

# 薄板坯连铸连轧技术漫谈

## Introduction of Thin Slab Casting and Rolling

供稿 | 陈兴禹/CHEN Xing-yu

薄板坯连铸连轧(thin slab casting and rolling, TSCR)技术是世界钢铁工业于20世纪80年代末开始发展的重大创新技术,是多项工艺集合创新的成果。作为钢铁制造领域的前沿技术,以其投资省、成本低、节能降耗、高效的优点,得到迅速的发展。

### 新型薄板坯连铸连轧技术

目前,国外开发的薄板坯连铸连轧工艺形式较多,但目前实现规模生产的只有4种,即德国施勒曼-西马克(SMS)公司的CSP工艺;曼内斯曼-德马克(MDH)公司与意大利的阿西埃阿尔里亚-阿莱德集团合作开发的ISP工艺;意大利达涅利公司的FTSR工艺;奥地利奥钢联开发的CONROLL工艺等。

#### CSP技术

施罗曼-西马克公司开发的CSP(compact strip production)工艺,也称为紧凑型热带生产工艺。CSP工艺流程一般为:电炉-钢包精炼炉-薄板坯连铸机-保温炉-热连轧机-层流冷却-地下卷取。CSP工艺具有流程短、生

产简便、稳定、产品质量好、市场竞争能力强等一系列突出优点。

CSP工艺采用了许多关键技术,具体包括:(a)使用漏斗形结晶器。漏斗形结晶器具有较厚的上口尺寸,便于浸入式水口的插入,长水口和结晶器壁的距离不少于25mm,有利于保护渣的熔化。提高其使用寿命。(b)严格控制钢水质量、提高纯净度。对CSP工艺而言,为保证产品质量,要从精炼做起,采用优质原料,控制废钢夹杂,配加直接还原铁(DRI)都是必要的。(c)板形控制技术。如轧辊轴向移动、轧辊热凸度控制、板厚及平整度的在线控制等措施使之能够生产1mm的热轧带卷。

#### ISP技术

ISP(inline strip production)工艺,即在线热带钢生产工艺,是德国曼内斯曼-德马克公司和意大利阿西埃维尔西亚集团合作开发的一种薄板坯连铸连轧技术。该技术采用平行板型结晶器,液压压下技术。其工艺流程可简述为:钢包车→中间包→薄片状浸入式水口→结晶器→铸轧段→粗

轧机→剪切机→感应加热炉→精轧机→层流冷却→地下卷取。

ISP方案的技术含量较高,液芯压下,大压下预轧机等充分利用了铸坯的高温特性,大大减小轧机的负荷,在目前实施的薄板坯连铸连轧工艺方案中生产线最短,仅需180m,实现了短流程。从钢液至成卷仅需15min,显示了其高效性。液芯压下和大压下轧机的采用使得在高温下变形抗力小,用小的轧制力即可实现大的变形,节约了动力消耗,偏析程度低,改善了带钢内部组织,进精轧机坯料时厚度变薄,减少了精轧加工量。板坯中间卷曲成为可能,缩短了生产线长度。但是该技术设备复杂,对管理水平和技术要求较高。

#### 其他技术

除上述工艺外,还有其他的薄板坯连铸连轧工艺,如FTSRQ工艺(意大利开发),被称之为生产高质量产品的灵活性薄板坯铸轧工艺。该工艺能够浇铸各种钢种;板坯宽度厚度范围也较大;直接铸轧过程操作灵活。此外还有CONROLL工艺、CPR工艺等。

作者单位:北京科技大学科技产业集团,北京100083

### 产品质量

薄板坯连铸连轧技术除具有短流程、近终形、省能源、低成本、效率高的优点外，另一个重要优点是产品质量高。由于薄板坯在结晶器内的冷却强度远大于传统的板坯，其二次枝晶更短，原始铸态组织晶粒就比传统板坯的更细更均匀。同时，板坯的微观偏析也可得到较大改善，产品性能更加均匀稳定。

