

45Mn2V/Q345 复合锯片用钢回火工艺研究

杨跃辉¹ 苑少强¹ 郭继富² 赵东岩² 孟凡伟²

(1 唐山学院机电工程系,唐山 063000;2 唐山冶金锯片有限公司,唐山 063000)

摘要 对复合锯片用钢进行了不同温度和保温时间的回火处理,分别测定和观察了覆层与基板的硬度和显微组织。结果表明:Q345 钢基板的板条马氏体在回火过程中逐渐粗化,但其基本特征经较高温度回火后仍能保留下来,而覆层 45Mn2V 钢的针状马氏体退化速度较快,400 °C 回火后已观察不到针状特征,导致回火后其硬度下降的趋势大于 Q345 钢基板,因此复合板的回火温度不宜超过 400 °C。另一方面,由于碳含量较高,45Mn2V 钢覆层在回火过程中碳化物的析出较快且析出量较多,故经过 8 h 回火后仍能保持高的硬度,而 Q345 钢基板已经发生明显的软化,因此 860 °C 保温 5 min 油淬,360 ~ 390 °C 保温 6 h 回火可获得最佳性能。

关键词 复合钢板 锯片用钢 回火 组织演化

Investigation on Tempering Process of 45Mn2V/Q345 Clad Steel Plate for Saw Blade

Yang Yuehui¹, Yuan Shaoqiang¹, Guo Jifu², Zhao Dongyan² and Meng Fanwei²

(1 Department of Electromechanical Engineering, Tangshan College, Tangshan 063000;

2 Tangshan Metallurgical Saw Blade Co Ltd, Tangshan 063000)

Abstract Tempering of the holding time after different temperature of clad steel plate for saw blade steel has been carried out, the hardness of cladding plate and base plate and the microstructure evolution are measured and observed. The results show that the lath martensite in substrate steel Q345 coarsens gradually during tempering, but the characteristics of lath can be retained after tempering at higher temperatures. However, the acicular martensite in cladding plate steel 45Mn2V degrades faster than that in substrate steel, so the characteristics of acicular could not be observed after tempering at 400 °C, which results in the decreasing of hardness of cladding plate steel 45Mn2V after tempering is larger than that of substrate steel Q345. Therefore, the tempering temperature of the clad plate should not exceed 400 °C. On the other hand, because of the high carbon content, the precipitation of carbides in steel 45Mn2V cladding plate is faster and more during tempering, so high hardness can still be maintained after tempering for 8 hours, while the Q345 substrate plate has obviously softened. Therefore, the optimum performance of steel can be got by oil quenching at 860 °C for 5 min and tempering at 360 ~ 390 °C for 6 h.

Material Index Clad Steel Plate, Steel for Saw Blade, Tempering, Microstructure Evolution

磨损为圆锯片主要的失效形式之一^[1],故要求此类钢具有较高的耐磨性。研究和实践表明,锯片在使用过程中存在不均匀磨损,即两侧方向受到的磨损更为严重,而中心位置相对较轻,最终工作端面形成圆弧面^[2-3],这意味着锯片钢的表面与心部对金属耐磨性的要求有所不同。传统的锯片用钢经过淬火回火处理后虽然整体获得了较高的硬度与耐磨性,但也导致抵抗冲击载荷作用的能力降低,易于在锯齿根部产生裂纹。长期以来,主要通过工艺优化提升钢的综合力学性能来解决这一矛盾^[4-5]。随着复合钢板制备技术日益成熟,为此问题的解决提供了新的思路。本研究针对钢厂生产的复合锯片钢开展试验研究,分析回火温度与时间对复合板各层金属组织及性能的影响,为热处理工艺的制定提供参考。

1 试验材料与方法

试验钢为钢厂生产的复合钢板,经组坯、热轧而成,覆层板坯为 20 mm 厚 45Mn2V 钢,基板坯料为 60 mm 厚 Q345 钢,复合坯加热温度 1 200 °C,开轧温度 1 150 °C,终轧温度 880 °C,成品板厚 4 mm,其中覆层厚度 0.8 mm,基板厚度 2.4 mm,覆层与基板的钢种的化学成分见表 1。

