

轧钢技术国内外情况

中国金属学会

冶金继续教育丛书

李世俊 王璞琪 贺秀芳 田 昇 编写

冶金继续工程教育丛书

77.6

9101311

轧钢技术国内外情况

李世俊 王璞琪 贺秀芳 田 异 编写

BB/ 9
中国金属学会

1990

内 容 简 介

本书是“冶金继续工程教育丛书”之一。书中介绍了板带、型钢、钢管、金属制品等领域约 60 项轧钢新技术的国内外现状。附录列出了轧钢专业科技成果和轧钢设备引进情况。

本书可供轧钢专业科技人员和管理干部参考。

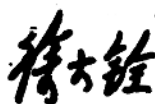
— 保密 —

序

中国金属学会组织编写了“冶金继续工程教育丛书”，为大家办了一件好事。积极开展继续教育，对于提高冶金科技人员水平，促进冶金工业的发展具有重要意义。希望冶金战线各级领导重视这项工作，努力创造条件，为科技人员在职学习提供方便；同时也殷切希望广大冶金科技工作者坚持学习，不断吸收新知识，学习新技术，为实现四化、振兴中华做出更大贡献。

中国继续工程教育协会理事

冶金工业部副部长



一九八八年十二月

前 言

我们在冶金部科技司钢铁处工作期间，分管轧钢专业的科研管理工作。工作需要我们回答：什么技术需要开发？什么技术需要引进？国外情况如何？什么技术要推广？它的应用范围是什么？什么技术要消化移植？国内哪些单位（包括冶金系统外的）已经引进？国民经济各部门急需的产品是哪些？为试制这些产品相应地要开发的技术（工艺、设备）又是哪些？

为此，我们通过查阅技术资料、科研报告、统计报表，进行现场调研、请教专家、与国外厂商进行技术交流等不同途径，收集有关资料，编辑、整理成本书。

编写中由于我们掌握材料有限，于是请田异、贺秀芳同志对本书一些章节的国外情况作了审查、补充，其中钢管部分的国外情况，以及“厚板在线快速冷却技术”一节是由贺秀芳同志提供的。

这份材料基本是 1988 年写成的，虽然我们进行了补充，但一些重大的轧钢新技术，如宝钢引进的热连轧、冷连轧、连轧管等新技术，钢轨的全长热处理技术、余热淬火技术；交流调速技术等都未能收入；一些轧钢界关心的轧钢技术，如炉卷轧机、行星轧机等也未能列入，有待今后补充。

感谢谢仕拒、贺毓辛、吴隆华同志对本书稿进行了审校。感谢姜尚青同志对附录一进行了整理、校对；感谢所有提供我们资料的同志和单位。热诚希望读者提出宝贵意见。

李世俊 王璞琪

1990 年 1 月

• iii •

目 录

1 板带钢生产新技术

1.1 以提高强度、韧性和焊接性能为目标的新技术	(1)
1.1.1 控制轧制技术	(3)
1.1.2 水幕层流冷却	(8)
1.1.3 厚板在线快速冷却技术	(13)
1.2 以提高产品精度和成材率为目标的新技术	(16)
1.2.1 液压压下厚度自动控制(液压微调)	(18)
1.2.2 板形控制技术之一: 液压弯辊	(22)
1.2.3 板形控制技术之二: VC 可变凸度轧辊	(24)
1.2.4 板形控制技术之三: HC 轧机	(28)
1.2.5 板形控制技术之四: CVC 和 UPC 轧机	(35)
1.2.6 板形控制技术之五: 轧辊成对交叉式 轧机(PC 轧机)	(39)
1.2.7 板形控制技术之六: 平直度易控制的 五辊轧机(FFC 轧机)	(41)
1.2.8 中厚板平面形状控制	(43)
1.2.9 异步轧制	(49)
1.3 以节约能源为目标的新技术	(56)
1.3.1 板坯的热送热装与直接轧制	(57)
1.3.2 薄板坯连铸	(63)
1.3.3 中间辊道节能技术之一: 热带坯卷取箱	(66)
1.3.4 中间辊道节能技术之二: 保温隔热罩	(69)
1.3.5 热轧工艺润滑	(73)
1.4 冷轧带钢生产的连续化	(77)

