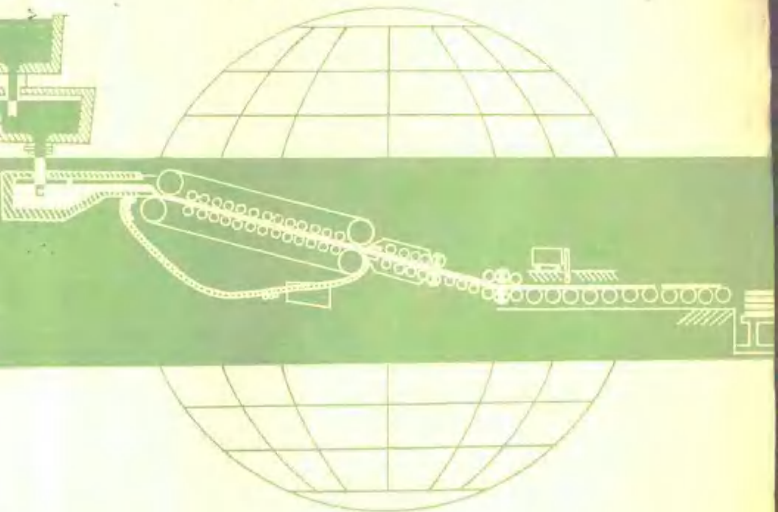


# 国外连铸新技术

(五)

薄板坯连铸



冶金部情报研究总所

1988年1月

## 前 言

目前,连续铸钢已成为现代化钢铁生产不可缺少的一环,连铸技术日臻完善。有些国家的连铸生产已接近饱和。近年来,国外连铸发展的趋势是,开发尽量接近最终产品尺寸的薄板坯及带钢连铸技术。利用移动式结晶器的双带式、辊式、喷射沉积及电磁法等薄板坯及带钢连铸技术,在某些特殊领域(如高硅钢薄带、不锈钢带及非晶态材料等)已实现了工业化生产。尤其引人注目的是,近一、两年来,利用传统弧型板坯连铸机及其成熟技术,直接浇铸厚度小于50mm薄板坯的连铸技术取得了突破性的进展。如联邦德国施罗曼-西马克式的、曼内斯曼-德马克式的、意大利丹尼里式的弧型薄板坯连铸机已完成了工业试验,开始进入大批量工业生产,致使连铸技术进入了新一代。从而,进一步大幅度的节约了能源、金属和资金,并创制出了新材质。

为迎头赶上世界先进水平,特组织翻译出版了“国外连铸新技术”(五)——薄板坯及带钢连铸专辑。希望有关领导及从事连铸工作的科技人员能从中获得情报信息,以博采众家长,为我所用。

本文集收集了80年代以来各种国际会议、技术交流、冶金期刊、专利等重要文献。内容比较丰富,包括综合评述、薄板坯连铸的最新发展、双带式薄板坯连铸设备及工艺、辊式带钢连铸设备及工艺、喷射沉积及电磁法生产带及薄板和专利索引等6个部分,计70多篇文章,近200条专利索引,共50余万字。

本文集由冶金部情报研究所负责组织翻译出版工作,阎峰同志担任主编。在出版过程中得到科技司吴月华同志、冶金部自动化所邓君明同志、连铸学会秘书长陈增琪同志及“连铸通讯”主编曹广鹏等同志的指导与大力帮助,在此深表感谢!由于编者水平有限,时间仓促,定有不当和错误之处,诚恳欢迎专家、读者批评指正。

编 者

1988年1月

TF 77

880037

## 前 言

目前,连续铸钢已成为现代化钢铁生产不可缺少的一环。连铸技术日臻完善。有些国家的连铸生产已接近饱和。近年来,国外连铸发展的趋势是,开发尽量接近最终产品尺寸的薄板坯及带钢连铸技术。利用移动式结晶器的双带式、辊式、喷射沉积及电磁法等薄板坯及带钢连铸技术,在某些特殊领域(如高硅钢薄带、不锈钢带及非晶态材料等)已实现了工业化生产。尤其引人注目的是,近一、两年来,利用传统弧型板坯连铸机及其成熟技术,直接浇铸厚度小于50mm薄板坯的连铸技术取得了突破性的进展。如联邦德国施罗曼-西马克式的、曼内斯曼-德马克式的、意大利丹尼里式的弧型薄板坯连铸机已完成了工业试验,开始进入大批量工业生产,致使连铸技术进入了新一代。从而,进一步大幅度的节约了能源、金属和资金,并创制出了新材质。

为迎头赶上世界先进水平,特组织翻译出版了“国外连铸新技术”(五)——薄板坯及带钢连铸专辑。希望有关领导及从事连铸工作的科技人员能从中获得情报信息,以博采众家之长,为我所用。