将复合钢板在实验室箱式电阻炉中进行热处理,具体工艺如下:

表 1 复合钢板覆层和基板的化学成分/%
Table 1 Chemical composition of cladding plate and base plate of clad steel/%

项目	钢种	C	Si	Mn	P	S	V
覆层	45Mn2V	0.45	0.30	1.50	0.015	0.003	0.08
基板	Q345	0.16	0.30	1.42	0.014	0.002 8	-

方案一:860 °C 保温 5 min,油淬 + 分别加热至 360、390、420、450、480 °C 保温 6 h 回火,空冷。

方案二:860 °C 保温 5 min,油淬 + 加热至 420 °C 分别保温 2、4、6、8 h 回火,空冷。

由上述热处理样品上加工金相试样,对横截面进行研磨、抛光,经 4% 硝酸酒精溶液侵蚀后使用奥林巴斯 BM41 金相显微镜观察其显微组织,并使用 HV1000 显微硬度计测定各层的维氏硬度。

2 试验结果

由于钢的硬度与其耐磨性有着密切的关系,因此分别测定了热处理后实验钢覆层与基板的硬度,结果见图 1(a)。由图 1 可以看出,淬火态覆层和基板的硬度分别达到了 HV409 和 HV220,经过回火后有不同程度的降低,但覆层硬度的下降趋势更加明显,基板的硬度则下降较小,使得覆层与基板的硬度差逐渐减小。图 1(b)为实验钢各层硬度与回火时间的关系。可见,在 420 °C 保温回火 2~8 h 内,覆层的硬度基本没有发生显著的变化,HV 硬度值处于 300~310,

而基板的硬度在经 2~6 h 回火后变化较小,但达到 8 h 后有明显的降低。

总体来看,复合板中覆层的硬度受回火温度的影响更为明显,回火时间的影响则较弱,而基板的硬度随回火工艺的变化较为平稳。

3 分析讨论

3.1 淬火组织的形态

图 2(a)和(b)为淬火后覆层与基板的组织。可见,覆层组织为针状马氏体,基板的组织则为低碳板条马氏体,且组织中含有少量未转变的铁素体。这是由于试验设定的淬火温度为 860 °C,略高于基板(Q345)的 A_{c3} 温度,且保温时间较短,导致少量铁素体未发生相变。对于覆层 45Mn2V 钢,其 A_{c3} 温度仅为 770 °C,远低于试验的淬火温度,因而能够完全发生相变,且碳化物充分回溶,因此淬火组织主要为针状马氏体。

3.2 回火温度对组织的影响

不同温度回火后基板的组织见图 3。可以看出,随回火温度升高,组织的改变表现为碳化物的析出以及板条马氏体的合并粗化两个方面。360 °C 回火时,碳化物十分细小,马氏体板条也较细;回火温度上升,碳化物逐渐粗化,且多沿板条界分布,见图 3(b)至图 3(d),这是由于界面处碳的扩散速度较快,有利于渗碳体的迅速长大。

同时,对于板条马氏体组织而言,高的回火温度也促进板条界上的位错通过滑移和攀移相互抵消,导致部分界面消失,相邻板条逐渐合并粗化^[6],这在 480 °C 回火后表现的尤为明显,组织中出现了大量条状或块状铁素体[图 3(e)],导致钢的硬度明显降低。

