

## 回火温度对渗碳钢 18Cr2Ni4WA 组织和硬度的影响

刘向艳<sup>1</sup> 崔 鸿<sup>1</sup> 李 刚<sup>1</sup> 董树权<sup>1</sup> 杨建华<sup>2</sup> 穆立峰<sup>3</sup> 刘桂江<sup>4</sup>  
(抚顺特殊钢股份有限公司 1 销售公司; 2 物流公司; 3 连轧厂; 4 总工办, 抚顺 113001)

**摘 要** 为满足用户加工 HBW 硬度值 ≤ 269 的需要, 降低 18Cr2Ni4WA 钢 Φ60 mm 材硬度, 利用连轧厂实际辊底式退火炉进行了 630 ~ 750 °C 5 h 炉冷至 500 °C 空冷的回火试验, 并借助金相显微镜对 18Cr2Ni4WA 钢不同回火温度下的组织进行了分析, 以确定最佳的回火温度。结果表明, 18Cr2Ni4WA 钢随回火温度的升高硬度先下降后上升, 当温度为 670 °C 时, 钢材平均 HBW 硬度值最低 (HBW238 左右), 回火组织为均匀的回火珠光体组织。

**关键词** 回火温度 金相组织 硬度 18Cr2Ni4WA 钢

## Effect of Tempering Temperature on Microstructure and Hardness of 18Cr2Ni4WA Carburized Steel

Liu Xiangyan<sup>1</sup>, Cui Hong<sup>1</sup>, Li Gang<sup>1</sup>, Dong Shuquan<sup>1</sup>, Yang Jianhua<sup>2</sup>, Mu Lifeng<sup>3</sup> and Liu Guijiang<sup>4</sup>  
(1 Sales Company; 2 Logistics company; 3 Continuous Rolling Plant; 4 Technical Department of Fushun Special Steel Co Ltd, Fushun 113001)

**Abstract** In order to meet the user requirement to decrease the hardness of 18Cr2Ni4WA steel Φ60 mm product i. e. HBW hardness value ≤ 269, the tempering test at 630 ~ 750 °C for 5 h, furnace cooling to 500 °C, air cooling have been tested by bottom roller annealing furnace and by the help of metalloscope to analyze annealing shape of 18Cr2Ni4WA steel with different temperature. The result show that 18Cr2Ni4WA tempering hardness is connected with temperature, with the increase of annealing temperature, the hardness decreases first and then increases. When tempering temperature is 670 °C, the HBW average hardness of steel products is the lowest (about HBW238) and the structure is uniform spheroidized pearlite.

**Material Index** Tempering Temperature, Metallographic Structure, Hardness, 18Cr2Ni4WA Steel

由于 18Cr2Ni4WA 钢中含有 Cr、Ni、W, 这些元素都是提高淬透性的, 且合金含量高, 在这几种元素的复合作用下, 具有极好的淬透性, 为良好的曲轮用钢。它在空气中即可得到贝氏体和马氏体, 这就需要在轧制成材后必须进行高温回火, 为渗碳前作好组织准备, 否则由于表面硬度、心部韧性和塑性将影响后续的渗碳工序, 不能进行机加工<sup>[1]</sup>, 可见热处理工艺在曲轮制造过程中的重要性。本文结合抚顺特钢连轧厂 18Cr2Ni4WA 钢热轧材硬度偏高, 原高温回火温度 710 °C, HBW 硬度值可达到 280 ~ 359, 不能满足用户要求的情况, 由此进行了一系列回火温度对组织及硬度影响的试验和分析, 找到了该钢种可获得最佳回火组织和最小回火硬度的回火温度, 保证了用户后续机加工处理的要求。

### 1 试验材料及方法

#### 1.1 试验材料

试验用 18Cr2Ni4WA 钢为抚顺特钢连轧厂生产的热轧棒材, 铸坯为 240 mm × 240 mm 方坯, 其生产工艺为: 铸坯验收-加热-轧制-切断-冷却-回火-矫直-精整-入库, 热轧棒材直径为 60 mm, 试验钢化学成分见表 1。

