

应用扫描电镜拉伸台测定 激光熔覆层结合强度

聂继红*

唐家祥

王爱华

(中国矿业大学分析测试中心 徐州 221008)

(华中理工大学材料系 武汉 430074)

摘要 采用扫描电镜(SEM)的拉伸台测定了铝合金表面激光熔覆层与基体的结合强度,分析了基材预热温度对界面结合强度的影响,观察了界面裂纹的形成及扩展过程。结果表明,这种方法较为准确地测量了熔覆层与基体之间的结合强度。

关键词 铝合金 激光熔覆 结合强度 扫描电镜 拉伸台

分类号 O657.33

1 前言

铝合金具有比重小、耐蚀性能好、热导率高及容易再生利用等优点,是汽车轻量化的首选材料。然而,铝合金的硬度低,摩擦系数大,难以润滑,耐磨性差,在很大程度上限制了其应用范围。因而,改善铝合金的表面性能成为使用铝合金零部件的关键技术。激光表面熔覆处理是改善材料表面性能的有效方法之一,采用激光熔覆技术改善铝合金表面的摩擦磨损性能已见报道^[1],由于铝合金的导热率高,熔点低,对激光能量的吸收率低,其激光熔覆工艺比钢铁材料较为困难,尤其是熔覆层与基体之间界面的脆性,降低了熔覆层的结合强度。采取适当的熔覆材料及激光处理工艺,可以减小界面脆性区的范围,从而提高界面的结合强度^[2~5]。但至今还没有定量测定界面结合强度方法的报道,由于熔覆层厚度一般为1.0~2.5mm,常规方法无法夹持熔覆层,因此不能测量界面结合强度。几种有关涂层与基体之间的结合强度的测定和评价方法,但都停留在定性的基础上^[6]。利用声发射技术测定界面结合强度的方法^[7],然而,在开始加载时就有一些间断的声发射峰出现,各种噪声所引起的干扰较多,因而无法准确认定出现第一突发性声发射计数是否来源于界面,所以也不能准确反映界面结合强度的真实值。本文利用扫描电镜拉伸试验台,对2L108铝合金表面激光熔覆层结合强度进行了测定,并动态观察了界面裂纹的萌生、扩展及最后断裂过程。

2 实验部分

2.1 试样制备

拉伸试验所采用的试样为单道激光熔覆试样,铝合金材料为2L108,采用HGL-81型

* 通讯联系人

2kW CO₂ 激光器和自行研制的激光熔覆送粉器进行表面熔覆处理, 光斑直径为 4mm, 扫描速度为 4mm/s, 送粉量为 20mg/mm, 氩气保护, 熔覆粉末为武汉材料保护所提供的 Ni_{11.6}-Cr_{2.33}-B_{3.55}-Si_{0.48}-Fe 铁基合金。基材采用预加热方法, 研究不同基材温度对界面结合强度的影响, 基材温度分别选取 205、230、255、280、305、330、355。由于单道激光熔覆层宽度约为 3.0mm, 高度在 1.0~2.5mm 之间, 且熔覆层的横截面呈球冠形, 可以有效地夹持试样, 避免拉伸过程中熔覆层与基材趾根处产生应力集中效应。为了动态观察熔覆层横断面方向大部分界面的断裂行为, 利用线切割方法按图 1 所示的部位截取试样。首先沿图 1(a) 中的虚线方向即熔覆道的纵向中央切取宽 2.0mm 的长条试样, 然后再沿熔覆层横向切成 0.5mm 厚的薄片, 薄片试样的两面用金相砂纸磨光, 其中一面经抛光腐蚀。

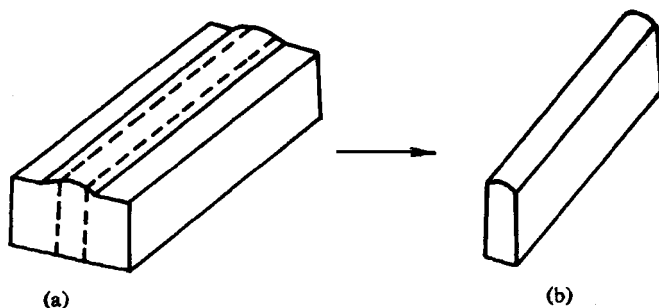


图 1 拉伸试样截取部位示意图

Fig. 1 Diagram of specimen cut off position

2.2 拉伸试验台的结构与特点

本实验所用拉伸台为牛津 TSC-1 型, 拉伸台主要由力的传递系统, 高精度力传感器和显示系统组成, 拉伸台示意图如图 2 所示。旋转手轮经过减速箱及螺旋机构, 使样品座运

