

大口径热扩无缝钢管的发展与应用

徐小华¹, 陈俊德², 姜大伟¹, 薛刚毅², 肖学山¹, 陈 益²

(1 上海大学材料研究所, 上海 200072; 2 无锡德新钢管有限公司, 无锡 214177)

摘要 介绍了大口径热扩无缝钢管的主要生产工艺和国内外热扩无缝钢管的研究现状和发展趋势。建议加快我国热扩无缝钢管标准化的形成, 以拓宽国内外无缝钢管市场。

关键词 大口径 无缝钢管 热扩钢管

中图分类号: TG306 **文献标识码:** A

Development and Application of Large-size Hot-expanding Seamless Steel Tube

XU Xiaohua¹, CHEN Junde², JIANG Dawei¹, XUE Gangyi², XIAO Xueshan¹, CHEN Yi²

(1 Institution of Materials, Shanghai University, Shanghai 200072; 2 Wuxi Dexin Steel Tube Co. Ltd, Wuxi 214177)

Abstract The processing and research status and development trends of large-size hot-expanding seamless steel tube are introduced. Some suggestions for the development of hot-expanding seamless steel tube standards are proposed, in order to broaden the domestic and international markets.

Key words large-sized, seamless steel tube, hot-expanded steel tube

0 引言

大口径无缝钢管 ($\Phi 406 \sim 1500 \text{ mm} \times 6.4 \sim 270.0 \text{ mm}$) 主要用作一般流体输送管、石油天然气管线管、结构用管、压力容器用管、高压锅炉用管及军工用管等, 钢管材质主要为优质碳素结构钢、合金结构钢、不锈钢及特种合金等^[1,2]。在我国, 中小口径无缝钢管生产装备发展较快, 而大口径无缝钢管生产发展较为落后。据不完全统计, 我国现有无缝钢管生产厂超过 150 家, 各类无缝钢管机组约 289 套 (含在建 17 套), 其中能够生产大口径无缝钢管的主要装备 (包括在建) 共约 11 套机组, 如包钢 $\Phi 400 \text{ mm}$ 自动轧管机组、天津钢管 2007 年投产的 $\Phi 460 \text{ mm PQF}$ 三辊连轧管机组、攀成钢 $\Phi 340 \text{ mm}$ 限动芯棒连轧管机组和 $\Phi 318 \text{ mm}$ 周期式轧管机组等, 以及宝钢集团鲁宝无缝钢管厂在建的 $\Phi 460 \text{ mm PQF}$ 三辊连轧管机组, 新冶钢集团有限公司在建的 $\Phi 460 \text{ mm}$ 三辊轧管机组等^[3-5]。

尽管如此, 还不能弥补市场对大口径无缝钢管逐年增加的需要^[6,7]。目前国内大口径生产能力不足和可生产的热轧 (拔) 无缝钢管最大外径规格的局限性, 使得人们试图通过热扩径工艺等来实现更大直径无缝钢管的生产。较生产成本高和生产设备昂贵的热轧无缝钢管而言, 热扩工艺具有生产流程简单、质量稳定、经济实用等特点, 且成本低, 生产效率高。作为冶炼、轧管主线延伸的热扩无缝钢管填补了国内大口径无缝钢管规格的不足, 解决了用户的特殊需求。

1 热扩钢管分类及特点

热扩钢管是通过扩大管材直径的一种荒管精整工序——热扩径工艺所生产的钢管。通常提到的热扩钢管均为热扩无缝钢管。热扩钢管分类方法很多, 按用途来划分, 可分为高温设备用热扩钢管、低温用热扩钢管、压力设施用热扩钢

管、管线热扩钢管、气瓶热扩钢管、结构热扩钢管、流体输送用热扩钢管和机械辊道热扩钢管等; 按钢管材质来划分, 可分为碳钢热扩管、低合金热扩管、高合金热扩管、不锈钢热扩管和钛合金钢热扩管等; 按热扩径工艺来划分, 又可分为斜轧热扩钢管、拉拔热扩钢管、推制式热扩钢管等。热扩钢管的用途广泛, 适应性强, 除广泛应用于石油、水蒸汽和中低压可燃性或非可燃性流体输送管道的石油、天然气和化学工业中, 还应用于高低温压力容器等电力行业用管以及城市建设等结构用管道中。

