

薄板坯连铸连轧 专 集



上海第三钢铁厂

目 录

1. 目前欧洲近终产品形状的连铸技术的研究与开发	(1)
2. 薄板坯连铸机与带钢连铸机技术的发展	(18)
3. 薄板坯和带钢新的浇铸工艺——历史回顾与发展前景	(29)
4. 带钢和薄板坯连铸——综述	(49)
5. 连铸——热轧综合设备发展的趋势	(59)
6. 薄板坯连铸机的开发	(64)
7. 先进的近终产品形状的连铸技术不久将走向工业化生产	(73)
8. 净终尺寸与近终尺寸的连铸——小型钢厂的新发展	(79)
9. 薄板坯连铸连轧	(84)
10. 近终产品形状浇铸的质量状况	(94)
11. 单辊带钢连铸工艺过程控制依据	(104)
12. 双辊铸轧过程的模拟	(112)
13. 双辊连铸机钢液的供给	(117)
14. 曼内斯曼·德马克热轧带钢和厚板生产用的薄板坯连铸概念	(128)
15. 曼内斯曼钢管公司(MRW)薄板坯浇铸与铸——轧工艺	(140)
16. 纽科公司薄板坯厂投产	(151)
17. 瑞典阿维斯塔公司增加板坯宽度的 VAI 连铸工艺和薄板坯连铸	(158)
18. 纽科钢铁公司新薄板坯连铸机 CSP 工艺第一年的操作评估	(166)
19. CSP 设备工艺及其对扩大生产计划的适应性	(179)
20. Arvedi 意大利第一家优质连铸连轧带钢生产的小型钢厂	(191)
21. CPR—铸压机—生产带钢近终产品形状的浇铸工艺	(205)
22. 灵活高质量生产热轧带钢的 Concoll 工艺	(212)
23. TSP—一种薄板坯连铸连轧的新方法	(222)
24. TSP—Steckel 轧机参与薄板坯竞争	(231)
25. 第一家带钢连铸连轧生产(I.S.P)小型厂与其他带钢生产线的比较	(233)
26. 铸——轧设备用的电气设备	(245)
27. 根据近终产品形状的钢铸坯的微观组织分析凝固行为	(249)
28. 304 不锈钢带钢坯的物理冶金	(257)
29. 薄板坯连铸精炼工艺的要求	(263)
30. 铸轧和浇铸厚度对薄板坯及其成品性能的影响	(268)

目前欧洲近终产品形状 的连铸技术的研究与开发

〔法〕Jean—Pierre Birat lrsid

〔德〕Rolf Steffen VEDh

近十年内, 欧洲在开发薄板坯或带钢连铸技术方面发挥了非常积极的作用。

在薄板坯方面, SMS、MDH、Danieli 和 Voest—Alpine 表明薄板坯高速连铸在小型钢厂可能使它生产出较经济的扁平产品。起源于技术族的美国(纽科)和意大利(Arvedi)的二个工厂正在投产或在建造阶段。如 Hazelett 连铸机在带之间的浇铸, 与克虏伯试验的一样, 已证明不成功。具有水平连铸机的英国钢公司和与 CPR 技术协作的 Thyssen / Usinor—Sacilor / SMS 正在探讨新的领域。

在带钢浇铸方面, 这方面的项目是很多的, 并且涉及到从单辊到双辊和带与辊子工艺的大多数的可能性的技术。虽然他们仍然在可行性基本论证阶段, 但是有些已明显地显示了积极作用, 并在德国(Krupp—VDM)、法国(Losid)、意大利(CSM—Ilva)或奥地利(Voest—Allegheny Ludium)进入了半工业生产试验性阶段。

在欧共体内, ECSC (欧洲煤钢联营) 钢铁技术研究在欧洲钢铁工业技术现代化中是个重要因素, 并起到重要的促进作用。特别是在带钢浇铸方面, 正如本文所示。

× × × × × ×

近终产品形状的连铸(NNSCC)技术在80年代开始发展, 人们认为90年代会全部工业应用。这样, 钢铁工业将经历一个主要技术变革, 21世纪将会实现工业化生产。

近十几年内, 欧洲在 NNSCC 领域方

面起到了积极实验的作用。实际上, 一些成果已公开发表, 但是若干年内大部分仍然离全工业化应用还有一段距离, 所以大部分没有什么起色。

根据欧洲 NNSCC 状况的内部经验和 NNSCC 所涉及各种研究和开发队伍与欧洲委员会的鼓励, 本文将企图描绘 1990 年 Old Continent 在这个领域方面技术发展水平的最新蓝图, 它将有助于回答由瑞典到意大利, 英国与法国到德国以及奥地利进行的研究工作所需要更多的信息。另外, 也为欧洲致力于将来赌注投入规模提供正确的途径。

NNSCC 定义将有助于确定评议的极限。首先, 除了主要用 Incowwasp 工艺在各实验室进行的研究工作之外, 因小方坯或线材的近终形状浇铸几乎不存在, 我们将限制在讨论扁平产品连铸上, 厚度明显小于常规 CC 板坯的任一产品, 即薄于 100mm, 被认为是可行的。而非晶体或微晶材料的带材浇铸不讨论。从工艺和产品的角度来看, 其实它属于一个不同的领域。

本文中, 我们认为薄板坯大于 40mm 厚度不能卷取。带钢此词将用来作为可卷取的产品, 例: 假如带钢坯厚度小于 40mm, 则薄带小于 1.5mm。

欧洲发展状况 (ECSC 内外)

