

文章编号： CN31 - 1508(2004)01 - 0044 - 04

热处理工艺对国产 T23 (HCM2S) 耐热钢组织的影响

胡向平¹， 朱丽慧¹， 邹风鸣²， 王起江²， 徐英男³， 张科³
(1. 上海大学材料学院，上海 200072； 2. 宝山钢铁股份有限公司，上海 201900；
3. 国家机械工业局发电设备服务中心，北京 100000)

关键词： 热处理；耐热钢；组织
摘 要： 分析研究了热处理工艺对国产 T23 (HCM2S) 耐热钢组织性能的影响。结果表明：提高正火温度，晶粒不断长大，且晶粒内的孤岛状物也明显长大。正火后 770℃ 回火，贝氏体、铁素体基体出现多边化形，随着回火时间的延长，晶粒有所长大，但在 180min 回火的试样组织中，出现再结晶现象，晶粒反而变得细小；另外，随着回火时间的增加，基体中小岛状物不断分解、减少，而细小的碳化物颗粒明显增多。探讨了组织的变化对性能的影响，分析表明，随着正火温度的升高，钢的持久强度提高；延长回火时间，虽钢的塑、韧性有所增加，但持久强度下降。综合考虑，正火温度和回火时间必须在一个适宜的范围，既提高钢的机械性能，同时兼顾工业生产的经济性。
中图分类号： TK225 文献标识码： A

1 前言

ASME SA - 213 T23 (ASME Code Case 2199) 钢是日本住友公司 20 世纪 80 年代开发研制的一种新型低合金高强度耐热钢，住友公司命名为 HCM2S，它是在 2.25Cr - 1Mo 钢的基础上，参照我国研制的 102 钢合金化原理，用 W 部分代替 Mo，并降低 C 的含量，同时钢中加入少量的 Nb、V、B，研制机理如图 1^[1]。多元复合强化，持久强度大幅提高，在 550 ~ 625℃ 范围，许用应力大约是 2.25Cr - 1Mo 钢 (T22) 的 1.8 倍，几乎与 9Cr - 1Mo 中合金钢的改进型 T91 相媲美^[2]；同时由于含碳量低，焊接性能优于传统的 Cr - Mo 钢，不需焊前预热与焊后热处理。所以，与传统低合金耐热钢相比，该钢优势体现于可明显减薄钢管壁厚，优化传热效率和简化制造工艺上。因此，是未来取代 T22、12Cr1MoV、102 等钢用于制造大型电站锅炉过热器、再热器 (金属壁温 580℃) 及集箱等极具竞争力的候选钢种之一。我国要发展超临界压力机组，实现更高蒸汽参数下机组的可靠运行，必须

研制开发和高蒸汽参数相适应的高温耐热材料。鉴于此，宝山钢铁股份有限公司研制开发了 T23 (HCM2S) 钢。本文就热处理工艺问题探讨了正火温度和回火时间对其组织的影响，并浅析对性能的影响，从而为工业生产提供理论和技术依据。

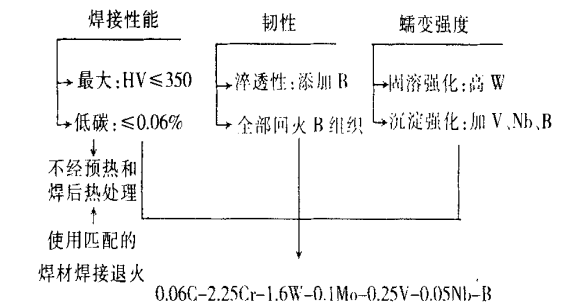


图 1 2.25Cr - 1.6W - V - Nb (HCM2S) 钢管的研制机理

2 试验材料、热处理工艺

试验用材由宝山钢铁股份有限公司钢管分公司提供，成品钢管化学成分如表 1 所示。
试样的热处理分 2 组：一组是正火温度不同，正火时间、回火工艺相同；另一组是回火时间不同，回火温度、正火工艺相同，具体工艺如表 2 所示。

表 1 宝钢 T23 钢的化学成分 wt %

C	W	Mo	V	Cr	Nb	B	N	Mn	Cu	Si	Al	Sn	S	p
0.08	1.52	0.17	0.24	2.33	0.04	0.004	0.012	0.48	0.10	0.25	0.011	0.012	0.008	0.009

