带钢无头连铸连轧技术发展现状

明章生 1，栗克建 1，曹鹏军 1，冯 毅 2，朱 斌 3，马鸣图 4

(1.重庆科技学院 冶金与材料工程学院，重庆 401331；2.中国汽车工程研究院股份有限公司，重庆 401122；3.宝武特冶航研科 技有限公司，重庆 400080；4.中新(重庆)超高强材料研究院有限公司，重庆 401326)

摘要：带钢无头连铸连轧技术(ESP) 是在传统的热轧工艺的基础上进行改进的工艺，有更高的工作效率、成本优势和产品竞争力。连铸过程中，钢水在结晶器内有着复杂的热/力学行为，精确控制钢水在结晶器内的流动、传质、凝固、受力和溶质再分配，是保证铸坯质量的关键。本文介绍了ESP工艺的研究背景，阐述了其工艺优势和国内发展状况。在此基础上，着重分析了连铸结晶器中温度场的变化、保护渣的作用以及轧制时的温度场变化，对优化ESP工艺提供理论参考。通过对ESP工艺的优化设计进行深入分析，对产线中因高拉速造成的轧辊磨损快和难以批量生产特殊钢种的问题，提出在线换辊、一对一设计产线的工艺参数以及设计保护渣的化学成分，并结合ESP工艺特点及我国冷轧钢市场，对“以热代冷”的可行性进行了分析。认为，国内薄板钢“以热代冷”具有广阔的发展前景，但目前研发生产的“以热代冷”热轧板较少，仍需要进行进一步探索。虽然ESP工艺已经能生产超薄规格的热轧带钢(＜1.0mm)，但却无法实现量产，对于相同化学成分的钢材，不同的铸造工艺也会有很大的显微组织及力学性能差异。目前对于ESP工艺对板材内部组织转变的影响仍未建立一个完整的理论体系，钢材内部组织转变及合金元素扩散的影响将是未来ESP工艺研究的重点方向。

关键词：ESP；结晶器；保护渣；以热代冷；组织转变；合金元素

燃烧条件对准颗粒CO排放影响的数值模拟

郭文博，胡长庆，韩涛，师学峰

（华北理工大学 冶金与能源学院，河北 唐山 063210）

摘要：、在烧结过程中料层不同位置温度、氧气浓度、空气流速等条件存在差异巨大，为探究烧结过程中燃烧条件对烧结准颗粒CO生成行为的影响，利用数值模拟的方法研究了不同准颗粒烧结过程。通过FLUENT软件，以多孔介质模型为基础，结合能量方程模型、组分输运方程模型、燃料燃烧以及污染物排放的反应动力学模型，以自定义功能（UDF）对各方程模型的源项进行定义与修正，建立了4种不同结构铁矿石烧结准颗粒，即S′型（裸露型）、S型（被覆型）、C型（外包型）和P型（球团型）的燃料燃烧过程模型，阐述了各种因素对烧结准颗粒中燃料燃烧行为及污染物排放特性的影响规律。模拟结果显示，准颗粒烧结过程CO排放规律随着燃烧条件的变化而发生改变，不同的反应条件对准颗粒内焦炭的燃烧速率有不同影响。当环境温度从1 200 K升至1 400 K时，准颗粒的CO排放总量下降了2%左右。较高的环境风速与氧气浓度都使准颗粒的CO排放浓度峰值增加，同时增加了焦炭的未完全燃烧程度。

关键词：燃烧条件；烧结；准颗粒；CO；反应动力学；数值模拟

铁钢界面铁水成分差异分析

沙远洋1，韩伟刚2，李帅兵2，安钢1，吉立鹏1

（1.首钢京唐钢铁联合有限公司，河北 唐山 063200；2.华北理工大学 冶金与能源学院，河北 唐山 063210）

摘要：成分是钢铁制造流程铁钢界面物质流运行的关键参数之一，目前钢铁企业普遍存在炼铁和炼钢工序测得的铁水成分存在差异的问题，并由此导致脱硫站脱硫剂消耗量大、处理周期长、生产成本高。针对首钢京唐铁钢界面“一包到底”技术应用过程中铁水成分存在差异的问题，结合实际生产数据，统计了铁水成分差异的现状，并从生产工艺、检测方法等方面分析了差异形成的原因。结果表明，高炉与脱硫站测得的铁水Si含量绝对偏差平均为0.06%，S含量绝对偏差平均为0.024%，炼铁测得的铁水成分对脱硫和炼钢的参考性有限；铁水包装入多个铁次的铁水、高炉出铁过程铁水取样方法不科学、铁水转运过程部分元素与空气发生氧化反应及个别铁水样品中夹杂有炉渣，是造成铁钢界面铁水成分差异的主要原因。指出，钢铁企业应通过优化高炉出铁操作制度、改进铁水取样方法、加强铁水包管理、加强取样探头质量管理和建设沿途铁水快速取样装置等措施，解决铁钢界面铁水成分差异问题。

