

大型离心球墨铸铁管管模用 21CrMo10 钢管的开发

张敏 夏文斌 冉旭 王勇

(衡阳华菱钢管有限公司技术中心, 衡阳 421001)

摘要 两炉 21CrMo10 钢($\% : 0.18\text{C}, 0.29 \sim 0.30\text{Si}, 0.25 \sim 0.27\text{Mn}, 0.007 \sim 0.008\text{P}, 0.003\text{S}, 2.40 \sim 2.42\text{Cr}, 0.35 \sim 0.37\text{Mo}$)由 30 t EAF-LF-VD-7.2 t 铸锭流程冶炼。T 型头外径 860 mm, 管体外径 740 mm, 壁厚 60 mm, 总长度 6 500 mm 的 T 型钢管经水压冲孔-减径穿孔-周期轧管工艺生产。结果表明, 与传统锻造镗孔成型工艺相比, 使用轧管工艺管模承口端与管体一次成型, 大幅度提高原材料利用率, 成品管的力学性能满足使用要求。

关键词 21CrMo10 钢 大型 T 型管管模用管 减径穿孔 周期轧管

Development of Heavy 21CrMo10 Steel Seamless Tube for Mold for Centrifugal Nodular Cast Iron Pipe

Zhang Min, Xia Wenbin, Ran Xu and Wang Yong

(Technical Center, Hengyang Hualing Steel tube Co Ltd, Hengyang 421001)

Abstract Two heats of steel 21CrMo10 ($\% : 0.18\text{C}, 0.29 \sim 0.30\text{Si}, 0.25 \sim 0.27\text{Mn}, 0.007 \sim 0.008\text{P}, 0.003\text{S}, 2.40 \sim 2.42\text{Cr}, 0.35 \sim 0.37\text{Mo}$) are melted by 30 t EAF-LF-VD-7.2 t casting ingot flow sheet. The T-type steel tube with T-type head outside diameter 860 mm, tube body outside diameter 740 mm, wall thickness 60 mm, total length 6 500 mm is produced by hydraulic punching-reducing piercing-Pilger rolling tube process. Results show that compared with conventional forming process by forging and boring, the Pilger rolling process by which the mold mouth and tube body are formed only once is available to greatly increase the yield of raw material; and the mechanical properties of tube products meet the requirement service.

Material Index Steel 21CrMo10, Heavy Tube for Mold for T-Type Pipe, Reducing Piercing, Pilger Rolling Tube

管模全称为离心球墨铸铁管管模, 是用于离心浇注机上浇注铸铁管的关键部件, 属易耗损模具, 需求量大。管模使用环境恶劣, 浇注中铁水因离心作用而敷在管模内壁上, 使管模内壁温度急剧升高, 而外表面通循环水冷却以降低温度。温度的变化引起应力的交替变化, 服役一段时间后将出现热疲劳, 最终形成大面积龟裂。因此管模要具有良好的高温性能和足够高的断裂韧性值, 才可以延缓疲劳裂纹及龟裂的形成, 延长管模使用寿命, 提高经济效益^[1-2]。另一方面, 管模外形主要为 T 型, 由于这种不规则的外形, 无缝钢管企业无法生产, 而锻造企业采用对坯料锻造后内镗外车的方式生产, 成材率很低, 一般在 40% 左右, 成本非常高, 且生产效率低。

随着国内技术进步和装备水平的提高, 我国已经开发出替代进口管模的管模用钢, 同时具备生产大型管模的能力, 主要材质有 21CrMo10、20-30CrMo, 主要规格为 $\Phi 80 \sim 1\,200$ mm。

为了满足市场对管模用管的需求, 衡阳华菱钢管有限公司选用 21CrMo10 材质, 利用 720 周期轧管机组生产钢管时带有皮尔格头的特点, 对皮尔格头端进行工艺控制, 在轧制时形成一个 T 字头, 这样

