

碳钢表面激光铬钼合金化与合金层热稳定性的研究

杨德华

(中国科学院兰州化学物理研究所, 兰州)

摘要: 作者利用大功率CO₂激光器在碳钢表面获得了显微硬度和成分分布均匀的铬钼合金层, 实验结果表明: 合金层的硬度提高到基体硬度的2~3倍, 热稳定性也较基体有明显提高。另外, 文中对合金层性能改善的原因也进行了初步的探讨。

Investigations of laser alloying with chromium and molybdenum on surface of carbon steel and thermal stability of the alloyed layer

Yang Dehua

(Lanzhou Institute of Chemical Physics, Academia Sinica)

Abstract: The layer alloyed with chromium and molybdenum on surface of carbon steel was obtained by using high power CO₂ laser in this study. Experimental results show that the distributions of microhardness and compositions in the alloyed layer are uniform. The microhardness of alloyed layer is increased to 2 or 3 times compared with that of carbon steel. Meanwhile the thermal stability of the alloyed layer is obviously higher than that of carbon steel. In addition, the reason for improving these properties has been discussed.

一、前 言

激光表面合金化是70年代至今随大功率激光器的出现而迅速发展起来的一项有效的表面强化技术。它利用激光作为热源, 使预涂敷在基体表面的合金涂层和一定厚度的基体表层迅速熔化、混合、凝固, 从而在低成本工件上形成优异性能的合金表面层。激光合金化层由于有高的冷却速度($10^4 \sim 10^7$ K/s), 常可得到特殊的固态非平衡组织。它与常规化学处理相比, 具有效率高, 合金元素消耗少, 处理时间短, 工件变形小, 无需淬火介质及无污染, 易实现自动化处理等优点。利用激光合金化的方法, 不仅可以提高材料表面的硬度, 改善表面

的耐磨性〔1〕和耐腐蚀性〔2〕，而且可以提高表面的热稳定性〔3〕。为此作者在碳钢表面进行了激光铬钼合金化处理，并考察了合金层和基体的硬度及热稳定性，分析了合金层具有高热稳定性的原因。

二、试样的涂敷和激光处理

用工业45#钢作为基体，将其加工成10mm×20mm×100mm的条状样品。合金化元素选用铬钼粉末，以3:1的比例充分混合，再调入有机粘接剂中混合成粘稠状并涂于基体样品表面上，涂层厚度分别为0.2mm和0.4mm。待涂层凝固后，用JL-6型横流CO₂激光器以1100W的输出功率，2.5mm的光斑直径进行激光处理。处理时光束固定从上向下照射，样品放置在工作台上待处理面朝上，由电动丝杠带动样品台移动实现单程扫描，然后横向移动样品1.5mm，实现搭叠式扫描，搭叠宽度为1mm，从而获得整个样品表面的合金化。实验中，扫描速度为6~12mm/s。另外为防止表面氧化，采用N₂保护。

三、试验结果及讨论

1. 合金层的相组织特征和硬度分布

对不同厚度的合金粉末涂层和激光处理工艺下获得的铬钼合金层的测量结果表明，合金层的厚度约为400~680μm，硬度在HV_{0.025}500~850kgf/mm²之间，比基体硬度HV_{0.025}220kgf/mm²高1~2倍。对合金层组织的观察表明，不同工艺下得到的合金层具有相似的结晶形态，所以仅以1#样品为例进行分析。图1是1#合金化样品横截面的扫描电镜照片，可以看出，合金化样品从表面向下可分为熔化区（即合金化区）、热影响区和基体区。热影响区与合金化区及基体区之间均有明显的分界线。合金层横截面经苦味酸水溶液浸蚀后的组织形貌相见图2。由图2可以看出，合金化区的组织具有胞状枝晶结构，且合金层与基体热影响区之

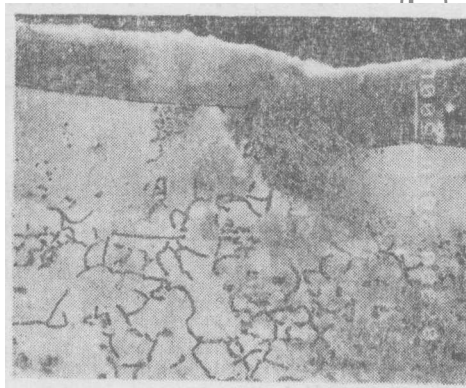


图1 1#样品横截面的扫描电镜形貌，×60，苦味酸水溶液浸蚀20min

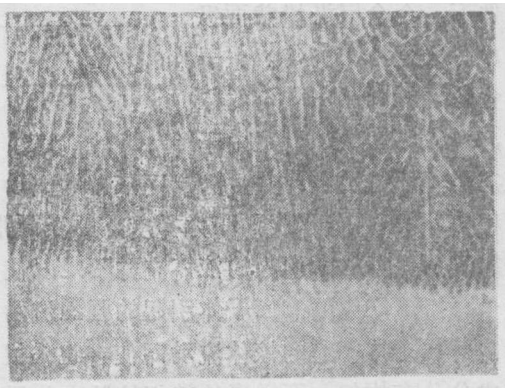


图2 合金化区组织形态，×900，腐蚀条件同图1

间具有良好的冶金结合。在激光合金化时，合金粉末涂层和一定深度的基体表面被高能激光束快速熔化并混合，随后由于向周围的基体和空气中散热而开始凝固。凝固过程中，在基体与熔液液面交界处，温度梯度最大，液态金属在固相表面上的稳定形核功最小〔4〕，所以液态

