

连 铸 连 轧 进 展

(二)

第二期连铸连轧高级研修班译文集

中国金属学会

一九九八年元月

连铸连轧进展

(二)

第二期连铸连轧高级研修班译文集

中国金属学会

一九九八年元月

《连铸连轧进展（二）》编辑委员会

主 编：李士琦

副主编：蔡开科 贺毓辛 潘 伟

编 委：曲 英 屠宝洪 茹 铮

韩静涛 童朝南 赵玉祥

施东成 薛 凌 邓海金

岳满堂 林 芑 王成喜

责任编辑：岳满堂

编者的话

中国金属学会举办的第二期连铸连轧高级研修班的译文习作汇编而成这本《译文集2》，是研修班的学习成果之一。与第一集相比，本集译文的选材和翻译质量都有所提高，这表明在探察技术发展动态和追求“信、雅、达”的翻译意境方面，研修班的师生们所做的不懈努力。

在短短的一年多时间里，世界上连铸连轧技术又有了很大的发展，希望本译文集能够反映连铸连轧技术的迅猛发展之势，对国内的技术进步有较好的参考价值。由于我们的水平所限，本译文集偏颇、漏误之处，望读者批评指正。

本译文集的出版是第二期连铸连轧高级研修班全体师生的努力。除了文中注明的译审者外，北京科技大学的赵玉祥教授、施东成教授，清华大学的潘伟教授、邓海金教授以及各位英语课和计算机课的任课教师，以及有关单位的企业的领导和工程技术人员给予的大力帮助和支持，对此表示衷心的感谢。

感谢《钢铁》编辑部对本译文集出版所做的努力。

最后，对中国金属学会的领导、支持和帮助表示衷心的感谢。其中，特别是薛凌女士的不懈努力和辛勤劳作。

主编 李士琦

1998.3

于北京科技大学

目 录

纽柯希克曼 CSP 工厂的生产情况和未来发展	(1)
CSP——带领小钢厂跨入新世纪的先进技术	(8)
ISP 生产工艺——意大利克罗蒙纳的阿尔维第厂初期生产经验及发展潜力	(19)
ISP 技术的现状和新的发展趋势	(37)
薄板坯连铸连轧设计 (ISP)——优质产品的经济型生产工艺	(45)
TSP——一种新的薄板坯连铸连轧工艺	(54)
灵活的薄板坯连铸机	(61)
CONROLL—薄板坯连铸连轧	(68)
Myosotics 中试厂带钢连铸试验	(75)
近终形连铸的质量综述	(79)
用于生产表面无缺陷不锈钢连铸坯的高拉速连铸技术 ——千叶厂 4 号连铸机的建设和生产	(88)
连铸机最佳浇铸速度和冷却条件——板坯和大方坯连铸的最佳对策	(95)
带钢和小圆坯的高速近终形连铸	(104)
板坯连铸的电磁搅拌	(107)
电磁制动器——一种新的生产纯净钢的冶金装置	(122)
钢凝固过程热学和力学的耦合分析	(128)
连铸过程中二冷水计算机动态控制	(135)
连续铸钢的过程控制	(143)
连铸机结晶器振动系统综述	(161)
连铸机辊子的设计、功能和运行	(172)
使板坯连铸机现代化的设计思想	(179)
川崎钢厂连铸技术的发展	(186)
川崎制钢千叶厂的带钢无头热轧	(194)
Steel Dynamics(SD)钢厂低成本高质量板材制品战略	(202)

Preussag stahl 厂热宽带轧机新的工程自动化装置	(215)
用于冷加工的低合金高强度钢的薄板坯连铸直装	(218)
传统宽带钢热连轧机如何更好地满足今天的需要	(223)
LTV 克利夫兰钢厂 80 英寸热带钢轧机精轧自适应设定模型和厚度控制的改进	(230)
扁平材轧机仿真和控制的数学模型	(241)
轧制模型的自适应	(247)
层流冷却过程最佳化	(253)
冶金及工业加热的现代自动化系统	(259)
森吉米尔轧机的交流传动	(264)
棒材轧机的新观念和新技术	(276)
线材轧机现代化改造的六个实例	(283)
高速线材轧机过程控制和管理	(292)
阿根廷钢工业公司孔斯蒂图西翁厂棒材轧机的现代化改造	(297)

纽柯希克曼 CSP 厂的生产情况和未来发展

Rodney Mott David Chase

(Nucor Steel)

Franz Hofmann Franz J. Küper

(SMS Schloemann-Siemag AG)

译者 吴建勇

审校 李士琦

(南京钢铁(集团)公司)

摘要 80年代末, CSP技术(紧凑型带钢生产)使热带生产向前迈进一大步, 浇成的50 mm的薄板坯是生产扁平材小钢厂的方向。第一家CSP是纽柯(Nucor)钢厂的克拉福兹维莱(Crawfordsville)厂, 于1989年投产。随后, 第二条生产线于1992年8月在希克曼(Hickman)投产, 建设期仅15个月, 达产期也非常短。其带钢的厚度公差和板型是目前带钢生产厂家中最好的, 由于每个部件都有很长的寿命, 生产很少中断, 收得率高且品质优异。本文给出了该厂的生产运行结果, 并简要的描述了发展到两流连铸、实现热带生产达到 $0.35 \text{人} \cdot \text{h}/\text{t}$ 的情况。

第一家CSP厂于1989年7月在美国印第安那州的纽柯(Nucor)克拉福兹维莱(Crawfordsville)厂投产, 开创了热带生产的新纪元。三年以后, 1992年8月在阿肯色州的纽柯希克曼(Hickman)厂投产。从破土动工到投产仅用了15个月。

