

文章编号: 1001-3806(2008)05-0465-03

工业纯铝表面激光熔覆 Y 粉的研究

赵 永, 黄安国, 熊建钢, 陈晓娟, 尼军杰, 李志远
(华中科技大学 材料科学与工程学院, 武汉 430074)

摘要: 为了研究稀土 Y 元素对工业纯铝表面激光熔覆层的组织和性能的影响, 在工业纯铝基体上, 采用 CO_2 激光器制备了 Al-Y 合金熔覆层, 利用金相显微镜、能谱分析、X 射线衍射分析和显微硬度计等对熔覆层的显微组织、成分分布、物相组成和显微硬度进行了研究。由实验结果可知, Y 元素显著细化了熔覆层的组织, 熔覆层与基体形成良好的冶金结合; 生成了含 Y 的新相 YA_3 , $\text{Y}_4\text{Al}_2\text{O}_9$ 等铝钇金属间化合物; 熔覆层区域的显微硬度 $43\text{HV}_{0.2} \sim 58\text{HV}_{0.2}$ 与基体的显微硬度 $30\text{HV}_{0.2} \sim 40\text{HV}_{0.2}$ 相比提高了 50% ~ 60%, 在熔覆层表面硬度值达到最高。结果表明, 通过激光熔覆 Y 粉可以提高工业纯铝的表面性能。

关键词: 激光技术; 激光熔覆; Al-Y 合金; 显微组织; 表面性能

中图分类号: TG156.99 **文献标识码:** A

Laser cladding of Y powder on pure aluminum surface

ZHAO Yong, HUANG An-guo, XIONG Jian-gang, CHEN Xiao-juan, NI Jun-jie, LI Zhi-yuan

(Material Science and Technology College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: In order to improve the surface properties of aluminum, the Al-Y alloy coating was fabricated by laser cladding directly melting the preplaced Y powder on substrate. With optimum process parameters, the coating layer with good metallurgical bonding performance was formed, and the grain size in cladding layer was smaller than the substrate. The microstructure characteristics of coating layer were studied by using metallogenic microscope, energy dispersive spectroscopy, X-ray diffraction and micro-hardness analysis. The results showed that the surface modified layer consisted of some intermetallic compound phase, such as YA_3 , $\text{Y}_4\text{Al}_2\text{O}_9$. The micro-hardness of the coating ranging from $43\text{HV}_{0.2}$ to $58\text{HV}_{0.2}$, was 50% ~ 60% higher than that of the substrate, ranging from $30\text{HV}_{0.2}$ to $40\text{HV}_{0.2}$. The highest hardness was obtained in the top of the coating. It can be concluded that the surface properties of aluminum can be improved by laser cladding Y powders.

Key words: laser technique; laser cladding; Al-Y alloys; microstructure; surface properties

引 言

由于铝及其合金低密度、高强度等优点, 在航空航天、汽车等工业领域有着极其广泛的应用。但是其表面特性 (如差的耐腐蚀性和抗磨损性) 限制了它大规模安全的工业应用。如果能够在铝合金表面熔覆一层具有良好表面性质的表面层, 就可以用价格低廉的铝合金材料替代性能昂贵的其它功能材料。因此, 如何提高其表面特性, 是近年来研究较多的课题。激光表面熔覆技术是一种仅仅改变表面薄层的性质而不影响构件整体特性的改良措施。铝合金表面采用激光熔覆技术改变表面性能已有许多成功的例证, 如参考文献 [1] ~ 参考文献 [4] 中都报道了在不同铝合金表面成功熔覆了具有良好表面特性的涂层。

作者简介: 赵 永 (1975-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事材料的激光熔覆、激光焊接等技术的研究。

