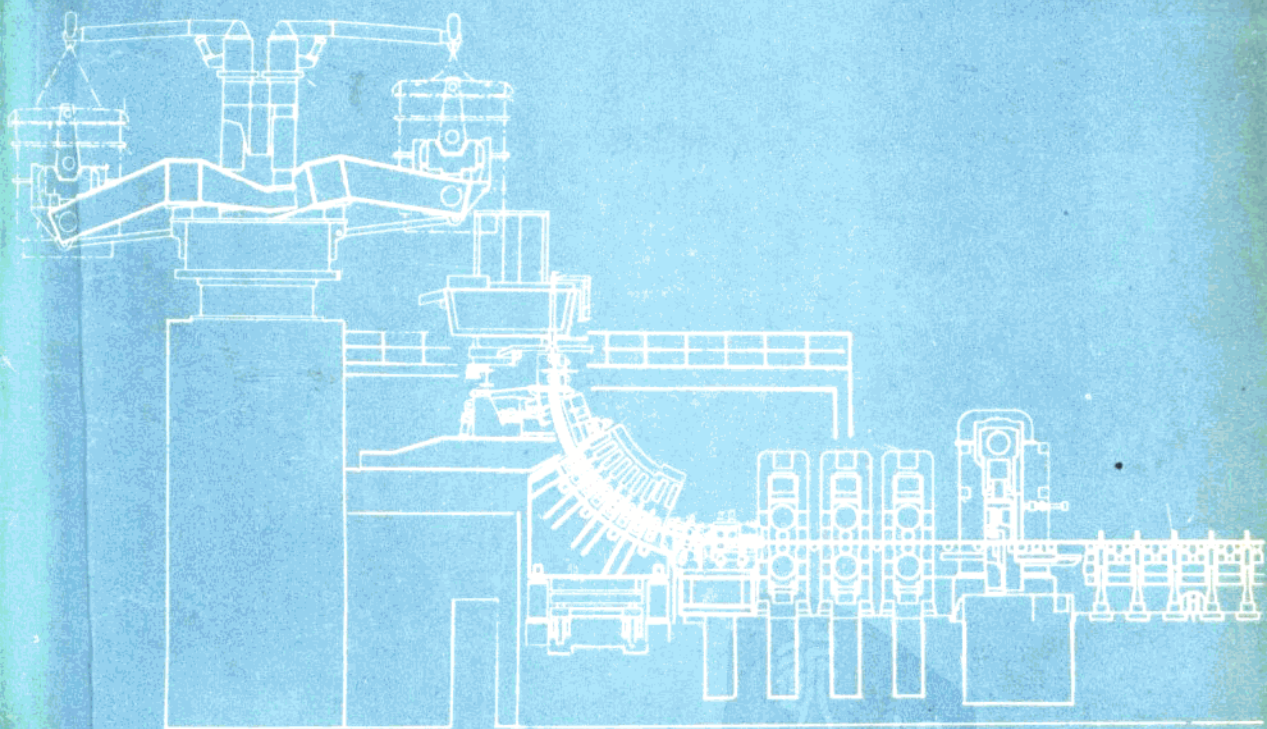


国外连铸新技术

(六)

连铸—直接轧制



冶金部情报研究总所

1991.7

TG 293.7
Y 39
:6

前 言

两次石油危机对世界钢铁工业这一耗能大户影响很大。为进一步节约能源、金属和资金，近年来，开发了连铸—直接轧制技术，并取得了突破性的进展。如新日铁堺厂、日本钢管公司福山厂、住友金属工业公司鹿岛厂和日新钢铁公司吴厂的近距离连铸—直接轧制以及新日铁八幡厂的远距离连铸—直接轧制已完成了工业性试验，开始进入大批量工业化生产，致使连铸和热加工技术进入了一个更新的发展阶段。

为促进我国“八五”期间连铸技术的发展，特组织翻译出版《国外连铸新技术》（六）——连铸—直接轧制专集。本文集收集了85年以来各种国际会、技术交流和在多种冶金期刊等发表的重要文献。内容包括综述、连铸—轧制热连接技术、适用于热装和直接轧制的连铸设备及生产技术、热装和直接轧制工艺、薄板坯直接轧制、热装和直接轧制冶金学等6部分，共45篇文章，近58万字。

本文集由冶金部情报研究总所组织翻译和出版工作，阎峰同志担任主编。在出版过程中得到科技司李世俊同志、北京钢铁设计研究总院张喆君等同志的指导和大力帮助，在此深表感谢。尽管译、校者和编辑做了极大的努力，一直把质量放在首位，但由于水平有限，有不当或错误之处欢迎有关专家和广大读者批评指正。

编 者
1991年7月

目 录

第一部分 综 述

- 一、新日本钢铁公司堺厂连铸—直接轧制技术的发展……………Hei-ichiro Iso 等 (1)
- 二、新日铁八幡厂的远距离连铸—直接轧制(CC-HDR)技术的开发……………
……………冲森 麻佑已 等 (12)
- 三、日本钢管公司的连铸—直接轧制技术……………内堀 秀男 等 (23)
- 四、川崎钢铁公司水岛厂新钢坯车间的连铸—轧制同步操作……………藤本 隆史 等 (28)
- 五、川崎钢铁公司水岛厂炼钢—热轧同步化操作系统……………潼 沢昇 等 (36)
- 六、住友金属工业公司鹿岛厂3号连铸机热装轧制工艺……………吉田 克磨 等 (44)
- 七、水岛厂连铸坯的热装……………Haruji Okuda 等 (52)
- 八、索拉克公司板坯热装……………Schittly 等 (55)
- 九、吴厂2号连铸机直接热装系统改善质量的方法和要求……………Kei Noguchi 等 (63)

第二部分 连铸—轧制热连接技术

- 一、成功热连接的工艺流程和工厂设计技术……………R. A. Carr 等 (68)
- 二、连铸—热轧直接连接的最佳工艺……………谷口 勲 等 (85)
- 三、炼钢工序与热轧工序的直接连接工艺……………Zensaku (92)
- 四、新日铁大分厂连铸—热轧直接连接工序的生产管理系统……………吉村 浩 等 (102)
- 五、支持炼钢—轧钢直接化的系统技术……………大西 英明 等 (113)
- 六、轧制过程中的感应加热新设想及应用……………H. Backlund (122)
- 七、连铸板坯远距离直接轧制(CC-HDR)全过程热补偿技术……………池崎英二 等 (127)

