

周期轧管工艺生产 $\Phi 508$ mm \times 50 mm WB36 钢管的研制

王 勇 冉 旭 张 敏

(湖南衡阳钢管(集团)有限公司, 衡阳 421001)

摘 要 WB36 钢管(% : 0.16C, 0.46 ~ 0.47Si, 1.02 ~ 1.05Mn, 0.008 ~ 0.010P, 0.001S, 0.29 ~ 0.30Mo, 1.17 ~ 1.20Ni, 0.58Cu, 0.02Nb, 0.05Al) 冶金流程为 45 t EAF-LF-VD- $\Phi 600$ mm 铸坯-穿孔, $\Phi 600$ mm \times 70 mm- $\Phi 720$ 周期轧管机组轧制。通过控制环形炉加热气氛, 均热段温度 ~ 1250 $^{\circ}\text{C}$, 穿孔温度 1100 $^{\circ}\text{C}$, 随后毛管在周期轧管机中以三向压应力状态进行轧制, WB36 钢管淬-回火后的组织为铁素体 + 贝氏体, 室温和高温力学性能以及焊接性能均符合 EN10216-2 标准要求。

关键词 WB36 钢管 大口径 周期轧管 试制

Research and Production of $\Phi 508$ mm \times 50 mm WB36 Steel Tube with Pilger Rolling Process

Wang Yong, Ran Xu and Zhang Min

(Hunan Hengyang Steel Tube (Group) Co Ltd, Hengyang 421001)

Abstract Metallurgical flow sheet for production of WB36 steel tube (% : 0.16C, 0.46 ~ 0.47Si, 1.02 ~ 1.05Mn, 0.008 ~ 0.010P, 0.001S, 0.29 ~ 0.30Mo, 1.17 ~ 1.20Ni, 0.58Cu, 0.02Nb, 0.05Al) is 45 t EAF-LF-VD- $\Phi 600$ mm casting bloom-piercing, $\Phi 600$ mm \times 70 mm- $\Phi 720$ Pilger mill rolling. With controlling heating atmosphere in circular rotating furnace, temperature at soaking zone ~ 1250 $^{\circ}\text{C}$, piercing temperature 1100 $^{\circ}\text{C}$, then blank tube rolling with three-dimensional stress by Pilger Mill, the structure of quenched-tempered WB36 steel tube is ferrite + bainite, its mechanical properties at ambient and elevated temperature, and weldability all meet the requirement of EN10216-2 standard.

Material Index WB36 Steel Tube, Large Caliber, Pilger Rolling, Research and Production

WB36 钢是由德国曼内斯曼公司首先研制的, 是在 C-Mn 钢的基础上添加 Ni-Cu-Mo-Nb 合金元素发展起来的, 在 EN10216-2:2007、ASTM A335-2006、GB5310-2008 标准中牌号分别为 15NiCuMoNb5-6-4、P36、15Ni1MnMoNbCu。由于该钢种加入了 Cu、Ni、Nb、Mo 等合金元素, 起到了固溶、细晶以及沉淀强化的效果, 从而大大提高了该钢种的高温强度。

由于各种合金元素的最佳组合, WB36 钢的强度值, 尤其在高温下增加了 200 $\text{MPa}^{[1]}$, 可用作管壁温度达 400 $^{\circ}\text{C}$ 的高压管道, 因而广泛用于高参数火力发电机组和核电机组, 如超临界机组中的高压给水管道、集箱等部件。

湖南衡阳钢管(集团)有限公司从德国 SMS Meier 公司引进的 $\Phi 720$ mm 周期轧管机组, 是采用锻、轧、挤相结合的变形方式, 适于生产大口径的中厚壁钢管的机组。本文简明阐述了采用连铸坯 + 周期轧管工艺生产 WB36 钢管的过程, 并以 EN10216-2:2007(以下简称为 EN10216-2)为主要评价标准。

1 WB36 热轧钢管的试制工艺

试制的钢管规格为 $\Phi 508$ mm \times 50 mm, 工艺流

程为:连铸坯冶炼(EAF + LF + VD) \rightarrow 穿孔 \rightarrow 轧管(周期轧管) \rightarrow 热处理(正火 + 回火) \rightarrow 理化检验 \rightarrow 无损检测(涡流 + 超声) \rightarrow 机加工 \rightarrow 人工检验 \rightarrow 包装入库。

