DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2019.04.008

奥氏体化保温时间对无碳化物贝氏体钢组织和性能的影响

程　彦,程巨强,李振飞
(西安工业大学 材料与化工学院,陕西 西安 710021)

摘　要:研究了920℃奥氏体化加热保温时间对20SiMn2Mo无碳化物贝氏体组织和力学性能的影响。结果表明,920℃加热经不同保温时间处理,抗拉强度在保温时间系数小于2.5 min/mm时变化不大,在保温时间系数2.0 min/mm时出现峰值。保温时间系数超过2.5 min/mm时强度下降,冲击值随保温时间延长有先上升后下降再上升的变化趋势,在保温时间系数1.5 min/mm和4.0 min/mm时出现峰值。不同保温时间空冷实验材料的组织为贝氏体铁素体和残余奥氏体组织,为无碳化物贝氏体组织。从节能及防氧化、脱碳方面考虑,实验材料奥氏体化加热保温时间系数为1.5 min/mm时具有良好的强韧性。

关键词:无碳化物贝氏体;保温时间;力学性能

中图分类号:TG156; TG113　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2019)04-0365-04

Effect of Austenitizing Time on Microstructure and Properties of Carbide Free Bainite Steel

CHENG Yan, CHENG Juqiang, LI Zhenfei
(School of Materials Science and Chemical Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710021, China)

Abstract: The effect of austenitizing heating time at 920 ℃ on the microstructure and mechanical properties of 20SiMn2Mo carbide-free bainite was studied. The results show that 920 ℃ heat treated by different heat preservation time, coefficient of tensile strength in the time of heat preservation is less than 2.5 mm/min when little change, in the heat preservation time there was a peak coefficient of 2.0 mm/min. When the insulation time coefficient exceeds 2.5 min/mm, the strength decreases, with the increase of holding time, the impact value increased first and then decreased and then increased, the peak value appeared when the insulation time coefficient was 1.5 min/mm and 4.0 min/mm. The microstructure of the air cooling experimental materials with different holding time was bainitic ferrite and residual austenite, and the microstructure was carbid-free bainitic. In terms of energy saving, oxidation prevention and decarbonization, the experimental material had good strength and toughness when the austenization heating and holding time coefficient was 1.5 min/mm.

Key words: carbide free bainite; soaking time; mechanical property

合金钢材料热处理可以改善其组织和提高力学性能,钢的热处理工艺参数主要有热处理加热温度和保温时间。一般合金钢,根据合金钢化学成分特点其奥氏体化热处理的加热温度为Ac_3(Acm)+30~50 ℃[1,2],而加热保温时间的确定较为复杂,要根据合金钢的种类、热处理装炉量等来确定[3-5]。合金钢的热处理保温时间过长,会造成热处理材料的组织过分长大,组织粗化,降低材料的力学性能,特别是冲击性能,过长的保温时间会增加能耗和提高热处理件的成本,增加热处理件表面的氧化及脱碳等缺陷,因此研究合金钢热处理保温时间对其组织和力学性能的影响,获得合适热处理保温时间,具有重要的意义。本文研究了贝氏体钢奥氏体化加热时间对其组织和力学性能的影响,为实际该材料的热处理工艺提供指导。

1　实验材料与方法

实验材料的牌号为20SiMn2Mo的贝氏体钢。实验材料的生产过程为:电弧炉冶炼(EAF)+钢包精炼(LF)+真空处理(VD),浇铸成铸锭,热轧成直径为ϕ50 mm的圆棒料,力学性能试样均取自热轧而成的ϕ50 mm圆棒料。冲击试样加工成10 mm×10 mm×55 mm的带V型缺口试样,缺口深度2 mm。

收稿日期:2018-11-29
作者简介:程　彦(1994-),甘肃张掖人,硕士生.研究方向:高强度钢铁材料研究与应用工作.
电话:13772062122,E-mail:1015305293@qq.com

拉伸试样加工成为 ϕ8 mm×110 mm 的标准短拉伸试样。确定实验材料的热处理奥氏体化加热温度为 920 ℃，奥氏体化加热保温时间系数分别为 1.0、1.5、2.0、2.5、3.0、3.5、4.0、4.5 min/mm，空冷后的所有试样进行 350 ℃低温回火。用 CMT10KW 电子万能材料拉伸试验机测试实验材料的拉伸性能；用 HRC150 型摆锤式冲击试验机测试不同加热时间实验材料的室温冲击功；用 NIKON EPIHOT-300 型光学金相显微镜观察不同保温时间实验材料的金相组织，组织腐蚀液为 4% 硝酸酒精溶液，用 XRD-6000 型 X 射线衍射仪分析试样的物相成分。