#### 1.2 试验方法

将直径为 Φ60 mm 的 18Cr2Ni4WA 钢棒切割成 1 m 的试样若干, 利用连轧厂辊底式退火炉随炉生产, 根据 18Cr2Ni4WA 钢的 Ac<sub>1</sub> 温度为 721 °C 左右, 但成品钢的成分是在一个范围内波动的, 由于成分的偏析没有充分均匀化, 实际的 Ac<sub>1</sub> 温度很可能低

表 1 试验用 18Cr2Ni4WA 钢化学成分/%  
Table 1 Chemical composition of test 18Cr2Ni4WA steel/%

项目	C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	W	V	Mo	Al	Ti	Cu
实测值	0.152	0.41	0.27	0.002	0.016	4.24	1.47	0.93	0.01	0.05	0.02	0.02	0.08
标准值	0.13 ~ 0.19	0.30 ~ 0.60	0.17 ~ 0.37	-	-	4.00 ~ 4.50	1.35 ~ 1.65	0.80 ~ 1.20	-	-	-	-	-

于 680 °C<sup>[2]</sup>, 所以设定试验温度, 将试验钢分批分别加热到 630、650、670、700、730、750 °C, 保温时间 5.5 h, 按辊速度 5.5 m/h 炉冷至 500 °C, 出炉空冷。回火后切割成若干厚度为 20 mm 的试样, 采用 THBS-3000DB 布氏硬度计对退火前、后试样进行硬度检测, 采用 DIM ZEISS 型号金相显微镜对试样进行金相组织观察。

## 2 试验结果与讨论

### 2.1 回火温度对硬度的影响

18Cr2Ni4WA 钢轧后组织为贝氏体、珠光体以及 Cr、Ni、W 的碳化物的混合组织, 硬度达到 366HBW, 终轧温度在 950 ~ 1000 °C, 轧后空冷后回火。如图 1 所示为不同回火温度下的硬度检测结果, 随着回火温度的升高, 当达到 18Cr2Ni4WA 钢的略低于  $A_{c1}$  温度以上时, 渗碳体逐渐溶入到奥氏体中, 硬度呈先下降后上升的趋势, 到达 670 °C 出现硬度最低点, 是碳化物溶解到奥氏体中形成球化组织的最佳溶解温度, 但当温度升高到 700 °C 后, 硬度值逐渐升高。试样表面边界、1/2 处和中心处硬度存在不均匀性, 这是由于试样表面边界、1/2 处和中心处的碳化物溶解到奥氏体中形成球化组织的程度不同。基于连轧厂 18Cr2Ni4WA 钢的用户使用反馈, 这样程度的差异不会影响使用性能。同时, 从图 1 可以看出, 当退火温度为 670 °C 时, 试样的表面边界、1/2 处和中心处 HBW 硬度值均分别为 248、235、227, 均可以满足用户的 HBW 硬度值 ( $\leq 269$ ) 特殊要求, 因此在回火温度的工艺制定上, 选择 670 °C 为最佳回火温度。

### 2.2 回火温度对金相组织的影响

根据设定的不同回火温度, 分析了回火前金相组织和 630、650、670、700、730 °C 曲线下的回火组织金相组织, 当加热温度为 630 时, 原晶界仍较清晰, 金相组织为贝氏体 + 析出碳化物 + 铁素体, 随回火

