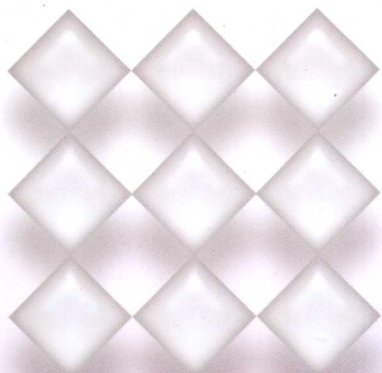


平整轧制工艺模型

白振华 刘宏民 李秀军 周利 著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

763351

河北省教育厅学术著作出版基金资助

河北省自然科学基金现代轧制技术与先进钢铁材料基地
专项项目资助 (08B015)

平整轧制工艺模型

白振华 刘宏民 著
李秀军 周 利

北 京

冶金工业出版社

2010

内 容 简 介

本书主要包括平整轧制基本工艺数学模型、特定平整机组工艺数学模型、平整机组辊型优化模型等三个部分,内容主要包括轧制压力机理模型、工程实用轧制力及其自学习模型、压靠理论及压靠发生时的板形模型、四辊高强度平整机辊径参数设计模型、VC 辊平整机核心工艺数学模型、双机架平整机组摩擦系数及变形抗力返算模型、双机架平整机组金属模型参数综合优化模型、双机架 UCM 机型平整机组辊系参数综合优化模型、普通四辊平整机的辊型优化模型、VC 辊平整机辊型优化模型、高强度平整机的辊型优化模型等 20 套与平整工艺相关的模型及技术。

本书可供轧钢专业从事板带轧制技术的高等学校教师、研究生和大学生以及现场的工程技术人员使用和参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

平整轧制工艺模型/白振华等著. —北京:冶金工业出版社, 2010. 1

ISBN 978-7-5024-5114-1

I. ①平… II. ①白… III. ①平整轧制—轧制模型
IV. ①TG335. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 235668 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010) 64027926 电子信箱 postmaster@cnmip.com.cn

责任编辑 尚海霞 美术编辑 张媛媛 版式设计 葛新霞

责任校对 侯 璐 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-5114-1

北京百善印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2010 年 1 月第 1 版, 2010 年 1 月第 1 次印刷

850mm × 1168mm 1/32; 8 印张; 214 千字; 246 页; 1-2000 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

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

冶金工业出版社部分图书推荐

书 名	定价(元)
冷轧生产自动化技术	45.00
热轧生产自动化技术	52.00
炼钢生产自动化技术	53.00
冶金过程自动化基础	68.00
轧制过程自动化基础	24.00
钢铁工业自动化——炼钢卷	98.00
带钢热连轧的模型与控制	38.00
轧制过程数学模型	20.00
现代热连轧无缝钢管生产	42.00
中国冷轧板带大全	138.00
板带材生产工艺及设备	35.00
高精度板带材轧制理论与实践	70.00
实用轧钢技术手册	55.00
二十辊轧机及高精度冷轧钢带生产	69.00
轧钢基础知识	39.00
轧钢机械	49.00
轧钢工艺学	58.00
轧钢车间机械设备	32.00
轧钢机械设备	45.00
轧钢机械设计	56.00
轧钢设备维护与检修	28.00
薄板坯连铸连轧钢的组织性能控制	79.00
现代电炉—薄板坯连铸连轧	98.00
薄板坯连铸连轧微合金化技术	58.00
连铸坯在线大侧压调宽技术及其应用	28.00
薄板坯连铸连轧(第2版)	45.00
薄板坯连铸连轧工艺技术实践	56.00
连铸连轧理论与实践	32.00
炉外精炼及铁水预处理实用技术手册	146.00
连铸及炉外精炼自动化技术	52.00
德汉轧钢词典	58.00

前 言

随着家用电器、汽车、电子、建筑、造船、军工、航天等行业的需求增大，板带生产工业获得迅猛发展。如今，板带比已经成为衡量一个国家钢铁工业水平的重要标志之一。而平整作为冷轧板带生产中最接近成品的一道工序，不但可以通过控制带材的延伸率与板形来保证退火后产品的力学性能与外形质量，而且可以在带钢表面形成一定的粗糙度，达到提高带钢涂覆性能和成形性能的目的。随着用户对带钢力学性能、板形、表面质量等方面要求的不断提高，平整工序的重要性日益凸现出来。以前，现场平整轧制工艺参数的设定主要依靠表格与操作工经验相结合的方法，产品质量的稳定性无法保证。近10年来，随着用户要求的提高，现场逐步走向对平整生产模型化、自动化改造。国内平整工艺起步较晚，尚未有平整工艺模型方面的专著出版，为了满足从事轧钢生产的工程技术人员学习、研究平整生产过程中工艺数学模型的需要，促进技术的进一步发展，著者根据现场近10年的研究成果与实践经验，撰写了本书。

