采用 MPM 机组生产 TA2 钛管热连轧工艺探讨*

王 栋,王增海,张瑞林,米永峰

(内蒙古包钢钢联股份有限公司钢管公司,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 文章介绍了采用 MPM 机组热连轧工艺生产 TA2 无缝钛管关键工艺参数设计,试制表明,加热温度控制在 1 010 ~ 1 020 ℃,顶头及导板表面涂覆自主研发的抗粘性剂,开轧温度控制到 940 ~ 960 ℃时,塑性变形较好,热工具表面未产生粘黏现象。TA2 无缝钛管检查结果显示,热连轧工艺生产的 TA2 钛管内外表面质量良好,外径及壁厚控制在尺寸偏差范围内,该工艺完全能够生产钛管及钛合金管。

关键词: TA2 钛管; 无缝管; 热连轧; MPM

中图分类号: TG335.7 TG146.2^{+3} **文献标识码:** B **文章编号:** 1009 - 5438(2019)04 - 0017 - 05

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2019.04.005

Discussions on Hot Continuous Rolling Process of Producing TA2 Titanium Tube with MPM Unit

Wang Dong, Wang Zeng - hai, Zhang Rui - lin, Mi Yong - feng

(*Steel Tube Co. of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In this paper, the design for key technological parameters of hot continuous rolling process of producing TA2 seamless titanium tube with MPM unit is introduced. The trial production showed that the plastic deformation was better and the surface of hot tool was not sticky when the heating temperature was controlled at 1 010 ~ 1 020 ℃, the surfaces of top and guide plate were coated with the self - developed viscous resistance agent as well as the initial rolling temperature was controlled at 940 ~ 960 ℃. The inspection results of TA2 seamless titanium tube produced with the hot continuous rolling process showed that its internal and external surface quality was good as well as the outer diameter and wall thickness were controlled within the dimensional deviations so that the process could be used for producing the titanium tube and titanium alloy tube.

Key words: TA2 titanium tube; seamless tube; hot continuous rolling; MPM

工业纯钛有着优异的耐蚀性能,因此钛管在航空航天、化工、石油、原子能发电、海水淡化、建筑等行业中得到广泛应用[1-6],钛管按用途可分为医疗钛管、轴承专用钛管、钛压力容器管、石油化工专用管、化工防腐蚀钛管及医用机械钛管等,按照制造方法可以分为无缝钛管和焊接钛管,根据牌号可以分为 TA1、TA2、TA3 等钛管。TA 系列钛管均属于工业纯钛,因间隙杂质元素含量不同而对应的性能不同。从 TA1 到 TA3 杂质元素含量增加,其机械强度和硬度也随之逐级增加,但塑性、韧性相应下降。工

* 收稿日期: 2019 - 06 - 05

作者简介: 王 栋(1985 -),男,内蒙古包头市人,工程师,主要从事无缝钢管生产质量管理工作。

中国知网 https://www.cnki.net

业上常用的纯钛是TA2，其耐蚀性能和综合力学性能适中，同时具有很好的低温韧性和高的低温强度，可用作－253 ℃以下的低温结构材料，因此应用广泛，市场需求旺盛。传统的钛及钛合金管坯的制备方法主要包括挤压法、斜轧穿孔法和焊接法。挤压法变形量大，能破碎晶粒，可提供塑性良好，壁厚较薄的钛管，但金属损耗与工具磨具损耗非常严重，且对润滑剂要求非常高，生产效率相应较低，采用斜轧穿孔能生产大口径钛管，生产效率高，产品表面质量好，但生产的钛管规格比较单一，变形量受到限制。采用焊接法生产的钛管成本较低，但焊缝区是薄弱环节。MPM连轧机组是生产无缝钢管的主要设备，其特点是轧制的无缝管规格较多，生产组距非常宽，生产效率高，无缝管内外表面质量以及尺寸偏差控制良好，采用该工艺生产钛合金管，目前未有企业发表相关报道。

1 研究材料及方法

本次轧制的钛管牌号为TA2，化学成分见表1。圆坯为用户提供，坯型规格为Φ180 mm，为防止钛管坯在加热过程中表面氧化，加热前对钛管坯表面涂抹抗氧化材料。拟采用环形加热炉加热、菌式穿孔机穿孔、连轧工艺生产TA2钛管。

