

回火温度对无碳化物贝氏体钢组织和性能的影响

李 晴, 程巨强

(西安工业大学材料与化工学院, 陕西西安 710021)

摘要: 研究了无碳化物高强度贝氏体钢正火后回火温度对其组织和性能的影响。结果表明, 经920 °C奥氏体化加热空冷及200~350 °C回火, 实验钢具有良好的强韧性。该温度范围回火获得的抗拉强度为1 370~1 472 MPa, 断后伸长率为15%~16%, 断面收缩率为47%~62%, 冲击功 A_{KV} 为76~86 J; 组织主要为板条状贝氏体铁素体和残余奥氏体, 即无碳化物贝氏体组织。550 °C回火冲击值最低, 出现贝氏体回火脆性, 断口特征为沿晶脆性断裂。

关键词: 无碳化物贝氏体钢; 空冷; 回火温度; 组织; 性能

典型贝氏体组织由贝氏体铁素体和碳化物组成, 分为下贝氏体和上贝氏体组织, 上贝氏体组织由于碳化物分布在铁素体板条之间, 降低了韧性, 应用受到限制。采用阻碍碳化物析出的元素合金化, 通过空冷热处理得到的贝氏体铁素体和残余奥氏体组成的无碳化物贝氏体组织, 可以极大改善无碳贝氏体钢的韧性。无碳化物贝氏体钢以其高硬度、高韧性、可焊及高耐磨性已应用于矿山、工程机械等领域^[1-5]。本文以新研制的一种无碳化物贝氏体钢为研究对象, 通过优化热处理工艺, 研究了回火温度对其组织和性能的影响, 为这种材料实际热处理工艺的制定提供参考。

1 试验材料与研究方法

试验材料为新研制的一种20SiMn2Mo无碳化物贝氏体钢。试验材料的热处理工艺为: 奥氏体化温度920 °C, 保温20 min后空冷到室温, 然后进行200~700 °C不同温度回火。性能试样取自于直径为50 mm的棒料, 冲击试样尺寸为10 mm × 10 mm × 55 mm, V型缺口, 拉伸试样加工成直径为8 mm标准短试样。金相试样经4%的硝酸酒精溶液腐蚀后, 用NIKON-EPIPHOT300型光学显微镜观察其金相组织, 并用X-600型XRD衍射仪进行不同回火温度物相分析, 用Quanta-400扫描电子显微镜进行冲击试样断口形貌观察。

2 试验结果与分析

2.1 回火温度对力学性能的影响

图1是920 °C加热空冷试验材料的强度、硬度及冲击值随回火温度的变化。从图1可以看出, 试验材料在200~300 °C回火后, 其强度分别为1 370~1 472 MPa, 硬度为HRC42~43。回火温度超过300 °C, 试验材料强度和硬度呈下降的趋势。200~350 °C回火冲击值较高, A_{KV} 在76~86 J; 回火温度超过350 °C, 钢的冲击值下降, 并在550 °C降至最低值, 出现回火脆性。超过550 °C回火冲击值上升。试验钢的强度及硬度指标出现这种变化的原因为300 °C以下回火时, 由于试验钢中较高的硅含量, 提高了钢的回火抗力, 减缓了基体的分解, 同时回火过程中试验钢的组织中残余奥氏体发生贝氏体或马氏体转变, 从而提高了钢的强度和硬度。当回火温度超过300 °C后, 由于出现贝氏体铁素体的分解, 降低了基体中合金元素的固溶度, 基体出现软化, 强度降低。回火温度超过350 °C, 由于贝氏体铁素体和残余奥氏体分解析出碳化物, 使冲击

作者简介:

李 晴(1994-), 女, 硕士生, 主要从事钢铁材料热处理工艺的研究、开发与应用工作。E-mail: 956282068@qq.com

中图分类号: TG156.5

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2019)08-0844-04

收稿日期:

2018-12-19 收到初稿,
2019-03-14 收到修订稿。

韧性降低。随着回火温度的提高，试验钢组织中分解产物增多，并以薄片状断续分布在贝氏体铁素体板条之间，导致550℃出现回火脆性。超过550℃回火，分解产物粒状化，组织为回火索氏体组织，材料的韧性提高。

2.2 回火温度对组织的影响

图2是试验材料920℃空冷、不同温度回火后的XRD衍射图谱。可以看出，空冷不回火及250℃回火的XRD衍射图谱中主要有铁素体峰和奥氏体峰，无碳化物相存在（图2a、图2b）。可见，试验材料正火后250℃回火组织为贝氏体铁素体和少量的奥氏体组织。空冷+700℃回火后试验材料的XRD衍射峰主要为铁素体峰，无碳化物峰存在，主要是由于试验材料为低碳性质，高温回火组织分解的碳化物含量较少，衍射峰显示不出来。

