

镍含量对激光熔覆层微结构及硬度的影响

孙有政, 刘 帅, 李进宝, 刘常升
(东北大学 材料科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110819)

摘 要: 为满足多种支承辊再制造表面硬度需求,采用激光熔覆技术,将添加不同比例纯镍粉的铁基合金粉末材料熔覆到 Cr5 支承辊钢表面,研究镍含量对熔覆层微结构及性能的影响. 结果表明:所有材料设计成分条件下熔覆层的截面组织差异很小均为鱼骨状和网状枝晶组织. 通过调整添加镍粉的量可以准确控制熔覆层的合金成分. 随熔覆层中镍含量增多,熔覆层中奥氏体相显著增多,截面硬度显著下降. 添加 8% 纯镍粉的粉末材料可以制备出硬度约为 500 HV,可以满足 Cr5 支承辊再制造需求.

关 键 词: 激光熔覆;镍含量;支承辊;微结构;硬度
中图分类号: TB 31 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-3026(2016)11-1551-04

Effect of Ni Content on Microstructure and Hardness of Laser Cladding Layers

SUN You-zheng, LIU Shuai, LI Jin-bao, LIU Chang-sheng
(School of Materials Science & Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China. Corresponding author: LIU Chang-sheng, professor, E-mail: cslu@mail.neu.edu.cn)

Abstract: To fulfill the demand of surface hardness of remanufacturing various backup rolls, iron based alloy powder mixed with pure nickel powder were cladded on the surface of Cr5 backup steel by laser. The effect of Ni content on microstructure and properties was investigated. The results showed that the microstructure in all laser cladding layers was fishbone-like and net-like dendrites. The alloy composition of the cladding layers could be accurately controlled by the amount of pure nickel powder. With increasing nickel content, the austenite phase in the layer significantly increased, whereas the hardness of the layer drastically decreased. Wear resistance of cladding layer was better than traditional quenching work layer with similar hardness. The hardness of the cladding layer from the powder mixed with 8% pure nickel powder was about 500 HV, which could fulfill the demand of remanufacturing Cr5 backup rolls.

Key words: laser cladding; Ni content; backup roll; microstructure; hardness

支承辊存在于四辊及四辊以上轧机中用来支承工作辊或者中间辊,以防止在轧制过程中工作辊出现挠曲变形,进而确保轧制出的钢板厚度均匀^[1].我国每年都有大量的支承辊报废,利用再制造技术,对报废轧辊进行修复及对现有轧辊进行强化延寿有着巨大的经济效益.堆焊在支承辊修复领域已经获得一定程度的应用^[2].有钢铁企业利用埋弧自动焊技术采用低碳合金焊丝修复中厚板轧机支承辊,取得良好使用效果的同时大幅度降低了交货周期和购置成本^[3].但是,堆焊技术获得的工作层容易出现组织偏析、性能不均匀等问题^[2-3].与堆焊技术相比,激光熔覆有如下优点:基体对熔覆层的稀释率较小^[4];基体受热影响变形小^[5];熔覆层组织更加细小、性能更好^[6].采用激光熔覆技术可以一定程度上改善组织偏析和性能不均匀的问题.随着激光熔覆技术日渐成熟和大功率激光器价格的下降,激光熔覆技术在再制造领域取得了广泛的应用^[7-8].有学者在曲

轴同种材料 45[#]钢板材上进行激光熔覆优化工艺,并推导出曲轴修复过程中激光束与曲轴转动轴颈的运动轨迹和相对速度之间的关系模型,最终完成了对曲轴的修复^[8].

由于不同产线及机位的支承辊表面硬度各不相同,且支承辊工作层与工作辊的硬度匹配要求较高,支承辊再制造前后硬度匹配问题成为有待解决的难题. 本文就修复前后的硬度匹配难题,通过控制粉末中纯镍粉的添加量,调节熔覆层中相组成和含量,进而获得硬度可控的熔覆层. 通过对熔覆层的组织、相、硬度的表征,分析镍含量对熔覆层微结构及硬度的影响.

