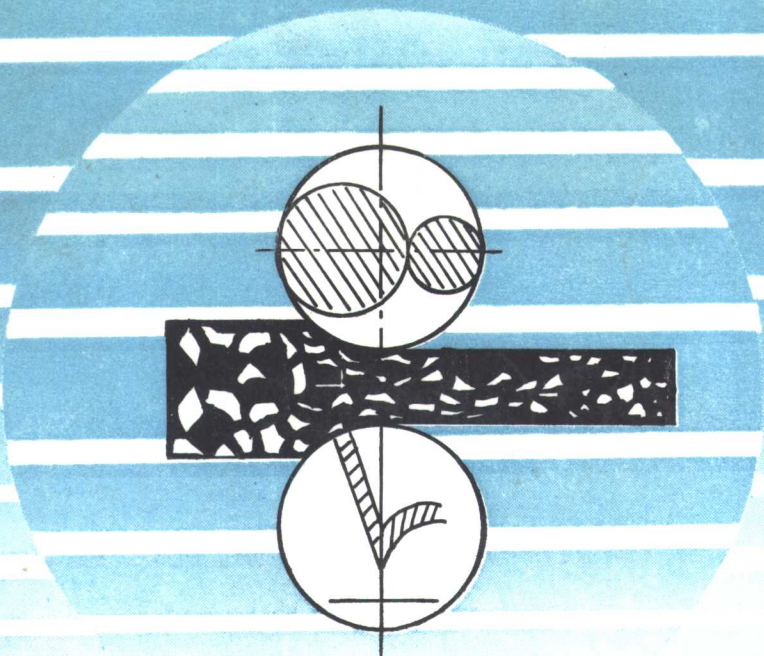




[德]鲁茨·迈耶 著 赵辉 译

鹿守理 王先进 审校

带钢轧制过程中 材料性能的优化

冶金工业出版社

Optimierung der Werkstoffeigenschaften bei der Herstellung Von Warmband und Kaltband aus Stahl

Lutz Meyer

©1988 Venag Stahleisen mbH, Düsseldorf

北京市版权局著作权合同登记号

图字：01—96—0841

图书在版编目 (CIP) 数据

带钢轧制过程中材料性能的优化/ (德) 迈耶 (Meyer, L.) 著; 赵辉译. -北京: 冶金工业出版社, 1996

ISBN 7-5024-1944-6

I. 带… II. ①迈…②赵… III. 带钢-带材轧制-工艺-性能-最佳化 IV. TG335.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 18540 号

出版人 卿启云 (北京沙滩高祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

北京市汇宇达科贸有限责任公司激光照排

北京怀柔东茶坞印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

1996 年 11 月第 1 版, 1996 年 11 月第 1 次印刷

787mm×1092mm; 1/32; 5.75 印张; 128 千字; 175 页; 1-1050 册

10.00 元

译 者 的 话

本书译自德国钢铁出版社 1988 年出版的德国冶金专家鲁茨·迈耶 (Lutz Meyer) 所著《Optimierung der Werkstoffigenschaften bei der Herstellung von Warmband und Kaltband aus Stahl》一书。本书详细阐述了带钢热、冷轧生产过程中工艺、工艺过程与材料行为和性能间的关系, 揭示了热、冷轧带钢产品性能优化的可能途径, 既有详细的理论分析, 又有实际的生产实例, 是一本很好地将钢板生产理论与实际相结合的专著。

北京科技大学鹿守理、王先进教授在百忙中抽时间审校了全部译稿, 在此致以衷心的感谢。原书著者鲁茨·迈耶教授特为本书的出版撰写了中文版前言。

本书专业性较强、技术较新, 限于译者水平, 书中恐有不妥之处, 恳请读者批评指正。

译 者

1996 年 3 月

译 序

80年代末，汽车工业被确定为我国国民经济的支柱产业。随着各条汽车生产线，尤其是轿车生产线的建成、投产，我国汽车工业进入了一个高速发展的时期。

汽车工业的飞速发展不仅对汽车工业本身，而且也对其相关工业提出了极高的要求。作为汽车生产的主要用材，汽车用钢板在很大程度上决定了汽车工业发展的水平，这是因为汽车用钢板生产水平的高低、质量的好坏，不仅直接影响到板材的各种加工性能及汽车的外观造型，而且还影响着汽车制造所追求的节能节材及安全、环境等社会经济目标。

我国冶金工作者早在60年代就开始了冲压用钢板的研究。80年代中期，我国在这一领域的研究进入了一个新的发展阶段。随着国家“七五”攻关课题“薄板成形性能研究”的完成和“九五”攻关课题“轿车用钢研究开发”的立项、启动，必将极大地推动我国汽车钢板的生产与研究。