第三部分 适用于热装和直接轧制

的连铸设备及生产技术

- 一、进行热装和直接轧制操作的板坯连铸机的原理和设计观点……………
……………H. A. Wiesinger 等 (137)
- 二、用于高速生产、热装或直接轧制的连铸设备……………Hans F. Schrewe 等 (144)
- 三、用于直接热轧的高速连铸机的操作……………Takayuki Koyano 等 (155)
- 四、鹿岛钢铁厂3号连铸机为适应直接装炉工艺所进行的连铸技术的改进……………
……………Katsuma Yoshida 等 (161)
- 五、日本钢管公司福山厂3.0m/min高注速的5号连铸机……………Tsutomu Wada 等 (168)
- 六、用于直接轧制的无缺陷高温板坯的生产技术……………Naonori Moritama 等 (177)

- 七、加古川厂采用新板坯连铸机生产优质钢.....Hideki Yokoyama 等 (185)
- 八、生产高温铸坯的低高度连铸机的铸坯矫直变形分析.....安田 美 等 (192)
- 九、生产高温、高质量板坯的连铸二次冷却技术.....手嶋 俊雄 等 (203)

第四部分 热装和直接轧制工艺

- 一、连铸坯热装和直接轧制的工艺特点和控制.....J. R Cook 等 (211)
- 二、在热轧中适于直接轧制的技术.....谷口 勲 等 (219)
- 三、新日铁君津厂厚板车间的热装轧制技术.....长田元宏 等 (226)
- 四、直接轧制用板坯的宽度控制.....Shunji Nakamura 等 (234)
- 五、板坯热装和直接轧制.....Horst Wiesinger 等 (239)
- 六、改进特殊钢圆棒质量的未来型轧机.....Eernhard Rieth 等 (245)
- 七、特殊钢连铸大方坯的直接热装炉.....G. Battan 等 (258)

第五部分 薄板坯直接轧制

- 一、双带式薄板坯连铸和直接热轧进展报告.....J. F. Barry Wood 等 (265)
- 二、连铸薄板坯的轧制和CSP紧凑型热轧带钢生产设备.....Günter Flemming 等 (273)
- 三、钢的连铸连轧新技术和新设备.....Klaus Brückner (285)
- 四、曼内斯曼钢管公司的薄板坯连铸和铸轧.....Hans-Jürgen Ehrenberg 等 (292)
- 五、有关带钢浇注的新发展和新建议.....Rolf Steffen (303)

第六部分 热装和直接轧制冶金学

- 一、直接轧制的冶金学研究及发展.....Kiminari Kawakami (305)
- 二、热装轧制条件对含铌钢板机械性能的影响.....鎌田 芳彦 等 (310)
- 三、凝固时冷却速度和热装条件对深冲用冷轧钢板的机械性能的影响.....
.....塚谷 一郎 等 (316)
- 四、连铸—直接轧制工艺生产的含Ti高强度热轧钢板的性质.....佐藤 一昭 等 (324)
- 五、连铸热轧直接连接工艺过程中微合金钢的组织和材质的预测.....齐藤 良行 等 (331)
- 六、直接热装轧制条件对含铌钢板机械性能的影响.....Yoshihiko Kamada 等 (339)
- 七、关于连铸—热轧直接连接温度的讨论.....小门纯一 等 (343)
- 八、连铸结晶器内弯月面上保护渣的熔化和行为.....A. Delhalle 等 (351)

第一部分 综述

一、新日本钢铁公司堺厂连铸—直接轧制 技术的发展

Hei-ichiro Iso 等

(一) 前言

自1973年以来，两次石油危机已对世界钢铁工业这一耗能大户产生了巨大的冲击，从而节能变成了管理部门的头等大事。为克服两次石油危机的影响，已开发了各种新技术。

去掉一个和一个以上的中间工序，或使几个工序直接连接起来，对于节能是非常有效的。

面对这一背景，新日本钢铁公司的堺厂开发了一种称为连铸—直接轧制技术(CC-DR)，它使连铸工序与轧制工序直接连接起来，以便充分利用钢水的热能，明显地改进了效率差的传统的冷却和加热模式。

1977年第一次提出连铸—直接轧制概念时，将热板坯或温板坯直接装入轧制工序的加热炉的热装轧制工艺(HCR)已开始逐渐的应用，然而用这种工艺的全部产品产量那时还很少。

在这种情况下，堺厂根据实现连铸—直接轧制设计和建造的连铸设备于1981年1月开始生产。1981年7月，该厂在全世界首先使连铸—直接轧制工艺投入工业化生产。

随着连铸坯热装技术在全世界广泛采用，堺厂的连铸—直接轧制技术不断地改进其操作水平。

1984年8月，堺厂的连铸—直接轧制工艺创造了最高月产量达95030t和连铸—直接轧制率最高达93.1%的纪录。而世界范围内，用于生产热带钢和中厚板的板坯热装率仍很低，因此连铸—直接轧制工艺达到的这两项纪录是惊人的。

在加热炉加热的单位能耗是能耗的一个主要指标，基本下降到123MJ/t，加热的总能耗，即输入的全部热能之和，也降到218.9MJ/t。

1985年3月关闭了堺厂的带钢热轧机（其能力很小），以解决新日本钢铁公司带钢热轧机能力过大的问题。本文对连铸—直接轧制工艺的操作作一回顾，重点是开创连铸—直接轧制流程而开发的各种先进技术、为扩大连铸—直接轧制的范围而建立的操作控制和操作结果。

(二) 连铸—直接轧制工艺和设备概述

图1示出氧气转炉设备、连铸设备和带钢热轧机的总体布置。主要设备的明细表列于表1。

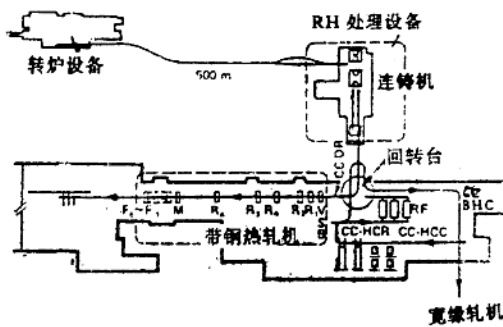


图 1 连铸—直接轧制生产的总体布置

连铸车间与氧气转炉车间的距离约600m，从而连铸设备可以与带钢热轧机直接连接。采用这种布置，钢水是用钢包车运送的。

钢水经RH脱气装置轻度处理后，以1.6~1.8m/min的注速进行浇铸。连铸板坯切割成规定的定尺，两侧面用边部温度补偿器(ETC)加热。因为连铸生产线垂直于热轧生产线，所以连铸板坯通过回转台改变输送方向。

