年 1000 万 t 左右的粗钢生产量，在 1973 年达到了每年 1 亿 2000 万 t 的速度。

然而，遭受了 20 世纪 70 年代的石油冲击后，最终告别了扩大产量的时代。根据节能及生产率的提高，成品率提高与成本竞争力增强以及应对产品用户需求的高档化、严格化的要求，从而向产品品质竞争力增强的时代转移，现在每年粗钢生产量为 9000 万~1 亿 t^[2]。

再者，日本的钢铁业早在 20 世纪 60 年代最先引进了计算机控制，并且推进了制造过程的自动化^[3]，现在的控制功能几乎已经覆盖了制造过程的全部范围。其结果，生产率提高、品质提高、成品率及单位能源消耗等生产诸环节等效果有了很大的提高，并处于世界领先地位。

例如热轧机的轧制成品率在 20 世纪 60 年代约为 96%，但随着轧制技术的提高最近达到了 99%。另外，由于钢板在轧制过程中以适当的温度加热要消耗燃料，1t 钢材所需热量约为 60 万 kcal。在连铸机中把刚投入的铸锭装入加热炉的过程称作热装料或直接热装料，这个过程可以由计算机进行控制，因此现在

消耗燃料大幅减少到 20 万 kcal。并且, 钢板的厚度准确度由于调节器与控制技术的进步, 制成品厚度为 2.3mm 的钢板的板厚变动宽度由约 $80\mu\text{m}$ 降低到 $20\sim 30\mu\text{m}$ 的程度。

本书将就有关在工业上取得很大成果的钢铁生产过程的控制, 从炼铁、钢铁制造到轧制的制造每个过程主要的控制功能进行介绍。

1.2 钢铁制造过程

在钢铁制品中, 钢板、钢管、棒材、型钢等是根据用途制造成各种各样的形状, 图 1-1 所示为大批量生产的薄钢板的制造过程简图。

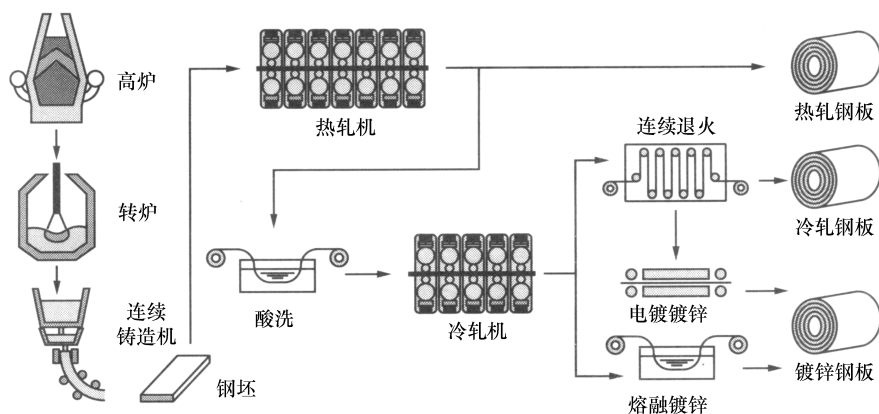


图 1-1 薄钢板的制造过程

1.2.1 炼铁的过程

炼铁的过程就是在高温中将铁矿石熔化制成生铁。铁矿石是以铁的氧化物赤铁矿 (Fe_2O_3) 与磁铁矿 ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{FeO}$) 与氧化硅 (SiO_2) 氧化铝 (Al_2O_3) 等混合物开采出来的。

铁矿石及另一种主要原料煤, 主要从澳大利亚、巴西、美国、加拿大等的海外以大型专用船通过海上运输到日本后, 并贮存在矿石场、煤堆放场。

铁矿石同石灰石等副原料一起在烧结机中烧结成块粒的强度、粒度、成分均匀的适合装入高炉的烧结矿。一方面, 原料炭在炼焦炉膛被干馏, 并成为与高炉的操作高效运行相适应的压裂强度、颗粒大小的块状焦炭。

