

MPM 和 PQF 轧管工艺

周晓锋

(天津钢管集团股份有限公司 轧管厂, 天津 300301)

摘 要:连轧管机是生产无缝钢管的高效轧机, 限动芯棒连轧管机代表着现代无缝钢管生产的先进技术, MPM 和 PQF 同为限动芯棒连轧管工艺, 对此 2 种连轧管工艺的特点进行了详细的分析。

关键词:连轧管工艺; MPM; PQF

中图分类号: TG335.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1447(2008)03-0058-05

Tube rolling technology analysis of MPM and PQF

ZHOU Xiao-feng

(Pipe Rolling Mill, Tianjin Pipe (Group) Corporation, Tianjin 300301, China)

Abstract: Continuous tube rolling is an effective roll to produce seamless steel pipe. Retained mandrel continuous tube rolling represents advanced technologies of present seamless steel pipe production. MPM and PQF belong to retained mandrel continuous tube rolling technology. This paper analyzes their technical features in detail.

Key words: continuous tube rolling technology; MPM; PQF

MPM(Multi-Stand Pipe Mill)和 PQF(Premium Quality Finishing)都是限动芯棒连轧管工艺。限动芯棒连轧管工艺技术发展史可追溯到 1890 年, 1890 年发明家 Heckert 申请了连轧管技术专利, 1968 年 A. H. Calmes 取得了 MPM 连轧管工艺的专利。1978 年 10 月, 意大利 Dalmine 公司推轧穿孔加限动芯棒连轧管机组 (PPM+

MPM)建成投产, 这是世界上第 1 套采用“PPM+MPM”工艺的连轧管机组。2003 年 9 月天津钢管集团股份有限公司 168 新型钢管厂三辊式限动芯棒连轧管机投产, 这是世界上第 1 台 PQF 连轧管机组。纵观近代限动芯棒连轧管工艺的发展, 可将其工艺发展历程划分为 4 个阶段, 如表 1 所示^[1]。

表 1 限动芯棒连轧管工艺技术发展的 4 个阶段

发展阶段	年份	主要特征	代表轧机
第 1 阶段	1978~1985	(1)第一变形阶段采用 PPM 和延伸机; (2)MPM 轧机延伸系数较大为 5~6, 机架数为 7~8, 限动芯棒工作速度偏低, 不大于 1.35 m/s; (3)机组装机容量偏大, 最大 21 800 kW; (4)MRK-S 轧管机出台	Dalmine 钢管厂 京滨钢管厂 U. S Steel Feirfield 钢管厂 八幡钢管厂
第 2 阶段	1986~1989	(1)一般不采用 PPM 和延伸机; (2)MPM 轧机延伸系数为 4.5 左右, 机架数减少为 6 架; (3)限动芯棒工作速度提高至 1.5 m/s; (4)连轧管机装机容量减少为 125 000 kW	Algoma 钢管厂 North Starg 钢管厂 Siderca 钢管厂
第 3 阶段	1990~1996	(1)第一变形阶段采用锥形辊式穿孔机; (2)出现 4~5 机架到 MINI-MPM; (3)意大利 INNSE 公司推出轧管工艺自动控制软件包	Sidor 钢管厂 Tosa 钢管厂 包钢轧管厂
第 4 阶段	1997~2005	(1)2 个大型 425 mm 的 MPM 轧管机组先后投产; (2)第 1 个 PQF 连轧管厂投产; (3)出现 4 辊式连轧管机架(与 5 机架两辊式连轧管机连用)	住友钢管厂 天津钢管厂 住友金属工艺公司

1 MPM工艺

1.1 MPM生产工艺流程

采用MPM工艺轧管时,经穿孔延伸的毛管,抽出顶杆后被送至硼砂站,由一特制的喷嘴向毛管内部喷入硼砂,其作用是:吹掉毛管内部的氧化铁皮;硼砂在高温状态下生成雾状气体,充满管内,防止在随后的运动中空气进入,使内表面产生二氧化碳。吹硼砂后毛管由回转臂送至连轧管机芯棒预穿线。

