

文章编号: 1001-3806(2009)02-0117-04

铝合金表面激光熔覆 Al + Y 粉末的研究

黄安国, 汪永阳, 赵永, 熊建钢, 李志远

(华中科技大学 材料科学与工程学院, 武汉 430074)

摘要: 为了研究激光熔覆制备 Al-Y 合金涂层的可行性, 采用 CO₂ 激光器熔化预置的 Al + Y 混合粉末的方法, 利用 SEM, XRD, EDS 和硬度检验等方法分析了熔覆层的显微组织、物相组成、成分分布和硬度等。在 2034 铝合金表面得到了激光熔覆涂层, 其物相主要由 Al, Y₅Al₃, YAl₃, YAl 等组成, Y 元素主要分布于晶界和枝晶间, 熔覆层的显微硬度 70HV_{0.2} ~ 95HV_{0.2} 与基体的 100HV_{0.2} ~ 120HV_{0.2} 相比较低, 原因在于降低了基体中 Cu 元素的固溶强化效果。结果表明, 熔覆层与基体形成了良好的冶金结合, 熔覆层显微组织显著细化。

关键词: 激光技术; 激光熔覆; 2034 铝合金; Al + Y 粉末

中图分类号: TG156.99 **文献标识码:** A

Study on laser cladding Al + Y powder on Al-base alloy surface

HUANG An-guo, WANG Yong-yang, ZHAO Yong, XIONG Jian-gang, LI Zhi-yuan

(Department of Materials Science & Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: To prepare the high properties Al-Y coating, laser cladding was carried out with a CO₂ laser by melting the preplaced Al + Y powder on the surface of 2034 Al-based alloy. SEM, XRD, EMS and micro-hardmeter were used to analyze the microstructure, components, element distribution and micro-hardness of the cladding layer. The Al-Y coating mainly consisted of Al, Y₅Al₃, YAl₃ and YAl phases, and Y was mostly found on the grain boundary and at the interspaces of the grains. The micro-hardness measurement of the coating was in the range of 70HV_{0.2} ~ 95HV_{0.2}, which was lower than 100HV_{0.2} ~ 120HV_{0.2} of the base material for decreasing the effect of solid solution strengthening of Cu element. The results show that the clad layer and the base metal are joined by the metallurgical bonding, and it has obvious finer microstructure.

Key words: laser technique; laser cladding; 2034 Al-base alloy; Al + Y powder

引言

近年来, 由于铝合金具有低密度、高的延展性等优点, 受到广泛的关注, 尤其是铝基非晶合金如 Al-Y 和 Al-Y-Ni 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^[1]。激光表面熔覆技术是一种改变表面薄层的性质而不影响构件整体特性的方法, 通过激光熔覆制备非晶涂层的研究也成为近年来学术界研究的热点问题之一^[2,3]。通过激光熔覆技术制备 Al-Y 系非晶合金, 国内外相关的报道尚不多见。由于金属 Y 与 Al 的熔点相差很大, 在激光熔覆过程中 Y 元素能否过渡到熔覆层中, 能否形成符合形成非晶成分比例的 Al-Y 涂层, 尚需进一步研究。作者针对铝合金 2034 表面以金属 Al + Y 粉作为激光熔覆涂层制备 Al-Y 合金涂层的可行性进行了研究。

的可行性进行了研究。

1 试验方法及过程

试验中选用的母材是铝合金 2034 (含质量分数为 0.041 ~ 0.048 的 Cu, 质量分数为 0.013 ~ 0.019 的 Mg, 质量分数为 0.008 ~ 0.013 的 Mn, 质量分数为 0.0005 的 Cr, 质量分数为 0.0002 的 Zn 和质量分数为 0.0008 ~ 0.0015 的 Zr, 其余为 Al)。所用的熔覆材料是 200 目的 (质量分数为 0.75Al-0.2Y-0.024LiF-0.012MgF₂-0.014CaF₂) 混合粉末。粉末中加入氟化物既可以作为造渣剂, 又可以改善激光加工的工艺性^[3]。

