

# 2A50 铝合金形变热处理研究现状及发展趋势

陈晓燕

文山学院 云南文山 663099

**摘要:** 形变热处理已逐渐发展成为制造 2A50 铝合金的一种有前途的技术, 其研究现状及发展趋势也日渐成为人们关注的热点。本文分析了 2A50 铝合金形变热处理的研究现状, 最后对 2A50 铝合金形变热处理的研究现状进行总结及展望。旨在为采用形变热处理技术生产 2A50 铝合金制品及相关研究提供一定的参考。

**关键词:** 2A50 铝合金; 形变热处理; 研究现状; 发展趋势

## 前言

我国是铝合金生产大国, 应用需求也是非常的大。与钢铁材料相比, 铝合金是一种可持续发展、绿色环保的有色金属材料<sup>[1]</sup>。近几年, 铝合金材料在航空航天、交通等领域应用前景广阔, 究其原因是其综合性能优良, 如高比强度、质量轻、腐蚀性好、导电性良好等 [2-3]。随着社会的不断发展, 人类对能源、资源的消费量快速增长, 带来了结构材料轻量化的迫切需求和不断增长<sup>[4]</sup>, 而铝合金材料在轻量化部件上成为了不可替代的材料。

随着铝合金材料的应用与发展, 2A50 铝合金因其良好的强度、塑性及焊接性能, 能生产几何形状复杂的型材, 逐渐在航空航天、机械制造等领域崭露头角并占据重要地位<sup>[5]</sup>。形变热处理是制造 2A50 铝合金的一种重要的技术及手段, 近几年, 人们开始重视 2A50 铝合金形变热处理的相关研究及应用, 经查阅相关资料, 国内的研究成果比较丰硕, 而国外相关研究则相对较少。本文聚焦于阐述 2A50 铝合金形变热处理的研究现状, 对其进行总结, 并对其未来的研究方向予以展望。

## 1. 形变热处理对 2A50 铝合金的影响研究

### 1.1 形变热处理

形变热处理是指将热处理工艺与机械加工过程有机融合, 充分发挥相变强化与形变强化的协同作用, 精准调节析出相与位错之间的相互作用, 经此处理, 材料的晶间组织得以优化, 强化效果显著提升, 是目前金属材料处理的常用手段<sup>[2]</sup>。2A50 铝合金具有较高的塑性和较大的变形抗力, 普通的形变热处理方法难以使其晶粒细化和形变。因此, 近几年国内外学者、专家等通过不断地改进形变热处理的工艺,

以使 2A50 铝合金的显微组织和力学性能得到改善。

### 1.2 挤压变形

李士凯<sup>[6]</sup>等对 2A50 铝合金试样施加不同程度的挤压力, 使之产生差异化的变形, 随后分别进行性能测试和金相分析。结果表明, 挤压变形后, 2A50 铝合金的各项力学性能相较于铸态有显著提升。近年来, 2A50 铝合金挤压变形后的内部组织与力学性能成为研究的热点。

#### 1.2.1 等通道转角挤压

采用等通道转角挤压 (ECAE) 技术可以获得超细晶粒组织, 其核心原理在于, 在将材料压入特定模具的过程中, 材料会经历近乎纯剪切变形。同其它强烈塑性变形方法相比, ECAE 具备独特优势: 可确保试样在多次挤压变形前后, 其横截面的形状和尺寸保持不变<sup>[2, 7]</sup>, 经检测, 挤压后的试样结构性能均匀, 且能积累足够高的应变<sup>[8]</sup>。其原理如图 1 所示。

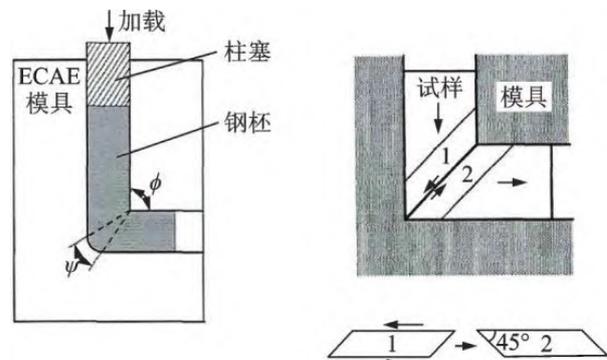


图 1 等通道转角挤压技术原理示意图<sup>[8]</sup>

根据试样每道次间旋转角度与方向差异, ECAE 可分为 A, BC, BA, C 四种不同的路径。A 路径: 每挤压加工道次间, 材料不进行旋转; BC 路径: 每挤压加工道次间, 材料

