

Inconel617 合金表面电子束熔覆 WC-CoCr 显微组织和耐磨性研究*

刘海浪, 王 波, 李 行, 黄以平

(桂林电子科技大学机电工程学院, 桂林 541004)

[摘要] Inconel617 合金材料在实际应用中以耐腐蚀性、高温抗氧化性能和耐磨性为主。但是,其本身耐磨性比较低。为了提高 Inconel617 合金表面耐磨性,采用高速火焰喷涂与电子束表面改性技术在 Inconel617 合金表面制备了 WC-CoCr 陶瓷涂层。分析了合金层的微观组织结构和元素分布情况,测试了合金层的硬度与耐磨性。结果表明,在电子束熔覆处理过程中,涂层重熔与基体形成冶金结合,使其耐磨性能大大提高。熔覆层硬度相比 Inconel617 合金硬度高出 620HV_{0.3}。

关键词: Inconel617 合金; 电子束熔覆; WC-CoCr 涂层; 微观组织

Investigation on Microstructures and Wear Properties of Electron Beam Cladding WC-CoCr on Inconel617

LIU Hailang, WANG Bo, LI Hang, HUANG Yiping

(School of Electromechanical Engineering, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

[ABSTRACT] The material of Inconel617 alloy has the properties of corrosion resistance, high temperature oxidation resistance and wear resistance in the practical application. But, its wear resistance is poor. In order to improve the wear resistance of Inconel617 alloy, HVOF (high velocity oxygen fuel) and electron beam surface modification technology were used to prepare WC-CoCr ceramic coating on Inconel617 alloy. The microstructure and element distribution of the alloy layer were analyzed. Hardness and wear resistance of the alloy layer were tested. The results show that in the process of electron beam processing, the forming metallurgical bond of coating remelting and matrix could increase wear resistance significantly. Compared with the substrate, hardness of the cladding layer improves significantly.

Keywords: Inconel617 alloy; Electron beam cladding; WC-CoCr coating; Microstructure

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2017.21.102

Inconel617 合金作为镍基高温合金中的一种,在 1100℃ 高温下具有很好的瞬时和长期机械性能。该合金在热腐蚀领域中如硫化环境,尤其是在高达 1100℃ 循环的氧化和碳化环境中具有极好的耐腐蚀能力。这些耐腐蚀性加上出色的机械性能,使这种合金特别适用于高温领域,主要应用于工业和航空汽轮机部件、管道和陆用燃气涡轮的转换衬垫等^[1]。

研究表明, Inconel617 合金材料在实际应用中以耐腐蚀性、高温抗氧化性能和耐磨性为主。但是其本身耐

磨性比较低,不利于汽轮机持久工作。提高这种合金的性能和寿命,取决于其材料中气体含量、显微组织、表面的致密化等。Inconel617 材料的显微组织细化、成分均匀化能提高其耐腐蚀性、高温抗氧化性和耐磨性等^[2-3]。Inconel617 合金工作时工作面主要在其表面,为了大幅度提高其耐磨性,在合金表面涂覆一层陶瓷粉末 WC-CoCr。WC-CoCr 的耐磨性极好,可采用热喷涂或高能束处理形成一定厚度的涂层。

WC-CoCr 涂层中 WC 是硬质合金,工业上常用来提高耐磨性; Co 元素可以与 WC 很好地相润湿; Cr 元素可提高合金的高温抗氧化能力。所以用 WC-CoCr 合金来提高 Inconel617 的耐磨性,从而改善基体的高温抗

* 基金项目: 桂林电子科技大学研究生教育创新计划资助项目 (YJXCS201507); 广西制造系统与先进制造技术重点实验室主任基金项目 (14-045-15-011Z)。