由于热扩钢管是通过热扩径工艺将中小口径热扩成大口径而得到的无缝钢管, 因此, 热扩钢管一般均有口径大、壁厚等特点。热扩钢管工艺起源于二次穿孔, 随着时间的推移, 热扩钢管工艺得到了长足的进步和发展, 下面首先介绍 3 种传统热扩钢管生产工艺。

2 热扩钢管生产工艺

2.1 斜轧热扩径工艺

斜轧热扩径工艺历史悠久, 工艺成熟。始建于 1888 年的捷克 Chomotov 钢管厂, 早在 1928 年就投产了 1 套可将钢管外径由 330 mm 扩至 545 mm, 年产量为 10 万 t 的斜轧热扩径机组。随后, 美国 Lorain 厂、德国 RAth 厂以及中国的天津钢管集团股份有限公司 (较晚) 等也建成斜轧热扩径机组并相继投产。最近, 意大利 Dalmine 钢管厂对斜轧热扩径项目进行改组, 改组以后的生产能力和市场竞争力都将大大提升^[8]。

斜轧热扩径工艺, 即将经加热至适当温度的轧件以螺旋回转的方式喂入轧机, 并在具有很大倾角且旋向相同的悬臂式锥形轧辊和顶头之间进行轧制来扩大钢管直径的一种热扩径工艺 (见图 1)^[9]。有时为了扩大斜轧热扩径无缝钢管

轧制线的管子尺寸范围,专门设计了特定功能的附加轧机(如定径机、张减机、扩径机),以利于母管的进一步变形。为改善扩管的质量,扩径前需对管坯进行去除氧化皮等处理,扩径后的荒管还需要经过均整、再加热和定径等工序以消除扩管内外螺纹并改善扩管外径以及壁厚的尺寸精度,进而得到最终成品。天津钢管集团股份有限公司 $\Phi 720$ mm斜轧热扩径机组的生产工艺流程为:步进炉加热空心管坯→表面高压水除磷→内表面除磷、润滑及斜轧热扩径→锥形辊均整→步进炉再加热→5机架四辊式定径→冷却→精整^[10]。

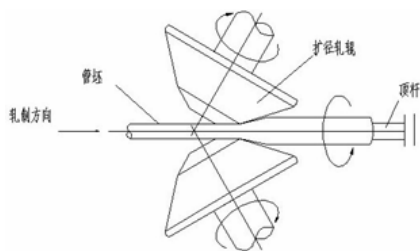


图1 斜轧热扩变形区的示意图

Fig. 1 Schematic diagram of rotary expanding process deformation zone

斜轧热扩径工艺的特点是:①扭转变形少及延伸系数小,轧辊辊型设计时已经考虑到提高扩管表面质量,减少能耗,且管子角速度恒定,扭转和切应力降为最小。斜轧热扩径变形进行的几乎都是金属的横向扩展,边扩径边减壁,轧件在扩径前后横截面积和长度基本上都保持不变,延伸率接近于1;②推进速度慢,由于斜轧机碾轧角和辊面角较大而咬入角较小,使得金属横向流动速度大,纵向流动速度小,管子推进速度变慢。有时可以通过降低扩管的推进速度来更好地保证扩管的稳定性和壁厚精度;③扩管质量稳定,顶杆采用液压小舱定位,液压小舱能对轧机因轧制时顶头位移所产生的任何长度尺寸变动给与补偿。另外,斜轧热扩径工艺还能改善母管的尺寸精度,尤其能改善母管的壁厚不均,且对表面质量不会产生不良影响;④生产投入较大,斜轧热扩径工艺生产设备庞大,投资较高,生产成本也较高。从各种因素(包括经济技术因素、设备因素、生产效率因素、产品质量因素等)综合考虑,最适宜于应用斜轧热扩径工艺生产的管材直径范围为425~762mm。尽管如此,斜轧热扩径工艺仍被认为是通过热轧生产大直径、中薄壁无缝钢管的最佳工艺之一^[11]。