截至1994年5月底, 这两家生产厂运行效果良好, 表明CSP技术是成功的(图1)。现在两厂板坯的月产量均已超过设计能力30%以上, 至今共生产和销售热带500万t以上。据此, 有理由说这种工艺在生产实践中取得了成功, 是一种最经济的热轧带钢的生产方法。

1 Hickman 厂

设计年产100万t的Hickman厂创造了许多生产佳绩, 投产后产量迅速提高, 仅5个月就达到了盈亏平衡点, 从1992年8月14日生产第一卷带钢至1993年10月2日, 已生产了100万t钢, 此外还创造了许多其他世界记录。仅从破土动工以来即有:

——15个月后生产出第一卷带钢;

——20个月后工厂开始盈利;

——23个月后全面达产。

投产仅仅15个月后, 生产率就达到了每吨热带卷小于 $0.5 \text{人} \cdot \text{h}$ 的水平。

工厂能在短短15个月投产是所有参与者的创造性努力的结果。特别需要指出的是工厂建设者、供应者和纽柯职工共同努力, 此外有力的约定(合作)、决策准备和灵活性也是不可缺少的。

例如, 为了确保轧机开轧顺利, 8月13日上午作了充分的准备工作, 下午浇注了6块板坯, 放在均热炉中保温直至轧机准备就绪, 8月11日晨6:15成功地轧出第一卷带钢, 上午10:30, 6块薄板坯都成功轧制成卷, 无一件废品。

Nucor钢厂的Hickman厂位于密西西比河畔, 有自己的码头, 运输废钢和销售成品带钢极为便利(图2略)。

Nucor钢厂的Crawfordsville厂的CSP

开始只有一条生产线，扩建的第二条生产线于1994年4月投产，1993年7月轧钢车间安装了第五架轧机。

Hickman 厂最初的设计方案中预留了第二流(图3)，第二流于1994年5月投产，实现了200万t的能力。该厂有两座150t的直流电弧炉，两座钢包炉，铸坯宽1220~1620mm、厚50mm，6架轧机，轧制最大宽度时最终厚度可达1.8mm。详细数据见表1。

2 CSP 铸机和 CSP 工艺

(1) 结晶器

专利漏斗型结晶器，其顶部接受大口径的浸入式水口，是CSP技术的核心。其形状经过大量水模型实验，确定最适宜的曲线和浸入式水口的布置(图4略)。

漏斗型结晶器与铸坯的收缩相适应，其尺寸在于防止坯壳和水口之间的搭桥接触，其曲线在于确保铸坯不产生凝固应力。SMS开发的这种结晶器比别的薄板坯连铸工艺中使用的平板型结晶器更优越。

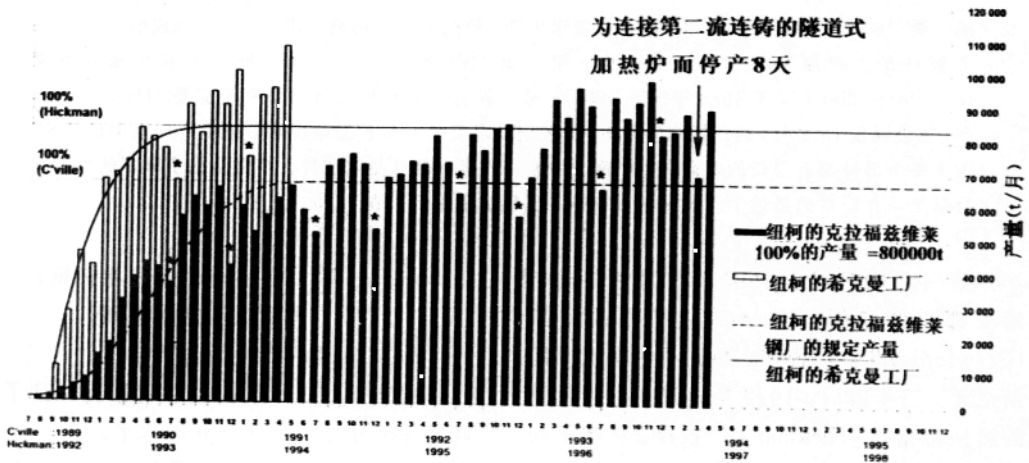


图1 纽柯钢厂在Crawfordsville和Hickman的两座CSP工厂的月产热带卷的对照

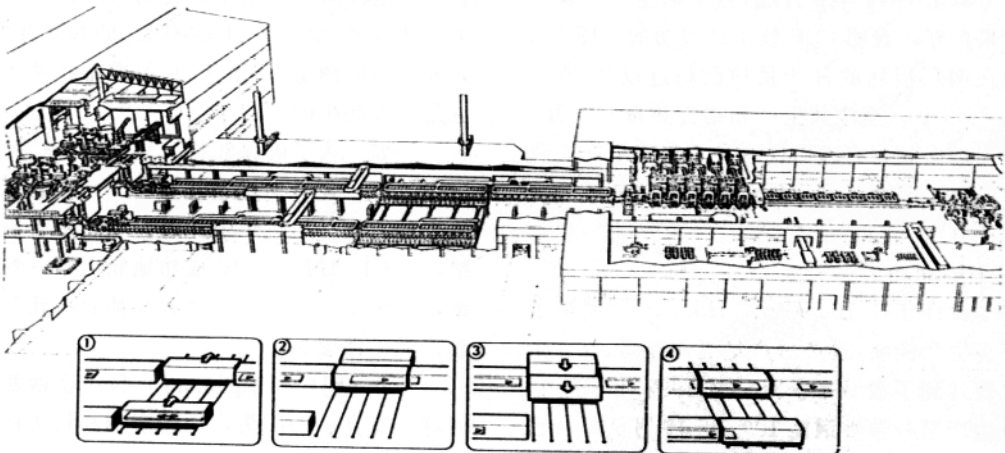


图3 Hickman的CSP工厂扩建的两流铸机(图①~④为穿梭交换模式)