就有效结合了周期轧管机组的锻轧功能和 T 型管模的结构特点, 实现了无缝钢管机组生产管模用管的可能。

1 21CrMo10 热轧管模用管的试制工艺

DN600 型管模用管的形状和尺寸如图 1 和表 1 所示。工艺流程为: 钢锭冶炼 (EAF + LF + VD) → 环形炉加热 → 水压冲孔 → 减径穿孔 → 周期式轧管 (不切皮尔格头) → 试样热处理 (调质) → 理化检验 → 压力矫直 → 无损检测 → 人工检验 → 包装入库。

1.1 成分控制

管模的材质选用 21CrMo10 钢, 严格控制有害

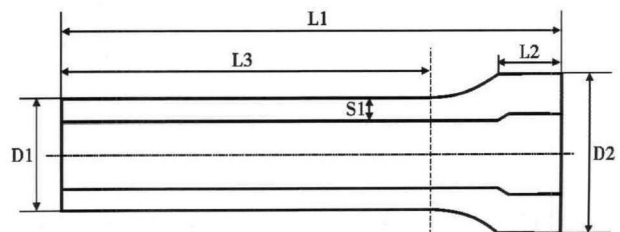


图 1 离心球墨铸铁管的管模用钢管简图

Fig. 1 Schematics of steel tube for mold for centrifugal nodular cast iron pipe

表 1 21CrMo10 钢管的外径、壁厚及长度/mm

Table 1 Outside diameter, wall thickness and total length of 21CrMo10 steel tube /mm

管模 型号	管体		钢管总 长度 L1	T 型头	
	外径 D1	壁厚 S1		外径 D2	长度 L2
DN600	740	60	6 500	860	120

元素硫(S)的含量,减少由于硫化物的低熔点而造成管模的早期失效,严格控制磷(P)的含量,减少脆性。管模使用时内侧局部温度较高,为了避免有害组织变化,必须提高管模用钢的 Ac_1 转变温度,降低钢中的碳含量,提高钢中的 Cr、Mo 含量,使多元成分合金化更合理。另外, Cr、Mo 等元素的加入可细化晶粒,提高钢的淬透性。

1.2 坯料设计

DN600 型管模用管采用钢厂生产的外径为 970 mm 钢锭生产,边数为 18 边,坯料锥度为 1.8° ,钢锭重量为 7 282 kg。带锥度的钢锭与典型 T 型管模结构比较类似,可利用钢锭大端制造管模较大较厚的承口端,保证管模压缩比不小于 3(包括承口端),避免了制造管模承口端压缩比不足,以及管模承口端与管身由于变形量巨大差异导致的强韧性差异的问题。

1.3 炼钢工艺

原料为优质废钢 + 生铁,控制钢中残余有害元素含量。钢锭冶炼工艺流程为:30 t 电弧炉初炼→40 t LF 精炼→40 t VD 真空脱气→保护浇铸钢锭→检查→切冒口→修磨。

电弧炉冶炼采用全程泡沫渣工艺。冶炼前期熔氧结合,提前造渣脱磷,降低钢中磷含量;后期快速升温脱碳,高温氧化沸腾去气去夹杂。

精炼采用全程吹氩工艺,有利于脱氧、脱硫、去除非金属夹杂物、均匀钢液成分及温度^[3]。控制 LF 精炼时间 ≥ 50 min,VD 处理时间 ≥ 25 min(其中 VD 高真空度 67 Pa 的保持时间 ≥ 15 min)。浇铸前对钢液喂钙线进行钙处理,以改变夹杂物形态,通过合理的软吹氩搅拌促进变性夹杂物的充分上浮去除。

1.4 轧管工艺

1.4.1 环形炉加热

为了避免坯料因高温快速加热引起的热应力使其内部产生裂纹,采取低温慢速加热方式。实际生产过程中钢锭入炉时预热段温度 $\leq 720^\circ\text{C}$,加热时间 ≥ 6 h,均热段温度为 $1\ 240 \sim 1\ 270^\circ\text{C}$,总加热时间控制在 20 h 左右。

