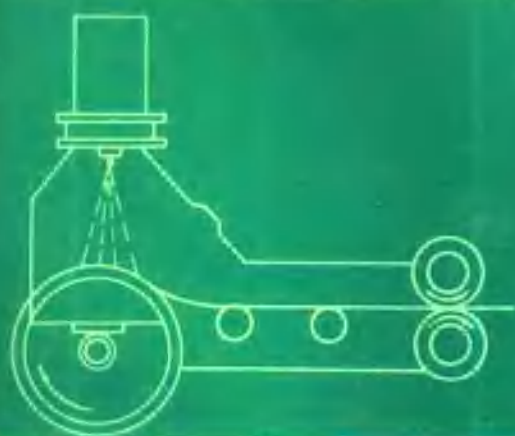
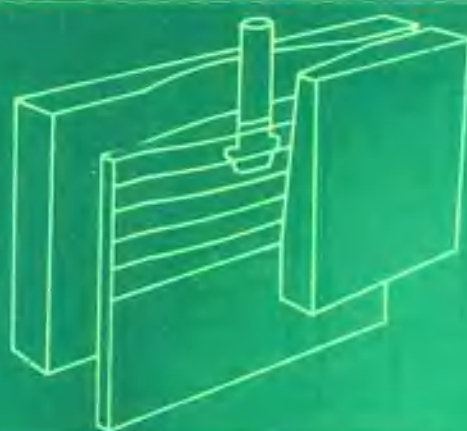
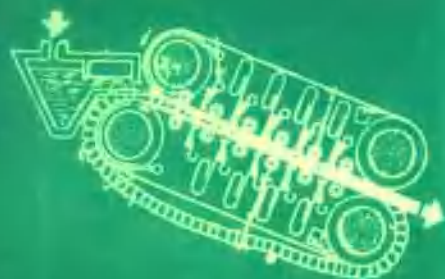


国外薄板坯连铸新技术

干 勇 王来华 张柏汀 主编



冶金工业部钢铁研究总院
上海钢铁研究所

1987·北京

国外薄板坯连铸新技术

于 勇 王来华 张柏汀 主编

赠 燕大图书馆

李天德

2001.6.5.

冶金工业部钢铁研究总院

上海钢铁研究所

1987·北京

RP3/13

wt 1/54/06

前 言

近年来，欧、美、日的许多钢铁企业和机械公司合作，竞相开发薄板坯连铸新技术，我国也把它列为“七五”攻关项目。北京钢铁研究总院和上海钢铁研究所的同志因科研攻关工作的需要，查阅了大量文献资料，并从中选择、翻译、编辑、出版了《国外薄板坯连铸新技术》译文集，期望它将有助于我国连铸技术的新发展，并有助于各级领导、同行了解世界连铸技术发展的前沿技术。

本文集由薄板（带）坯连铸技术综述、各种薄板（带）坯连铸技术、薄板（带）坯连铸的凝固理论和薄板（带）坯连铸设备等四部分组成，共有48篇文章。内容充实、新颖，希望同行们能从中得到信息，以博采众家之长，为我所用。

本文集由北京钢铁研究总院于勇、王来华、张柏汀三位同志负责技术审核，由钢铁编辑部的部分同志负责编辑。由于编者业务水平有限，不当之处欢迎读者批评指正。

编 者

目 录

前言

一、薄板(带)坯连铸技术综述

1. 薄板浇铸的时代来到了吗? (1)
2. 薄带连铸将改造金属世界吗? (5)
3. 钢带和薄板坯连续浇铸技术 (11)
4. 钢铁生产的一些新途径 (19)
5. 钢铁材料的薄板坯连铸技术 (25)
6. 热加工薄钢材的三种方式 (29)
7. 新的连续铸钢方法——同步结晶器法和浇铸接近成品规格钢坯的可能性 (34)
8. 带钢浇铸的发展 (41)
9. 有色金属的薄板坯连铸 (53)

二、各种薄板(带)坯连铸技术

——带式、轮式、立弯式及直槽式连铸法

10. Hazelett双带式铸机在Nucor钢厂的发展 (55)
11. 住友金属的薄板坯连铸技术 (57)
12. 薄板坯传热特性及新型铸机的开发 (70)
13. 双轮式薄板坯连铸法的研究 (75)
14. 双辊式连续铸造机 (78)
15. 双辊式实验铸造机的薄板铸造试验——双辊式薄板铸造机的发展——I (80)
16. 日本专利 连铸装置 (82)
17. 英国专利 金属连铸的改进及其它 (86)
18. 异径双辊式不锈钢薄板坯连铸法 (90)
19. 日本专利 冷轧带钢的制造方法 (93)
20. 由异径双轮法生产的不锈钢的特性 (96)
21. 双轮法铸铁薄板的生及其特性 (97)
22. 为美国工厂选订的SMS带坯铸机/直接轧机 (98)
23. 在Busch冶炼厂的试验铸机上生产薄板坯 (100)
24. 薄板坯连铸法——直槽式铸机 (109)