进行 90° 旋转；BA 路径：是指每挤压加工道次间，材料进行与上次旋转方向相反的 90° 旋转；C 路径：先将材料进行 180° 旋转，再进行下一道次加工<sup>[9]</sup>。工艺路线如图 2 所示。

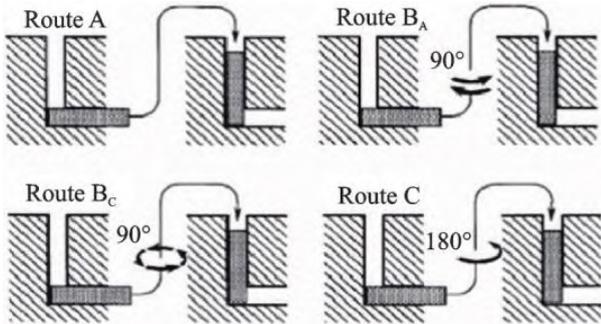


图 2 等通道转角挤压的工艺路线<sup>[8]</sup>

谭险峰<sup>[10]</sup>等设计了通道转角、挤压速度、润滑条件、变形温度等 4 个工艺参数为变量，根据选定的正交试验表对 9 组不同参数组合方案进行单道次挤压试验。经研究分析，得出在 2A50 铝合金等径角单道次挤压工艺中，影响晶粒细化的 4 个因素的排序，提出了一个针对 4 个工艺参数的优化的修正工艺方案，证实了在此条件下可获得较细的晶粒。陈伟<sup>[11]</sup>等在对 2A50 铝合金试样进行挤压试验时采用方形通道模具，并进行有限元模拟，从硬度和裂纹变化的角度对工艺展开研究。结果显示，2A50 铝合金内部晶粒组织细化，硬度提升明显，并探索一条更具应用价值的工艺路线。周庆<sup>[12]</sup>等对 2A50 铝合金进行等通道转角挤压试验时采用方形截面模具，并开展有限元模拟，对挤压变形过程进行了研究。结果表明数值模型是可行的，可以作为进一步模具几何参数和工艺参数影响分析的基础，并将等通道转角挤压过程划分为 5 个不同的变形阶段。

### 1.2.2 等径角挤压

等径角挤压法 (equal channel angular pressing, 简称 ECAP) 是在 20 世纪末, Segal<sup>[13]</sup> 等为获得纯剪切变形而开发出来的一种方法，旨在研究钢材的微观织构和变形织构。ECAP 具有在加工过程中不会引入杂质、加工前后不改变材料的形状、材料经反复挤压可获得均匀、细化的晶粒组织等优点<sup>[14]</sup>。原理如图 3 所示。

根据相邻挤压道次间试样相对于模具的轴向旋转方向和角度的不同，可以将 ECAP 分为 4 个路径，即：路径 A (试样不旋转)、路径 BA (试样绕纵轴交替旋转 90°)、路径 BC (试样绕纵轴同向旋转 90°) 以及路径 C (试样绕纵轴

旋转 180°)<sup>[15-20]</sup>，工艺路线与 ECAE 相同，如图 2 所示。

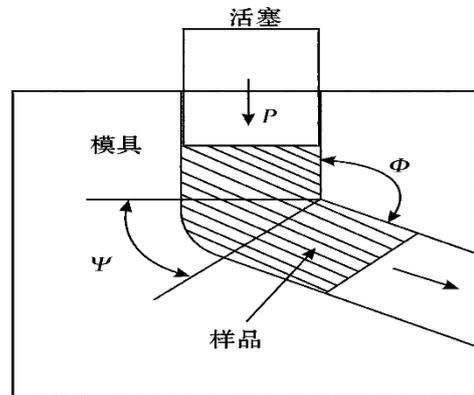


图 3 等径角挤压 (ECAP) 基本原理的示意图<sup>[14]</sup>

ECAP 技术是目前最具有工业化应用前景的高塑性变形技术之一，几年来该技术在 NiTi 基形状记忆合金、1XXX 系铝合金、7XXX 系铝合金、2XXX 系铝合金、6XXX 系铝合金等合金的显微组织、力学性能、热处理等领域的研究中越来越被广泛的采用。栾兆菊<sup>[21]</sup>等采用 ECAP 技术对 2A50 铝合金进行挤压，研究挤压后铝合金的导电性能和微观组织。结果表明，挤压后 2A50 铝合金的内部晶粒细化、均匀，电导率大幅下降。

