



全国中等职业技术学校冶金专业教材

QUANGUO ZHONGDENG ZHIYE JISHU XUEXIAO YEJIN ZHUANYE JIAOCAI

热轧板带钢生产工艺

REZHABANDAIGANGSHENGCHANGONGYI



REZHABANDAIGANGSHENGCHANGONGYI
YUANJIANGUOZHONGDENGZHIYEXUEXIAOJIAOCAI

全国中等职业技术学校冶金专业教材

热轧板带钢生产工艺

人力资源和社会保障部教材办公室组织编写

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

热轧板带钢生产工艺/人力资源和社会保障部教材办公室组织编写. —北京:中国劳动社会保障出版社, 2009

ISBN 978 7 - 5045 7657 - 6

I. 热… II. 人… III. 带钢-热轧-生产工艺-专业学校-教材 IV. TG335.11

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第108515号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街1号 邮政编码:100029)

出版人:张梦欣

*

北京谊兴印刷有限公司印刷装订 新华书店经销

787毫米×1092毫米 16开本 9.25印张 215千字

2009年7月第1版 2009年7月第1次印刷

定价:16.00元

读者服务部电话:010-64929211

发行部电话:010-64927085

出版社网址:<http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话:010-64954652

前 言

冶金工业是国民经济发展的重要基础工业。随着我国国民经济的高速发展，我国钢铁产量逐年增加，冶金工业现代化水平也不断提高。冶金企业对技术工人的知识水平和技能水平以及相关的职业教育和职业培训提出了更高、更新的要求。为更好地适应行业发展、满足中等职业技术学校的教学需求，我们根据原劳动和社会保障部培训就业司颁发的《冶金专业教学计划与教学大纲(2008)》，组织全国有关学校的一线教师及行业专家，编写了这套冶金专业教材。

在教材开发工作中，我们力求突出以下几个方面的特色：

第一，根据中等职业技术学校冶金专业学生就业岗位的实际需求，合理安排知识点和技能点，以“够用”“实用”为标准，摒弃“繁难偏旧”的理论知识，同时，注重工作能力的培养，满足企业对技能型人才的需求。

第二，在内容安排上，尽可能多地引入新知识、新技术、新设备和新材料等方面的内容，淘汰陈旧过时的技术，反映行业发展趋势。同时，在教材编写过程中，严格执行国家相关技术标准的要求。

第三，在结构和表达方式方面，强调由浅入深、循序渐进，使用图片、实物照片、表格等多种表现形式，更加生动、直观地讲解相关知识和技能，提高学生的学习兴趣，力求使教材做到易教易学。

本次开发的教材涉及“炼铁”“炼钢”和“轧钢”三个专业方向，包括《冶金概论》《热工常识》《冶金仪表》《炼铁工艺》《炼铁设备》《炼钢原理》《转炉炼钢工艺及设备》《连铸设备及工艺》《轧钢原理》《轧钢机械设备》《型钢生产工艺》《热轧板带钢生产工艺》《冷轧板带钢生产工艺》。

本套教材可供中等职业技术学校冶金专业使用，也可作为职业培训教材。

本套教材的编写工作得到了辽宁、河北、江苏等省人力资源社会保障（劳动保障）厅及有关学校的大力支持，在此，我们表示诚挚的谢意。

人力资源和社会保障部教材办公室

2009年6月

内 容 简 介

本教材按照热轧板带钢的基本生产流程，介绍了坯料准备与加热、粗轧、中间辊道、精轧、卷取、精整等方面的工艺知识。

本教材针对中等职业技术学校学生的认知特点和职业需求，深入浅出地讲解了其应知、应会的教学内容，在讲解工艺原理知识的同时，还介绍了生产实践中常见问题的分析和解决方法。

本教材由雷党萍主编，程懿麒、何刚参加编写；王鲁宁审稿。

《热轧板带钢生产工艺》参考学时

教学内容	学时
第一章 概述	6
第二章 坯料准备与加热	22
第三章 粗轧	10
第四章 中间辊道	4
第五章 精轧	38
第六章 卷取	10
第七章 精整	10
总计	100

目 录

第一章 概述	(1)
第二章 坯料准备与加热	(12)
第一节 坯料准备	(12)
第二节 坯料加热	(19)
第三章 粗轧	(42)
第一节 高压水除鳞	(42)
第二节 粗轧区的布置	(45)
第三节 粗轧机	(48)
第四章 中间辊道	(59)
第五章 精轧	(63)
第一节 精轧机	(63)
第二节 尺寸控制	(80)
第三节 温度控制	(89)
第四节 板形控制	(96)
第六章 卷取	(107)
第一节 层流冷却	(107)
第二节 卷取机的形式	(111)
第三节 卷取张力控制	(119)
第四节 卷取速度控制	(122)
第七章 精整	(125)
第一节 横切机组	(125)
第二节 纵切机组	(128)
第三节 平整分卷线	(130)
第四节 精整的常见缺陷及处理	(135)