激光熔覆采用预置法 (两步法)。首先, 用化学粘合剂把厚度大约为 1.5mm ~ 2.00mm 的混合粉末混合均匀后预置到母材表面, 然后将涂覆有薄层的母材烘干; 第 2 步, 用一台 5kW 连续波长的 CO₂ 激光器将涂层及部分母材熔化。熔覆过程中, 为避免外层熔覆材料被氧化, 熔池中用 Ar 气作为保护剂。激光功率和光斑直径分别为 3.8kW 和 5mm。激光的扫描速率为 16mm/s。

作者简介: 黄安国 (1975-), 男, 博士, 讲师, 现从事激光加工及焊接模拟工作。

E-mail: huang-anguo@163.com

收稿日期: 2007-12-06; 收到修改稿日期: 2008-06-04

激光扫描之后,可通过电子扫描显微镜(scanning electron microscopy, SEM)和能谱仪(energy disperse spectroscopy, EDS)观察样品的显微结构及成分分布。由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到熔覆层的硬度。

2 结果与讨论

2.1 金相显微组织分析

图1为母材及熔覆区背散射显微组织图,图1a所示为取自2034母材的显微结构。图1b为熔覆层和母材交界的显微组织,图1c离熔覆层和母材界面较近区

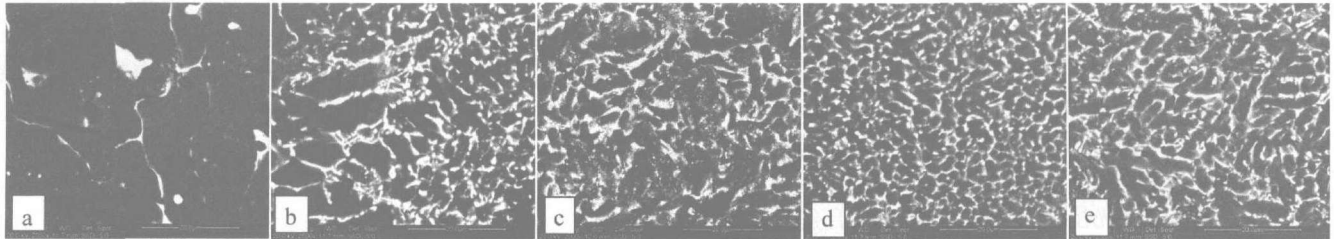


Fig. 1 The backscatter microscopic structure photos of base metal and cladding zone

域的熔覆层详细情况的显微图片,图1d为熔覆层中间部分显微图片,图1e为靠近熔覆层顶部的显微图片。由图1b可知界面熔覆区处晶粒显著细化,在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。也说明熔覆层和母材的坚固而均匀冶金连接。图1c和1d相比,靠近熔覆区中间部分,晶粒更为密实均匀。到熔覆层顶部见图1e,晶粒有所粗化,但与熔覆层处组织相比,依然显得细小、均匀。

由图1可以看出,熔覆区主要由白亮色、灰色和黑色组成,白亮色部分成网状分布在黑色区域周围。底部基相枝晶组织比熔覆层中心区域和顶部粗大,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,中熔覆层组织更为细小。

2.2 熔覆层能谱及X射线衍射分析

为了进一步确定熔覆层成分分布情况,分别对图中白亮色和黑色部分进行了能谱分析,结果如图2所示,其成分组成如表1所示。

由图2和表1可知,黑色区域含钇成分较少,原子数分数只有0.041,白亮色区域含Y成分较多,达到了原子数分数0.0338,且熔覆区组织中白亮部分主要以网状分布在晶界上。这是因为Y的原子半径(0.227nm)比Al原子半径(0.182nm)大,若进入晶格内势必引起较大的晶格畸变,使系统的能量增加,而晶界原子排列较松散,稀土化合物在晶界上聚集引起的畸变能要比在基体中析出产生的畸变能小得多。为了

