

首钢迁钢洁净钢生产的经验与体会

王建伟 南晓东 靳伟 刘建辉

(首钢迁钢炼钢作业部,河北迁安,064404)

摘 要 本文讨论了洁净钢的概念及生产工艺,并介绍了迁钢的生产工艺特点、设备状况、产品结构及控制技术,从铁水预处理、转炉冶炼、炉外精炼和连铸等方面入手,围绕低成本、高效率洁净钢生产进行了有益的探索,讨论了有关去除有害元素及夹杂物的措施。

关键词 洁净钢;铁水预处理;转炉;精炼;连铸

1 前言

随着科学技术水平和工业化进程的不断加快,人们对洁净钢的概念日益明确。所谓洁净钢,实际上是一个相对的概念。钢中的非金属夹杂物不影响钢材的加工和使用性能,即称之为洁净钢。反之,则是“非洁净钢”。从实际生产过程来讲,小规模、个别炉次生产出符合相应要求的洁净钢是不成问题的。但对百万吨级的洁净钢生产而言,高效率、低成本、稳定地、批量地满足用户在加工过程和使用过程越来越高的要求,则必须建立起一个成熟的技术平台。所谓洁净钢“平台”,应该是以高效率、低成本、稳定地生产洁净钢的基础性、通用性的集成性技术系统(技术群)。由于不同用途钢材所承受的加工过程、使用状况不同,相应的经济洁净度要求不同,成本/价格要求不同,批量规模也不同。因此,生产不同类型商品钢材的洁净钢“平台”有不同的模式。应当注意到:洁净钢“平台”是新世纪具有普适性的集成技术,不仅适合于高档商品钢、中档商品钢和尖端商品钢,也适用于量大面广的普通商品钢的生产。这是国际钢铁工业的重要命题,也是现代炼钢技术进步的重要方向^[1]。

2 迁钢装备及其产品概况

2.1 迁钢装备情况

河北省首钢迁安钢铁有限责任公司是首钢近年来在迁安建设的现代化的大型钢铁联合企业,集成了炼铁、炼钢、热轧、冷轧的先进工艺技术,主体工装设备由国外引进。迁钢有2座2650m³的高炉和1座4000m³高炉,2010年计划年产铁水790万吨。迁钢炼钢部有两个炼钢厂,一炼钢装备有3座210吨顶底复吹转炉、3座单吹颗粒镁脱硫扒渣设施、2套带多功能顶枪的RH真空精炼设施(其中2#RH为双工位)、1套双工位LF炉、1套CAS-OB精炼设施、1套吹氩精炼设施、2台双流板坯连铸机(1#板坯断面900-1600mm、厚度230、250mm;2#板坯断面1100-2150mm、厚度230、250mm,铸坯长度8000-10500mm)、2台8流小方坯连铸机(浇铸断面:130×130mm²、140×140mm²、160×160mm²)。二炼钢装备有2座210吨顶底复吹转炉、3座KR脱硫扒渣设施、2套双工位带多功能顶枪的RH真空精炼设施、1套双工位LF炉、1套双工位CAS精炼站、2台双流板坯连铸机(铸坯断面750-1600mm、厚度230mm,长度8000-10500mm)。

迁钢两个炼钢厂基本实现了入转炉铁水100%脱硫处理;转炉配备自动挡渣出钢、AMEPA下渣检测,一炼钢实现副枪自动化炼钢(碳、温双命中率90%以上);二炼钢实现副枪+烟气分析自动化炼钢,4#RH具备真空处理过程喷粉脱硫能力,4#板坯铸机具备二冷段电磁搅拌功能。迁钢两个炼钢厂2010年计划钢产量803万吨。

2.2 迁钢典型产品概况

迁钢公司板坯连铸投产后,加大板材产品的开发力度,形成了较为合理的产品结构体系,生产的板坯品种有:高强度船板钢、高级别管线钢、抗 HIC 管线钢、汽车用超低碳 IF 钢、家电板用钢、汽车大梁钢、车轮钢、压力容器钢、高级别石油套管钢、桥梁用钢、集装箱板、板高强度机械用钢、电工钢等,产品覆盖了 17 大类 230 多个牌号钢种。2009 年冷轧基料、管线钢、汽车大梁钢、车轮钢、高强结构钢、压力容器钢(焊瓶钢)、花纹板和耐候钢等主要品种占总产量的比例为 78.55%。