本文集收集了80年代以来各种国际会议、技术交流、冶金期刊、专利等重要文献。内容比较丰富,包括综合评述、薄板坯连铸的最新发展、双带式薄板坯连铸设备及工艺、辊式带钢连铸设备及工艺、喷射沉积及电磁法生产带及薄板和专利索引等6个部分,计70多篇文章,近200条专利索引,共50余万字。

本文集由冶金部情报研究总所负责组织翻译出版工作,阎峰同志担任主编。在出版过程中得到科技司吴月华同志、冶金部自动化所邓君明同志、连铸学会秘书长陈增琪同志及“连铸通讯”主编曹广畴等同志的指导与大力帮助,在此深表感谢!由于编者水平有限,时间仓促,定有不当和错误之处,诚恳欢迎专家、读者批评指正。

编 者

1988年1月



李健

8/01

# 目 录

## 第一部分 综合评述

- 一、薄板坯及带钢连铸.....大西正文( 1 )
- 二、带钢和薄板坯连铸概况..... M.Cyglar 等( 8 )
- 三、带钢和薄板坯连铸的发展.....( 18 )
- 四、美国薄板坯连铸现状.....Hans-Jugen Peters( 19 )
- 五、美国钢公司和伯利恒钢公司开发薄断面连铸技术.....( 22 )
- 六、Hazelett双带式薄板坯连铸机.....Peter C.Regan( 24 )
- 七、Hazelett双带式连铸机在美国纽克尔(Nucor) 钢公司的发展简介.....  
.....Mark D.Millett( 33 )

## 第二部分 薄板坯连铸的最新发展

- 一、在布什铸钢车间的试验设备上连续浇铸薄板坯..... E.Höfken( 35 )
- 二、联邦德国施罗曼-西马克(SMS)公司的高速带钢连铸机的最新发展及操作结果.....  
..... H.F.Marten 等( 45 )
- 三、美国纽克尔钢厂选用联邦德国施罗曼-西马克公司的薄板坯连铸机和直接轧制轧机  
.....( 52 )
- 四、丹尼里公司的薄板坯连铸-连轧技术.....( 54 )
- 五、曼内斯曼-德马克公司采用铸-轧工艺生产薄板坯的连铸技术.....( 60 )

## 第三部分 双带式薄板坯连铸设备及工艺

- 一、Hazelett双带式连铸机.....( 64 )
- 二、薄板坯连铸机.....( 65 )
- 三、薄板坯连铸机.....( 68 )
- 四、薄板连铸装置.....( 72 )
- 五、钢板的连铸装置.....( 75 )
- 六、川崎钢铁公司将其薄板坯连铸机公诸于世..... Roger Schreffler( 78 )
- 七、薄板坯水平连铸试验设备.....( 80 )
- 八、把惰性气体用于连铸熔融金属的移动式结晶器表面和注入的金属上的方法和装置  
.....( 82 )
- 九、双带式连铸机及其操作(薄板坯连铸技术的确立 第1报).....高本勉 等( 94 )
- 十、双带式连铸法及其装置.....( 95 )
- 十一、薄板坯连铸工艺.....Kiyoto Ushijima 等( 105 )
- 十二、薄板坯的连铸方法.....( 112 )
- 十三、薄板坯连铸方法.....( 115 )

十四、用薄板坯连铸机浇铸薄板坯的方法	(119)
十五、双带式连铸机的铸坯质量(薄板坯连铸技术的确立 第2报)	吉原正裕 等(122)
十六、用双带式连铸机连铸薄板坯时的凝固冷却特性	杉谷泰夫 等(123)
十七、薄板坯的排热和连铸机的概念	野崎努 等(128)
十八、水平双带式薄板坯连铸机的研究和凝固特性	Seiji Itoyama 等(134)
十九、结晶器内窄边的凝固现象(用水平式双带法浇铸薄板坯的研究之二)	系山誓司 等(137)

#### 第四部分 辊式带钢连铸设备及工艺

一、薄金属带的制造设备	(139)
二、薄板连铸机	(143)
三、用连铸法生产金属薄板的设备	(145)
四、直接轧制式金属板连铸机	(150)
五、旋转浇铸装置	(153)
六、带材浇铸的方法和装置	(158)
七、采用随意调节水口至铸轮间距的浇铸金属带的方法和装置	(164)
八、制造宽金属带用的水口	(171)
九、浇注急冷金属薄带用的水口	(174)
十、制造非晶态金属用的喷嘴	(176)
十一、制造急冷薄带用水口的冷却方法	(178)
十二、水口装配	(181)
十三、合金薄板的生产方法	(188)
十四、双辊式薄板坯制造方法的研究	西國信一 等(189)
十五、双辊浇铸工艺的研究	Kiminari Kawakami 等(193)
十六、用双辊连铸机生产薄板坯的拉坯试验(双辊式薄板坯连铸机的开发第1报)	竹本弘德 等(202)
十七、日本金属工业公司的直接连铸带钢法	(203)
十八、用异径双辊法直接浇铸不锈钢薄板	速山直人 等(205)
十九、浇铸特殊钢带钢	J.F. Grubb 等(208)
二十、急冷薄带的制造方法	(214)
二十一、铸铁和高碳钢的快速凝固特性	Chisato Yoshida 等(218)
二十二、较厚的非晶态合金薄带的制造方法	(223)
二十三、非晶态合金薄带的制造方法	(228)
二十四、非晶态金属薄板的连铸方法	(231)
二十五、非晶态金属合金带及其生产方法	(235)
二十六、用带式浇铸法生产钢铁薄板的特性	高池 草川 等(246)
三十七、用双辊凝固法制造铸铁薄板及其机械性能	草川 隆次 等(252)
二十八、用双辊法的层流及紊流钢水制造薄板及其特性的比较	草川 隆次 等(253)
二十九、钢的快速凝固的研究(双辊连铸机的钢的凝固)	Akio Kasama 等(255)