氧化能力,弥补了 Inconel617 合金在工业应用中耐磨性不足的问题。相对于 Cr_3C_2 、TiC、SiC 等, WC-CoCr 更具性能上的优势:(1) WC-CoCr 的密度大,在电子束熔覆过程中不会出现上浮与高温氧化等问题;(2)在高温环境下 WC-CoCr 硬度和弹性模量较高,并且具有较小的膨胀系数;(3) WC-CoCr 的耐热冲击性、耐腐蚀性和耐磨性优良;(4)在高温环境中 Inconel617 中的 Fe、Co、Ni 等元素可以和 WC-CoCr 很好地相润湿。因此熔覆粉末选用 WC-CoCr 能很好地起到弥散强化覆层的作用,使试件表面的机械性能、耐腐蚀性以及抗氧化性能大大提高^[4]。

本文利用高能电子束技术在 Inconel617 合金表面熔覆 WC-CoCr 涂层,研究改性层的显微组织、硬度及耐磨性。

1 试验方法

1.1 试样制备

选取 Inconel617 合金作为基体材料,化学成分原子百分含量为:22% Cr、12.5% Co、9% Mo、1.2% Al、0.07% C、1.5% Fe、0.5% Mn、0.5% Si、0.008% S、0.3% Ti、0.2% Cu,余量为 Ni。试样尺寸为 $\Phi 30\text{mm} \times 6\text{mm}$ 。

首先,对尺寸规格为 $\Phi 30\text{mm} \times 6\text{mm}$ 的 Inconel617 合金表面进行打磨,消除线切割带来的切削加工痕迹。涂层要与基体结合良好,基体表面需要有一定的粗糙度,因此要对其表面进行喷砂处理,最后用丙酮对试样浸泡、刷洗,以清除试样表面的油污、锈蚀及其他污染物^[5]。其次,再进行高速火焰喷涂,涂层厚度约为 $200\mu\text{m}$ 。热喷涂工艺流程如图 1 所示^[6]。本次试验所用设备为桂林电子科技大学高能束装备及工艺研究室的 SEB(J)6/60/40/30 型电子束加工集成系统。该集成系统装备 4 把电子束发射枪,集电子束熔炼、提纯、焊接、悬浮区熔、表面扫描处理于一体,是复合型多功能高能电子束装备。采用线扫描方式对表面喷 WC-CoCr 的 Inconel617 合金试样进行单道熔覆处理,焊室真空度为 $3 \times 10^{-2}\text{Pa}$,枪室真空度为 $1 \times 10^{-3}\text{Pa}$ 。加速电压 50kV,聚焦电流 350mA,束流 60mA,扫描速度 1000mm/min。

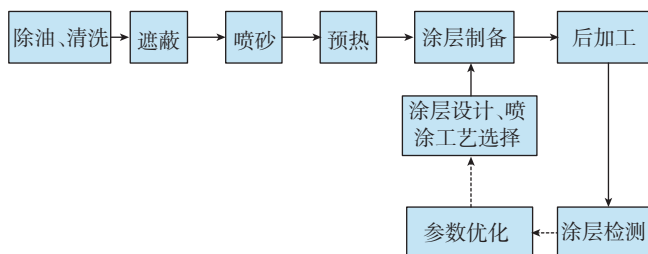


图1 热喷涂工艺流程

Fig.1 Thermal spraying process

1.2 试验方法

采用电火花线切割机床将试件割成小块金相试样和磨损试样,并且对金相试样进行打磨、抛光、腐蚀处理,采用扫描电子显微镜对熔覆层组织进行观察,用显微硬度计对试样显微硬度进行测试,采用磨损试验机对磨损试样进行耐磨性试验^[7-8]。

2 试验结果与讨论

2.1 微观组织分析

Inconel617 合金喷 WC-CoCr 涂层截面形貌如图 2 所示,左边白色区域为 WC-CoCr 涂层,右边灰色区域为 Inconel617 合金基体。高速火焰喷涂的 WC-CoCr 涂层与基体明显为典型的机械结合,容易剥落。涂层中不可避免地存在细小孔隙和裂纹,严重影响其使用性能。

