

等径角挤扭工艺的研究

王雪, 吴战立, 徐迎强, 薛克敏

(合肥工业大学 材料科学与工程学院, 合肥 230009)

摘要: 针对等径角挤压(ECAP)工艺和挤扭(TE)工艺中,材料变形不均匀,1道次变形获得的应变量不够大的缺点,将2种工艺有机结合,提出了等径角挤扭(ECAPT)工艺。利用UG和DEFORM-3D软件进行几何造型和有限元模拟,研究变形过程、应力应变分布和载荷变化,并用纯铝进行2道次ECAPT实验,测量试样显微组织和力学性能的变化。结果表明,ECAPT使组织产生更大的应变量,随着行程的增加,载荷增大,在TE通道平稳阶段达最大值,试样头部挤出TE通道后载荷降低;材料的宏观形貌同模拟结果一致,显微组织发生了明显细化,其中第1道次 z 面和第2道次 y 面细化效果明显;力学性能得以较大提高,屈服强度由43.31 MPa提升至52.19 MPa,抗拉强度由71.30 MPa提升至130.38 MPa。

关键词: 等径角挤压; 挤扭; 等径角挤扭; 有限元模拟; 显微组织

中图分类号: TG376

文献标识码: A

文章编号: 1674-6457(2010)04-0007-05

Study of Equal Channel Angular Pressing and Twist

WANG Xue, WU Zhan-li, XU Ying-qiang, XUE Ke-min

(School of Materials Science and Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: This paper introduces a new severe plastic deformation process named as ECAPT process which combines Equal Channel Angular Pressing with Twist Extrusion against the uneven deformation and small strain shaped by one pass of ECAP or TE. UG software was used for geometric modeling and DEFORM-3D software was used for finite element simulation, and then the deformation processing, distribution of stress and strain, and the change of load were researched. Two passes ECAPT experiment with pure Al was made, and the change of microstructure and mechanical properties of the sample was measured. The result shows that ECAPT process can make more strain and make the microstructure more uniform. It also shows that the load increase with the travel passing, and reach the maximum at the TE channel stable stage, then the load decrease when the head of sample out of the TE channel. According to the result, it can be seen that the appearance of sample shaped by ECAPT is similar to the result of simulation, and the microstructure is obviously refined, especially in the face z of the first pass and face y of the second pass. And the mechanical properties are improved, the yield strength increases from 43.31 MPa to 52.19 MPa, and tensile strength increases from 71.30 MPa to 130.38 MPa.

Key words: Equal Channel Angular Pressing (ECAP); Twist Extrusion (TE); Equal Channel Angular Pressing and Twist (ECAPT); finite element simulation; microstructure

等径角挤扭(ECAPT)工艺是在等径角挤压(ECAP)和挤扭(TE)2种工艺的基础上提出的一种

新型大塑性变形(SPD)方法^[1]。相比于上述2种工艺,ECAPT工艺不仅可以在1道次变形中获得更

收稿日期: 2010-05-07

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50875072);大学生创新实验项目(2009CXSY087)

作者简介: 王雪(1988—),女,回族,安徽宿州人,硕士研究生,主要研究方向为精密塑性成形及仿真。

大的应变量,而且可以通过多道次重复变形获得更大的累积应变,使材料组织分布更加均匀。文中采用UG和DEFORM-3D软件对ECAPT工艺进行几何造型及有限元模拟,分析ECAPT试样的变形过程、应力应变分布状况和载荷的变化情况。同时,以纯铝为材料进行ECAPT实验研究,分析材料显微组织和力学性能的变化。

1 工艺分析

等径角挤压(ECAP)是利用2个横截面尺寸和形状相同并且相交成一定角度的通道,使挤压材料获得大的塑性切应变。挤扭(TE)是使材料经过模具螺旋形通道发生剧烈剪切变形的新型大塑性变形技术。材料经2种工艺变形前后,横截面尺寸和形状不发生变化,可进行多道次重复变形以累计更大的应变量^[2-3]。