覆层回火后的组织如图 4 所示。可见,回火温度低于 400 °C 时,组织中析出了大量细小、弥散的碳化物,但尚存

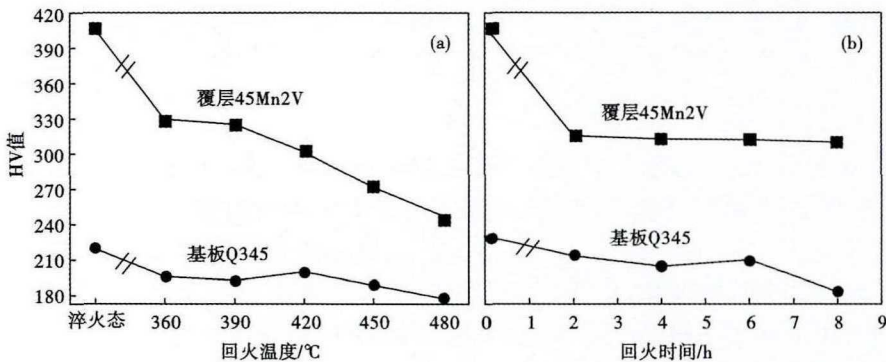


图 1 860 °C 淬火时回火温度(a)和 420 °C 回火时间(b)对 45Mn2V/Q345 复合板 HV 值的影响

Fig. 1 Effect of tempered temperature (a) and time tempered at 420 °C (b) on HV value of 45Mn2V/Q345 clad steel plate, quenched at 860 °C

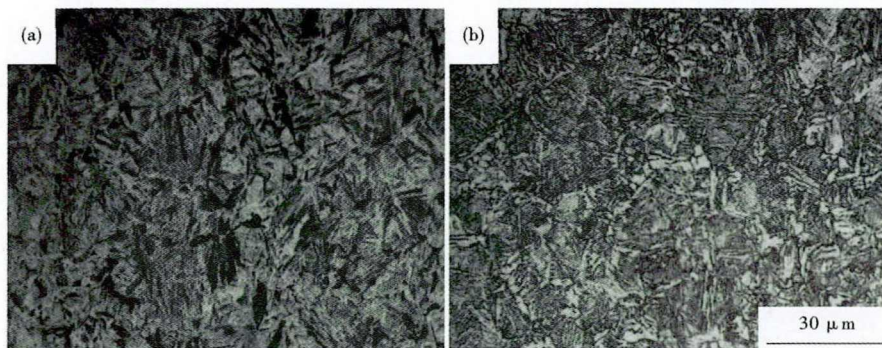


图 2 860 °C 淬火后 45Mn2V/Q345 复合板覆层(a)与基板(b)的组织形貌

Fig. 2 Microstructure of cladding plate (a) and base plate (b) of 45Mn2V/Q345 clad steel plate quenched at 860 °C

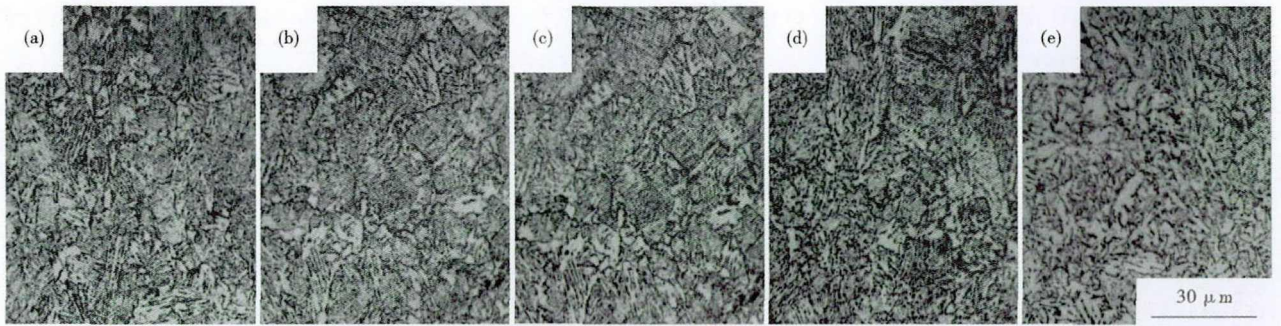


图 3 860℃淬火 + (a)360 °C ;(b)390 °C ;(c)420 °C ;(d)450 °C ;(e)480 °C 回火基板 Q345 钢的组织

