铁基抗高温磨损激光熔覆涂层强韧设计和研究

Ⅱ:Fe－Cr－C－W－Ni激光熔覆层的微观组织及性能

赵海云 武晓雷 陈光南
(中国科学院力学研究所 北京 100080)

提要 利用OM、SEM、TEM研究了Fe－Cr－C－W－Ni激光熔覆涂层熔覆态及其高温时效态的微观组织结构。结果表明激光熔覆层组织细小，具有强韧两相组成(奥氏体和M_7C_3碳化物)的微观结构特征，高温时效处理组织中有$M_{23}C_6$、M_6C、M_2C等新碳化物形成。显微硬度和冲击磨损实验证实了激光熔覆态和峰值时效态熔覆层均具有良好的力学性能。

关键词 激光熔覆 铁基合金 韧性

The Design and Study on the Iron－Based Wear－Resistant Laser Cladding Alloying

Ⅱ:Microstructure and Properties of Fe－Cr－C－W－Ni Laser Cladded Coating

Haiyun Zhao, Xiaolei Wu, Guangnan Chen
(*Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100080)

Abstract The microstucture of Fe－Cr－C－W－Ni iron－based laser surface cladded coatings and the coatings followed with high temperature aged were studied by OM、SEM、TEM. The results showed that the cladded coatings were fine and composed of two phases, tough phase austenite and hard phase M_7C_3 carbide. New carbides, $M_{23}C_6$、M_6C、M_2C were formed in the aged coatings. Both the as－solidified and as－aged coatings showed excellent properties in the microhardness and impact wear tests.

Key words laser surface cladding, iron－based alloy, toughness

开发无Co铁基抗高温磨损激光熔覆合金的研究具有重要的经济意义和战略意义。在该项研究中需要特别重视的问题是:熔覆层的韧性性能[1,2]和微观结构随温度变化可能存在的演变以及该演变与性能的关系。从微观结构、残余应力状态分析强化层韧性是研究的一个方面[3],同时选用合适的力学性能实验也很关键。评判激光强化层韧性性能的实验有硬度法、断裂韧性、冲击韧性和冲击磨损等[2,4~7],其中冲击磨损实验和多冲实验是最能反映强化层强韧性能的实验方法[7]。

本文主要研究了Fe－Cr－C－W－Ni激光熔覆涂层熔覆态和高温回火态微观组织结构和冲击磨损性能,分析了该熔覆合金强韧化机制。

实验方法

基体材料选用典型热作模具钢5CrMnMo,化学成分(mass%):0.51%C、12.3%Cr、1.21%Mn、0.82%Mo,其余为Fe。试样经过1133K×30min淬火和823K×2h高温回火处理,尺寸20mm×20mm×50mm。激光熔覆合金粉末为高纯度的Fe、Cr、C、W和Ni粉(表1)。

* 中国科学院重大项目KY951—A1—601—03资助和国家自然科学基金子项目59836220

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1　激光熔覆合金粉末成分

成份	Fe	Cr	C	W	Ni
质量(%)	52～60	24～30	4.5～7.5	5～6	5～6

采用 3kw 横流 CO_2 激光器。激光加工参数：功率 1.8～2.5kW，光斑直径 2～3mm，送粉速率 0.2～0.5g/s，激光束扫描速度 5～25mm/s，对熔池进行轴向和侧面氩气保护。

利用 KYKY2800 型扫描电子显微镜(SEM)、Philips600 扫描俄歇微区探针(SAMP)及 H900、JEOL2000FX 及 H800(均配置 EDAX/EELS)分析型透射电子显微镜(ATEM)对激光熔覆组织及其高温时效组织进行微观结构观察和合金成分分析；利用显微硬度仪测试熔覆层显微硬度；利用 MLD-10 冲击动载磨损实验机评定熔覆层力学性能，磨损规范为预磨及正式磨时间分别为 2min、6～12min，磨料 100 目石英砂，砂粒流速 180 g/min，冲击功 0.2～3.0 J，冲击频率 120 次/min，对磨副为淬火回火的 GCr15 钢(HRC62)，转速 120rpm。

