

· 组织和性能 ·

热处理工艺对新型刀具用马氏体不锈钢 6Cr15Mo 组织和性能的影响

邓凡宇^{1,2} 马党参² 刘建华² 陈再枝² 李国华¹ 聂锋¹

(1 中国矿业大学(北京),北京 100083; 2 钢铁研究总院结构材料研究所,北京 100081)

摘要 研究了 6Cr15Mo 钢(%:0.59C、14.96Cr、0.52Mo、0.22V、0.0046N)1 000~1 100℃淬火的组织和硬度,以及1 080℃淬火+100~700℃回火时,该钢的组织、硬度和冲击韧性。结果表明,1 080℃淬火 6Cr15Mo 钢硬度值最高(平均 HRC 值 61.6),在 500℃回火出现二次硬化峰,冲击韧性较低(12 J/cm²),采用1 080℃淬火+150~250℃回火,可获得最佳强韧性配合(平均 HRC 值 55,冲击值 17 J/cm²)。

关键词 马氏体不锈钢 6Cr15Mo 淬火 回火 冲击韧性

Effect of Heat Treatment Process on Structure and Properties of New Martensite Stainless Steel 6Cr15Mo for Tool

Deng Fanyu^{1,2}, Ma Dangshen², Liu Jianhua², Chen Zaizhi², Li Guohua¹ and Nie Feng¹

(1 China University of Mining & Technology (Beijing), Beijing 100083;

2 Institute for Structural Materials, Central Iron and Steel Research Institute, Beijing 100081)

Abstract The structure and hardness of steel 6Cr15Mo (%: 0.59C, 14.96Cr, 0.52Mo, 0.22V, 0.0046N) quenched at 1 000~1 100℃ and the structure, hardness and impact toughness of that steel quenched at 1 080℃ + tempered at 100~700℃ have been studied. Results show that the hardness of steel 6Cr15Mo quenched at 1 080℃ has highest hardness (average HRC value 61.6), the second hardness peak of steel tempered at 500℃ occurs with lower impact toughness (12 J/cm²), and the optimum strength-toughness combination of steel is got by quenched at 1 080℃ + tempered at 150~250℃, that is average HRC value 55 with impact value 17 J/cm².

Material Index Martensite Stainless Steel, 6Cr15Mo, Quenching, Tempering, Impact Toughness

马氏体不锈钢具有高的硬度、强度、耐磨性和良好的耐蚀性能,广泛用于航天、航空、医疗、原子能和机械制造等领域^[1]。6Cr15Mo 钢是一种高碳高铬并添加微量元素的刀具用马氏体不锈钢,较传统的 Cr13 系不锈钢具有更高的碳含量,与 7Cr17 和 9Cr18 相比碳含量和铬含量都有所降低^[1,2]。6Cr15Mo 钢是自主设计的新型刀具材料,其使用状态为淬火+低温回火,可获得最佳的强度和韧性的匹配,同时具有良好的耐蚀性,适合制造高级菜刀、医用器具等产品。

1 试验材料及方法

试验用 6Cr15Mo 钢通过 25 kg 真空感应炉冶炼,浇铸成锭,并锻造成 Φ15 mm 棒材,经退火后组织为粒状珠光体,硬度 190~210 HB。其化学成分为(%):0.59C、0.31Si、0.52Mn、0.0045S、0.0069P、14.96Cr、0.52Mo、0.22V、0.0046N。采用 HP250 型布氏硬度计、TIME TH300 型洛氏硬度计测量试样硬度,采用德国 LEICA MED4M 光学显微镜、S-

4300 冷场发射扫描电子显微镜、H-800 透射电子显微镜观察试样的组织,采用 X 射线衍射仪(XRD)测量残余奥氏体量。

淬回火试样尺寸为 Φ15 mm × 10 mm。淬火工艺为 800℃预热 30 min,然后在淬火温度保温 30 min 油冷至室温,淬火温度为 1 000~1 100℃。回火试样先经 800℃预热并在 1 080℃淬火温度保温 30 min,然后分别在 100、120、140、160、180、200、220、300℃回火 1 次,保温 2 h 后空冷;400、440、460、480、500、520、540、560、600、700℃回火 2 次,每次保温 1 h 后空冷。冲击试样为 U 型缺口。热处理工艺参照回火试验。

