

从 Calmes 轧管工艺到 Calmes 的 Multi-stand Pilger Mill^{A1)}

——《无缝钢管百年史话》(续释 1-2)

摘要: 按照一种新的轧制方法即多机架轧管法生产无缝钢管, 这就是 MPM 轧制工艺。评述了连续轧管机, 介绍了进行 MPM 轧制试验的情况和采用该法轧制的基本理论知识, 以及实际应用情况。

关键词: MPM 轧管工艺; 试验; 基本理论; 应用

中图分类号: TG335.13 文献标识码: E 文章编号: 1001-2311(2001)03-0053-04

1 1973 年以前的 MPM 轧管工艺⁴³⁾

A. H. Calmes 开发的 MPM 轧管工艺(Multi-stand Pipe Mill)主要组成是: ①采用连铸坯作管坯; ②采用压力穿孔机穿孔; ③采用多机架轧管机轧管; ④采用张力减径机轧管。MPM 轧管工艺使其他轧管工艺为之逊色, 而成为一种最有发展前途的工艺。

1.1 对连续轧管机的评述

自 19 世纪末以来, 无缝钢管生产工作者即用类似于连轧棒材的方法生产无缝钢管, 其目标是: 采用随空心坯运动的长芯棒将其轧成管子⁴⁴⁾, 1920 年形成的 Fassel 轧管法(即连续轧管法)实现了工作芯棒随管子一起运动⁴⁵⁾这一目标。至今, Fassel 轧管法仍是最适合生产 $\Phi 159\text{mm}$ 以下碳素钢和低合金钢无缝管的轧管工艺。由于这种轧管法的延伸系数 λ 较小, 一般 λ 为 4.3~4.5。这就要求斜轧管机以较大的延伸系数(λ 最大 3.0)将经表面处理的圆管坯穿孔成较薄的空心坯。

1962 年 K. 诺伊霍弗(K. Neuhoff)和 G. 普法伊费尔(G. Pfeiffer)对连续轧管工艺的变形过程研究认为: 对于八机架连续轧管机来说, 由于空心坯的进入和离开机架, 金属流动的非连续性达 16 次之多(同工作芯棒与空心坯之间的速度变化有关), 轧制过程的这种不均匀性导致了管子壁厚与外径的变异, 即容易形成所谓的“竹节”缺陷。这种轧管工艺的单位轧制压力相当大, 必须采用开口和椭圆度较大的孔型, 但这种开口孔型导致变形的不均匀性, 易引起管子内部裂纹, 且所需的单位变形功较大。要使壁厚和直径的变异在允许的限度内, 应精确地控制轧辊的圆周速度, 使其与工作芯棒的速度变化相适应且轧件速度恒定, 但开口孔型的缺陷则无法消除。此外, 由于受轧制力较大的限制, 必须采用

较大的辊径, 这就使得轧件与轧辊之间的接触弧相当长, 因此对工作芯棒造成巨大的局部压应力、摩擦力和较高的热负荷。采用连续轧管法生产的无缝钢管的壁厚直径比(S/D)不能超过 0.12⁴⁶⁾。

