

# 热轧带钢生产线的优化与实践

刘瑞钧 (天津冶金轧一钢铁集团有限公司,天津 300220)

**【摘要】** 通过四条热轧带钢生产线的设计、建设和运行,较为全面地总结了热轧带钢生产线的设计理念,对热轧带钢生产工艺布局进行了优化,对部分关键生产装备的优选,满足了提高产品质量和生产能力、降低能源消耗、保护自然生态环境、扩大热轧带钢品种规格的需求。

**关键词** 热轧带钢 设计 优化 实践

## 1 前言

目前,我国国民经济发展稳定,工业化和城市化进程加快,钢材生产和消费日益增长。在这种形势下,由于热轧窄带钢产品用途广泛,国内已相继建设了上百条热轧窄带钢生产线,普遍以生产普碳钢、低合金钢产品为主,兼顾开发生产合金钢、不锈钢、复合不锈钢等产品,为焊管、冷轧、纵剪、冷弯型钢及其它有关特殊用途产品等直接提供用料。随着企业的发展,对钢铁产品生产集约化、节能减排和调整产品结构的需求日益增加,有必要对以往传统的生产工艺进行优化,这既是热轧窄带钢产品继续不断发展、提高生命力的需要,又能够满足市场对高品质、高附加值、低成本、低能耗热轧窄带钢产品的需求。

自2004年以来,笔者相继主持设计和兴建了天津市轧一岐丰制钢有限公司600 mm热轧窄带钢工程、河北省霸州市东升制钢有限公司680 mm热轧窄带钢工程、天津市仁通钢铁有限公司720 mm热轧窄带钢工程和天津市轧一友发轧钢有限公司680 mm热轧窄带钢工程。通过在工作实践中的不断充实完善,逐渐使热轧窄带钢生产工艺更加合理、更加顺畅、更加完善、更加科学。

## 2 总体工艺布局的优化

随着我国的钢铁工业快步迈向大型化、集约化,热轧窄带钢生产线总体工艺布局的成功与否,既决定着该生产线成品规格组距范围大小和市场适应能力,又决定着该生产线产量水平、质量水平、消耗水平、环保水平的高低,更是当代技术装备发展状况的一种体现。

### 2.1 加热炉区的工艺布置与原料供给

2.1.1 钢铁生产是能源消耗大,易造成周围环境污染的行业,特别是在我国能源极度紧张、环境保护意识不断得到加强的情况下,将热轧窄带钢生产线布置于紧

接炼铁和炼钢区域是必然的趋势和优先选择。

2.1.2 步进式加热炉由于炉用机械设备和其保护设施庞大复杂,使得基建投资成本巨大、运行费用高、维护难度加大。考虑到热轧窄带钢所使用的原料钢坯宽度比较窄(通常最大500 mm宽),原料钢坯的出钢托出机构设施也难于控制。而推钢式加热炉基建投资相对较小、运行费用也较低、维护容易,还可利用小滑坡端部出钢方式取消出钢托出机构设施。因此,综合对比,热轧窄带钢宜选用小滑坡端部出钢的推钢式加热炉,其性价比高。

2.1.3 热轧窄带钢是一种断面高宽比很小的初始钢铁加工产品,依据其特点,应优选断面为矩形的原料钢坯(断面为正方形的原料钢坯只作为热轧窄带钢生产的一种补充),这样就容易让原料钢坯的加热阴阳面始终保持在热轧窄带钢上下表面,有利于生产过程和产品质量的稳定。

原料钢坯的厚度通常选择在150 mm~180 mm范围内,这样既能稳定推钢机推力(不受原料钢坯宽度限制),又可以减小由于热轧窄带钢产品宽度对轧线各工艺道次压下量的影响。原料钢坯宽度的选择主要依据热轧窄带钢产品宽度和轧机布置方式来进行。

2.1.4 热轧窄带钢生产线上料输送辊道布置在与炼钢厂连铸出坯口紧密相连的位置,使炼钢厂连铸出坯口未码放的连铸钢坯可直接调入上料输送辊道(在线称重),随即热送至轧钢加热炉炉后并推入加热炉加热。充分利用刚刚生产出的连铸钢坯余热(芯部温度500℃~850℃,表面温度400℃~750℃)快速加热,不仅可以提高热轧窄带钢产能,还可以使加热后的连铸钢坯整体温度更加均匀,为稳定轧制奠定了基础,避免了连铸钢坯的二次倒运和由常温至出钢温度的部分重复加热,大幅度节约热轧窄带钢生产的原料运输成本和

