

激光加工参数与熔覆层特征和性能的关系

陈莉¹, 黄凤晓², 刘喜明¹

(1. 长春工业大学 材料科学与工程学院, 吉林 长春 130012; 2. 空军航空大学 力学教研室, 吉林 长春 130021)

摘要:在 HT150 基体上进行宽带送粉激光熔覆, 研究不同扫描速度和送粉速率条件下熔覆层的显微组织与性能, 并对产生熔覆层组织不均匀性的原因进行了探讨。实验结果表明: 随着扫描速度和送粉速率的增大, 熔覆层组织趋于细化, 耐磨性有所提高, 在送粉速率较小时, 扫描速度作用较显著; 其他参数不变的前提下, 随扫描速度增大, 熔覆层显微硬度增大, 界面硬度梯度变陡。

关键词:激光熔覆; 激光加工参数; 组织; 性能

中图分类号: TG456.7

文献标识码: A

文章编号: 1001-2303(2007)03-0020-03

Relationship between characteristic and property of cladding and laser processing parameters

CHEN Li¹, HUANG Feng-xiao², LIU Xi-ming¹

(1. Changchun University of Technology, School of Material Science and Engineering, Changchun 130012, China; 2. Department of Engineering Mechanics, Aviation University of Air Force, Changchun 130021, China)

Abstract: Several claddings were obtained on gray iron substrate. The microstructure and property of the cladding at various scanning speed and power feeding rate was measured. The reason of partial microstructure heterogeneity of the cladding is discussed using solidification theory. The results show that the microstructure of the cladding tends to fine and the wear resistance of the specimens increases along with the increasing of the scanning speed and the power feeding rate. The effect of the scanning is obviously under lower power feeding rate. The micro-hardness of coating increase and the hardness grads become steep with the increasing of the scanning speed.

Key words: laser cladding; laser processing parameter; microstructure; property

0 前言

激光熔覆除了具有激光热处理的一般优点外, 由于熔覆材料在激光束作用下迅速熔化, 快速凝固, 形成与常规组织性能不同的优异合金层, 从而使工件内部与表面成分、性能各异, 具有特殊的复合性能。一般的耐磨、耐蚀材料均含有 Cr、Mo 等贵重金属, 因此利用激光熔覆的方法能够节省大量的贵重稀有金属^[1-2]。激光熔覆过程的参数可分为两大类: 材料和激光的参数, 熔覆工艺参数。材料和激光的参数主要包括: 材料的颗粒度、扩散系数、热传导系数、熔点、密度、吸收系数; 激光的模式和波长等。材料和激光的种类一旦选定, 在非精确计算的情况下, 可以认为保持不变。工艺参数是指: 激光的输出功率、光束作用试样表面的半径、送粉速率、扫描速度等。工艺参

数的调整是获得良好熔覆层的关键。在工业中, 铸铁通常是制作模具的适宜材料。磨损是模具的主要失效形式之一。由于模具价格较昂贵, 因此它们的修复受到人们重视^[3]。本研究在灰铁 150 基体上进行送粉激光熔覆, 对工艺参数与组织和性能的关系进行了探讨, 为熔覆工艺参数的选择提供定量的实验依据。

1 实验材料和方法

熔覆材料为铁基自熔合金粉, 粒度 50~320 目; 基体材料为 HT150, 化学成分如表 1 所示。

基体实验材料为 200 mm×100 mm×10 mm 的铸造板料。在板料上进行横向单道宽带送粉激光熔覆。扫描速度 v_s 分别为 0.41 mm/s, 0.82 mm/s, 1.65 mm/s, 2.48 mm/s; 送粉速率 v_f 分别为 400 mg/s, 425 mg/s, 450 mg/s, 500 mg/s。截取 25 mm×40 mm 的试样组织观察, 并进行硬度和快速磨损性能测试。

