

正火冷却速度对 18CrNiMo7-6 齿轮钢组织和硬度的影响

刘金鑫 冯桂萍 程丽杰 王海江
(抚顺特殊钢股份有限公司技术中心, 抚顺 113001)

摘要 18CrNiMo7-6 钢(%) : 0.17C, 0.59Mn, 0.24Si, 1.56Ni, 1.71Cr, 0.28Mo) 为表面硬化齿轮钢要求正火后钢的组织为铁素体 + 珠光体和较低的 HB 硬度值。18CrNiMo7-6 钢连续冷却后易得到高硬度的贝氏体组织。通过实验室高温箱式电阻炉试验表明, 870 ~ 900 °C 1 h - 640 ~ 660 °C 4 h 炉冷至 300 °C, 空冷, 该钢的组织为铁素体 + 珠光体 + 贝氏体组织, HB 硬度值为 340 ~ 350; 而 870 ~ 900 °C 1 h, 30 °C/h 至 640 ~ 660 °C, 炉冷至 300 °C, 空冷, 该钢的组织为铁素体 + 珠光体, HB 硬度值为 190 ~ 210。生产试验表明, 30 t Φ 180 mm 18CrNiMo7-6 钢锻材经 900 °C 10 h, \leq 30 °C/h 至 650 °C 25 h, 30 °C/h 至 500 °C 空冷, 可获得铁素体 + 珠光体组织。

关键词 18CrNiMo7-6 齿轮钢 正火 冷却速度 组织 硬度

Effect of Normalized Cooling Rate on Structure and Hardness of Gear Steel 18CrNiMo7-6

Liu Jinxin, Feng Guiping, Cheng Lijie and Wang Haijiang
(Technology Center, Fushun Special Steel Co Ltd, Fushun 113001)

Abstract Tested steel 18CrNiMo7-6 (% : 0.17C, 0.59Mn, 0.24Si, 1.56Ni, 1.71Cr, 0.28Mo) is a case-hardening steel for gear, it is required that the structure of normalized steel is ferrite + pearlite and has lower HB hardness value. The higher hardness bainite structure is easily obtained in steel 18CrNiMo7-6 after continuous cooling. The tested results by high temperature chamber electric resistance furnace in laboratory show that with 870 ~ 900 °C 1 h - 640 ~ 660 °C 4 h furnace cooling to 300 °C air cooling the structure of steel is ferrite + pearlite + bainite with HB hardness value 340 ~ 350, while with 870 ~ 900 °C 1 h, 30 °C/h cooling to 640 ~ 660 °C furnace cooling to 300 °C air cooling the structure of steel is ferrite + pearlite with HB hardness value 190 ~ 210. The commercial production test results show that with 900 °C 10 h, \leq 30 °C/h cooling to 650 °C 25 h, then 30 °C/h cooling to 500 °C air cooling for 30 t Φ 180 mm finished forged products the structure of steel 18CrNiMo7-6 has ferrite + pearlite structure.

Material Index Gear Steel 18CrNiMo7-6, Normalizing, Cooling Rate, Structure, Hardness

18CrNiMo7-6 钢是一种表面硬化钢, 主要用于生产重型齿轮, 特别是重型卡车和沿海机械传动齿轮, 当前也用于新的电力机车传动系统齿轮^[1-2]。具有高强度、高韧性和高淬透性等优点, 广泛应用于矿山、运输、机车牵引、起重和风电等工业领域^[3]。

近几年, 18CrNiMo7-6 钢走向国产化, 现已在抚顺特殊钢股份有限公司批量生产。18CrNiMo7-6 钢连续冷却后极易得到贝氏体(B)组织, 由于贝氏体的存在硬度很高, 不利于切削加工和渗碳、淬火处理。因而部分用户要求钢材退火后显微组织为铁素体(F) + 珠光体(P)。

本试验结合生产实际, 对 18CrNiMo7-6 钢的热处理试验后的显微组织进行研究, 为钢材退火后得到铁素体 + 珠光体组织提供依据, 根据试验结果制定出实际生产过程中的热处理曲线, 获得铁素体 + 珠光体组织。

1 试验材料和方法

试验材料采用抚顺特殊钢生产的 18CrNiMo7-6 钢, 生产工艺流程为: UHP EAF + LF + VD + 模注 \rightarrow 2000t 快锻开坯 \rightarrow 1000t 精锻成材, 钢材规格为 Φ 180 mm。

