

6061 铝合金壁板型材等温挤压的研究

黄泽涛,袁鸽成,刘洪,吴亚

广东工业大学材料与能源学院,广东 广州 510006

摘要:基于HyperXtrude软件,对6061铝合金壁板型材的等温挤压工艺进行了研究.首先对金属流动进行稳态分析,实现模具结构优化;然后对可实施等温挤压的梯温铸棒工艺进行瞬态模拟挤压,并按该工艺进行试挤;最后借助光学显微镜及显微硬度仪对挤压后的型材进行组织与性能的研究.研究结果表明,按模拟得出的首尾温差为100℃的梯温铸棒工艺进行实际挤压,挤压过程中型材的出口温度变化仅7℃,而且挤压后的型材组织与性能分布均匀,可以实现近等温挤压.

关键词:HyperXtrude;等温挤压;梯度温度;组织与性能

中图分类号:TG376;TG76

文献标识码:A

随着工业铝型材的使用日益广泛,以及对型材的形状和尺寸精确性、组织和性能沿断面及长度方向的均匀性要求的提高,改善挤压工艺势在必行.铝型材挤压是在高温、高压、复杂的摩擦状态等条件下的成形过程^[1-3],因而常出现材料组织性能的变化、摩擦条件不同造成的热量变化及挤压力与速度的变化.在传统的等速挤压过程中随着挤压过程的进行,材料与工具摩擦产生的热量使型材的组织、性能及表面质量沿长度方向发生变化,甚至会产生扭曲、裂纹等较严重的缺陷^[4].显然,传统的等速挤压工艺已不能满足高性能的需求,因而开发等温挤压工艺势在必行.

等温挤压是指在出口温度恒定(一般相差 $\pm 10^\circ\text{C}$)下铝型材的挤压成形,其特点是在挤压过程中模孔变形区金属的温度始终保持恒定,金属的变形抗力及流动性保持均匀^[5-6].梯温铸棒挤压是实现等温挤压的方法之一,它是利用梯温加热或者梯度冷却的方法^[7-8]使铸棒获得梯度温度,从而补偿挤压的温升,实现等温挤压.传统梯温获取方法主要依靠工程类比和生产经验,因而需要通过反复调整才能达到合理状态.随着CAE技术在生产中的广泛应用,可通过CAE技术使铸棒获得梯温,以提高生产

效率及企业效益.本文基于HyperXtrude软件,利用梯温铸棒挤压获得近似等温挤压,提出最佳的铸棒梯度温度,并对等温挤压后型材的组织及性能进行了研究.

1 实验部分

1.1 分析模型的建立

本研究以4 mm×120 mm的6061铝合金壁板型材作为研究对象,模具设计图及分析模型分别见图1和图2.分析模型将材料流经区域分为棒料、导流孔、工作带和型材四个部分,并对其进行网格划分(图2),其中工作带和型材采用三棱柱网格,导流孔和棒料采用四面体网格,网格大小划分取决于各部分变形程度,模型网格总数为10.5万个.模拟分析采用的铸棒规格为直径178 mm×430 mm,模具和坯料预热温度为470℃,挤压筒预热温度为430℃,挤压比为50.7,模具与坯料间的对流换热系数为3000 W/m²·℃,挤压杆速度为2 mm/s.

