

A₃ 钢表面激光熔覆 Fe-WC 金属陶瓷复合层的研究

周二华 曾晓雁 吴新伟 朱蓓蒂
(华中理工大学材料系, 武汉, 430074)

摘要: 采用 CO₂ 激光器在 A₃ 钢表面激光熔覆 Fe-WC 金属陶瓷复合层。对不同 Fe-WC 复合粉末成分和扫描速度下熔覆层的显微组织和硬度进行了分析和测试。结果表明, 粉末成分和扫描速度对熔覆层组织和硬度有显著影响。

关键词: Fe-WC 金属陶瓷复合层 显微组织 显微硬度

Study on laser cladding of Fe-WC ceramic-metal composite coating

Zhou Erhua, Zeng Xiaoyan, Wu Xinwei, Zhu Beidi

(Department of Materials Science and Engineering, HUST, Wuhan, 430074)

Abstract: Fe-WC ceramic-metal composite coatings were cladded on the surface of A₃ steel by using a 2kW CO₂ laser. To different laser scanning speed and different Fe-WC compositions, the microstructure and microhardness of cladded layers are tested and analyzed. The experimental results show that the proper addition of WC crystal powder and increasing of the laser scanning speed enable the branch structure to get fine and improve the surface microhardness. The average microhardness of the cladded surface can be up to 960kg/mm², when 25wt% 9.5μm crystal WC added in Fe-01 metal powder and the Fe-WC cladded layer had been treated.

Key words: Fe-WC ceramic-metal composite coating microstructure microhardness

一、引 言

激光熔覆金属陶瓷复合层是近年新兴的金属表面强化技术, 利用高功率激光的快速熔凝效应, 可以在低成本钢材上根据熔覆材料、工艺的不同制取不同性能的表面, 成为提高金属表面抗磨耐蚀耐高温性能的重要手段。常用的作为粘结金属的有钴基、镍基和铁基合金三大系列, 作为陶瓷相的有 WC, TiC 和 SiC 等。到目前为止, 国内外对激光熔覆的研究已取得很大的成果, 但大多数研究都是基于镍基^[1~2]和钴基合金^[3], 铁基合金由于熔点高, 流动性、润湿性差, 需较高的激光功率, 且耐热性、韧性不如 Ni, Co 基合金而很少被采用。实际上, Co, Ni 基合金虽具有较佳的高温性能, 但原料稀缺, 造价昂贵, 且 Co 基合金在激光处理中烧蚀严重, 故很难广泛应用。本实验工作就是为了解决上面的矛盾而开发的一种适于激光熔覆的 Fe 基自熔合金和单晶 WC 的复合粉。一方面由于 Fe 基自熔合金具有相对较低的熔点和较好的流动性, 而且价格便宜来源广, 抗磨耐蚀性能好, 另一方面, 通过加入细颗粒单晶 WC, 细化改善组织, 提高覆层硬度和韧性。本文就这种复合粉末激光熔覆后组织形貌和硬度规律进行了初步的分析和讨论。

二、实验条件和方法

本实验采用 A₃ 钢作基体材料, 加工成 100mm × 45mm × 5mm 的金属块。将加工后金属

块表面研磨、去油、清洁处理后待用。

熔覆材料选用 Fe 基自熔合金 Fe-01, 其成分: C: 0.1% ~ 0.2%, B: 2.0% ~ 2.5%, Si: 2.5% ~ 3.5%, Cr: 17% ~ 19%, Ni: 7% ~ 9%, Mn: 1.5%, Mo: 0.5%, Fe: 余量。粒度为 -180

Table Composition of ceramic-metal composite powders

sample numbers	composition	size of WC particles(μm)
101- 105	Fe-01	—
201- 205	Fe-01+ 15 wt% WC	2.2
301- 305	Fe-01+ 15 wt% WC	9.5
311- 315	Fe-01+ 25 wt% WC	9.5
321- 325	Fe-01+ 35 wt% WC	9.5

目~ +320 目。陶瓷相选用单晶 WC, 粒度有 2.2 μm 和 9.5 μm 两种, 为便于比较, 按附表的配比设计出五种熔覆合金方案。将按一定比率混合均匀的粉末用有机粘剂调成粉浆, 涂覆在 A₃ 钢基体表面, 涂层厚度约 1mm。激光熔覆前, 将样品置于 200℃ 的热处理炉中烘干。