2 试验结果与分析

2.1 淬火温度对 6Cr15Mo 钢淬火组织和硬度的影响

6Cr15Mo 钢的合金含量较高,为使奥氏体均匀化,需要采用较高的淬火温度。同时温度过高会导致晶粒粗大,降低材料的韧性,因此要选择合适的淬火温度。淬火温度低,碳化物不能充分溶解,基体中

铬的含量低,不利于材料的耐蚀性能,同时对钢的强度也有影响^[3,4]。

图 1 为淬火温度对 6Cr15Mo 钢硬度、晶粒度和淬火碳化物面积百分比的影响,图 2 为 1 000 ~ 1 100 °C 淬火后的组织形貌。光学显微镜下钢的淬火组织为隐晶马氏体 + 碳化物 + 残余奥氏体,随着淬火温度的升高,碳化物逐渐溶解,1 100 °C 淬火时可观察到晶粒已出现长大趋势(图 1)。由图 1 可见,自 1 000 °C 至 1 100 °C,碳化物的面积比由 18.92% 降至 8.33%,淬火温度平均每升高 20 °C,就有面积比 2.12% 的碳化物溶解进入基体中。淬火温度为 1 000 °C 到 1 080 °C 时,随着温度的升高,硬度逐渐升高,峰值出现在 1 080 °C,硬度为 61.6 HRC,同时晶

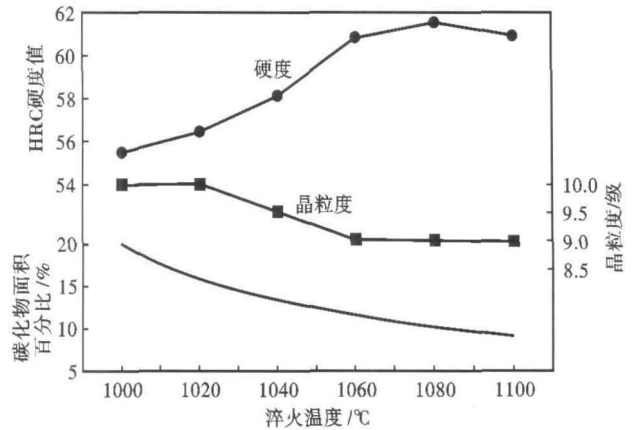


图 1 淬火温度对 6Cr15Mo 钢硬度、晶粒度和淬火碳化物面积百分比的影响

Fig. 1 Effect of quenching temperature on hardness, grain size and area percentage of quenching carbide of steel 6Cr15Mo

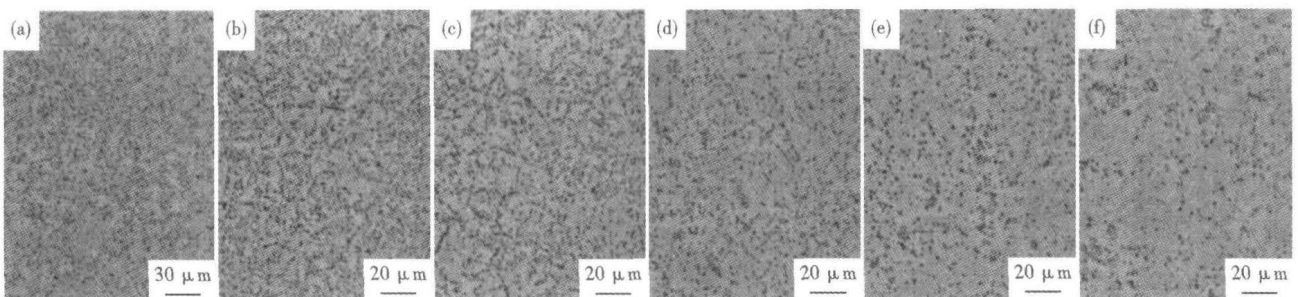


图 2 (a) 1 000 °C ; (b) 1 020 °C ; (c) 1 040 °C ; (d) 1 060 °C ; (e) 1 080 °C ; (f) 1 100 °C 淬火的 6Cr15Mo 钢组织形貌

Fig. 2 Morphology of structure of steel 6Cr15Mo quenched at (a) 1 000 °C ; (b) 1 020 °C ; (c) 1 040 °C ; (d) 1 060 °C ; (e) 1 080 °C ; (f) 1 100 °C

粒度由 10 级降到 9 级(图 1),这是因为淬火温度越高,碳化物的溶解量越大,基体中碳和铬含量增加,淬火后马氏体的晶格畸变加大,硬度值升高。1 100 °C 加热时,硬度较 1 080 °C 略有下降,因为随着碳化物溶解,基体中碳和铬含量增加,奥氏体的稳定性也随之增加,淬火后残余奥氏体量增多,硬度下降。采用 XRD 测量 1 080 °C 淬火试样残余奥氏体为 8.03%。