1.2 MPM 轧制试验

由于采用浮动芯棒连续轧管时轧制过程的不稳定性, Contubind 公司认为有必要根据最新的轧制原理进行试验。

1964 年, 在意大利 Dalmine 公司带固定芯棒的连续式轧机上进行了试验, 后来又在法国 Lorraine-Escout⁴⁷⁾公司的法塞尔轧机上进行了试验。在 Dalmine 公司生产出厚壁管。在 Lorraine-Escout 公司试验不成功, 但同时在 Besse'ges⁴⁸⁾的 2 号法塞尔轧机上, 根据 A. Tostivint 的第 1322304 号专利, 采用限动芯棒进行试验获得成功。根据上述情况, Lorraine-Escout 和 Contubind 公司决定共同发展限动芯棒轧管法。在 1965~1967 年, 在 Besse'ges 公司具有 40 年历史的七机架法塞尔轧机上进行了 8 次较大规模的试验, 每次连续试验 5~25 个班次⁴⁹⁾。该轧机采用 1 台 1 000kW 的交流电机传动, 轧辊轴承和轧辊调整的条件极其不利, 但试验结果却一次比一次好。该试验共轧制 $\Phi 92\text{mm} \times 3.5\text{mm} \times 12\ 000\text{mm}$ (长度)钢管 12 000 根, 其中有 5 450 根钢管是在试验后期用 1 根 2345 钢(5%Cr)空心水冷芯棒轧制的。该芯棒经镀铬处理(原始镀层厚 0.05mm), 具有滑动特性好的优点, 即使连续使用, 仍具有原有的滑动性和刚性。

插入毛管的芯棒内部用高压水冷却, 在咬入第一机架时由油缸限制其移动。油缸的前进运动由变量泵调节, 并使其速度恒定。

拔出的芯棒采用喷水冷却, 由 120~150℃降至外表面 50℃为止。在这种轧制冷却条件下, 平

均每根管子的轧制周期为 40s。

芯棒外表面采用重油 - 石墨混合剂润滑, 毛管内表面通过空心芯棒卡头注入润滑和隔热材料。

试验的轧制参数如下, 管子的壁厚偏差见表 1。

35 钢空心坯 $\Phi 125\text{mm} \times 18\text{mm}$
轧管规格 $\Phi 92\text{mm} \times 3.5\text{mm} \times 12\,000\text{mm}$

芯棒规格 $\Phi 86/85\text{mm}$ (内径 40mm)
芯棒工作长度 3 200mm
轧管出口速度 2.2m/s
轧辊直径 300 ~ 380mm
延伸率 1: 6.22
电机功率 750 ~ 1 000kW
吨管功率消耗 14.2 ~ 18.3(平均 16)kW · h

表 1 采用限动芯棒试轧的管子壁厚偏差

轧管规格/mm	轧制日期及芯棒	壁厚及偏差/mm						
		管子前端		管子中部		管子尾部		
		1 ^①	2 ^②	1 ^①	2 ^②	1 ^①	2 ^② 3 ^③	
92 × 3.5	1967-01-30	3.663	0.607	3.614	0.527	3.81	0.566	0.76
	1967-01-31							
	1967-02-03							
92 × 3.5	在 Besse'ges, 采用 25 号芯棒	3.403	0.45	3.41	0.383	3.58	0.372	0.65
	1967-02-02							
92 × 3.5	在 Besse'ges, 采用 26 号芯棒	3.51	0.52	3.41	0.344	3.565	0.394	0.66
	1967-02-03							
	采用 20 号镀铬芯棒							

注: ① 4 次测量壁厚的平均值; ② 最大与最小绝对壁厚偏差的平均值; ③ 沿管子整个长度最大与最小绝对壁厚偏差的平均值。

多机架轧管机(MPM)轧出的管子经二机架脱管机脱管, 定径后的尺寸为 $\Phi 88\text{mm}$ (热态), 终轧后管子纵向的温度分布在 $920 \sim 980^\circ\text{C}$, 因此不需中间加热就可直接张力减径成 $\Phi 9.5\text{mm}$ (3/8in) 的煤气管。

试轧管的内表面非常光滑, 与冷拔管相当。连续轧管机和自动轧管机所轧制的样管与 MPM 轧机所轧管子比较时, 德国专业人员毫不含糊地认为 Besse'ges 的 MPM 轧机轧制的管子最好。

1967 年 11 月, Besse'ges 的 MPM 试验轧机被拆除, 但有关试验过程都摄成了电影, 资料保存在瑞士洛桑钢管工业顾问工程师 J. P. Calmes 处⁽²⁰⁾。

