

文章编号: 1004- 0609(2000) 01- 0055- 04

双辉离子渗钨钼层渗碳组织的电镜分析^①

高 原, 刘小萍, 贺志勇, 徐 重
(太原理工大学 表面工程研究所, 太原 030024)

摘 要: 采用双层辉光离子渗金属技术, 首先在低碳钢表面渗入合金元素钨、钼; 然后作固溶处理, 使金属间化合物溶于基体中; 接着渗碳, 使合金层内形成大量弥散、均匀、细小的合金碳化物。经淬火及回火后的合金层具有高速钢组织及性能。对渗金属层渗碳后的组织进行了电子显微分析。

关键词: 双层辉光离子渗金属; 固溶处理; 渗碳; 高速钢

中图分类号: TG156

文献标识码: A

低碳钢在国民经济许多重要领域有着广泛的应用, 研究其热处理制度、改善其使用性能, 历来备受重视; 但用双辉离子渗金属技术配合常规渗碳、固溶工艺, 使其达到高速工具钢组织和性能的研究和报道还不多。本文将主要介绍这方面的研究结果。

1 实验方法及工艺参数

实验钢材: 20 钢, 尺寸 300 mm × 12 mm × 0.1 mm; 源极成分: 钨钼粉末冶金合金, $w(\text{Mo}) = 80\%$, $w(\text{W}) = 20\%$; 工作气体: 氩气。

实验设备为 LS-100 离子渗金属炉、50 kW 高温盐浴炉、45 kW 多用气体渗碳炉、WDL-31 光电测温仪、Ni-Cr-Ni-Si 热电偶监控。

工艺路线为双层辉光离子渗金属^[1]、固溶、渗碳。

源极电压为 950~ 1000 V, 试样电压为 350~ 450 V, 工作气压为 40~ 70 Pa; 保温温度(1 220 ± 10) °C, 保温时间 14 h; 固溶处理制度为 1 240 °C, 8 min, 油淬; 渗碳处理制度为 930 °C, 5 h+ 860 °C, 0.5 h, 油淬, 炉内碳势 1.0% C。

2 实验结果

2.1 渗金属

渗金属后的试样, 由于高温时 W, Mo 溶解度大^[2], 在缓慢冷却过程中从基体内析出大量条状、块状、棒状金属间化合物, 经 X 射线测定为 $\text{Fe}_7(\text{W}, \text{Mo})_6$ 相, 即 μ 相^[3] 组织(图 1)。 μ 相的析

出将使基体的合金元素分布不均匀且增加脆性, 对随后的性能有影响^[4], 故必须消除之。

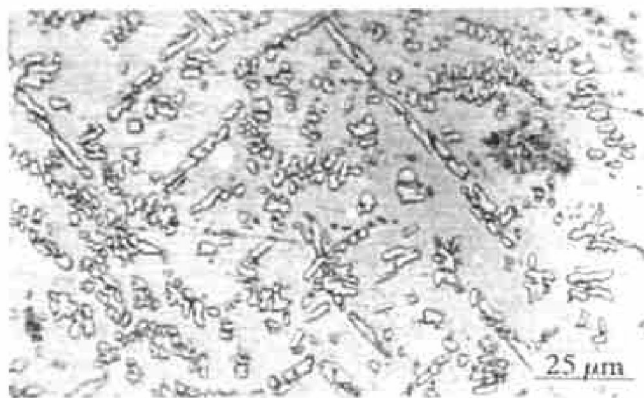


图 1 离子渗金属后的显微组织

Fig. 1 Microstructure of alloyed layer

2.2 固溶处理

经固溶处理^[5]后的金相显微组织中, μ 相已明显被消除(图 2)。

渗金属及固溶后的各试样成分如表 1 所示。

2.3 渗碳

2.3.1 金相显微组织及含碳量

表 1 渗金属及固溶后的试样成分

Table 1 Composition of alloyed layer (%)