炉膛中烧结矿与焦炭交替装入, 并在炉内吹入 1200°C 的热风, 还原并熔解铁矿石从而制造出含 $4\%\sim 5\%$ 的碳与硅、锰、磷、硫等杂质的熔解状态的生铁(铁水)。间歇地从炉膛取出铁液, 并被运到钢铁制造过程的下一个工序中去。

(见图 1-2)。

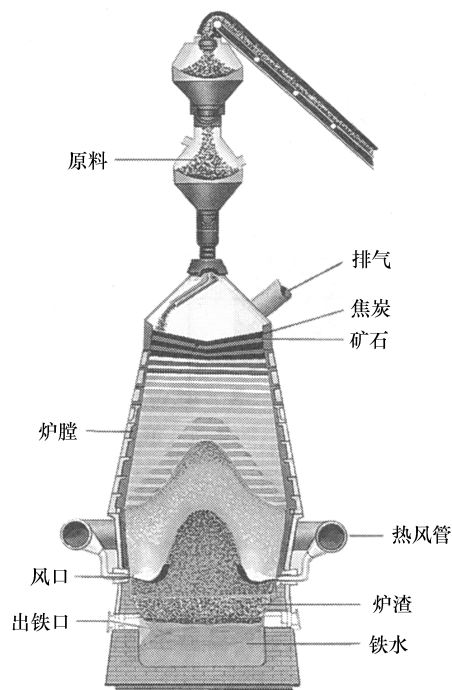


图 1-2 高炉

1.2.2 钢铁制造过程

在钢铁制造过程中，有按用户的需求成分而制造精钢的精炼过程与固定在适合轧制尺寸的铸锭的凝固过程这两个过程。

1) 在高炉中炼出的铁液，为了除去硫 (S)、硅 (Si)、磷 (P) 等的杂质，铁液会被预先处理。

2) 经过对转炉中吹入氧气，这样除去碳 (C) 的脱碳处理，使熔解状态的钢 (钢液) 发生变化，进而进行添加合金铁等的成分调节，制成满足用户需求的成分的钢 (见图 1-3)。

3) 此外，根据在真空脱气装置中二次精炼，进行氢 (H)、氮 (N)、氧 (O) 等的脱气，除去夹在这当中的杂质，及脱硫、脱碳等的最终成分调节，从而制成高纯度钢、高洁净度钢。

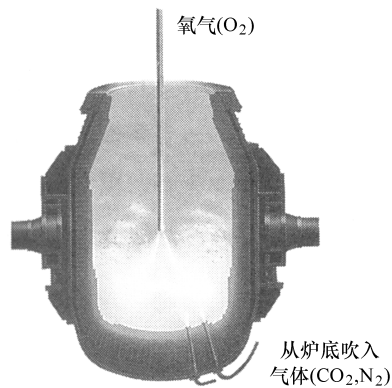


图 1-3 转炉

4) 在连铸机中, 把被精炼的钢液注入所定横截面尺寸的铸模(铸型)中, 在夹送辊中一边拉出一边通过水冷却区使其凝固, 制造出作为中间材料钢板厚度为 220~300mm 的钢坯(slab)与棒材、钢管的基础材料, 基础材料的初轧方坯(bloom)与(billet)铸锭(见图 1-4)。