激光加工装置为: JKF-6 型激光宽带熔覆送粉器、JKJ-5 型激光宽带转镜。激光输出功率 3.5 kW,

收稿日期: 2006-06-17

作者简介: 陈莉(1971—), 女, 吉林长春人, 副教授, 在读博士, 主要从事激光表面改性、材料成型和控制方面的研究工作。



表 1 实验材料的化学成分 %

Tab.1 Chemical composition of experimental material					
材料	ω (C)	ω (Si)	ω (Mn)	ω (P)	ω (S)
HT150	3.60	2.28	0.52	≤ 0.40	≤ 0.15
熔覆材料	—	4.00	—	—	—
材料	ω (Cr)	ω (B)	ω (Ni)	ω (WC)	ω (Fe)
HT150	—	—	—	—	余
熔覆材料	16.00	4.00	13.00	25.00	余

光斑尺寸 25 mm×2 mm,喷嘴尺寸 20 mm×1 mm。

在 MM6 大型卧式金相显微镜下观察熔覆层显微组织;利用 HXD-1000 型显微硬度计对熔覆层进行显微硬度测试,载荷 100 g;Skoda 快速磨损试验机上测试快速磨损性能,载荷 150 kg,行程 3 000 r,转速 675 r/min,硬质合金磨轮直径 30 mm、宽 2.5 mm。

2 实验结果和分析

将各工艺条件下获得的单道熔覆试样沿垂直于扫描方向切开,经打磨、抛光后用 4% HNO₃ 酒精溶液腐蚀,然后进行横断面显微组织观察和分析,并进行硬度和磨损性能测试。

2.1 工艺参数对组织的影响

2.1.1 扫描速度对熔覆层组织的影响

送粉速率一定,扫描速度变化时熔覆层显微组织照片如图 1 所示。由图可见,随扫描速度增大,熔覆层显微组织明显趋于细化。熔覆层的组织主要受成分和加热冷却条件的制约。根据激光作用能量密度

$$P_w = P / (v_s \cdot 2d)$$

和作用时间

$$t = 2d / v_s,$$

式中 P 为激光输出功率; v_s 为扫描速度; d 为光束半径。

扫描速度小时,激光束照射时间长,效果相当于增加输出能量,对熔覆层的冷却速度降低,有利于形成粗大的树枝晶。在其他工艺条件相同的情况下,随扫描速度增大,激光束对熔覆材料和基体材料的作用时间变短,实际输入比能减小,基体吸收透光能量线密度减小^[3],基体熔化量减少,基体对熔覆层的冷却速度加快,温度梯度增加,成分过冷度大,获得的熔覆层组织趋于细化。

2.1.2 送粉速率对熔覆层组织的影响

扫描速度一定,送粉速率变化时获得的各熔覆层的金相组织照片如图 2 所示。由图可见,随送粉速率增大,熔覆层显微组织趋于细化。根据单位质量熔覆材料的比能

$$E_r = P / \mu v_r,$$

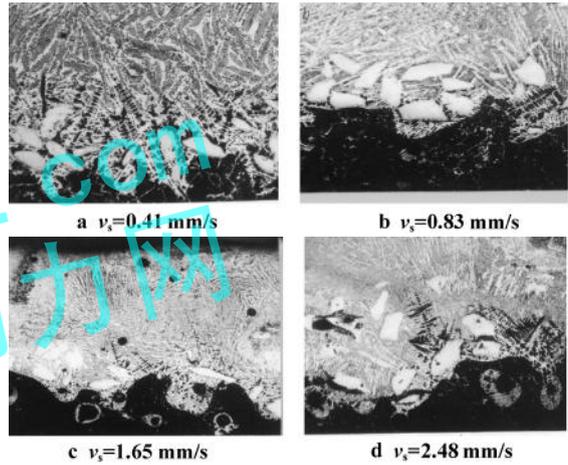


图 1 $v_r=450$ mg/s, v_s 不同时熔覆层金相组织照片(4% HNO₃ 酒精溶液, 100×)