在预穿线,毛管定位后,测量其表面温度,涂过石墨的芯棒由预穿链将其插入毛管内。由回转臂将预穿到位的芯棒和毛管一起翻到主轧线,与此同时,从轧线返回的前一根轧后芯棒由另一回转臂送至返回辊道。

在主轧线上,芯棒的尾柄卡在限动齿条夹持头上,通过齿轮与齿条传动系统,将芯棒前端推至连轧机架间的1个预设位置上,再由夹送辊将毛管夹住送到轧机进行轧制。在毛管进入连轧机前还需要通过高压水除鳞装置,以去除毛管外表面的氧化铁皮,同时测量入口毛管的温度。轧制完毕芯棒快速退回,退回的芯棒被另1个预穿着毛管的芯棒所替换,以进行下一根管子的轧制。

从MPM出来的荒管随即进入3~5架三辊式脱管机。连轧完毕时毛管尾部由脱管机拉出连轧机最后一架,芯棒快速退回零位。在脱管机出口处有激光装置,用来测量出口钢管速度和长度。同时,通过1套两通道热测壁厚装置,直接测量热态荒管的壁厚,以便及时发现和控制荒管壁厚精度。轧后荒管用光学高温计逐根测量表面温度。

1.2 MPM工艺设备特征

MPM连轧管机组通常是5~7架轴线与水平面成45°、相邻机架互成90°的轧机,连轧机架由铸钢牌坊包括轧辊轴、支撑轴承座和轧辊,用于轴承座调整的压下和压上机构,半联轴器、轴承座锁紧机构,安装在牌坊上的管线、测压头及位置传感器组成。

(1)MPM轧机的特征。和普通连轧管机相似,MPM轧机采用机械限动式芯棒速度控制装置。芯棒的快速动作(穿芯棒、抽芯棒)及限动动作(轧制时控制芯棒速度)靠齿条来实现。芯棒运动方式的改变依靠气动离合器分别接通或断开相应的齿轮来实现。在Dalmine公司进行试验时,芯棒的运动速度采用液压控制。但因液压系统控

制芯棒速度不够稳定,有芯棒断续运动的情况,随后改为齿轮齿条传动的机械系统。MPM的轧辊孔型采用比普通连轧管机开口角稍小的封闭式圆孔型(带弧形开口),可以采用较大的延伸率。

(2)脱管机的特征。MPM的脱管机与二辊式定径机相同。由于MPM主轧机的第七八机架的压下量很小,仅靠第七八机架轧辊的作用无法推送管子前进和使管子从芯棒前端脱出,故在MPM工艺中设置3架脱管机,起脱管和定径的作用。脱管速度按连轧原则确定,并与MPM轧机的第八机架保持电气连锁。脱管机的减径率为3.5%~4.6%,孔型与一般二辊式定径机相同。

(3)MPM工艺的芯棒特征。轧制过程中,要控制芯棒的速度,使其处于恒定状态。虽然芯棒也随管子前进,但其前进速度应远小于管子的速度,轧制结束后被抽出返回。芯棒为中空水冷芯棒,轧制结束后,芯棒温度约400℃,需要采用内外喷水均匀冷却^[2]。

1.3 MPM连轧管机的特点

限动芯棒连轧管机是在全浮动芯棒连轧管机的基础上发展起来的。在轧制过程中,芯棒的运动受到限动力的作用,始终以1个恒定的速度前进,其速度低于或等于第一机架轧机的轧制速度,各机架均处于1个稳定的限动轧制状态。在靠近轧机的最后一架处,管子从芯棒上由脱管机脱出,芯棒快速返回从而结束轧制过程。限动芯棒连轧管机(MPM)与浮动芯棒连轧管机(MM)相比有如下特点。

