

高温回火工艺对采煤机重载齿轮组织的影响

薛雨

常熟天地煤机装备有限公司 江苏常熟 215500

摘要: 为了研究高温回火工艺对采煤机重载齿轮组织的影响,通过试验方式得到齿轮高温回火后微观组织的体积分数变化情况,并研究了高温回火后残留奥氏体含量随工艺温度和工艺次数的变化规律。结果表明:高温回火次数增加,表层及过渡层残留奥氏体含量下降,且会降低表面碳浓度;高温回火温度增加,晶界析出碳化物,对性能产生不利影响。最终选用650℃回火2次的方法作为渗碳后回火工艺。

关键词: 高温回火; 18Cr2Ni4WA钢; 残留奥氏体

The effect of high temperature tempering process on the microstructure of heavy-duty gears of coal mining machine

XUE Yu

Changshu Tiandi Coal Mining Equipment Co., Ltd., Changshu 215500, Jiangsu, china

Abstract: In order to study the influence of high-temperature tempering process on the microstructure of heavy-duty gears in coal mining machines, the volume fraction changes of the microstructure after high-temperature tempering were obtained through experiments. The variation rule of retained austenite content with process temperature and process times after high-temperature tempering was also studied. The results show that with the increase of high-temperature tempering times, the content of retained austenite in the surface layer and transition layer decreases, and the surface carbon concentration also decreases. With the increase of high-temperature tempering temperature, carbides precipitate at grain boundaries, which has a negative impact on performance. Finally, a method of tempering at 650℃ for 2 times is selected as the tempering process after carburizing.

Keywords: high-temperature tempering; 18Cr2Ni4WA steel; retained austenite

1 序言

重型煤矿机械所用齿轮的特点是运转速度不高,一般的线速度 $<35\text{m/s}$,但传递的载荷很大。当前,采煤机重载齿轮的材料选用的是18Cr2Ni4W合金钢,属于高合金渗碳钢,其淬透性好,综合性能强,特别适

用于重载齿轮和截面大、性能要求高的零件。

研究发现,适量的残留奥氏体量对于使用性能是有益的,国内外针对这个问题做了大量研究。研究表明,残留奥氏体存在于高硬度的马氏体之间,可通过塑性变形缓和应力集中,增加接触面积,降

作者简介:薛雨,助理工程师,主要从事金属材料及热处理工艺研究, E-mail: 625346162@qq.com。

低实际接触应力。残留奥氏体在应力作用下，还可以发生形变而诱发马氏体转变，使渗碳层得到强化^[1]。目前，针对渗碳处理工艺对组织性能改善的研究，国内外学者对其做了不少研究。唐富生^[2]通过对齿轮材料特性分析，进行18Cr2Ni4WA钢热处理工艺优化，最终确定了零件的主要工艺流程。王贤良等^[3]对18Cr2Ni4WA钢渗碳淬火后零件表面出现磨削裂纹的问题进行研究，问题产生原因是高温回火工艺不充分，导致残留奥氏体数量偏多，最终导致零件早期失效，改进工艺后，增加一次高温回火，减少残留奥氏体量，解决了零件报废的问题。姚彦

军等^[4]通过不同锻造工艺的对比，最终确定了细化晶粒的方案，从而获得18Cr2Ni4WA钢锻件的最佳组织与性能。施友方^[5]研究了长时间680℃高温回火及增加回火次数对18Cr2Ni4WA钢显微组织的影响，得出了多次回火可以有效减少残留奥氏体的数量的结论。

通过上述研究，只对同一温度的高温回火工艺进行了结果查看，暂未研究不同温度和次数的回火工艺对零件显微组织的影响。因此，通过本文回火工艺研究可以对采煤机18Cr2Ni4WA钢齿轮的生产工艺开发提供新思路。

表1 18Cr2Ni4WA钢化学成分（质量分数）（%）

元素	C	Cr	Ni	W	Mn	Si	Fe
标准值	0.13~0.19	1.35~1.65	4.00~4.50	0.80~1.20	0.30~0.60	0.17~0.37	余量
实测值	0.16	1.39	4.13	0.89	0.36	0.24	余量