三十、在双辊式薄板连铸机上的凝固冷却特性(双辊式薄板连铸研究之二).....	竹本弘郷 等(260)
三十一、从环缝水口流出的金属液的落下行为.....	高木政明 等(262)

#### 第五部分 喷射沉积及电磁法生产带及薄板

一、连续生产带铜的一种大有前途的方法——喷雾成形的评价.....	A.R.E.Singerl 等(264)
二、喷射沉积成形技术.....	W.Reichst 等(269)
三、用喷射法生产金属带和板坯.....	(274)
四、急冷高硅钢薄带的制造方法.....	(277)
五、钢板的直接制造方法.....	(280)
六、金属薄板的连续浇铸法及其装置.....	(285)
七、无结晶器连铸方法成立的条件(关于用电磁力支承金属液的探讨之一).....	小林纯夫 等(287)
八、用电磁力保持金属液形状(通过电磁力保持金属液的探讨之二).....	小林纯夫 等(289)
九、薄板的水平式电磁浇铸及其稳定性分析.....	小塚敏之 等(290)

#### 第六部分 专利文献索引(80年代以来)

一、1980年.....	(292)
二、1981年.....	(294)
三、1982年.....	(296)
四、1983年.....	(298)
五、1984年.....	(302)
六、1985年.....	(306)

# 第一部分 综合评述

## 一、薄板坯及带钢连铸

大西正文

### (一) 绪言

从钢水直接得到接近最终产品尺寸和质量的材料是钢铁工作者多年来的梦想。迄今, 还只能连铸作为H形钢坯料的大方坯, 和作为无缝钢管坯料的圆坯及中空坯。但是, 最近日本和欧美的钢铁生产厂和钢铁机械制造厂开发的薄板坯及带钢连铸技术, 可以说恰好实现了这个梦想。

薄板坯和带钢连铸, 不仅省略和简化了生产过程, 降低设备和操作费用, 而且随着铸坯厚度的减薄, 可望利用快速凝固效果创造出新材质和赋有新机能的材料。

本文归纳整理了日本及其它欧美国家开发薄板坯和带钢连铸的意义, 研究开发的现状和今后的课题。

### (二) 开发薄板坯和带钢连铸的目的

开发薄板坯和带钢连铸的目的, 一是通过省略和简化生产过程而降低设备和生产费用, 二是为了直接连铸成用以往的方法不能轧制的特殊钢薄板, 三是通过急冷凝固创造出新材质和赋有新机能的材料。

薄板坯和带钢连铸得到的铸坯厚度和冷却速度按表1分类。薄板坯连铸得到的铸坯厚度为20~50mm, 其目的是省略热轧, 可从连铸坯直接进行精轧。带钢连铸得到的铸坯厚度<10mm, 其目的是省略热轧制。薄板坯和带钢连铸有共同的技术要点, 但基本上是不同的技术, 现分别介绍如下。

在普通钢方面, 完全省略热轧制, 在浇铸状态下得到最终产品, 或者从浇铸材料直接进行冷轧得到冷轧产品, 从材质上是非常困难的, 在冷轧前必须进行某种热加工。而且考虑到带钢连铸的生产率, 与现在的大批量生产过程相匹配相当困难。因此, 普通钢以薄板坯连铸为主的可能性比较大。而不锈钢通过将铸态的铸坯进行冷轧和退火后可得到符合要求的材质特性, 因此, 对于不锈钢开发省略生产过程效益显著的带钢连铸的可能性比较大。

#### 1. 因省略生产过程使成本降低

近年, 连铸-直接热轧工艺的工业应用, 达到了进一步节能。最近研究的不同工艺的连铸-热轧间的能量消耗如图1所示。薄板坯连铸比现在的连铸-热装炉工艺的能耗降低 $1.5 \times 10^5$  kcal/t。同时, 薄板坯连铸-热精轧工艺与传统的连铸-热轧工艺相比, 建设费用低40~50%, 操作费用低10~20%。但是, 废弃现有的连铸-热轧工艺, 采用薄板坯连铸-热精轧工艺, 很难得到如此大的效益, 在现有的工艺落后需要更新时, 或者新建连铸机或热轧机时, 这种工