1 实验材料和实验方法

激光熔覆基体材料为某钢厂提供的 Cr5 支承辊钢(合金成分,质量分数,% :Cr 4.47, C 0.56, Mn 0.52, Si 0.52, V 0.13, Fe 余量),辊面修复硬度要求为 60~70 HSD(约 450 HV~550 HV). 实验前采用 600[#]砂纸打磨去除表面的氧化层及油污,并用丙酮清洗备用. F313 是一种常见的用于制备硬面合金的铁基合金粉末,其激光熔覆层硬度为 700 HV 左右,远高于辊面修复硬度需求. 实验用合金粉末为 38~104 μm 的 F313 与 38~104 μm 的球形镍粉(纯度高于 99%)以不同比例机械混合粉,具体成分见表 1,试验前置于 200℃干燥箱保温 2 h 除湿备用. 激光熔覆光源为西安炬光科技有限公司生产的 FL-DLS21-DLight-3000 型半导体激光器,光斑尺寸 4 mm×4 mm,焦距 300 mm,横轴方向为平顶光斑,纵轴方向为高斯光斑. 激光熔覆参数为功率 1 600 kW、扫描速度 10 mm/s(方向为横轴方向)、送粉速度约 12 g/min、搭接率 30%、熔覆层数为 3 层. 金相试样选取熔覆层垂直于扫描方向的截面进行研磨抛光腐蚀. 腐蚀液配方为 10 mL 硝酸、10 mL 蒸馏水与 1 mL 盐酸的混合溶液. 采用 Zeiss ultra plus 扫描电镜(SEM)对截面组织进行观察并进行能谱(EDS)成分分析,利用 ILSON-WOLPER-450SVD 维氏硬度计进行截面硬度测试,压力为 200 N、保压时间为 10 s. 对熔覆层表面进行磨平处理,利用日本理学产 Smartlab-900 型 X 射线衍射仪(XRD),采用 Cu 靶,管电压为 40 kV,管电流为 40 mA,扫描速度为 4°/min 进行 XRD 相分析.

表 1 合金粉成分(质量分数)						
Table 1 Composition of the alloy powders						
(mass fraction)						
编号	Ni	Cr	Si	B	C	Fe
B1	4.00	14.40	0.96	0.96	0.10	余量
B2	6.00	14.10	0.94	0.94	0.09	余量
B3	8.00	13.80	0.92	0.92	0.09	余量
B4	10.00	13.50	0.90	0.90	0.09	余量

2 结果与讨论

2.1 熔覆层截面的组织与成分分析

采用添加不同含量纯镍粉的合金粉末进行激光熔覆,均获得无肉眼可见缺陷的熔覆层. 熔覆层中部组织扫描电镜(SEM)形貌照片见图 1,4 组 SEM 形貌照片内组织形貌均为鱼骨状枝晶和网状枝晶间. 因为合金粉末中主要元素为 Fe,Cr,且 C,B 含量很低,不足以生成大面积的初生析出相. 推测枝晶结构是由于凝固过程中 Cr,Ni 偏析造成的. 有学者在研究铁基合金时也发现了类似组织,经研究发现是由 Cr,Ni 在枝晶间位置偏析造成的^[9-10]. 利用 SEM 设备自带能谱仪(EDS)对图 1 中各图的枝晶(P1,P3,P5,P7)及晶间区域(P2,P4,P6,P8)进行成分测试,测试结果见表 2. 熔覆层中的 Ni 含量与粉末中 Ni 的添加量基本吻合,激光熔覆过程中产生的元素烧损可以忽略,表明通过控制添加纯镍粉的量可以准确调节熔覆层中的合金含量. Cr 在枝晶间位置含量显著高于枝晶位置含量,Ni 在枝晶位置含量高于枝晶间位置含量,证实了主要由 Cr,Ni 偏析造成组织差异的推论.

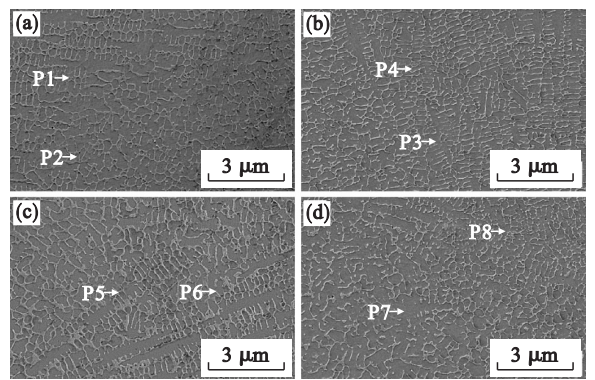


图 1 熔覆层截面 SEM 微观组织形貌
Fig. 1 Cross-sectional SEM microstructure of cladding layers
(a)—B1; (b)—B2; (c)—B3; (d)—B4.

表 2 EDS 成分分析结果(质量分数)					
Table 2 Results of EDS component analysis (mass fraction)					
编号	Fe	Cr	Ni	Si	C
P1	83.24	11.27	4.23	1.12	0.14
P2	78.22	16.29	4.09	0.87	0.53
P3	82.13	10.12	6.31	1.29	0.15
P4	77.23	15.51	5.87	0.77	0.62
P5	80.56	9.21	9.15	0.89	0.19
P6	74.31	17.35	7.12	0.67	0.55
P7	77.59	7.93	13.26	1.05	0.17
P8	71.74	19.24	7.55	0.81	0.66

2.2 熔覆层表面 XRD 分析

4 组试样的表面 XRD 谱线见图 2,所有的谱线中可以明确标定的只有 FCC 和 BCC 两种晶体结构. 而且随着配方中镍含量的增加,从 B1 谱线中无明显 FCC 衍射峰到 B4 谱线中 FCC 衍射强度明显强于 BCC 相的衍射强度. 根据 Klug 公式^[10],FCC 相的质量分数随 FCC 相观察衍射强度增大而增大. 因此,由 B1 到 B4 谱线,熔覆层中的 FCC 相的质量分数逐渐增多,B4 谱线中 FCC 相的质量分数高于 BCC 相.