Sample No.	Fe	Mo	W
1	90.97	6.93	2.10
2	91.37	5.83	2.79
3	91.62	5.40	2.98
4	90.47	7.01	2.52
5	88.74	7.31	3.95
6	90.39	6.41	3.20

① 收稿日期: 1999- 03- 30; 修订日期: 1999- 09- 09

作者简介: 高原(1954-), 男, 教授



图 2 固溶处理后的显微组织

Fig. 2 Microstructure of alloyed layer after solution heat treatment

经渗碳处理的试样由细小、均匀、弥散的合金碳化物组成(图 3)，试样平均含碳量如表 2 所示。

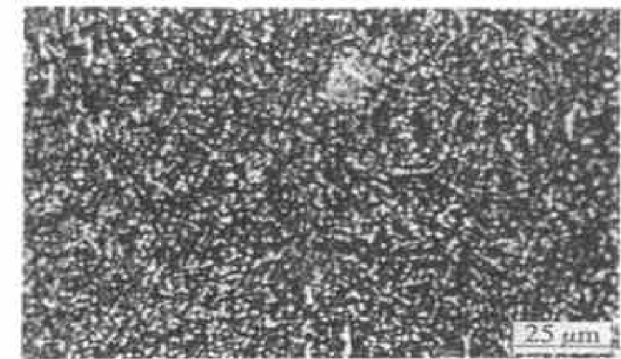


图 3 渗碳后的显微组织

Fig. 3 Microstructure of alloyed layer after carburizing

表 2 渗金属、渗碳后的平均含碳量

Table 2 Carbon content of alloyed layer after carburizing (%)

Sample No.	C	Sample No.	C
1	1.01	4	1.07
2	1.08	5	0.97
3	1.04	6	1.08

2.3.2 碳化物定量分析

为确定渗钨渗碳层中碳化物的类型及数量，采用电解萃取残渣、X 射线衍射法作定性分析，确定第二相；采用碘基水杨酸光度法做 Fe 元素定量分析，用 KSCN 抗坏血酸光度法做 Mo 元素定量分析，用 KSCN-硫酸亚钛光度法做 W 元素定量分析^[6]。

经 X 射线衍射分析确定，第二相分别为 M_6C 和 M_2C 型碳化物，定量分析结果见表 3 和 4。

2.3.3 碳化物 SEM 观察

碳化物的扫描电镜组织如图 4、图 5 和图 6 所

示。经渗钨钼、渗碳后的碳化物粒度细小，分布弥

表 3 M_6C 型碳化物相成分

Table 3 Composition of M_6C carbides (%)

Sample No.	Fe	Mo	W	Σ
1	2.86	5.60	1.40	9.86
2	1.98	5.09	1.11	8.18
3	2.38	4.85	0.91	8.14
4	4.73	6.39	1.33	12.45
5	4.48	6.30	1.21	11.99
6	3.82	5.82	1.60	10.08

表 4 M_2C 型碳化物相成分

Table 4 Composition of M_2C carbides (%)

Sample No.	Fe	Mo	W	Σ
1	0.16	0.52	Trace	0.68
2	0.17	0.57	Trace	0.74
3	0.15	0.52	Trace	0.67
4	0.19	0.54	Trace	0.73
5	0.14	0.58	Trace	0.72
6	0.14	0.53	Trace	0.67