三、薄板(带)坯连铸的凝固理论

25. 双带式薄板坯连铸的凝固冷却特性	(113)
26. 快速凝固条件下Fe-Ni-Cr系合金的组织	(117)
27. 快速凝固的研究	(120)
28. 铸铁和高碳钢铸带坯快速冷却特性	(123)
29. Fe-C二元合金快速凝固薄带的特性	(127)
30. 钢的快速凝固研究——由双辊铸机凝固钢液	(129)
31. 水平薄板坯连铸机及铸坯的凝固特性	(132)
32. 钢铁材料在快速凝固中的组织变化和快凝法的应用	(135)
33. 双辊技术快速冷却过程的数学模型	(137)
34. 高硅钢带的快速凝固过程及其特征	(150)
35. 快速凝固、过冷和亚稳定平衡	(153)
36. 考虑了过冷现象的双轮式快速凝固过程的理论分析	(156)
37. 双辊法急冷凝固过程的冷却特性	(158)
38. 双轮快速凝固过程中的轧制特性	(164)
39. 金属的快速凝固法	(171)

四、薄板(带)坯连铸设备

40. 连续浇铸装置	(179)
41. 美国专利 金属液转变成半成品或成品的方法及设备	(184)
42. 用于铸模液位控制的微波传感器	(195)
43. 苏联专利 运动金属坯料热态检测的超声波设备	(197)
44. 美国专利 带材电磁铸造和成型过程	(199)
45. 美国专利 连续浇铸金属带的传送带式装置	(207)
46. 美国专利 带钢铸造设备中的水口	(209)
47. 新型连铸机及其冷却线的开发	(212)
48. 用于薄板坯连铸的热轧带钢轧机	(215)

1. 薄板浇铸的时代来到了吗?

从Darlington, SC到美国钢铁公司的Universal工厂,追求的目标是“薄”。从短期来看,对小型钢厂意味着新的市场。从长远来看,意味着一场根本性的新技术基础。

主编:Jo Isenberg—O'Loughlin

副主编:Walter P. Jacob

明年这个时候,如果事情按计划进行(并且当Nucor的Ken Iverson为计划的执行者时,他们就有这一习惯),薄板浇铸将会从设想变为碳钢生产的现实。

“可能是30天,确切地说在下个月”。Iverson二月末在决定采用什么类型和谁的技术的时间安排时评论说。“当然,我在去年秋天是那样说的,但我说错了”。他结论说。

不准确地说,下一代连铸技术的钢铁公司数目之多,使Iverson的选择变得复杂了。Allegheny Ludlum钢铁有限公司第一个报道不锈钢直接浇铸的方法。首先得到碳钢板生产工艺的竞争是激烈的。

“这真是一场赛跑”。纽约Voest-Alpine国际有限公司特别项目负责人Mike Cygler说。已有这一国家的好几家小型和联合碳钢生产者以及他们国内外传统供应基地的成员已经完成了开始阶段的机组。目标不一,但每一努力都铺平了通向工业化和最终采用革命性的新技术的道路。

在Nucor,薄板浇铸的想法并不是突然的幻想。“Ken的兴趣由来已久,至少三至四年”。Hazelett铸带有限公司副董事长对Vermont生产的带铸机用于黑色冶金方面的命运作了上述评论。Nucor计划在其炼钢基地Darlington SC装建一台薄板浇铸机,其来源还未定,并于1986年初或中投入生产。

Nucor董事长和CEO的Ken Iverson强调说,“这将是一台生产机,尽管可能用此机组进行开发研究,将检验已设计的系统,从铸机里拉出板子将其轧制并考察以决定我们是否能在连铸基地得到合格的轧制产品”。Iverson说:“当我们到达那一点时,我们就撤出连铸机,将其安放在其它地点并围绕它建一小厂”。

据说Nucor为建年产40万吨的小厂考虑了五种不同的技术。该厂将能生产50in宽的产品,其宽度与该公司现在从国内外得到的用于甲板的冷轧材料相同。Iverson说:“去年,我们生产了11.4万吨甲板。所以我们有相当大的内部需要量”。

他强调说:“我们不期待生产任何优质品种材料,汽车、罐头和其它深冲用途除外。我们的目标在于生产你们称之为商品质量的压延钢,以满足我们自己的生产”。他说,“你们知道,对用于许多用途的非高质量材料在此地之外有很大市场”。

尽管Iverson对薄板浇铸的兴趣由来已久,然而还不能追溯到由国家两大联合生产厂家产生兴趣时那么早。主要由于美国能源部(DOE)发起3000万美元中间试验项目,他们的这一兴趣最近又重新产生。

Hazelett的Regen回顾说:“在60年代末有五家中间试验厂使用Hazelett铸机浇钢”,其中有1966年建于Bethlehem钢厂的Homer研究室的机组,另一台1967年建于美国钢铁公司南部工厂。

Regen回忆说：“那时垂直连铸才刚刚采用。有许多努力致力于各种类型的连铸，而Hatelett连铸机则代表了通向‘薄’的道路”。

最终垂直连铸成功了。Regen最近回顾说：“我们的计划是在他们之前一点。这在五套装备上都认识到了这一点。所有的都存在冶金质量问题，最主要是表面缺陷”。他认为“无论如何，铸机证实了在机械上和传热上都具有浇铸薄带的能力”。

Regen回顾说：“最大的问题是金属的注入，需找到一种方式使液态金属进入1或2in.厚的移动式钢模。另一障碍是金属本身纯洁度”。

在此期间若干年内，钢包冶金和“纯净钢”的趋势已几乎解决了这些问题之一。但液态金属的注入是件完全不同的事情。Iverson说：“这是整个技术的关键”。回避评论Nucor探索的方法。