2.2 拉拔式热扩径工艺

拉拔式热扩径发展历史较斜轧热扩径发展要稍为落后。拉拔式钢管热扩径机首先是由Dalmine公司于1936年投产的,之后,该公司又增设了可扩径生产最大直径为925mm的拉拔式热扩径机。我国原成都无缝钢管厂也于1965从Innocenti公司引进拉拔式热扩径机组,并于1969年正式投产。拉拔式热扩径设备重量轻、投资少,更换工具简便,但拉拔式热扩径工艺生产的热扩无缝钢管仍然存在着钢管外径精度差、钢管表面不光滑、坡口质量较差以及外表面波浪型严重等问题^[12]。目前,世界上仍有一些拉拔式热扩径机在生产,可在发达国家已经很少把它用于无缝钢管扩径了。但在发展中国家,由于拉拔式热扩径生产投资少、生产灵活

性大,产品质量又能满足一般管的要求,所以在我国仍有部分企业继续沿用拉拔式热扩径工艺。成都无缝钢管曾采用周期式轧管650拉拔式热扩径工艺生产的35CrMoA无缝钢管适用于制造大容量高压气瓶,检测结果表明,其各项性能指标完全达到了中国ZC规范及美国ABS规范的技术要求^[13]。

拉拔式热扩径工艺,即先在荒管管端扩一个喇叭口,其扩口直径比热扩后的直径大100mm左右,这样有利于热扩时内外卡环卡住管端并进行水冷,然后由链条牵引芯棒并带动顶头从荒管内部通过以实现扩径减壁及长度缩短的变形过程。拉拔式扩管一般需加热2~3次,每次加热后扩径1~4个道次,总相对扩径量不大于45%^[14]。所采用的拉拔式热扩径机组由管端加热炉、端部扩径机、扩口机、再加热炉、扩径机、氧气切割及随后的精整设备所组成。图2即为拉拔式热扩径工艺变形区的示意图。

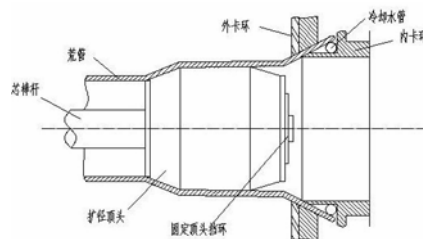


图2 拉拔式热扩径工艺变形区的示意图

Fig. 2 Schematic Diagram of draw-type hot-expanding process deformation

2.3 推制式热扩径工艺

推制式热扩径工艺,自1995年诞生,1998年专利问世以来,经历了螺旋推进式、液压推进式和如今的二步液压推进式(2004年取得专利)。推制式热扩径工艺是将原料管置于中频感应多圈加热炉(2006年取得专利)中经中频感应局部加热后,靠液压缸活塞的运动来推制原料管,使原料管逐步推过尾部固定于固定架上的锥形内模芯棒,以达到扩径的目的(图3)^[15]。无锡德新钢管有限公司推制式热扩工艺流程为:坯管→人工检查修磨→选择芯棒→坯管内壁涂润滑剂→加热扩径→热处理→理化检验→矫直、切头尾→内外表面处理→无损探伤检测(NDT)→水压试验→表面防护→端口加工→尺寸及外观检验→喷标、入库。后续必不可少的水压试验,超声波在线探伤,涡流探伤,理化试验等全面的检测手段,确保了钢管质量的可靠性和稳定性。

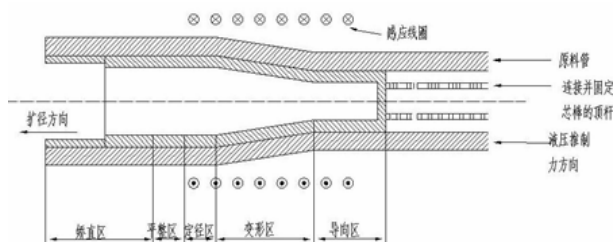


图3 推制式热扩变形区的示意图

Fig. 3 Schematic Diagram of push-type hot-expanding process

推制式热扩径工艺的特点是:①局部加热,较上述2

种热扩工艺,推制式热扩工艺首先具有局部加热的特点,它采用中频感应线圈仅在热扩变形区进行局部加热,加热温度均匀稳定,边加热边推进;②延伸率高,热扩变形过程会出现很明显的直观变化,如钢管直径扩大、长度变短、壁厚减薄等。③成材率较高,单道次扩径比大,因为采用坯料端推制,无需预制喇叭口,所以成材率较高。单道次扩径比大,无锡德新钢管有限公司在保证产品质量的同时,一次最大扩径比可达 1.7,除生产特大规格特殊钢管需进行多道次扩制外,其它规格一般采用单道次扩制;④投资少,见效快,生产组织灵活^[16]。可生产的品种有:流体管、结构管、气瓶管、管线管、低中压锅炉管等。

