

高速钢激光相变强化组织的回火稳定性

陈传忠^{1,2} 于慧君¹ 耿浩然¹ 周香林¹ 于家洪¹
王世清¹ 雷廷权²

(1. 山东工业大学 2. 哈尔滨工业大学)

摘 要 研究了 W18Cr4V 高速钢激光相变强化层的组织及其回火稳定性, 结果表明, 对于 W18Cr4V 高速钢, 激光相变强化后的组织明显细化, 其组织由马氏体、残余奥氏体及未溶碳化物组成; W, Cr, V 等强碳化物形成元素在马氏体及残余奥氏体中固溶度的提高使强化层的回火稳定性有了明显的改善, 经 640 ℃ 回火后强化层硬度达到最高值 1003HV_{0.1}, 红硬性的提高改善了高速钢刀具的切削性能。

关键词 高速钢 激光相变强化 组织 回火稳定性

分类号 TG156

STRUCTURE AND TEMPER STABILITY OF LASER STRENGTHENED LAYER OF HIGH SPEED STEEL

CHEN Chuanzhong^{*1,2} YU Huijun¹ GENG Haoran¹ ZHOU Xianglin¹
YU Jiahong¹ WANG Shiqing¹ LEI Tingquan²

(1. Shandong University of Technology, Ji'nan 250061

2. Harbin Institute of Technology)

ABSTRACT The structure and temper stability of laser strengthened layer of W18Cr4V high speed steel were investigated. The results showed that the structure consists of martensite, residual austenite and undissolved carbides and it becomes more finer. Increases of content of tronger carbide-forming element W, Cr, V in martensite and residual austenite cause the obvious enhancement of temper stability of the strengthened layer. After the W18Cr4V high speed steel was tempered at 640 ℃ the red-hardness was improved and the hardness of the layer is up to 1003HV_{0.1}.

KEY WORDS high speed steel, laser strengthening, structure, temper stability

W18Cr4V 是一种通用高速钢, 曾被用于制作各种切削刀具和模具^[1]. 被加工材料的硬度、加工质量和切削效率的提高, 对切削速度和刀具的红硬性提出了更高的要求. 本文研究 W18Cr4V 高速钢激光相变强化层的组织及其回火稳定性.

实 验 试验用 W18Cr4V 高速钢的化学成分为: 0.79C, 18.7W, 4.2Cr, 1.1V, 0.02S 和 0.017P(质量百分数, 下同). 试样的初始热处理状态为: 1280 ℃ 油淬, 560 ℃ × 1h 三次回火. 试样尺寸为 10mm × 10mm × 80mm. 试样经清

1998年10月5日收到初稿; 1999年5月4日收到修改稿.

本文联系人: 陈传忠, 济南市 250061, 山东工业大学材料科学与工程学院

* To whom correspondence should be addressed

洗黑化后,用 HJ-4 型 1.5kW 横流 CO₂ 激光器加热,光束直径 5mm,功率 0.8~1.5kW,扫描速度 1.7~13.3mm·s⁻¹. 用 D/max-rc 型阳极转靶 X 射线仪进行相分析,用 JXA-840 型扫描电镜和 H-800 型透射电镜对强化层的组织结构观察分析,用 PV9100 和 PV9900 型能谱仪作成分分析,用 Shimadzu 显微硬度计测量强化层的硬度. 激光处理后的试样分别在 560 ℃, 600 ℃, 640 ℃ 和 680 ℃ 下回火 4h.