表 1 简单分析说明了欧洲近终产品形状浇铸多种多样。从工艺角度来看, 涉及到各个方面, 从固定式或移动式结晶器薄板坯浇铸到带钢和薄带浇铸, 单辊或者双辊, 或者

轮带浇铸（图 1）。喷雾浇铸起源于欧洲， 并开花结果。

表 1 欧洲近终形状的浇铸

国家	工艺	公司	厚度 (mm)	宽度	规模	炉子	状况
奥地利	单辊	Voest-Alpine	0.5 / 1	250	最新型	5 吨	Allegheny 合作 89 年开始
	双辊	"	0.5-8	250	"		
	振动结晶器	"	80	1290	试验		
法国	单辊	Irsid(Eureka)	0.5-1.2	200	最新型	300Kg ^{-8t}	75 停 91 年开始
	双辊	Clecim	1.5 / 12	200	"	300kg	
	"	Irsid	10 / 2	200	"	300kg ^{-8t}	
	"	Irsid-Clecim	1.5-5	800	样板炉		
德国	带式 and 辊式	Clausthal 大学	5 / 10	150	最新型	500kg	89 年开始 86 年停 89 年开始 89 年开始 89 年开始
	Hazelett 双带式	克虏伯钢公司	20-40	400	试验		
	振动结晶器	曼内斯曼德马克	25	1900	"	220t	
	"	SMS Buschhütten	60-40	1600	"		
	振动结晶器十辊子	Thyssen / SMS / US	40-10	1200	"		
	辊子和辊子	Krupp Stahl, VDM	2	600	样板炉	10t	
	单辊	Krupp Stahl, Siegen	2		最新型		
	"	Thyssen Stahl	< 1	200	"	60kg	
	喷雾浇铸	曼内斯曼德马克	15	800	样板机		
	双辊	MDI	2	100	研究		
意大利	"	ZFW	1	110	"		89 年开始 89 年开始 89 年开始
	"	Thyssen Stahl / IRF	1-5	150	最新型	100kg	
	双辊	CSM	5-25	150	最新型	300kg	
	"	CSM	5-25	400 / 700	样机机	4-20t	
瑞典	"	Danieli			最新型		89 年开始 91 年开始
	振动结晶器	Danieli	50	1750	试验	30t	
	振动结晶器	Arvedi / MDH	15	1330	工业	包括 4 机座	
瑞典	振动结晶器	Avesta Voest-Alpine	1870	80	工业性		89 年开始
	双辊	ABB-Royal Inst. Techn			最新型		
瑞士	双辊	Concast Service			设计		
	水平机组	英国钢公司	15-75	500	样机	4t	
	双辊+粉浆	"	2	76	最新型	250kg	
	"	"	3	400	样机	4 ¹	

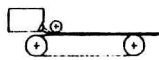
Process		Product thickness
Thin slab casting		50 mm
		25 to 50 mm
Casting press rolling		15 to 25 mm
Strip casting		5 to 10 mm
		1 to 5 mm
		1 to 5 mm
		< 3 mm
Spray casting		10 to 40 mm

图1 欧洲近终产品形状浇铸工艺

在 ECSC（欧洲煤钢联营）内已进行了大量的研究工作，但是瑞典和奥地利明显例外，具有相当大的贡献。

在欧共体内，ECSC 钢铁技术研究在欧洲钢铁工业技术现代化中已是个重要的因素，并且具有促进作用，特别是在带钢浇铸方面更是如此。ECSC 钢铁研究项目起始于此组织的最前身。巴黎条约 55 条要求促进此研究，而此项目 1955 年就开始了。由 ECSC 预算来提供经费，也就是说，成员国煤钢的技术活动费基本来自于征税。从共同体援助得到的项目总方向和工程的选择的委员会与上述工业国之间的协商为基础。ECSC 钢研究项目的年预算随着时间已明显上升，并且在最近几年内已超过 5000 万

ECU。委员会和工业代表在常规的基础上共同审查优先考虑的事项。

在过去的十年内，ECSC 研究项目通过“实验性的和公开试验”的项目来增补，目的是促使由研究转变为工业应用。此阶段的成本及风险有时挫折了厂商开发的积极性。这样，延迟了研究成果的应用。这些项目所获得的主要结果已简单地介绍过。

关于 NNSCC，1985 年欧洲共同体委员会成立了扁平产品直接连铸的工作组，为了（1）确定这方面欧共体的需要和拟定研究项目，（2）控制共同研究的进展，（3）作为协调欧共体进行的工作的焦点。从而，开始了共同研究和试验项目。ECSC 开创的各项研究和开发的项目见表 2。总的加起来，

ECSC 总的费用在 40% 与 60% 之间, 约 1100 万 ECU。

表 2 ECSC 开创的项目

实验性与公开试验的项目

公 司	项 目 名 称	合同号	年 份
Krupp Stahl Bochum	连铸坯直接轧制的开发	7215-CA / 101	1983-1988
Krupp Stahl Bochum	带钢连铸机电磁密封装置	7215-CA / 103	1985-1990
Krupp Stahl Bochum	双轮带机的连铸	7215-CA / 104	1986-1989
British Steel London	薄板坯连铸	7215-CA / 802	1986-1989
CSM Rome	带钢生产	7215-CA / 402	1986-1989
Irsid Maizieres	双辊连铸	7215-CA / 302	1987-1990
Brilish Steel London	带钢直接浇铸	7215-CB / 802	1987-1990
ALZ Genk	用连续铸轧工艺生产不锈带钢	7215-CA / 201	1989-1992
Arvedi Gremona	连铸连轧带钢生产	7215-CB / 401	1989-1991
DDS Frødricksvaerk	连续操作小方坯喷雾沉积设备的 可行性研究	7215-CA / 902	1989-1991

研 究 项 目

公 司	项 目 名 称	合同号	年 份
British Steel London	薄板坯水平连铸	7210-CA / 814	1981-1986
Irsid Maizieres	双辊直接浇铸	7210-CA / 318	1986-1988
CSM Rome	不锈钢带钢连铸的冶金方式	7210-CA / 419	1987-1990
CRM Liege	连铸板坯保证的研究	7210-CA / 212	1983-1987
TU Clausthal	5-10mm 厚带钢连铸试验设备的 设计	7210-CA / 146	1987-1989
Thyssen Stahl Duisburg	带钢生产的凝固组织和热传递的 研究	7210-CA / 147	1987-1990
CRM Liege	亚液相温度的连铸	7210-CA / 215	1987-1990
British Steel London	带钢生产的粉浆浇铸	7210-CA / 827	1987-1990
MPI, Dusseldorf	双辊带钢浇铸的工艺模式	7210-CA / 148	1989-1992
Irsid Maizieres	辊子之间浇铸带钢的供给系统的 几何形的研究	7210-CA / 323	1988-1990
Hoesch Stahl Dortmund	浇铸带钢扁平产品的材料性能的 最佳化	7210-CA / 121	1987-1989

另外, 相当大的项目已在 ECSC 组织之外进行, 有时作为一些炼钢公司的联合项目, 除研究方面之外, 这些公司是积极的竞争者。在开发薄板坯和带铸浇铸工艺中, 法国 Usinor-Sacilor 与德国 Thyssen Stahl 共

同工作就是一个实际例子。

而大多数项目仍然在研究开发阶段。一些项目已首先在工业上应用。在薄板坯浇铸方面尤其显著。另一方面, 大部分先进项目超过进入半工业生产的初始最新型的阶段。

最终,值得注意的是,薄板坯浇铸主要由设备制造厂商提倡,带钢浇铸看来难度比较高,主要由大的炼钢公司正在研究,这些公司具有财政实力和大的世界性的研究队伍,它们要逐步向最终成功进军。

