

关于二辊斜轧管机的讨论

邱永泰

(湖南衡阳钢管(集团)有限公司, 湖南 衡阳 421001)

摘要: 目前斜轧管机是我国热轧无缝钢管生产的两大主力机型之一。介绍了二辊斜轧管机的特点、工艺改进及技术发展动向;探讨了导盘与导板、辗轧角、扩径轧管与减径轧管、芯棒润滑与循环等问题。同时,对“采用二辊延伸机组生产 $\Phi 60$ mm 以下小直径热轧无缝钢管”,以改变我国小直径热轧无缝钢管目前存在的“以冷代热”的不合理产品结构的可行性进行了简要论述。

关键词: 二辊斜轧管机;特点;技术发展;工艺改进

中图分类号: TG333.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-2311(2010)04-001-11

Discussion on 2-roll Rotary-rolling Pipe Mill

Qiu Yongtai

(Hunan Hengyang Steel Tube (Group) Co., Ltd., Hengyang 421001, China)

Abstract: The rotary-rolling pipe mill is regarded as one of the two major pipe mill types commonly used domestically. Elaborated in the paper are the characteristics, the technological upgrade and the technical development trend of the pipe mill. Also discussed are such issues associated with the mill, including the guide disc and the guide shoe, the toe angle, the expanding process and the reducing process, and lubrication and cycling of the mandrel. At last the author presents a brief discussion on the feasibility for “producing small-sized hot-rolled seamless steel pipes under $\Phi 60$ mm with the 2-roll elongating mill” in a bid to improve the unreasonable domestic product mix of such pipes that is composed of “cold-rolled pipes instead of hot-rolled ones”.

Key words: 2-roll rotary-rolling pipe mill; Characteristics; Technical development; Technological upgrade

0 引言

轧管机(也称延伸机)是热轧无缝钢管生产机组中的核心变形轧机,其主要作用是:通过减壁、延伸变形(伴随减径或扩径的切向变形),改善穿孔毛管的内外表面质量和尺寸精度,得到更薄、更长的轧制荒管。轧管机分为纵轧管机与斜轧管机两大类型。

斜轧管机的运动学特点是:轧辊轴线与轧制中

心线有一空间交角——前进角(送进角),在轧制过程中,钢管做“螺旋前进”运动。

斜轧管机的主要变形特征是:钢管在变形区内的径向(压下)变形是由多次变形叠加构成——钢管螺旋前进每 $1/2$ 转(二辊)或 $1/3$ 转(三辊)受到一次径向压缩变形。斜轧管机的变形过程一般由减径段、减壁段、均壁段和归圆段组成。

斜轧管机分为二辊斜轧管机、三辊斜轧管机和行星轧管机等。

当前,斜轧管机组已成为我国热轧无缝钢管生产的两大主力机型之一。实践证明:二辊斜轧管机的轧制工艺对钢管产品质量、可轧制规格、能耗、工具消耗以及成本等都有极大的影响。例如,二辊斜轧管机采用不同的工艺,其主电机负荷要相差 40% 以上。因此,应当重视对斜轧管机的工艺与相

邱永泰(1938-),男,高级工程师,原衡阳钢管厂总工程师,中国金属学会轧钢学会钢管学术委员会副主任委员,享受国务院政府特殊津贴,长期从事无缝钢管技术和管理的工作,曾亲历除周期轧管以外的所有穿孔、轧管、定(减)径等各种无缝轧管机及冷拔管机的生产、设计、科研实践,至今仍活跃在无缝钢管生产及研究领域。

关技术的深入研究和改进,为不断提高斜轧管机组的产品质量、扩大品种规格、提高生产率,特别是在节能降耗等方面作出贡献。

1 常用的二辊斜轧管机及特点

二辊斜轧管机包括狄塞尔轧管机(二辊圆盘延伸机)、精密轧管机、二辊延伸机(用导板替代导盘)、二次穿孔延伸机等,均整机在一定意义上也应属二辊斜轧管机。

狄塞尔轧管机是最古老的轧管机之一。1990年烟台钢管厂新建的精密轧管机组就是在狄塞尔轧管机的基础上,将全浮动芯棒改为限动芯棒,并增加了辗轧角。该机组投产后,取得一定效果,随后得到较快发展。鉴于导盘存在不少弊端且为了简化轧管机的结构,二次穿孔特别是二辊延伸机也开始得到发展。进入21世纪后,我国的二辊斜轧管机已有“遍地开花”之势。

二辊斜轧管机的最大特点是:减径、减壁变形过程都有显著的“纠偏”能力(而所有的纵轧管机和三辊斜轧管机的减壁变形过程都没有“纠偏”能力),因此其壁厚精度是所有轧管机中最高的。1992年,某厂 $\Phi 50$ mm精密轧管机轧制 $\Phi 57$ mm $\times 2.5\sim 2.6$ mm($D/S \geq 22.0$)荒管的原始记录表明,同一批荒管横断面的壁厚偏差(即未考虑钢管头、尾的平均壁厚差) $\leq \pm 2.5\%$ 。

与三辊斜轧管机相比,二辊斜轧管机还具有可轧制薄壁钢管(D/S 已超过39.0),轧制出口速度快、轧制的荒管长度长、生产率高的特点。同时,轧制荒管的外径也可在一定范围内灵活控制——可进行扩径、等径和减径轧制。

二辊斜轧管机的最大缺点是纵向变形阻力过大,致使变形区金属轴向流动困难(延伸变形小),而切向流动容易(横向变形大),不仅造成“变形效率”很低——其单位变形体积秒流量的主电机功率比三辊斜轧管机高2倍以上,并且还造成二辊斜轧管机轧制的钢管内表面质量差(存在“内螺纹”、“麻面”缺陷);延伸系数小、轧制薄壁管困难;工具寿命低等问题。

因此,如何显著降低二辊斜轧管机的“纵向变形阻力”就成为其工艺研究、改进的首要核心课题。笔者通过研究改进,已使主电机负荷降低30%~40%;大生产批量轧制薄壁管时,在轧管延伸系数超过1.35的前提下,荒管的 D/S 超过39.0;导板、