在热轧生产线上，利用立式破鳞机(VSB)使板坯宽展，最大宽展150mm。宽展后，通过粗轧机，使板坯厚度从250mm轧至50~60mm。粗轧后的板坯利用保证质量的边部温度补偿器加热，然后进行精轧。

表 1 设备的主要规格

设备	项目	规格
高炉	内容积	2797m ³
氧气转炉	类型	LD—CB (底部吹少量惰性气体)
	出钢量	170t/炉 × 2/3
RH 设备	类型	双壳式
	可达到的真空度	1333.2Pa仅适用于轻度处理
连铸机	类型	弧形结晶器，4点矫直
	流数	2流
	板坯尺寸	厚度：250mm，宽度：580~1320mm
	板坯切割长度	4300~9800mm
	铸机长度	从钢水弯月面到机端：37.2m
	曲率半径	10.5—12.0—16.0—30.0 m
	流间距	6000mm
	钢种	普碳钢
	公称能力	161000t/月
	钢包	滑动水口型，容量180t
中间包	滑动水口型，容量60t	
带钢热轧机	类型	全连续式带钢热轧机
	带卷规格	厚度：1.2~16.0mm 宽度：600~1300mm

(三) 连铸—直接轧制的基本概念

如表 2 所示, 传统的工艺流程是, 连铸板坯冷却和进行精整, 并按照带钢热轧机的生产计划重新组配冷却后和精整过的板坯, 然后进行加热和轧制。在这些生产工序中, 加热工

表 2 氧气转炉和带钢热轧机之间的工艺流程对比

工艺流程类型	工 序	氧气转 炉炼钢	连铸	板坯 精整	加热轧制	从氧气转炉炼钢 到轧材需要的 时间 (h)
A	CC	○	○	○	○	○
B	CC HCR	○	○	—	○	○
C	CC-DR	●	●	—	●	●

注: CC—连铸; DR—直接轧制; HCR—热装轧制

序能耗占的比例很大, 而板坯冷却和精整工序是影响生产时间的工序。连铸—直接轧制是最理想的工艺流程, 通过连铸机与带钢热轧机直接连接, 取消了上述两道工序。

为取消消耗大量热能的加热的工序, 必须生产高温板坯, 并在尽量减少高温板坯

热损失的情况下把它送入带钢热轧机。取消板坯精整工序的基本条件是生产无缺陷的板坯。为取消板坯的重新组配, 必须按轧制生产计划表准时按尺寸规格提供板坯。

由于连铸机和带钢热轧机直接连接, 消除了各工序间的缓冲时间, 任何一个工序出故障就会对另一个工序有很大影响, 因此, 提高生产过程的可靠性是头等重要的。换言之, 为建立连铸—直接轧制工艺流程, 必须开发以下 4 组技术:

- 1) 生产高温板坯的技术;
- 2) 生产无缺陷板坯的技术;
- 3) 连铸和轧制生产进度匹配技术;
- 4) 提高生产过程可靠性的技术。

(四) 为连铸—直接轧制生产开发的技术

1. 生产高温板坯的技术

(1) 提高板坯温度的概念

为得到高温板坯, 重要的是保持板坯表面的温度接近于厚度中间处的温度, 即减小板坯各处的温差。基于这种概念, 影响板坯温度的因素是: 1) 板坯的尺寸特性 (板坯的厚度、形状); 2) 允许板坯凝固的时间 (注速和铸机长度); 3) 在那段时间内板坯表面传热系数的变化 (冷却强度的分布包括喷雾段长度、冷却宽度; 冷却强度包括喷水、雾化冷却和保温等方面的影响); 4) 该板坯用钢的物理性能, 例如导热性、比热、固液相温度; 5) 钢水的开始热含量。在实际操作中, 只有 2) 和 3) 两个因素是可以控制的。通过控制这两个因素, 可得到高温板坯, 并可确定完全凝固的位置和在该位置的温度分布。

(2) 液相穴端部位置

凝固坯壳的温度回升是靠吸收液相穴的凝固潜热, 该温度在完全凝固后比凝固前下降得更大, 因此, 液相穴终端的位置应尽可能接近于连铸机的出口, 以便获得高温板坯。

影响液相穴终端位置的浇铸条件按递减的顺序是注速、二次冷却强度、冷却水温度和浇注温度。由于创立了利用电磁超声波确定液相穴终端的技术和适当控制上述因素的技术, 使液相穴扩大到连铸机终端附近的位置也已成为可能。

(3) 冷却过程

完全凝固部位板坯的平均温度是由从厚度的中间处到表面的温度分布确定的, 该温度主要受冷却过程的影响, 而冷却过程又是由板坯表面的导热系数控制的。冷却过程尽可能使凝固的板坯具有最高的温度, 不仅要尽量减小热传导系数(例如阻止板坯的外部冷却或在连铸机上使板坯绝热)而且要通过吸收某一给定凝固程度的凝固潜热使表面温度回升。

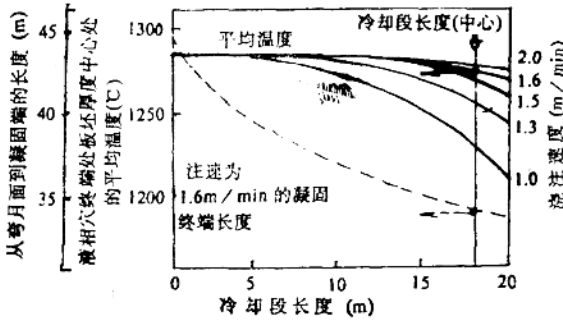


图 2 冷却段长度、板坯宽面中间的平均温度与液相穴长度之关系

1300℃。

因为铸坯的热辐射面积与钢水的含水量之比, 在板坯的边部比板坯宽面的中部更大, 所以如图 4 所示, 板坯边部的温度明显下降。因此, 板坯边部吸收液相穴热量使表面温度恢复的始点必然比板坯宽面中部的更接近于弯月面。这叫作根据板坯宽度改变冷却段宽度的方法。

(4) 保温

如上所述, 尽量减小达到一定凝固程度的板坯表面的导热率, 有助于确保板坯完全凝固时的温度较高。在下列两种情况中保温是有效的: 一是当凝固结束后, 板坯表面温度不可能吸收内部热量而回升; 二是因辐射损失, 通过液相穴潜热使温度恢复所占的比例小(例如在板坯的边部)。如图 5 所示, 为阻止板坯边部温度下降, 堺厂的板坯连铸机使用了保温罩, 这种有保温罩的总热传导系数降低到约 $1.2 \times 10^5 \text{ J/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{℃}$, 而自然冷却时的总热传导系数约为 $5.0 \times 10^5 \text{ J/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{℃}$ 。关于这种保温效果的计算机模拟结果(图略), 普通的冷却时, 板坯角部表面温度为 500℃ 或更低, 而加保温罩的板坯角部表面温度接近于 900℃。