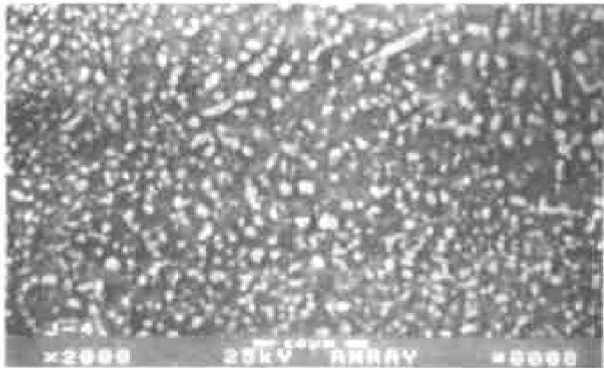


图 4 渗碳后的碳化物粒状及分布

Fig. 4 Microstructure of bar carbides after carburizing

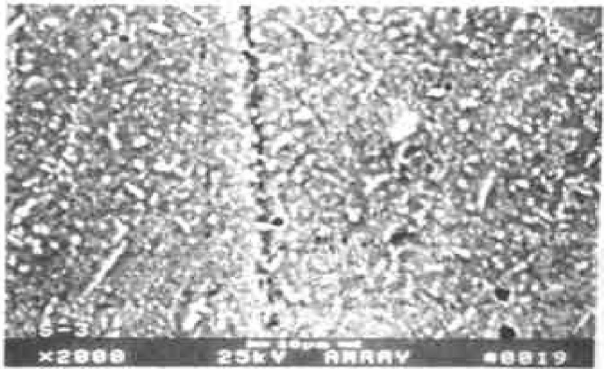


图 5 渗碳后出现少量短条棒状碳化物

Fig. 5 Microstructure of nodular carbides after carburizing

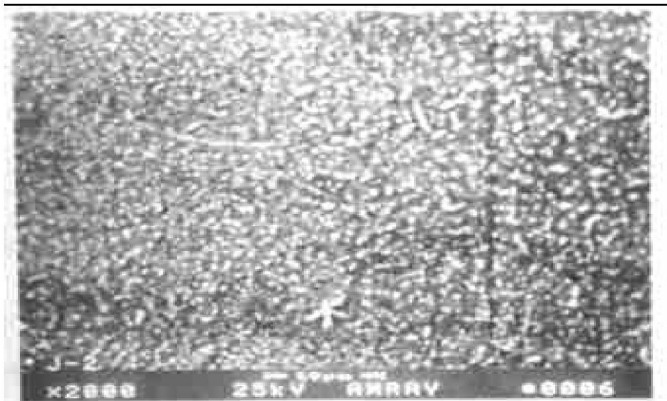


图 6 渗碳后的均匀细小的碳化物

Fig. 6 Microstructure of homogeneous and fine carbides after carburizing

散, 其一般尺寸小于 $2\mu\text{m}$, 主要呈粒、块状, 少量为短条、棒状。

细小、弥散分布的碳化物是等离子表面冶金高速钢^[7]的优点之一。这主要是因为传统高速钢中有粗大难溶基体的莱氏体组织, 锻造后碳化物尺寸为几至几十微米^[8], 而渗钨钼、渗碳形成的高速钢, 第一, 没有像冶金高速钢那样的结晶凝固过程, 即在冶炼时结晶形成大块状莱氏体共晶碳化物^[9]; 第二, 合金层中碳化物由固体状态下低温渗碳而形成, 所以碳化物的生长速率小; 第三, 经固溶处理后合金元素分布均匀, 故渗碳时碳化物的形核位置均匀, 形核率高^[10]。

碳化物的不同形态与碳化物的形成机理有关。渗碳过程中的钨钼铁基合金经过 α , $\alpha + \text{MeC}$, $\alpha + \text{MeC} + \gamma$ 及 $\gamma + \text{MeC}$ 四个过程 (MeC : 含钨钼的合金碳化物), 当含碳量达 $1.0\% \sim 1.1\%$ 时, 钨钼铁基合金稳定在 $\text{MeC} + \gamma$ 区, 且在达 0.2% 时就出现 MeC (即 $\alpha + \text{MeC}$ 区)。碳化物的析出受碳原子向晶体缺陷处偏聚和碳原子本身在基体中的聚集两个过程的影响。碳化物的形核位置主要在晶体缺陷, 如孪晶、位错等处; 但在碳原子富集区, 当其长到一定程度后也可直接形核; 也能在两相区如 α 和 γ 相界面或在晶界原子排列不规则处形核。经 930°C 渗碳和 860°C 降温等温, 奥氏体中可能有单一方向和交叉方向排列的位错组态。渗碳时, 碳和合金元素原子在基体中存在成分起伏和能量起伏^[10]。因此, 单一方向分布的棒状碳化物可能由单一方向排列的位错组态形核长大, 交叉的棒状碳化物可能在交叉排列的位错组态和网络处形核长大, 均匀分布的粒状碳化物则可能在碳和合金元素原子密集区直接形核长大。