两台方坯铸机生产钢种有:建筑用钢、高级别预应力钢绞线、合金焊线、硬线、轴承钢、齿轮钢等六大类 50 多个牌号方坯钢种。

3 迁钢低成本、高效率洁净钢生产体制的确立

首钢迁钢投产以后,围绕低成本、高效率洁净钢生产开展了大量探索。经过多年生产实践,充分认识到洁净钢生产关键在于稳定、大批量的生产,应该针对不同类别的钢种,在保证质量的前提下,稳定连铸拉速,保证多炉连浇,提高连铸作业率。在众多的工艺因素中,时间和温度是两个重要的参数。

某一工序(装置)的时间,是由完成该工序、装置的特定功能所消耗的工艺作业时间,加上相应的辅助作业时间和输送、装卸、缓冲、等待等时间过程所组成。各工序、装置的时间数值是不同的,为了实现流程的连续性(准连续性)和紧凑性,应找出运行过程核心工序及其时间和运行节奏,再决定其它工序、装置在协同、缓冲过程中的时间节奏。

从现代钢铁制造流程的演进,可以看出,现代钢铁制造流程基本是由若干“刚性”工序和“柔性”工序组成的,如图 1 所示。

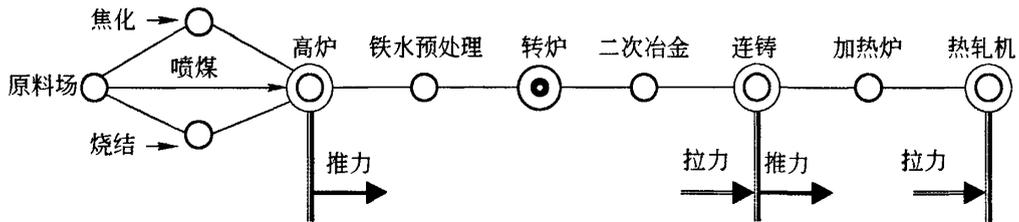


图 1 现代钢铁生产流程组成及其“刚性”工序和“柔性”工序相互关系

高炉、转炉、连铸和热连轧属于“刚性”工序,连铸机的刚性是整个流程高效率运行的保证。也就是说,应该实现连铸机快速、等节奏、稳定的多炉连浇生产。一般来讲,连铸机的拉速一旦确定,高炉、转炉随之保持刚性化节奏生产,单体工序的生产能力基本稳定。而铁水预处理和炉外精炼属于“柔性”工序,分别在高炉—转炉“界面”和转炉—连铸“界面”起到缓冲作用。

工序时间节奏关系为:

$$\begin{cases} t_{\text{铁水预处理}} \leq t_{\text{转炉}} \\ t_{\text{炉外精炼}} < t_{\text{转炉}} \leq t_{\text{连铸}} \end{cases}$$

