

摘要:用大气压非转移弧层流等离子体射流,对 W-Mo-Cu 铸铁表面进行熔凝相变强化处理,观察和测试了试样经不同弧电流处理后的表面层组织、硬度、耐磨性。结果表明,层流等离子体射流对铸铁表面的局部快速加热熔化和冷却凝固,明显改变了表面层的微观组织,提高了硬度和抗磨损性能。

关键词:层流等离子体射流;W-Mo-Cu 铸铁;熔凝;耐磨性

中图分类号:TG143;TG156.99 **文献标识码:**A **文章编号:**0254-6051(2004)07-0060-04

Surface Melted and Solidified Hardening of Cast Iron by Non-Transferred Arc-Laminar Plasma Jet

PEI Qun-xing, Li Gang, PAN Wen-xia, WU Cheng-kang

(Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract: The surface of W-Mo-Cu cast iron was hardened through melted and solidified processes by non-transferred arc-laminar plasma-jet at atmospheric pressure. Microstructure, hardness and wear resistance of the treated surface layer were observed and measured after treating with different arc-current. The results showed that the microstructure of the surface layer, hardness and wear resistance of the cast iron were changed and improved significantly with the rapid local melting and cold solidified by laminar plasma jet.

Key words: laminar plasma jet; W-Mo-Cu cast iron; melting and solidified; wear resistance

- Superplasticity in a Thermomechanically Processed TiAl based Alloy[J]. *Material Science and Engineering*, 2002, A329-331:885-890.
- [6] Li D Q, Shan A D, Lin Y, et al. Study of Superplastic Deformation in an FeAl based Alloy with Large Grains[J]. *Scripta Metal Mater*, 1995, 33(4):681-685.
- [7] Sun feng, Lin dong-liang. Superplastic Phenomenon in a Large-grained TiAl Alloy[J]. *Scripta Metal mater*, 2001, 44:665-670.
- [8] Cao D C, yang W Y, Huang X, et al. Superplastic Deformation in a Coarse-grained Fe₃Al based Alloy [J]. *Scripta mater*, 2001, 44:501-505.
- [9] Matsubara K, Miyahara Y, et al. Developing Superplasticity in a Magnesium Alloy through a combination of extrusion and ECAP[J]. *Acta materialia*, 2003, 51:3073-3084.
- [10] Dongliang Lin, Yi Liu. Microstructural evolution and mechanisms of superplasticity in large-grained iron aluminides [J]. *Material Science and Engineering*, 1999, A286:83-89.
- [11] Chari I T, Mishra R S. High strain rate superplasticity in a commercial 2024 Al alloy via friction stir processing [J]. *Material Science and Engineering*, 1998, A244:216-223.
- [12] Kaibyshev R, Kazakulov L, Gromov D, et al. Superplasticity in a 2219 aluminum alloy[J]. *Scripta mater*, 2001, 44:2411-2417.
- [13] Khraishi Tariq A, Khaleel Mohammad A, Zbib Hussein M. A parametric-experimental study of void growth in superplastic deformation[J]. *International Journal of plasticity*, 2001, 17:297-315.
- [14] Kaibyshev R, Musin F, et al. Superplastic behavior of an Al-Mg alloy at elevated temperatures[J]. *Material Science and Engineering*, 2003, A342:169-177.
- [15] 郭建亭,杜兴蒿. NiAl 合金的超塑性行为及其变形机制[J]. *材料研究学报*, 2001, 15(1):97-104.
- GUO Jian-ting, DU Xing-hao. Superplastic behavior and mechanism of NiAl alloys[J]. *Chinese Journal of materials research*, 2001, 15(1):97-104.
- [16] Kaibyshev A. Superplasticity of Alloy, Intermetallics and ceramics[M]. New York: Springer-Verlag, 1992.
- [17] 林兆荣. 金属超塑成型原理及应用[M]. 北京:航空工业出版社, 1990.
- LIN Zhao-rong. Theory and Application of superplasticity forming in metals [M]. Beijing: Aeronautical Industry Press, 1990.
- [18] 许晓嫦,谭晓琼,等. 超塑性形变中的晶界形态变化及再结晶的作用[J]. *材料科学与工程*, 1999, 7(4):74-77.
- XU Xiao-chang, TAN Xiao-qiong, et al. Change of grain boundary morphology and influence of recrystallization in superplastic deformation[J]. *Material & Technology*, 1999, 7(4):74-77.
- [19] Perez-prado M T, Cristina M C, et al. Grain boundary sliding and crystallographic slip during superplasticity of Al-5% Cu-5% Zn as studied by texture analysis[J]. *Material Science and Engineering*, 1998, A244:216-223.
- [20] 周科朝,黄伯云,等. TiAl 基金属超塑性变形中的位错运动[J]. *稀有金属*, 1999, 23(5):394-397.
- [21] Kim B K, Szpunar J A, Alexandre B, et al. Microstructure and Texture Evolution during Superplastic Deformation of 7475 Al Alloy [J]. *Materials Science Forum*, 2002, 408-412:1513-1518.

