

挤压比对低温挤压 ZA15 锌合金 组织和力学性能的影响

孙世能, 王利卿, 任玉平, 秦高梧
(东北大学 材料各向异性与织构教育部重点实验室, 辽宁 沈阳 110819)

摘 要: 利用拉伸试验和扫描电镜,研究了在 150 ℃,挤压比对反向挤压 ZA15 锌合金的微观组织和力学性能的影响. 结果表明:随着挤压比的增加,ZA15 锌合金室温抗拉强度有所提高,但都在 150 MPa 以下. 其伸长率在 160% ~ 180% ,具有室温超塑性. 这主要是由于均匀化后形成的($\alpha + \eta$)片层共析组织经塑性变形后转变成以 η 相为基体, α 相呈粒状弥散分布组织. 这意味着采用低温常规挤压制备 ZA15 锌合金即可获得室温超塑性,同时,其力学性能也能够满足热喷涂 ZA15 锌合金线材的新标准要求.

关 键 词: ZA15 锌合金;挤压比;显微组织;力学性能;反向挤压
中图分类号: TG 146. 13 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-3026(2017)01-0042-04

Effects of Extrusion Ratio on Microstructure and Mechanical Property of ZA15 Zn Alloy Extruded at Lower Temperature

SUN Shi-neng, WANG Li-qing, REN Yu-ping, QIN Gao-wu
(Key Laboratory for Anisotropy and Texture of Materials, Ministry of Education, Northeastern University, Shenyang 110819, China. Corresponding author: QIN Gao-wu, E-mail: qingw@smm.neu.edu.cn)

Abstract: The effects of extrusion ratio on microstructures and mechanical properties of ZA15 Zn alloy extruded at 150 ℃ were investigated by microscopy and tensile test. The results showed that the tensile strength of the extruded ZA15 Zn alloy is improved with increasing of the extrusion ratio, but all are lower than 150 MPa. And the tensile elongation remains about 160% ~ 180% , which is the feature of room temperature superplasticity. This is mainly because the lamellar eutectoid microstructure composed of $\alpha + \eta$ phases formed by heat treatment is transformed into one consisting of the η matrix and small α phase particle with dispersive distribution through plastic deformation. It implies that the room temperature superplasticity can be obtained in the ZA15 Zn alloy manufactured by the common extrusion at lower temperatures, and the mechanical properties can be satisfied with the new standard of the ZA15 Zn alloy wire used to thermal spraying industry.

Key words: ZA15 Zn alloy; extrusion ratio; microstructure; mechanical property; backward extrusion

Zn-15% Al(ZA15)锌合金线材具有良好的耐蚀性和综合力学性能,而被广泛应用于复杂钢结构的热喷涂防腐^[1-4]. 随着对防腐热喷涂设备要求的提高,为了减少合金线材在送丝的过程中遇到的阻力,要求降低并稳定锌铝合金线材的抗拉强度在 150 MPa 以下,伸长率大于 40% ,以减少堵枪的发生^[5]. 当前的 ZA15 锌合金丝的制备工艺是在共析温度(277 ℃)左右挤压成棒材+多道次减径拉拔至实际需要的尺寸. 其挤压棒材的抗拉强度在 220 MPa 左右,伸长率约为 50% ,组

织形貌是片粒混合^[6-7],其拉拔后的线材抗拉强度为 210 MPa 左右,伸长率在 75% 左右,组织形貌没有发生明显改变,只是稍微细化了一些^[8-10].而钱国统等采用轴向挤压+拉拔制备的 ZA15 锌合金线材其抗拉强度在 220 MPa 左右,伸长率在 80% 左右,得到的基本是粗大不均匀粒状组织形貌.而采用径向挤压+拉拔制备的 ZA15 锌合金线材其抗拉强度在 175 MPa 左右,伸长率在 110% 左右,得到的基本是细小的粒状组织形貌^[11].这意味着如何制备出细小均匀的粒状组织是 ZA15 锌合金线材获得低强高塑的关键.与 Fe-C 合金相似,在 Zn-Al 合金中也存在相似的共析反应^[12].片层的共析钢组织经过低温热变形处理获得粒状组织,可以使塑性提高,而强度降低^[13-15].因此,本文研究了在 150 ℃ 低温条件下,反向挤压制备 ZA15 锌合金线材的组织 and 力学性能,并探讨了挤压比对其组织与性能的影响,从而为低强高塑 ZA15 锌合金的制备提供基础性数据.

1 实验材料和实验方法

实验选用 99.99% Zn 和 99.99% Al (质量分数)来制备 ZA15 锌合金,其化学成分是 Al 质量分数为 14.8%,其余为 Zn.首先在 720 ℃ 熔化 Al,后加入 Zn.降低到 500 ℃ 浇注到水冷铁模中,得到直径为 60 mm 的圆柱形铸锭.然后在 350 ℃ 保温 5 h 进行均匀化热处理,水淬,加工成 $\phi 46$ mm 的挤压坯料.最终在 200 t 挤压机上上进行反挤压,挤压温度为 150 ℃,挤压比分别为 16, 23, 36, 64,空冷至室温.