1.3 MPM 轧管工艺的基本理论知识

采用液压传动使得芯棒在整个轧制过程中速度保持恒定, 排除了金属流动的非连续性。按照秒流量不变的原则使轧辊线速度与轧件的面积减缩相适应, 使得相邻机架间不产生张力。同时, 排除了沿管子长度方向壁厚与直径的变异, 消除了“竹节”现象。由于从第一架起就使芯棒速度保持恒定, 低于轧件的速度范围, 因此避免了交变的轧制状态和在连续轧管机中所出现的巨大的单位轧制压力。由于消除了金属非连续性流动和轧制状况周期性变化的现象, 所以可以采用封闭式的圆孔型。由此使金

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。

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保持在 10 以上⁽²¹⁾。与连续轧管工艺相比, 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。此外, 芯棒与轧件之间具有较高的相对速度, 这更有利于摩擦力与单位轧制力的降低。MPM 轧管工艺比连续轧管工艺的轧制力约降低 40% ~ 50%, 轧辊直径与辊颈尺寸可大大减小, 管坯和芯棒的接触弧缩短。如轧制 $\Phi 92\text{mm} \times 3.5\text{mm}$ 的管子时, MPM 工艺的延伸系数为 6.22, 平均单位功率消耗为 $16\text{kW} \cdot \text{h}/\text{t}$; 而连续轧管工艺的延伸系数仅为 4.5, 平均单位功率消耗就达 $36\text{kW} \cdot \text{h}/\text{t}$ 。

由此可以认为, 用 MPM 工艺可以轧制难轧的高合金钢, 所轧制的管子直径、壁厚公差较理想, 设备投资更少。

1.4 MPM 轧管工艺的实际应用

轧制力主要取决于空心坯的温度、各机架中延伸系数的分配、轧制速度、芯棒的摩擦力、轧辊直径和孔型形状。芯棒的热应力则取决于单位轧制压

力、各承压区的摩擦系数、各机架中空坯和芯棒间的接触弧长度、机架间距和芯棒速度的最大允许值。芯棒的耐用程度是 MPM 工艺的关键问题⁽²²⁾。试验研究证明,以下参数在 MPM 轧管机上轧管是可能的:芯棒热应力小于 Besse'ges 试验时的数值;延伸系数等于 10;轧机机架总数为 8 架;单位功率消耗小于 $30\text{kW}\cdot\text{h}/\text{t}$;管长 30m。通过合理分配延伸系数和采用较低的芯棒热应力值,可以轧出内外表面良好的管子。

实际应用的 MPM 轧管机的主要组成为:8 个轧辊机架、芯棒后端固定装置、芯棒纵向和横向移动装置、三机架脱管定径机。轧制时两根水冷芯棒交替使用。

若生产成品的尺寸范围为 $\Phi 25\sim 356\text{mm}$ (1~14in),建议采用两套标准的 MPM 轧管机,即:

(1)生产外径 21.3~140(168)mm 钢管的 MPM 轧管机;

(2)生产外径 178~356mm 钢管的 MPM 轧管机。

为使 MPM 轧机能采用厚壁的空心坯,采用压力穿孔机穿孔连铸方坯,然后用延伸机延伸的供坯方式⁽²³⁾。MPM 轧管机组的一大特点是:主要机组均为二辊式(纵轧式),即辊式定型机、压力穿孔机、MPM 轧管机、脱管-定径机、定径机或张力减径机。这种轧管设备既可生产管子,也可生产方坯和型材⁽²⁴⁾。如 $\Phi 140\text{mm}$ 的 MPM 轧管机组年轧制 $\Phi 22\sim 140\text{mm}$ 钢管 25~27.5 万 t,也可生产扁钢、 $\Phi 8\text{mm}$ 的圆钢和 100mm 的方钢。若同一套 MPM 轧机既可生产钢管,又可生产型材,则年生产能力为 12.5~15 万 t。这样的钢铁联合企业的主要设备为:60t 电炉 1 座、 $211\text{mm}\times 173\text{mm}$ 扁坯连铸机 1 台、 $\Phi 140\text{mm}$ MPM 轧制机组 1 套、五机架定径机 1 台、24 架张力减径机 1 台等。