本书的第1章在对平整工艺与国内外平整工艺的现状进行了简单介绍的基础上，对平整轧制过程中所遇到的主要问题进行了重点分析；第2章介绍了平整轧制基本工艺数学模型，包括轧制压力机理模型、工程实用轧制力及其自学习模型、压靠理论及压靠发生时的板形模型、带钢表面粗糙度模型、带钢表面延伸率设定模型、延伸率和板形综合控制模型等6个模型；第3章介绍了特定平整机组工艺数学模型，主要包括四辊高强钢平整机辊径参数设计模型、VC辊平整机核心工艺数学模型、双机架平整机组摩擦系数及变形抗力估算

模型、双机架平整机组带钢表面粗糙度预报及工作辊配辊模型、双机架平整机机组延伸率综合分配模型、双 UCM 平整机组色差综合控制模型、双机架平整机组金属模型参数综合优化模型、双机架 UCM 机型平整机组辊系参数综合优化模型等八个模型；第 4 章介绍了平整机组辊形优化模型及其现场应用，主要包括普通四辊平整机的辊形优化模型、VC 辊平整机辊形优化模型、高强钢平整机的辊形优化模型、热镀锌平整机的辊形优化模型、极薄带钢平整轧制过程机组辊型优化模型、双 UCM 平整机辊形优化模型等 6 个与辊形相关的模型。本书比较全面地反映了平整轧制工艺模型的全貌和国内外近年来新的进展，其中大部分内容属于著者最近 10 年的研究成果，并已经在相关机组上得到应用。

本书所著的相关研究成果得到连家创教授、刘宏民教授的指导。在本书的撰写过程中，宝山钢铁股份有限公司吴首民首席工程师、顾廷权首席工程师、程其华主任工程师、张宝平首席工程师、黄传清首席工程师、徐俊厂长、杨杰厂长与攀枝花新钢钒股份有限公司李俊洪博士、周波工程师以及凌源钢铁股份有限公司席英信厂长参与了本书的相关理论成果的现场试验与验证工作，燕山大学周庆田教授、李兴东博士、杨立坡博士、王东城博士、周莲莲硕士以及硕士研究生康晓鹏等参加了部分理论研究工作。

本书由“河北省教育厅学术著作出版基金”、“河北省自然科学基金现代轧制技术与先进钢铁材料基地专项项目(08B015)”资助出版。

由于著者水平有限，书中不足之处请读者批评指正。

著 者

2009 年 10 月

目 录

1 绪论	1
1.1 平整工艺概述	1
1.2 目前国内外相关平整工艺研究现状	3
1.3 平整轧制过程中的板形与表面质量问题简介	5
1.3.1 平整板形问题	5
1.3.2 平整轧制过程中带材表面质量问题	6
2 平整轧制基本工艺模型	9
2.1 不同类型产品平整轧制时轧制压力机理模型	9
2.1.1 冷轧及平整轧制过程中典型轧制压力 模型简介	10
2.1.2 一般薄带平整轧制时的轧制压力机理模型	19
2.1.3 极薄带钢平整轧制时轧制力的计算模型	32
2.1.4 较厚带材考虑到应力与变形沿厚度分布 不均匀时的轧制压力模型	35
2.1.5 模型的应用情况简介	42
2.2 平整轧制时工程实用轧制力及其自学习模型	44
2.2.1 工程实用平整轧制压力模型	44
2.2.2 平整工况影响系数的确定	45
2.2.3 轧制压力模型的自学习	49
2.2.4 模型在现场的应用	50
2.3 平整压靠理论及压靠发生时的板形模型	51
2.3.1 平整压靠基本理论及实验方案	51
2.3.2 四辊平整机压靠时的板形模型	53
2.3.3 六辊平整机压靠时的板形模型	59