表 1 Hickman 厂的主要技术数据

1 CSP 铸机	
机型	立弯式
流数	两流
板坯厚度/mm	50
板坯宽度/mm	1220~1625
中间包容量/t	28
座包类型	大包回转台
结晶器长度/mm	1100
拉速范围/ $m \cdot min^{-1}$	2.5~6
冶金长度/mm	6020
弧半径/mm	3000
铸坯长度/m	47
2 均热炉	
供应商	Bricmont
炉长/m	206
燃料	天然气
3 CSP 轧机	
机架数	6 机架
成品厚度/mm	1.8~12.7
	1150 mm 宽时为 1.5
带材宽度/mm	1220~1625
单位卷重/ $kg \cdot mm^{-1}$	18
工作辊径/mm	800 (F1~F3)
	735 (F4~F6)
工作辊长/mm	1900 (CVC 技术)
支承辊径/mm	1350
支承辊长/mm	1700
轧制力/MN	35 (最大)
卷取机/台	1 (预留第二台)

结晶器由铜银合金制成, 无镀层。使用寿命超过 10 万 t, 略少于常规结晶器, 因为拉速达到 5~6 m/min 时铸坯摩擦接触面积约为常规结晶器的 5 倍。

(2) 浸入式水口

从 Crawfordsville 的 CSP 厂投产以来, 浸入式水口的形状已经被优化, 使水口的寿命提高到连浇 18 炉, 这样就不需要快速换水口和中间包 (图 5)。

水口有一个大断面的出口, 使钢液能够顺畅通过, 即使发生水口堵塞也是在 10 炉以后 (图 6)。表面较大, 允许熔化保护渣。水口和坯壳之间的间隙适当, 可防止搭桥 (图 7)。在 Hickman 厂, 水口和铜板之间的间隙

是 26 mm, 拉速 5 m/min 时, 水口端部处坯壳厚度约为 5 mm。

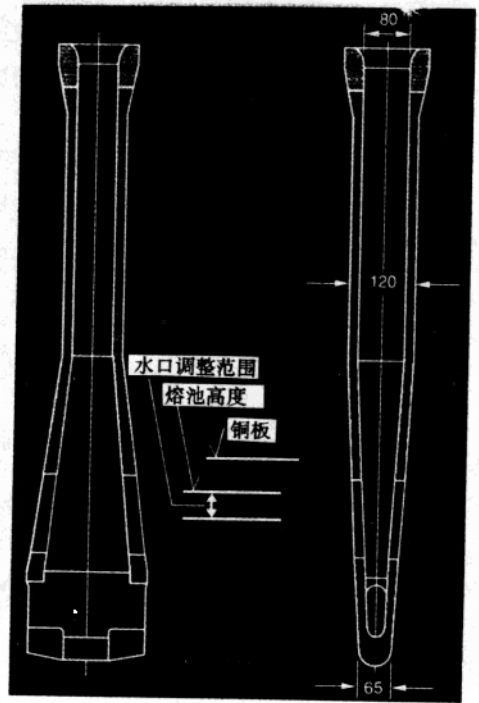


图 5 大口径的浸入式水口 (SEN)

(3) CSP 铸机

主要结构如图 8 所示, 包括: 大包回转台、中间罐车、结晶器、铸坯导架、导向辊、拉矫装置和剪切机。

装有 150~160 t 钢液的钢包, 由冶炼车间运来, 显示板显示出其准确重量。为防止从大包滑动水口吸气, 大包铸流用密封圈加以密封。中间包容量为 28 t, 对于所有的薄板厚度, 最大拉速下的设计钢水滞留时间为 8~12 min。中间包用电机和轴驱动的升降装置可使中间包升降, 精确调节水口在结晶器中的插入深度。

结晶器出口能够在 50~200 mm 的范围内任意调节, 允许引锭杆在不与结晶器接触的情况下进入结晶器。在线调宽是为了改变铸坯的宽度和锥度。结晶器由 4 个偏心振荡器带动, 频率为每米铸坯往返 66 次, 振幅为

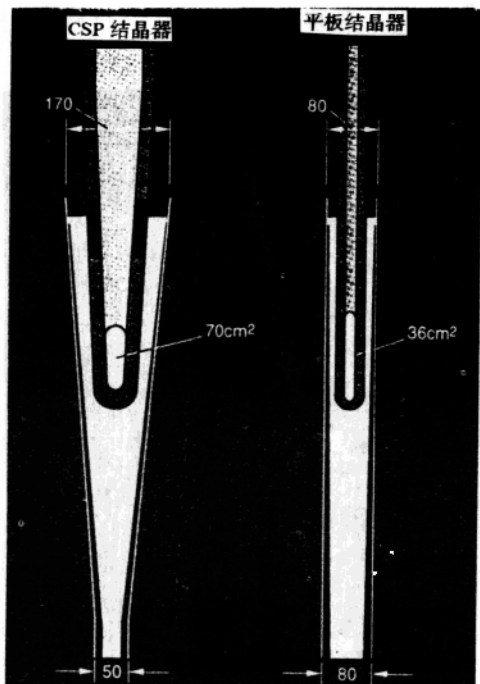


图 6 CSP 结晶器的浸入式水口与平板结晶器相比有较大的出口断面

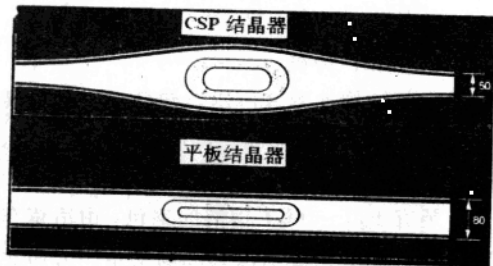


图 7 CSP 结晶器的浸入式水口和坯壳与平板结晶器相比有大的间隙

±3 mm。液面控制使用放射线同位素，保证液面波动小于±3 mm。在最大拉速下的高频率使保护渣的消耗降到 0.1 kg/m²，而一般铸机则是 0.3 kg/m²。