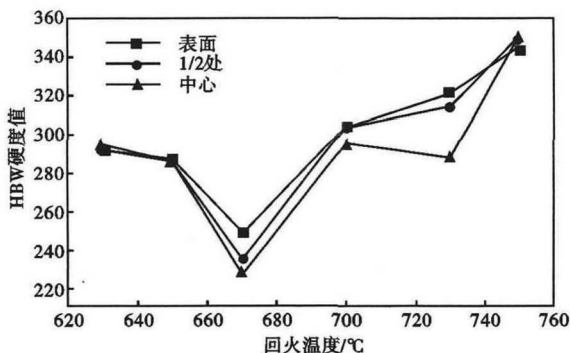


图 1 18Cr2Ni4WA 钢回火温度对硬度的影响

Fig. 1 Effect of tempering temperature on hardness of steel 18Cr2Ni4WA

表 2 18Cr2Ni4WA 钢回火机械性能

Table 2 Mechanical properties of tempered steel 18Cr2Ni4WA

项目	$R_{el}/\text{MPa}$	$R_m/\text{MPa}$	$A/\%$	$Z/\%$	$A_{KU2}/\text{J}$
实测值	1 051 ~	1 383 ~	16.0 ~	59.0 ~	105.6 ~
	1 038	1 365	17.0	62.0	113.8
标准值	$\geq 835$	$\geq 1 180$	$\geq 10$	$\geq 45$	$\geq 78$

温度的逐渐升高, 逐渐析出的碳化物覆盖了原有晶界, 贝氏体铁素体的边界逐渐变得模糊, 但仍保持着原晶界的取向, 基体组织回复、再结晶程度逐渐升高, 位错密度减小, 有利于贝氏体和残余奥氏体的充分分解<sup>[3-5]</sup>, 同时发生了聚集球化转变, 加热到 670 °C 时, 转化完全, 金相组织为铁素体 + 粒状碳化物有机结合的整合组织, 碳化物以球(粒)状均匀存在于铁素体基体上, 形成了回火珠光体组织。当采用超出 670 °C 加热时, 金相组织逐渐长大的同时出现了片状回火珠光体, 组织均匀性降低, 组织性能明显下降。文献[6]指出, 球(粒)状珠光体较片状珠光体硬度低, 强度低, 塑性较好, 随着回火温度的升高, 贝氏体消失到片状回火珠光体的出现, 是导致硬度先下降后上升的主要原因。670 °C 曲线回火后球状珠光体, 此时硬度最低。相比较 670 °C 曲线下的回火水平最好。

### 2.3 退火后钢材的力学性能

表 2 显示回火温度为 670 °C、保温时间为 5.5 h、辊速 5.5 m/h 的生产工艺下 18Cr2Ni4WA 钢的回火力学性能, 结果显示钢材性能指标满足标准 GB/T3077 要求。

### 2.4 结果分析

钢的回火是一个由淬火马氏体 + 残留奥氏体组织向铁素体和碳化物转变的扩散相变过程。碳化物的析出和长大与回火时间、温度相关, 而回火组织直接决定了钢的力学性能<sup>[7]</sup>。在回火操作中, 当回火硬度偏高时首先想到的是回火温度不够<sup>[8]</sup>, 一般来说这种想法是对的, 但对于 18Cr2Ni4W 钢,  $A_{c1}$  固相线很低, 过低或过高的加热温度均不能形成良好的组织, 如果加热温度过低, 碳的脱溶量越小, 碳原子不能完全从贝氏体中大量迅速脱溶, 同时原组织中的贝氏体也不能完全溶解<sup>[7]</sup>。回火温度过高也可能产生肥厚的二次碳化物网, 其晶界碳化物粗肥, 晶内组织球化不良, 甚至不球化, 或者形成片状珠光体和球粒状珠光体的混合体<sup>[9]</sup>。这也会对组织性能产生不利影响。

本试验中由于 18Cr2Ni4W 钢的  $A_{c1}$  为 721 °C, 当采用  $A_{c1}$  温度及以下温度 (630 ~ 700 °C) 进行加

热保温时,此加热温度使得硬度先下降后上升,670 ℃ 出现了硬度的最低点,这也证明了 18Cr2Ni4WA 钢实际的  $Ac_1$  温度低于 680 ℃ 的结论,回火温度在 670 ℃ 以下回火温度显然过低,最终热处理结束的组织为贝氏体 + 球状珠光体,存在大量未溶解的贝氏体,球状珠光体很少,且分布不均匀,导致退火硬度的偏高,不能满足  $\leq 269$  HBW 的要求。当加热温度为 670 ℃ 时,球化效果较好,全部为球(粒)状珠光体组织,珠光体组织均匀,弥散分布,退火平均 HBW 硬度值达到 236。而当加热温度为 700 ℃ 时,组织中出现了片状珠光体,而且局部组织还聚集成了团状,组织性能严重恶化,退火 HBW 硬度值上升到 301,这是回火温度过高造成的。这种变化来自于回火组织的改变,取决于组织的球化珠光体奥氏体化的程度,相对于相同成分的钢,回火状态下,粒状(或球状)珠光体比片状珠光体具有较小的相界面面积,使系统的总能量降低,球状颗粒的碳化