在此,我们在薄板坯和带钢浇铸方面评述欧洲进行的各种项目,简单地阐述它们的原理和成熟的程度。总之,我们将在统一的规点下进行各种工艺研究和设法预料未来的发展。

薄板坯连铸

当然,薄板坯连铸在欧洲在世界上是最成熟的 NNSCC 技术。已被证实的当今最成功的这一技术在设备制造厂商的推动下起源于德国,并由意大利和奥地利机器制造厂商精心制造出来。

目前,薄板坯连铸研究和开发有二个方向:一个研究目的在于通过耐火套管供料和用渣润滑的振动结晶器将常规连铸法用于生产薄板坯,结晶器内从 80mm 厚变为 40mm 厚,铸坯经变形后压缩到 15mm 厚。在这种情况下,薄板坯这一词不再是正确的。我们将讨论带钢。在这方面, Schloeman-Siemag (SMS), Mannesman Demag Huttentechnik (MDH), Danieli 和 Voest-Alpine 都研究成功。

另一个研究是介决一个更困难的问题,但至今仍然不能达到成功的水平。此研究是使用移动式结晶器技术,即双带或活动机组,其目的是为了通过比常规振动结晶器可预料的铸速极限高达 2 或 3 倍的铸速来达到相当高的产量。Krupp Industriechnik 在 Hazelett 连铸机上进行了研究,英国钢公司在水平连铸法的横列式机组上进行研究。

一个稍有不同的工艺,即 SMS 型薄板坯连铸机与双辊连铸机的结合,现正在 Thyssen Stahl Ruhrort 厂进行研究;此铸压轧 (CPR) 工艺意味着生产非常薄的板坯,或者正确地说,可生产约 15mm 厚度。

SMS CSP 技术: Buschhütten 和 Nucor

SMS Schloemann-Siemag 的新的薄板坯连铸机概念称为 CSP(紧凑带钢生产)。所使用的 SMS,已证明机械元件来源于传统的连铸方法。根据热轧带钢的最终厚度,连铸机与一座均热炉和一座 4 机座或 5 机座的精轧机相组合。

德国 Buschhütten 的试验设备 1985 年 10 月开始生产。此设备在 5-6m/min 速度下能浇铸 40-50mm 厚, 1200-1600mm 宽的板坯。

美国 Nucor Steel Crawfordsville, Ind 第一台 CSP 生产设备 1989 年 6 月开始操作,投资 2.65 亿美元,年生产能力 80 万吨。1990 年 3 月,达到连续浇铸 6、7 炉。在此期间, Nucor 已批准安装第二台薄板坯设备。

如果切实订货,1989 年 9 月设备供货合同的签定将使台湾 Yieh Loong 集团选用 CSP 薄板浇铸的第一家“Post Nucor”电炼钢厂。

CPR 试验性研究

CPR 工艺是 Thyssen, Usinor-Sacilor 和 SMS 共同开发的,它们在相等的基础上均分研究与开发工作的初始投资的费用。

CPR 的原理见图 2,它由 SMS 型的 1.0m 长结晶器和它正下方二根压辊组成。此压辊通过机械力闭合液池,并将薄板坯从结晶器拉出。然后,一弯曲辊将薄板坯推入 2.3mm 的半弧,再进入由动力驱动的矫直装置内。结晶器内的浇铸速度与 CSP 一样。

二根压力辊基本具有二个目的:第一个是将结晶器宽面上凝固的二侧坯壳聚合起来,第二个是热加工薄板坯,并将它压缩到较薄的厚度。

在结晶器与压力辊之间进行喷雾水二次冷却和由格栅支承坯壳以便避免鼓肚和保护设备。

此连铸机基本上年产能力为 35 万~50

万吨。

炼钢车间安装的 Ruhrort 试验设备用氧气转炉钢液，由 30 吨钢包浇铸。可浇铸 1200mm 宽的薄板坯。产品集中在 130m 长

的浇道上。从 1989 年 5 月开始，此试验设备已整整稳定地试浇了一年，浇铸了碳钢和不锈钢，获得了规定的成功。

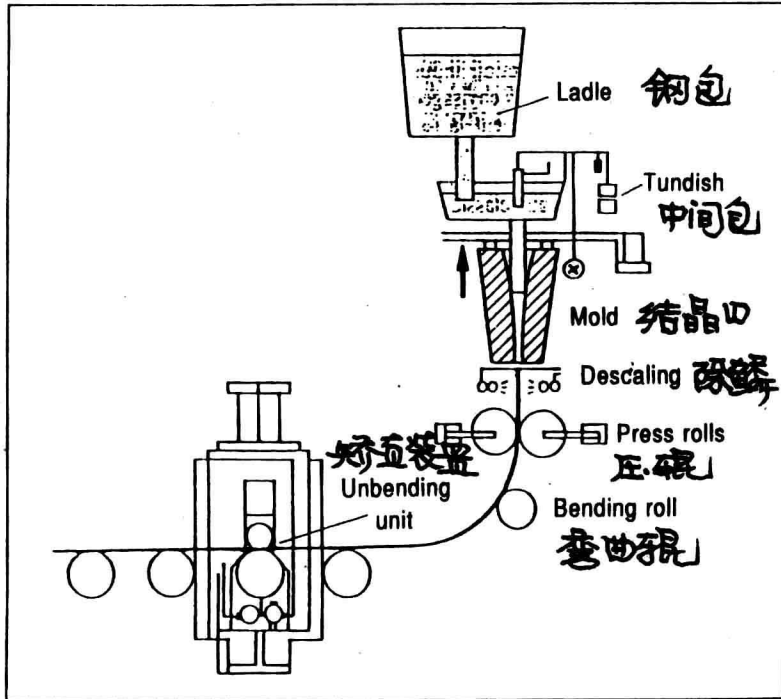


图 2 铸压轧(CPR)工艺

MDH 的 ISP 技术和 Arvedi 工程

Mannesman Demag Huttenlechnik (MDH) 与 Mannesmannsohren-Werke 密切合作开发了薄板坯技术。1987 年 9 月在 Huckingen 厂板坯连铸机改造的铸流上开始进行设备试验，新的开发，现称为连铸连轧带钢生产 (ISP)，包括立弯式结晶器，改进型的浸入式水口和动力铸坯导架以便允许液芯和固芯铸-轧。现已浇铸各种钢种 (DINSt14~ API× 70)，宽度 1200~1900mm，结晶器内厚度 60 或 70mm，在设备出口减小到 22mm。结晶器内浇铸速度大约 4.5m/min。