(1)降低工具消耗。由于限动芯棒连轧管机的芯棒较之浮动芯棒连轧管机的芯棒要短,钢管与芯棒的接触时间短,从而提高了芯棒的使用寿命,一般可使芯棒消耗降至每吨钢管1kg左右。由于金属变形趋于均匀,单位功率消耗大大降低,并简化了芯棒抽出的工艺过程。

(2)改善管子的质量。由于限动芯棒连轧管具有搓轧性质,有利于金属的延伸,加之带有微张力轧制状态,从而减小了横向变形,排除了沿管子长度方向壁厚与直径的变异,消除了浮动芯棒连轧所产生的“竹节”现象,使管子内外表面质量和尺寸精度有了很大的提高。

(3)取消了脱棒机,缩短了工艺流程,提高了连轧管的终轧温度。如果不考虑在线热处理新工艺应用的条件,完全可以省去定、减径前的再加热炉,从而节省了能源。试验资料表明,轧制压力和

电能消耗比浮动芯棒连轧管机低 1/3。

(4) 扩大产品规格。由于采用了限动芯棒轧制, 可以减小芯棒的长度, 允许加大芯棒的直径, 为多规格产品的生产创造了条件, 使生产钢管的最大直径由 177.8 mm 扩大到了 365 mm, 甚至更大。另外, 限动芯棒连轧机还能轧制更厚或更薄的管子。

(5) 延伸系数大。封闭式圆孔型的采用以及由此而获得的均匀变形, 使得 MPM 轧管工艺的总延伸系数可达到 10 以上。与浮动芯棒连续轧管工艺相比, 这意味着 MPM 工艺可以采用壁厚更厚的空心坯和更高的始轧温度。由于始轧温度的提高, 钢的变形抗力和摩擦力下降, 因此单位轧制力也就降低。

(6) 产量高、单位投资比较低。虽然限动芯棒连轧机的生产率比较低(每分钟只能生产 2~2.5 根, 浮动芯棒连轧机为 4~4.5 根/min), 但它所轧的管子直径大、管壁厚, 因此限动芯棒连轧管机的年设计产量一般比较高, 为 50 万 t 左右, 发挥潜力为 60~80 万 t/年。虽然一次性投资比较高, 但平均产量的投资还要比浮动连轧管机降低 20%~30%^[3~4]。

1.4 MPM 连轧管工艺的实际应用

1992 年建成投产的天津钢管集团股份有限公司的 $\phi 250$ mm 限动芯棒连轧管机组(MPM)是由意大利引进的, 是我国引进的第一套限动芯棒连轧管机组; 主要产品定位于当时国内紧缺的石油套管。热轧主要装备有: 48 m 环形炉、带导盘的立式桶形辊穿孔机、7 机架限动芯棒连轧管机(机架和水平面成 45° 倾斜、相邻两机架成 90° 交叉布置)、步进式再加热炉、14 架微张力定径机等。设计能力年产量为 50 万 t。1992 年 12 月热试成功投入试生产, 1996 年正式投产, 2000 年达产。经过 15 年的发展可以看出该套机组主要优点为: (1) 轧制产品精度高, 壁厚公差可达 $\pm 7\%$, 外径精度可达 $\pm 0.75\%$; (2) 产量高, 单位产量投资少, 效益高; (3) 单支芯棒可轧制的壁厚范围大, 减少了芯棒的储备量。现场技术人员在对 MPM 轧管工艺进行消化吸收的基础上, 不断进行创新, 对该机组进行大孔型改造, 将原 181、235、291 孔型重新分配成 181、247、310、356(372)5 种孔型系列, 产品由原来的 $\phi 114.3 \sim 273.0$ mm, 扩大到现在的 $\phi 114.3 \sim 339.7$ mm; 钢管产量也是逐年增长, 2006 年产量一举突破 100 万 t, 比设计能力翻