1 引言

大气压热等离子体射流具有 10^4 K 的高温 and 10^8 W/m² 的能量密度,广泛应用于热喷涂以及材料合成等工艺。以往由于这类等离子体射流大多处于湍流状态,射流的轴向温度梯度很高^[1],气流脉动性很强^[2],对周围冷空气的卷吸严重,很难有效地施加保护性气体,虽然与激光或电子束材料表面改性工艺相比,具有能量利用率高和设备成本低的优点,却很少用于金属材料表面熔凝或熔敷工艺。

目前层流等离子体射流的产生及其特性表征方面的研究表明^[3]:层流等离子体射流的轴向温度梯度可能低于湍流射流的 1/4,稳定性与重复性好,流场参数可调范围宽,可有效地抑制周围空气的卷吸作用,具备进行稳定的材料表面急热急冷强化处理的必要条件。铸铁在矿山、电力、工程机械等领域应用广泛,根据应用需求整体或者局部提高铸铁表面的硬度和耐磨性,无疑是提高部件使用性能和服役寿命的有效方法。

本文作者利用试验室自行研制的大气压直流层流等离子体射流发生器,通过调整工艺参数,产生稳定性好、气体卷吸量少、能量衰减慢且可调范围宽、噪音小的大气压层流等离子体射流,对用于大功率柴油发动机汽缸套的 W-Mo-Cu 铸铁进行表面熔凝相变强化处理,并对熔凝后的显微组织、硬度、耐磨性等特性进行了检测和分析。

2 试验材料与方法

试验材料为 W-Mo-Cu 铸铁,其化学成分(质量分数,%)为 3.3C、2.0Si、0.8Mn、1.9W、0.8Mo、1.2Cu,余量 Fe。试样尺寸为 100mm × 150mm × 15mm。试验设备参数:电流为 170A ~ 195A,工作气体为纯 Ar,气体流量为 4.5L/min ~ 7.2L/min。等离子体射流离开发生器出口后自由射入大气,以一定的速度垂直于样品表面扫过时,使铸铁表面受到急速加热的局部区域熔化,射流移开后又快速凝固,形成宽度约 2 ~ 6mm 的熔痕。产生的层流等离子体射流照片及熔凝工艺过程如图 1 所示。样品表面与发生器出口间的距离为 10mm ~ 15mm,样品移动速度为 0.1m/min ~ 0.4m/min。

作者简介:费群星(1977.11—),男,江苏常州人,硕士生,主要从事等离子体金属材料表面改性工艺的研究工作。联系电话:010-62545533-3030 E-mail:wspan@imech.ac.cn
基金项目:国家自然科学基金项目(50336010 和 10275085)
收稿日期:2003-11-28

