

钢铁技术发展趋势丛书

型钢轧制技术

——技术引进、研究
到自主技术开发

〔日〕中岛浩卫 著

李效民 译 白丙中 审校

冶金工业出版社

钢铁技术发展趋势丛书

型钢轧制技术

——技术引进、研究到自主技术开发

〔日〕中岛浩卫 著

李效民 译

白丙中 审校

北 京

冶金工业出版社

2004

北京市版权局著作权合同登记号 图字: 01-2002-6746 号

Shape Rolling Technology of Steel

Technology Transfer, Rolling Research and

Development of Autonomous Technology

© 1999 KOE NAKAJIMA

图书在版编目(CIP)数据

型钢轧制技术:技术引进、研究到自主技术开发/
〔日〕中岛浩卫著;李效民译. —北京:冶金工业出版
社, 2004. 2

(钢铁技术发展趋势丛书)

ISBN 7-5024-3396-1

I. 型… II. ①中…②李… III. 型钢—轧制—技
术—日本 IV. TG335.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 117845 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 李培禄 刘小峰 美术编辑 王耀忠 责任校对 王贺兰 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

2004 年 2 月第 1 版, 2004 年 2 月第 1 次印刷

850mm×1168mm 1/32; 8.625 印张; 229 千字; 256 页; 1—3000 册

26.00 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)

出版说明

冶金工业出版社地址：北京100061 电话：(010) 64242458 传真：(010) 64242459 邮编：100061 网址：<http://www.metal-press.com>

20 世纪 90 年代末,日本钢铁学会组织日本国内钢铁界的专家学者,编写了《钢铁技术发展趋势丛书》。该丛书从不同专业,不同角度,对钢铁技术,尤其是对日本钢铁技术的发展历程进行了系统的回顾和总结,并对钢铁技术的现状及未来发展趋势进行了评价和预测。

日本是钢铁技术最先进的国家之一。虽然日本的国情及钢铁技术发展背景与我国不同,但其钢铁技术发展历程及经验教训对我国的钢铁工业会有有一定的启迪价值。

冶金工业出版社在中国金属学会理事长翁宇庆同志及副理事长仲增嘯同志的关心和支持下,准备陆续将此套丛书介绍给我国读者,并希望此套丛书(中文版)的出版,能对我国钢铁技术的发展有所裨益。

《钢铁技术发展趋势丛书》发刊词

日本的钢铁技术现在处于世界领先地位,这是先辈们长期不懈的努力所赐,令我们感到骄傲,同时也感到肩负着莫大的责任。为了构筑钢铁技术的工学体系,为了该领域新的研究和开发,我们作为当今的技术工作者,要承担起对技术中潜在的大量信息进行取舍和选择的基础性建设工作。

日本钢铁学会过去曾多次出版过反映日本钢铁技术状况的便览和技术资料。学术性刊物《铁和钢》也发表过许多研究成果,记述了不断进步的技术和我们在技术方面的成长过程。但是现在有种钢铁技术已经达到饱和点的感觉,弥漫着停滞的气氛。为了打破这种局面,以新的想像去发展钢铁技术,就要回顾一下我们曾经倾注了心血和努力所培养、积累的技术和研究经验,从中获取新的启示。有鉴于此,必须以先辈们积累的珍贵知识财富为背景来建立工学体系。

遗憾的是,日本的工程技术人员在这方面并不擅长。因此,我在副会长任上的 1991 年 12 月,曾向日本钢铁学会培训委员会提出出版具有以下特点的学术丛书,作为朝此方向迈进的第一步:

(1) 作为展望技术发展历史的平台,其内容包括技术是在怎样的背景下发生的,怎样展开的,又是怎样形成的,要从长远发展的目光来评述。

(2) 组建“知识产权分会”,以该会的权威性来挑选执笔人。执笔人可按自己的意见对题材进行取舍、选择和评价,组织人员,确定内容等。

(3) 基本内容应是《铁和钢》(或以此为基准的资料)所记载的具有历史价值的综述论文,并用现在的观点加以评价。

(4) 经过数年形成一个系列之后,将它作为钢铁科学技术的路标,初级的知识财产。

幸运的是,此项工作得到了培训委员会和理事会的理解与支持,作为纪念日本钢铁学会成立 80 周年的规划,《钢铁技术发展趋势丛书》第 1 系列共 10 卷出版发行了。我们期待这一规划能在技术成就的背景下,为今后钢铁工学的研究及技术构成,提供积极发言的基础。