意大利克雷莫纳 Arvedi 正在进行 2 亿 DM 的第一台浇铸非合金钢与不锈钢的 ISP

投资。此薄板坯连铸机将生产 1330mm 宽，15mm 厚的薄板坯。卷取和重卷取以及感应加热后，由 4 机座精轧机生产 1.7mm 厚的热轧带钢 (图 3)。1991 年 Arvedi ISP 设备将开始生产，年产能力 50 万吨。

Krupp ECCO-mill(经济紧凑轧机)概念

此概念由 Krupp Industrielechnik 开发。但是，现在曼内斯曼德马克集团由于 1989 年合并了二套成套设备，ECCO-mill 概念使用 Krupp/Platzer 大压下量的开坯机，行星轧机，将常规浇铸的 80mm 厚的薄板坯一步在线轧制成 2.5mm 厚的带钢。板坯通过均热炉进入进料辊 (10~20% 压下量)，并送入大压下量的开坯机的辊缝 (达 98% 压下量)，然后进行热轧带钢卷

取。德国 Vereinigte Deutsche Nickelwerke 在窄带钢 Platzer 轧机上进行了轧制各种钢种的试验。这方面的信息至今没有进一步详细的报道。

Danieli 薄板连铸机

Danieli 已为台湾 Feng Lung 钢厂建造了一台“常规薄板坯连铸机”，此连铸机可浇 1220mm 宽，75mm 厚的板坯。

关于较薄的板坯，从 1986 年夏季以来，Danieli 在意大利 Udine 使用试验设备

开发了一台薄板坯连铸机 (T.S.C)。1750~1000mm×33mm 和 1750mm~1000mm×50mm 的轧制试验已经报道并且证明了带钢具有良了的表面与内在质量，以及超过 DIN17100 标准扁平产品的最大值的技术性能。

Danieli 说他们正在设计四套设备，每套设备年产能约为 60 万吨，每套设备使用一台连铸机 (50~75mm 厚的板坯)，一座均热炉和在线的热轧带钢机。

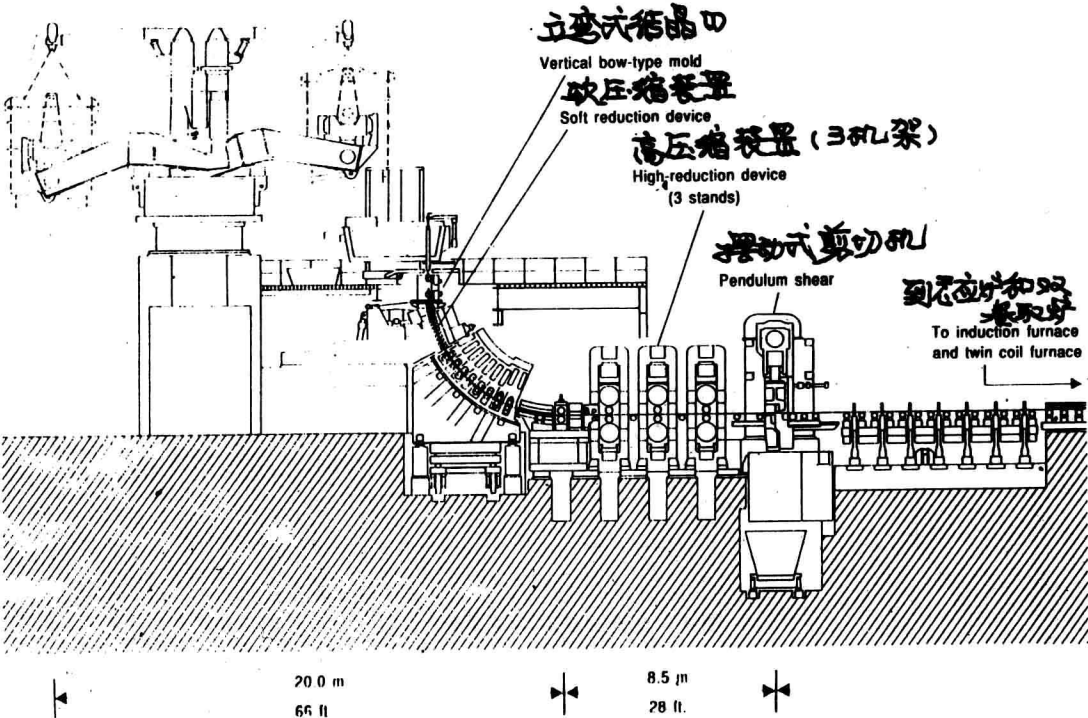


图 3 Arvedi 连铸连轧带钢生产(ISP)的连铸机

Voest-Alpine 薄板坯连铸机和 Avesta 设备

Voest-Alpine Industrieanlagenbau (VAI)薄板坯连铸的经验来源于奥地利林茨

厂改进的常规板坯连铸的经验，并且通过改进 Avesta (瑞典) 薄板坯连铸机的进一步发展来浇铸不锈钢和碳钢。VAI 决定使用平行板的直结晶器浇铸约 80mm 厚的板

坯，并开发 10mm 壁厚的浸入式水口，此水口由添加氧化锆的等静压石墨铝制成。

Avesta AB 实现了 VAI 薄板坯技术，浇铸宽度从 1600mm 扩大到 2100mm。1988 年 12 月浇铸了第一批 AISI304 不锈钢薄板坯，尺寸为 1560mm×80mm。另外，又浇铸了 1870mm 规格的这种不锈钢薄板坯，目的是优化浇铸技术。

1989 年 Voest-Alpine 林茨厂 2[#]连铸机浇铸后证明此薄板坯技术适用于碳钢。现已浇铸、轧制和处理了 1290×80mm 各钢种的板坯（深冲、微合金和含 1.2%Si 的硅钢）；一旦切割后，将 11 米长的板坯输送到轧机，在推料式加热炉中加热到轧制温度，并且轧制到 2-3mm 的最终厚度。据报道此热轧带钢的结构和表面质量良好。其性能超过常规的数据。

Krupp-Hazelett 项目

1980 年德国 Krupp Industrietchnik 和 Krupp 开始用双带工艺开发高速浇铸小方坯工艺（180mm×70mm，浇铸速度为 10-20m/min）的项目，连铸机可与轧机直接连接。Bochum 的试验设备包括 10 吨中间包和 4.3m 长的 Hazelett 轧机。