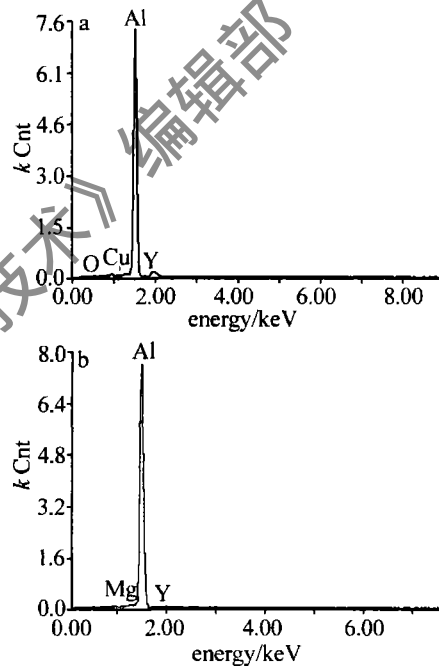


Fig. 2 EDS of the laser cladding layer

a—bright zone b—dark zone

Table 1 Composition of the laser cladding layer

composition	mass fraction	atomicity fraction
bright zone	Al	0.8967
	Y	0.1033
dark zone	Al	0.9867
	Y	0.0133

使系统的自由能降低,Y原子只能向原子排列不规则的晶界富集,因而沿晶间或枝晶间分布。Y在铝中的最大固溶度为0.04%^[4],在 $\alpha(\text{Al})$ 结晶时,由于溶质再分配,进入固相中的Y含量很小,而大量聚集在固液界面前沿,使合金在凝固过程中的成分过冷增大,在分支交接处产生缩颈、熔断,出现第2相球化和细化的特征,同时增加了 $\alpha(\text{Al})$ 相结晶晶核,细化了合金的晶粒。此外,稀土Y是表面活性元素物质,使合金液

的界面张力降低,晶粒的形核功下降,临界晶核半径减小,生核容易,细化了晶粒,由图可以看出,熔覆区的晶粒明显小于基材。

为了进一步分析 Y 元素在整个熔覆区中的分布情况,对熔覆层的横向和纵向进行了能谱线扫描分析,结果如图 3 所示。Y 元素熔覆层中间部位含量较高,

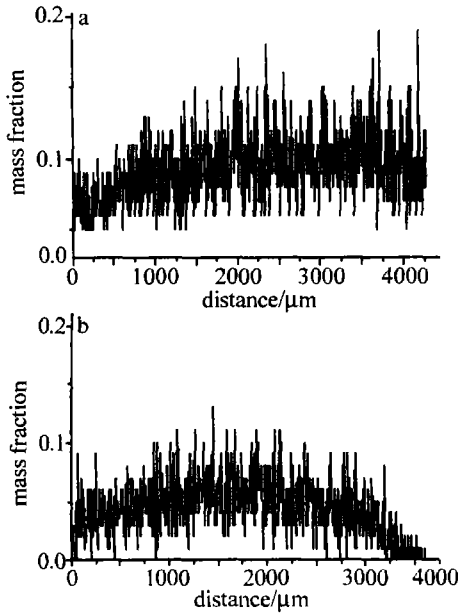


Fig. 3 Y distribution on the cross section of laser cladding layer
a—horizontal direction b—vertical direction

在熔覆层两侧和上下含量较低,造成这种分布结果可以从激光熔池流动的性质来解释。根据 XIAO 等人^[5]熔池 3 维模拟分析可知,在熔覆层表面上从中心向外流,流速由中心到两侧逐渐增大,到熔池边缘附近流速最大达 870mm/s,首先析出的 Al-Y 合金颗粒在熔池高速运动的带动下,很容易向流速相对较缓的中心部位分布,也就造成了中心 Y 元素含量较高。

为了进一步确定熔覆层物相组成,对熔覆层进行了 XRD 分析。分析结果如图 4 所示。

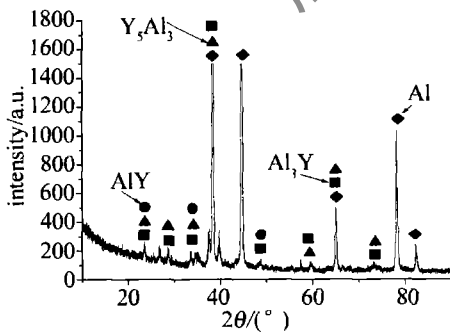


Fig. 4 The XRD of cladding layer

由图 4 可知,熔覆层中生成的铝钇金属间化合物主要为 YAl_3 , Y_5Al_3 , YAl 。由于激光熔覆加工冷却速度很快,熔池组织转变属于不平衡结晶过程,但其生成产物仍可用平衡相图来加以解释。由 Al-Y 二元平衡相图(见图 5)可知,存在 YAl_3 相主要因为发生了以下

