

高标准纯钛(Gr.2)斜轧穿孔管的冷加工技术

马小菊, 曲恒磊, 李明强, 邓超, 尉北玲, 李明利, 李刚

(西部钛业有限责任公司, 陕西 西安 710201)

摘要: 介绍了工业纯钛 (Gr.2) 斜轧穿孔无缝管的生产试制情况, 并对生产中遇到的问题进行分析, 重点讨论斜轧管冷加工过程中 Q 值对管材内表面质量的影响及管材镗孔问题。结果表明: 在进行斜轧管冷加工时, 选取合适的 Q 值, 并且在靠近成品的加工道次进行镗孔, 不仅可以有效地去除内表面微裂纹, 而且能够保证成品质量。

关键词: Gr.2 纯钛管; 斜轧穿孔; 冷加工

中图分类号: TG146.2⁺3; TG335.17

文献标识码: A

文章编号: 1002-185X(2009)12-2242-04

工业纯钛管具有重量轻、强度大、耐热性强、耐腐蚀等优点, 在航空航天、石油化工等领域广泛应用^[1]。目前工业生产的管坯以挤压为主, 有关斜轧穿孔方面的报道甚少。斜轧穿孔法具有设备投资小、工模具消耗少、加工成本低、节省材料等优点^[2]。但是采用斜轧穿孔加工的大规格管坯轧制小规格成品管, 存在加工周期长、产品质量不稳定等问题。本实验结合实际生产情况, 采用斜轧管进行小规格、超长、高标管材的试制, 对成品管按 ASTM B338 标准进行各项性能测试, 旨在为斜轧 Gr.2 纯钛管的工业化生产提供参考。

1 实验

斜轧穿孔用的棒坯直径为 73 mm, 化学成分见表 1。利用中频感应炉加热, 在 β 相区, 采用两辊斜轧穿孔机一火穿成 $\Phi 75 \text{ mm} \times 8 \text{ mm}$ 的管坯。

分析斜轧穿孔管材显微组织, 制定轧制工艺。冷变形采用常规二辊、三辊轧机进行多道次、多火次轧制。在轧制中间道次进行镗孔。镗孔后的管子选取不同的 Q 值 (相对减壁量与相对减径量比值) 进行冷加工, 对轧后的管材取样, 沿纵向剖开, 观察内表面质量。

按 ASTM B338 标准对 $\Phi 19.05 \text{ mm}$ (外径) $\times 1.244 \text{ mm}$ (壁厚) $\times 9150 \text{ mm}$ (长) 成品管进行各项力学性能测试。采用 76EX-18 型探伤仪进行超声波探伤。用 OLYMPUS MPG3 显微镜观察成品管材 550 $^{\circ}\text{C}$, 60

表 1 Gr.2 的化学成分

Table 1 Chemical composition of Gr.2 ($\omega/\%$)					
Ti	Fe	C	N	H	O
Bal.	0.04	0.01	0.008	0.001	0.08

min 和 600 $^{\circ}\text{C}$, 60 min 真空退火的显微组织。

2 结果与讨论

2.1 斜轧管坯质量

表 2 为管坯外径及壁厚尺寸。表 3 为允许的尺寸公差^[3]。图 1a~1c 为斜轧管外侧、中间区、内侧显微组织。由表 2, 表 3 可以看出, 管坯外径及壁厚测量值在允许的公差范围之内。由图 1a~1c 斜轧管显微组织可以看出: 内、外表面晶粒较细小, 中间区为拉长的大晶粒, 晶界不完整, 呈锯齿状。这是由于斜轧过程中存在扭转变形和横切变形。变形沿圆坯直径的分布明显不均, 与轧辊接触的表面变形大, 中心次之, 中间区变形最小, 一般呈“U”型^[4]; 同时棒料加热温度过高, 斜轧过程中温度基本没有下降, 且局部有温升, 远远超出相变点温度 (882 $^{\circ}\text{C}$), 随后采用空冷便得到粗大的组织, 这种组织对后续的冷加工非常不利, 因此, 冷加工工艺的合理设计尤为重要。