此项目的经验计划改造成双带连铸轧的薄板坯连铸概念（图 4）。但是，1989 年停止试验，原因如下：为了确保合格的表面质量，在无自由表面压力下介决带内供料之前，需要较高的开发费用；带与侧面密封之间的密封性确实难以介决；另一方面，在此期间，浇铸薄板坯成功地介决了其他一些问题，如 SMS-CSP 概念，看来较简单，并且较经济。

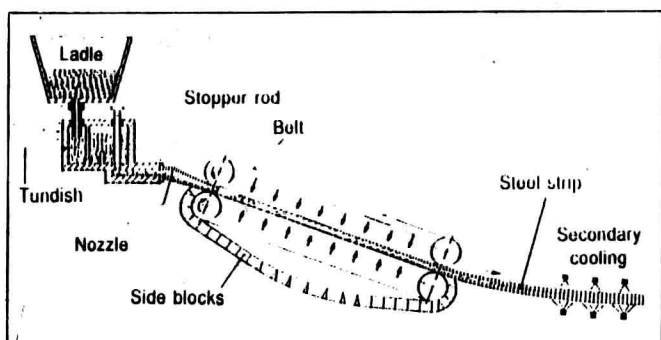


图 4 先前的双带浇铸概念

英国钢公司水平连铸机

图 5 为 Tesside 的英国钢公司水平连铸机的最初的原理，其最初供给系统包括钢液敞开流入活动结晶器。此水平连铸机由 4 座电弧炉供料。

此结晶器由块状生铁制成，实际上作为一部小车在轨道上移动。上表面作为用氩保护的自由表面凝固。一种同时提供铸流避免再氧化的旋涡式喷射系统，最近在新型号上实现。此产品厚度也已调整到较小的尺寸，即 15~25mm。英国钢公司打算尽可能通过

用一轮带替代小车式的结晶器来改善它。

薄板坯的冶金性能：Hoesch Stahl 的研究

为了评价薄板坯钢的冶金、物理和工艺性能，德国 Hoesch Stahl 开始用各种钢种进行模拟浇铸 10-50mm 厚的薄板坯的研究。在加热和连续轧制后或者直接轧制后，评价了偏析表面和心部区域的晶粒度，析出物和夹杂，并且与常规或实际薄板坯材料的结果比较。

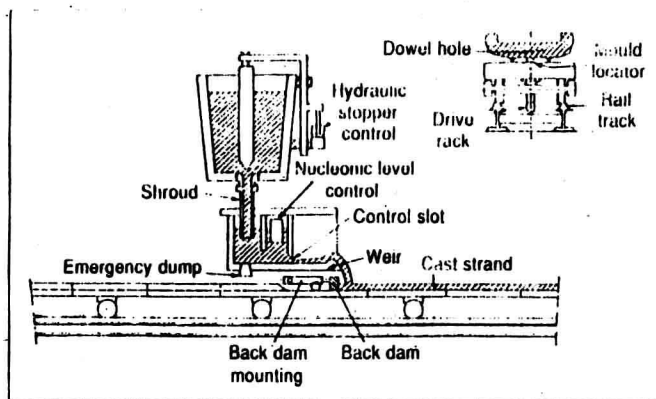


图5 英国钢公司水平连铸机的原理

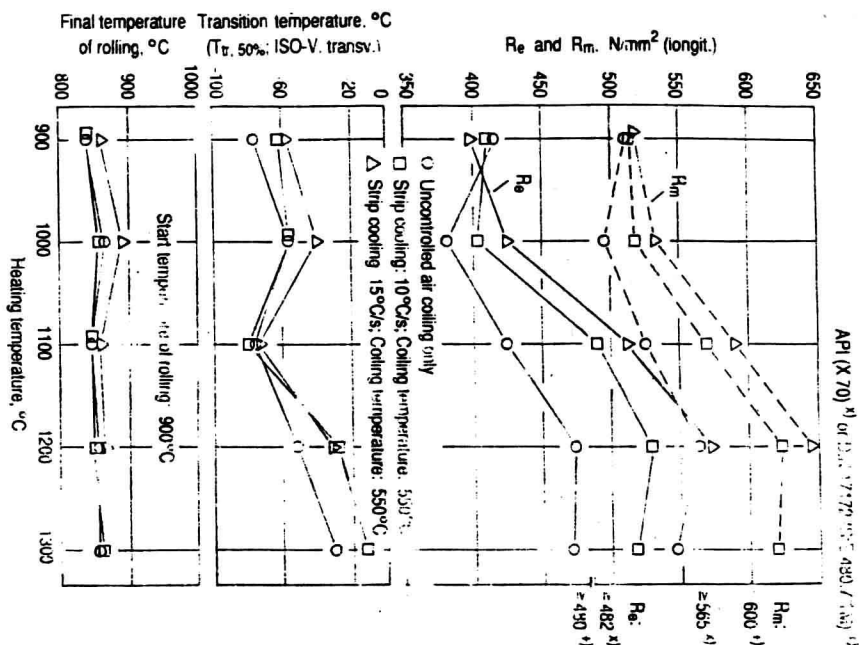


图6 加热温度对用50mm薄板坯轧制的10mm热轧带钢的性能影响($\epsilon = 35/33/33/33\%$)

薄板坯冷装的模拟表明奥氏体晶粒度，与常规连铸比较，是一样的或许有所改善，

即使普碳钢或微合金钢种，最初凝固组织也较细。因此，就性能而论，在浇铸薄材料方

面，作者认为没有什么特殊优点。在生产微合金管钢情况下，一般认为必需使用不同的轧制制度，包括预轧制阶段和后轧制阶段，并且为了获得钢的组织性能，将加热温度提高到 1100℃（图 6）。在深冲钢种中，冷轧带钢所需的机械性能可通过成批和连续退火获得。

铁冶金学院的研究，RWTH Aachen

为了研究接近最终产品形状连铸的凝固工艺，德国 Aachen 技术大学铁冶金学院，开发了具有倾斜式活动壁的特殊结晶器以便研究变形对液——固浆的影响。在凝固进展过程中，活动壁紧压着固定壁。这种方法生产的钢锭进行晶粒度、组织、微观与宏观的偏析测试。

目前在同一学院正在研究的另一项目是带钢的迭加浇铸。在此工艺中，400mm 宽，0.3~1mm 厚的带钢送入钢液内。在带

钢上凝固生产或另一种带钢，达 6 倍厚度。如果平直度可控制到一个精确的范围，最终可生产多层材料。

带钢连铸

带钢连铸可能是 NNSCC 的最终挑战，因为它的目的是由钢液直接生产带卷，其性能与质量应相当于热轧机生产出来的常规带钢。因为在此情况下需要非常高的浇铸速度，活动的结晶器技术是不可避免的，此技术也带来了各种技术问题，要求进行长时期的研究和开发工作。因此，虽然许多项目出现，但对照这些薄板坯连铸技术来看已不是先进的技术了。