了一番, 创造了世界无缝钢管连轧机组年产量最高记录。

2 PQF 工艺

2.1 PQF 连轧机发展史简述

三辊式连轧管机也为限动芯棒式连轧管机, 又称 PQF 轧管机, 是 20 世纪 90 年代中期的轧管工艺技术, 但其将在 21 世纪得到长足的发展。它是目前世界上最先进的连轧管设备, 采用三辊连轧管孔型设计, 独特的轧辊压下、平衡方式, 先进的自动化控制管理系统等方面均处在轧管领域最前沿。PQF 连轧管工艺发展史可综述为以下 5 点。

(1) INNSE 公司和 J. P. Calmes 一起在 1991 年初对 MPM 轧管工艺进行了深入研究, 推出三辊纵轧轧管机以全面改进传统的 MPM 工艺。

(2) 1993 年 INNSE 公司 Palma 在香港国际钢管会议上正式推出以 PQF 轧管工艺为核心的 PQP 工艺。

(3) 1996 年 INNSE 公司向某钢管公司提出 425 mm 轧管机组的技术报价和预算报价, 说明这种工艺已经成熟。

(4) 从金属变形的角度看, 两辊式和三辊式之间的区别是很明显的。PQF 轧机的主要特征归纳为以下 8 点: 6 机架、三辊式、每个轧辊设有 1 个液压小舱、以实现轧辊单独调整、 D/t 值最大可达 58、机架间距小、工具消耗低、成品管质量优于轧管机及收得率高。

(5) 天津钢管集团股份有限公司与 SMS-Meier 于 2001 年 9 月签订 168 mm 连轧管机组的合同, 2003 年 9 月世界上第 1 台连轧管机组正式投产, 开创了连轧管工艺的新局面。

2.2 PQF 工艺特点

PQF 连轧机是目前提高产品质量, 降低成本, 提高经济效益的最新轧管机。从工艺角度讲, PQF 与 MPM 比较具有以下优点。

(1) 封闭式孔型设计, 轧制更平稳。PQF 连轧管机轧辊机架采用三辊封闭式孔型设计, 如图 1 所示。轧制过程中金属变形在 3 个方向上同时受力, 使金属在同一截面上的变形更加均匀, 并且 3 个轧辊呈 120° 角, 前后机架轧辊互成 60° 布置, 保证了芯棒在孔型中的更好对中, 从而使轧制过程更加平滑、稳定。连轧机组为 1 架 VRS(Void Reduce Stand 空减机架) 和 5 架 PQF 连续布置。

各机架之间由钩子连接。牌坊为隧道式,如图2所示。连同VRS,各机架均为三辊轧制,每个轧辊由1台电机单独驱动。三辊孔型设计使孔型槽底与轧槽侧壁之间的圆周速度差异减小,从而使金属变形也变得均匀,芯棒在孔型中的稳定性也更高。