表 2 Gr.2 斜轧穿孔管的尺寸

Table 2 Size of Gr.2 cross-rolled boring tubes

Samples	Position	Test results/mm					
1#	Head	75.7	75.5	75.7	75.6	75.8	
	Diameter at different positions along longitude	Middle	75.2	75.3	75.3	75.4	75.2
		Tail	75.1	75.1	75.3	75.1	75.3
2#	Head	75.7	76.1	75.8	76.5	76.1	
	Diameter at different positions along longitude	Middle	75.6	75.8	75.7	75.6	75.5
		Tail	75.1	75.5	75.1	75.5	75.5
1#	Head	8.00	7.85	8.00	7.95	7.85	
	Wall thickness	Tail	7.60	7.85	7.70	7.75	7.65
2#	Head	8.00	7.90	7.90	7.95	7.90	
	Tail	7.80	7.75	7.85	7.70	7.82	

收到初稿日期: 2008-11-23; 收到修改稿日期: 2009-09-24

基金项目: 国家科技支撑计划 (2007BAQ00087)

作者简介: 马小菊, 女, 1979 年生, 硕士, 西部钛业有限责任公司, 陕西 西安 710201, 电话: 029-86968630, E-mail: maxiaoj0907@126.com

表 3 斜轧穿孔管坯外径及壁厚允许的尺寸公差

Table 3 Allowable dimensional tolerance of diameter & wall thickness of cross-rolled boring tube^[3] (mm)

Specification	Diameter tolerance	Thickness tolerance
Φ75×8	+0.80	+0.60
	-1.20	-0.60

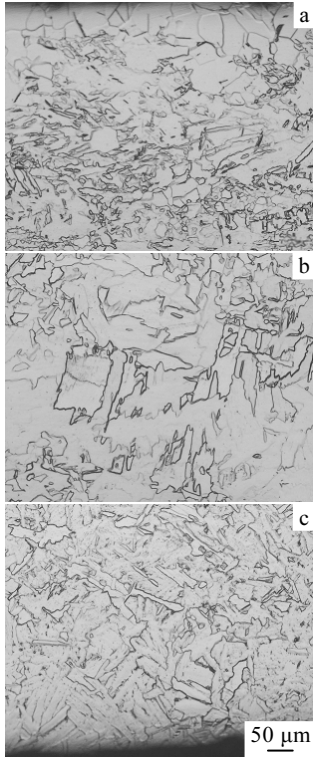


图 1 Gr.2 斜轧管 R 态径向显微组织

Fig.1 Cross-sectional microstructures of Gr.2 cross-rolled boring tube at R state: (a) outer zone, (b) mid-radius zone, and (c) inner zone

2.2 管材内镗孔问题

斜轧穿孔的管坯，外表面光亮，无裂纹；内表面粗糙，存在细小微裂纹；表面氧化层较厚，可达 0.05 mm^[5,6]，这无论对于酸洗以后的各工序，还是对最终产品质量都是十分有害的。当带氧化层进行轧制时，将会使管材产生缺陷，同时也会使氧化层压入到管材表面上，从而影响表面质量，因此生产高标准的管材，要保证成品质量，必须去除内外表面的氧化皮及缺陷。对于外表面缺陷可以采用打磨、刮修方法去除，而内表面缺陷则需要镗孔处理来消除。具体工艺是在轧制一个道次后进行镗孔。但是在后续加工过程中，因 ϵ （加工率）及 Q 值选择不合理，在内表面会再次产生新的裂纹。因此根据标准要求、设备能力及生产条件重新拟定轧制工艺进行试制。此工艺将镗孔设计在中间轧制过程。这样设计虽存在以下缺点：1)料较长，

不易操作；2)费时，工作量较大。但是，可以有效地去除内表面微裂纹，保证成品质量。

2.3 两辊轧制 Q 值对内表面质量的影响

根据管材的轧制理论，在轧制过程中的相对减壁量和相对减径量的比值 Q 对管材的质量有很大的影响^[3]。因此就镗孔后的 $\Phi 35 \text{ mm} \times 3.7 \text{ mm}$ 管子在两辊轧机上进行轧制，并设计 $\Phi 27 \text{ mm} \times 3.2 \text{ mm}$ ， $\Phi 27 \text{ mm} \times 3.1 \text{ mm}$ ， $\Phi 27 \text{ mm} \times 3.0 \text{ mm}$ 3 种轧制规格进行对比，旨在分析 Q 值对管材内表面的影响。对 3 种规格的管材取样，沿纵向剖开，发现 $\Phi 27 \text{ mm} \times 3.1 \text{ mm}$ ， $\Phi 27 \text{ mm} \times 3.0 \text{ mm}$ 管材内表面光滑，没有任何裂纹（见图 2），而 $\Phi 27 \text{ mm} \times 3.2 \text{ mm}$ 管材内表面产生纵向裂纹（见图 3）。由 ϵ （加工率）、 Q 值分析可知（表 4）：在减径量一定的条件下，3 种规格的冷变形量相差较小，但 Q 值却有明显的增加。这主要是减壁量过小造成，也就是说两辊轧制减壁段的空间随减壁量的减小也趋于变小，造成两辊轧制前期减径段的物料流动在后期减壁段堆积现象增加，所以增加了裂纹形成的几率。因此在进行两辊轧制时，应严格控制 Q 值。