实验中使用粉末材料为 FeCrNi 系合金粉末,可能产生的固溶相包括 FCC 结构的奥氏体相、BCC 结构的铁素体相及马氏体相. 不考虑快速冷却和析出相影响的情况下,3 种固溶相的含量可根据合金中铬当量和镍当量利用舍夫勒组织图进行预测. 根据经验公式按照合金粉末中的元素质量分数计算出铬当量分别为 15.84% ,15.51% ,15.18% 和 14.85% ,镍当量分别为 4.30% ,6.27% ,8.27% 和 10.27% ^[11]. 根据舍夫勒组织图预测:B1,B2 熔覆层为马氏体和铁素体;B3 熔覆层为奥氏体、马氏体和铁素体;B4 熔覆层中奥氏体含量进一步增多,铁素体消失,为奥氏体和马氏体. 由铬当量和镍当量预测结果的晶格结构与 XRD 分析结果基本吻合,只有 B2 熔覆层中出现 FCC 相不符合预测结果. 激光熔覆过程中熔池的实际冷却速度很高,B2 熔覆层中部分奥氏体来不及发生珠光体或贝氏体转变直接转化为马氏体,来不及转变的奥氏体被保留下来成为残余奥氏体. 激光熔覆过程中高冷却速度容易导致熔覆层中产生多种非平衡态析出相,会降低熔覆层固溶体的铬当量,使各成分点位置左移远离铁素体相

区. 判断熔覆层中存在的 FCC 相和 BCC 相分别为奥氏体和马氏体.

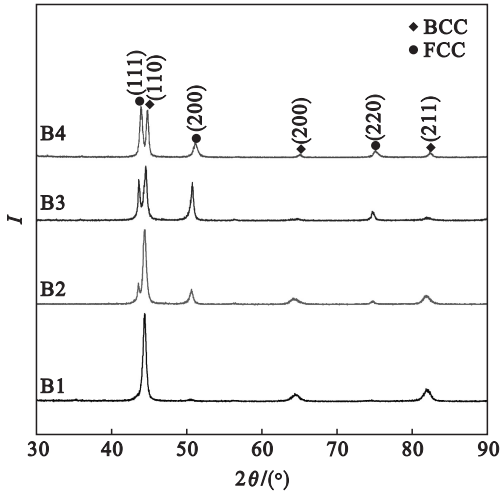


图 2 XRD 分析结果
Fig. 2 Results of XRD analysis

2.3 熔覆层截面硬度分析

如图 3 所示,4 种粉末制备的熔覆层的截面硬度明显不同. 随着合金粉末中添加纯镍粉量的增加,熔覆层的硬度显著下降. B1 熔覆层硬度约为 600 HV,而 B2 熔覆层硬度稍有降低约为 580 HV,B3 熔覆层存在大量奥氏体硬度进一步下降为约 500 HV,以奥氏体为主相的 B4 熔覆层硬度则降低到 400 HV 左右. 其中,添加 8% 纯镍粉的 B3 熔覆层硬度符合 Cr5 支承辊再制造的硬度需求. 4 个熔覆层的硬度随着熔覆层中奥氏体的含量增多而降低. FCC 相滑移方向的数量高于 BCC 相滑移方向的数量,所以 FCC 相的抗形变能力弱于 BCC 相,通常硬度较低. 马氏体形成过程产生大量的孪晶及位错,硬度显著高于奥氏体. 控制添加纯镍粉的量可以调整熔覆层中的相结构获得不同硬度的熔覆层.

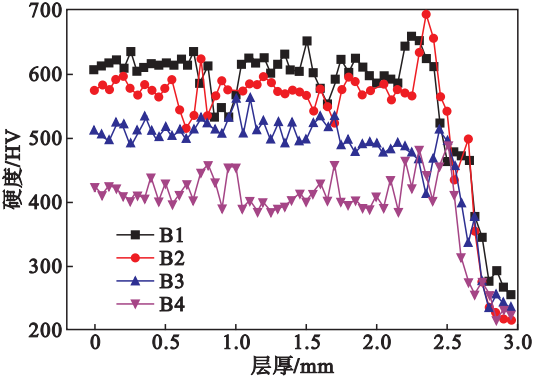


图 3 熔覆层截面硬度
Fig. 3 Cross-sectional hardness of cladding layers

(下转第 1558 页)