



设计参考资料

12
1995

北京首钢设计院

设计参考资料

(12)

1995年12月

目 录

LTV钢公司克里夫兰厂的直接热装连铸机·····	1
薄板坯连铸—大压下轧制的热带轧制技术和 薄板连铸技术(下篇)·····	22
纽柯公司希克曼厂的CSP隧道炉·····	35
近终形带钢浇铸技术的现状及发展趋势·····	43

LTV钢公司克里夫兰厂的直接热装连铸机

Edward J. Baldyicki等

在1993年以前，LTV钢公司克里夫兰厂有3座高炉和厂东部的炼钢、连铸和热轧设备以及西部的炼钢、铸锭和热轧设备。为保持竞争能力，必须改变西部铸锭生产。研究了几种可能采取的板坯连铸机/加热炉/轧钢生产方案并就其基建投资、热带生产成本和达到工程目的所承担的有关风险，其中包括市场需求预测和质量要求，加以比较。BOF车间和2032mm热带轧机紧靠近为新双流连铸机通过改建成步进梁式的加热炉与热带轧机紧密相连提供了可能性，目的是使作为一种主要生产方式的直接热装轧制的比例高达78%(图1)。直接热装轧制要求按照热带轧机轧制计划在连铸机生产板坯，并要求板坯的断面平均温度足以能直接装入步进梁式加热炉，经过少量加热便可在热带轧机上进行轧制。

设备的成功与否取决于生产板坯的质量以及根据需要及时地反馈钢水化学成分、操作参数和跟踪信息，以便决定铸坯是热送还是下线精整。本文将介绍直接热装(DHCC)连铸机的设备、工艺和生产操作。

一、生产计划系统和作业计划编制系统

在现代化改造工程开始时就考虑到LTV公司现有的连铸机和热带轧机系统不能满足作业计划编制直接热装轧制工艺的要求。目标之一是开发一套以人工智能/操作研究为基础的周计划和日系统用于克里夫兰厂的生产操作。管理范围包括从BOF一直到热带轧机的整个操作过程，同时也考虑到高炉铁水条件。

生产计划编制系统提出一个如何能在规定时间范围(通常为一周)内将订货车上的生产任务落实到每台设备上的安排意向。其关键在于钢水协调、设备的协调与运行以及指令完成情况。

单台设备作业计划编制系统用于双流连铸机、热带轧机和直接热装轧制操作。编制过程包括确定前提条件和在编制规则基础上的接续条件、确定浇注时间和次数以及调整作业时间和速度。直接热装轧制作业计划的编制还需要同时考虑连铸机和热带轧机两者的编制规则，以产生一个共同的作业计划。当铸坯按从宽到窄的次序浇铸时，两流保持相同的宽度。直接热装轧制模式还需要利用模拟铸坯建立轧机轧制制度，而不是利用板坯库中铸坯建立常规的轧制制度。

生产系统的建成情况如下：

- (1) 适于DHCC的冷装轧制作业计划—1993. 6;
- (2) 适于DHCC的下线坯作业计划—1993. 9;
- (3) 直接热装轧制热带轧机/连铸机作业计划—1993. 11;

(4) 生产计划编制, 高炉、炼钢、连铸和热轧—目标1994, 第四季度。

二、直接热装连铸设备

建曼内斯曼德马克连铸机连接现有BOF和热带轧机。该连铸机设备与运行情况示于表1。设备侧视图示于图2。由于现有两个车间之间的空间有限, 建连铸机和钢包冶金设备(LMF)时两套设备紧靠在一起。位于BOF和LMF之间的钢包运输车运送钢水和空包。电弧加热和钢包处理站及二次精炼站建在连铸机附近。变压器能以 $7^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速度加热平均出钢量220t的钢水。LMF包括喷粉、散料合金添加、喂丝、底吹Ar搅拌、钢水和炉渣取样以及过程控制设备。设备与操作概况示于表2。最终处理后达到规定温度和化学成分的钢包在5—10min内运送到连铸机的双臂大包回转台上。