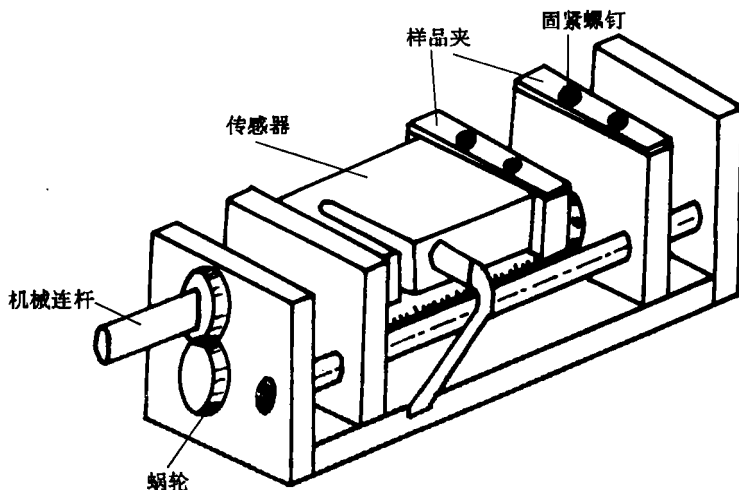


图 2 牛津 TSC-1 型拉伸台示意图

Fig. 2 Diagram of tensile stage in Oxford TSC-1 type SEM

动,达到对样品进行拉伸或压缩,样品所受的力由高精度传感器接收和输出,经过计算机转换、处理。力以牛顿为单位显示并可输入计算机储存,计数器可以记录样品座的位移量。拉伸台的X、Y方向的运动由扫描电镜样品台控制,使样品的特征点处于扫描电镜荧光屏上,以便进行动态观察、分析和照相记录。拉伸台能进行拉伸、压缩、剪切、弯曲和划痕等试验,并能满足扫描电镜同时接收多种信息的要求,既能作力学,还能作形貌观察、成分分析。最大拉力为196N,最大拉伸行程为20mm,X方向移动行程为10mm,Y方向移动行程为10mm。

2.3 实验过程

拉伸试验在剑桥S-250MK3型扫描电镜上进行,在扫描电镜的真空室外控制拉伸载荷和加载速率,为方便地测定界面结合强度和动态观察界面裂纹,拉伸试验台两边的试样夹分别夹持熔覆层端和基材端,试样夹之间的间距为5mm,加载速率为9.8N/min。由于其界面存在一定的脆性,试样在夹持过程中,容易沿界面折断,当试样夹两边均匀受力夹持时,可避免试样因受剪切力而折断。同时,因熔覆层的厚度较薄,采用较大的夹持力时才能避免滑脱现象,这两点是确保获得拉伸强度有效数据的关键。界面结合强度由下式求出:

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (1)$$

式中 σ 为界面结合强度, F 为最后断裂时的拉力, S 为试样断面面积。

试样受力图如图3所示。样品夹持恰当后,启动自动加载系统,拉力实时显示,同时仔细观察界面裂纹的萌生及扩展情况,记录最后断裂时的拉力,计算出界面结合强度。裂纹扩展的整个过程可以通过扫描电镜图像处理系统进行录相,供以后研究使用。

3 实验结果与讨论

3.1 熔覆层结合强度的测定

分别对7组样品,每组取4块进行扫描电镜动态拉伸试验,取其平均值作为该组样品的界面结合强度。

值作为该组样品的界面结合强度。

从图4可以看出基材预热温度对界面结合强度的影响,基材温度从205升至255时,界面结合强度迅速增加,基材温度从255升至305时,界面结合强度小幅度增加,基材温度在305时,界面结合强度值最高,其后随着基材温度继续增加,界面结合强度急剧下降,因此,选择适当的基材预热温度可以提高铝合金激光熔覆层的界面结合强度。

铝合金与铁合金的导热率相差较大,由此产生的激光作用区沿深度方向的温度梯度较大,熔池在冷却过程中,因基体与熔覆材料的热膨胀系数相差较大,而在界面产生极大的热应力,因而导致熔覆层结合强度低。当基材预热温度较低时,界面开裂率较高,原始裂纹尖端应力集中处成为拉伸过程中的裂纹源。同时,原始裂纹的存在也减小了界面的有效横断面