文中将等径角挤压和挤扭工艺相结合,对传统ECAP模具进行改进,如图1所示,在模具的水平挤

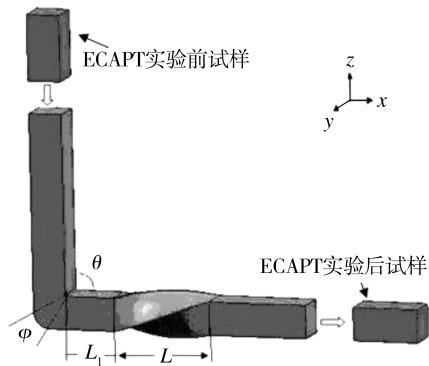


图1 ECAPT变形原理

Fig. 1 Diagram for deformation principle of ECAPT processing

出端加工出一定长度的螺旋槽,开发出一种新型的大尺寸块体超细晶材料制备方法——等径角挤扭(ECAPT)工艺^[4]。

2 ECAPT有限元模拟

2.1 模拟参数设置

文中采用有限元分析软件DEFORM-3D模拟

ECAPT的变形过程。先在UG绘图软件中造型,保存为.stl格式,再导入DEFORM-3D软件中进行模拟计算。采用常温20℃挤压,材料为10 mm×10 mm×80 mm的纯铝方形坯料,摩擦因子0.12,凸模下压速度1 mm/s^[5-8]。

2.2 变形过程模拟

ECAPT工艺的变形过程如图2所示。试样头部先经过ECAP通道产生变形,由于上部材料的流动速度小于下部材料,试样前端略微翘起,形成斜面,如图2a所示;随后,试样开始进入TE螺旋通道,下部材料首先发生扭转变形,上下变形不均匀,如图2b所示;试样开始挤出TE通道时刻,由于TE通道变形抗力大且为ECAP提供背压,因此变形较为剧烈,如图2c所示;最后,试样平稳的发生ECAPT变形,变形均匀,如图2d所示。

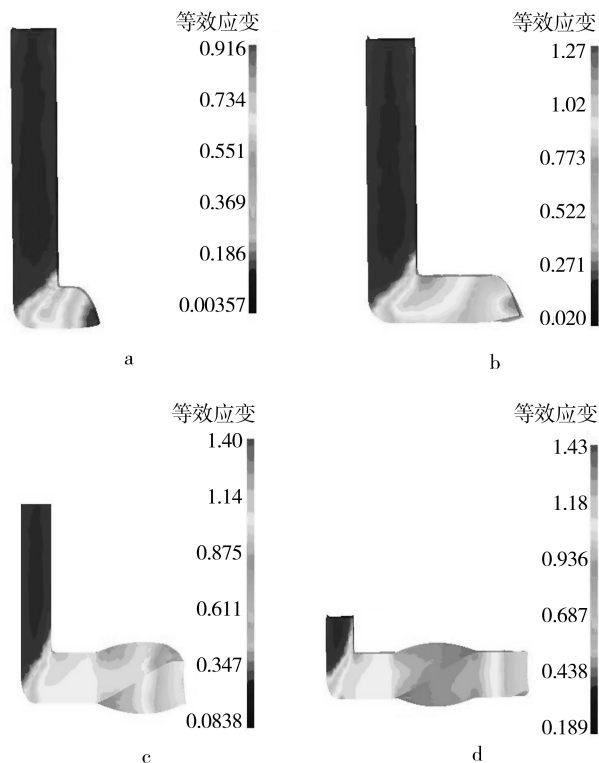


图2 ECAPT变形过程示意

Fig. 2 Scheme for deformation process of ECAPT

2.3 等效应力应变分布规律

ECAPT的塑性变形主要发生在ECAP通道的转角处和TE通道处,且TE通道内的应变较大,分

布较均匀,如图 3a 所示。TE 通道的中心部分变形较小,应力较低;ECAP 转角和 TE 通道边缘变形较大,应力较高,易发生应力集中,如图 3b 所示。

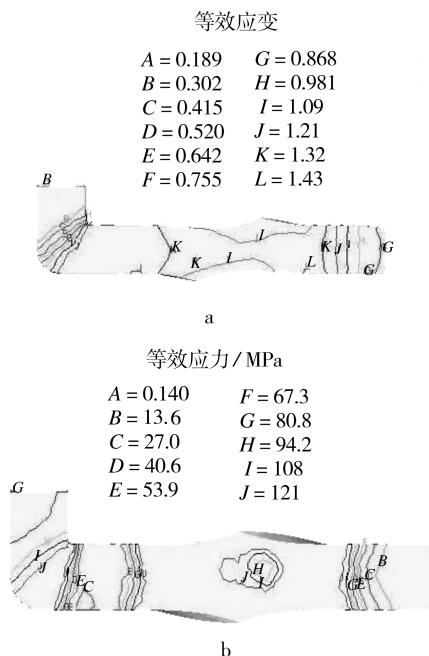


图3 ECAPT 通道中试样纵截面上的等效应变及应力分布

Fig. 3 Equivalent strain and equivalent stress distribution of sample during ECAPT channel

