

设计参考资料

薄板坯连铸

9
1995

首钢设计总院

设计参考资料

1995年9月

目 录

逆向浇铸带钢的新工艺·····	1
阿维斯塔设菲尔德公司不锈钢薄板坯连铸·····	11
CPR——连铸连轧生产带材的工艺·····	23
双辊式薄带钢的直接浇铸·····	35
重点小型轧钢厂引进薄板坯连铸工艺的建设	

逆向浇铸带钢的新工艺

F—P Pleschiutschning

带材逆向浇铸设备的特点是成形带钢由引带装置牵引经钢水熔池垂直向上拉出，可使成形带材的厚度增加五倍。由于凝固是从里何外进行的，因此称之为“逆向”浇铸。

带材逆向浇铸是为使薄带钢浇铸在凝固过程中满足板型和表面质量的要求而开发的。其它带材浇铸工艺，如双辊浇铸是要求带材在快速旋转的辊面上，在与双辊接触的瞬間凝固成型。与此相反，逆向带材浇铸可使附层带材在钢水熔池出口处，与一对平整辊的辊面紧密接触，生产出厚度5mm以上，宽度500mm以上的表面平整带材。双辊式铸机生产的带材宽厚比一般大于100:1，从而增加了带材横向变形阻力，不利于板型控制。鉴此，当带材宽度超过500mm的时，双辊浇铸机还不能生产出浇铸厚度3至5mm板型良好的带材。

为满足EN10051标准要求，如厚度公差小于2%，开发了带材逆向浇铸新工艺。它使钢水在带材表面具有适合的结向，并使浇铸过程中使用的冷轧母带具有良好的板型。此外因为在晶核形成的带上产生固化，母带离开钢水时，即可在平整辊之间实现板型调节，所以这种工艺的能耗低。

一、逆向浇铸的原理

1991年11月，在Aachen的黑色冶金技术学院的研究所里(RWTH)，曼内斯曼德马克冶金装置与设备(MDH)公司和曼内斯曼研究所合作(MFI)安装一套试验设备。这套设备将进行批量生产并确定逆向浇铸设备能够连续运行所需的各工艺参数。目前，该设备正在建设中。研究工作已经集中到低碳钢带材的浇铸上。

逆向浇铸是要生产厚度为4至7mm的钢带，用于热轧或冷轧。

其工艺是由引带装置牵引母带垂直经钢水熔池使母带增厚。当冷的母带插入钢水熔池时，由于其表面温度低于钢水温度，钢水凝固粘附在母带上。结晶到母带上的附层厚度可高达原始钢带厚度的6倍，高于理论计算厚度。理论厚度是根据冷带吸收热量的能力和钢水固化热(875KJ/kg, 280KJ/kg)计算出来的，其厚度仅是冷带厚度的3.5倍。粘附层比计算值高出来的厚度是因为母带离开钢水熔池后，立即热辐射，从而形成固液两相混合物所致；凝固是逆向的，即由母带向外进行。

由于钢带表面存在大量余热，因此当钢带通过位于熔池出口处的一对平整辊时，无需多大的压入力。一般情况下，平整辊可将凝固的钢带的厚度减至5mm，以备下一步冷轧后达到1mm厚度。这种浇铸/平整加工的结果能满足带材表面和板型质量的要求。当钢带被轧制到1mm厚度时，所产生的新钢带则是原

始带长度的五倍，其中的五分之一可作为下一次逆向浇铸用的母带。

为防止表面氧化，用充满惰性气体的箱子来包住逆向浇铸形成的钢带。这也为拟建的试验工厂的连续生产提供必要的密封模拟。

为了确定最佳工艺条件和获得最好的产品质量，对下列工艺参数做了研究：

- 引带用母带厚度
- 表面准备
- 钢水的成分和温度
- 结晶时间
- 轧制速度
- 轧制力
- 辊隙的大小
- 可获得的增长速率

研究的一个基本内容是要确定带厚增长速率和结晶时间之间的关系，图2示意性地给出了在不同熔池温度和两种母带厚度的条件下增长速率和结晶时间的关系。母带进入熔池后短时间内就可达到恒定的凝固厚度增长率，如果超出这个时间界限，母带就开始无法控制地熔化。温度过高将减少增长速率，并使曲线向缩短安全浸入时间的方向移动。

