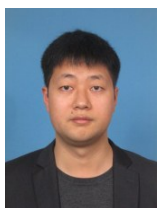


文章编号:1673-9981(2021)05-0525-04

时效状态对 Al-5.9Zn-0.8Mg 合金压溃性能的影响

万里¹, 邓涛涛¹, 刘荣超¹, 王凯²

(1. 佛山市三水凤铝铝业有限公司, 广东 佛山 528100; 2. 佛山科学技术学院, 广东 佛山 528000)



摘要: 通过电子万能试验机、透射电镜等,研究了不同时效状态对半连续铸造的 Al-5.9Zn-0.8Mg 合金压溃性能的影响。结果表明:T4(30 d 常温停放)状态试样的抗拉强度接近于 T6(T4+120 °C/24 h)状态试样的抗拉强度,合金表现出强烈的自然时效效应;T7(T6+170 °C/10 h)状态试样抗拉强度低于 T6 状态试样,但两状态屈服强度接近;各状态试样的断后综合延伸率(A_{50})数值在 15%~16% 之间,T4、T6 和 T7 的均匀延伸率(A_g)分别为 15.2%、13.1% 和 8.5%;均匀塑性变形程度最高的 T4 状态试样在压溃过程中发生脆性开裂,而出现严重颈缩现象的 T7 状态试样则能在压溃过程中均匀折皱,其压溃性能最优。

关键词: Al-Zn-Mg 合金;时效状态;延伸率;压溃性能

中图分类号: TG146.2

文献标识码: A

引文格式: 万里, 邓涛涛, 刘荣超, 等. 时效状态对 Al-5.9Zn-0.8Mg 合金压溃性能的影响[J]. 材料研究与应用, 2021, 15(5): 525-528.

WAN Li, DENG Taotao, LIU Rongchao, et al. Effect of ageing temper on the crushing property of Al-5.9Zn-0.8Mg alloy[J]. Materials Research and Application, 2021, 15(5): 525-528.

汽车轻量化在显著提高其燃油效率的同时也降低了二氧化碳等气体的排放。而铝合金凭借其低密度和高比强度在传统的燃油汽车和新能源汽车零部件上得到了广泛的应用,如安全碰撞件、仪表盘、电池托盘等^[1-2]。为了实现汽车的整体减重,各部件在设计制造过程中往往都采用中空薄壁的复杂截面型材。考虑到热挤压过程中的可加工性,6xxx 系合金成为了铝合金在汽车轻量化应用中的主要合金,常规的应用牌号有 6063, 6061, 6005A, 6082 及不含 Cu 的 7xxx 系铝合金等^[3-4]。对于安全碰撞件而言,如侧纵梁等,为了实现对乘客人身安全的保护,其在发生碰撞时对外来冲击功的吸收能力显得至关重要。因此,对型材所需具备的碰撞吸能特性提出了更加严格的要求。现有的研究表明^[5-12],通过对型材进行合

理的结构设计(如外形结构及 R 角大小等)可使型材的吸能效果得到较大的提升,材料具备的宏观织构与微观强化相粒子的构成与分布显著影响材料的碰撞吸能效果。以中高强度的 Al-5.9Zn-0.8Mg 合金为对象,重点研究了时效状态对合金压溃行为的影响,以期为提高 7xxx 合金在汽车上的应用提供数据支撑。

1 试验材料与研究方法

采用 20T 熔炼炉并通过双级除气+双级过滤,获得直径为 320 mm 的 Al-5.9Zn-0.8Mg 合金圆铸锭。铸造完成后将铸锭转移至 30 T 均质炉中进行 450 °C 保温 24 h 的均质处理,在出炉后强风冷却至

收稿日期:2021-10-28

基金项目:佛山市核心技术攻关项目(1920001000409);广东省重点研发计划(2020B010186002)

作者简介:万里(1986-),男,四川自贡人,博士,主要研究方向为高性能铝合金的成分设计与制造

350 °C以下,再进行喷水冷却至室温.在40MN挤压机上进行型材的热挤压,其中挤压温度为 490 ± 10 °C、模具温度为 480 ± 10 °C、型材出料速度为 6 ± 0.5 m/min.采用强风冷,需在2 min内将型材冷却至100 °C以下.力学性能实验在Zwick万能试验机上进行,压溃实验在100 T的MTS-SANS万能试验机上进行,图1为实验示意图.利用FEI Tecnai G² F20透射电镜对试样进行观察,其中电解双喷液为 ψ (硝酸): ψ (甲醇)=1:2,温度控制在-30 °C以下,电流控制在60~100 mA之间.

