

[文章编号] 1004- 0609(2002) 05- 1012- 04

ECAP 制备的亚微米 7050 铝合金的力学性能和微观结构^①

郑立静¹, 张 焱², 曾梅光², 陈昌麒¹

(1. 北京航空航天大学 材料科学与工程学院, 北京 100083; 2. 东北大学 理学院, 沈阳 110004)

[摘 要] 采用等通道角挤压法(ECAP 法)制备亚微米 7050 铝合金。为了提高合金的力学性能,在挤压过程中增加了固溶时效处理工艺,并对 7050 铝合金在不同处理工艺条件下的显微组织和力学性能的变化进行了研究。结果表明:ECAP 挤压后进行固溶和时效处理能明显提高合金的力学性能。退火态合金经过 ECAP 后,晶粒尺寸明显细化到亚微米级。将挤压一次的试样进行固溶处理和时效处理,合金的强度在 575 MPa 左右,而延伸率能达到 25.5% 左右;若经等通道角挤压过的试样在固溶处理后立即进行再次挤压,并配合时效处理,合金强度能迅速达到 616 MPa,延伸率为 16.9%。

[关键词] ECAP; 7050 铝合金; 固溶处理; 时效处理; 力学性能

[中图分类号] TG 146.2

[文献标识码] A

等通道角挤压法(ECAP)是由 Segal 和他的同事提出来的^[1],它使样品在压力作用下,通过互成 φ 角的两个等面积通道,当样品经过两个通道的交界面时,受到剪切力作用,而挤压的样品截面积仍保持不变,可以实现反复挤压,并由此改善材料的性能。由于细晶材料具有一系列不寻常的性能,目前关于应用此法将材料晶粒尺寸细化到亚微米级的报道有很多^[2~12],一般都应用在金属材料和一些金属间化合物上,从而获得性能优异的大块体细晶材料。但是人们通常研究的是不同的挤压路径和挤压次数对合金性能的影响^[13~16],关于在挤压过程中进行中间热处理对合金性能的影响目前很少有文献报道。因而,本文作者应用等通道角挤压方法配合热处理工艺研究航空航天材料 7050 超高强铝合金,目的是提高该合金的综合性能。

1 实验方法

实验用原始材料系直径为 8 mm,长为 55 mm 的 7050 铝合金挤压材料,其化学成分(质量分数,%)为: Zn6.09, Mg1.91, Cu2.14, Zr0.08, Ti0.045, Mn<0.1, Cr<0.04, Fe<0.12, Si<0.05, 余量 Al。所用模具示意图如图 1 所示,其中 $\varphi=120^\circ$, $\psi=60^\circ$ 。

为了减小模具内壁与试样表面接触部位的摩擦,挤压之前,分别在通道的内壁和试样的表面涂了一层 MoS₂ 润滑油。挤压速度可以控制在 0.5 mm/s 左右。

采用电镜技术和拉伸试验对经过等通道角挤压后 7050 合金的显微组织和力学性能进行分析。电镜观察在 JEOL-200CXTEM 上进行,加速电压为 100 kV。拉伸试验在日本岛津 AG-10TA 型电子拉伸试验机上进行。拉伸试样取向长轴沿板材纵向,试样标距为 10.00 mm,直径为 4.00 mm。

为了方便起见,实验中不同的处理工艺定义如下:
方法 1 退火+ ECAP+ 时效;

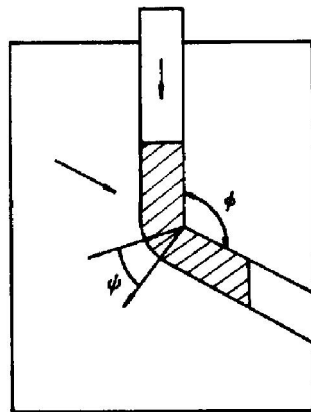


图 1 ECAP 挤压模具示意图

Fig. 1 Schematic of ECAP die

① [基金项目] 国家自然科学基金资助项目(59771020)

[收稿日期] 2001- 10- 22; [修订日期] 2002- 04- 20

[作者简介] 郑立静(1974-),女,博士研究生。

方法 2 退火+ ECAP+ 固溶处理+ 时效;

方法 3 退火+ ECAP+ 固溶处理+ ECAP(二次)+ 时效。

上述定义中退火状态是试样在 553 K 保温 5 h 后随炉冷却, 固溶处理是试样在 750 K 保温 30 min 并且冷水淬火, 时效是试样在 393 K 保温 24 h。

