12Cr1MoVG锅炉用无缝钢管的金相组织分析*

马新宇,宋立民,吕婉姝,宋 歌,裴福莉,韩海燕,褚胜伟

(内蒙古内蒙古包钢钢联股份有限公司钢管公司,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 文章通过对12Cr1MoVG锅炉用管进行不同热处理后的试样进行金相组织观察及分析,得出易产生黄块马氏体的热处理制度,并通过热处理制度的摸索,得出黄块马氏体产生后的消除方式,为现场热处理生产提供技术参考。

关键词: 12Cr1MoVG; 黄块马氏体; 正火; 回火

中图分类号: TG142.1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2021)03-0038-03

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2021.03.011

Analysis on Metallographic Structure of Seamless Tube for 12Cr1MoVG Boiler

Ma Xin-yu, Song Li-min, Lv Wan-shu, Song Ge, Pei Fu-li, Han Hai-yan, Chu Sheng-wei

(*Steel Tube Co. of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In this paper, the heat treatment schedule which is easy to generate yellow block of martensite is obtained through observing and analyzing the metallographic structure of samples of tube for 12Cr1MoVG boiler after different heat treatments. Moreover, the method for eliminating yellow block of martensite is obtained through exploring the heat treatment schedule, which provides technical reference for heat treatment production on site.

Key words: 12Cr1MoVG; yellow block of martensite; normalizing; tempering

高压锅炉管主要用于高压、超高压、亚临界电站锅炉过热器、锅炉集箱和蒸汽管道等方面,12Cr1MoVG钢种作为一种合金结构钢种,是锅炉用钢系列的主要钢种之一。GB/T 5310—2017《高压锅炉用无缝钢管》标准中明确规定,高压锅炉管12Cr1MoVG金相显微组织应为铁素体加粒状贝氏体(F+粒状B)或铁素体加珠光体(F+P)或铁素体加粒状贝氏体加珠光体(F+粒状B+P),允许存在索氏体,不允许存在相变临界温度A_{C1}~A_{C3}之间的不完全相变产物,即黄块状马氏体组织[1]。因为黄块马氏体的存在将对钢的持久强度产生不良的影响。12Cr1MoVG相变点A_{C1}约为774~805 ℃,A_{C3}约882~923 ℃。

1 试验材料与试验方法

1.1 试验材料

试样材料选取钢管公司460机组生产的

* 收稿日期:2021-05-06

作者简介:马新宇(1990-),男,内蒙古包头市人,现从事钢管金相组织检测等方面的研究工作。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

12Cr1MoVG 材质，规格为 Φ457 mm × 55 mm 的高压锅炉管，化学成分见表 1，轧态的金相组织如图 1 所示。

表 1　12Cr1MoVG 材质化学成分(质量分数)　%

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Cu	Ni	V
0.130	0.290	0.510	0.009	0.005	1.000	0.250	0.007	0.008	0.214

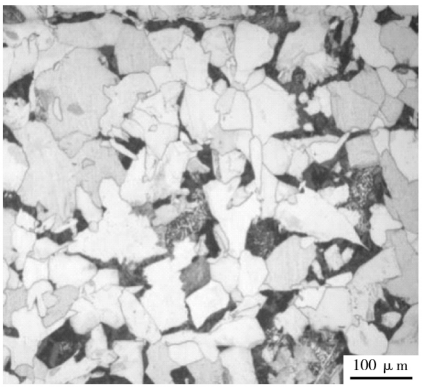


图 1　F + P + B，轧态组织

1.2　试验方法

根据 GB/T 5310—2017 标准中推荐的热处理制度及生产中易出现的温度偏差情况，制定正火及回火小炉热处理温度各 4 个，每个热处理制度选择 6 个轧态试样，严格按操作规程进行正火 + 回火的热处理操作。观察各个热处理制度下的组织形态，对每组试样的组织进行分析。

正火温度分别设定为 850 ℃、900 ℃、950 ℃、1 000 ℃，间隔试验温度偏差为 50 ℃；回火温度分别为 680 ℃、740 ℃、780 ℃、820 ℃，间隔试验温度偏差为 40 ℃。因本试验所用试样毛坯的尺寸为 20 mm × 20 mm × 260 mm，根据正回火保温时间经验公式计算得到，正火保温时间为 30 min，回火保温时间为 50 min，冷却方式均为空冷。

2　试验结果与分析

2.1　正火热处理试验

试验钢分别在 850 ℃、900 ℃、950 ℃、1 000 ℃正火后，观察显微组织，结果见表 2。

表 2　不同温度正火后显微组织

材质	热处理状态	取样数目	显微组织
12Cr1MoVG	850 ℃正火	6	F + 粒状 B + 黄块 M
12Cr1MoVG	900 ℃正火	6	F + 粒状 B + 黄块 M
12Cr1MoVG	950 ℃正火	6	F + 粒状 B
12Cr1MoVG	1 000 ℃正火	6	粒状 B + F

