

# China Metallurgy

# 中国冶金

中国金属学会会刊  
中文核心期刊  
中国科技核心期刊  
第五届中国精品科技期刊

美国《化学文摘(CA)》收录期刊  
入选中国科协“产业发展服务项目”  
入选“中国精品科技期刊顶尖学术论文(F5000)”  
入选《科技期刊世界影响力指数(WJCI)报告》

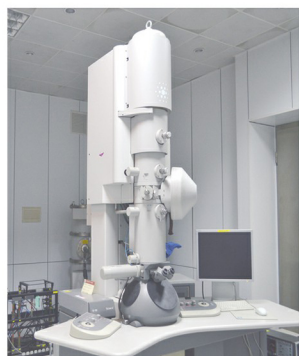
2022 Vol.32 **1**



CISRI  
中国钢研

中国钢研科技集团有限公司  
中联先进钢铁材料技术有限责任公司

## “研产检造”全产业链高端定制



电子透射电镜



SEM扫描电镜



500kg多功能感应熔炼炉



气电渣重熔炉



真空自耗重熔炉

- 高性能钢铁材料研发基地；
- 钢铁冶金行业的先进钢铁材料技术研发基地；
- 先进钢铁材料技术及产品促进机构。

### 主营业务：

超纯净材料：气体总和 $\leq 0.0030\%$ ，非金属夹杂物总和 $\leq 1.0$ 级；  
汽车零配件：增压器耐高温零配件，最高耐温 $1050^{\circ}\text{C}$ ；  
医用金属材料：医用CoCr合金、高强度不锈钢及新材料开发；  
高氮不锈钢：N元素质量分数最高可达 $2\%$ ，优于300系不锈钢；  
科研用钢：定制成份及工艺，满足不同研发需求

### 联系方式

总部地址：钢铁研究总院（北京市海淀区学院南路76号）  
电话：010-62185693/3092 传真：010-62183092  
手机：13901322615 E-mail: xingchangjun@necast.com  
主页：www.bizlta.cn 邮编：100081

厂址：河北省涿州市开发区火炬南街2号  
电话：0312-3973383 / 3388  
传真：0312-3973389/3385  
手机：15810073646