(5) 板坯角部温度补偿器

上述的措施有助于得到直接轧制所需要的板坯横断面的平均温度, 但是板坯的角部易产

如图 2 所示, 如果表面温度恢复段扩大, 在液相穴端部板坯的平均温度升高, 而在给定的液相穴长度上板坯的温度饱和, 板坯的升温速度随注速的升高而降低。例如, 堺厂板坯连铸机(铸机长度 37.2m, 板坯厚度 250mm)模拟试验表明, 当冷却段为 18m 时, 板坯温度几乎达到最高(见图 2)。如图 3 所示, 甚至无绝热措施, 在液相穴终端处, 板坯宽面中间的平均温度也接近于

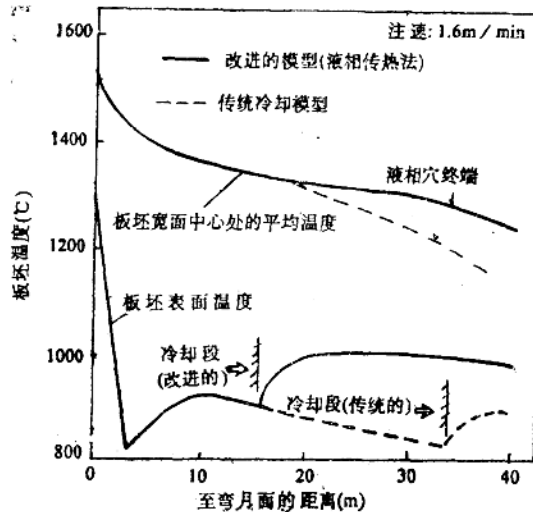


图 3 通过液相穴吸收热量的冷却模型

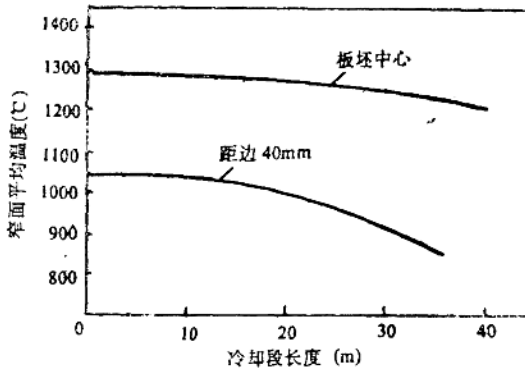


图4 板坯冷却段长度与板坯在连铸机终端温度的关系

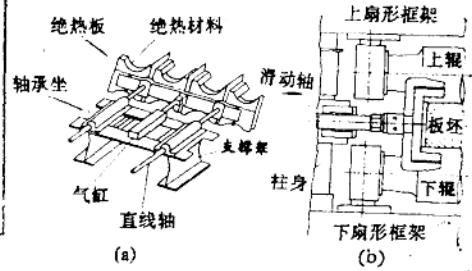


图5 连铸机保温罩

生过冷。为确保轧制温度，板坯角部需要稍微加热。为此目的开发了具有下列功能的交叉磁通量型感应加热设备（角部温度补偿器）：

- 1) 加热板坯的角部而不加热板坯的其余部分；
- 2) 使板坯角部加热到需要的温度；
- 3) 温度容易改变，只是在板坯通过时才使板坯加热。

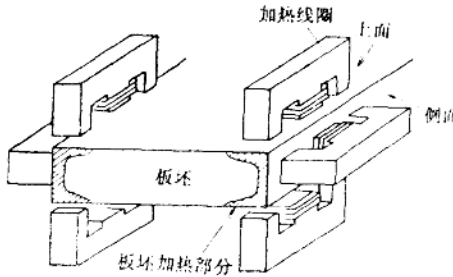


图6 角部温度补偿器 (ETC)

表3 高温板坯生产技术对提高距角部40mm处板坯温度的影响

技术	距角40mm处板坯温度升高值(°C)
1. 软二次冷却	142
2. 在连铸机上保温	36
3. 在连铸机以外保温	54
4. 角部温度补偿器	116
合计	348

连铸一直接轧制流程的板坯温度比传统连铸流程的更高，因此，凝固坯壳的强度降低和易于产生表面或内部裂纹。

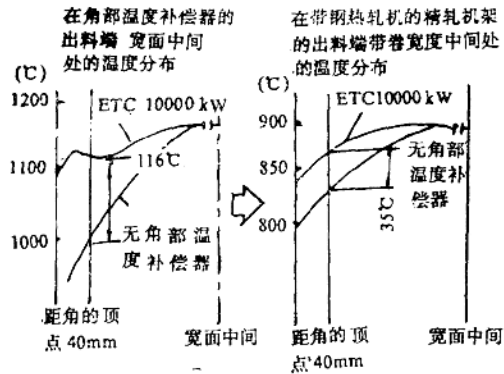


图7 角部温度补偿器对板坯温度的影响

角部温度补偿器 (ETC) 示意地表示在图6。通过选择最佳的线圈铁芯形状和最佳磁通，确定了最佳加热模型，从而可以有效地加热距角100mm的范围，其加热效率高达48%。角部温度补偿器对板坯横向温度分布的影响示于图7。它使距角40mm处的板坯温度平均升高116°C。上述技术使距角40mm处的板坯升温效果列于表3。

2. 生产无缺陷板坯的技术

(1) 压缩浇铸 (CPC)

为分散矫直应力，采用多点矫直，并且为减轻臃肚应力，而缩短辊间距。堺厂的板坯连铸机采用压缩浇铸，以降低浇铸板坯的拉应力。压缩浇铸的机理示于图8。弧形连铸机在板坯矫直点产生拉应力。板坯在矫直点的出料侧被制动，而在矫直点的弯月面侧被驱动，以减小拉应力。压缩浇铸对减少内部裂纹的作用非常显著。平均裂纹长度：普通浇铸时为20mm，压缩浇铸时几乎为零；每米铸坯的裂纹数目：普通浇铸时为19条，压缩浇铸时也几乎为零。

(2) 雾化冷却

通过轻微冷却使凝固坯壳保温，由于冷却不均匀，容易产生热应变诱发的裂纹。因此，中碳钢坯进行传统的喷水冷却时产生纵向表面裂纹。为保证均匀地冷却，开发并应用了雾化喷嘴。这种喷嘴的特点如下：