6Cr15Mo 钢基体马氏体呈板条状(图 3a)。图 3

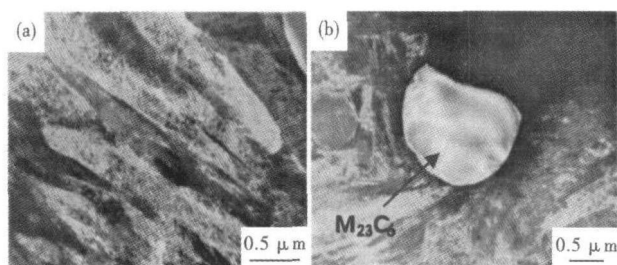


图 3 1 080 °C 淬火 6Cr15Mo 钢板条马氏体(a)和 M₂₃C₆ 碳化物(b)形貌,TEM

Fig. 3 Morphology of lath martensite (a) and M₂₃C₆ carbide (b) in steel 6Cr15Mo quenched at 1 080 °C, TEM

(b)是钢中碳化物的形貌,经标定为 M₂₃C₆ 型碳化物。

2.2 回火温度对组织和性能的影响

马氏体不锈钢经低温回火后的组织为回火马氏体,经高温回火后的组织为回火索氏体,但马氏体不锈钢的回火索氏体仍保留明显的马氏体位相^[5]。

试验钢材从低温到高温回火基体组织的变化和碳化物的聚集长大过程(图 4)。由图 5 可知,试验钢经低温回火时,随着回火温度的升高,冲击吸收功稍有下降,这是因为低温回火时,淬火马氏体变为回火马氏体,马氏体的组织应力和热应力减小,韧性降低,同时硬度值稍有降低。当超过 200 °C 回火时,马氏体开始分解,析出 M₃C 型碳化物,在 350 ~ 500 °C 回火时,温度升高使碳原子和合金元素的扩散铬逐渐置换 M₃C 中的铁而增加浓度,转变成 M₇C₃ 型的碳化物并弥散分布在基体上,在 500 °C 附近起到弥散强化作用,硬度出现二次硬化峰,试样的韧性下降,500 °C 为该钢的脆性点。高于 500 °C 回火时,温度升高使碳原子和合金元素的扩散加快,合金碳化物聚集长大,碳化物由 M₇C₃ 向 M₂₃C₆ 转变,基体组织转

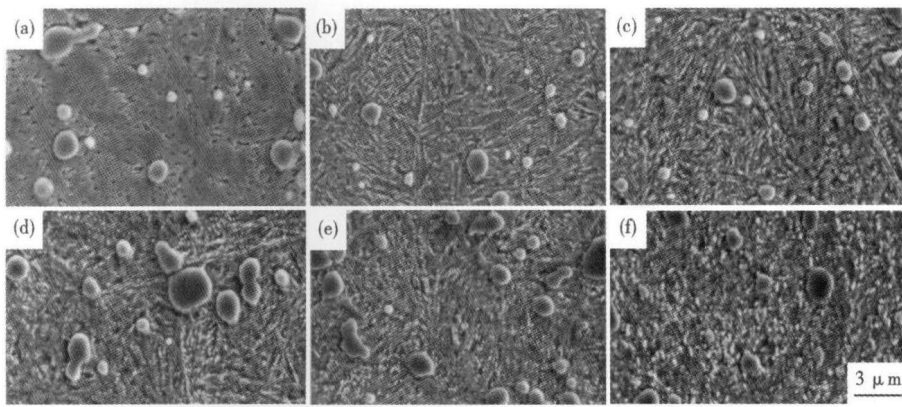


图4 回火温度-(a)100 °C;(b)200 °C;(c)300 °C;(d)400 °C;(e)500 °C;(f)600 °C对1 080 °C淬火的6Cr15Mo钢组织的影响,SEM

Fig.4 Effect of tempering temperature-(a)100 °C;(b)200 °C;(c)300 °C;(d)400 °C;(e)500 °C;(f)600 °C on structure of steel 6Cr15Mo quenched at 1 080 °C, SEM