最后,对出版本丛书给予充分理解并鼎力支持的地人书馆表示衷心感谢。

(社团法人)日本钢铁学会 培训委员会 知识产权分会

委员长 增子 昇

1995 年 1 月

《钢铁技术发展趋势丛书》

第 2 系列发刊词

有关出版《钢铁技术发展趋势丛书》的宗旨,已在第 1 系列丛书的发刊词中阐明。第 2 系列丛书的出版目的是相同的,如果说稍有不同之处,便是此系列丛书的作者大多年轻一些,他们正好是日本钢铁工业独立自主、蓬勃发展时期活跃在一线的学者们,因此在阅读第 2 系列丛书时,似乎能感受到他们的朝气与活力。

由于作者们在百忙之中勤于笔耕,才使此丛书得以在进入 21 世纪前顺利出版,在此向作者们诚致敬意。同时向日本钢铁学会生产技术部事務局渡邊昭子女士致谢,感谢她在本系列丛书编辑工作中的辛勤劳动。

日本钢铁学会 培训委员会 丛书 WG
主编 雀部 実
1999 年 12 月

前言

受日本钢铁学会知识财产小委员会会长增子昇先生(当时为东京大学教授)委托,笔者曾为《钢铁技术发展趋势丛书》中有关条钢部分执笔。后来,我从企业转到大学工作,推延了出版日期。最初计划的书名为《型钢与棒材的轧制技术》,后来,在实际写作中由于技术范围涉及太广,将重点放在了“型钢轧制技术”。

之所以执笔撰写日本的型钢轧制技术与研究的时代变迁与背景,是由于笔者曾于1956年在新日本钢铁公司的前身——八幡钢铁公司、八幡技术研究所从事过塑性加工范围的研究开发工作。当时钢铁制造工艺研究开发的主流是原料预处理、炼铁及炼钢工艺及产品的制造方法方面的研究。轧制工艺技术主要是依赖引进海外技术和在生产现场积累的轧制技术经验。

1960年以后,日本钢铁工业进入了

飞跃式发展时代,终于开始了旨在把引进的技术转化为独自の国产技术方面的研究活动。笔者之所以与型钢轧制技术的研究与开发有着密切的关系,是由于以下原因:

(1) 八幡钢铁公司的干部加藤健博士提出要求,要对由经验与感觉而构成的工匠技术般的钢轨轧制技术进行研究开发,将其变成科学技术;

(2) 与此同时,现场的青年技术人员被派到了研究所,我们开始了与现场技术人员的合作研究;

(3) 有必要按照主体规划将古老的旧式轧制工厂进行更新,要解决的研究开发课题也变得比较明确;

(4) 其他一些原因。

特别是八幡钢铁公司,作为从海外引进技术而成的近代钢铁技术的发祥地,虽然在1950年至1960年间其历史古老的钢轨厂进行了数次改造,但作为主要工厂,大多数设备仍在生产。在上述的背景下,我有机会在现在再也见不到的、可以说像古典般的轧制工厂里工作。这些合作研究开发活动与型钢轧制技术的发展产生了密切的联系,以至今日由我来对型钢轧制技术的变迁进行总结概括。从这个意义上讲,我非常感谢指导过我的前辈,感谢进行合作研究的现场技术人员及同一研究室的各位同仁。

执笔之际,力图将“海外技术的引进、研究开发以及为了现代化工厂更新改造而进行的自主技术开发”这样一个历史性地发展起来的型钢轧制技术的变迁过程写得通俗易懂。特别是技术引进时代的轧制工厂是由前辈们的智慧构筑而成,当时的情况大部分取自八幡钢铁公司的历史资料。1960年以后的部分,笔者本人参与了很多