当然，在这同时的几年内，陆陆续续地出现了石油输出国组织的产生，能源的危机，能源部的成立和大约70年代末美国钢铁工业能源储备方面的原因而对此产生了兴趣。在80年代初，这种兴趣导致了一大批政府发起的项目的产生，其中有美国能源部资助的四个不同的8万美元的研究项目，关键在于考察与薄板浇铸有关的节能潜力。

目标是研究出一种以一定的合理生产率能够生产各种钢产品的商品钢带的技术。得到资助的是俄亥俄州，Columbus的Battelle Columbus实验室和国家钢铁公司联合体，他们曾对此技术一直进行研究；麻省理工学院、Westinghouse电器公司与美国钢铁公司合作也投入了相当的人力设计这一工艺；还有通用电器有限公司。通用电器有限总公司的研究曾是整体性的。计划1984年1月完成四项研究。

资金争论

参议员Robert C. Byrd（民主党—西弗吉尼亚州），Jennings Randolph（民主党—西弗吉尼亚州），John Heinz（共和党—宾夕法尼亚州）提议应作为一种紧急情况在能源部的年度计划中连续四年每年拨给750万用于薄板浇铸中间厂项目。

无论如何，在作出资助此项目之后，国家钢铁公司起到了很大的推动作用。于去年一月提出了招标并召开了初次会议。

尽管有近100人答应参加美国能源部对讨论此项目提出的邀请，但仅承交了三份正式的投标：一份来自美国钢铁公司和Bethlehem公司合作体以Hazellett公司作为转包合同者，另一份来自National Intergroup股份公司和Battelle Columbus实验室联合组，第三份来自俄亥俄州Toledo的Cauffiel机械公司。最近的建议预期在二月末，排除国外厂商作为参加者——至少作为合作者。

Armco股份公司负责研究方面的总经理William H. Minck评论说：“说老实话，我很吃惊会有三份。大多数公司相当泄气地走出此项目的初次会议”。

Minck解释说：“我们真正反对的是3000万美元的中间试验项目与初期的计划完全不合拍”。在一封给能源部的信中，Armco引证麻省理工学院的报告的结论，表达了对此的关心。Armco写信给能源部说：“在选择过程和设计阶段中，应在明确无疑表明已克服表面光洁和裂纹的难题以后才能仔细考虑和批准中间试验厂的设计”。

并不只此，Minck说：“我们在第三种条件下拉坯，即你能满意地从此过程提高冷轧特性”。

结果美国钢铁公司和Bethlehem赢得了资助，但并不是没有争议，具有讽刺意味的是由日本帮助。关于国家钢铁公司的错误评论各异，但现在最流行的是责备国家合作组（National Intergroup）招来日本钢管公司和两家公司形成的形成一个今日称之为国家钢铁公司（National steel）的50/50的投资意图。对能源部来说，外国公司参加这样一个政府资助的项目表面上不成问题。一位项目参加者回顾说：“对每一精心的呈文和会议都有了安排，当国家钢铁公司作出通告时，这些呈文和会议就突然取消”。

另外一位内部人士说：“当时承受了很大的压力，原因是能源部要同意美国钢铁公司和Bethlehem公司的建议，但政治上有很大困难”。

事实上如此困难以致于能源部所做的仅仅与华盛顿做到的相差一步之遥……折中。一位内部人士说：“他们将资助两个计划。实际上通用电器公司建议他们这样做”。

到后来，那正是能源部所做的。作为其初期同美国钢铁公司8万美元研究的延续，Westinghouse电器公司将接收能源部基金中的260万美元来研究很类似于国家钢铁公司和Battelle Columbus实验室提出的能源部的2880万美元计划的薄板浇铸技术。Armco Inc 将把Westinghouse作为此项目的第二次合同承包者，关键在于研究一种浇铸与热轧带钢厂得到带钢相近的厚度。

Armco的Bill Minck说：“我们的目标是开发一种完全代替板坯浇铸的技术，重新加热和热轧带钢厂在一起操作。我们认识到这是宏大的、耗资的事情。但如果我们在未来的几年内将坚持下去，我们就必须找到一种更好的技术”。

当然就这一点面论，Westinghouse/Armco的努力是Minck本人描述为“非常遥远的和高度冒险的。”他强调说：“那将意味着一项巨大的成果”。

Minck说：“美国钢铁公司和Bethlehem致力于研究拉出接近1 in厚的板，这意味着至少可以在一家热轧带钢厂的最后一道轧机上加工。我们下一步是准确地拉出0.1 in范围的产品。”

Armco已经献出了一个在Middletown工厂所属的铸造厂给此项目，此时正在整理包括两座供给由Westinghouse设计和建造轮式铸带机钢水的小型电弧炉（500磅和250磅大小）。Minck二月末评论说：“我们希望在两个月后能装备好并开始运行”。

Armco研究者继续说：“我们在这点上的目标是不管其外观，在明年九月份浇出3 in厚的带钢”。

国外动态

薄板浇铸的兴趣远不止在美国。据说日本加紧在Hazelett式和各种薄带浇铸技术方面试验，欧洲也正在积极准备试验。

Danieli公司报道说，现在正在台湾某地安装他们的第一台机器并将在意大利安装第二台。意大利Buttrio的Danieli SpA的Leslie Mahdjoubian说，在两种情况下，宽度都是近60 in。

除知道第一台机组将浇铸3 in厚的而第二台浇1~1½ in厚板子外，详细资料难以得到。Mahdjoubian评论说：“我们的企图是当它正在工作时展览它。”

虽然能源部对处理其正在协调的各种薄板浇铸项目引起了争论，但在33MP上接触到的大多数美国炼钢工作者和厂商都有这样一个总的认识，能源部的合作研究项目朝美国新一代

炼钢技术迈出了关键的一步。

Hazelett的Regan说：“没有能源部的介入，这项技术就会处于停滞状态。这一项目就会全部在日本进行”。

参考文献略。

译自《33 METAL PRODUCING》，March 1985.