2 结果与讨论

2.1 力学性能结果分析

7000 系铝合金属于硬铝合金, 常用的 7050 变形铝合金强度约 520 MPa, 由于其强度较高, 通常常温下很难挤压, 因而在 ECAP 实验前先将 7050 合金退火处理使其软化。图 2 和 3 分别表示 7050 合金在不同处理工艺下的力学性能变化情况。由图 2 可以看出, 单纯 ECAP 工艺可以提高退火态 7050 铝合金的强度, 但是由于退火态合金比较软。因而

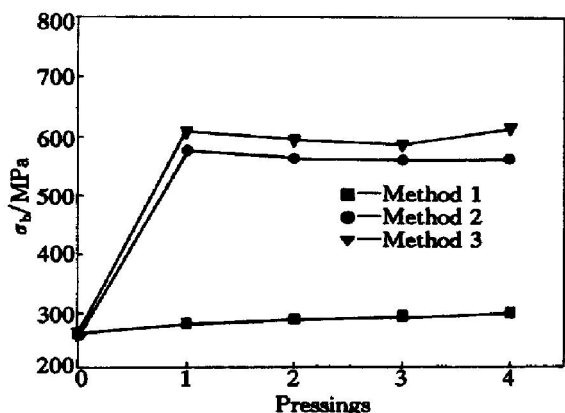


图 2 抗拉强度与挤压次数的关系

Fig. 2 Relationship between σ_b and number of pressing

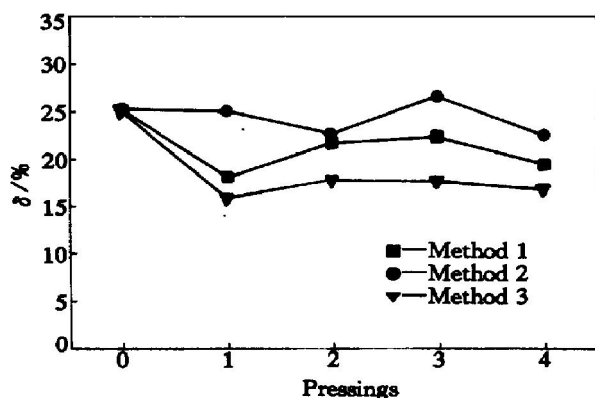


图 3 延伸率与挤压次数的关系

Fig. 3 Relationship between δ and number of pressing

提高的程度是有限的(方法 1)。于是经过 ECAP 后, 选取固溶时效处理(方法 2), 合金的抗拉强度有了很大改善, 仅一次挤压后强度就由原来的 266.3 MPa 提高到 575 MPa。延伸率保持在 22% ~ 26%, 结果见图 2 和图 3。这说明 7050 合金经过 ECAP 和固溶时效处理后, 在强度提高的同时, 塑性也会有明显改善。但由于试样经过固溶处理后晶粒尺寸会有所增加, 影响合金的性能, 因而将角挤压过的试样固溶处理后放入等通道内再剪切二次(方法 3), 这时抗拉强度迅速升到 616 MPa, 延伸率为 16.9%, 然而二次后试样的表面已出现宏观裂纹。由以上结果可知, 7050 合金强度可达 600 MPa 以上, 而塑性可保持在 16% 以上, 这对于 7000 系铝合金的应用前景具有重要的现实意义。

2.2 电镜结果分析

图 4 所示是 7050 合金退火原样电镜照片, 晶界明显, 晶粒的长轴方向约 14.3 μm , 短轴方向约 7.8 μm 。图 5 所示是 7050 退火合金经角挤压一次后又进行固溶时效处理的试样电镜照片。可见, 经一次挤压后, 材料的晶粒明显拉长并沿剪切方向排列, 晶粒尺寸也明显细化。图 6 所示为 7050 退火合金经角挤压 4 次后又进行时效处理的试样电镜照片, 其中图 6(a) 采用路径 A, 即试样每次挤压时保持方向不变; 图 6(b) 采用路径 B, 即试样每次挤压前按同一方向旋转 90 °; 图 6(c) 采用路径 C, 即每次挤压前试样按同一方向旋转 180 °。由图 6(a) 可看出, 虽然进行了固溶处理, 滑移带痕迹仍然存在并且变得又细又窄, 宽度大约为 0.5 μm , 晶粒更加细化并沿滑移带排列。由图 6(b) 可以看出, 晶粒呈等轴形, 滑移带痕迹消失, 这与图 6(a) 明显不同, 晶粒尺寸约为 0.6 μm 。图 6(c) 的显微组织同图 6(a) 有些相似, 剪切带依然存在, 其中分布着晶粒,