## 目 次

### 技术综述

热轧智能工厂构架设计与实践:有形与无形的统一 ..... 邵 健, 何安瑞, 陈雨来, 杨 荃, 毛学庆, 司小明 1

Fe-Mn-Al-C 低密度钢研究现状及展望 ..... 满廷慧, 彭 伟, 王子波, 廉心桐, 陆恒昌, 董 瀚 11

### 专题研究

超声波法表征烧结返矿冷压块的固结程度 ..... 李 映, 曹 懿, 聂 浩, 韦世玉, 严礼祥, 于要伟 21

基于多类别生产状态的烧结矿转鼓指数预测模型 ..... 张 振, 李 欣, 刘 颂, 李福民, 刘小杰, 吕 庆 27

钙处理时机对 LF-RH 精炼过程  $Al_2O_3$  基夹杂物的影响 ..... 吴松杰, 杨 文, 张立峰, 李四军, 付常伟 36

立式组合电磁制动对 CSP 结晶器内钢液流动及偏流控制 ..... 张 然, 许 琳, 韩泽峰, 董王子, 王恩刚 44

热轧板翘皮缺陷处混晶及织构分析 ..... 潘以庆, 殷 胜, 田青超, 裴新华, 罗克力 52

7075 铝合金化学镀对镍磷合金镀膜组织和性能的影响 ..... 祝惠一, 毛建辉, 尹凌鹏 58

### 生产技术

基于响应曲面法的烧结孔隙优化 ..... 易正明, 刘 强, 覃佳卓, 聂 礼, 杜 东, 张东升 64

超低碳 BH 钢炼钢过程对碳含量的控制及影响因素分析 ..... 单庆林, 潘宏伟, 路博勋, 姜名贞, 姜仁波, 石晓伟 72

连铸管式结晶器变形的数值仿真与优化 ..... 谢 鑫, 吴国荣, 吴晨辉, 曾建华 77

基于降低轧机负荷的高性能特厚钢板轧制工艺 ..... 刘坚锋, 熊 雄, 徐李军, 葛启录, 仇圣桃 83

### 节能环保

气煤替代 1/3 焦煤的配煤方案优化试验 ..... 潘林辉, 黄 胜, 时 峰, 许 佳, 张开幸, 张德祥 90

炼铁系统能耗和成本的集成优化及分析 ..... 袁喻兴, 闫天一, 那洪明, 杜 涛 97

### 铁合金

直流矿热炉熔炼硅锰合金温度场-电磁场数值模拟 ..... 刘顺娣, 李宝宽, 于 洋, 韵晨成, 欧海彬, 李 奇 104

### 有色冶金

不同加热轧制 AZ91 镁合金带材数值模拟及试验验证 ..... 梅瑞斌, 史现利, 包 立, 张碧辉, 侯俊卿, 李长生 112

### 冶金科技英才

赵 欣 ..... (121)

杨利彬 ..... (122)

### 冶金科学技术奖

二氧化碳绿色洁净炼钢技术及应用 ..... (123)

热轧无缝钢管在线组织性能调控关键技术、装备开发及应用 ..... (124)

### 征稿及征订启事

..... (71)(76)(103)

## CONTENTS

**Summarization of Technology**

- Framework design and practice of hot rolling intelligent plant; Unity of tangible and intangible  
 ..... SHAO Jian, HE An-rui, CHEN Yu-lai, YANG Quan, MAO Xue-qing, SI Xiao-ming 1
- Research progress and prospect of Fe-Mn-Al-C low-density steels  
 ..... MAN Ting-hui, PENG Wei, WANG Zi-bo, LIAN Xin-tong, LU Heng-chang, DONG Han 11

**Monographic Study**

- Characterization of consolidation degree for cold-bonded briquette prepared from return sinter fines with ultrasonic testing ..... LI Ying, CAO Yi, NIE Hao, WEI Shi-yu, YAN Li-xiang, YU Yao-wei 21
- Predictive model of sinter drum index based on multi-category production status  
 ..... ZHANG Zhen, LI Xin, LIU Song, LI Fu-min, LIU Xiao-jie, LÜ Qing 27
- Effect of calcium treatment time on  $Al_2O_3$  based inclusions during LF-RH refining process  
 ..... WU Song-jie, YANG Wen, ZHANG Li-feng, LI Si-jun, FU Chang-wei 36
- Control of VC-EMBr on molten steel flow and bias flow in CSP mold  
 ..... ZHANG Ran, XU Lin, HAN Ze-feng, DONG Wang-zi, WANG En-gang 44
- Analysis of mixed crystal and texture for hot-rolled strip at surface sliver defects  
 ..... PAN Yi-qing, YIN Sheng, TIAN Qing-chao, PEI Xin-hua, LUO Ke-li 52
- Effect of electroless for 7075 aluminum alloy on microstructure and properties of Ni-P alloy coatings  
 ..... ZHU Hui-yi, MAO Jian-hui, YIN Ling-peng 58

**Production Technology**

- Sintered pore optimization based on response surface method  
 ..... YI Zheng-ming, LIU Qiang, QIN Jia-zhuo, NIE Li, DU Dong, ZHANG Dong-sheng 64
- Control of carbon content and analysis of influencing factors in steelmaking process of ultra-low carbon BH steel ... SHAN Qing-lin, PAN Hong-wei, LU Bo-xun, JIANG Ming-zhen, JIANG Ren-bo, SHI Xiao-wei 72
- Numerical simulation and optimization of continuous casting tube mold deformation  
 ..... XIE Xin, WU Guo-rong, WU Chen-hui, ZENG Jian-hua 77
- Rolling process of high performance extra-heavy steel plate based on reducing rolling torque  
 ..... LIU Jian-feng, XIONG Xiong, XU Li-jun, GE Qi-lu, QIU Sheng-tao 83

**Energy Saving and Environmental Protection**

- Optimization test for coal blending scheme of replacing 1/3 coking coal with gas coal  
 ..... PAN Lin-hui, HUANG Sheng, SHI Feng, XU Jia, ZHANG Kai-xing, ZHANG De-xiang 90
- Integrated optimization and analysis of energy consumption and cost in ironmaking system  
 ..... YUAN Yu-xing, YAN Tian-yi, NA Hong-ming, DU Tao 97

**Ferro Alloys**

- Numerical simulation of temperature field and electromagnetic field for smelting silicomanganese in DC submerged arc furnace ... LIU Shun-di, LI Bao-kuan, YU Yang, YUN Chen-cheng, OU Hai-bin, LI Qi 104