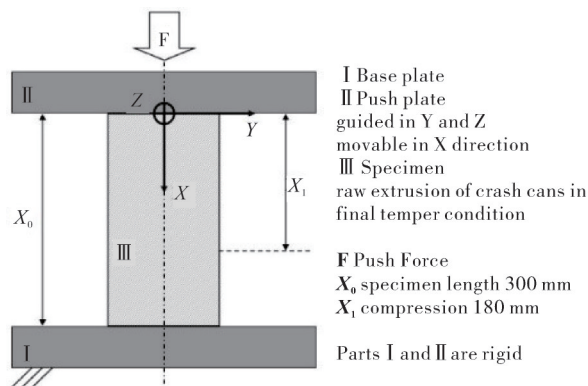


图1 压溃实验示意图

Fig. 1 Schematic diagram of crushing test

2 结果与讨论

图2为不同时效状态下Al-5.9Zn-0.8Mg合金型材进行压溃实验后的宏观照片.从图2(a)可以看出:T4(常温停放30 d)状态的试样,在压溃过程中不能通过褶皱变形来协调外载荷对体系的作用,直接出现了开裂.从图2(b)和图2(c)可见:T6(T4+120 °C/24 h)和T7(T6+170 °C/10 h)状态的试样,在整个压溃过程结束后沿型材挤压方向保留

了数个褶皱;对比T6和T7试样发现,T7试样在压溃过程中型材整个截面的变形更加均匀.

图3为三个不同时效状态下压溃试样转角位置的变形情况.从图3(a)可以看出,压溃过程中直接开裂的T4状态试样,其开裂位置的断口呈45°纯剪切开裂.从图3(b)可见:在压溃过程中能通过褶皱来协调外载荷作用的T6和T7状态试样,在褶皱局部也表现出不同的变形能力;对于T6状态试样,在其型材发生剧烈变形的褶皱区同样出现了断续的呈45°的剪切变形开裂.从图3(c)可见,T7状态试样在型材发生剧烈变形的褶皱区,其外表面仍然保持光滑,表现出良好的抗折叠变形能力.

三个不同时效状态试样的力学性能如图4所示.通过图4(a)的力学性能曲线及试样断口附近的宏观形貌对比可以发现,T7状态试样在断裂前发生了剧烈的颈缩变形.对三个时效状态力学性能曲线上试样的抗拉强度、屈服强度及延伸率进行统计,其结果如图4(b)和图4(c)所示.从图4(b)可以看出:T4状态试样的抗拉强度与T6状态试样的相近.T6状态试样的屈服强度与T7状态试样的接近,但抗拉强度有所下降,三个状态试样呈现出屈强比逐渐升高的趋势.从图4(c)可见:三个时效状态试样的综合延伸率,T7状态试样的略低于T4和T6状态试样,均在15%~16%;而对比试样的均匀延伸率,T4状态试样的数值最高,接近于综合延伸率,也就是说T4状态试样的整个拉断过程为均匀塑性变形过程;T6状态试样的均匀延伸率约为13.1%,在试样发生断裂前表现出了一定的颈缩过程;而T7状态试样的均匀延伸率则下降至约8.5%,在试样发生断裂前出现了剧烈的颈缩变形过程.因此,综合实验结果,表明在综合延伸率一定的情况下,试样在发生开裂前出现剧烈颈缩过程可使材料具有更加优异的抗局部变形的能力.



图2 不同时效状态下Al-5.9Zn-0.8Mg合金型材进行压溃实验后的宏观照片

(a) T4; (b) T6; (c) T7

Fig. 2 Photos of Al-5.9Zn-0.8Mg alloy profiles after crushing tests under different aging tempers