将不同挤压比的 ZA15 锌合金加工成标距为 25 mm,标距处直径为 5 mm 的拉伸试样(其轴向平行于挤压方向),在 AG-X 型万能试验机上进行室温拉伸实验,应变速率为 10^{-3} s⁻¹.在 JSM-6510 型扫描电子显微镜下进行组织观察.其样品经 200#~2000#砂纸研磨后,再用 0.5 μ m 金刚石研磨膏机械抛光制得.

2 结果与讨论

2.1 不同挤压比 ZA15 锌合金的力学性能

图 1 为在 150 ℃,不同挤压比条件下,挤压态 ZA15 锌合金的工程应力-应变曲线.挤压比对 ZA15 锌合金的伸长率没有明显影响,基本保持在 160%~180%,具有明显的室温超塑性.而其

抗拉强度随着挤压比增加而有所提高,即从挤压比为 16 的 108 MPa 增加到挤压比为 64 的 138 MPa,提高了约 28%,但都在 150 MPa 以下.这表明了低温挤压的 ZA15 锌合金的抗拉强度低于高温挤压的 ZA15 锌合金,塑性却远远大于后者^[6,7,11].因此低温挤压制备 ZA15 锌合金线材坯料有可能满足未来热喷涂行业的标准要求.

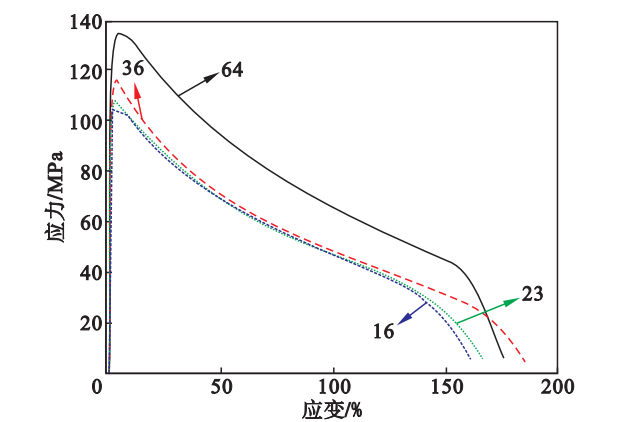


图 1 不同挤压比的 ZA15 锌合金的工程应力-应变曲线
Fig. 1 Engineering stress-strain curves of ZA15 Zn alloy with different extrusion ratios

2.2 不同挤压比 ZA15 锌合金的微观组织

图 2 为 ZA15 锌合金铸态及均匀化后的背散射电子形貌. ZA15 锌合金铸态组织存在两种形貌,粗大的初晶富铝 α 相在凝固过程中通过共析转变产生的片层状组织以及由粗大富锌 η 相基体上分布细小粒状的 α 相组成的离异共晶体(图 2a).经过均匀化后,片层团域发生了细化,而其内部依然保持片层组织特征.在离异组织中 α 相发生了聚集长大,并在冷却的过程中发生了共析转变而形成了新的片层状组织(图 2b).

在 150 ℃,经不同挤压比获得的 ZA15 锌合金,其组织形貌如图 3 所示.经过低温挤压后,均匀化后的 $\alpha + \eta$ 片层共析组织基本转变成了以 η 相为基体,细小粒状 α 相弥散分布的组织.随着挤压比增加,其粗大的离异共晶 η 相沿着挤压方向发生塑性变形,且分布更加均匀.这种组织形貌可能是 ZA15 锌合金产生室温超塑性的主要原因,并且使得其抗拉强度远低于高温挤压的^[6-7].

2.3 不同挤压比 ZA15 锌合金断口形貌

图 4 为 ZA15 锌合金的断口形貌,断口的韧窝呈带状分布,而且深浅不一,表现出明显的韧性断裂特征.挤压比为 16 的合金韧窝直径较大,韧窝较浅.而挤压比为 36 的合金韧窝较小,且韧窝较深.不同挤压比的合金塑性都较好,相对比较而言,挤压比为 16 的塑性最低,挤压比为 36 的塑性最好.