式中, $t_{\text{铁水预处理}}$: 铁水预处理工序时间

$t_{\text{转炉}}$: 转炉工序时间

$t_{\text{炉外精炼}}$: 炉外精炼工序时间

$t_{\text{连铸}}$: 连铸工序时间

在满足上述时间关系的前提下,可以实现连铸机的多炉连浇,并可按照如图 2 所示的时间节点图组织多炉连浇生产。

首钢迁钢板坯连铸投产后,首先树立了稳定拉速的目标,其他相关工序力求达到与连铸的合理配合。按照目前生产的钢种和断面,确定相应的连铸拉速控制规程,如表 1 所示。

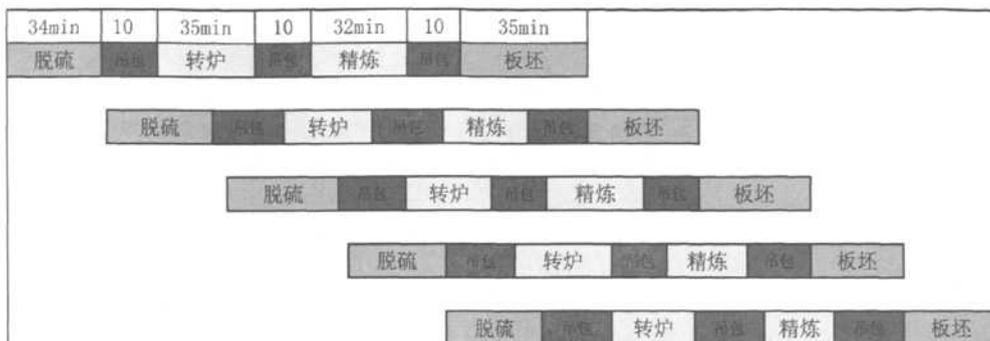


图2 炉机匹配时间节点图

表1 首钢迁钢不同钢种及其不同断面的拉速控制表

钢种	断面 mm	750-1350	1400	1450-1500	1550-1650	1700-1850	1900-2510
低碳钢类	拉速 m/min	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0
中碳钢类	断面 mm		750-1550		1600-1650	1700-1850	1900-2510
	拉速 m/min		1.3		1.2	1.1	1.0
高碳钢类	断面 mm			750-1850			1900-2150
	拉速 m/min			1.05			1.0

中包过热度控制范围:低碳钢和超低碳钢类,正常过热度范围 20~35℃;中碳钢、包晶钢类,正常过热度范围 15~30℃;高碳钢类,正常过热度范围 10~25℃。

拉速变化条件:

(1)当中包过热度超过规定上限时,每超过 5℃降低拉速 0.1m/min,超过规定上限 15℃时,严禁浇注;连浇紧、大包不自开等异常条件下,为保连浇,可降低拉速至 0.80m/min,0.80 m/min 拉速时间小于等于 5min。

(2)当过热度低于正常过热度下限时立即涨拉速,幅度为 0.1m/min,但实际拉速不能高于所属钢种的最大拉速。

为实现既定的低成本、高效率洁净钢生产体制,迁钢进行了长时间卓有成效的研究。

4 迁钢洁净钢生产的具体实践

4.1 铁水预处理脱硫

目前迁钢铁水预处理脱硫采取两种工艺,其中一炼钢采用喷吹颗粒镁脱硫、二炼钢采用 KR 法铁水脱硫。迁钢两种脱硫工艺的特点:

喷吹颗粒镁法:脱硫效果稳定可靠,目标硫按照 0.005%进行喷吹时,一次命中率达到 90%以上;2010 年前 5 个月铁水平均脱后硫为 0.005%,最低硫含量达到 0.002%。铁水初始硫从 0.030%降到 0.005%,颗粒镁单耗 0.4kg/t;喷吹时间为 8-12min,平均处理周期 34min,能够与转炉周期达到较好的匹配;铁水脱硫平均温降 11℃;喷枪平均寿命超过 600min;通过对稀渣加入聚渣剂处理,提高了扒渣效果。

KR 法铁水脱硫:KR 法脱硫工艺的脱硫动力条件好、脱硫率高,而且重现性和稳定性好。采用 CaO 基复合脱硫剂,脱硫剂平均单耗为 8.7kg/t,平均搅拌时间为 11.6min,平均处理周期 34min,平均温降 35℃。KR 搅拌头寿命 331 炉次,最大为 3287min。通过合理控制脱硫剂加入量、调整转速和搅拌时间,当铁水原始硫含量小于 0.035%时,处理后最低硫含量可以达到 0.001%以下。

4.2 一键式炼钢全程自动化控制技术

“一键式炼钢”是通过计算机下达一个吹炼指令信号,实现从降氧枪、降罩、加料、氧枪枪位过程控制、副枪测量、自动提枪拉碳的计算机全程控制自动炼钢的方法。转炉炼钢采用副枪自动化炼钢系统,为了使冶炼