E-mail: yzh_china@126.com

收稿日期: 2007-06-11; 收到修改稿日期: 2007-11-08

稀土元素 (rare earth elements, RE) 在组织中可以细化晶粒, 能改善金属可铸性、耐高温性和耐腐蚀性, 尤其是 Al-Y 系的非晶合金所展现出来的高的强度、良好的抗弯性能和高的耐磨耐蚀性, 在实际应用中有很大的潜力。通过激光技术制备非晶合金的技术近年来也成了研究的热点课题, 但到目前为止, 还没有通过激光熔覆技术制备 Al-Y 非晶合金的相关报道。作者对工业纯铝表面激光熔覆 Y 金属粉末的行为进行了研究, 为将来通过激光熔覆制备 Al-Y 非晶合金表面层打下基础。研究结果表明, 稀土 Y 粉能够显著细化熔覆层组织, 形成了少量 YA_3 , $\text{Y}_4\text{Al}_2\text{O}_9$ 等金属间化合物, 显著提高了熔覆层的显微硬度。

1 试验方法及过程

本文中研究的基体是工业纯铝 1A90, 所用的熔覆材料 Y 粉是微粒尺寸小于 $74\mu\text{m}$ 质量分数为 0.95 的 Y, 质量分数为 0.024 的 LiF 及质量分数为 0.012 的 MgF_2 及质量分数为 0.014 的 CaF_2 的混合粉末。粉末

中加入的氟化物既可以作为造渣剂^[5],又可以改善激光加工的工艺性^[6]。

激光熔覆采用预置法(两步法):(1)首先用化学粘合剂把厚度大约为0.3mm的粉末预置到母材表面,然后将覆有薄层的母材烘干;(2)用一台5kW连续波长的CO₂激光器将涂层及部分母材熔化。为避免外层熔覆材料被氧化,激光熔覆过程中通氩气保护熔池,激光功率和光斑直径分别为1.45kW和6mm,激光的扫描速率为13mm/s。

激光扫描之后,通过金相显微镜和能谱仪(energy



Fig 1 Microstructure of the laser cladding layer on pure aluminum surface (600 \times)
a—bonding interface b—middle interface c—upper interface

dispersed spectroscopy, EDS)分析样品的显微结构及成分分布;用X射线衍射仪(X-ray diffraction, XRD)分析熔覆层的物相组成;用维氏硬度测试仪测量熔覆层的显微硬度。

细小的胞晶状;图1b靠近熔覆层顶部的显微组织图片,呈较为细小的枝晶状。由图1b和图1c可以看出,熔覆区处与母材相比晶粒显著细化;由图1a可以看出,交界处没有观察到显著的组织缺陷,靠近熔覆区一侧也没有可见的气孔、裂纹等组织缺陷,说明熔覆层和母材的形成了坚固而均匀冶金连接。图1b和图1c相比,靠近熔覆区中间部分,晶粒更为密实均匀。

底部基相枝晶组织比顶部较粗大,是因为在激光熔覆过程中,当激光束移开后,由于基材的热传导冷却作用,基材表面熔化区固液界面前沿温度梯度最大,熔池中由底部至上表面存在正温度梯度,因此,熔池底部熔体首先结晶凝固,并沿热流传输逆方向呈枝晶生长,涂层底部过冷度大,结晶速度很快,晶粒更容易长大,形成了较为粗大的枝晶,随着冷却过程进行,固液界面向熔覆层上部推移,熔体温度降低,且过冷度减小,熔体结晶速度减慢,晶粒长大受到抑制,因而,中间熔覆层组织更为细小;靠近熔覆层的顶部,由于与外界环境对流热交换,结晶速度较快,形成了较粗大的枝晶。

2.2 能谱分析及X射线衍射分析

为了进一步确定熔覆层的成分,对熔覆层作了能谱分析,分析结果如图2所示。

由图2分析结果可以看出,熔覆层中未发现Y元素,由于所用能谱仪对于质量分数在0.01以下的元素不能显示,说明熔覆层中Y元素含量较少。Y元素在此条件下过渡到熔覆层比较困难,其原因为金属Al和Y熔点差距很大,分别为600℃和1523℃,后者为前

