文章编号:1673-9981(2017)03-0157-05

镍基合金表面激光熔覆钴基合金的显微组织与硬度

韩文静

永城职业学院机电工程系,河南 永城 476600

摘 要:采用激光熔覆技术在镍基高温合金表面制备了钴基熔覆层,用SEM,EDS和显微硬度计对熔覆层进行了测试分析.结果表明,用钴基自熔合金粉末所制备的熔覆层表面平整无裂纹、完整性好,熔覆层与基体之间形成良好的冶金结合,熔覆层的显微硬度约为基体硬度的3倍.

关键词:激光熔覆;镍基合金;钴基合金;微观组织;显微硬度

中图分类号:TG178 **文献标识码**:A

镍基高温合金是航空发动机上广泛使用的一类材料,现代高性能的航空发动机涡轮叶片、导向器等都是由镍基高温合金制成的,这些部件服役时受高温、高压及腐蚀性燃气的作用常常出现早期损伤,严重影响了发动机的安全性能[1-5].

采用激光熔覆技术用钴基自熔合金粉末在Ni825高温合金表面制备了钴基熔覆层,并利用SEM和EDS等分析手段,对激光熔覆钴基涂层的宏观和微观组织及涂层的显微硬度进行分析研究.

1 试验部分

1.1 试验材料

试验用基底材料为Ni825高温合金,其密度为8.91 g/cm^3、熔点为1726 ℃,化学成分列于表1.预涂覆材料为钴基自熔合金粉末,其化学成分列于表2.

表1 Ni825合金成分

Table 1 Composition of Ni825 alloy

元素	C	Ni+Co	Fe	Si	Mn	S	Cr	Co	Cu	Al
含量 w/%	≤0.05	38~46.00	≥22.00	≤0.5	≤1.0	—	19.5~23.5	2.0	1.5~3.0	≤0.20

表2 钴基粉末的化学成分

Table 2 Composition of Cobalt powder

元素	Ni	C	Cr	Fe	W	Co
含量 w/%	9.04	6.04	29.28	2.78	1.27	余量

1.2 试验方法

首先用线切割法将基底材料加工成块状试样,尺寸为32 mm×20 mm×9 mm,然后用240号和400号水砂纸对试样表面进行磨削加工,去掉表面的氧化层后对试样待熔覆表面进行喷丸处理.用JG-Ⅱ型CO_2工业激光器在PC-486控制的三轴联动的五坐标加工机床上进行激光熔覆处理,以制备熔覆层.激光器为连续横流、高频激励,额定输出功率为1.5 kW、稳定度±2%,光束发散角小于3 mrad、光束稳定性为±0.3 mrad,激光输出功率P=3 kW、扫描速度v=10 mm/s、光斑直径D=3 mm,

收稿日期:2017-04-18
作者简介:韩文静(1985-),女,河南永城人,硕士,讲师.

万方数据

并用自动送粉机构进行送粉.

金相试样在预磨机上完成磨制,用从 120～1500 号的砂纸分别打磨.然后进行观察前的抛光处理,抛光液为 Al_2O_3 细粉末在水中的悬浮液,之后用清水洗净抛光布,再用清水抛一遍以除去杂质.将试样磨面浸入王水浸蚀剂中,完毕后立即用清水冲洗,再用酒精擦拭磨面并吹干.

用 S-4800N 扫描电子显微镜,观察试样的微观组织;用 INCA350 型 EDAX 能谱仪,对试样组织及成分进行分析;用 HV-401/402MVA™ 型显微维氏硬度计,分别测定激光熔覆涂层横截面上的熔覆区及基体材料的硬度,载荷为 0.2 kg.

2 结果与分析

2.1 钴基激光熔覆层的宏观形貌

图 1 为涂层横截面宏观形貌,钴基熔覆层的宽度及高度分别为 3 mm 和 2.5 mm.从图 1 可见:钴基熔覆层的表面比较平整、完整性很好、搭接均匀、无龟裂,涂层中没有疏松、界面洁净,还可以看出模糊的组织形貌;熔覆层与基体形成良好的冶金结合,表明结合强度较大,不容易发生脱落[6].