操作简单化、标准化,对模型进行开发,完善,编制了专门的控制程序,准确判断拉碳提枪时机,实现从降氧枪、降罩、加料、氧枪枪位过程控制、底吹供气量控制、副枪测量、自动提枪拉碳的计算机全程控制。

为确保转炉“一键式炼钢”技术稳定、准确。重点做了下列工作:(1)完善数据采集管理、(2)加强计量管理、(3)加强原材料管理、(4)实现精细化管理。

通过技术攻关,实现了“一键式”、高效率自动炼钢,副枪自动化模型控制炼钢终点双命中率提高到90%以上,转炉后吹率降到3.1%,冶炼周期缩短7分钟。

为提高钢水纯净度,控制钢水有害元素的含量,从铁水预处理、转炉冶炼、出钢操作、钢渣改质等方面进行优化,形成了一套较成熟的纯净钢冶炼工艺。

4.2.1 钢中硫的控制

硫对钢材的焊接性能、抗腐蚀性能、以及力学性能有较大影响。转炉脱硫能力有限,因此控制铁水脱硫处理过程及各种原材料的硫含量是控制钢水硫含量的关键。

根据不同钢种对硫含量的要求,采用不同的铁水脱硫处理深度,实现入炉铁水100%脱硫处理,通过使用脱硫聚渣剂、优化脱硫扒渣工艺,保证脱硫扒渣率达到95%,对入炉原料废钢进行分类管理和合理搭配使用,严格控制石灰、萤石等辅料质量,转炉采用自动化炼钢技术,改善化渣操作,保证转炉脱硫效率,减少了转炉“回硫”。一炼钢板坯钢种转炉回硫小于0.005%的比例平均在75%以上。二炼钢转炉回硫小于0.002%的比例达到88.5%,在转炉冶炼高附加值品种、回吃低硫废钢的情况下,转炉平均回硫7ppm。转炉出钢时,终点硫情况见下表。

表** 转炉终点硫含量

钢类	普碳钢	低碳铝镇静钢	管线钢	超低碳 1F 钢
%[S]	0.012	0.009	0.007	0.007

通过出钢“渣洗”预精炼技术,可进一步降低钢水硫含量,平均脱硫率达到30%,并为LF精炼过程深脱硫创造条件,采用此工艺生产低硫钢,到LF的钢水硫含量可控制20ppm以下。

4.2.2 钢水碳、氧的控制

生产洁净钢必须尽量将终点钢水氧含量控制在较低水平、较窄的波动范围内,通过动态控制转炉炉底,保证合理的炉底厚度,优化钢种的吹炼模式及底吹供气模式,提高了底吹搅拌效果,碳氧积控制在0.0028%以下,稳定了转炉终点钢水的氧含量。对于超低碳钢的生产,为实现RH高效脱碳、缩短处理时间,冶炼时根据转炉[C]和[O]的关系,合理控制终点碳含量,运用底吹后搅工艺,既防止了钢水的过氧化,又保证到RH脱碳的钢水具有良好碳氧关系,满足RH深脱碳的要求,降低了RH脱碳后的氧含量,减少脱氧产物的产生,提高了钢水的纯净度。转炉转炉终点碳控制在0.03%—0.05%,保证到精炼站的钢水氧含量在400—600ppm之间,通过RH真空处理达到脱碳、降低夹杂物的目的。

4.2.3 磷的控制

根据脱磷的热力学及动力学条件,通过不断优化转炉自动化炼钢吹炼模式,改进模型的自学习效果,提高转炉脱磷效率,采取降低出钢温度措施,冶炼管线钢转炉终点磷含量平均为0.006%,低碳钢终点磷含量平均为0.007%。转炉出钢时采用挡渣塞、挡渣锥挡渣,优化挡渣出钢操作,结合AMEPA下渣检测,有效的控制了出钢下渣量,使钢包渣厚控制在60mm以下的比例达到90%以上,最大限度的减少钢包内高氧化性转炉渣量,降低了精炼工序的回磷。