王来华 译 陈永定 校

2. 薄带连铸将改造金属世界吗?

GORGE MCMANVS

在铝和钢铁工业中,许多薄带连铸革新方法正在取得进展。下面叙述一些最有趣的方法。

阿尔科(Alcoa)实验室钢锭铸造主任罗那特·米勒(Ronald Miller)说:“我们有一个真正涉及到此领域的计划”。

“这里有连续的从0.005 in旋转铸带直到0.25 in的辊铸带”,米勒先生说,“我们有这二者的实施计划,以便发现其中离奇的和惊人的东西”。

在铝和钢铁工业中,许多人正注视着把液体金属直接连续浇注成带或薄板坯的奇妙新方法。目前先铸成厚块然后轧制成薄板要消耗很多能量,新方法的主要目的就是节省大部分的能耗。

除此之外,可以相信薄带连铸可能发展新的合金系列。高速连铸的极薄带已经产生了非晶金属,新品种的晶态合金正在露头。

在生产薄板总吨数中有一部分采用薄板连铸,其节约就十分巨大。西屋电气公司(Westinghouse Electric Corp)金属工艺研究主任阿莱·特·迈尔(Alan T. Male)说:“如在0.05 in以内,在钢铁工业内部每年就能节约价值大约8.5亿美元的能耗”。

新的铸造工艺的冲击可能是惊人的,在铝和钢铁中,直接连铸薄板可能给小工厂及金属的使用者打开生产薄板的大门。

最近纽考公司(Nucor Corp)从卡尔切斯特(Colchester, Vt)的哈兹莱脱薄板铸造公司(Hazelett Strip-Casting Corp.)订购了一台机器可说明这方面的潜力。哈兹莱脱工艺采用移动的带子高速连铸约1 in厚的板坯。

纽考认为这样的板坯将可能制造大量薄板,这适合配置在公司的小工厂里。第二个哈兹莱脱铸造设备将由美国钢铁公司和伯利恒(Bethlehem)钢铁公司二个合伙生产者使用。他们根据3000万美元的政府合同正在建造哈兹莱脱中间试验厂。

铝公司已长期使用辊铸设备直接连铸成带。在加利福尼亚州河边(Riverside, Calif)的亨脱尔(Hunter)工程有限公司已提供全世界89台辊铸设备。典型的连铸板为1/4 in厚,其上限为1/2 in。

一些合金牌号用铝辊铸设备已经铸造了一定的数量,而大多数主要的合金牌号还是采用铝锭生产。然而以下二方面的研究已经开始,这将极大地改变铝薄板生产的面貌。

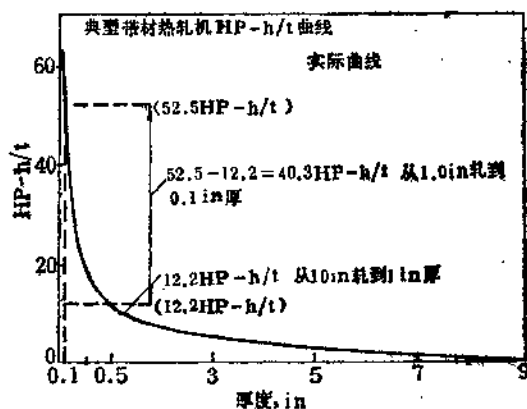


图 1

其一，阿尔科正在研究扩大亨脱尔型辊铸设备的范围和速度，除此之外，阿尔科还研究薄带的旋转铸造法。

其二，是在哥顿（Golden, Colo）的阿道夫·柯斯（Adolph Coors Co）公司研究的铝铸造机构和辊轧机构。这使啤酒罐部分返回生产。

纽考、柯斯研究了厚带和薄板坯的连铸。铸坯厚 $3/4$ in，给以后的热轧和冷轧留了余量。纽考还研究了采用移动模块的连铸设备，像履带式拖拉机的履带一样采用钩子连在一起的模块是由阿留申斯（Alusuisse）供应的。

铸坯以 15ft/min 速度连铸出来，直接送入热轧机，而后反复进行退火和冷轧。1984年10月，柯斯完成了长时间的调试，1985年5月前进行了板料（Lid stock）的商业生产。

“连铸设备运行得很好。”柯斯的哥顿回收公司市场主任罗勃特·卡尔布森（Robert Culbertson）说：“它是世界上的一种类型”。

薄带连铸的起点

所有这些活动的起点之一是由阿来特（Allied）公司和其他公司从事的快速凝固薄带的研究工作。试验了很多方法，但这些较突出的工艺都受前面的单辊连铸的影响（与用亨脱尔机组的辊铸相反）。旋转熔铸，平面流铸和牵引熔铸是单辊连铸快速凝固的不同类型。

所有这些方法中都是把熔融金属浇到以 1 mile/min 的极快速度运动的表面，金属的冷却速度达到 $10^6\text{ }^\circ\text{C/s}$ ，凝固速度是如此之快，以致液态的非晶状态在固体中被保留下来。

