

RAL · NEU 研究报告 No.0006

新一代 TMCP 技术在钢管热处理 工艺与设备中的应用研究

XINYIDAI TMCP JISHU ZAI GANGGUAN RECHULI
GONGYI YU SHEBEIZHONGDE YINGYONG YANJIU

轧制技术及连轧自动化国家重点实验室
(东北大学)



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

RAL · NEU 研究报告 No. 0006

新一代 TMCP 技术在钢管热处理 工艺与设备中的应用研究

轧制技术及连轧自动化国家重点实验室
(东北大学)

北 京

冶金工业出版社

2014

内 容 简 介

本书介绍了钢管的热处理工艺及控冷技术在钢管生产中的应用现状;天津钢管加速冷却系统设备与应用、宝鸡石油钢管管材柔性热处理设备和管材连续热处理装置的研制情况;详细介绍了 RAL 国家重点实验室近年来利用新一代 TMCP 技术开发 DP、TRIP 钢管的工艺研究成果。

本书对冶金企业、科研院所从事钢管材料研究与开发、工艺开发和钢管热处理设备研发的人员有重要的参考价值,也可供中、高等院校中的钢铁冶金、材料学、材料加工及热处理等专业的从教人员和研究生阅读、参考。

图书在版编目(CIP)数据

新一代 TMCP 技术在钢管热处理工艺与设备中的应用研究/
轧制技术及连轧自动化国家重点实验室(东北大学)

著. —北京:冶金工业出版社, 2014. 10

(RAL·NEU 研究报告)

ISBN 978-7-5024-6753-1

I. ①新… II. ①轧… III. ①钢管—热处理—研究 IV.

①TG162.84

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 236757 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcs@cnmp.com.cn

责任编辑 卢 敏 美术编辑 彭子赫 版式设计 孙跃红

责任校对 卿文春 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-6753-1

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;北京百善印刷厂印刷

2014 年 10 月第 1 版, 2014 年 10 月第 1 次印刷

169mm×239mm; 11.5 印张; 180 千字; 167 页

42.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街46号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgy.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

研究项目概述

1. 研究项目背景与立题依据

以超快速冷却为核心的新一代 TMCP 技术是轧钢生产中十分重要的一项组织性能控制新技术,该技术通过控制钢材热轧后的冷却速度和路径来改善钢材的组织,以获得良好的综合力学性能。随着控制冷却技术的发展,它已经较成熟地应用于板带材、线棒材、H 型钢等领域,超快速冷却装置与传统冷却方式的配合使用,为超细晶粒钢、DP 钢、TRIP 钢、IF 钢等高附加值产品的在线生产提供了可能。而在钢管生产领域,由于受钢管几何形状、规格品种、轧制工艺、机组设备等因素的制约,在生产过程中的可控因素相对较少,因此钢管控制冷却工艺的应用相对于板带材及棒线材来说还比较少,仍处于探索发展阶段。

我国已是钢管生产和消费的大国,中低端产品的钢管数量和质量已获得了巨大的提升,但在高端产品方面,我国在生产装备、产品品种、质量、成本、废弃资源利用以及环保等方面,与其他先进国家相比还有一定的差距。随着国家产业发展战略对资源节约和可持续发展要求的提高,以及市场竞争的加剧,钢管生产企业越来越需要节约能源、低成本的高性能钢管生产技术,因此,新一代 TMCP 技术在钢管生产中越来越受重视。在无缝钢管生产工艺上,虽然无缝钢管控轧控冷技术不能从变形温度、变形量、变形道次、变形间歇时间、终轧温度及终轧后的冷却工艺等方面形成一套完整的控轧控冷方案,但是目前无缝钢管的控轧控冷技术也形成了包括在线常化、在线淬火和在线加速冷却等多种工艺,呈多样化发展趋势。而在焊管的生产工艺中,一般采用带钢焊接生产几种规格的大直径钢管,再加热后张力减径到小直径钢管,以节约成本,提高生产效率。但经过中间的再加热工序,母材和焊缝的组织将重新发生奥氏体相变,其后的相变如不加以控制,容易造成钢管内部组织粗大,性能降低。所以,需要采用适当的控冷技术对其再加热轧制后的