但是由于薄板坯连铸拉速较高，凝固速度快，同时许多工艺都采用复杂截面的结晶器，因此给浇铸带来一定难度，并在一定程度上影响了产品质量。其中横向角裂和表面纵裂是薄板坯常见的缺陷。因此还要对设备和工艺进行改进，以进一步提高产品质量。

### 工艺特点

薄板坯连铸连轧技术的工艺特点是：

(1) 板坯液芯长度短。传统厚板坯的长度一般为 20 ~ 25 m，而薄板坯液芯段的长度仅有 5 ~ 6 m，液芯长度短，减轻了设备质量，使铸机的结构简化。

(2) 铸坯热历程变化平稳。铸坯温度高且分布均匀，冷却速度快，拉速高，铸坯在铸机内停留的时间短，铸坯热能可有效利用。因此，铸坯温度高，铸坯中心和边部温度差别小，有利于遏制钢中析出相（如 AlN）的生成和长大，不需要在加热炉中溶解 AlN，便可直接轧制，这是薄板坯快速凝固的一个很大的优点。

(3) 板坯内部质量好。薄板坯

凝固速度快，树枝晶细，内部结构致密，偏析少。

(4) 薄板坯的夹杂物含量和分布有别于厚板坯。薄板坯单位长度的表面积和体积比远大于厚板坯，在钢水洁净度相同的情况下，分布于薄板坯表面的夹杂物数量必然增加。另外，薄板坯结晶器内空间小，拉速高，液面波动较大，更容易造成卷渣。目前，以薄板坯为原料生产的冷轧薄板其表面质量一般不如厚板坯好，这是主要原因之一。

(5) 薄板坯表面大，表面温度高。薄板坯离开铸机后又迅速进入加热炉，因此薄板坯表面二次氧化铁皮（FeO）严重。若高压水除磷不干净，会影响板坯表面质量。

### 发展现状及趋势

#### 发展现状

自 1985 年开始掀起研究开发薄板坯连铸连轧工艺技术及装备热潮以来，国内外钢铁界在 20 年的时间里就兴建了大批该种生产线。近几年，我国也掀起了建设薄板坯连铸连轧生产线的热潮。现在我国已有珠钢、邯钢、包钢、鞍钢、马钢、唐钢、涟钢、本钢、通钢、济钢、酒钢、唐山国丰等钢铁企业的薄板坯（包括中薄板坯）连铸连轧生产线相继投产，产能约为 3500 万 t/a。

中国是薄板坯连铸连轧技术装备发展最快的国家，近几年来，已建成的薄板坯连铸连轧生产线围绕着全流程的生产工艺稳定、产品质量稳定、新产品开发、冷轧基板性能控制和充分发挥流程

潜能实现高效化生产等方面展开；另一方面，陆续建成投产的生产线迅速达产、增效。

#### 发展趋势

在薄板坯连铸连轧工艺控制技术方面，薄板坯连铸结晶器钢水流动控制技术、防止结晶器保护渣卷渣技术、薄板坯连铸结晶器高效电磁制动技术、超薄规格带材轧制、铁素体区轧制、高精度板形和板厚控制、无缺陷连铸坯和板带高表面质量控制技术、高精度控制轧制和层流冷却控制、高效率和高稳定性的半无头轧制等一系列先进工艺控制技术得以进一步开发和完善。

薄板坯连铸连轧技术有以下两种发展趋势：进一步拓宽产品范围；进一步提高产品产量和质量。提高铸速、半无头轧制、铁素体区轧制、紧凑型终轧机组都是要大力发展的方向。薄板坯连铸连轧生产的热轧钢板在质量和性能方面与传统连铸—热轧工艺产品已基本相当，甚至在超薄规格热带、热带精度和强度性能等方面已经超过了传统流程的产品。薄板坯连铸连轧生产在节约投资、降低成本、节能、保护环境以及热轧钢材产品质量等方面具有明显的竞争优势，因此已成为冶金新流程成功发展的典范。

#### 作者简介

陈兴禹（1974—），大学本科，工程师。主要经历：1992年—1996年，北京科技大学机械工程学院学习；1996年至今，就职于北京科技大学科技产业集团，其间：1998年—2003年，日本真木技术株式会社研修。