导盘寿命显著提高;钢管内表面质量大大改善——“内螺纹”基本消除、“麻面”也得到显著改善等。

1.1 精密轧管机(包括圆盘延伸机)

精密轧管机与圆盘延伸机都是采用导盘的二辊斜轧管机,前者轧辊带有辗轧角,后者不带辗轧角。

精密轧管机是目前国内拥有量最大的轧管机。机组规格为 $\Phi 90\sim 325$ mm,生产外径50~340 mm、壁厚4.0~50.0 mm的结构管、流体管、油井用管、输送管及机械加工用管等热轧无缝钢管。 $\Phi 90$ mm机组的年生产能力已达6.0万t, $\Phi 219, 273$ mm机组的年生产能力为20~30万t。

在大生产中,精密轧管机组已能达到的最大变形能力指标为:减壁量4.0~9.0 mm,减壁率40%~50%, $D/S 32.0\sim 39.0$,延伸系数1.60~2.00。

目前,在大生产中,大多数厂的精密轧管机普遍存在以下问题:

(1) 变形效率低。现有精密轧管机所配主电机的单位功率约为0.031 kW/吨管能力,单位变形体积秒流量的变形功约为0.90 kW·h/(s·cm³),均为三辊斜轧管机的近3倍,比纵轧管机(特别是顶管机)就高得更多了。

(2) 内表面质量一般较差。精密轧管机轧制的钢管曾有严重的“内螺纹”缺陷,一些厂经工艺改进后,“内螺纹”问题已得到解决——“内螺纹”高度 ≤ 0.25 mm,但内表面总没有连轧管机和顶管机轧制的钢管那样“光滑”。

(3) 工具寿命低。大多数精密轧管机的导盘在使用过程中都易产生边部“掉块”问题,使每个导盘只能轧制1 000~2 000支钢管(个别厂甚至不到400支),吨管导盘的成本高达到20元。精密轧管机的轧辊寿命虽比三辊斜轧管机要高,但仍然较低。

(4) 轧制薄壁管头、尾平均壁厚差大。由于轧制的出口速度低,在轧制薄壁管时,钢管头、尾的平均壁厚往往相差0.40~0.70 mm。因此,虽然精密轧管机生产的钢管的横向壁厚精度很高,但却由于纵向壁厚精度低,造成整支钢管的壁厚精度也相应降低。

(5) 变形量小、轧制薄壁管困难。现有的大多数精密轧管机的减壁量 ≤ 6.0 mm,延伸系数 ≤ 1.80 。由于轧制薄壁管时出现“多棱形”、“破头”、“破尾”、“轧折”及“凹坑”等工艺故障或缺陷,因此,大生产时轧制毛管的 $D/S \leq 35.0$,仅有个别厂的 D/S

能达到 39.0。

1.2 二辊延伸机与二次穿孔延伸机

二辊延伸机和二次穿孔延伸机的发展,首先是为了得到壁厚较薄和壁厚精度高、内表面质量较好的钢管,在穿孔机后增加二次穿孔延伸机。如原来只有穿孔机提供冷拔毛管的机组,为了用更经济的(以较少的冷拔道次)方法生产市场“需求”的薄壁管或是精密管,也在原穿孔机后增加了二次穿孔延伸机,并取得了较好的效果。而在使用二次穿孔延伸机的基础上,为了进一步改善钢管内表面质量和壁厚精度,以直接生产热轧成品管,并改进精密轧管机导盘存在的不足,就产生了二辊延伸机。

二辊延伸机实际就是在精密轧管机的基础上,把导盘换成导板。刚开始时,二辊延伸机与精密轧管机存在同样的内表面质量差与轧制薄壁管困难等问题,特别是导板的寿命非常低。经过工艺上对辊型和导板设计的改进后,二辊延伸机在产品质量、D/S 等技术指标上,均达到与精密轧管机同等的水平,并且导板的优势也凸显出来,从此二辊延伸机开始得到较快发展,其生产的成品管外径从 50 mm 扩大到 508 mm,新的 $\Phi 720$ mm 二辊延伸机组也正在建设中。

二次穿孔延伸机与二辊延伸机的区别仅仅是用顶头代替限动芯棒,虽然是在设备上稍有简化,但是钢管的内表面质量远不如二辊延伸机,螺旋壁厚不均也较难避免,二次穿孔延伸机后如果不增加一道精轧管机轧制或不经冷拔拔制,是难以满足成品管的表面质量要求的。二次穿孔延伸机有意义的一个特点是可以进行“大扩径”延伸轧制,其最大扩径率现已达到 60%左右。

笔者认为,将有不少的精密轧管机会逐步被二辊延伸机取代。同时,在用 $\Phi 25\sim 60$ mm 热轧无缝钢管取代大量冷拔管方面,二辊延伸机具有强大的生命力。

2 关于二辊斜轧管机的讨论

2.1 导盘与导板

精密轧管机和圆盘延伸机采用导盘,其设想:一是使导盘的轴向摩擦力对变形区的金属产生轴向拉力,以改变变形区内应力状态和变形状态,减小变形抗力和金属横向变形,有利于提高延伸系数、轧制薄壁管等;二是认为导盘的寿命长,有利于改善钢管表面质量、减少更换工具的时间(提高产量)

和降低工具成本等。

但迄今为止,在国内的精密轧管机(包括圆盘延伸机)上,经过反复试验,导盘电机的功率就是高不上去,同时横向变形及变形功等变形参数与导盘的速度调整并无看得见的联系,这说明导盘的轴向拉力作用没有显现出来。反过来,导盘形成的孔型的封闭性差,导盘的纵断面只能是一个曲率半径,不能象导板那样,使导板的纵断面“曲线”与辊型、金属横向变形相匹配,因此不利于获得更大的变形量和轧制薄壁管。

对于二辊延伸机的导板,通过合理的设计完全可以克服上述导盘存在的问题。

大多数人担心采用导板不易保证成品外表面质量。实践证明这种担心是不必要的,前提是辊型和导板设计必须合理。R 厂 $\Phi 219$ mm 二辊延伸机生产 $\Phi 219$ mm \times 6.0 mm 成品管时,减径机的减径量仅 7.0 mm 左右,成品管外表面质量良好。

