

Ti-75 穿孔管坯的冷扩成形

苏航标, 杨英丽, 赵永庆, 郭荻子, 吴金平, 赵恒章, 赵 彬

(西北有色金属研究院, 西安 710016)

摘 要: 研究采用斜轧穿孔及冷扩成形方法制备直径大于 130 mm 的大口径 Ti-75 无缝管材的可行性。分别测试穿孔管坯和冷扩后管材的金相组织、力学性能及沿管材轴向方向的裂纹情况。结果表明: 采用斜轧穿孔方式可以制备 Ti-75 合金大口径无缝管材且拥有较好的塑性; 在室温下, 进行冷扩, 在扩径率小于 15% 时, 可得到抗拉强度为 780 MPa, 屈服强度为 685 MPa, 伸长率为 13.5%, 断面收缩率为 55% 的管坯, 且不出现扩裂等情况。

关键词: Ti-75 合金; 斜轧穿孔; 冷扩成形; 大口径; 管材

中图分类号: TF 804.3

文献标志码: A

Cold expansion forming of Ti-75 perforated tube

SU Hang-biao, YANG Ying-li, ZHAO Yong-qing, GUO Di-zi, WU Jin-ping, ZHAO Heng-zhang, ZHAO Bin

(Northwest Institute for Nonferrous Metal Research, Xi'an 710016, China)

Abstract: The feasibility of preparation of large-diameter seamless pipe of Ti-75 alloy using rotary piercing and cold expansion method. The microstructure, mechanical properties and crack along the pipe axial direction of the situation of the piercing tube and cold-expanded pipe were tested. The results show that Ti-75 large diameter alloy seamless pipe can be prepared using the rotary piercing method and it has a good plasticity. At room temperature, when the expansion of diameter is less than 15%, the tube with tensile strength of 780 MPa, yield strength of 685 MPa, elongation percentage of 13.5% and contraction of area of 55% can be obtained by cold expansion forming. There is no extending cleft in the tube.

Key words: Ti-75 alloy; rotary piercing; cold expansion forming; large-diameter; pipe

在海洋工程、舰艇不断革新中, 对钛合金大直径管材提出了越来越高的要求。Ti-75(Ti-3Al-2Mo-2Zr)合金是我国自行设计研制的 730 MPa 强度级新型舰船动力装置用近 α 型中强、高韧、耐蚀、可焊钛合金, 该合金在舰船、石油、化工、机械、生物工程等领域具有广阔的应用前景^[1]。

国内钛合金无缝管材制备通常采用的工艺为二次熔炼—锻造—穿孔或者挤压—冷轧成型。该工艺通常只能完成直径为 133 mm 以下管材的轧制, 但不能制备大口径(如直径为 133 mm)的钛合金无缝管。

钛合金由于屈强比很高, 因此, 很难完成冷加工成型, 尤其是冷扩径成型。冷扩径成型的特点在于外径方向没有约束, 金属处于自由流动状态, 易出现壁厚变薄程度严重不均匀甚至开裂的情况。但是, 由于

冷扩在管材成型中具有高效、流程短的特点, 因此, 有必要对钛合金冷扩成型进行研究。

本文作者观察了管坯金相组织、管坯壁厚均匀性, 测试了管坯力学性能, 研究斜轧穿孔制备大口径无缝 Ti-75 管材的可行性。

1 实验

1.1 试验材料

本文所使用的坯料为经过 2 次真空自耗熔炼的钛合金铸锭, 在相变点以上开坯, 经降温终锻后得到直径为 130 mm 的棒坯, 然后采用纯 Mo 顶头进行穿孔试验。

冷扩管坯采用穿孔制得的管坯，其直径×壁厚分别为 130 mm×15 mm 和 130 mm×11 mm，冷扩采用定径尺寸(直径)为 121.3 和 113.8 mm 芯模。

1.2 试验设备及试验过程

采用大型立式穿孔机组进行直径为 130~500 mm 管坯穿制，穿孔前，在棒坯中心预制定心孔，Mo 顶头提前预热，在棒坯表面涂覆涂层，利用燃气步进炉进行加热,保温温度为 1 000 ℃，穿孔温度约为 960 ℃。

冷态扩径实验在 GLB120 型冷拔机组上进行，采用穿孔态 Ti-75 管坯，在内表面涂覆润滑剂，并在干燥箱中烘干，润滑剂采用石灰和工业脂混合而成，其质量比为 10:1.2~1.3。