图 3 为 WC-CoCr 涂层经电子束熔覆处理后的截面形貌。在电子束处理过程中,涂层全部熔化的同时基体表面微熔,然后迅速冷却,形成了合金层,实现了冶金结合。WC-CoCr 涂层经电子束熔覆处理后,截面形貌致密均匀,没有气孔和裂纹,和基体很好地结合在一起,如图 3(a)所示。在冷却过程中, WC-CoCr 涂层中 WC 形成了特殊的枝状晶体,均匀分布在 CoCr 基体中,如图 3(b)所示。

2.2 熔覆层显微硬度分析

由图 4 可见,电子束熔覆层的显微硬度在 $1090\sim 1110\text{HV}_{0.3}$ 之间,约为 Inconel617 合金基体显微硬

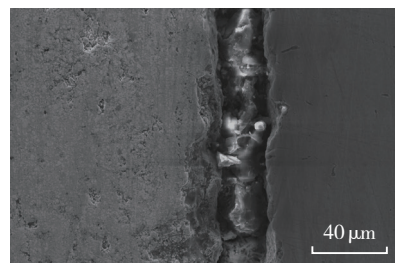
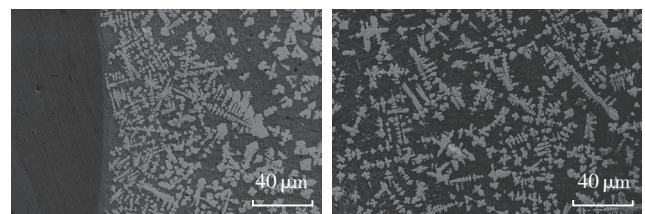


图2 Inconel617喷WC-CoCr涂层截面形貌

Fig.2 Cross-section morphologies of spraying WC-CoCr coating of Inconel617



(a) 截面涂层/基体

(b) 冷却过程中截面形貌

图3 电子束熔覆处理后截面形貌

Fig.3 Backscattered electron SEM micrographs showing details of the coating microstructure after EB-remelting

度(480~490HV_{0.3})的2.2~2.3倍,未处理前 WC-CoCr 涂层硬度约为 895~910HV_{0.3}。由于熔覆层的显微组织比较均匀细小,作为硬化相的 WC 和 W₂C 分布也比较均匀,所以熔覆层整体显微硬度没有大的波动。由于在熔覆层和基体界面附近组织中 WC 和 W₂C 很少,试样的显微硬度在接近界面处时快速下降至基体的显微硬度。熔覆层表面硬度的显著提高,有利于耐磨性能的改善。

2.3 熔覆层耐磨性分析

图 5 展示了基体表面和电子束熔覆处理后材料表面的耐磨性能,试样经过电子束熔覆处理后,耐磨性能相对于基体而言提高了 7 倍有余,熔覆层耐磨性的提高也是熔覆层整体性能改善的有效保证。熔覆层硬度、强度等综合性能的提高是改善复合涂层性能的必然途径与基本保证,同时促进 WC 颗粒与 Inconel617 镍基材间的结合强度,即提高了镍基合金对 WC 颗粒的支承能力,这对提高熔覆层的整体耐磨性非常有利^[9]。

在摩擦磨损过程中,主要是 SiC 砂纸中的硬质 SiC 磨粒对较软的 CrCo 基材产生严重的犁削作用,在表面磨划出较深的划沟。随着摩擦磨损的进行,包覆在 WC 颗粒表面的 CrCo 材料被大量磨削掉,使硬质的 WC 颗粒凸露出来,在随后的摩擦过程中,WC 颗粒最先接触

到 SiC 磨粒,阻碍着 SiC 磨粒继续对软基体的磨削,起到一定的缓和作用。在循环的法向载荷挤压和剪切应力作用下,枝状 WC 颗粒边缘材料出现了少量的脱落,这些脱落的硬质磨屑在随后摩擦中又起着磨粒的作用,对 CrCo 基体进行磨削,这是典型的磨粒磨损形式。

3 结论

(1) 采用高速火焰喷涂和高能电子束表面熔覆方法相结合制备合金层。涂层与基体结合良好,为冶金结合。熔覆层 WC 和 W₂C 为枝状晶体,均匀分布在 CoCr 中。