最近,无锡德新钢管有限公司与上海大学联合成立了热扩管工程技术研究中心,以进一步从理论和实践上指导热扩管的生产。

3 国内外热扩无缝钢管研究现状与发展前景

目前在世界范围内,热扩碳钢管生产工艺已经比较成熟,高合金钢无缝管材热加工的装备水平和方法也有了长足的进步。从坯到管的基本工艺原理仍以斜轧穿孔或压力穿孔作为主要手段来制备荒管,再通过后续的热扩径工艺实现减壁和扩径。

我国钢管标准化工作虽然已经有了明显的进步^[19],但由于热扩工艺起步晚,发展较落后,因此热扩钢管标准化工作尚很缺乏,还没有形成一个明确而完整的国家标准。现今,低中压锅炉用热扩无缝钢管暂且执行我国现行标准低中压锅炉用无缝钢管 GB3087-2008、低压流体输送用热扩钢管暂且执行低压流体输送用焊接钢管 GB/T3091-2008。另外,也可根据双方的约定执行企业标准,如无锡德新钢管有限公司制定的《低中压管道用局部加热的热扩无缝钢管》《高压管道用局部加热的热扩无缝钢管》企业标准或者国外的有关标准。总之,加快我国热扩钢管标准化进程以及加大力度对热扩基础理论研究已经成了进一步推广投资少、见效快和生产组织灵活的热扩无缝钢管生产当务之急的任务。

目前,国内对于碳钢管、低合金管等生产能力已经饱和,但对于不锈钢无缝管、高合金无缝管大部分靠进口。尤其是不锈钢管自 20 世纪问世以来的几十年的历史中,不锈钢管的使用量大增。特别是薄壁不锈钢管,因为可靠的连接方式,相对优势的价格,优异的不锈性和耐蚀性,在直饮水工程中,薄壁不锈钢管占了很大的市场份额^[20-23]。因此,除了热扩大口径碳钢管、低合金管等外,无锡德新钢管有限公司已经成功热扩出 304L、316L 等大口径薄壁不锈钢管。此外,由于钛合金比强度高、抗腐蚀性强、低温性能好以及良好的可焊性^[24,25],使得钛合金管在石油化工、海洋能源以及热电核电领域都有广泛的应用^[26],无锡德新钢管有限公司也已经成功热扩出大口径钛合金管。随着与国际市场的进一步融合,竞争也日趋激烈,我国热扩钢管已经不能再满足于利润低的普通碳钢管、低合金钢管,而开始向高附加值产品迈进,以满足市场需要和争取更大的出口量^[27,28],这为拓宽国内外无缝钢管市场具有重要意义^[29-32]。

4 结语

作为冶炼、轧管主线延伸的热扩钢管,其生产和实践已得到了很广泛的应用,能很好地填补国内外各大钢厂生产一些大口径薄壁特殊型号钢管欠缺的空白,但目前在生产技术改进、控制热扩钢管各个参数精度等方面仍需要进一步的研究和完善,希望我国钢管企业加强合作,共同攻关研究,完善热扩钢管生产标准,以进一步促进我国钢管业的发展。