另一方面,由于导盘工作边易产生“掉块”(特别是辊型不合理和轧制薄壁管时),因此其寿命往往并不很高,而且因更换导盘停车时间较长,或考虑成本未能及时更换,反而造成钢管外表面“划伤”。

导盘不仅使轧管机的结构复杂、设备造价高,而且在生产中导盘的消耗成本也远高于二辊延伸机的导板。国内 R 厂 $\Phi 219$ mm 二辊延伸机(工艺改进才 8 个月)和 M 厂 $\Phi 219$ mm 精密轧管机(已生产 4~5 年,生产水平属国内先进水平)的导板与导盘消耗数据见表 1。

2.2 辗轧角问题

在二辊斜轧管机中,一般精密轧管机和二辊延伸机设有辗轧角,圆盘延伸机和二次穿孔延伸机没有辗轧角。从理论上分析,辗轧角能减小钢管变形过程中的扭转附加变形,可提高轧制出口速度,以及使轧辊对轧件摩擦力的轴向分力对变形区的金属形成前拉力,以利于减小横向变形和增加延伸变形。而文献[1]的分析与上述分析是不一致的,即:

(1) 随着辗轧角的增大,轧辊纵向速度分量减小,周向速度分量增大,局部送进角增大,局部角速度也增大^[1]。

(2) 辗轧角越大,在辊喉后区域内钢管越容易发生周(切)向变形,产生扩径^[1]。

笔者认为,由于在减壁段与均壁段入口这段变形区内,金属的轴向流动速度远大于轧辊线速度轴向分速度增量,因此辗轧角产生的前拉力是不存在

表1 国内R厂和M厂Φ219 mm机组导板与导盘消耗比较

机 组	成品管规格 /mm	轧制钢管数量		吨管导板(盘)消耗		平均车削次数 /次
		√个	支/个	/kg	/元	
R厂 Φ219 mm 二辊延伸机组	Φ219×7.0	133.3	333.3	0.52	8.3	
	Φ219×10.0	388.9	555.6	0.18	2.9	
M厂 Φ219 mm 精密轧管机组	Φ219×7.0~12.0	1 323.5	3 095.0	1.40	24.24	3.0

的；进行大扩径延伸轧管时，为减小扭转附加变形，采用辗轧角是必要的；在常规轧制时，辗轧角的上述效果并不明显，因此辗轧角不是必须的。

在此顺便强调一下，现有精密轧管机上不仅带有辗轧角，而且辗轧角设计为可调。笔者以为调整辗轧角完全是不必要的，因为改变辗轧角时，辊型也必须跟着改变，现场很难实施。辗轧角设计为可调后，不仅轧管机的机架结构复杂了，更重要的是给两个轧辊的辗轧角要保持一致，并与辊型吻合这一技术要求带来很多麻烦，经常影响轧管机的正常调整。

2.3 扩径轧管与减径轧管

首先想强调一个观念：对斜轧管机来讲，轧制时的横向变形愈小，表明以辊型为主的工艺设计和轧管机调整愈合理。甚至可以讲，斜轧管机的辊型设计就是追求更小的横向变形。

对于精密轧管机，轧管的“扩展值”(轧制出口荒管内径与芯棒直径之差)随着导盘位置向轧管机入口移动而增大。要实现减径轧管就需要偏前(偏出口方向)的导盘位置，要扩径轧管就需要偏后(偏入口方向)的导盘位置。

当导盘位置偏后时，在轧辊的均壁段，导盘与辊面的缝隙增大，因而易产生“破头”、“破尾”故障；而导盘偏前时，虽然“孔型”封闭性好，但又不利于控制横向变形——减壁段横向变形“剧增”，而导盘间距却减小，因此容易产生孔型的周长不能容纳钢管的周长，从而使金属挤向辊缝，造成导盘工作边“掉块”、“破头”、“破尾”，或使荒管产生“凹坑”、“多棱形”等钢管周长“失稳”缺陷。以上矛盾因素，限制了导盘延伸机生产更薄的钢管。一般来讲，轧制 $D/S \geq 34.0$ 的薄壁管时，最好采用小扩径量(扩径量约3.0~5.0mm)轧制。

二辊延伸机由于采用导板，如前面所述可以在很大程度上克服上述矛盾，外径的控制相对更灵活

一些。

还须强调指出，不同辊型和导板设计的“扩展值”相差15.0 mm以上(17~35 mm)，对于合理的小“扩展值”辊型，“扩展值” ≤ 25.0 mm更不宜采用大扩径轧制。

2.4 芯棒润滑与循环

从轧制过程来看，二辊斜轧管机对芯棒润滑的要求远不像连轧管机那样高。实际上，好的芯棒润滑条件对二辊斜轧管机同样是极其重要的——很多二辊斜轧管机正好忽视了芯棒润滑。

好的芯棒润滑对于二辊斜轧管机来讲：不仅可以降低轧制电流15.0%左右，显著提高芯棒寿命；而且由于芯棒润滑能够减小轴向变形阻力，从而改善钢管的内表面质量，以及减小横向变形有利于提高延伸率、轧制薄壁管和提高导盘寿命等。

实现好的芯棒润滑不仅要有好的润滑剂与润滑装置，芯棒冷却和表面“除水”更是重要前提。

对于芯棒直径在90 mm以上的机组，以采用芯棒循环方式为宜，不仅解决了芯棒冷却和表面“除水”问题，为芯棒润滑创造条件，同时还提高了机组的生产能力。需要注意的是，芯棒预穿的速度不能太慢，造成钢管温降大，不利于薄壁管轧制。

对于芯棒直径在90 mm以下的机组，因芯棒预穿造成钢管温降大，同时空心芯棒的壁厚也薄，内水冷能够达到芯棒表面冷却要求，以采用“内水冷”芯棒不循环方式为宜。

2.5 钢管内表面缺陷——“内螺纹”与“麻面”