1.3 实验性能测试

在冷扩前后，沿斜轧穿孔管坯轴向方向，在前部、中部和尾部分别沿截面截取试样测试其显微组织及力学性能，在 INSTRON 1185 试验机上测试室温力学性能。采用 OLMPUS PMG3 型光学显微镜及 JSM6460 扫描电镜对斜轧穿孔试样及冷扩试验进行组织及表面观察。

2 结果与分析

碳钢、不锈钢大口径无缝管材的制备已较为成熟，钛合金无缝大口径管材的制备在国内仅通过旋压和铸造的方法制备，制备成本高、生产率低，不能满足国防及相关民用行业的大规模使用。为此，通过研究穿孔管坯的显微组织、冷拔性能、管材表面及壁厚尺寸偏差，对斜轧穿孔制备大口径钛合金无缝管材的可行性进行探讨。

2.1 Ti-75 合金棒坯穿孔工艺确定

近α型钛合金是一种滑移系统少、对称性差的密排六方结构金属，因此，Ti-75 合金较难成形^[2]。因此在斜轧穿孔时选用合适的穿孔温度非常重要，温度过高会使穿出的管坯表面划伤严重，或者使轧辊与棒坯之间缺少足够的摩擦力以致不能顺利穿出；温度过低则管材不易穿透，并使穿出的管坯偏心较大。对于本试验，选择在高于 Ti-75 合金相变点 50 ℃ 进行穿孔。对于不锈钢来说，坯料在压缩区的压缩率 10%是合适的^[3]，而对于钛合金穿孔来说，由于弹性大，因此，压缩区的压缩率应控制在 10%~15%，避免出现由于压缩率小而轧辊不能抱紧棒坯的情况。当咬入角增大时，

能量消耗低，咬入条件好，本试验选取咬入角为 8°~14°。顶头位置非常重要，当位置过前时，坯料咬入困难，位置过后时，在穿孔前产生较大的自成真空腔，导致内表面折叠，因此，本试验选取顶头位置为 70~150 mm。

2.2 采用斜轧穿孔制备的管坯显微组织及性能

在 960 ℃，采用斜轧穿孔制备了 Ti-75 合金管坯，并测试了其室温力学性能，结果如表 1 所列。可见：Ti-75 合金管坯的伸长率为 20%左右，断面收缩率为 55%左右，抗拉强度为 720 MPa。由于穿孔时温度较高，且穿孔时间较短(少于 1 min)，随后采用空冷的方式进行冷却，在冷却过程中发生了回复及再结晶^[4-6]，因此，仍能保证较高的伸长率，这为后续管材连续进行冷扩提供了塑性基础。

表 1 Ti-75 穿孔管坯室温性能

Table 1 Room temperature property of rotary piercing Ti-75 tube

No.	R_m /MPa	$R_{p0.2}$ /MPa	A /%	Z /%	d /mm
1	725	635	20	56	11
2	720	630	20	56	
3	710	625	21	51.5	15
4	710	62	19.5	55.5	

Note: R_m is tensile strength; $R_{p0.2}$ is yield strength; A is elongation percentage; Z is contraction rate; d is wall thickness of the piercing tube.

穿孔管坯沿轴向方向不同部位的显微组织如图 1 所示。可见：管材沿头部、中部、尾部方向存在温升迹象，晶界逐步发生弯曲，晶界析出片层及块状α相，且随着穿孔的进行，尾部温度越来越高，片层逐渐变宽。这主要由于钛合金热导率仅为 15.072 W/(m·K)。纵横向金相均保持一致。

2.3 Ti-75 穿孔管材冷扩后的组织及性能

利用穿孔制得的管坯，在进行润滑后直接进行冷扩试验，扩径比为 10%，其室温力学性能如表 2 所示。

表 2 Ti-75 冷扩管坯室温性能

Table 2 Room temperature property of expanding Ti-75 tube

No.	R_m /MPa	$R_{p0.2}$ /MPa	A /%	Z /%	d /mm
1	795	685	15.0	53.0	10
2	800	695	14.0	56.5	
3	770	705	13.5	54.5	13
4	785	685	14.5	55.5	