收稿日期：2003 - 09 - 11
作者简介：胡向平 (1979 -)，男，河南南阳人，现为上海大学材料学院 2002 级硕士研究生。

所有试样均采用 4 % 的硝酸酒精溶液浸蚀,在普通光学显微镜下观察、照相。此外,室温组织的显微硬度利用 71 型维氏显微硬度计进行测试,试验载荷为 50g。

表 2 宝钢 T23 钢试样热处理规范

组数	试样号	正火温度 /	时间 / min	回火温度 /	时间 / min
组 1	1	1 040	20	760	60
	3	1 050	20	760	60
	8	1 060	20	760	60
	15	1 070	20	760	60
	17	1 080	20	760	60
	19	1 100	20	760	60
	11	1 060	20	770	30
	10	1 060	20	770	60
组 2	25	1 060	20	770	90
	26	1 060	20	770	120
	32	1 060	20	770	180

3 试验结果

宝钢 T23 耐热钢室温组织为粒状贝氏体,主要由铁素体基体和岛状物组成,如图 2 所示。通过对 A、B、C、D、E 个 5 点显微硬度测试发现:

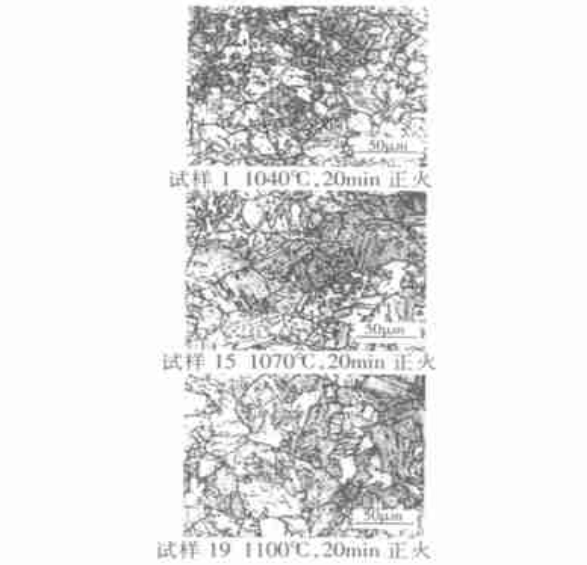


图 3 不同正火温度下试样组织

回火的试样组织。从图中可以看出,随着正火温度的提高,晶粒不断长大,大小趋于均匀,而且晶粒内的小岛状物也明显长大。

图 4 是均先在 1 060 保温 20min 空冷正火,然后分别进行 30min、60min、180min 770 回火的试样组织。可以发现,该钢回火以后,贝氏体铁素体基体出现多边形化,随着回火时间的增

白色区域 A、黑色区域 B、板条状 C(暗)与 E(明)和块状 D 都属于铁素体组织,其硬度值如表 3 所示,基本都在铁素体显微硬度 HV 范围之内^[3]。因此,可以认为该钢铁素体基体有 2 种存在形式,一种为块状,另一种为板条状。国产 102 钢显微组织显示其贝氏体铁素体基体也具有不规则粗大块状结构和板条状结构 2 种形式^[4]。



图 2 宝钢 T23 耐热钢管(成品)室温组织

表 3 宝钢 T23 钢室温组织基本显微硬度 HV

位置	A	B	C	D	E	铁素体 HV
硬度 HV	175	206	198	220	226	170 ~ 220

图 3 是分别在 1 040 、1 070 、1 100 温度下保温 20min 空冷正火,然后均经 760 、60min

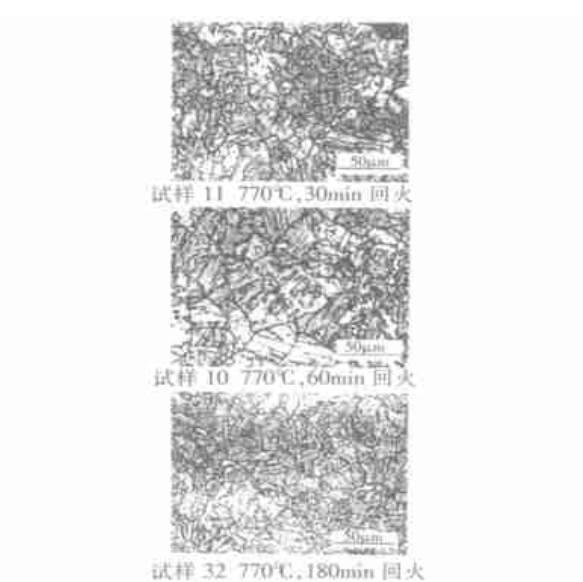


图 4 不同回火时间试样金相组织

加,晶粒有所长大,但在 180min 回火的试样组织中,出现再结晶现象,晶粒反而变得细小。另外,延长回火时间,基体中小岛状物减少,而细小的碳氮化合物颗粒却显著增多。