表1 TA2化学成分(质量分数) %

成分	Ti	Fe	C	H	O
含量	余量	≤0.30	≤0.10	≤0.05	≤0.25

2 热连轧工艺的设计

2.1 加热制度

TA2有两种同素异构体，低于882.5 ℃为低温α晶型，呈密排六方晶格，882.5 ℃至熔点为高温β晶型，呈体心立方晶格。TA2显微组织较为简单，由于材料较软，易出现孪晶，TA2钛管α转变为β的转变温度为890～930 ℃[7]，晶相转变温度范围较窄，所以在热轧过程中对于温度及轧制工艺的控制要求较高。TA2钛管的塑性变形温度最好的范围是800～1 000 ℃[8]，加热过程中保证其均匀性，同时考虑出炉温度与开轧温度之间的温降，本次试验环形加热炉加热及保温制度设计见表2。

2.2 穿孔工艺

穿孔工艺主要由开轧温度及轧制参数组成，根据出炉温度初步设计的开轧温度见表3。

表2 环形炉加热制度

序号	预热1	预热2	加热1	加热2	均热1	均热2
加热温度/℃	烧嘴关闭	烧嘴关闭	860～900	980～1 010	990～1 010	990～1 000
加热时间/min	60	60	80	80	70	70

表3 开轧温度设计

序号	1#	2#	3#	4#	5#	6#
出炉温度/℃	1 003	995	998	990	992	994
开轧温度/℃	960～990	960～990	960～990	940～960	940～960	940～960

注：开轧温度控制可以通过控制传输链速度，延长传输时间，增加温降。

试验中使用的顶头选使用过的顶头，表面光滑无缺陷，然后在顶头表面涂覆自主研发的抗粘钢溶剂。轧制参数设计时，压下量方面，TA2钛管采在穿孔时，由于穿孔时塑形较好，所以不易采用大的压下量，如压下量过大，会造成坯料端头压扁，出现不咬入。压下量比较小时，变形量小，在保证顶头强度的条件下，穿孔更容易进行。根据现场实际生产经验，此次轧制压下率为10%。椭圆度系数选择方面，穿孔后毛管椭圆度是否较好，关系着毛管壁厚精度、内表面质量和连轧轧制工艺的顺行三方面是否达标，所以，较好的毛管椭圆度对产品质量和生产工艺顺行起关键性作用[9]。而毛管的椭圆度主要由穿孔机孔型设计中的椭圆度系数所决定，理论设计中，穿孔机椭圆度系数为1.1～1.2之间[9]。本次轧制TA2钛管选用的椭圆度系数为1.12。轧制速度的选择方面，由于TA2钛管坯开轧塑性较好，防止钛

中国知网 https://www.cnki.net

坯压扁的同时，轧辊与管坯之间摩擦力不能将管坯带动旋转，所以，此次轧制速度旋转中考虑选用低速咬入，咬入速度为正常轧制速度的 25%，保证了轧辊与管坯之间的摩擦力，使钛坯顺利咬入旋转。

2.3　连轧轧制工艺

本试验轧制钛管规格为 Φ139.7 mm × 7.72 mm，外径公差要求(0 – 1%) D(D 为外径)，壁厚公差要求(–5% ~17%) t(t 为壁厚)。连轧压下量主要由辊缝值的设定来体现，辊缝的大小直接影响到钛管的壁厚和长度。辊缝是通过 MPM 数学模型计算得出，计算时考虑的因素有轧件强度、孔型设计、机械间隙、机械弹跳、轧制壁厚、芯棒外径和轧件材质等。本次试轧 TA2 钛管辊缝值计算主要考核轧件强度和轧件材质，考虑到 TA2 钛管的强度高于碳钢，材质与碳钢不同，选择的压下量比碳钢要小。

3　实验结果探讨

3.1　开轧温度对轧制负荷的影响

对 6 支 TA2 实验钛管开轧温度进行测量跟踪，开轧温度实测结果见表 4。从表 4 结果可以看出，开轧温度控制在设计范围内，满足前三支高温轧制，后三只降温轧制的特点。

表 4　开轧温度实测

序号	1#	2#	3#	4#	5#	6#
开轧温度/℃	980	978	982	944	956	958

轧机轧制过程中，首先考虑轧制负荷是否满足轧机设备性能，试验过程中，通过轧机转速、顶头位置、开轧温度三项参数的修订来关注轧制负荷，其轧制过程中轧制载荷校验结果列于表 5。

表 5　轧制负荷校验结果

辊距 /mm	导板距 /mm	顶头规格 /mm	顶头位置 /mm	咬入速度 /%	主机设定转速 /(r·min^{-1})	轧制转速 /%	送进角 /(°)	开轧温度 /℃	轧后温度 /℃	冲击电流 /kA	稳态电流 /kA
162	180	158	95	25	700	80	10.5	980	1 012	100	70
162	180	158	95	25	700	80	10.5	978	1 009	95	72
162	180	158	105	25	700	90	10.5	982	1 011	98	70
162	180	158	95	25	700	85	10.5	944	982	80	60
162	180	158	95	25	700	85	10.5	956	989	82	63
162	180	158	105	25	700	85	10.5	958	990	85	65