相变过程进行控制,以改善热张减后钢管的组织,提高钢管的性能。

因此,为了适应钢材形变后热处理工艺在钢管生产领域的推广应用,宝鸡石油钢管厂国家石油天然气管材技术研究中心与东北大学就新一代 TMCP 技术应用于钢管生产的相关设备和工艺开展合作研究,在改进现有控冷系统冷却器的结构设计、解决现场钢管冷速小及冷却不均匀问题的基础上,成功研制出管材柔性热处理设备和管材连续热处理装置,而在利用控冷技术开发钢管新品种方面,东北大学 RAL 实验室做了大量的研究工作,成功应用新一代 TMCP 技术开发出具有良好强度和塑性匹配的 DP 钢管及高强度、高塑性的 TRIP 钢管,以期为钢管企业利用控冷技术改善钢管性能、开发钢管新品种提供有益借鉴。

2. 研究进展与成果

(1) 为了将轧后控冷技术应用到无缝管生产中,天津钢管公司与东北大学合作研制出热轧无缝管轧后加速冷却系统,通过现场生产实践的检验表明,无缝管轧后在线控制冷却效果明显,钢管整体综合力学性能得到显著提高,为控制冷却技术在钢管领域的应用找到了新的途径。但在现场工艺开发过程中,出现了钢管螺旋形温度不均匀冷却问题,主要原因是冷却器结构设计不合理。因此,东北大学攻克冷却器结构设计难题,自主研制出带有环形斜缝喷嘴的钢管超快冷装置,其特殊的结构设计,能够使喷嘴喷出的冷却水形成水压较大的环形圆孔,直径大于圆孔直径的钢管通过环形斜缝喷嘴时,冷却水以一定的角度均匀喷射到钢管表面,钢管表面的残存水与钢管之间形成的蒸汽膜将会被吹扫掉,可达到钢管与冷却水之间的完全接触,实现核沸腾,极大地提高了冷却速率和冷却均匀性,大大抑制了钢管由于冷却不均匀引起的弯曲变形。目前该项技术已申请国家发明专利,并成功应用于宝鸡钢管柔性热处理设备和管材连续热处理装置上,现场应用效果良好。

(2) 应宝鸡石油钢管厂国家管材技术研究中心的要求,东北大学为其研制出用于研究长度为 0.4~0.6m 管材或板材热处理工艺的柔性热处理设备和用于长度为 3~5m 管材热处理工艺的连续热处理装置。两套设备的最大特点是将东北大学自主研制的钢管超快冷装置应用其中,以实现控制钢管冷却的工艺效果。其中,管材柔性热处理设备可实现在保护气氛条件下对要求规格

的管材或板材试样进行不同加热与冷却温度、不同加热与冷却速率及不同保温时间下的高精度热处理工艺（正火、淬火、调质、控冷等）研究，最大冷却速率可达 $400^{\circ}\text{C}/\text{s}$ ，可实现研究人员对不同材质的管材及板材进行热处理工艺和机理的研究，达到为开发新材料、改善热处理工艺提供指导的目的；管材连续热处理装置主要用于对不同材质不同规格（外径 $\phi 60.3 \sim 219\text{mm}$ ，壁厚 $4.0 \sim 13.72\text{mm}$ ）的管材进行在线加热、控制冷却、淬火、调质、回火等热处理工艺和机理研究，最大冷速可达 $120^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 。该装置囊括了加热后管材的空冷、超快冷直至淬火（DQ）、调质热处理、快速加热回火及回火后空冷或快冷等试验功能，并在节约投资的前提下，实现不同试验功能的有机组合，进行多种形变后热处理工艺的研究和探索，以满足不同性能钢材新品种、新工艺的开发需求，指导生产实践，并可以针对生产线的实际情况，开展探索性工艺试验，为完善生产线轧后热处理工艺积累经验。目前两套设备已投入运行，控冷试验效果良好，将为企业研究钢管热处理新工艺、开发高性能钢管提供设备保证。

