厚壁12Cr1MoVG高压锅炉管热处理方式改进

郭志文[1,2],赵莉萍[1],张行刚[3]

(1. 内蒙古科技大学,内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古包钢钢联股份有限公司钢管公司,内蒙古 包头 014010;
3. 内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 生产实践证明,中厚壁的12Cr1MoVG钢管经"正火+回火"处理后,易出现抗拉强度偏低、冲击韧性值低、冲击值不均甚至不合格的现象,完全"淬火+回火"受正火后冷却速度影响会出现抗拉强度超上限的情况,文章利用包钢现有淬火设备,采用"间歇式淬火+回火"的方法使12Cr1MoVG钢管获得优良的综合性能。

关键词: 高压锅炉管;12Cr1MoVG;热处理

中图分类号: TG162.8+4 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2018)05-0072-03

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2018.05.020

Improvement for Heat Treatment Method of 12Cr1MoVG High-pressure Boiler Tube with Thick Wall

Guo Zhi-wen[1,2], *Zhao Li-ping*[1], *Zhang Xing-gang*[3]

(1. *Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Steel Tube Co. of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
3. *Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: The production practices show that the 12Cr1MoVG steel tube with medium thick wall is easily to be with lower tensile strength, low impact toughness value, uneven even unqualified impact value after the treatment of "normalizing + tempering", the tensile strength could be over the upper limit due to the influence of cooling speed after normalizing if with the treatment of complete "quenching + tempering". In the paper, it is introduced the overall performances of 12Cr1MoVG steel tube are excellent by adopting the method of intermittent "quenching + tempering" with the existing quenching equipment of Baotou Steel.

Key words: high-pressure boiler tube; 12Cr1MoVG; heat treatment

12Cr1MoVG是上世纪五十年代苏联中央黑色冶金科学院研制,上世纪八十年代纳入国家标准GB 5310。国外广泛使用的类似钢号有ASTMA 405 P24美国,BS3604 英国,DIN13CrMoV42 德国等。12Cr1MoVG对热处理工艺较为敏感,根据GB 5310—2008标准规定[1,2],12Cr1MoVG可采用"正

收稿日期: 2018-03-20

作者简介: 郭志文(1984-),男,内蒙古包头市人,在读硕士,工程师,现从事无缝钢管研发工作。

火 + 回火”或“淬火 + 回火”工艺生产，其对正火温度、淬火温度、回火温度有严格的限制要求，热处理后抗拉强度在 470 ~ 640 MPa 范围[3]。生产实践证明：12Cr1MoVG 特别是厚壁钢管经“正火 + 回火”处理后，出现抗拉强度偏低、冲击韧性值低、冲击值不均甚至不合格的现象，采用完全“淬火 + 回火”后又会出现抗拉强度超上限的情况，主要是受热处理冷却速度影响所致。因此，12Cr1MoVG 钢管是否具有良好的组织、性能，其关键技术是热处理工艺的合理控制。

1　热处理中出现问题及分析

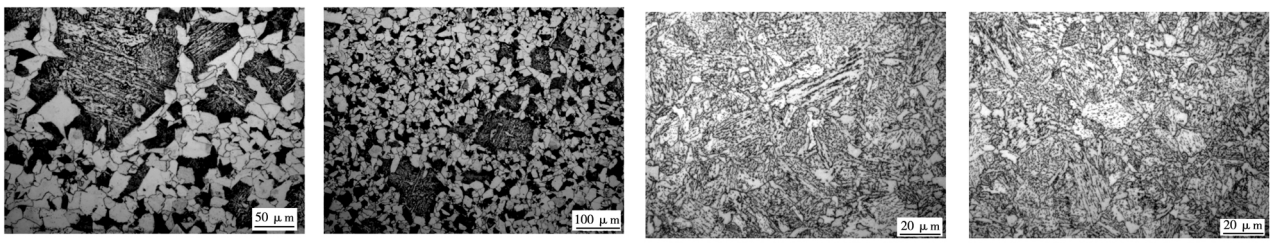
12Cr1MoVG 主要采用“正火 + 回火”，但从目前的生产情况来看，采用“正火 + 回火”工艺生产的壁厚不小于 Φ25 mm 的 12Cr1MoVG 性能不稳定，经常出现冲击韧性不合，性能波动较大，甚至是抗拉强度偏下限的情况，如果采用“淬火 + 回火”处理，材料的强度以及硬度又会偏高，以规格为 Φ457 mm × Φ55 mm 钢管为例来说明。

1.1　性能不合情况

将 Φ457 mm × Φ55 mm 的 12Cr1MoVG 钢管分别进行“正火 + 回火”和“淬火 + 回火”处理，其中正火温度 990 ℃，保温 60 min，回火温度 730 ℃，保温 150 min；淬火温度 1 000 ℃，保温 60 min，回火温度 760 ℃，保温 150 min，材料性能如表 1 所示，组织相片如图 1 所示。