2.4 平整轧制时带钢表面粗糙度模型及横折印控制技术	67
2.4.1 影响平整成品带钢表面粗糙度形成的主要因素	68
2.4.2 压印率与遗传率概念的引入	68
2.4.3 平整过程中工作辊表面粗糙度模型的建立	70
2.4.4 特定平整机组成品板面粗糙度模型的建立	72
2.4.5 冷轧带钢平整横折印控制技术	77
2.5 平整轧制时带钢延伸率的设定与力学性能、板形、板面粗糙度的关系	83
2.5.1 延伸率的基本定义	84
2.5.2 冷轧带钢平整力学性能预报模型	84
2.5.3 消除来料板形缺陷的最小延伸率研究	91
2.5.4 保证成品板面质量所需要的最小延伸率	95
2.6 平整机延伸率和板形综合控制模型	95
2.6.1 平整机延伸率和板形控制技术研究现状及存在问题	96
2.6.2 平整机延伸率和板形综合控制模型	97
2.6.3 平整轧制时重要传递系数模型	98
2.6.4 模型在现场的应用	108
3 特定平整机组工艺数学模型	111
3.1 四辊高强钢平整机辊径参数设计模型	111
3.1.1 基本原理分析	112
3.1.2 高强钢平整机辊径设计模型简介	113
3.1.3 模型的实际应用	117
3.2 VC 辊平整机核心工艺数学模型	117
3.2.1 VC 辊在不同油压下的凸度分析	118
3.2.2 VC 辊在辊间压力作用下套筒塌陷位移的工程计算方法	122

3.2.3	VC 辊平整机辊系弹性变形模型研究	127
3.2.4	模型在实际中的应用	151
3.3	双机架平整机组摩擦系数及变形抗力运算模型	156
3.3.1	相关数学模型的建立	157
3.3.2	模型在现场的应用	161
3.4	双机架平整机组带钢表面粗糙度预报及工作辊 配辊模型	162
3.4.1	双机架平整机组成品板面粗糙度预报模型	162
3.4.2	双机架平整机组工作辊配辊模型	164
3.5	双机架平整机机组延伸率综合分配模型	168
3.5.1	板形与延伸率分配的关系	169
3.5.2	成品带钢表面粗糙度与延伸率分配的关系	171
3.5.3	机架间轧制压力与延伸率综合分配及张力 优化设定模型	171
3.5.4	模型在现场的应用	173
3.6	双 UCM 平整机组色差综合控制模型	177
3.6.1	平整过程中带钢与轧辊表面色差模型的建立	177
3.6.2	双机架平整机组色差综合控制目标函数 的提出	182
3.6.3	双机架平整机组色差影响因素及其现场 治理方向	183
3.7	双机架平整机组金属模型参数综合优化模型	184
3.8	双机架 UCM 机型平整机组辊系参数综合 优化模型	188
3.8.1	基本数学模型	189
3.8.2	板形参数在线快速设定技术	193
4	平整机组辊型优化模型及其现场应用	202
4.1	辊型优化技术的发展	202
4.1.1	轧辊原始磨削凸度的设计	202

4.1.2 支撑辊辊型优化设计	203
4.1.3 工作辊和支撑辊辊型优化曲线的综合设计	204
4.2 四辊平整机普通料轧制过程中的辊型优化模型	206
4.2.1 基本数学模型	207
4.2.2 模型在现场的应用	210
4.3 四辊平整机特殊料轧制过程中的辊型优化模型	223
4.3.1 高强钢平整轧制时机组的辊型优化模型	223
4.3.2 极薄带钢平整轧制时机组的辊型优化模型	227
4.4 双机架 UCM 平整机组辊型优化模型	234
4.4.1 辊型优化目的	234
4.4.2 基本数学模型	234
4.4.3 模型在现场的应用	239
参考文献	241

1 绪 论

近年来,随着家用电器、汽车、电子、建筑、造船、军工、航天等行业的需求增大,板带生产工业获得迅猛发展。如今,板带比已经成为衡量一个国家钢铁工业水平的重要标志。平整作为冷轧板带生产中最接近成品的一道工序,不但可以通过控制带材的延伸率与板形来保证退火后产品的力学性能与外形质量,而且可以在带钢表面形成一定的粗糙度,达到提高带钢涂覆性能和成形性能的目的。因此,随着用户对带钢力学性能、板形、表面质量等方面要求的不断提高,平整工序的重要性就日益凸现出来。

1.1 平整工艺概述

经退火后的冷轧带钢卷,其表面粗糙度、平直度和组织性能等指标均难以满足用户要求。通常,退火后的冷轧带钢具有如下典型组织特征:(1)粗大、伸长的铁素体组织;(2)有利的织构;(3)很小的位错密度;(4)氮稳定结合成氮化铝;(5)相对粗大的渗碳体析出物。由此得到的力学性能是:比较低的屈服强度和抗拉强度、非常好的冷成形性能和显著的屈服平台。