1.1 钢坯冶炼

原料为铁水 + 优质废钢, 采用 EAF(45 t) + LF + VD + CC 的生产工艺, 中间包容量为 15 t。冶炼时严格控制 S、P 以及其他有害元素的含量, 保证了钢水的纯净度。VD 高真空度 < 67 Pa 下保持时间 ≥ 15 min, 脱气时间大于 30 min, 促进成分的均匀化。通过合理的喂丝, 严格控制钢水中的夹杂物含量。通过控制成分中 Ni/Cu 比, 将钢坯表面低熔点铜富集层转变为高熔点镍铜富集层^[2], 提高该钢种的轧制温度范围。

1.2 轧管

采用连铸坯加热 \rightarrow 曼式穿孔 \rightarrow 周期轧管 \rightarrow 定径的热轧工艺流程。坯料直径为 $\Phi 600$ mm, 为避免含 Cu 钢在加热过程中产生“热脆”, 严格控制环形炉加热气氛, 设定均热段温度为 1250 $^{\circ}\text{C}$ 左右。

采用二辊曼式穿孔机进行穿孔轧制, 穿孔温度

为1 100 ℃,最大电流为 780 A,穿孔后毛管尺寸为Φ600 mm×70 mm。

周期轧管工艺是基于锻、轧、挤三位一体的变形,首先由轧辊锤头对毛管进行锻造变形,然后由轧辊孔型对毛管进行轧制和挤压变形(图1)。变形区

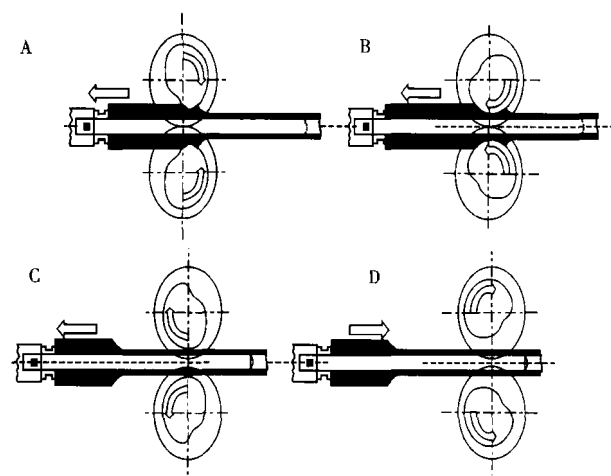


图1 周期轧管过程示意图

Fig. 1 Sketch of periodic rolling process by Pilger mill

中的金属始终处于三向压应力状态,有利于抑制变形区金属裂纹的产生,提高钢管的综合性能,在轧制合金钢及高合金钢时具有明显优势。本次轧管时毛管减径、减壁量较小,最大电流仅为 810 A,轧机负荷小,喂料器喂入量 70 mm,轧辊转速 38 r/min,轧后荒管热尺寸为Φ521 mm×50.5 mm。

1.3 热处理

按照 EN10216-2 标准的规定,WB36 钢的热处理工艺为正火 880~980 ℃,回火 580~680 ℃。在对热处理工艺的研究过程中,发现回火工艺对钢管的性能影响较大,且厚壁钢管还需进行水淬处理。在生产时,结合现场热处理炉的实际情况,分别针对不同壁厚的钢管制定了合适的热处理工艺,保证热处理后的钢管具有良好的组织和力学性能。

2 试制产品性能与分析

2.1 化学成分

成品化学成分见表1,由表1中可见,完全符合 EN10216-2 标准的要求。

表1 WB36 钢化学成分/%

Table 1 Chemical composition of WB36 steel /%

钢样	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Nb	N	Al
No1	0.16	0.47	1.05	0.008	0.001	0.26	0.30	1.20	0.58	0.017	0.015	0.048
No2	0.16	0.46	1.02	0.010	0.001	0.25	0.29	1.17	0.58	0.016	0.015	0.049
EN10216-2	≤0.17	0.25~0.50	0.80~1.20	≤0.025	≤0.020	≤0.30	0.25~0.50	1.00~1.30	0.50~0.80	0.015~0.045	-	≤0.050