- 1) 冷却强度均匀（铸坯的纵向和横向冷却均匀，而且冷却水不流到铸坯的角部）；
- 2) 冷却范围宽；
- 3) 便于维修（不堵塞喷嘴）。

在堺厂的板坯连铸机上安装的雾化喷嘴示于图9。

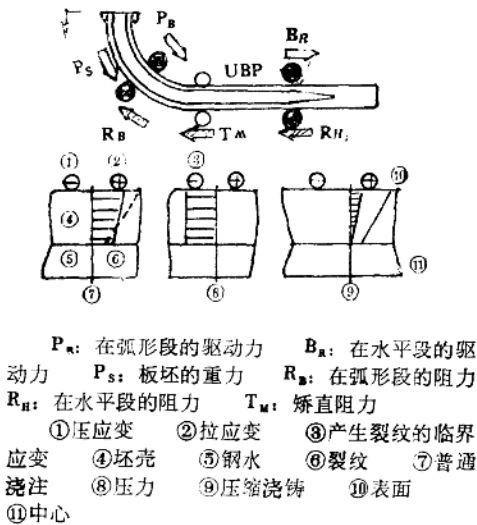


图8 压缩浇铸机理

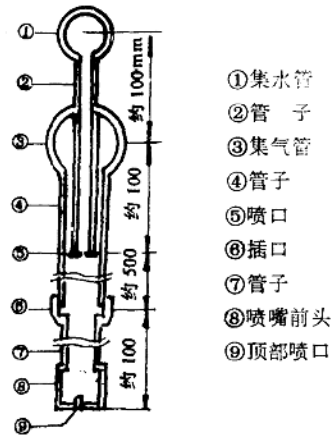


图9 雾化喷嘴实例

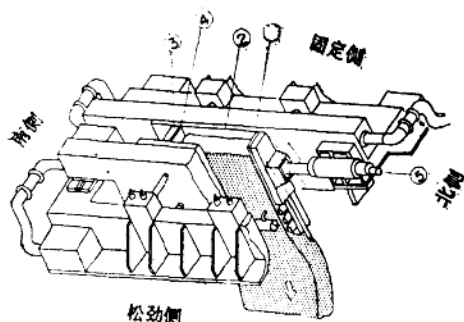
(3) 减少表面缺陷和夹杂物

采取了以下减少表面缺陷和夹杂物的措施：

- 1) 生产纯洁的钢：防止钢渣从氧气转炉流入钢包(在氧气转炉上使用出钢口挡渣器)；全部钢水经RH轻处理；使用大中间包(60t)；
- 2) 保护浇铸：钢包和中间包之间、中间包和结晶器之间均用氩气封闭；
- 3) 对一定的钢种使用合适的保护渣。

3. 连铸和轧制生产进度匹配的技术

传统的连铸生产是集中浇铸相同宽度的板坯，浇铸后，根据轧制计划表重新组织生产。进行直接轧制时，板坯按与连铸同样的顺序进行轧制，因此，为了提供轧制阶段所需宽度的板坯，必须改变浇铸板坯的宽度。堺厂开发了一种在结晶器上改变板坯宽度的技术，在结晶器上改变板坯宽度所需的变形能是最低的。改变结晶器宽度的装置示意地表示在图10。控制液



①宽面支承板 ②宽面铜板 ③窄面支承板
④窄面铜板 ⑤步进式液压缸

图 10 快速改变结晶器宽度示意图

能力（月生产能力为200kt），所以工艺的可靠性是很重要的。连铸工艺的可靠性涉及生产的可靠性；质量的可靠性；加工时间的可靠性。钢厂开发的确保这些可靠性的相应技术如下：

- 1) 利用结晶器状态监测系统，防止产生拉漏；
- 2) 利用过程计算机分出每块板坯的质量等级，并且利用结晶器状态监测系统保证板坯质量；
- 3) 出钢进度和轧制进度匹配技术。

结晶器状态监测系统包括埋入结晶器内的热电偶和测量温度的处理设备，见图11。该监测系统不仅连续监测通过结晶器的散热情况，而且连续监测坯壳和结晶器之间保护渣的流动情况。通过该监测系统评价板坯的质量，从而预测拉漏的发生。

在连铸—直接轧制生产中，每一块板坯在到达带钢热轧机之前，必须评价它的质量是否适合直接轧制。为满足这一需要，开发了一种利用过程计算机和从氧气转炉到连铸机生产阶段获得的数据进行在线质量评价的方法。利用这种方法，在板坯切割完成之前，即完成连铸—直接轧制适应性的质量评价。

利用快速硫测定仪（ISE）详细地进行离线分析。这种分析结果反馈给在线质量评价系统，以改进过程计算机所做的评价的可靠性。

（五）操作控制

由于上述几种技术的开发，使连铸—直接轧制成为可能。充分利用连铸—直接轧制达到大量节能和明显提高劳动生产率的要点是：取消了在加热炉加热的这段时间和把必须送往板坯跨的板坯量减至最少。换言之，必须达到稳定地提高连铸—直接轧制的轧制量占总轧制量的比例。

连铸—直接轧制比例的计算如下：（可用连铸—直接轧制加工的品种比例）×（计划安排的连铸—直接轧制比例）×（实现的连铸—直接轧制比例）。因此，为提高连铸—直接轧制比例，必须提高这三个比例。

压缸，不仅是要消除结晶器窄面和凝固坯壳之间的气隙，而且是要使坯壳的变形应力降低到最小，这有可能在两个方向上以200mm/min的最大速度改变板坯宽度。

为了使生产进度匹配，开发并投产了使用过程计算机的氧气转炉总体最佳过程控制系统（LD—TOP）。由于采用这一系统，吹炼操作稳定，并明显地提高了元素（例如碳和磷）和温度的命中率，使出钢时间命中率稳定在很高的水平。

4. 提高生产过程可靠性的技术

因为现代化的连铸机具有很高的生产

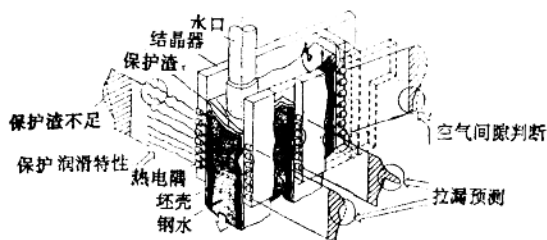


图 11 结晶器状态监测系统

1. 扩大可以连铸—直接轧制的品种

确定一个品种是否可进行连铸—直接轧制生产，决定于两个因素。一是，是否能保证需要的精轧温度，使受到过大冷却的卷材边部的温度高于某一水平是特别重要的。另一个因素是，对于给定的品种，是否能使表面缺陷降低到允许的范围以内。如上所述，为了确保这些因素，开发了提高板坯温度和质量的技术。