2.4 成品管性能分析

2.4.1 力学性能及显微组织

图 4、图 5 分别为管材扩口、压扁照片。可以看出，内、外表面无裂纹。表 5 及图 6 分别为两种不同



图 2 Φ27 mm×3.1 mm, 3.0 mm Gr.2 纯钛管内表面照片

Fig.2 Inner photograph of Φ27 mm×3.1 mm, 3.0 mm Gr.2 pure titanium tube

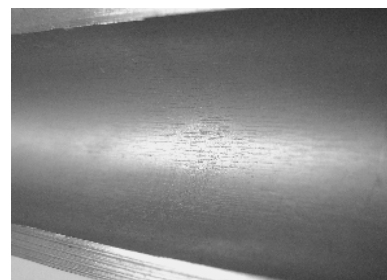


图 3 Φ27 mm×3.2 mm Gr.2 纯钛管内表面照片

Fig.3 Inner photograph of Φ27 mm×3.2 mm Gr.2 pure titanium tube

表 4 Gr.2 纯钛管同一道次不同壁厚条件下的 ε 、 Q 值
Table 4 ε & Q values of Gr.2 pure titanium tubes at the same pass under different wall thickness conditions

Specification/mm	d_0-d/d_0	t_0-t/t_0	$\varepsilon/\%$	Q value
$\Phi 35 \times 3.7$	/	/	/	/
$\Phi 27 \times 3.0$	0.239	0.189	37.8	1.264
$\Phi 27 \times 3.1$	0.246	0.162	36.0	1.519
$\Phi 27 \times 3.2$	0.254	0.135	34.2	1.877

Note: d_0 and t_0 is inner diameter & wall thickness of tubes before rolling, respectively; d and t is inner diameter & wall thickness of tubes after rolling, respectively



图 4 $\Phi 19.05 \text{ mm} \times 1.244 \text{ mm}$ Gr.2 纯钛管扩口照片

Fig.4 Flaring photograph of $\Phi 19.05 \text{ mm} \times 1.244 \text{ mm}$ Gr.2 pure titanium tubes



图 5 $\Phi 19.05 \text{ mm} \times 1.244 \text{ mm}$ Gr.2 纯钛管压扁照片

Fig.5 Flattening photograph of $\Phi 19.05 \text{ mm} \times 1.244 \text{ mm}$ Gr.2 pure titanium tube

退火制度下室温拉伸结果及显微组织。可以看出：550 °C，60 min 退火力学性能符合要求，但是未完全再结晶，存在一定量的冷加工组织；600 °C，60 min 退火组织为等轴晶，发生了完全再结晶，并且力学性能满足标准要求。因此在实际生产中选择 600 °C，60 min 进行退火较合适。

2.4.2 超声探伤

图 7 为 $\Phi 19.05 \text{ mm} \times 1.244 \text{ mm}$ 成品斜轧管、挤压管超声探伤结果。由图可以看出，相比挤压管，斜轧管杂波较小。

斜轧管探伤合格率为与挤压管相当。

表 5 $\Phi 19.05 \text{ mm} \times 1.244 \text{ mm}$ Gr.2 纯钛管成品室温力学性能
Table 5 Mechanical property of $\Phi 19.05 \text{ mm} \times 1.244 \text{ mm}$ Gr.2 pure titanium tubes at room temperature

Annealing schedule	Samples	Test results		
		Rm/MPa	Rp0.2/MPa	A/%
550 °C, 60 min	1#	465	360	39
	2#	435	355	40
600 °C, 60 min	1#	415	315	42
	2#	415	310	42
Standard		345	275	20