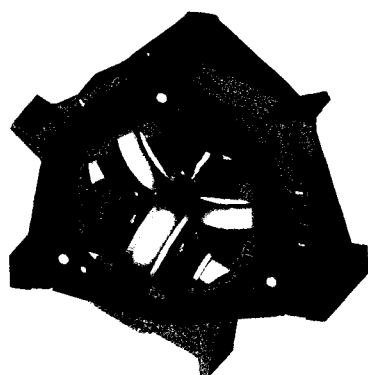


图1 PQF轧辊示意图

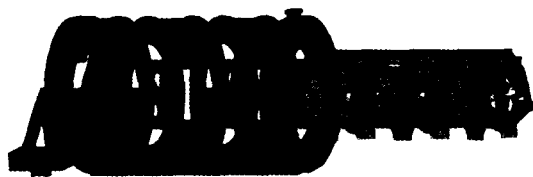


图2 PQF连轧机架示意图

(2)独特的芯棒循环系统,备用芯棒明显减少。轧制结束后,芯棒停止,由脱管机将荒管从芯棒中抽出后,芯棒不是回送,而是向前运行,穿过脱管机后,拔出轧线再回送、冷却、润滑循环使用,这与MPM轧机有明显的不同。其优势是保留了原有MPM工艺荒管壁厚精度高的特点,在荒管壁厚精度优于MPM的前提下,减少了芯棒的在线待轧(非轧钢)时间,从而有效地缩短了轧制周期,加快了轧制节奏,最快可以达到24 s/支。三辊几何形状可以在相同芯棒下有更大的调节范围,且无大的公差影响。这样1种规格的芯棒可轧制的壁厚范围增大,大大减少了芯棒的规格数量(减少50%)及工具更换频率,生产组织也更加灵活。

(3)提高钢管质量和壁厚精度,轧制更薄壁厚的钢管。由于PQF连轧管机的轧辊孔型底部和边缘的线速度差异较小,而且可以采用开口小一些的孔型,因此,采用PQF连轧管机轧管,轧件金属变形较均匀,金属的横向流动要少一些,比二辊式MPM连轧管机轧制的钢管质量好,具体表现

在以下4个方面:1)壁厚公差显著改善;2)管子表面更光洁;3)成品管D/S值可增大,并且不影响质量;4)芯棒连轧管工艺进入小直径钢管生产领域。采用三辊式合理的几何孔型设计,金属在同一截面上的变形更加均匀,轧辊采用单独传动和单独的伺服液压压下,使3个轧辊能够同时或单独进行调整,实现辊缝调整模型化,从而提高了壁厚精度,减少荒管头尾与中部的壁厚差异。3个轧辊的120°角布置保证了芯棒在孔型中的更好对中,这些均使得轧后的荒管壁厚的公差明显改善。三辊封闭孔型设计,减少了轧制时的轧辊弯矩,金属变形均匀、稳定,轧制压力特别是峰值压力减小,在轧制过程中因不均匀变形所引起的裂孔、拉凹缺陷已基本消除,也就使得可以轧制薄壁管和高钢级品种,例如轧制 $\phi 159 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$ 、 $\phi 63.0 \text{ mm} \times 4.0 \text{ mm}$ 等薄壁钢管。

(4)降低工具消耗,提高金属收得率。PQF轧辊机架采用紧凑式安装,使芯棒的长度减小,并且芯棒表面磨损均匀,芯棒的使用寿命更长。环孔型上各点金属流动速差小,减小了槽底金属对侧壁金属的阻碍作用,轧件变形均匀,轧辊表面磨损也更均匀,使得轧辊的使用寿命明显提高,较MPM连轧管机的轧辊使用寿命提高近1倍。这种均匀变形可以提高延伸,增加轧制薄壁管和高钢级品种的轧制能力。采用伺服液压压下系统,可用锥形芯棒进行轧制,这样不但可以减少芯棒磨损,还使芯棒容易从荒管中脱出。三辊孔型设计使凸缘区(钢管既不与轧辊也不与芯棒接触的区域)更小,约比二辊减少30%,使钢管尾端的飞翅大大减小,也减少了荒管尾端鳍状的产生,切头切尾损失比MPM连轧管机减少近40%,若配合头尾削尖功能的使用,在减壁率低于35%,壁厚大于7 mm的规格范围可以将切头尾长度控制在300 mm以内,提高了金属收得率及轧制流畅程度^[5~8]。

2.3 PQF连轧管工艺的实际应用

天津钢管集团股份有限公司为使产品系列化,填补市场短缺的钻杆、油管等缺口,建成了由世界最先进的三辊连轧管机(PQF)、FQS脱管机和带导盘锥形辊穿孔机及24机架张减机组成的 $\phi 168 \text{ mm}$ 限动芯棒连轧管机组。这是世界上第1套PQF连轧管机组。轧制钢管规格范围为: $\phi 32.0 \sim 168.3 \text{ mm} \times 2.50 \sim 22.0 \text{ mm}$,2003年该机组投产,2004年产量达到了36万t,实现了1