1.4.1 连续退火生产线	(77)
1.4.2 全连续式冷轧技术(无头轧制)	(81)
1.4.3 酸洗-冷轧联合生产线	(85)
1.4.4 冷轧-连续退火、酸洗-冷轧-连续 退火联合生产线	(87)
1.5 板带涂镀层生产新技术	(89)
1.5.1 热镀锌、电镀锌钢板	(92)
1.5.2 热镀锌铝合金钢板 与电镀锌系合金 钢板	(98)
1.5.3 热镀锌钢板与真空镀铝(锌)钢带	(101)
1.5.4 电镀锡钢板与无锡钢板	(103)
1.5.5 铅锡镀层钢板	(109)
1.5.6 有机涂层钢板	(112)
1.5.7 复层钢板	(118)
1.6 其它新技术—喷浆除磷(金属无酸除磷)	(126)

2 型钢生产新技术

2.1 以解决连铸与小型轧机间还料衔接为 目标的新技术	(129)
2.1.1 紧凑式连轧机	(130)
2.1.2 切分轧制技术	(135)
2.1.3 三辊行星轧机	(140)
2.2 以实现产品的高精度和轧机布置的连续化 为主要内容的小轧机改造技术	(146)
2.2.1 双机驱动差动调速连轧技术	(147)
2.2.2 高速无扭线材轧机	(152)
2.2.3 短应力线轧机	(160)

2.3 经济断面钢材及钢材深加工生产技术	(164)
2.3.1 H型钢	(165)
2.3.2 冷弯型钢	(172)
2.3.3 汽车变截面板簧	(177)
2.3.4 楔横轧生产轴类零件	(179)
2.3.5 万能孔型生产精密异型材	(185)
2.3.6 冷轧螺纹钢筋	(189)
3 钢管生产新技术	
3.1 热轧无缝钢管生产新技术	(195)
3.1.1 二辊立式穿孔机	(195)
3.1.2 双支承菌式穿孔机	(197)
3.1.3 限动芯棒连轧管机和半浮动芯棒连 轧管机	(200)
3.1.4 CPE 顶管新工艺	(204)
3.1.5 三辊轧管机	(207)
3.1.6 狄塞尔轧管机(CPD 或 ACCU 轧管机)	(211)
3.2 焊管生产新技术	(214)
3.2.1 双层焊管(邦迪管)	(214)
3.2.2 不锈钢焊管生产技术	(217)
3.3 钢管冷加工技术和延伸加工技术	(220)
3.3.1 高精度冷拔管	(220)
3.3.2 热镀锌钢管	(223)
3.3.3 有机涂层钢管	(226)
4 金属制品生产新技术	
4.1 钢丝生产新技术	(230)
4.1.1 预应力钢丝	(230)

4.1.2 二氧化碳气体保护焊用焊丝	(235)
4.2 金属制品的涂镀生产技术	(238)
4.2.1 热镀锌钢丝及镀铝钢丝	(238)
4.2.2 铝包钢丝	(241)
4.2.3 镀塑钢丝	(244)
4.3 金属制品其它新技术	(247)
4.3.1 不锈钢纤维	(247)
4.3.2 Y型三辊钢丝冷连轧机组	(251)
附录 1 轧钢专业科技成果 (1978—1989)	
表 1 冶金部科技成果奖	(255)
表 2 冶金部科技进步奖	(267)
表 3 国家技术进步奖	(278)
表 4 国家发明奖	(280)
附录 2 轧钢设备引进情况 (1980—1988)	
表 5 板带轧机引进情况	(282)
表 6 无缝钢管机组引进情况	(288)
表 7 焊管机组引进情况	(291)
表 8 型材轧机引进情况	(295)
表 9 金属制品设备引进情况	(300)

1.1 以提高强度、韧性和焊接性能 为目标的新技术

近代工业发展对热轧非调质钢板在性能要求上越来越高了，除了高强度外，还要有良好的韧性、焊接性，低的冷脆性。过去单纯靠提高碳含量或加入合金元素，或热处理强化手段，其结果是在强度提高的同时，韧性降低，冷脆性增大（加镍钢除外），焊接性变坏。即强度与韧性、强度与可焊性，这两个主要矛盾难以解决。使铁素体晶粒细化，这是有效地提高钢材综合性能的内在因素，于是研究轧制工艺规程，钢的组织结构与热轧材性能诸关系的现代冶金学中轧钢领域的一项新技术——控制轧制(1.1.1)产生了。

控制轧制被世界公认为 80 年代钢铁工业技术发展的一个方向。过去人们为了获得性能良好的钢板，只注意化学成分的设计和轧制后的热处理工艺。往往忽视变形对组织、性能的积极作用，而控制轧制把钢材外部几何形状、尺寸的热加工成形过程(形变)与改善钢材组织状态的物理冶金过程(相变)有机地结合起来，既能生产出强度与韧性、焊接性兼优的钢材，又可省去常化处理，节约能源。