关键词：铁钢界面；一包到底；铁水预处理；铁水成分；脱硫

合金元素对耐酸钢耐蚀行为及表面缺陷的影响

贾丽慧，侯明山，张军国，汪云辉，信晓兵

（河钢集团唐钢公司，河北 唐山 063000）

摘要：耐酸钢具有比碳钢更强的耐酸性能，比耐酸不锈钢更低的合金成本，与涂镀产品相比又减少了电镀/热镀工序，在实际应用中体现出较大的应用价值。本文系统地介绍了合金元素对耐硫酸露点腐蚀钢耐蚀行为、表面质量的影响，对耐蚀钢实际生产中热轧表面缺陷产生原因进行了分析，并提出了有效改进措施。Cu、Sb、Sn、Cr元素的添加在耐硫酸腐蚀方面起着决定性作用，但是，Cu、Sb的选择性氧化会引起一系列表面质量问题，如“铜脆”和氧化铁皮色差，是工业生产的难题。研究发现，Ti能够以鳞片状富集在锈层内部，通过添加钛元素提高晶界密度；优化连铸工艺，避免铸坯在第三脆性区矫直开裂；缩短铸坯在加热炉时间、铸坯加热快速通过铜熔点区间和降低精除鳞温度等措施，在提高强度、有效消除“铜脆”缺陷的同时，还可以有效避免晶间腐蚀。在此基础上，探讨了微合金钛在耐酸钢中的作用及低成本耐酸钢的应用前景。认为，以Sn、Ti替代Sb，实现绿色环保生产，避免耐酸钢在使用过程中的全生命周期污染是新一代耐酸钢发展的趋势。

关键词：合金；耐酸钢；Cu；Sb；表面缺陷；钝化膜；铜脆

# 变形量对冷拉拔低碳镀锌钢丝力学性能的影响

# 王海宾1，闫建升2，狄增文1，卢伟永1，宋仁伯3，张朝磊2

（1. 河钢集团张宣科技有限公司，河北 宣化 075100；2.北京科技大学 碳中和研究院，北京 100083；3.北京科技大学 材料科学与工程学院，北京 100083）

**摘要：**冷拉拔低碳镀锌钢丝以良好的耐蚀性能、焊接性能、与力学性能协同匹配的良好综合性能和低廉的价格广泛应用于轻工业及建筑行业，其中变形量是影响其力学性能、生产成本及良品率的关键因素。通过分显微组织分析、力学性能测定、断口观察，研究了Q235冷拉拔低碳镀锌钢丝不同变形量下的加工硬化过程，并分析了断丝及钢丝表面出现箭头状裂纹的原因。结果表明：真应变从0增加到2.41过程中，抗拉强度、横纵截面硬度随应变量增加呈抛物线状增加，抗拉强度从586.8MPa增加到1157.1MPa，横截面硬度比纵截面增加了5.8HV。塑性变形初期，加工硬化率最大，为364.7MPa。真应变从0增加到1.91过程中，加工硬化率从364.7MPa降低到162.2MPa，真应变从1.91增加到2.41过程中，加工硬化率又增加到172.0MPa。而钢丝中存在CaO夹杂物是导致钢丝出现断丝和表面箭头状裂纹的主要原因。

**关键词：**低碳镀锌钢；冷拉拔；变形量；加工硬化率；夹杂物

工艺参数对电弧增材制造工件的影响

王鑫，赵津嫚，王倩，武佳璇，周子烨

（河北科技大学材料科学与工程学院，河北省 石家庄050018）

**摘要：**电弧增材制造AlMg合金过程中制备工艺参数对工件的宏观形貌、微观组织及力学性能均会产生重要影响。本文研究了制备工艺参数焊丝盘松紧度、焊接速度、焊接电流和层间等待时间对电弧增材制造AlMg合金成形的影响，确定了最佳制备工艺参数。研究表明，焊丝盘松紧度为2时，增材设备送丝顺畅，焊道成形效果好；焊道成形与热输入有关，焊接速度越小，增材过程产生的热输入值就越大，当焊接速度为36 cm/min时，单道焊缝的成形缺陷最少，成形效果良好；焊接电流越大，增材过程产生的热输入值就越大，当焊接电流为65 A时，焊道形貌均匀；层间等待时间增加到150 s时，合金的晶粒为均匀细小的等轴晶，平均晶粒尺寸降至52.9 μm。