1.2 挤压模拟方法

基于稳态分析模块,对模具结构进行优化.通过计算分析型材出口时沿挤压方向(Z轴)型材各部

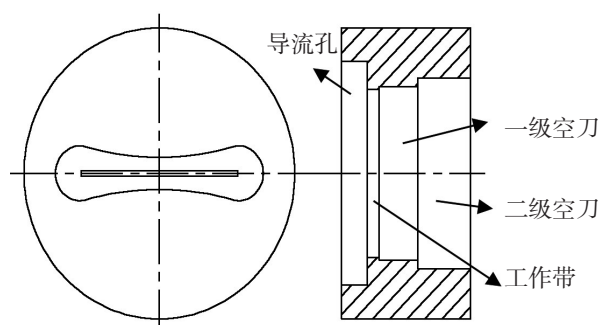


图1 模具设计图

Fig.1 Mold structure of the profile

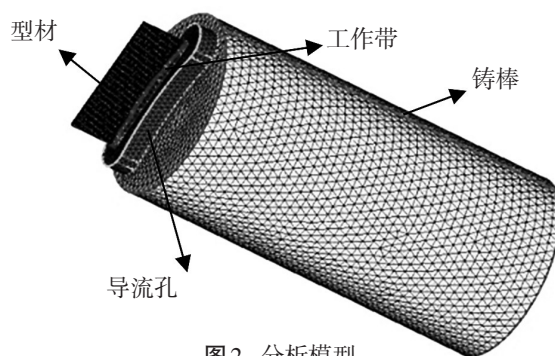


图2 分析模型

Fig.2 Analysis model

分金属的流动速度,得出金属流动速度与预期流动情况的差异信息,从而调整工作带,达到结构优化的目的.为了提高模拟准确率及减少运算时间,采用固定网格的瞬态分析模块完成对等温挤压过程的模拟,即在整个计算过程中计算网络始终保持初始状态.把整个挤压模拟过程分为35步,前5步是挤压杆加速过程,后30步是等速挤压过程.挤压模拟铸棒分别选用470℃等温铸棒及首尾温差为100℃梯温铸棒,它们头部温度均为470℃,然后进行模拟挤压,分析其出口温度随时间变化的特征,温度取点于型材中心轨迹线,每个分析步骤记录一次温度数据.

1.3 实际挤压方法

在2000UST挤压机上,采用等温铸棒工艺及模拟得出的可实现等温挤压的梯温铸棒工艺,进行实际试挤.同时采用接触式测温仪,测量型材沿挤压方向的实际温度分布,每隔10s测量一次,研究轨迹为壁板型材表面的中心线.由于挤压开始前5s,挤压杆处于加速阶段,型材出口温度逐渐升高,并且挤压棒表皮氧化物易进入产品中,而导致型材组织与性能的不稳定.因此,必须先把等温挤压后的型材端部切去50cm,然后再在剩下的型材中分别截取前后两端30cm的型材作为研究对象.借助显微

硬度仪对型材表面中心轨迹(沿挤压方向)的硬度分布进行研究,每隔1cm测量一次,每个试样总共测29个硬度点;借助光学显微镜(OM)对等温挤压后型材的前后端中部,尺寸为10mm×20mm的试样进行组织研究.

2 模拟挤压结果及分析

2.1 模具结构优化

型材的形状不规则及厚度不均均会导致金属流动不均匀,而在挤压过程中工作带是控制材料流动的重要部位,工作带高度越大对金属流动阻力越大,通过控制工作带高度,可调整各部分金属流动的阻力,从而达到金属均匀流动和改善挤压型材成形质量.反之工作带高度控制的不理想,会出现波浪、扭拧、开口及并口等缺陷.

由于本研究所选用的型材宽厚比大,易造成模孔内各部分金属流动不均匀,模具的工作带各区域分区见图3.由于型材A区域的金属受到模具工作带三个壁面的摩擦且距铸锭中心部位较远,因而金属流动阻力大,流动性较差;而型材E区域的金属受到模具工作带两壁面的摩擦且距模具几何中心近,因而金属流动阻力小,流动性好;型材C区域虽然也

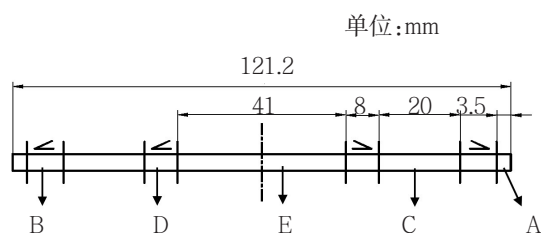


图3 工作带分区

Fig.3 Partition of bearing

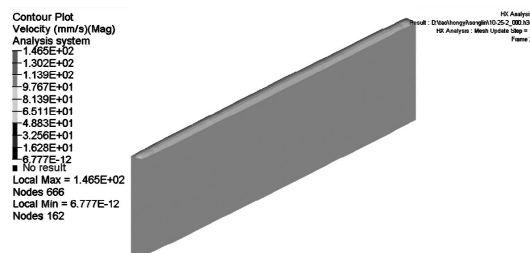


图4 稳态的轴向流动速度

Fig.4 Axial flow velocity in steady-state analysis

受到工作带两壁面的摩擦,但距模具几何中心较E区域近,因而该区域金属的流动性处于E区域的及A区域之间.经多次优化后,型材A区域工作带高度取5.5 mm,C区域工作带高度取7 mm,E区域工作带高度取8 mm,以平衡各区域间金属流动时所受的阻力.同时A区与C区及C区与E区之间的工作带用倒角均匀过渡,以保证型材的表面质量.图4为优化后型材各部位沿挤压方向(Z轴)的金属流速分布图.从图4可以看出,整个型材各部位的金属流动速度分布均匀,说明成形质量良好.因此,通过模拟能达到优化模具的效果,为实现等温挤压提供了良

好的成形基础.