结果与讨论

强化层的相组成及其组织结构 W18Cr4V 钢经激光相变强化后,奥氏体晶粒度由常规淬火的 8~9 级提高

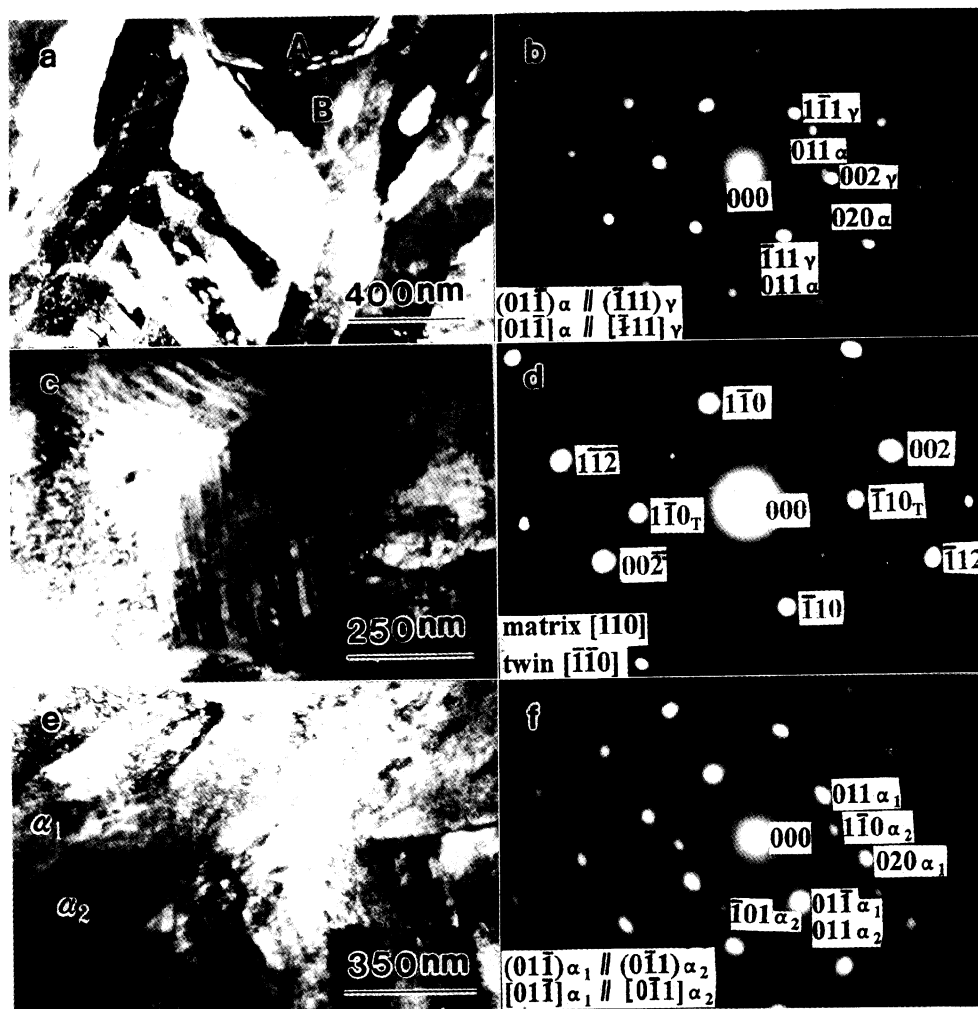


图 1 13 号试样激光相变强化层的 TEM 形貌及选区电子衍射图谱

Fig.1 TEM morphology and selected area electron diffraction patterns of laser strengthened layer of sample No.13

- (a) TEM morphology; (b) SAED patterns and indexing of martensite and austenite in (a);
 (c) twin martensite; (d) SAED patterns and indexing of twin martensite in (c);
 (e) lath martensite; (f) SAED patterns and indexing of lath martensite in (e)

到 11~12 级^[2], 表现出明显的细化. X 射线衍射结果表明: 相变强化层组织由马氏体、残余奥氏体及未溶碳化物组成, 未溶碳化物以富 W 的 M_6C 型碳化物为主, 图 1a 中 A 处碳化物的能谱分析结果为: 72.30%W, 22.74%Fe, 2.64%Cr, 2.32%V, 因此 M_6C 型的碳化物为 W, Fe, Cr, V 的复合碳化物, 可记为 $(W, Fe, Cr, V)_6C$; 另有少量的富 V 的 MC 型碳化物; 定量分析结果表明残余奥氏体约占 15% 左右. 激光相变强化层的 TEM 形貌如图 1a 所示, 图 1b 为图 1a 中 B 处残余奥氏体与马氏体 $[110]$ 和 $[100]$ 晶带轴的选区电子衍射斑点, 标定发现马氏体与残余奥氏体之间存在一定的位向关系. 片状马氏体的量较大, 具有孪晶亚结构, 是由马氏体相变应力产生的相变孪晶, 其 TEM 形貌、选区电子衍射斑点及其指标化结果如图 1c,d 所示, 孪晶面为 $(1\bar{1}2)$, 孪生方向为 $[\bar{1}11]$; 另外还有少量的板条马氏体, 其亚结构为高密度的位错, 如图 1e 所示; 图 1f 为 α_1 和 α_2 马氏体条 $[100]$ 和 $[111]$ 晶带轴的衍射斑点及其指标化, 板条间亦存在一定的位向关系, 说明板条马氏体条形核和长大时存在不同的取向关系.