（3）在东北大学自主设计的具有超快速冷却能力的控冷试验装置上，RAL 实验室做了大量的试验，采用临界区超快冷淬火+回火的工艺，成功将普通热轧 Q235B 无缝钢管、冷拔 Q345 无缝钢管热处理后升级为 DP 钢管；采用临界区加热+控冷至贝氏体区等温淬火的工艺，开发出冷拔 TRIP 无缝钢管。利用拉伸实验对冷拔 Q345 无缝钢管试制的 DP 钢管的力学性能进行了检测；利用普通拉伸、管端扩口、环形拉伸及液压自由膨胀等试验手段对 TRIP 钢无缝管力学性能及内高压成型性能进行了试验研究，采用试制的 TRIP 钢无缝管成功试制了 T 型管接头和冷弯异形管。结果表明，试制的 DP 钢管、TRIP 钢管均具有良好的成型性能，可以在内高压成型和冷弯成型领域中推广应用。

结合开发 DP 钢管、TRIP 钢管的研究过程，已培养博士毕业研究生 3 名、硕士毕业研究生 5 名、在读博士研究生 1 名；研究成果已先后在中国台湾、日本、澳大利亚等地举行的大型国际会议和著名学术期刊上发表学术论文 30 篇，其中被 SCI 检录 10 篇，被 EI 检录 7 篇，申请国家发明专利 3 项。研究成果在 2012 年度的中国金属学会钢管学术年会上首次公开发表时，曾受到与会人员的一致好评。研究所形成的高强塑性 TRIP 钢管、DP 钢管的制造技术及

其配套的装备已受到国内钢管企业的广泛关注,在异形钢管、内高压成型原材料及抗大变形管线管等领域展现出很好的推广应用前景。

3. 论文与专利

论文:

(1) Zhu Fuxian, Zhang Zicheng, Chen Liqing, et al. Research and development of 600MPa grade high strength thin-walled TRIP steel tube for tube hydro-forming [J]. Journal of the Chinese Society of Mechanical Engineers, 2010, 31 (2): 93~97.

(2) Zhang Zicheng, Zhu Fuxian, Li Yanmei. Effect of thermo mechanical controlled processing on the microstructure and mechanical properties of Fe-0.2C-1.44Si-1.32Mn TRIP steel [J]. Journal of Iron and Steel Research International, 2010, 17(7): 44~50.

(3) Zhang Zicheng, Zhu Fuxian, Li Yanmei, et al. Effect of isothermal bainite treatment on microstructure and mechanical properties of low-carbon TRIP seamless steel tube [J]. Steel Research International, 2012, 83(7): 645~652.

(4) Zhang Zicheng, Zhu Fuxian, Di Hongshuang, et al. Effect of heat treatment on microstructure and mechanical properties of low-carbon TRIP steel tube [J]. Materials Science Forum (The 7th Pacific Rim International Conference on Advanced Materials and processing) 2010, 654~656: 290~293.

(5) Zhang Mingya, Zhu Fuxian, Zheng Dongsheng. Mechanical properties and retained austenite transformation mechanism of TRIP-aided polygonal ferrite matrix seamless steel tube [J]. Journal of Iron and Steel Research (International), 2011, 18(8): 73~78.

(6) Zhang Mingya, Zhu Fuxian, Duan Zhengtao, et al. Characteristics of retained austenite in TRIP steels with bainitic ferrite matrix [J]. Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed, 26(6): 1148~1151.