图3是试验材料920℃正火不同温度回火的金相组织。由图可以看出，组织为贝氏体铁素体和残余奥氏体，呈板条状分布（图3a）；扫描电镜观察残余奥氏体

体（A）主要分布在贝氏体铁素体（BF）板条之间和板条上（图3b）。正火后200℃回火组织和不回火形貌一致，也为板条状，扫描电镜观察残余奥氏体分布在贝氏体铁素体板条之间及板条之上（图3d）。250℃回火的金相组织形貌仍为板条状，扫描电镜下观察，贝氏体基体几乎没有分解（图3f），组织变化不大。400℃回火贝氏体铁素体和残余奥氏体分解的程度加大，基体上有明显的粒状碳化物的分解产物，贝氏体板条之间残余奥氏体分解成断续状分布碳化物（图3h）。550℃回火的金相组织主要为粒状贝氏体（图3i），粒状贝氏体保留原贝氏体板条的位相，扫描电镜下观察贝氏体板条之间分布有短片状奥氏体的分解产物（图3j）。

2.3 冲击试样断口扫描电镜形貌观察

图4是920℃加热空冷不回火、250℃、400℃、550℃回火冲击试样断口放射区的SEM形貌。可以看出，无碳化物贝氏体钢不回火的冲击断口形貌主要为韧窝和少量解理特征，部分韧窝中存在球形的第二相

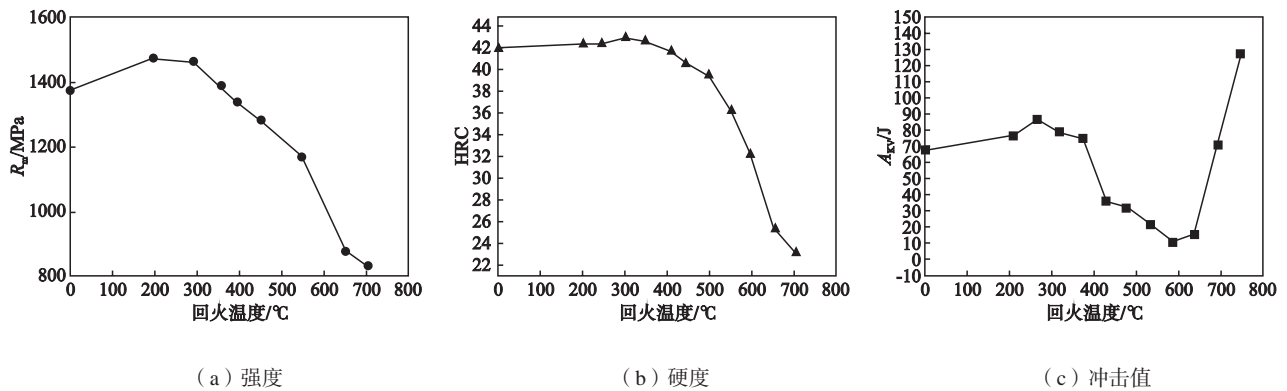


图1 试验材料力学性能随回火温度变化
Fig. 1 Change of mechanical properties with tempering temperature

