

文章编号:1673-9981(2009)01-0005-04

强流脉冲电子束处理 AZ91 镁合金的显微结构及磨损性能变化*

李旻才¹, 郝胜智², 董 闯^{1,2}

(1. 大连理工大学材料科学与工程学院, 辽宁 大连 116024; 2. 大连理工大学三束材料改性实验室, 辽宁 大连 116024)

摘 要: 挤压态 AZ91 镁合金经强流脉冲电子束(HCPEB)辐照后, 辐照表面出现熔坑. 通过 X 射线衍射仪分析样品表层显微结构的变化, 发现初始几次电子束脉冲轰击导致表面改性层中析出 Mg₁₇Al₁₂ 相, 此时样品耐磨损性能最好, 磨痕深度由处理前的 12.75 μm 降为 8.89 μm; 当增加轰击脉冲次数时, Mg₁₇Al₁₂ 相消失, 耐磨性能略有降低.

关键词: 强流脉冲电子束; 镁合金; 磨损

中图分类号: TG166.4 **文献标识码:** A

强流脉冲电子束(HCPEB)作为一种新兴的材料改性技术^[1-5], 主要特点是在真空条件下使入射电子能量瞬时沉积在试样表面, 材料表层迅速被加热(约 10⁸ K/s)到相变或熔化温度以上, 待脉冲结束后, 依靠材料基体导热迅速冷却(约 10⁷ K/s). 在此过程中, 热膨胀引起的动态应力会在整个材料中产生强烈作用, 导致材料表层性质发生明显变化.

近年来, 镁合金作为最轻的金属结构材料之一^[6], 在航空及汽车等工业中应用日趋广泛. 挤压态 AZ 系镁合金可以通过变形和后续热处理获得较好的力学性能和延展性. AZ91 镁合金具有易于铸造、易于加工、强度高、耐蚀性好等优点^[7-8]. 本文主要研究挤压态 AZ91 镁合金经强流脉冲电子束辐照处理后, 其显微结构和磨损性能的变化.

1 实验材料及方法

在 Nadezhda-2 型强流脉冲电子束装置上进行挤压态 AZ91 镁合金处理实验. 原始样品经线切割加工成长、宽、高分别为 15, 15, 2 mm 的试样, 机械研磨、抛光后, 用酒精清洗并吹干. 实验中处理工艺

参数: 工作真空度为 9×10^{-3} Pa, 加速电压分别为 23.4, 27 kV, 脉冲宽度为 1 μs, 靶极距离为 15 cm, 脉冲次数分别为 1, 3, 8, 15 次.

利用 XRD-6000 型 X 射线衍射仪分析样品的表层相结构. 在 UMT-2 型多功能摩擦磨损测量系统上进行摩擦磨损实验, 工作条件为无润滑、载荷 5 N、单位行程 5 mm、滑动速度 1 mm/s、磨损时间 20 min, 摩擦副为直径 5 mm 的 GCr15 磨球.

2 实验结果与讨论

2.1 表层显微形貌

图 1 为强流脉冲电子束处理后样品的表面形貌. 由于入射电子能量的最大沉积处位于电子射程的三分之一处, 所以材料的亚表层最先熔化, 然后膨胀并喷发, 最后形成火山坑状熔坑. 初始几个脉冲轰击, 样品表面形成高密度的熔坑. 随着脉冲处理次数的增加, 熔坑密度急剧减少, 熔坑直径逐渐增加. 当加速电压由 23.4 kV 增加到 27 kV 时, 由于电子入射深度的增加, 能量分布变深, 温度梯度减少, 导致热应力降低, 而束缚小液滴的覆盖层厚度则增加, 因

收稿日期: 2008-11-24

* 基金项目: 国家高技术研究发展 863 计划项目(2006AA03Z110)

作者简介: 李旻才(1983-), 男, 辽宁省抚顺市人, 博士.

此采用高加速电压轰击时,引起小液滴喷发的驱动力减少,并且形成的熔坑尺寸较大.图2为27 kV加

速电压下3次轰击后样品的截面形貌.从图2可以看到样品表层存在约7 μm 厚的改性层.