所谓“控制冷却”是为了控制相变组织，提高热轧钢材的

综合机械性能，在热轧后对钢材进行加速冷却的技术。即根据钢的化学成分和对机械性能的要求来控制冷却的开始温度、冷却速率和冷却终止温度。

钢材良好的韧性可以从控制轧制的方法得到，随后的控制冷却是在保持或稍降低韧性的情况下，进一步提高钢材的强度，或在生产某一强度级别的钢材时，可以降低原相应钢种的含碳量和合金元素含量，使碳当量降低，而提高焊接性能。

对冷却设备有三个要求：(a)水冷却的均匀性；(b)省水量，省动力；(c)冷却水的可控性。

在热轧带钢生产中，为了使热轧钢板获得良好的机械性能和表面质量，必须在热轧输出辊道上，使热轧钢板迅速地由终轧温度(840—940℃)，冷却到设定的卷取温度(通常要求在 620℃左右)。一般来说，热轧带钢轧机输出辊道上的冷却方式主要有三种：

(a) 喷嘴压力喷射冷却。这是传统的冷却方式，把水加压从喷嘴喷出时，如果喷射出口速度高，则液流发生破断，形成液滴群冲击钢板表面，这种用液滴群冷却方式叫喷射冷却。这种冷却方式较为简单，但冷却能力低，经冷却后的热轧带钢机械性能不均匀，而且这种冷却方式很难实现卷取温度的自动控制，所以不能适应现代轧机带钢生产的需要。

(b) 层流冷却。当加压后的水从喷嘴以较低的速度喷射时，形成平滑的层流喷流，采用这种层状喷流的冷却方式叫层流冷却。主要有两种：

一是虹吸管式层流冷却，这种冷却方式冷却能力高，供水压力低(2—4bar)，系统可靠，控制性能好，因此已广泛应用于国内外热带钢生产中，如武钢 1700mm 热连轧、宝

钢 2050mm 热连轧机, 济南钢铁厂中板轧机等。

二是水幕层流冷却(1.1.2)。

(c) 用加压的空气使水雾化。水和高速空气流一起从喷嘴喷射出来的冷却方法称作雾化冷却。

国外在厚板生产中还开发了厚板加速冷却技术(1.1.3)。

1.1.1 控制轧制技术

控制轧制、控制冷却是近十多年来国际冶金界极为重视的轧钢生产新技术。

控制轧制(CR 即 Controlled Rolling)是在 C-Mn 钢的化学成分上以微量冶金元素(主要是铌、钒、钛)进行微合金化, 在轧制过程中, 通过对钢坯加热温度、轧制温度、变形量、变形速率、终轧温度和轧后冷却诸工艺参数的严格、合理控制, 把钢的形变再结晶与相变效果结合起来, 以细化晶粒为主, 充分挖掘钢材潜在能力, 大大提高钢材强韧性, 使热轧状态钢材具有优异的低温韧性和强度的一种先进轧制技术。

根据变形温度可以把控制轧制分为三种类型, 即 I 型控轧: 高温 γ 体再结晶区($>950^{\circ}\text{C}$)控轧, 主要目的是用反复“轧制——再结晶”来细化 γ 晶粒, 使 $170\text{—}220\mu\text{m}$ 的粗大晶粒最终细化到 $20\text{—}40\mu\text{m}$ 。II 型控轧: 低温奥氏体区或称未再结晶区($950^{\circ}\text{C}\text{—}A_{r1}$ 点)控轧, 主要目的是通过轧制变形使 γ 晶粒被压扁、拉长, 使晶界面增加并在晶粒内产生形变带, 以此增加 $\gamma\rightarrow\alpha$ 相变时的形核数量, 使 α 晶粒可细化到 $10\mu\text{m}$ 左右。III 型控轧: ($\gamma+\alpha$)两相区控轧(A_{r1} 温度之上终轧), 目的是通过对相变后的 α 晶粒的轧制变形, 使内部生成亚结构, 使 α 晶粒达 $5\mu\text{m}$ 。

控制轧制的发展可以分为三个阶段:

1958 年以前: 探索阶段。

本世纪 20 年代, 人们就已注意到钢在热加工时的温度和变形量对钢的显微组织和机械性能的影响。第二次世界大战时, 荷兰的皇家霍戈文(KNHS)钢铁公司、比利时的科克里尔-乌格雷(Sa cockerill-Ougree)钢铁公司和瑞典的多姆纳维特(Domnarfrets Jernverk)冶金公司等没有热处理设备的工厂, 为改善造船板的缺口韧性, 把终轧温度控制在 900°C 以下, 并规定在此温度下给予 20—30% 的变形量, 这就是控制轧制的雏形。