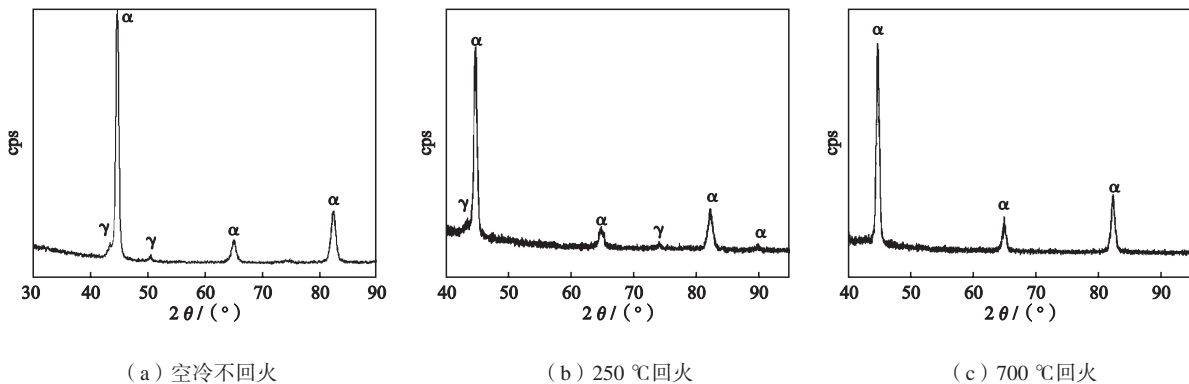
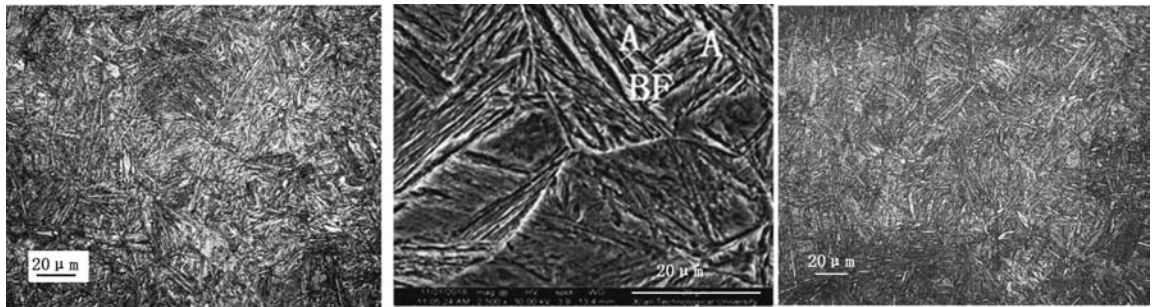


图2 920℃正火不同温度回火XRD衍射图谱
Fig. 2 XRD diffraction patterns of tempered samples at different temperatures after 920℃ normalizing

质点,能谱分析其化学成分主要为S和Mn,属于硫化锰夹杂物。250℃回火冲击断口形貌主要为微孔聚集型的韧窝断裂特征,属于韧性断裂。400℃回火断口主

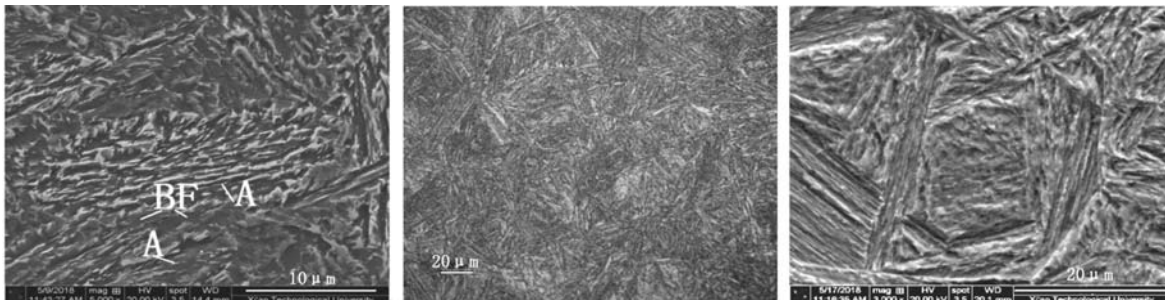
要为准解理和少量韧窝断裂特征,为脆性断裂特征。550℃回火的冲击断口特征主要为沿晶断裂形式,属于脆性断裂特征,表现为最低的冲击韧性。