鲁茨·迈耶教授是国际上知名的物理冶金学家，他长期在德国蒂森（Thyssen）钢铁公司从事材料的研究与开发工作，并担任该公司材料研究领域的负责人。他的主要研究领域为：

- (1) 高强焊接结构钢；
- (2) 钢中的微合金化元素；
- (3) 控制轧制；
- (4) 具有良好成形性能的或高强度的冷轧薄板；
- (5) 板材的表面处理。

在上述研究领域迈耶教授发表论文 100 多篇。此外，他还是德国亚琛工业大学（RWTH Aachen）的客座教授，并曾应邀来华讲学。

本书集迈耶教授多年工作及研究成果之大成，既有详细的理论分析，又有实际的生产实例，是一本很好地将钢板生产理论与实际相结合的专著。我相信，本书中译本的出版、发行，必将对我国的钢板生产及开发研究产生有益的指导作用。

王先进教授
1996 年 3 月

中文版前言

热轧板带和冷轧薄板对于钢铁工业和钢材加工业具有很重要的意义。因而，几年前，德国钢铁出版社与作者本人商定，出版一本关于板带材生产和性能优化的专著。目前，这一方面的选题仍具有现实意义。对高度工业化国家，特别是对工业快速发展的国家来说，有关钢板生产和钢板性能改善的知识和经验始终都是很有必要的。

因此，在钢铁工业快速发展的中国，将这本书译成中文并出版发行对于从事钢铁生产和加工的工程技术人员肯定是很有益的。书中阐述的关于材料、加工工艺、生产设备和工艺过程间相互协同作用的基本知识至今仍然有效，并有助于钢材的高效生产和加工。本书除了指导实际工业生产外，还对将来的生产设备、方法和材料给出了许多启示和看法。

我希望本书能够对读者在工作上有所帮助，能够使大家更好地开发钢铁材料的巨大潜力，更好地利用现有的和将来的工艺设备。此外，希望本书对于那些即将从事这一领域工作的读者也能有所帮助和支持。

特别要感谢赵辉先生承担了这项要求很高的德文翻译工作。在德国亚琛期间，我们曾多次就本书进行交谈和讨论，其后还保持了通信联系。因而我确信，本书的中文译文无论是专业知识上，还是语言表述上都是很好的。

最后还要感谢中国冶金工业出版社同意出版发行本书，使得中国同行能够读到它。

鲁茨·迈耶教授

1996年3月

目 录

1 热轧和冷轧带钢的重要性	1
1.1 经济重要性	1
1.2 技术重要性	3
2 本书目的	5
3 生产过程概述	5
3.1 从炼钢到板坯连铸	6
3.2 从连铸板坯到热轧带钢	8
3.3 从热轧带钢到冷轧带钢	9
3.4 冷轧带钢的后处理	12
3.5 冷轧带钢的表面处理	13
4 重要工艺参数对材料行为和性能的影响	15
4.1 热轧带钢	15
4.1.1 热轧带钢轧前一定初始状态的准备	15
4.1.2 热轧带钢的粗轧和精轧	21
4.1.3 形变热处理	32
4.1.4 热轧带钢的冷却	60
4.1.5 热轧带钢生产中各工序的共同作用	82
4.2 冷轧带钢	83
4.2.1 热轧带钢的初始状态	84
4.2.2 冷轧	85
4.2.3 冷轧带钢的退火	97
4.2.4 平整和拉弯矫直	146
4.2.5 冷轧带钢生产过程中各工艺步骤的	

共同作用	153
5 发展展望	159
5.1 材料方面的要求	160
5.2 工艺过程的优化和自动化	161
5.3 设备技术的发展	162
6 结 论	164
参考文献	166

1 热轧和冷轧带钢的重要性

当前，在钢材产品中，热轧带钢和冷轧带钢的产量占据首位，它们都是以热连轧或冷连轧方式生产出来的。热轧带钢既指宽度在 600mm 以上的热轧宽带钢，也指宽度在 600mm 以下的中等宽度带钢和窄带钢^[1]。相应地，冷轧带钢的概念也包括了宽度在 600mm 以上的冷轧宽带钢以及冷轧窄带钢。通常规定，从带钢上剪切下来的钢板，厚度在 3mm 以上的称为中厚板，3mm 以下的称为薄板。热轧带钢是在中厚板和薄板的厚度范围内生产，而冷轧带钢则几乎全是薄板，厚度在 0.5mm 以下的钢板称为极薄板。