加热成本。

2.1.5 采用距热轧窄带钢生产线较近的炼铁厂高炉煤气作为热轧窄带钢加热炉能源供给,是有效提高能源利用率、减少废气排放、降低大气环境污染、降低热轧窄带钢原料加热成本的重要举措之一。虽然高炉煤气的发热值 $[(750\sim 850)\times 4.18 \text{ kJ/Nm}^3]$ 较低,并且着火温度较高,但是随着新型蓄热式高温空气燃烧技术在轧钢加热炉运用的日臻完善,使得作为能源再利用的低发热值高炉煤气完全能够满足和适应目前热轧窄带钢生产需要。

## 2.2 主轧制区的工艺布置

2.2.1 热轧窄带钢不仅是为焊管、冷轧、纵剪、冷弯型钢及其它有关特殊用途产品等直接提供用料,而且产品规格繁杂、每个产品规格批量规模通常也小。目前炼钢厂可提供的钢坯规格尺寸数量也较少且单一,因此在轧机布置上必须既要考虑到热轧窄带钢生产稳产高产,又要考虑到能够快速适应热轧窄带钢产品规格频繁变化。

2.2.2 依据热轧窄带钢生产及用户对产品特点,主轧制区域的全部轧机以四分之三连续布置为佳<sup>[4]</sup>,即由一立(可逆二辊立轧机)一平(可逆二辊平轧机)万能轧机可逆轧制组成粗轧机组;由一立(普通二辊立轧机)二平(普通二辊平轧机)轧机连续轧制组成中轧机组;由一立(普通二辊立轧机)二平(普通二辊平轧机)一立(普通二辊立轧机)六平(前两架轧机为普通二辊平轧机,后四架轧机为普通四辊平轧机)轧机连续轧制组成精轧机组。

2.2.3 粗轧区域的粗轧机组共轧制四道次:即粗轧立辊轧机轧制一道次,粗轧平辊轧机仅可逆轧制三道次;另外,只有粗轧立辊轧机的轧制道次与粗轧平辊轧机轧制的第一道次构成粗轧机组中各架轧机间的连轧关系,控制简单方便。粗轧区域的中轧机组共连续不可逆轧制三道次(一立二平)。这样安排首先可大为缩短粗轧区域的轧制周期来提高热轧窄带钢产能,非常有利于精轧开轧温度的提高和轧制的连续稳定。其次,通过中轧机组的连续不可逆轧制,可以消除粗轧可能存在的轧件断面和长度的尺寸不均,确保进入精轧机组前热轧窄带钢中间坯的尺寸精度,起到粗轧机组和精轧机组间的连接纽带及缓冲作用。第三,充分利用粗轧区域的两架大立辊轧机,调整热轧窄带钢生产的成品宽度范围,弥补现实原料钢坯规格匮乏的不足,同时促成精轧机组立辊轧机轧制工艺压下量分

配更为科学合理。第四,使得粗轧区域各轧制道次平立分配合理,也便于操作控制和组织生产。

2.2.4 通过精轧区域的优化布置,让精轧区域的精轧机组连续不可逆轧制十道次(一立二平一立六平)形成基本固定模式,易于操作。即精轧机组前六架二辊轧机(含两架立辊轧机)以加大轧件长度延伸(也为适应市场需求轧制薄规格带钢创造条件)和控制热轧窄带钢产品宽度精度为主要目标;后四架四辊轧机以控制热轧窄带钢产品厚度精度和断面形状为主要目标。

2.2.5 经过加热的原料钢坯在轧制前一定要进行高压水除鳞,去除原料钢坯表面由于加热所生成的一次氧化铁皮,粗轧大立辊轧机仅起到辅助除鳞作用,还要分别在中轧大立辊轧机和精轧第一架立辊轧机后增设空水吹扫装置(不选用高压水除鳞方式,以减少轧件温降),再去除由于前期轧制过程中轧件表面所生成的二次氧化铁皮。可有效地提高热轧窄带钢产品表面质量,为后续深加工产品表面质量的提高提供保证。