艺是非常有吸引力的。

另外，通过带钢连铸省略热轧工序的好处很大，在材质没有问题的不锈钢中，一部分已经实现了工业生产。

### 2. 生产难轧制材料薄板的可能性

以往认为不能轧制的铸铁，浇铸成1~2 mm厚的板坯，然后再用小压下率轧制，可以很容易轧制成铸铁薄板。另外，难轧制的不锈钢(SUS309等)浇铸成1~2 mm厚的板坯以后，再通过冷轧，也可以进行无缺陷轧制。以往不能生产的含Si4.5~5.5%的硅钢，通过带钢连铸可以生产电磁性能良好的薄板。

### 3. 通过快速凝固固出新材质

快速凝固可以生产非晶态金属(冷却速度 $>10^7$ °C/s)，扩大合金元素的固溶度，细化组织和析出物。利用这些效果可赋予素材特异的机能，因此，可创出新的材质。

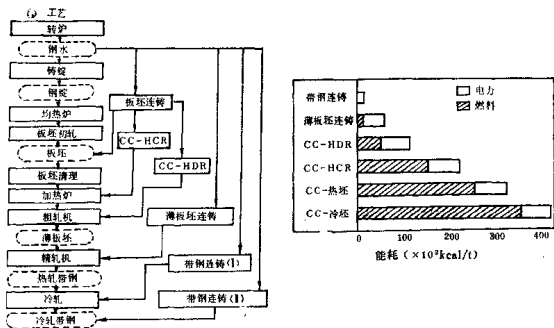


图1 连铸-热轧的各种工艺及其能耗

表 1

薄板坯及带钢连铸的分类

工 艺	铸坯厚度 (mm)	冷却速度 (°C/s)	方 式	效 果
薄板坯连铸	20~50	$10^2 \sim 10^3$	双带式 板坯结晶器	○省略热轧中的粗轧 ○普通钢、不锈钢
带钢连铸 (I)	1~10	$10^2 \sim 10^3$	双辊式	○省略热轧(不锈钢) ○难加工材料的薄板的生产 特殊不锈钢、铸铁、硅钢
带钢连铸 (II)	<1	$\geq 10^4$	单辊式 双辊式	○形成非晶态组织 ○细化组织



### (三) 薄板坯和带钢连铸的历史

从钢水直接得到钢板的尝试历史已经非常悠久了。H·Bessemer于1856年在St·Pancras厂把钢水浇铸到两个轮子之间，铸成厚1 mm、长1 m的薄板（如图2所示）可以说是个开始。以后，Hazelett提出环辊轧机（ring mill）的方案，1940年证实了浇铸硅钢和不锈钢的可能性。但是，由于质量问题和相关技术不充分等原因，未能实现工业化生产。

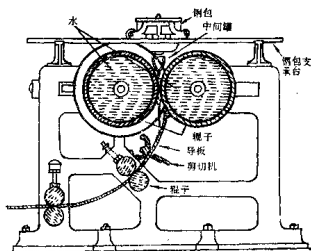


图2 Bessemer式双辊连铸机

60年代作为薄板坯连铸机，在有色金属工业中实现了工业化的Hazelett式双带连铸机（见图3）受到注意，试验浇铸薄钢板坯。此后，美国的伯利恒钢公司（1966年）、美国钢公司、俄勒冈钢分公司、法国的于吉纳公司、日本的金属材料研究所等分别设置了试验设备进行试验。设备本身无论在机械性能方面还是在热性能方面，都没有问题。但是，最突出的问题是如何把钢水铸入25~50mm宽的移动的结晶器内。此外，钢水的清洁度也是一个问题。

1973年的石油危机是目前日本和欧美开发薄板坯和带钢连铸技术的重要原因。

在美国，薄板坯和带钢连铸是作为钢铁工业节能的一个大目标提出的。并随着这项技术的发展设立了能源部（DOE）。

此外，美国钢铁界正在探索世界领先的下个世纪的技术。提出了从矿石直接炼钢的方法和直接生产钢板的方法。由政府提供资金，钢铁界进行研究开发。对直接生产钢板进行了可行性研究。在此基础上，美国钢公司—伯利恒钢公司、阿姆科钢公司—西屋电气公司等集团开始进行研究。

在日本，自石油危机以来，连铸比和热装炉率不断提高，并向直连轧制等节能方向发展。同时，为了进一步降低成本和通过急冷开发新材质和赋有新机能的材料，开始了薄板坯和带钢连铸的研究开发。

