

# 激光熔覆工艺参数对铜/钢双金属复合材料组织的影响

缪喆宇<sup>1</sup>, 高义民<sup>1</sup>, 王怡然<sup>1</sup>, 施庆峰<sup>2</sup>, 亓云飞<sup>2</sup>

(1. 西安交通大学金属强度国家重点实验室, 材料科学与工程学院, 陕西西安 710049;

2. 中铁宝桥集团有限公司, 陕西宝鸡 721006)

**摘要:** 铁路道岔部件的Q235钢制滑床板在服役时需要人工涂油减摩, 造成极大的人力物力浪费。采用具有自润滑性能的铜基材料与钢铁材料复合, 制备铜/钢双金属复合材料, 可以实现减摩耐磨耐蚀功能, 作为滑床板材料具有极大的应用前景。通过激光熔覆技术可以高效制备铜/钢双金属复合材料, 而激光熔覆参数对材料性能具有重要的影响。研究了激光熔覆工艺参数对熔覆层界面组织的影响, 对不同的激光功率、扫描速率参数进行了分析。研究结果表明, 在粉胶比为1:1、预置粉末厚度为1 mm时, 选择激光功率1 000 W, 激光扫描速率1 000 mm/min时, 熔覆层组织最佳, 其表面组织为 $\alpha$ -铜相与 $\text{Fe}_3\text{CuS}$ 弥散相, 界面处组织为 $\alpha$ -铜相、富铁相与 $\text{Fe}_3\text{CuS}$ 弥散相, 界面冶金结合良好。

**关键词:** 铜/钢双金属复合材料; 激光熔覆; 工艺参数

## 作者简介:

缪喆宇(1998-), 男, 硕士生, 主要研究方向为铜基复合材料制备与摩擦、磨损性能研究。电话: 18101536667, E-mail: miaozheyu1998@icloud.com

## 通讯作者:

王怡然, 男, 博士, 助理教授。电话: 13002981070, E-mail: wangyiran@xjtu.edu.cn

中图分类号: TG146.2

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2022)02-0151-07

## 基金项目:

陕西省自然科学基金基础研究计划资助项目(2021JQ-049); 中国博士后科学基金面上资助(2021M692516); 广东省重点领域研发计划资助项目(2019B010942001)。

收稿日期:

2021-10-15 收到初稿,

2021-11-27 收到修订稿。

交通是国民经济的命脉, 铁路是交通运输中最重要的部分, 而铁路道岔是铁路轨道中的重要零部件, 其运行状态直接影响铁路运行安全。滑床板是道岔的重要组成部分, 主要功能是扣压基本轨、承托尖轨。铁路道岔事故的主要原因是由于滑床板表面润滑程度不够所导致的尖轨不足位移, 因此道岔工作的可靠性与滑床板表面的润滑状态密切相关。目前我国在道岔结构中使用滑床板材料主要为表面电镀硬铬的Q235钢, 需要通过人工涂油养护来保证润滑状态, 这种养护方式对操作人员危险性高, 且受到环境因素的影响较为严重。雨、雪天气时, 雨雪会导致润滑油发生乳化变质, 使其失效剥落, 从而无法达到润滑的效果; 温度较高时, 润滑油的粘度会下降, 导致润滑油流失, 同样无法起到润滑的作用; 在较为干燥的环境中, 润滑油易受到砂砾或灰尘污染, 同样会快速失去润滑效果。综合上述情况考虑, 人工涂油养护的维护方法既难以操作, 又容易受环境影响而失效, 并且人工养护效率的低下也限制了道岔通行车流量的提高, 造成了严重的人力物力资源的浪费, 因此需要可以取代人工涂油养护的减摩耐磨耐蚀材料来满足铁路发展的需要<sup>[1-3]</sup>。

激光熔覆是一种新兴的增材制造工艺, 与传统的增材制造工艺相比, 熔覆层稀释率低、结合力强, 易与基体产生冶金结合; 节约熔覆材料; 工艺环保, 不产生化学废弃物; 加工效率高, 工件变形小; 工作环境自由以及加工区域精确等优点<sup>[4-5]</sup>。本文采用激光熔覆方法制备铜/钢双金属复合材料, 将铜合金与Q235钢结合, 通过改变不同激光功率、扫描速度等参数, 研究不同激光熔覆工艺参数的铜/钢双金属复合材料的组织特征, 最终确定最佳的工艺参数, 为制备具有良好的减摩耐磨耐蚀性能的滑床板材料提供理论基础。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 试验材料

本试验选用的基材为Q235钢, 该材料是一种碳素结构钢, 被大量应用于工程建

筑中,是我国常用的铁路滑床板材料,基板材料尺寸为100 mm×100 mm×10 mm。熔覆层材料选择Cu粉、Ni粉为原料,以9:1的质量比进行混合,Cu粉选用球形粉,表面光滑,粒径为38 μm,纯度为99%;Ni粉选用球形粉,粒径为45 μm,纯度为99%。Cu具有良好的摩擦学性能与力学性能;Ni的加入通过固溶强化改善熔覆层强度,也有助于提高材料的电势,提升耐腐蚀性能。