图 2 为 W18Cr4V 钢激光相变强化层在不同温度回火后组织形貌的扫描电镜和透射电镜照片, 由图 2a, b, c 可见经 560 °C, 600 °C 和 640 °C 回火后, 淬火马氏体转变成了回火马氏体, 其组织形态没有因回火温度的提高明显变化, 亦无碳化物析出. 高倍率的透射电镜观察结果表明, 当回火温度升高到 640 °C 时在马氏体中析出

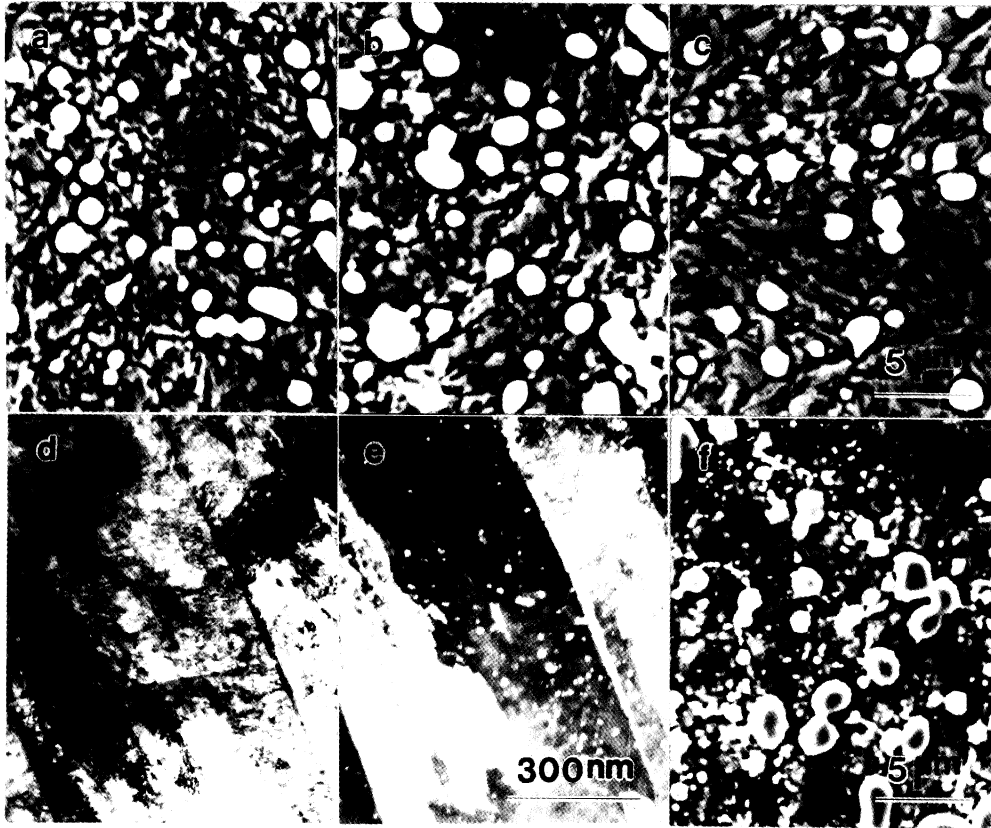


图 2 不同温度回火试样强化层的组织

Fig.2 Morphologies of laser strengthened layer tempered at different temperatures

- (a) 560 °C, SEM; (b) 600 °C, SEM; (c) 640 °C, SEM;
 (d) 640 °C, TEM, BF; (e) 640 °C, TEM, DF; (f) 680 °C, SEM

高度弥散的、与马氏体保持共格关系的碳化物微粒, TEM 明场和暗场像分别如图 2d 和 2e 所示. 随着回火温度的升高, 析出的碳化物尺寸逐渐增大, 马氏体的组织形态已基本消失, 转变成回火索氏体, 如图 2f 所示.