铸坯导架由两部分组成。导架第一段，即上半部分，有格栅以改善与铸坯的接触，最大拉速时离开结晶器处的坯壳厚度为 11 mm，格栅区 70% 的面积布置有冷却铸坯的喷水孔。结晶器和导架装配成一体或一块

更换；如果需要，导架两段也能装配成一体或一块更换。在 Hickman 厂开棒和关棒之间的准备时间仅为 15~20 min 左右。

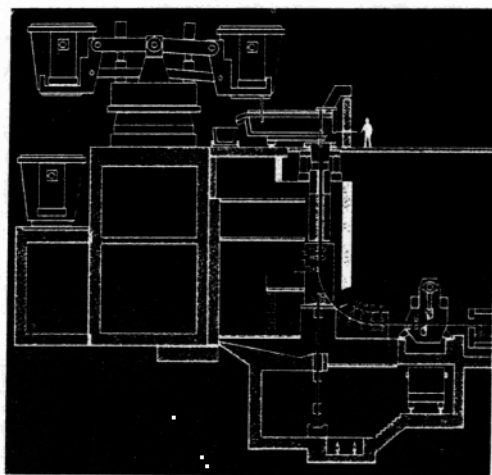


图 8 纽柯钢厂 Hickman 厂 CSP 铸机

摆动剪在开始按要求切头，且将铸坯切成定尺，不同拉速的剪坯温度为 1000~1050℃。均热炉是铸机和轧机之间的衔接单元，离开均热炉时板坯温度为 1100℃，因此均热只需少量能源。

3 Hickman CSP 厂的生产情况

目前，Hickman 厂生产 1.8~15.8 mm 厚的热轧带，从铸坯到成品 CSP 轧机的总压缩比为 33:1，而绝大多数普通轧机的压缩比为 21:1。钢厂生产最多的钢种为 1006~1035，以及 HSLA 和 X65 钢（表 2）。

炼钢操作保持钢的成分相当一致，以达到炉次之间最终产品性能均匀。终点碳偏差只有 0.02%，而 AISI 标准允许偏差为 0.05%，见表 2。

(1) 质量

经常使用“高技术热带”来描述 CSP 的产品，这是指热轧带具有非常好的尺寸精度和均一的冶金性质。不仅仅是厚度和板型最好，而且在整个带宽度上屈服强度一致。常规轧机在精轧机前安装一个隔热罩，以改善

屈服强度的均匀性,其结果与 Hickman 厂相近 (图 9)。

表 2 在海克曼 CSP 厂浇注的钢种化学成分 %

钢种	C	Mn	P	S	Si
1006	0.064 (max)	0.25~0.35	0.15 (max)	0.010 (max)	0.03 (max)
1008	0.05~0.07	0.35~0.45	0.15 (max)	0.010 (max)	0.10 (max)
1015	0.16~0.18	0.45~0.55	0.15 (max)	0.010 (max)	0.10 (max)
1017	0.17~0.19	0.45~0.55	0.15 (max)	0.010 (max)	0.10 (max)
1018	0.16~0.18	0.65~0.75	0.15 (max)	0.010 (max)	0.10 (max)
1020	0.19~0.21	0.45~0.55	0.15 (max)	0.010 (max)	0.10 (max)
1021	0.20~0.22	0.80~0.90	0.15 (max)	0.010 (max)	0.050 (max)
1025	0.24~0.26	0.45~0.55	0.15 (max)	0.010 (max)	0.10 (max)
1026	0.25~0.27	0.65~0.75	0.15 (max)	0.010 (max)	0.10 (max)
1030	0.27~0.29	0.65~0.75	0.15 (max)	0.010 (max)	0.10 (max)
1035	0.32~0.34	0.65~0.75	0.15 (max)	0.010 (max)	0.10 (max)

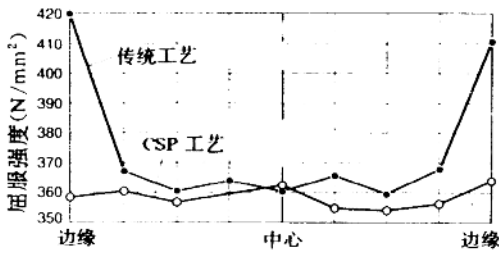


图 9 带宽度方向上的强度变化

图 10 给出了纽柯厂用电炉生产的低碳钢带材典型的力学性能。钢材具有较高的抗拉强度。约 1000 t 纽柯热带卷在 Eko stall/krupp stuhl 设备上冷轧、退火和表面清理。图 11 (略) 对比给出了 CSP 带材和钢厂典型产品的力学性能。

(2) 板厚和板型控制

厚度的控制结果可用分组数据的极差和均值来表示。最合适的指标是带钢中心线上的厚度在 ± 0.025 mm 以内的长度百分数。对所生产的全部钢种和宽度,包括改变规格后的第一块钢板的尺寸 (超过 1300 卷), 所获得的数据如下:

— 1.8~9.4 mm 的带钢,在长度方向上

98% 以上的偏差值在 ± 0.025 mm 以内。

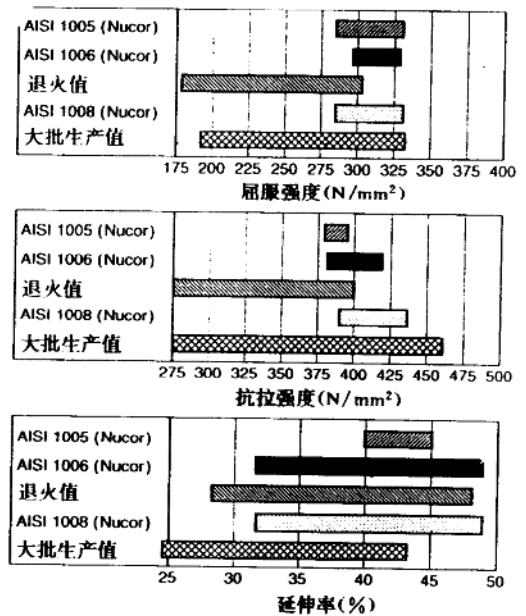


图 10 低碳钢带的典型力学性能

— 9.5~15.8 mm 的带钢,在长度方向上 97.7% 以上的偏差值在 ± 0.05 mm 以内。

每卷带钢均有一份记录,作为以后的文

件并存档。图 12 (a) (略) 是典型的带卷厚度和宽度的记录。

厚度: 98.9 % 的带卷长度在基准值 ± 0.025 mm 以内。

宽度: 99.3 % 的带卷长度在基准值 ± 3.1 mm 以内。

图 12 (b) (略) 是终轧和卷取温度的记录。

终轧温度: 100 % 的长度在基准值 ± 14 °C 以内。

卷取温度: 100 % 的长度基准值在 ± 14 °C 以内。

关于带卷厚度控制, 6.2 mm 带卷的厚度偏差只有工业公差的 1/4。在距板边 19 mm 处测得的不平度对于所有的厚度、宽度和钢种平均为 0.025 mm。对 1220 mm 宽的热带测得的网纹和边裂分别为 0.015、0.02 mm。Hickman 厂生产的部分热带钢经过酸洗出售给要求长度和宽度上的厚度偏差为 0.0125 mm 以下的用户。

自动板型控制也对每一卷带钢给出一份板型记录。图 13 (略) 是一个厚 3.2 mm 带卷的典型例子, 图 13 上部表明一卷 1622 mm 宽的带钢卷的不平度为 0.012 mm, 楔型平均值为 0.005 mm。成品带钢宽度只取决于铸机铸坯宽度和轧制展宽。不影响质量, 而在浇注过程中大大改变宽度是有可能的。

(3) 过程自动化

过程自动化和一级基础自动化由西门子 (Siemens) 和 SMS 完成。

(4) 一级控制系统

热轧机组的一级基础自动化由 Siemens 和 SMS 完成。SMS 提供工厂技术性参数, 包括液压辊缝控制、AGC、CVC、工作辊弯曲和轴向窜动控制及板型控制 (PFC)。

轧机的控制系统由配有 Multibus- I 的工业 PC 机构成的液压闭环控制系统组成, 操作显示与 IRM 平直度测量仪、IMS 厚度和板型测量仪等的界面由工业计算机完成。

板型和平直度控制的设定函数由 VAX3100 小型机工作站来完成, 图 14 (略) 显示了只有一个人正在工作的六机架轧机控制室。

(5) 生产效率

CSP 厂以连续模式工作 (每周 168 h), 1993 年下半年热轧机停产时间平均为 5.4 %, 在此期间非计划停产时间为 1.8 %, 其中不包括铸机在线更换断面造成的轧机的停机时间。

1994 年一季度热轧机的作业率为 98.5 % (1994 年 7 月为 98.7 %)。由于氧化、除鳞和取样 (每炉一卷, 大约 70 卷) 造成的金属损失小于 1 %。带钢的修磨和物理检验用料是金属损耗的主要原因。

(6) 用户反映意见

Hickman 的用户多次成功地使用热带代替表面清理过的轧材, 特别是只有 1.5 mm 厚的热带也通过高效平整机平整和横剪, 不需表面清理。Hickman 厂附近的一个开始使用 CSP 热带生产薄钢板的用户认为不再需要表面清理设备。

进入精轧机的带钢板型非常一致, 其结果是不论同一块铸坯还是铸坯之间均只需要非常小的平整量。因为这种带钢实际上没有镰刀弯, 报废钢材极少, 用户可得到最大的收得率。

Hickman CSP 厂生产的热带钢的使用范围正在不断扩大, 包括:

- 焊接管和结构管;
- 酸洗热带和冷轧用带钢;
- 汽车内部部件;
- 深冲和成型用钢。

图 15 (略) 是用 Hickman 材料生产的直径为 127 mm、长为 279 mm 的过滤器。

(7) 轧制工艺

绝大多数热轧厂必须制定严格的轧制计划, 以便进行烫辊而获得最佳的轧制效果。CSP 轧机中装有 CVC 轴向横移系统和工作

辊弯辊系统, 在一个周期内, 可从第一块板开始依次选择轧材的带宽逐次变窄, 从而获得好的厚度和板型控制结果。

使用两种不同的 CVC 板型控制。F1~F3 对所有产品 (钢种和宽度) 使用第一种板型控制; F4~F6 对所有产品使用第二种板型控制。这个板型控制标准化的实际结果是在任意时刻使用的辊系最少。

(8) 定员

热轧厂分四个班, 每个班 14 个人。其核心操作工都是从其他厂选拔来的有实际技能的优秀工人。质量保证工作为 7 天工作制, 由一名冶金专家和两名实验技术人员组成。计划部门只有一人。

(9) 外围设施

这个工厂的原材料和成品存储量非常少, 在铸机和轧机之间的加热炉中的工艺存储为两块薄板坯。年终盘存是:

— 原材料 (各种废钢) 36040 t;