注:As + Sn + Sb + Pb + Bi ≤ 0.02%

2.2 室温力学性能、组织及工艺性能

对试制钢管分别取纵向、横向试样进行室温拉伸、冲击试验,硬度试验取样为靠外表、中部、靠内表部位,结果见表2。可以看出,钢管试样的各项力学性能指标完全满足 EN10216-2 标准的要求,且富余量较大,纵向、横向的性能也很均匀,硬度沿壁厚方向上分布均匀,这也反映出周期轧管锻轧工艺的优点,钢管的各向性能较为均匀一致。试样正弯、反弯均无目视可见的裂缝或裂口。

2.3 低倍检验、夹杂物、晶粒度及组织

两个试样检测均无目视可见的白点、夹杂、皮下气泡、翻皮和分层。非金属夹杂物含量 A、B、C、DS 类均 ≤ 0.5 级, D 类为 1 级,总数为 2.5 级。金相组织取样为钢管壁厚中间位置,检验为铁素体加贝氏体,晶粒度为 9~10 级,晶粒细小,组织均匀,如图 2 所示。

2.4 脆性转变温度(FATT₅₀)

在 -60~40 ℃ 范围采用系列冲击试验测定试样的冲击值及脆性断面率,从脆性断面率-温度曲线上可以看出(图3),1[#]和 2[#]试样的 FATT₅₀ 分别为 -25 ℃ 和 -20 ℃。

2.5 高温拉伸试验

高温性能是锅炉用管的重要评价指标之一,表3是试制钢管的高温拉伸性能试验结果。从表3中可以看

表2 Φ508 mm×50 mm WB36 钢管室温力学性能

Table 2 Mechanical properties of Φ508 mm×50 mm WB36 steel tube at ambient temperature

钢样	抗拉强度 R _m /MPa		屈服强度 R _{eL} /MPa		断后伸长率 A/%		冲击功 A _{KV2} /J		硬度值(HB)		
	纵向	横向	纵向	横向	纵向	横向	纵向	横向	外表	中间	内表
No1	700	685	535	530	24.5	24.0	234	198	207	208	212
No2	680	675	525	520	25.0	24.0	224	206	213	209	205
EN10216-2	610~780		≥440		≥19	≥17	≥40	≥27	-		

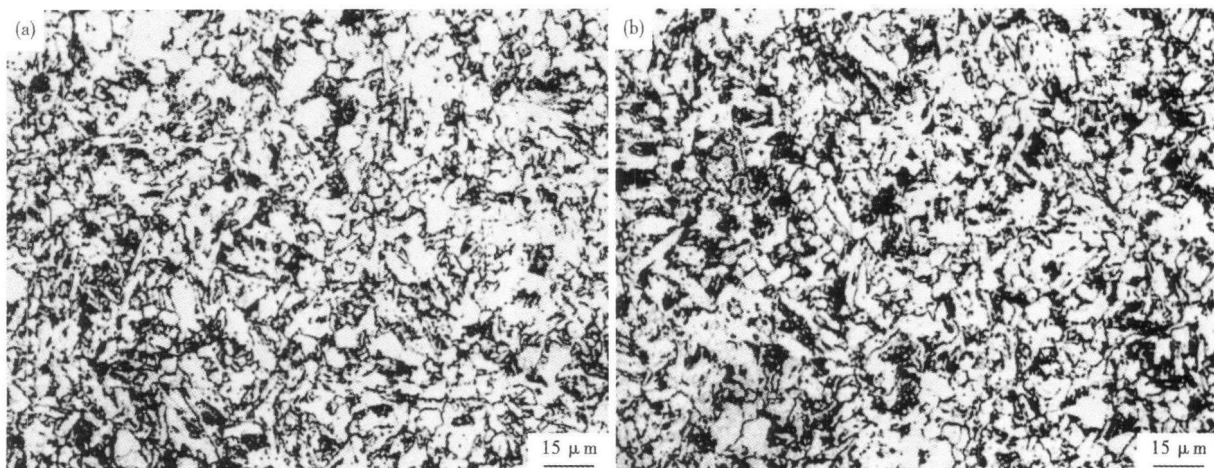


图 2 Φ508 mm × 50 mm WB36 钢管壁厚中部的组织:(a)试样 1[#];(b)试样 2[#]