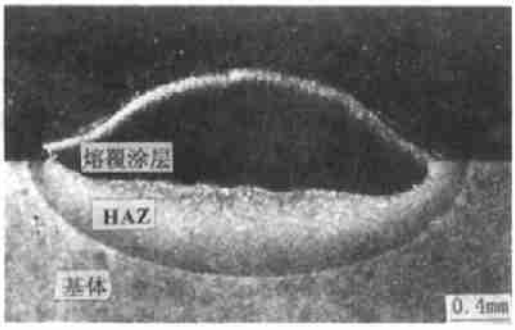


图 1　熔覆层宏观形貌

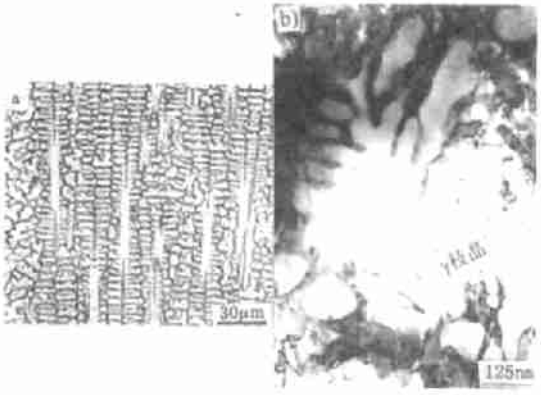


图 2　亚共晶微观组织和结构

a 生长形态　b 初生 γ—奥氏体枝晶(TEM)

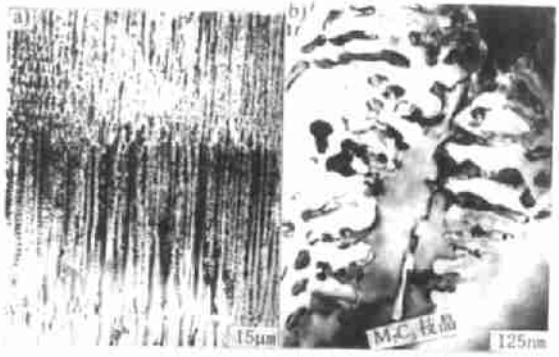
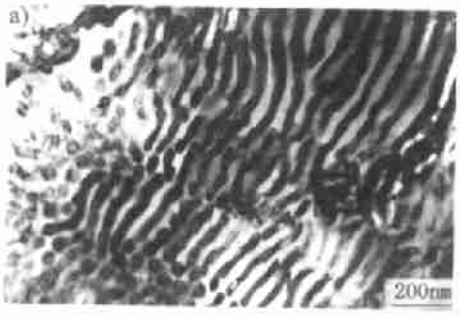
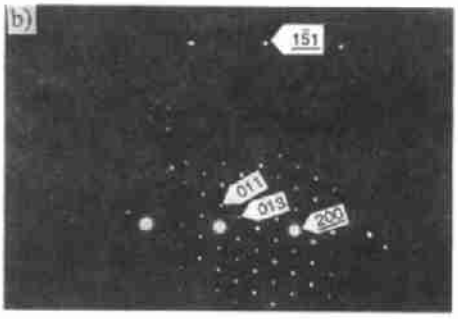


图 3　过共晶微观组织和结构

a 生长形态　b 初生 M_7C_3 枝晶(TEM)



(a) 层片状两相共晶



(b) 选取衍射和物相标定(hkl：奥氏体，hk1：M_7C_3)

图 4　共晶形貌

实验结果与分析讨论

1. 激光熔覆涂层熔覆态微观结构

在所选用的激光加工参数范围内，可以得到无裂纹、无气孔、与基体呈平滑过渡的熔覆层(图 1)。OM、SEM 生长形态观察表明，熔覆层由细小的树枝状初生相与枝晶间共晶组成。TEM 观察证实，依据初生相的不同可以将熔覆组织分为两类，一类为初生相为 γ-奥氏体的

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

亚共晶组织(图2)，一类为初生相为M_7C_3的过共晶组织(图3)，两类熔覆组织枝晶间共晶都是由γ-奥氏体和M_7C_3两相组成(图4)。

研究结果表明，韧性相γ-奥氏体，点阵常数a_0=0.3631～0.3644nm，为合金元素过饱和含量极高的亚稳相；强化相M_7C_3(M=Cr、Fe、W、Ni)，是Cr基合金碳化物，具有六方结构，点阵常数a_0=1.387nm，c_0=0.496nm。两相共晶组织细小，平均间距约50nm。此外，在初生奥氏体和共晶奥氏体中都观察到大量的位错、层错和孪晶等亚结构。