这种处理使铸带具有意外的电气性能，阿来特的非晶金属目前正在完成在变压器上的扩大试验。但伴随快速冷却而来的是大量生产的潜力问题。

“它像冷轧机一样的速度在发展，”罗勃特·斯彼尔说。他曾担任阿尔科的铸造研究和工艺主任，最近刚退休。“它是一个好工艺”。斯彼尔说。但他怀疑铸造产物能否符合所有商业应用的形状和光洁度的要求。

快速凝固的带子对大部分薄板产品来说太薄，为了以冷轧消除缺陷也太薄。

“单辊连铸工艺的典型厚度是小于 0.01 in ，而半成品板或带要求的是约 0.1 in ”，通用电气公司的詹·谭山写道。通用电气公司为政府估价了薄板连铸工艺。

这里有过问题和限制，但在把液体金属铸成薄板工作中阿来特表明是可以做出令人惊奇的事情。在作出了基本突破后，可以看出连铸稍厚的坯料应该是可行的。

“感觉有一个中间阶段，”斯彼尔先生说：“摆脱了旋转熔铸应该能够生产出稍厚的规格并仍保持生产力”。

金属工作者开始寻找一个中等厚度的薄坯，它是以去除大部分热加工和薄到足以高速冷却使得新的结构和性能，同时带子应有足够的厚度以便在冷轧后得到大部分薄板的规格。

1982年美国能源部确定了一个中挡的范围，它建成铸带的厚度在 $0.03\sim 0.05\text{ in}$ 之间。美国能源部说，每年薄板中 0.03 in 或 0.03 in 以下的冷轧板有1000万吨。

政府的计划有一段时间转移了目标。但在1984年9月，阿伦·路德隆（Allegheny Ludlum）钢铁公司声称它已实现了一种能铸超过 0.08 in 不锈钢带的方法，这种薄带能冷轧到 0.02 in 厚，可以满足专用不锈钢带的规格。

阿伦·路德隆的工艺免去了不锈钢的所有热轧和一部分冷轧。起始是500磅一批的304不锈钢。该公司计划在纽约州的陆克港（Lockport）的工厂内建立一个增大比例的设备。

阿伦·路德隆自己投资进行薄带连铸，“我们花费了近700万美元”。公司的主席里却脱·皮·西姆斯(Richard P. Simmons)说。

作为电工钢的主要生产者，阿伦·路德隆是很熟悉非晶金属的。该公司拥有非晶品种的专利，薄带连铸的成果是由此引出来的。

阿姆科(Armco)公司和西屋电气公司也深深地卷入非晶金属的研制。像阿伦·路德隆一样，阿姆科也是电工品种的主要生产者，西屋电气公司制造变压器，进行了薄带连铸机的研究，而且处在配电变压器采用非晶金属试验的领先地位。

1985年3月5日能源部恢复了它的最初薄板连铸计划，与西屋和阿姆科签订了260万美元的研究合同，要求用单辊铸带工艺制造宽3 in，厚0.03到0.125 in的金属带。

“目前我们设计的目标是0.05 in”。西屋的马勒(Male)博士说：“假如我们达到0.125 in就非常高兴了。”

这套连铸设备将被安置在俄亥俄州的密特汤(Middletown)的阿姆科工厂中。铸造速度1500 ft/min是任意假定的，假如该速度达到了，产量将等于速度在5 in/min或250 t/h(30 in宽)普通厚断面连铸的产量。

这个冷却速度大大低于非晶工艺，“我们可能达到100~1000 °C/s”。马勒博士说：“一旦它离开冷却辊，冷却速度将慢下来”。

此冷却速度足够慢到形成结晶，但至少要比铸锭和普通连铸要快100倍，足以获得细小均匀的结构。马勒博士用术语称之为微晶。

铸造金属的内在质量对所有薄板连铸来说是个关键。因为它很少有通过随后的压缩提高质量的机会。

“你做得越薄就越是失去进一步加工的可能”。阿尔科的隆·米勒(Ron Miller)说。

“有一件事我们现在还不知道，为了得到满意的组织和性能，需要多少必要的冷加工量”。马勒说。

“假如开始的厚度限在0.05 in，”他继续说：“进行冷加工和退火后，你就可得到0.03~0.035 in的厚度”。

虽然薄带连铸发展中有一些质量问题，该工艺具有很大吸引力中的一点就是该工艺提供了得到新的、更好的性能的潜力。

“我们打算以某种取消热轧的工艺来代替热轧机生产同样的产品”。阿尔科的斯彼尔先生说道。

阿尔科的米勒先生警告说：“不要都从我们曾做过的热加工工艺的带钢性能来评价每件事。在合金系统中，有些优点甚至无法用铸锭法获得”。

一部分工作是为了新合金开展的。阿尔科试图采用较慢的速度在单辊上获得较厚的带子，另一个目标是加快亨脱尔型双辊速度，现在它是低生产力的工艺。

“每小时的产量大约是哈兹莱脱机的1/10”，斯彼尔先生说：“还没有理由说明为什么这么慢”。他又补充道。

“最大的一种障碍是因为加入的合金变粘了”，米勒先生说：“这是个速度的函数，对一种合金来说要保持一种速度”。

柯斯

薄带连铸工艺提供了鼓舞人心的前景，但当他们准备花费大量的钱时，公司企图避开十

分薄的材料。

纽考公司打算采用哈兹莱脱设备来生产1 in断面的材料,柯斯公司的结论是对做啤酒罐的铝合金来说,热加工和冷加工都是需要的,因而柯斯公司转向能生产3/4 in厚材料的阿留申斯设备。

