

45[#] 钢激光铬钼合金层性能的研究

杨德华

吴宝善

(中国科学院兰州化学物理研究所固体润滑开放研究实验室, 730000)

(兰州大学物理系, 730001)

摘要: 本文对 45[#] 钢表面激光铬、钼合金化前后各项性能进行了分析比较。结果表明, 激光铬钼合金化可使 45[#] 钢表面耐磨性提高 1~2 倍, 也可使 45[#] 钢表面的抗高温氧化性和耐酸腐蚀性有较大程度的改善。

关键词: 45[#] 钢, 激光铬钼合金化, 耐磨性

Study on the property of laser alloying layer on the surface of 45[#] carbon steel with chromium and molybdenum

Yang Dehua

(Laboratory of Solid Lubrication, Lanzhou Institute of Chemical Physics, Academia Sinica, Lanzhou)

Wu Baoshan

(Department of Physics, Lanzhou University, Lanzhou)

Abstract: Various properties of 45[#] carbon steel surface before and after laser alloying with chromium and molybdenum are analysed and compared. The results show that the surface wear resistance of the alloyed layer increases by two or three times than that of 45[#] carbon steel, oxidation resistance and corrosion resistance of the alloyed layer were also obviously increased.

Key words: 45[#] carbon steel, laser alloying with chromium and molybdenum, wear resistance

激光合金化是一种很有发展前途的表面强化技术。通过激光合金化不仅可以提高材料表面的硬度、耐磨性^[1~4]、热稳定性^[5], 而且可以提高表面的耐腐蚀性^[6~9]。利用激光合金化的方法可以在廉价基材上形成性能优异的表面合金层, 以满足生产中对表面的特殊要求, 从而节省贵重的稀有材料。本文对 45[#] 钢激光表面铬钼合金层的性能进行了研究。

一、试验条件

选 45[#] 钢作为基材, 将铬钼合金粉末按比例混合后涂敷于试样表面, 用连续 CO₂ 激光进行合金化处理, 处理参数见表 1。

Table 1 Parameters of alloying treatment

| Sample No. | Coating composition Cr:Mo | Coating method | Coating thickness (mm) | Laser power (W) | Laser beam diameter (mm) | Scanning velocity (mm/s) | Overlapping width (mm) | Protective gas |
|------------|------------------------------|------------------|---------------------------|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------|
| 141 | 3:1 | coating manually | 0.4 | 1100 | 2.5 | 12 | 1.0 | N ₂ |
| 142 | 3:1 | | 0.4 | 1100 | 2.5 | 9 | 1.0 | N ₂ |
| 143 | 3:1 | | 0.4 | 1100 | 2.5 | 15 | 1.0 | N ₂ |
| 144 | 3:1 | | 0.4 | 1100 | 2.5 | 6 | 1.0 | N ₂ |
| 121 | 3:1 | | 0.2 | 1100 | 2.5 | 12 | 1.0 | N ₂ |
| 122 | 3:1 | | 0.2 | 1100 | 2.5 | 9 | 1.0 | N ₂ |
| 123 | 3:1 | | 0.2 | 1100 | 2.5 | 15 | 1.0 | N ₂ |
| 124 | 3:1 | | 0.2 | 1100 | 2.5 | 6 | 1.0 | N ₂ |

二、试验结果及分析

用 X 射线衍射仪对合金层相组织的分析表明,合金层的相组成为马氏体、铁素体、碳化物 Mo₂O 和残余奥氏体。并用电镜能谱分析的方法测量了合金层铬钼合金元素含量,其结果见表 2。

Table 2 Compositions of the alloyed layers

| Element | No | | | | | | | |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 121 | 122 | 123 | 124 | 141 | 142 | 143 | 144 |
| Cr(%) | 8.2 | 6.5 | 8.2 | 5.6 | 12.5 | 9.2 | 10.3 | 8.6 |
| Mo(%) | 12.0 | 7.4 | 6.5 | 7.1 | 15.9 | 14.7 | 12.0 | 10.4 |
| Fe(%) | 79.8 | 86.1 | 85.3 | 87.3 | 71.6 | 76.1 | 77.7 | 81.1 |

2.1 合金层的抗高温氧化性

将合金层与基体分离后制成长方形薄片样品,在 Du Pont 1090 型差热分析仪上进行高温 900°C 下的氧化实验。合金层和基体 45# 钢单位面积氧化增重随时间变化曲线见图 1。从图 1 可知,45# 钢激光铬钼合金化后,合金层的抗高温氧化性明显改善,经 3 小时氧化后合金层单位面积氧化增重仅是 45# 钢基体单位面积氧化增重的 1/3~1/4.5。对照表 2 的数据可知,随合金层铬钼合金元素含量增加,合金层的抗氧化性提高。图 3 分别是 45# 钢基体(a)和 122# 合金层(b)在 900°C 空气中氧化 3 小时后表面氧化膜的扫描电镜形貌。从图中可以看出,45# 钢表面氧化膜具有明显的分层和不连续状态,说明在高温 900°C 下起不到保护作用,而 122# 合金层在氧化过程中表面生成的氧化膜是连续的、致密的,在较大程度上阻止了氧化的继续发生,从而起到了良好的抗高温氧化作用。