2.4 载荷变化规律

如图 4 所示,纯铝 ECAPT 载荷-行程变化可分为 4 个阶段。

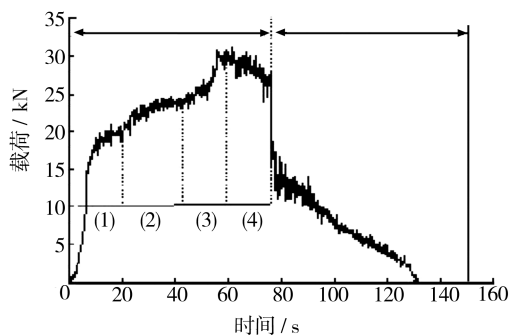


图4 ECAPT 载荷变化

Fig. 4 Change of load during ECAPT

1) 试样头部通过 ECAP 转角时,载荷急剧增加,进入刚性平移阶段后趋于稳定;

2) 试样头部即将进入 TE 通道时,载荷再次迅速增大直至头部完全进入螺旋通道;

3) 试样在 TE 通道内平稳变形时,载荷继续增大并达到最大值;

4) 试样头部挤出 TE 通道后载荷降低。

3 ECAPT 实验

3.1 实验材料制备和实验方法

以纯铝为实验材料,线切割加工成截面尺寸为 $10\text{ mm} \times 10\text{ mm}$,长度为 80 mm 的长方体坯料,然后采用完全再结晶退火工艺消除内应力和均匀化组织。随炉加热至 $410\text{ }^{\circ}\text{C}$,保温 4 h ,空冷^[9]。ECAPT 模具凸模下压速度 1 mm/s ,以石墨为润滑剂,常温下加工。ECAPT 模具实物如图 5 所示。进行



图5 ECAPT 模具实物

Fig. 5 ECAPT mold diagram

ECAPT 2 道次挤压,分别对试样的宏观形貌,2 个道次后试样的显微组织和力学性能进行测试,并分析实验结果。

3.2 实验结果及分析

3.2.1 ECAPT 后的宏观形貌变化

如图 6 所示,在 ECAPT 变形过程中试样形状实验与模拟结果相吻合。变形发生在 ECAP 转角和 TE 通道 2 处,试样头部由于流速不均形成斜面。

如图 7 所示,由上而下 4 个试样分别经过 1,2,3,4 道次变形。试样 1 由于在变形过程中前面无其他试样对其产生阻力,相当于无背压状态;试样 2 因有其他试样的阻力,相当于有背压状态;随着道次的增多,试样扭曲变形越严重。