## 1.2 试验方法

采用预置式激光熔覆法制备铜/钢双金属复合材料,采用的设备为速特印智能生产的STY-BJ6000W激光熔覆机,激光功率范围为0~4 000 W、扫描速度范围为0~20 000 mm/min,该设备在熔覆时进行氩气保护,采用四个激光发射器聚焦一点的照射机制。

激光的工艺参数是熔覆层质量的重要影响因素,主要包括激光功率、扫描速度、搭接率、光斑直径等。通过观察分析熔覆层宏观形貌和微观组织,选取最佳的激光熔覆参数范围,从而获得最佳的熔覆效果。为了进行合理的激光参数设计,参考了激光的比能量密度公式<sup>[6-8]</sup>。激光工艺参数包括激光功率、光斑直径、扫描速度等众多参数,因此需要一个概念与公式定量反应出各个参数对于熔覆层质量的具体影响,比能量密度可以很好地充当这个概念。比能量密度是激光功率密度和激光与材料表面相互作用时间之积,定量反应出各个参数对于熔覆层质量的具体影响,对激光参数设计有很好的指导作用,公式如下所示<sup>[4]</sup>。

$$P_{比} = \frac{P \times T}{A} = \frac{P \times \frac{D}{V}}{\pi \left(\frac{D}{2}\right)^2} = \frac{P}{\pi D V} \quad (1)$$

式中: $P_{比}$ 为比能量密度; $D$ 为光斑直径; $V$ 为扫描速度; $T$ 为激光与材料表面相互作用的时间; $A$ 为激光束照射的面积。

由式(1)可知:比能量密度与激光功率 $P$ 、光斑直径 $D$ 、激光扫描速度 $V$ 三个参数之间的关系为:比能量密度和激光功率 $P$ 成正比关系,同光斑直径 $D$ 和激光扫描速度 $V$ 成反比关系。

由于铜基材料具有良好的导热性,对氧化具有高敏感性,且是一种对激光高反射的金属,因此在Q235钢表面激光熔覆输入激光功率和激光扫描速度必须适当控制,以寻找最合适的工艺参数范围。本文根据比能量密度公式,制定了激光熔覆参数方案,见表1。

激光熔覆完成后使用扫描电子显微镜(SEM)和能谱测试(EDS)对铜/钢双金属复合材料的组织和界面进行表征分析。对于复合材料块体试样,先进行电火花切割,切取20 mm×20 mm×10 mm的样品,采用

表1 激光熔覆参数实验方案  
Table 1 Laser cladding parameter scheme

熔覆成分	试样编号	激光功率/W	扫描速度/(mm·min <sup>-1</sup> )
30 g粉+30 g胶	1-1 <sup>#</sup>	800	1 000
	1-2 <sup>#</sup>	1 000	500
	1-3 <sup>#</sup>	1 000	1 000
	1-4 <sup>#</sup>	1 000	1 500
	1-5 <sup>#</sup>	1 200	1 000
	1-6 <sup>#</sup>	2 000	1 000
30 g粉+60 g胶	2-1 <sup>#</sup>	800	1 000
	2-2 <sup>#</sup>	1 000	1 000
	2-3 <sup>#</sup>	1 200	1 000
	2-4 <sup>#</sup>	2 000	1 000
60 g粉+120 g胶	3-1 <sup>#</sup>	800	1 000
	3-2 <sup>#</sup>	1 000	1 000
	3-3 <sup>#</sup>	1 200	1 000

树脂镶嵌后分别在50<sup>#</sup>、120<sup>#</sup>、200<sup>#</sup>、400<sup>#</sup>和600<sup>#</sup>砂纸上磨样并进行抛光,最后进行SEM观察。在进行SEM观察时,将复合材料块体试样利用导电胶与样品台连接,然后放入真空室进行观察。实验使用的SEM型号为SU3500型扫描电子显微镜,采用背散射电子分析观察铜/钢双金属复合材料试样的表面以及界面形貌,通过SEM附带的EDS点扫描、面扫描和线扫描功能分析组织成分与界面的元素分布。