1.4.2 水压冲孔

钢锭在加热炉加热后在立式水压冲孔机上冲

孔。冲头先与钢锭的端面中心部分接触,逐步对钢锭施加压力,最终形成大端外径为 980 mm、内孔直径为 350 mm 和锥度为 0.95° 的冲孔瓶坯。水压冲孔时钢锭在三向压应力的作用下发生变形,因此对钢锭中心会起到压实的效果,而原始的粗大柱状晶组织在冲孔后会得到“破碎”。

1.4.3 穿孔

为了消除管模 T 型头端的原始脆弱粗大的铸态组织,采用大减径穿孔,碾轧角 -2° ,减径率 12.3%,椭圆度 1.05,保证未经过周期轧管机轧制变形的皮尔格头(承口端)的轧制比不小于 3。穿孔后毛管尺寸(/mm)为 $\Phi 860 \times 100$,毛管外径较 DN600 型管模承口端外径 850 mm 大 10 mm。

1.4.4 周期轧管

周期轧管的变形是基于锻、轧、挤三位一体的变形方式,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^[4]。在周期轧管过程中无论是锻造,还是轧制和挤压变形,在变形区中的金属始终都处于三向压应力状态,有利于抑制变形区金属产生裂纹,可以有效保证钢管的轧制比和内部组织的致密均匀。

本次试制选用周期轧管机 748 孔型,包括锻轧段、精轧段、终轧段和空轧段的曲线方程,其中锻轧段为包络线,锻轧段起始角为 25° ,锻轧段曲线展开长度为 770 mm,风压 5.3×10^2 kPa,喂料器喂入量 70 mm,轧辊转速 25 r/min,周期轧管末期保留 180 mm 长毛管不轧,用于取样和管模承口端的加工,轧后不经定径直接成管模用管。

1.5 试样热处理

该牌号管模用管样管的调质热处理工艺:淬火温度 $(880 \pm 10)^\circ\text{C}$,回火温度 $(620 \pm 10)^\circ\text{C}$,得到高强度回火索氏体组织。

2 试制产品成分性能检测与总结

2.1 成分及力学性能检验

生产规格为 DN600 的 21CrMo10 管模用管,其化学成分如表 2 所示,成分完全符合 GB/T25715-2010 标准^[5]的要求;其尺寸精度如表 3 所示,可见其精度符合 DN600 管模用管的尺寸要求。

由表 4 可以看出,用热处理样管制成的试样各项力学性能都符合 GB/T25715-2010 标准的要求。

2.2 管体与皮尔格头组织对比

取热轧态管模用管的管体与皮尔格头进行金相观察,结果如图 2 所示。从图 2 中可以看出,管体与

表 2 21CrMo10 钢的化学成分 / %
Table 2 Chemical composition of steel 21CrMo10 / %

钢样	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Cu	Ni	As + Sn + Pb + Sb + Bi
No1	0.18	0.29	0.27	0.007	0.003	2.42	0.35	0.05	0.03	0.024
No2	0.18	0.30	0.25	0.008	0.003	2.40	0.37	0.04	0.04	0.026
GB/T 25715-2010	0.16 ~ 0.23	0.20 ~ 0.40	0.20 ~ 0.40	≤0.010	≤0.005	2.30 ~ 2.60	0.30 ~ 0.40	-	≤0.50	-

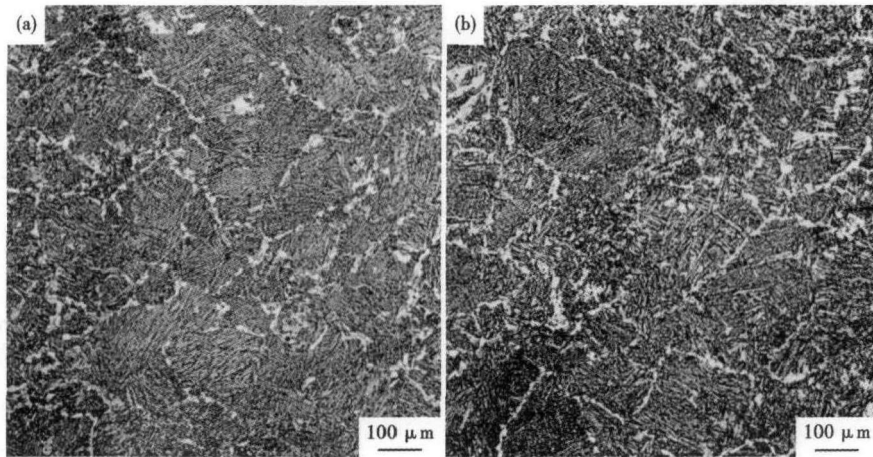


图 2 管体(a)与皮尔格轧制管头(b)的组织形貌
Fig. 2 Morphology of structure of tube body (a) and Pilger rolling tube head (b)

