

激光熔凝和熔敷在热轧辊强化中的应用*

张来启¹, 陈光南², 杨王¹, 孙祖庆¹, 樊子力³, 牟文恒³, 李克敏⁴

(1. 北京科技大学 新金属材料国家重点实验室, 北京 100083; 2. 中国科学院 力学研究所, 北京 100080; 3. 唐山钢铁集团有限公司 带钢厂, 河北 唐山 063100; 4. 唐山钢铁集团有限公司 高速线材厂, 河北 唐山 063000)

摘要:为提高热轧辊寿命对球墨铸铁、白口铸铁热轧辊进行了激光熔凝、熔敷实验研究,并对激光处理效果进行了现场轧制实时寿命评估。研究确认:球墨铸铁、白口铸铁激光熔凝小样的硬度随扫描速度的降低和激光功率的增大而提高。分别按轧钢量、磨损量计算,球墨铸铁、白口铸铁激光熔凝热轧辊寿命分别比原来延长50%和15.6%~23.4%。利用激光熔敷技术在白口铸铁热轧辊上可以成功制备无宏观裂纹、气孔和夹杂存在的镍基合金涂层。现场轧制后表面也无宏观缺陷存在,寿命延长18.7%~37.4%。

关键词:激光熔凝;激光熔敷;热轧辊;表面硬度;实时加工

中图分类号: TGI56.99 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-024X(2003)05-0069-03

Applications of laser melting and cladding to hot rolls

ZHANG Lai-qi¹, CHEN Guang-nan², YANG Wang-yue¹,
SUN Zu-qing¹, FAN Zi-li³, MOU Wen-heng³, LI Ke-min⁴

(1. State Key Laboratory for Advanced Metals and Materials, Beijing University of Science and Technology, Beijing 100083, China; 2. Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China; 3. Strip Steel Factory, Tangshan Iron and Steel Corporation Limited, Tangshan 063100, China; 4. High Speed Line Steel Factory, Tangshan Iron and Steel Corporation Limited, Tangshan 063000, China)

Abstract: In order to lengthen the lifetimes of hot rolls, the laser melting and cladding of the hot rolls of spheroidal-graphite and white cast irons were investigated, and lifetimetests of laser-processed rolls on real-time by online rolling were evaluated. The hardness values of laser-melted samples of spheroidal-graphite and white cast irons increase with the decrease of scanning velocity of laser beam and with the increase of laser power respectively. The lifetimes of the laser-melted hot rolls of spheroidal-graphite and white cast irons have increased by 50% and 15.6%~23.4% according to the amount of rolled steels and their wear thickness respectively. Nickel-based alloy coating which is free of macro-defects of cracks, pores, inclusions, etc. can be fabricated on the substrate of hot rolls of white cast irons by means of laser cladding technique. Also, there are not any macro-defects on their surfaces after rolling, and their lifetimes have increased by 28.7%~37.4%.

Key words: laser melting; laser cladding; hot roll; surface hardness; processing on real-time

热轧辊是热轧钢铁制品生产的重要部件,其寿命长短不仅与产品的成本密切相关,而且直接决定钢铁制品的质量,尤其是表面质量和板型;同时由于热轧辊服役过程中承受强烈的力和热的作用,因此热轧辊是一个极易损坏的部件。为提高热轧辊寿命,可以从改换热轧辊材料(热轧辊高速钢化)、陶瓷化以及对热轧辊进行表面处理3个方面着手解决。热轧辊高速钢化能有效延长其寿命和改善钢材质量^[1-3],是目前世界轧

辊的主要应用趋向。在日本,1997年高速钢轧辊已占整个热轧辊的30%左右^[1,2]。针对我国国情,由于高速钢轧辊生产成本低,从经济意义上讲不可能大范围推广使用;从技术角度讲,国内制造工艺水平不过关,产品主要依赖进口。另外,热轧辊陶瓷化离实际应用差距很大,并非短时间内能够实现。Sun Dongwoo等人^[4]利用高能电子束对贝氏体基体球墨铸铁热轧辊进行重熔处理的研究无疑为该问题的解决提供了一条新思路,