金属首先在基体原有晶粒上形核并迅速长大，从而形成胞状枝晶。

图3示出了1#样品横截面上的显微硬度分布。可以看出，合金化区具有最高的硬度且分布均匀，其次是热影响区，而基体区硬度最低，三区之间呈台阶状下降的趋势。

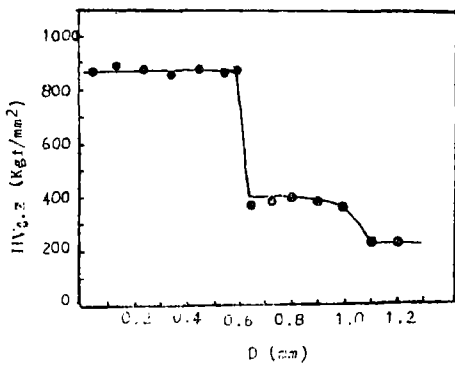


图3 1#样品横截面上的硬度分布

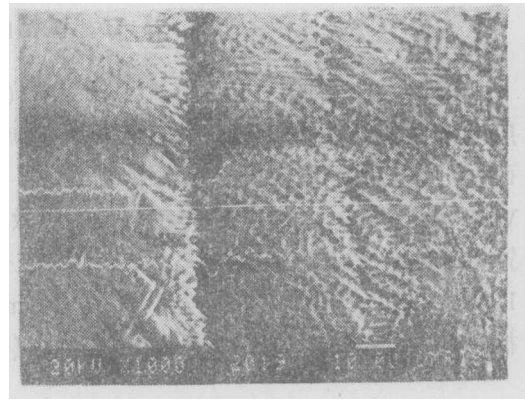


图4 合金层横截面合金元素成分线扫描图

2. 合金层的相组成及成分分布

用能谱线扫描和点分析的方法，对激光铬钼合金层进行了成分分析和测定，测量结果见表1和图4。从图4可以看出，在所选工艺参数条件下，合金层沿横截面纵向成分宏观分布均匀。关于合金化区元素分布均匀的原因，有学者^[5]认为是由于

液态金属的强烈流动造成的，而液体的流动则是由于熔池表面温度不均匀，即受激光束照射的程度不同，引起了表面张力梯度，由表面张力梯度导致了液态金属的流动。也有人^[6]认为光靠表面张力梯度引起的液体流动不足以使成分分布均匀，可能还有由于激光束与金属上面大气作用下产生的等离子体引起的强烈流动。在本实验中，因采用了氮气作为保护性气体，所以等离子体引起的液体流动即使有也是很微弱的，主要还是表面张力梯度引起的液体流动使成分分布均匀，而元素的常规扩散在此只能起一个使成分短程均匀化的作用。

用 D_{max} -RA型X射线衍射仪对合金层的物相进行了测定，衍射数据见表2，分析可知合金层的相组成是马氏体+铁素体+残余奥氏体+碳化物 Mo_2C 。因为合金层碳含量较低，马氏体和铁素体的衍射峰位置很近，不易加以区分，但根据合金层内铬钼合金元素的含量及合金层的显微硬度值来判断，马氏体相和铁素体相应该是同时在合金层内存在的。

由上面对合金层相组成的分析，我们可以知道合金层的高硬度是马氏体相变硬化，合金化元素在马氏体和铁素体、残余奥氏体内存在引起的固溶强化以及碳化物 Mo_2C 的弥散强化

表1 合金层的成分

样品编号	激光功率 (W)	扫描速度 (mm/s)	涂层厚度 (mm)	元素含量(Wt %)		
				Cr	Mo	Fe
1	1100	9	0.2	6.5	7.4	86.1
2	1100	6	0.2	5.6	7.1	87.3
3	1100	12	0.4	12.5	15.9	71.6

共同作用的结果。

表2 合金层的物相分析

2θ (°)	$d_{\text{实验}}$ (Å)	I/I_0	$d_{\text{卡}}$ (Å)	可能的物相
43.30	2.084	42	2.08 2.078	奥氏体, Mo_2C
44.04	2.055	100	2.0268	马氏体, 铁素体
50.10	1.819	9	1.80	奥氏体
62.87	1.477	12	1.477	Mo_2C
64.21	1.449	4	1.433	马氏体, 铁素体
73.87	1.282	5	1.27	奥氏体
79.44	1.205	3	1.20	Mo_2C
81.54	1.18	11	1.17	马氏体, 铁素体
90.19	1.088	5	1.083	奥氏体
95.16	1.043	3	1.037	奥氏体

