

12Cr1MoV 钢大直径厚壁锅炉钢管的热处理工艺优化

周 波, 崔润炯, 郭元蓉, 童光勇

(攀钢集团成都无缝钢管有限责任公司, 四川 成都 610069)

摘 要: 探讨了 12Cr1MoV 钢大直径厚壁锅炉钢管的热处理工艺。试验表明, 对大直径厚壁锅炉钢管的热处理需采取适当的冷却措施, 才能保证其组织和性能, 即钢管热处理后应获得含 30% ~ 40% 的回火贝氏体及 60% ~ 70% 的铁素体或珠光体的组织, 方能保证其具有良好的综合性能。

关键词: 大直径厚壁锅炉钢管; 热处理工艺; 优化试验

中图分类号: TG156 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-2311(2001)01-0034-05

Optimization of Heat Treatment Process for Large-sized Heavy-walled Boiler Tube in 12Cr1MoV Steel

ZHOU Bo, CUI Run-jiong, GUO Yuan-rong, TONG Guang-yong

(Pangang Group Chengdu Seamless Steel Tube Co., Ltd., Chengdu 610069, China)

Abstract: The discussion involves the heat treatment process for the large-sized heavy-walled boiler tube in 12Cr1MoV. Relevant experiment result shows that the structure and properties of the said boiler tube can not be ensured unless proper cooling step is added to the heat treatment process, which ensures the steel structure with 30% ~ 40% tempering bainite and 60% ~ 70% ferrite or pearlite, thus good overall performance of the tube.

Key words: Large-sized heavy-walled boiler steel tube; Heat treatment process; Optimization experiment

0 前 言

12Cr1MoV 钢是国内外电力设备制造业广泛使用的一种低合金耐热钢。该钢属于高压锅炉管用钢, 普遍被用于制作使用温度为 540℃ 的蒸汽导管、高压和超高压过热器蒸气管、集箱以及其他主蒸气管等。该钢依靠含有的 Cr, Mo 合金元素固溶强化, 依靠所含的 V, 与碳结合形成 VC 等碳化物弥散强化, 由此使该钢的组织结构稳定和保持较高的持久强度。

为保证高压锅炉管在壁厚方向的组织和性能的均匀性, 《GB5310-95 高压锅炉用无缝钢管标准》规定: 壁厚在 30 mm 到 40 mm 的钢管, 正火冷却时应当进行强制冷却; 壁厚大于 40 mm 的钢管, 应进行调质处理, 淬火温度为 950 ~ 990℃, 回火温度为 720 ~ 760℃。

周 波(1967-), 男, 四川人, 工程师, 从事高压锅炉钢管、石油套管和核电站用管等品种的开发和工艺技术研究。

自 1990 年开始, 攀钢集团成都无缝钢管有限责任公司就对 12Cr1MoV 钢大中直径厚壁锅炉钢管进行评定试验工作。该品种钢管的常规生产工艺为: 电弧炉 + VD 真空精炼 → 铸锭 → 周期轧管机轧管 → 热处理 → 内镗外剥 → 成品 ($\Phi 355.5 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$)。热处理按 GB5310-95 标准执行。

在试验研究中发现, 按国标中规定的热处理工艺生产的样管, 其在壁厚方向的组织均匀, 抗拉强度超过 GB5310-95 标准规定的上限值, 屈强比高达 0.82, 虽然在 545 ~ 650℃ 的持久强度较高, 但持久断裂的塑性值却较低, 这对电厂的安全运行是不利的。

由于热处理后的组织对其常温及高温性能有较大影响, 前苏联 TY14-3-460-75 技术条件对 12X1MΦ(即我国的 12Cr1MoV 钢)的组织作了明确规定: 其合格组织为 $\geq 15\%$ 的回火贝氏体和珠光体 + 铁素体; 不合格组织为 $< 15\%$ 的回火贝氏体和珠光体 + 铁素体及具有过回火特征的组织。

为此我们进行了一系列实验，以探讨 12Cr1MoV 钢的最佳热处理制度和如何获得较好的组织，从而获得最佳的常温机械性能和高温性能，现介绍如下。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

本试验所用材料为轧制后的 12Cr1MoV 钢管，并经过热处理、内镗、外剥等，试验管的尺寸为 $\Phi 355.5 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ 。

1.2 试验方法

(1) 将试样加工成直径 18 mm、长度 140 mm 的样坯若干，分别在 940、960、980 及 1000℃ 奥氏体化后水淬，再经 760℃ 回火。将调质处理后的样坯加工成标准样，探讨淬火加热温度对机械性能的影响。