Fig.1 Microstructure of cladding when v_r is 450 mg/s and v_s varies corroded by 4% nitric acid ethanol solution(100×)

式中 P 为激光输出功率; v_r 为理论送粉速率; μ 为粉末有效利用系数。

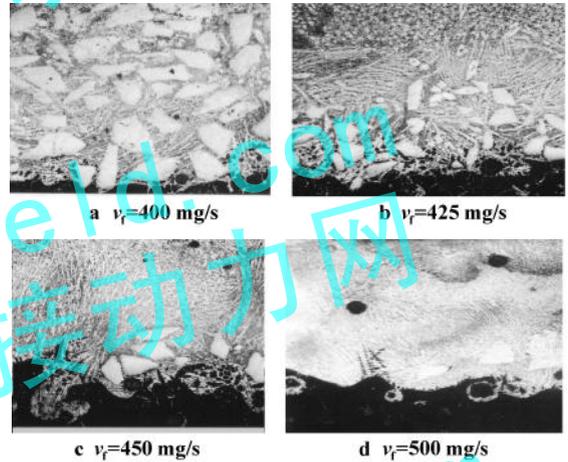


图 2 $v_s=0.83$ mm/s,不同 v_r 时熔覆层的金相照片(4% HNO₃ 酒精溶液, 100×)

Fig.2 Microstructure of cladding when v_s is 0.83 mm/s and v_r varies corroded by 4% nitric acid ethanol solution(100×)

送粉速率较小时,实际单位质量输入比能较大,形核率也较小,熔覆层熔池液体的扰动使界面附近成分均混,致使等轴晶形成倾向增大,此现象随送粉速率增大而减轻。在其他工艺条件相同的情况下,随送粉速率增大,单位质量熔覆材料的比能减小,单位时间内送入的熔覆粉末量增多,需要吸收的热量增加,熔覆材料颗粒的平均温度降低,熔覆材料加热程度降低,透光率下降,使基体吸收透光能量线密度减小,基体熔化深度相对减小,凝固过程中的温度梯度和冷却速率较大,基体对熔覆层的冷却速



度加快,导致熔覆层组织趋于细化,界面区域减小,界面初生柱状晶生长能力减弱。

图 2 中的白色块状物质为 WC 颗粒,细化的树枝晶内主要是 γ -FeNi 和固溶的 Cr、Si 的 WC 相组成的化合物。在送粉激光熔覆过程中,熔覆颗粒不但受到重力作用,还受到送粉时风压的作用,因此未熔的碳化钨颗粒熔池底部界面处沉积。送粉速率一定时,增大扫描速度相当于减小激光作用时间,碳化钨的熔解程度也减小,送粉速率增大,原始颗粒增多,使碳化物分布区域变宽。

2.2 显微硬度测试结果和分析

扫描速度与熔覆层硬度关系曲线如图 3 所示。在其他工艺参数相同的情况下,随扫描速度增大,熔覆层硬度提高,界面硬度梯度变陡。熔覆层由表及里的硬度分布曲线有明显的三个区域,具有典型的阶梯形式。熔覆层表面硬度最高,一般都在 1000 HV 以上,明显高于基体硬度;热影响区其次;基体最低。基体硬度不随扫描速度的变化而变化,基体和热影响区的硬度曲线为分布较均匀的平台。