## 2 结果及讨论

### 2.1 激光功率对铜基熔覆层组织的影响

图1a、b、c分别为在扫描速度1 000 mm/min、30 g粉+30 g胶条件下的不同激光功率参数制备的1-1<sup>#</sup>、1-3<sup>#</sup>、1-5<sup>#</sup>试样表面宏观形貌图片。经过对比可以发现,熔覆层表面形貌主要为三种类型:未充分熔化表面、正常充分熔化表面和过熔表面<sup>[9-13]</sup>。当激光功率为800 W时,1-1<sup>#</sup>试样表面出现了球化的现象,这是因为激光的比能量密度不够,当粉末已经熔化时,此时基板表面尚未熔化,激光束已经离开熔池,造成熔化粉末与基板之间润湿角过大,形成“泪珠状”的小球,说明此激光功率过低,不能使熔覆粉末充分熔化与铺展。当激光为1 000 W时,1-3<sup>#</sup>试样熔覆层表面的光泽度和平整度较好,起球现象和气孔缺陷也较少,这说明随着功率升高,粉末的熔化量增多,气孔周围的液相能够填补气孔的位置,从而减少气孔,此时粉末在熔池中的扩散较为充分,熔覆层质量较好。而当激光功率为1 200 W时,1-5<sup>#</sup>试样熔覆层表面暗淡,凹陷过多,表面的连续性较差,这是因为激光能量过高,出现了过熔现象,基板对熔覆粉末的稀释作用过高,在熔覆层

中熔入了过多的基体元素，以至于铁素体渗到熔覆层表面，使表面粗糙。接下来对试样表面的SEM图像和EDS元素分布进行进一步分析。

图2为不同激光功率下1-1<sup>#</sup>、1-3<sup>#</sup>、1-6<sup>#</sup>试样的表面组织SEM形貌示意图，图中白色组织为α-铜的树枝晶，浅灰色部分为铁素体。为确定黑色弥散的球状相成分，对黑色球状相进行了EDS点扫描，其结果如图3与表2所示。根据能谱的结果可知，黑色弥散的球状相是铁、铜、硫的三元化合物，其原子数比为8:1:1，即Fe<sub>8</sub>CuS。

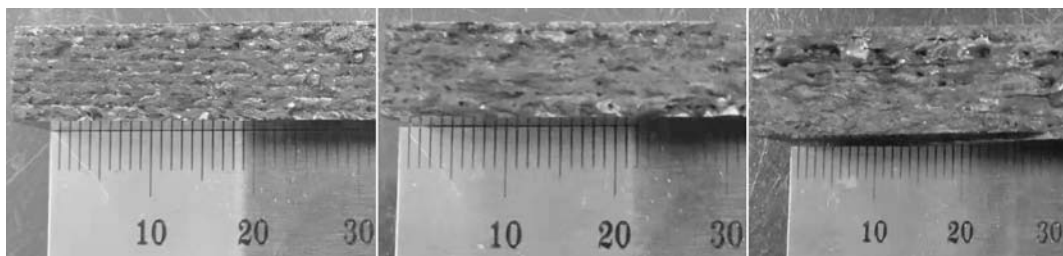
从图2中可以发现，在800 W（图2a）的功率下1-1<sup>#</sup>试样表面的气孔等缺陷较多，此时稀释率太小，粉末还未充分熔化。而在2 000 W（图2c）的功率下，1-6<sup>#</sup>试样表面凹陷较多，连续性和平整度差，这是由于比能量密度较大，热量集中于部分区域，熔覆层向下凹

陷形成深孔，在制备梯度层时需要多层叠加熔覆，这种层与层之间的过多的渗透会影响组分的连续性。而当激光功率为1 000 W（图2b）时，1-3<sup>#</sup>试样熔覆层较为致密，表面平整度好，气孔缺陷也较少。

对1-1<sup>#</sup>试样熔覆层组织的界面进行分析，其形貌如图4所示，熔覆层表面灰白色组织为α-铜相，靠近界面上方灰色的为铜中固溶着部分铁的富铜相，富铜相为

表2 黑色弥散球状相点扫描能谱  
Table 2 Point scanning energy spectrum of the black dispersed spherical phase

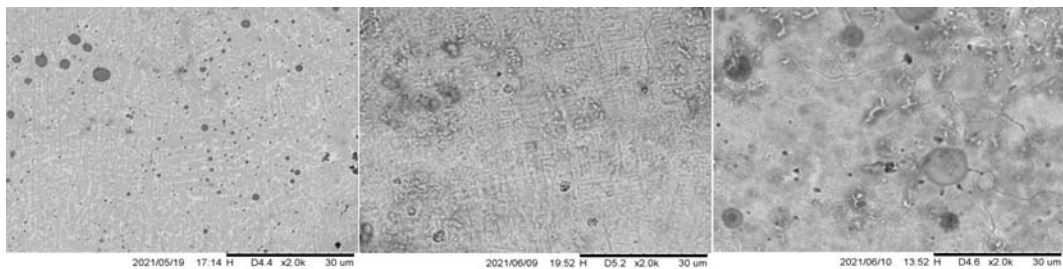
元素	质量分数/%	原子分数/%
Fe	80.77	78.48
Cu	13.15	11.23
S	6.08	10.29



(a) P=800 W, v=1 000 mm/min (b) P=1 000 W, v=1 000 mm/min (c) P=1 200 W, v=1 000 mm/min