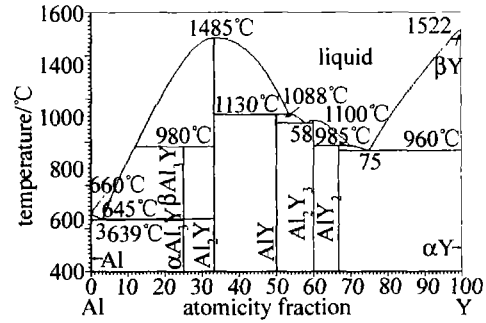


Fig. 5 Al-Y phases diagram

反应:在高温液态冷却过程中首先发生反应: $L = Al_2Y$ ($1485^\circ C$),在较低温度下,发生包晶反应: $L + Al_2Y = (\beta) Al_3Y$ ($980^\circ C$),在共晶点发生共晶反应: $L = Al + (\alpha) Al_3Y$ 。由于激光熔池组织转变属于非平衡过程,生成伪共晶组织。Al-Y 二元相图中未出现 Y_5Al_3 相, YANG 的研究^[6]认为, Y_5Al_3 是在激光熔池非平衡结晶转变过程出现的,属于非平衡相,认为该相是由 Al_2Y_3 和 AlY_2 两种相组合而成,因为在激光熔池中由于溶质成分的局部不均匀分布,局部 Y 含量较高发生了反应: $L = YAl + Al_2Y_3$ ($1088^\circ C$), $L = Al_2Y_3$ ($1100^\circ C$), $L + Al_2Y_3 = AlY_2$ ($985^\circ C$),致使熔覆层中存在少量的 YAl 相。

2.3 熔覆层硬度分析

应用 HX-500 型显微硬度仪对试样熔覆区进行了水平方向和深度方向的测量。水平方向测试距离母材表面 0.2mm,测量点间距为 0.5mm,深度方向间距为 0.25mm,所加负载为 200g,负载保持时间为 15s。结果如图 6 所示。

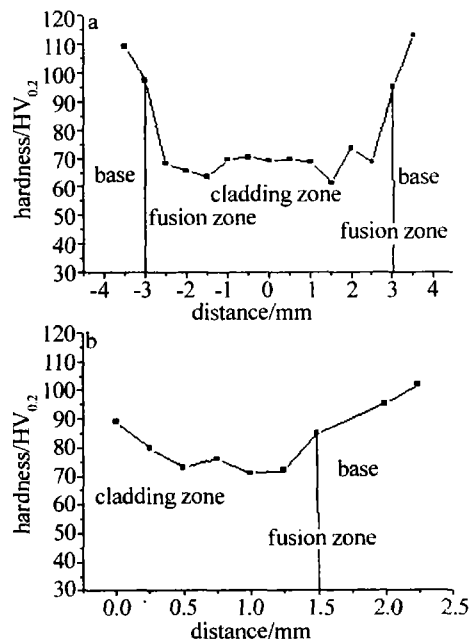


Fig. 6 Hardness distribution on the cross section of laser cladding layer
a—horizontal direction b—vertical direction