3.2.2 ECAPT 2 道次后的显微组织变化

纯铝第 2 道次挤压时进入的方向同第 1 道次相

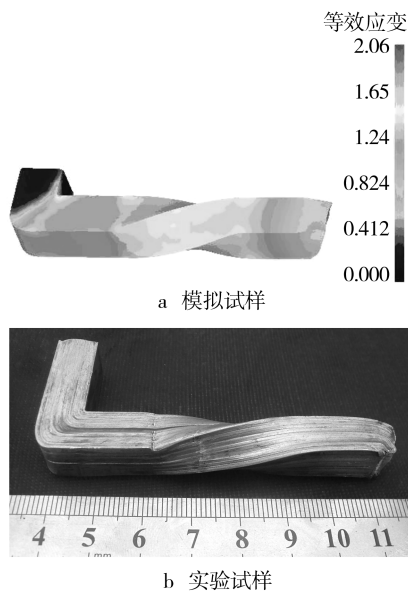


图6 ECAPT变形过程模拟与实验对比

Fig. 6 Comparison of simulation and experiment

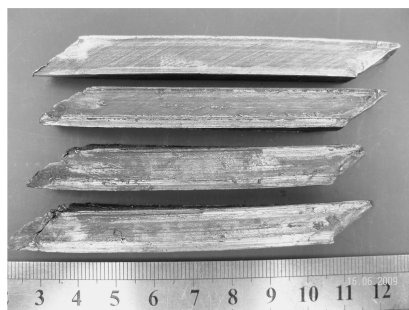


图7 试样宏观图

Fig. 7 Macro diagram of sample

同,但由于 90° 螺旋通道的存在,实际上试样第1道次的 y 面变为第2道次的 z 面,第1道次的 z 面变为第2道次的 y 面, x 面不变。所得试样2个道次各个面的显微组织如图8所示。由图8可知,纯铝初始退火态呈粗大等轴状,随着道次的增加,晶粒破碎、细化明显,且组织沿拉长方向呈现交替变化。其中1道次后 x 面晶粒呈细长状,取向为竖直方向; y 面晶粒略微细化,呈等轴状; z 面晶粒被拉长,与 x 轴约呈 25° ,发生明显细化。2道次后 x 面晶粒尺寸减小,取向发生 45° 偏转; y 面晶粒在第1道次 z 面被拉长的基础上进一步细化,尺寸已经很小; z 面晶粒相比第1道次 y 面被拉长,发生细化。

3.2.3 ECAPT 3道次后的力学性能变化

通过测量试样的屈服强度($\sigma_{0.2}$)与抗拉强度(σ_b),分析2道次后试样的力学性能变化,测量结果

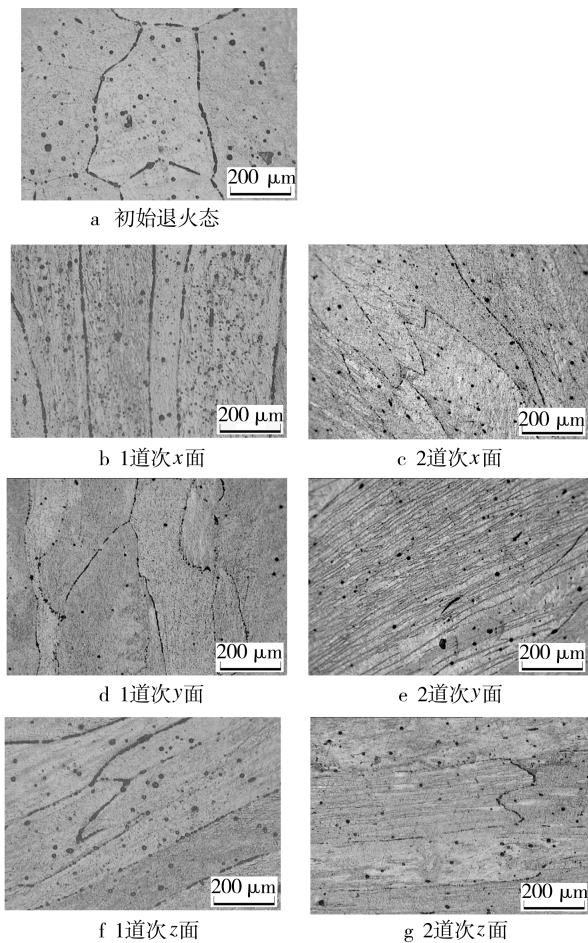


图8 ECAPT 2道次后的组织演变

Fig. 8 Change of microstructure after 2 passes ECAPT process

见表1。结果表明,随着道次的增加,纯铝的屈服强

表1 ECAPT 2道次后纯铝的力学性能

Table 1 Mechanical properties of pure Al shaped by 2 passes ECAPT

力学性能	$\sigma_{0.2}/\text{MPa}$	σ_b/MPa
退火态	43.31	71.30
1道次	46.59	116.63
2道次	52.19	130.38