图1 不同激光功率下30 g粉+30 g胶试样表面的宏观形貌

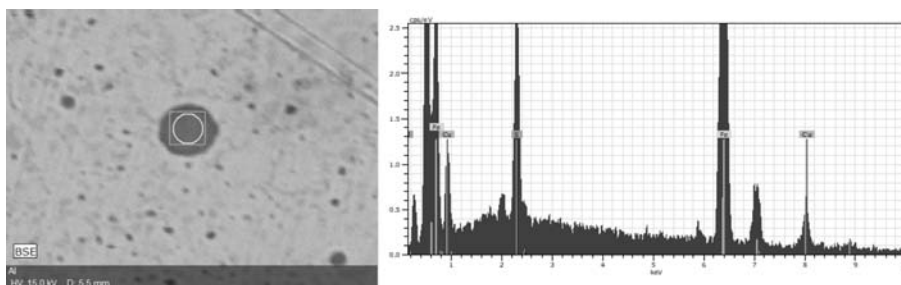
Fig. 1 The macro morphologies of the surfaces of the samples under different laser powers (30 g powder+30 g glue)



(a) P=800 W (b) P=1 000 W (c) P=2 000 W

图2 高倍镜下不同激光功率试样表面的组织形貌

Fig. 2 The high magnification morphologies of the surfaces of the samples with different laser powers



(a) EDS点扫描区域 (b) 黑色弥散球状相能谱

图3 800 W熔覆试样截面组织黑色球状相的EDS点扫描

Fig. 3 EDS point scanning of the black spherical phase of the 800 W cladding sample

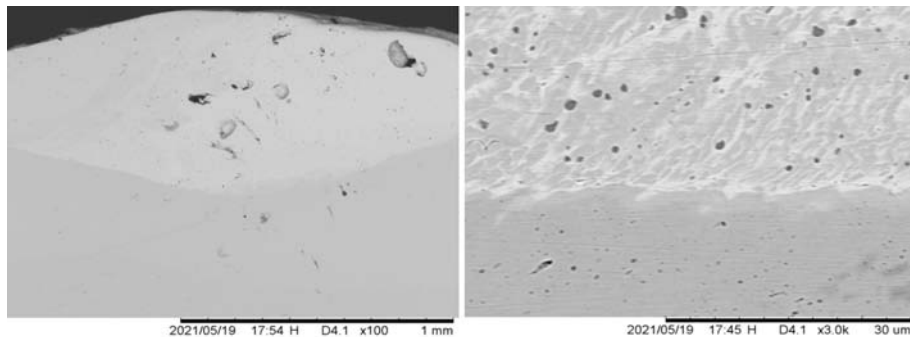


中间相,靠近界面处在富铜相中有许多圆形、深色的小球,这些小球是未在铜中固溶而直接析出的铁。界面为不平直的弧线,说明了激光在基板表面产生了熔池,并对熔覆层形成稀释作用。在界面下方首先是富铁相,富铁相是铁中固溶部分铜而形成的中间相,该中间相区域较小,最后是基板铁素体。从组织可以看出,熔覆层与基材之间产生了冶金扩散的化学反应,界面结合良好。

为了进一步研究不同激光功率下熔覆层与基材的界面元素扩散情况,对不同激光功率1-1<sup>#</sup>、1-3<sup>#</sup>、1-6<sup>#</sup>试样的截面进行了EDS线扫描分析,结果如图5所示。可以看出,在不同功率条件下,由基体至熔覆层方向Cu元素的含量在界面处都有明显的增高,说明激光熔覆后Cu元素主要分布在熔覆层及界面处;从EDS线扫描

可以发现,在界面附近未发现Ni元素的存在,推测主要是因为界面处Fe元素对铜基熔覆层进行了稀释,形成了Fe/Cu两相区,由于Ni元素含量较低,且主要均匀分布在铜熔覆层内部,因此在界面处EDS能谱中未检测到Ni元素存在。当激光功率从800 W升至1 000 W时,熔覆层Cu含量上升,而当功率升至1 200 W时,熔覆层Cu含量反而下降,由此可知,在激光功率为1 000 W时,熔覆层的熔覆材料的含量最高,同时熔覆层与基板之间进行了充分的扩散,冶金结合最好。结合试样的表面宏观形貌以及截面的组织特征分析可得,激光功率1 000 W为Q235钢基材上熔覆最佳的激光功率参数。