(7) Zhang Zicheng, Li Yanmei, Manabe Ken-ichi, et al. Effect of heat treatment on microstructure and mechanical properties of TRIP seamless steel tube [J]. Materials Transactions, 2012, 53(5): 833~837.

(8) Zhang Zicheng, Manabe Ken-ichi, Zhu Fuxian, et al. Evaluation of hydroformability of TRIP steel tubes by flaring test [J]. Journal of the Chinese Society of Mechanical Engineers, 2010, 31 (1): 39~46.

(9) Liu Jiyuan, Zhang Zicheng, Zhu Fuxian, et al. Effect of cooling method on microstructure and mechanical properties of hot-rolled C-Si-Mn TRIP steel [J]. Journal of Iron and Steel Research (International), 2012, 19(1): 41~46.

(10) 张明亚, 朱伏先, 马世成, 等. 冷轧 Q345 钢退火工艺的实验研究 [J]. 东北大学学报 (自然科学版), 2011, 32(8): 1111~1114.

(11) 张明亚, 朱伏先, 段争涛, 等. 退火马氏体基体 TRIP 钢拉伸过程中的残余奥氏体转变研究 [J]. 钢铁, 2012, 47(6): 60~63.

(12) Zhu Fuxian, Zhang Mingya, Zheng Dongsheng. Transformation of induced plasticity behaviors of TRIP steels with different heat treatment process [J]. Advanced Materials Research, 2011, 150~151: 118~122.

(13) 郑东升, 朱伏先, 张明亚, 等. 微合金化热轧 TRIP 钢的工艺模拟 [J]. 钢铁研究学报, 2012, 24(7): 49~53.

(14) 郑东升, 朱伏先, 李艳梅, 等. 空冷弛豫对铌微合金化热轧 TRIP 钢组织性能的影响 [J]. 材料热处理学报, 2011, 32(3): 73~78.

(15) 郑东升, 朱伏先, 李艳梅, 等. 空冷弛豫对铌微合金化热轧多相钢组织性能的影响 [J]. 钢铁, 2011, 46(4): 70~75.

(16) 郑东升, 朱伏先, 李艳梅. 含铌微合金化热轧多相钢的控轧控冷工艺 [J]. 钢铁研究学报, 2010, 22(8): 41~44.

(17) 郑东升, 朱伏先, 张明亚, 等. Nb-Ti 微合金化热轧多相钢的组织 and 性能 [J]. 东北大学学报 (自然科学版), 2010, 31(6): 803~807.

(18) 李艳梅, 郑东升, 朱伏先. 控轧温度区间对含 Nb 热轧多相钢组织和性能的影响 [J]. 东北大学学报 (自然科学版), 2009, 30 (12): 1735~1738.

(19) Zhang Zicheng, Li Yanmei, Manabe Ken-ichi, et al. Influence of heat treatment on microstructure and circumferential mechanical properties of TRIP seamless steel tube [C]//Proceedings of the 5th International Conference on Tube Hydroforming, TUBEHYDRO2011, Japan, 2011: 211~214.

(20) Zhang Zicheng, Zhu Fuxian, Manabe Ken-ichi, et al. Effect of intercritical annealing holding time on microstructure and axial mechanical properties of TRIP seamless steel tube [C]//Proceedings of the 5th International Conference on Tube Hydroforming, Tubehydro 2011, Japan, 2011: 215~218.

(21) Zhang Zicheng, Manabe Ken-ichi, Mirza Mohammad Ali, et al. Determination of material constants of fracture ductility criterion by flaring test [C]. Proceedings of International Conference on Materials Processing Technology, USA, 2012: 77~81.

(22) Zhang Zicheng, Manabe Ken-ichi, Li Yanmei, et al. Effect of heat treatment on hydroformability of TRIP seamless steel tube [C]. 15th International Conference on Advances in Materials and Processing Technologies, Australia, 2012.