$\Phi 356\text{mm}$ MPM 轧管机组和 $\Phi 140\text{mm}$ 轧管机组的平面布置相似。若只生产 $\Phi 177\sim 356\text{mm}$ 的管子,则张力减径机可省去。 $\Phi 356\text{mm}$ MPM 轧管机所用的连铸坯为 $254\text{mm}\times 254\text{mm}$ 或 $311\text{mm}\times 349\text{mm}$,若在 MPM 轧管机组后设置 1 台张力减径机,则可采用 219mm 连铸方坯,用 $\Phi 170\text{mm}$ 孔型生产小管,管子最小直径可达到 38mm。 $\Phi 356\text{mm}$ MPM 轧管机组的轧管范围为 $\Phi 38\sim 356\text{mm}$,壁厚直径比 ≤ 0.15 ,年生产能力可达 60 万 t,成材率为 87%~90%(指液态钢水到成品管

的总成材率)。

$\Phi 356\text{mm}$ MPM 轧管机因采用连铸方坯作管坯,且产量高、质量好,单位功率消耗低(延伸系数为 10.5 时,功率消耗小于 $30\text{kW}\cdot\text{h}/\text{t}$),工具热应力低、消耗小,可完全自动化,它将成为生产 $\Phi 177\sim 356\text{mm}$ 钢管的主要设备。世界上第一套 MPM 轧管机原定于 1973 年投产⁽²⁵⁾。

2 注 释

(A1)见《钢管》2001 年第三期 55 页。

(13)本节摘自《钢管技术》1977 年第一期“钢管和型钢通用轧机”一文。

(14)设有固定的推杆以及随着管子运动的长芯棒的轧管机只有顶管机,严格地讲,顶管工艺不属于通常所述连轧管工艺的范畴,确有人把它称之为“被动式连轧”,意即轧管的动力不是来自轧辊,而是来自推杆以及与之相联的长芯棒,但是从工艺的角度看,它和长芯棒连轧没有什么共同之处。

(15)在德国 Dinslaken 投产的采用全浮动芯棒连轧工艺的 Fassel 轧管机是在 1901 年开始生产的,它与本文所讲的“在 1920 年形成了 Fassel 轧管法”是不一致的。

(16)现代化的全浮动芯棒连轧管机可以轧制 $S/D=0.025\sim 0.21$ 的连轧荒管。

(17)Lorraine-Escaut 的 Fassel 轧机为七机架连轧管机,第一架轧辊的传动电机功率为 200kW,其余 6 个机架由 1 台 700kW 的电动机集中传动,可轧制外径为 67mm 的钢管。

(18)Besse'ges, 贝塞日市在法国南部加尔省,有 2 套连轧管机组,其中第二套七机架的 Fassel 轧机建于 20 世纪 40 年代,西欧有关国家所进行的 MPM 轧制试验就是在这套 2 号 Fassel 轧机上进行的。

(19)这一段关于 MPM 轧制试验的事只字未提 A. Calmes,但在以下几处与 A. Calmes 直接有关:

① 1957 年 A. Calmes 应聘在意大利 Dalmine 公司的 Costa-Volpino 钢管厂进行试验;② 1965~1967 年在 Besse'ges 厂进行的试验是直接由 A. Calmes 指挥下进行的;③在 Dalmine 厂进行的 MPM 轧机工业试验是 A. Calmes 和 INNSE 公司合作进行的。