从表 2 可以看出 12Cr1MoVG 材质试样在 900 ℃以下空冷时，得到的组织为铁素体 + 粒状贝氏体 + 黄块马氏体，具体的组织形态见图 2。而在 900 ℃以上正火时，随着正火温度的提高，奥氏体晶粒长大，铁素体块变大，贝氏体变粗，且贝氏体量增多，铁素体量减少，但不再出现黄块马氏体组织，具体的组织形态见图 3。

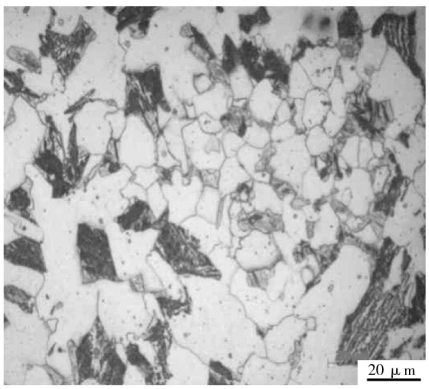


图 2　850 ℃正火金相组织

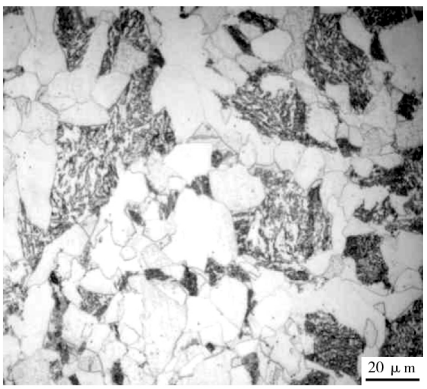


图 3　950 ℃正火金相组织

2.2　回火热处理试验

试验材料 12Cr1MoVG 试样经 990 ℃正火处理后，分别在 680 ℃、740 ℃、780 ℃、820 ℃温度下进行回火，对回火处理后的金相试样进行组织检验，结

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

果见表3。

表3 不同温度回火下的显微组织

材质	热处理状态	取样数目	显微组织
12Cr1MoVG	680 ℃回火	6	粒状B+F
12Cr1MoVG	740 ℃回火	6	粒状B+F
12Cr1MoVG	780 ℃回火	6	F+粒状B+黄块M
12Cr1MoVG	820 ℃回火	6	F+粒状B+黄块M

从表3中可以看出试验钢在740 ℃回火温度以下进行回火处理时，未出现异常的黄块马氏体组织，其组织为粒状贝氏体和铁素体，具体的组织形态见图4。而在回火温度较高，780 ℃以上进行回火时出现异常的黄块马氏体组织，具体的组织形态见图5。

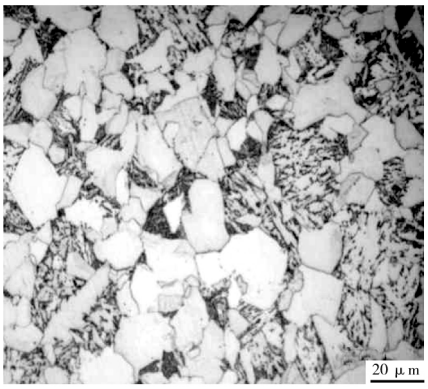


图4 990 ℃正火680 ℃回火后的金相组织

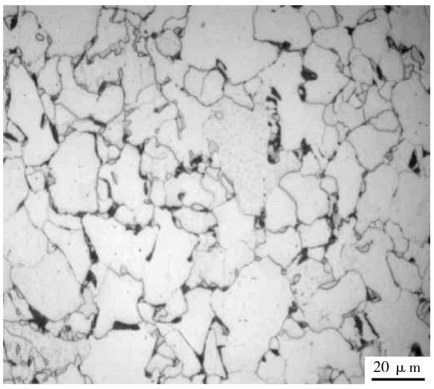


图5 990 ℃正火820 ℃回火后的金相组织

2.3 黄块马氏体组织的产生原因分析

试验表明，试验钢在进行正火及回火处理时，如正火温度较低或是回火温度较高，即当正火温度低于900 ℃、回火温度高于780 ℃时，产生异常的黄块马氏体组织，分析其产生原因为12Cr1MoVG为铬钼钒钢，铬钼钒钢在进行热处理时，当正火温度较低或回火处理较高时，温度通常处于该钢种的A_{c1} ~ A_{c3}之间。在此相变温度范围内，原始组织中的贝氏体转变为奥氏体而铁素体还未完全溶解(只有在温度接近A_{c3}时，有一定数量的铁素体溶解到奥氏体中)[2]。由于在贝氏体区碳、钒等合金元素较为富集，因此在这些区域形成的奥氏体稳定性大，在空冷时又由于析出铁素体，使未能转变的奥氏体更为稳定，冷却时转变为贝氏体和黄块马氏体更为容易。因此在该温度区间正火及回火易产生黄块马氏体组织，且因为加热温度较低，形成的奥氏体晶粒没来的及吞并其他晶粒而长大，转变的黄块马氏体和贝氏体通常较为细小。随着正火温度的升高，原始组织的铁素体和贝氏体均转变为奥氏体，碳化物溶解更加充分均匀，转变成的奥氏体组织成分均匀，连续冷却曲线右移，冷却时有利于贝氏体的转变，得到的组织均为贝氏体和铁素体组织。但因正火温度升高使得奥氏体晶粒长大，因此得到的组织也较为粗大。