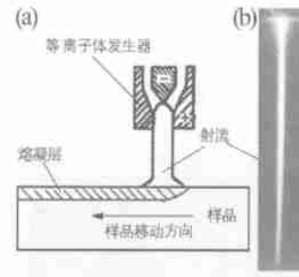


图 1 熔凝工艺示意图(a)和层流等离子体射流照片(b)
Fig. 1 Schematic of melted and solidified process (a) and a photo of laminar plasma jet (b)

采用国产 HV1000 型显微硬度计测定试样表面的显微硬度;采用 JXL-03 型金相显微镜对试样进行组织观察;在 MM-200 型磨损试验机上对试样进行了 2h 的无润滑磨损试验,磨损试验的试样尺寸为 15mm × 12mm × 10mm,偶件直径为 50mm,材料为 WC 硬质合金,旋转速度为 200r/min,垂直载荷为 200N。

3 试验结果与分析

3.1 熔凝层组织形貌与电流的关系

图 2 为经不同弧电流处理后的样品断面显微组织。由图 2a 可以看出,整个熔凝层的厚度大约为 500μm,从被腐蚀的情况看,大致可分为两部分。A 为熔池表层,B 为过渡区。熔凝层内石墨组织的形貌、分布、尺寸等都基本与基体中的石墨相同,看不出明显的变化。由图 2b 可见,由于熔池表面的高过热度和射流冲击压力的作用,表面熔化区的石墨完全失去了原有的形貌和分布,变成碎小而近似点状地分布在表层,并且在石墨形状明显改变和基本没有改变的区域之间,

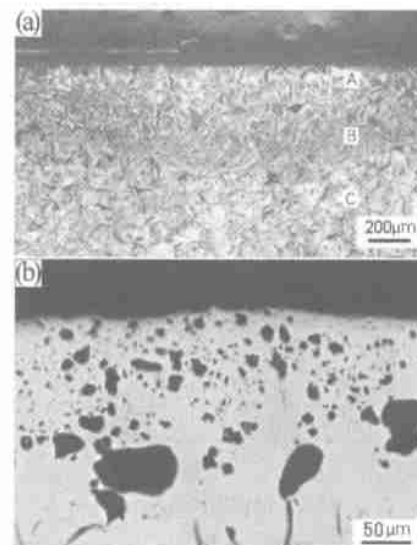


图 2 经不同弧电流处理后样品熔凝层显微组织形貌
Fig. 2 Microstructure of melted and solidified after different arc current
(a) $I = 180$ A (b) $I = 195$ A

出现多数的大尺寸的空洞。

图3为图2a所示组织的放大照片,其中图3a为熔池表层,组织是由初晶渗碳体和莱氏体组成的过共晶组织,有少量碎化的小石墨嵌于其中。图3b为表

层和基体之间的区域,其组织为大量细小的竹叶状高碳马氏体和片状石墨。图3c所示为基体组织,主要由珠光体和片状石墨组成。

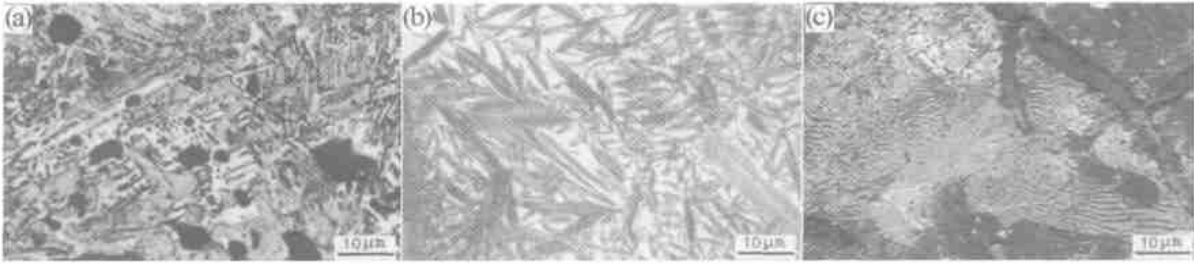


图3 图2a所示试样的不同截面区域的显微组织

(a)表层组织 (b)过渡区 (c)基体组织

Fig.3 Microstructures of samples presented in Fig.2a at different cross sections

(a) surface zone (b) transition zone (c) substrate

3.2 熔凝层硬度与弧电流的关系

图4为经不同电流处理后试样的硬度分布。由图4可见,经过层流等离子体射流熔凝处理后,试样表面层的显微硬度比基体的硬度明显提高,达到约900HV,并且硬度值不随弧电流的改变而明显改变,大约是基体硬度的3倍。硬化层的厚度却随着弧电流的增加而明显增加,在弧电流由180A增至195A的情况下,硬化层厚度由0.8mm增至1.6mm。