冷轧带钢经过再结晶退火,消除了加工硬化组织,但却使力学性能和加工性能变坏。这时带钢的应力应变曲线具有明显的上屈服极限,并且在下屈服极限出现屈服平台,如图 1-1 所示。抑制屈服平台的方法有平整轧制、拉伸变形以及矫直等,而平整轧制是最有效的一种加工方法,适合于大规模生产。

经过再结晶退火后的带钢以较小的变形量(0.5%~3%)进行轧制,以消除屈服平台和轻微的波浪,同时得到要求的表面结构,这种轧制过程叫做平整。

平整的目的是:改善带钢的平直度,使带钢表面有一定的粗糙度或洁净度,最后消除退火带钢明显的屈服极限,清除由此产

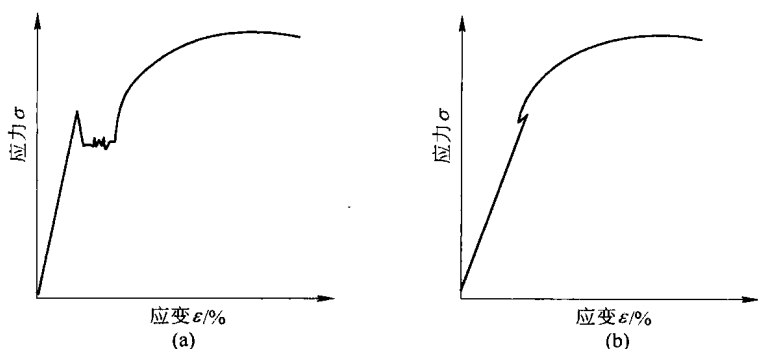


图 1-1 带钢平整前后的应力应变曲线

(a) 平整前; (b) 平整后

生的滑移线的倾向。为保持带钢的平直度，防止长时间存放后再产生屈服平台，通常在平整后紧接着进行矫直。

平整的工艺参数主要是指平整延伸率、张力、压力、温度、轧辊表面状态、轧制润滑条件等。由于平整压下率较小，很难准确计量，常用延伸率来度量。延伸率是平整生产中控制带钢力学性能的唯一变形指标，因此延伸率调节是工艺质量控制的重要内容。不同用途、不同厚度的带钢要使用不同的平整延伸率。针对不同操作方式，延伸率调节手段也不一样。轧制力是延伸率调节的有效控制变量，这是因为轧制力与延伸率基本上是线性关系。为了确保带钢在长度方向上，尤其在头尾部加减速段性能的均一性，必须采用延伸率自动控制系统对平整延伸率进行恒定控制。

平整生产工艺有两种：干法平整和湿法平整。以往平整生产中，不用工艺润滑的即为干法平整。近年来，为了提高防锈能力和改善带钢表面质量，广泛采用水溶性或油溶性防锈剂作平整液喷洒辊缝，进行湿法平整。有关湿平整与干平整工艺的比较见表 1-1。

表 1-1 湿平整与干平整工艺的比较

项 目	湿平整	干平整
生产效率	高	低
单位板宽轧制力/ $\text{kN} \cdot \text{mm}^{-1}$	2 ~ 3	3 ~ 5
延伸率控制	大延伸率范围容易	小延伸率范围容易
粗糙度复制率/%	30 ~ 50	60 ~ 80
防锈效果	好	无
表面缺陷	少	容易产生
辊 耗	低	较高
工作环境	干净	有粉尘

平整机的形式和设备组成基本上与可逆式冷轧机相同。目前普遍采用的有二辊式、四辊式以及六辊式平整机。宽带钢平整机普遍采用单机架四辊式或六辊式冷轧机，对镀锡板和薄带钢平整并兼用二次冷轧，则采用六辊式双机架平整机。生产不锈钢带时常采用二辊式单机架可逆平整机，其平整带钢的厚度范围很宽，并且对厚度较薄的带钢可采用多道次平整，使产品累计延伸率达到规定要求。

