

回火对 20SiMn3NiA 钢组织和力学性能的影响

赵艳君^{1,2} 孟庆雪¹ 包卫平¹ 任学平¹

(1 北京科技大学材料科学与工程学院,北京 100083; 2 广西大学材料科学与工程学院,南宁 530004)

摘要 研究了 20SiMn3NiA 钢 860 °C 正火,900 °C 40 min 油淬,180 ~ 650 °C 90 ~ 150 min 回火的组织和力学性能。结果表明,该钢较佳的回火温度为 200 ~ 250 °C,230 °C 回火后得到板条马氏体、细棒状碳化物析出相和残余奥氏体,在 250 °C 回火时该钢的抗拉强度 (R_m) 超过 1 500 MPa,冲击韧性 (A_{KV}) 超过 80 J,有较好的强韧性匹配。20SiMn3NiA 钢在 320 °C 中温回火时,碳化物析出相呈连续的片状分布,使得该钢的冲击韧性值很低,当在 320 ~ 600 °C 区间回火时,20SiMn3NiA 钢具有明显的回火脆性。

关键词 20SiMn3NiA 钢 回火 组织 力学性能

Effect of Tempering on Structure and Mechanical Properties of Steel 20SiMn3NiA

Zhao Yanjun^{1,2}, Meng Qingxue¹, Bao Weiping¹ and Ren Xueping¹

(1 School of Materials Science and Engineering, University of Science and Technology, Beijing 100083;
2 College of Materials Science and Engineering, Guangxi University, Nanning 530004)

Abstract Structure and mechanical properties of steel 20SiMn3NiA normalized at 860 °C, oil quenched at 900 °C for 40 min and tempered at 180 ~ 650 °C for 90 ~ 150 min have been studied. Results show that the better tempering temperature of steel is 200 ~ 250 °C, the lath martensite, fine slim rod precipitated carbide and residual austenite are obtained in the steel tempered at 230 °C and with steel tempered at 250 °C the tensile strength (R_m) is more than 1 500 MPa and the impact energy (A_{KV}) is higher than 80 J with excellent combination of strength and toughness; as the steel 20SiMn3NiA is tempered at 320 °C, the precipitated carbide is continuous lamellar distribution in steel led to lower impact energy of steel and the steel 20SiMn3NiA tempered at 320 ~ 600 °C has obvious temper brittleness.

Material Index Steel 20SiMn3NiA, Temper, Structure, Mechanical Properties

低碳合金钢通常靠马氏体相变和回火析出 ϵ -碳化物达到高强度^[1,2]。但该钢种在提高强度的同时,存在着韧性偏低的问题^[3,4]。通过适当的回火可以提高钢的力学性能,发掘低碳合金钢的强韧性能力^[5,6]。

1 钢的成分及试验方法

20SiMn3NiA 钢 (%: 0.18 ~ 0.24C、2.8 ~ 3.0Mn、1.0 ~ 1.3Si、1.0 ~ 1.3Ni、0.02 ~ 0.08Ti、 $\leq 0.0045S$ 、 $\leq 0.015P$) 采用 130 kg 真空感应炉冶炼浇铸成锭,锻成 55 mm × 150 mm × 650 mm 扁材,锻造的加热温度 1 180 ~ 1 200 °C,保温 3 h,终锻温度 ≥ 850 °C,锻后缓冷,锻材经 680 °C 保温 4 h 的退火处理。在 860 °C 30 min 正火,再经 900 °C 固溶 40 min 油淬处理后进行 180 ~ 650 °C 90 ~ 150 min 回火空冷,再加工成 $\Phi 5$ mm 标准短拉伸试样和 10 mm × 10 mm × 55 mm 标准夏比 V 型缺口冲击试样。

2 回火温度对钢力学性能的影响

由图 1(a) 可见,在 180 ~ 250 °C 低温回火时,

200 °C 回火时,抗拉强度最大,可达到 1 600 MPa,随后回火温度升高,抗拉强度下降,200 °C 时的抗拉强度比 230 °C 时高出 61 MPa;屈服强度则随回火温度升高而升高;在 320 ~ 480 °C 中温回火时,随回火温度的升高,钢的抗拉强度和屈服强度均直线下降。在 550 ~ 650 °C 高温回火时,随回火温度的升高,也呈直线下降。在 650 °C 回火时抗拉强度只有 849 MPa。