第一章

概 述

一、热轧板带钢的分类及用途

热轧板带钢是广泛用于国防建设、国民经济各部门以及日常生活中的一种钢材。热轧板带钢产品主要以钢卷状态供给冷轧机作为原料，同时也直接供用户和市场销售热轧板带钢卷和精整加工产品，如平整钢卷、分卷钢卷、纵切窄带钢卷、横切钢板等，最近几年又有经过酸洗的热轧钢卷销售。

供冷轧机作为原料用的热轧钢卷，如 SPCC、SPCD、SPCE，镀锡板用热轧钢卷 T1 ~ T5，热轧钢卷 SPHC、SPHD、SPHZ 等，主要的钢种为低碳钢（包括超低碳钢）和普通碳素结构钢。另外，供冷轧机生产用的冷轧取向硅钢 Z8H ~ Z12、冷轧无取向硅钢 S5 ~ S60、不锈钢薄板带等原料钢卷，也是由热轧板带钢轧机生产。

直接向用户和市场销售的热轧板带钢的种类和用途如下：

1. 普通碳素结构钢板带

一般结构用钢 SS330、SS440、SS490、SS540，主要用于制造建筑结构、起重运输机械、工程机械、农用机械、建筑机械、铁路车辆及其他各种结构件。

2. 优质碳素结构钢板带

主要用于制造汽车、拖拉机、收割机、要求冲压性能和焊接性能优良的机械结构件以及石油储罐、压力容器、船舶、桥梁和各种工程的结构件。如图 1—1 所示。



图 1—1 优质碳素结构钢板带用于石油储罐

3. 低合金高强度结构钢板带

用于制造要求强度更高、成形性更好和性能稳定的机械制造、车辆、化工设备等各种设备结构，大型厂房钢结构、重要工程及桥梁结构等。

4. 耐大气腐蚀和高耐候钢

耐大气钢 NAW400 ~ NAW490，用于制造铁路客车、冷藏车、铁路货车、矿石车以及各种交通车辆的结构件，也用于船舶及铁路集装箱制造，石油井架、各种工程机械和各种交通运输机械制造。

5. 耐海水腐蚀结构钢

用于石油井架、海港建筑、采油平台、船舶制造，也用于化工、石油容器中含硫化氢腐蚀性液体和铁路运输车辆的制造。

6. 汽车制造用钢板带

汽车制造用钢板带 SAPH310 ~ SAPH440，专用于制造汽车的各种零部件。

7. 集装箱用钢

专用于制造集装箱侧板、门板、顶板、底板、边框、立柱等构件。

8. 管线用钢

管线用钢 SPHT1、SPHT2 等，按照《API SPEC 5L》生产的石油、天然气输送用管线钢卷，用于制造埋弧焊接钢管及直缝电阻焊钢管。

9. 焊接气瓶及压力容器用钢

焊接气瓶及压力容器用钢 SM400A、SM520B 等，用于制造液化气钢瓶、乙炔气钢瓶和较高工作温度的压力容器及锅炉等。

10. 造船用钢板

用于制造内河船体及上层建筑结构，远洋轮船上层建筑及隔舱板等。

11. 矿用钢板

用于制造采矿用液压支架、矿用工程机械、矿用车斗、采矿刮板输送机，以及其他矿用机械耐磨结构件。

板带钢按产品厚度一般可分为厚板和薄板两类，对于带钢按产品宽度可分为窄带钢和宽带钢两类。我国《钢产品分类》（GB/T 15574—1995）规定：厚度不大于 3 mm 的称为薄板，厚度大于 3 mm 的称为厚板；钢带宽度小于 600 mm 的称为窄带钢，宽度不小于 600 mm 的称为宽带钢。

目前，我国钢铁企业能生产的热轧板带钢厚度范围为 0.8 ~ 25.4 mm，最大宽度可达 2 150 mm，最大轧制速度为 25.1 m/s，最大卷重为 43.6 t，热轧板带钢车间年产量最高为 400 万吨。

我国热连轧板带钢生产线既有二代到五代的常规热连轧生产线，也有代表当今世界热轧板带钢生产工艺最先进水平的薄板坯连铸连轧生产线（短流程工艺）。用薄板坯连铸连轧的一些先进实用的技术来改造常规热连轧板带钢生产线已成为一种趋势。

由于先进的计算机控制技术、CVC 轧机、控制轧制、（精轧机组的）无头轧制、在线磨辊、热轧工艺润滑等一系列新技术应用于热轧板带钢生产中，使可生产的热轧板带钢厚度不断减小，厚度精度、表面质量和组织性能不断提高，生产成本不断降低，导致部分厚规格热轧板带钢可以当中厚板用，部分薄规格热轧板带钢可以当冷轧板带钢用，目前已出现了热轧板带钢生产企业争夺冷轧板带钢生产企业、中厚板生产企业的市场份额的苗头，特别是具有连铸连轧工艺的热轧板带钢生产企业竞争力更强。