2 实验结果与分析

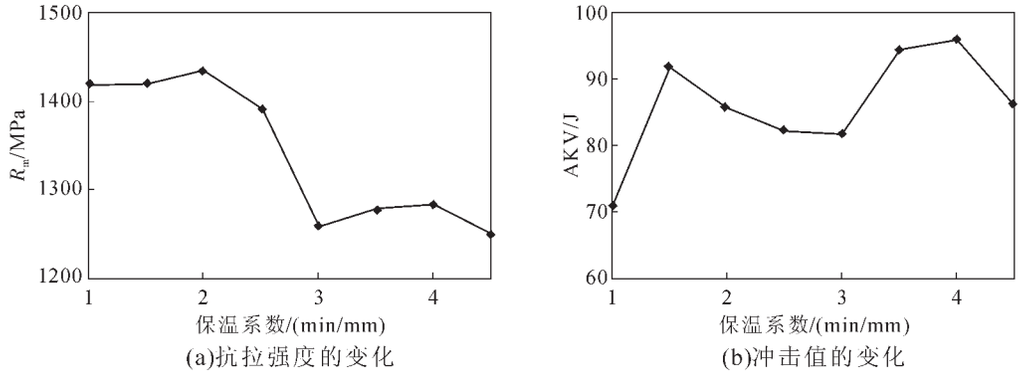
2.1 不同保温时间对实验材料力学性能的影响

实验材料的力学性能随保温时间变化曲线如图 1 所示。图 1(a)为实验材料抗拉强度随保温时间变化曲线图，由图中可以看出，保温时间系数在 2 min/mm 以下，随其值提高，实验材料的强度有所增加，但增加幅度不大，在保温系数为 2.0 min/mm 时具有最高抗拉强度 1 437 MPa，保温系数超过 2 min/mm，抗拉强度出现下降的趋势。实验材料强度性能出现这种变化的原因是，920 ℃加热，保温时间较短时，初始奥氏体化形成的奥氏体组织较小，组织细化，但奥氏体组织的合金元素固溶度较小，固溶强化效果低，随加热保温时间的延长，固溶于奥氏体元素含量增加，起到固溶强化的作用，强度增加，但加热保温时间过长，奥氏体转变虽然充分，但会造成奥氏体组织长大，合金元素在奥氏体中的固溶度增加，会提高奥氏体相的稳定性，正火后组织中的残余奥氏体量增加，降低实验材料的强度。图 1(b)为实验材料冲击值随不同保温时间变化曲线图，由图中可以看出，保温时间系数在 1.0~1.5 min/mm 时冲击值呈上升趋势，超过 1.5 min/mm 时冲击值会下降，但下降幅度不大，当保温时间系数为 3 min/mm 时，冲击值再次出现上升趋势，加热时间在保温系数 4.0 min/mm 冲击值又出现峰值。冲击值出现这种变化趋势的原因是，保温时间较短时，组织细化强化提高冲击值，随着加热保温时间延长，晶粒长大，冲击值下降，但保温时间再延长，空冷后组织中的残余奥氏体量增加，由于奥氏体组织是韧性相，虽然晶粒长大，但残余奥氏体对冲击韧度的增加作用高于晶粒粗大所带来的韧性降低作用，所以会提高冲击值，保温时间系数超过 4.0 min/mm，奥氏体组织过分粗大，残余奥氏体提高韧性的作用小于晶粒粗大冲击值降低作用时，材料的冲击值降低。从节能及其氧化脱碳方面综合考虑，过长的奥氏体加热保温时间会增加热处理件能耗和氧化和脱碳程度，增加热处理缺陷，因此实验材料获得良好的强韧配合的最佳热处理加热保温时间系数为 1.5 min/mm。