4.2.4 氮的控制

转炉钢水氮含量取决于铁水加入量、转炉的吹炼控制、出钢脱氧制度等。转炉高铁水比可降低终点钢中氮含量,转炉脱碳过程所产生的CO气泡对钢水的清洗作用加速了钢中氮的去除,吹炼过程造泡沫渣可以增加渣层厚度,CO在渣中的停留时间也相应增加,减少了钢水吸氮。转炉底吹氩工艺对降低终点钢水氮含量起着重要作用。钢水带氧出钢,控制出钢口形状防止散流都有效限制钢水吸氮。目前迁钢冶炼低碳超低碳钢种,转炉钢水N含量可控制在0.0017%以下。

4.2.5 脱氧及夹杂物的去除

在一定程度上,钢水的全氧含量代表了氧化物夹杂的数量,其数值的大小常作为钢水洁净度的评价指标。降低钢中全氧含量是涉及炼钢、炉外精炼、连铸的系统工作。炼钢工序降低全氧含量、减少夹杂物控制方面,采取了如下措施:(1)重点提高转炉的复吹效果,降低碳氧积,保证在较低碳含量的情况下,降低钢水氧含量。(2)缩短更换出钢口的时间,合理安排出钢口更换,保证转炉合理出钢口的形状和出钢时间。(3)优化挡渣出钢操作,实现钢包渣层厚 $\leq 60\text{mm}$,防止钢渣污染钢水。(4)充分利用出钢过程的动力学及热力学条件,对钢包渣改质,转炉出钢后向钢包表面加入改质剂,降低炉渣的氧化性。

4.3 炉外精炼

二次精炼工序在整个炼钢流程中起到至关重要的作用,一方面可以提高钢的纯净度、去除有害夹杂、进行微合金化和夹杂物变性处理;另一方面,精炼又是一个缓冲环节,有利于连铸生产均衡地进行。迁钢公司自投产以来,一直致力于先进炉外精炼设备工艺技术的研发。快速、协同的精炼工艺技术对于对生产高附加值的产品起到了强大支撑作用。

迁钢炼钢厂的精炼处理能力大于转炉生产能力,这对生产过程的控制十分有利。精炼大部分设备采用了双工位设计,节约了厂房空间,布置上更加紧凑,减少了钢水运输、等待时间,真正做到高效精炼。迁钢公司正在推进精炼系统全自动机器人测温取样技术,保证了测温准确,取样饱满。

4.3.1 LF 工艺

一炼钢 1# LF 炉是从达涅利进口设备,二炼钢 2# LF 炉为国内自主集成设备,两台双工位 LF 炉采用电极旋转式,在一个工位进行合金调整和吹氩搅拌操作时,可对另一个工位的钢水进行加热处理,极大的提高了精炼处理效率,钢水升温速率大于 $4^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。LF 炉快速造还原渣+还原性气氛+强搅拌工艺冶炼超低硫钢技术,可将钢水硫含量稳定控制在 15ppm 以下,LF 炉结束最低钢水中硫含量达到了 5.5ppm。稳定、高效的脱硫技术为 X80 系列高级别管线钢及抗 HIC 管线钢的生产奠定了基础。

4.3.2 RH 工艺

RH 炉主要设备均由德国西马克引进,配备多功能顶枪,采用先进的全蒸汽四级(3、4 级并联)喷射真空泵系统,良好的真空泵系统,极大的抽气能力为冶炼超低碳钢创造了条件,超低碳钢结束碳含量平均 15.7ppm,最低碳含量达到 5ppm。氢含量控制在 1.5ppm 以下,最低达到 0.7ppm。RH 结束氮含量在 15PPm 以内。RH 冶炼过程采用与真空系统相连的快速加料斗和大容积真空加料罐进行加料,进一步缩短合金加入时间,明显降低 RH 处理周期,使精炼与铸机节奏匹配更加合理、顺畅。

RH 浸渍管的维护采用全自动喷补车,喷补效果好,大大延长浸渍管使用寿命,RH 浸渍管平均使用寿命在 100 炉,最高水平达到 120 炉。

4.3.3 CAS 及吹氩站工艺

CAS 及吹氩站工艺主要冶炼低碳铝镇静钢及普通品种等,通过不断优化操作,提高操作水平,处理周期在 30 分钟之内,与铸机周期达到合理匹配,低碳铝镇静钢连浇炉数稳定在 12 炉。