为获得 F + P 组织, 依照 18CrNiMo7-6 钢连续冷却转变曲线, 首先进行正火处理消除原始组织, 18CrNiMo7-6 钢 Ac_3 温度约 830 °C, 正火时, 钢中 Ni 主要溶于奥氏体中, 它将抑制先共析相-铁素体的析出, 从而加大珠光体量并使之细化。C、Mn、Cr、Mo 除固溶外, 还有形成合金碳化物的倾向, 并能促进残余奥氏体向贝氏体的转变, 特别是 Mo 使正火组织中的珠光体向贝氏体的转化最强烈^[4], 因此这几种元素应按标准下限控制, 阻止残余奥氏体向贝氏体转变。

试验材料的化学成分如表 1 所示。样品取自 180

表 1 试验 18CrNiMo7-6 齿轮钢的化学成分 / %

Table 1 Chemical composition of test gear steel 18CrNiMo7-6 / %

C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	Mo	Al	Cu	N
0.165	0.59	0.24	0.006	0.008	1.56	1.71	0.28	0.034	0.15	0.012 9

表 2 实验室箱式热处理炉主要参数

Table 2 Main parameters of chamber heat treatment furnace in laboratory

型号	额定功率/ kW	额定电压/ V	额定温度/ ℃	热电偶 类型	炉温均匀 性/℃	炉腔有效加热 尺寸/mm
SX-10-13	10	380	1 350	S	±10	400 × 200 × 160
SX-12-10	12	380	1 000	K	±10	500 × 300 × 200

表 3 正火工艺对试验 18CrNiMo7-6 齿轮钢组织与 HB 硬度值的影响

Table 3 Effect of normalizing process on structure and HB hardness value of test gear steel 18CrNiMo7-6

样品号	热处理制度	试验结果	HB 值
1	870 ℃ 1 h, 炉冷 (10 h), ≤300 ℃ 空冷	B	340 ~ 350
2	900 ℃ 1 h, 炉冷 (11 h), ≤300 ℃ 空冷	B	340 ~ 350
3	900 ℃ 1 h, 30 ℃/h 660 ℃ 4 h, 炉冷 (6.5 h), ≤300 ℃ 空冷	F + P	190 ~ 210
4	900 ℃ 1 h, 转炉 660 ℃ 4 h, 炉冷 (6.5 h), ≤300 ℃ 空冷	F + P + B	300 ~ 320
5	870 ℃ 1 h, 30 ℃/h 660 ℃ 4 h, 炉冷 (6.5 h), ≤300 ℃ 空冷	F + P	190 ~ 210
6	870 ℃ 1 h, 转炉 660 ℃ 4 h, 炉冷 (6.5 h), ≤300 ℃ 空冷	F + P + B	300 ~ 320
7	900 ℃ 1 h, 30 ℃/h 640 ℃ 4 h, 炉冷 (6 h), ≤300 ℃ 空冷	F + P	190 ~ 210
8	900 ℃ 1 h, 转炉 640 ℃ 4 h, 炉冷 (6 h), ≤300 ℃ 空冷	F + P + B	300 ~ 320

mm 圆钢低倍片,切成楔形样品,样品半径 50 mm,角度 45°。在实验室进行热处理模拟试验,采用高温箱式电加热炉,加热元件为碳硅棒和 0Cr27A17Mo2,热处理炉主要参数见表 2。

在连续冷却曲线中,贝氏体开始转变温度在 600 ℃ 左右,连续冷却时,珠光体转变鼻尖温度约为 660 ℃,由先共析铁素体转变到发生珠光体转变需要约 3 h 孕育期。现场生产过程中曾经按理论计算和分析的结果去指导生产,但结果得到的组织为含贝氏体或非平衡组织,说明理论和实际生产存在一定偏差。因此,制定 8 组热处理试验用以对比分析见表 3,热处理后显微组织见图 1。