**关键词：**电弧增材制造；焊接速度；成形形貌；层间等待时间

破碎矿体中深孔爆破一次成井技术

何 伟1,2，杨金光1,2，尹爱民1,2，耿 帅1,2，杨 航1,2

（1.河钢集团矿业公司 沙河中关铁矿，河北 邢台 054100；2.河北省复杂铁矿低碳智能高效开采技术创新中心，河北 邢台 054100）

摘要：中关铁矿采场切割井施工原采用人工掘进等传统方法，但该法存在安全系数较低、作业场所环境差、劳动强度大且效率低等诸多弊端。随着采矿工艺技术的发展和提高，爆破一次成井法因安全性高、成井速度快、效率较高且经济实用逐渐被广泛应用。为提高中关铁矿切割井施工效率并降低掘进成本，根据中关铁矿实际情况，制定了中深孔爆破一次成井方案。通过研究中深孔掏槽爆破机理，确保爆破过程中有足够的补偿空间；装药孔和空孔呈交叉“正方形”布置，共23个，其中，13个装药孔，10个空孔，对不同类型的孔设置孔径和延期时间，并通过补偿系数的计算验证布孔方式的合理性；同时根据巷道爆破危害管理规定，确定了最佳爆破药量，最终实现了切割井爆破一次成井。现场实际应用表明,中深孔爆破一次成井技术在中关铁矿具有很好的适用性，提高了切割井成井速度和质量，减少了施工安全隐患，保证了矿山安全生产，同时为类似的切割井爆破工程提供了借鉴。

关键词：切割井；中深孔；一次爆破；炮孔布置；爆破药量

氢基竖炉用球团生产工艺优化

刘建华

（河钢集团张宣科技 氢冶金公司，河北 宣化 075100）

摘要：竖炉用高质量球团是当前研究热点，回转窑球团产线中链篦机-回转窑-环冷机各部温度优化控制是提高球团产质水平的重要环节。介绍了链篦机-回转窑-环冷机设备优化过程以及造球工艺优化措施。首先在生产工序中缩短了干燥段，延长了预热段，同时改善了环冷机热量流通，为更好的氧化焙烧奠定了基础；在造球流程改造中，将造球盘角度统一调整为46°，旋转刮刀的转速均调整为10 r/min，旋转刮刀与底衬的距离调整为30~40 mm，造球盘落料点较之前向盘内延伸100 mm，小皮带下料点到边板距离达到43 cm，最终成球效果得到明显提升。对比工艺改进前后生产球团，其还原性能有所提升，还原膨胀及低温还原粉化指数均有所改善，其还原性能有所提升，还原膨胀率有所降低，其中1号球团还原膨胀率由12.34%降低到了7.82%，低温还原粉化指数改善明显，LTD+6.3均提高了20%左右。同时造球工艺优化为我国氢基竖炉用优质铁精矿球团提供了帮助。

关键词：氢基竖炉；链篦机-回转窑；工艺优化；球团；还原膨胀率；低温还原粉化指数

唐钢高炉炼铁技术进步

李朝旺1，庞真丽2，刘洪新1

（1.河钢集团唐钢公司 炼铁事业部，河北 唐山 063000； 2.河钢集团唐钢公司 非钢管理部，河北 唐山 063000）

**摘要：**河钢集团唐钢新区是以工艺现代化、设备大型化、物流运输智能化、资源能源循环化、生产绿色化为基础，打造的绿色化、智能化、品牌化新型沿海钢铁基地。三座高炉自投产以来，上部装料坚持“稳定边缘、打开中心，稳定中心、兼顾边缘”的煤气流控制方针；下部采用高风速、高动能的送风制度；坚持低硅冶炼，合理控制铁中[Si+Ti]含量≯0.45%；优化造渣制度，控制渣中MgO/ Al2O3在0.55；构建基于“三位一体”精益运营管理模式的高炉长周期稳定顺行管理体制，形成了一套适应高比例球团矿冶炼的高炉炼铁技术，在入炉球团矿配比42%的前提下，高炉最高日产突破9000t/d，煤比最高168kg/t，燃料比最低498kg/t，各项技术指标均创投产以来新高。

