

DOI: 10.16410/j.issn1000-8365.2019.07.004

搅拌摩擦加工对 AZ91 镁合金微观组织及 裂纹扩展性能的影响

王天鹏¹, 张红霞^{1,2}, 闫志峰¹, 韩 曦¹, 李锦鹏¹

(1. 太原理工大学材料科学与工程学院, 山西太原 030024; 2. 教育部与山西省界面科学与工程重点实验室, 山西太原 030024)

摘 要: 对铸态 AZ91 镁合金进行搅拌摩擦加工, 通过光学显微镜, 扫描电镜进行组织及断口分析。结果表明, 观察发现晶粒得到极大细化, 第二相融入基体。对其裂纹扩展行为研究发现, 抵抗裂纹扩展能力提高, 加工之后的裂纹扩展断口出现韧窝, 相比母材呈现塑性断裂的特征, 发生脆韧转变。

关键词: AZ91 镁合金; 搅拌摩擦加工 (FSP); 裂纹扩展

中图分类号: TG146.2; TG113

文献标识码: A

文章编号: 1000-8365(2019)07-0646-03

Effect of Friction Stirring on Microstructure and Crack Propagation Properties of AZ91 Magnesium Alloy

WANG Tianpeng¹, ZHANG Hongxia^{1,2}, YAN Zhifeng¹, HAN Xi¹, LI Jinpeng¹

(1. School of Materials Science and Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China; 2. Key Laboratory of Interface Science and Engineering in Advanced Materials Ministry of Education and Shanxi Province, Taiyuan 030024, China)

Abstract: The as-cast AZ91 magnesium alloy was prepared by friction stir processing, and the microstructure and fracture were analyzed by optical microscopy and scanning electron microscopy. The results show that the grains are greatly refined and the second phase is incorporated into the matrix. It is found from the study of crack propagation behavior that, with the improvement of crack propagation resistance, dimples appear at the crack propagation fracture after processing, and the brittle and ductile transition occurs compared with the plastic fracture characteristic of the base materials.

Key words: AZ91 magnesium alloy; friction stir processing (FSP); crack propagation

镁合金具有小密度、高比强度和比刚度, 优良的机械加工性能, 抗蠕变性能等优点, 有利于环境, 被称为本世纪的“绿色材料”^[1,2]。铸态 AZ91 镁合金应用较为广泛, 由于其晶体结构是密排六方, 所以变形能力较差^[3]。搅拌摩擦加工是在搅拌针的强烈机械作用下, 使得晶粒得到细化, 实现完全再结晶^[4]。实际服役条件下, 镁合金及其焊接结构件不可避免地承受交变循环载荷, 其中疲劳断裂引起的损伤占整个失效形式的 80% 以上^[5]。Cavaliere P 等^[6]对 AZ91 镁合金进行搅拌摩擦加工, 对比前后的性能, 发现处理之后的合金显示出好的室温强度和延展

性由于加工之后晶粒细小, 并且消除铸造缺陷, 疲劳寿命也得以提高。

搅拌摩擦加工对于 AZ91 镁合金的力学性能和微观结构有很大的影响, 本文通过搅拌摩擦加工研究 AZ91 镁合金的组织及裂纹扩展行为研究, 说明塑性加工对镁合金的重要意义。

1 试验方法及材料

对 10 mm 厚铸态 AZ91 镁合金板进行搅拌摩擦加工, 材料成分如表 1, 搅拌头旋转速度 500 r/min, 焊接速度 100 mm/min, 裂纹扩展试样预制 2 mm 裂纹缺口开在焊核中心, 然后与母材的裂纹扩展试样 (如图 1) 进行比较其裂纹扩展性能。对其焊核区组织切取金相试样, 经过砂纸打磨抛光之后, 在 3% 硝酸酒精溶液中腐蚀, 观察组织金相。并对其裂纹扩展断口进行分析。

表 1 AZ91 镁合金化学成分 w(%)