试验证实此工艺能生产完全符合一般质量和规范要求的带



材，并能生产适合于本工艺用的母带。

二、金相研究

冷母带和凝固层之间的界面必须形成连续的熔合区，以便承受进一步的加工。这种熔合区的形成已由大量的金相试验得到证明。

所有试样都表明浇铸后再经平整的钢带，在整个厚度范围内都具有均匀一致的显微组织。金相研究表明母带在逆向浇铸过程中原始厚度的20%被熔化，这就使浇铸带的结晶组织穿透到引锭带中形成凝固层并与母带牢固结合。

在母带和结晶层之间的过渡区域也用显微探针分析法做过研究。这种分析也证实了光学显微镜的研究结果。未发现偏析和细长晶粒组织。

通过检验浇铸带废边的金相也表明，虽然废边有严重变形，但组织致密、均匀。

三、机械试验

对逆向浇铸各个阶段的产品质量还做了机械性能试验。

浇铸钢带外层的硬度值略高，这是由于在表面区晶粒尺寸较小所致。

带材经过冷轧和660℃下的退火后，进行杯状物拉深试验，研究逆向浇铸带材的深拉深特性，发现其变形特性一致。

扭曲试验也得到相同的结果，扭曲最大到450°，此时带材中心仍均匀变形，未出现问题。

在实验室试验条件下也能生产出表面高质量的带材(表1)

表1 不同生产阶段的铜带表面粗糙度

	Ra μm	Rt μm	Rz μm
平整	2.87	21.8	15.6
2个热轧道次	1.56	10.5	8.4
1个冷轧道次	1.45	12.4	9.6
2个冷轧道次	1.30	11.3	11.6
1个热轧道次和3个冷轧道次	1.50	9.6	9.5
2个热轧道次和2个冷轧道次	1.70	10.1	9.4
2个热轧道次和3个冷轧道次	1.52	9.5	7.9

在重复逆向浇铸和轧制后，带材仍呈现均匀的铁素体显微组织，其中珠光体比例低，并未发现前次逆向浇铸的迹象。

四、拟建的生产线

生产线平面布置图如图3所示。25t的冷轧带卷母带通过一个摆式剪切机，必要时再通过一个带材接缝电焊机，经过一个活套挑进入清洗段去除氧化膜和油污，清洗段由去油槽和刷光设备组成。表面清洗对于保证母带和凝固层之间的牢固结合很重要，然后冷带由夹送辊送入结晶器底部。结晶器的钢水由钢包经过中间包连续供给，这就保证在钢水不断凝固并不断被母带带走的情况下，维持结晶器中钢水液面稳定。

当钢带离开钢水后，立即穿入一对平整辊，后者的作用是使钢带表面和带型特性达到要求。

通过冷轧使钢带厚度减至1mm，并卷成6个冷带卷，卷重25t，每一带卷都与原带相同。

为避免氧化和带来不必要的酸洗，建议安装一个充满惰性气体的箱体，盖住结晶器和平整装置使其密封运行，由于箱体尺寸小，安装简便。

建议逆向浇铸后直接进行冷轧；另一个可选方案是先在线热轧，后接冷轧。为了生产出具有深冲质量的钢带，要求冷轧压下率至少达到70%，然后再退火。当把6mm厚的钢带轧制成1mm厚时，压下率远超过70%。具有高 r 值的钢带，标志着整个厚度范围具有较高强度，因此有良好的冲压性。

通过热轧或冷轧，都可以生产出适合的母带，而且冷轧带不要求退火处理。供一天生产用的母带库存量是必要的。在一个生产厂中每年需要1700t或占总产量3%的母带。

带材若需退火，冷轧能力必须比炼钢车间的生产能力高出17%，才能生产出足够的母带。这额外的17%钢产量虽然会增加从钢水到冷带的生产费用，但是对每年50万t的带材产量来说，每吨仅增加不足6德国马克。

五、经济性分析

首先带材逆向浇铸与高炉—BOS(碱性吹氧转炉钢)—薄板坯连铸机生产流程，以及与EAF(电炉)—薄板坯连铸—小型轧机的生产流程的比较表明：对于一个年产100万t带材的工厂，其逆向浇铸设备和串列式轧机组的总投资仅是BF—BOS(高炉—碱性吹氧转炉钢)生产流程总投资的16%。人员也比传统的生产流程减少大约9%(表2)。带材逆向浇铸线的投资(包括轧机而无酸洗设备)，可节省105德国马克/吨。