2.2 合金层的耐酸腐蚀性

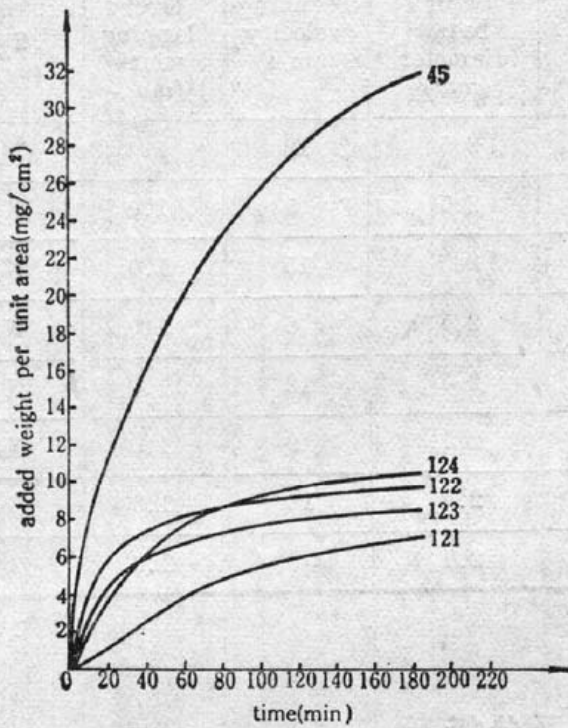


Fig. 1

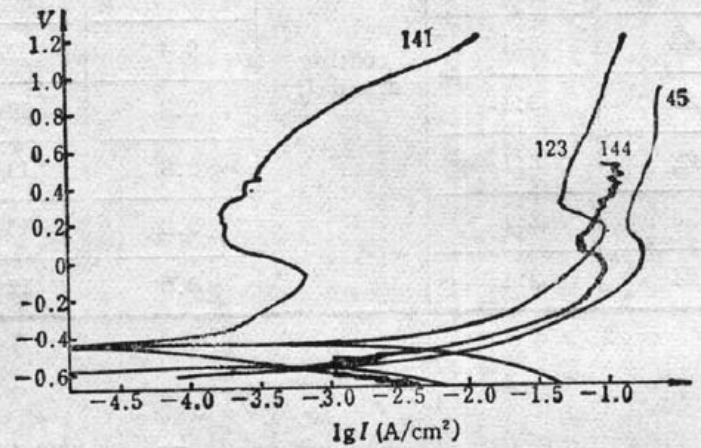


Fig. 2

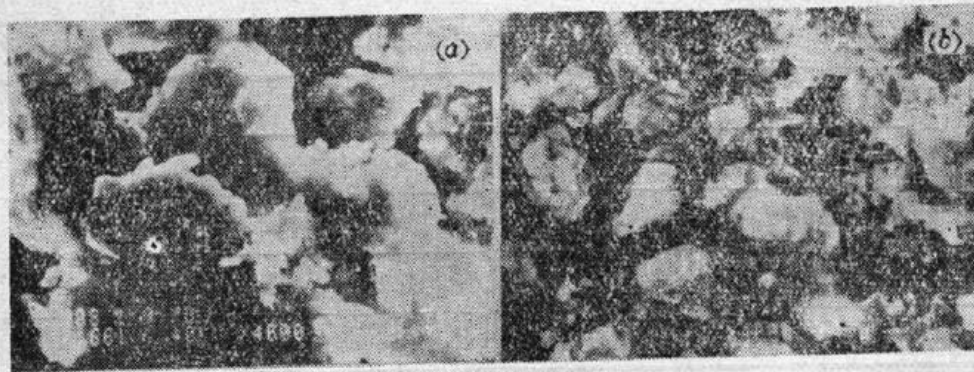


Fig. 3

图2是45#钢基体和141#、123#、144#合金层在1N H₂SO₄+10% NaCl酸性溶液中的极化曲线,可以看出不论是合金层还是45#钢基体,在所选介质中都能出现钝化现象,但45#钢基体钝化现象很微弱。合金层由于铬钼合金元素的存在,使临界钝化电流密度 i_b 减小,其中123#、144#合金层铬钼含量较少,所以 i_b 减少较小,而141#合金层具有较大的铬钼含量,故它的 i_b 相对于基体45#钢的减少两个以上数量级。铬是减小钝态电流密度 i_p 的元素,而钼则使 i_p 增加,这两种合金元素交互作用的结果使合金层的耐腐蚀性提高,钝态电流密度减小,其中141#合金层的 i_p 相对于45#钢基体的 i_p 减少近两个数量级。这说明通过铬、钼合金化后45#钢表面的耐腐蚀性大大提高了。