3. 合金层的热稳定性

将45# 钢基体与合金层分别制成 $4\text{mm} \times 8\text{mm} \times 2\text{mm}$ 的样品, 表面经研磨抛光后在HM-100型高温金相显微镜上, 用载荷100g、加载速度10g/s保持时间10s的参数测量显微硬度。先在室温 17°C 测量, 然后以 $50^\circ\text{C}/\text{min}$ 的速度升温, 到温后保温1min, 测量显微硬度随温度的变化, 见图5。分析可知, 合金层具有高的热稳定性, 在 600°C (1*、2*合金层) 甚至在

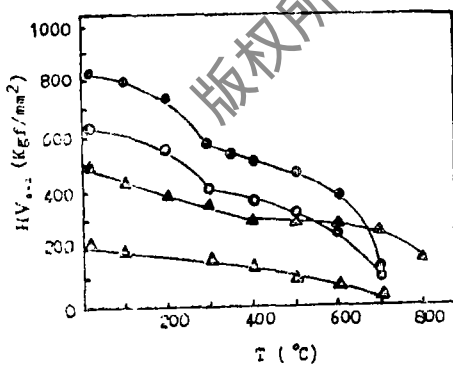


图5 合金层与45#钢基体硬度随温度的变化

●—1*合金层 ○—2*合金层 ▲—
3*合金层 △—45#钢基体

在 700°C (3*合金层) 时仍有 $\text{HV}_{0.1} 250 \text{ kgf}/\text{mm}^2$ 以上的硬度。而基体45#钢在室温时硬度只有 $\text{HV}_{0.1} 220 \text{ kgf}/\text{mm}^2$, 温度上升到 700°C 时硬度只有 $\text{HV}_{0.1} 30 \text{ kgf}/\text{mm}^2$ 左右。

关于合金层热稳定性提高的原因, 作者认为是: (1) 在激光使铬钼合金粉末和表层基体快速熔化、凝固的过程中, 固溶体中固溶了较大饱和程度的合金元素, 这些合金元素提高了固溶体原子键的吸引力, 并且由于是多种元素, 就形成了多种化学键, 增强了键的总强度, 增加了晶格畸变, 从而提高了合金层的热稳定性; (2) 由于不同合金元素在固溶体中的大量存在, 它们互相阻止和延

缓了从固溶体内的析出和碳化物的长大,提高了铁素体再结晶温度,使合金层的热稳定性提高;(3)合金层中存在的弥散碳化物 Mo_2C ,由于它对位错线运动的阻止而对合金层的热稳定性的提高也有贡献。

四、结 论

综合以上分析和讨论可以得出如下结论:

1. 在45#碳钢表面通过激光合金化处理得到了成分和硬度分布均匀的铬钼合金层,合金层硬度提高到基体硬度的2~3倍以上。

2. 合金层的相组成是马氏体+铁素体+残余奥氏体和碳化物 Mo_2C ,合金层的组织为胞状枝晶。

3. 合金层的热稳定性相对于45#钢基体大幅度提高,在600℃时仍有 $HV_{0.1}250\text{kgf/mm}^2$ 以上的硬度,这是合金层内合金元素和碳化物 Mo_2C 共同作用的结果。

参 考 文 献

- [1] P.A.Molian, Mater.Sci.Eng., 1983, Vol.58, P.175~180.
- [2] E.McCafferty, P.G.Moore, J.Electrochem. Soc., 1986, Vol.133, No.6, P.1090~1096.
- [3] E.F.Semiletova, T.H.Dumbadze, Lasers in Manufacturing, 1985, P.97~108.
- [4] 大野笃著,唐颜武、张德正译,《金属凝固学》,国防工业出版社,第12页~16页。
- [5] V.M.Andriyakhin et al., Phys.Chem.Mech.Surface, 1984, Vol.1, No.10, P.3105~3116.
- [6] P.G.Moore, L.S.Weinman, Laser Applications in Materials Processing, Ed.J.F.Ready, 1979, Vol.198, P.27~28.

* * *

作者简介:杨德华,男,1963年出生。研究实习员。现主要从事金属表面激光改性及其摩擦特性方面的研究。

收稿日期:1989年11月6日。

· 简 讯 ·

第九届全国红外科技交流会将在昆明召开

1990年9月将在昆明召开第九届全国红外科技交流会,由红外光电器件专委会、机电部11所和211所、中国宇航学会、中国兵工学会、中国电子学会等单位联合主办。会议内容交流红外技术在军事、国民经济和其它方面的应用,如红外热成像技术及应用,红外探测器及材料,红外物理等。

(摘自学会活动计划)