4.3.4 窄温度、窄成分控制

为满足板坯恒拉速浇铸的要求,不断提高精炼工序控制水平,整个精炼系统实行窄成分、窄温度控制,即精炼内控的成分 $\text{C}\pm 0.01\%$ 、 $\text{Si}\pm 0.02\%$ 、 $\text{Mn}\pm 0.02\%$,控制合格率均在 95% 以上;精炼结束温度要求控制在 $\pm 7^{\circ}$ 范围内,合格率控制在 90% 以上。

4.4 连铸

精炼处理后的钢水具有较高的纯净度,连铸工序控制的重点是进一步提高或保持钢水的纯净度。因此,必须实行从钢包—中包—结晶器的全程保护浇注,避免钢水的二次氧化与污染,减少外生夹杂物的产生,将内生夹杂物有效控制在中间包内;同时为了减少拉速频繁变化导致铸坯夹杂物的增加,实行板坯恒定拉速浇铸技术,通过不断的改进、优化、创新,形成了首钢迁钢优质板坯连铸技术。

4.4.1 全保护浇铸技术

为保证连铸工序钢水的纯净度,采取了如下具体措施:

(1)通过优化中间包干式料,改进中间包烘烤制度,将中包温度快速升高到 1000°C 以上,避免了干式料粘结不良导致的中间包工作层脱落污染钢水的问题。

(2)采用长水口浸入式开浇,减少钢包开浇过程的二次氧化。长水口进行吹氩保护浇注,浇注过程中采用钢包下渣监测系统,降低钢包下渣量。

(3)采用中间包双层覆盖剂,严格控制中包液渣厚度在 60mm 以下,防止二次氧化和覆盖剂过厚污染钢水。

(4)通过数模和水模试验,合理布置挡渣墙挡渣坝的位置,延长钢水在中包停留时间,采用高液面浇铸纯净钢,促进夹杂物上浮,稳定流场,减少卷渣。

(5)中包一结晶器采用三路氩气保护浇注,采用质子氩气箱,对氩气背压和流量严格控制。

(6)根据不同钢种、断面、过热度以及拉速,确定合适的进入式水口插入深度。

通过迁钢优质板坯连铸技术的实施,从钢包到中间包增氮平均达到 1.5ppm 以内,中间包到结晶器增氮达到 0.5ppm 以内。铸坯气泡个数下降到 0.38 个/米,热轧板卷夹杂和结疤缺陷等明显减少,每月的缺陷发生率由原来的 1.67%降低到目前的 0.43%。

4.4.2 板坯恒拉速控制技术

为保证连铸浇注过程的稳定,减少拉速频繁变化而影响钢水的纯净度,实行恒拉速控制技术。

(1)设备功能精度是实行恒拉速的基础。通过有效实施 35 项设备功能项目和 59 项设备精度项目,铸机设备功能投入率和精度达标率稳定在 99%以上,确保铸机设备始终处于良好状态,减少了设备异常影响拉速的变化。

(2)优化调度组织。对全流程生产进行实时监控,在调度室、炼钢主控室、精炼主控室安装了监控软件,实时显示当前炉次的“剩余钢水量、拉速、剩余浇注时间”,供生产组织和岗位人员查询,合理组织生产,使转炉及精炼周期、钢水量及运输时间都能达到要求,并与连铸相匹配,保证了按时间节奏连续稳定地供应高质量钢水,实现连铸机恒速、等节奏、稳定的多炉连浇生产。

拉速变化会恶化钢水的纯净度,使结晶器液面产生波动,进而增加了夹杂物含量。恒拉速的实施,使得生产过程更加紧凑合理,生产效率不断提高。目前,迁钢板坯恒拉速率已经连续 27 个月保持在 97%以上,低碳铝镇静钢连浇炉数达到 12 炉/浇次。