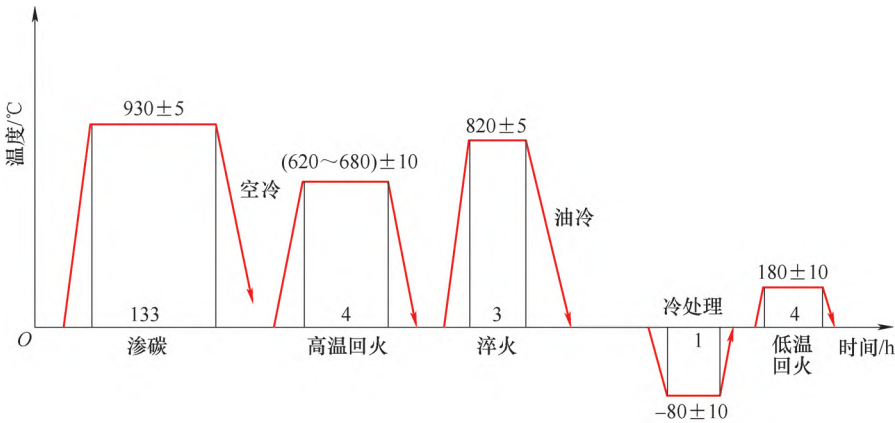


图1 热处理工艺流程

2 热处理工艺路线

试验用材料为18Cr2Ni4WA钢，化学成分见表1。该齿轮的热处理工艺流程如图1所示。

本文主要针对热处理工艺流程中的高温回火，通过调整高温回火温度（620℃、650℃、680℃）和次数（1~3次）来探究其对齿轮组织的影响规律。

渗碳后齿轮表层存在高碳，从表面至心部碳浓度逐渐降低，可以使齿轮表面具有高的硬度和耐磨性，而心部低碳可以有较好的塑韧性，从而在使用过程中耐冲击。渗碳后表面高碳会在冷却中形成大量的残留奥氏体，如不进行处理，那么大量的残留

奥氏体在后续淬火过程中会造成材料表面硬度、强度不足，抗疲劳强度下降，达不到零件技术要求，同时在工件使用过程中残留奥氏体受热或在受力应变的作用下还会发生分解，导致形变及应变的产生^[6-8]。而高温回火可以促进残留奥氏体转变为马氏体并进一步转变成回火索氏体，使零件渗碳回火后可以进一步车削加工。淬火时获得马氏体、碳化物和残留奥氏体，因高碳马氏体转变温度低于淬火时的油温，所以马氏体不能完全转变，对零件做进一步的深冷处理，可以促进马氏体进一步转化，同时减少了残留奥氏体，最后再做一道低温去应力处理。

3 试验条件

3.1 试验设备及样品

高温回火采用易普森回火炉，控制系统选用KTP700/DP，可根据工艺要求设置程序段温度以及时间设定，同时设备带有氮气保护装置。

渗碳金相试样采用 $\phi 40\text{mm} \times 50\text{mm}$ 规格，按GB/T 13298—1991《金相显微组织检验方法》制样，侵蚀剂均采用实验室配置4%硝酸乙醇溶液。

3.2 试验方案

18Cr2Ni4WA属于低碳高合金钢，其奥氏体等温转变图（C曲线）曲线右移，提高了此材料的淬透性，渗碳后在空气中冷却过程中，渗层中会保留较多的残留奥氏体，降低了其硬度。稳定的残留奥氏体冷却时只转变马氏体，转变温度高就变成回火马氏体，而残留奥氏体在高温时一部分不稳定回火成索氏体，温度过高直接又转变成为奥氏体，在冷却过程中稳定性好的又转变为马氏体或者保留下来。因此，合理选择高温回火温度及次数对工艺设定起到关键的作用。