表 3 21CrMo10 钢管的尺寸精度 / mm
Table 3 Dimensional accuracy of 21CrMo10 steel tube products / mm

序号	T 型头外径	管体外径	壁厚
1	858 ~ 872	736.4 ~ 743.2	56.8 ~ 64.3
2	858 ~ 870	735.2 ~ 743.5	56.7 ~ 63.3
3	854 ~ 867	737.8 ~ 744.2	57.5 ~ 65.1
4	853 ~ 863	737.2 ~ 744.5	57.4 ~ 65.5
5	855 ~ 868	737.5 ~ 745.0	57.8 ~ 65.4
DN600 管模 用管要求	852 ~ 872	732.6 ~ 747.4	54.0 ~ 67.5

表 4 21CrMo10 钢管热处理后的力学性能
Table 4 Mechanical properties of heat-treated 21CrMo10 steel tube

钢样 No	$R_{p0.2}$ / MPa	R_m / MPa	A / %	Z / %	A_{KV} / J	HBW
1	765 ~ 775	880 ~ 885	19.5 ~ 21.0	78 ~ 79	177 ~ 188	264 ~ 267
2	770 ~ 775	875 ~ 885	20.5 ~ 21.0	77 ~ 80	172 ~ 182	261 ~ 268
GB/T 25715-2010	≥ 680	≥ 780	≥ 12	≥ 50	≥ 50	≥ 240

皮尔格头的热轧态组织均为贝氏体 + 少量铁素体, 其中皮尔格头组织略显粗大, 但晶粒度控制在 6 ~ 7 级, 说明管体与皮尔格头变形较为均匀。

从此次试制情况来看, 工艺可行, 管模用管尺寸和力学性能均满足管模用管的技术要求, 在皮尔格

头端的尺寸还可以进一步严格控制。

3 生产情况

2013 年, 衡阳华菱钢管有限公司批量生产了 DN300 ~ DN600 规格的 21CrMo10 管模用管 860 t, 钢管的尺寸精度和性能完全满足用户要求。华菱钢管公司已向河南兴华机械有限公司等用户批量供货, 使用效果良好, 使用寿命与锻造管模接近, 提高了用户的生产效率, 降低了生产成本。

4 结论

衡阳华菱钢管有限公司有效结合了水压冲孔、减径穿孔、周期轧管机锻轧和典型 T 型管模的结构特点, 不仅充分利用了轧制时本应切除的皮尔格头, 大幅度提高了原材料的利用率, 同时又保证了该工艺下轧后管模用管强度高, 塑性和韧性好, 完全满足了离心球墨铸铁管管模用管的要求。

参考文献

- [1] 张乐欣, 乔桂英, 胡 怡, 等. 管模用 21CrMo10 材料的研制[J]. 燕山大学学报, 1997, 23(3): 270-272.
- [2] 王 伟, 张国利, 姜福顺. 管模用钢 21CrMo10 材料的研制[J]. 一重技术, 1998(4): 59-61.
- [3] 李 晶. LF 精炼技术[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2009: 158-159.
- [4] 王 勇, 冉 旭, 张 敏. 周期轧管工艺生产 $\Phi 508$ mm \times 50 mm WB36 钢管的研制[J]. 特殊钢, 2011, 32(5): 60-63.
- [5] 中国国家标准化管理委员会. GB/T25715-2010. 离心球墨铸管管模[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.

张 敏(1980-), 男, 工程师, 2003 年沈阳大学(本科)毕业, 轧钢新工艺、新产品研究。

收稿日期: 2014-02-24