为保持板坯温度，采取了各种操作措施，其中包括对每一品种调节二次冷却制度、调整边部温度补偿器的输入功率和在精轧过程擦净水。此外还采取了改善质量的措施，例如对每一品种使用适当的保护渣。

连铸—直接轧制流程是从生产厚度大于1.8mm的一般用途的低碳钢带卷开始应用的。此后，连铸—直接轧制的应用范围逐步扩大到中碳钢、深冲钢等，并且由于技术的改进，使产品质量更好。最后，利用连铸—直接轧制流程可以生产最薄为1.2mm的带卷和生产镀锡板需要的极好表面质量的带卷。因此，钢厂生产的钢，99%可以通过连铸—直接轧制加工。

2. 提高连铸—直接轧制计划的比例

即使一种给定品种可以用连铸—直接轧制流程生产，某些板坯还不能安排在连铸—直接轧制生产计划中，因为这些板坯是略式订货单板坯或因计划匹配条件差。

这种拒收的产品取决于订货的品种和生产批量的大小。例如，在生产批量小于180t/炉的情况下，用略式订货单板坯制定生产计划是不可避免的。连铸—直接轧制流程拒收这些略式订货单板坯。如果订货单批量太小，不能安排在这种轧制单元计划内，连铸—直接轧制流程必须拒收。

为了解决这一问题，通过尽可能多的钢种联合组批来增大生产批量是很重要的。

增加生产批量的措施之一是根据碳含量范围和充分利用RH真空处理对成分的控制能力合并钢种，这一措施的一个实施例示于图12。利用根据钢种成分联合组批、或通过将订货批量小的钢种升级或改变热轧状态（例如适当改变精轧温度）、或联合使用这两种方法来合并生产批量。

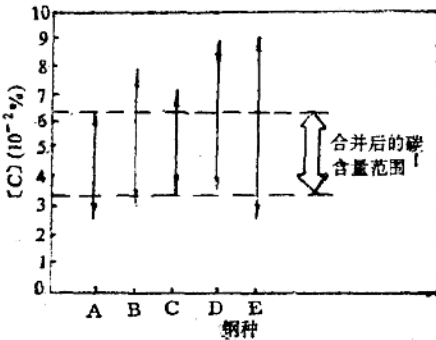


图 12 依碳含量范围合并钢种的实例

制定生产计划的另一个要点是，确保从出铁到轧制整个流程的生产计划很好地匹配。例如，即使计划安排大量炉次的多炉连浇，如果铁水量供给不充足，每个工序的生产都受损失，使计划进行连铸—直接轧制加工板坯的数量减少。

因此，生产计划表中，作为操作计划是以分来规定每一工序的操作时间的（包括预测铁水量）。

在实施阶段，由属于炼钢厂的整个生产过程的调度员对各个工序（高炉、氧

气转炉、RH精炼、连铸、轧制等）的配合进行细致地调整。

在开始应用连铸—直接轧制阶段，连铸—直接轧制流程拒收下列板坯：1）铸流开始和最后铸出的板坯；2）因为订货单的品种和规格造成连铸机和带钢热轧机之间生产能力不同的板坯；3）要采用快速硫测定仪分析的板坯。

以前，因为铸坯的头和尾部温度低、质量差，认为不适用于连铸—直接轧制。对于这些

板坯，开发和投产了自动开浇和停浇技术，它完全取消了人工操作，可以快速拉坯，因此，可以保证头部铸坯需要的温度。另外，还开发了用氩气将中间包完全封闭的防止钢水二次氧化技术。由于采用这些技术，使铸坯头、尾的温度和质量提高到了适于连铸—直接轧制的程度或者使这些板坯的连铸—直接轧制成为可能。

生产中碳钢带卷和很薄的带卷时，连铸机的生产率超过热带轧机的生产率，采用单流连铸证明是非常有效的。

如前所述，由于利用生产无缺陷板坯的技术改善了质量，需要利用快速硫测定仪检查内部质量的板坯数逐渐减少。

3. 提高连铸—直接轧制的比例

甚至已经制定出用连铸—直接轧制工艺生产的计划，在连铸—直接轧制实施阶段，还可能拒收某些板坯。这种实施的损失主要是由于在各工序产生故障。这些故障包括氧气转炉出钢滞后，浇铸异常、轧制故障等。

例如，如果因为连铸和氧气转炉或 RH 真空处理之间不匹配，在几分钟内注速降低，使连铸机的板坯温度下降。因此，在这几分钟内，使大量的板坯变冷，不能接收进行连铸—直接轧制。

如果因轧制工序的故障，停止几分钟向带钢热轧机提供板坯，在这段时间生产的板坯因温度变得太低，不能进行连铸—直接轧制，要放到板坯跨。

连铸—直接轧制生产中，各个工序直接连接，各工序间没有缓冲的余地。因此，这些工序中任何一个工序的故障，对整个连铸—直接轧制生产都产生明显的不利影响。通过稳定设备的操作条件，可以达到提高连铸—直接轧制的比例。

如上所述，连铸—直接轧制比例代表着炼钢厂生产和参谋部门的工作质量。因此，通过分析连铸—直接轧制比例，可以掌握整个炼钢厂的设备和操作状况。因此可以说，连铸—直接轧制比例是一个新型的控制指标。

(六) 操作结果的转变

自1981年7月连铸—直接轧制开始生产以来，通过连铸—直接轧制生产的钢的数量稳定地增加。到1985年3月（这时热带钢车间停产），通过该流程累积生产的钢达257.2万吨。