Fig. 3 Microstructure of steel Q345 base plate quenched at 860 °C + tempered at 360 °C (a) , 390 °C (b) , 420 °C (c) , 450 °C (d) and 480 °C (e)

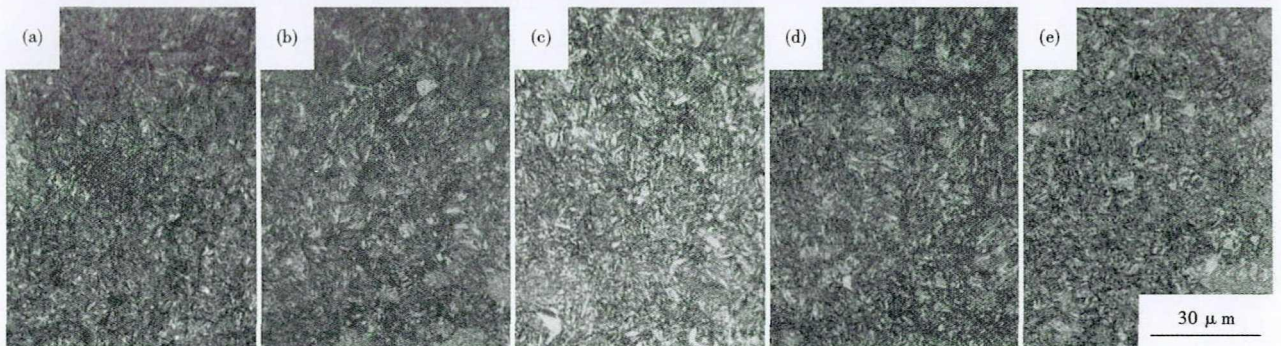


图 4 860℃淬火 + (a)360 °C ;(b)390 °C ;(c)420 °C ;(d)450 °C ;(e)480 °C 回火覆层 45Mn2V 钢的组织

Fig. 4 Microstructure of steel 45Mn2V cladding plate quenched at 860 °C + tempered temperature at 360 °C (a) , 390 °C (b) , 420 °C (c) , 450 °C (d) and 480 °C (e)

在针状马氏体的特征,见图 4(a)和 4(b);回火温度达到并超过 420 °C 后,碳化物显著粗化,强化作用减弱,使得钢的硬度不断降低。

综上所述,覆层组织在回火后仅能够观察到碳化物的析出与粗化,但图 1 显示回火后覆层硬度下降的趋势要高于基板,这只是由于两者亚结构的不同引起的。文献[7]研究了双金属带锯条的淬火工艺,结果显示经 530 °C 回火处理后,板条马氏体仅有所宽化,而粗大孪晶马氏体则已经大部分发生了退化。研究表明:对于以孪晶为主的淬火马氏体,在回火温度高于 250 °C 时,孪晶就开始消失,超过 400 °C 后钢中的针状马氏体几乎完全消失^[8-9],这与本研究的结果较为一致。对比图 3 和图 4 可以看出,基板组织中的板条马氏体在回火过程中逐渐粗化,但其基本特征在较高的温度下仍能保留下来,而覆层组织中针状特征消失速度较快,420 °C 回火后已经难以观察到,使得两者经相同温度回火后的软化程度存在差异,导致覆层 45Mn2V 钢硬度随回火温度的上升下降幅度更大。

3.3 回火时间对组织的影响

420 °C 回火不同时间后基板的组织如图 5 所示。可以看出,回火 2 h 后基体组织为低碳板条马氏体以

及细小的碳化物,且部分区域尚未出现碳化物的大量析出,表明回火不充分,故此时测得的硬度较高。回火 4 h 和 6 h 后[分别对应图 5(b)和图 3(c)],碳化物大量析出且有所粗化,其产生的强化作用增强,能够与回火过程中的回复软化效果相抵消,故钢的硬度基本未发生变化,回火 8 h 后部分区域马氏体板条合并粗化[图 5(c)],产生块状或条状铁素体,导致钢的硬度显著降低。