研究开发工作,以此为中心进行了概括。其中也许会有一些个人的见解与偏见。虽然如此,研究开发一直是在不仅仅停留于研究阶段而是将其不断地应用于现场作为第一目标而进行,对于型钢轧制技术人员而言,应该成为一种活的技术参考。

型钢轧制材料与社会基本建设有着最密切的联系,虽然没有近几年的尖端材料那么引人注目,但却是社会环境变革之时不可缺少的基本材料。第4章涉及到了作为功能性构造材料的型钢轧制技术,有必要革新出比TMCP技术更先进一步的工艺手段。从工艺技术的主流来看,分散(按功能分类)和综合(多功能化)的平衡关系很重要,问题是如何解决高生产性的多品种生产与低成本化这一矛盾。

考虑到地球环境问题,大量生产与大量消费方式已经发生变化。发展中国家的经济定会得到发展,这将使世界人均钢铁消费量增加。因此,必须加强与环境相协调的钢铁生产工艺技术的开发。从此意义上讲,非常迫切地期待与环境相协调的型钢轧制技术的进一步发展。本书介绍了型钢轧制技术的发展过程,如果能对未来的新型型钢轧钢技术的研究开发起到参考作用,作者将非常荣幸。

中岛浩卫

1998年9月

目 录

1 日本轧制技术与研究的变迁	1
1.1 轧制技术的合作研究活动与轧制理论分会的成立	1
1.2 20 世纪 60 年代以前的轧制技术研究(技术引进时期技术研究的摇篮期)	4
1.3 20 世纪 60 年代,高度成长期的轧制技术研究动向	4
1.4 20 世纪 70 年代到 80 年代,轧制技术自主开发时期的到来	6
1.5 20 世纪 90 年代的轧制技术及《型钢轧制技术》一书的结构	9
1.5.1 20 世纪 90 年代的轧制技术	9
1.5.2 《型钢轧制技术》一书的结构	9
1.6 21 世纪轧制技术的研究、开发课题及思考	10
参考文献	14
2 型钢轧制技术的发展和历史变迁	16
2.1 近代钢铁生产技术诞生前的日本钢铁生产技术的状况	16

2.2 钢轨轧制技术的发展·····	17
2.2.1 日本最初的初轧厂的投产和钢轨条材 直送轧制·····	17
2.2.2 钢轨轧制设备投产的时代背景·····	18
2.2.3 钢轨轧制设备和轧制技术(1901~1930 年) ·····	18
2.2.4 钢轨轧制技术的改良与改进(1930~1965 年) ···	23
2.2.5 钢轨万能轧制技术实用化开发的过程·····	23
2.3 型钢轧制技术的发展·····	24
2.3.1 初期的型钢轧制技术(1901~1930 年) ·····	24
2.3.2 中期的型钢轧制技术(1930~1965 年) ·····	30
2.4 H 型钢万能轧机的发明与轧制技术的发展·····	39
2.4.1 欧美 H 型钢万能轧机轧制技术的发展 ·····	39
2.4.2 日本 H 型钢轧制技术的发展 ·····	43
2.5 型钢轧制设备进步发展的历史·····	50
2.5.1 型钢轧机的种类与特征·····	50
2.5.2 型钢轧制的附属装置·····	55
参考文献 ·····	58

3 高度成长期以后的型钢新轧制技术的开发(I)

——型钢新轧制工艺的自主技术开发时代(1965 年以后)

·····	60
3.1 钢轨万能轧制法的开发·····	60
3.1.1 时代背景及条钢车间的更新改造计划·····	60
3.1.2 各种钢轨孔型轧制法特点的比较·····	61
3.1.3 钢轨孔型轧制技术的研究开发状况·····	63
3.1.4 钢轨万能轧制法的开发·····	70
3.2 钢板桩万能轧制法的开发·····	76
3.2.1 型钢轧制技术革新的展开及背景·····	76
3.2.2 钢板桩万能轧制法的开发研究·····	80
3.3 T 形钢(T 形条钢)3 辊轧制法的开发 ·····	89

