

ECAPT 过程中载荷变化规律的数值模拟

张翔, 李萍, 王晓溪, 薛克敏, 吴战立

(合肥工业大学 材料科学与工程学院, 合肥 230009)

摘要: 为了掌握纯铝在 ECAPT 过程中的力学变化规律, 利用刚塑性有限元技术对纯铝 1100 的 ECAPT 变形行为进行数值模拟, 重点分析了载荷在挤压过程中的变化规律及产生变化的原因。结果表明: ECAPT 过程大致分为载荷骤升、2 次小幅度升高和载荷下降 4 个阶段; 载荷峰值随着摩擦因数的增大迅速增大, 应采取有效的润滑措施减小摩擦从而降低载荷峰值, 提高模具寿命; 随着摩擦因数的增大, 载荷在达到各阶段峰值后下降趋势越来越明显。

关键词: 大塑性变形; 等径角挤压; 挤扭; 等径角挤扭; 数值模拟

中图分类号: TG376

文献标识码: A

文章编号: 1674-6457(2010)05-0006-04

The FEM Numerical Simulation of Loads in ECAPT

ZHANG Xiang, LI Ping, WANG Xiao-xi, XUE Ke-min, WU Zhan-li

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

Abstract: In order to master the variation regularity of mechanics in the ECAPT process, the rigid-plastic FEM has been used in the numerical simulation of ECAPT of aluminum 1100. The load variation and the reasons were mainly investigated. The results show that ECAPT of aluminum 1100 can be classified into four phases in the process: the load increases fast, the load increases slowly two times, the load declines. Peak value of load will increase swiftly with the friction coefficient increasing. An effective lubricating measure should be adopted to reduce the peak value and prolong the mould life. With friction coefficient increasing the load will decline obviously when it reaches the peak value.

Key words: severe plastic deformation; equal channel angular pressing; twist extrusion; equal channel angular pressing and torsion; numerical simulation

大塑性变形(Severe Plastic Deformation, SPD)能够使试样在大的静水压力下获得剧烈的塑性变形, 使材料内部形成超细晶组织(包括亚微晶和纳米晶), 近年来已经引起材料科学研究者的广泛关注^[1-5]。主要是由于超细晶材料表现出优异的物理性能和力学性能^[2-4], 为提高材料性能, 改善传统材料创造了条件。通过 SPD 法制备的材料, 平均晶粒

尺寸一般可达 100 nm 左右。等径角挤压^[4-5]和挤扭法^[6-9]是 2 种典型的 SPD 工艺。

结合等径角挤压和挤扭 2 种有效的大塑性变形工艺, 等径角挤扭法(ECAPT)继承了两者的优势, 并将弥补 ECAP 细晶能力不强^[4-10], TE 变形不均匀^[8, 11-12]的不足, 成为制备超细晶材料行之有效的方法。ECAPT 利用 TE 工艺的原理, 在传统的

收稿日期: 2010-05-31

基金项目: 国家自然科学基金(50875072); 霍英东教育基金会(121053); 安徽省优秀青年科技基金(10040606Y21)

作者简介: 张翔(1986—), 男, 浙江杭州人, 在读硕士研究生, 主要研究方向为精密塑性成形、组织模拟在塑性成形中的应用等。

ECAP 模具结构上进行改进,在模具的挤出端型腔内加工出螺旋状的形槽,从而增加等径角挤压工艺过程中变形体变形时内部的静水压力和一次挤压时的剪切变形量,提高材料的塑性变形能力,使得试样获得良好的应变累积和细化效果,并且变形前后试样横截面形状不发生变化,通过多道次挤出变形,积累应变,均匀组织。ECAPT 法的原理如图 1 所示。