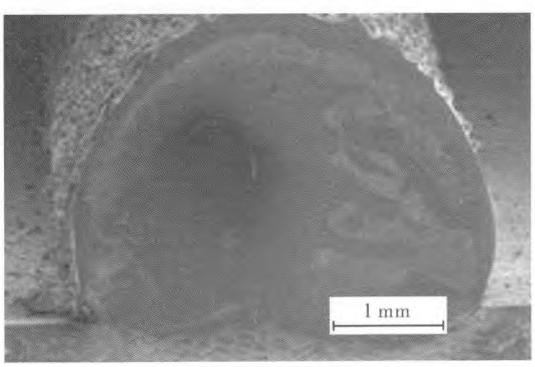

图 1 涂层横截面宏观形貌

Fig. 1 Macroscopic graph in cross section of the coating

2.2 钴基激光熔覆层的微观形貌

用扫描电子显微镜由低倍到高倍拍摄钴基熔覆涂层的微观形貌,通过图像对钴基熔覆层的微观形貌进行分析.图 2 和图 3 为不同倍率下的钴基熔覆涂层形貌.从图 2 可见,激光熔覆试样的横截面包括基体区、热影响区和熔覆区三个区域,熔覆区的厚度约为 500 μm,靠近基体界面处为等轴晶且等轴晶较粗大.此外,从图 3 可以看到,有明显的共晶组织和大块的腐蚀孔[7-8].熔覆层的主要组成相为面心立方 γ-Co,根据晶体生长理论,其生长的择优取向为<100>方向.熔池主要通过界面向基体传热,界面结晶生长方向与熔池的等温面垂直,向熔池生长[9].

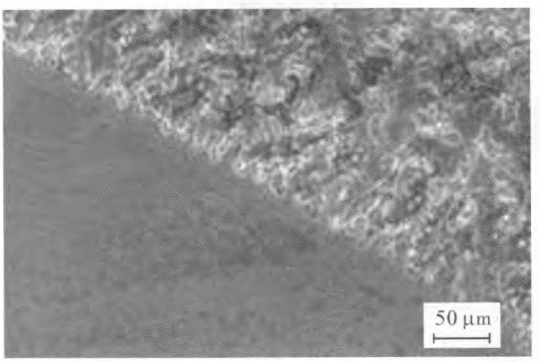

图 2 涂层放大 1000 倍形貌

Fig. 2 Microstructure of the coating with 1000× magnification

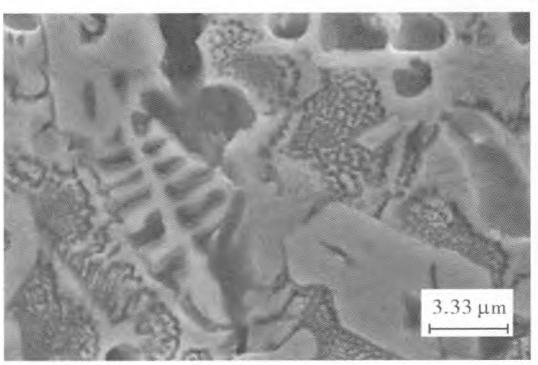

图 3 涂层放大 3000 倍形貌

Fig. 3 Microstructure of the coating with 3000× magnification

图 4 为涂层中硬质颗粒放大 500 倍形貌图.从图 4 可以看到,在灰色的钴基涂层基体上弥散分布着许多白色的球形颗粒,各个颗粒之间单独分开,未发生团聚现象.涂层基体的部分区域孔隙率较大,使得镶嵌的白色颗粒与基体的结合度不高,在外力作用下容易脱落.经分析这些白色球形颗粒为碳化物增强体,这些硬质增强相弥散地分布在熔覆层内,使熔覆层的硬度及耐磨性提高[10].

通过能谱分析(图 5)发现,在硬质增强相中含有 C,Si,Ti,Cr 及 W 等元素.这些元素形成细小致密的复杂多元颗粒碳化物和金属间化合物,弥散地分布在基体上,从而起到很好的耐磨和耐腐蚀性能.