* 收稿日期:2003-06-11 作者简介:张来启(1966—),男,山东省高密市人,副教授,博士。
基金项目:中国科学院应用研究与发展重大项目(KY951-A1-601-03)。

即尝试采用高能激光束对热轧辊表面进行改性处理. 该技术亟待解决的主要问题是激光大面积加工尤其熔敷/合金化后易开裂的难题. 本文对唐山钢铁股份有限公司高速线材厂粗轧二架球墨铸铁及带钢厂精轧3~6架 NiCrMo 无限冷硬白口铸铁热轧辊进行激光熔凝、熔敷镍基合金研究,并对激光处理效果进行了现场轧制实时寿命评估.

1 实验材料与方法

实验所用基体材料有粗轧球墨铸铁热轧辊及其报废辊切取的小样和精轧 NiCrMo 无限冷硬白口铸铁热轧辊及其小样. 球墨铸铁的合金成分为: 2.98% C, 1.88% Si, 0.51% Mn, 0.038% P, 0.007 0% S, 1.52% Ni, 0.25% Cr, 0.33% Mo, 0.075% Mg, Fe; NiCrMo 无限冷硬白口铸铁的合金成分为: 3.33% C, 0.53% Si, 0.67% Mn, 0.10% P, 0.038% S, 3.28% Ni, 1.18% Cr, 0.38% Mo, Fe. 粗轧球墨铸铁热轧辊工作面尺寸为 505 mm × 381 mm; 白口铸铁精轧辊的工作面尺寸为 315 mm × 500 mm; 小试样尺寸为 10 mm × 40 mm × 70 mm. 采用 2 kW 和 5 kW 横流 CO₂ 激光器进行熔凝和熔敷. 送粉方式为同步送粉. 用 Leitz Minil Oadz 型显微硬度仪测试小试样熔凝层表面硬度.

2 实验结果与分析

2.1 热轧辊的激光熔凝

2.1.1 球墨铸铁热轧辊的激光熔凝

为了在大轧辊上能够顺利进行熔凝加工并获得最佳的强化效果,首先优化小试样的激光加工工艺参数. 固定激光功率 $P = 900$ W. 用扫描速度 V_b 分别为 3.3、8.2、17.8、28.2、36.6 和 45.7 mm/s 对球墨铸铁小样进行相变及熔凝处理,结果如图 1 所示. 可见随着扫描速度的增加,硬度降低. 图 2 示出在 $V_b = 28.2$ mm/s 时,激光功率 P 分别为 400、500、600、800、900 和 1 000 W 对处理层硬度的影响,随着功率的增大硬度增加. 由上述结果容易看出:激光熔凝的硬度比相变的硬度高. 当 $P = 900$ W、 $V_b = 3.3$ mm/s 时,熔凝处理球墨铸铁的硬度最高,可达 $HV_{0.5} 849$,比熔凝前 290 提高了 1.92 倍.

为了增加粗轧辊对坯料的咬合力,需增加粗轧辊的粗糙度. 因此对唐钢高速线材厂粗轧二架球墨铸铁热轧辊(505 mm × 381 mm)用合适的工艺参数进行了大面积激光熔凝网纹加工,并进行了现场轧制实时评估轧辊寿命,按轧制钢材产量评估其寿命. 未经激光熔

凝处理轧辊钢量为 6 450 t,激光处理轧辊在线时间近 144 h,轧钢量为 9 480 t,轧钢量提高 50% 以上.