“内螺纹”与“麻面”是斜轧管机轧制的钢管普遍存在的表面缺陷。对于减小“内螺纹”普遍的观点是加长均壁段(辗轧段)长度，用提高“重轧系数”来解决。

笔者经过在均整机和各种斜轧管机上反复验证认为，“内螺纹”的产生机理是：在斜轧变形过程中，进行减壁变形(包括均轧段前半段)时，由于金属变

形集中, 导致金属轴向流动速度大, 当受到工具巨大的轴向阻力时, 金属就会“堆积”而形成“内螺纹”。

加长均壁段(辗轧段)的长度, 使“重轧系数” ≥ 3.0 , 通过均壁段的多次“平整”轧制, 来减轻已产生的“内螺纹”是一种消极的方法。而且, 由于均壁段辊面不是“螺旋双曲面”, 均轧段辊面与芯棒并不能保持平行, 因此消除“内螺纹”的效果往往并不理想。

笔者提出的减少或消除“内螺纹”的方法主要是根据“内螺纹”产生的机理, 通过合理的辊型设计, 减小金属轴向流动阻力, 从而杜绝或减少“内螺纹”产生。多年来, 此法在不同类型、规格的斜轧管机上应用, 都取得很好的效果: “内螺纹”高度 ≤ 0.25 mm, 好的时候只看到“内螺纹”痕迹, 但量不出高度。

斜轧管机的钢管内表面“麻面”是目前最难解决的问题。虽然在多种场合下“内螺纹”改善的同时, 也伴随着“麻面”的大大改善, 但总也达不到纵轧管机轧制的钢管内表面那样“光滑”的程度。

3 二辊斜轧管机的技术发展

3.1 2台二辊斜轧管机热轧生产线

Y厂 $\Phi 114$ mm精密轧管机组经改造, 在原精密轧管机后又增加1台精密轧管机, 并在原轧管机后增加了后台顶头支撑和顶杆循环系统, 形成“穿孔 \rightarrow 精密轧管 \rightarrow 精密轧管(精轧或均整) \rightarrow 5机架定径”和“穿孔 \rightarrow 二次穿孔(扩径)延伸 \rightarrow 精密轧管 \rightarrow 5机架定径”两种变形工艺路线。当延伸机采用二次穿孔延伸工艺时, 可用 $\Phi 210$ mm管坯, 在二次穿孔延伸时扩径100多毫米, 生产出 $\Phi 325$ mm成品管——大大地向上扩展了产品规格。

应当大力推荐此热轧生产线。因为在此生产线上可灵活采用以下3种变形工艺路线:

(1) 当生产薄壁管时, 采用“穿孔 \rightarrow 二辊斜轧(用导板或导盘、限动芯棒)延伸 \rightarrow 二辊斜轧(用导板或导盘)精轧 \rightarrow 纵轧定(减)径”的变形工艺路线。在较低温度下, 以较小的减壁量进行精轧, 不仅有利于薄壁、高精度管生产, 而且能显著改善钢管内表面质量, 生产真正的高精度热轧无缝钢管。

(2) 当生产特厚壁管(纵轧定、减径机不能通过)时, 采用“穿孔 \rightarrow 二辊斜轧减径(用导板或导盘、限动芯棒)减径延伸 \rightarrow 二辊斜轧定径”的变形工艺路

线。二辊斜轧(用导板或导盘、限动芯棒)减径延伸可以得到内表面较好、壁厚精度较高的荒管, 二辊斜轧定径既可以定(减)径纵轧定径机不能通过的特厚壁管, 而且在定(减)径过程中, 因其“纠偏”作用远强于纵轧减径, 可进一步减小偏心壁厚不均。这一变形工艺路线可用于直径更大的管坯生产纵轧定径机不能通过的、壁厚精度更高的特厚壁管。

(3) 当生产大规格钢管时, 采用“穿孔 \rightarrow 二次穿孔延伸(用顶头) \rightarrow 二辊斜轧(用导板或导盘)精轧 \rightarrow 纵轧定(减)径”的变形工艺路线。这样成品管的壁厚精度较高、内表面质量也较好, 由于用小的管坯生产大规格成品管, 即用小轧机轧大管, 不仅可节约建设投资, 同时生产中也可节能和降低成本。

3.2 多功能二辊斜轧延伸机

Y厂由 $\Phi 114$ mm精密轧管机改造的精密轧管与二次穿孔延伸两用轧管机, 其芯棒限动、循环系统在前台, 而顶头支撑、顶杆循环在后台, 是两套独立的系统。

笔者2004年就提出了将上述芯棒限动和顶杆循环两套系统合并为一套系统置于后台, 并且只用导板的多功能二辊斜轧延伸机方案。在同一台轧管机上, 可分别实施穿孔、二次穿孔延伸(用顶头)及二辊延伸(限动芯棒)3种轧制工艺。

2010年初, 一套较完整的 $\Phi 219$ mm多功能二辊斜轧延伸机在L厂投产, 虽然没有芯棒循环, 芯棒润滑效果也不甚理想, 但生产仍较正常, 并且实现了芯棒“回退式”轧制工艺。

生产结果表明, 这种轧管机不仅设备简单、功能多、投资少, 而且其轧制节奏也高于传统的芯棒限动、循环系统; 由于没有芯棒预穿, 因此钢管温降也显著减小。

上述系统特别适于采用芯棒“回退式”轧制工艺。从理论上讲, 由于“异步轧制”作用加强, 变形抗力也应减小。由于生产中数据收集不足, 尚未得到证实, 但初步对比表明, 主机电流至少是没有增大。

3.3 1台二辊斜轧延伸机完成两道变形工序

L厂在多功能二辊斜轧延伸机的基础上, 正在实施的 $\Phi 720$ mm大直径无缝钢管项目, 针对大直径钢管生产过程中钢管温降小、轧制节奏要求很慢的特点, 安排了在1台二辊斜轧延伸机上完成“穿孔 \rightarrow 斜轧延伸(或二次穿孔)”两道变形工序的工艺试验。