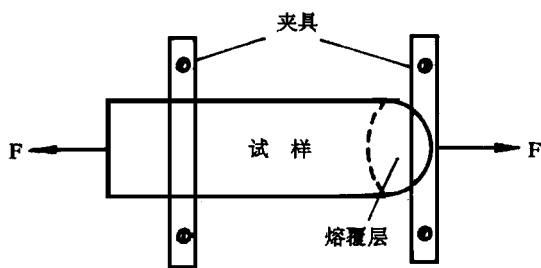


图3 试样拉伸受力图

Fig.3 Tensile strain of specimen

积, 从而降低了熔覆层界面结合强度。随着基材温度的增加, 界面开裂率下降, 界面结合强度迅速增加, 当基材预热温度在 305 时, 界面开裂率最低, 因而界面结合强度具有最高值。此外, 基材温度的提高, 增强了熔覆材料对基材的润湿性, 因而增加了熔池的流动性, 对界面区内元素的均匀分布产生了极好的作用, 有利于冶金结合界面的获得及熔覆过程的

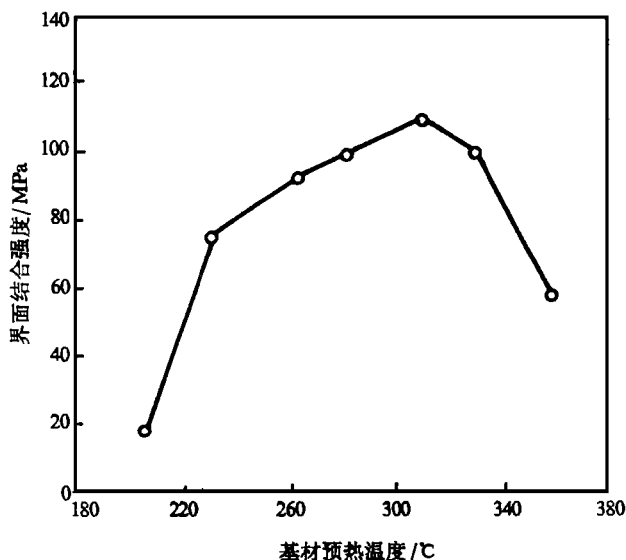


图 4 基材温度对界面结合强度的影响

Fig. 4 The effect of substrate temperature on the boundary binding strength

实现。但基材温度太高 (大于 330), 又导致基材过度熔化, 形成稀释率较大的熔覆层, 甚至造成基材塌陷和严重的变形。由于界面区内铝元素的渗入增加, 因而增加了脆性金属铝化物的数量, 降低了熔覆层与基体之间的结合强度。

3. 2 界面断裂动态过程的观察

在拉伸过程中, 可以清楚地看到界面裂纹的萌生和扩展情况。图 5 是界面裂纹初始形成阶段的形貌, 对图 5 中的岛状富 Al 元素的线扫描分析可以看出, 从岛状富 Al 区中心到边缘, Al 含量是逐渐下降的, 如图 6 所示。在拉伸力的作用下, 界面裂纹首先萌生于岛



图 5 界面裂纹形成初始阶段的形貌

Fig. 5 Morphology of boundary crack in the early stage

图 6 富 Al 区 Al 元素分布的线扫描分析

Fig. 6 Line scanning analysis of Al distribution in Al rich area

状富 Al 区的边缘, 即图 5 中所注的 A 和 B 区域, 由组织结构和 X 衍射分析结果得知, 该区域形成金属间化合物的能力最强, 同时形成了 Al_2Fe 、 Al_2Fe_5 、 Al_3Ni 、 AlNi 等金属间化合物, 而 AlFe 和 Al_2Fe_5 两种金属化合物具有很低的强度, 因而成为裂纹源。随着拉应力的增加, 裂纹穿过富 Al 区的边缘后, 沿着与拉应力大致垂直的方向向过渡区 D 扩展, 当裂纹扩展到贫 Al 区 (图 5 中 C 区) 时, 贫 Al 区因其高的强韧性, 裂纹扩展受到了一定的抑制作用, 裂纹以绕过贫 Al 区的形式继续向前扩展, 如图 7 所示。当裂纹扩展到靠近重熔区的界面部位时, 由于富 Al 区的上浮作用, 形成的面心立 γ -Fe 微晶组织具有极高的强韧性, 裂纹绕过微晶区在界面区与重熔区交界面的漫流结合层扩展, 如图 8 所示。当裂纹扩展到与重熔区相交时, 重熔区具有较大的塑性, 裂纹尖端钝化, 终止向重熔区扩展。当裂纹扩展到熔覆层时, 由于熔覆层具有较高的强韧性, 裂纹也终止扩展, 界面裂纹的萌生和扩展通常是数条裂纹在界面不同的部位同时进行的, 多条裂纹的不断扩展和连接, 最终导致界面的断裂, 图 9 显示的是拉伸试样在界面处断裂的典型形貌。