由图 6 显微硬度分布可见,熔覆层可以分为 3 个

区域。第1部分为基体区,其硬度值在 $100\text{HV}_{0.2} \sim 115\text{HV}_{0.2}$ 之间;第2为熔合区,其硬度值在 $85\text{HV}_{0.2} \sim 105\text{HV}_{0.2}$ 之间;第3部分为熔覆区,其硬度值在 $50\text{HV}_{0.2} \sim 95\text{HV}_{0.2}$ 之间。熔合区的硬度值要明显小于基体,其原因为涂层中的稀土Y与Al,Cu能形成大量的稀土化合物 $\text{Al}_6\text{Cu}_6\text{Y}$,减少了Cu在Al中的固溶度,从而减少了时效强化相的析出量,使熔合区合金强度降低,LIU等人^[7-9]研究了钇对铜、镁在铝中固溶度的影响,结果表明,由于质量分数为0.002的Y的加入使得在 430°C 时铜在铝中的最大固溶度由原来的2.2%下降到0.9%,镁在铝中的最大固溶度由原来的13%下降到8%。同时大量的稀土化合物的第2相粒子其结构复杂,与基体性能差异较大,造成衔接边界性质不连续,增加了裂纹扩展的可能性,因而导致合金的常温力学性能下降^[10]。熔覆层纵向硬度分布为临近于表面的最高达到 $90\text{HV}_{0.2}$,接近基体的硬度值($90\text{HV}_{0.2} \sim 120\text{HV}_{0.2}$),靠近熔合区的硬度值最低,硬度值位 $70\text{HV}_{0.2}$ 。

3 结论

(1)在2034铝合金表面成功激光熔覆了Al+Y粉,熔覆层内部组织密实,熔覆层与母材有很好的冶金结合。

(2)激光熔覆层由 YAl_3 , Y_5Al_3 ,YAl金属间化合物组成。其中 Y_5Al_3 为非平衡结晶产物,为以后制备Al-Y非晶合金提供了参考。

(3)熔覆层的硬度从 $70\text{HV}_{0.2}$ 到 $90\text{HV}_{0.2}$,在熔覆层顶部处得到最大的硬度值,其值约为 $90\text{HV}_{0.2}$,熔覆

层硬度值与基体相比较低,表明提高高强铝合金的表面性能,应通过制备出性能更好的非晶合金表面层的途径来解决。

参考文献

- [1] INOUE A. Amorphous nanoquasicrystalline and nanocrystalline in Al-base systems [J]. Progress in Materials Science, 1998, 43(5): 365-520.
- [2] JI Sh Q, LI P, ZENG X Y. Microstructure and mechanical property analyses of the metal parts direct fabricated by laser cladding [J]. Laser Technology, 2006, 30(2): 130-132 (in Chinese).
- [3] 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.
- [4] TAN W, LIU W J, JIA J. Research on laser cladding Fe-C-Si-B [J]. Heat Treatment of Metals, 2000(10): 15-17 (in Chinese).
- [5] XIAO Y Q, TANG G L. Existence and effect of rare-earth on microstructure and properties of 6063 aluminum alloy [J]. Light Alloy Fabrication Technology, 1996, 24(11): 33-36 (in Chinese).
- [6] YANG X Ch. Research on physical transfer process in a laser melting pool [J]. Journal of Tianjin Polytechnic University, 2002, 21(4): 1-7 (in Chinese).
- [7] LIU Sh H, DU Y, XU H H, *et al.* Experimental investigation of the Al-Y phase diagram [J]. Journal of Alloys and Compounds, 2006, 414(1/2): 60-65.
- [8] ZENG L M, ZHENG J X. Effect of yttrium on α -phase region of the Al-Cu-Mg system and properties of dural [J]. Journal of the Chinese Rare Earth Society, 1989, 7(4): 77-78 (in Chinese).
- [9] CHEN Ch J, WANG D Sh, WANG M C. Laser surface cladding of Zn_5Mg_2 -base alloy with Al+Y powder [J]. Transaction of Nonferrous Metals Society of China, 2004, 14(6): 1091-1094.
- [10] WATKINS K G, LIU Z, MEMAHON M. Influence of the overlapped area on the corrosion behavior of laser treated aluminum alloy [J]. Materials Science and Engineering, 1998, A252(2): 292-300.

· 简 讯 ·

入 编 信 息

为适应我国信息化建设,扩大本刊及作者知识信息交流渠道,本刊已加入“万方数据千种精品核心刊”计划,被中国核心期刊遴选数据库收录,并通过万方数据资源系统及其镜像系统等对外提供无偿或有偿信息服务,其作者文章著作权使用费与本刊稿酬一次性给付。本刊可免费为作者文章引文统计分析资料。如作者不同意文章被收录,请在来稿时向本刊声明,本刊将作适当处理。

《激光技术》编辑部