

文章编号:1003-7837(2005)01-0033-03

等离子表面冶金熔体粘度的研究^{*}

刘邦武,李惠琪,张丽民

(山东科技大学材料科学与工程学院,山东 青岛 266510)

摘 要:影响等离子表面冶金熔池中合金熔体粘度的主要因素是电流和粉末体系中的合金元素.粘度对冶金层组织有着重要影响.熔体的粘度大,结晶形态以枝晶状固溶体为主;熔体的粘度小,冶金层组织以多种形状的化合物和基体为主.并提出了用粘度作为研制等离子表面冶金粉末体系的一个判据,来指导合金粉末体系的研究.

关键词:等离子束;表面冶金;粘度;铁基合金粉末

中图分类号:TG156.99 **文献标识码:**A

等离子表面冶金技术是新近发展的、具有巨大发展潜力的等离子束表面改性技术.该技术的基本原理为:在按照程序轨迹运行的DC-Plasma-Jet等离子束流的高温下,金属零件表面快速依次形成与弧斑直径尺寸相近的熔池,将合金或陶瓷粉末同步送入弧柱或熔池中,粉末经快速加热,呈熔化或半熔化状态与熔池金属混合并扩散,随着等离子弧柱的移动,合金熔池迅速凝固,形成与基体呈冶金结合的涂层^[1].DC-Plasma-Jet直流放电压缩电弧等离子束具有束流能量密度大、能量转换效率高,可在大气中操作及设备维护简便等特点^[2,3].等离子表面冶金技术有着其他表面技术无法比拟的优点,该技术已成功地应用到煤矿刮板输送机中部槽和采煤机截齿构件上.但是在试验中发现,冶金层经常会出现一些气孔和疏松等缺陷,制约了该技术在一些精密设备上的应用.合金熔体的粘度作为液态合金的主要物理性质之一,对有液态金属参与的反应速度、液态金属中的非金属夹杂物和气泡的排出以及冶金层的成形有很大的影响,这些因素决定着凝固后的冶金层质量.本文在研究合金熔体粘度的基础上,对冶金层组织及表面质量进行分析,以指导等离子表面冶金粉末体系的研制.

1 等离子表面冶金熔池粘度影响因素

牛顿首先提出,液体中流速不同的两个相邻液层间的内摩擦力 F 正比于两液层的接触面积 S 和速度梯度 du/dx ,即

$$F = \eta S \frac{du}{dx} \quad (1)$$

式(1)中的比例常数 η 称作粘度^[4].

1.1 电 流

等离子表面冶金熔体属于牛顿流体,熔体粘度随温度升高而降低,粘度与温度的关系符合阿累尼乌斯关系式,即

$$\eta = A \exp(-E_\eta/RT) \quad (2)$$

式(2)中 A 和 E_η 为常数.其中 E_η 称为粘流活化能,物理意义为1摩尔分子(或流动单元)由一个平衡位置跃迁到另一个平衡位置时所需克服的能垒.电流是等离子表面冶金设备最主要的工艺参数,因此可以通过调节电流的大小来改变熔池温度.电流越大,熔池温度越高,熔体的粘度也就越小.

1.2 合金元素

熔体粘度与熔体中金属粒子的大小、排列和结合方式有关.在合金中,由于元素原子之间会结合形成原子团,可能会对粘度产生一些影响.有关合金元

收稿日期:2004-11-26

^{*} 基金项目:山东省自然科学基金项目(Y2002F12);山东省优秀中青年科学家科研奖励基金项目(02BS057)

作者简介:刘邦武(1979-),男,山东巨野人,硕士研究生.
万方数据

素对熔体粘度的影响,目前所查阅的数据的差别较大^[5],但是普遍研究认为:Si、Mn、Al、Cr、As、Ni、Co和Ge等元素使铁液粘度降低;V、Ta、Nb、Ti、W和Mo等元素使铁液粘度升高;Cu、H和N等元素对铁液粘度的影响很小。