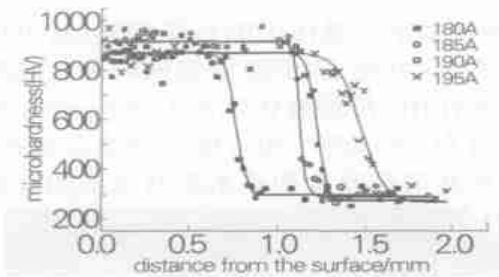


图4 经不同弧电流处理后样品硬度分布曲线图

Fig.4 Micro-hardness curves of samples after different arc currents

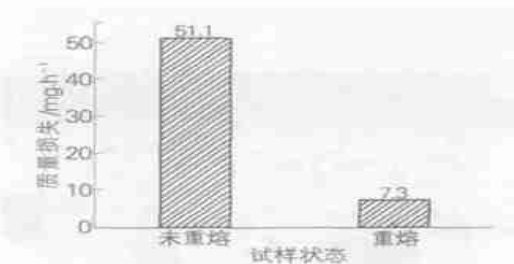


图5 试样磨损失重对比

Fig.5 The comparison of samples on ware weight loss

3.3 熔凝硬化层的耐磨性

选取电流分别为180A、185A、190A、195A,在其他工艺条件相同条件下,所处理的样品以及未经熔凝处

理的铸态基体进行磨损试验,结果如图5所示。由图5可见,经过熔凝处理试样的耐磨性普遍提高,平均失重为7.3mg/h,相比于未经处理的基体试样,提高了约7倍。

4 层流等离子体铸铁表面强化工艺特点

层流等离子体射流实际上是一种高能量密度的超高温气体流,最高温度可超过18000K,最大气流速度可超过1000m/s,射流作用于材料表面的高热流密度和适当的冲击压力,使铸铁表面局部熔化,片状石墨被细碎化,呈细粒状均匀分布于表层。同时,在适当的样品移动速度条件下,射流作用于局部区域的时间短,熔池离开射流作用区后迅速冷却,形成过冷的表面硬化层。

层流等离子体射流的最高温度随弧电流的增大而升高^[4]。比较图4中在不同弧电流条件下得到的4种样品的表面层硬度值,当弧电流为185A时,硬化层的平均硬度值略高于更低或更高弧电流条件下得到的结果,这可能是在其他工艺条件不变的情况下,射流温度的增大,将导致熔池以及周围热影响区的过热,以致影响后续的激冷过程和微观组织结构。但电流强度过低时,形成的熔池过浅,也影响表面层硬度和耐磨性。

因此,在恰当工艺条件组合的情况下,非转移弧层流等离子体射流,是稳定的可重复性良好的、适合于金属材料表面熔凝相变强化处理的高能量密度热源。

5 结语

(1) 层流等离子体射流对铸铁表面熔凝处理,可以显著提高铸铁表面层的硬度和耐磨性。

(2) 熔凝层的表层区基体主要由初生渗碳体和

球墨铸铁管退火工艺的改进

宋新书(邢台职业技术学院 环保系,河北 邢台 054000)

摘要:对球墨铸铁管退火炉炉体结构进行改进的基础上进行了4种退火工艺试验,得出了适应生产需要的退火工艺参数。

关键词:球墨铸铁管(铸管);退火炉;结构;工艺;改进

中图分类号:TG156.25 文献标识码:A 文章编号:0254-6051(2004)07-0063-03

Improvement of Annealing Process of Spheroidal Cast Iron Tube

SONG Xin-shu

(Department of Environment Protection, Xingtai Vocational and Technical College, Xingtai Hebei 054000, China)

Abstract: The four annealing processes of the spheroidal cast iron pipe were tested in annealing furnace with its structure improved, and specific annealing process parameters for production were determined.