如果按年产冷带50万t来做比较，若采用可逆式冷轧机，其投资将会进一步减少(图4)。

表2 年产100万t冷带的改造成本(不包括炼钢成本)

	传统方法 [DM/t]	薄板坯法 [DM/t]	逆向浇铸法 [DM/t]
炼钢厂 / 估算	(350)	(350-300)	(300)
浇铸线	35		
轧机	65		
ISP(直接铸轧)		55	
酸洗	30	30	
冷轧机	35	35	
钢带和逆向浇铸			60
退火	30	30	30
平整轧制	20	20	20
总投资	215	170	110
投资比较	100.0	79.1	51.2

六、结论

逆向浇铸带材的第一阶段研究已经证明这一工艺是可行的，带材厚度误差小于2%。

带材逆向浇铸工艺为终轧厚度0.5mm至1.0mm的近终形带材的生产又开辟了一条新路。

带材逆向浇铸有如下特征：

- 冷带与凝固层结合牢固；
- 比母带厚度增加5倍；
- 具有致密、均匀的凝固组织；
- 无宏观偏析；
- 材料特性好；
- 能耗低；
- 改善经济效益和生态平衡。

目前的开发阶段集中研究下述问题：

- 改进结晶器底部的母带入口的密封；
- 提高连续生产能力。

改进结晶器底部密封的第一次试验已获成功，而且已开始研制可连续运行的试验设备。

研究工作还证明，带材逆向浇铸工艺提供了一种生产复合带材的新方法，例如在各种深冲钢带表面覆以一层不锈钢。

陶世武 译自《Steel Times》1995, №. 6

董成茂 校

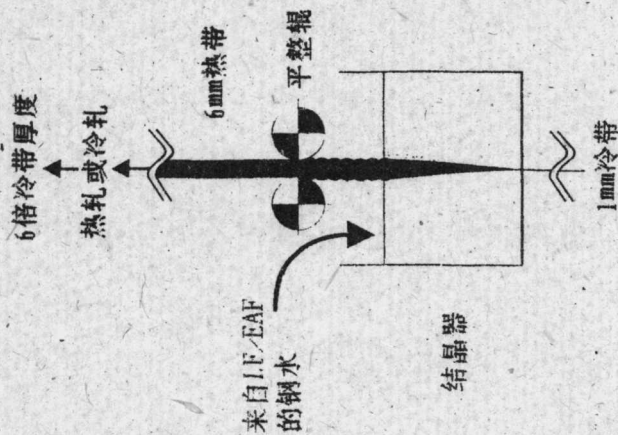


图1 逆向浇铸示意图：
一条冷母带在规定的时间内
穿过钢水熔池

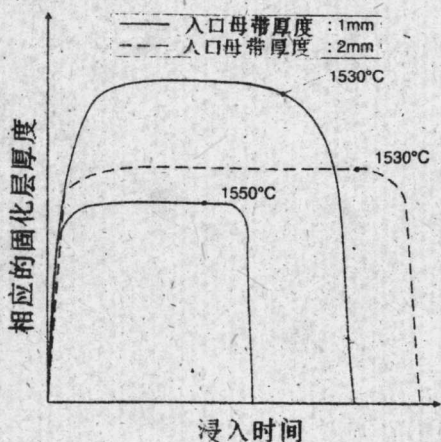


图2 逆向浇铸过程中不同时间的厚度增长率示意图

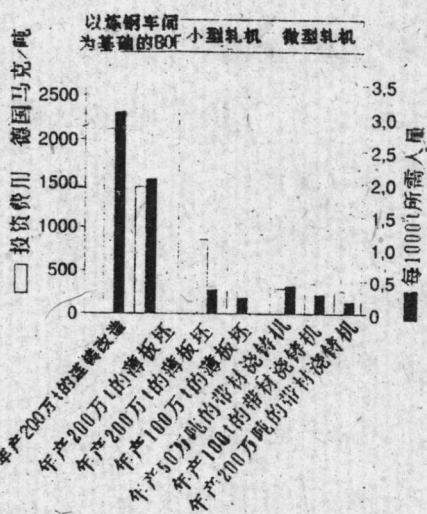


图4 EAF、小型轧机和逆向浇铸带材轧机改造费用的比较

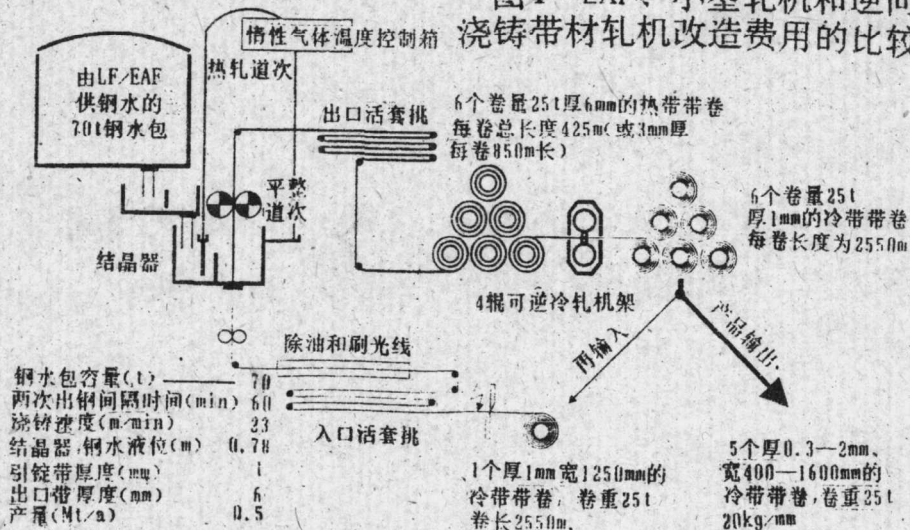


图3 采用逆向浇铸工艺的冷轧钢生产线平面图

阿维斯塔设菲尔德公司不锈钢薄板坯连铸

摘要