图6是不同激光功率下复合材料表面的低倍扫描电镜形貌,图6a、b、c分别为激光功率800 W、1 000 W、



(a) 试样截面组织低倍形貌

(b) 试样截面组织高倍形貌

图4 1 200 W熔覆试样截面组织的扫描电镜形貌

Fig. 4 SEM morphologies of the cross-section of the cladding sample with 1 200 W

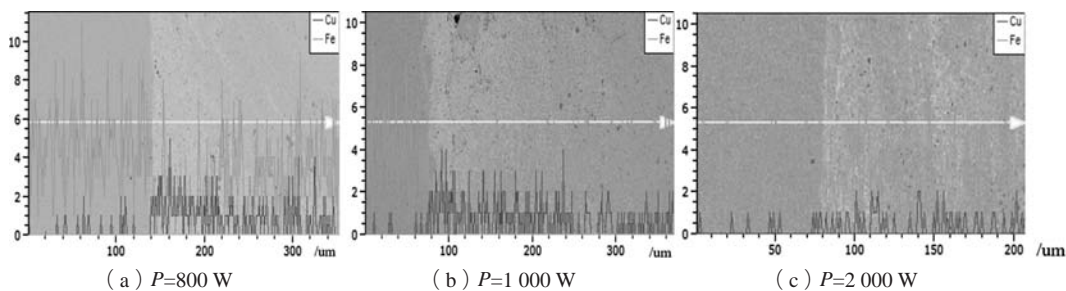
(a)  $P=800$  W(b)  $P=1\ 000$  W(c)  $P=2\ 000$  W

图5 不同激光功率试样的截面EDS线扫描分析图谱

Fig. 5 EDS line scan analysis spectrums of the cross-sections of the samples with different laser powers

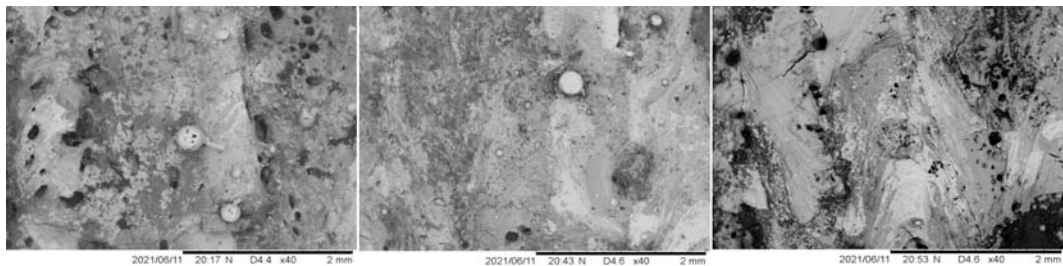
(a)  $P=800$  W表面形貌(b)  $P=1\ 000$  W表面形貌(c)  $P=1\ 200$  W表面形貌

图6 不同激光功率下复合材料表面低倍扫描电镜形貌

Fig. 6 SEM morphologies of the surfaces of the composite materials under different laser powers

1 200 W的1-1<sup>#</sup>、1-3<sup>#</sup>、1-5<sup>#</sup>试样表面形貌。当激光功率为800 W时，1-1<sup>#</sup>试样表面的球化现象有所减少，但存在大量孔洞，表面较粗糙。图6b为激光功率1 000 W的1-3<sup>#</sup>试样表面形貌，试样表面平整度和光泽度较好，起球与气孔现象都较少；图6c为激光功率1 200 W的1-5<sup>#</sup>试样表面形貌，表面光泽暗淡，有大量气孔存在。因此，综上所述，当激光功率为1 000 W时，粉末能够充分熔化填补气孔出现的位置，同时又不至于稀释率过高使表面粗糙暗淡，是使熔覆层表面平整度与致密度都良好的最佳激光功率参数。

对不同激光功率下复合材料的截面进行分析，如图7所示。图7b为激光功率1 000 W的1-3<sup>#</sup>试样截面形貌，分析其组织可知，熔覆层最表层白色相为 $\alpha$ -铜相，界面处存在大量浅灰色的富铁相以及深灰色的 $Fe_3CuS$ 。在表面张力的作用下， $Fe_3CuS$ 弥散在基体中形成球状。图片下方浅灰色区域为基板的铁素体组织。对比图7a和图7b，分析可知，激光功率1 000 W条件下，1-3<sup>#</sup>试样熔覆层的铜连续性更强，分布的区域更大， $\alpha$ -铜相与富铁相分布的更均匀，而激光功率为800 W时，1-1<sup>#</sup>试样中弥散的富铁相尺寸相比于激光功率1 000 W的1-3<sup>#</sup>试样更细小。

图7c和图7d分别为1-1<sup>#</sup>、1-3<sup>#</sup>试样界面EDS线扫描图谱。可以发现，当激光功率为1 000 W时，1-3<sup>#</sup>试样截面的铜元素在界面向基体方向的扩散距离比激光功

率为800 W的1-1<sup>#</sup>试样更远，这说明复合材料在激光功率为1 000 W时与基板的界面扩散较强，界面冶金结合性更好，富铁相均匀分布在界面处，提高了熔覆层的整体性能。综上所述，1 000 W是在Q235钢板基材上进行熔覆的最佳激光功率参数。