(20)在这段时间内, J. P. Calmes 与 MPM 发展有关的事除文中所提及的外,至少还有两点:①

J. Calmes 将 Contubind 易名为 J. P Calmes Consultants; ②在 1978 年 1 月举行的世界压力加工年会上发表文章, 对于在 Dalmine 进行的工业试验后的 MPM 工艺大加褒扬。

(21) 只讲 MPM 机组的总延伸率是不够明确的, 若仅就轧管机本身而言, $\lambda = 4.5 \sim 5.5$ (或 6, 第一台 MPM 轧管机的延伸系数)。至于第一变形阶段的延伸系数也可在 4 左右, 所以新的 MPM 机组均采用加大第一变形阶段的延伸系数, 而适当降低了 MPM 轧机本身的延伸系数, 用以保证必要的总延伸系数。

(22) 芯棒使用寿命是早期 MPM 工艺的关键问题, 当前经过改进轧制工艺和芯棒制造工艺, 这个问题已不是关键问题, MDM 提供的数据是每根芯

棒可轧管 5 500 根, ITAM 提供的芯棒单耗为 400g/t。

(23) “连铸坯 + PPM + 延伸机”这种穿孔 - 延伸工艺只存在了 5 ~ 6 年, 连铸圆坯的浇铸成功使它很快成为历史。

(24) 由于穿孔 - 延伸工艺的巨大变化以及 MPM 轧机的迅猛发展, 使得既可生产管子, 也可生产方坯或型材的万能轧机也成为历史题材。

(25) 世界上第一套 MPM 轧管机组实际上是 1978 年 8 月在 Bergamo 投产的。

(待 续)

金如崧译注

● 信 息

TP130TT 超高强度高抗挤毁套管开发成功

天津钢管有限责任公司与中原油田合作开发的 TP130TT 超高强度高抗挤毁套管于 2001 年 8 月 3 日通过了中国石油化工股份有限公司中原油田的射孔试验。TP130TT 超高强度高抗挤毁套管是从 2000 年 10 月开始研制的, 主要适用于岩盐层等高蠕动高外挤地质条件。该产品先后经过西安石油管材研究所的评价、有限元模拟分析、下井试验、模拟井况的验证及射孔性能的评价, 初步获得了中原油田的认可, 现已批量下井使用。

新开发的非 API 规格的 TP130TT 超高强度高抗挤毁套管, 在以下几个方面都突破了 API 标准:

- 1) 实际控制钢级强度达到 V150;
- 2) 抗挤强度大于 167MPa;
- 3) 套管管体规格 $\Phi 152.4\text{mm} \times 16.90\text{mm}$;
- 4) 接箍外径 $\Phi 177.8\text{mm}$;
- 5) 与其他 API 规格套管的连接采用专利设计的变螺纹转换组件;
- 6) 采用专利设计的螺纹量规。

该产品技术含量高, 生产工艺复杂, 属于高附加值产品。在通过了射孔性能评价后, 中原油田准备将 TP130TT 的使用范围从岩盐层扩大到油层。

(天津钢管有限责任公司 张传友)

乌克兰今年前 5 个月的钢管产量比去年同期大幅增长

乌克兰今年前 5 个月的钢管总产量已达到 72.3 万 t, 比去年同期增长约 20 万 t, 增幅达到 38.2%。5 月份乌克兰的钢管产量为 12.9 万 t, 比 4 月份增产 1.8 万 t。

(攀钢集团成都无缝钢管有限责任公司 杜厚益)

意大利 Pedrazzoli IBP SpA 公司研制出新型钢管毛刺清除系统

意大利 Pedrazzoli IBP SpA 公司研制出新型钢管毛刺清除系统, 该系统采用压缩空气吹除切管毛刺并将其吸入收集箱中, 从而取消了通常采用的清洗机, 减少了环境污染。该系统适用于 $\Phi 10 \sim 102\text{mm}$ 钢管以及相应尺寸的非圆状产品, 既可与 Pedrazzoli SCL 公司的 102 型切管机配合使用, 也可以与其他切管装置一同工作。

(攀钢集团成都无缝钢管有限责任公司 曾 适)