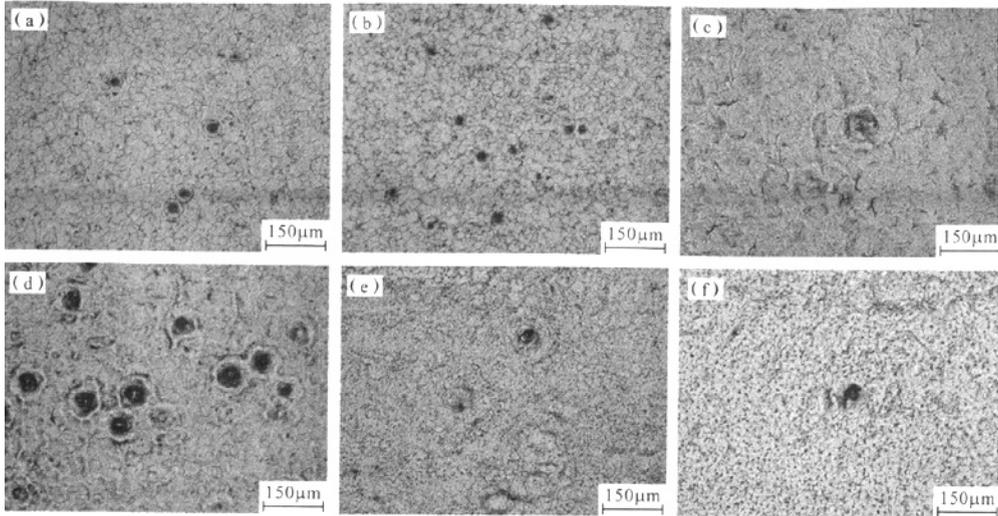


图1 经强流脉冲电子束处理后样品的表面形貌

(a)-(c)加速电压23.4 kV下分别轰击3,8,15次;(d)-(f)加速电压27 kV下分别轰击3,8,15次

Fig.1 Surface morphology of Mg-alloys AZ91

(a)-(c) 3, 8, 15 pulses under 23.4 kV, respectively; (d)-(f) 3, 8, 15 pulses under 27 kV, respectively

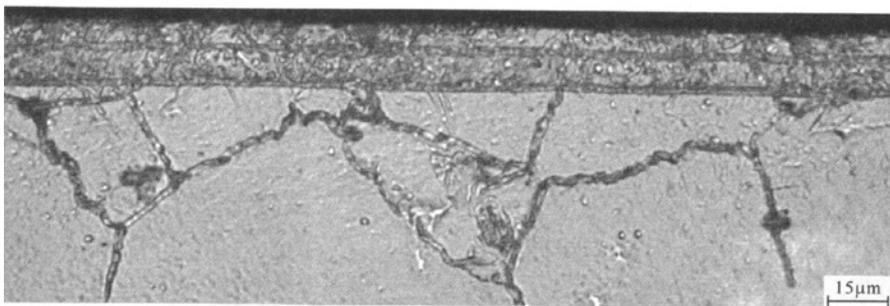


图2 经强流脉冲电子束27 kV、3次脉冲轰击后样品的截面形貌

Fig.2 Cross-sectional morphology of HCPEB irradiated sample by 3 pulses under 27 kV

2.2 X射线衍射分析

强流脉冲电子束处理前、后挤压态AZ91镁合金的X射线衍射分析结果如图3所示.由于原始镁合金在挤压过程中经过固溶处理, $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ 相溶入镁基体中形成过饱和固溶体,所以原始样品的X射线衍射分析中未发现 $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ 相的衍射峰.采用27 kV加速轰击时,3次脉冲处理的样品出现 $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ 相的衍射峰.而脉冲次数增加至8次时,衍射峰消失.采用较低的加速电压23.4 kV处理时,8次脉冲

出现 $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ 衍射峰,而15次脉冲 $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ 衍射峰也会消失.