带钢浇铸有三个主要方法：一是双辊连铸机，二是带和辊技术，第三是单辊连铸机。所有三种方法欧洲正在积极地进行研究，就一些项目而论，着重介绍双辊和单辊技术。

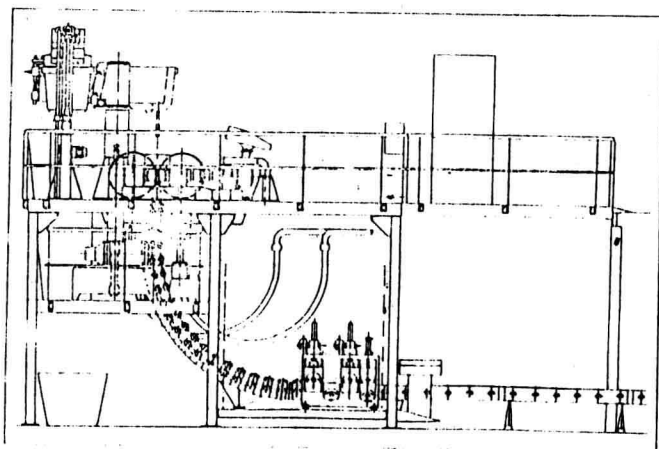


图 7 Irsid 新型双辊连铸机

Irsid 的双辊浇铸技术

图 7 为 Irsid 新型双辊连铸机的示意图，安装在法国 Maizieres 炼钢试验车间，并于 1986 年开始生产。此连铸机用 300kg 感应炉或 6 吨电弧炉的钢液，能浇铸 200mm 宽，实际厚度为 1.5mm 与 7mm 之间的带钢。钢液从中间包注入由二个直径为

660mm 的水冷铜轮制成的结晶器。并且在二侧用固定的窄的平闸关闭。带钢可以人工拉出，并进行水平或者直接卷取。此试验设备装有各种传感器，用来控制拉出速度。

凝固时间从 5mm 厚带钢 1 秒钟到 2mm 厚带钢 0.2 秒之间变化。在此条件下，第一种情况下拉出速度为

10—15m/min，第二种情况下为50—80m/min。发表的资料中也包括轮子的热传递性能的详细分析（热熔剂在10与20MW/m²之间变化）和带钢的适当凝固。同时还介绍了在不正常浇铸条件下带钢

表面和边缘的各种缺陷，就产品质量而论，表3为304和304L不锈钢的机械体积性质，此不锈钢是主要浇铸的钢种。图8为450mm长的铸状带钢的几何形。据报道，冷却后其本身的质量很好。

表3 Irsid 双辊浇铸的 304 材料冷轧与退火的试样的机械性能

试 样	屈服点(MPa)	抗拉强度(MPa)	延伸率(%)	
304	浇铸带钢	283	762	56
	参 考	>215	540 / 740	>40 / 45
304L	浇铸带钢	366	730	56
	参 考	>205	490 / 690	>40 / 45

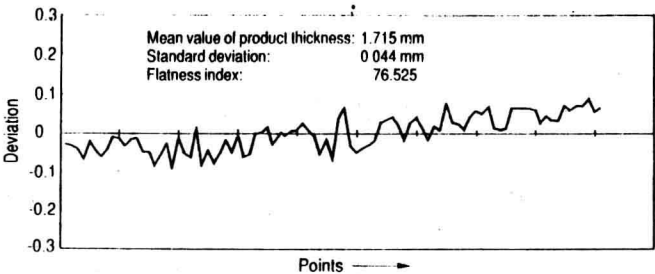


图8 带钢纵向的几何形状

此技术在理论上可较容易推断，年产能力达50万吨，现在按较宽带钢和较长浇铸时间的比例扩大已成熟。ECSC在实验与公开试验范围内进行了可行性研究。介绍了在Maizieres新型机上用工业钢包浇铸600mm~1100mm宽的相同厚度的带钢试生产作业线。此轮子直径为1500mm，卷取机安装在浇铸机架架上。Usinor-Saricous企图在法国Isbergues某一家生产厂建造一台可生产1—6mm厚的各种钢种的带钢试验设备。

CSM 和 Ilve 双辊连铸技术

意大利罗马CSM，1986年开始进行双辊带钢浇铸试验，此新型连铸机由200kg感应炉供料，大型钢辊直径500mm，可浇铸150mm宽的带钢。然后，为了较好地控

制轧制力将水冷却引用于辊子并设备装有传感器，优化其设备（图9）。结晶器区域由预加热的碳化硅耐材板关闭。

浇铸经验包括304不锈钢和碳钢，厚度在5~16mm范围内。铸速5mm带钢为10m/min。不锈钢试验时系统地使用了比较薄的厚度。使用浸入式水口将钢液引入结晶器内。

这些小规模试验使它能设计成试验设备，安装在意大利Ilva的Terni钢厂，1989年初夏开始操作。带钢宽400mm，厚7mm，辊子直径1500mm，用钢制成。托辊使带钢水平，拉出装置将它推入20mm输出辊道和简单的卷取机。Terni浇铸作业已顺利地开始操作，但是还是在发展阶段。

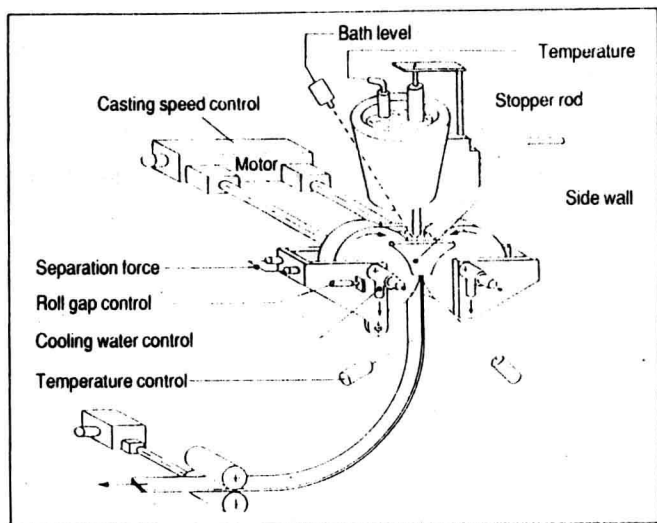


图9 双辊连铸机的结构

Voest-Alpine 的双辊浇铸技术

自从 1985 年 12 月以来, Voest-Alpine 在奥地利林茨厂进行了浇铸铝镇静碳钢的带钢试验设备的试验。在头二年中, 连铸机以单辊操作, 从那之后, 双辊浇铸方式与单辊浇铸比较。连铸机的数据是: 中间包容量为 645 吨, 铸辊直径为 680mm, 带钢尺寸 $250\text{mm} \times 0.5 - 1.5\text{mm}$, 最大浇铸速度 $1.5\text{m}/\text{秒}$ 。