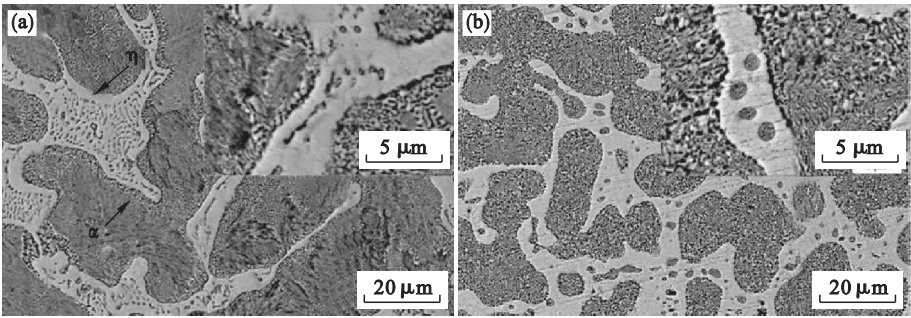


图 2 ZA15 锌合金的微观组织
Fig. 2 SEM images of ZA15 Zn alloy
(a)—铸态; (b)—均匀化后.

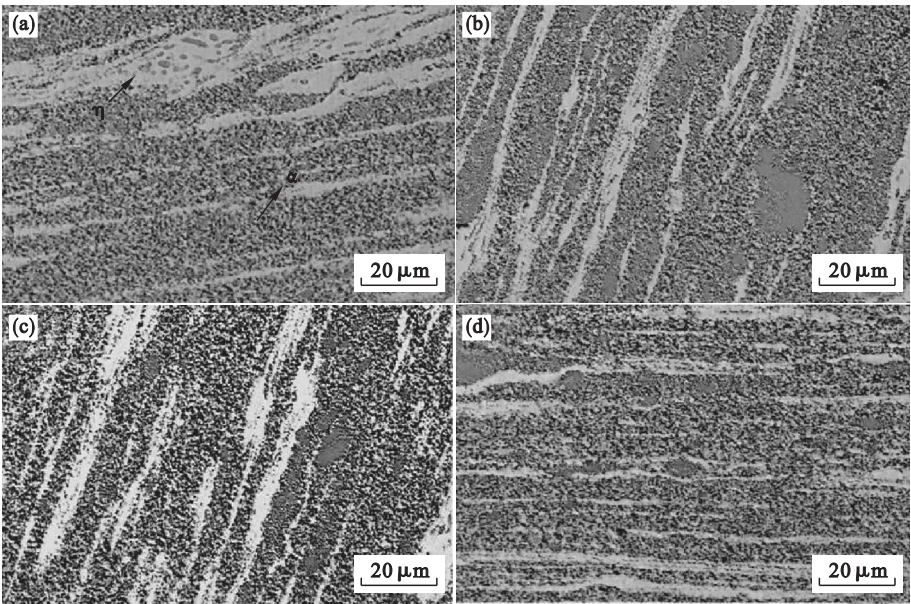


图 3 不同挤压比 ZA15 锌合金的纵截面微观组织
Fig. 3 SEM images of extruded ZA15 Zn alloy in cross direction with different extrusion ratios
(a)—16; (b)—23; (c)—36; (d)—64.

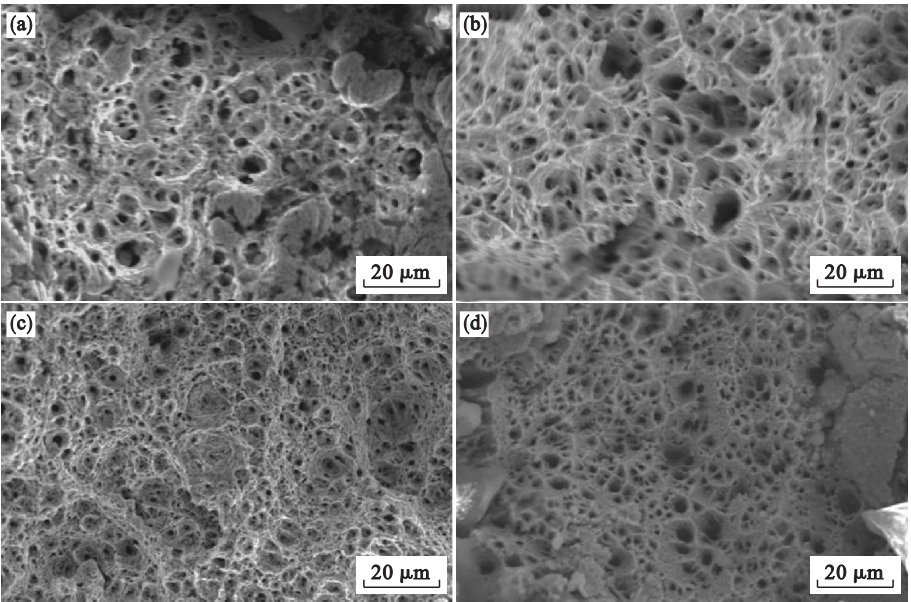


图 4 不同挤压比 ZA15 锌合金的拉伸断口形貌
Fig. 4 Fracture morphology of ZA15 Zn alloy with different extrusion ratios
(a)—16; (b)—23; (c)—36; (d)—64.