表1 DHCC连铸机参数

机型	弧形结晶器/4点矫直
台数	1台
流数	2流
炉容	220t
板坯厚度	228mm
铸坯宽度	610—1600mm
机弧半径	10.485m

冶金长度	32.34m
扇形段数	15
最大拉速	1.65m/min
结晶器长度	900mm
导辊类型	分节辊
辊径	扇形段0* 130mm
	扇形段0** 160mm
	扇形段1、2、3 220mm
	扇形段4、5、6 270mm
	扇形段7—15 295mm
中间包最大容量/工作容量	44t/40t
引锭杆系统	上装
二次冷却	气雾

*前7个辊； **后5个辊。

表2 DHCC钢包炉主要参数

设备	一套钢包炉/冶金设备
	一套冶金设备
辅助设备	钢包炉合金加料器和测温取样口，顶枪开孔和深喂丝站

加热速度 5—9 °C/min

钢包设备

处理时间 无钙25min, 加钙37min

容量 220t

炉口至钢液面高度 635mm (381mm/min)

电极

直径 457mm

PCO 914mm

行程 3.048m

控制速度 7.62m/min(自动)

响应时间 54ms

变压器

额定容量 50MVA

一次电压 50KV, 60HZ

二次电压 50KV(最大)

额定电流 900A

额定电压 480V

1、钢包台

采用传统的大包水口保护套管, 每当新的中间包进入浇注位置后, 便更换一次保护套管。在新套管与下水口牢固地连接在一起后, 在中间罐上方打开钢包水口, 打开钢包后, 钢包水

口保护套管浸入在中间罐钢液中。利用Celox系统对中间包温度进行测量, 大约每隔7分钟进行一次。

中间包渣与钢水取样通过风动传送管送至自动操作化学试验室进行分析。钢水取样分析结果一般不到4分钟即可送出, 而中间包渣分析结果一般在8分钟内可以得到。该自动化试验室还用于BOF和LMF的取样分析。试验室的设备和操作概况示于表3。

目前正在对AMEPA大包下渣检测系统在钢包水口关闭时减少带入中间包的渣量进行评估。从长远看, 关闭钢包水口时使用该系统可以最大限度地提高金属收得率。

表3, 自动化化学分析试验室

型式	全自动, 钢水与渣分析设备
仪器	两台光学发射摄谱仪(Fisions 3460型) 一台X射线荧光分光计(Fisions 6680型)
能力	钢, 20种元素, 23次试验/小时(45次/小时 最大) 渣, 12种元素或氧化物, 5次试验/小时(18次 /小时最大)
取样	
送样	3根气动输送管(BOF、LMF、连铸机)
制备	两台双带研磨机(Herzog)

一套渣制备装置 (Herzog)

输送 7条运输皮带 (Herzog)

两个自动机械手 (Fissions)

报告时间 钢, 75% 3min45s内

渣, —100% 10min内

2、钢水流动控制系统的水模试验

在钢流控制系统的最终设计与制造之前, 研究小组花费很大精力, 利用水力模型模拟各种设计形式的中间包、塞棒和浸入式水口的钢液流动。

水模试验是在一个只有原型四分之一大小的中间包水力模型上进行的, 以确定能使连铸机在各种浇注速度和连浇炉数的条件下生产优质板坯的最佳内型形状。在研究各种挡墙和堰的布置形式的多次试验后, 选择了目前的中间包设计(图3)。如图所示, 平底浇注衬垫可使流入的钢水扩散开来, 从而可使中间包内钢液流动保持稳定。最终挡墙和堰的布置实际上消除了流场内的所有死区并使钢水流向渣层以更有效地吸收夹杂物。

在实际操作中, 平均中间包寿命为6—7炉。用过的中间包经过倾翻、冷却、喷补、干燥以备再用需经26小时。中间包工作衬包括一层喷补料, 该层耐火材料利用可编程自动控制机械手进行喷补并在使用前进行3小时烘烤。除烘烤外, 在使用前, 中间包还要在中间包车上进行最低90分钟, 温度达1700℃