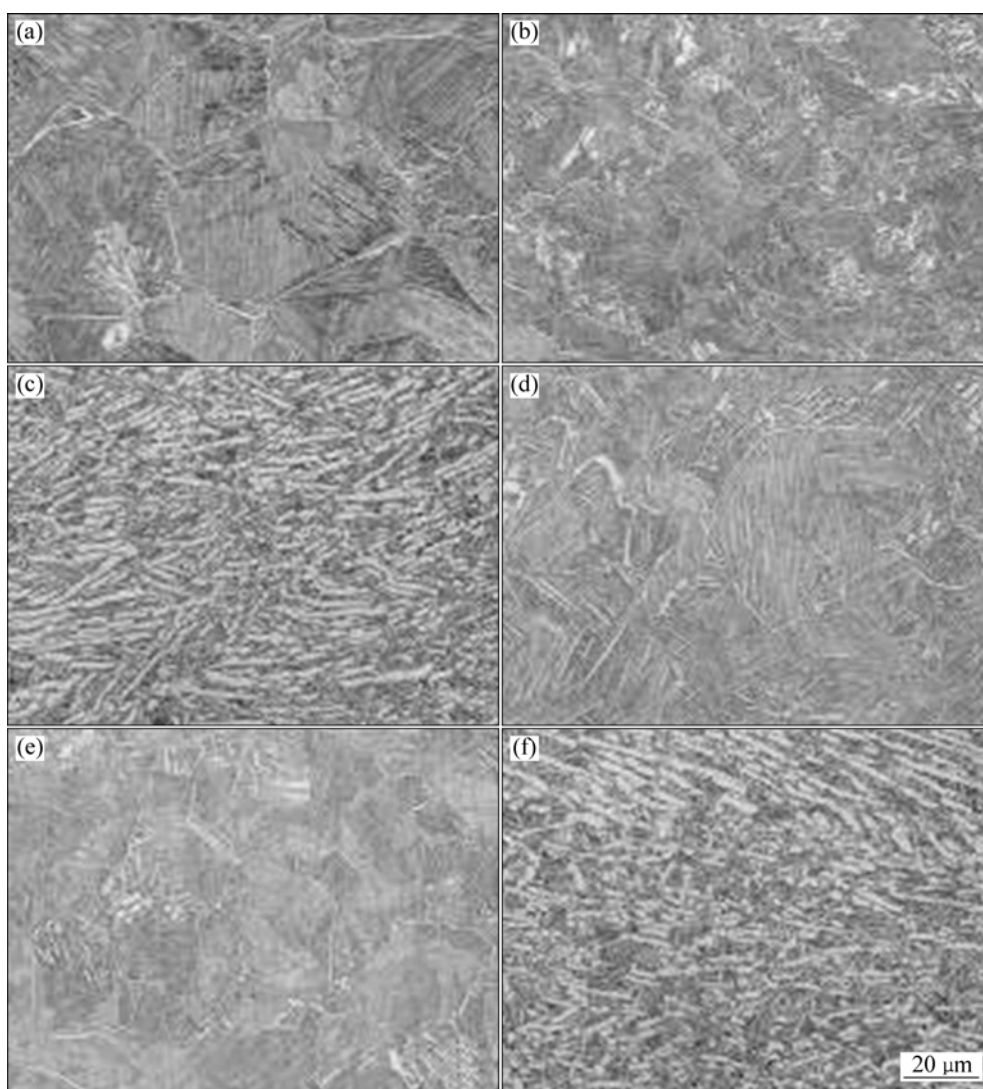


图 1 穿孔管坯横纵向不同位置的显微组织

Fig.1 Microstructure of rotary piercing Ti-75 tube different parts along lengthwise and lateral direction: (a) Lateral structure of forehead; (b) Lateral structure of middle part; (c) Lateral structure of end part; (d) Lengthwise direction structure of forehead; (e) Lengthwise direction structure of middle part; (f) Lengthwise direction structure of end part

可见,管坯伸长率为 14%左右,断面收缩率仍保持在 55%左右,抗拉强度为 780 MPa。冷扩后管材显微组织如图 2 所示。可见:在试样纵横向方向上,晶粒有进一步破碎的趋势。

2.4 Ti-75 管材表面及尺寸

冷扩后管坯的表面状况如图 3 所示。

由图 3 可见:经穿孔得到的管坯,表面状况良好,未见螺旋纹及表面划伤等。冷扩后,管坯表面出现裂纹,沿出现裂纹处切开进行取样,对横向方向进行 SEM 观察,结果发现:裂纹仅是表层氧化皮形成,裂纹长度约为 2 mm。