二、热轧板带钢生产工艺流程

图 1—2 所示为热轧板带钢连轧机生产工艺流程图，概括了目前热轧板带钢轧机的生产过程，这是一个典型的工艺流程，各厂家的工艺流程不同之处仅在于有无定宽压力机、边部加热器等。

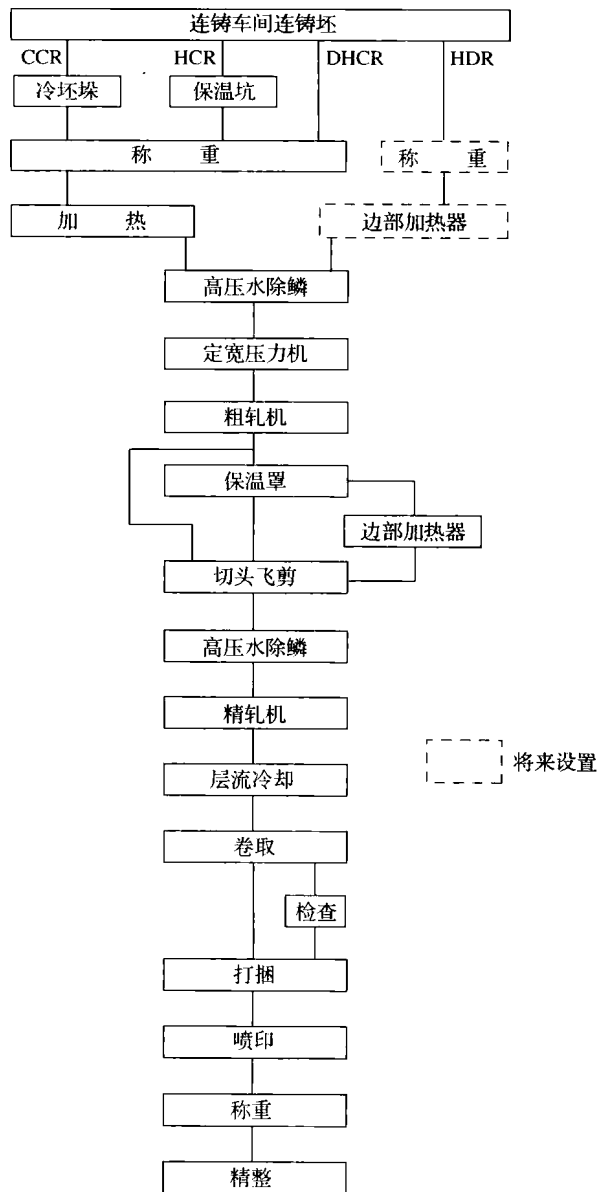


图 1—2 热轧板带钢连轧机生产工艺流程图

1. 原料准备

为加热和热轧准备质量合格的连铸板坯。它一般包括连铸车间对连铸坯检查、表面缺陷清理、堆放，轧钢车间验收、按照轧制计划备料、堆放等环节。

2. 加热

提高连铸坯温度，改善其塑性，降低其变形抗力，改善其内部组织和性能，以满足轧制

的要求。

3. 粗轧

大幅度减小轧件的厚度，调整和控制宽度，增加长度，清除表面氧化铁皮。

粗轧机组由若干架呈串列式布置的立辊、水平辊轧机组成。一般来说，除第一架外，粗轧机组其余各架均是由一架立辊轧机、一架水平辊轧机组成的万能式轧机，立辊轧机与水平辊轧机形成连轧关系，立辊轧机一般在水平辊轧机的入口侧。第一架水平辊轧机可能是二辊式，也可能是四辊式，其余水平辊轧机一般为四辊式。

第一架立辊轧机一般为带孔型的大立辊轧机（VSB），或者是定宽压力机，它们的调宽能力很强，可以在轧件较厚、温度较高时，对轧件施加大的侧压量（一般为150 mm以下），使其宽度大幅度减小，满足精轧机对中间带坯宽度灵活变化的要求。这样，有利于减少连铸坯宽度级数，减少调整和更换连铸机结晶器的次数，提高连铸机的生产效率和连铸坯质量，缓解轧机生产能力高而连铸机生产能力不足的矛盾。此外，第一架立辊轧机还起到挤碎、挤松板坯表面氧化铁皮的作用，以便于随后用高压水冲掉。