在欧洲，英国钢铁公司（BSC）用欧洲煤钢联盟（ECSC）基金也进行了薄板坯水平连铸的研究。而主要的开发研究工作是机械制造厂旨在为小钢厂用的薄板坯连铸的研究。

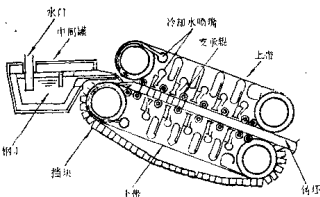


图3 Hazelett式双带连铸机

#### (四) 薄板坯及带钢连铸机研究开发的现状

薄板坯连铸机在不少公司进行了研究，从基础试验到接近中间设备的试验进行了各种各样的研究。但是均处于开发阶段，除了一少部分特殊钢的带钢连铸外，作为大批量的生产设备尚未实现工业化生产。

日本开发的现状如表2所示。作为薄板坯连铸开发了水平式双带连铸机(图4)、Alusuisse式的板块连铸机(图5)、Hazelett式连铸机等。D公司在40mm厚×600mm宽的中间试验设备上完成了确认性试验，又设置了1200mm的宽板坯试验连铸机，着手以实用化技术为目标的研究开发。另外，作为带钢连铸，以浇铸不锈钢的双辊法为主。

表2 薄板坯和带钢连铸在日本开发的情况

工 艺	开 发 者	方 式	铸坯尺寸		浇铸速度 (m/min)	浇铸钢种
			厚 (mm)	宽 (mm)		
薄板坯连铸	B公司	板块式(图5)	25~50	200	15	普通钢、不锈钢
	C公司	水平双带式(图9)	20~30	100~150	0.7~12.5	普通钢
	D公司	Hazelett号(图3) 2号	20~80	600	5~15	
			30~50	1200		
带钢连铸	A公司	双辊法	3	750		不锈钢、低碳钢
	B公司	双辊法	2~20	100	1~25	不锈钢
	C公司	双辊法	0.12~0.5	100~350	3~12m/s	硅钢、不锈钢
	D公司	双辊法	0.05~0.1		3~13m/s	硅钢、不锈钢
	E公司	双辊法	1~2	260	5~10	铸铁
	F公司	异径双辊法	2~3	300	18~30	不锈钢
	G公司	双辊法	0.1~0.25	10	5~15m/s	不锈钢
	H大学	双辊法	1	100	25~40	不锈钢

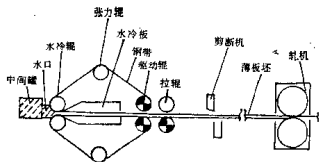


图4 水平式双带连铸机

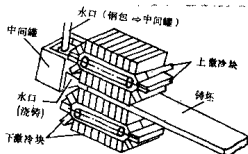


图5 板坯式连铸机

薄板坯及带钢连铸在欧美的开发情况如表3所示。在能源部资金援助下，美国钢公司和伯利恒钢公司联合开展研究，进行Hazelett式薄板坯连铸的开发。其今后的发展动向将引人注目。此计划是将25mm厚的薄板坯热轧成2.5mm，再进行冷轧退火，得到质量符合要求的冷轧钢板。初步估算，设备费降低35美元/t，操作费降低45美元/t。

美国最大的小钢厂纽克尔（Nucor）设置了Hazelett式的薄板坯连铸机，如果预备试验的效果好，便将其移至预计1988年或1989年投产的新建轧机附近〔注：纽克尔钢厂最近停止使用Hazelett式的连铸机，改用施罗曼-西马克（Schloemann-Siemag）式的连铸机〕。此计划成功的话，钢板的成本比现在的板坯连铸法便宜50~100美元/t，设备费为传统钢板生产设备的50%以下。

最近，西德施罗曼西马克公司开发了一种新的浇铸薄板坯的方法，如图6所示。这种方法采用漏斗式的结晶器，在结晶器内收缩。与以往的连铸一样，浇铸时结晶器振动，而且使用粘度极低的保护渣。其铸坯尺寸，厚度为40~50mm，宽度为1200~1600mm。铸速为5~6m/min。

此外，阿·勒德隆钢公司用单辊法连铸不锈钢带钢。直接浇铸<1.3mm厚的带钢的工业规模的连铸机正在建设之中。610mm宽的一流铸机30min可浇铸5t。

阿连德公司从1972年开始研究，已研制成功用单辊法连铸82mm宽的带状非晶态合金，每年可生产1~1.5万吨的非晶态材料。

如上所述，薄板坯连铸是作为普通钢大批量生产的方式而开发的，而带钢连铸则是作为不锈钢等特殊钢的浇铸方式开发的。

对于普通钢，如前所述，从材质上采用带钢连铸很困难。根据现在的热带卷厚度及其必要的压下量计算，薄板坯连铸的最佳厚度为25~30mm。这样薄的板坯与现代化的大生产设备相配合很困难，其浇铸速度必须在10~20m/min，传统的连铸结晶器保护渣的润滑方式已不适用，结晶器必须与凝固壳同步。这种情况，双辊法从其凝固速度考虑，铸坯的厚度不会太厚（1~10mm为界）。从而，考虑以用两对带的同步连铸为主，开发了Hazelett式、板块式、水平带式连铸机。