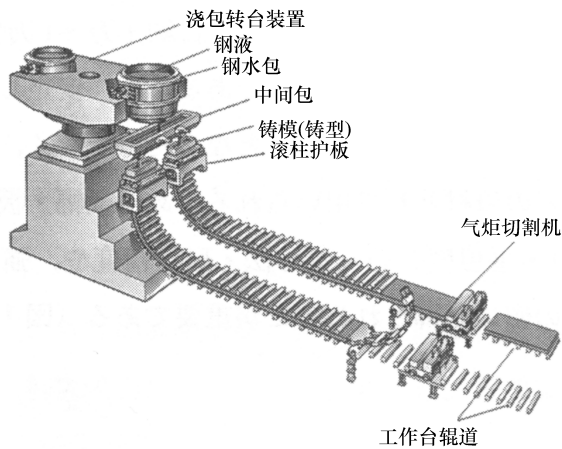


图 1-4 连铸机

1.2.3 热轧过程

热轧过程根据最终制品的断面形状, 有厚板轧机、线材、棒材轧制、型钢轧制、无缝钢管轧制等各种各样的轧制过程, 本书只就作为薄钢板的制造过程的带钢热轧机做介绍。在带钢热轧机中, 除了汽车、建材、家电等这些使用外, 还生产下游产品用冷轧基材的热轧卷板。

在连铸机中铸造的板坯加热到 1200℃, 并在粗轧制机中轧制到 30~50mm 厚度之后, 在 6~7 机架串联的精轧机上以最高约 20m/s 的速度轧制到 1.2~25.4mm 的成品厚度, 在 500~600℃之间的冷却区中冷却, 然后卷成卷材。

带钢热轧机, 由于其为每天能够制造 1 万~1 万几千 t 的热轧钢板的炼钢厂的主干流程, 因此必须保证稳定的作业。另外, 热轧钢板本身不仅仅是成品, 也作为冷轧钢板、镀层钢板、焊接钢管等的基材而被使用, 将板幅、板厚、板

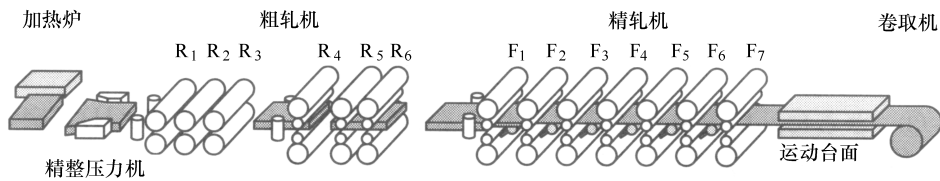


图 1-5 带钢热轧机

的断面图（宽度方向板厚分布）、平面度这些尺寸、形状精度以及强度、伸长率，这些力学特性控制在所期望的值之中是很重要的（见图 1-5）。

1.2.4 冷轧与表面处理过程

热轧钢卷，虽然这样可以成为产品，但多数是经过了酸洗、冷轧、退火和表面处理等，然后作为冷轧钢板或者表面处理钢板上市。

1) 在酸洗生产线中，为了除去热轧钢板表面产生的数微米的氧化膜，因此需要通过盛满盐酸的酸洗槽。根据氧化膜的情况，将材料的通过速度、槽内的酸浓度与温度控制在所规定的值内，从而可以进行有效的酸洗作业。

2) 在带钢冷轧机中，将酸洗过后的卷材在常温下轧制到 0.15~3.2mm 的产品板厚。在轧机的入口以高生产率为目的将钢卷焊接，在串列式轧机中完全连续地轧制这个被接合的钢板，这种完全连续轧制为最近的主流方法（见图 1-6）。

3) 在连续退火生产线中，将通过带钢冷轧机中轧制的钢板连续地进行加热-均热-冷却-过时效这种一连串的热处理，去除由轧制产生的残余应力将并且调节力学性能。

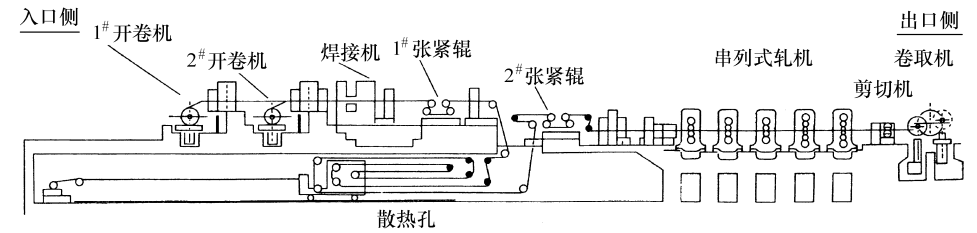


图 1-6 带钢冷轧机

4) 在表面处理生产线中，为了防止钢板生锈，在钢板表面镀上一层防锈性能优越并且便宜的金属锌。而且，还可应用户的需求进行合金电镀层的处理与化学生成膜、涂装处理等工序（见图 1-7）。