— 成品带钢 (初级品和再制品) 5812 t。

原材料和成品的存储量低是工厂布置和操作顺序要求的直接结果。从密西西比河上的驳船装废钢, 经冶炼、铸坯、热轧, 并将带卷再装入驳船, 共需 7 h。

4 第二期扩建

第一条生产线于 1991 年 1 月建成且生产状况良好。第二条从冶炼至均热炉生产线

一起在 1994 年 3 月委托 (图 3), 铸机按预定时间发货, 最后一部分设备于 3 月到货, 工厂于 5 月投产。Nucor 预计该厂生产能力将达到 200 万 t/a, 仅有 340 名员工, 可达到 0.35 人·h/t 热带卷的生产指标。“高技术热带”生产是市场中最好的一家, 这使得 Hickman 厂在市场竞争中处于最有利的地位。

5 展望

新建的纽柯钢厂的 Hickman 工厂的 CSP 热带生产实际上是直线上升的。尽管钢铁工业经历了变化和衰退, 但 Nucor 仍取得了赢利, CSP 技术使之扩大市场份额, 成为美国钢铁工业“六巨头”之一。这一成功消息迅速传开, 越来越多的钢厂对 CSP 工艺感兴趣, 到目前为止, SMS 已售出 7 条新的 CSP 生产线, 一台不锈钢 CSP 连铸机和一台与传统连铸机相配合的 CSP 轧机, SMS 还获得了一座两流 CSP 的定单, 该项目待厂址选定以后将实施。

在短短几年时间里, SMS 开发的薄板坯连铸连轧技术已成为钢铁工业一个领域中的领头者。

译自 MPT International, 3/1994

责任编辑 林 芄

CSP —— 带领小钢厂跨入新世纪的先进技术

Günter Flemming Wolfgang Hennig

Franz Hofman Fritz-Peter Pleschiutchnigg

Dieter Rosenthal Joachim Schwellenbach

(SMS Schloemann-Siemag Aktiengesellschaft)

译者 周远华

审校 蔡开科

(重庆钢铁(集团)公司)

摘要 薄板坯连铸被证明是一项领先技术,与过去传统的连铸技术相比,其推广应用速度快一倍。到2010年,世界上将有一半的板坯由薄板坯连铸机生产。薄板坯能够成功浇注,关键在于漏斗形结晶器及浸入式水口的形状,二者可靠地提高了拉速及热流。除了用于电炉炼钢厂外,近来CSP技术也应用于BOF转炉炼钢厂。由于CSP的最大拉速可以达到7.5 m/min,因此在连铸机和精轧机之间可以配置一套粗轧机。其热轧带钢厚度为25~1.0 mm,年生产能力可达260万t。

1 过去50年连铸的发展

1.1 从传统浇铸到带钢浇铸

在炼钢生产中除转炉和超高功率电弧炉的发明和应用外,50年代初期还采用了连铸技术。

采用连铸工艺生产的板坯、大方坯及小方坯,不仅缩短了炼钢生产流程,而且还具有成本较低、生产率较高的优点。

1950年以来连铸机的革新和连铸技术的进步(图1),产生了不同类型的连铸工厂。

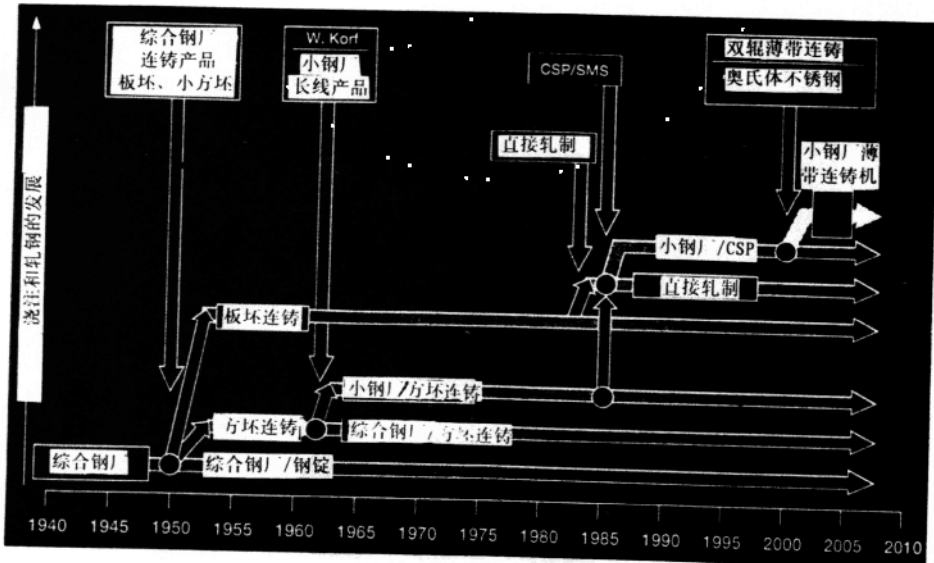


图1 连铸钢产品的发展历程

· 生产长条产品的小钢厂。1962年 Willy Korf 在德国建立了第一座紧凑型钢厂——巴登钢厂。

· 1984年在 POSCO 厂(光阳/韩国)实现了板坯连铸和直接轧制的设想,其先决条件就是板坯表面无任何缺陷。

· 以纽柯 Crawfordsville 厂为基础的第一套 CSP 薄板坯连铸机,于1986年向 SMS 公司 Schloeman-Siemag 厂订货,并于1989年7月投产。

下一步的目标,就是带钢浇铸,主要是不锈钢扁材产品的生产。到目前为止,19世纪著名炼钢工作者用双辊法生产半成品薄带的工艺,这就是 Mr. Bessemer 的设想。