(2) Inconel617 合金表面电子束熔覆 WC-CoCr 涂层可使显微硬度由基体的 480~490HV_{0.3} 提高到 1090~1110HV_{0.3}。

(3) 电子束熔覆陶瓷涂层 WC-CoCr,可使基体耐磨性能提高 7 倍有余。

参考文献

[1] 江河,董建新,张麦仓,等. 700 °C超超临界用锅炉管材 617 合金研究进展 [J]. 世界钢铁,2014(3): 26-39.
JIANG He, DONG Jianxin, ZHANG Maicang, et al. Research progress of 617 alloy for boiler tube ultra supercritical in 700°C [J]. World Iron & Steel, 2014(3): 26-39.

[2] 张秉刚,赵健,冯吉才. 电子束表面合金化研究进展 [J]. 焊接学报,2011, 32(11): 108-112.
ZHANG Binggang, ZHAO Jian, FENG Jicai. Research progress of electron beam surface alloying[J]. Transactions of the China Welding Institution, 2011, 32(11): 108-112.

[3] 何俊,陈威,于斌. 电子束熔覆粉末涂层表面改性的研究 [J]. 粉末冶金工业,2009, 19(3): 48-52.
HE Jun, CHEN Wei, YU bin. The research of electron beam cladding coating surface modification[J]. Powder Metallurgy Industry, 2009, 19(3): 48-52.

[4] 路程. 激光熔覆 Ni 基球形 WC 复合涂层的组织与性能研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2012.
LU Cheng. Microstructure and properties of Ni based spherical WC composite coating by laser cladding[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2012.

[5] HAO S Z, ZHAO L M, HE D Y. Surface microstructure and high temperature corrosion resistance of arc-sprayed FeCrAl coating irradiated by high current pulsed electron beam[J]. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B, 2013, 312: 97-103.

[6] 张燕,张行,刘朝辉,等. 热喷涂技术与热喷涂材料的发展现状 [J]. 装备环境工程, 2013, 10(3): 59-62.
ZHANG Yan, ZHANG Hang, LIU Chaohui, et al. The current development situation of the technology and the materials for thermal spraying[J]. Equipment Environmental Engineering, 2013, 10(3): 59-62.

[7] DE RICCARDIS M F, CARBONE D, PISCOPIELLO E, et al. Electron beam treatments of electrophoretic ceramic coatings[J]. Applied Surface Science, 2007, 254: 1830-1836.

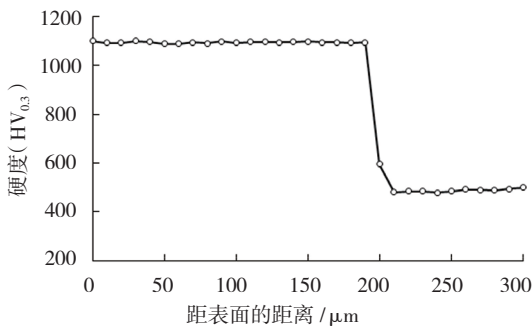


图4 熔覆层试样横截面的显微硬度分布

Fig.4 Microhardness distribution of the depth along the coating

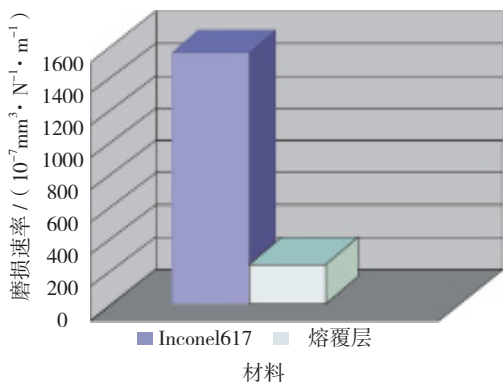


图5 熔覆层和基体磨损速率

Fig.5 Sliding wear rate of the WC-CoCr coating after EB-alloying

(下转第109页)