

薄板坯连铸连轧生产线工艺技术的应用

宋 波,张可建

(武钢第一炼钢厂 湖北 武汉 430083)

摘 要: 简单介绍了薄板坯连铸连轧技术特点、产品范围及工艺优劣势;还阐述了与传统热轧工艺相比,该薄板坯连铸连轧生产线生产(超)薄带钢、(超)低碳钢的优势以及相关产品质量保证的特点。

关键词: 薄板坯连铸连轧;热轧;薄带钢

中图分类号: TF777.7 **文献标识码:** B **文章编号:** 1008-4371(2006)02-0050-04

Technology and application of TSCR line

SONG Bo, ZHANG Ke-jian

(No. 1 Steelmaking Plant of WISCO, Wuhan 430083 China)

Abstract: The present paper describes the technical characteristics, scope of products and advantages and disadvantages of TSCR in term of operating process. Compared to the conventional hot rolling strip mill the TSCR line is much more superior in rolling the (ultra) thin strip and (ultra) low carbon steel and the quality of its products is very well secured.

Key words: TSCR; hot strip rolling; thin strip

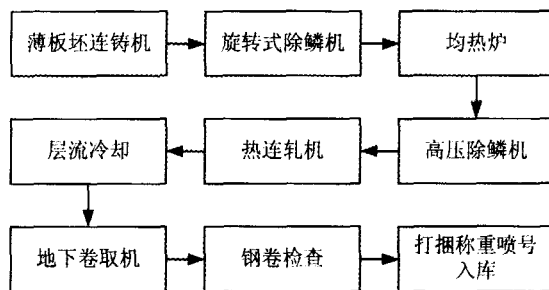
自从第一条薄板坯连铸连轧生产线于 1989 年在美国 Nucor 投产以来,此项技术就一直受到全球钢铁界的极大关注,同时也成为世界钢铁界的投资热点。

目前,在我国已投入生产、在建和拟建的薄板坯连铸连轧机生产线共 12 条,其中珠钢、鞍钢、邯钢、包钢、唐钢、涟钢、马钢、通钢和本钢等已建成投产,在建的还有酒钢、唐山新丰和济钢等钢厂。

薄板坯连铸连轧技术打破原来的技术分工和专业领域,将炼钢、连铸和轧钢紧紧连接在一起,其主要特点为:工艺简化、生产线流程短、生产周期短、能源消耗少、生产成本低。但是紧凑的生产短流程对生产管理、设备可靠性、维护水平、人员素质等都均提高了要求。目前,薄板坯连铸连轧工艺生产线主要类型有:德国西马克公司的 CSP 和德马格公司(现已并入西马克公司)的 ISP、意大利达涅利公司的 FTSC、日本住友公司的 QSP 以及奥地利奥钢联的 CONROLL 等,这些工艺在具体的生产设备配置及工艺技术上各有其特点但

大致相同,相关论文在这方面都有详细介绍。此文只就所涉及到的相关技术特点做简单介绍。

薄板坯连铸连轧生产线流程简介如下:



1 薄板坯连铸连轧技术特点

1.1 结晶器及浸入式水口

薄板坯连铸机的出现并顺利实现工业化生产,是薄板坯连铸连轧工艺成功的突破口,而其结晶器的设计则是其中关键技术。纵观各个公司诸如:西马克的漏斗型结晶器、达涅利的凸透镜型结

晶器、德马格的立弯式结晶器以及奥钢联的平行板型结晶器等的发展方向与目的均是有利于浸入式水口的插入及保护渣的熔化,以便在高拉速的情况下保证铸坯质量^[1]。

浸入式水口的内部和外部形状,尤其是开口的布置和配置,决定了结晶器内钢水的流向和钢流的形状以及注入结晶器后引起的动能分布。

1.2 铸轧技术

铸轧技术包括液芯压下和液-固相的轧制两方面^[1]。

液芯压下具有以下优点:

(1) 改善表面质量:结晶器厚度增大、弯月面稳定性好、润滑更好;

(2) 改善内部质量:中心偏析和疏松减少、柱状晶破碎;