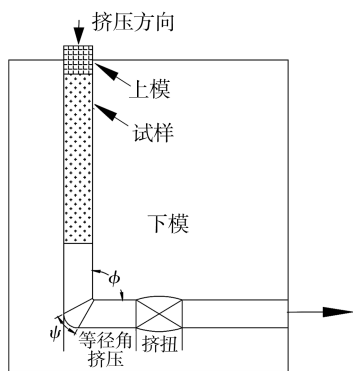


图 1 等径角挤压示意

Fig. 1 Scheme of the basic principle of ECAPT

文中采用有限元分析软件 DEFORM-3D 对方形截面纯铝 1100 试样等径角挤扭过程进行了数值模拟,研究了载荷-时间曲线的变化规律。

1 ECAPT 过程数值模拟

利用三维造型软件 UGNX4.0 建立试样和模具模型,利用有限元分析软件 DEFORM-3D 对试样 ECAPT 变形过程进行数值模拟,试样为截面 10×10 mm,长为 80 mm 的纯铝 1100 方形坯料。采用刚塑性模型,不考虑模具的变形,模具设为刚体,试样设为塑性体。L 型通道的参数为内角 $\phi = 90^\circ$,外角 $\psi = 37^\circ$,内角圆弧 $R = 0.5$ mm,TE 通道为螺旋转角 $\gamma = 90^\circ$,螺旋距离 $L = 30$ mm。模具和试样摩擦为常剪切模型,采用四节点四面体等参单元对试样进行离散。

2 模拟结果分析与讨论

2.1 ECAPT 变形的一般特征

试样在变形通道中的变形过程如图 2 所示,试

样进入拐角通道的 ECAP 变形如图 2a 所示。

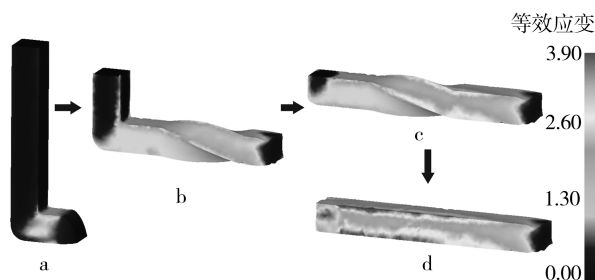


图 2 ECAPT 变形的一般过程

Fig. 2 General deformation of ECAPT

试样同时受到 ECAP 和 TE 变形如图 2b 所示,应力应变在拐角和螺旋通道处变化十分剧烈。试样完全通过拐角通道,仅受到 TE 变形如图 2c 所示。图 2d 为变形结束情况,可以看出整个变形过程是应变积累的过程。ECAP 和 TE 同时作用于试样时,试样纵截面上等效应变场、应力场分布如图 3 所示。