由图 1(b) 可见,在 180 ~ 250 °C 低温回火时,200 °C 和 230 °C 回火的伸长率相差不大,断面收缩率稍有提高。但在 250 °C 回火时,伸长率和断面收缩率都开始下降;在 320 ~ 480 °C 中温回火时,400 °C 之前伸长率和断面收缩率都随温度升高而升高,400 °C 之后伸长率继续升高,而断面收缩率却下降了;在 550 ~ 650 °C 高温回火时,钢的伸长率和断面收缩率都随回火温度的升高而升高,试验钢的伸长率在 650 °C 回火时可达 28.4%。

由图 1(c) 可见,在 180 ~ 250 °C 低温回火时,冲击韧性先升高后降低,在 230 °C 冲击韧性为 90.6 J,

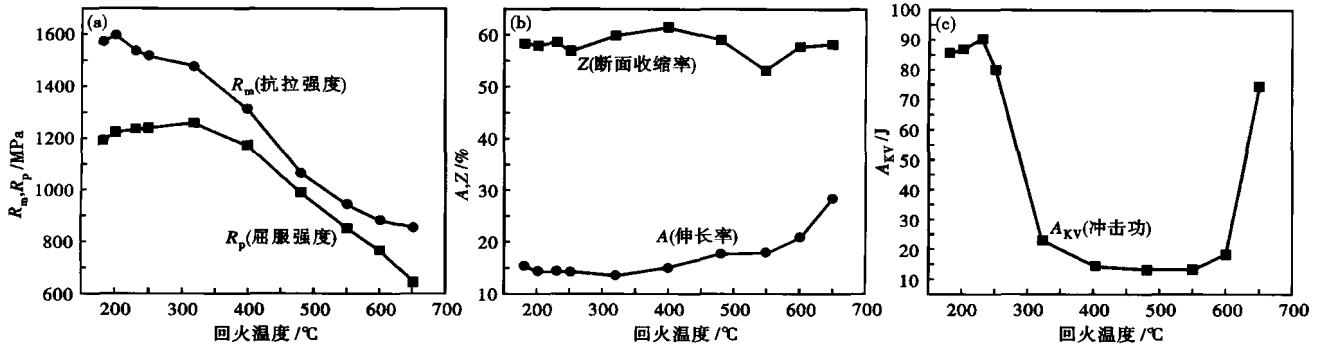


图 1 回火温度对 20SiMn3NiA 钢强度(a), 塑性(b)和韧性(c)的影响, 回火 120 min

Fig. 1 Effect of tempering temperature on strength (a), plasticity (b) and toughness (c) of steel 20SiMn3NiA, tempering for 120 min

达到峰值。在 250 °C 韧性下降幅度很大, 下降了 10.2 J, 有进入第 1 类回火脆性区域的趋势; 在 320 ~ 480 °C 中温回火时, 冲击韧性随温度的升高而降低, 在 400 °C 回火时冲击韧性已下降到只有 14.5 J, 在该回火区间发生了明显的回火脆性; 在 550 ~ 650 °C 回火时, 试验钢产生了高温回火脆性, 550 °C 回火时冲击韧性只有 10 J。当回火温度继续上升至 650 °C 时, 冲击韧性大幅度上升, 韧性值为 75 J。

3 回火保温时间对钢力学性能的影响

在 900 °C 淬火保温 40 min 油冷后, 200 °C 回火的保温时间对材料力学性能的影响如图 2 所示。由图 2(a) 可知, 回火保温时间对 20SiMn3NiA 钢的抗拉强度无太大的影响, 强度在 1541 ~ 1555 MPa 变化。90 min 和 120 min 保温的屈服强度没有大的变化, 再延长保温时间至 150 min 时, 屈服强度略有升高。从图 2(b) 可知, 伸长率变化不大, 在 12.8% ~ 13.3% 范围变化; 而断面收缩率则在保温时间为 90 min 与 120 min 时相差 3.7%, 随保温时间继续延长至 150 min, 断面收缩率又开始下降。由图 2(c) 可知, 韧性和硬度都在保温时间为 120 min 时最高。韧性在整个保温时间范围内变化不大, 硬度则在

150 min 时有所降低。

4 不同回火温度对钢组织和冲击断口形貌的影响

由图 3 可见, 180 °C 和 230 °C 回火时的板条马氏体清晰可见, 15 ~ 20 μm 晶粒的原奥氏体晶界也清晰可见; 在 320 °C 回火时, 组织中隐约可见马氏体的板条结构, 板条之间的排列变得“模糊凌乱”, 说明板条马氏体组织已经开始分解; 而在 480 °C 和 550 °C 回火时组织中白色相(渗碳体)明显增多并且聚集长大, 480 °C 时白色析出相聚集在板条处, 而在 550 °C 时白色析出相有向晶界聚集的趋势, 使得腐蚀后 550 °C 时原奥氏体晶界又清晰可见, 原奥氏体晶粒尺寸在 8 ~ 15 μm, 晶粒尺寸较 180 °C 和 230 °C 回火时略有减小, 说明铁素体已经发生回复、再结晶; 到 650 °C 回火时, 板条变得非常细小均匀, 这是铁素体再结晶的结果。