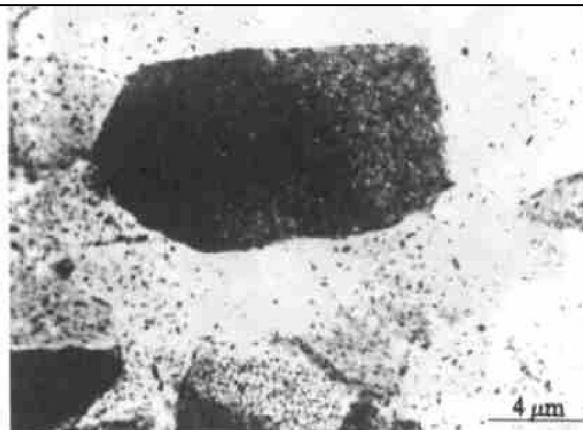


图 4 7050 退火原始样

Fig. 4 7050 alloy sample after annealing



图 5 采用方法 2 挤压 1 次的 7050 试样

Fig. 5 7050 alloy sample after two pressings by method 2

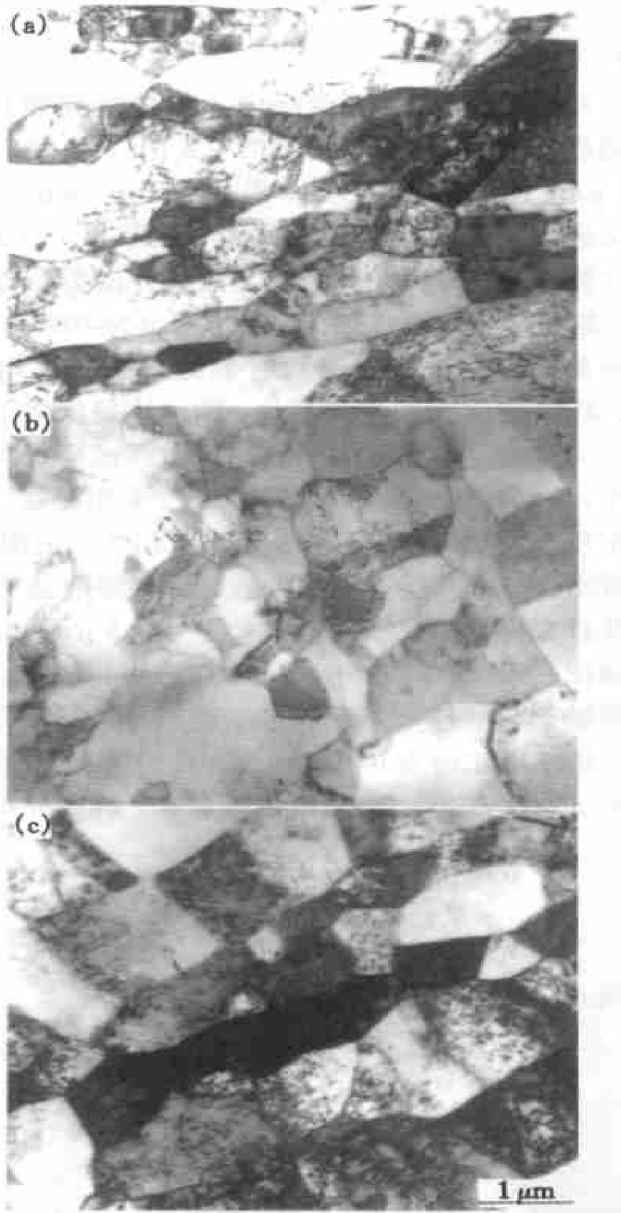


图 6 采用方法 2 等通道角挤压 4 次的 7050 试样

Fig. 6 7050 samples after 4 pressings by method 2

(a) —Route A; (b) —Route B; (c) —Route C

但不同的是采用路径 C 得到的晶粒形状呈方形。对比图 6(a), (b) 和 (c) 可以发现, 挤压路径 A 对于细化晶粒最有效, 挤压路径 B 对于形成等轴晶最有效。

3 结论

1) ECAP 配合固溶时效处理可以显著提高 7050 铝合金的力学性能。退火试样在两次 ECAP 之间增加了固溶处理, 最后又进行时效处理, 这时的抗拉强度为 616 MPa, 延伸率约为 16.9%, 同传统合金相比, 性能明显得到改善。