对同炉渗碳试样采用620℃、650℃和680℃的温度进行回火，并分别检测这3个温度一次、二次和三次回火后的显微组织。

4 结果与讨论

图2所示为渗碳工艺试验下18Cr2Ni4WA钢圆形试样外圈渗层检测。从图2可明显观察到，圆形试样外圈存在较厚的渗层，且渗层呈均匀分布。

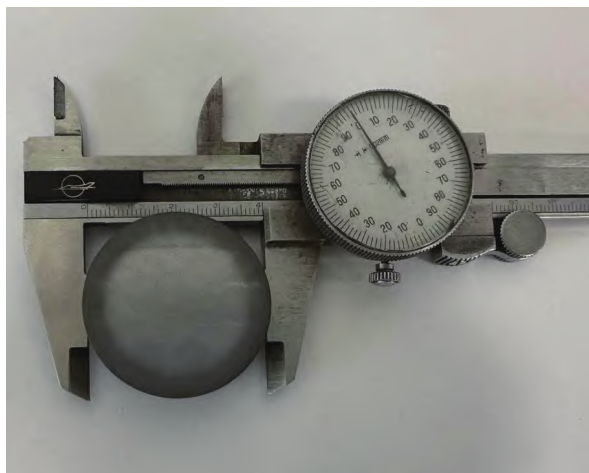
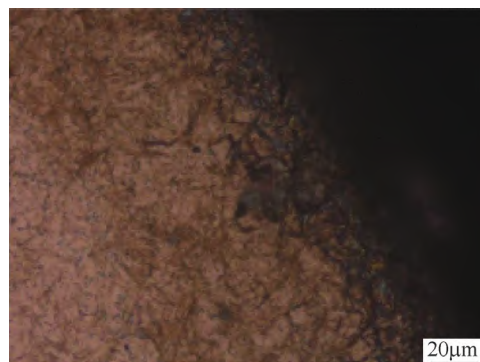
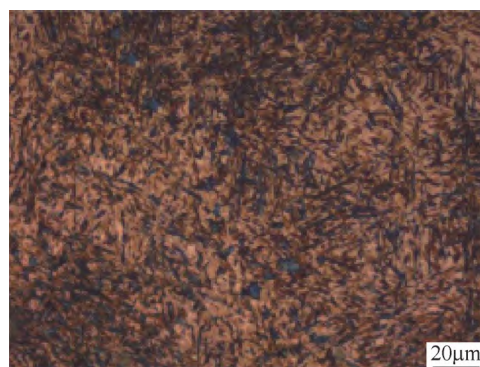


图2 圆形试样外圈渗层检测

图3所示为在蔡司光学显微镜下检测的显微组织。从图3可看出，试样表层组织是针状马氏体及残



a) 表层组织



b) 心部组织

图3 渗碳后显微组织

留奥氏体，心部为低碳马氏体。

图4所示分别为620℃、650℃和680℃温度下3次渗碳回火后的显微组织。从图4可看出，一次回火后，表层及过渡层残留奥氏体量较多，二次高温回火后，残留奥氏体含量大大减少，三次高温回火后与二次区别不大，说明了高温回火次数增加，则残留奥氏体含量减少，并且残留奥氏体主要分布在渗碳层中，这是因为表面碳含量高达0.7%以上，当碳含量高于0.5%时，那么马氏体开始转变温度下降，所以冷却转变时，表层及过渡层的奥氏体转变为马氏体较为困难，最终在表面形成了残留奥氏体。