4. 掉头尾

热卷箱的作用是把高温的中间带坯卷取后，随即又反向开卷，使中间带坯尾部变成精轧时的头部送向精轧机，以便减小带坯温差。

5. 剪头尾

从粗轧机组轧出的半成品称为中间带坯，粗、精轧机组之间的辊道称为中间辊道。中间带坯在进入精轧机组前要切头，有时还需要切尾。切头前，用高压水箱除鳞，用辊式矫直机矫直中间带坯头部。切头的目的是为了除去温度过低或形状不整齐的头部，以免损伤辊面，防止舌头、鱼尾形头部卡在精轧机架间侧导板、卫板、辊道、卷取机缝隙中。切尾是为了防止舌头、鱼尾形的后端给卷取及后部精整工序带来困难。

轧制线上飞剪一般为转鼓式飞剪，装有两对刀刃，一对为弧形刀，用于切成宽向中部稍微凸出的舌形，以有利于咬入，减小咬入时轧件对轧辊的冲击及剪切力；一对为直刀，用于切尾。

6. 精轧

继续减小轧件的厚度，增加其长度，控制热轧板带钢成品尺寸精度和板形，清除二次、三次氧化铁皮。

7. 层流冷却

对轧后的热轧件进行水冷，使其温度迅速降低到卷取温度，满足卷取工艺的要求，提高热轧板带钢性能。

8. 卷取

把长度很长的钢带打成卷，便于运输、堆放。

9. 酸洗

去除热轧板带钢表面氧化铁皮和暴露板带钢的表面缺陷。此工序一般放在冷轧车间进行。近年来，热轧板除增加了热轧酸洗卷这一新品种外，我国有的厂家还开发了用于制造筒式钢板仓、客车车厢和高速公路护栏板的热轧镀锌板。

10. 平整

即小压下量轧制，热轧板带钢的热平整机约有1.0%的压下率，目的是改善板形、提高

表面质量、改善机械性能、分卷以及质量检查等。

11. 横切、纵切

横切是冷态的热轧卷开卷后，采用飞剪，沿带钢横向进行周期性地剪切，使其成为一张张的钢板。纵切是冷态的热轧卷开卷后，采用圆盘剪，沿带钢纵向进行剪切，把宽卷分成若干窄带卷。

三、我国热轧板带钢轧机所应用的先进技术

为了不断提高产品的强度、精度、表面质量等，我国现有的热轧板带钢生产采用了大量的先进技术和装备，为生产高质量的产品提供了保证。

1. 连铸板坯热装（HCR）和直接热装（DHCR）技术

为了节省能源，降低生产成本，实现最大限度地节能，加热炉可采用连铸板坯热装（HCR）和直接热装（DHCR）技术。应用和实现板坯热装技术的基础是炼钢和连铸机稳定生产无缺陷板坯。热轧车间的有关技术如下：

（1）连铸和热轧车间上下工序生产计划的一贯管理，保证预定的板坯物流与连铸和热轧机的节奏匹配，板坯数据要求实时传输。

（2）热轧车间最好和连铸机直接连接，以缩短传送时间，保证和提高板坯温度。

（3）精轧机组后段的机架（ $F_4 \sim F_7$ ）设工作辊轴向移动装置（WRS），这对于增加带钢同宽度的轧制量十分有利，对提高直接热装比率很有利。

2. 采用高效、节能的加热炉

加热炉采用汽化冷却、高效换热器，炉子水梁立柱采用双层绝热包扎，采用最佳化燃烧控制模型，以配合热装更有效地节省能源。加热炉除均热段上部采用常规平焰烧嘴外，均热段下部采用常规侧调焰烧嘴，其他供热段全部采用侧向蓄热式烧嘴，大大节约了能源，降低了生产成本。

3. 板坯定宽压力机

设有板坯定宽压力机可以减少连铸板坯的宽度种类和增加连铸板坯宽度，从而提高连铸机产能，稳定拉坯速度，减少漏钢，稳定连铸操作，相应可以提高板坯的直接热装比率。同时，定宽压力机与传统的大侧压立辊轧机相比，每道次最大侧压量为 350 mm，可连续进行板坯侧压，运行时间短，效率高，板坯温降小，侧压后板坯头尾形状好，狗骨形断面小，板坯减宽侧压有效率达 90% 以上。

4. 轧制线高压水除鳞装置

该装置采用高压、小流量的设计，一方面提高了除鳞水打击力和除鳞效果，另一方面由于除鳞水量的减少，可减小带坯的温降。

5. 粗轧机立辊侧压短行程控制（SSC）和自动宽度控制（AWC）

粗轧机组由两架高刚度、大压下、高速度的可逆式粗轧机 R_1 、 R_2 组成，轧制道次分配灵活，能够适应多品种的轧制需求。 R_1 、 R_2 粗轧机的附属立辊轧机 E_1 、 E_2 采用全液压压下，设备简单便于维护，同时配置短行程（SSC）和自动宽度控制（AWC）功能，可提高带钢宽度精度。

粗轧机 R_1 、 R_2 采用机械压下和短行程液压压下，一方面可以较好地完成工作辊的调零、调节器平衡过载保护功能，同时可提高带坯厚度精度、操作稳定性和纠正镰刀弯。