用两种浇铸方式生产带钢的比较表明了上下表面的质量差异。单辊生产的试样上表面有凹痕, 而双辊生产的上表面看来平滑。但是酸洗之后, 可观察到由于熔池液面不规则而引起的冷重叠。二种浇铸看来非常难控制。在工业性应用之前必须进行大量的开发工作。

1988 年 12 月, 已正在进行浇铸不锈钢和高合金钢种的带钢研究工作的 Voest-Alpine Industrieanlagenbau (VAI) 和美国 Allegheny Ludium 公司签订了一个共同研究开发工业化水平的带钢浇铸。通过使用他们的综合技术, VAI 将在美国设计安装试验连铸机, 由 Allegheny Ludium 操作。此

连铸机将生产不锈钢钢种, 厚度 3mm, 宽度 1220mm。

Thyssen 双辊和单辊浇铸技术

德国 Thyssen 与 RWTH Aachen Bildsamer Formgebung (IBF) 研究所正在开发以辊浇铸工艺。此试验设备安装在 Aachen。现已浇铸了 150mm 宽 0.3~3mm 厚的带钢。

在开发的同时, 杜伊斯堡 Forschung Thyssen 也正在积极地开发生产 3~6%Si 的高硅带钢的单辊项目, 在 2m 直径, 270mm 宽的辊上平流浇铸 0.2~1mm 厚的带钢。

英国钢公司双辊浇铸技术

英国钢公司在 Tesside 实验室正在进行研究和开发项目, 其焦点是将半固态液浆供给双辊连铸机的试验, 为了降低辊子的热负荷。

在小型的新型的机器上的一些初始试验已能设计大型的新型机器。其辊子 500mm 宽, 750mm 的直径并且安装在一个能承受大压力的非常坚固的支架上。

其供给系统仍然处在设计与初期试验阶

段。为了析出固态结晶，它将从液体中放出潜热，同时通过形成剪应力来保持固-液混合液体，用此方法获得多少固体百分数还不太清楚。

Irsid 单辊浇铸技术

图 10 为 Irsid 新型单辊连铸机，安装在法国 Maizieres 的炼钢试验厂，1988 年开始操作。该设备由 300kg 感应炉供钢液，可

浇铸 200mm 宽，2.8 与 0.2mm 之间厚的带钢。辊子用水冷的钢或工具钢制成，直径为 660mm。钢液由侧面开启的中间包供给。然后流到轮子上。带钢可人工拉出或者直接卷取。特大的和较小的轮子可安装在上面以便使带钢压在完全凝固的轮子上。ECSC 倡议者在此新型机上进行部分研究工作。

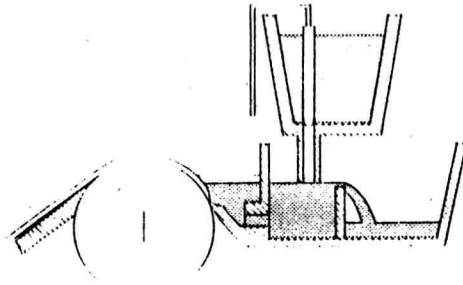


图 10 Irsid 新型单辊连铸机结构

根据轮子接触长度和带钢目标厚度，拉出速度在 5m 到 150m/min 之间变化。关于厚度范围，厚度与钢液与轮子之间接触时间 t 之间的关系是常规的 $K\sqrt{t}$ 式。

本文报道了关于厚度规律 ($\pm 8\%$) 以及只要通过中间包内热损失的适当管理来控制锯齿型的缺陷就能获得满意的产品质量。厚度越薄，就越接近独特的产品性能，如：小的晶粒度。此设备作为研究新产品性能的研究工具和作为未来潜在工业浇铸工艺。

Krupp 带钢浇铸技术

特殊钢种的热轧带钢连铸是克虏伯钢公司与日本金属工业合资的目的。1990 年在 Krupp-Owned Unna Works of VDM Nickel Technologie 实验设备上开始操作，浇铸和直接卷取 700~1050mm 宽 1~5mm 厚的不锈钢带钢。直径 950mm 的辊子由中间包供给钢液，此中间包安装在大辊子的上方靠 600mm 直径较小辊子的旁边。此设备使用 10 吨的中间包。卷带重量最大为 4.5 吨

(图 11)。典型的浇铸速度为 30m/min。

今后，可能作为 Krupp 带钢浇铸技术重点的专门试验项目是一台安装在 Krupp 公司 Siegen 厂，由 ECSC 提供资金的新型机器，该机在中间包与单辊之间安装一台电磁密封设备，此装置 1989 年进行了 1000mm 直径的单辊浇铸试验，可浇铸 200mm×1~2mm 的带钢，在这些试验中，进行了二种中间包与辊之间的密封比较，一种是陶瓷密封装置，一种是电磁密封装置，后者为 60KW 感应器。

MPI 和 ZFW 双辊浇铸的研究

德国杜塞尔多夫 Max Planck-Institut für Eisenforschung(MPI)正在开发用双辊连铸机浇铸带钢的工艺操作法。浇铸 1~2mm 厚 100mm 宽带钢的新型机用来测定工艺参数对带钢性能的影响。

德国 Zentralinstitut für Festkörperphysik 和 Werkstoff-forschung 也正在用 Sket 制造的双辊连铸机生产出的