冷轧带钢是由热轧带钢冷轧而成的。冷轧带钢产量持续、稳定的增长有赖于附加的表面处理的支持，因此，后面要提到冷轧带钢生产中所必须考虑的表面处理方法。

1.1 经济重要性

从原联邦德国 25 年中钢材产量的发展中便可看出热轧和冷轧带钢的经济重要性（图 1）^[2]。在 1960 至 1985 年这段时间里，原联邦德国所有轧材的产量只增加了约 25%，而热轧和冷轧带钢的产量则增长了约 150%。热轧带钢及冷轧带钢日益增长的重要性还可通过它们在所有轧材中所占比例的增加而表现出来（图 2）。当前，所有轧材中，60% 以上的产品要经过热轧带钢机组轧制，其中，冷轧带钢所占份额在 30% 以上。在欧洲共同体和其他工业化国家，热轧和冷轧带钢也有类似的发展趋势，这表明，热轧和冷轧带钢产品无论

对钢铁工业，还是对钢材加工业都有越来越重要的意义。在钢铁工业中，热轧和冷轧带钢的经济效益最好，这一事实决定着其技术的发展和投资的增加。

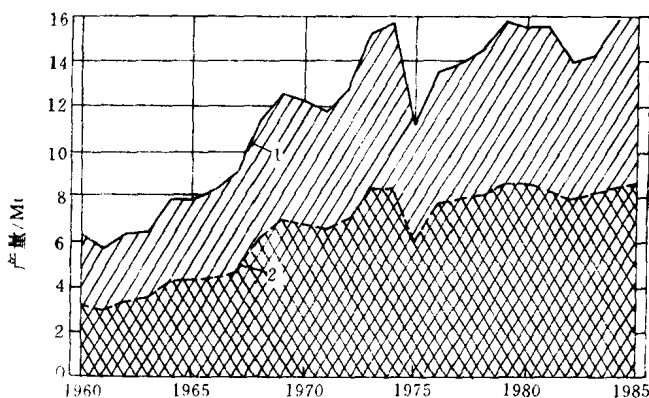


图1 原联邦德国热轧宽带钢和冷轧薄板的发展

1—热轧宽带钢，全部；2—冷轧带钢所占份额

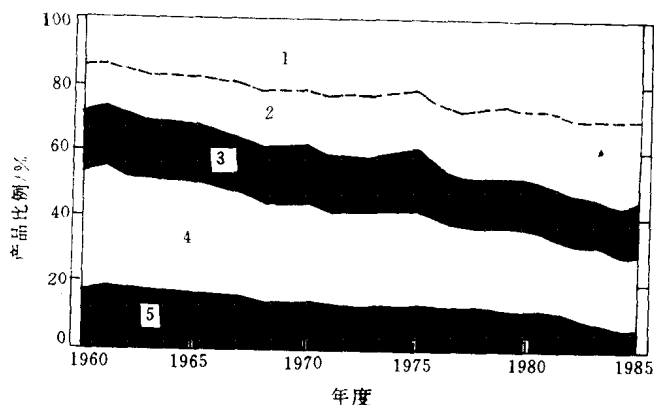


图2 原联邦德国轧材产品生产的发展

1—冷轧薄板；2—热轧宽带钢；3—中厚板；4—线材、棒材；5—型钢、钢轨

1.2 技术重要性

热轧和冷轧带钢钢种繁多,尺寸和材料性能范围很广,因而在要求各种性能,特别是强度、成型性能、焊接适应性,抗脆断可靠性以及表面性能等配合使用的领域,热轧和冷轧带钢得到了广泛的应用。从包括硅合金电工钢板和高合金不锈钢板在内的大量钢种中,本文的论述主要涉及了其中的碳钢和低合金钢。

热轧和冷轧带钢通过化学成分和组织结构获得其性能特征,它除了如强度、韧性这些众所周知的基本性能外,还包括其他许多加工和使用性能(图3)^[3]。在炼钢厂和在带钢生产各阶段确定的性能,使得钢板可用于下述重要领域。