(3) 生产灵活:铸机可以按最合理的方式进行生产。

液芯铸轧方法对细化晶粒效果明显,可获得良好的韧性;用铸轧方法减薄铸坯厚度也可减少精轧机架数,缩短连铸机和连轧机之间的距离以及加热装置的长度。

1.3 拉坯速度

高拉坯速度是薄板坯连铸连轧的一个技术特点,追求更高的拉速也是以后的主要发展方向,其前提是改善结晶器的传热、加大冷却强度、减小结晶器铜板厚度、控制保护渣呈薄膜状。西马克和达涅利两家公司的最高拉速均可达 8 m/min。

1.4 铸坯冷却制度

冷却方式有喷水冷却、气-水混合冷却、干式冷却(空冷)三种。CSP 工艺采用的是喷水冷却,其优点是既可冷却板坯,又可冷却导辊,而且水可将导辊和板坯上的残留保护渣冲掉,但铸坯经喷水冷却后表面温度低,轻压下技术难以使用。ISP、FTSC、CONROLL 工艺均采用气-水混合冷却,可根据薄板坯的宽度、厚度、铸速等来控制水流速度,改变压缩空气和水压以及气-水比,达到有效地调节水流量的目的,沿铸坯拉坯方向和宽度方向按不同冷却强度要求进行自动控制。

1.5 均热炉

除 ISP 采用感应加热和克日莫那炉外,其它工艺均采用辊底式均热炉。一般辊底式均热炉长度为 160~300 m,炉内辊子为耐热材质、内冷,均热炉采用煤气加热。

辊底式均热炉的主要作用是均热而不是加热带坯,在铸机和轧机间起一个缓冲衔接作用。均热炉可以使同一带坯温度差为 ± 10 以内,且整条带钢温度均匀。但是因受炉内辊子耐火材料限制的影响,均热炉最高加热温度只能控制在 1150 左右。

1.6 精轧机组

精轧机组的设备配置和控制系统基本上和传统热轧设备差不多,主要区别有:

(1) 为了减小轧制力和更好地控制板形,最后两架轧机工作辊辊径配置小;而为了在大压下时增加咬入角,则将前几架轧机工作辊辊径配置较大。

(2) 为了满足铁素体轧制的需要,在前几架轧机间配置了快冷装置。

(3) 为了解决薄板坯氧化铁皮难于去除的难题,在精轧机组前配置了 40 MPa 的高压水除鳞机。另外,在前两架轧机后也配备了除鳞集管。

(4) 为了轧制薄带钢,各机架还配备了润滑轧制设备。

1.7 铁素体轧制技术

铁素体轧制就是在奥氏体状态下将带钢轧制到一定厚度后,通过强冷使带钢迅速完成相变,在带钢处于全铁素体状态下,后面的机架将带钢轧制到最终厚度。

采用铁素体轧制技术的目的是要避免在

相变时会出现流变应力的突变,尤其是当带材薄而轧制速度快时,末架精轧机产生的非均匀变形可能导致带材跑偏和板形缺陷。此外,在奥氏体和铁素体共存的情况下进行轧制,会引起带钢力学性能不均匀和最终产品厚度的波动(流变应力的变化引起轧制力的变化,使厚度控制难度加大)。

铁素体轧制技术可以生产直接应用的热轧薄带钢或超薄带钢(替代传统的冷轧退火板),直接退火、酸洗后热镀锌处理的薄(超薄)热轧带钢,冷轧和退火的热轧软带钢。铁素体轧制的钢种一般为低碳、超低碳钢。

1.8 半无头轧制

半无头轧制就是由与轧机中心线对齐的一流连铸机连续铸出相当于几块目标钢卷卷重的一块长铸坯(铸坯在进均热炉前不按目标钢卷卷重进行剪切),此长坯在经由热连轧机连续轧制后,由安置在地下卷取机前的高速飞剪按要求进行剪切

分卷,再由两台地下卷取机对这几个钢卷轮流连续进行高速卷取。

半无头轧制需要的技术功能主要如下:

- (1) 变规格轧制控制;
- (2) 工作辊窜辊和板形控制 CVC 或 PC 辊等在负载下辊缝设定范围扩大后的控制;
- (3) 活套的快速响应控制和带钢流快速响应控制;
- (4) 适合负载下辊缝设定范围扩大后的板形控制系统;
- (5) 辊缝润滑的策略;
- (6) 轧机和卷取机间的带钢张力控制,特别是飞剪剪切带钢时的带钢张力控制;
- (7) 带钢的卷取以及 1 号夹送辊的控制等。