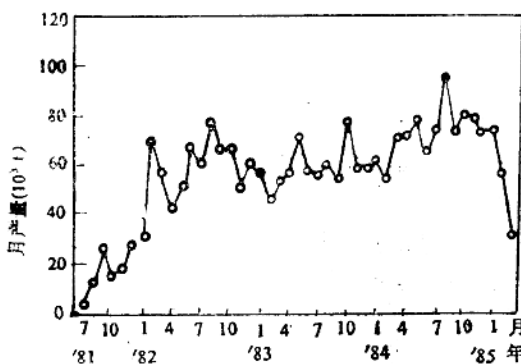


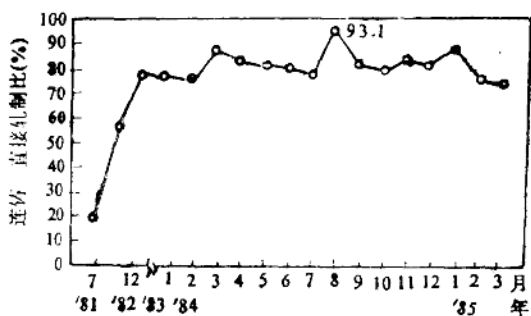
图 13 连铸—直接轧制流程产量的变化

图13和图14分别表示连铸—直接轧制流程产量的变化和连铸—直接轧制比的变化。图15和图16分别表示加热炉作业率的变化和轧制工序加热单位能耗的变化。

应指出，连铸—直接轧制比达到80%以上这一稳定水平，而加热炉作业率和加热的单位能耗随连铸—直接轧制比的提高而降低。

1984年8月，连铸—直接轧制比达到93.1%，这时的加热单位能耗为 $1.23 \times 10^8 \text{ J/t}$ ，而加热总能耗（此为

输入的全部热能之和）为 $2.1 \times 10^8 \text{ J/t}$ ，这些能耗数据显著地低于传统流程的能耗数据。这



$$\text{连铸—直接轧制比} = \frac{\text{连铸—直接轧制的产量}}{\text{用于带钢热轧机的连铸坯产量}}$$

图 14 连铸—直接轧制比的变化

当连铸—直接轧制比为80%和93.1%（此为1984年8月的纪录）时，典型的损失比分别示于图17和图18。应该指出，计划的损失比和实现的损失比明显地降低。

时加热炉的作业率为7.7%，这意味着加热炉每月仅生产2.5天。

连铸—直接轧制流程的板坯精整成坯率和热轧成材率分别为接近100%和接近99.5%；而传统流程相应的成坯率和成材率分别为约99.5%和98.5%。

应指出，由于取消加热工序，随铁鳞损失的降低板坯精整成坯率和热轧成材率明显提高。1984年8月，当连铸—直接轧制比达到93.1%时，热轧成材率高达99.43%。

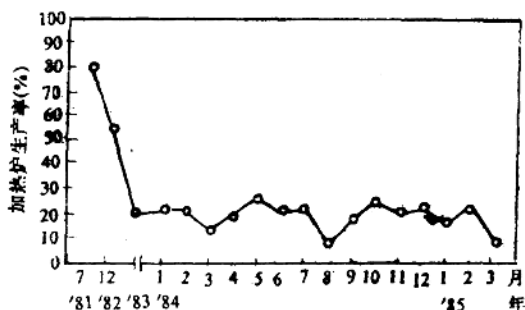


图 15 加热炉生产率的变化

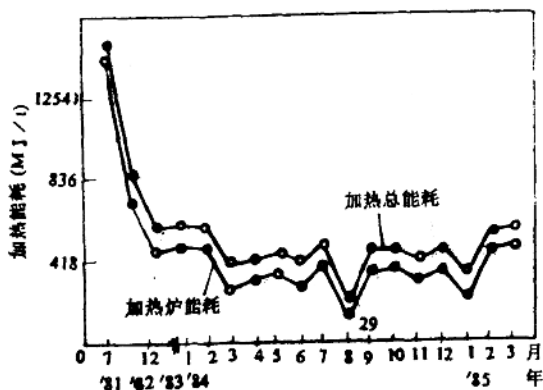


图 16 加热单位能耗的变化

图19示出不需表面清理直接送至轧制工序的板坯比例的变化，并指出生产的板坯质量是稳定的。

图20比较了经加热炉加热的板坯轧制的带卷和通过连铸—直接轧制生产的带卷的质量。

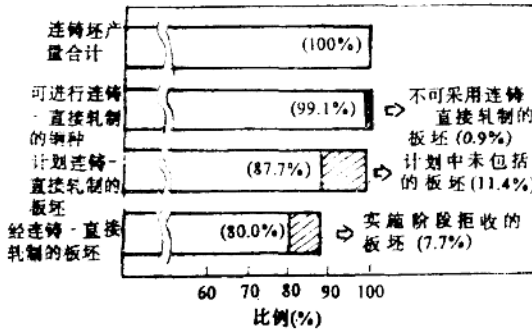


图 17 连铸—直接轧制比为80.0%时，连铸—直接轧制损失分解

当代一个趋势，并且是钢铁工业要遵循的发展道路之一。虽然热轧带卷的连铸—直接轧制技术已经建立，进一步的工作应在以下两个方向进行开发。

一个开发方向是，现有的连铸机可以与附近的但不是非常邻近的现有轧机相连接，将连铸板坯从连铸机快速输送到轧机。

现在新日本钢铁公司正在研究发展由堺厂创立的连铸—直接轧制流程，使这一流程向更先进的技术发展。

在连铸—直接轧制流程中，板坯不经过加热炉，因为无滑轨黑印，板坯表面质量好，使得带卷质量稳定。

(七) 连铸—直接轧制的未来趋势

如图21所示，连铸比还在继续稳定地增加，世界钢铁工业的一个首要问题是，采用连铸—直接轧制流程，即连铸后的高温板坯立即轧制。

扩大连铸—直接轧制的应用，是

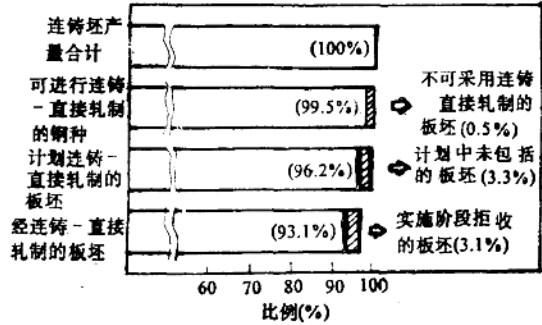


图 18 连铸—直接轧制比为93.1%时，连铸—直接轧制损失分解

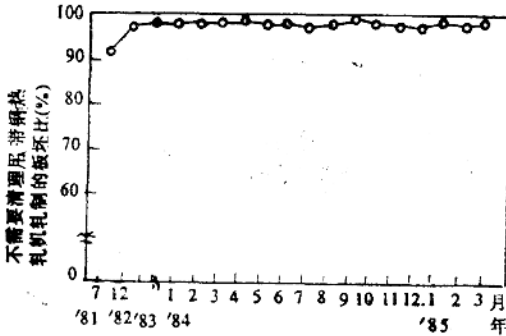


图 19 不用表面清理轧制板坯比的变化

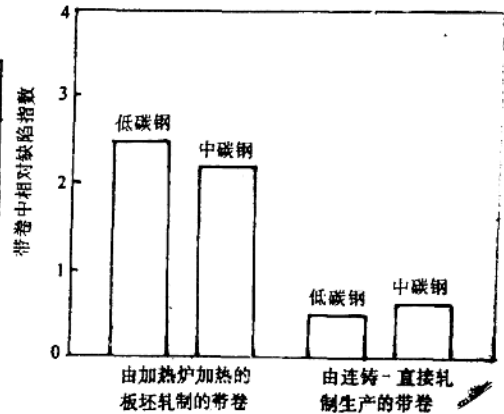