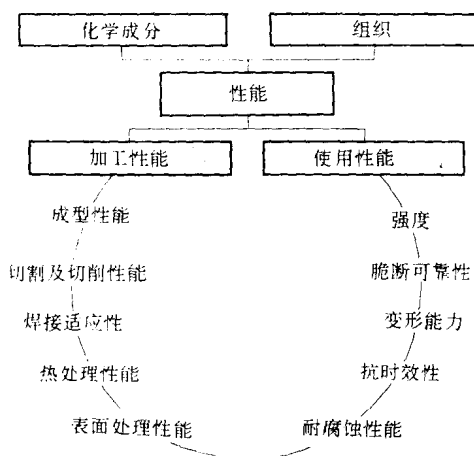


图3 钢的影响因素和目标性能

(1) 运输机械制造业: 如用于制造高强度、冷成型承载件, 以及用冷轧软带钢或冷轧高强度带钢制造汽车车身部件

(2) 能源工业：如用来制造输送天然气或液体的大口径管，或用于制造电动机械。

(3) 在钢结构、容器和仪器设备制造业中，用来制造焊接结构件、冷弯型钢、热处理结构件、压力容器、仪器，以及用于制造家用器具和大面积屋顶或墙壁。

从中厚板到薄板，而且，随着薄板板厚的减薄，除了材料“内部”性能外，带钢的表面性能具有越来越重要的作用。这里必须考虑带钢表面微观形貌、化学成分和洁净度以及无表面缺陷，而且防腐处理也很重要。

2 本书目的

对热轧带钢和冷轧带钢生产来说，在低的生产成本条件下优化成品性能被看作是普遍追求的技术—经济目标。对此，生产设备、材料以及处于二者间的生产工艺过程之间的相互影响起着决定性作用（图 4），技术的发展总是从这三个因素的相互作用中获得推动力。

因此，本书的目的是：

（1）阐述工艺、工艺过程与材料行为、性能之间的关系。

（2）揭示热轧和冷轧带钢产品性能优化的可能性。



图 4 材料—工艺过程—生产设备系统

在热轧和冷轧带钢生产的几个重要工艺步骤中，应详细说明在考虑对成品性能有特殊要求的情况下工艺参数对材料的影响，并得出关于钢的化学成分、工艺过程和设备参数的结论。

这些论述的基础大部分是过去几年在蒂森（Thyssen）钢铁公司进行的开发工作和研究成果。

3 生产过程概述

为了更好地理解将要讨论的有关热轧和冷轧带钢生产的章

节，先对从炼钢厂到成品的整个生产过程作一简要概述。这一描述不是历史的概述，而是当前，特别是考虑在采用连续工艺过程条件下技术现状的概述。图 5 以提要的方式概述了在生产过程不同的生产阶段，一些重要因素如何产生作用以及材料的性能。

生产范围	生产途径	重要影响因素	受影响的材料性能
炼钢厂	治 炼 二次冶金 模铸 连铸	化学成分 脱 氧 洁 净 度 浇注类型	强 度 成型性能 时效行为
热轧带钢厂	↓ 热轧带钢的轧制	加热炉中的温度 和停留时间 终轧温度 冷却速度 卷取温度	组织形成 第二相析出 织 构 各向异性
冷轧带钢厂	↓ 酸 洗 冷轧带钢的轧制 退 火	冷轧变形率 退火条件 (紧卷、松卷； 连续退火) 温度-时间变化 退火气氛	组织形成 第二相析出 织 构 各向异性 时效指数
	↓ 平 整	平整变形率	屈服强度形成 屈服强度值 表面微观组织

图 5 生产途径及其对冷轧薄板性能的影响

3.1 从炼钢到板坯连铸

热轧带钢和冷轧带钢用钢几乎只用吹氧法冶炼。在转炉中，通过适宜方法预脱硫的生铁经过复合吹炼，即以氧枪顶吹和惰性气体底吹后，转变成钢。为了在很窄的成分范围内

调整化学成分，采用了炉外精炼和二次精炼的方法（图 6）^[4]。严格的脱氧、循环和搅拌气体处理、真空处理以及活性材料的喷吹是将不希望出现的杂质元素限制到很低含量的有效措施（图 7）^[5]。