3.3.1	T形钢 3 轧辊轧制法的基本原理	89
3.3.2	T形钢 3 轧辊轧制特性 I ——模拟轧制 试验研究	92
3.3.3	T形钢 3 轧辊轧制特性 II ——现场试验 轧制结果	97
3.4	角钢的 3 轧辊轧制法的开发	98
3.4.1	角钢轧制存在的问题与 3 轧辊轧制法的 基本原理	98
3.4.2	角钢 3 轧辊轧制法的模拟试验研究与 轧制技术	100
3.5	不等边不等厚角钢 3 轧辊轧制法的开发	105
3.5.1	不等边不等厚角钢的孔型轧制法及其 问题	105
3.5.2	不等边不等厚角钢左右非对称轧制的基本 特征	105
3.5.3	不等边不等厚角钢 3 轧辊轧制法的轧制 特性	107
3.5.4	不等边不等厚角钢 3 轧辊轧制法的实际 应用	112
	参考文献	113
4	高度成长期以后的型钢新轧制技术的开发(II) ——为实现型钢轧制的连续化、自动化及高质量化, 计算机控制时代的到来(1972 年~现在)	114
4.1	H 型钢连续轧制技术及自动化轧制技术的 开发与背景	114
4.1.1	日本 H 型钢连续轧机的开发背景	114
4.1.2	型钢轧制连续化的进展	115
4.1.3	H 型钢连续轧制非活套(Non-Loop)式无 张力控制方式的开发	118

4.1.4 H 型钢轧制的计算机自动控制及 AGC 的应用	121
4.2 H 型钢连续轧制法的开发	124
4.2.1 H 型钢连续轧制法的研究开发的方法	124
4.2.2 H 型钢万能轧制特性的基础研究(模拟试验研究)	128
4.2.3 H 型钢连续轧制速度控制的模拟试验研究	143
4.3 H 型钢连续轧制的基础理论与控制特性	158
4.3.1 H 型钢连续轧制的基础理论	158
4.3.2 H 型钢连续轧制的控制特性和向热轧的推广	162
4.3.3 H 型钢连续轧制实际设备的应用	169
4.4 钢板桩型钢连续轧制技术的开发	173
4.4.1 一般大型型钢连续轧制的开发及其问题	173
4.4.2 基于钢板桩型钢模拟轧制试验研究的轧制特性	174
4.4.3 君津钢铁厂 H 型钢连续轧制车间的现场试验	179
4.4.4 型钢轧制连续化技术应用中遗留下的课题	183
4.5 高性能 H 型钢轧制技术的开发	184
4.5.1 H 型钢的特征及市场对高性能化开发的要求	184
4.5.2 H 型钢腰部内尺寸的控制轧制技术与设备开发	187
参考文献	195
5 型钢轧制的理论与实践	198
5.1 热轧的尺寸延伸研究与轧制理论	198
5.1.1 由初等解析理论导出的尺寸延伸特性	198
5.1.2 热轧钢铁材料的尺寸延伸公式及其特征	201

5.1.3 热轧延伸公式与实测值的比较	204
5.2 孔型轧制模拟试验的相似性与轧制特性 的解析	213
5.2.1 孔型轧制研究的难点和模拟试验的必要性	213
5.2.2 孔型轧制的模拟试验用材料与塑性变形 特性	214
5.2.3 模拟轧制试验的基本相似法则	217
5.2.4 模拟试验时孔型轧制的基本轧制特性	219
5.3 型钢轧制的有限元法(FEM)解析研究的现状	236
5.3.1 轧制的三维变形与有限元法(FEM)解析	236
5.3.2 H型钢轧制有限元法(FEM)的解析实例	240
参考文献	251
后记	254