图2显示了过去50年用于连铸车间的电器及自动化的投资比例,在这期间用于CSP和带钢浇铸技术的投入的10%增加到30%以上,将来还更多。

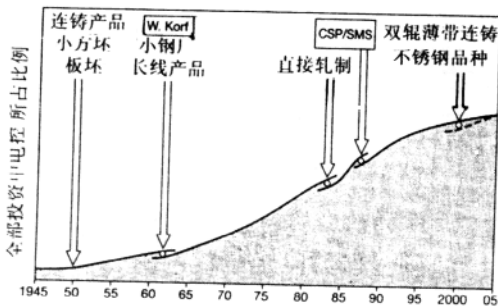


图2 1945年以来连铸车间电气

设备占全部投资的比例

图2还清楚地显示了现代炼钢技术的成功是基于把连铸和轧制过程结合为一体,其特征是自动化程度高、消耗低、能耗低、劳动生产率高(热轧带钢0.3~0.5 h/t)。

1.2 薄板坯浇铸与带钢浇铸比较

新的生产系统显示了高生产率、低能耗及低成本。但是近终形浇铸也受到一些限制,延伸率必须达到5%~10%才能满足材料的性能,宽厚比大于100时,在一个轧制过程中才不会产生横向质量流动。

对于厚度大于10 mm的CSP技术,在

轧制过程中要求横向质量流动是非常容易的。而带钢连铸机浇铸厚度小于10 mm,宽度超过1000 mm的带坯,在轧制过程中,要完全改善产品的断面和板形是不可能的。

这就是说,带钢浇铸工艺必须完全满足市场要求和冷轧产品的板形及平直度标准,这就要求浇铸带坯的偏差在0.5%~1.0%之间。

因此,适用于冷轧薄板的带钢浇铸是非常困难的。到目前为止,它仅仅适用于对板形和平整性要求不高的不锈钢冲压产品。

所以在今后十几年,对于生产热轧和冷轧带钢产品的CSP技术可以称为“跟踪技术”(Tracking Technology)。自从纽柯公司 Crawfordsville 厂开始生产热轧产品以来,SMS公司已收到了17套CSP设备订单。

2. 市场发展

2.1 CSP——一项领先的技术

至目前为止,包括在每个热轧厂安装2流CSP连铸机的所有生产能力见图3。和其

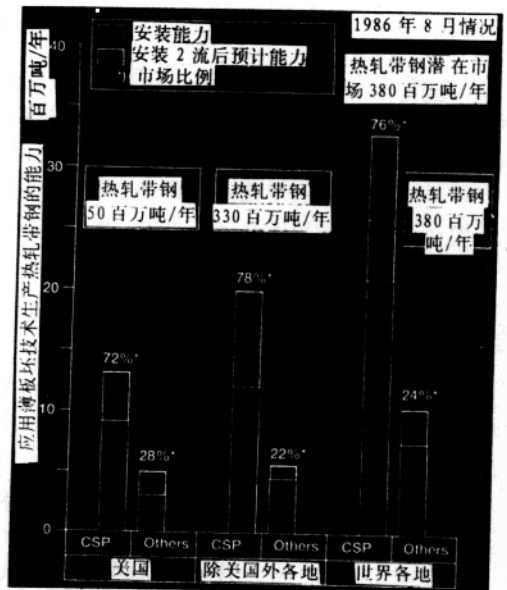


图3 预计到2000年美国及世界各地CSP及薄板坯连铸工厂的生产能力(纽柯公司采用CSP 11年后)

它厂商提供的薄板坯连铸机相比,世界 CSP 的年生产能力为 3300 万 t,占 76 %,美国的 CSP 能力为 1300 万 t,占 72 %。

除美国之外, CSP 技术同时还用于 9 个钢厂共 10 条生产线,年产量 1200~2000 万 t。而另外 4 个钢厂安装的 5 流其它类型薄板坯连铸生产线,其年产量仅为 450~550 万 t。因此 CSP 在薄板坯连铸工艺中处于技术

领先地位。

图 4 显示,1996 年 8 月投产的 CSP 和其它薄板坯连铸厂与 1962 年后 Will Korfin 的小钢厂生产长条产品在美国市场的情况介绍。由图 4 可见,小钢厂生产的长条产品占钢铁联合企业产量的 80 %。从 1960~1986 年的 26 年中,在美国市场上小钢厂生产的长条产品超过 50 % 的占有率。

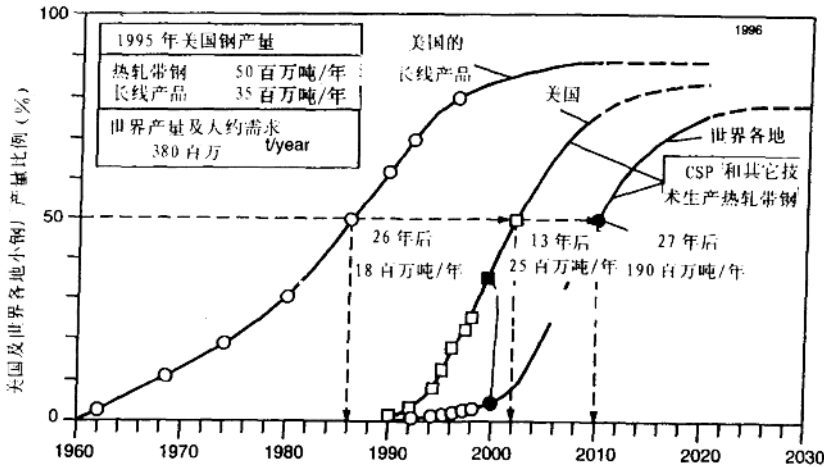


图 4 美国及世界各地小钢厂生产长条及扁材产品 (热轧带钢) 市场比例的变化

对漏斗形结晶器的技术革新,使第一条 CSP 生产线得以在纽柯厂推广应用。同时在美国有 7 个厂订购了 9 条生产线,年产量约 900 万 t。配备第 2 流连铸生产线后,产量将达到 1300 万 t,并将于 1997 年底投入生产。