由图 4 可见, 马氏体板条宽在 200 ~ 300 nm, 板条之间夹着一层薄薄的残余奥氏体, 在 230 °C 低温回火时板条内有密度很高的位错, 碳化物析出相呈细棒状, 对钢的强度贡献较大; 在 320 °C 中温回火时位错密度较低, 碳化物析出相呈连续的片状分布, 在冲击下易产生穿晶断裂。230 °C 回火的断口上分布

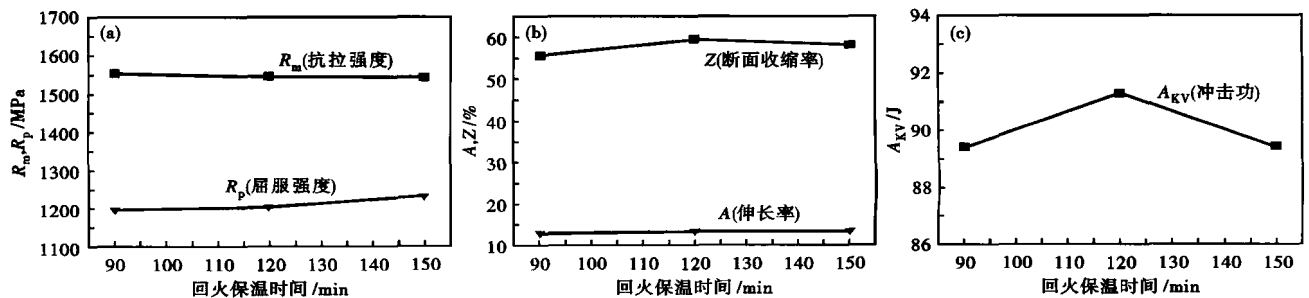


图 2 回火保温时间对 20SiMn3NiA 钢强度(a), 塑性(b)和韧性(c)的影响, 回火温度 200 °C

Fig. 2 Effect of tempering time on strength (a), Plasticity (b) and toughness (c) of steel 20SiMn3NiA, tempering at 200 °C

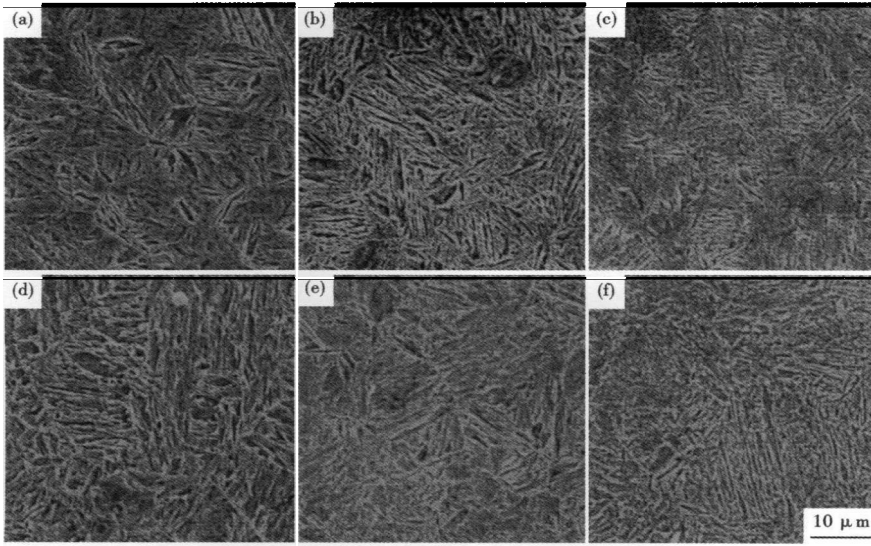


图 3 回火 20SiMn3NiA 钢的组织形貌,900 °C 淬火,180 °C (a);230 °C (b);320 °C (c);480 °C (d);550 °C (e);650 °C (f),回火 120 min,SEM