2.3 合金层的耐磨性

在 Skoda 磨损试验机上对合金层和 45* 钢基体进行了润滑条件下的磨损试验, 磨损后的样品在读数显微镜下测出磨痕宽度, 查表对照出磨损体积, 再算出单位距离上的磨损体积即磨损率 W_v 及耐磨性 $K=1/W_v$, 试验结果见表 3。由表 3 的数据可知, 45* 钢激光铬钼合金化表层耐磨性提高到基体的 2~3 倍。耐磨性提高的原因是 (1) 合金层内马氏体及一定数量弥散分布的碳化物 Mo_2C 的强化作用; (2) 合金层内合金元素在奥氏体、铁素体和马氏体中大量存在的固溶强化作用; (3) 合金层内大量残余奥氏体的存在, 残余奥氏体对合金层耐磨性的影响很容易从表 4 看出, 141*、142*、143* 合金层的耐磨性明显地随残余奥氏体含量的增加而提高, 121*、122*、123* 合金层之间也有同样的趋势。

Table 3 Wear resistance of 45* steel and the alloyed layer

| Sample No. | width of wear track | | | | $W_v (\times 10^{-3} \text{mm}^3)$ | | | | $\bar{W}_v (10^{-3} \text{mm}^3)$ | $W_s (10^{-6} \text{mm}^3 \cdot \text{m}^{-1})$ | $K (10^6 \text{mm}^{-3})$ | K/K_{45} |
|------------|---------------------|------|------|------|------------------------------------|------|------|------|-----------------------------------|---|---------------------------|------------|
| | | | | | | | | | | | | |
| 45 | 0.50 | 0.58 | 0.53 | | 1.74 | 2.71 | 2.04 | | 2.17 | 2.30 | 0.44 | 1 |
| 143 | 0.40 | 0.35 | 0.38 | | 0.88 | 0.59 | 0.74 | | 0.74 | 0.78 | 1.28 | 2.94 |
| 141 | 0.41 | 0.37 | 0.40 | | 0.95 | 0.69 | 0.88 | | 0.84 | 0.89 | 1.12 | 2.57 |
| 142 | 0.41 | 0.42 | 0.46 | 0.42 | 0.95 | 1.05 | 1.35 | 1.05 | 1.10 | 1.17 | 0.86 | 1.96 |
| 122 | 0.40 | 0.38 | 0.39 | | 0.88 | 0.74 | 0.83 | | 0.81 | 0.86 | 1.16 | 2.67 |
| 123 | 0.37 | 0.39 | 0.41 | | 0.69 | 0.83 | 0.95 | | 0.82 | 0.87 | 1.14 | 2.63 |
| 121 | 0.40 | 0.41 | 0.42 | | 0.88 | 0.95 | 1.05 | | 0.96 | 1.02 | 0.98 | 2.25 |

Table 4 Relation between wear resistance and content of residual austenite

| Sample No. | 142 | 141 | 143 | 123 | 121 | 122 |
|--|------|------|------|------|------|------|
| $K (10^6 \text{m} \cdot \text{mm}^{-3})$ | 0.86 | 1.12 | 1.28 | 1.14 | 0.98 | 1.16 |
| content of residual austenite (%) | 26.6 | 31.0 | 47.4 | 20.0 | 34.9 | 51.5 |

参 考 文 献

1. P. A. Molian, *Mater. Sci. Eng.*, **58**, 175 (1983)
2. Gerd Sepold, *Physical Processes in Laser-Materials Interactions*, Ed. M. Bertolotti, 163~173, 1983.
3. 何大智译, 国外金属热处理, **4**, 9 (1985)
4. 王超然译, 国外金属热处理, **4**, 13 (1985)
5. E. F. Semiletova, T. H. Dumbadze, *Laser in Manufacturing*, 97~108 (1985)
6. P. G. Moore, L. S. Weinman, *Laser Applications in Materials Processing*, Ed. J. F. Ready, 198, 27~28 Aug, (1979)
7. P. G. Moore, E. Mc Cafferty, *J. Electrochem. Soc.*, **128**, 1391 (1981)
8. E. Mc Cafferty, P. G. Moore, *J. Electrochem. Soc.*, **133**(6), 1090 (1986)
9. J. B. Lumsden *et al.*, *Corrosion of Metals Processed by Directed Energy Beams*, Ed. G. R. Clayton, G. M. Preece, AIME, Warrendale, PA. 129~134 (1982)