6. 中间辊道保温罩和带坯边部电感应加热器

粗轧机出口带坯长度可达 80 ~ 90 m, 在进入精轧机轧制过程中为减小带坯头尾温差, 设置保温罩是简单易行的有效技术。

精轧机组前的带坯边部电感应加热器是针对轧制薄规格的产品和硅钢、不锈钢、高碳钢等特殊品种而设置的, 在日本的热轧带钢轧机上应用较为普遍。我国的宝钢 1 580 mm 热轧机原计划轧制取向硅钢及薄规格产品, 因而设有一套 $2 \times 2\,000$ kW 感应加热器, 对于坯料温度为 $1\,000^{\circ}\text{C}$ 、厚度为 40 mm 的带坯, 距边部 25 mm 处坯料的温度可升高 45°C 。所以中间坯保温和加热可提高带坯横向和纵向温度的均匀性。

7. 切头最佳化控制系统

为减少带坯的切头、切尾长度, 提高成材率, 采用切头最佳化控制系统。

8. 精轧机组全液压压下及 AGC 系统

精轧机 F_1 前设有小立辊 F_{1E} , 其采用了全液压压下, 可提高和改善带钢边部的质量以及带钢宽度控制精度, 另外, F_{1E} 也具有对中和导向功能。精轧机 $F_1 \sim F_2$ 全部采用全液压压下系统和厚度自动控制系统, 提高了带钢全长厚度控制精度。

9. 精轧机板形控制技术

板形包括带钢断面凸度、断面轮廓形状及带钢的平直度。用于热连轧机的板形控制方式主要有: 工作辊弯辊装置 (WRB、Double Chock Bender)、工作辊轴向移动装置 (WRS)、连续可变凸度控制 (Continuously Variable Crowning, 简称 CVC) 及成对交叉辊轧机 (Pair Cross Mill, 简称 PCM) 等。其中, WRB 因可用于独立控制或者其他控制形式的热轧机而被普遍采用。

我国现有及改造的热带轧机所采用的板形控制有以下 3 种方式:

(1) 工作辊弯辊和轴向移动 (窜辊) 装置 (WRB + WRS)

工作辊弯辊装置用于板形控制, 关键是增大弯辊力; 用于平直度动态控制, 无论什么形式的热轧机都能采用。太钢 1 549 mm 热轧机改造时, 在 $F_1 \sim F_6$ 轧机上增设 WRB 每侧 $+1\,600$ kN, 及 $F_4 \sim F_6$ 轧机上增设 WRS ± 150 mm。

(2) 连续可变凸度控制 (CVC)

本钢 1 700 mm 热轧机改造时, 精轧机 $F_2 \sim F_4$ 设有 CVC ± 150 mm, $F_2 \sim F_7$ 机架设 WRB 每侧 $+1\,600$ kN。

(3) 成对交叉辊轧机 (PCM)

宝钢 1 580 mm 热轧机精轧机 $F_2 \sim F_7$ 为 PCM, 交叉角为 $0^{\circ} \sim 1.5^{\circ}$, F_1 设 WRB 每侧 $\pm 1\,200$ kN, $F_2 \sim F_3$ 为每侧 $+1\,200$ kN 和 $F_4 \sim F_7$ 为每侧 ± 900 kN, $F_4 \sim F_7$ 设 ORG (在线磨辊)。

10. 采用轧制润滑工艺技术

精轧机组采用轧制润滑工艺技术, 可降低轧制力, 提高轧制能力, 减少能耗, 并提高操作的稳定性; 减小轧辊磨损, 提高轧辊使用寿命; 改善轧辊表面状况, 提高带钢表面质量。

11. 带钢层流冷却系统

层流冷却系统由普通层流冷却装置和快速冷却装置组成。普通层流冷却段分为精调段和微调段, 微调段采用单阀、单管控制, 以提高带钢温度控制精度; 快速冷却装置布置在层流冷却系统的后部, 它不仅可以给带钢以较大的冷却速度, 而且可以与控制系统相配合, 满足高质量产品生产工艺的要求。

12. 全液压地下卷取机

全液压地下卷取机采用液压缸驱动的侧导板、夹送辊、助卷辊，无级涨缩式卷筒和高应答性能的自动跳跃控制（AJC）系统，提高了带钢的卷取质量。同时为满足多品种的生产，卷取机可卷取的带钢温度范围为 100 ~ 850℃。

为了提高带钢的表面质量，卷取机夹送辊上配置在线抛光装置，在轧制的间隙，可以清扫夹送辊表面。

在卷取机入口设置上、下表面质量检查仪，以便在线检查、分析带钢表面质量，为生产提供及时的信息反馈。

13. 采用三级或四级计算机控制和管理系统

由基础自动化级（L₁）、过程控制级（L₂）、生产控制级（L₃）、生产管理级（L₄）构成多能计算机系统。

我国新建和改造的热连轧机全部采用 L₁、L₂ 两级自动化和过程控制计算机系统，已有 4 套热连轧机采用了 L₁、L₂、L₃ 三级计算机控制系统，少数的热连轧机采用了 L₁、L₂、L₃、L₄ 四级计算机控制和管理系统。