半无头轧制工艺的优点主要有:

- (1) 可生产超薄带钢和宽而薄的带钢,拓宽产品大纲而不降低收得率;
- (2) 稳定轧制条件以利于产品质量和收得率;
- (3) 减少了穿带和甩尾的次数,大大地降低了轧材的废品率,提高了收得率和生产率。

应用半无头轧制工艺轧制目标厚度超薄的带钢时,会由于需要烫辊和使用变规格轧制的方法而产生部分过渡规格的带钢产品,这部分过渡规格带钢有可能由于没有相应订单而造成产品积压。

2 工艺优势和劣势

2.1 带坯温度均匀

热轧带钢的机械性能很大程度都取决于温度控制(包括温度命中率和精度),而薄板坯连铸连轧生产线最大工艺优势就是可以给轧机提供全长温度均匀的带坯。由于流程紧凑的特点,为得到高的温度命中率和温度精度提供了保证,从而为轧制得到一个带钢全长均匀的机械性能以及热轧过程中的板形及厚度精度控制提供了很好的前提保障,特别是(超)薄带钢的轧制。

2.2 (超)薄带钢轧制

与常规热轧相比,由于薄板坯连铸连轧生产线流程短,带坯加热后全长温度均匀,并且可以通过半无头轧制等工艺来很好地实现超薄带钢的轧制。为了更好地轧制薄带,西马克 CSP 生产线特意在精轧机组后安装了压带风机,层流冷却段设计了边部遮掩等装置。为了解决轧机在轧制(超)薄带钢时轧制力大的难题,还安装和应用了润滑

轧制技术设备。另外,为了更好地生产超薄带钢,有些薄板坯连铸连轧生产线(如德国蒂森 CSP 厂)还设置了近距离卷取机。

目前德国西马克 CSP 和达涅利 FTSC 生产线可轧制的最薄规格为 0.8 mm,如此厚度的热轧卷已经替代了部分冷轧薄板,并且呈现良好的发展趋势。

已有钢厂为了生产薄带钢而特意选择薄板坯连铸连轧生产线,诸如德国蒂森 CSP 厂和墨西哥希尔沙 CSP 厂等(有关资料介绍这两家现在的薄带钢成品产量占较大比例)。蒂森已轧出 0.91 mm 的热轧卷,墨西哥的希尔沙 CSP 生产线已轧出 0.84 mm 的热轧卷(国内部分薄板坯连铸连轧生产线也已经试生产出 0.9 mm 的热轧薄板)。

2.3 超低碳钢的轧制

由于超低碳钢的相变温度高,在常规热轧生产线上存在精轧出口温度不易控制、机械性能不均匀以及板形不易控制等问题;而薄板坯连铸连轧生产线上可以通过铁素体轧制工艺来解决这些问题。

使用铁素体轧制工艺轧制相同的低碳或超低碳钢时,其轧制压力与奥氏体轧制相当。铁素体轧制工艺可以减少氧化铁皮生成量和工作辊消耗,能生产表面质量较好的且具有较高 r 值、 n 值的热轧软带钢。

2.4 质量优势

从文献[2]中可了解到,由于薄板坯在结晶器内的冷却强度远远大于传统的板坯,其二次和三次枝晶更短,板坯微观偏析可得到较大的改善,分布也更均匀。因此,产品的性能更加均匀、稳定。由薄板坯连铸连轧生产线轧出的热轧带卷,经检测看出,其组织含有大量细小而弥散的尺寸约在 100 μm 以下的析出物。析出物多为分布在晶内和晶界区的 Al_2O_3 、 AlN 、 MnS 、 NbCN 等。这种析出物可以细化晶粒,提高成品材的强度。

与传统工艺相比,薄板坯工艺在生产低(微)合金钢时还有一个特点^[3]:微合金元素的完全溶解是合金元素在钢中多重作用的前提,高温薄板坯直接入炉,许多合金元素不会像采用传统工艺时那样,因为板坯冷却而析出,合金元素始终处于溶解状态,从而不仅在初始组织内而且还在再结晶后均起到细化晶粒的作用。为了在成品组织中取得弥散硬化,一部分合金元素应在相变之后仍处于溶解状态。而常规工艺,即冷装工艺时,由于