参考文献

- 1 李晓红. 国内大直径无缝钢管生产发展的装备选择[J]. 钢管, 2006, 35 (6): 4
- 2 Le' vesque D, Kruger S E, Lamouche G. Thickness and grain size monitoring in seamless tube-making process using laser ultrasonics [J]. NDT E Int, 2006,39: 622
- 3 殷国茂. 我国钢管飞速发展的 10 年概述[J]. 钢管, 2009, 38 (2): 6
- 4 谷力功. 我国无缝钢管市场供需情况分析[J]. 钢管, 2008, 37 (4): 57
- 5 易刚. 无缝钢管生产企业取得行业竞争优势地位途径的探讨[D]. 成都: 四川大学, 2003
- 6 中兴能源装备大口径石化用管销量占 25%[J]. 不锈钢(市场与信息), 2009, 7: 8
- 7 殷世清. 我国无缝钢管企业发展战略研究[D]. 长沙: 中南大学, 2000
- 8 金如崧. 斜轧扩径工艺的最新应用(A1)——《无缝钢管百年史话》(续释 9) [J]. 钢管, 2003, 32 (6): 53
- 9 曾幼宗, 颜幼贤编译. 辊式热扩钢管机的生产工艺及设备特点[J]. 钢管, 1997, 26 (6): 54
- 10 李东, 张志通,等. 斜轧扩径生产工艺刍议[J]. 钢管, 2009, 38 (1): 41
- 11 成海涛. 斜轧扩管工艺分析[J]. 钢管, 1999, 28(6):5
- 12 陈建华, 杨凛梅. 650mm 热扩管机组大口径无缝钢管定径工艺简析[J]. 江苏冶金, 2002, 30 (3): 8
- 13 曹树荣, 罗先登. 用周期式轧管——拉拔式热扩径工艺生产大容量高压无缝气瓶管[J]. 钢管, 1990, 6: 10
- 14 洪连山. 热扩径生产大直径无缝钢管的探讨[J]. 轧钢, 1991, 3: 37
- 15 师汉奎. 中频感应加热推挤式钢管热扩径工艺及亟待解决的几个问题[J]. 天津冶金, 2004, 120 (2): 9
- 16 钟蜀英, 任全胜,等. 推制式扩管新工艺的研究[J]. 四川冶金, 2004, 4: 18-20
- 17 张永兰. 推制式热扩钢管工艺的的实践及研究[J]. 钢管, 2004, 33 (1): 9
- 18 陈明香, 胡路卓,等. 大口径无缝钢管的工艺研究[J]. 天津冶金, 2002, 111 (5): 23
- 19 成海涛, 杨秀琴. 我国钢管行业未来发展趋势分析[J]. 钢管, 2009, 38 (1): 10
- 20 赵文耕. 大话不锈钢管[J]. 给水排水动态, 2006, 6: 12

- 21 伊势田, 敦朗, 杨小俊译. 高温高强度锅炉用不锈钢管 [J]. 不锈钢 (市场与信息), 2009, 5: 19
- 22 Ahmed T M, Alfantazi A, Budac J, et al. Failure analysis of 316L stainless steel tubing of the high-pressure still condenser [J]. Eng Failure Analysis, 2009, 16: 1432
- 23 MacKenzie P M, Walker C A, McKelvie J. A method for evaluating the mechanical performance of thin-walled titanium tubes [J]. Thin-Walled Structures, 2007, 45: 400
- 24 Aniruddha Kumar, Mool C Gupta. Surface preparation of Ti-3Al-2.5V alloy tubes for welding using a fiber laser [J]. Optics Lasers Eng, 2009, 47: 1259
- 25 Kyudae Hwang, Jongsoo Jeong, Sunggun Hyun et al. Heat transfer and pressure drop characteristics of enhanced titanium tubes [J]. Desalination, 2003, 159: 33
- 26 殷国茂. 我国无缝钢管行业飞速发展的 5 年和今后的思考(上) [J]. 钢管, 2006, 35 (1): 7
- 27 殷国茂. 我国无缝钢管行业飞速发展的 5 年和今后的思考(下) [J]. 钢管, 2006, 35 (2): 1
- 28 江苏武进大口径不锈钢热轧荒管试产成功 [J]. 不锈钢 (市场与信息), 2009, 5: 4
- 29 南通市特种钢厂成功开发大口径不锈钢管 [J]. 不锈钢 (市场与信息), 2009, 2: 13
- 30 邹子和. 美国不锈钢管市场分析及对我国不锈钢管发展方向的启示 [J]. 钢管, 2008, 32 (6): 17
- 31 英翔. 大口径薄壁气瓶管在天津钢管公司冷轧不锈钢管厂诞生 [J]. 天津冶金, 2008, 5: 60
- 32 Ghude S H. Status and prospects for the seamless steel tube industry in India [J]. J Mater Processing Technol, 1994, 40(1-2): 127