4 二辊斜轧管机的工艺改进

近几年,二辊斜轧管机的工艺得到不断的改进、完善。

4.1 辊型的研究与改进

辊型是所有斜轧管机轧制工艺的核心,辊型的关键在减壁段。合理的辊型可大大提高变形效率,使主电机的轧制电流降低 30%~40%以上;显著减小变形区金属流动的轴向阻力,增大延伸、减小横向变形,从而有利于薄壁管的轧制;显著提高钢管内表面质量——“内螺纹”基本消除、“内麻面”明显改善;成倍提高导板(导盘)的寿命。

例如, M 厂 2009 年 10 月生产 $\Phi 339.72 \text{ mm} \times 9.65 \text{ mm}$ 薄壁套管时,在原有辊型无法轧出的情况下,通过改进辊型,立即实现了正常的大生产,共生产 3 200 多吨成品管,综合合格率达到 95.62%,中间废仅 1.05%;轧管机平均减壁量由原来的 6.9 mm,增大到 8.15 mm,增大了 18.1%;主电机平均电流却从 6 650 A 降低到 5 250 A,降低了 21.1%。

2010 年 7 月初, R 厂的二辊延伸机组通过改进辊型和导板,在大生产中成功地正常生产出 $\Phi 219.0 \text{ mm} \times 6.0 \text{ mm}$ 热轧薄壁管,而且是在轧管机减壁量达到 3.0 mm,延伸系数超过 1.35 的前提下进行的。轧制过程稳定,没有出现“破头”、“破尾”等故障,成品管也没有“凹坑”等缺陷,表面质量明显好于 Z 厂小减壁量轧制的热轧薄壁管。

4.2 导板(导盘)的设计

导板(导盘)的设计不仅严重影响其使用寿命以及轧制钢管的表面质量,而且二辊斜轧延伸机导板的设计还直接影响横向变形控制,从而影响轧制荒管的 D/S 大小、轧制过程的稳定性。

导板设计最麻烦的是宽度的计算,而真正有意义的是纵断面和横断面参数设计。导板纵断面设计时,选择合理的脊部位置和进、出口各段的合理长度与角度,使导板间距与钢管的横向变形“相匹配”,加上导板宽度可以设计得与辊型吻合(主要是减壁段和均轧段),以及合理的横断面设计,就可以控制横向变形、大大减少导板工作边“掉块”、“破头”、“破尾”,或荒管产生“凹坑”、“多棱形”等钢管周长“失稳”缺陷。

笔者新近设计的用 $\Phi 220 \text{ mm}$ 管坯生产 $\Phi 219 \text{ mm}$ 成品管的二辊延伸机导板,不仅使用寿命显著提高,而且每块导板单重仅 60 kg,单价 1 020 元,导板吨管成本低于 4.5 元。

4.3 钢管头尾平均壁厚控制

由于斜轧管机的轧制出口速度低,在轧制薄壁管特别是倍尺长薄壁管时,由于钢管头、尾的温度差造成头、尾平均壁厚有较大差异,影响了壁厚精度和成品合格率。一些厂生产薄壁“长”管时,头、尾平均壁厚差达到 0.6~0.8 mm。

L 厂在斜轧延伸机增设头、尾平均壁厚控制系统后,头、尾平均壁厚差可控制在 0.20 mm 以内。

4.4 芯棒润滑系统

国内某润滑剂生产公司 2010 年初为 L 厂设计制造的芯棒润滑系统,工作压力仅有 0.6 MPa,并能保证该公司的芯棒石墨润滑剂正常喷涂,润滑剂消耗成倍降低、润滑效果好。而造价只有同类高压($\geq 8 \text{ MPa}$)芯棒润滑系统的 1/5,更重要的是系统维护成本大大降低。

4.5 轧辊堆焊

二辊斜轧管机的轧辊表面硬度要求较特殊,入口段辊面硬度高会影响“咬入”,而减壁段又磨损快,需要提高辊面硬度——因为磨损严重会使辊型明显改变,大大影响轧制效果。

为了提高斜轧管机(包括穿孔机)的轧辊寿命,一些厂使用辊面堆焊轧辊。辊面堆焊轧辊可根据辊面不同部位的硬度要求,堆焊不同的材料,从而在满足辊型要求的前提下,提高轧辊寿命,延长换辊周期。

多次返修报废后的轧辊进行辊面堆焊是最划算的。堆焊费用不到新辊的 1/2,辊面堆焊后基本可当新辊使用,且仍能多次返修。

5 二辊斜轧管机生产小直径热轧无缝钢管

5.1 发展小直径热轧无缝钢管的必要性和可能性

多年来,改变小直径无缝钢管“以冷代热”的不合理产品结构,一直是钢管产品结构调整的重要课题,并且至今也未能得到解决,每年约 600 万 t $\Phi 60 \text{ mm}$ 以下的小直径无缝钢管市场仍被“冷管”统治。

造成这种情况的主要原因是:虽然与热轧无缝钢管生产工艺相比,冷拔(轧)生产工艺的生产效率低,特别是还有能耗高和酸洗废水污染严重的突出问题。但是对于 $\Phi 60 \text{ mm}$ 以下的小直径无缝钢管,由于在建设与技术经济指标和产品质量上(当然也包括技术掌握的难易上),现有热轧无缝钢管机组还不能够“压倒”冷拔管机组。

面对节能减排要求愈来愈紧迫的形势, 改变“以冷代热”的现状就更为突出和迫切。从另一个角度看, 当前也正是发展小直径热轧无缝钢管机组的一个难得的机遇。

经过这些年, 二辊斜轧延伸机的技术如前所述有了极大的提高, 并更加成熟, 因此采用二辊斜轧管机组生产 $\Phi 60.0$ mm 以下小直径热轧成品管, 来代替现有的大部分小直径冷拔管的条件已经具备。

5.2 变形工艺路线方案简介

生产小直径热轧无缝钢管的二辊斜轧管机组有以下两种变形工艺路线方案。

方案一: “二辊穿孔 \rightarrow 二辊斜轧延伸 \rightarrow 微张力减

径”。本方案以生产外径 25.0~60.0 mm、壁厚 3.0~6.0 mm 的小直径薄壁热轧无缝钢管为主。

方案二: “二辊穿孔 \rightarrow 二辊斜轧延伸 \rightarrow 斜轧减径”。本方案以生产外径 35.0~60.0 mm、壁厚 3.5~12.0 mm 的小直径中、厚壁高精度热轧无缝钢管为主。