(23) Zhang Zicheng, Manabe Ken-ichi, Furushima Tsuyoshi, et al. Development of cyclic rotating bending process for microstructure control of AZ31 magnesium alloy tube [C]. The 3rd International Conference on Advances in Materials and Manufacturing Processes, China, 2012.

(24) Li Yanmei, Zheng Dongsheng, Zhu Fuxian. Effect of finish rolling temperature ranges on microstructure and mechanical properties of Hot Rolled Multiphase Steel [J]. Journal of Steel Research International (The 13th International Conference on Metal Forming, Toyohashi, Japan, 2010, 81(9): 66~69.

(25) 张自成, 朱伏先. 高强塑性 TRIP 钢无缝管的开发及其内高压成型性能的研究 [J]. 钢管, 2012, 41(2): 13~23.

(26) 朱伏先, 张自成, 李艳梅. 高成型性高强度钢管制造技术的研究新动向 [J]. 钢管, 2010, 39(1): 35~37.

(27) 朱伏先, 张明亚. 双相钢无缝钢管的中频感应热处理工艺研究 [J]. 钢管, 2013, 42(4): 11~15.

(28) 张自成, 朱伏先. TRIP 钢无缝管的开发及其成型性分析 [J]. 钢管, 中国工程学报, 2014, 16(2): 46~52.

专利:

(1) 骆宗安, 王国栋, 冯莹莹, 等. 一种钢管超快速冷却装置. 2013,

中国, CN201210345413. 4.

(2) 朱伏先, 张明亚, 刘纪源, 等. 一种钢管的中频感应热处理装置及热处理方法. 2012, 中国, CN201110333420. 8.

(3) 张明亚, 朱伏先, 马世成, 等. 一种在线制造相变诱发塑性钢无缝管的方法. 2012, 中国, CN201110333429. 9.

(4) 朱伏先, 张自成, 张明亚, 等. 一种相变诱发塑性钢无缝管. 2012, 中国, CN201110333479. 7.

4. 项目完成人员

主要完成人	职 称	单 位
王国栋	教授 (院士)	东北大学 RAL 国家重点实验室
骆宗安	教授	东北大学 RAL 国家重点实验室
朱伏先	教授	东北大学 RAL 国家重点实验室
冯莹莹	助理研究员	东北大学 RAL 国家重点实验室
苏海龙	高级工程师	东北大学 RAL 国家重点实验室
刘彦春	副教授	东北大学 RAL 国家重点实验室
李艳梅	副教授	东北大学 RAL 国家重点实验室
宫志民	硕士生	东北大学 RAL 国家重点实验室
韩 宇	硕士生	东北大学 RAL 国家重点实验室
唐德虎	硕士生	东北大学 RAL 国家重点实验室
张自成	博士生	东北大学 RAL 国家重点实验室
张明亚	博士生	东北大学 RAL 国家重点实验室
刘纪源	博士生	东北大学 RAL 国家重点实验室

5. 报告执笔人

骆宗安、朱伏先、唐德虎。

6. 致谢

本研究是在东北大学轧制技术及连轧自动化国家重点实验室王国栋院士的悉心指导下, 在课题组成员的精诚合作下完成的。本研究多个课题被列为东北大学轧制技术及连轧自动化国家重点实验室部署项目, 项目完

目 录

摘要	1
1 钢管的热处理工艺及控冷技术在钢管生产中的应用现状	3
1.1 钢管热处理	3
1.2 钢管的热处理工艺	5
1.2.1 钢管主要的热处理工艺	5
1.2.2 钢管在线常化工艺	6
1.2.3 钢管在线加速冷却工艺	7
1.2.4 淬火热处理工艺	10
1.3 以超快冷技术为核心的新一代 TMCP 技术	11
1.4 钢管控制冷却技术发展现状	13
2 天津钢管加速冷却系统研究	15
2.1 控制冷却原理及常用冷却方式	16
2.2 冷却设备及其现场布置	19
2.2.1 冷却器结构简介	19
2.2.2 冷却辊道及其布置	21
2.2.3 供风供水设备配置	22
2.3 加速冷却系统应用效果	23
2.3.1 现场应用状况	23
2.3.2 冷却试验分析	23
2.4 钢管螺旋形冷却不均问题的分析	25
2.5 宝鸡钢管柔性热处理设备与连续热处理装置的研制	27