3 结 论

- 1)在 150 ℃挤压 ZA15 锌合金,挤压比对其伸长率没有明显影响,都在 160% ~ 180 % ,具有明显的室温超塑性.
- 2)ZA15 锌合金的抗拉强度随着挤压比增加而有所提高,但都在 150 MPa 以下.
- 3)均匀化后的 $\alpha + \eta$ 片层共析组织经低温塑性变形后基本转变成了以 η 相为基体,粒状 α 相弥散分布的组织,且粗大的离异共晶相 η 也沿着挤压方向发生塑性变形且变得更加细小均匀. 这是其产生室温超塑性的组织因素.

参考文献:

[1] Panossian Z, Mariaca L, Morcillo M, et al. Steel cathodic protection afforded by zinc, aluminium and zinc/aluminium alloy coating in the atmosphere [J]. *Surface and Coatings Technology*, 2005, 190 (2/3) : 244 – 248.

[2] Yang L J, Zhang Y M, Zeng X D, et al. Corrosion behavior of superplastic Zn-Al alloys in simulated acid rain [J]. *Corrosion Science*, 2012, 59 : 229 – 237.

[3] Jun J H, Seong K D, Kim J M, et al. Strain-induced microstructural evolution and work softening behavior of Zn-15% Al alloy [J]. *Journal of Alloys and Compounds*, 2007, 434/435 : 311 – 314.

[4] Ji F, Xue S B, Dai W. Reliability studies of Cu/Al joints brazed with Zn-Al-Ce filler metals [J]. *Materials and Design*, 2012, 42 : 156 – 163.

[5] American Society for Testing Materials. ASTM B833 – 13 : 2013 standard specification for zinc and zinc alloy wire for thermal spraying (metallizing) for the corrosion protection of steel [S]. West Conshohocken : ASTM, 2013.

[6] Zhang Y M, Yang L J, Zeng X D, et al. The mechanism of anneal-hardening phenomenon in extruded Zn-Al alloys [J]. *Materials and Design*, 2013, 50 : 223 – 229.

[7] 张胜华,周永丽,林高用,等. 稀土对 Zn – 15Al 合金组织和耐蚀性的影响 [J]. 中南工业大学学报 (自然科学版),

2000, 31 (2) : 170 – 172.

(Zhang Sheng-hua, Zhou Yong-li, Lin Gao-yong, et al. Effect of rare earth on the structure and corrosion resistance of Zn-15Al alloys [J]. *Journal of Central South University of Technology (Natural Science)*, 2000, 31 (2) : 170 – 172.)

[8] Yan X Q, Liu S X, Long W M, et al. The effect of homogenization treatment on microstructure and properties of ZnAl15 solder [J]. *Materials and Design*, 2013, 45 : 440 – 445.

[9] 黄俊兰,钟素娟,赵丹,等. 自然时效时间对 ZnAl15 钎料显微组织与力学性能的影响 [J]. 失效分析与预防, 2013, 8 (1) : 20 – 24.

(Huang Jun-lan, Zhong Su-juan, Zhao Dan, et al. Effects of natural aging time on microstructure and mechanical properties of ZnAl15 filler metal [J]. *Failure Analysis and Prevention*, 2013, 8 (1) : 20 – 24.)

[10] Yan X Q, Liu S X, Long W M, et al. Stress corrosion crack of ZnAl15 alloys in hot and humid environment [J]. *Materials Letters*, 2013, 93 : 183 – 186.

[11] 钱国统,周永坤,张强,等. 径向挤压对 Zn – 15Al 合金线材组织和性能的影响 [J]. 特种铸造及有色合金, 2009, 29 (4) : 609 – 610.

(Qian Guo-tong, Zhou Yong-kun, Zhang Qiang, et al. Effect of radial extrusion on the microstructure and mechanical properties of Zn-15Al alloy wire [J]. *Special Casting & Nonferrous Alloys*, 2009, 29 (4) : 609 – 610.)

[12] Massalski T B. Binary alloy diagrams [M]. 2nd ed. Materials Park : ASM International, 1990 : 240.

[13] Rastegari H, Kermanpur A, Najafizadeh A, et al. Warm deformation processing maps for the plain eutectoid steels [J]. *Journal of Alloys and Compounds*, 2015, 626 : 136 – 144.

[14] Zheng C S, Li L F, Yang W Y, et al. Microstructure evolution and mechanical properties of eutectoid steel with ultrafine or fine (ferrite + cementite) structure [J]. *Materials Science and Engineering : A*, 2014, 599 : 16 – 24.

[15] Rastegari H, Kermanpur A, Najafizadeh A. Effect of initial microstructure on the work hardening behavior of plain eutectoid steel [J]. *Materials Science and Engineering : A*, 2015, 632 : 103 – 109.