Tab.1 Chemical composition of AZ91 magnesium alloy

Al	Zn	Cu	Fe	Mn	Ni	Si	Mg
9.39	0.63	0.000 8	0.001 8	0.22	0.000 64	0.027	Bal

收稿日期: 2019-03-21

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (51505322, 51505321)

作者简介: 王天鹏 (1991-), 山西朔州人, 硕士生, 研究方向: 材料连接及其界面行为研究。电话: 17503515083,

E-mail: 907859879@qq.com

通讯作者: 张红霞 (1968-), 女, 山西临猗人, 博士, 教授。研究方向: 材料连接及其界面行为研究。

E-mail: hongxiazhang@163.com

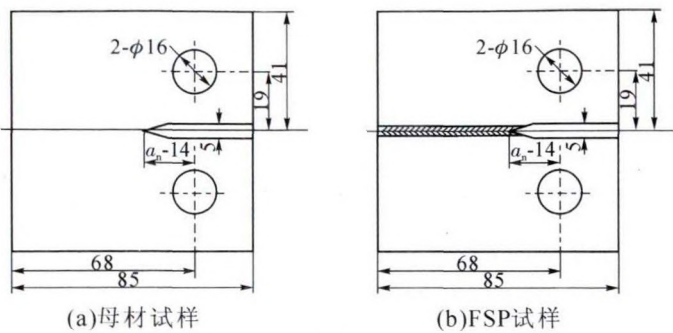


图 1 镁合金疲劳裂纹扩展试样

Fig.1 The fatigue crack specimens of magnesium alloy

2 试验结果及讨论

AZ91 镁合金以及经过搅拌摩擦加工之后的金相组织如图 2,未经处理晶粒尺寸比较粗大,而且正在晶界处分布粗大的 β -Mg₁₇Al₁₂ 相,而经过 FSP 之后,第二相消失,晶粒呈现细小的等轴晶状态,说明在搅拌针的强烈机械搅拌作用下,发生完全动态再结晶,第二相融入基体。

图 3 为镁合金裂纹扩展长度和加载循环次数关系图,由图可以看出经过 FSP 之后再同样的裂纹扩展长度下,FSP 试样需要更大的加载载荷及更多的循环次数。但是总体规律类似:加载载荷较小的试样具有最高的疲劳寿命;裂纹扩展初期,裂纹长度增加较慢,其扩展时间占据大部分扩展周期,裂纹扩展末期,裂纹长度在相对较小的加载循环下快速增加。