4 讨论与分析

对于低合金耐热钢而言,正火的目的在于使

钢中合金元素充分溶解到铁素体基体中,发挥合金元素在钢中的有效作用,以及改变晶粒度等组织因素,以获得强韧性的最佳匹配^[5~6]。

本试验中,随着正火温度的提高,奥氏体晶粒长大,成分变得均匀,减少了奥氏体中浓度起伏;另外,基体中碳化物、氮化物、氧化物及其它可能作为外来晶核的质点进一步溶解,不利于新相的形核,也增加了奥氏体的稳定性。这些因素的共同作用延长了贝氏体转变的孕育期,使转变速度减慢,形成贝氏体、铁素体的量相对减少。同时,晶粒尺寸也随正火温度的提高而有所长大。而未转变的奥氏体,在进一步的冷却中,一部分转变成板条状马氏体 M;一部分以残余奥氏体 A 的形式保存下来,以孤岛的形式存在于基体内,并随正火温度的提高不断长大。俞德刚等人在有关粒状贝氏体钢的研究中也发现小岛状物有随奥氏体化温度提高而长大的现象^[7]。此外,钢中固溶强化元素 W、Mo、Cr 及基体中的碳氮化物溶解度也会随着正火温度的提高而有所增大。

依据一般耐热钢强度变化规律,尤其在粒状贝氏体 102 钢的研究中发现,正火温度上升,钢的持久强度提高^[4~6]。对宝钢 T23 钢而言,以上分析的诸多因素也表明,其强度变化在一定程度上也遵循此规律,浅析如下:

(1) 正火温度提高,钢中合金元素充分溶解,固溶强化作用显著增强;

(2) 正火温度升高,基体中碳化物溶解度增大,在回火后,因较多细小的碳化物、(碳)氮化物呈弥散析出,析出强化作用增加;

(3) 提高正火温度,晶粒长大、粗化,持久强度将有所上升;

(4) 正火温度提高,岛状物长大、增多,M 量随之亦增加,铁素体的量相对减少,对持久强度的提高也有所贡献。

所以,从提高钢的持久强度的角度出发,似乎正火温度越高,对钢的性能越有利。但从另一个角度讲,温度过高,一方面,在工业生产中增加操作难度,提高了工艺成本;另一方面,会使钢管的表面产生大量的氧化皮,及过烧等现象。因此综合考虑,T23 钢正火处理必须选择一个适宜的温度范围。

耐热钢正火后回火,其目的是使固溶体基体中析出细小而弥散的碳化物、(碳)氮化物沉淀相,并使这些沉淀相在要求使用的温度及服役期内保持相对的稳定,同时使合金元素在固溶体基体和碳

化物之间合理分配。所以,一般情况下,需要根据钢种成分和用途,在高于使用温度 100~150℃ 下进行适当时间的回火^[5~6]。

在试验中,试样 770℃ 回火,铁素体基体多边形化;延长回火时间,晶粒长大,但在回火 180min 的试样中出现再结晶现象,晶粒反而细化。除此之外,随着回火时间的增加,基体中岛状物数量减少,而细小碳氮化物颗粒却明显增多,并且分布弥散。回火时间的变化导致组织发生改变,必然会对钢的性能产生一定的影响。根据分析,回火时间对钢的组织性能稳定和持久强度影响较大。

T23 钢正火后,基体中的岛状物组织为残余奥氏体 A 和马氏体 M,在 770℃ 高温回火,岛状物发生分解,残余奥氏体和马氏体的量不断减少,随着时间的延长,岛状物逐渐消失^[6]。但是,如果回火时间不足,回火处理不充分,钢中保留的岛状物较多,在 580~620℃ 高温使用过程中可能会因为小岛状物的分解而改变钢的组织,进而影响钢的持久强度,可能降低设计使用寿命或者导致钢管使用过程中事故隐患。因此,从这个角度讲,足够长时间的回火是保证该钢组织稳定和性能稳定的一个至关重要的因素。

但从另一个角度讲,回火时间过长,可能会对钢的持久强度性能产生不利的影响。

(1) 770℃ 回火,铁素体基体长大,晶粒粗化,钢的持久强度有所增加。但时间过长(如 32 号试样,770℃ 回火 180min),出现再结晶现象,晶粒反而细化,虽钢的塑、韧性增强,但持久强度下降。

(2) 钢经过高温回火后,基体中析出大量细小弥散分布的碳、氮化物,其沉淀强化作用一定程度上补偿了因 Cr、V、Nb 等元素富集碳化物中而导致固溶强化作用减弱的不足,保证了钢的良好持久强度。但是,如果回火时间太长,这些细小的碳化物聚积长大,弥散析出的强化作用大大减弱,从而导致钢的持久强度下降。