1.2 目前国内外相关平整工艺研究现状

目前，国际上对平整机的设计和控制及生产工艺研究较多、研究水平较高的主要集中在美国、日本、意大利、德国等国家，其中具有代表性的公司有 AK、川崎制铁、Danieli 以及 Heartland 等公司^[1,2]。其中，美国 AK 钢铁公司采用了 CVC 单机架平整机，CVC 技术和轧辊弯辊保证了带钢的板形。日本川崎千页厂开发了 KM-TEC 生产工艺，用连续退火线后加多用途轧机生产从 T1 ~ T6 以及 DR8 ~ DR10 的全调质度范围的镀锡原板。该工艺包括：成分与退火后调质处理压下率相结合；退火线后加多用途轧机，压下率范围为 1.0% ~ 30.0%，并与 CAL 连续化；极薄板高速通板技术和精整设备连续化。该作业线的多用途轧机为世界上

首条可进行干、湿平整和二次轧制的轧机，设备设有板形控制装置，包括弯辊装置、压下矫正和可变凸度支撑辊（TP 辊）。意大利 Danieli 公司为美国纽柯钢铁公司提供了一套可逆的冷轧—平整联合轧机，该轧机年生产冷轧带卷 800kt 和平整 136kt 带卷，最大平整延伸率可达 7.0%。德国 Heartland 钢铁公司单机架平整机使用了 DSR 技术，DSR 辊轧制时可以用或者不用润滑油，最大延伸率可达 10%。这些公司经过多年的发展，在平整机的设计（包括机型的选择）、控制及生产工艺等方面已经形成一套较为完整的技术，但是，出于技术垄断与商业竞争的需要，这些技术并没有公开。

在国内，由于种种原因，对平整机的设计、控制及生产工艺的开发与研究起步比较晚，虽然在局部领域具有一定的建树，但整体技术水平与国际先进企业相比还有一定的差距，尚未形成一套比较完整的、具有自主知识产权的、成熟的平整设计、控制以及生产工艺技术，大部分高水平的平整设计技术、控制方法以及生产工艺仍然主要依赖引进。表 1-2 列举了国内平整机（包括部分光整机）的基本情况。

表 1-2 国内平整机的基本情况

厂 家	机架形式	产品类型	最大速度 /m · min ⁻¹	投产年份
宝钢 2030 冷轧厂	单机架/四辊	冷轧、镀锌、彩涂	1700	2001
宝钢 1420 冷轧厂	双机架/六辊	镀锡板	1070	1997
宝钢 1550 冷轧厂	单机架/四辊	冷轧、镀锌、电工钢	560	2000
宝钢 1800 冷轧厂	单机架/六辊	冷轧、汽车、家电	680	2005
宝钢冷轧薄板厂	双机架/六辊	冷轧、镀锡	1000	1991
鞍钢新轧钢	单机架/四辊	冷轧、镀锌、彩涂	1200	1960
鞍钢新轧钢	单机架/四辊	冷轧、镀锌、彩涂	1200	1991
鞍钢新轧钢	单机架/四辊	冷轧、镀锌、彩涂	1200	2001
鞍钢新轧钢	单机架/CVC	冷轧	820	2006

续表 1-2

厂 家	机架形式	产品类型	最大速度 /m · min ⁻¹	投产年份
武钢冷轧厂	单机架/四辊	冷轧、镀锌	1500	1978
武钢冷轧厂	双机架/四辊	冷轧、镀锡	2000	1978
武钢冷轧厂	单机架/四辊	冷轧、镀锌、彩涂	820	2005
武钢海南冷轧厂	单机架/四辊	冷轧	1000	1995
本钢冷轧厂	单机架/四辊	冷轧、镀锌	1154	1996
本钢浦项冷轧薄板	单机架/UC	冷轧、镀锌、彩涂	650	2005
马钢冷轧厂	单机架/四辊	冷轧、镀锌	1000	2004
湖南华菱涟钢 超薄板冷轧薄板	单机架/四辊	冷轧、镀锌	1100	2006
攀钢冷轧厂	单机架/四辊	冷轧、镀锌	1000	1996
包钢冷轧薄板厂	单机架/四辊	冷轧、镀锌	1000	2005
邯钢冷轧厂	单机架/四辊	冷轧、镀锌	1500	2005
天津冷轧薄板厂	单机架/四辊	冷轧	900	1993
济南钢铁冷轧厂	单机架/四辊	镀锌	800	2005
无锡长江薄板冷轧厂	单机架/四辊	冷轧	800	2004
昆钢冷轧厂	单机架/四辊	冷轧	860	2002
重钢冷轧薄板厂	单机架/四辊	冷轧	305	2004