## 2.3 扭转夹送区的工艺布置

2.3.1 精轧机组后的扭转夹送设施是热轧窄带钢生产的瓶颈工序,轧钢事故多发区段。这一区域工艺布置是否科学、合理、顺畅、耐用,是影响产量水平、原材料消耗、生产成本和产品质量高低的最为关键的因素之一。

2.3.2 轧件完成全部轧制工序后,由平转立时,应设计为以沿轧件纵向轴线中心对称自然平滑进行扭转为佳,即轧件头部在自由状态下,沿一个自由度扭转(竖直方向扭转 $90^\circ$ )进入第一个夹送动力源(1<sup>#</sup>立式夹送辊)。而以往各热轧窄带钢生产线扭转区工艺布置全部沿两个自由度几乎同时扭转和弯转(竖直方向扭转 $90^\circ$ ,水平方向弯转 $15^\circ\sim 30^\circ$ )进入第一个夹送动力源,这是导致轧件头部侧弯和跑钢事故频繁发生的根本原因所在。

2.3.3 由于优化采用了沿一个自由度方向中心对称扭转布置方式,使得扭转夹送区的其它夹送设备也能够以轧制中心线水平对称布置。当轧件交替进入两道平板冷却链时,仅穿越扭转夹送区的两个立式夹送辊即可,这样既可减少事故发生点,又可保持轧件进入各通道工艺状态基本一致。

2.3.4 设计分叉装置位于扭转夹送区第一个立式夹送辊(各通道共用的立式夹送辊)之后1.5 m左右,可以克服以往二者紧邻布置的弊病。有效地抑制了因夹送

辊咬入冲击和运转振动所引发的卡住轧件头部,造成堆钢事故的发生,这也是节能降耗的强有力手段之一。

#### 2.4 卷曲收集区的工艺布置

2.4.1 卷曲收集操作是保证热轧窄带钢最终交货状态的主要工序,直接决定热轧窄带钢产品外观形象优劣,同时也是能否维持正常连续稳定生产的重要工序。

2.4.2 由于热轧窄带钢宽度与热轧板卷相比较窄(通常不超过550 mm),特别是近年来市场所需热轧窄带钢厚度都较薄(最薄可达1.30 mm左右),因此选择卧式有芯卷曲或卧式无芯卷曲方式很难与精轧机组在线建立起连轧连卷关系,易造成跑钢事故,不适合连续稳定生产之需求。因此,优化后的工艺选择两台并列分布的立式有芯卷曲交替或同时使用,卷曲与精轧操作分离(不需形成连轧连卷关系),并在平板冷却链上形成缓冲、互不干涉,就能够满足当前热轧窄带钢生产使用需求。

2.4.3 经过卷曲后的热轧窄带钢卷依次进入钢卷运输冷却链(分为快速平板钢卷运输链和后续慢速钢卷运输链)或钢卷运输冷却辊道进行空冷至堆桩温度,然后移入翻卷机将钢卷翻转90°角,推入固定式收集槽(建议不使用横移台车式双收集槽,它不便于操作与维护)。

### 3 先进技术和实用措施的应用实践

#### 3.1 新型蓄热式高温空气燃烧技术的应用

3.1.1 利用蓄热体分别将气体燃料和助燃空气预热到1000℃以上,同时进入炉膛,在炉膛内实行交叉混合弥漫快速燃烧方式的技术称之为双蓄热式高温空气燃烧技术。利用蓄热体单独将助燃空气预热到1000℃以上,进入炉膛,同时与进入炉膛的燃料实行交叉混合弥漫快速燃烧方式的技术称为单蓄热式高温空气燃烧技术。采用上述高温空气燃烧技术的加热炉称之为蓄热式加热炉,在国际上也称为“高性能工业炉”<sup>[2]</sup>。

3.1.2 蓄热式燃烧的火焰边界几乎可以扩展到炉膛边界,使得炉膛长、宽方向上温度均匀分布,其原料钢坯加热内外温度差由传统加热方式的 $\leq 50$ ℃降为 $\leq 30$ ℃,显著提高了钢坯的加热质量。