## 2.2 激光扫描速度对铜基熔覆层组织的影响

在1 000 W功率下、粉胶比1:1的条件下，研究了1 000 mm/min、1 500 mm/min的激光扫描速度对铜基熔覆层组织的影响，对相应的1-2<sup>#</sup>、1-3<sup>#</sup>、1-4<sup>#</sup>试样进行研究，图8展示了在不同激光扫描速度试样表面的组织形貌。如图8a所示可以发现，扫描速度为1 000 mm/min试样的熔覆表面有致密的金属覆盖，表面平整度较好，而扫描速度为1 500 mm/min试样的熔覆表面产生球化现象，且气孔等缺陷较多，熔覆层质量较差，这是因为当扫描速度过大时，液相的流动在时间和空间上都有局限性，不能完全地铺展，固液的润湿性较低，导致熔覆层表面的平整度下降，这说明扫描速度在对熔覆层表面的宏观形貌的影响上与激光功率有着类似的作用。此外，激光扫描速率为1 500 mm/min时，1-4<sup>#</sup>试样熔覆层表面的气孔较多，这是由于扫描速度增大时，熔池结晶的速度也增大，产生的气体在短时间内不能及时逸出，停留在熔覆层中。

图9为不同激光扫描速度1-3<sup>#</sup>、1-4<sup>#</sup>试样的截面EDS

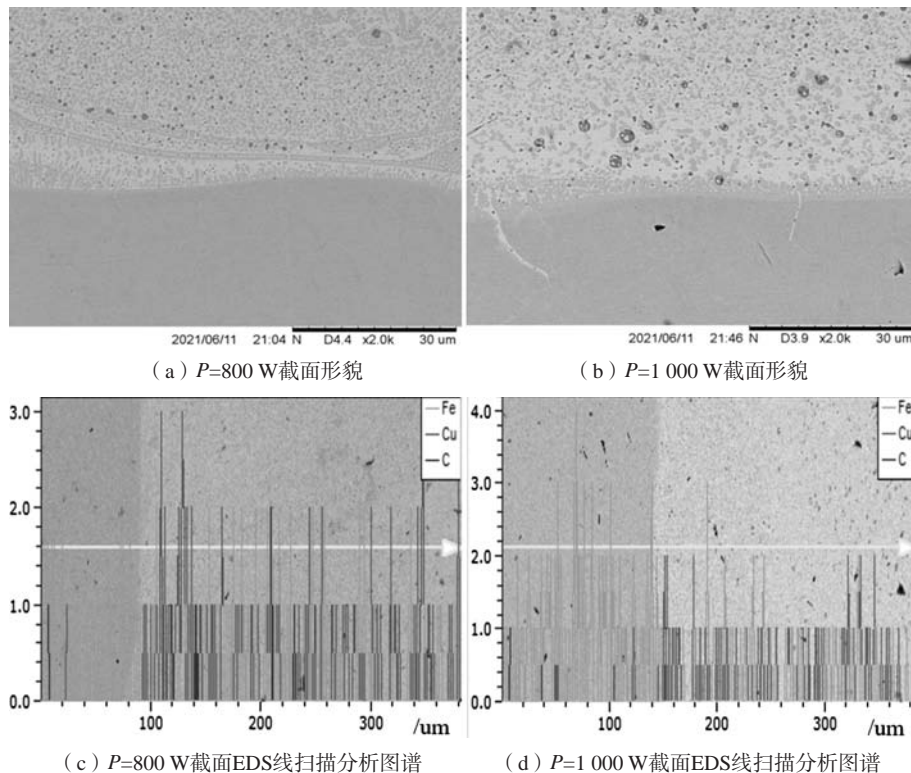


图7 高倍镜下不同激光功率下复合材料截面形貌及EDS线扫描分析图谱

Fig. 7 High magnification morphologies and EDS line scan analysis maps of the Cross-section of the composite materials with different laser powers

线扫描分析图谱。从图中可以得出,随着激光扫描速度的增大,由界面向基材方向的铜、铁元素的互扩散有明显下降,此时粉末的熔化程度成为影响基材与熔覆层冶金结合的主要因素,当扫描速度为1 500 mm/min时,由于激光比能量密度较低,1-4<sup>#</sup>试样的熔覆层与基板未能充分熔化和扩散,界面冶金结合较差。

综上所述,对于激光功率与激光扫描速度等参数

应当匹配选取,即使激光功率选取合适,如果激光扫描速度选取过快或过慢,熔覆层质量依然难以得到保证,因此,选取激光熔覆工艺参数时应当综合考虑光斑直径、离焦量、基板和熔覆层材料等各种因素,合理地适配激光功率和扫描速度。对于本文所设计的铜/钢双金属复合材料而言,当激光功率为1 000 W、扫描速度为1 000 mm/min时,可以获得最佳的熔覆层组织。