万方数据

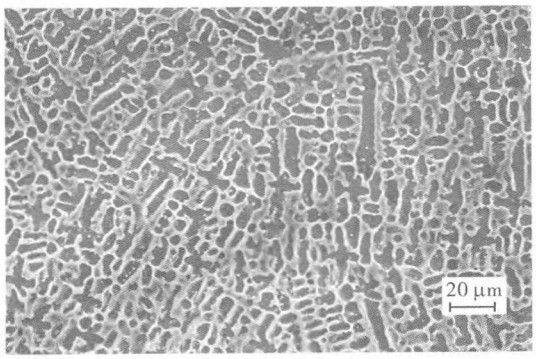

图 4　涂层中硬质颗粒放大 500 倍形貌

Fig. 4　Microstructure of hard particle in the coating with 500× magnification

此外，在钴基熔覆层中还可以看到有细小的枝晶增强体. 通过能谱分析发现，枝晶体是由 C 元素与其他合金元素形成的(图 6). 硬质陶瓷相具有抗氧化、硬度高、耐腐蚀性能好等优点，一般呈圆形，因此含硬质陶瓷相的涂层与对磨表面形成非金属接触，使之具有极低的摩擦系数.

在钴基熔覆涂层中还发现有大块的增强体(图 7)，在腐蚀液中这些增强体大部分被溶解形成腐蚀孔洞，通过能谱仪对这种大块的增强体进行分析发现，在钴基涂层的空洞夹杂物中含有 Al 和 Mg 元素，从而形成氧化物 Al_2O_3 和 MgO. Al_2O_3 的存在可以起到较好的高温抗氧性能，环境中的氧向深层扩展遇到 Al_2O_3 的阻碍而形成钝化，因而其氧化增重较少[11-12]. 此外，Mg 元素可以提高晶间结合力.

3　激光熔覆层的硬度分布

取激光熔覆层的横截面进行硬度测试，用显微硬度计距表面每隔 100 μm 打一个硬度，其硬度与表面距离的关系如图 8 所示.