四、无头轧制

1. 无头轧制的意义

所谓无头轧制是一种全连续的轧制方式，在轧机前将前一块坯料的尾部与后一块坯料的头部接合起来，在轧机里形成一种不间断的轧制，这种轧制技术的出现，极大地推动了轧钢行业的发展，对于热轧板带钢生产具有重要意义。

（1）提高金属收得率

传统单块坯轧制时，带钢头尾存在失张段，使带钢头尾尺寸公差和板形失去控制，造成变形不均匀、不稳定，出现舌头、鱼尾、失宽、劈头等现象。如果能够采用无头轧制，将板坯焊接在一起连续轧制，则其几何精度和板形不良的头尾部分占带材的比例将减小，以利于提高收得率。

（2）轧件性能更加均匀

传统轧制的轧件头尾部因散热条件与中部不同，因而轧件沿纵向温度分布不同，存在头尾温差，使头尾性能与中部存在差异；另外，采用传统轧制时是变速轧制，低速穿带、升速轧制、减速抛钢过程增加了终轧温度和卷取温度的控制难度，致使带钢全长性能不均匀。无头轧制实施的是恒速轧制，带钢的终轧温度、卷取温度稳定，从而使带钢全长力学性能均匀得到了保证。

（3）大幅提高生产率

在传统单块坯的轧制方式下，带钢咬入和甩尾阶段，时有撞刮导卫、穿带失控等现象出现，导致咬入失败、断带、断辊、破坏设备等故障，作业率低。无头轧制采用一次穿带，可以有效减少生产事故的出现，提高生产率。

（4）更加适应生产薄规格带钢

在传统热连轧中，为了生产薄规格带钢，不得不提高轧制温度和轧制速度，无疑将造成氧化铁皮的生成量升高和带钢运行中漂浮现象以及甩尾现象。在无头轧制中仅有一次穿带，减少了薄带钢头部穿带的难度，解决了漂浮、甩尾和叠轧等问题，能稳定高速地生产。

（5）提高热轧润滑效果

采用润滑轧制的目的是降低轧辊磨损，改善带钢的表面质量。传统热连轧中，头部润滑将阻碍咬入，因此，不能向带钢的头部和尾部喷油，致使润滑轧制处于不稳定的状态，难以充分发挥热轧润滑工艺实施效果。在无头轧制中，一次穿带和一次抛尾使润滑轧制变得很稳定，提高了润滑轧制的效果。

2. 无头轧制的关键技术

在带钢热连轧中使用无头轧制技术要解决以下问题：

(1) 板坯的焊接

热轧带钢的板坯厚度大、温度高，没有活套仓，而且在高温下操作困难。因此，热轧板坯的焊接是热带无头轧制的一大难题。

(2) 精细准确的轧制节奏控制

轧件焊接起来以后，没有缓冲环节，必须对原料准备、装炉、出炉、焊接、轧制、卷取、分卷、外运等整条生产线进行精细准确的节奏控制，任何一点纰漏都将影响全线生产。

(3) 对精轧机组的高要求

由于没有头尾，所以要求改变产品规格性能在轧制过程中动态完成，即要有动态变规格功能（Flying Gauge Change，简称FGC），这就要求精轧机组有张力控制、厚度控制、液压位置控制和精确的测厚仪器。

(4) 分卷及卷取新技术

采用无头轧制技术以后，必须解决没有头尾轧件的分卷问题。首先要有高速飞剪，当前一卷达到规定质量或卷径时，在轧件运动中把它剪断。同时必须处理好剪断轧件后出现的失张问题，解决在轧件高速运行条件下，下一卷轧件头部顺利进入卷取机并实现稳定卷取的难题。