用强流脉冲电子束轰击镁合金材料,材料表面会发生熔化,甚至汽化.由于镁的饱和蒸汽压高于铝,在轰击过程中镁容易挥发,所以材料表面镁的损耗要高于铝,造成表面铝的富集.随着铝富集的加剧,最终形成 $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ 相.如在27 kV加速电压下3次轰击出现 $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ 相衍射峰,而在23.4 kV加速电压下由于样品表面蒸发较少,则8次轰击出现 $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$

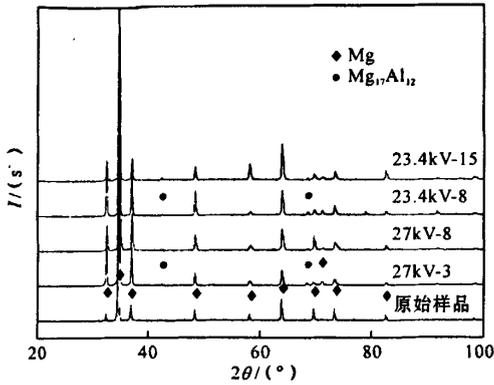


图3 强流脉冲电子束处理前、后 AZ91 样品的 X 射线衍射分析

Fig.3 XRD results of AZ91 samples in initial state and after the HCPEB treatment

相衍射峰. 在后续强流脉冲电子束处理过程中, 由于第二相与基体物理性能的差异, 第二相处能量沉积较高, $Mg_{17}Al_{12}$ 相更容易熔化、喷发或溶于基体中, 在 10^7 K/s 的冷却速度下形成室温下 Al 过饱和固溶体. 随着轰击次数继续增加, $Mg_{17}Al_{12}$ 相衍射峰消失.

2.3 磨损性能测试

图 4 为 AZ91 镁合金经强流脉冲电子束处理前、后磨损表面的形貌. 从图 4 可以看到, 试样磨损表面存在磨粒磨损特征的犁沟, 在犁沟表面还可以看到许多剥落坑, 这可能是在磨损过程中发生了粘着. 通过测量磨损表面的磨痕宽度, 可以看到经过强流脉冲电子束表面处理后, 镁合金表面磨痕宽度小于处理前.

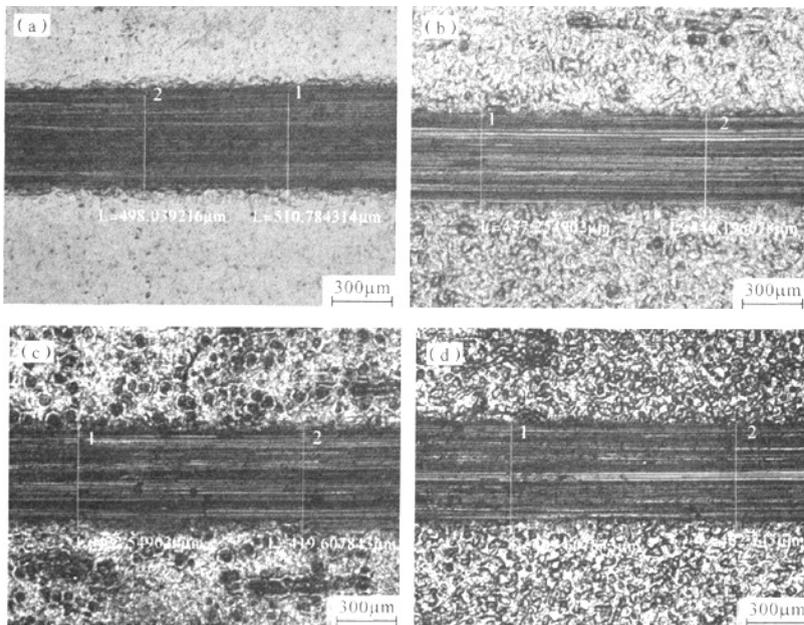


图 4 表面磨痕形貌

(a)原始试样;(b)在 27 kV 下 3 次轰击样品;(c)在 23.4 kV 下 8 次轰击样品;(d)在 23.4 kV 下 15 次轰击样品

Fig.4 Micrographs of worn traces

(a) initial sample;(b) 3 pulses under 27 kV;(c) 8 pulses under 23.4 kV;(d) 15 pulses under 23.4 kV

根据所测的磨痕宽度计算磨痕深度, 如图 5 所示. 由于 $Mg_{17}Al_{12}$ 相的弥散强化作用, 在加速电压 23.4 kV 下 8 次轰击以及 27 kV 下 3 次轰击时, 磨损性能提高最明显, 磨痕深度由轰击前的 $12.75 \mu m$ 分别降到 $8.89 \mu m$ 和 $9.64 \mu m$. 继续增加轰击脉冲

次数后, 磨损性能略有降低, 但仍高于处理前. 这是由于继续增加轰击脉冲次数后, $Mg_{17}Al_{12}$ 相消失, 使磨损性能略有降低, 这与 X 射线衍射分析结果相一致.