2.3.4 透射电镜研究

用 LDM 150D 离子薄化器制取渗层透射观察试样, 用 H-800 透射电镜观察渗层形貌和衍射图, 其结果如图 7, 图 8 和图 9 所示。碳化物在放大 50000 倍下, 呈现沿单一方向和交叉排列的棒状或粒状 (图 7, 图 8)。 M_6C 型碳化物和马氏体之间的位相关系非常明确 (图 9), 即马氏体的 $\{110\}$ 晶面族的各晶面与 M_6C 型碳化物中 $\{220\}$ 晶面族的各相应晶面平行, 具体关系是 $(110)_\text{M} \parallel (220)_{\text{M}_6\text{C}}$, $(101)_\text{M} \parallel$



图 7 渗层碳化物 TEM 组织

Fig. 7 TEM microstructure of carbides

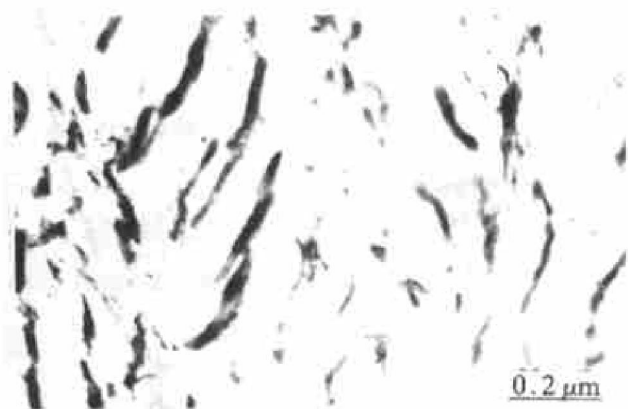


图 8 渗层碳化物 TEM 组织

Fig. 8 TEM microstructure of carbides

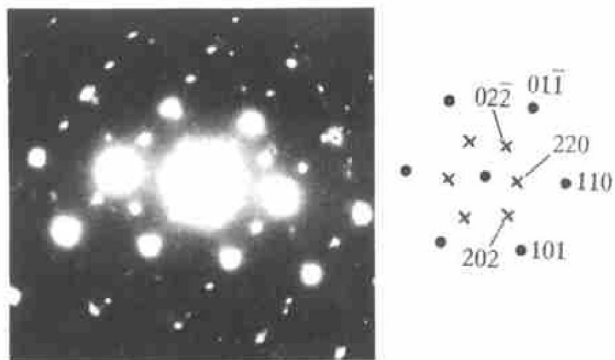


图 9 渗碳后合金层的衍射花样

Fig. 9 Diffraction pattern in alloyed layer after carburizing

$(202)_{M_6C}$, $(01\bar{1})_M \parallel (02\bar{2})_{M_6C}$ 等。

3 结论

1) 双层辉光离子渗金属及渗碳后, 表面合金化层达高速钢成分。

2) 合金层碳化物细小弥散均匀, 主要有 M_6C 和 M_2C 型碳化物, 其尺寸一般小于 $2\mu m$ 。

3) 碳化物的不同形态与碳化物的形成及机理有关, 单一方向分布的棒状碳化物由单一方向排列的位错组态形成, 交叉方向分布的棒状碳化物在交叉排列的位错网络处形成, 粒状分布的碳化物在基体能量起伏和成分起伏的合金元素密集区形成。