Fig. 3 Structure morphology of steel 20SiMn3NiA quenched at 900 °C and tempered at 180 °C (a), 230 °C (b), 320 °C (c), 480 °C (d), 550 °C (e) and 650 °C (f) for 120 min, SEM

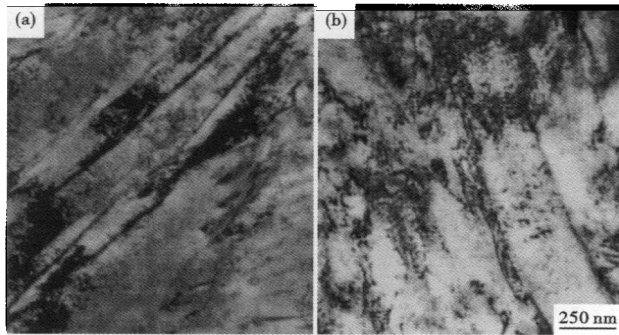


图 4 20SiMn3NiA 钢在 900 °C 淬火 230 °C (a) 和 320 °C (b) 回火 120 min 组织形貌,TEM

Fig. 4 Structure morphology of steel 20SiMn3NiA quenched at 900 °C then tempered at 230 °C (a) and 320 °C (b) for 120 min, TEM

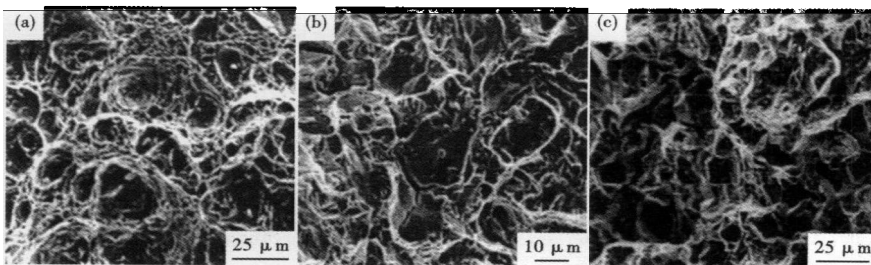


图 5 20SiMn3NiA 钢 230 °C (a),320 °C (b) 和 550 °C (c) 回火的断口形貌

Fig. 5 Fracture morphology of steel 20SiMn3NiA tempered at 230 °C (a), 320 °C (b) and 550 °C (c)

有大小不等的韧窝,多数韧窝较深且尺寸较大(图 5a)。320 °C 回火的冲击断口以穿晶断裂的脆性断口为主,也有少量沿晶断裂的脆性断口(图 5b)。550 °C 回火的冲击断口形貌为脆性断口(图 5c)。

5 结论

(1) 20SiMn3NiA 钢应采用低温回火,其较佳回火温度可选择为 200 ~ 250 °C,在 250 °C 回火时试验钢的抗拉强度超过 1 500 MPa,冲击韧性超过 80 J;在 320 ~ 600 °C 回火时,20SiMn3NiA 钢的冲击韧性值很低,具有明显的回火脆性。

(2) 20SiMn3NiA 钢经淬火及 230 °C 低温回火后得到板条马氏体、细棒状碳化物析出相和残余奥氏体,碳化物的几何形态随回火温度发生改变,在 320 °C 中温回火时,碳化物析出相呈连续的片状分布。

(3) 试验钢在 900 °C 淬火保温 40 min 油冷后,在回火温度为 200 °C 条件下回火后的力学性能最好。

广西大学科研基金资助项目(X081053)

参考文献

- 徐祖耀. 马氏体相变与马氏体. 北京: 科学出版社, 1999
- 王春芳, 王毛球, 时捷, 等. 低碳马氏体钢的微观组织及其对强度的影响. 钢铁, 2007, 42(11): 57
- Krauss G. Deformation and Fracture in Martensitic Carbon Steels Tempered at Low Temperatures. Metallurgical and Materials Transactions B, 2001, 32B(2): 205
- Saeglitz M, Krauss G. Deformation, Fracture and Mechanical Properties of Low-temperature-tempered Martensite in SAE 43xx Steels. Metallurgical and Materials Transactions A, 1997, 28A(2): 377
- 关婧, 蔡庆伍, 武会宾, 等. 回火温度对轧后直接水淬 15CrMoV 钢组织和力学性能的影响. 特殊钢, 2009, 30(2): 66
- 苗柏和, 张茂才, 史世凤, 等. 回火对冷轧 AISI301 不锈钢力学性能的影响. 北京科技大学学报, 1996, 18(6): 522

赵艳君(1971-), 女, 讲师, 在读博士, 高强度结构钢材料的研究。