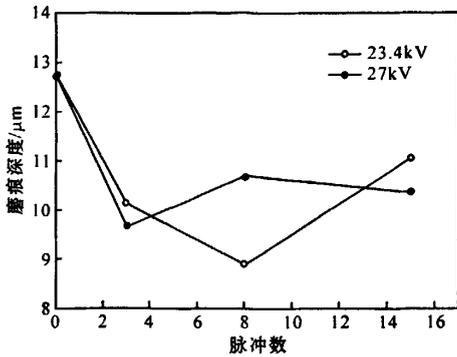


图5 加速电压、脉冲数对样品磨痕深度的影响

Fig.5 Depth of wear trace vs. pulse number and accelerating voltage used in HCPEB treatments

3 结论

经强流脉冲电子束处理后,挤压态 AZ91 镁合金表面出现熔坑,表层出现重熔,改性层厚度约为 7 μm。在加速电压 27 kV 和 23.4 kV 下,分别轰击 3 次和 8 次时,样品表层析出 Mg₁₇Al₁₂ 相,此时样品的耐磨损性能最好,磨痕深度由处理前的 12.75 μm 分别降到 9.64 μm 和 8.89 μm。继续增加轰击脉冲次数后,Mg₁₇Al₁₂ 相消失,磨损性能略有降低,但仍高于处理前。

参考文献:

[1] 赵铁钧,高波,田小梅,等. 纯镁强流脉冲电子束表面改

性及合金化研究[J]. 真空科学与技术学报,2008,28(1):11-15.

[2] GROSIDIER T,ZOU J X, STEIN N,et al. Texture modification, grain refinement and improved hardness/corrosion balance of a FeAl alloy by pulsed electron beam surface treatment in the "heating mode"[J]. Scripta Materialia, 2008, 58: 1058-1061.

[3] HAO Shengzhi, WU Pingsheng, ZOU Jianxin, et al. Microstructure evolution occurring in the modified surface of 316L stainless steel under high current pulsed electron beam treatment[J]. Applied Surface Science, 2007, 253(12):5349-5354.

[4] GUAN Q F, ZOU H, ZOU G T, et al. Surface nanostructure and amorphous state of a low carbon steel induced by high-current pulsed electron beam[J]. Surface and Coatings Technology, 2005, 196(1-3):145-149.

[5] 安健,李荣广,陈春梅,等. 强流脉冲电子束表面改性 Al-Pb 合金的摩擦磨损行为研究[J]. 摩擦学学报, 2007, 27: 97-101.

[6] 刘金海,李国祿,刘根生. 镁合金成形工艺及应用研究进展[J]. 轻合金加工技术, 2001, 29(8):1-4.

[7] CIZEK L, GREGER M, PAWLICA L, et al. Study of selected properties of magnesium alloy AZ91 after heat treatment and forming[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2004, 157-158:466-471.

[8] LU Y Z, WANG Q D, DING W J, et al. Fracture behavior of AZ91 magnesium alloy[J]. Materials Letters, 2000, 44:265-268.

Effect of high current pulsed electron beam treatment on microstructure and wear resistance of AZ91 magnesium alloy

LI Min-cai¹, HAO Sheng-zhi², DONG Chuang^{1,2}

(1. School of Material Science and Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China; 2. Laboratory for Material Modification by laser, Ion and Electron Beams, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: Surface modification of magnesium alloy AZ91 by high current pulsed electron beam (HCPEB) was investigated in this work. Crater-like defects were found on the modified surface after irradiation of HCPEB. An Mg₁₇Al₁₂ phase was formed in the surface modified layer irradiated by HCPEB at the initial several pulses examined by X-ray diffractometer (XRD). The wear resistance of modified samples was the better compared with the samples without irradiation, the depth of wear trace decreased from 12.75 μm for initial sample to 8.89 μm for modified samples. When increasing the cycle number of HCPEB pulses for irradiation, the Mg₁₇Al₁₂ phase disappeared and the wear resistance descended slightly.

Key words: high current pulsed electron beam; magnesium alloy; wear