物对位错运动的阻力也小,铁素体呈现较连续的分布状态,由此形成粒状珠光体比片状珠光体的硬度、强度较低,塑性较高<sup>[6]</sup>。同时验证了本实验所得的硬度测试结果与这一结论相符,从硬度结果及金相组织综合比较表明,采用 670 ℃ 曲线下的回火工艺所得的球化效果最好,硬度最低。

### 3 结论

回火温度对 18Cr2Ni4WA 钢材的硬度有直接影响,随着回火温度的提高,硬度先下降后上升,出现了硬度的最低点。

过高或过低的回火温度都不利于回火珠光体组织的形成,因此需要选择合理的回火温度。

对于 18Cr2Ni4WA 钢材,其回火加热温度以 670 ℃ 为宜,所得到的回火组织为均匀分布的球状珠光体组织,效果良好,回火 HBW 硬度值达到 236,满足用户的使用要求。

### 参考文献

- [1]董若侃.合金渗碳钢 18Cr2Ni4W 的热处理工艺[J].煤矿机械,2005(7):101-102.
- [2]张连宝,黄建斌,高东海.18Cr2Ni4WA 钢热处理工艺的改进[J].研究与应用,2005(1):64-66.
- [3]薄鑫涛,胡月娣.铬镍渗碳钢的残余奥氏体[J].热处理,1999(4):13-17.
- [4]何江,代建清,孙新军,等.Nb 对高碳钢高温回火组织与性能的影响[J].热加工工艺,2012,41(20):161-164.
- [5]雷运涛.时效对 18Cr2Ni4WA 钢微观组织的影响[J].材料开发与应用,1997,12(1):12-16.
- [6]刘宗昌.珠光体转变与退火[M].北京:化学工业出版社,2007:19.
- [7]张占平,齐育红.55NiCrMoV7 钢的回火组织与性能[J].金属热

处理,2004,29(3):27-31.

- [8]田嘉,金付鑫.对 18Cr2Ni4W 钢高温回火后硬度高难加工的分析及解决办法[J].热处理技术与装备,2008,30(3):80-81.
- [9]姚艳书,唐殿福.工具钢及其热处理[M].沈阳:辽宁科学技术出版社,2009:379.

刘向艳(1985-),女,硕士(2011年内蒙古工业大学),工程师,2008年内蒙古工业大学(本科)毕业,材料成型和热处理。E-mail:315000793@qq.com

收稿日期:2019-04-11

## 下 期 要 目

- |  |      |
|--|------|
| 15CrMoG 钢棒材表面缺陷机理分析和工艺改进 .....                     | 李亚强等 |
| 00Cr26Mo4 超级铁素体不锈钢的热变形行为 .....                     | 王天翔等 |
| 取向硅钢第二相的研究进展 .....                                 | 陈 懿等 |
| 稀土在轴承钢生产中的应用 .....                                 | 李 虹等 |
| 82B 钢的微合金化-相变控制与生产实践 .....                         | 韦轶华等 |
| 电弧炉返回法冶炼 Gr13 型不锈钢工艺优化实践 .....                     | 蒋世川等 |
| 控轧控冷工艺对抗 H <sub>2</sub> S 腐蚀 X70 管线钢组织和性能的影响 ..... | 叶晓瑜等 |
| 深冷处理对 W6Mo5Cr4V2 高速钢性能的影响 .....                    | 艾峥嵘等 |
| 固溶处理对双相不锈钢 S32003 组织的影响 .....                      | 张寿禄  |