年达产(设计产量为 35 万 t/a),2005 年产量超过设计水平,达到 51.8 万 t,2006 年的产量更是达到了 58 万 t,更大限度的发挥了该机组的能力,抒写了 PQF 连轧机发展的新篇章。该机组轧制的钢管壁厚精度及生产效率均优于其他类型的连轧管机组,并且在高钢级和合金质量分数较高的套管、高压锅炉管及奥氏体不锈钢管等难轧钢种的生产上具有特殊优势,成功生产了以 Cr9Mo、2Cr13、304 等钢种为代表的高合金钢管、不锈钢管。

3 结 语

在过去的 20~30 年的时间里,无缝钢管连轧生产工艺技术得到了迅速发展。限动芯棒连轧管机代表着现代无缝钢管生产的先进技术,它集中体现了无缝钢管生产的连续性、高效率、机械化及工业自动化的发展趋势。同时也反映了 1 个国家钢铁、钢管生产的技术水平,是 1 个国家钢铁企业科技水平集中体现的 1 个重要方面。而 PQF 连轧管工艺的成熟标志着 MPM 连轧管工艺的发展完善,也为长芯棒连轧管工艺近百年的发展历程

画上了句号。PQF 连轧机组代表了世界钢管生产的先进技术水平,是无缝钢管生产先进技术的集中体现。

[参考文献]

- [1] 金如崧. 论 MPM 轧管工艺的发展[J]. 宝钢技术, 2005, (6): 10-14.
- [2] 金如崧. 连续轧管工艺连续不断的发展[J]. 钢管, 2002, (1): 51-56.
- [3] 金如崧. 限动芯棒连轧管工艺发展简史[J]. 钢管, 2004, (1): 52-58.
- [4] 王廷溥, 齐克敏. 金属塑性加工学——轧制理论与工艺; 第二版[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2001: 299-301.
- [5] 严泽生, 孙强, 庄钢. PQF 生产工艺[J]. 钢管, 2006, (1): 37-43.
- [6] 兰兴昌, 刘卫平. 无缝钢管生产技术的最新进展[J]. 钢管, 2003, (5): 1-6.
- [7] Hans Joachim Pehle. 无缝钢管的现状与发展前景; 下[J]. 钢管, 2004, (1): 47-51.
- [8] 金如崧. 世纪之交话无缝[J]. 钢管, 2004, (4): 55-58.

(收稿日期: 2007-04-04)

浦项订购世界首套 18 辊串列式连续冷轧机

韩国浦项钢铁公司已经订购了世界首套 18 辊串列式连续冷轧机, 以经济地生产特殊带钢。通过采用这一高性能的轧机, 浦项钢铁公司计划扩大其浦项钢厂的产能, 以满足市场对不锈钢带钢日益增长的需求。

该设备年产能 50 万 t 不锈钢冷轧带钢, 可以对热轧不锈钢带钢(退火和酸洗)进行轧制, 以及轧制 AISI 300 系和 AISI 400 系不锈钢带钢。带钢最大宽度为 1350 mm, 可以将最大厚度为 5 mm 的热轧不锈钢带钢轧制到最小厚度为 0.4 mm。

串列式冷轧机的核心部件是 4 个 18 辊冷轧机架, 其工作辊非常细, 而高成型能力非常适合轧制不锈钢带钢。为了获得更精确的带钢厚度公差和最好的带钢平直度, 借助自动控制系统, 所有机架均配有最终控制元件和检测装置。带有高性能自动激光焊接装置的带卷自动喂入装置、较大的入口储料装置以及带有飞剪和双卷取机的出口段保证了串列式轧机的平稳和连续生产及最大的生产率。

该套设备的另一个重要特点是在线带钢检测, 以便于直接对最终产品质量进行控制。对于冷却液和所用轧制油的超细过滤, 配有再生过滤系统以确保仔细处理所用资源和确保环保。

(摘自世界金属导报)