以下仅介绍方案一的产品方案与主要技术指标。

为了定量评价与对比不同工艺路线的生产技术经济指标, 设定了采用“ $\Phi 50$ mm 穿孔 \rightarrow 二辊斜轧 \rightarrow 微张力减径”工艺生产小直径钢管的产品方案(表 2)。

表 2 小直径钢管的产品方案

机组	序号	代表规格/mm			单重/kg	年产量/t	比例/%
		外径	壁厚	长度			
$\Phi 50$ mm 二辊斜轧管机组	1	25.0	3.00	9 068	14.8	2 000	5.0
	2	32.0	3.00	9 008	19.3	6 000	15.0
	3	38.0	3.00	9 048	23.4	10 000	25.0
	4	42.0	5.00	9 014	41.1	6 000	15.0
	5	51.0	3.00	9 067	32.2	12 000	30.0
	6	57.0	3.50	9 020	41.7	4 000	10.0

该方案投产后, 可年产 $\Phi 25.0\sim 63.5$ mm \times 3.0~8.0 mm \times 6.0~12.0 m 的热轧成品管 4.0 万 t。主要产品品种为低中压锅炉用管、流体用管及结构用管, 同时还宜生产高精度的机械加工用管和外径 ≤ 60.3 mm 的 API 标准小直径石油油管等。

在计划年工作时间为 6 500 h 时, 轧机负荷率为 85.8%。每年需要直径为 50~80 mm 的圆管坯 4.351 万 t, 金属消耗系数为 1.088, 综合成材率为 91.94%。

主要设备有: $\Phi 50$ mm 二辊穿孔机 2 台、 $\Phi 50$ mm 二辊斜轧延伸机 2 台及 14 机架微张力减径机 1 台, 斜底式管坯加热炉、在线感应再加热装置, 链式冷床、矫直机及金属带锯等。

5.3 方案的可行性

5.3.1 大生产的实例

2003 年 M 厂投产的 $\Phi 90$ mm 精密轧管机组, 当年即达产 5.0 万 t, 现在年产 $\Phi 60.3\sim 88.9$ mm 石

油油管 6.0 万 t; 2006 年 J 厂 $\Phi 90$ mm 二辊斜轧延伸机组(虽然简陋, 且生产线存在先天不足)和 2009 年投产的 $\Phi 90$ mm 二辊斜轧延伸机组(虽然限位装置还存在问题)均已正常生产。

现在 $\Phi 50$ mm 二辊斜轧延伸机虽然没有完整的生产线投产, 但 1990 年衡阳钢管的 $\Phi 50$ mm 精密轧管中间试验轧机试生产了一年多, 虽然试验设备简陋、当时对其工艺也是刚开始接触, 特别是因生产线布置不顺, 轧管温度不到 700 $^{\circ}\text{C}$, 尽管如此, 仍实现了 $\Phi 60$ mm 坯 \rightarrow $\Phi 63$ mm \times 3.2 mm 毛管 \rightarrow $\Phi 57$ mm \times 2.6 mm 荒管的正常生产, 6 m 多长的荒管尺寸精度高、内外表面光滑。根据当时的情况, 如果后面设置微张力减径机, 则完全可以生产 $\Phi 36.0$ mm \times 3.0 mm 的小直径热轧成品管。

这些年来, 二辊斜轧管机的技术有了很大的发展, 也更趋成熟, 采用 $\Phi 50$ mm 二辊斜轧延伸机组组成的生产线进行大生产是有保证的。

5.3.2 产品质量

1) 尺寸精度及钢管长度

经过微张力减径机出来的成品管外径精度正常水平是 ± 0.40 mm, 要求高时, 可达到 ± 0.25 mm, 高于冷拔管标准的普通级, 相当于高级精度要求。

二辊斜轧管机组的壁厚精度 $\leq \pm 7.0\%$, 远高于高级冷拔管的壁厚精度($\leq \pm 10.0\%$)。衡阳钢管 $\Phi 50$ mm精密轧管机轧制的荒管的横断面壁厚精度 $\leq \pm 3.0\%$ 。控制钢管壁厚精度的关键是在轧管机上要采用“纵向平均壁厚补偿控制系统”, 控制成品管的头尾平均壁厚差。

冷拔生产定尺管成材率很低, 非定尺管的同批管长度差一般较大, 因此, 热轧管应该远好于冷拔管。

2) 表面质量

由于绝大部分冷拔管都是非保护气氛成品退火, 矫直后成品管外表面很“难看”。而本方案减径前荒管采用感应加热, 因此外表面质量好。

由于轧制温度低和感应再加热, 成品管的内表面也不存在“麻面”的问题($\Phi 50$ mm试验机组已证明), 因此, $\Phi 50$ mm二辊斜轧管机组成品管的内表面也应好于冷拔管。

二辊斜轧管机的“内螺纹”痕迹是难以避免的, 在这一点上是不如冷拔管的。但对于内径小于50 mm的小直径管, 对外观的影响相对小一些。

热轧管没有冷拔管常有的“划道”。热轧管也较冷拔管少有各类“裂纹”缺陷。

3) 组织性能

由于是采用感应再加热, 因此, 必要时在减径机后配以“控制冷却”, 成品管的组织将是细晶粒组织, 其力学性能和工艺性能肯定是好的; 同时, 没有冷拔成品管因退火造成管温不均而产生的组织、性能不均问题。

4) 其他

现有连轧、顶管机组在生产 $S/D \geq 0.12$ 的中、厚壁小直径管时, 由于张力减径机的减径率很大, 成品管“内六方”问题很难解决, 影响高压锅炉管交货。 $\Phi 50$ mm机组因减径机的总减径率可控制得较小(轧制荒管外径可小), 甚至可采用斜轧减径, 因此有利于解决成品管“内六方”的问题。