熔覆组织与基体的结合界面为低速外延生长的奥氏体平面晶，即通常所说的"白亮带"。表2是这两种熔覆组织(亚共晶和过共晶)平面晶的成分分析。在平面晶测量范围内合金元素均匀分布，说明在凝固后的冷却过程中未发生任何析出相变。熔覆组织/基体结合界面及熔覆组织内部不存在宏观和微观裂纹，这与界面处形成韧塑性极好的奥氏体平面晶密切相关。

表2 熔覆层与基体界面处成分分析

	平面晶宽度 (μm)	合金元素含量(mass. %)			
		Cr	W	Ni	C
亚共晶	9.0	14.14	1.67	1.27	1.01
过共晶	7.8	17.34	1.31	1.31	1.23

* SAMP测量的束斑直径为30nm。

2. 激光熔覆涂层高温时效态微观结构

激光熔覆试样经923K×2h高温时效处理，可观察到在亚稳奥氏体内部及奥氏体与M_7C_3界面有碳化物的析出和原位转变，X射线衍射及TEM观察表明，新形成的碳化物有$M_{23}C_6$、M_6C、MC、M_2C等(图5)。

3. 激光熔覆涂层力学性能

图6是激光熔覆层沿深度方向的显微硬度分布曲线。过共晶组织由于领先相为M_7C_3合金碳化物，所以较亚共晶熔覆组织的显微硬度高，达到Hv1000～1100，亚共晶熔覆层的显微硬度在Hv900～1000之间。

亚稳奥氏体具有高的合金元素固溶含量，所以熔覆层表现了较高的抗高温回火稳定性，同时细小弥散的M_2C、M_6C等碳化物形成熔覆层二次硬化。实验结果表明亚共晶和过共晶组织的二次硬化峰值温度和峰值硬度分别为923K、$Hv_{0.2}$ 1160kgf/mm² 及 963K、$Hv_{0.2}$ 1250kgf/mm²(图7)。