(2) 取样管，将其加工成长 160~180 mm、宽 50~70 mm、厚 50 mm 的若干瓦块样，用于进行热处理试验。

(3) 热处理试验方案见表 1，采用 8 组工艺。

(4) 对热处理后的试样进行力学性能测试和金相组织检验。

表 1 热处理试验方案

工艺号	试样规格/mm	热处理工艺
1	$\Phi 355.5 \times 50$	960℃ 保温，以平均冷速 9℃/s 冷至室温，760℃ 回火
2	$\Phi 355.5 \times 50$	960℃ 保温，以平均冷速 6℃/s 冷至室温，760℃ 回火
3	$\Phi 355.5 \times 50$	960℃ 保温，以平均冷速 4℃/s 冷至室温，760℃ 回火
4	$\Phi 355.5 \times 50$	960℃ 保温，以平均冷速 2.5℃/s 冷至室温，760℃ 回火
5	$\Phi 355.5 \times 50$	960℃ 保温，以平均冷速 2℃/s 冷至室温，760℃ 回火
6	$\Phi 355.5 \times 50$	960℃ 保温，以平均冷速 1.8℃/s 冷至室温，760℃ 回火
7	$\Phi 355.5 \times 50$	960℃ 保温，以平均冷速 1.6℃/s 冷至室温，760℃ 回火
8	$\Phi 355.5 \times 50$	960℃ 保温，以平均冷速 2.5℃/s 冷至室温，780℃ 回火

2 试验结果

2.1 淬火加热温度对钢的室温力学性能的影响

淬火加热温度对 12Cr1MoV 钢力学性能的影响见图 1。

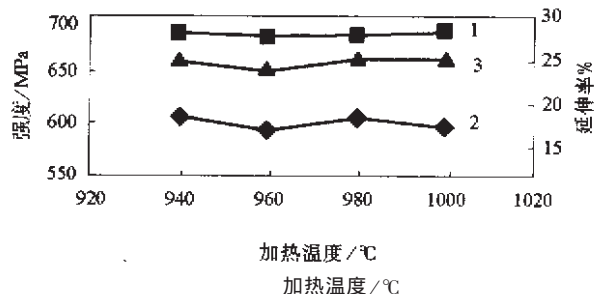


图 1 淬火加热温度对 12Cr1MoV 钢力学性能的影响
1—抗拉强度 2—屈服强度 3—延伸率

从图 1 中可以看出，在淬火加热温度范围内 (940~1 000℃)，试验钢的 σ_b 、 σ_s 、 δ_5 均波动不大，淬火加热温度对其影响不明显。

2.2 淬火冷却速度对钢的组织 and 性能的影响

表 2 列出了经不同的淬火冷却速度冷却后 12Cr1MoV 钢的组织 and 性能。

表 2 不同淬火冷却速度对 12Cr1MoV 钢组织和性能的影响

工艺号	机械性能			屈强比	金相组织
	σ_s /MPa	σ_b /MPa	δ_5 %		
1	505	610	27	0.83	5% ~ 10% B _回 + 90% ~ 95% S _回
	480	595	25	0.81	
2	460	570	29	0.81	20% ~ 30% B _回 + 70% ~ 80% S _回
	505	620	27	0.81	
3	525	610	25	0.86	80% B _回 + 20% F
	535	635	23	0.84	
4	435	560	30	0.78	40% B _回 + 60% F
	400	545	28	0.73	
5	390	535	35	0.73	35% B _回 + 65% F
	395	545	28	0.72	
6	440	565	29	0.78	30% B _回 + 70% F
	450	565	27	0.79	
7	385	540	28	0.71	30% B _回 + 10% P + 60% F
	405	550	30	0.74	
8	410	575	30	0.71	40% B _回 + 60% F
	425	575	27	0.73	(轻微过回火)

图 2~9 为采用 8 组热处理工艺处理后试样的金相组织，放大倍数均为 500 倍。

为探讨 12Cr1MoV 钢热处理工艺的稳定性，我们又选择第 4 种热处理工艺进行重现性试验，其

结果见表3。试样4a和4b取自厚壁管的壁厚中心,4c取自靠管壁外表面1/4处,4d取自靠管壁内表面1/4处。从表3可以看出,经4号工艺处理后,试样(4a,4b)的强度值接近国标GB5310-95的中限值,屈强比为0.68~0.74,延伸率为28%~30%,重现性较好。4c,4d试样的强度值和塑性值差别不大,较4a,4b试样的屈强比略有增加,这主要是靠近管壁的冷速较大所致。总的来讲,强度值为国标规定的中上限值。因此,采用4号工艺能获得较佳的性能。图10~11为4c,4d试样的金相组织(均放大500倍)。