**关键词：**高炉；炼铁；布料；碱性球团；热制度；高球比

感应加热中间包钢液氢含量控制

银志军1，王文义1，赵晓敏2

(1.内蒙古包钢钢联股份有限公司 炼钢厂，内蒙古 包头 014010；2.内蒙古包钢钢联股份有限公司 技术中心，内蒙古 包头 014010)

摘要：重轨钢氢含量是影响质量的关键因素之一。包钢感应加热中间包运行初期，重轨钢等钢种常常出现首炉氢超标的现象。基于此，本文详细分析了感应加热中间包钢液氢含量超标的主要原因，并对中间包材料、耐火材料和连铸工艺进行了优化改造。研究发现，中间包感应加热上线后，预制件数量较多，常规烘烤方式很难实现有效烘烤，这是导致包钢钢液氢含量偏高的主要原因；通过改进耐火材料材质，使用PVC管替代铁皮作为通道模具，利用下线铸坯和中间包的余热以及外置烧嘴对流钢通道预烘烤，烘烤时添加烘烤喷嘴，同时提前对预制件进行烘烤、浇注前氩气置换以及浇注工艺优化等方式，有效实现了浇次首炉氢含量低于2ppm的目标。中包感应加热运行后生产了154个浇次不同钢种，氢含量全部满足目标要求，同时碳偏析指数平均降低了0.013，提高质量的同时获得了显著的经济效益。

关键词：氢含量；感应加热；中间包；烘烤；重轨钢；碳偏析

连铸机液压设备的技术改进

胡泽东

（河钢集团张宣科技，河北 宣化 075100）

摘要：为实现钢铁冶金连铸液压系统的绿色、高效和长周期运行，张宣科技针对特钢公司2台方坯连铸机液压系统运行不稳定、液压缸寿命短、漏油无法满足高端装备制造工艺要求的现状，对液压缸、控制技术和过滤装置等关键设备进行了技术改进和设备研发。首创的双活塞液压缸驱动技术根据嵌套原理，采用复合式双活塞缸和活塞杆顶升结构，在相同油缸筒直径条件下，通过增加液压缸工作腔的数量扩大缸内顶升面积，实现连铸钢包升降单缸驱动代替多缸驱动；在连铸钢包滑动水口液压缸缸筒外部安装氮气冷却筒，对液压缸持续冷却，并采用V型耐高温的格莱密封圈对导向套、活塞进行密封，同时，用无缝钢管将液压缸两个油口接长；冷床升降液压缸采用了圆锥形弹簧与变节流缓冲新型结构；研发的高压回流过滤技术采用“高压过滤+单向阀”实现了液压油的高度净化。新技术应用和设备优化后，有效提高了液压设备的使用寿命和控制精度，达到了连铸生产技术指标和产品性能的稳定控制，实现了炼钢连铸的高效、绿色、低成本、高质量生产，同时降低了能源介质的消耗，推进了钢铁工业的碳减排。

关键词：连铸；液压系统；使用寿命；控制精度；漏油

基于机理模型的热连轧板形快速控制技术

陈 彤1，邢天庆1，郭隆 1，李子正2

（1.唐山钢铁集团有限责任公司，河北 唐山 063000；2.燕山大学国家冷轧板带装备及工艺工程技术研究中心，河北 秦皇岛 066004）

摘要：热连轧机组板形控制是一项关键的任务，它旨在解决板形变化对产品质量和生产效率的影响。针对热连轧机组板形控制过程中的板形约束变量问题，采用双因素线性插值的方法，在分析弯辊力和窜辊量对板形影响的基础上建立双因素传递系数模型和板形控制空间。首先对板形空间的插值方法进行设计，然后应用到弯辊力和窜辊量对轧制压力的传递系数模型的建立中，求出相应弯辊力与窜辊量对轧制压力的传递系数，这些传递系数可以被视为板形控制的关键参数，利用求出的传递系数基于板形调节建立轧机板形控制空间。通过对板形控制空间的求解，可在板形控制范围内实现板形的快速搜寻和弯辊力、窜动量对板形的快速控制，为热连轧机组的操作提供有效指导。该方法在解决板形控制难题上具有显著的效果，能够提高产品质量和生产效率。未来的研究可以进一步优化传递系数模型和板形控制算法，实现更加精确和自动化的板形控制。