本实验采用横流 CO₂ 激光器, 输出功率为 2kW, 光斑直径为 3mm, 扫描速度 3

~ 15 mms⁻¹, 为防止氧化, 熔覆时吹氩气保护。

三、实验结果分析和讨论

1. 显微组织分析

(1) WC 的加入对熔覆层组织的影响 将激光熔覆后样品制成金相试样并经腐蚀处理后, 用扫描电镜观察其显微组织。图 1 所示为激光熔覆 Fe-WC 金属陶瓷复合层的典型形貌。其中 a 为经铁血盐溶液浸蚀而将 WC 着色后的 WC 分布图。从图中可见在 Fe-WC 金属陶瓷



Fig. 1 Typical microstructure of Fe-WC ceramic-metal composite coatings
sample number: 202 sample composition: Fe-01+ 2.2 μm 15wt% WC a- distribution of WC particles in laser-cladded layer b- microstructure of laser-cladded layer (in the middle of the layer)
c- microstructure of laser-cladded layer (in the interface of the layer)

复合层中 WC 的分布是十分均匀的。而 b, c 则分别为经王水腐蚀后的覆层枝晶形貌。其中 b 图摄于覆层中部而 c 图摄于同一试样的底部。图 c 中的白亮层说明覆层和基材间形成了冶金结合。而图 a 和图 b 则共同说明 Fe-WC 熔覆层的组织为细枝晶上均匀分布着细小的 WC 颗粒。这种组织显然较不加 WC 时的 Fe 基自熔合金粗大枝晶组织大大改善了(如图 2 所示)。这是由于 WC 的加入, 实际上起到非均匀形核核心的作用, 而且颗粒状未熔 WC 的存在, 也阻碍了枝晶进一步的长大, 同时也改变枝晶生长方向。因此对比图 1 和图 2, 在 Fe-01 中加入 WC 后不仅细化了枝晶, 也使枝晶形状变得复杂。



Fig. 2 Microstructure of laser-cladded Fe-based self-fluxing alloy layer
sample number: 102
sample composition: Fe-01

另一方面,即使是从同一试样上摄下的 b, c 两幅照片,由于所选视场不同,在形貌上也存在着差异。这是因在激光熔覆时,熔池内存在着很大的温度梯度和显微成分的不均匀性,因此熔池内不同部位对应不同冷速和显微组织成分,所以最终凝固组织存在着一定的组织梯度。

图1的照片摄于粉末成分为 Fe-01+ 15% 2.2 μ mWC 的覆层。实际上,由于 9.5 μ m 和 2.2 μ m 尺寸相差不大,而且均代表一个粒度范围的平均值,所以两者的显微组织差别不大,此处不另给照片说明。

由上可知,在 Fe 基自熔合金中加入 WC 可细化枝晶组织,获得 WC 分布均匀的致密覆层。但 WC 的加入量是有一定限制的。在本实验条件下,当 WC 的百分含量达 25wt% 时,覆层仍保持连续(如图3所示),但当 WC 含量增加到 35wt% 时,所得覆层气孔和开裂现象十分严重(见图4)。其中白色圆圈即为气孔,在靠近界面处还有一条很长的裂纹。有关 WC 百分含量增加,出现气孔和裂纹的原因还有待进一步的研究。

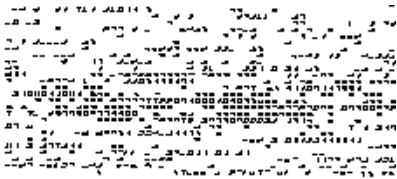


Fig. 4 Laser-cladded layer with porosities and cracks sample number: 322 sample composition: Fe-01 + 9.5 μ m 35wt% WC

扫描速度增加,覆层组织细化。原因是激光扫描速度快时,光束辐射在样品表面时间短,覆层材料吸收的激光能量较少,在基体同样的传热条件下,冷速较快,熔池中大量的晶核来不及进一步长大就凝固成固态,所以其枝晶组织较细。当扫描速度慢时,激光束停留时间长,吸热较多,熔池需较长时间才能凝固,晶核有充裕时间长大,显微组织呈粗大状。由此可见,在不影响性能的条件下,增加激光扫描速度,可细化改善组织。

2. 熔覆层显微硬度分析

利用 BU CHLR 型显微硬度计,选用 100g 的载荷测量熔覆层的显微硬度值。虽然粘结金属中微观组织不均匀,但测量时发现整个覆层硬度变化不大,因此可取多点的平均值作为该覆层粘结金属的硬度值。