(a) 不回火

(b) 不回火SEM组织

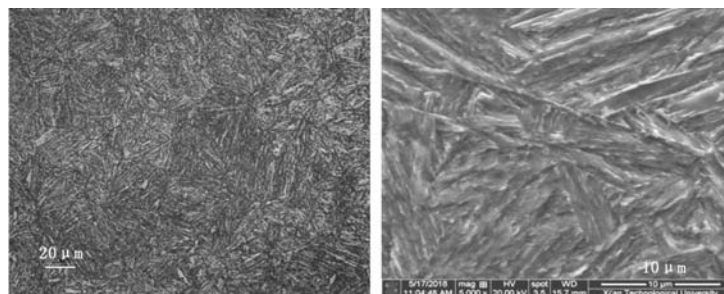
(c) 200℃回火



(d) 200℃回火SEM组织

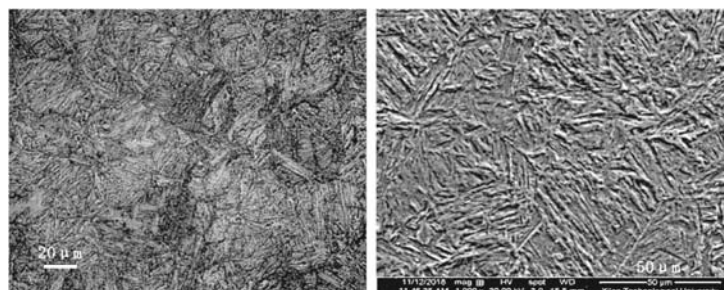
(e) 250℃回火

(f) 250℃回火SEM组织



(g) 400℃回火

(h) 400℃回火SEM组织

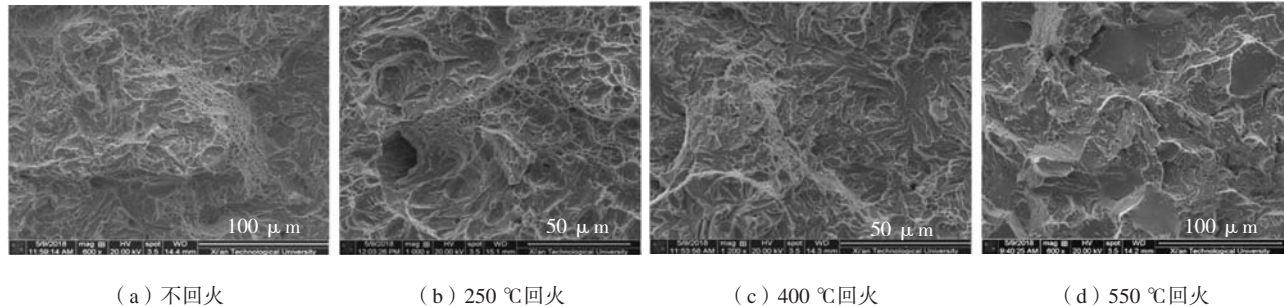


(i) 550℃回火

(j) 550℃回火SEM组织

图3 920℃加热空冷,不同温度回火的组织

Fig. 3 Microstructure of tempered samples at different temperatures after 920℃ normalizing



(a) 不回火

(b) 250 °C回火

(c) 400 °C回火

(d) 550 °C回火

图4 920 °C空冷不同温度回火冲击试样断口形貌

Fig. 4 Fracture morphology of impact samples tempered at different temperatures after 920 °C normalizing

3 结论

(1) 20SiMn2Mo贝氏体钢920 °C奥氏体化加热空冷, 回火温度在200~350 °C时具有良好的强韧性配合, 为最佳回火温度范围, 组织为贝氏体和残余奥氏体。550 °C回火, 出现贝氏体组织的回火脆性, 冲击值最低。

(2) 920 °C加热空冷不回火, 冲击断口断裂特征为韧窝和准解理断裂形式; 250 °C回火, 冲击试样断口形貌为韧窝, 属于韧性断裂; 550 °C回火, 冲击试样断口为沿晶断裂特征。

参考文献:

- [1] 秦熊浦, 朱明, 程巨强, 等. 新型准贝氏体钢及其在工程机械上的应用 [J]. 工程机械, 2000 (9): 42-43.
- [2] 程巨强, 刘志学. 新型贝氏体钢及在矿山机械领域的应用 [J]. 矿山机械, 2004 (7): 88-89.
- [3] 程巨强, 康沫狂. 新型准贝氏体钢及工程应用 [J]. 西安工业学院学报, 2000, 20 (1): 43-48.
- [4] 叶凌云, 高鹏举, 程巨强, 等. 无碳化物贝氏体钢重型钎杆的生产与应用 [J]. 凿岩机械气动工具, 2010 (4): 4-7.
- [5] 程巨强, 高兴明, 王先武. 无碳化物贝氏体耐磨钢回火组织与性能的研究 [J]. 矿山机械, 2003, 31 (2): 45-46.

Effect of Tempering Temperature on Microstructure and Properties of Carbide-Free Bainite Steel

LI Qing, CHENG Ju-qiang

(College of Materials Science and Chemical Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710021, Shaanxi, China)

Abstract:

The influence of tempering temperature on the microstructure and properties of high strength carbide-free bainite steel was studied. The results show that the experimental steel has good strength and toughness through air cooling after austenitizing at 920 °C and then tempering at 200-350 °C. The mechanical properties obtained are $R_m=1\ 370-1\ 472$ MPa, $A=15\%-16\%$, $Z=47\%-62\%$, $A_{KV}=76-86$ J. The microstructure mainly consists of lath bainite ferrite and retained austenite, namely carbide-free bainite tissue. Tempering at 550 °C has the lowest impact value due to bainite tempering brittleness, and the fracture surface shows an intergranular brittleness fracture appearance.

Key words:

carbide-free bainite steel; air cooling; tempering temperature; microstructure; mechanical properties