2.2 不同保温时间对实验材料物相和组织的影响

图 2 是实验材料 920 ℃加热，保温时间系数分别为 1.0、1.5、4.5 min/mm 空冷 +350 ℃回火热处理的 XRD 衍射图谱。可以看出，实验材料不同温度保温空冷低温回火后的衍射峰主要是奥氏体峰和铁素体峰，无碳化物峰，可以得出，不同保温时间实验材料的物相主要为贝氏体铁素体和残余奥氏体，组织中无碳化物相存在，组织应该为由贝氏体铁素体和残余奥氏体组成的无碳化物贝氏体，还可以看出，随加热保温时间延长，奥氏体最强峰强度值增加，奥氏体含量增加。

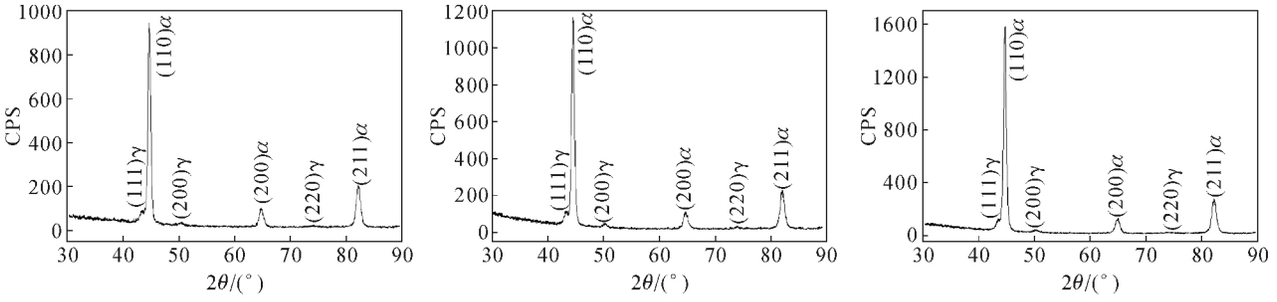
图 3 是实验材料在 920 ℃加热，不同时间保温空冷 +350 ℃回火所得的金相组织。由图 3 看出，保温时间系数为 1.0 min/mm，结合 XRD 物相分析，实验材料的组织主要为板条状无碳化物贝氏体组织（图 3a），扫描显微镜下可以看出到板条的形貌（图 3b），残余奥氏体分布在贝氏体铁素体板条之间。保温时间系数为 1.5 min/mm 时，组织和保温时间系数为 1.0 min/mm 一致，也为无碳化物贝氏体组织，组



(a)抗拉强度的变化　　(b)冲击值的变化

图 1 实验材料力学性能随保温时间变化关系

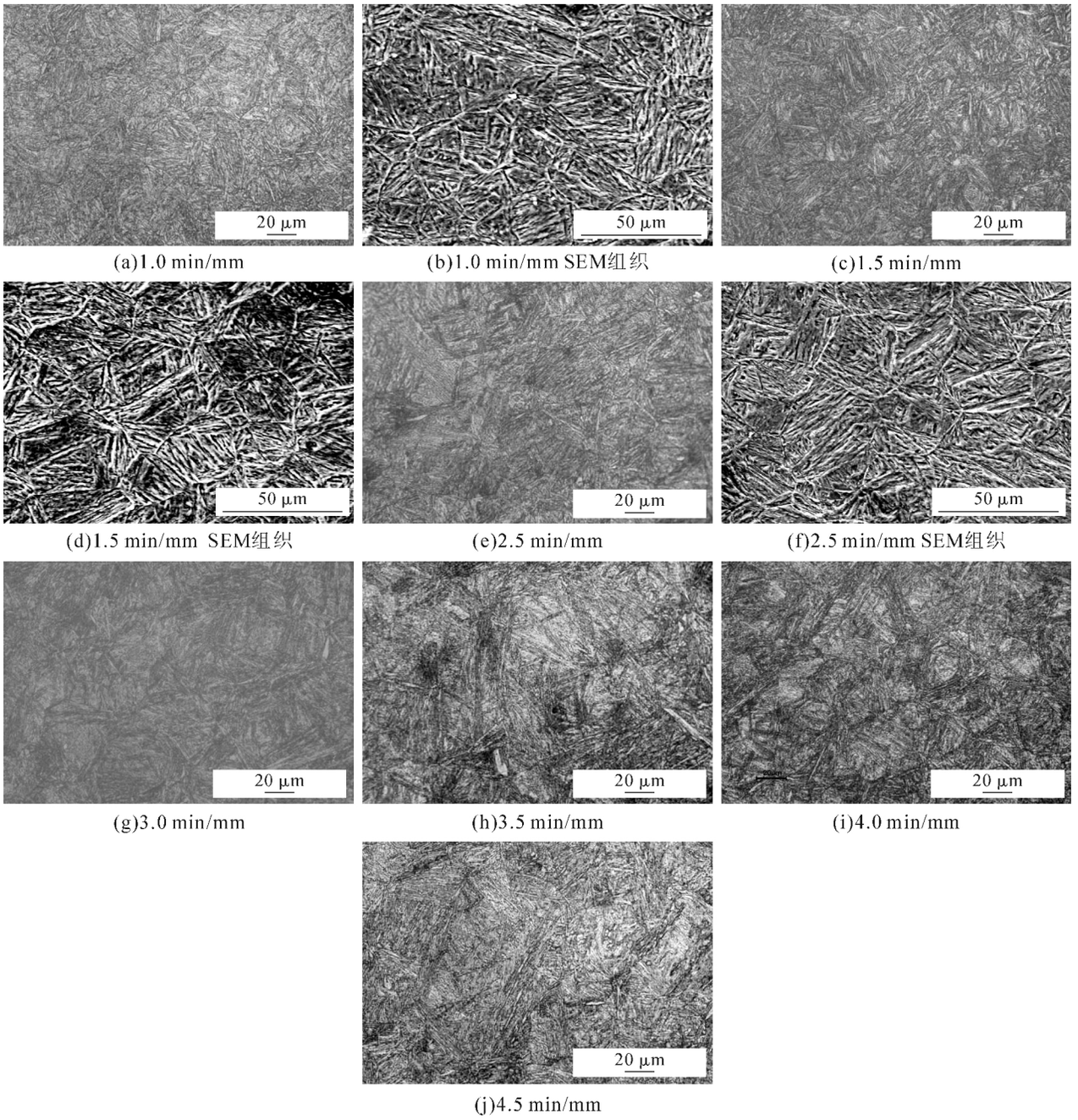
Fig.1 Relationship between mechanical properties of experimental materials and holding time