表3

薄板坯及带钢连铸在欧美开发的情况

工 艺	开 发 者	方 式	铸坯尺寸		开 发 的 情 况
			厚 (mm)	宽 (mm)	
薄板坯连铸	美国钢公司 伯利恒钢公 司	Haze'ett	10~25	1200	○美国能源部5年间援助资金3000 万美元 ○宽300mm,60t/h ○最终制造宽度为1800mm的汽 车 用钢板
	美国纽克尔 (Nucor) 钢公司▲	Haze'ett	25~37.5	1320	○预计1986年底引进设备,年产25 ~40万吨 ○浇铸钢种为生产垫板和板的普通 钢
	英国钢铁公司	上部开口的移动式 结晶器(图7)	75	500	○浇铸适于轧制厚板或带钢的薄板 坯 ○最高速度6t/min
	克虏伯钢公司	Haze'ett式	70	150	○为了可以进行在线直接轧制,铸 速为10m/min
	西德施罗曼- 西马克公司	传统结晶器式 (图6)	40~50	1200~1600	○传统结晶器+保护渣润滑 ○铸速5~6m/min ○100炉以上的结果
带钢连铸	阿姆科公司 西屋电气公司	单辊法(图9)	0.75~3.1	75 900	○美国能源部援助资金260万美元 直接浇铸冷轧板坯 ○最终浇铸宽度为1800mm的汽 车 用钢板的铸坯
	阿连德 (Allied)钢公司	单 辊 法	0.028	100	○建成了生产1~1.5万吨非晶态合 金的设备 ○不久将生产宽度增加到200mm的 铸坯
	阿·勒德隆 (Allegheng Ludlum) 钢公司	单 辊 法	0.4~1.5	560	○以浇铸不锈钢为中心进行试验  ○目标是生产冷轧板

▲现已停止此项计划,改用固定式结晶器铸机一译者

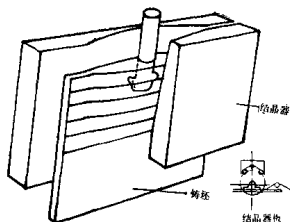


图6 施罗曼-西马克式薄板坯连铸机

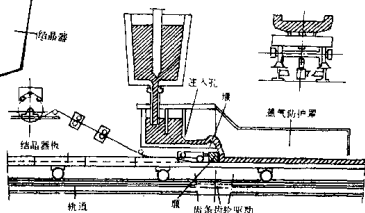


图7 BSC(英国钢铁公司)式水平板坯连铸机

### (五) 课题与今后的展望

薄板坯及带钢连铸实现工业规模操作的还很少,表1、表2中列出的大部分尚处于试验研究阶段,实现工业化尚有许多应该解决的课题。

作为薄板坯连铸的课题是,包括夹杂物和表面缺陷等质量如何达到现有冷轧钢板和不锈钢板的水平。回顾过去开发的经过,在夹杂物方面做了许多工作。重要的是高清洁度钢的冶炼技术,和在20~50mm厚的高速运动的结晶器内均匀而且不受空气氧化的完全密封的浇铸技术。进而,不发生表面缺陷(裂纹、凹坑等)的冷却方法,包括压下率等的热精轧方法,也是今后研究的课题。同时,从机械的观点来看,作为大生产的设备时,带、辊等的耐久性问题,或者因以近10倍于现有连铸速度浇铸操作安全性的确保,以及由于与精轧机连接进行直接轧制,散热量大的薄板坯比现有的连铸坯更难保温和温度均匀性的确保等,也是重要的研究课题。

其次,在带钢连铸方面,考虑用其作为冷轧坯料时,重要的是哪些钢种能满足质量的要求。在操作方面,今后的重要课题是,与薄板坯连铸一样,在完全密封的条件下进行浇铸的技术;防止辊面与端部液面差别的技术;能均匀浇注钢水的喷嘴;以及考虑到铸坯厚度的均匀性,带钢连铸可以达到的宽度等。

迄今,如上所述,带钢连铸对于不锈钢等特殊钢省略热轧工序的效益较大,可将难加工材料浇铸成薄板创出新材质,同时设备也比较简单,所以,估计今后该技术的开发定会加速。

另外,薄板坯连铸是用连铸坯生产薄板的方向。在现有的设备老化需要更新时,或新建带钢热轧机时,采用薄板坯连铸可大幅度降低设备费和操作费。今后将向工业化的方向发展。

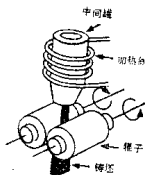


图8 双辊法之一例

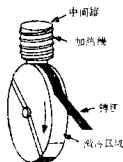


图9 单辊法示意图

### (六) 结束语

上面介绍了薄板坯及带钢连铸的现状。虽然进行了许多研究开发，而达到工业化的还很少。但是，通过这些新型连铸机的研究开发，除了可以大幅度节能、降低投资费用外，可望创出以往没有的新材质。今后将进一步进行研究，估计近期内将会达到工业化的目标。