Fig. 2 Structure of Φ508 mm × 50 mm WB36 steel tube, middle of thickness: (a) sample No1; (b) sample No2

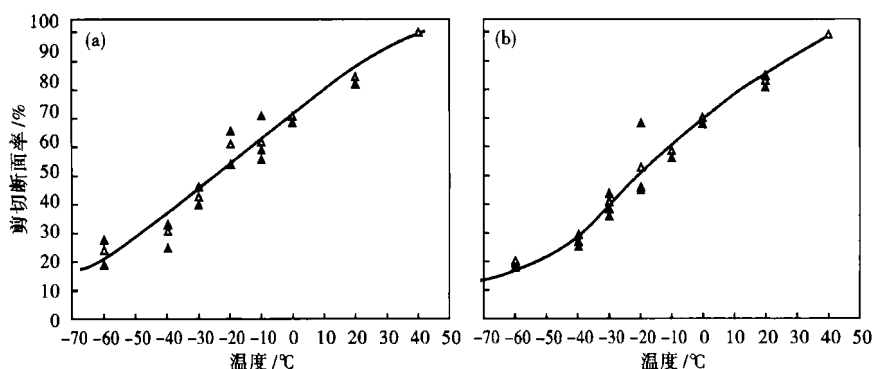


图 3 Φ508 mm × 50 mm WB36 钢管脆性断面率-温度曲线:(a)No1;(b)No2 钢样

Fig. 3 Curves of temperature-ratio of brittle fracture of Φ508 mm × 50 mm WB36 steel tube, steel No1 (a) and No2 (b)

表 3 Φ508 mm × 50 mm WB36 钢管高温力学性能

Table 3 Mechanical properties of Φ508 mm × 50 mm WB36 steel tube at elevated temperature

钢样	温度/ ℃	抗拉强度 R_m /MPa	屈服强度 R_{eL} /MPa	断后伸长 率 A/%	断面收缩 率 Z/%
EN10216-2	-	-	≥382	-	-
No1	300	620	485	20.0	61.5
No2		610	480	21.5	60.5
EN10216-2	-	-	≥373	-	-
No1	350	615	485	21.5	61.5
No2		605	470	21.0	63.0
EN10216-2	-	-	≥343	-	-
No1	400	610	475	22.0	64.0
No2		605	470	20.5	61.5

出,钢管在 300、350、400 °C 三个温度下的高温拉伸性能完全满足 EN10216-2 标准的要求,且富余量较大。

2.6 钢管焊接接头性能

对 WB36 钢管焊接接头进行了外观、表面硬度、超声波探伤、拉伸试验、弯曲试验、冲击试验、宏观金相、显微组织和布氏硬度等检验试验。结果表明,钢

管焊接接头所测的各项理化指标均符合 DL/T868 的要求,接头材料质量良好。

3 生产情况

2010 年下半年至今,湖南衡阳钢管(集团)有限公司批量生产了 Φ508 mm × 50 mm、Φ355.6 mm × 40 mm 等规格的 WB36 钢管近 600 t,针对不同规格采取相应的热轧及热处理方案,钢管的性能完全满足标准及用户要求,已向华电重工装备有限公司等用户单位批量供货,用户反映良好。

4 结论

湖南衡阳钢管(集团)有限公司采用连铸坯 + 周期轧管 + 热处理的工艺流程生产 WB36 钢管,坯料纯净度高,化学成分均匀,加上周期轧管工艺的优势,各项力学性能指标均符合 EN10216-2 标准的要求,且纵向、横向性能较为一致,波动小,完全能满足用户的需求。

参考文献

- 1 瓦卢瑞克曼内斯曼钢管公司. WB36 手册. 2004
- 2 崔 崑. 钢铁材料及有色金属材料. 北京:机械工业出版社,1980

王 勇(1982-),男,硕士,工程师,2007 年武汉科技大学毕业,轧钢新工艺、新产品研究。

收稿日期:2011-05-10