的预热。

此外还对一系列塞棒头进行了模拟试验，以确定与塞棒行程成函数关系的钢水流量。根据这些结果，选择了50.8mm直径、变半径(158.8mm和53.6mm)的塞棒头设计，因为这种设计的流量控制效果最佳。此设计能使流入结晶器的钢流更均匀。

浸入式水口的最佳设计要求最大限度地减小水口堵塞并使结晶器液位保持稳定。模拟试验了三种设计形式并对各种出口形状和出口方向进行了试验。能在不同浸入深度、结晶器宽度、浇注速度和氩气使用的条件下提供最佳流股型式的设计方案示于图4。采用其它设计方案在出口处产生的紊流现象大大减少。水模型中死区的减少说明，通常与堵塞有关的问题(非正常的流股型式、结晶器保护渣的卷入等)在实际操作中显著减少。

3、水口快速更换系统

SEM85型浸入式水口更换装置包括在中间包钢水流动控制系统的设计中(图5)。预计的好处有：

- (1) 由于可能导致空气进入的接缝，很少，因而可减少堵塞；
- (2) 万一塞棒失控或出现渗漏，可快速关闭水口；
- (3) 从保证内部质量和表面质量的角度出发，可提高板坯质量；
- (4) 提高生产率；(在铸速为0.71m/min时，更换浸入式水

口，无需停止拉坯。)

(5) 提高铸坯收得率；(在大多数结晶器宽度条件下，不必提升中间包，所以无断流及由此造成的切头或精整损失。)

(6) 具有各流单独更换浸入式水口的灵活性。

由于在渣线和钢液弯月面处的氧化铝石墨水口壁减薄，因此在正常操作条件下，通常每更换一次中间包需更换一次水口。当临近换水口时，新水口从预热站运来并插入带有旧水口的结晶器内(图6)。在将新水口插入结晶器之前，拉速降至 0.71mm/min 。一台液压缸旋转就位，将新水口送入浇注位置。操作人员将水口对准位置后，塞棒关闭约2秒，此时将新水口推入工作位置，同时旧水口被顶出浇注位置。在新水口的后面插一块闸板，该闸板只有在塞棒脱位时用于截断钢流。更换浸入式水口的操作几乎能在结晶器的整个调宽范围内进行，而不必提升中间包。当结晶器的宽度为 $610\text{—}685\text{mm}$ 时，中间包需略提升方可将新水口插入结晶器之后中间包降回工作位置，并进行正常换水口操作。

与普通浸入式水口更换装置相比，新的中间包更换装置的优点之一是，可提高板坯质量。过去，受更换水口影响的板坯需下线精整。现在更换水口过程中生产的大量板坯经过检验、鉴定，认为适合直接热装的进入步进梁式加热炉，而且板坯内部质量适于所有产品，对表面质量有严格要求的钢种，若铸坯表面质量达不到要求，板坯需降级使用。根据直接热装加热炉

的板坯计算，直接热装的比例约提高3%—4%，即每天10多块板坯。

4、结晶器

连铸机装备有CuCrZr铜合金结晶器，该结晶器锥度为0.99mm，铜板表面镀一层镍和一层0.0254mm厚的铬，以利于更均匀传热、耐磨并防止一般使用未镀铬铜板遇到的星形裂纹。结晶器振动机构的行程7mm，振动频率为 $2.5 \times$ 浇注速度，最低为40次/min。该频率对应的典型负滑脱时间，在0.64m/min拉速时为0.333s，在1.52m/min时为0.140s。

采用软夹紧方式调节630—1600mm宽度范围的窄边铜板。除浇铸含碳量在0.08—0.15%、表面裂纹敏感的钢种时，需将窄边锥度提高到1.2%外，正常锥度固定在1%。