图 6 为不同时间回火后覆层的组织。可见,回火时间对其影响较小,经过 2 h 回火已经有大量的碳化物析出,延长至 8 h 后,除碳化物有所粗化外,组织的差异较小,此时硬度的变化也较小[见图 1(b)],这意味着适当延长回火时间不但有利于改善钢的韧塑性,同时也能保持较高的硬度。

对比图 5 和图 6 能够发现,由于覆层 45Mn2V 钢的碳含量(0.45%)高于 Q345 钢板(0.16%),促进了回火过程中碳原子的偏聚以及碳化物的析出,导致碳化物大量出现的时间早于 Q345 钢板,且其含量也大幅增加,使得覆层在较大的回火时间范围内具有高的硬度。

由回火温度和时间对组织的影响结果可以看出,

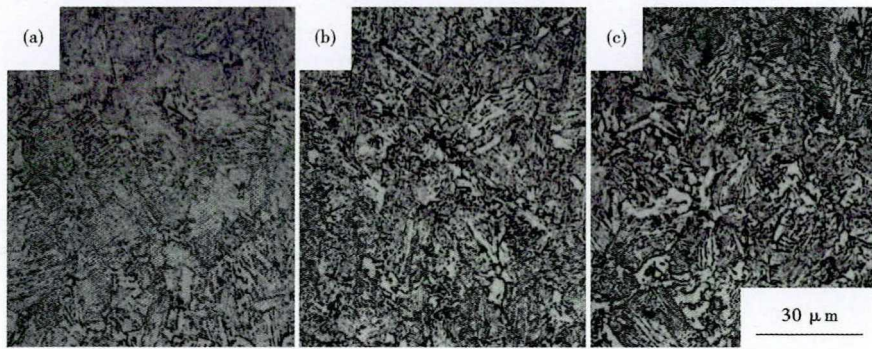


图 5 860 °C 淬火 + 420 °C 回火 (a) 2 h; (b) 4 h; (c) 8 h 后基板 Q345 钢的组织

Fig. 5 Microstructure of steel Q345 base plate quenched time at 860 °C + tempered at 420 °C for 2 h (a), 4 h (b) and 8 h (c)

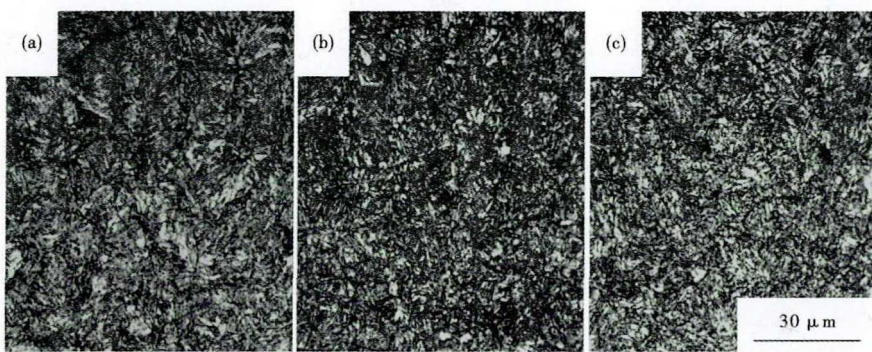


图 6 860 °C 淬火 + 420 °C 回火 (a) 2 h; (b) 4 h; (c) 8 h 后覆层 45Mn2V 钢的组织

Fig. 6 Microstructure of steel 45Mn2V cladding plate quenched time at 860 °C + tempered at 420 °C for 2 h (a), 4 h (b) and 8 h (c)