5.3.3 技术经济指标

1) 生产技术经济指标及经济效益

为了能定量对比, 笔者收集了几个较典型厂

2010年的生产指标, 并以此为基础, 在统一的产品方案条件下, 按 $\Phi 50$ mm二辊斜轧管及 $\Phi 89$ mm半浮动芯棒连轧管、 $\Phi 102$ mm改进型顶管等三类机组, 对变形分配、生产能力及制造费用分析等进行编制与计算, 最后按产品方案分规格与冷拔生产进行成材率、煤耗、电耗及制造费用对比, 并计算出相应效益。三类小直径热轧管机组的变形分配、生产能力分别见表3~4, 小直径无缝钢管的成材率与成本对比见表5。

由表5可知:

(1) $\Phi 50$ mm机组生产的各种规格的成品管的成材率均高于冷拔管机组, 而且规格愈小, 优势愈大。其他两个机组, 由于荒管的外径和壁厚都不能再小, 造成生产外径 ≤ 38.0 mm成品管微张力减径的切头损失太大, 因此在成材率上还不如冷拔管。

(2) 由于 $\Phi 50$ mm机组减径前的再加热是采用感应加热, 因此电耗明显要高一些, 而燃料单耗则明显要低一些。

(3) 采用 $\Phi 50$ mm机组生产 $\Phi 25.0 \sim 63.0$ mm \times 3.0~8.0 mm小直径无缝钢管, 与冷拔管机组相比, 其经济效益是显著的, 而且是规格愈小, 效益愈好。

2) 投资估算

根据初步估算, $\Phi 50$ mm二辊斜轧管机组方案的建设投资约3200万元(不含土地、变电站), 吨管投资约为800元左右, 与近两年新上的各种热轧无缝钢管机组和冷拔管机组吨管投资1000元相比, 建设投资显然是低的。

6 结 语

我国已是世界钢管生产大国, 作为我国热轧无缝钢管生产的两大主力机型之一的斜轧管机组, 在以高效率连轧管机组为主导的无缝钢管生产领域, 应发挥其生产灵活、尺寸精度高的特点, 通过在工艺和技术主面的不断改进与创新, 在产品质量、品种开发和节能、降耗等方面不断取得新的进步, 使我国尽早成为世界无缝钢管生产强国。

生产工艺对发挥斜轧管机的效能至关重要, 并能起到事半功倍的效果, 因此应更全面和深入地研究二辊斜轧管机的生产工艺, 以取得具有实效的研究成果。特别是应对“采用二辊延伸机组生产 $\Phi 60$ mm以下小直径热轧无缝钢管”的课题进行更多的研究和探讨, 以彻底改变我国小直径热轧无缝钢管长期存在的“以冷代热”的产品结构不合理现象。

表4 三类小直径热轧管机组的生产能力对比

Φ50 mm 穿孔—斜轧—14 机架微张力减径机组											
序号	成品规格/mm		年产量/t	比例/%	平均小时生产支数/支			综合小时支数/支	小时产量/t	年工作时间/h	负荷率/%
	外径	壁厚			穿孔	轧管	减径				
1	25.0	3.00	1 600	4	284.3	250.1	262.1	250.1	3.69	434	
2	28.0	3.00	800	2	268.1	244.5	256.2	244.5	4.07	196	
3	32.0	3.00	4 000	10	246.9	224.4	235.0	224.4	4.34	923	
4	38.0	3.00	6 000	15	248.9	222.6	233.1	222.6	5.22	1 149	
5	42.0	3.00	2 000	5	234.4	209.0	218.8	209.0	5.43	368	
6	45.0	5.00	3 200	8	199.4	195.6	204.7	195.6	11.60	276	
7	51.0	3.00	6 000	15	220.4	187.6	196.2	187.6	8.04	747	
8	52.4	3.96	2 000	5	221.2	208.0	217.7	208.0	9.53	210	
9	57.0	3.50	5 200	13	196.9	187.6	196.3	187.6	10.44	498	
10	60.0	4.00	3 200	8	208.9	205.1	214.7	205.1	11.35	282	
11	60.3	4.83	4 000	10	208.2	205.1	214.6	208.2	13.36	299	
12	63.5	4.00	2 000	5	188.4	185.1	193.6	185.1	12.00	167	
合计			40 000	100						5 548	85.36

Φ89 mm 半浮动芯棒连轧管机组											
序号	成品规格/mm		年产量/t	比例/%	平均小时生产支数/支			综合小时支数/支	小时产量/t	年工作时间/h	负荷率/%
	外径	壁厚			穿孔	轧管	减径				
1	25.0	3.00	6 200	4	219.2	224.6	230.2	219.2	25.79	240	
2	28.0	3.00	3 100	2	242.2	237.2	253.7	237.2	23.76	130	
3	32.0	3.00	15 500	10	225.8	228.3	237.0	225.8	26.30	589	
4	38.0	3.00	23 250	15	220.8	225.5	231.9	220.8	27.49	846	
5	42.0	3.00	7 750	5	247.2	239.8	258.8	239.8	25.04	310	
6	45.0	5.00	12 400	8	240.8	244.9	269.0	240.8	28.64	433	
7	51.0	3.00	23 250	15	217.6	223.7	228.6	217.6	27.97	831	
8	52.4	3.96	7 750	5	214.1	223.1	227.6	214.1	29.49	263	
9	57.0	3.50	20 150	13	222.4	226.5	233.6	222.4	27.80	725	
10	60.0	4.00	12 400	8	218.6	232.2	244.1	218.6	29.13	426	
11	60.3	4.83	15 500	10	228.9	245.7	270.8	228.9	29.37	528	
12	63.5	4.00	7 750	5	210.5	227.6	235.6	210.5	29.76	260	
合计			155 000	100						5 581	85.86