穿孔及扩径管坯沿轴向方向壁厚分布状况如图 4 所示,其中, d 为壁厚。从图 4 可以看出:无论是穿孔管坯还是冷扩后管坯,其壁厚偏差控制在 6%以内,完全可满足管材加工需要。因此,作为制备大口径无缝钛合金管坯的方法之一,斜轧穿孔方法是完全可行的,此外,作为制备大口径钛合金无缝管材工艺的一个有益补充,冷拔方案同样可行。

3 结论

1) 采用合适的斜轧穿孔工艺参数可制备大口径

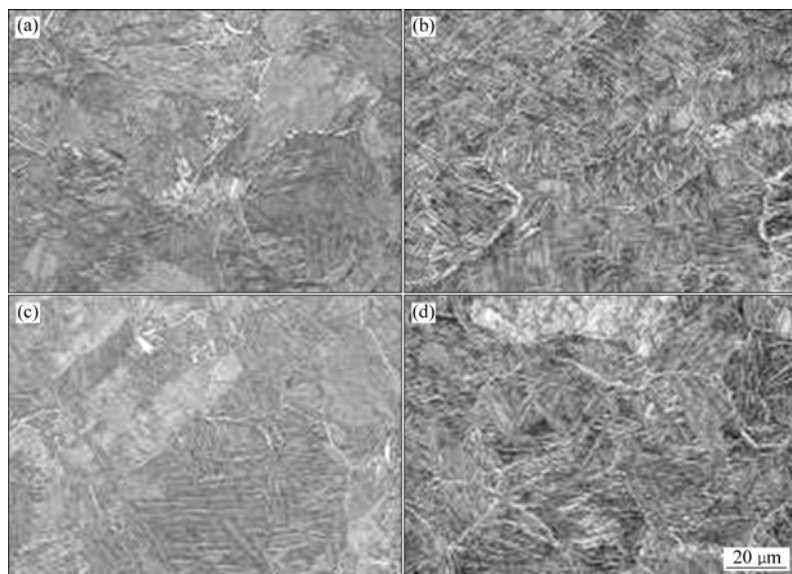


图 2 穿孔管坯冷扩后横纵向不同位置处的显微组织

Fig.2 Microstructures after cold expanding Ti-75 rotary piercing tube in different parts along lengthwise and lateral direction: (a) Lateral structure after cold expanding, wall thickness of 10 mm; (b) Lateral structure after cold expanding, wall thickness of 13 mm; (c) Lengthwise structure after cold expanding, wall thickness of 10 mm; (d) Lengthwise structure after cold expanding, wall thickness of 13 mm