带钢产品进行性能的研究，并且正在浇铸 10mm×1mm 的高砂钢和不锈钢。

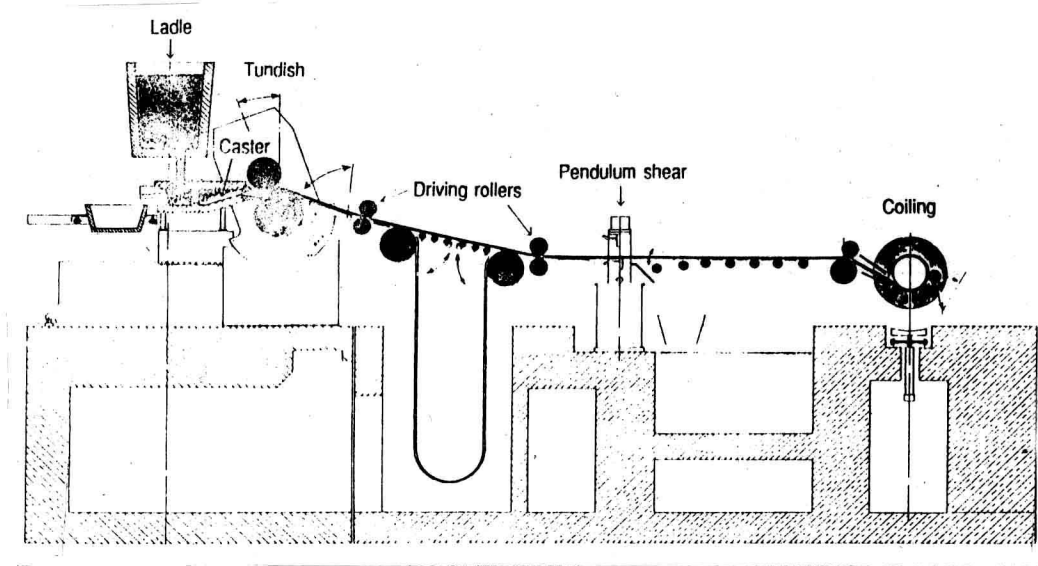


图 11 克虏伯浇铸不锈钢带钢的试验设备

带和辊连铸

在 ECSC 提供资金保证的用带和辊连铸机浇铸带钢的可能性技术研究中，1987 年~1989 年间在德国 Clausthal 技术大学 Allgemeine Metallurgie 学院对供给系统的液体流，热传递和可建造的新型机的凝固进行了基础研究。此新型机能浇铸 150~200mm 宽和 5~10mm 厚的带钢，由 150kg 感应炉提供钢液（图 12）。热传递的测量见图 13。带钢底面的粗糙外形对带的传热影响非常大，而且在这一方面比带镀层更重

要。曲线 1 和曲线 2 是由于很粗的底面造成的，而曲线 6 为非常平滑的底面。

同时，Mannesmann Demag Hullentechnik (MDH) 与 TU Clausthal 建造了一台带和辊连铸机以便开发直接热轧带钢生产技术。第一阶段，在 Mannesmann S. A., Belo Horizonte (巴西) 建造连铸机。自从 1989 年就开始进行试验项目，生产 450mm×5~10mm 碳钢带钢。

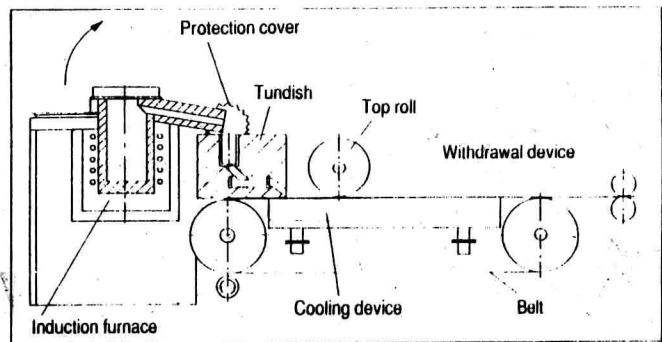


图 12 Clausthal 技术大学带一辊连铸机

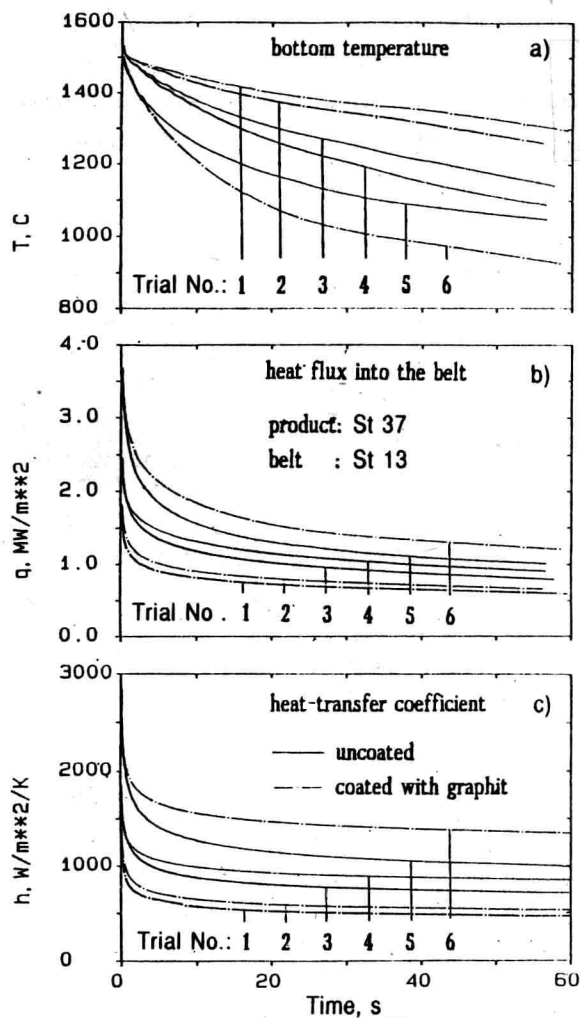


图 13 带-辊浇铸的热传递

欧洲其他研究项目

在瑞典，吕勒奥 Mefos 将开始进行近终产品形状浇铸试验的联合的 Nordic 项目研究。另外，ABB 冶金与 Royal 技术学院正在共同进行带钢浇铸项目的研究工作。但是，没有详细透露过。瑞士 Concast Service 也同样如此。

喷雾浇铸

喷雾沉积法是能生产各种几何形状（如：扁平产品、小方坯、园盘、管和多层材料）的近终产品形状生产的预成形工艺。英国 Osprey Metals Ltd 已达到工业性应用

的工艺开发。喷雾沉积法具有小钢液滴迅速凝固和产品直接成型的特点，它是带钢或粉末冶金的替代，欧洲具有此设备的国家如下：

——英国 Neath Osprey Metals Ltd 试验设备。在世界各国已获得十七个专利。瑞典 Sandvik AB 是 Osprey Metals 的所有主。

——英国 Swansea 大学喷雾成形开发公司，实验室设备，发明 Osprey 工艺的 A.R.E Singer 在 Swansea 大学的发明中心建立了此公司。