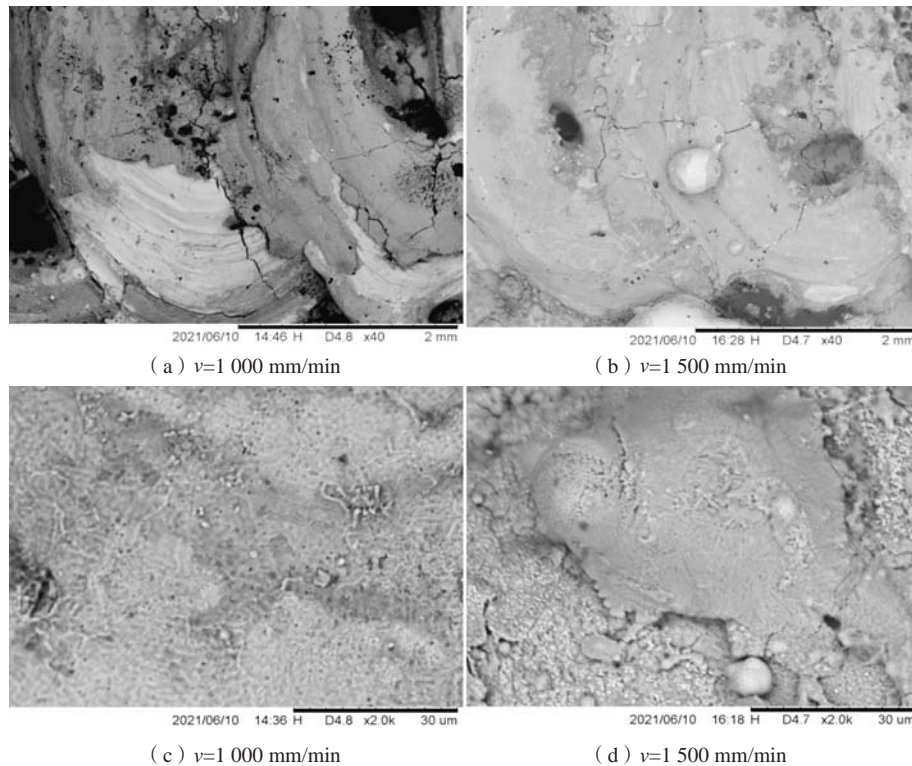


图8 高低倍镜下不同激光扫描速度试样表面组织的扫描电镜形貌

Fig. 8 High and low magnification SEM microstructures of the surfaces of the samples under different laser scanning speeds

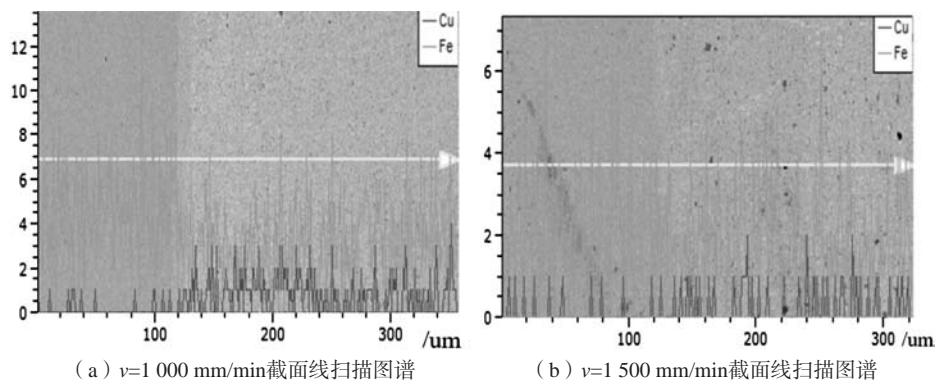


图9 不同激光扫描速度试样的截面EDS线扫描分析图谱

Fig. 9 EDS line scan analysis spectra of the cross-sections of the samples with different laser scanning speeds

### 3 结论

(1) 制备铜/钢双金属材料时,当预置粉末厚度为1 mm、粉胶比为1:1,激光功率为1 000 W较为合适,熔覆层表面组织为 $\alpha$ -铜相与 $\text{Fe}_3\text{CuS}$ 弥散相,界面处组

织为 $\alpha$ -铜相、富铁相与 $\text{Fe}_3\text{CuS}$ 弥散相,界面冶金结合良好。当激光功率较低时,出现基板未熔融现象,熔覆层未与基板结合,熔覆失败。若激光功率继续升高,则出现熔覆层被击飞现象,同时发生过熔,熔覆



层组织中 $\alpha$ -铜相显著减少。

(2) 当激光功率为1 000 W时, 为达到熔覆铜基材料必须的比能量密度, 最佳的激光扫描速率为1 000 mm/min, 熔覆层表面组织为 $\alpha$ -铜相与 $\text{Fe}_8\text{CuS}$ 弥散相, 界面处组织为 $\alpha$ -铜相、富铁相与 $\text{Fe}_8\text{CuS}$ 弥散相, 界面冶金结合良好。当激光扫描速率较低时, 出