随回火温度的升高 45Mn2V 覆层组织中的碳化物显著粗化, 导致其硬度快速降低; 与之相比, 延长回火时间对其组织的影响较小, 硬度也基本未发生变化。另一方面, 随回火温度的上升和保温时间的延长, Q345 钢基板的组织均逐渐粗化, 两者对其硬度的影响基本相同。因此, 为充分发挥复合锯片钢的优势, 其回火工艺的制定原则应是在较低温度下进行长时间的回火, 而回火时间的制定应保证基板能够产生较强的回复软化作用, 以便在获得高硬度覆层的同时也能保证基板具有高的塑性。

对于本研究而言, 采用 860 °C 保温 5 min 油淬, 然后在 360 ~ 390 °C 回火 6 h 的工艺能够获得最佳的性能, 此时覆层的 HV 硬度值约为 330, 而基板的 HV 硬度值仅为 195 左右, 使得复合板不但具有高的耐磨性, 而且也具备更高的韧性和塑性。

4 结论

(1) 回火温度升高, 45Mn2V 钢覆层与 Q345 钢基板的硬度均逐渐减小, 但 45Mn2V 钢硬度下降的趋势更为明显, Q345 钢在 360 ~ 450 °C 内硬度变化较小,

只有在回火温度达到 480 °C 时才出现较明显的降低。

(2) 板条马氏体在回火过程中逐渐粗化, 但其基本特征在较高的温度下仍能保留下来, 回复过程相对较缓, 而针状马氏体退化速度较快, 针状特征在 400 °C 回火后已经难以观察到, 导致覆层 45Mn2V 钢回火后硬度下降幅度更大。

(3) 与 45Mn2V 钢覆层相比, Q345 钢基板碳含量较低, 回火过程中碳化物的析出量较少, 强化作用较弱, 经过较短时间回火后钢的硬度有明显的降低。为保证基板获得高的塑性, 复合板的回火时间应保证基板能够产生较充分的回火软化。采用 860 °C 保温 5 min 油淬, 然后 360 ~ 390 °C 回火 6 h 的工艺, 复合板能够获得最佳的性能。

河北省钢铁联合研究基金 (E2019105101), 唐山市冶金锯片技术创新团队建设项目 (18130245a), 唐山市科技计划项目 (18130218a) 资助

参考文献

- [1] 王翌硕. 不锈钢材料锯切加工切削规律的研究 [D]. 唐山: 河北联合大学, 2015.
- [2] 史晓亮, 段隆臣, 陈小松, 等. 分层式金刚石锯片刀头的结构优化设计 [J]. 金刚石与磨料磨具工程, 2001, 21(4): 15-16.
- [3] 王书琴. 金刚石锯片结合剂的改进 [J]. 金刚石与磨料磨具工程, 1995, 15(4): 7-9.
- [4] 张百年, 张进生, 鞠军伟, 等. 圆锯片淬火过程中的应力分析及工艺参数优化 [J]. 金刚石与磨料磨具工程, 2018, 38(3): 36-41.
- [5] 苑少强, 郭继富, 韩会杰, 等. 回火温度对冶金锯片用钢 8CrV 组织及性能的影响 [J]. 热加工工艺, 2009, 38(18): 110-112.
- [6] 王 蒲, 石增敏, 张允题, 等. 22SiMn2TiB 钢淬火与回火过程中的组织演变 [J]. 钢铁研究学报, 2016, 28(2): 45-50.
- [7] 卢 斌, 章四琪, 梁 英, 等. 淬火工艺对双金属带锯条组织及力学性能的影响 [J]. 中南工业大学学报, 1999, 30(1): 67-70.
- [8] 邓汉忠, 孟祥峰. 退火温度对 nm 360 耐磨钢堆焊层组织与性能的影响 [J]. 机械工程材料, 2015, 39(3): 50-54.
- [9] 刘宗昌, 任慧平, 宋义全. 金属固态相变教程 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2003: 157.

杨跃辉 (1980-), 男, 博士 (2010 年北京科技大学), 副教授, 2003 年华北理工大学 (本科) 毕业, 金属强韧化机制研究及组织调控技术研究。E-mail: hbyangyuehui@163.com.

收稿日期: 2019-6-14