Key words: spheroidal cast iron pipe; annealing furnace; structure; process; improvement

1 引言

铸管热处理的目的是为了获得铁素体的基体组织,通常要经过高温石墨化退火和低温石墨化退火两个阶段,其中高温石墨化退火的目的是使铸管中的自由渗碳体全部转变为奥氏体和石墨组织;低温退火的目的是使铸管中的珠光体分解为铁素体和石墨。技术要求规定经退火处理后,渗碳体含量 1%;小口径管的铁素体量 90%,珠光体量 10%;大口径的铁素体量约为 88%,珠光体量约为 12%;力学性能为: σ_b 420MPa, σ_s 300MPa, δ_{10} 10%。

随着铸管产量的日益提高,某铸管股份有限公司月退火产量约 1.5 万吨,而退火炉原设计最大链速为 0.75m/min(针对 DN100-700)。若执行原退火工艺,

链速太慢,退火炉前铸管积压,降低了入炉温度,影响了其质量和产量;若提高链速,虽能保证退火速度,但退火后的铸管易出现渗碳体。因此,该厂对铸管退火炉的炉体结构和退火工艺进行了改进,目的是消除铸管中的渗碳体,使性能达到国际标准要求,适应铸管产量日益提高的需求。

2 改进试验

2.1 炉体结构的改进

通常卧式铸管退火炉温度控制区分为加热、保温、快冷和缓冷 4 个区段。在设备的改造时将原来的保温段延长 6.34m,并在两侧增加两对烧咀。将快冷段后移,并缩短为 2.85m,在炉顶增设两排风管,向炉内吹冷空气冷却,空气流量通过自动或手动闸板调节。在原来的基础上缓冷段缩短为 14.5m,在两侧开设烧咀,顶部新增冷风装置。

2.2 退火工艺的方案和试验结果

铸管退火工艺试验方案见表 1。

作者简介:宋新书(1952—),女,吉林长春人,副教授,研究员,主要从事金属材料及热加工的研究工作。联系电话:0319-2273354,0319-2273866 E-mail:lxjin 1226 @vip. sina. com
收稿日期:2004-03-01

莱氏体组成,表层区和基材之间的组织主要是高碳马氏体,基材的基体组织主要为珠光体。

(3) 在样品移动速度、与发生器出口间的距离、射流的气流量等条件不变时,最佳弧电流范围为 185A ~ 190A,否则容易出现熔池太浅或过热量太大的现象。

(4) 层流等离子体射流是稳定可重复性良好的、适合于金属材料表面熔凝相变强化处理的高能量密度热源。

参考文献:

[1] 张文华.层流等离子体发生器的研究[D].北京:中国科学院力学研究所,1999:41-47.

- [2] Wenxia Pan, Wenhua Zhang, Wenhong Zhang, et al. Generation of Long Laminar Plasma Jets at Atmospheric Pressure and Effects of Flow Turbulence[J]. Plasma Chemistry and Plasma Processing, 2001, 21(1): 23-33.
- [3] Wenxia Pan, Wenhong Zhang, Wei Ma, et al. Characteristics of Argon Laminar DC Plasma Jet at Atmospheric Pressure. [J]. Plasma Chemistry and Plasma Processing, 2002, 22(2): 271-283.
- [4] Xian Meng, Wenxia Pan, Chengkang Wu. Flow Field and Heat Transfer Characteristics of a Laminar Plasma Jet[C]. TAORMINA, Italy: Department of Chemistry, University of Bari, Institute for Inorganic Methodologies and Plasmas (IMIP): June 22-27, 2003: ISPC-243.