3. 无头轧制生产线理想配置

如图1—3所示为理想的无头轧制生产线。

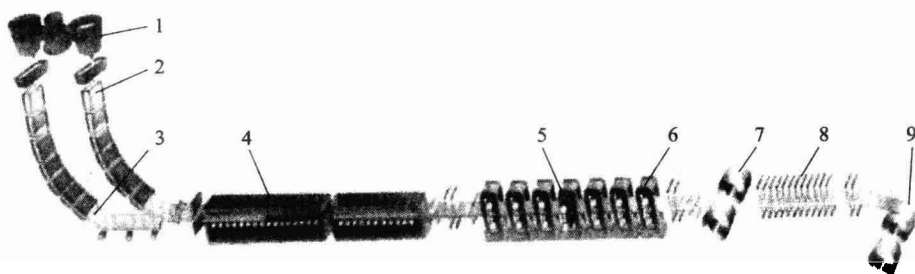


图1—3 理想的无头轧制生产线

1—钢水包 2—工作中的连铸机 3—备用连铸机 4—感应加热炉 5—换辊中的机座 6—精轧机组
7—近距离卷取机 8—强力冷却装置 9—远距离卷取机

(1) 整个生产线配备了完善的辅助设备、检测装置和完善的控制系统以及最优的生产计划调度系统。

辅助设备包括板坯的焊接、高速飞剪等。

检测装置包括精确的测厚仪器、板形仪等。

完善的控制系统包括精细准确的轧制节奏控制、高响应性的张力控制、厚度控制、液压位置控制、动态变规格控制等。

(2) 工艺线上采用两台连铸机，一工一备。供坯连铸机处于工作状态时，另一台处于检修状态。两台连铸机同处在生产线同一纵线的前后位置。由于动态变规格技术已经比较成熟，所以铸坯尺寸按照成品规格要求和设备能力来决定。

(3) 连轧机组由7或8座工作机座组成，其中总有一台轧机处在动态换辊状态，即倘若一架轧机需要更换工作辊时，按照压下规程要求，它的工作由相邻的一架工作机座承担，任务切换由计算机自动控制，切换完毕，由快速换辊小车完成换辊操作。

4. 热轧无头轧制的优越性

热轧无头轧制的应用取得了突出的效果，主要表现为：

- (1) 提高了厚度精度。
- (2) 改善了板形、板凸度。
- (3) 提高了终轧温度和卷取温度的控制精度。
- (4) 更有利于轧制薄规格产品。
- (5) 有利于生产深冲性能优异的产品。

五、薄板坯连铸连轧简介

1. 铸轧设备配置

薄板坯连铸连轧工艺与传统的热轧带钢相比，在技术和经济等方面有非常大的优越性。传统的热轧带钢生产一般是炼钢车间负责钢水冶炼、板坯铸造，之后将热态的连铸坯或冷却后的连铸坯送往轧钢车间进行二次加热及轧制成材，炼钢工序和轧钢工序相对较独立，生产不连续。而薄板坯连铸连轧的几个工序之间紧密连续，铸坯只需在轧制前在线少量补热，形成一条连续的生产作业线，其特点是：

(1) 工艺流程紧凑，设备减少，生产线短。薄板坯厚度较薄，设备投资仅为常规流程的58%，从而降低了单位基建造价，吨钢投资下降19%~34%。

(2) 生产周期明显缩短。传统热连轧带钢生产需5h左右，连铸连轧省去了大量中间倒运及停滞时间，从钢水冶炼到热轧成品输出，仅需0.5~1.5h，从而减少了流动资金的占用。

(3) 节约能源，提高成材率。由于取消了坯料轧前的二次加热，吨钢能耗下降50%，成材率提高2%~3%，降低了生产成本，其成本只相当于传统热轧带钢的70%左右。

(4) 产品的尺寸精度高，性能稳定、均匀。

(5) 适合生产薄规格及超薄规格的热轧板卷，产品附加值高。

2. 典型的工艺流程

薄板坯连铸连轧的工艺流程如图1—4所示。

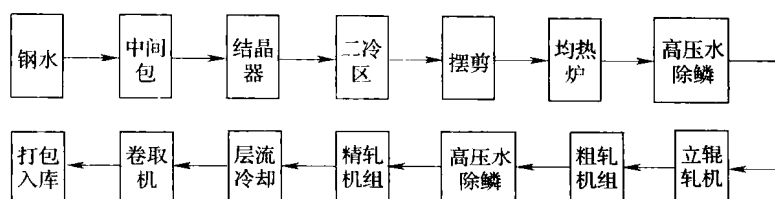


图1—4 薄板坯连铸连轧的工艺流程

六、生产实例

某 1 450 mm 带钢热连轧车间，采用连铸板坯作为热轧带钢的原料，其板坯库与 1 350 mm 板坯连铸车间相邻，连铸输出辊道和轧钢车间板坯运输辊道以及装炉辊道可进行热装轧制。连铸机为一机两流，板坯规格为 200 mm × (750 ~ 1 350) mm × (4 250 ~ 5 500) mm，宽度按 50 mm 进级。该热连轧车间设计年生产能力为 100 万吨；生产的热轧钢卷厚度 2.0 ~ 12.0 mm，宽度 700 ~ 1 300 mm，内径 760 mm，外径 1 000 ~ 1 500 mm，最大质量 9 t，单位质量 10 kg/mm；生产的热轧钢板厚度 2.0 ~ 12.0 mm，宽度 700 ~ 1 250 mm，长度 2 000 ~ 8 000 mm，最大包装质量 9 t；能生产的钢种有普碳钢 Q195、Q215、Q235，低合金钢 16 Mn，汽车大梁板 09SiVL、P420L、P510L、P440L，耐候钢 09CuPRe、09CuPCrNi，管线钢 X52、X56、X60，船用集装箱板 SM490A，优质钢 8 ~ 40、SP、ST、08Al、LT、45Mn、P400，船用钢 A、B，管线钢 S240、X42，汽车用钢 PG42、PG40、Q195Lc 等。其精轧机组采用了二级计算机控制系统，实现了从粗轧末架 R_2 出口到钢卷秤整个过程的自动化。