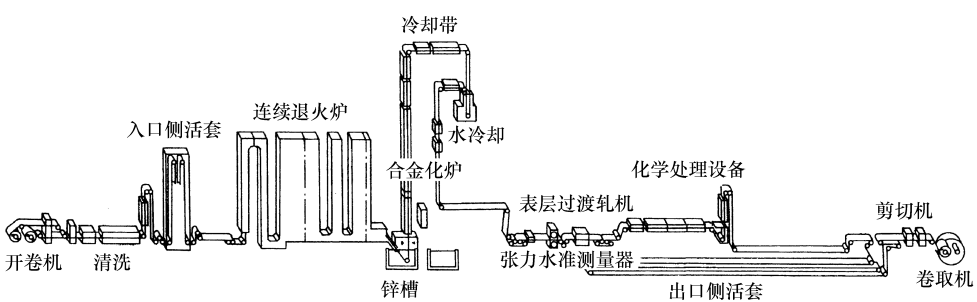


图 1-7 熔融镀锌生产线

1.3 钢铁制造过程的控制

本节就关于钢铁的制造过程的控制^[5-8]做详细介绍。

从炼铁、钢铁制造过程到轧制加工过程，再到热处理、表面处理过程的多种过程的钢铁生产过程中，作为要推进产品品质、成品率的提高、节能及自动化、省力化的基础技术，控制技术的作用非常大。另外，由于钢铁制造过程为大批量生产过程，若能实现高准确度的控制，如该工业控制方法效果显著的话，就能够带动人们积极尝试各种各样先进的控制方法的理念。

关于适用于各个过程的控制方法，很大程度上取决于控制对象建模与控制目的，因此炼铁与钢铁制造过程与轧制过程是有区别的。对于炼铁与钢铁制造过程，由于是伴随以固相、气相、液相的流动与相变或者化学反应的现象作为控制对象，要得到从描述现象的物理、化学定律到构成数学模型的这些方法是较困难的。因此，大多数情况下使用的是从过程的输入输出数据确定的模型。

一方面，在轧制过程中，从运动方程式与轧制理论式等虽然比较容易导出数学模型，由于是制造最终产品的过程，需要直接结合尺寸与力学性能这种产品品质的高准确度的控制技术。另外，如带钢热轧精轧机与带钢冷轧串列式轧机那样，为了控制通过机架之间产生的张力和互相干涉的控制量，因此本质上大多数情况下作为多变量系统来处理。

1. 构成要素

在控制系统的构成上，它承担着传感器的高准确度、高可靠性，调节器的快速响应，以及实际安装了控制逻辑的计算机与传送过程数据与控制信号的网络快速响应等这些重要的作用。这些技术的发展，虽然能够初步实现高级控制系统，但由于本书版面所限不得不省略，这里仅就关于主要的控制对象的数学模型与控制方法做介绍。另外，有关有效地运用、管理制造过程整体的生产管理系统，还有作为系统整体的最优化等重要控制功能，本书也不做介绍。

2. 控制功能

表 1-1 为钢铁制造的各过程中的主要控制功能。

轧制过程之后，根据制造的产品而分成各种过程，厚板轧机、型钢轧机、线材轧机或者钢管轧机。这些相关内容在此省略，本书仅就下面产量较多的薄钢板的项目做介绍。

1) 关于炼铁过程

① 以根据炉内反应模型的炉况预测为基础的高炉铁液温度控制。

② 由传热模型中导出的 ARX 模型中应用了积分型最优调节器的热风炉燃料投入量控制。