柯斯的设备可重熔啤酒罐,熔化后连铸成30 in宽的薄板。每日以25万磅重量的速度把铸板直接送入热轧机,以100 ft/min的速度轧制到1/8 in厚,然后一批退火再连续冷轧。

到6月为止,柯斯只制造了盖板料,打算以后再生产筒体薄板。为了更多使用返回料,柯斯将生产一种能做盖板、筒体和附件的全能合金。

也许说得太早,假如其他啤酒公司将制造他们自己的铝。柯斯有一个在熔化之前收集和处埋罐子的地方。这条新的生产线被补充了进去。

“我们所要去做的是完成整条生产线”。卡尔布森先生说。

哈兹莱脱

当1982年能源部公布了它的薄带连铸计划,其主导思想是连铸薄材,而且有一套完整的,从容的日程表。第一阶段要求可行性研究,通过以后的阶段以适当的步伐进展。

然而大约就在这个时候,哈佛·姆·拉夫(Howard M. Love)国际钢铁公司主席发表了跳步工艺学说。为了在世界市场竞争,拉夫先生争论道,美国钢铁工业需要有一个应急的计划,它将产生很大的技术成就。

拉夫先生带了他的想法到华盛顿,引起了战略方针的转折,其结论是国会拨款给能源部3000万美元去建立一个薄带连铸的先导工厂。

具有讽刺意义的是这使能源部脱离了跳步工艺,而该工艺过程的研究之一是在国际和贝特勒(Battelle)进行着。通用电器公司和麻省工艺学院的可行性研究指出,在建立一个大的薄带连铸工厂之前需要进行更多的研究,通用电器公司说,应该建立一个工厂采用铸带设备生产板坯面不是薄带。

合伙研究的美国钢铁公司和伯利恒公司提议采用哈兹莱脱铸带设备。能源部决定采用这个方法,授于他们3000万美元的合同。

哈兹莱脱铸造设备采用上、下二根薄带,稍有些倾斜,因为带子带着铸坯运动,使高速铸造成成为可能。美国钢铁公司期望每小时能生产60t宽1ft的坯料。

铸坯厚度将是1/2~1 in。这将省去一些热轧过程,减少一定的工作量,估计每吨节省390万 Btu能量。这个节约量小于薄带连铸,但它可铸造所有的薄板品种而应用更广。主要操作的节省,每吨为35~45美元。

虽然有各种各样的顾虑,但哈兹莱脱工艺最大的优点是具有足够的研究和生产经验,因而在钢铁方面的应用有很大的成功几率。

“也几乎可以肯定,它将经历如冬天一样的艰难历程”。阿尔科的斯彼尔先生说。

应该注意到,不是所有哈兹莱脱的经验都是好的。在60年代末期,伯利恒和美国钢铁公司在碰到了表面质量问题后,都先后停止了哈兹莱脱研究计划。然而从60年代后,哈兹莱脱设备成功地应用到各种金属中,目前有21台在铸造铜棒,7台铝薄板连铸机已安装或订购。铸钢的先导设备在德国克虏伯(Krupp)和日本的生产厂(可能是住友Sumitomo)安装,目前在纽考和美国钢铁—伯利恒公司的设备正在建立。

尽管有经验的积累，而前的任务仍是难于对付的。哈兹莱脱、西屋和哈度松—华尔克耐火材料公司 (Harbison-Walker Refractories Co.) 都被召集到先导计划中作为转订合同者，麻省理工学院的约翰·傅·爱利奥特 (John F. Elliott) 教授作为顾问。

在哈兹莱特计划中前期的许多工作打算放在浇铸系统。“我们把这看作是技术的关键”。美国钢铁公司凝固研究主任米恰尔·阿·莫勒 (Michael R. Moore) 说。

成功地浇铸的关键可能是由电磁控制浇铸。西屋为核工厂制造电磁泵的专家尽全力完成铸锭系统。感应搅拌以及电磁控制可能在整个薄带连铸计划有突出的价值。

赞成和反对

不是每个人都同意薄带坯铸造是应走的路。斯彼尔先生说：“这取决于你是否有适当的资金”。他表示阿尔科有足够的热轧能力，应该慢一点抛弃它，除非新工艺大大降低成本和提供新的生产能力。

有些有趣的评论来自梯宾 (Tippins) 机械公司主席乔奇·梯宾。该公司已建立了轧机轧制有限量的薄板和薄板坯。该公司正在建立新轧机为最近成立的杜司卡洛沙 (Tuscaloosa) 钢铁公司轧制板坯。

杜司卡洛沙工厂可能最终将走向连铸。这是有趣的，因为梯宾先生认为仅从连铸薄坯所得的利益是有限的，他说大部分的功率是消耗在坯料轧到1 in以后的轧制过程中。

“就像把牙膏挤出管子”，他说，“最后残余的牙膏是最难于挤出来的”。

美国钢铁公司的米恰尔·莫勒以其不同的见解和方法毫不担忧道：“我们意识到我们在进行什么工作，按我们的时间尺度，在五年内达到相当于热轧的厚度和冷轧的宽度的碳钢商业生产方法是颇为满意的”。

先导工厂的人员估计他们的工艺方法能被应用，预计1990年薄板产量达4900万吨。莫勒先生说可能有些不同，在近几年高度专业化生产中可能应用薄带连铸，但广泛的商业应用期望在下个世纪。