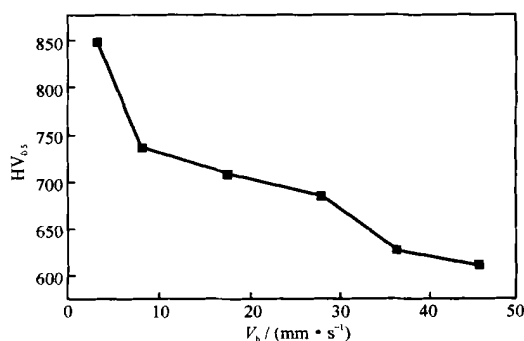


图 1 扫描速度对激光熔凝球墨铸铁硬度的影响

Fig. 1 Influence of scanning velocity on the hardness of laser-melted spheroidal-graphite cast irons

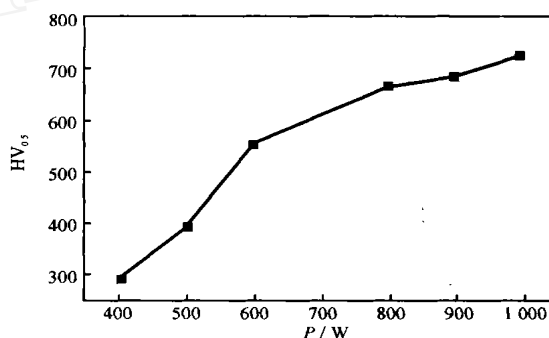


图 2 激光功率对激光熔凝球墨铸铁硬度的影响

Fig. 2 Influence of power on the hardness of laser-melted spheroidal-graphite cast irons

2.1.2 白口铸铁热轧辊的激光熔凝

对白口铸铁热轧辊小样分别进行了扫描速度 ($V_b = 28.2$ mm/s) 和激光功率 ($P = 900$ W) 对材料硬度影响的研究,结果见图 3 和图 4. 随着扫描速度的减少和激光功率的增加,材料硬度稍有提高. 激光熔凝的效果比相变明显,用 $P = 900$ W、 $V_b = 3.3$ mm/s 工艺参数熔凝处理的试样硬度最高,为 $HV_{0.5} 780$. 未处理试样的硬度为 650,硬度略有提高,约提高 19.8%.

315 mm × 500 mm 白口铸铁热轧辊经合适工艺的激光熔凝处理后,在唐钢带钢厂进行了现场轧制寿命评估实验. 熔凝处理热轧辊放在 F3 架(精轧 3 架)正常轧制一班(8 h)后,轧辊表面无裂纹,无剥落,磨损轻微. 表 1 为其与未处理辊现场轧制后磨损量的比较. 可见,按磨损量计算,激光熔凝辊比未经激光处理辊寿命提高 15.6% ~ 23.4%.

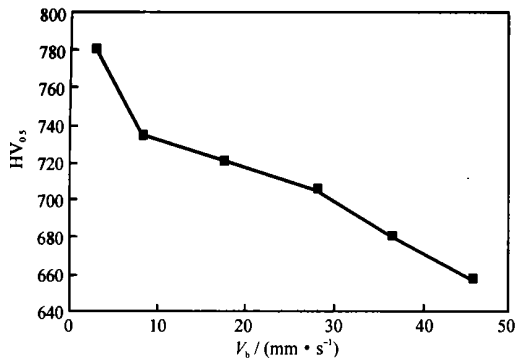


图 3 扫描速度对激光熔凝白口铸铁硬度的影响
Fig.3 Influence of scanning velocity on the hardness of laser-melted white cast irons

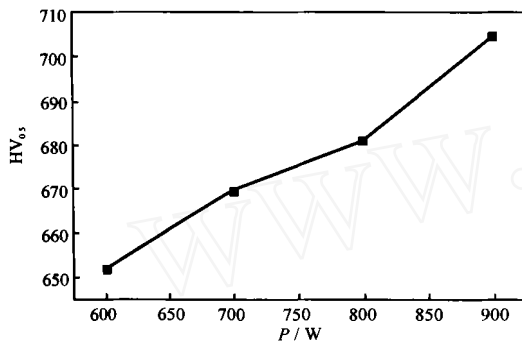


图 4 激光功率对激光熔凝白口铸铁硬度的影响
Fig.4 Influence of power on the hardness of laser-melted white cast irons