表3 12Cr1MoV钢的热处理重现性试验

试样	室温机械性能				
	σ_s /MPa	σ_b /MPa	δ_5 %	σ_s/σ_b	A_{KV}/J
4a	405	570	29	0.71	209 206 210
	385	565	28	0.68	
4b	415	560	30	0.74	
4c	440	560	28	0.78	
	445	560	29	0.79	
4d	450	580	27	0.77	
	450	570	29	0.79	



图2 1号工艺的金相组织

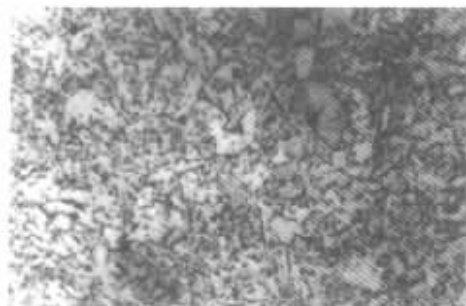


图3 2号工艺的金相组织

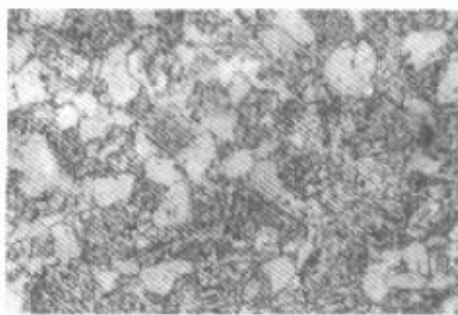


图4 3号工艺的金相组织

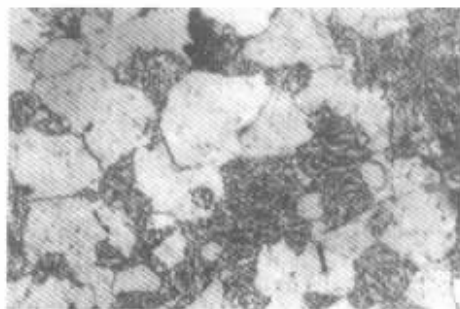


图5 4号工艺的金相组织

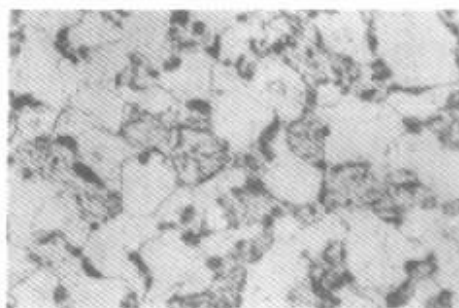


图6 5号工艺的金相组织

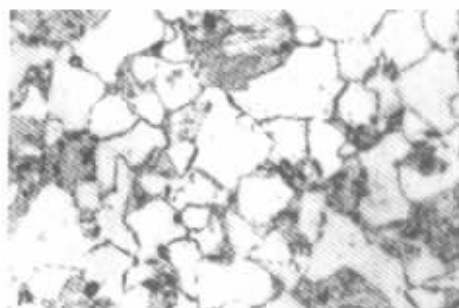


图7 6号工艺的金相组织

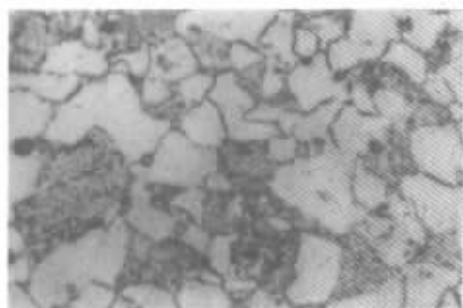


图8 7号工艺的金相组织

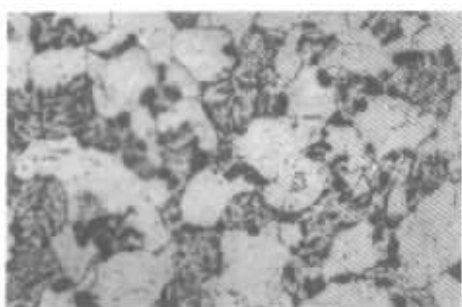


图9 8号工艺的金相组织

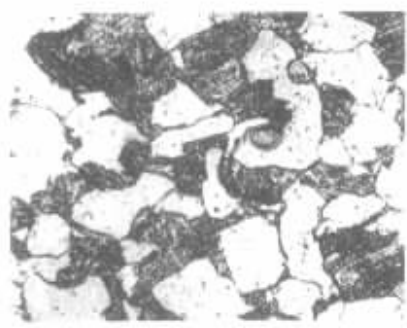


图10 4号工艺处理的4C试样金相组织



图11 4号工艺处理的4d试样金相组织

3 分析讨论

试验结果表明, 淬火加热温度对 12Cr1MoV 钢的性能无明显影响, 因此探讨淬火冷却方式和回火

温度对其组织和性能的影响显得较为重要。

电厂使用的 12Cr1MoV 钢的构件通常在 540℃ 左右的环境下工作, 这就要求其具有较高的持久强度和高温塑性。文献[1]证实, 马氏体回火组织具有最高的持久强度, 贝氏体组织次之, 铁素体-珠光体组织最低, 而高温塑性则相反。因此, 从综合性能考虑, 12Cr1MoV 钢组织中应有较多数量的贝氏体, 才能具有良好的综合力学性能。

本研究的实验结果显示, 虽然钢管壁厚超过 40 mm 后应采用强迫冷却, 但以平均冷速 $\geq 9^\circ\text{C}/\text{s}$ 的工艺冷却是不适宜的, 因为此时会得到少量贝氏体+索氏体组织(见图2)。索氏体是具有高强度的组织, 但相应的其塑性较低, 所以此工艺的试样抗拉强度接近 GB5310-95 标准的上限值 620MPa, 屈强比也较高, 为 0.81~0.83, 延伸率稍低, 约为 27%。