者的2.3倍。在激光作用下,基体Al金属迅速熔化,由于Y金属熔点高,在Al元素熔化的同时,只有很少量Y元素熔化成液态,激光熔池是高速流动的,在熔池区域运动形式为从熔覆层中心部分向两侧呈环流状态,其运动状态示意图如图3所示,固态Y在液

2 结果与讨论

2.1 显微组织分析

图1为母材及熔覆区显微组织图。图1a为熔覆层和母材交界的显微组织,熔合区一侧呈较粗大的枝晶状;图1b为靠近熔覆层中心组织的显微图片,其呈

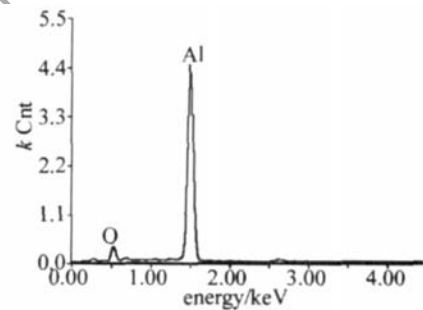


Fig 2 EDS of laser cladding coating

态铝的表面张力下,很难过渡到熔池中,大部分在激光作用下,被吹向了熔池边缘,随同熔渣被一起排走,没有能够熔入熔池中。



Fig 3 Schematic diagram of the flowing of the melting pool

为了进一步确定是否有少量的Y元素过渡到了熔覆层中,对熔覆层作了XRD分析,以便确定熔覆层中的物相组成,分析结果如图4所示。

由图4可以看出,熔覆层表面物相主要由Al和少量YAl₃, Y₄Al₃O₉相组成,由衍射峰值可估测出,熔覆

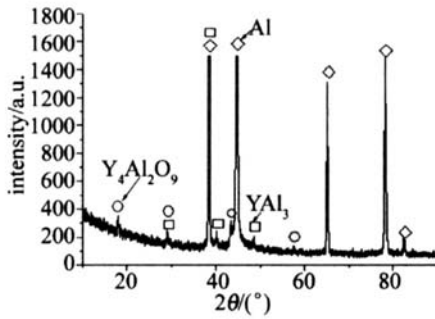


Fig 4 X-ray diffraction result of cladding layer

层内 Y 元素相对含量很低,但仍可确定有少量的 Y 进入到了熔覆区。

2.3 熔覆层硬度分析

在试样熔覆区沿水平方向 (以 0.25mm ~ 0.5mm 为间隔,距离母材表面 0.2mm)和在熔覆层中心处沿深度方向,做了显微硬度测试,设备型号为:HX-500。所加负载为 200g,负载保持时间为 15s,其位置示意图如图 5 所示,得到沿水平方向及深度方向硬度曲线如图 6 所示。

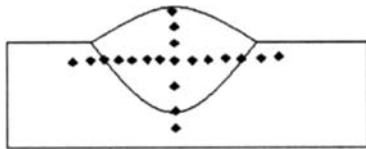


Fig. 5 Schematic diagram of the location of the microhardness analysis

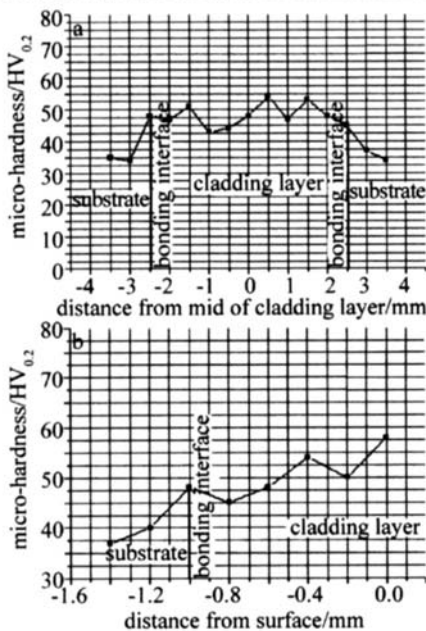


Fig. 6 Micro-hardness distribution of cladding layer
a—parallel direction b—vertical direction