### 1.3 冶金热处理

冶金热处理技术是调控材料内部微观组织形态的一种重要技术，能够显著改变铝合金的微观组织特征，同时对铝合金的性能起到一定的优化作用<sup>[22]</sup>。近几年，人们主要研究 2A50 铝合金的热处理工艺及经过热处理后的微观组织、力学性能。

孙巍<sup>[5]</sup>等对 2A50 铝合金试块进行固溶 + 人工时效处理，然后分别切取试样进行拉伸、电导率、金相检测，并对检测结果进行分析研究。得出了可以制备出强度和硬度较高的 2A50 铝合金的一条工艺路线，即 520℃ 的固溶淬火温度，40min 以内的保温时间，同时要使材料受热均匀。王健<sup>[23]</sup>等对某 2A50 铝合金大型轮毂试样进行过烧、固溶、时效等热处理后，研究其显微组织和力学性能。结果表明，热处理后的铝合金综合力学性能较优，晶粒细化。贺自强<sup>[24]</sup>等通过模拟试验，研究了短时加热后 T6 状态的 2A50 铝合金显微组织、力学性能和电导率的变化规律，分析得出了抗拉强度与电导率之间的线性关系式，确定了抗拉强度合格时电导率的极限值。蔡红<sup>[25]</sup>等对不同固溶温度下的 2A50 铝合金的微观组织、力学性能和疲劳性能进行研究。结果表明，

当固溶温度为  $525\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1.5^{\circ}\text{C}$  (保温 30min) 时, 2A50 铝合金的力学性能达到峰值, 随着应力幅的降低, 疲劳周期增加。

## 2. 总结与展望

### 2.1 总结

大量的研究均表明, 2A50 铝合金经过形变热处理后综合力学性能有明显提升, 晶粒细化<sup>[26]</sup>, 但是随着铝合金抗拉强度的增加对其导电性和塑性会产生直接的影响, 同时固溶温度也需要控制在一个合理的范围内, 否则会影响铝合金的耐疲劳性能, 这对未来发展高水准的铝合金工业会产生不利的影响。因此, 2A50 铝合金形变热处理工艺的优化仍是未来重要的研究方向之一。

### 2.2 展望

近几年, 铝合金材料已在我国各行各业占据举足轻重的作用, 但是我国并非生产与使用的强国<sup>[4]</sup>。2A50 铝合金仍存在耐磨性能差、高温强度减弱、晶间腐蚀倾向等缺点<sup>[27-28]</sup>, 因此, 未来形变热处理技术在 2A50 铝合金的生产及应用中, 工艺的优化依然是改善其显微组织与力学性能的核心内容。无论是为突破技术瓶颈, 还是推动铝合金工业的发展, 这方面的研究都是不可或缺的。

### 参考文献:

[1] 黄应敏, 邹科敏, 许翠珊, 等. 不同元素含量对高导电铝合金性能的影响研究 [J]. 粘接, 2021, 47(8): 62-66.

[2] 张王军, 李云, 吴玉娜, 等. 超高强 7XXX 系铝合金的研究现状及发展趋势 [J]. 现代交通与冶金材料, 2023, 3(3): 52-60, 84.

[3] 金玉静, 陆皓, 周宏志. 钛含量对激光增材 AlSi10Mg 合金组织和性能的影响 [J]. 热加工工艺, 2024, 53(22): 69-76, 82.

[4] 李虎田, 宋炜, 钟鼓, 等. 铸造耐热铝合金研究及应用现状与展望 [J]. 铸造, 2024, 73(7): 891-897.

[5] 孙巍, 李鹏伟, 孙明杰. 2A50 铝合金型材淬火工艺制度研究 [J]. 轻合金加工技术, 2011, 39(8): 39-41, 54.