2.2 模拟挤压结果及分析

在挤压过程中,由于金属跟挤压筒、模具摩擦而产生的热量及挤压力做功产生的热量,可使金属的温度升高,因而在正常的等温铸棒挤压过程中,会导致型材的出口温度逐渐升高,而梯温铸棒工艺可以补偿挤压的温升,近似等温挤压.基于HyperX-trude的固定网格的瞬态分析模块进行模拟挤压,温度取样点保持与实测点相同,即位于型材中心轨迹线上.由于挤压开始前5 s,挤压杆处于加速阶段,因而温度上升较快,随后进入挤压速度稳定阶段.图5

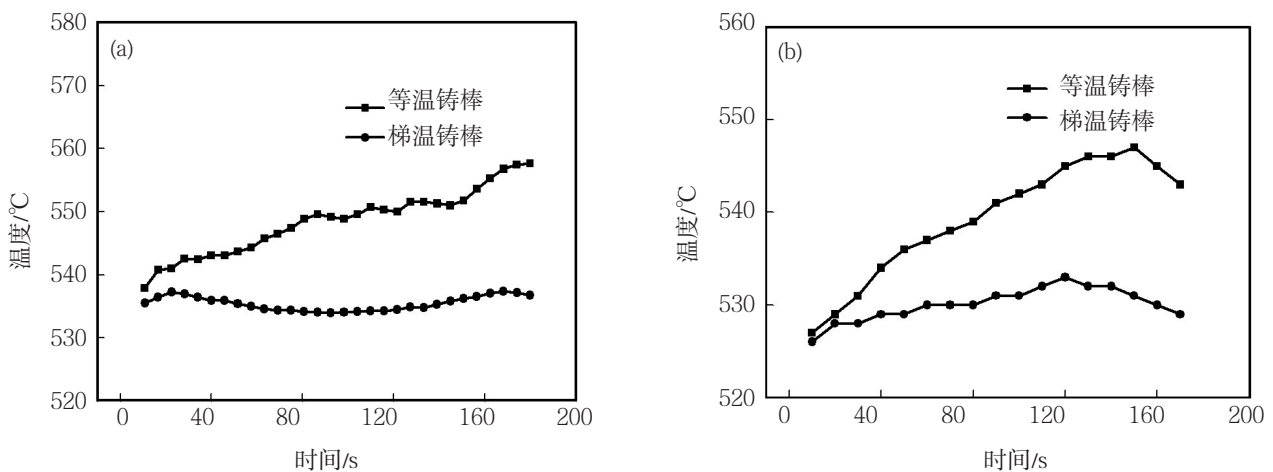


图5 型材出口温度的变化曲线

(a)模拟试验;(b)实际试挤

Fig.5 The exit temperature changing curves of profile

(a) simulation;(b) actual extrusion

为5 s后型材出口温度随时间变化的曲线.

从图5(a)可见,等温铸棒的温度上升幅度较大,前后温差达到19.8 °C;而梯温铸棒在挤压前期,其温度略有上升,挤压中后期温度趋于平稳略有下降趋势,前后温差较小,仅为3.4 °C,表明梯温铸棒工艺可实现等温挤压.

从图5(b)可知,按照传统的等温铸棒工艺进行挤压时,型材的温度不断上升,但到了末端出现温度下降,这是末端挤压垫及润滑剂散热作用造成的,整个稳定挤压阶段的温升为20 °C.按照梯温铸棒工艺进行实际试挤,测出的温度比模拟温度略低,这是实际生产中不稳定的因素所导致的,如实际复杂的散热条件与边界条件的差异,但型材的温度沿挤压方向分布较为平衡,没有出现较大的温度波动,温差最大为7 °C.