**Non-ferrous Metallurgy**

- Numerical simulation and experimental verification of AZ91 magnesium alloy in strip rolling with different heating methods ... MEI Rui-bin, SHI Xian-li, BAO Li, ZHANG Bi-hui, HOU Jun-qing, LI Chang-sheng 112

**Metallurgy Talent**

- ZHAO Xin ..... (121)
- YANG Li-bin ..... (122)

**Metallurgical Science and Technology Award**

- ..... (123)(124)

**Contribution Wanted and Subscription Announcement**

- ..... (71)(76)(103)

## 中国钢铁工业协会 中国金属学会 冶金科学技术奖获奖项目简介

### 热轧无缝钢管在线组织性能调控关键技术、装备开发及应用

编 号: 2021186

获奖等级: 特等

完成单位: 宝山钢铁股份有限公司、东北大学、烟台鲁宝钢管有限责任公司、宝钢工程技术集团有限公司

完 成 人: 袁 国、张忠铎、康 健、刘耀恒、杨为国、夏克东、李振垒、王 超、潘春明、吕卫东、董晓明、罗 明、张福波、刘 晔、陈 冬、孙 文、徐福昌、高 展、柏广杰、左宏志、尹卫东、张庆峰、刘晓瑾、王黎筠、许 轲、王海兵、杨 飞

#### 项目简介:

本项目属于材料加工领域。

热轧无缝钢管是核电火电、油气钻采、装备制造等领域不可替代的高安全性基础原材料,其性能和质量提升是行业持续不断的发展目标。然而由于高温热轧和环形断面原因,广泛应用于板材领域的控轧控冷组织调控技术却难以应用于热轧无缝钢管生产,提升管材性能只能依赖添加合金元素和离线热处理。40 余年来,国内外相继开展了大量的钢管控冷技术开发工作,但由于无法实现钢管冷却过程的温度均匀性控制,几无成功先例,成为领域内国际性难题。突破在线组织性能调控已成为热轧无缝钢管高质绿色化生产的关键技术瓶颈。宝钢与东大合作,历经 7 年终于攻克这一世界难题。

主要内容和创新点:(1)率先开发出具有内外壁快速均匀冷却和直接淬火功能的热轧无缝钢管在线控制冷却技术与装备,并在国际上首次实现工业化稳定应用。实现 PQF460 机组钢管轧后全长规格(1~3 倍尺,10~36 m 长度)的控制冷却及直接淬火。(2)开发出基于在线冷却温控模型、钢管全长温度动态自适应算法及多流程工艺控制策略的热轧无缝钢管在线控制冷却自动化系统。实现了高效(匹配最快 40 s 热轧节奏)、均匀(全长/周向控温精度 $\pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ )稳定生产,管形及直度良好(椭圆度小于 $1\% D$ ,直度小于 5 mm/m)。(3)率先开发出高等级套管、管线管、结构管等热轧无缝钢管基于在线控制冷却和淬火的全新成分体系及工艺技术,实现了多品种、多规格系列化产品的批量稳定化生产及应用。同比传统工艺,晶粒度平均提高 1~3 级,冲击韧性提高 20~100 J。110ksi 级抗硫管在线控冷+离线调质同比一次离线调质抗硫指标 KISSC 值提升 10%,达到  $30\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$  以上,替代传统两次离线调质工艺。(4)开发出基于高温变形条件和控制冷却的热轧无缝钢管一体化在线组织调控技术,为热轧无缝钢管生产提供全新的工艺手段。将钛微合金化技术引入热轧无缝钢管领域,实现“成分-高温变形-控制冷却”协同调控,获得高温终轧( $950\sim 1\ 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ )下类同于“控轧控冷”的组织细化效果。

本项目获授权发明专利 19 项、软件著作权 1 项,企业技术秘密 9 项。“无缝油井管在线控冷技术用于套管生产”提案通过美国石油协会(API)纳标申请,实现了中国钢管制造企业牵头修订 API 标准零的突破。成果已成为宝钢平台性技术,吨钢成本降低约 500 元,近 3 年增收 32 308 万元。

项目成果取得示范引领作用,促进了中国热轧无缝钢管技术的原始创新,引起国内外无缝钢管领域相关企业的高度关注。项目成果经中国钢铁工业协会组织专家评价为国际领先水平。