现熔池过深现象, 熔覆层的平整性与均匀性将受到极大影响, 同时造成生产效率低下。综合考虑激光功率对熔覆层的击飞作用与扫描速率对生产效率与熔覆层表面质量的影响, 使用激光熔覆在粉胶比为1:1、预置粉末厚度为1 mm下进行粉末熔覆时, 选择的最佳参数为激光功率1 000 W, 激光扫描速率1 000 mm/min。

#### 参考文献:

- [1] 马志新, 胡捷, 李德富, 等. 层状金属复合板的研究和生产现状 [J]. 稀有金属, 2003, 27 (6): 799-803.
- [2] 张维平, 刘硕. 高能激光束对材料表层快速凝固组织及性能影响的研究进展 [J]. 铸造, 2005 (1): 28-31.
- [3] 于九明, 孝云祯. 金属层状复合技术及其新进展 [J]. 材料研究学报, 2000, 14 (1): 12-16.
- [4] 向峻伯, 姜雪茹, 王从明, 等. 铝合金汽车零部件表面金属陶瓷复合涂层的制备与研究 [J]. 铸造, 2021, 70 (6): 675-680.
- [5] RAVINDRAN P, MANISEKAR K, NARAYANASAMY R, et al. Tribological behaviour of powder metallurgy-processed aluminium hybrid composites with the addition of graphite solid lubricant [J]. Ceramics International, 2013, 39 (2): 1169-1182.
- [6] 袁庆龙, 冯旭东, 曹晶晶, 等. 激光熔覆技术研究进展 [J]. 材料导报, 2010, 24 (3): 112-116.
- [7] 张安峰, 李涤尘, 卢秉恒. 激光直接金属快速成形技术的研究进展 [J]. 兵器材料科学与工程, 2007 (5): 68-73.
- [8] 张美美, 白培康, 刘斌. 45#钢管激光熔覆不锈钢粉末的参数研究 [J]. 铸造, 2017, 66 (12): 1308-1312.
- [9] 徐洪辉, 杜勇, 陈海林, 等. 高强度、高电导率铜基合金材料的研究现状及发展 [J]. 材料导报, 2004 (10): 37-40.
- [10] MEI Z, GUO L F. The effect of laser cladding on corrosion resistance of magnesium ZK60/SiC composite [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2004 (7): 231.
- [11] 何力佳, 王文峰, 王函, 等. 激光功率对Cr12钢铁基熔覆层的组织和显微硬度的影响 [J]. 铸造, 2017, 66 (3): 250-253.
- [12] 马涛, 赵忠民, 刘良. 功能梯度材料的研究进展及应用前景 [J]. 化工科技, 2012, 20 (1): 71-75.
- [13] 丁时锋, 李清香, 徐明哈. 功能梯度材料制备的研究现状 [J]. 广西轻工业, 2009, 25 (11): 8-9.

## Influence of Laser Cladding Process Parameters on Microstructure of Copper-Steel Bimetallic Composites

MIAO Zhe-yu<sup>1</sup>, GAO Yi-min<sup>1</sup>, WANG Yi-ran<sup>1</sup>, SHI Qing-feng<sup>2</sup>, QI Yun-fei<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory for Mechanical Behavior of Materials, School of Materials Science and Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, Shaanxi, China; 2. China Railway Baoji Bridge Group Co., Ltd., Baoji 721006, Shaanxi, China)

#### Abstract:

Q235 steel sliding bed plate of railway turnout components needs to be oiled manually to reduce friction, resulting in a great waste of human and material resources. Copper/steel bimetallic composites are formed by using copper matrix materials with self-lubricating properties and steel materials, which can realize the function of antifriction, wear resistance and corrosion resistance. It has great application prospects as sliding bed plate materials. Copper/steel bimetallic composites can be prepared efficiently by laser cladding technology, and laser cladding parameters have an important impact on the properties of the materials. In this paper, the effects of laser cladding process parameters on the microstructure of cladding layer were studied, and different laser power and scanning rate parameters were analyzed. The results showed that when the powder binder ratio was 1:1 and the preset powder thickness was 1mm, the microstructure of the cladding layer was the best when the laser power was 1 000 W and the laser scanning rate was 1 000 mm/min, which consisted of  $\alpha$ -Copper phase and  $\text{Fe}_8\text{CuS}$  dispersed phase, and the microstructure at the interface was  $\alpha$ -Copper phase, iron rich phase and  $\text{Fe}_8\text{CuS}$  dispersed phase, obtaining a good metallurgical bonding at the interface.

#### Key words:

copper-steel bimetal composite; laser cladding; process parameters