在这个车间中，连铸车间生产的无缺陷板坯通过辊道经称量机称重后直接送入板坯库，热送的板坯在第三板坯库堆放并保温，也可直接送加热炉装炉。冷态的连铸坯在连铸车间清理检查合格后用电动平板车送入板坯库，用 30 t 桥式起重机卸料，并按炉号、钢种、规格分别堆放存放。根据轧制计划，将存放在各板坯库的板坯，用 30 t 桥式起重机吊到电动平板车上，然后运送到第三板坯库，再用 30 t 桥式起重机卸料到板坯准备场，进行备料。上料时，板坯按轧制顺序由桥式起重机从板坯准备场将板坯成垛吊运到上料垛板台上，由上料推钢机将板坯一块一块地从上料垛板台推到上料辊道上，板坯经运输辊道送到加热炉的进炉辊道上，按预定计划停止在一、二号加热炉装料位置。装炉推钢机将板坯从进炉辊道推到加热炉上料台架上，两块板坯间隙保持 60 mm 左右，然后由加热炉步进梁上升托起坯料，送入炉内加热，并一步一步把板坯向加热炉出料端移动，板坯在炉内加热到 1 150 ~ 1 250℃，由出钢机托出炉外，放到出炉辊道上送往粗轧机轧制。加热好的板坯首先经高压水除鳞箱清除炉生氧化铁皮（一次氧化铁皮），接着送大立辊轧机 E_1 轧制，一般轧两道，需要大侧压量时，可轧三四道。立辊轧机带有孔型，有效侧压量达 100 mm，立辊轧机后设有高压水除鳞装置，在奇道次喷水清除氧化铁皮。一号粗轧机 R_1 为四辊可逆式轧机，与大立辊轧机靠近布置，往复进行轧制。板坯在一号粗轧机 R_1 轧 3 ~ 5 道，将板坯从 200 mm 厚轧到 90 mm 厚，在一号粗轧机 R_1 后设有高压水除鳞装置。经除鳞后，板坯进入二号粗轧机 R_2 ，一般轧三道，将板坯轧到 20 ~ 30 mm 厚，二号粗轧机 R_2 后设有测宽仪、测温仪，测量带坯的宽度、温度，二号粗轧机前的立辊预留宽度自动控制系统。

中间带坯离开二号粗轧机 R_2 后，进入热卷箱卷成带坯卷，然后带坯卷反转，用开卷刀将带坯打开，使带坯尾部变成精轧时的头部送向精轧机。

带坯头部经飞剪剪去不规则和变冷的头部，再经高压水除鳞装置除去二次氧化铁皮，然后进入精轧机，必要时还要剪尾。

精轧机由 6 架四辊轧机组成，采用恒速轧制，设有 AGC 系统控制带钢厚度，轧机间有电动活套装置，保持小张力轧制，控制带钢厚度变化，终轧温度由于热卷箱保温，使头尾温差控制在 $\pm 30^\circ\text{C}$ 以内，带坯经 6 架精轧机轧成 2 ~ 12 mm 厚的带钢。

从精轧机组轧出的成品带钢在输出辊道上通过层流冷却装置冷却到要求的卷取温度，然后进入卷取机卷成钢卷。卸卷装置将钢卷从卷取机取出，并翻成立卷放在运输链上，经打

捆、称重后，由钢卷升降机和运输链将钢卷从轧机跨运往比轧机跨低 9 m 的钢卷库堆放冷却，经 3~5 天钢卷冷却到常温，然后送往下道工序加工。

需要加工成钢板的钢卷用 15 t 的桥式起重机吊到该跨的横切机组上料运输链上，然后送往相邻的横切机组，经开卷、切头、剪边、平整、剪切、矫直、收集、打捆等工序剪成钢板，将成品钢板垛通过链式运输机运至成品库。成品钢板在成品库堆放，然后由起重机装车发货。

需要加工成窄带卷的钢卷用 15 t 桥式起重机吊运至该跨纵剪机组上料运输链上，然后运往纵剪机组，经开卷、切头、纵剪、卷取、打捆等工序剪成窄带卷。将成品钢卷送入成品库堆放，然后由起重机装车发货。

供冷轧钢卷堆放在钢卷库东头，用桥式起重机直接将钢卷吊放到汽车或火车上，运往冷轧车间。热轧商品卷用桥式起重机将钢卷运至电动平板车上，横穿精整跨运到成品库堆放，然后由起重机装车发货。