为此, 我们将奥氏体化后的冷却速度调整为 1.6~4℃/s, 工艺3至工艺7的试样热处理后的力学性能和金相组织均达到标准要求, 但工艺3的试样抗拉强度 σ_b 仍接近标准的上限值, 屈强比较高, 不宜采用该热处理工艺。

在将试样淬火的平均冷速从 4℃/s 降到 2.5~1.6℃/s 后, 增加了奥氏体在铁素体区和珠光体区的停留时间, 试样的铁素体和珠光体含量逐渐增加, 贝氏体含量由 40% 逐渐下降到 30%, 但常温力学性能变化不大, 抗拉强度都在标准规定范围中的中限, 延伸率均在 28%~35% 之内, 完全达到标准规定值 ($\geq 23\%$)。屈强比相应较适中, 为 0.71~0.79。从 4 号工艺的 V 形冲击试样结果(表3)看, 冲击值完全满足 GB5310-95 标准规定值 ($\geq 35\text{J}$)。采用此工艺生产的 12Cr1MoV 钢管在 545~600℃ 温度范围内的持久塑性达 18.7%, 高于过去进口 12Cr1MoV 钢管的持久塑性值 ($\delta = 13.7\%$)^[2], 并且断口为塑性断口, 有利于火电厂的安全运行。工艺8的试样常温性能虽较佳, 但回火组织(回火贝氏体)有一定过回火现象, 这是因为 12Cr1MoV 钢相变温度 A_{c1} 在 774~803℃ 之间, 超过 770℃ 就有可能发生相变, 这对 12Cr1MoV 钢的高温持久强度不利。因此, 生产中应将回火温度控制在 760℃ 以下。

4 结 论

(1) 对 12Cr1MoV 钢大直径厚壁锅炉钢管, 热

处理宜采用调质处理来保证其组织的均匀性和较高的高温持久强度。

(2) 在 $940 \sim 1\ 000^{\circ}\text{C}$ 温度范围内进行淬火加热, 对 12Cr1MoV 钢的常温力学性能无明显影响。

(3) 12Cr1MoV 钢大直径厚壁锅炉钢管在淬火冷却过程中应避开马氏体转变区, 以避免回火后的组织中出现索氏体组织, 防止钢管的塑性降低。同时钢的组织中至少有 20% 的贝氏体 + 铁素体及珠光体组织, 以保证钢管具有良好的综合性能和较高的高温持久强度。

(4) 对 $\Phi 355.5\text{ mm} \times 50\text{ mm}$ 的 12Cr1MoV 钢锅炉钢管, 宜采用在 $950 \sim 960^{\circ}\text{C}$ 加热、用 $1.6 \sim$

2.5°C/s 冷却速度冷至室温、再经 $< 760^{\circ}\text{C}$ 回火的热处理工艺。经该工艺处理的锅炉钢管, 金相组织和综合机械性能均能满足有关锅炉管技术标准(前苏联 TY14-3-460-75 标准)的要求。

5 参考文献

- 1 章守华. 合金钢[M]. 北京:冶金工业出版社, 1981. 223 ~ 225.
- 2 吴非文. 蠕变测量在金属监督中的作用[J]. 电力技术, 1979, (9): 19 ~ 23.

(收稿日期: 2000-05-08)