预埋在结晶器铜板内的总共48个热电偶可向结晶器漏钢预报系统提供数据(图7)。每一宽面有两排热电偶，每排9个，而每一窄面有3排热电偶，每排2个。一旦出现宽面、窄面或角部粘结而相邻热电偶未发出信号予以证实的情况下，结晶器漏钢预报系统可使铸速自动减小到0.51m/min。在邻近热电偶证实发生了粘结的情况下，漏钢预报系统则使拉速自动减小到0.2m/min，除非操作人员进行干预，在经过2min后，由计算机恢复原铸速。

5、铸坯夹持段

结晶器和0号段装在快速更换台内以便于快速更换。夹持

段的其余部分为15个扇形段，共有4种主要扇形段结构形式。每个扇形段经过一些小的改动后可与具有相同结构形式的扇形段互换。全部导辊采取分节辊设计，分节辊中间支承轴承的前后导辊互相交错布置。带有中心支承的整体辊用作传动辊。铸机辊缝，在0—6扇形段设定为234mm，7—15段从234mm减小到231mm。分节辊设计与铸机辊缝收缩两者相结合，改善了裂纹敏感钢种的内部质量稳定性并减小了对板坯内部中心线裂纹的敏感性。

每一流的二次冷却系统，在0号段有108个普通水喷嘴，在扇形段有380个气雾喷嘴。由于不可能对板坯表面裂纹进行严格检验，因此必须能够设定和调整喷水量，使板坯表面纵向和横向裂纹的变化趋于最低限。其结果是二次冷却系统的设计具有显著的灵活性和可控性。1级和2级控制逻辑示于图8。喷水量由20个控制回路分别控制。铸机弧形段的喷水量控制比水平段精确。为防止板坯角部过冷并提供更均匀的冷却，在浇铸1190mm宽和较窄的板坯时，边部喷嘴自动关闭。

在二级自动控制系统中建有滞留时间模型，不论拉速如何变化，都可向每一段钢坯提供基本相同的冷却水量。由于该模型的使用，在铸坯长度方向上可避免出现大的温度梯度，因而稳定所生产板坯的表面质量。

为与热带轧机从宽到窄的轧制制度相匹配并避免轧机使用大量不同钢种的板坯，建连铸机应考虑缩短生产准备时间。上

装引锭系统可达到这一目的。它可使连铸机结束一次浇注后有效地利用引锭杆紧跟前一铸坯的坯尾进行下次浇注。虽然理想准备时间可为25min,但目前已达到的最短准备时间为45min。

装在引锭杆上的Sarclad辊缝测量仪用于检测导辊磨损和由于磨损或导辊损坏而导致的过大的辊缝。使用Sarclad系统,当送入连铸机时,安装在引锭杆头部附近的传感器测量辊缝。一台便携式计算机与该传感器相连接,信息发出后便立即能将结果绘成曲线图。但是启用后发现,辊子大多数磨损发生在1020mm宽度范围内。而传感器间距设计为1270mm,因此不能得到导辊磨损的准确读数。后来将传感器间距缩小到1020mm并在连铸机进行生产准备时测取读数。该系统进一步改进后,可最大限度地减小硫印检验次数并从直接获得连铸机对弧精度和辊缝误差中得到好处。

6、连铸机出坯辊道

连铸机出坯辊道示于图9。每台火焰切割机设有两个板坯切割枪和两个取样切割枪,每当浇铸开始时或因更换中间包注流中断时切割一次坯头,在浇铸结束时,切割一次坯尾。两套切割枪相隔480mm。当火焰切割机在起始位置夹持铸坯时,切头开始。最终切割则同步进行,这样切头可落入位于辊道下面的切头箱内。拉出切头车后,利用专用悬臂起重机将切头从切头箱内取出。

硫印实验室位于切头移出地点附近,以便于送样。硫印试

验由维修人员日夜进行。

DHCC不设任何板坯离线精整设备。因此，必须注意使在线火焰清理机保持良好的工作状态，因为它们是维持正常生产的关键设备之一。由于使用该系统，平均每天又能增加10—14块直接入炉坯。