3 宝鸡钢管管材柔性热处理设备研制	29
3.1 设备主要技术参数	29
3.1.1 试样尺寸	29
3.1.2 加热和冷却系统	29
3.1.3 液压系统	31
3.1.4 真空系统	31
3.1.5 气动系统	31
3.1.6 水冷系统	31
3.2 柔性热处理设备机械结构设计	32
3.2.1 设计理念	32
3.2.2 平面布置	34
3.2.3 炉体	36
3.2.4 夹具系统	38
3.2.5 液压系统	40
3.2.6 真空系统与保护气系统	41
3.3 管材柔性热处理设备加热与冷却系统	42
3.3.1 加热系统	42
3.3.2 冷却系统	46
3.4 管材柔性热处理设备的控制系统	53
3.4.1 控制系统的硬件配置	53
3.4.2 控制系统的软件结构	54
3.5 管材柔性热处理装置的人机界面	56
3.5.1 试验参数设定界面	56
3.5.2 数据处理界面	56
3.5.3 数据库管理界面	58
3.6 现场实验效果	59
3.6.1 $\phi 73\text{mm} \times 5.51\text{mm} \times 550\text{mm}$ 管试样喷水淬火实验	59
3.6.2 $550\text{mm} \times 200\text{mm} \times 1.9\text{mm}$ 板试样喷雾冷却实验	59
3.6.3 $550\text{mm} \times 200\text{mm} \times 1.9\text{mm}$ 板试样喷气冷却实验	60



3.6.4	550mm×200mm×9.17mm 板试样喷水冷却实验	60
3.6.5	550mm×200mm×13.72mm 板试样喷水冷却实验	61
4	宝鸡钢管管材连续热处理装置的研制	62
4.1	装置概述	62
4.1.1	主要技术参数	62
4.1.2	装置布局	63
4.1.3	工艺流程	64
4.2	辊道系统	64
4.2.1	辊道概述	64
4.2.2	辊道冷却	68
4.3	中频感应加热炉	70
4.3.1	技术参数	71
4.3.2	中频电源	71
4.3.3	感应加热器	72
4.3.4	闭式冷却塔	73
4.4	电阻炉 (1号/2号电阻炉)	75
4.4.1	主要性能指标	75
4.4.2	电阻炉结构特点	76
4.5	超快速冷却 (UFC) 系统	79
4.5.1	技术参数	79
4.5.2	设备结构特点	80
4.6	内喷外淋装置	86
4.6.1	设备的组成及功能特点	86
4.6.2	润滑控制系统	92
4.7	液压系统	93
4.7.1	液压站组成	94
4.7.2	站内配管	94
4.7.3	控制阀台	94
4.7.4	蓄能器单元	95