表 1 激光熔凝白口铸铁热轧辊与未处理辊磨损量比较

Tab.1 Comparison of wear thicknesses between laser-melted and normal hot rolls of white cast irons under the same rolling conditions and time

试样	轧钢量 / t	磨损量 / mm	单位磨损量 / μm	提高百分率 / %
未经处理辊	647 ~ 686.7	0.278 ~ 0.315	0.430 ~ 0.459	
激光熔凝辊	671.5	0.25	0.372	15.6 ~ 23.4

注:轧制条件和时间相同

2.2 白口铸铁热轧辊的激光熔敷

对 NiCrMo 无限冷硬白口铸铁精轧热轧辊表面性能要求主要是 没有裂纹、夹杂、气孔等宏观缺陷存在,保证所轧带钢制品表面质量; 较高的室温及高温硬度,良好的耐高温磨损性能; 较好的耐疲劳性能和抗高温氧化及耐热腐蚀性能; 较好的抗冲击性能,适中的韧塑性。但是由于白口铸铁热轧辊含有较高碳含量,因此激光熔敷易开裂。

NiCrSiBC 合金由于 Ni 无固态相变 (fcc 结构), 构成 基体, Cr 可无限固溶于 - Ni, 产生固溶强化; 同

时 Cr 的加入还能提高基体抗高温氧化和耐腐蚀性能; Si、B、C 加入可生成硅化物、硼化物和碳化物硬质相, 产生弥散强化和沉淀强化, 提高合金的耐磨性; Si、B 还可以脱氧, 共同生成熔点低、粘度小、易上浮的熔渣, 覆盖于熔敷层表面, 防止夹渣与气孔。因此, NiCrSiBC 合金具有较高的高温强度、较好的耐高温磨损性能、热疲劳抗力和抗高温氧化腐蚀性能以及好的强韧性。另外, 由于 Ni 与 Fe 具有相近的热膨胀系数^[5], 因此, 激光熔敷层的热应力较低, 有利于防止涂层开裂。可见, NiCrSiBC 合金对白口铸铁热轧辊来说是一种良好的激光熔敷涂层材料。本文通过采用合适的激光工艺参数以及辅助热处理在 315 mm × 500 mm 白口铸铁热轧辊上利用激光熔敷技术成功制备出无宏观裂纹、气孔、夹杂存在的镍基合金涂层, 如图 5 所示。



图 5 白口铸铁热轧辊激光熔敷后的宏观形貌
Fig.5 Macrograph of laser clad hot rolls of white cast iron

将激光熔敷处理的白口铸铁热轧辊放在 F3 架进行了现场轧制寿命评估实验。在相同轧制条件下, 熔敷轧辊能够正常轧制一班 (8 h), 下机后观察其表面形貌, 发现辊表面熔敷层无塌陷、剥落、断裂现象发生。表明熔敷层的表面质量很好。表 2 为熔敷轧辊与未处理轧辊磨损量的比较。按磨损量计算, 轧辊寿命提高了 28.7% ~ 37.4%。

表 2 白口铸铁激光熔敷热轧辊与未处理辊磨损量比较

Tab.2 Comparison of wear thicknesses between laser-clad and normal hot rolls of white cast irons under the same rolling conditions and time

试样	轧钢量 / t	磨损量 / mm	单位磨损量 / μm	提高百分率 / %
未处理辊	647 ~ 686.7	0.278 ~ 0.315	0.430 ~ 0.459	
激光熔凝辊	539	0.18	0.334	28.7 ~ 37.4

注:轧制条件和时间相同

(下转第 75 页)