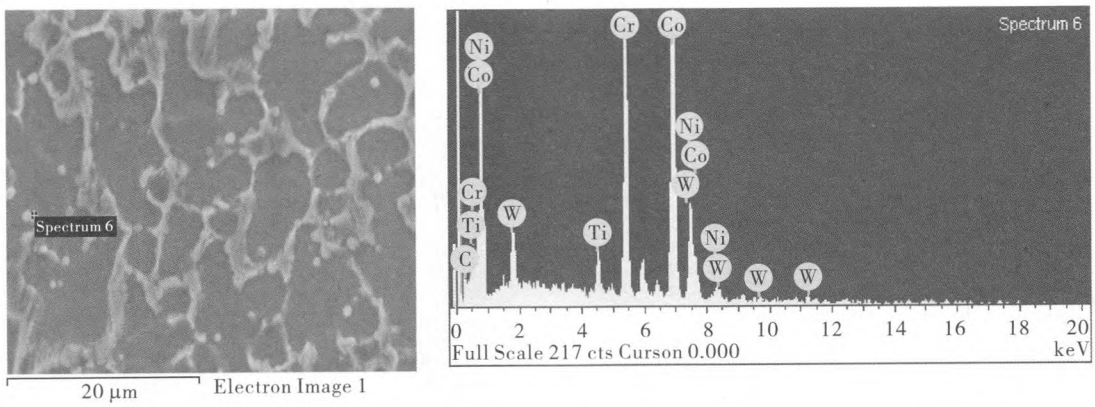

图 5　涂层中增强相能谱图

Fig. 5　EDS image of the reinforced phase in coatings

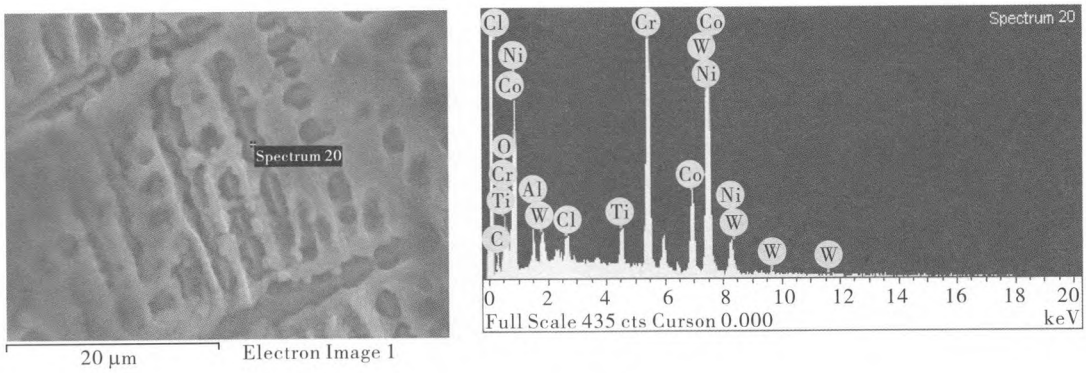

图 6　枝晶能谱图

Fig. 6　EDS image of the dendrite in coatings

万方数据

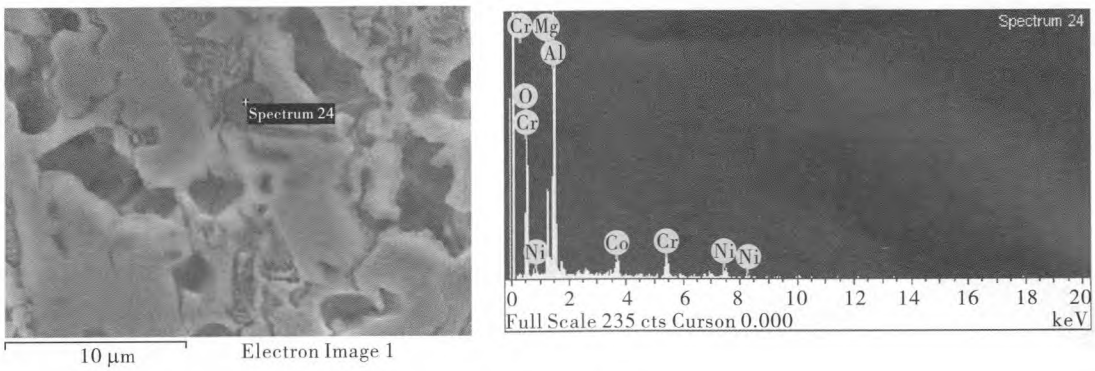

图 7 大块增强体能谱图

Fig. 7 EDS analysis of the block phase in coatings

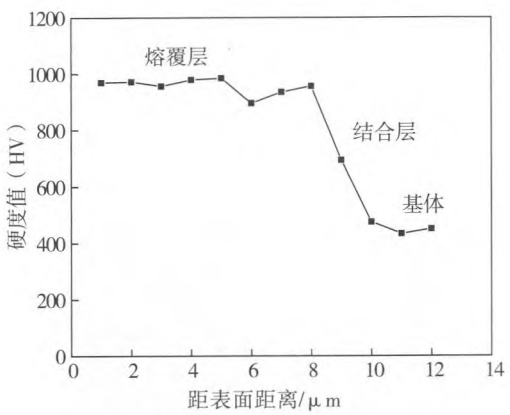

图 8 涂层硬度和表面距离的关系

Fig. 8 Hardness of surfacing layer curves with different surfacing thickness

从图 8 可见：基体的硬度最低，其次是结合区，再次是熔覆区；涂层的平均硬度达到 960 HV 左右，基体的平均硬度为 370HV，这是由于涂层中存在大量的高硬度增强相，使得其硬度比原来的钴基合金还高，涂层的硬度在界面处发生陡降.

激光熔覆是个快速加热和冷却的过程，其加热和冷却速率可达到 105～109 ℃/s，存在着极大的温度梯度，有利于得到超细的晶粒，产生细晶强化效应. 熔覆层具有最高的硬度值，这是大量的合金元素 Cr，Si 和 C 溶入枝晶而产生的固溶强化，以及大量共晶化合物而引起的第二相弥散强化所致[13]. 在钴基熔覆涂层界面熔覆区中，钴元素也起到了以下的作用：强化了 γ' 相，Co 进入 γ' 相变成 $(Ni,Co)_3(Al,B)$，提高了 γ' 相的固溶温度；γ' 相的数目，增加了 γ' 的尺寸[14]. 大量的硼化物和碳化物在枝晶之间弥散分布，由 Co 和 Cr 形成的固溶体基体比较稳定，使涂层具有良好综合力学性能[15].

4 结 论

(1)具有冶金结合的钴基熔覆涂层表面平整无裂纹，完整性很好，气孔、夹杂等微观缺陷很少. 熔覆层与基体之间形成良好的冶金结合.