译自《炼钢界》1987年第2期

贺秀芳 阎峰 译 校

## 二、带钢和薄板坯连铸概况

M. Cygler 等

### (一) 绪言

传统的连铸法（用固定的、垂直振动的结晶器）的应用，已达到十分成熟的阶段。一些国家的连铸比已接近饱和。目前，投产或正在建设的连铸机列于表1。

表 1 已投产或正在建设的连铸机一览表

类型	康卡斯特公司	其他制造厂家	总计
板坯	97 (137)	236 (381)	333 (518)
大方坯	99 (376)	203 (747)	302 (1123)
小方坯	251 (844)	462 (1421)	683 (2265)
总计	447 (1357)	871 (2549)	1318 (3906)

下一步改善炼钢效益的目标是能够生产接近于最终产品尺寸的连铸坯。目前，已经获得明显进展的一个领域是优质钢小方坯的连铸。带有弧型结晶器的超低头连铸机或带有水平结晶器的水平连铸机的另一优点是可以装在原有的厂房内。超低头连铸机也可以用于一般厚度的板坯或大方坯的连铸。

生产扁平轧材的接近最终形状的连铸面临着以下几个急待解决的问题：

1) 为了使浇铸时间与炉子的冶炼周期相匹配，要求相当高的浇铸速度（图1）。

2) 以高铸速浇铸长周边的铸坯导致固定式振动结晶器内的摩擦力过大；

3) 钢的清洁度和铸坯的表面质量都应该是“完美的”，内部也应该是无缺陷的，以适应后步加工变形过程中轧制率的降低。

为了解决结晶器的摩擦问题，考虑采用“移动式结晶器”的原理，这一原理早已在有色金属工业中广泛应用。解决这个问题的其它的尝试，仍是以垂直振动式结晶器为基础，甚至

把水平连铸机也作为一种选择方案。这些不同的连铸方法将在下面通过适当的例子进行评价和说明。但是，由于能够得到的有关最新发展情况的资料有限，所以不能进行全面的评价。尽管专利文献很多，也不适于进行全面的评价。

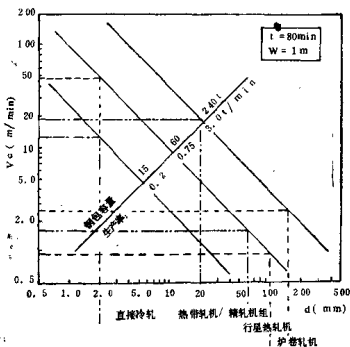


图1 铸速与铸坯厚度的关系(对于浇铸80min要求的生产率条件下)和允许采用的轧制方法

## (二) 历史概况

直接浇铸扁平铸坯方法的研究可以追溯到上个世纪。这种想法的杰出倡导人是亨利·贝氏麦 (Henry Bessemer)。早在1846年他就提出用“拉铸”法生产平面玻璃。1856年他采用上部注入液体金属的双轮法成功地浇铸了钢及可锻铸铁(最大厚度为2.5mm)。他在1891年撰写的一篇论文中曾提到在德国和美国也开发了这种方法。有关移动式结晶器铸机的另一篇文章是哈里德 (Halliday) 撰写的。

这一原理的进一步的发展出现了移动式结晶器的连铸机。在这种连铸机上，移动式结晶器由配置在一对无头链式传送装置的半结晶器托板组成，也就是“双带”式连铸机。这种类型的连铸机早期的例子有，1872年Wilkinson和Taylor获得的英国专利，1885年Matthes和Lash获得的美国专利，以及1913年Mellen获得的美国专利。在苏联，由Goldobin设计的这种连铸机，于1938年在库兹涅茨克钢铁联合企业投产，生产100mm小方坯。以后他设计的这种连铸机用于莫斯科“镰刀与锤子”冶金工厂及布良斯克的“别诺列茨克”冶金厂。在这台铸机上早已设置了Co60钢水面控制装置。

1893年Wood提出的英国专利中介绍了一种有4个带的(每面一个)类似的连铸机。但是这种连铸机浇铸的铸坯断面较厚。在苏联，这种连铸机是于1937年由Gridin和Frolov, 和

1939年由Ksenofontov建造的。1944年Granat(在高尔基厂)设想了一种联合式铸机,这种铸机由倾斜式(30~40°)固定结晶器和后面的双带拉坯装置组成。Granat的连铸机由中间包通过倾斜的耐火材料注管向结晶器内注入钢水,可通过塞棒控制注流。小方坯的尺寸范围为150~300mm方。根据“停、拉”原理,铸速在0~2m/min之间交替变化。