片工作表面得到了强化,该技术为高速冲磨设备的表面强化、修复提供了一条新途径,应用前景广阔。

4 结 论

(1) 对于较低激光功率,低扫描速度易获得表面形貌良好的熔敷层。

(2) 功率一定的情况下,熔敷面积随送粉率的增加而增加,但增加量与功率及扫描速度有关。

(3) 通过正交实验分析,在所选的实验参数中,扫描速度与激光功率对于稀释率的影响不显著,而送粉率对于稀释率的影响显著,且扫描速度与送粉率的交互作用对于稀释率也有显著的影响。

(4) Ni-WC 激光熔敷后可获得高性能的硬质合金层,熔敷层中硬质相主要是 WC 和 Fe_6W_6C 。

(5) 根据激光工艺参数对熔敷层形貌性能的影响

(上接第 71 页)

3 结 论

(1) 球墨铸铁激光熔凝小样的硬度随扫描速度的降低和激光功率的增大而增加,最高硬度可达 $HV_{0.5} 849$,比原来提高 1.92 倍。按轧钢量计算,球墨铸铁激光熔凝热轧辊寿命提高 50%。

(2) 白口铸铁激光熔凝小样的硬度随扫描速度的降低和功率的增大而提高,最高硬度为 $HV_{0.5} 780$,比原来提高 19.8%。按磨损量计算,白口铸铁激光熔凝热轧辊的寿命比原来提高 15.6%~23.4%。

(3) 用合适的激光工艺参数及辅助热处理,可以在白口铸铁热轧辊上利用激光熔敷技术成功制备无宏观裂纹、气孔、夹杂存在的镍基合金涂层。现场轧制后表面也无宏观缺陷存在,按磨损量计量寿命提高了 28.7%~37.4%。本文只是对热轧辊激光熔敷的初步

研究,指导叶轮片激光熔敷参数的确定,采用高功率激光器及激光宽带扫描同步送粉装置,选择合适的工艺参数,完成了粉煤机叶轮片单道及宽带的激光熔敷。

参考文献:

- [1] 沈义俊. 高速冲击超细粉碎机粉碎机理研究[J]. 矿山机械,1993,(6):10-14.
- [2] 浦维达. 风扇磨煤粉粉碎机锤头抗磨材料的研究[J]. 上海工程技术大学学报,1994,8(1):27-31.
- [3] 汪荣鑫. 数理统计[M]. 西安:西安交通大学出版社,1995.
- [4] 北京大学数学力学系概率统计组. 正交设计法[M]. 北京:石油化学工业出版社,1976.
- [5] 杨瑞成,王夏冰,王军民,等. WC/钢基合金不同热处理状态的微观特征[J]. 材料科学与工艺,1998,6(3):29-33.
- [6] 武晓雷,陈光南. 激光熔敷 Fe-Cr-W-Ni-C 合金的微观组织及其演化[J]. 金属学报,1998,34(10):1033-1038.
- [7] 杨洗陈,阎毓禾,汪行恺,等. NiCrSiB 合金的激光熔敷[J]. 中国激光,1988,15(3):174-178.

探索. 为更好地提高熔敷层使用效果和充分降低成本,还应进一步优化设计涂层材料体系与更换合适的低成本热轧辊基体材料。

参考文献:

- [1] 赵新. 高速钢复合轧辊[J]. 鞍钢技术,1997,(12):38-41.
- [2] 桥本光生,川上保,小田高士,等. 热带钢轧制技术中高速钢轧辊的应用和开发[J]. 国外钢铁,1997,(1):51-58.
- [3] 刘海峰,刘耀辉. 高速钢复合轧辊的研究现状及进展[J]. 钢铁研究学报,1999,11(5):67-71.
- [4] Suh Dongwoo, Lee Sunghak, Kwon Soor-Ju, et al. Surface hardening of a ductile-cast iron roll using high-energy electron beams[J]. Metall Mater Trans,1997,28A(7):1499-1508.
- [5] Pilloz M, Pelletier J M. Residual stresses induced by laser coatings: Phenomenological analysis and predictions[J]. J Mater Sci, 1992,27(5):1240-1244.