到 2000 年,已投资建成的 CSP 生产线再加上其它 4 条薄板坯连铸连轧生产线,在美国年产 5000 万 t 的热轧产品中,将有 1200~1800 万 t,即 24%~36% 是通过薄板坯连铸连轧生产的。

在美国,推广应用 CSP 技术的速度比小钢厂生产长条产品快 2 倍。小钢厂生产长条产品的市场占有率达 50%,需 26 年时间,而采用薄板坯连铸连轧的紧凑式钢厂或联合钢

厂生产热轧带钢的占有率达 50% 只需 13 年时间。

基于市场的发展,CSP 薄板坯技术在美国仍将具有很大的潜力。

根据这种估计,到 2002 年,由 CSP 工艺生产的热轧带钢产品在美国将达到 50% 的份额或 2500 万 t 的能力,也就是在今后 5 年内,将有 3 个以上的钢厂安装薄板坯连铸连轧设备。

2.2 世界潜在市场的投资

到 2010 年,包括小钢厂和联合钢厂采用 CSP 技术生产热轧带钢产品,将形成年产 1900 万 t 新的生产能力,或者有 60~70 个年设计能力 200~300 万 t 的钢厂。这些新的生产线将主要取代那些传统的热轧生产线,甚

至是冷轧生产线, 从而改变生产结构, 这样使生产分散; 小钢厂的最大产量可达 200~300 万 t; 0.8 mm 厚的热轧产品将代替部分冷轧产品; 市场适应性增大; 生产周期缩短; 运输费用减少; 能耗降低; 人工消耗低, 热轧带钢 0.5~0.3 h/t; 生产效率高, 环境污染小, 同时还可以改善经济和生态平衡。

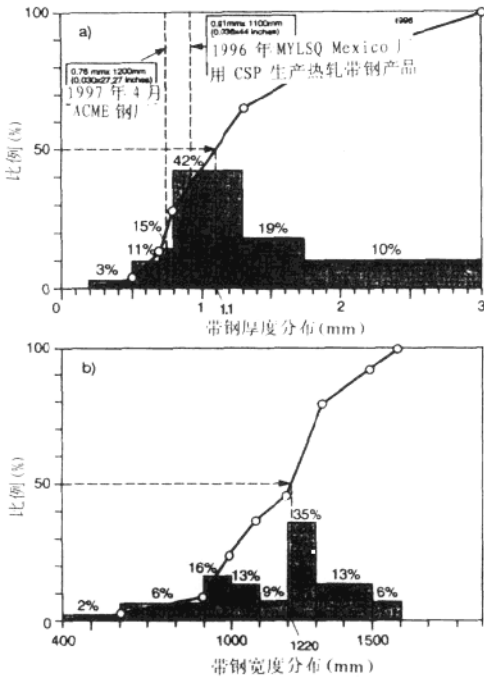


图 5 冷轧厂产品的宽度和厚度变化

(a) 带钢厚度分布; (b) 带钢宽度分布

图 5 (a) 是冷轧带钢的厚度分布图。它清楚地表明, 约有 50 % 的冷轧带钢是 1 mm 以上的, 带钢厚度大于 1 mm 可以由 CSP 生产, 且宽度可达 1500 mm, 目前 CSP 工艺可以生产薄到 0.9 mm×110 mm 的带钢。

图 5 (b) 显示了冷轧带钢的宽度分布, 平均宽度大约 1200mm, 最大宽度约 1600mm。CSP 技术提供了生产该宽度范围冷轧板的可能性, 从而可以取代传统的冷轧产品。因此每吨可以节约冷轧费用 60 美元左右。

3 漏斗形结晶器——关键部件

3.1 热流、拉速

由于漏斗形结晶器结构的发明和创新, 使薄板坯浇铸获得成功, 同时由于采用 CSP 工艺使热轧带钢产品的成本降低。

结晶器的形状使浇铸具有以下优点:

- (1) 拉速可达 6 m/min, 甚至更高;
- (2) 浇铸的可靠性高。

操作可靠性高的原因主要在于漏斗形结晶器, 可以保证结晶器内坯壳的形状及均匀的润滑渣膜。坯壳和结晶器壁之间除了垂直和水平方向均匀润滑外, 由于均匀渣膜厚度形成, 坯壳润滑良好, 使整个坯壳宽度形成稳定的热流。这种均匀性是坯壳和铜板宽度方向上稳定温度分布的先决条件。这样使结晶器宽度方向的坯壳产生均匀的收缩, 减小了铜板上的热负荷。漏斗形结晶器配上经过优化的浸入式水口, 就能可靠地浇铸表面质量好的板坯。如拉速和浇铸板坯厚度匹配良好, 就可确定浇铸无纵向裂纹板坯的条件。

图 6 显示了拉速均为 6 m/min 的恒定条件下, 厚度为 50 和 75 mm 的漏斗形结晶器与厚度为 75 mm 的矩形结晶器二者的比较。

该图清楚地显示了矩形结晶器内热流最大, 热流速率也最高。二者明显的区别是漏斗形结晶器浸入式水口侧的热流为 2.5 MW/m², 而在矩形结晶器情况下, 浸入式水口区域的热流为 3.5 MW/m²。

除了收缩产生水平应力外, 热流相差 1 MW/m², 将导致附加应力叠加, 从而增加裂纹形成的危险性。

该图也指出, 热流密度随浇铸厚度增加而降低, 在拉速为 6 m/min 和同样浸入或水口断面面积情况下, 随着浇铸厚度增加, 浇铸能力从 2.77 t/min 增加到 4.16 t/min, 漏斗形结晶器钢流的出口速度从 0.76 m/s 增加到 1.19 m/s。

对于矩形结晶器, 浸入式水口钢水流出速度增加到 1.78 m/s 时, 必须考虑减少与此相关的出口断面, 如从 7000 mm² 减少到