去除毛刺是使板坯符合直接热装条件的一道重要工序。毛刺未除净的板坯不适于热带轧机轧制。Keibler—Thompson除毛刺机装有四联刀片，可360°回转，使刀片上粘有的毛刺脱落。此外，精确调整刀片与板坯底部的接触压力和时间，可减小刀片磨损。板坯去除毛刺已近100%。操作人员能借助摄像机确定每块板坯是否去除了毛刺并能将未去除毛刺的板坯与直接热坯分开。

铸坯出最后一个导辊扇形段后即进入带有内衬耐火材料保温钢罩的出坯辊道以保存热量。与导辊扇形段末端相连接的可伸缩式钢罩在板坯切割时随着火焰切割机的移动而延长。整个出坯区用钢罩三面密封。在出坯辊道的下面有耐火材料和堆满氧化铁皮的热板以增加保温作用。去毛刺机、移送台车和升降辊道是板坯直接送加热炉途中仅有的未加保温罩的区域。

启用后不久，许多保温罩即被暂时拿掉，直到设备出现的一些小问题得到解决。1994年7月开始逐步更换保温罩。使用伸缩罩以及增加火焰切割机连接罩使板坯平均温度提高约40℃。在该区域彻底改建之前，将有必要对保温罩的设计与功

能做一步的改进。努力提高板坯温度将集中在减少，二次冷却喷水量，提高平均拉速以及在尚未加罩的出坯区增设保温罩。

7、自动跟踪与质量判定系统

铸机操作、工艺、设备作业顺序、质量跟踪等均由先进的二级自动化系统控制并将有关数据存贮在控制系统中。所有必要的工艺参数的监控和板坯最终处理也由二级系统进行。

虽然大多数影响铸坯质量的事件由二级系统自动记录并据此进行计算，但是有些事件仍需操作人员输入。水口更换、堵塞与水口清理等事件通过各流按钮输入。需要吹氧开浇的钢包、未使用大包水口保护套管的浇注或钢包下渣过多都需要钢包操作工通过按钮输入以记录事件的发生。

二级控制系统最主要功能之一是板坯质量制定。总共能监视104种与质量有关的事件，以评价板坯质量。二级控制系统可跟踪305mm长的区段上的铸坯质量。当火焰切割机夹在铸坯上开始切割时，根据所切板坯全长上影响质量最严重的事件发生情况，确定板坯总的质量。各种质量事件中影响最大的是钢种的化学成分并将其影响保存在二级计算机的应用表中。每块板坯的实际质量等级和化学成分与用户订货质量和成分要求相比较。如果板坯的实际质量满足或高于订货质量要求而且化学成分在用户要求的范围内，板坯则直接进加热炉。如果实际质量低于订货质量要求或化学成分超出规定的范围。二级系统则自动向3级系统发出铸坯转用请求。如果自动转用系统能在不

到4min内确定转用板坯的出路，该坯则也直接进加热炉。如果找不到用途，则将该坯运往板坯库。自动转用系统正在进行改进。如果操作控制人员认为还能找到适当的用途，通过手动控制方式也能使板坯进入加热炉后再进行轧制。

需要精整的板坯由二级计算机系统自动从直接热装坯中分离出来，不适于转用。除板坯质量制定外，二级控制系统还可跟踪并储存所有板坯工艺参数，而且可根据需要打印详细报表。

三、投产过程

加强雇员培训是设备顺利投产的主要因素。新设备培训内容包括课堂理论学习、设备特性的课堂讲授(卖方参与)和现场操作培训。为各设备区域挑选出操作与维修骨干人员。这些人员接受首次培训成为设备专家，之后协助制订培训计划。他们还向其它雇员进行课堂讲授。详细培训过程于投产前约7个月开始，耗资约300万美元。

1993年9月7日开始第一次浇铸。成功的达产曲线示于图10。

主要的投产过程包括：

- (1) 浇铸第一炉钢，1993. 9. 7;
- (2) 第一次换钢包，1993. 9. 8;
- (3) 第一次换浸入式水口，1993. 9. 15;
- (4) 2班作业，1993. 9. 19;