(3) 在 T23 钢和 102 钢中加 W 减 Mo,就是充分利用 W、Mo 等稳定元素在高温时减缓向碳化物富集,使钢保持较好的固溶强化^[4]。长时间 770℃ 回火,这些元素较多的富集至碳化物中,导致在固溶体中贫化,固溶强化作用减弱,此有悖设计的初衷。

所以,回火时间的长短,也须严格的控制。既要保证钢具有良好的组织稳定性,又能充分利用各种强化机制,提高持久强度。

综上所述,正火温度升高,T23 钢的持久强度会得到较大的提高,但温度过高,会增加生产成本或者破坏材料表面质量;回火时间较长,虽有利于钢的塑、韧性的提高,保证组织的稳定性,但会降低钢的持久强度。所以正火温度和回火时间必须严格控制,以期获得最好的综合机械性能和良好的经济性。

5 结论

T23 钢,在重视成分设计的同时,也要注重热加工技术的应用。既充分利用微合金元素的固溶强化、析出强化等强化因素来提高钢的持久强度,同时也要控制好热处理的温度和时间。

(1) 正火温度升高,晶粒长大,基体中的小岛状物也明显长大。由于晶粒粗化及岛状物中马氏体含量增加和固溶强化、析出强化作用增强,利于钢的持久强度提高。

(2) 770 °C 回火,贝氏体基体多边形成,随着回火时间的延长,晶粒有所长大,但在 180min 回火的试样组织中,出现再结晶现象,晶粒反而变得细小。另外,随着回火时间的增加,小岛状物发生分解,逐

渐减少,但细小弥散的颗粒状碳氮化物大大增加。长时间回火,岛状物分解充分,有利于钢的组织 and 性能稳定,但由于基体再结晶、小岛状物的分解、碳氮化物的聚集长大及固溶元素的贫化等诸多因素,导致钢的持久强度降低。

(3) 正火温度和回火时间必须严格地控制,既提高钢的持久强度和稳定性能,同时也要兼顾工业生产经济性。

参考文献:

- [1]王亚丽,张涛编译. 锅炉用高强度低合金钢材料的研制[J]. 锅炉制造,1997,(1).
- [2]吴晓颖,王德兴编译. 具有良好可焊性的钨强化低合金钢的研制[J]. 锅炉制造,1996,(4).
- [3]韩德伟. 金属的硬度及其实验方法[M]. 湖南:湖南科学技术出版社,1983.
- [4]第一机械工业部上海发电设备成套设计研究所. 锅炉钢的性能和应用[M]. 上海:上海科学技术出版社,1981.
- [5]周顺济. 低合金耐热钢[M]. 上海:上海人民出版社,1976.
- [6]刘荣藻. 低合金耐热钢的强化机理[M]. 北京:冶金工业出版社,1981.
- [7]俞德刚,郑经琳,等. 18Cr2Ni4WA 钢的中温组织转变[A]. 第三届国际材料热处理大会论文选集[C]. 1985.

Influence of Heat-treatment on the Microstructure of Heat-resistant Steel T23 (HCM2S)

HU Xiang-ping¹, ZHU Li-hui¹, ZOU Feng-ming², WANG Qi-jiang²,
XU Ying-nan³, ZHANG Ke³

(1. School of Materials Science and Engineering of Shanghai University, Shanghai 200072, China;

2. Baosteel Iron and Steel Corporation LTD., Shanghai 201900, China; 3. Service Centre

for Dynamoelectric Equipments of National Mechanical Industrial Department, Beijing 100000, China)

Key words: heat-treatment; heat-resistant steel; microstructure

Abstract: The influence of heat-treatment on the microstructure of heat-resistant steel HCM2S made in Shanghai was studied. The results show that when the normalized temperature increases, both the grains and small islands in the grains grow up obviously. When the samples are tempered at 770 °C, polygonization takes place and the grains also become bigger gradually with the increase of tempering time. But the grains become smaller in the sample tempered for 180 minutes due to recrystallization. Furthermore, small islands in the grains decompose and decrease gradually with the increase of tempering time. Whereas, the number of fine carbides increases markedly. The effect of structure change on the mechanical property was discussed, too. It was estimated that the increase of normalized temperature results in the improvement of creep rupture strength. Although the prolonging of tempering time is beneficial to the toughness, the creep rupture strength will descend. Therefore, the normalized temperature and tempering time must be controlled strictly from the viewpoint of both properties and production.