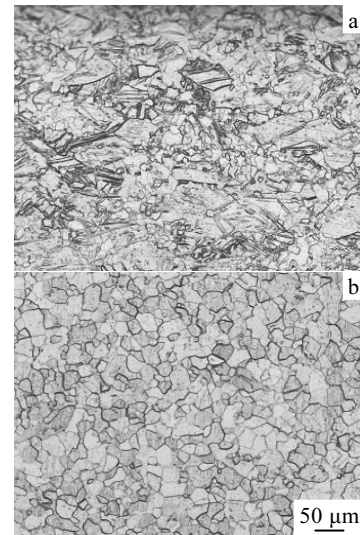


图 6 不同退火制度下 $\Phi 19.05 \text{ mm} \times 1.244 \text{ mm}$ Gr.2 纯钛管显微组织

Fig.6 Microstructures of $\Phi 19.05 \text{ mm} \times 1.244 \text{ mm}$ Gr.2 pure titanium tubes under different annealing conditions: (a) 550 °C, 60 min and (b) 600 °C, 60 min

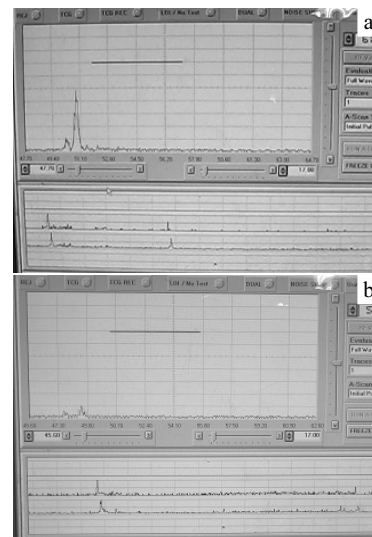


图 7 $\Phi 19.05 \text{ mm} \times 1.244 \text{ mm}$ Gr.2 纯钛管成品探伤结果
Fig.7 Detection results of $\Phi 19.05 \text{ mm} \times 1.244 \text{ mm}$ Gr.2 pure titanium tube: (a) cross-rolled boring tube and (b) extruded tube

3 结 论

1) 斜轧穿孔管氧化层较厚, 外表面光亮, 内表面粗糙、存在细小微裂纹, 内、外侧晶粒细小, 中间区为拉长的大晶粒, 晶界不完整, 呈锯齿状。

2) 将镗孔设计在中间轧制过程, 可以有效地去除内表面微裂纹, 保证成品质量。

3) 两辊轧制时, 为保证成品管质量, Q 值应小于 1.877。

参考文献 References

- [1] Zhang Xiyan(张喜燕), Zhao Yongqing(赵永庆), Bai Chenguang(白晨光). *Titanium Alloy and Application*(钛合金及其应用)[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005: 21
- [2] Ma Huaixian(马怀宪). *Metal Plastic Working Science—Extrude, Drawing & Cold Reduction of Tubes*(金属塑性加工学—挤压拉拔与管材冷轧)[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1997: 10
- [3] Li Qingyun(李青云). *Handbook of Rare Metal Materials Processing*(稀有金属材料加工手册)[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1985: 660
- [4] Li Shengdi(李胜祇), Sun Zhongjian(孙中建). *Steel Pipe*(钢管) [J], 1999, 28(6): 11
- [5] Wang Jianzhi(王剑志), Chen Jianyao(陈建尧). *Special Steel Technology*(特钢技术)[J], 2003, 8(2): 2
- [6] Yan Wei(严伟), Wang Xiaoxiang(王小祥). *Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2005, 34(3): 471

Cold Processing Technology of High-Specification Pure Titanium (Gr.2) Cross-Rolled Boring Tube

Ma Xiaoju, Qu Henglei, Li Mingqiang, Deng Chao, Wei Beiling, Li Mingli, Li Gang
(Western Titanium Technologies Co., Ltd., Xi'an 710201, China)

Abstract: The preproduction situation of commercial pure titanium (Gr.2) cross-rolled boring seamless tube was introduced, and the problems in it were analyzed. The effect of Q value on tube inner surface quality and boring problems were discussed. Results show that the suitable Q value and boring in finished-product-near pass can eliminate inner surface micro-crack effectively and ensure quality of finished products.

Key words: Gr.2 pure titanium tube; cross rolled boring; cold processing

Biography: Ma Xiaoju, Master, Western Titanium Technologies Co., Ltd., Xi'an 710201, P. R. China, Tel: 0086-29-86968630, E-mail: maxiaoju0907@126.com