表 1　12Cr1MoVG 热处理后性能

类型	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	纵向/横向		硬度
			伸长率%	冲击功 KV_2/J	
要求	≥255	470 ~ 640	≥21/19	≥40/27	145 ~ 195
正火 + 回火	398	576	22.5	8　12　8	197 198 198
	344	507	28.5	8　8　10	197 197 198
淬火 + 回火	515	639	25.5	60　82　50	192 194 193
	556	665	22.5	90　98　146	205 205 206



正火+回火钢管组织相片　　淬火+回火钢管组织相片

图 1　热处理后钢管组织相片

钢管经“正火 + 回火”处理后，材料拉伸性能满足标准要求，但冲击值为个位数，不能满足标准要求，组织由铁素体 + 珠光体 + 贝氏体组成，因存在大块的贝氏体团，造成了冲击韧性的降低；钢管经“淬火 + 回火”热处理后，材料出现抗拉强度和硬度超上限的情况，材料组织为回火索氏体，其中有极少量的铁素体存在，回火索氏体具有良好的综合力学性能、冲击韧性较好，但相比较于铁素体 + 珠光体组织强度偏高，不满足标准要求。

1.2　原因分析

由于 12Cr1MoVG 钢中含有合金化元素 V，使得热处理对组织结构及热强性的影响趋于复杂化，而热处理过程中各个环节也是相互制约的，因此，给热处理工艺的设计带来一些难度。实际生产中，对于壁厚 >25 mm 的钢管，通过正火后采用普通的空冷工艺处理时，容易出现冲击韧性高低不均的情况，甚至冲击韧性为个位数的情况，如上节提到的钢管在“正火 + 回火”处理后冲击韧性为个位数；而采用“淬火 + 回火”处理后，材料的抗拉强度和硬度又特别容易超标准要求。

从金相组织看到，采用直接水淬冷却方式处理，回火后材料组织主要以回火索氏体为主，虽然回火索氏体组织具有良好的综合力学性能，但其强度相对于正火态铁素体+珠光体组织来说要高，因此强度容易超过GB 5310—2008标准[2]规定的上限。

冲击韧性不合格的12Cr1MoVG钢管，材料组织为铁素体+珠光体+贝氏体，同时存在粗大的贝氏体团，因此回火脆化加剧，造成冲击值高低不均，分散度大，甚至是出现冲击韧性为个位数的情况。这种粗大贝氏体团的产生，与轧管终轧温度过高使钢管中产生的粗大晶粒组织有很大关系，而粗大组织在随后热处理过程中，出现粗大贝氏体团混晶的几率很高，尤其是在正火后冷速较慢的情况下更容易产生[4]。

如果控制正火后冷却速度比空冷或者风冷的速度要快，但又比完全淬火的冷速慢，使得12Cr1MoVG钢得到一种铁素体+贝氏体+马氏体组织或铁素体+贝氏体组织，这样回火后材料既保持一定量韧性相铁素体，回火贝氏体和回火索氏体又能保持钢的强度，综合性能好，而硬度也不至于过高，同时正火后快冷的晶粒度比正火后空冷的晶粒度要细也有利于韧性的提高。

2 热处理工艺的优化

在实际生产中，利用现有的淬火设备，在淬火线上对不同的壁厚钢管通过采用不同的淬火间隔时间、淬火水量、以及淬火次数以改变正火后不同冷速来达到此效果。

对规格为Φ457 mm×Φ55 mm钢管进行热处理，采用“间歇式淬火+回火”热处理工艺，不进行完全的喷淋，淬火温度为1 000 ℃，保温60 min，内喷外淋时间X1 s，然后停水保持冷却返温X2 s如此反复，直至钢管冷却，并保持钢管一直旋转，内喷水量为X3，外淋水量为X4，回火温度为750 ℃，保温时间为150 min。材料性能如表2所示。

表2 钢管性能检测

编号	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	纵向/横向				硬度		
			伸长率/%	冲击功KV_2/J					
标准	≥255	470~640	≥21/19	≥40/27			145~195		
533-1-1头	458	588	27.0	382	380	377	152	152	152
533-1-4头	488	616	22.5	383	378	378	153	151	152
533-1-7头	442	575	28.5	382	380	377	154	154	153
533-1-1尾	437	572	27.0	362	371	376	153	153	155
533-1-4尾	447	577	24.0	381	374	377	155	154	154
533-1-7尾	445	575	25.0	372	372	364	153	152	152

从表2可以看出，优化后的拉伸性能、冲击韧性、硬度都满足技术要求，圆周方向上性能均匀，圆周方向上拉伸强度相差不超过50 MPa，冲击韧性都在350 J以上，超过了标准要求，硬度值也均匀。组织以铁素体+回火索氏体+贝氏体为主，晶粒度约8.5级，不存在混晶及黄块，组织相片如图2所示。