(2)微观组织分析表明，钴基熔覆层由形态细小均匀的枝晶相、硬质相和共晶相组成.

(3)熔覆层的显微硬度是基体硬度的 3 倍左右.

参考文献：

[1] 孟庆武，耿林，郑镇洙，等. 钛合金表面激光熔覆技术的研究进展[J]. 材料导报，2004(9)：57-59.

[2] 童文辉，楚莎莎，何波，等. 激光成型钴基合金的组织及其耐磨性能研究[J]. 铸造设备与工艺，2015(5)：28-31.

[3] 徐国建，丁小粉，王志一，等. 蒸汽发电机叶片激光堆焊层的性能[J]. 沈阳工业大学学报，2014(3)：269-274.

[4] 李春燕，寇生中，赵燕春，等. 钛合金表面激光熔覆 Co-WC 复合涂层的组织及力学性能[J]. 功能材料，2015，46(7)：7025-7029.

[5] 马海波，张维平. 钛合金表面激光熔覆钴基复合涂层的组织和性能[J]. 稀有金属材料与工程，2010 (12)：2189-2192.

[6] 孟庆武，耿林，祝立群，等. 镍基合金表面激光熔覆钴基合金涂层的耐磨性能[J]. 金属热处理，2009(8)：22-24.

[7] 张晓东. 钛合金表面激光熔覆镍包石墨涂层的研究[D]. 哈尔滨：哈尔滨工业大学，2006.

[8] 解文正，李春强，杨志伟，等. 激光熔覆技术在液压支架上的应用研究[J]. 煤矿机械，2010(10)：106-108.

[9] 李明喜，何宜柱，孙国雄. 镍基合金表面激光熔覆 CoNiCrAlY 合金的组织与性能[J]. 稀有金属，2004，28(2)：365-369.

（下转第 177 页）

万方数据

deposits were analyzed and measured by SEM, XRD, OM for the microstructure, element content and micro hardness property by hardness tester. The results show that the microstructure of cladding layer process by laser cladding is heterogeneous, metallurgical combination with the copper substrate, compact structure, fine grain, without crack, pore inclusions and other defects, and the cladding layer with equiaxed dendrite and columnar crystal structure. Similarly, the EDD process can form a copper based deposition on the surface of copper alloy, and the layer also forms metallurgical combination with the copper matrix, and has the defects of compact structure, fine grain, no crack, pore inclusion etc.

Key words: electrical discharging deposition; additive manufacture; copper alloy

(上接第 160 页)

[10] 李殿凯,袁晓敏,李明喜,等. 激光熔覆钴基合金层组织[J]. 热加工工艺,2010(16):123-126.

[11] 成阳,董刚,陈国喜,等. 铌对镍基合金激光熔敷层组织和显微硬度的影响[J]. 机械工程材料,2014(9):24-28.

[12] 谢玉江,王茂才,王明生. 高 Al、Ti 含量镍基高温合金激光、微弧火花表面熔焊处理研究进展及解决熔焊裂纹的途径[J]. 中国表面工程,2010(5):69-72.

[13] 艾金山,李必文,程强,等. 钴基合金激光熔覆覆层截形与显微硬度关系的调控研究[J]. 装备制造技术,2012(12):5-7.

[14] PHAM THI Hongnga. H13 钢表面激光熔覆 TiC/Co 基涂层及其高温磨损性能研究[D]. 昆明:昆明理工大学,2013.

[15] 刘克铭,马壮,王楠,等. Mn-B4C-SiC 对中频熔敷 Fe55 合金覆层耐磨性能的影响[J]. 热加工工艺,2013,42(4):161-163.

Microstructure and hardness of the laser cladding Co-based alloy coating on the surface of Ni-based alloy

HAN Wenjing

Department of Electro-machinery Engineering, Yongcheng Vocational College, Yongcheng 476600, *China*

Abstract: The cladding layer was prepared by laser cladding technique on the surface of Ni-base superalloy. The results show that the surface of the cladding layer prepared by cobalt-based self-fluxing alloy powder is smooth and crack-free, and the integrity of the cladding layer and the matrix is good. The microhardness of the cladding layer is about matrix hardness 3 times than that of the substrate.

Key words: laser cladding; Ni-based alloy; Co-based alloy; microstructure; microhardness

万方数据