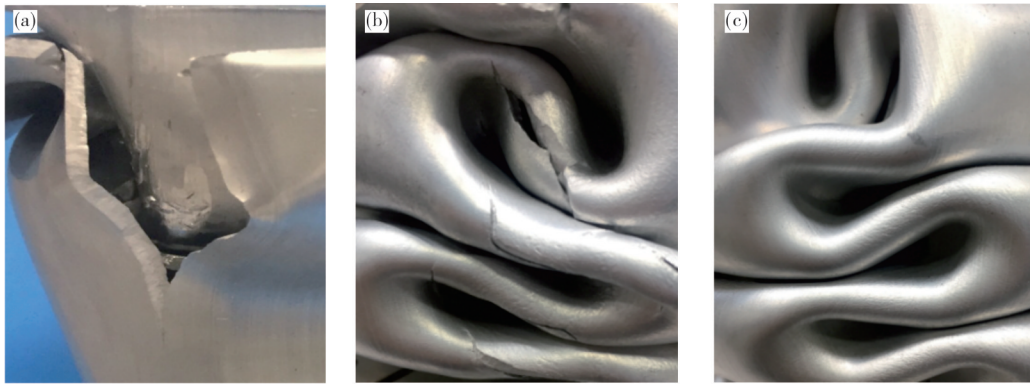


图 3 不同时效状态下 Al-5.9Zn-0.8Mg 合金压溃型材转角位置的宏观照片
(a) T4; (b) T6; (c) T7

Fig. 3 Photos of corner positions of Al-5.9Zn-0.8Mg alloy crushed profiles under different aging tempers

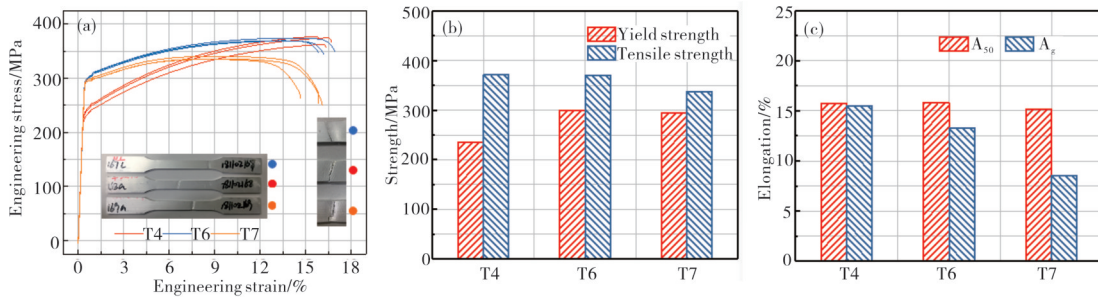


图 4 不同时效状态下 Al-5.9Zn-0.8Mg 合金型材的力学性能数据
(a) 工程应力-应变曲线; (b) 强度; (c) 延伸率

Fig. 4 Mechanical properties of Al-5.9Zn-0.8Mg alloy profiles under different aging tempers
(a) engineering stress-strain curve; (b) strength; (c) elongation

图 5 为 T4, T6 和 T7 时效状态下典型的透射电镜照片. 从图 5 可以看出, 各状态试样基体中都弥散析出了大量的强化相粒子, T4 状态试样析出相粒子的尺寸最小且粒子与粒子间的间距最小, T7 状态试样析出相粒子的尺寸最大且粒子与粒子间的间距也最大, 这表明合金存在显著的自然时效效应, 人工

时效过程促进了过饱和固溶体的脱溶. 对每种状态各 10 张照片进行统计, T4, T6 与 T7 状态试样析出相粒子的尺寸分别约为 0.96, 2.6 和 5.2 nm. T4 状态试样由于基体中析出的第二相粒子细小, 粒子容易被位错切割, 在塑性变形过程中其对位错运动的阻碍作用有限. 同时, 由于 T4 状态基体中粒子与

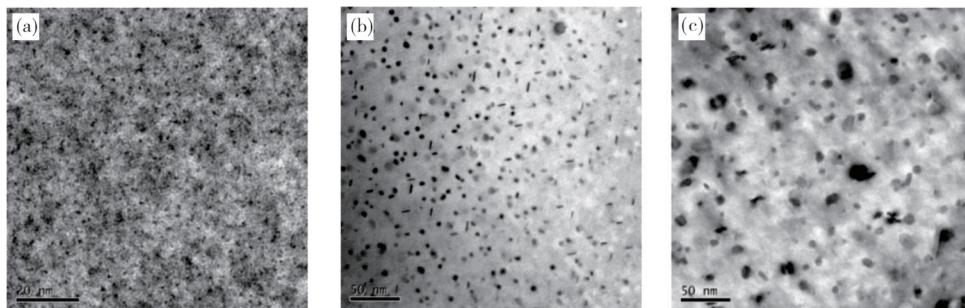


图 5 不同时效状态下 Al-5.9Zn-0.8Mg 合金的透射电镜照片
(a) T4; (b) T6; (c) T7

Fig. 5 TEM micrographs of Al-5.9Zn-0.8Mg alloy under different aging tempers

粒子间的间距小,在拉伸过程中容易产生强烈的加工硬化,而出现全面均匀塑性变形行为。由于T7状态试样基体中第二相粒子的尺寸较大,位错无法切开这些大尺寸的第二相粒子,粒子间的无析出区域可对拉伸/压缩过程的塑性变形进行协调,使材料具备更加优异的局部变形能力,从而大大提高了材料的压溃性能。