度和抗拉强度不断提高,其中抗拉强度提高较大,反映出材料经ECAPT后力学性能提高。

4 结语

1) 由模拟和实验结果知,ECAPT的变形区主要有2处:ECAP通道转角处和TE螺旋通道。这2

处变形均有一定的应力梯度,ECAP转角和TE通道边缘处的应力较大,易产生应力集中;ECAP转角处的应变分布不均匀,而TE通道内的应变量大且均匀。

2) ECAPT模具中TE通道为ECAP过程提供了背压,大的静水压力使1道次的应变增大,同时由于ECAP和TE的剪切面不同,使材料变形均匀;试样进入ECAP转角后载荷增大,在TE通道内平稳变形时载荷达到最大值,试样头部挤出TE通道后载荷降低。

3) ECAPT后试样的宏观形貌同模拟结果一致,验证了模拟结果的准确性;2道次ECAPT试验中,随着道次的增加,晶粒破碎、细化明显,且组织沿拉长方向呈现交替变化;纯铝的屈服强度和抗拉强度不断提高,其中抗拉强度提高较大。

参考文献:

- [1] VALIVE R Z, ISLAMGALIVE R K, ALEXANDROVIV. Bulk Nanostructure Materials From Severe Plastic Deformation[J]. Progress in Materials Science, 2000, 45:103—189.
- [2] 刘英,李元元,张大童. 金属材料的等通道转角挤压研究进展[J]. 材料科学与工程,2002,20(4):613—617.
- [3] 薛克敏,王晓溪,李萍. 超细晶材料制备工艺——挤压[J]. 塑性工程学报,2009,16(5):130—136.
- [4] WANG Xiao-xi, XUE Ke-min, LI Ping, et al. Equal Channel Angular Pressing and Torsion of Pure Al Power in Tubes [J]. Advanced Materials Research, 2010, 97—101:1109—1115.
- [5] 吴战立,薛克敏,李萍,等. 纯铝挤压新型大塑性变形数值模拟[J]. 浙江科技学院学报,2009,21(3):239—242.
- [6] 周明智,薛克敏,李萍. 粉末多空材料等径角挤压过程热力耦合有限元数值分析[J]. 中国有色金属学报, 2006,16(9):1510—1516.
- [7] 李萍,黄克帅,薛克敏. 纯铝粉末多空烧结材料包裹——等通道转角挤压实验研究[J]. 中国有色金属学报,2009,19(5):881—886.
- [8] XIA K, WU X. Back Pressure Equal Channel Angular Consolidation of Pure Al Particles [J]. Script Material, 2005, 53:1225—1229.
- [9] ZHAO Guo-qun, XU Shu-bo, LUAN Yi-guo, et al. Grain Refinement Mechanism Analysis and Experimental Investigation of Equal Channel Angular Pressing for Producing Pure Aluminum Ultra-fine Grained Materials [J]. Materials Science and Engineering, 2006, A 437:281—292.

三菱重工开发出支持直径2 m工件的外齿轮成型磨床

三菱重工业开发出了可以对最大直径为2 000 mm的外齿轮进行精加工的外齿轮成型磨床“ZGA2000”,将在2010年5月27日上市。新产品缩短了运转时的非加工时间,提高了生产效率。主要用于制造风力发电设备和制铁设备等中使用的大型齿轮。

近年,对于风力发电设备、制铁设备、建筑机械以及船舶用设备等中使用的大型齿轮的需要不断扩大。三菱重工业宣布,为了应对这一需求扩大,将向市场投放可对最大直径为1200 mm的齿轮进行加工的滚齿机“GEA1200”作为首批产品。此次的大型齿轮成型磨床是继“GEA1200”之后的第2批产品。

ZGA2000配备了最大可经得住20 t重工件的旋转台。除了通过直接驱动马达对其进行驱动外,对磨石轴和磨石进行成形打磨的修整装置也采用内置马达进行直接驱动。可以加工的最大模块(用分度圆的直径除以齿数后获得的数值)为36。磨石的上下冲程可以根据工件的情况,从700(标准)、1 400和1 800 mm中选择任意一种。

在软件方面配备了测量工件的安装误差,然后反映在加工动作中的功能,以及根据自动啮合的信息来预测所有齿轮的加工余量,并优化加工路径的功能等。实现了非加工时间的缩短和操作效率的提高。

据悉,三菱重工业预定今后在ZGA系列中投放最大工件直径分别为1 200 mm和1 600 mm的机型,并在内齿轮用机型方面陆续投放支持大型工件的机型。

(摘自中华机械网)