在再加热前的冷却过程中合金元素已经以碳化物和氮化物的形式析出,在再加热过程中这些碳氮化合物不能全部固溶,从而合金元素的作用就不能得到完全发挥,最终产品晶粒细化受到一定的影响(据有关文献介绍,采用常规工艺板坯再加热时,合金元素的固溶量约为总合金元素量的一半左右)。而薄板坯则通过工艺的优化控制解决了这一问题。根据需要,在材料变形前使合金元素保留到相变以后析出,使材料进一步得到强化。因此,薄板坯工艺可较大地发挥合金元素的潜力,相对减少合金元素的用量。

2.5 有限的产品品种和规格

从生产的现有钢种看,薄板坯连铸连轧可以覆盖大多数热轧带钢的品种,但还不能生产出一些性能要求高和附加值高的品种。其主要原因如下:

(1) 薄板坯铸坯太薄(一般为 50 mm ~ 100 mm)。带钢轧制的压缩比小,晶粒细化受到一定限制,产品的最大规格和强度有限,不同厚度薄板坯生产的成品最大厚度见表 1^[1]。

表 1 不同厚度薄板坯生产成品的厚度值		
薄板坯厚度/ mm	中间坯厚度/ mm	成品带钢 最大厚度/mm
40	20	6 ~ 8
50	25	7.5 ~ 10
60	30	9 ~ 12

(2) 相对常规热轧,薄板坯从铸机到轧机没有的相变过程,故铸坯为粗大的奥氏体晶粒,为最终得到以细小晶粒组织为主的成品带钢加大了难度。另外,由于薄板坯在结晶器和二冷段的快速冷却速度和凝固速度均远远大于常规工艺,所以铸坯中心没有形成等轴晶的条件。薄板坯除表面激冷层外,低倍组织呈现为贯穿铸坯中心的粗大柱状晶,中心等轴晶区几乎不存在,还不同程度地出现表面横裂纹和角裂纹及纵裂纹等。

(3) 与常规连铸坯相比,虽然薄板坯氧化铁皮薄,但由于没有经过一个降升温过程,氧化铁皮与带坯基体之间具有很高的粘附力,需要达 40 MPa 的高压除鳞水进行除鳞,但效果并不十分理想,所以表面质量要求高的钢种还需进一步研制开发。

(4) 由于薄板坯连铸连轧工艺生产的产品有

弥散细小析出物的特点,使得同级别的带钢成品具有较高的屈服强度和屈强比,所以产品成形性较差。

就目前薄板坯连铸连轧工艺的发展状况来看,所能生产的产品品种有限,尚需进一步研究开发的钢种有^[1]:

- (1) 汽车面板、超深冲钢板和表面质量要求高的钢板;
- (2) 搪瓷钢板;
- (3) 镀锡钢板的基板;
- (4) 高级别的高强韧性管线钢;
- (5) 奥氏体不锈钢板;
- (6) 碳的质量分数大于 0.5 % 的高碳钢板;
- (7) 部分电工钢等。

3 结 语

与常规热轧工艺相比,薄板坯连铸连轧工艺具有以下特点:

- (1) 若要充分发挥热连轧机的产能,一般要配置两流连铸机和两座均热炉。为了适应铸坯高拉速的要求,仍需要在结晶器、浸入式水口、保护渣和二次冷却等方面进一步加强研制开发;
- (2) 在生产超薄带钢、超低碳钢方面具有较大优势;
- (3) 生产的产品性能均匀性和轧制过程中的板形控制等方面具有优势;
- (4) 由于带钢组织内有均匀的非常细小的弥散析出物,对细化晶粒有其特有的效果,但产品成形性能较差;
- (5) 生产的带钢品种、规格有限,特别是高强度、表面质量要求高的钢种;
- (6) 生产成本低,能耗少,生产周期短,生产组织灵活。

[参考文献]

[1] 田乃媛. 薄板坯连铸连轧[M](第二版). 北京:冶金工业出版社,2004.
[2] 康永林,于 浩,王克鲁等. CSP 低碳钢薄板组织演变及强化机理研究[J]. 钢铁,2003,38(8):20-26.
[3] 翁宇庆. 超细晶钢[M]. 北京:冶金工业出版社,2003.

(收稿日期:2005-11-23)