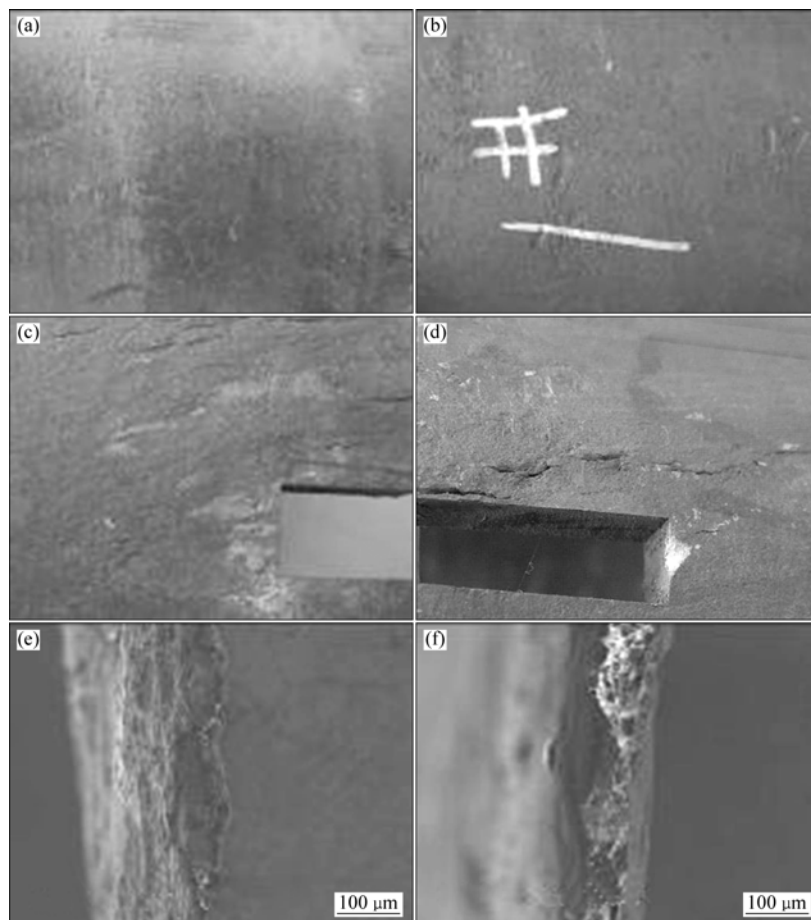


图 3 穿孔及扩径管材表面状况

Fig.3 Surface states of rotary piercing and expanding Ti-75 tube: (a) Photo, piercing, wall thickness of 11 mm; (b) Photo, piercing, wall thickness of 15 mm; (c) Photo, expanding, wall thickness of 10 mm; (d) Photo, expanding, wall thickness of 13 mm; (e) SEM image, expanding, wall thickness of 10 mm; (f) SEM image, expanding, wall thickness of 13 mm

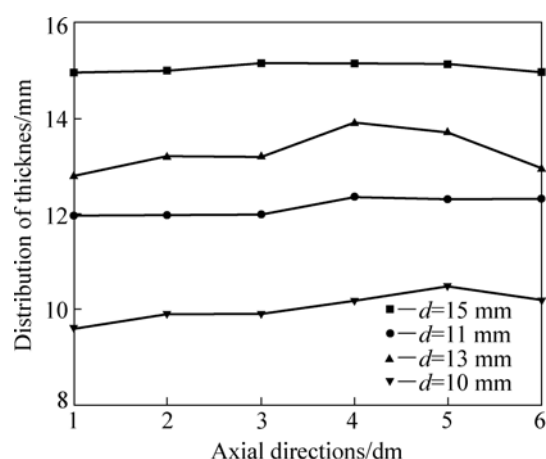


图4 穿孔及扩径管坯沿轴向方向壁厚分布状况

Fig.4 Distribution of wall thickness in axial directions of rotary piercing and expanding Ti-75 tube

无缝钛合金管材。

2) Ti-75 穿孔管坯具有较好的塑性,可直接进行冷扩。

3) 斜轧穿孔管坯冷扩后,表面良好,壁厚尺寸偏差小(6%以下),可满足生产需要。

REFERENCES

[1] 赵永庆, 杨冠军. 西北有色金属研究院研制的部分钛合金及

产业化[J]. 钛工业进展, 2006, 23(5): 6-9.

ZHAO Yong-qing, YANG Guan-jun. Some titanium alloys developed by NIN and their industrial manufacture[J]. Titanium Industry Progress, 2006, 23(5): 6-9.

[2] LEYENS C, PETERS M. Titanium and titanium alloys[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005: 4.

[3] KÜMMERLING R, 洪杰, 焦四海. 钢管斜轧技术[J]. 世界钢铁, 2006, 6(6): 21-24, 45.

KÜMMERLING R, HONG Jie, JIAO Si-hai. Steel pipe diagonal rolling technology[J]. World Iron & Steel, 2006, 6(6): 21-24, 45.

[4] 赵恒章, 杨英丽, 郭荻子, 赵彬. Ti-26 高强钛合金斜轧穿孔工艺研究[J]. 稀有金属快报, 2007, 26(11): 34-37.

ZHAO Heng-zhang, YANG Ying-li, GUO Di-zi, ZHAO Bin. Study on rotary piercing technology of Ti-26 titanium alloy[J]. Rare Metals Letters, 2007, 26(11): 34-37.

[5] 郭荻子, 杨英丽, 赵恒章, 赵彬. Ti-26 钛合金斜轧穿孔管坯热处理工艺研究[J]. 稀有金属快报, 2007, 26(11): 38-41.

GUO Di-zi, YANG Ying-li, ZHAO Heng-zhang, ZHAO Bin. Study on microstructure and mechanical properties of Ti-26 titanium alloy by roll piercing[J]. Rare Material Express, 2007, 26(11): 38-41.

[6] 肖雅静, 徐先泽, 张树启, 邓超. 斜轧穿孔法制备 TC4 合金管坯[J]. 稀有金属快报, 2008, 27(1): 29-32.

XIAO Ya-jing, XU Xian-ze, ZHANG Shu-qi, DENG Chao. TC4 titanium alloy seamless blooms made by rotary piercing[J]. Rare Material Letters, 2008, 27(1): 29-32.

(编辑 赵俊)