C.W.Hazelett根据贝氏麦的原理,于20世纪20年代开发了双轮式连铸机,用这种铸机连铸了1.5mm厚的锡铅带(用于制造蓄电池的铅板)。于30年代美国增钢公司的阿尔塔厂试图用Hazelett设计的380mm宽的钢水连铸机,在生产率为0.2t/min的条件下生产3mm厚的高碳钢和不锈钢带钢。

在苏联,Ulitovskii于1934年在列宁格勒设计了一台倾斜注入钢水的双轮式连铸机。这种方法可以生产宽500mm,厚1.2mm的铸铁薄板,用于一些不重要的地方,如屋顶等。到1952年建了两台连铸机,每台的能力为50000t/a,设定的铸速为0.7m/min,生产率最大为1.5t/h。

但是,二次大战后大部分开发工作几乎都集中在西半球。近期则集中在日本。苏联的积极性不大,最近只是对开发水平连铸机特别感兴趣。这种带有振动的两个结晶器的水平连铸机适于生产1000mm宽的薄板坯,宽厚比仅为5:1。

因此,下面的评述仅涉及到西方和日本的发展情况。带钢和薄板坯的浇铸不同。带钢的制造方除了浇铸以外,还有其它的方法,例如雾化法,喷射轧制法等。在此评述中不包括这些方法。

### (三) 带钢的连铸

极薄带的直接浇铸早已在生产金属箔中获得成功。发展了许多方法,并且凝固组织随着冷却速度的增加而进一步细化(图2)。冷却速度在10°K/s以上称为“快速凝固”,对于某些合金可导致非晶态组织。图3表示用旋转浇铸宽达300mm,厚为20~30μm的带材。这种单轮铸机是由Basle大学和康卡斯特标准公司联合开发的。尽管这种铸机的铸速达到设定的最高值25m/s,但每秒的产量只有几公斤。

几位开拓者曾作过用较厚的带钢直接进行冷轧的试验。东京早稻田大学提出了一种带有倾斜注入金属装置的双轮式连铸机(图4)。川崎钢铁公司用上部注入钢水的双轮式连铸机成功地生产了高硅(4.5~5.5%Si)钢带钢,厚度为120~500μm,宽度为400~500mm,铸速为3~12m/s。用这种方法生产的带钢具有良好的磁性。日本钢管公司用这种上部注入钢水的双轮铸机生产不锈钢带钢,其厚度为2~20mm,宽度为100mm。监测轮间隙中凝固过程的“轮作用力”好象是中心偏折的传感指示器。新日本钢铁公司也开发了一种双轮式连铸法。表2中列出了双轮法与传统连铸法浇铸板坯数据的比较。日本金属工业公司用“拉铸”式双轮铸机也生产了厚度为2mm左右的不锈钢带钢。阿·勒德隆钢公司报告了一种基于旋压浇铸(即旋转轮)的类似的连铸机。美国阿姆科公司与西屋电气公司联合开发了同样的连铸法。Battelle和美国钢公司开发了单轮液态拉铸法。

所有这些方法的额定铸速均可达到30m/min,但其生产率均不能与大批量生产相适应。为了达到要求的产量,Schwerdtfeger建议在立式双带连铸机上,以24m/min的铸速浇铸10mm厚的带钢。这种连铸机的产量与200mm厚、1.2m/min铸速的板坯连铸机的产量相当。而且双轮铸机浇铸的带钢具有非常细的凝固组织,更适于直接冷轧。通过这种方法浇铸的带钢,用60~80%的最佳冷轧压下率,最终产品的厚度最薄为2mm。

考虑到上述局限性,最近的大量研究开发工作倾向于薄板坯的研制开发。



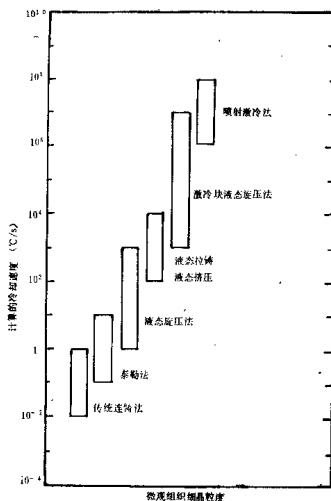


图2 各种连铸方法及其对微观组织细化的影响

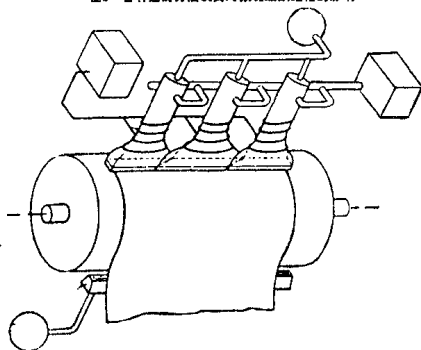


图3 康卡斯特标准公司和Basle大学设计的用于浇铸非晶态金属带的单轮连铸机