2 粘度对冶金反应的影响

通过大量的试验发现,等离子表面冶金层的结晶规律主要有两种:一种是以枝晶状固溶体为主;另一种是以多种形状的化合物和基体为主。如在铁基合金粉末的基础上添加Al或Al和Nb,发现冶金层

组织的差别很大。Fe-Cr-C合金添加1%Al的冶金层组织以化合物和基体为主,如图1(a)所示;Fe-Cr-C合金添加1%Al和2%Nb的冶金层组织以枝晶状固溶体为主,如图1(b)所示。在铁基合金Fe-Cr-C的基础上添加Al,合金熔体的粘度大大降低,原子运动阻力减小,亲和力好的合金元素能够聚集在一起并发生化学反应,形成化合物。在添加Al的基础上添加Nb,熔体粘度增大,原子运动阻力加大,再加上熔池凝固速度很快,合金元素没有足够的时间聚集及发生反应,从而固溶于 γ -Fe中。

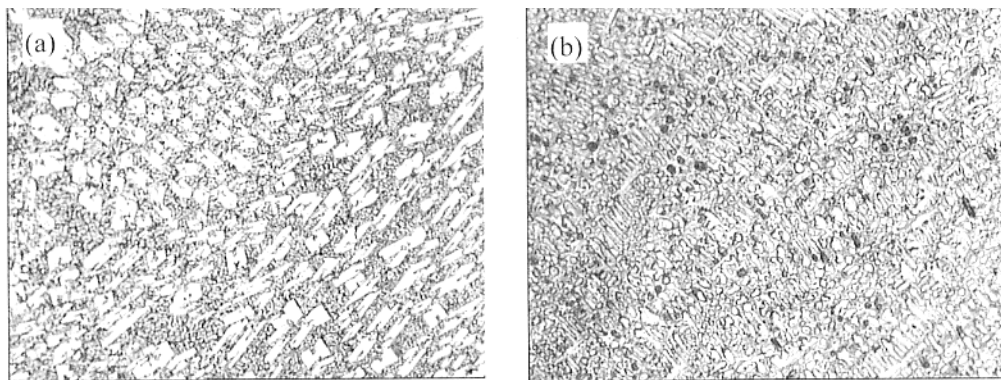


图1 等离子表面冶金铁基合金冶金层的显微组织

Fig.1 Microstructure of Fe-based alloy coating

3 粘度对冶金层质量的影响

合金熔体的粘度对冶金层质量的影响很大。在等离子表面冶金过程中,离子气、保护气和送粉气作为主要的工艺参数,全部采用氩气。在等离子表面冶金的过程中,这些气体不断进入熔池中,它们能否从熔池中逸出,取决于合金熔体的粘度。如果熔体的粘

度较大,进入熔池的气体短时间内不能逸出,这样熔池结晶后,将导致合金层中存在大量气孔与疏松,呈现蜂窝状,如图2(a)所示。如果熔体的粘度较小,进入熔池的气体能够逸出,在熔池结晶后,熔池表面平滑,不存在起泡现象,合金层成形较好,表面无气孔,如图2(b)所示。