2 试验结果与讨论

由试验结果(表 3)和显微组

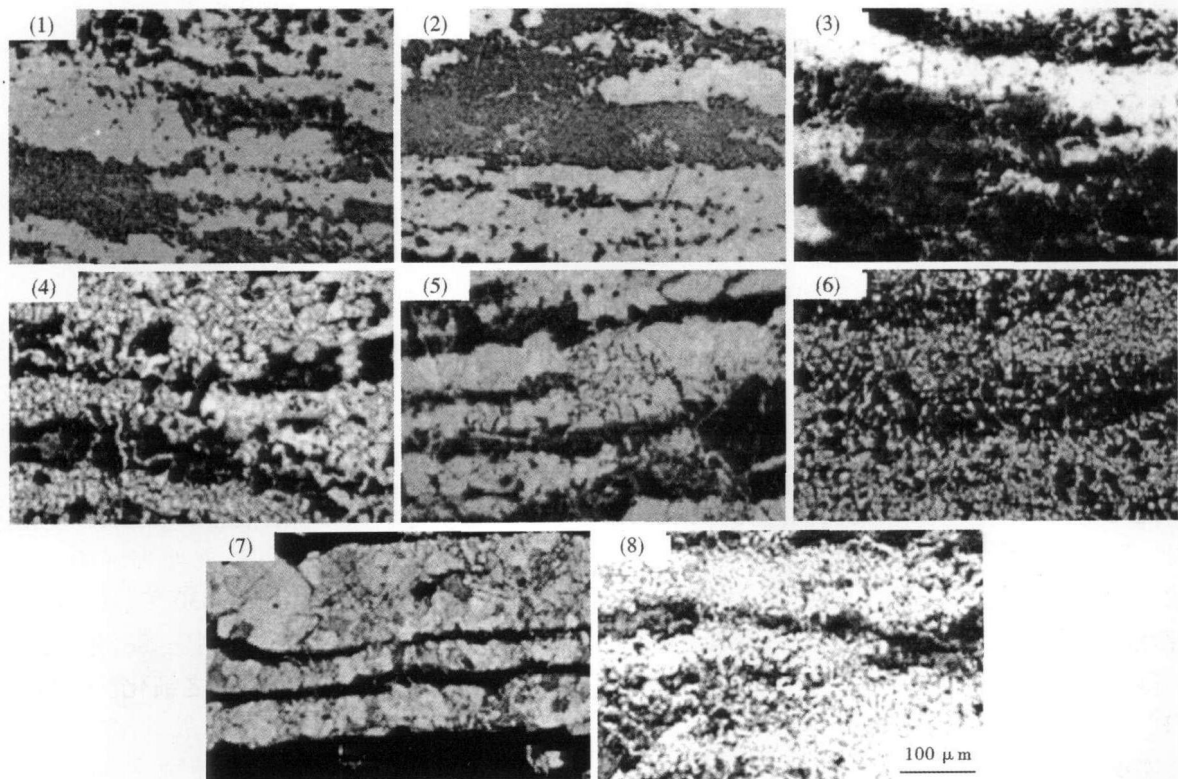


图 1 正火工艺对试验 18CrNiMo7-6 齿轮钢组织形貌的影响:(1)870 ℃ 炉冷;(2)900 ℃ 炉冷;(3)900 ℃-30 ℃/h-660 ℃ 炉冷;(4)900 ~ 660 ℃ 炉冷;(5)870 ℃-30 ℃/h-660 ℃ 炉冷;(6)870 ~ 660 ℃ 炉冷;(7)900 ℃-30 ℃/h-640 ℃ 炉冷;(8)900 ~ 640 ℃ 炉冷

Fig. 1 Effect of normalizing process on morphology of test gear steel 18CrNiMo7-6: (1)870 ℃ furnace cooling; (2)900 ℃ furnace cooling; (3)900 ℃-30 ℃/h-660 ℃ furnace cooling; (4)900 ~ 660 ℃ furnace cooling; (5)870 ℃-30 ℃/h-660 ℃ furnace cooling; (6)870 ~ 660 ℃ furnace cooling; (7)900 ℃-30 ℃/h-640 ℃ furnace cooling; (8)900 ~ 640 ℃ furnace cooling

织照片(图 1)可以看出,正火 900 ℃ 和 870 ℃ 组织与退火 660 ℃ 和 640 ℃ 组织均没有明显差别,可能是样品太小的缘故,显微组织如何关键取决于正火后的冷却速度。30 ℃/h 炉冷能得到 F + P 组织;转炉冷却速度约在 50 ℃/h,混有部分贝氏体组织;正火后断电炉冷冷速度约 70 ℃/h,得到条带状明显的贝氏体组织,这是因为先共析铁素体转变到发生珠光体转变孕育期不够。综合以上分析,正火后慢冷却速度(30 ℃/h)能得到典型的 F + P 组织。