3 型材性能与组织

等温挤压的目的是保证沿长度方向上材料组织及性能的稳定,硬度是衡量材料性能的指标之一.本研究取挤压后型材的前后端作为硬度研究对象,并沿着其表面中心轨迹进行硬度研究,图6为沿挤压方向型材前后端的硬度分布图.从图6可见,沿着挤压方向型材的硬度分布较均匀,由于晶粒大小以及第二相分布的影响,硬度在小范围内浮动,型材前端的平均硬度为10.568HV_{0.1},而型材后端的平均硬度为10.480HV_{0.1}.

图7为试样微观组织的立体示意图.从图7可见,等温挤压后试样前端与末端各面的显微组织形貌相似,这是由于受高温影响及剧烈摩擦作用,试

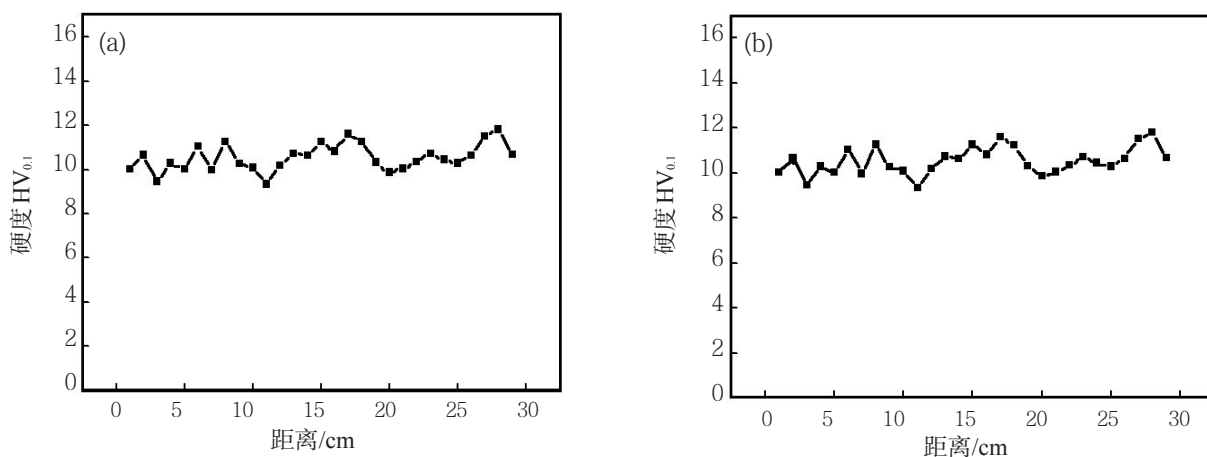


图6 型材两端表面中心轨迹的硬度分布

(a)前端; (b)后端

Fig.6 Hardness distribution along the center path of profile surface

(a) front; (b) back

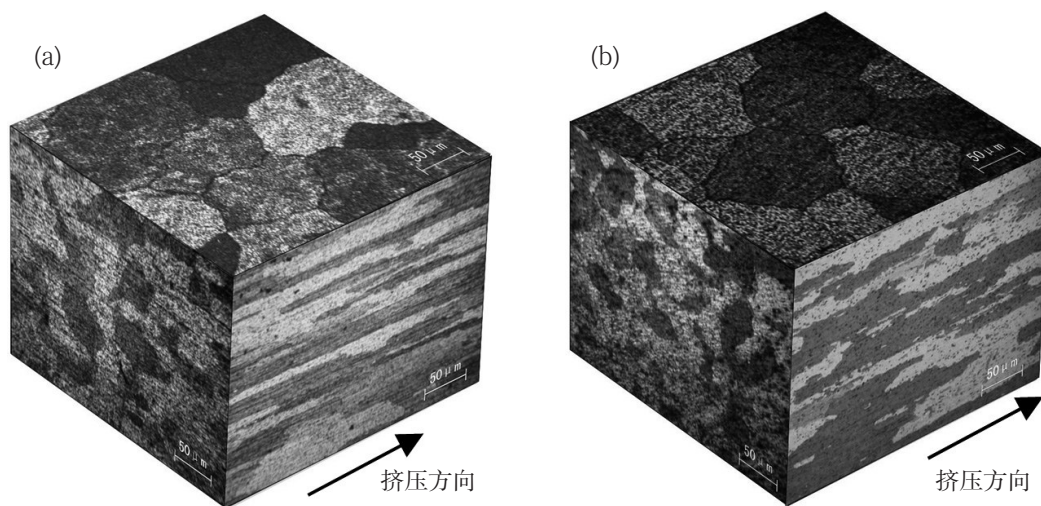


图7 型材前端及末端的显微组织立体示意图

(a)前端; (b)末端

Fig.7 Three-dimensioal schematic of microstruches of profile

(a)front; (b)back

样表面组织出现动态再结晶,晶粒呈等轴状.其中试样横截面的晶粒呈现横向带状分布,这是因在挤压过程中受到剧烈的塑性变形作用而导致的;试样纵截面的晶粒呈不规则略扁状分布.试样前端与末端显微组织形貌区别不大,这与硬度试验结果相吻合,表明通过等温挤压后,沿长度方向上型材前后端的组织及性能较均匀.

4 结 论

(1)基于HyperXtrude软件,针对6061壁板型材

进行稳态分析,通过多次优化设计,可得到不等的定径带高度,实现该型材均衡的流动及变形,从而实现模具结构优化.

(2)在优化设计基础上瞬态分析结果表明,在铸棒首尾温差为100℃的工艺条件下,型材沿挤压方向的出口温度差最小,约为3.4℃,模拟仿真能实现近等温挤压.

(3)在铸棒首尾温差为100℃的工艺下进行实际挤压,该型材出口温度沿挤压方向温差约为7℃,略高于模拟结果,可实现近等温挤压.等温挤压后,沿挤压方向型材前后端的组织形貌没有明显差异,

硬度值分布也较均匀.

参考文献:

- [1] LOKSHIN M Z, MAKAROV G S. Development of metallurgical grounds of extrusion technology for aluminium alloys[J]. *Tsvetnye Metally*, 2005(3): 91-96.
- [2] PRASAD BHANU V V, BHAT B V R, MAHAJAN Y R, et al. Effect of extrusion parameters on structure and properties of 2124 aluminum alloy matrix composites[J]. *Materials and Manufacturing Processes*, 2001(16): 841-853.
- [3] VALBERG H. Extrusion welding in aluminium extrusion[J]. *International Journal of Materials and Product Technology*, 2002(17): 497-556.
- [4] ZHU H, CACERES C H, ZHANG X, et al. Investigation of streaking defects on aluminium extrusions[C]//The Sixth Pacific Rim International Conference on Advanced Materials and Processing. Jeju: Materials Science Forum, 2007: 341-344.