3.1.3 由于蓄热式加热炉炉膛内温度场均匀度提高,加热段几乎可延长至整个加热炉,即:传统加热炉的预热段也演变成蓄热式加热炉加热段,使得同样炉膛尺寸的加热炉,其加热能力可以增加15%~20%。

3.1.4 蓄热式燃烧所排放的烟气温度可以降到150℃以下,烟气余热回收利用充分,采用该技术的加热炉能源消耗比采用传统加热方式的加热炉低20%~30%以上。

3.1.5 蓄热式高温空气燃烧可以在炉膛沿原料钢坯运行方向的各个区段形成弱氧化性气氛或还原性气氛,可以使原料钢坯加热氧化烧损降低0.5%。

3.1.6 蓄热式加热炉炉膛内温度场较为均匀,炉衬各部位的表面温度趋于一致,有利于减小炉衬材料热应力和延长炉衬材料的使用寿命。

3.1.7 使用蓄热式高温空气燃烧技术,可以实现高预热温度空气和燃气(或单独实现高预热温度空气)在低氧浓度条件下的稳定燃烧,具有大幅度降低燃料消耗,并使烟气中 $\text{NO}_x$ 、 $\text{CO}_2$ 及 $\text{SO}_2$ 排放量大大降低的双重优越性,节能减排效果良好。

3.1.8 蓄热式高温空气燃烧系统具有自动化程度高、运行安全可靠、维护量少、操作灵活等特点,可以降低操作人员劳动强度。

将蓄热式高温空气燃烧技术应用到热轧窄带钢生产线是降低燃料消耗、提高原料钢坯加热质量、减少氧化烧损、节能减排、收益大的理想选择。

#### 3.2 主轧制区自动化工艺控制理念

3.2.1 现代化的热轧窄带钢生产线,从充分满足多品种、小批量、高质量、节约能源、提高生产率、降低成本的要求出发,主轧机直流电气传动必须采用全数字自动调速系统、主轧制区电气控制必须配置较为完善的计算机系统。其核心是应具备当代热轧窄带钢轧制的控制理念。

##### 3.2.2 粗轧机组工艺控制要点

(1) 粗轧机组共轧制四道次,粗轧立辊轧机轧制一道次;粗轧平辊轧机可逆轧制三道次。

(2) 只有粗轧立辊轧机的轧制道次与粗轧平辊轧机轧制的第一道次构成粗轧机组中各架轧机连轧关系。

(3) 要以粗轧机组平辊可逆轧机为基准架上游调速。

(4) 同一件轧件在粗轧机组轧制过程中,各道次间的各种主、辅设备工艺自动调整时间必须在3.0~3.5 s范围内完成,从而具备待轧条件,等待轧件后一道次的轧制。

(5) 两个紧密相连轧件间的所需各种主、辅设备工艺自动调整时间是在可以在6.0~8.0 s范围内完成,从而具备待轧条件,等待后一件轧件的轧制。

(6) 粗轧机组各架轧机辊缝量在轧制过程中的自动

调整必须是压靠到位,即在轧制咬钢的瞬间不得用冲击载荷来消除各架轧机压下丝杠或侧压丝杠与对应丝母的间隙量。

(7) 在正常情况下,粗轧轧制过程中的各种工艺操作必须是全自动控制。

(8) 前一轧件粗轧轧制完成并脱离粗轧机组至少9 s后,后一轧件才准许进入粗轧机组。

### 3.2.3 中轧机组工艺控制要点

(1) 中轧机组共轧制三道次,一立二平连续轧制。

(2) 要以中轧机组 ZP2 平辊轧机为基准架上游调速。

(3) 前一轧件未脱离中轧机组,后一轧件不准许进入中轧机组。

### 3.2.4 精轧机组工艺控制要点

(3) 精轧机组共轧制十道次,一立二平一立六平连续轧制。

(1) 要以精轧机组 JP8 平辊轧机为基准架上游调速。

(2) 前一轧件尾部未脱离 JP3 平辊轧机,后一轧件头部不准许进入精轧机组。

3.2.5 轧机及其相关辅助设施的各种手动干预必须设有权限,这样更加有利于手动优先,有利于进行轧制干预、控制轧制节奏、保证人身安全和设备安全。

3.2.6 各轧制机组中各架轧机的动态速降不得大于主电机额定最高转速的 2%,动态速降恢复时间不得大于 0.5 s。

3.2.7 在满足轧制要求的前提下,各个活套的起落不准冲击轧件或活套机械定位缓冲器。另外,每个活套必须在其下游机架咬钢后 0.5 s 时间内起套到位;在轧件即将离开其上游机架时落套到位。