4.4.3 优化板坯工艺技术

通过对板坯自动开浇、保护渣自动投入、一冷水控制等技术的优化改进,结合在线质量判定系统,严格按 35 个汽车板判级标准,318 项判定条件进行检查判定,提高了板坯内部质量和表面质量,铸坯一检合格率达到 98.5%,综合合格率达到 99.6%;内部裂纹 ≤ 0.5 级比例占 94%;生产的 O5 汽车板成品 N 含量平均 14ppm。目前铸坯的无清理率达到 98%以上,热送比例达到 70%以上。通过开发优化板坯工艺技术,创出连续 37 个月(52395 炉、1127 万吨钢)无漏钢记录,稳定了炼钢连铸生产,提高了产品质量。

4.4.4 铸坯内部质量提高

迁钢优质板坯连铸技术的实施,使铸坯内部质量不断提高。铸坯硫印和低倍检验结果统计显示,所有钢种中心偏析均为 C 类。一般钢种 C 类中心偏析 ≤ 1.0 级的占 90%左右;X70、X80 的内部裂纹 ≤ 0.5 级的占 94%,其余钢种内部裂纹均 ≤ 0.5 级。高级别管线钢的低倍照片如下图 2。

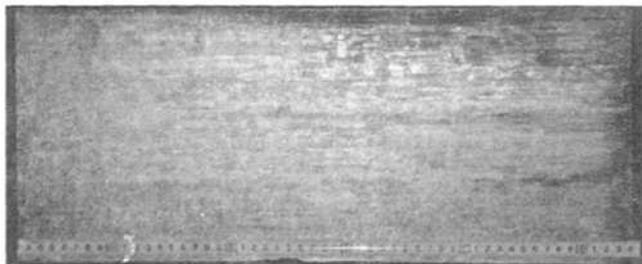


图 2 高级别管线钢的低倍照片

5 迁钢洁净钢生产实绩

5.1 原材料管理

迁钢以强化原料管理,稳定原料质量,精细管理、精准操作为基础,把过程质量波动造成的损失降到最低,推行自动化控制,减少人为操作的影响,实现低成本、高质量生产优质品种钢。综合钢铁料消耗控制在1095.4kg/t,实现了质量与成本比值的最大化。

迁钢对炼钢原材料铁水、废钢、石灰质量按标准要求进行严格控制。

铁水:到钢厂的实际铁水化学成份 2。

表 2 实际铁水成分

项目	C%	Si%	Mn%	P%	S%	T/℃
2009 年平均	4.41	0.38	0.14	0.069	0.026	1361
2010 年 1-6 月平均	4.41	0.35	0.14	0.072	0.026	1358

各品种钢对铁水脱硫扒渣及入炉铁水 S 的要求按钢种技术操作要点执行。

废钢:对废钢、铁块进行严格分类管理,共有 10 余种废钢类型。对回收的自产废钢,包括管线、耐候、硅钢、超低碳钢废钢等都进行单独存放。对回收的低硫重废([S]≤0.015%)、超低 S 废钢([S]≤0.005%),严格分类存使用。根据钢中残余元素及成品[S]的要求,结合钢种、工艺路线确定相应的 6 个废钢配料模式,合理搭配使用,保证了产品质量及效益的最大化。

石灰:迁钢有 2 座 500m³ 套筒窑、1 座 600 m³ 套筒窑生产活性石灰,表 3 为人转炉石灰成分。

表 3 实际入转炉石灰成分

项目	日期	CaO%	MgO%	SiO ₂ %	S%	活性度 ml	烧减%
活性石灰	2009 年	85.05	10.85	0.95	0.029	358	1.72
	2010 年 1-6 月	85.58	10.65	1.04	0.028	364	2.31

5.2 洁净度控制

5.2.1 成分控制

表 4 洁净钢成分控制水平

钢种	控制水平 ppm	碳	磷	硫	氧	氮
超低碳钢	平均	14.5	71	34	18.6	16.7
	最好	7	40	20	10	7
管线钢	平均	—	86	13	12	30
	最好	—	50	4	10	20
低碳铝镇静钢	平均	—	89	72	—	23.5
	最好	—	30	20	—	8
普碳钢	平均	—	113	66	—	—
	最好	—	50	20	—	—