- [5] LI L, ZHANG H, HU J, et al. Simulation-based design of ram speed profile for isothermal extrusion[J]. *Key Engineering Materials*, 2008, 367: 153-160.
- [6] CHANDA T, ZHOU J, DUSZCYK J. A comparative study on iso-speed extrusion and isothermal extrusion of 6061 Al alloy using 3D FEM simulation[J]. *Journal of Materials Processing Technology*, 2001, 114(2): 145-153.
- [7] 孟凡旺. 铝合金铸锭梯度水冷系统研究与开发[D]. 北京: 北京科技大学, 2009.
- [8] 王文琴, 刘静安, 罗昭敏. 一种实现铝材等温/等压挤压工艺的新技术[J]. *铝加工*, 2009(5): 17-21.

The study on isothermal extrusion of 6061 aluminum alloy plate

HUANG Zetao, YUAN Gecheng, LIU Hong, WU Ya

Faculty of Materials and Energy, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China

Abstract: Isothermal extrusion process of 6061 aluminum alloy plate was investigated based on HyperXtrude software. Firstly, steady-state analysis of metal flow was conducted to optimize the structure of the die; then the process parameters which could achieve the isothermal extrusion were used to simulate transient extrusion. And following the process parameters, the actual extrusion was carried out. At last, the microstructure and hardness were characterized by using optical microscope (OM) and microhardness instrument, respectively. The result showed that microstructure and property of profile were uniform along the direction of extrusion and isothermal extrusion could be achieved following the process in which thermal gradient of billet was 100 °C and the outlet temperature difference was about 7 °C.

Key words: HyperXtrude; isothermal extrusion; thermal gradient; microstructure and property