关键词：热连轧机；板形控制；线性插值；传递系数；弯辊力；窜辊量

热轧高强钢带卷板形质量控制

李军明1，卢岳2，师可新1，吕晓虎1，栗建辉1

（1.河钢集团唐钢公司，河北 唐山 063000；2.河钢材料技术研究院，河北 石家庄 050023）

摘要：河钢集团唐钢公司所产热卷板形缺陷多以带卷双侧浪及板形翘曲为主，严重影响了下游用户开平质量、激光落料等质量控制的稳定及生产效率的提升。本文从带钢肋部（距带钢边部100 mm位置）与边部温差控制、热轧工艺参数设定及层冷工艺选用、带钢两侧侧喷开启等方面分析了热轧高强钢板卷DS侧边浪产生的原因，并给出了减小热轧带钢内应力的措施。发现，带钢边部温度较带钢肋部温度低约50~90 ℃不等，此区域带钢处于热传递最大区域，带钢向外传递出去的热量最多，故该区域温度呈急剧下降趋势，温度变化大，是带钢最终板形产生边浪的主因；热轧带钢肋部与边部温差与定宽机减宽量及终轧温度有关，200~250 mm的定宽量较50~100 mm的定宽量带钢边部温降可减少约20 ℃，终轧温度由895 ℃降到885 ℃，带钢的肋部与边部的温差可减小约10~20 ℃；而层冷工艺的选择应根据精轧出口带钢横断面温差，结合各钢种、规格在冷却过程中带中与带边组织及晶粒均匀性实施综合考虑，以更好地控制热轧带卷板形质量。

关键词：热带板形；横断面温差；内应力；层冷工艺；定宽量；终轧温度

兴澄特钢烧结全流程减排生产实践

罗凯成，徐彩龙，李金辉，邓军平，于阳

（江阴兴澄特种钢铁有限公司，江苏 江阴 214400）

摘要：烧结作为长流程钢铁行业生产中的重要组成部分，生产过程会排放出大量的含有SO2、NOx、粉尘等污染物的烟气，是钢铁行业环境治理的重要对象。兴澄特钢烧结分厂秉承源头削减、过程控制和末端治理的理念，在烧结全流程中通过控制高硫精粉比例，配加全焦粉和氧化铁皮，从源头上减少SO2，NOx的生成；通过减少设备漏风、防止内循环系统的串风振动、改进脱硫脱硝烟温换热器，控制烟气中的氧含量；将碱度控制在1.9以上，保持高碱度烧结，控制焦粉中小于0.5 mm的粒度比例，并积极利用烟气内循环系统，减少烧结过程中污染物排放；采用电除尘和活性焦一体化脱除系统，从末端完成污染物的控制，烧结烟气中SO2、NOx和粉尘排放指标分别为4 mg/m3、41 mg/m3和2 mg/m3，全部达到了国家钢铁行业大气污染物超低排放的标准。

关键词：烧结；减排；全流程；末端治理；活性焦；焦粉

次氧化锌渣回收低氟氯硫酸锌结晶的工艺

姜科1，周惠2，潘希贤2

（1.长沙环境保护职业技术学院 环境工程学院，湖南长沙 410004；2.湖南中金岭南康盟环保科技有限公司，湖南 长沙 410205）

摘要：次氧化锌渣可用于制备锌电解液实现锌的回用，其主要技术难点在于氟氯与锌的分离。氟氯若不能被有效去除，会在湿法炼锌系统中循环累积，腐蚀电极，降低电锌质量。本文以广东某冶炼厂次氧化锌渣为处理对象，探索了酸性浸出联合降温诱导结晶制备合格硫酸锌结晶的可行性。通过向饱和硫酸锌溶液中加入次氧化锌渣和硫酸，升温浸出后降温结晶，得到七水硫酸锌结晶。结果表明，当未水洗的次氧化锌渣补加量为12.5～37.5 g/L时，硫酸锌结晶中氟含量为0.013%～0.017%，氯含量为0.001 9%～0.003 9%，显著低于次氧化锌渣中氟、氯含量。次氧化锌渣水洗后制备得到的硫酸锌结晶中，氟、氯含量进一步降低。如果将结晶溶解得到锌浓度为120 g/L的硫酸锌溶液，则溶液中对应的氟离子浓度为25.04 mg/L、氯离子浓度为30.05 mg/L，证明水洗和降温结晶联合技术可以回收低氟氯的硫酸锌结晶。

关键词：次氧化锌；回收；氟；氯；结晶；硫酸锌