2) 7050 铝合金经过等通道角挤压、固溶处理并时效后, 晶粒尺寸细化到亚微米级, 并且有大角度晶界生成。

[REFERENCES]

- [1] Segal V M. Materials processing by simple shear [J]. Materials Science and Engineering, 1995, A197: 157–164.
- [2] Ferrasse S, Segal V M. Microstructure and properties of copper and aluminum alloy 3003 heavily worked by equal channel angular extrusion [J]. Metallurgical and Materials Transactions A, 1997, 28A: 1047–1057.
- [3] Iwahashi Y, Horita Z. The process of grain refinement in equal channel angular pressing [J]. Acta Mater, 1998, 46(9): 3317–3331.
- [4] Horita Z, Fujinami T. Equal channel angular pressing of commercial aluminum alloys: grain refinement, thermal stability and tensile properties [J]. Metallurgical and Materials Transactions A, 2000, 31A: 691–701.
- [5] Iwahashi Y, Horita Z, Nemoto M, et al. An investigation of microstructural evolution during equal channel angular pressing [J]. Acta Mater, 1997, 45(11): 4733–4741.
- [6] Semiatin S L, Berbon P B, Langdon T G. Deformation heating and its effect on grain size evolution during equal channel angular extrusion [J]. Scripta Mater, 2001, 44: 135–140.
- [7] Muravama M, Hono K, Horita Z. Microstructure evolution in an Al–1.7% Cu alloy deformed by equal channel angular pressing [J]. Materials Transactions JIM, 1999, 40(9): 938–941.
- [8] Segal V M. Equal Channel Angular Extrusion: From macromechanics to structure formation [J]. Materials Science and Engineering. 1999, A271: 322–333.

- [9] Zhu Y T, Lowe T C. Observation and issues on mechanisms of grain refinement during ECAP process [J]. Materials Science and Engineering, 2000, A291: 46– 53.
- [10] Langdon T G, Furukawa M. Using equal-channel angular pressing for refining grain size [J]. JOM, 2000 (1), 30– 33.
- [11] Nakashima K, Horita Z, Nemoto M. Development of a multipass facility for equal-channel angular pressing to high total strains [J]. Materials Science and Engineering, 2000, A281: 82– 87.
- [12] Yamashita A, Yamaguchi D. Influence of pressing temperature on microstructural development in equal-channel angular pressing [J]. Materials Science and Engineering, 2000, A287: 100– 106.
- [13] Oh-Ishi K, Horita Z, Furukawa M, et al. Optimizing the rotation conditions for grain refinement in equal-channel angular pressing [J]. Metallurgical and Materials Transactions A, 1998, 29A: 2011– 2013.
- [14] Chakkingal U, Suriadi A B, Thomson P F. The development of microstructure and the influence of processing route during equal channel angular drawing of pure aluminum [J]. Materials Science and Engineering, 1999, A266: 241– 249.
- [15] Nakashima K, Horita Z. Influence of channel angle on the development of ultrafine grains in equal-channel angular pressing [J]. Acta Mater, 1998, 46(5): 1589– 1599.
- [16] Kim H S, Seo M H, Hong S I. On the die corner gap formation in equal channel angular pressing [J]. Materials Science and Engineering, 2000, A291: 86– 90.

Microstructure and mechanical properties of submicrometer 7050 aluminum alloy prepared by ECAP

ZHENG Lǐ-jìng¹, ZHANG Yǎn², ZENG Měi-guāng², CHEN Chāng-qí¹

(1. School of Materials Science & Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China;

2. College of Science, Northeastern University, Shenyang 110004, China)

[Abstract] Experiments were conducted to investigate the microstructure and mechanical properties of 7050 aluminum alloy processed by equal channel angular pressing (ECAP) combined with solid solution and aging treatment. It is shown that ECAP is capable of refining the grain size to submicrometer level rapidly; for the 7050 alloys solid solution treated and aged after ECAP (process 2), ultimate tensile strength σ_b increases to about 575 MPa, elongation to failure δ increases to about 25.5%; if adding ECAP again immediately after solid solution treating (process 3), σ_b can reach about 616 MPa, δ about 16.9%. So, the combination of heat treatment in the process of ECAP can obtain high strength and good ductility of 7050 alloys, which is very important for its prospect of application.

[Key words] ECAP; 7050 aluminum alloy; solid solution treatment; aging; mechanical properties

(编辑 彭超群)