阿维斯塔设菲尔德公司的阿维斯塔厂已于1988年实现了不锈钢薄板坯连铸。为提高产品质量和生产能力,将重点放在宽2m的高合金不锈钢薄板坯连铸上,由奥钢联(VAI)的常规连铸机完成,该铸机生产的板坯的厚度和宽度具有很大的变化范围。直到1994年,阿维斯塔设菲尔德公司仍是唯一的工业化生产普通薄板坯的不锈钢生产厂家。本文将介绍该厂薄板坯生产的目的和1988年投产以来取得的成果和经验。

1、概述

阿维斯塔设菲尔德公司目前拥有四个炼钢厂,其中两个在英国(设菲尔德厂和潘蒂戈厂),两个在瑞典(阿维斯塔厂和代格福什厂)。炼钢和精炼的总能力超过80万t/a,这使该公司成为世界上最大的不锈钢生产厂家之一。公司的策略是通过生产不同规格,不同钢种的产品来实现“不锈钢之家”的称号。代格福什厂和设菲尔德厂生产热轧不锈钢板,而热轧带卷则主要由1991年在阿维斯塔厂投产的现代化的大功率斯特克尔式轧机生产。

该公司所生产的不锈钢有:马氏体,铁素体(410, 409, 430),奥氏体(301, 304, 316),二相合金(如: 2205, SAF 2304)和超奥氏体(如: 254 SMO, 654 SMO)等。

阿维斯塔厂除炼钢车间和斯特克尔式轧机外，还有一台冷轧机，KBR部门的这台冷轧机是世界上最宽的不锈钢轧机，能生产宽度大于2m的不锈钢冷轧材。

1980年首次将连铸引进到阿维斯塔厂，第一台连铸机由总部设在奥地利林茨的VAI制造并进行现场调试。1987年，又与VAI签订了合同，由VAI对连铸机进行改造，使浇铸的最大宽度从1600mm增加到2100mm，以满足上面提到的冷轧机对坯料的要求，同时还将板坯的厚度从140 250mm变为80 250mm。即阿斯塔设菲尔德公司(当时的阿维斯塔公司)决定开始从事薄板坯连铸。1988年8月，浇铸了第一炉宽2m的板坯，同年12月，首次进行了薄板坯连铸试验。目前，唯一工业化生产普通薄板坯的不锈钢生产厂家——阿维斯塔设菲尔德公司能生产出世界上最宽的薄板坯。

2、阿维斯塔设菲尔德公司开发薄板坯连铸的目的

- 1) 提高热轧带卷和板材的生产率；
- 2) 提高内部质量。

由于超奥氏体不锈钢的合金含量，很难进行热轧，一般分两步进行，中间需要加热。而通过薄板坯连铸生产这一钢种时，则可通过斯特克尔式轧机直接轧成带卷，中间无需再加热(图1)。该公司终形浇铸能高效生产特殊不锈钢和多种普通不锈钢。