(a)保温系数1.0 min/mm　　(b)保温系数1.5 min/mm　　(c)保温系数4.5 min/mm

图 2　实验材料 920 ℃加热不同保温时间系数空冷 +350 ℃回火 XRD 衍射图谱

Fig.2　XRD patterns of the experimental materials heated at 920 ℃ for different heat preservation time coefficients and air-cooled at 350 ℃



(a)1.0 min/mm　　(b)1.0 min/mm SEM组织　　(c)1.5 min/mm

(d)1.5 min/mm　SEM组织　　(e)2.5 min/mm　　(f)2.5 min/mm SEM组织

(g)3.0 min/mm　　(h)3.5 min/mm　　(i)4.0 min/mm

(j)4.5 min/mm

图 3　920 ℃加热不同保温时间系数金相组织

Fig.3　Microstructure of heating time coefficient at 920 ℃

织细小(**图** 3c，**图** 3d)。**保温时间系数为** 2.5 min/mm，**无碳化物贝氏体组织板条长度有所增加**。**保温时间系数超过** 2.5 min/mm **随保温时间的增加，组织均为**

(**下转第** 371 **页**)

6(b)中出现较多的孔洞，这说明添加 1.5%晶须的金属陶瓷的力学性能更好。此外，从图 6(a)能看到晶须拔出留下的空穴，而晶须拔出需要消耗能量，这也进一步证实了图 6(a)中金属陶瓷的性能更加优异。

3　结论

（1）$Ti(C_{0.7},N_{0.3})$基金属陶瓷具有较明显、完整的“芯–环”结构；添加了 SiC_w 的金属陶瓷组织中的晶粒更加细化，分布更为均匀，出现了“白芯–灰壳”结构的细小颗粒。

（2）添加 1.5% SiC_w 的金属陶瓷具有最佳的强韧性，抗弯强度、断裂韧性分别达到 1 620 MPa 和 12.2 MPa·$m^{1/2}$，较未添加晶须时分别增长了 13.3%和 16.1%。

参考文献：

[1] Kitakawa R. Recent trends of coated tool[J]. Mach. Tool, 1989, 33(9):27-35.

[2] 孙万昌，佘晓林，张磊，等. Ti(C, N)基金属陶瓷材料的强韧化研究进展[J]. 热加工工艺，2014，43(18):17-20.