由表 3 可知,样品 3、5、7 硬度值最低,在 190 ~ 210 HB,组织为典型的 F + P 组织;样品 1、2 硬度值最高,在 340 ~ 350,组织为条带状贝氏体组织;而组织为 F + P + B 的样品 4、6、8 硬度在 300 ~ 320。

3 实际生产中热处理曲线及结果

根据试验结果,制定出现场钢材是实际热处理曲线(图 2),按此曲线对 Φ180 mm 规格精锻材进行热处理试验,钢材定尺寸长度 5.0 m,共 30 支钢材,总重量约 30 t,每支钢材之间用垫铁隔开,正火后及等温退火后采用 ≤30 ℃/h 炉冷方式进行冷却。热处理后钢材的显微组织为铁素体 + 片层状珠光体组

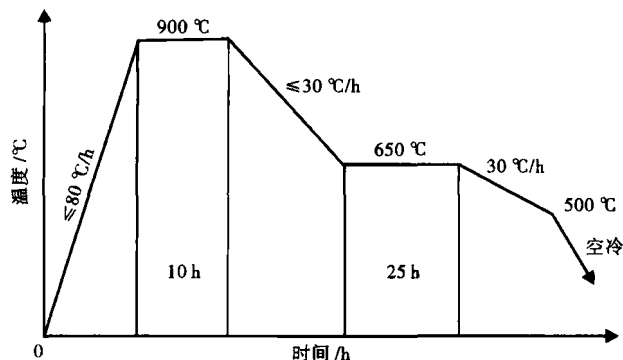


图 2 工业生产 30 t Φ180 mm 18CrNiMo7-6 齿轮钢的热处理曲线

Fig. 2 Normalizing-heat-treatment curve of commercial production of 30 t Φ180 mm gear steel 18CrNiMo7-6

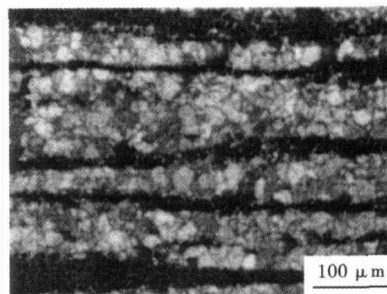


图 3 Φ180 mm 18CrNiMo7-6 齿轮钢正火后的组织形貌
Fig. 3 Morphology of structure of normalized Φ180 mm gear steel 18CrNiMo7-6

织(图 3)。

4 结论

(1) 18CrNiMo7-6 钢显微组织状态取决于正火后冷却速度,正火后慢冷却速度(30 ℃/h)能得到 F + P 组织。正火后转炉冷却混有部分贝氏体组织;正火后断电炉冷得到条带状明显的贝氏体组织。

(2) 实际生产中按照试验结果得到的热处理曲线组织生产,可以得到具有良好显微组织结构的 18CrNiMo7-6 钢。

参考文献

[1] Zhao Ya-ping, Wang Mao-qiu, Yuan Ji-guo. The Effect of V-Nb on the Growth of Austenite Grains in 17CrNiMo6 Gear Steel. Baosteel Technical Research[J]. 2008, 2(2):46-50.
 [2] 王秀兰,刘光辉. 高速/重载铁路电力机车齿轮用钢 18CrNiMo7-6 的试制[J]. 大型铸锻件, 2009(3):24-28.
 [3] 王爱香,高金柱,顾敏. 新型高合金齿轮渗碳钢 17CrNiMo6 的热处理[J]. 金属热处理, 2010, 35(10):82-86.
 [4] 《理化检验》编辑部. 金相检验[M]. 上海:《理化检验》编辑部出版, 1983.

刘金鑫(1978-),男,硕士,工程师,2009 年辽宁科技大学毕业,结构钢研发。

收稿日期:2012-08-23

欢迎订阅《特殊钢》杂志

全国各地邮局均可订阅(可破订)

邮发代号:38-183

定价:16.00 元/期 96.00 元/年

邮编:435001

地址:湖北省黄石市黄石大道316号新冶钢-大冶特殊钢股份有限公司《特殊钢》杂志社