3 结 论

(1) Al-5.9Zn-0.8Mg合金的屈强比,随其时效过程的进行(T4→T6→T7)逐渐增大。

(2) T4状态试样具有良好的均匀塑性变形能力,而T7时效状态试样在断裂前会发生剧烈的颈缩变形。

(3) 试样断裂前出现的颈缩过程,使材料具有更加优异的抗局部变形的能力,从而提高了试样的压溃性能。

参考文献:

- [1] 万银辉,王冠,刘志文,等. 6061铝合金汽车保险杠横梁的碰撞性能[J]. 机械工程材料, 2012 36(7):67-71.
- [2] 宋冰. 7003铝合金汽车保险杠型材生产工艺的研究[J]. 冶金丛刊, 2016,222(2):16-20.
- [3] 叶拓,王冠,姚再起,等. 汽车用6xxx系铝合金薄壁件的韧性断裂行为[J]. 中国有色金属学报, 2014 24(4): 878-887.
- [4] 丁向群,何国求,陈成澍,等. 6000系汽车车用铝合金

的研究应用进展[J]. 材料科学与工程学报, 2005 23(2):302-305.

- [5] 万鑫铭,徐小飞,徐中明,等. 汽车用铝合金吸能盒结构优化设计[J]. 汽车工程学报, 2013 3(1):19-25.
- [6] 米林,魏显坤,万鑫铭,等. 基于低速碰撞试验的吸能支架拓扑优化设计[J]. 重庆理工大学学报:自然科学, 2012 26(6):11-15.
- [7] OSTERREICHER J, SCHIFFL A, FALKINGER G, et al. Microstructure and mechanical properties of high strength Al-Mg-Si-Cu profiles for safety parts[J]. IOP Conference Series Materials Science and Engine, 2016, 119: 012028.
- [8] 万里,刘荣超,张勇,等. 时效工艺对汽车用6061铝合金型材压溃性能的影响[J]. 材料导报, 2021 35(8): 99-102.
- [9] COSTA M, PEIXINHO N. Improvement of crash energy absorption in aluminium components through temperature altered triggers [M/OL]. Journal of Engineering and Technology, 2015. <https://www.researchgate.net/publication/278303580>.
- [10] YAN L, FAN J K. In-situ SEM study of fatigue crack initiation and propagation behavior in 2524 aluminum alloy[J]. Materials Design, 2016 110(11):592-601.
- [11] IKAWA S, ASANO M, KURO D M, et al. Effect of texture variation through sheet thickness on bendability in aluminum alloy sheet[J]. J Japan Inst Light Metals, 2011 61(2):53-59.
- [12] NAKANISHI H, ASANO M, YOSHIDA H. Effect of aging precipitates on the bendability of an Al-Mg-Si alloy [J]. Journal of Japan Institute of Light Metals, 2014 64(6):235-240.

Effect of ageing temper on the crushing property of Al-5.9Zn-0.8Mg alloy

WAN Li¹, DENG Taotao¹, LIU Rongchao¹, Wang Kai²

(1. Foshan SanshuiFengluAluminium CO., Ltd., Foshan 528100, China; 2. School of Mechatronic Engineering and Automation, Foshan University, Foshan 528055, China)

Abstract: The effects of different aging temper on the crushing behavior of semi-continuous casting Al-5.9Zn-0.8Mg alloy were studied by Electronic Universal Testing machine and Transmission Electron Microscope. The results show that the tensile strength of T4 (30 days at room temperature) is close to that of T6 (T4+120 °C/24 h) state sample. This alloy shows a strong natural aging behavior. The tensile strength of T7 (T6+170 °C/10 h) specimen is lower than that of T6 specimen, but the yield strength of the two states is close. The value of comprehensive elongation after fracture (A_{50}) of samples in each temper is 15%-16%. The uniform elongation (A_g) of T4, T6 and T7 specimens are 15.2%, 13.1% and 8.5%, respectively. The T4 temper specimen with the highest uniform plastic deformation undergoes brittle cracking during the crushing process, while the T7 temper specimen with severe necking can wrinkle uniformly in the crushing process. The crushing property of T7 temper is the best.

Key words: Al-Zn-Mg alloy; aging temper; elongation; crushing property