关于能量，他确认消耗不是与压下量成直线函数关系；但他说每吨节省391万Btu是建立在不进行粗加工而产生的实际效果的基础上。

钢的纯度在铸造中是个很大的问题，自从美国钢铁公司和伯利恒终止它们早期的哈兹莱脱计划以来，钢的纯度有很大的改善，先导厂的人们说最近达到的纯度水平是适合于哈兹莱脱工艺的。他们说，薄带连铸要变成现实，进一步的开发是需要的。

哈兹莱脱方法的速度不同于普通板坯的铸造速度，与普通连铸机的5 ft/min相比，先导队的目标是50 ft/min。

与此同时……

虽然薄带连铸激起了很大的激情，但所有的商业计划还是采用普通连铸。

SMS康卡司脱 (Concaot) 公司是先导队的成员，将在国际钢铁公司的大湖工厂建立新的板坯连铸机和在美国钢铁公司的格雷 (Gary) 车间建立二个单流铸机。

康卡司脱的德国本部正从事研究用哈兹莱脱设备生产薄板坯。公司主席哈白脱·法司脱 (Herbert Festert) 说，“我们确实正在从事一个完全不同的方法”。

在这个国家里，康卡司脱与依文·罗西 (Irving Ross) 一起研究通过弧形钢表面从熔池

中牵引出铸造薄带的方法，该设备计划建在新杰逊（New Jersey）钢铁厂。

曼乃司曼·台曼奇·魏公司（Mannesmann Demag Wean）最近接受了订货，在雷克萊特（Laclede）钢铁公司重建6流钢坯的连铸机和在北极星（North Star）钢铁公司重建二台4流连铸机。

曼乃司曼·台曼奇在德国的本部从事薄带连铸，但没有详情提供。

罗考泊（Rokop）公司在建造连铸机方面的强有力地位最近在该公司许可日产（Nippon）钢铁公司为日本提供罗考泊连铸设备后得到提高。在全世界已建立了约50台这样的设备。

佛司脱—阿尔派（Voest-Alpine）已为伯利恒在司巴罗·邦特（Sparrows Point）和贝斯港（Burns Harbor）的钢坯连铸设备完成了大部分机加工任务。像所有佛司脱钢坯设备一样，这些设备也用直模子。现在看来，从弧形模子又转回到设计直模子。

有些工程师认为，希奇的是弧形模子是有利的，但钢液相对要脏些。现在人们采用直模子是使钢液更纯些。

像其他的制造者那样，佛司脱正在从事薄带连铸研究，并期望在年内有一台能运行。佛司脱·阿尔派国际公司的米恰尔·沙格勒（Michael Cygler）说：“我们试图组装一部能铸造0.04 in的设备，我们觉得将来是属于薄板连铸的”。

对普通铸造，所有的钢铁公司都是热装炉和直接轧制的，对大多数美国工厂的实际布局，直接轧制是不可能的。

电磁铸造

阿尔科的研究中心的钢锭铸造部主任隆·米勒（Ron Miller）说：“金属从不接触模子”。他正在解释在铝锭铸造中采用电磁场代替了固体模子来容纳液体铝。

如果联想电磁悬浮起一大块金属就错了，当铸造开始时熔融铝注入到金属引锭头中，然后向下拉锭，锭子的外框凝固成壳，中心包有锥形的熔池，凝固过程时新金属注入熔池而“锭子成了它自己的模子”。米勒先生解释道。然而假如不控制，液体金属将溢出。就是在很小的区域由电磁场包围着。

“那是小于1 in——更接近于1/2 in”。米勒先生说。

结果表面是光滑的，不要剥皮，边缘的锯齿也消除了，轧成的薄板也不需要去除3 in的边了。

阿尔科采用了阿留申（Alusnise）发展的电磁技术。有一台设备在研究中心而另一台生产系统在阿尔科。盖斯（Kaiser）已经发展了他自己的电磁系统。

译自《Iron Age》，1985.8.2，31~49。

许嘉龙 译 庞克昌 校

3. 钢带和薄板坯连续浇铸技术

M. Cygler M. Wolf

就目前而言, 薄板坯浇铸至少对没有热轧带钢设备的钢厂来说具有更重大的意义。

“传统的”连铸工艺(基于静止的, 垂直振动的结晶器)已处于非常成熟阶段。因而, 在某些国家, 连铸比已达到饱和水平。现已投产或在建设中的连铸机数目列于表1。

表1 现已投产或建设中的连铸机(铸流数)

类 型	CONCAST集团	其它供应商	合 计
板 坯	97(137)	236(381)	333(518)
大方坯	99(376)	203(747)	302(1123)
小方坯	251(844)	432(1421)	683(2265)
总 计	447(1357)	871(2548)	1318(3906)

下一步的发展方向必然就是发展能浇出接近成品规格的铸机, 以提高炼钢的经济效益。一个很活跃的研究动向就是浇铸高质量钢种的小方坯, 具有弧形结晶器的超低头铸机(ELH)和具有水平结晶器的水平连铸机(HCC)现正用于浇铸这些高质量钢种。这些铸机可安装在现有的厂房里, 这也是其另一优点。ELH铸机适用于浇铸传统厚度的板坯和大方坯。

对轧制的板材来说, 接近最终产品的浇铸需满足以下需要:

①为使浇铸时间与冶炼周期配合, 需要相当高的铸速(图1)。

②由于高速浇铸, 接触面必须增大, 这就会在静止的、振动的结晶器中产生巨大的摩擦力。

③由于随后的成型过程中压缩比减少, 故必须使钢液纯净, 产品表面和内部质量完好。

为克服结晶器摩擦问题, 经常考虑到的方法是“移动结晶器”原理, 因为这一方法已在有色冶金中广泛应用。然而, 解决这一问题的其它方法仍然是基于垂直振动结晶器, 甚至HCC方法也是一种方案。这些不同浇铸方式, 在下面将分别选一个有代表性的例子加以综述并图示。由于搜集现在发展真实状态的信息受到限制, 所以, 本文就不可能十分完善; 而且, 对如此丰富的专利文献也很难作出全面综述。

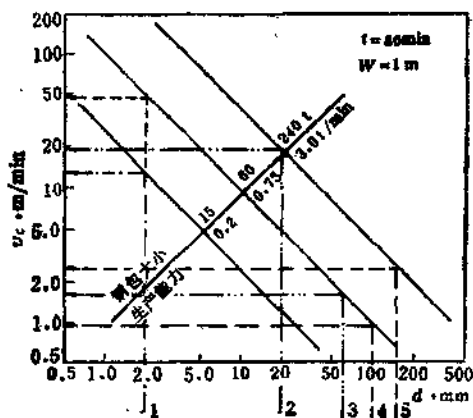


图1 铸速和产品厚度(1m宽)、浇铸时间为80min 所需生产能力及适用的轧制工艺范围的关系

横坐标下: 1—冷轧; 2—精轧; 3—行退轧机;
4—炉卷轧; 5—热轧轧

1. 历史状况

探索直接浇铸板材的方法可追溯到上个世纪。这一思想的著名提出者是Henry Bessemer先生。他于1846年提出了一种单辊“拉拔”式浇铸，来生产薄玻璃板。1856年Bessemer用双辊顶部注入工艺成功地浇铸了钢和可锻铸铁的薄板（最大厚度为2.5mm）。在1891年写的论文中，Bessemer指出德国和美国也开展了这项研究。另一篇关于移动结晶器铸机历史状况的详细报道是Halliday写的。

这一原理的进一步发展产生了传送带型结晶器铸机。在这种类型的铸机中，输送带型结晶器是由安置在相互对叠在链式侧挡块上的两个半模形成，即“双带式”铸机。早在1872年，这种类型的铸机就在英国由Wilkinson和Taylor申请专利，1885年由Matthes和Lash及1913年由Mellen分别在美国申请专利。在苏联，1938年，Goldobin在庫茲涅茨克联合企业也用这种铸机浇铸100mm小方坯。后来，Goldobin的设计被实验性地应用到莫斯科的镰刀和锤子钢厂和Bryansk的Bezhitsii工厂。此外，这种铸机当时已装上了 Co^{60} 放射源来控制钢水液位。

据说，1897年Wood在英国申请了一种4带（每面1带）式类似的铸机。然而，Wood的铸机是设计用于浇铸厚断面的。在苏联，1937年由Gridin和Frolov，1939年由Ksenofontov分别建立过此机。1944年在Gorkii工厂Granat设想出一种由倾斜（ $30\sim 40^\circ$ ）固定的结晶器与后部双带拉坯系统结合的混合式铸机。Granat铸机的中间包通过一个倾斜的耐火材料注管将金属输送到结晶器，金属流由塞棒控制。小方坯尺寸为 $150\sim 300\text{mm}^2$ 。根据“停-拉”原理，浇铸速度在 $0\sim 2\text{m/min}$ 之间变化。

基于Bessemer的研究，C、W、Hazelett于20年代开发了双辊式浇铸1.5mm厚，用作电池铅板的硬铅板。Hazelett的设计由Crucible钢铁公司在其位于Harrison, NJ.的Altra工厂于30年代用于铸钢。330mm宽的铸机试图生产了3mm厚的高碳钢和不锈钢带，生产率为 0.2t/min 。

在苏联，1934年，Ulitskovskii在Leningrad设计了一台带有倾斜钢水注入器的双辊式铸机。这一工艺用于生产宽500mm，厚1.2mm以下的铸铁板用作如屋面板等要求不严格的场合。1952年建立了两台分别具有 50kt/a 生产能力的铸机。其铸速约为 0.7m/min ，生产率最大为 1.5t/h 。

然而，战后主要的发展似乎集中在西半球，而最近则在日本。另一方面，在苏联，最近从表面上看几乎没开展这方面研究。苏联最近主要的兴趣在于研制具有振动的双流结晶器的水平铸机，据说适用于浇铸宽度1000mm以下的薄板，但宽厚比仅为 $5:1$ 。

因而，下面的综述仅仅考虑西欧和日本的发展。对钢带和薄板坯浇铸分别对待。（钢带的生产工艺除浇铸之外，如喷雾法，喷射轧制法等，在这篇综述中不考虑）。

2. 钢带坯的浇铸

直接浇铸接近成品规格的非常薄的钢带坯已在生产铝带方面成功地实践过。已经开发了许多不同的方法，随冷却速度增加，凝固结构更细（见图2）。冷却速度在 10^5K/s 以上称为“快速凝固”，某些合金在此速度下会形成非晶。图3示出了旋转浇铸宽度为300mm以下，厚度为 $20\sim 30\mu\text{m}$ 钢带的流程。该单辊法铸机是由Basle大学和CONCAS标准股分公司联合研