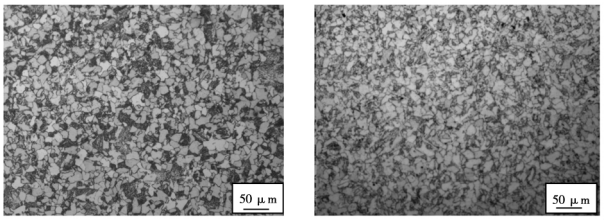


图2 钢管的组织相片

从图2可以看出，采用“间歇式淬火+回火”工艺得到的组织为铁素体+回火索氏体+贝氏体，通过加大正火后的冷速，抑制正火后冷速不够可能出现的大块贝氏体团，同时，又达不到完全淬火的冷却速度，使材料中保持一定量的铁素体，增加钢的韧性，降低其硬度。

试验结果表明，淬火后的冷却方式对钢管后续回火后的组织和性能起决定性作用，12Cr1MoVG高压锅炉管通常的使用温度范围在550 ℃，这就要求钢管具有良好的高温持久强度和高温蠕变强度，马氏体具有最高的持久强度，贝氏体次之，铁素体+珠光体最低，而马氏体强度大韧性低，铁素体珠光体强度低，12Cr1MoVG中有较多的贝氏体组织，材料才

（下转第90页）

$$Q_1/Q_2 = N_1/N_2 \quad (3)$$

$$H_1/H_2 = (N_1/N_2)_2 \quad (4)$$

$$P_1/P_2 = (N_1/N_2)_3 \quad (5)$$

式中: Q_1、Q_2—— 流量，m^3/h;

N_1、N_2—— 转速，r/min;

H_1、H_2—— 压力，Pa;

P_1、P_2—— 功率，kW。

由式(3)—式(5)可看出: 流量变化与转速变化成正比，压力变化与转速变化的平方成正比，功率变化与转速变化的立方成正比。调速运行下的电机功率: $P = 1\ 400 \times (775/960)^3 = 740$ kW;

设备在永磁涡流柔性传动调速装置调速的情况下各负载的耗电量:

740 kW ×7 920 h = 5 860 800(kW·h)

5.3 节能计算

在满足现场实际流量和压力的情况下，刚性连接风阀调节风机和采用永磁涡流调速装置后，其运行数据见表2。

表2 节能对比

设备名称	运行功率/kW	年耗电量/(kW·h)	年耗电费/万元
刚性连接风阀调节风机	1 043	8 257 898	313.8
永磁涡流柔性调速风机	740	5 860 800	222.7

从表2可以得知，永磁调速应用在除尘风机后，节电效果显著，年节约电费91.2万元，节电率可达到29%。

6 结束语

除尘风机在采用永磁涡流柔性传动调速装置后，不仅电能消耗有了明显降低，还使整个除尘系统运行更加平稳，延长了设备的使用寿命，降低了设备的维修率和维修费用，从而大幅度降低生产成本。

参 考 文 献

[1] 杨静. 永磁调速节能新技术在宝钢应用的可行性分析[J]. 交通科技与经济，2012，(6): 62-64.

[2] 赵克中. 磁力技术与设备[M]. 北京: 化学工业出版社，2003.

[3] 厦荣海. 永磁涡流柔性传动调速技术的应用分析[J]. 2014，(22): 65-67.

[4] 秦曾煌. 电工学·电工技术[M]. 北京: 高等教育出版社，2009.

[5] GB 12497—1995，三相异步电动机经济运行[S].

(上接第74页)

具有良好的综合力学性能，而厚壁12Cr1MoVG在淬火保温后，采用“间歇式淬火+回火”的热处理方式，通过控制淬火保温后的冷速，比空冷的冷却速度要快，但又达不到完全淬火的冷却速度，避开了产生大量珠光体或马氏体区，使其发生中温转变产生贝氏体和铁素体，同时又抑制了大块贝氏体团的转变，大量铁素体的存在保证了钢管具有良好的韧性和延展性，而贝氏体的存在保证了钢管的强度又不会达到马氏体的强度，同时高温持久强度好，使得材料具有良好的综合力学性能。

3 结论

(1) 厚壁的12Cr1MoVG热处理工艺的关键在于控制正火后冷速，使其组织为铁素体+珠光体+贝氏体，从而使材料具有良好综合力学性能，特别是冲击韧性高。

(2) 利用现有的热处理设备对不同的壁厚钢管通过采用不同的淬火间隔时间、淬火水量、以及淬火次数即“间歇式淬火+回火”的方法完全能满足工业热处理生产。

参 考 文 献

[1] 郭赞扬，徐峰. 高压锅炉管12Cr1MoVG热处理工艺的改进[J]. 江西冶金，2005，25(2): 30-31.

[2] GB 5310-2008，高压锅炉用无缝钢管[S].

[3] 毕金华，刘志才. 12Cr1MoV高压锅炉管试制以及热处理工艺试验[J]. 天津冶金，2012，36(2): 28-32.

[4] 郭元容，吴红，陈雨等. 厚壁12Cr1MoVG钢管的热处理工艺优化[J]. 钢管，2008，37(2): 68-72.