如图 4,为 AZ91 镁合金母材裂纹扩展断口,存在

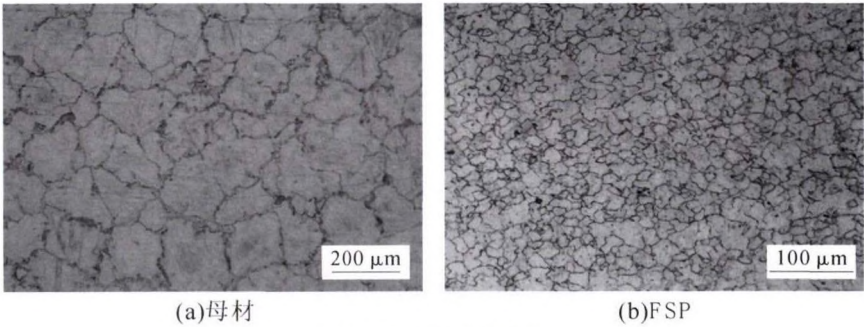


图 2 AZ91 镁合金金相

Fig.2 Microstructure of AZ91 magnesium alloy

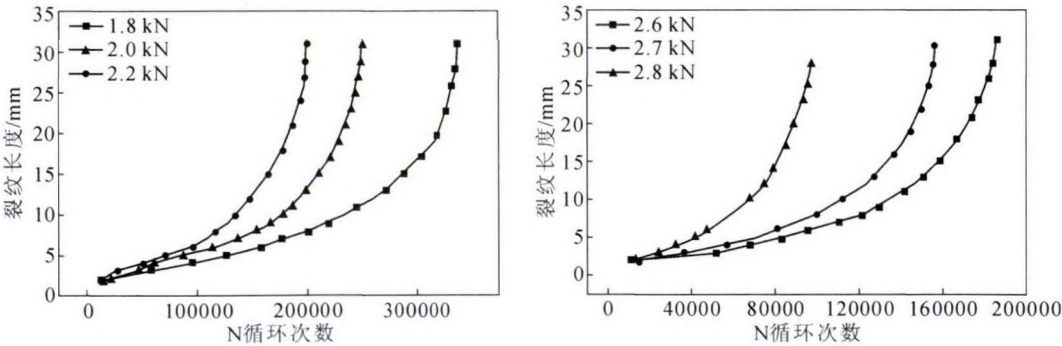


图 3 不同试样的裂纹长度和循环次数的 a-N 曲线

Fig.3 The a-n curves of crack lengths and cycles of different samples

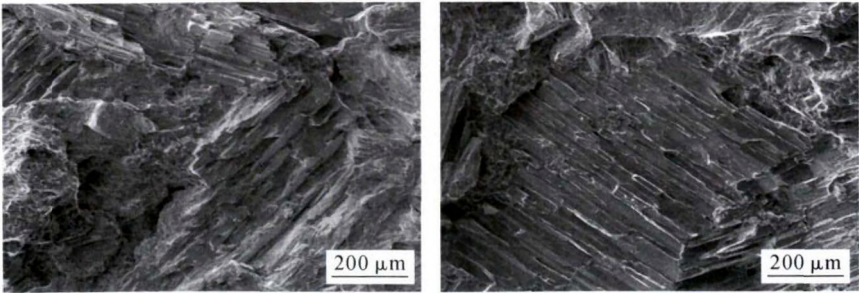


图 4 母材裂纹扩展断口 SEM 形貌

Fig.4 SEM images of fracture surfaces of base metal

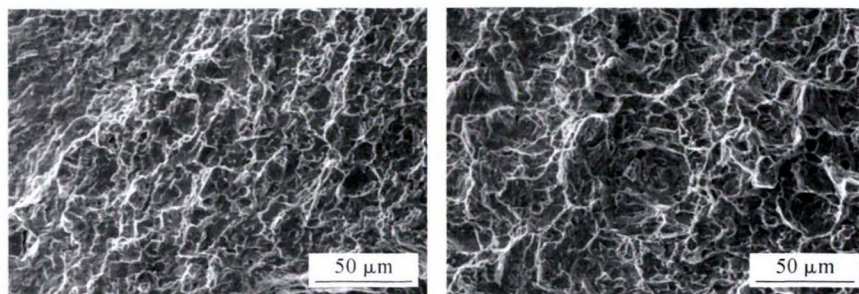


图 5 FSP 裂纹扩展断面 SEM 形貌
Fig.5 SEM images of fracture surfaces of FSP

许多撕裂棱及大量层片状结构,整体表现比较明显的脆性断裂特征。图 5 为 FSP 试样的裂纹扩展断面,韧窝较为明显,还有白色的撕裂棱存在,相比母材,表现一定的塑性,所以经过 FSP 可以提高材料的塑性。

3 结论

(1)经过搅拌摩擦加工, AZ91 镁合金晶粒得到细化,粗大的第二相融入基体。

(2)搅拌摩擦加工之后,材料抵抗裂纹扩展的能力得以提高。

(3)相比母材,搅拌摩擦加工之后裂纹扩展断面出现韧窝表现为明显的塑性。

参考文献:

[1] Baghni I M, 吴荫顺, 李久青, et al. Mechanical properties and po-

tential applications of magnesium alloys [J]. 中国有色金属学报 (英文版), 2003, 13(6):1253-1259.

[2] Uematsu Y, Tokaji K, Matsumoto M. Effect of aging treatment on fatigue behaviour in extruded AZ61 and AZ80 magnesium alloys [J]. Materials Science & Engineering A, 2009, 517(1):138-145.