4.7.5 中间配管	95
4.8 连续热处理装置控制系统	95
4.8.1 控制系统结构	95
4.8.2 软硬件配置	96
4.8.3 控制系统功能	100
4.8.4 人机界面和数据库	100
4.9 现场应用效果	104
4.9.1 现场试验状况	104
4.9.2 超快冷系统的冷却能力	106
5 利用超快冷技术开发 DP 钢管的工艺研究	111
5.1 开发 DP 钢管热处理工艺及设备简介	112
5.2 利用热轧 Q345 无缝钢管开发 DP 钢管的热处理工艺探讨	113
5.2.1 热轧 Q345 无缝钢管的初始组织	114
5.2.2 热轧 Q345 钢管热处理为 DP 钢管的显微组织	114
5.2.3 循环热处理获得超细晶双相无缝钢管	119
5.3 热处理冷拔 Q345 钢管为 DP 钢管实验研究	126
5.3.1 开发冷拔 Q345 钢管为 DP 钢管的热处理工艺	126
5.3.2 热处理冷拔 Q345 钢管为 DP 钢管的显微组织	127
5.3.3 热处理冷拔 Q345 钢管为 DP 钢管的力学性能分析	130
6 利用超快冷技术开发冷拔 TRIP 无缝钢管的工艺研究	132
6.1 冷拔 TRIP 无缝钢管的两段式热处理工艺研究	132
6.1.1 实验材料	133
6.1.2 两段式热处理工艺的制定	134
6.1.3 两段式热处理试样的微观组织	135
6.1.4 拉伸断裂前后残余奥氏体含量及其中的碳浓度分析	136
6.1.5 不同热处理工艺下试样的力学性能	141
6.2 冷拔 TRIP 无缝钢管的中频感应热处理工艺探讨	144
6.2.1 工艺设计思路	144



6.2.2 试制 TRIP 无缝钢管的热处理工艺	145
6.2.3 试制 TRIP 无缝钢管的组织性能	145
6.2.4 试制 TRIP 无缝钢管的基体组织	145
6.2.5 试制 TRIP 无缝钢管内的残余奥氏体含量	147
6.3 TRIP 钢无缝管的周向力学性能和成型性能研究	150
6.3.1 管端扩口性能的研究	150
6.3.2 周向力学性能的研究	152
6.3.3 液压自由膨胀性能的研究	156
6.4 实验室 T 型管接头的试制	159
6.5 冷弯成型异形管的工业试制	160
7 结论	161
参考文献	163

摘 要

以超快速冷却为核心的新一代 TMCP 技术已经较成熟地被应用于板带材、线棒材、H 型钢等领域,超快速冷却装置与传统冷却方式的配合使用,为超细晶粒钢、DP 钢、TRIP 钢、IF 钢等高附加值产品的在线生产提供了可能。而在钢管生产领域,由于受钢管几何形状、规格品种、轧制工艺、机组设备等因素的制约,在生产过程中的可控因素相对较少,因此钢管控制冷却工艺的应用相对于板带材及棒线材来说还比较少。东北大学 RAL 国家重点实验室就新一代 TMCP 技术应用于钢管生产的相关设备和工艺开展了相关研究,形成了比较完整的钢管新一代 TMCP 热处理工艺及设备。主要研究工作和成果如下:

(1) 将轧后控冷技术应用到天津钢管公司的无缝管生产中,无缝管轧后在线控制冷却效果明显,钢管整体综合力学性能得到显著提高,为控制冷却技术在钢管领域的应用找到了新的途径。自主研制出带有环形斜缝喷嘴的钢管超快冷装置,其特殊的结构设计,能够使喷嘴喷出的冷却水形成水压较大的环形圆孔,直径大于圆孔直径的钢管通过环形斜缝喷嘴时,冷却水以一定的角度均匀喷射到钢管表面,钢管表面的残存水与钢管之间形成的蒸汽膜将会被吹扫掉,可达到钢管与冷却水之间的完全接触,实现核沸腾,这极大地提高了冷却速率和冷却均匀性,大大抑制了钢管由于冷却不均匀引起的弯曲变形。

(2) 为宝鸡石油钢管厂国家管材技术研究中心研制出用于研究长度为 0.4~0.6m 管材或板材热处理工艺的柔性热处理设备和用于进行长度为 3~5m 管材热处理工艺的连续热处理装置,两套设备的最大特点是将东北大学自主研制的钢管超快冷装置应用其中,以实现控制钢管冷却的工艺效果。其中,管材柔性热处理设备可实现在保护气氛条件下对要求规格的管材或板材试样进行不同加热与冷却温度、不同加热与冷却速率及不同保温时间下的高精度热处理工艺(正火、淬火、调质、控冷等)研究,最大冷却速率可达