1.3 平整轧制过程中的板形与表面质量问题简介

1.3.1 平整板形问题

平整机与冷轧机结构、尺寸基本相同，但在工艺条件、板形控制手段上有很大差别。平整变形量小，轧制力小，用于调节板形的手段主要是工作辊和支持辊的辊型配置、压下调节和正负弯辊。平整机组上无板形仪等检测仪表，不能形成闭环控制。实际生产中板形控制更多的是依赖于生产操作，即要根据带钢板形进

行弯辊力、张力和轧制力等参数的综合调节。而在冷轧机上,除了上述控制辊缝的传统手段外,还采用了工作辊或中间辊的轴向抽动、上下辊双交叉及带钢张力分布调控等新的板形调控方法^[3,4]。相继出现了 WRS 轧机、HC 轧机、PC 轧机、CVC 轧机等新一代高技术轧机 (High-techmills), 而且, 现代冷轧机上都配有板形闭环控制系统。相比之下, 平整机上的板形控制手段十分有限。同时因退火后轧件比较软, 平整变形量又很小, 轧制力一般不超过 4500kN, 所以平整机的板形控制与冷轧有所不同, 主要有以下特点:

(1) 冷轧平整的首要任务是对带钢性能的控制, 因此平整的板形控制应以保证性能要求为前提。弯辊力、轧制力、张力等的调节和使用受到一定的限制, 国内外对此所做的研究要比轧机少得多。

(2) 平整变形量小, 一般为 0.5% ~ 3%, 轧制力小, 板形控制能力有限, 板形控制手段受限制。

(3) 平整之前一般都将带钢进行退火, 因此平整加工的带钢更薄、更软, 平整工序对冷轧厂最终产品的板形影响就更直接、更重要, 其辊型的加工精度要求更高。因此, 需要研究轧辊加工精度对平整结果的影响。

(4) 平整机热辊型的产生条件与冷、热轧均有所不同。

(5) 平整机与轧机一样, 厚度与板形控制之间存在耦合关系。

针对以上特点, 必须对平整机进行现场测试, 对设备、板形调节手段进行全面研究, 以直接获取平整过程的实际资料, 建立满足平整机特殊情况的板形模型并制定合理的板形控制目标和方案。

1.3.2 平整轧制过程中带材表面质量问题

对成品带钢而言, 衡量其表面质量的标准有两类: 表面粗糙度精度与表面缺陷控制程度。

表面粗糙度作为反映带钢表面质量的一个主要量化指标，不仅影响带钢冲压时的变形行为和涂镀后的外观面貌，而且可以改变材料的耐蚀性。在国外，新日铁、NKK、川崎制铁、西马克等公司已经对轧制过程中带钢表面粗糙度的预报与控制技术展开过系统的研究，已经形成了各自的专有技术，但出于知识产权保护和技术垄断的需要，这些技术并没有被公开推广使用，仍处于保密阶段，几乎没有任何关键资料见诸于文献，如何建立轧机板面粗糙度预报与控制模型，对要生产的带钢表面粗糙度值进行定量的预报与控制，最终达到事先调整，避免粗糙度超差仍然是各国钢铁公司技术开发的重点。在国内，由于种种原因，轧制工艺的发展相对滞后，对带钢表面粗糙度控制技术的研究基本处于起步阶段，没有一整套成熟的控制技术。

根据现场调研可以知道，在平整轧制过程中，带钢的表面缺陷大致分成以下两类：第一类是由于轧制过程中非正常因素所引起的缺陷，如辊印、烙痕等；第二类是由于平整轧制过程中工艺参数不合理而引起的缺陷，如色差等。对于第一类表面缺陷，现场经过多年的技术攻关，已经掌握了这些表面缺陷产生的原因，并提出了相应的治理措施。根据相关文献，表 1-3 列出这些平整带钢常见表面缺陷名称、形态以及产生原因^[5]。

表 1-3 常见表面质量缺陷形态及其原因

序号	常见表面缺陷名称	形态与特征	产生原因
1	烙痕	这是物体从单侧挤压带钢形成的凹坑。伤痕发生倾向沿长方向是周期性出现的	在轧制、剪切等穿过轧机的钢板中，飞入异物时，异物在板卷和切定尺板的操作中产生的接触划伤，形成烙痕
2	辊印	周期性出现的凹或凸的伤痕。对里面没有影响，这一点与烙痕不同	平整时附在工作辊上的异物和轧辊本身的伤痕在带钢上的压印，也有可能是附属设备、轧制油、冷却乳液、带钢等带进的异物、滑移痕迹、轧辊疲劳产生的剥落等