由图 6 硬度分析图可知,熔覆区的硬度较基体有了一定的提高,最高硬度值为 58HV_{0.2},为基体硬度的 1.5 倍 ~ 1.6 倍。由图 6b 可以看出,在熔覆层深度方向上离表面越近硬度值越高,熔覆层硬度提高的原因可以从稀土对熔覆层的组织的作用来加以解释。

当向合金中加入少量 Y 后,稀土元素的原子半径与电负性与铝有较大的差别,稀土在铝基体中的溶解度很小^[7],固溶强化作用极微,而稀土同合金中其它元素形成金属间化合物的能力较强,在激光熔覆时很容易和 Al, Cu 等元素形成金属间化合物,这种化合物常存于晶界,结晶时对晶粒长大有阻碍作用,故可细化合金晶粒,由于晶界上强化相数量的增加,熔覆区的晶粒比未含 Y 的基体区晶粒细小 (见图 1)。除了由于熔池的不同区域结晶速度不同外,还因为合金中形成了含 Y 的稀土化合物对合金再结晶晶粒的长大有抑制作用,随 Y 含量的增加这种抑制作用愈强^[8],合金的再结晶晶粒变的更为细小,合金抗变形的能力提高,即强度、硬度提高,由于熔覆层表面及其附近处, Y 元素过渡相对容易, Y 含量相对较多,形成的 Al-Y 化合物也较多,因此,越靠近熔覆层表面处硬度值越高。

3 结 论

- (1) 激光表面熔覆 Y 粉末到工业纯铝表面, Y 元素过渡到熔覆层中量较少。熔覆层与母材能够形成良好的冶金结合。
- (2) 熔覆层中的物相主要由 Al, YAl₃, Y₄Al₂O₉ 等相组成。
- (3) 熔覆层的硬度从 43HV_{0.2} 到 58HV_{0.2},越靠近熔覆层顶部硬度越高,最高值为母材硬度 (30HV_{0.2} ~ 40HV_{0.2}) 的 1.5 倍 ~ 1.6 倍。

参 考 文 献

- [1] LU Y, MAZUMDER J, SH BATA K Microstructure and properties of laser-clad Ni alloy FP-5 on Al alloy AA333 [J]. Metallurgical and Materials Transactions, 1994, B25 (3): 425-434.
- [2] WONG T T, LANG G Y, HE B L, et al Wear resistance of laser-clad Ni-Cr-B-Si alloy on aluminium alloy [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2000, 10 (3): 142-146.
- [3] LANG G Y, SU J Y. The microstructure and tribological characteristics of laser-clad Ni-Cr-Al coatings on aluminium alloy [J]. Materials Science and Engineering, 2000, 29 (4): 207-212.
- [4] DUBOURG L, HLAWKA F, CORNET A, et al Study of aluminium-copper-iron alloys: application for laser cladding [J]. Surface and Coatings Technology, 2002, 20 (2): 329-332.
- [5] LEE K H, NAM D H, LEE S H, et al Hardness and wear resistance of Zr-based bulk metallic glass/Ti surface composites fabricated by high-energy electron beam irradiation [J]. Surface and Coatings Technology, 2006, 201 (3/4): 1620-1628.
- [6] TAN W, LU W J, JIA J H. Research on laser cladding Fe-C-Si-B [J]. Heat Treatment of Metals, 2000 (1): 15-17 (in Chinese).
- [7] WANG J H, YID Q, LU B, et al Effect of yttrium on microstructure and properties of 2618 aluminum alloy [J]. Journal of the Chinese Rare Earth Society, 2002, 20 (2): 150-153 (in Chinese).
- [8] LI H Zh, ZHANG XM, CHEN M A, et al Effect of yttrium on as-cast microstructure of 2519 aluminum alloy [J]. Journal of Central South University of Technology, 2005, 36 (4): 546-549 (in Chinese).