图 20 由连铸—直接轧制生产的和经加热的板坯轧制的带卷质量对比

利用这种先进技术，通过高速板坯车将连铸板坯输送到与连铸机相距500m以上的轧钢机。

另一方面的工作是，将已创立的连铸—直接轧制技术扩大应用到热轧带钢以外的品种，例如型材和棒材。

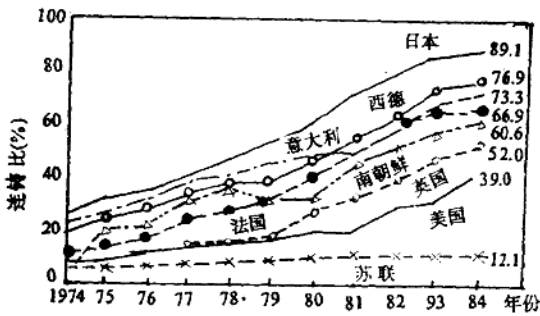


图 21 各国(地区)连铸比的变化

(八) 结论

连铸—直接轧制流程是一划时代的发展，它打破了炼钢技术的传统概念，可利用由铁水带给钢的全部能量，直到获得规定的产品为止而不废弃这些能量。

1981年7月堺厂投产了世界上第一套采用连铸—直接轧制流程的设备，最终创造了连铸—直接轧制率为93.1%的辉煌纪录。

连铸—直接轧制流程不仅对节能，而且对炼钢的连续化操作都是很重要的。它对减少总库存量、提高劳动生产率和缩短生产时间起到重大作用，可以说，该流程在炼钢史上增加了新的一页。预计，通过将炼钢与轧制直接连接，该流程将进一步发展为一体化的炼钢流程，并且有可能作为达到向着更高技术发展的手段，将在全世界得到更多的应用。

译自《Steelmaking Proceedings》1986年第69卷

杨金岱 译 沈永淦 校

二、新日铁八幡厂的远距离连铸—直接轧制 (CC—HDR) 技术的开发

冲森 麻佑已 等

(一) 绪言

新日铁堺厂于1981年将连铸机设置在热轧车间附近，用辊道将两个车间连接起来，进行连铸坯的直接轧制（以下简称CC—HDR）。本方式称为近距离HDR，如图1(a)所示。但堺厂的热轧车间于1985年停产。八幡厂继承并发展了近距离HDR，开发成功并采用了新型的HDR。八幡厂的HDR是在已有的第三炼钢车间的1号连铸机与远距离的热轧车间之间用具有高保温性能的高速台车运输铸坯的方式。本方式称为远距离HDR，如图1(b)所示。另外，在堺厂是一台连铸机与一个热轧车间相配合生产，即一对一。而在八幡厂，是由多台连铸机向一个热轧车间输送铸坯，进行远距离HDR。在本文中主要介绍为实现远距离HDR，八幡厂开发的高温铸坯的制造技术。同时也介绍了热轧技术，无缺陷高温铸坯的制造技术，使远距离HDR成为可能的物料控制技术，以及进行远距离HDR单位燃料消耗降低的效果等。

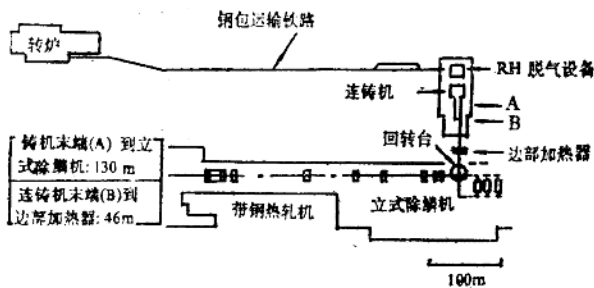


图 1 (a) 新日铁堺厂的远距离HDR平面布置图

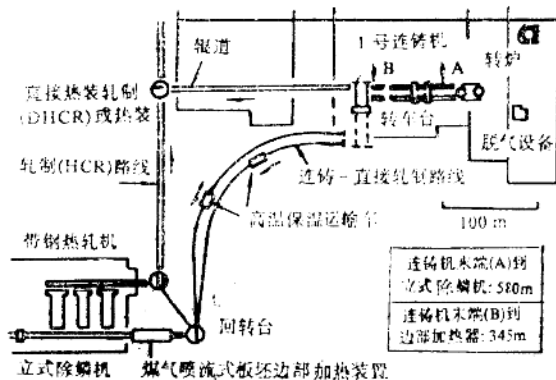


图 1 (b) 新日铁八幡厂的远距离HDR平面布置图

(二) 八幡厂的远距离HDR的平面布置图

堺厂从连铸机末端到热轧车间立式除鳞机 (VSB) 的距离是130m。而八幡厂的这段距离，利用现有的辊道时有620m左右，此间的温降很大，不可能进行直接轧制。对于通过这样远距离引起的温降，在两个车间之间采用高效保温的高速台车运送铸坯的称为远距离HDR。

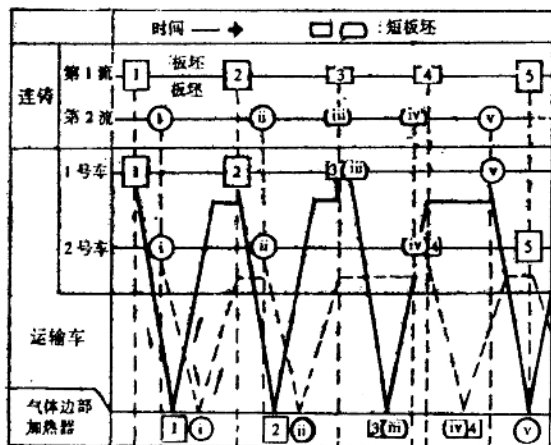


图 2 用高效保温高速运输铸坯台车直接轧制铸坯的运输时间表

在立式除鳞机前面设置有后面将要介绍的回转台和铸坯边部加热装置，整个平面布置如图 1 (b) 所示。连铸机和热轧车间之间的运输台车路线考虑了多种方案。但是综合研究了运输台车的周期时间、设备投资及设备的维修保养等条件，决定采用一台转车台加两台活塞运输台车的方式。如图 1 (b) 中所示的那样，运输距离约 345m，大约用 3min 就可连接上。典型的铸坯运输方式示于图 2。长铸坯每次运输一根，短铸坯同时可运输两根。