氢的控制水平:普通钢种氢含量控制在 2.0ppm 以内,超低碳钢及管线钢氢含量控制在 1.5ppm 以下,最低达到 0.7ppm。

高品质洁净钢是对铁水预处理→转炉→精炼→连铸全流程控制的结果。具体从以下几个方面着手。

碳的控制:1)使用无碳和低碳耐火材料,包括钢包、中间包等等;2)通过优化 RH 系统参数逐步降低脱碳水平;3)控制覆盖剂、保护渣等增碳。

氮的控制:1)转炉低氮冶炼工艺;2)使用真空系统进行脱氮;3)加强保护浇注,精炼结束至成品增氮已能控制在 2ppm 以下。

磷的控制:1)采用自动化炼钢技术;2)采用 AMEPA 下渣检测系统控制转炉下渣;3)采用炉后钢水捞渣。

(下转第 87 页)

1655℃降至目前的 1635℃,炼钢工序实现了负能炼钢。

4)以螺纹钢 HRB400 为代表的建筑长材洁净钢生产平台,钢中碳、硫、磷含量的工序能力指数均大于 1.33,说明冶炼工艺控制水平处于良好的水平,抗拉强度、屈服强度和断后伸长率工序能力指数也大于 1.33,说明产品性能稳定。

参考文献

[1]殷瑞钰. 洁净钢平台集成技术—现代炼钢技术进步的重要方向钢铁,2009,44(17):1-6

(上接第 66 页)

硫的控制:1)优化铁水预处理颗粒镁脱硫和 KR 法脱硫工艺;2)转炉控制回硫;3)开发 LF 深脱硫工艺。

氧的控制:1)优化转炉复吹效果,控制转炉终点碳氧平衡;2)进行顶渣改质;3)加强保护浇注,防止二次氧化。

氢的控制:1)优化钢包、中间包、水口等耐火材料烘烤工艺;2)对合金及造渣材料等质量控制;3)RH 真空脱气处理。

5.2.2 夹杂物

超低碳钢夹杂物有少量不规则形状 Al_2O_3 系夹杂物,尺寸在 5 μm —10 μm 之间,其它类型夹杂物尺寸基本在 5 μm 以下,且集中在 1 μm —3 μm 的范围内,以当量直径为 3 μm 的球状夹杂物计算,连铸中间包内钢水中夹杂物的数量平均为 32 个/ mm^2 。管线钢中存在的 B 类夹杂 ≤ 2 级的比例分别为细系是 98.9%、粗系是 99.6%,全部满足西气东输二线工程用钢的质量要求。

6 结论

迁钢在洁净钢冶炼技术方面进行了有益的探索,通过不断的总结、更新,形成了符合自身特点的完整的技术体系。

(1)在铁水预处理脱硫方面,实现了颗粒镁和 KR 法的深脱硫工艺。

(2)在转炉方面,形成了“一键式”炼钢全程自动化控制技术。

(3)在精炼方面,实现了窄成分、窄温度控制,优化了 RH 脱碳、脱气和 LF 深脱硫等工艺技术。

(4)在连铸方面,采用板坯恒拉速生产技术,设备功能精度运行控制技术,防止板坯漏钢技术,自主研发铸坯质量在线判定系统。

参考文献

[1]殷瑞钰. 洁净钢平台集成技术—现代炼钢技术进步的重要方向钢铁,2009,44(17):1-6

(上接第 49 页)

鲅鱼圈钢铁项目是鞍钢探索建设绿色制造工厂的初步实践,炼钢部通过引进、吸收和再创新,快速提升了整体制造技术水平,实现了高品质、高效化、节能型洁净钢生产工艺流程,满足了大规模、高品质产品的生产要求,实现了绿色、高效、节能的生产目标。当前,鞍钢鲅鱼圈炼钢部正认真贯彻落实科学发展观,按照国家钢铁产业政策和调整振兴规划的要求,深入开展创建产品、技术、管理、节能环保世界一流的工作,为建设成为最具国际竞争力的标志性钢铁企业而努力奋斗。