[3] 毛萍莉,王峰,刘正. 镁合金热力学及相图[M]. 北京:机械工业出版社, 2015.

[4] Asadi P, Faraji G, Besharati M K. Producing of AZ91/SiC composite by friction stir processing (FSP)[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2010, 51(1-4):247-260.

[5] 方洪渊. 焊接结构学 [M]. 北京:机械工业出版社, 2008.

[6] Cavaliere P, Marco P P D. Superplastic behaviour of friction stir processed AZ91 magnesium alloy produced by high pressure die cast[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2007, 184(1): 77-83.

(上接第 645 页)

拉强度下降 20%左右,该区域出现较多以骨架状聚集成片存在于共晶 γ' 周围的 M_3B_2 , 该相已经碎裂并成为裂纹扩展路径。

(3)在针对大型铸件进行合金成分设计时,需兼顾 B 元素偏析行为和合金流动性,其含量需进一步调整。

参考文献:

[1] 赵会彬,吴昌新,郭灵. 1 100 °C 等温锻造用模具材料的研制[J]. 材料工程, 2009, 增刊(1):18-21.

[2] Tongjin Zhou, Wei Feng, Huibin Zhao, et al. Coupling effects of tungsten and mlybdenum on microstructure and stress rupture properties of a nickel-base cast superalloy [J]. Progress in Natural Science:Materials International, 2018(28):45-53.

[3] 赵会彬,冯微,周同金. 大型镍基高温合金铸件中初生 M_6C 碳化物的分布规律[J]. 铸造技术, 2017, 38(6):1288-1291.

[4] 郑运荣,郑亮,曾强,等. 初生 M_6C 的形成及其对高钨铸造模具高温合金的影响[J]. 金属学报, 2004, 40(3):285-290.

[5] 郑运荣. 我国低铬高钨系列铸造镍基高温合金的发展与应用[J]. 航空材料学报, 2003(23):230.

[6] 裴丙红. 论 GH901 合金真空熔炼铸锭中硼的宏观偏析[J]. 特钢技术, 2006, 12(48):5-13.

[7] 周静怡,赵文侠,郑真,等. 硼含量对 IC10 高温合金凝固行为的影响[J]. 材料工程, 2014(8):90-96.

[8] 贺信莱,褚动义,柯俊. 硼向奥氏体晶界的非平衡偏聚[J]. 金属学报, 1982, 18(2):1-9.

[9] 冯微,赵会彬,周同金,等. 一种镍基合金铸件高温拉伸性能的研究[J]. 铸造, 2017, 66(12):1313-1316.

[10] Tongjin Zhou, Hongsheng Ding, Xiuping Ma, et al. Microstructure and stress-rupture life of high W content cast Ni-based superalloy after 1 000~1 100 °C thermal exposures [J]. Materials Science & Engineering A, 2018(725):299-308.

[11] 李玉清,刘锦岩. 高温合金晶界间隙相[M]. 北京:冶金工业出版社, 1990.

[12] 郑亮,肖程波,唐定中. 高 B 低 C 高温合金 K405B 组织及性能研究 // 动力与能源用高温结构材料第十一届中国高温合金年会论文集[C]. 北京:冶金工业出版社, 2007, 309-312.

[13] 郑运荣,蔡玉林,高平. 微量合金化对 K5 合金凝固过程的影响[J]. 航空材料学报, 1983, 3(1):23-29.

[14] 陈国胜,金鑫,周莫华,等. 硼含量对镍基合金 GH4049 晶界析出相和高温性能的影响[J]. 金属学报, 2005, 41(6):622-626.

[15] 范映伟,候淑娥,宋尽霞,等. B 含量对 IC6 合金微观组织的影响[J]. 中国有色金属学报, 2005, 15(10):57-61.

[16] 史世凤,胡博伟,范强,等. 合金成分和工艺参数对镍基铸造高温合金 GMR235 组织和性能的影响 [J]. 稀有金属材料与工程, 2011, 40(11):2038-2042.