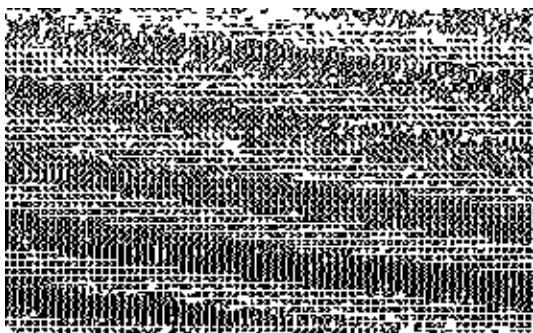


图7 裂纹扩展绕过贫铝区

Fig. 7 Crack develop by passing Al poor area

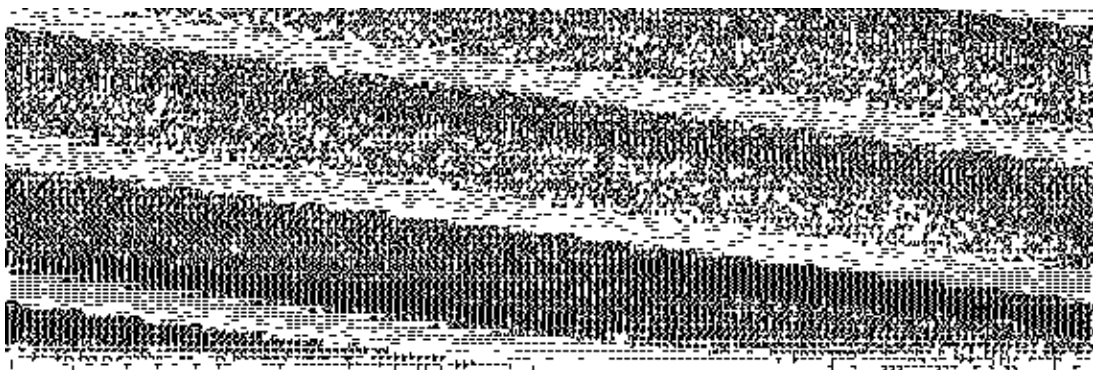


图8 裂纹在漫流层上扩展

Fig. 8 Crack developing in overflow layer

图9 拉伸试样在界面处断裂的典型形貌

Fig. 9 Typical morphology of interface tensile breaking

4 结 论

利用扫描电镜动态拉伸台可以定量测定铝合金激光熔覆层的界面结合强度。对于 2L108 铝合金, 在相同的激光熔覆工艺条件下, 界面结合强度受基材预热温度的影响, 基材预热温度在 305 ℃ 时, 界面结合强度值最高。这种方法不仅可以准确测量界面结合强度, 而且还能动态观察界面断裂的过程, 裂纹萌生于富铝区的边缘, 扩展于过渡区的漫流层, 受阻于贫 Al 区和重熔区。

参 考 文 献

- [1] Lavemia E J, Dyers T S. Rapid solidification processing with specific application to aluminium alloys. *Int. Mater. Rev.*, 1992, 37 (1): 2~5.
- [2] 何康生, 曹雄夫. 异种金属焊接. 北京: 机械工业出版社, 1986: 315~317.
- [3] 燕战秋. 未来汽车材料和我国新材料研究课题. *汽车工程*, 1993, 15 (3): 181~183.
- [4] 朱同列. 汽车铝铸件的市场发展. *国外汽车*, 1993, 2: 27~30.
- [5] 陈建敏, 王安均, 党鸿辛. 铝质材料的摩擦学表面改性. *摩擦学报*, 1994, 14 (3): 267~268.
- [6] 方世京. 热喷涂技术 (下册). 长沙: 湖南人民出版社, 1981: 52~53.
- [7] 马咸尧, 陶曾毅, 王爱华, 付江民, 刘纪文, 邓世钧, 程旭东. 激光熔覆陶瓷层结合强度测量与裂纹形成分析. *中国激光*, 1993, 20 (1): 73~77.

Measuring the Bond Strength of Laser Cladding by Tensile Stage of SEM

Nie Jihong Tang Jiaxiang

(Analysis and Test Centre, China University of Mining and Technology Xuzhou 221008)

Wang Aihua

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

Abstract Bond strength of laser cladding of Fe- base alloy coating to Al- Si alloy substrate was measured by tensile stage of SEM. The influence preheating temperature of substrate upon interface bond strength was discussed, and the process of cracks formation and developing for laser cladding interface were also studied. The results indicate that the method can accurately measure the bond strength of laser cladding.

Key words aluminium alloys laser cladding bond strength SEM tensile stage

Classifying number O657. 33