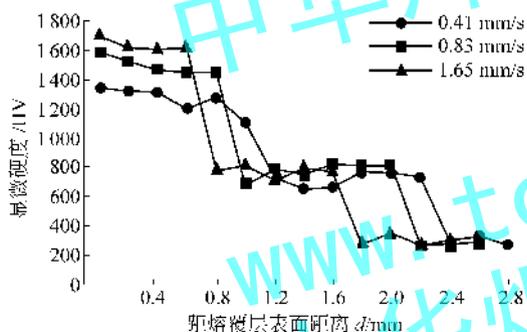


图 3 扫描速度与熔覆层硬度关系

Fig.3 v_s VS HV curve when v_f is 450 mg/s

随着扫描速度增大,熔覆层硬度显著增加。扫描速度不同,熔覆层中各元素的质量百分比从表面合金层到热影响区梯度亦不同。在扫描速度低时,添加元素在液相中对流质使合金元素的分布从极不均匀状态变成分布均匀状态,细小晶核充分聚集长大形成颗粒粗大的树枝晶,得到显微硬度不高的分布曲线。而在激光扫描速度大时,添加元素来不及充分均匀混合,细小颗粒还未长大就凝固,得到硬度高且变化很大的硬度分布曲线。扫描速度小时,热影响区厚度较大,珠光体含量增多,硬度曲线长;而扫描速度大时,热影响区的厚度减小,珠光体量少,马氏体量多,硬度较高,曲线较短。在给定激光功率密度的前提下,随扫描速度增大,激光与材料相互作用时间减少,其加热层越薄,硬化效果越强。

2.3 快速磨损性能测试和分析

各种激光熔覆工艺参数下的熔覆试样快速磨损实验结果如图 4 所示。随送粉速率和扫描速度增大,试样磨损体积减小,耐磨性增强。在送粉速率较低时,扫描速度作用非常显著。 $v_s=2.48$ mm/s、 $v_f=500$ mg/s 时磨损体积最小,耐磨性最好; $v_s=0.83$ mm/s、 $v_f=400$ mg/s 时磨损体积最大,耐磨性最差。随送粉速率和扫描速度增大,熔覆层组织得以细化,因此耐磨性增强。

覆层硬度和耐磨性有一定关系,覆层较高的硬度是其耐磨性优良的保证,但硬度与耐磨性之间并不成比例关系,只有在某一特定值前,随着硬度的升高,耐磨性才增加,而硬度过高时,由于脆性增大,容易产生脆性相剥落,从而恶化了磨损条件,导致耐磨性降低。

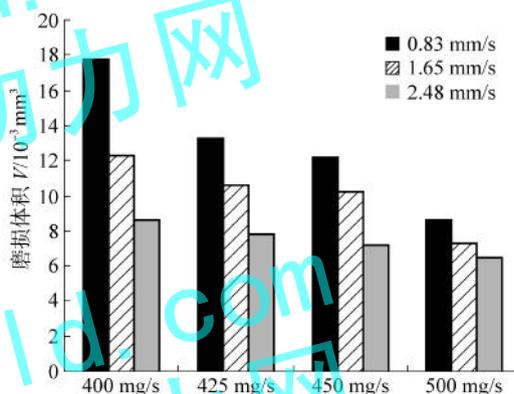


图 4 激光熔覆参数与磨损体积关系

Fig.4 Parameter VS volume loss curve

3 结论

当送粉速率不变时,随扫描速度的增大熔覆层组织细化;在扫描速度一定的前提下,单位质量熔覆材料的比能随送粉速率的增大而减小,熔覆层组织趋于细化;其他参数不变时,随扫描速度增大,熔覆层显微硬度提高,界面硬度梯度变陡,熔覆层由表及里的硬度分布曲线具有典型的阶梯形式,熔覆层表面硬度最高,热影响区其次,基体最低;随送粉速率、扫描速度增大,熔覆层耐磨性有所提高;在送粉速率较小时,扫描速度作用较显著。

参考文献:

- [1] 张庆茂,关振中,刘喜明.宽带激光熔覆铁基合金显微组织与工艺参数的关系[J].应用激光,2001,21(4):220-224.
- [2] 陈莉,黄凤晓,赵宇,等.不同熔覆材料对送粉激光熔覆层组织、性能的影响[J].铁合金,2005(2):30-32.
- [3] 刘喜明,关振中.送粉激光熔覆工艺参数与熔覆层参数间的关系[J].金属热处理学报,1998,19(3):29-34.