[6] 李士凯, 宋克兴, 郜建新, 等. 挤压变形程度对 2A50 合金组织性能的影响 [J]. 特种铸造及有色合金, 2003(4): 39-40.

[7] Mach á ěkov á A. Decade of twist channel angular pressing: a review [J]. Materials, 2020, 13(7): 1725.

[8] 郝勇. 等通道转角挤压制备高强铝合金的组织性能与织构演变 [D]. 昆明: 昆明理工大学, 2011.

[9] 张王军, 李云, 吴玉娜, 等. 超高强 7XXX 系

铝合金的研究现状及发展趋势 [J]. 现代交通与冶金材料, 2023, 3(3): 52-60, 84.

[10] 谭险峰, 陈伟, 熊洪森, 等. 2A50 铝合金单道次等通道转角挤压工艺研究 [J]. 锻压技术, 2008, 33(6): 63-65.

[11] 谭险峰, 陈伟, 周庆, 等. 2A50 铝合金等方形通道转角挤压工艺研究 [J]. 塑性工程学报, 2009, 16(1): 125-129.

[12] 谭险峰, 陈伟, 周庆, 等. 2A50 铝合金方形截面单道次等通道转角挤压变形力的研究 [J]. 热加工工艺, 2008, 37(15): 65-67, 71.

[13] SEGAL V M. Materials processing by simple shear [J]. Materials Science and engineering A, 1995, 197: 157-164.

[14] 农登, 黄少军, 李林, 等. 等径角挤压法工艺路线影响材料显微组织演化的研究概况 [J]. 广东有色金属学报, 2006, (03): 202-205.

[15] 张永峰, 范启超, 孙明艳, 等. 等径角挤压 (ECAP) 技术在 NiTi 基形状记忆合金中的研究进展 [J]. 稀有金属, 2023, 47(09): 1263-1273.

[16] 杨西荣, 赵西成, 付文杰. 钛及钛合金 ECAP 变形研究进展 [J]. 材料导报, 2010, 24(05): 96-100.

[17] 王晓溪, 薛克敏, 李萍. 工艺路径对纯铝粉末材料多道次等径角挤压变形的影响 [J]. 中国机械工程, 2014, 25(12): 1676-1680.

[18] 杜忠泽, 冯广海, 符寒光, 等. ECAP 变形与材料组织性能控制的研究 [J]. 材料工程, 2006, (03): 64-68.

[19] 李永志. 纯铝粉末材料等径角挤压成形致密及模拟优化研究 [D]. 合肥工业大学, 2012.

[20] 韩富银. ECAP 变形 AZ61-4Si 和 ZK60-4Si 耐热镁合金组织与性能的研究 [D]. 太原理工大学, 2012.

[21] 栾兆菊, 李建萍, 李超. 2A50 铝合金等径角挤压后的微观组织和电导率 [J]. 锻压技术, 2008, 33(3): 82-84.

[22] 雷小洪, 朱红标. 冶金热处理对铝合金微观组织与性能的影响 [J]. 冶金与材料, 2024, 44(10): 28-30.

[23] 王健, 侯立群, 齐志望, 等. 挤压铸造 2A50 铝合金的热处理工艺 [J]. 特种铸造及有色合金, 2010, 30(4): 339-341.

[24] 贺自强, 王新林. 短时加热对 2A50 铝合金显微组织与性能的影响 [J]. 金属热处理, 2004, 29(12): 10-13.

[25] 蔡红, 岳忠, 项红岩, 等. 固溶温度对 2A50 铝合金组织与性能的影响 [J]. 轻合金加工技术, 2020, 48(10): 51-55.

[26] 李洪超. 轧制变形及热处理对 Al-3Fe (wt.%) 合金组织性能的影响 [D]. 东北大学, 2019. DOI:10.27007/d.cnki.gdbeu.2019.000949.

[27] LD5 铝合金锻造工艺及热处理研究工艺. 原创力文档, 互联网文档资源 :<https://max.book118>, 2024

[28] LD5 铝合金锻造工艺及热处理研究工艺. 互联网文档资源 :<https://wenku.baidu>, 2018

**作者简介:**

陈晓燕 (1989—), 女, 彝族, 云南楚雄, 硕士研究生, 文山学院, 讲师, 材料科学与工程。