1958—1974 年: 发展阶段。

60 年代中期, 英国钢铁研究协会(BISRA)发现铌对奥氏体再结晶有抑制作用和细化晶粒作用, 从而奠定了控制轧制的理论基础。在这个时期, 欧美工业发达国家建立了一批控制轧制试验室。

1965 年美国伯利恒(Bethlehem)公司采用控制轧制工艺生产 X60($\sigma_s > 414\text{MPa}$)铌系钢板;

日本神户钢厂对 Nb-V 低碳钢, 用控轧法生产出 600MPa 级高强度钢板。

从 1974 年开始, 深入研究, 广泛应用阶段。

70 年代控制轧制工艺已经盛行全世界, 目前 8—30mm 厚的中厚板, 日本几乎全部、法国 50—60% 都采用控轧法生产。造船用高强度控轧钢板、石油天然气输送管线用控轧钢板(卷)均已纳入国际通用的劳氏船规标准和 API 标准。目前日本、美国、西德、加拿大等国能用控轧技术生产 X70($\sigma_s > 482\text{MPa}$)的输油、输气管用钢, 并试验研究 X75($\sigma_s > 516\text{MPa}$)和 X80($\sigma_s > 551\text{MPa}$)低碳铌系低合金、高韧性钢板。

我国从 1976 年起开始控制轧制技术的研究。主要进行了三个方面的工作。

1. 模拟实验室建设方面

随着轧钢生产向大型、高速、连续和自动化方向发展,使用热模拟的方法,在实验室模拟现场轧钢生产,提供准确有效的热变形工艺及参数,为此在钢铁研究总院建立了控制轧制模拟实验室。

这个实验室以 Formastor-Press 压力膨胀仪(日本), 7N 型高温扭转试验机(法国), $\Phi 300\text{mm}$ 高刚度二辊可逆式试验轧机及板材轧后控制冷却装置为主体所组成,配有相应的测温、测压及金相检验仪器。

利用这些实验装置,除了能作控制轧制、控制冷却的热模拟试验及其它形变热处理试验外,还能测定钢及合金的热加工塑性、形变再结晶温度、变形抗力、临界相变温度、钢的过冷奥氏体转变曲线与钢热变形后的过冷奥氏体转变曲线(包括 CCT 及 TTT 曲线)等重要基础数据。

钢铁研究总院还研制成功了压力膨胀仪用的贵重消耗件——石英垫块与氮化硅垫块;研制了高温扭转试验机的数据收集及处理系统的装置及软件;研究了控轧数学模型与轧制优化规程的计算机设定方法。

2. 基础理论方面

我国冶金工作者结合科研生产,对低(微)合金钢成分、奥氏体形变再结晶、组织性能、精细结构、形变诱导相变与析出、强韧性机制、奥氏体变形抗力模型、工艺最佳化、控轧钢的使用性能以及析出相显微颗粒的定量分析方法等问题,进行了大量的试验研究工作,这些结果直接指导了有关现场采用控轧、控冷工艺进行新产品的研制、老产品质量的

改善及热轧合格率的提高。

3. 生产应用方面

1976—1982年首先在造船钢板、锅炉钢板的生产中进行了控制轧制工艺的探索，取得了初步成果：

1981年上钢一厂与钢铁研究总院用控轧法生产 10MnNb 船用钢板，指标达到国家船规 ZCD36 级($\sigma_s > 353\text{MPa}$)的要求，东风船厂用这种钢板建造的排水量为 3000t 挖泥船《闽浚一号》使用效果良好。1981年6月通过技术鉴定。

太原钢铁公司第五轧钢厂与北京科技大学合作 1981 年在 中板轧机采用控轧工艺，解决了长期存在的 20g 时效冲击值及 16Mng 屈服强度偏低的问题，提高热轧性能合格率，20g 由常规的 82.2% 提高到 99%；16Mng 由 78% 提高到 94%。

武汉钢铁公司与北京科技大学研究用控轧法生产 4CD 级造船钢板，1979—1981 年生产了 5 万 t，明显地提高了钢板热轧性能合格率，常规轧制时合格率为 31.1%，采用控轧工艺后，1979，1980，1981 年分别为 69.01%，75.5%，82.69%。大连造船厂、江南造船厂和上海造船厂用这种钢板已制造“长城”等三艘万 t 级出口货船，1981 年取得西德船级社、英国劳埃德船级社的认可。1982 年 4 月通过技术鉴定。