3.2.8 扭转夹送区的立式夹送辊要以精轧机组 JP8 平辊轧机为基准架下游调速。

## 3.3 冷却水系统的改进

3.3.1 浊环冷却水系统和净环冷却水系统是热轧窄带钢生产线两大极为重要的辅助设施,它关系到整个轧线设备能否正常、安全、稳定、长期运行,是产品表面质量能否得到保证的关键因素之一。

3.3.2 浊环冷却水系统主要肩负着热轧窄带钢生产线全部轧辊冷却和冲渣的重任,因此首先必须保证其水泵管路系统要各自独立,以有效防止因各冲渣口位置很低、分流量大而导致轧辊冷却水不足;其次要保证充足的循环水量(达到 4000 m<sup>3</sup>左右),降低浊环冷却水正常使用温度(保持在 55℃上下);第三要用分池

逐级溢流措施来提高氧化铁粉沉淀效果以改善水质;第四要加大平流池的对空散热面积(达到 1000 m<sup>2</sup>左右),让旋流池水泵管路出口分设多个喷管(使冷却水分散喷入平流池第一号池)来获得最佳降温效果。

3.3.3 净环冷却水系统主要负责热轧窄带钢生产线各主电机、各润滑站和液压站的冷却,是保证热轧窄带钢生产线设备正常运行的关键因素。由此同样要保证充足的循环水量(达到 1000 m<sup>3</sup>左右),降低净环冷却水正常使用温度(保持在 40℃上下),加大净环池的对空散热面积(达到 350 m<sup>2</sup>左右),让净环回水管路以喷水塔形式散落入净环水池来获得最佳降温效果。还可根据季节环境温度变化,随时变换净环水泵运行台数,以达到既保证运行又节能降耗之目的。

3.3.4 为了提高新水(地下水或自来水)利用率,根据热轧窄带钢生产线各种冷却水应用特点,可将净环冷却水池通过铁皮沟与浊环冷却水系统相连,可以让使用后的净环水随时向浊环冷却水系统补水。还可以将净环水作为主要水源的高压水除鳞装置在原料钢坯除鳞后形成的不可回收水量也为浊环冷却水系统补水,使新水仅向净环冷却水系统补水即可,新水就能够得到有效地综合利用,冷却水循环率可达到 97.5%以上。这样浊环冷却水系统和净环冷却水系统就科学、合理、有机、紧密结合在一起了。

## 3.4 高压水除鳞的应用

3.4.1 高压水除鳞是热轧窄带钢生产线不可缺少重要环节,也是去除由于加热原料钢坯表面所生成一次氧化铁皮之有效手段,更是减少轧辊不均匀磨损、减少停机换辊次数、提高轧机台时利用率和保证产品表面质量的重要举措。

3.4.2 为了达到理想的除鳞效果,高压水除鳞装置的喷口前压力必须不得低于 20 MPa。

3.4.3 高压水除鳞装置对水质要求较高,必须保证给水洁净,否则就不能确保使用压力正常稳定。采用净环水作为其主要供水水源,新水(地下水或自来水)作为其辅助供水水源比较理想,切忌采用水质极差的浊环水作为其供水水源。

3.4.4 为了合理使用能源、节约用水、降低周边环境污染,高压水除鳞装置必须选用断续自动工作制,即除鳞时间段高压水除鳞系统自动高压运行,非除鳞时间段高压水除鳞系统内部要低压自循环。