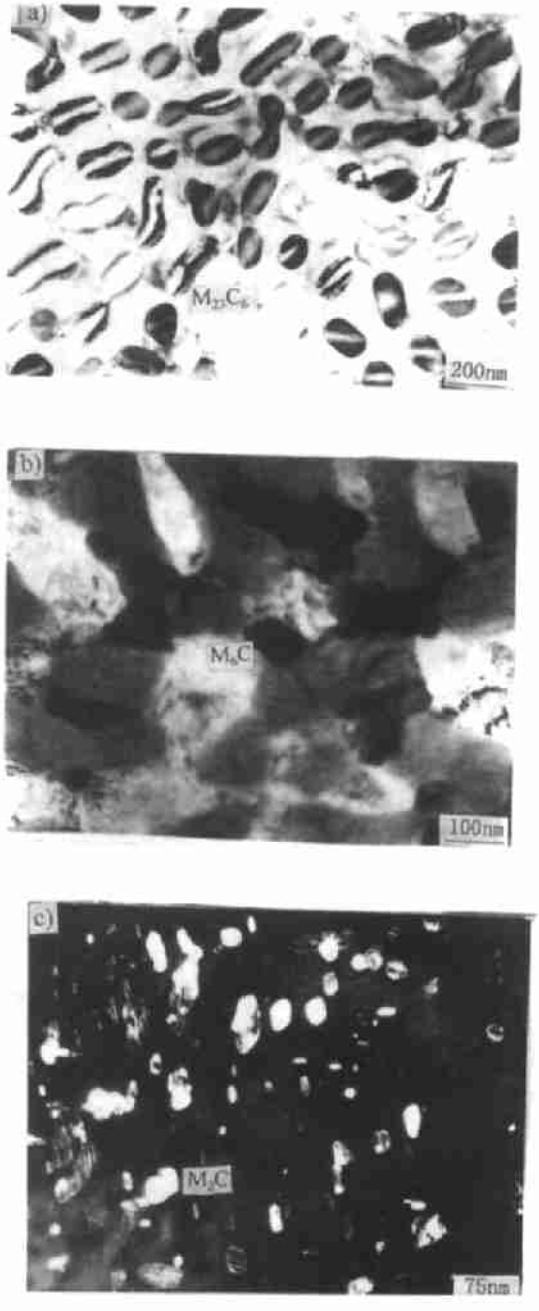


图5 各种碳化物

a) $M_{23}C_6$ b) M_6C M_2C、MC

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

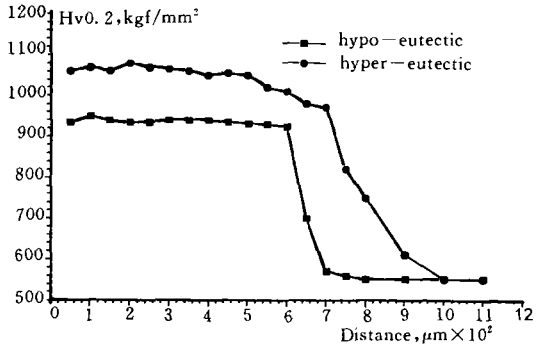


图 6　激光熔覆层显微硬度

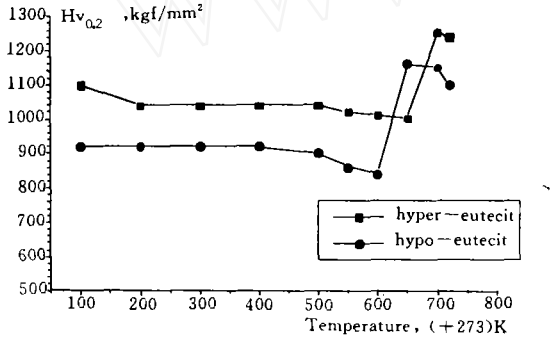


图 7　激光熔覆组织的二次硬化特征

冲击磨损性能实验表明(表 3),激光熔覆涂层熔覆态和峰值时效态的性能均优于 S600 热作模具钢常规热处理(奥地利进口)。金相分析表明 S600 常规热处理的微观结构特征为马氏体基体上分布二次硬化碳化物(主要是 M_6C、MoC 等),HRC65,强化机制为马氏体强化。Fe－Cr－C－W－Ni 激光熔覆涂层熔覆态的微观结构为原位生成的 M_7C_3 碳化物分布在韧性奥氏体基体上,同时具有固溶强化,位错亚结构强化和组织细化等特征,两相微观结构组成使强化层在具有足够硬度的同时具有很好的韧性。激光熔覆涂层经过峰值时效处理,由于熔覆层具有很好的抗高温回火稳定性和二次硬化特征,所以熔覆层在保持高硬度的同时,由于改善了碳化物的分布、种类和涂层的应力状态,所以强韧性能进一步提高,这一点在冲击功较大时体现越明显。这说明,Fe－Cr－C－W－Ni 激光熔覆层在熔覆态及高温时效态均具有很好的使用性能。

表 3　冲击磨损实验(mg)

冲击功		S600 常规热处理	铁基合金 激光熔覆态	铁基合金 峰值时效态
0.2J	绝对磨损	508.21	171.44	128.58
	相对耐磨性	1.0	2.96	3.95
3.0J	绝对磨损	387.66	130.09	86.72
	相对耐磨性	1.0	2.98	4.47

结　论

1. Fe－Cr－CW－Ni 铁基激光熔覆合金具有强韧两相微观结构特征,韧性相为合金元素过饱和含量极高的亚稳 γ-奥氏体,强化相为高硬度的亚稳 M_7C_3 合金碳化物,熔覆组织的强化机制为韧性基体的"原位"碳化物强化,同时熔覆层组织细小。

2. 熔覆层与结合界面为奥氏体平面晶,且在冷却过程中不发生马氏体相变,大大改善了熔覆层应力状态。

3. 熔覆层经峰值时效处理,新形成 $M_{23}C_6$、M_6C、M_2C、MC 等碳化物,使得强韧性能进一步提高。

4. Fe－Cr－C－W－Ni 激光熔覆合金在熔覆态和高温时效态均具有良好的使用性能。

参 考 文 献

[1] J. Otterloo, *Scripta Material*, 1997, **36**(2): 239
[2] EA Pamfilov, *Trenie II znos*, **1997**, 18(3): 399
[3] Y. Seki, *J Iron and steel Institute of Japan*, 1995, **81**(5): 565
[4] M. Takemoto, *J. Thermal Spray Tech*, 1993, **2**(1): 69
[5] 陈传忠等,金属热处理,1996,**3**:15
[6] M. Tsujikawa, *Trans. Jpn. Foundrymen's Soc.*, 1993, **12**(10): 76
[7] A. Weisheit, Laser Surface Alloying of Titanium With Nickel and Cobalt, DGM Informations－gesellschaft mbH, 1992, 229

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net