由表 5 可知，开轧温度在 940 ~960 ℃时，其轧机的冲击电流与稳态电流值小于开轧温度 960 ~990 ℃时的冲击电流和稳态电流。表明 TA2 钛管在 940 ~960 ℃的塑性要好于 970 ~990 ℃的塑性。从此次试验过程中发现，轧制 TA2 钛管轧制负荷小于普通碳钢轧制负荷，轧制时需注意抛钢信号的数据采集，应小于普通碳素钢轧制的抛钢信号数据，实现正常抛钢。

3.2　热工具及钛管表面质量

轧制结束后，对热工具及 TA2 钛管内外表面质量进行检测，图 1 为 TA2 钛管穿管前后导板表面形貌，图 2 为顶头穿管前表面形貌，图 3 为 TA2 钛管内外表面形貌。

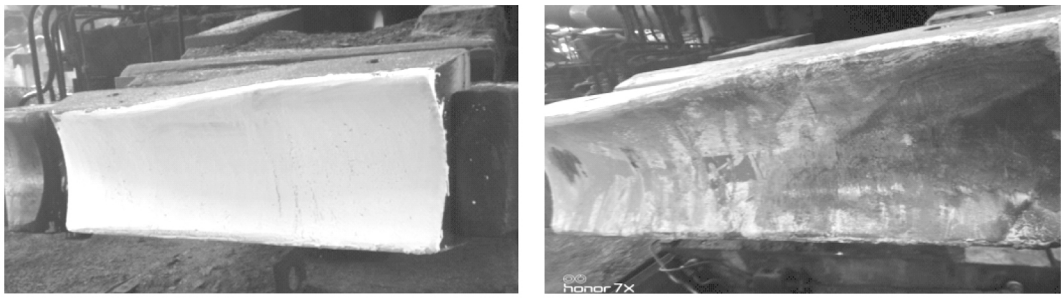


图 1　轧制 TA2 钛管导板表面形貌

中国知网　https://www.cnki.net

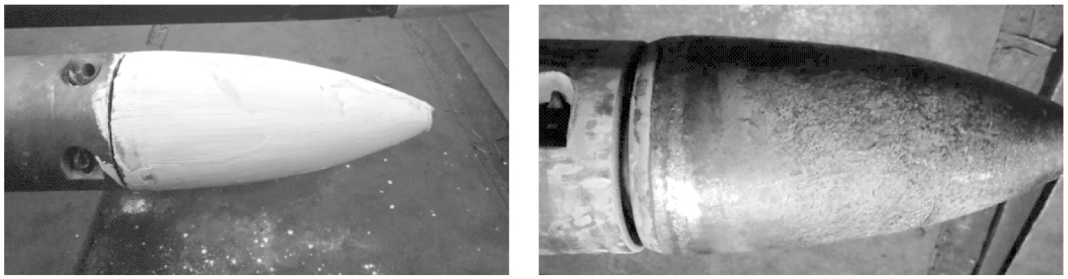


图2 轧制TA2钛管顶头表面形貌

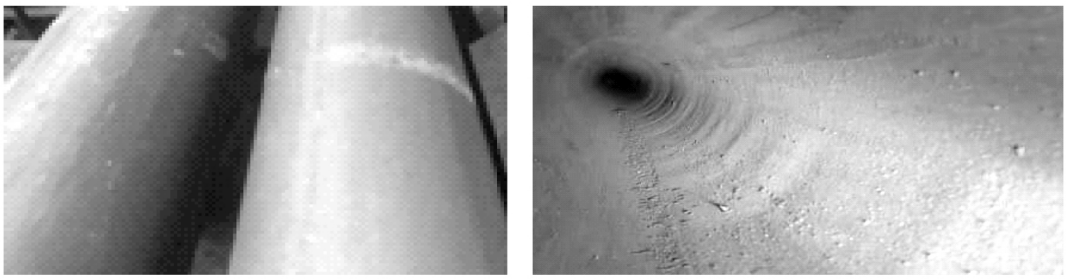


图3 TA2钛管内外表面质量

从图1、图2可以看出，导板外表面涂抗粘性物质后，轧制TA2钛管时，导板磨损正常，无粘钢等现象。试验中使用的顶头选用使用过的顶头，然后表面涂有抗粘性物质，使用效果较好。从图3可以看出，轧制后钛管内外表面质量良好。