2.4 黄块组织的消除试验

无论是正火温度过低或是回火温度过高产生黄块马氏体的试样均进行740 ℃回火及990 正火+740 ℃回火的重新热处理试验，观察其显微组织，结果见表4，具体的组织形态如图6、图7所示。无论是正火不足或是回火超温产生的黄块马氏体，只要严格按照规范要求，采用合适温度重新进行回火或重新正火+回火均可以消除，但国内外研究资料表明只重新进行回火处理，表面上黄块马氏体已经消除，但材料实际使用时，碳化物聚集、球化速度快，热强性能明显较低。只有重新严格按规范要求进行正火+回火处理，其持久强度才能得以改善。因此，12Cr1MoVG高压锅炉管材料无论是正火不足或是回火超温产生的黄块马氏体均应采用重新正火+回火热处理予以消除。

表4 产生黄块马氏体的试样重新热处理后的显微组织

原始状态	重新热处理工艺	显微组织
850 ℃正火	740 ℃回火	F+B
850 ℃正火	990 正火+740 ℃回火	B+F
990℃正火+820 ℃回火	740 ℃回火	F+B
990 ℃正火+820 ℃回火	990 正火+740 ℃回火	B+F

(下转第44页)

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

180 ℃低温回火。

2.3.2 冷却介质的选择

淬火的冷却介质一般有水、水蒸气、风(空气)、油及特殊有机淬火液等,水冷、风冷及油冷等几种冷却方式是现场生产使用比较多的方式。考虑工厂批量作业的生产节奏及可操作性,油淬的生产节奏最慢,对环境的友好性较差,因此批量化大生产采用水冷和风冷居多,从试验钢的连续冷却转变过程可以看出,冷却速度大于20 ℃/s时,奥氏体大多转换成马氏体,经低温回火后稳定组织,为耐磨性提供一定的保障。因此淬火方式选择水冷较为合适,也适用于现场工业生产。

3 结论

(1)混凝土输送用稀土耐磨管BT-65MnRE的相变点A_{c1}为707 ℃、A_{c3}为764 ℃,建议该钢的淬火温度大于810 ℃,回火温度为180 ℃。

(2)当冷却速度为1~4 ℃/s时,试验钢BT-65MnRE室温显微组织为珠光体+先共析铁素体,当冷却速度为5~8 ℃/s时,室温显微组织为珠光体+贝氏体+马氏体+少量铁素体,当冷却速度为10~30 ℃/s时,室温显微组织为珠光体+马氏体+少量铁素体,当冷却速度大于40 ℃/s时,室温显微组织为马氏体。

(3)结合经济性、环保性、现场生产效率及组织稳定性,建议淬火方式为水冷。

参 考 文 献

[1] 邢文静,杜晓东,丁厚福. 不同介质对三种钢的冲击腐蚀磨损性能的影响[J]. 材料热处理学报,2007,(3):20.

[2] 王雅静,刘宗昌,段宝玉. Hi3钢淬火、回火工艺及组织的研究[J]. 热处理,2013,(4):26-31.

(上接第40页)

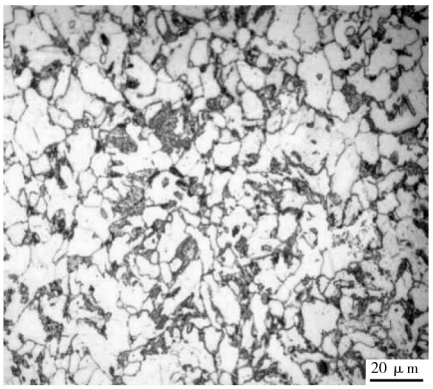


图6 重新回火处理后的组织(500×)

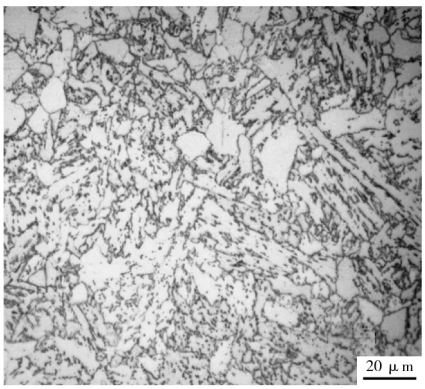


图7 重新正火+回火处理后的组织(500×)

3 结论

(1)当正火温度低于900 ℃或回火温度超过780 ℃时,12Cr1MoVG钢易产生黄块马氏体异常组织。

(2)12Cr1MoVG高压锅炉管材料无论是正火不足或是回火超温产生的黄块马氏体均应可采用重新正火+回火热处理予以消除。

参 考 文 献

[1] GB/T 5310—2017,高压锅炉用无缝钢管[S].

[2] 吴承建,陈国良,强文江. 金属材料学[M]. 北京:冶金工业出版社,2009.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net