1.1 轧制技术的合作研究活动与轧制理论分会的成立

日本有关轧制技术研究的历史始于 1948 年(昭和 23 年),由日本钢铁协会、通商产业省重工业局、日本钢铁联盟三家共同组成日本钢铁协会合作研究部会,钢材部会是其中的一个部门,其部会活动就是轧制研究的开端。钢材部会逐渐组建了分会,有轧制理论、线材、中小型钢、带钢、钢管、分块、薄板 7 个分会。

轧制理论分会是日本轧制技术研究活动的中心舞台。在轧制理论分会正式成立以前,从 1949 年(昭和 24 年)到 1954 年(昭和 29 年),经各大学及钢铁厂选出的负责委员由铃木(东北大学)、丰岛(八幡制铁)、前田(富士)、加藤(日本钢管)、井上(日本特殊钢管)、河合(三菱钢铁)、池岛(住友金属)、宫崎(东芝)、视浏(钢铁联盟)等人组成,召开过 15 次研究会,可称为轧制研究的早期研究活动。在此期间的轧制研究可以说是有公开出版记录的日本轧制技术研究的起源。另外,值得一提的是,从那时起,产、官、学互相协力进行合作研究,这一传统一直延续至今。

从那以后,1955 年(昭和 30 年)研究组织进行了改组,成立了日本钢铁协会技术合作研究会和钢材部轧制理论分会,为了总结以往的研究活动以利于新的研究组织活动,出版了《钢材部会报告》¹⁾(1954 年 10 月)。其中,第一卷为关于钢材轧制研究,报告了当时重要的研究成果,有材料塑性、轧制基础、各种轧制加工试验、轧制负荷等的各种测定方法等。

在报告的引文中,有关战后日本钢铁生产的复兴部分,记述了昭和 16 年(1941 年)生铁产量为 400 万 t,昭和 18 年(1943 年)钢产量为 550 万 t,是战前的最高生产量。而战后,昭和 28 年(1953

年)生铁达到 452 万 t,钢材达到了 570 万 t 的产量。这一对比使人对战后的产业复兴感慨万分。正是在如此情况下进行的研究部会活动,集其研究成果而大成的报告书现在可以自豪地与有名的古典著作 *Waltswerks-wesens*²⁾(代表作者:Dr. Puppe)相提并论。

1955 年(昭和 30 年),轧制理论分会开展关于轧制的合作研究活动以来,分会于 1972 年(昭和 47 年)升为部会,由现在的轧制理论部会继承至今。回顾日本轧制技术的进步与发展,自初期研究会活动开始以来,共同研究已经走过了半个世纪的历史。这一合作研究一开始就以产、官、学合作研究的形式起步,特别是东京大学的铃木弘教授在半个世纪以来的轧制技术及其研究方面、进行了有关开发的哲学观点及研究方法的指导。

战后困难时期,为了日本钢铁技术的发展,“轧制理论研究”的重要性被及时预见到并开始组建了合作研究的母体——分会来从事合作研究。对于其先见性及积极努力精神深感敬意。在当时的企业研究所,并没有轧制研究的组织及相应地位。关于轧制理论分会成立的经过,据前辈们讲,是由当时八幡钢铁厂汤川正夫技师长提出建议,第一期分会负责人由八幡技术研究所的远藤胜次郎所长担任。

在时代、社会形势及环境的激烈变化之中,日本的钢铁工业从轧制技术的引进、轧制技术的基础研究到自主技术开发的过程正如图 1.1³⁾所示,从中可以看到轧制理论部会进行的合作研究活动的全貌。另外,该部会的合作研究活动的详细过程,可以参考记载了该活动的许多出版物及 20 周年、30 周年纪念刊物,以及 100 周年纪念研讨会的论文集。作者曾于 1956 年(昭和 31 年)在八幡钢铁公司技术研究所工作,在丰岛清三博士(当时任第二钢材研究科科长,后任九州大学教授)的指导下,有幸从事轧制等塑性加工的研究工作。从 1957 年(昭和 32 年)开始,曾多次参加过轧制理论分会(部会)。与该部会研究活动相关,作者将在回顾日本轧制技术变迁的同时,将轧制理论研究、板材轧制技术等方面的进步与型钢轧制技术的进步比较并加以记述。