3.3 几何尺寸检测结果分析

对轧制的6支TA2钛管壁厚及外径进行检测，检测结果见表6。

表6 外径与壁厚检测结果 mm

编号	1#	2#	3#	4#	5#	6#
外径	140.9	140.9	140.3	140.1	140.3	140.2
壁厚	7.55	7.77	7.82	7.98	8.23	8.43

外径公差要求(0 -1%) D，也即Φ139.7 ~ Φ141.09 mm，壁厚公差要求(-5% ~ +17%) t，也即7.33 ~9.03 mm，从表6可以看出，外径及壁厚尺寸均控制在偏差范围内。

4 结论

(1) 导板与顶头涂覆抗粘剂，导板与顶头表面光滑，未产生粘黏现象，钛管内外表面质量良好。

(2) 加热温度控制在1 010 ~1 020 ℃，开轧温度控制到940 ~960 ℃时，塑性变形较好，适合于轧制TA2钛管。

(3) 采用MPM生产的TA2钛管内外表面质量良好，外径及壁厚控制在尺寸偏差范围内，该工艺完全能够生产钛管。

参 考 文 献

[1] 邓永生，何瑜，郝斌. 纯钛管在我国电站的应用[J]. 腐蚀科学与防护技术，2001，13(S1)：511 -513.

[2] 马丽欣，高兴国，杨建军，等. 钛管材在换热器中的应用[J]. 钛工业进展，2003，20(5)：109 -110.

[3] 余存烨. 钛在炼油化工行业的应用前景[J]. 钛工业进展，2004，21(3)：9 -13.

[4] 周佳宇，哈军. 钛合金材料在舰船管系上的应用[J]. 材料开发与应用，2006，(3)：40 -42.

中国知网 https://www.cnki.net

[7] 贾如雷,计波. 钛材热挤压成形技术发展和应用现状 [J]. 上海: 世界有色金属,2010,(11): 48 – 50.
[6] 日本钛协会著. 周连在译. 钛材料及其应用 [M]. 北京: 冶金工业出版社,2008.
[7] 陆燕玲,TA2、TC4 热轧工艺制度研究 [D]. 上海交通大学,2009.
[8] 杨亚社,等. TA2 钛管加工工艺优化 [J]. 特种铸造及有色金属,2012,32(9): 869 – 871.
[9] 权亚平,等. 三辊斜轧穿孔生产 TA2 管坯工艺研究 [J]. 钛工业进展,2011,28(2); 33 – 35.

(上接第 13 页)

表 5　批量生产钢管的晶粒度

总检验频数/个	晶粒度 8 级占比/%	晶粒度 8.5 级占比/%	晶粒度 9 级占比/%	标准要求
58	13.8	82.8	3.4	6 级或更细

5　结论

(1) 生产规格为 Φ139.7 mm × 7.72 mm 非调质 N80 – 1 套管,钢种采用 C – Mn – V 设计思路,通过 V 的细化晶粒和析出沉淀强化作用,并结合在线常化的生产工艺,可工业化生产满足 Q/YS 1572.1 标准要求的产品。

(2) 按照设计的成分体系,钢管入再加热炉前的温度应控制在 550 ℃以下。

(3) 利用 V 在奥氏体中的析出细化奥氏体晶粒及铁素体区大量析出沉淀强化作用,钢管定径前应采用再加热炉加热,再加热温度控制在 880 ~ 900 ℃,工业化生产规格为 Φ139.7 mm × 7.72 mm 的 N80 – 1 套管的屈服强度达到 580 ~ 620 MPa,0 ℃纵向半尺寸冲击功为 30 ~ 78 J,满足 Q/YS 1572.1 标准要求。

参　考　文　献

[1] 李平全,史交齐,赵国仙. 油套管的服役条件及产品研制开发现状(上) [J]. 钢管,2008,37(4): 6 – 12.
[2] 谌智勇,辛广胜,成永久. 非调质 N80 级油井管的发展 [J]. 包钢科技,2009,35(6): 9 – 11.
[3] 薛东妹,潘涛,赵苏娟,等. 钒微合金化 N80 级无缝管成分和工艺优化的模拟研究 [J]. 钢铁钒钛,2009,30(3): 26 – 32.
[4] V 的碳氮化合物析出对 $36Mn_2V$ 非调质钢组织性能的影响 [J]. 武汉科技大学学报,2012,35(2): 81 – 84.

中国知网　https://www.cnki.net