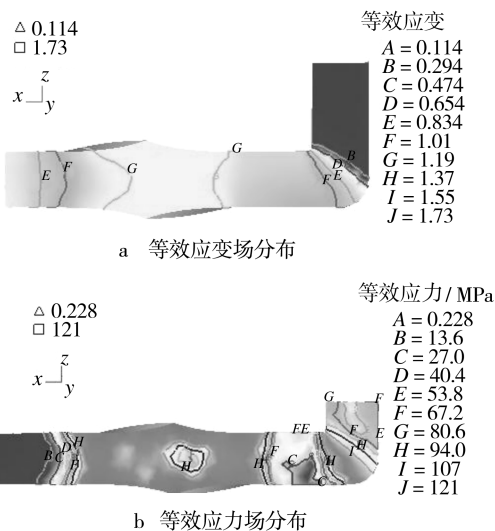


图 3 纵截面上等效应变场及应力场分布

Fig. 3 Effective strain and stress distribution along the longitudinal plane

可以看出拐角处和螺旋通道进、出口处应力应变分布密集,说明该 3 处变形剧烈,并且螺旋通道边缘相比于中心应力应变要大,即螺旋通道内变形不均匀性仍旧存在。

2.2 载荷分布

变形过程中模具的载荷-时间曲线如图 4 所示。

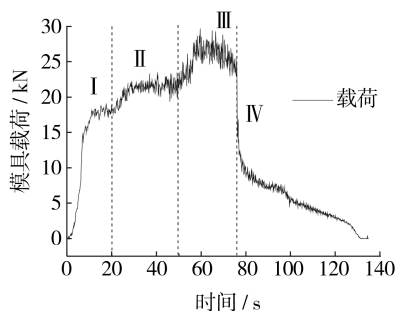


图4 载荷-时间曲线

Fig. 4 Loading-time curve during ECAPT

ECAP变形(I)时,模具载荷瞬时上升到约17.5 kN,并达到稳定。进入ECAPT过渡变形(II),当试样开始进入螺旋通道时,载荷开始继续增加,其值达到20 kN,载荷暂时达到稳定,这是由于试样在螺旋通道内发生稳定扭转变形所致。当试样头部开始挤出螺旋通道的ECAPT完全变形(III)时,试样头部由于水平通道的刚性约束,停止扭转,而螺旋通道内的体积仍旧在发生扭转变形,使试样变形困难,载荷急剧增大,并达到峰值约27 kN;随着试样头部逐渐离开螺旋通道出口,头部变形逐渐稳定,模具载荷缓慢降低。TE变形(IV)时,试样没有了L型通道处ECAP的变形作用,模具载荷急剧下降到约5 kN,随着变形继续,载荷继续下降,并且ECAPT阶段的载荷略微大于ECAP和TE阶段的叠加。这说明ECAPT变形时的模具载荷受到变形形式的影响较大,并且ECAP变形时模具载荷明显大于后期TE变形阶段。

3 其他参数的影响

载荷-时间曲线的形状、变化规律还受到模具几何形状及摩擦等的影响,不同情况下的载荷-时间曲线也不尽相同。分析不同摩擦条件对挤压过程的影响,对掌握变形分布规律,提高模具寿命等都具有重要的指导意义。

挤压过程中载荷与摩擦条件的关系如图5所示,得出摩擦条件不同时,ECAPT模拟过程中载荷变化趋势基本相同。在摩擦因数为0,0.5的情况下载荷-时间曲线第II,III,IV阶段,载荷呈缓慢上升趋势,但随着摩擦因数加大,曲线第II,III,IV阶段在载

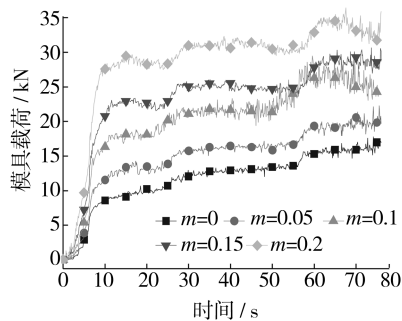


图5 不同摩擦因数的载荷-时间曲线

Fig. 5 Loading-time curve in different friction coefficients

荷达到峰值后出现轻微下降的现象。分析其原因是:该次模拟采用的是库仑摩擦模型,摩擦因数确定后,摩擦力仅与正压力有关,竖直通道中试样随着挤压的进行变得越来越短,试样与模壁间的接触面积越来越小,所需克服的摩擦力也越来越小,刚性平移阶段的试样越来越多,摩擦力很小,可以忽略不计,因此除去新增变形带来的载荷骤升达到阶段性峰值外,载荷的总值减小。

载荷峰值与摩擦因数的关系曲线如图6所示,

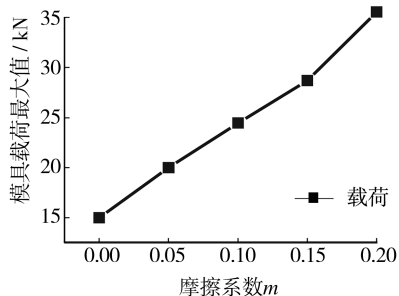


图6 载荷峰值与摩擦因数的关系曲线

Fig. 6 Relationship of the friction coefficient and the peak value of load

可以清楚地看出,随着摩擦因素的增大,模具载荷峰值近似呈线性增加,即摩擦越大,变形的载荷越大。这是由于摩擦增大,试样挤压过程中金属流动阻力增大,在模具型腔中形成较大的静水压力,需要更大的力来完成相应变形。当摩擦因子由0增至0.2时,最大载荷由15 kN急剧增至35 kN,这对模具来说是极为不利的。载荷的急剧增加将严重降低模具寿命,为了获得均匀的内部组织和延长模具的寿命,应采用良好的润滑条件,有效地减少摩擦因素的不