[3] 李喜宝，柯昌明，李楠. SiC 晶须增韧陶瓷基复合材料的研究进展[J]. 材料导报，2007，21(5):394-397.

[4] 刘兵，张茜，姜山，等. Si_3N_4 晶须对 $TiC_{0.7}N_{0.3}$-WC-TaC-Mo-(Ni, Co)金属陶瓷组织和性能的影响研究[J]. 功能材料，2016，47(3):3125-3128.

[5] 张卫珂，常杰，张敏，等. SiC 晶须增韧 B_4C-Si 复合陶瓷材料[J]. 陶瓷学报，2014，35(1):62-65.

[6] 孙海军. SiC 晶须改性 WC 基复合材料制备及摩擦磨损性能研究[D]. 湘潭：湘潭大学，2014.

[7] Shetty D K, Wright I G, Mincer P N, et al. Indentation fracture of WC-Co cermets [J]. Journal of Materials Science, 1985, 20(5):1873-1882.

[8] Wu Peng, Zheng Yong, Zhao Yongle, et al. Effect of SiC whisker addition on the microstructures and mechanical properties of Ti(C, N)-based cermets[J]. Materials and Design, 2011, 32:951-956.

[9] Yoshimura H, Sugizawa T, Nishigaki K, et al. Reaction occurring during sintering and the characteristics of TiC-20TiN-15WC-10TaC-9Mo-5.5Ni-11Co cermet [J]. International Journal of Refractory Metals & Hard Materials, 1983, 2(4):170-174.

[10] Zheng Yong, Liu Wen-jun, WANG Sheng-xiang, et al. Effect of carbon content on the microstructure and mechanical properties of Ti (C, N)-based cermets [J]. Ceramics International, 2004, 30(8):2111-2115.

[11] 吕学鹏，郑勇，吴鹏. 碳纳米管添加量对 Ti(C, N)基金属陶瓷组织和力学性能的影响 [J]. 中国有色金属学报，2011，21(1):145-151.

[12] Yang M, Stevens R. Microstructure and properties of SiC whisker reinforced ceramic composites [J]. Journal of Material Science, 1991, 26:726-736.

[13] Philips D C, Gerald J. Fiber optic bearing monitor[J]. International Journal of Powder Metallurgy and Powder Technology, 1982, 29(5):43-45.

（上接第 367 页）

板条状，部分板条长度增加（图 3g~ 图 3i）。当保温时间系数为 4.5 min/mm 时，虽然板条束较细化，但长度增加，甚至出现穿过两个晶粒的板条组织，晶粒粗化（图 3j）。实验材料组织随保温时间变化出现这种变化的原因为，当加热保温时间较短时，在晶界处形成奥氏体组织细小，空冷后获得较小的板条组织，随着保温时间的延长晶界周围的奥氏体组织长大，形成的奥氏体晶粒粗大。从金相组织可以看出实验材料加热保温时间系数在 2.5 min/mm 以下，板条长度较短，组织较细较均匀。

3　结论

（1）20SiMn2Mo 钢在 920 ℃加热，保温时间系数在 2 min/mm 以下，实验材料强度变化不大，超过 2.5 min/mm 加热强度呈下降趋势，冲击值随保温时间延长先上升后降低，在保温时间系数在 1.5 min/mm 和 4.0 min/mm 出现峰值，从节能及其氧化脱碳方面综合考虑，实验材料获得良好的强韧配合的最佳热处理加热保温时间系数为 1.5 min/mm。

（2）920℃加热，不同时间保温空冷，20SiMn2Mo 钢的组织主要均为板条状无碳化物贝氏体组织，保温时间系数超过 2.5 min/mm，随保温时间延长，板条状贝氏体组织长度增加，组织粗化。

参考文献：

[1] 中国机械工程学会热处理分会编. 热处理手册，第一卷工艺基础[M]. 北京：机械工业出版社，2008.

[2] 夏立芳. 金属热处理工艺学 [M]. 哈尔滨：哈尔滨工业出版社，2008.

[3] 宋金清，杨建民，王清. 热处理加热时间的探讨[J]. 青岛大学学报，1996，11(3):92-94.

[4] 苏静，杨雪玲. 热处理工艺中加热时间的研究[J]. 热处理技术与装备，2010，31(3):31-33.

[5] 包耳，田绍洁，王华琪. 热处理加热保温时间的 369 法则[J]. 热处理技术与装备，2008，29(2):53-55.