1983—1985 年开发的重点是解决我国现有的轧机能否采用和如何采用控制轧制技术。国外采用控制轧制技术，是在总轧制力为 6000t 甚至 1 万 t 的中厚板轧机上进行的，而我国现有的中厚板轧机，绝大多数是 50 年代的老式轧机，总轧制力只有 2000t 左右。在这些老式轧机上能否采用控轧技术，通过理论上的测算分析，实验室模拟试验和工业生产实践，证明在我国现有的 2000t 轧制力的中板轧机上，根据钢种和性能要求，三种控轧方式可以配合使用，生产出 8—

20mm 厚的低(微)合金钢板。

(a) 在国内 7 套同类型的 2—4 辊(包括 3—4 辊)中厚板轧机上可采用 II 型控制工艺生产 16Mn 及低碳微合金钢(9MnNb)中板。

上钢一厂 2350mm2 辊—4 辊中板轧机和武钢 2800mm2 辊—4 辊中板轧机, 采用两阶段控轧工艺, 生产了符合劳氏船规要求的 10MnNb、16MnNb 的 36kg 级和 32kg 级造船专用钢板;

上钢三厂的 2300mm3 辊—4 辊中板轧机采用自己开发的“M”型控制轧制工艺, 即高温再结晶型和高温小变形(不发生再结晶)与轧后冷却相配合的工艺, 生产了性能达到国外同类产品实物水平的压力容器专用钢板。

(b) 热轧带钢连轧机由于各道次压下率互相制约, 采用控轧技术时多以控制终轧温度为主, 而不是控制每一道次的压下率, 可采用 I 型、IB 型和 II 型控制轧制工艺。考虑到热带钢连轧机精轧机组的机架强度较高, 可采用 II 型控制轧制工艺, 同时可在精轧机后要安装轧后控制冷却装置, 以提高板卷综合机械性能。

武钢 1700mm 热连轧机, 采用 I 型和 II 型控轧工艺, 轧后采用控冷, 研制生产了 7—12mm 厚的符合 API-5L 标准要求的 WX60、WX65 含铌管线用板卷;

上钢一厂 1200mm 热连轧机上, 采用控轧工艺试生产出了合乎 API-5L 标准要求的 X60 级管线用钢板卷。

(c) 对三辊劳特式轧机, 采用控制轧制的必要条件尚在探讨中。

邯钢钢厂中板分厂认为在 2300mm 三辊劳特式轧机上, 采用 IB 型控制轧制工艺是可行的。他们在生产 20g 中板时, 采用 IB 型控轧工艺, 其工艺特点是: 高温 γ 区采用道次变形量 $> 20\%$ 进行轧

制。轧制 11 道后从 1100—1050℃ 开始待温，待温时采用水幕层流冷却装置对钢板进行快速冷却，至 1000℃ 左右进行道次变形量 10—15% 轧制变形。总变形量控制在 50—60%，最后平整一道。终轧温度控制在 950℃ 以下。轧后进行水幕冷却，冷至 800—750℃ 后空冷。采用这种工艺后，钢板的铁素体晶粒比普通轧制钢板细化 0.5—1.0 级，一般可达到 8.5 级以上，最高可达 11 级， σ_s 提高 29MPa， σ_b 提高 20MPa，时效冲击合格率提高到 91.55%，比普通轧制工艺提高 50%，全项合格率达到 82.28%，比普通轧制工艺提高 42.78%。

“八五”期间，重点是在重庆钢铁公司第五轧钢厂结合技术改造，建立一条中板控制轧制、控制冷却试验生产线，年产 5—10 万 t 控轧钢板。

为达到有利的中间冷却而不延长轧制周期，在四辊精轧机侧设置冷却输送辊道(侧辊道)32m，两端加横移拖运机与主轧制线衔接。在轧后增加水幕冷却装置，在轧线设置检测系统，由美国西屋公司购进数据采集和控制系统，实现对三座加热炉、粗轧机、精轧机、中间冷却、侧辊道、轧制线传送辊道、轧后水幕冷却、十一辊矫直机的控制。该生产线计划 1990 年投入试运行。

1.1.2 水幕层流冷却

70 年代英国戴维·麦基(Davy McKee)公司、日本石川岛播磨研制了具有条状缝隙喷嘴的水幕冷却装置。

由于该装置从喷嘴自由落下的水流呈连续稳定、透明而平滑的帷幕状，因此得名“水幕冷却法”(Curtain Wall Cooling)。水流可以冲破带钢表面的冷却水层和蒸汽层，使新的