2.1 高合金超奥氏体不锈钢的冶金要求和薄板坯连铸的效益

阿维斯塔设菲尔德公司能够生产和销售多种不锈钢。从合金含量来讲，马氏体和铁素体不锈钢分别含12—13%铬和17%的铬，是合金含量最少的不锈钢。生产量最多的是奥氏体不锈钢，包括AISI 320, 304, 310, 316, 321和超奥氏体不锈钢，后者仅含50%的Fe。此外还生产二相不锈钢。

上述不锈钢在连铸过程中会产生多种铸态组织，但在多数情况下，这些影响可被后步工序的热轧和冷轧所消除。然而，由于高合金超奥氏体不锈钢的偏析，一般会在板坯中心区域出现如 σ 相和X相的金属间相沉淀。这些相在后步工序中很难被消除。

采用薄板坯连铸后，就减少了这些问题，这是因为：板坯越薄其液心凝固的时间就越短，有害的偏析就越不易产生。在薄板坯的情况下偏析均匀，且易于分辨。

2.2 薄板坯连铸的经济效益

减少生产工序如二次轧制、中间抛光和二次加热，既节省了能量消耗，又提高了金属收得率。

该公司采用薄板坯连铸技术后，缩短了交货期，减少了库存量。

3、薄板坯连铸技术的选择标准

3.1 结晶器

以上诸方面对连铸机设计具有很大的影响。为了从一开始就保证良好的表面质量，要求铸坯在结晶器内无任何变形(图2)。开始的凝固要平稳地进行，因为在结晶器内的任何变形都将导

致薄板坯表面的缺陷。表面无缺陷的薄板坯是生产优质钢材的绝对的先决条件。

3.2 热流

主要任务是结晶器铜板的最优化设计，着眼点要在传热均匀和降低铜板的温度上面。该设计能够提供均匀的热流密度和均匀的坯壳形成，并能够在高拉速下安全作业。根据理论分析结果，采用了新的冷却水缝结构形式及排列方式(图3)。

3.3 浸入式水口

将钢水注入厚度仅80mm的结晶器内是薄板坯连铸技术的焦点之一。浸入式水口必须满足下列先决条件：

- 1) 在多炉连浇过程中具有较长寿命；
- 2) 在高速浇注时，钢水通过量要大；
- 3) 保证钢水液面稳定，防止形成“搭桥”。

3.4 振动

表面质量和操作的可靠性取决于振动参数的正确选择。由4偏心振动机构组成的振动装置，在浇注期间可进行频率调节，所有钢种甚至在不同的浇注速度下均能保证最佳润滑和可靠的操作。

3.5 夹持段

离开结晶器后坯壳很薄的铸坯由带有中间支座的密排细辊夹持。从垂直到弯曲是沿连续过渡的平滑曲线来完成的，连续弯曲是VAI的专利，其目的是最大限度地减小在固/液两相区中出现的应变，从而提高内部质量。

4. 基础研究

4.1 水模型试验

为了给成功地浇铸薄板坯创造最好的先决条件，必须对浸入式水口的设计做进一步研究。VAI和阿维斯塔厂均使用1:1的水模型研究液体流动特性(图4)，对一些水口设计进行试验，使出口的几何形状和浸入深度达到最佳化。

图5提供浸入式水口浸入深度的细微变化对流场影响的实例。对给定的浇注断面可定义一个流场观察区；从中可以看到在弯月面附近液流稳定、均匀。

图6为目前使用的浸入式水口。

4.2 开发结晶器保护渣

除了要求流场达到最佳化以外，薄板坯连铸还要求使用特殊的结晶器保护渣，以保证足够的保护渣消耗量，且覆盖均匀。对不同厂家供应的保护渣VAI在实验室进行了分析，阿维斯塔厂在生产期间也进行了试验，研究结果确定选择一种颗粒状保护渣，该保护渣粘度低，熔化时间短，具有低软化点、低熔点和低碱度(图7)。

4.3 浸入式水口耐火材料的开发

VAI在Linz厂的板坯连铸机上，对不同耐火材料进行了系统的试验。取一种耐火材料做为参考，将两种耐火材料制成的套管，一种为试验材料，一种为参考材料，在浇注期间浸入结晶器延长在结晶器钢液内的时间，以此来确定不同耐火材料的融蚀程度。