Φ102 mm 改进型顶管机组											
序号	成品规格/mm		年产量/t	比例/%	平均小时生产支数/支			综合小时支数/支	小时产量/t	年工作时间/h	负荷率/%
	外径	壁厚			穿孔	轧管	减径				
1	25.0	3.00	4 000	4	209.5	188.1	220.6	188.1	13.83	289	
2	28.0	3.00	2 000	2	210.2	188.4	222.6	188.4	13.98	143	
3	32.0	3.00	10 000	10	207.3	189.6	230.7	189.6	14.64	683	
4	38.0	3.00	15 000	15	197.3	185.6	205.4	185.6	17.34	865	
5	42.0	3.00	5 000	5	200.4	186.9	213.3	186.9	17.01	294	
6	45.0	5.00	8 000	8	185.0	187.2	215.3	187.2	22.27	359	
7	51.0	3.00	15 000	15	205.6	189.1	227.3	189.1	16.11	931	
8	52.4	3.96	5 000	5	203.0	191.0	240.9	191.0	17.50	286	
9	57.0	3.50	13 000	13	194.7	185.4	204.4	185.4	18.91	687	
10	60.0	4.00	8 000	8	178.6	182.8	190.1	182.8	24.35	329	
11	60.3	4.83	10 000	10	184.5	188.6	224.0	188.6	24.15	414	
12	63.5	4.00	5 000	5	177.3	183.2	192.4	183.2	24.84	201	
合计			100 000	100						5 482	84.34

表5 小直径无缝钢管的成材率与成本对比(管坯到成品管)

机组	序号	代表规格/mm		综合成材率/%	拔制道次	管坯单价/(元·t ⁻¹)	制造费/(元·吨管 ⁻¹)	吨管耗电		吨管耗煤		电煤成本效益/(元·吨管 ⁻¹)	不含坯电煤制造费/(元·吨管 ⁻¹)	与冷拔比效益/(元·吨管 ⁻¹)
		外径	壁厚					数量/kW·h	金额/元	数量/kg	金额/元			
Φ50 mm 穿孔-冷拔机组 (2010年实际)	1	25.0	3.00	83.76	3	4 200	1 705	175	128	574	511		1 161.4	
	2	32.0	3.00	89.16	2	4 200	1 266	143	104	444	395		850.5	
	3	38.0	3.00	90.62	2	4 200	1 266	143	104	444	395		850.5	
	4	42.0	5.00	90.66	1	4 200	850	110	80	314	279		640.2	
	5	51.0	3.00	89.27	1	4 200	850	110	80	314	279		640.2	
	6	57.0	3.50	91.18	1	4 200	850	110	80	314	279		640.2	
机组	序号	代表规格/mm		综合成材率/%	成材率差/%	成品单价/(元·kg ⁻¹)	成材率效益/元	吨管耗电		吨管耗煤		电煤成本效益/(元·吨管 ⁻¹)	不含坯电煤制造费/(元·吨管 ⁻¹)	与冷拔比效益/(元·吨管 ⁻¹)
		外径	壁厚					数量/kW·h	金额/元	数量/kg	金额/元			
Φ50 mm 二辊 斜轧管机组	1	25.0	3.00	90.07	6.31	7.14	500.2	200	146	78	69	423.2	404.6	1 680.0
	2	32.0	3.00	91.57	2.41	6.20	163.2	200	146	78	69	284.1	404.6	893.2
	3	38.0	3.00	91.41	0.79	6.13	53.1	200	146	78	69	284.1	404.6	783.1
	4	42.0	5.00	92.36	1.70	5.51	101.3	200	146	78	69	144.3	404.6	481.3
	5	51.0	3.00	92.40	3.13	5.58	189.0	200	146	78	69	144.3	404.6	569.0
	6	57.0	3.50	92.60	1.42	5.48	83.9	200	146	78	69	144.3	404.6	463.9
机组	序号	代表规格/mm		综合成材率/%	成材率差/%	成品单价/(元·kg ⁻¹)	成材率效益/元	吨管耗电		吨管耗煤		电煤成本效益/(元·吨管 ⁻¹)	不含坯电煤制造费/(元·吨管 ⁻¹)	与冷拔比效益/(元·吨管 ⁻¹)
		外径	壁厚					数量/kW·h	金额/元	数量/kg	金额/元			
Φ89 mm 半浮动芯棒 连轧管机组	1	25.0	3.00	84.66	0.90	7.14	76.1	145	106	167	148	384.6	685.0	937.1
	2	32.0	3.00	87.78	-1.38	6.20	-97.5	145	106	167	148	245.5	685.0	313.4
	3	38.0	3.00	90.75	0.13	6.13	9.0	145	106	167	148	245.5	685.0	420.0
	4	42.0	5.00	91.83	1.17	5.51	70.1	145	106	167	148	105.7	685.0	131.0
	5	51.0	3.00	91.69	2.42	5.58	147.3	145	106	167	148	105.7	685.0	208.3
	6	57.0	3.50	92.14	0.96	5.48	57.0	145	106	167	148	105.7	685.0	117.9
机组	序号	代表规格/mm		综合成材率/%	成材率差/%	成品单价/(元·kg ⁻¹)	成材率效益/元	吨管耗电		吨管耗煤		电煤成本效益/(元·吨管 ⁻¹)	不含坯电煤制造费/(元·吨管 ⁻¹)	与冷拔比效益/(元·吨管 ⁻¹)
		外径	壁厚					数量/kW·h	金额/元	数量/kg	金额/元			
Φ102 mm 改进型 顶管机组	1	25.0	3.00	85.53	1.77	7.14	148.0	90.0	65.7	135	120	452.8	434.2	1 328.0
	2	32.0	3.00	87.49	-1.67	6.20	-118.0	90.0	65.7	135	120	313.7	434.2	611.9
	3	38.0	3.00	90.29	-0.33	6.13	-22.5	90.0	65.7	135	120	313.7	434.2	707.5
	4	42.0	5.00	90.89	0.23	5.51	13.7	90.0	65.7	135	120	173.9	434.2	393.7
	5	51.0	3.00	91.18	1.91	5.58	116.8	90.0	65.7	135	120	173.9	434.2	496.8
	6	57.0	3.50	91.51	0.33	5.48	19.9	90.0	65.7	135	120	173.9	434.2	399.9

7 参考文献

[1] 何慎, 薛利平, 鹿守理, 等. 钢管斜轧延伸工艺参数模

拟与辗轧角优化[J]. 钢铁, 1998, 33(9): 31-34.

(修定日期: 2010-07-07)