强化层组织的回火稳定性 图 3 表明 W18Cr4V 钢相变强化层经 640 °C 回火后硬度达到最高值 1003HV_{0.1}, 回火温度继续升高, 硬度下降. W18Cr4V 钢经激光相变强化后的回火稳定性比常规淬火提高了 80 °C 左右, 且硬度也有所提高. 激光相变强化的加热温度接近其熔点, 碳化物的进一步溶解导致大量的碳及 W, V, Cr 溶入奥氏体, 在随后的冷却过程中合金元素来不及析出, 固溶在马氏体及残余奥氏体内, 其固溶度明显高于常规淬火组织. W, V, Cr 原子与 C 原子的结合力较强, 阻碍了碳原子的扩散 [3]; 提高了马氏体的分解温度 [4]; 由于 W 的原子半径较大, 增加了 Fe 原子的自扩散激活能; 使马氏体在 600~625 °C 还比较稳定, 在更高的温度回火时有部分尺寸很小的 W₂C(10~15nm, 见图 2d,2e) 弥散析出, 与母相保持共格关系. V 固溶度的提高使马氏体在回火时析出高度弥散的富 V 的 MC 型碳化物, 并使 W₂C 型碳化物不易析出和聚集长大; Cr 也延缓 W₂C 碳化物的析出 [5]; 这些因素均使马氏体在更高的回火温度 (640 °C) 才析出高度弥散的碳化物, 增加了马氏体的回火稳定性, 产生二次硬化效应, 从而提高了高速钢的红硬性, 切削性能得到明显改善 [6]. 根据胶态平衡理论 [3,7], 微小碳化物质点对应较高的基体平衡碳浓度, 使回火马氏体保持较高的含碳量, 有较强的固溶强化作用; 增强了二次硬化的效果. 残余奥氏体中碳及合金元素含量的提高也增加了残余奥氏体的回火稳定性, 在更高的温度下回火时由于压应力的松弛使残余奥氏体分解析出更多的弥散分布的碳化物 [6]; 残余奥氏体的二次淬火对强化层的回火硬化也做出了较大的贡献. 如果回火温度过高 (650 °C 以上), 马氏体析出硬度较低且容易聚集长大的 M₆C 和 M₇C₃ 型碳化物, 与基体失去共格关系, 使淬火马氏体转变成回火索氏体, 导致硬度降低.

结论 W18Cr4V 钢激光相变强化组织的红硬性比常规淬火组织提高了 80 °C, 显著增强了二次硬化效果.

参考文献

- 1 廖健诚. 金属学 (北京, 冶金工业出版社, 1994) p.270
- 2 陈传忠, 周香林, 曹怀华, 张正中, 于家洪. 山东工业大学学报, **26**(4), 471(1996)p
- 3 钟士红. 钢的回火工艺和回火方程 (北京, 机械工业出版社, 1993) p.29,30
- 4 王笑天. 金属材料学 (北京, 机械工业出版社, 1987)p.132,125
- 5 崔崑. 钢铁材料及有色金属材料 (北京, 机械工业出版社, 1981) p.171
- 6 陈传忠, 于慧君, 朱瑞富, 于家洪, 王世清. 中国激光, **A23**(12), 1121(1996)
- 7 胡光立, 谢希文. 钢的热处理 (原理和工艺). (西安, 西北工业大学出版社, 1993) p.68
- 8 合金钢编写组. 合金钢. (北京, 机械工业出版社, 1978) p.165

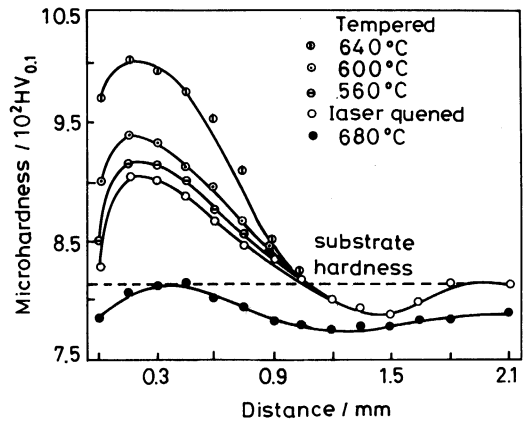


图 3 硬化层硬度分布
Fig.3 Hardness distribution of strengthened layer of sample No.13 (1.5kW, 8.3mm/s)