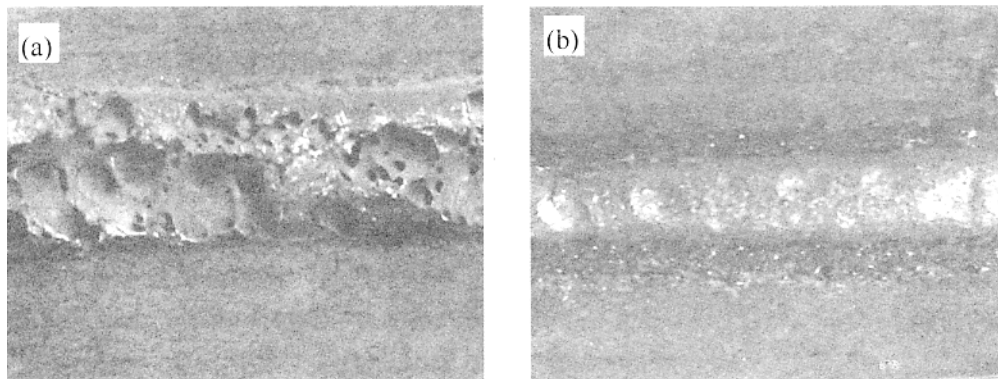


图2 冶金层的外观

Fig.2 Appearance of alloy coating

4 粘度在铁基合金粉末体系中的作用

铁基合金粉末适用于要求局部耐磨且抗冲击的零件^[6],基体多为钢铁材料,其最大优点是成本低且抗磨性能好,但是熔点高、流动性能差等缺点限制了它的应用。在同步送粉等离子表面冶金技术中,压缩等离子弧的温度可达到 10^6 K,克服了铁基合金粉末的缺点,可以获得流动性能较好的熔池。因此,研制一系列的铁基合金粉末体系,对于等离子表面冶金技术来说具有重大意义。

研制铁基合金粉末体系的关键不是如何提高冶金层的硬度,而是如何降低合金熔池的粘度,以获得成形较好的冶金层。因为铁基合金粉末体系本身的硬度比较高,抗磨性能好,其缺点是熔体的粘度大,易导致冶金层成形不好,经常会出现气孔。在铁基粉末体系中,V,Ti,W,Nb,Ni,Si,Mn,Al等合金元素作为常存元素,对冶金层的组织性能起的作用不同,但是调节其百分含量至关重要。合金粘度直接决定着冶金层的成形,一种粉末体系应用的成功与否首先决定于合金熔体的粘度,所以把粘度作为研制合金粉末体系的一个重要判据。

根据等离子表面冶金的结晶规律,可以通过调节电流和粉末体系中各合金元素的比例来调节熔体粘度,从而达到控制冶金层组织的目的。要获得以化合物为主的组织,可以添加使熔体粘度降低的元素如Si,Mn,Al等,或者增大电流,提高熔池的过热度;相反,要获得以枝晶固溶体为主的冶金层,可以

添加V,Ti,Nb等元素。

5 结 论

(1)影响等离子表面冶金熔池中合金熔体粘度的主要因素是电流和粉末体系中的合金元素,因此可通过调节电流和添加不同的合金元素来改变溶体的粘度。

(2)等离子表面冶金熔池中合金熔体的粘度直接影响着冶金层的质量,是提高冶金层质量的关键因素之一。

(3)熔体的粘度可作为开发研制等离子表面冶金粉末体系的判据,以进一步控制表面冶金层的组织形态。

参考文献:

- [1] 赵程,田丰,候俊英.等离子弧金属表面熔覆处理的研究[J].金属热处理,2002,27(2):3-5.
- [2] Li H Q, Liu B W, Li H D, et al. Study on Fe-based coating produced by plasma surface metallurgy[J]. Transactions of materials and heat treatment, 2004, 25(5):952-955.
- [3] Yan M, Zhu W Z. Surface remelting of Ni-Cr-B-Si cladding with a micro-beam plasma arc[J]. Surf Coat Technol, 1997, 92(2):157-163.
- [4] 毛裕文. 冶金熔体[M]. 北京:冶金工业出版社,1994.
- [5] Баум Б А. Металлические Жидкости[M]. Москва: Наука, 1979.
- [6] 李春彦,张松,康煜平,等.综述激光熔覆材料的若干问题[J].激光杂志,2002,23(3):5-9.

Study on melt viscosity of alloy in surface metallurgy by plasma beam

LIU Bang-wu, LI Hui-qi, ZHANG Li-min

(Department of Materials Science and Engineering in Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266510, China)

Abstract: The electric current and alloy elements in powder system are major factors for influencing melt viscosity in surface metallurgy by plasma beam. And the effect of viscosity on microstructure of the alloy coating is of great significance. The crystalline morphology will mainly shape as dendritic solid solution with increase of melt viscosity and the microstructure will show various shapes of compounds and matrixes with the decrease of melt viscosity. The paper put forward that melt viscosity should be regarded as a criterion to instruct development of alloy powder.

Key words: plasma beam; surface metallurgy; viscosity; Fe-based alloy powder