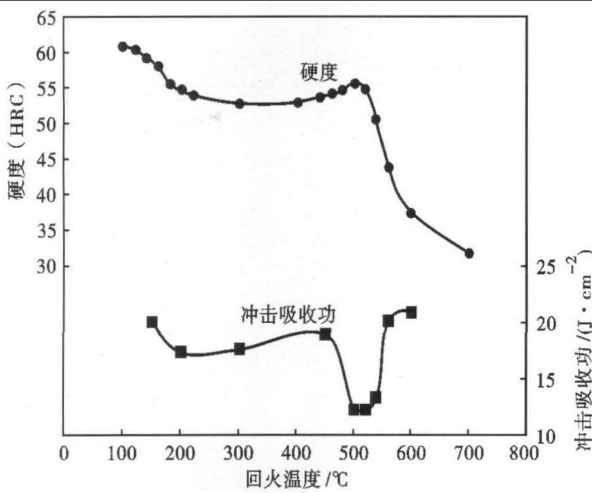


图5 回火温度对6Cr15Mo钢硬度和冲击韧性影响(1 080 °C淬火)

Fig.5 Effect of tempering temperature on hardness and impact toughness of steel 6Cr15Mo quenched at 1 080 °C

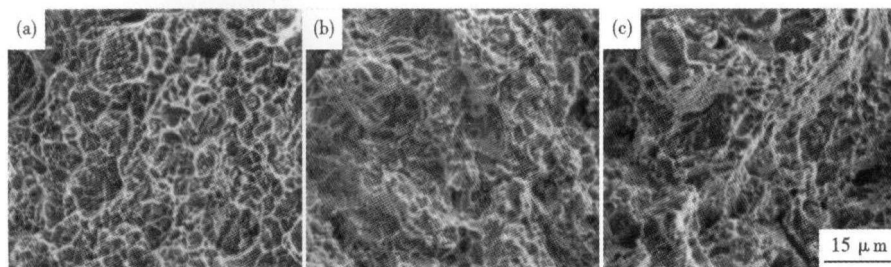


图6 回火温度-(a)200 °C;(b)500 °C;(c)560 °C对1 080 °C淬火的6Cr15Mo钢的断口形貌的影响,SEM

Fig.6 Effect of tempering temperature-(a)200 °C;(b)500 °C;(c)560 °C on impact fracture morphology of steel 6Cr15Mo quenched at 1 080 °C, SEM

变为回火索氏体(如图4所示),硬度下降,韧性上升^[5],同时M₂₃C₆周围贫铬区在回火过程中通过铬的充分扩散而得到消除,因此高温回火后的6Cr15Mo具有较高的耐蚀性。

由图6可见,低温回火时马氏体淬火应力减小,

断口由小的韧窝和少量解理面构成,韧窝较浅,边缘不够圆润。中温回火时淬火应力基本消失,马氏体开始分解,同时大量的碳化物弥散析出,呈现二次硬化,冲击韧性降低,冲击断口呈现沿晶断裂,韧窝深度变浅,解理面增多。高温回火时,碳化物的聚集长大,组织转变为回火索氏体,温度的升高使元素偏析得到改善,冲击韧性升高,断口由韧窝和少量准解理面构成。

中温回火时碳化物弥散析出在基体上,在碳化物周围会形成贫铬区,由于中温回火的温度不足以使基体中富铬区的铬向贫铬区扩散,所以贫铬区的耐蚀性显著降低,因此马氏体不锈钢一般不再中温回火使用。综合考虑采用150~250 °C回火为宜。如果对硬度要求不高,也可考虑在540~600 °C回火。

3 结论

(1)从刀具对材料耐磨性、强韧性的要求考虑,6Cr15Mo钢的热处理工艺应选用淬火+低温回火,推荐工艺为1 060~1 080 °C淬火,150~250 °C回火。

(2)从耐蚀模具对材料的综合性能的要求考虑,也可采用高温回火。

参考文献

- 1 白鹤,王伯健.马氏体不锈钢成分、工艺和耐蚀性的进展.特殊钢,2009,30(2):30
- 2 干勇,田志凌,董瀚,等.中国材料工程大典 钢铁材料工程(下).北京:化学工业出版社,2006
- 3 陆世英,张延凯,康熙范,等.不锈钢.北京:原子能出版社,1995
- 4 布赖恩 F,皮克林,刘嘉禾,等.钢的组织与性能(材料科学与技术丛书,第7卷).北京:科学出版社,1999
- 5 上海市机械制造工艺研究.金相分析技术.上海:科学技术文献出版社,1987

邓凡宇(1982-),男,硕士研究生,马氏体不锈钢研究。

收稿日期:2010-05-28