目前，常用的Steven和Haynes公式，可以有效地说明碳含量变化对 M_s 温度的影响，其表达式为

$$M_s = 561 - 474C - 33Mn - 17Ni - 17Cr - 21Mo$$

同一回火温度二次回火后表面残留奥氏体含量相比一次高温回火明显减少，三次回火后残留奥氏体含量降低较少，变化较小，而三次回火后表面碳含量明显降低。

随着回火温度的升高，可以观察到晶界析出较粗的碳化物，这也会对性能产生不利影响。

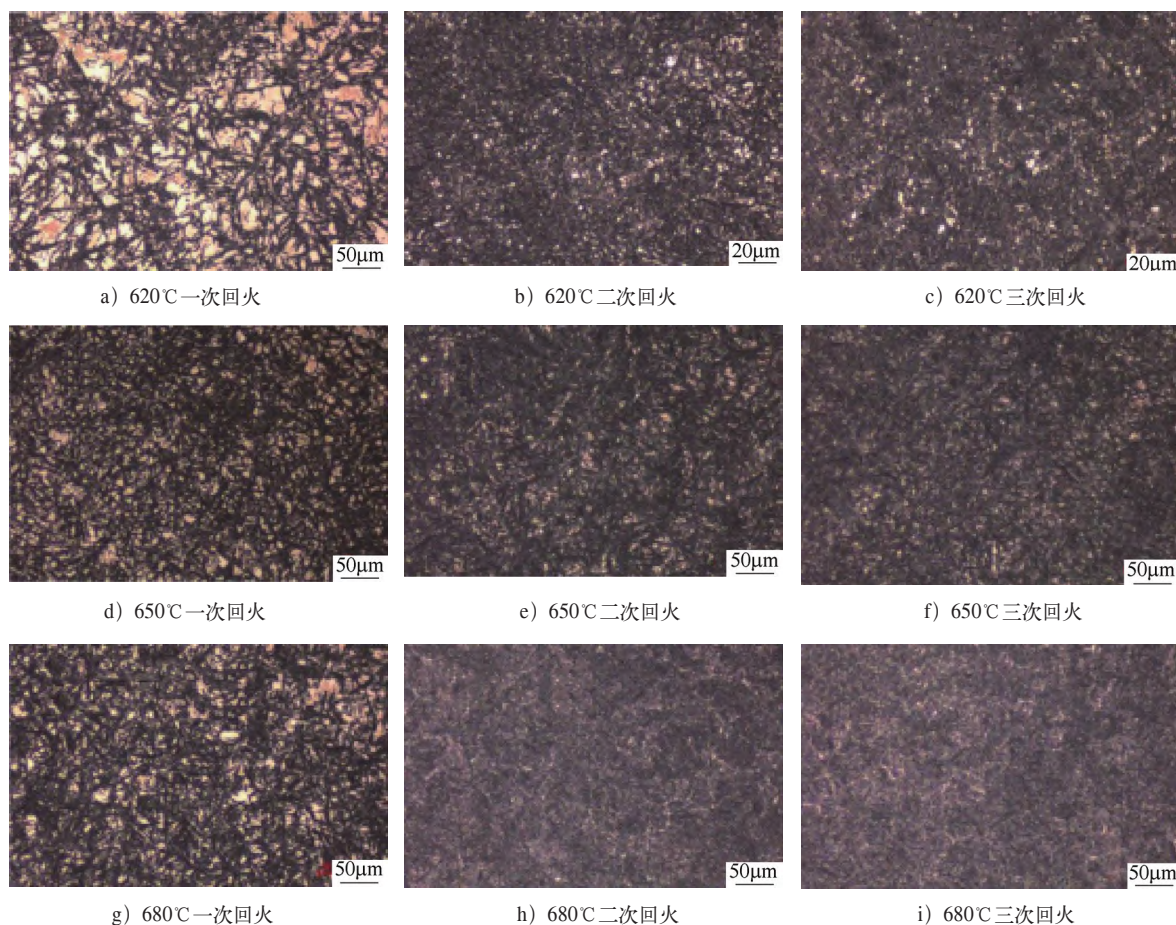


图4 渗碳回火后显微组织

5 结束语

1) 渗碳后, 同一温度下高温回火次数增多, 残留奥氏体含量最终减少至16%内, 一次高温回火后残留奥氏体含量较多, 二次高温回火较一次回火残留奥氏体含量明显减少, 而三次高温回火后残留奥氏体含量较二次回火变化不大, 但是表面碳含量会明显降低, 多次高温回火, 虽然带有氮气保护, 但不可避免地还会存在接触空气的机会, 使工件表面产生氧化脱碳, 而表面碳含量与齿轮使用性能有关。因此, 最终选择二次高温回火作为渗碳后回火工艺。

2) 较低的回火温度无法有效使残留奥氏体转变, 而较高的回火温度会在晶界析出较粗的碳化物, 这种碳化物会降低使用性能, 因此最终选用650℃作为渗碳后的回火温度。

参考文献:

[1] 刘俊祥, 王京晖, 李俏, 等. 18CrNiMo7-6和20CrNi2Mo钢高温渗碳工艺的研究与应用[J]. 金属热处理, 2013 (10): 72-75.

[2] 唐富生. 18Cr2Ni4WA钢齿轮的热处理工艺制定[J]. 金属加工 (热加工), 2017 (3): 18-20.

[3] 王贤良, 朱瑞芳. 18Cr2Ni4WA钢渗碳件高温回火工艺的改进[J]. 重型机械, 1997 (6): 56-57.

[4] 姚彦军, 昌继荣, 胡伟贤. 18Cr2Ni4WA材料的晶粒度及其对组织性能的影响研究[J]. 锻造与冲压, 2022 (3): 49-51.

[5] 施友方. 18Cr2Ni4W钢的高温回火对渗碳淬火组织变化的影响[J]. 理化检验 (物理分册), 1978 (4): 2, 1.

[6] 薄鑫涛, 胡月娣. 铬镍渗碳钢的残留奥氏体[J]. 热处理, 1999 (4): 13-17.

[7] 刘向艳, 崔鸿, 李刚, 等. 回火温度对渗碳钢18Cr2Ni4WA组织和硬度的影响[J]. 特殊钢, 2019, 40 (5): 57-59.

[8] 马茂元, 常铁军. 18Cr2Ni4WA钢渗碳层中残留奥氏体在高温回火中的转变机制[J]. 热加工工艺, 1986 (2): 50-56.