4) 合金层中 M_6C 型碳化物与基体马氏体之间存在位相关系, 即: $(110)_M \parallel (220)_{M_6C}$, $(101)_M \parallel (202)_{M_6C}$, $(01\bar{1})_M \parallel (02\bar{2})_{M_6C}$ 等。

REFERENCES

- [1] XU Zhong(徐重), WANG Cong-zeng(王从曾), SU Yong-an(苏永安), *et al.* 锯切工具离子渗金属技术 [P]. CN871043580.
- [2] LIU Xiao-ping(刘小萍), SU Yong-an(苏永安), LI Cheng-ming(李成明), *et al.* 胞状沉淀组织的 SEM 和 TEM 分析[J]. Journal of Chinese Electron Microscopy Society(电子显微学报), 1998, 17(5): 475.
- [3] SU Yong-an(苏永安), WANG Cong-zeng(王从曾),

TANG Bin(唐宾), *et al.* 辉光离子渗钨钼层脱溶沉淀组织[A]. In: Proceeding of the International Conference on Surface Science and Engineering(国际表面科学与工程会议论文集)[C], 1995: 166.

- [4] GAO Yuan(高原), HE Zhi-yong(贺志勇), ZHAO Jin-xian(赵晋香), *et al.* 机用锯条齿部表面强化组织的研究[J]. Material Science and Technology(材料科学与工艺), 1995, 3(3): 62.
- [5] GAO Yuan(高原), HE Zhi-yong(贺志勇), ZHAO Jin-xian(赵晋香), *et al.* 20CrV 钢渗金属渗碳组织的 SEM 分析[J]. Journal of Chinese Electron Microscopy Society(电子显微学报), 1999, 18(18): 71.
- [6] Research Institute of Iron and Steel(钢铁研究院). 钢的物理化学分析[J]. New Material(新材料), 1977, 5: 14.
- [7] GAO Yuan(高原), HE Zhi-yong(贺志勇), ZHAO Jin-xian(赵晋香), *et al.* 一种新型的表面高速钢的形成方法[J]. Journal of Taiyuan University of Technology(太原工业大学学报), 1996, 27(1): 33.
- [8] GAO yuan(高原), LIU Xiao-ping(刘小萍), HE Zhi-yong(贺志勇), *et al.* 离子渗钨钼手用锯条合金元素与切削性能的研究[J]. Acta Armamentarii(兵工学报), 1998, 19(4): 331.
- [9] GAO Yuan(高原), HE Zhi-yong(贺志勇), LIU Xiao-ping(刘小萍), *et al.* 离子渗钨钼手用锯条含碳量与切削性能的研究[J]. Material Science and Technology(材料科学与工艺), 1997, 5(3): 97.
- [10] RAN Li-ping(冉丽萍). W6Mo5Cr4V2 钢形变热处理组织的电镜分析[J]. Physical Testing and Chemical Analysis(理化检验), 1995, 4: 28.

An analysis on microstructures of alloyed layer by double glow plasma W-Mo alloying process after carburizing

GAO Yuan, LIU Xiao-ping, HE Zhi-yong, XU Zhong

Research Institute of Surface Engineering,

Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, P. R. China

Abstract: The surface high speed steel and its high properties are obtained by surface alloying with W-Mo, carburizing, quenching and tempering. W-Mo alloy layer is formed by double glow plasma alloying process. To dissolve the intermetallics which precipitated from the matrix of the layer, a solution heat treatment is conducted. The carburized alloyed layer possesses high density of finery and dispersed alloy carbides for the high concentrations of W, Mo and their affinities with carbon. Microstructures of the carburized alloyed layer are analysed in detail by TEM.

Key words: double glow plasma surface alloying; solution heat treatment; carburizing; high speed steel

(编辑 张曾荣)