从图6的硬度值曲线可以看出,在 Fe 基自熔合金中加入 WC 后,其粘结金属的显微硬度值均有不同程度的提高,且加入 WC 颗粒尺寸越大,粘结金属显微硬度值提高得越多;加入 WC 百分比越多,硬度值提高得也越多。对于本研究来说,加入 WC 后,由于 WC 只是少量溶解,因此粘结金属硬度值的提高主要是外加硬质相复合强化,其强化程度取决于所加 WC 的粒度和含量。而激光熔覆过程中部分溶解的 WC 又以第二相的形式在覆层内均匀弥散地析出,同样起到强化覆层的作用,另外由于 WC 加入而引起的枝晶细化,也使晶界和相界得到强

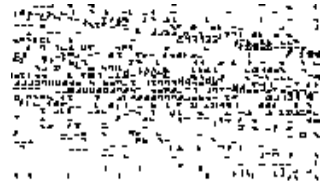


Fig. 3 Microstructure of laser-cladded Fe-WC ceramic-metal composite coating sample number: 312 sample composition: Fe-01+ 9.5 μ m 25wt% WC

(2) 扫描速度对熔覆层组织的影响 图1c和图5分别代表覆层成分相同,激光扫描速度不同的两种覆层形貌。其中图1c对应扫描速度 $v_s = 5$ mm/s,图5对应 $v_s = 11$ mm/s。对比两图,图5的枝晶显然要比图1c中的细。可见扫描速度增加,覆层组织细化。

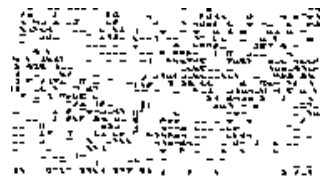


Fig. 5 Microstructure of laser-cladded layer at high scanning speed $v_s = 11$ mm/s sample number: 105 sample composition: Fe-01+ 2.2 μ m 15wt% WC

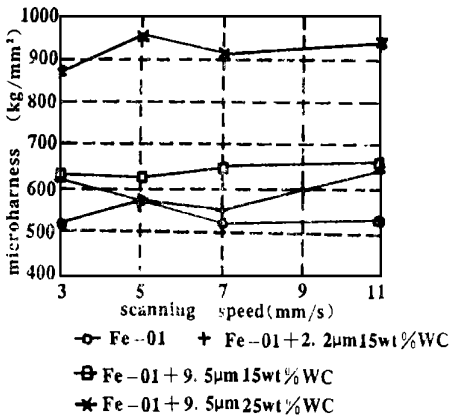


Fig. 6 Microhardness of Fe-WC clad layers

速度越慢,其熔覆层的稀释率也越高,稀释率的增高又会使粘结金属显微硬度值降低;当扫描速度快时,由于 WC 溶解而使粘结金属硬度提高的作用减弱,但熔覆层的稀释率也相应降低。因此,必然存在着一个最佳的扫描速度值,此时覆层对应最高的显微硬度值。由于不同粉末成分在相同扫描速度下其激光熔覆层的稀释率和 W 的溶解量是各不相同的,其对应于硬度最高的扫描速度值也各不相同。由此也可看出,激光熔覆金属陶瓷复合层中往往同时存在多种强化机制,其显微硬度的变化规律是多种机制综合作用的结果。

四、结 论

1. 在 Fe 基自熔合金中加入适量的 WC 可使枝晶组织大大细化,并且可获得 WC 分布十分均匀的致密覆层。对于相同的覆层成分,增加扫描速度可细化枝晶。
2. 在 Fe 基自熔合金中加入单晶 WC 颗粒,可使覆层显微硬度有不同程度的提高,随着 WC 粒度增大,覆层显微硬度值增大;随着 WC 百分比的增加,其显微硬度值也增加。
3. 当 Fe-01 中加入 25wt% 9.5µm 单晶 WC 时,其覆层显微硬度的平均值可达 960kg/mm²。
4. 不同的覆层成分其显微硬度最大值对应不同的扫描速度。

参 考 文 献

1. Zhu B, Zeng X, Tao I *et al.* Wear, 1993; 170: 161~ 166
2. Zeng X, Zhu B, Tao I *et al.* Surf & Coat Technol, 1995; in press
3. 张思玉, 郑克全. 中国激光, 1993; 20(12): 940~ 943

作者简介:周二华,女,1972年5月出生。硕士研究生。主要从事激光熔覆及激光表面改性技术的研究。

收稿日期:1995-10-25