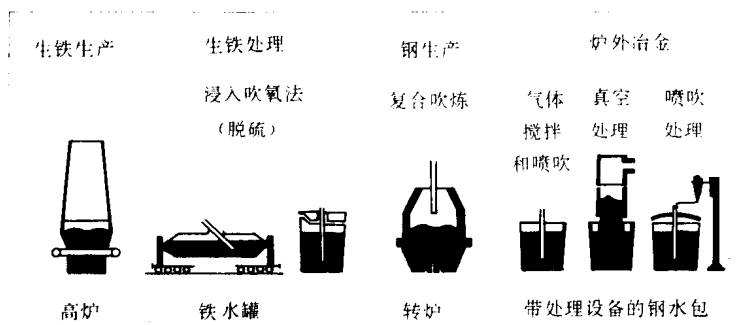


图 6 钢铁生产和处理过程中的工艺步骤

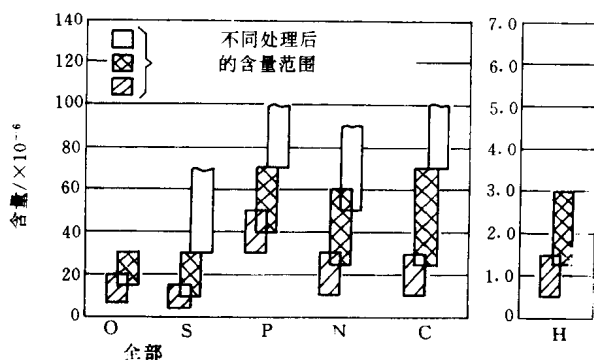


图 7 通过特殊冶金处理在铝镇静钢中可获得很低的杂质含量

目前，几乎只用连续铸钢法生产热轧带钢和冷轧带钢用钢。

但对于不利的尺寸或一定的加工性能，模铸还有其应用

的必要性。微合金钢连铸时，必须考虑通过调整连铸坯冷却来避免在奥氏体温度范围内，热成型性最小值的出现^[5,6]。

当前高水平的炼钢技术通过缩小性能波动和提高性能的可预报性，以及限制内、外缺陷的产生，对后续的热轧和冷轧带钢的生产过程和产品性能产生着有利影响。

为了绕过从板坯浇注到带钢变形这一过程，目前，有些厂家已试验了近终形连铸，即更薄截面尺寸板坯的连铸。

3.2 从连铸板坯到热轧带钢

可通过连铸模的调整、板坯纵切或大功率的侧压轧机来实现连铸坯宽度与热轧带钢宽度的匹配。板坯在推钢式加热炉或步进式加热炉中加热。目前，为了节能和提高生产率，越来越多地力求采用将热板坯送入加热炉（热装）或直接轧制高温板坯（直接轧制）的方法。同中厚板轧制相似，热轧带钢时，降低加热炉温度及降低板坯温度也是一个具有吸引力的节能途径。但是，这里除了技术条件，如钢的屈服应力值的限制外，还必须考虑加热时，要求溶解碳化物和氮化物的条件。

现代化的热轧宽带钢机组具有紧凑、高效的配置特点，并以一条半连续轧制生产线为特征（图 8）^[7]。加热后的板坯经两架粗轧机（部分是可逆轧机）后，进入由 6 架或 7 架精轧机组成的机组精轧。常用层流冷却来保证精轧后一定的温度变化过程。目前，已安装了卷取厚度约达 30mm 的厚带钢卷取机。

热轧带钢组织的优化借助于控制轧制来实现，控制轧制包括了热轧带钢生产的每一个阶段。尤其适用于微合金钢的

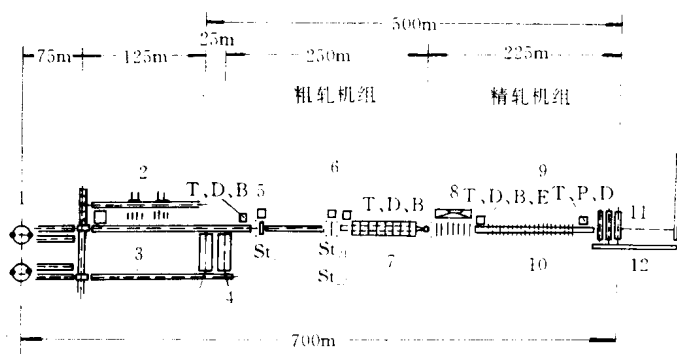


图8 现代化热连轧带钢机组布置

1—1、2号连铸设备；2—火焰清理；3—板坯仓库；4—1、2号炉子；5—二辊轧机 V_1 ；6—四辊轧机 V_2 ；7—辊道保温罩；8—四辊轧机 $F_1 \sim F_7$ ；9—输出辊道；10—层流冷却段；11—1~3号卷取机；12—带卷传输；V—粗轧机；St—立轧机；F—精轧机；测量仪器：T—温度；D—厚度；B—宽度；

E—平直度；P—板形

控制轧制工艺将在4.1节中予以论述。

个别的、在单机架轧机上进行的带钢可逆轧制工艺，即所谓的可逆式炉卷轧机轧制工艺这里不予讨论。

3.3 从热轧带钢到冷轧带钢

冷轧前，必须先清除热轧带钢表面的氧化铁皮，这可在热硫酸或盐酸中进行。氧化铁皮在适宜的辊系中破碎有助于其溶解。最近，试验了用悬浮的钢砂或在中性溶液中电解的方法进行无酸除鳞。

冷轧在由4到6架轧机组成的冷轧机组中进行(图9)^[8]。轧制过程中，由水和油组成的乳化液同时起润滑和冷却的作用。冷轧过程中产生的并残留在轧后带钢表面上的钢屑和油