利影响。

4 结语

1) 纯铝 1100 等径角挤扭过程中应力集中发生在通道拐角和螺旋通道处,应变在该 2 处也得到有效积累,作为超细晶材料制备新技术,有着广泛的应用前景。

2) 载荷变化大致分为 4 个阶段:ECAP 变形载荷迅速升高阶段,过渡变形载荷缓慢升高阶段,完全变形载荷缓慢升高阶段,TE 变形载荷下降阶段。

3) 随着摩擦因数的增大,载荷-时间曲线的载荷峰值增大,摩擦因数越大,载荷峰值增大越明显。

4) 随着摩擦因数的增大,载荷-时间曲线第Ⅱ,Ⅲ,Ⅳ阶段的载荷达到峰值后呈现轻微下降趋势,且摩擦因数越大,下降趋势越明显。

参考文献:

- [1] VALIEV R Z, ESTRIN Y, HORITA Z, et al. Producing Bulk Ultrafine-Grained Materials by Severe Plastic Deformation[J]. JOM, 2006, 58(4): 33—39.
- [2] VALIEV R Z, ISLAMGALIEV R K, ALEXANDROVIV. Bulk Nanostructured Materials from Severe Plastic Deformation[J]. Progress in Materials Science, 2000, 45: 103—189.
- [3] VALIEV R Z. Structure and Mechanical Properties of Ultrafine-grained Metals[J]. Materials Science and Engineering, 1997, A234—236: 59—66.
- [4] IWAHASHI Y, HORITA Z, NEMOTO M, et al. The

Process of Grain Refinement in Equal Channel Angular Pressing[J]. Acta mater, 1998, 46(9): 3317—3331.

- [5] FURUKAWA M, HORITA Z, NEMOTO M, et al. Review Processing of Metals by Equal Channel Angular Pressing[J]. Journal of Materials Science, 2001, 36: 2835—2843.
- [6] AKBARIMOUSAVI S A A. Influence of Strain Accumulation on Microstructure of Aluminum 1100 in the Twist Extrusion[J]. International Journal of Modern Physics B, 2008, 22(18/19): 2858—2865.
- [7] BEYGELZIMER Y, VARYUKHIN V, SYNKOV S, et al. Useful Properties of Twist Extrusion[J]. Material Science and Engineering A, 2009, 503(1/2): 14—17.
- [8] BEYGELZIMER Y, VARYUKHIN V, SYNKOV S. Shears, Vortices, and Mixing During Twist Extrusion[J]. International Journal of Material Forming, 2008, 1 (supplement 1): 443—446.
- [9] VARYUKHIN V, BEYGELZIMER Y, EFROS B. Nanostructured Materials by Twist Extrusion and Highpressure Torsion[J]. Materials Science Form, 2008, 584—586: 102—107.
- [10] VALIEV R Z, LANGDON T G. Principles of Equal-channel Angular Pressing as a Processing Tool for Grain Refinement [J]. Progress in Materials Science, 2006, 51(7): 881—981.
- [11] 吴战立, 薛克敏, 李萍, 等. 纯铝扭挤(TE)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.
- [12] 薛克敏, 王晓溪, 李萍. 超细晶材料制备新工艺——挤扭[J]. 塑性工程学报, 2009, 16(5): 130—136.

合肥锻压 20 000 kN 液压机入围国家重点新品计划

从合肥锻压集团有限公司获悉,该公司研发的“20 000 kN 数控单动薄板冲压液压机”入围 2010 年度国家重点新产品计划,并获国家重点新产品证书。

该新产品主要用于汽车覆盖件的冲压生产,包括金属薄板的拉伸、弯曲、翻边,还可进行低噪声冲孔、落料,能准确地完成冲裁和冲裁后的翻边整形。本项目立足国内自主开发,主要设备和液压系统、数控系统、检测系统均属自行研制,目前已获得 13 项国家专利。

该新产品的研制成功使得合肥锻压集团在汽车覆盖件液压机冲压线技术领域进入国际领先水平。满足了大型汽车覆盖件柔性工艺生产需要,为国内汽车工业发展提供了大型关键装备,对提升国内汽车工业产品整体质量具有重要意义。

(摘自中华机械网)