## 3.5 压缩空气设施的选择实践

热轧窄带钢生产线压缩空气用量不多,而且用气



点相对比较分散,采用集中管路输送供气,维护量和运行成本皆很高,不利于降低能源消耗。依据热轧窄带钢生产线各个用气点分布,在加热炉区、中轧立辊轧机后、精轧第一架立辊轧机后、扭转区和卷曲收集区分设各自独立、可移动、小气量的空气压缩机装置,关键部位还可设立备机,使压缩空气供应更为小巧、机动、灵活、方便。即使在小修、中修、大修,或进行相关设备改造期间,也可根据需要随机调用可移动小气量的空气压缩机装置。

### 3.6 轧线重要辅助设备的选择实践

3.6.1 除热轧窄带钢生产线主要轧制设备外,其它轧线重要辅助设备的选择同样显得至关重要,它制约着台时利用率的高低,停机站头的长短,生产成本的高低,是能否建立长期、稳定、连续生产秩序的重要因素。

3.6.2 原料钢坯在推钢式加热炉内行进过程中,要求振动小和移动平稳,进而减小对炉体的伤害以及延缓耐热滑轨的磨损。液压推钢机恰恰具备这些特点,较机械齿条式推钢机更适用于推钢加热炉,而且基建成本造价也低,易于掌握和操作。

3.6.3 加热炉出炉输送辊道是长期处于高温和冲击的恶劣环境中运行,因而出炉输送辊道的选择,必须考虑能够满足定期或不定期整组整体拆装,留有成组出炉输送辊道快速更换的余地,在不影响生产的情况下,线下进行维修、维护、保养。

其它轧线输送辊道因随着轧件单重越来越大,应全部选用一机一辊输送辊道,利用其转动惯量小、跟随性好,反应快等特点,即便个别一机一辊输送辊道损坏,也能继续维持生产运行或快速更换,保持住生产连续稳定性,另外还便于该种输送辊道备品备件种类的统一和减少库存预装储备量。

3.6.4 立式卷曲也是热轧窄带钢生产关键工序,它将直接关系到产品外观形象和影响着生产秩序。转动惯量大、不平稳的卷芯胀缩托盘升降式卷曲机或者结构复杂的卷芯胀缩升降式卷曲机都不理想。由于热轧窄带钢宽度最大不超过550 mm,抽芯摩擦阻力小,因此选用卷芯升降直接抽芯式卷曲机不仅运行平稳、操作和维护简单,还完全能够满足热轧窄带钢生产需要。

## 4 实际效果

通过对上述生产线的优化和实际应用,取得了明显的提高产品产量、节能减排和增加产品规格的实际效果。

4.1 与同类生产线相比,产量可以从60万t/a增加到80万t/a,如果钢坯热送率能够达到65%~75%的范围,年产量可以接近或达到100万t。

4.2 能够稳定轧制厚度为1.5 mm左右的热轧带钢,料型得到大幅度改善,带钢表面质量均匀一致。

4.3 通过热送钢坯和采用蓄热式加热技术,使吨钢加热成本降低三分之一。

## 5 结束语

经过四条热轧窄带钢生产线的设计建设实践,列举出在设备选型、新技术应用、工艺布局方面的经验以及一些具体实用措施。热轧窄带钢生产线的设计和建设必须根据其自身特点,对所选用的技术装备和工艺布局进行整体策划,并充分考虑到其生产的产品质量水准、品种规格、工艺特色、节能减排等因素,让所采用的先进技术和实用措施在热轧窄带钢生产中得到成功应用,这对提高热轧窄带钢产品质量、满足用户需求、科学合理使用能源、保护自然生态环境,皆可以起到积极地推动作用。

(收稿 2007-9-27 责编 赵实鸣)

### 参考文献

- [1] 中国金属学会热轧板带学术委员会. 中国热轧宽带钢轧机及生产技术[M].北京:冶金工业出版社,53-61.
- [2] 吴道洪,谢善清,王汝芳. 神雾高温空气燃烧技术的研究与应用论文集[C].北京:北京神雾热能技术有限公司,2003.

### 作者简介

刘瑞钧,1984年7月毕业于北京钢铁学院(现北京科技大学)金属压力加工系金属压力加工专业,同年分配到天津市轧钢一厂(现天津冶金轧钢钢铁集团有限公司)。多年来一直从事热轧窄带钢工艺研究、基建、技术管理和生产管理等工作,现任天津冶金轧钢钢铁集团有限公司副总经理,高级工程师。

迎奥运 讲文明 树新风