第13卷第3期

2006年6月

JOURNAL OF PLASTICITY ENGINEERING

AZ91D 镁合金半固态触变成形的数值模拟

(哈尔滨理工大学 材料科学与工程学院,哈尔滨 150040) 闫洪华¹ 郑小平³

(哈尔滨理工大学 应用科学与技术学院,哈尔滨 150080) 王海波²

摘 要:采用商业有限元软件 DEFORM3D[™]对半固态镁合金 AZ91D 的触变成形过程进行了数值模拟,并利用自制的模具,在加热到 570 保温不同时间的情况下,对 AZ91D 镁合金半固态坯料进行触变成形试验。通过模拟分析的结果与试验的实际结果进行对比,得出了最佳触变成形工艺参数,同时,在一定程度上验证了数值模拟分析结果的可靠性。

关键词: AZ91D 镁合金; 触变成形; 数值模拟; 有限元

中图分类号: TG146.2⁺2 文献标识码: A 文章编号: 1007-2012 (2006) 03-0104-04

引 言

采用计算机模拟技术模拟半固态成形过程对于 成形工艺参数的确定、模具设计周期的缩短以及铸 造工艺优化等具有重要的指导意义。

在金属塑性成形过程中,工件发生很大的塑性 变形,在位移与应变的关系中存在几何非线性,在 材料的本构关系(应力-应变关系)中存在材料非线 性,即物理非线性。不仅如此,成形所用模具型面的 几何形状往往比较复杂,工件与模具的接触状态不断 改变,摩擦规律也难以准确描述。由于以上种种原 因,金属塑性成形问题难于求得精确解。有限元法是 目前进行非线性分析的最强有力的工具,因此也成为 金属塑性成形过程数值模拟中最流行的方法。

半固态合金具有一定的触变特性,其形变抗力 不仅与剪切速率有关,还与时间有密切关系,因此 要跟踪流体微团变形历史^[1~3]。目前,对触变成形 过程的模拟研究也大多在一些商业有限元平台上进 行。当前比较著名的商品化软件有十几种^[4],如适用 于砂型、金属型、熔模、离心、高/低压、实型等各种铸 造方法的软件有英国的 SOLSTAR,PHOENICS-2, 德国的 MAGMASOFT,美国的 FLOW3D^[5],PRO-CAST^[6]与 DEFORM^[7~9]等。这些软件不仅可以进 行温度场模拟,也可进行流场、应力场和显微组织

收稿日期: 2005-07-21;修订日期: 2005-09-12

模拟,有些软件还实现了流场-温度场-应力场-电磁场的耦合。而对于应力场模拟与变形预测,大多应用有限元法并利用商业有限元程序来实现的 ADF NA,ANSYS^{10]},NASTRAN,PANDAT^{111]}等软件。而对于流场、温度场模拟以及缺陷预测,大都采用基于 Euler 坐标系的 FV/CV(有限体积/控制体积)法。

本文采用商业有限元软件 DEFORM-3D[™] 对 AZ91D 镁合金半固态成形进行三维刚粘塑性有限元 模拟,并对其进行了实验验证。

1 数值模拟及实验验证

1.1 有限元模型的建立

刚粘塑性有限元法假设半固态金属触变成形过 程的流动为单相等温层流流动。描述材料塑性变形 阶段的流动应力模型采用^[12]:

$$= f(\overline{}, \overline{}, T)$$

式中 ----材料在塑性变形中的流动应力 (屈服 应力)

——等效应变速率

T----材料所处的变形温度

由于 DEFORM-3D[™]材料库中没有所需的半固 态材料模型,所以需采用等温压缩实验测量出半固 态时不同温度、不同的应变速率下的真应力-真应变 关系曲线来建立 AZ91D 镁合金半固态的材料模型。

模具和坯料之间的摩擦关系采用剪切摩擦模型⁽¹³⁾,为

$$f = m_f k$$

闫洪华 E-mail: yanhonghua student @sina com cn 作者简介: 闫洪华, 女, 1981 年生, 硕士生, 哈尔滨理 工大学

式中 f----摩擦力

- *m*_f 摩擦因子
- k ——材料的剪切屈服应力

几何模型是在 UG软件中分别建立成形件、模 具和压头的三维实体模型,得到'.prt'格式的模 型文件, 然后转换输出成 '. stl' 格式的文件。再 通过 DEFORM-3D[™]前处理器中的模型输入接口得 到有限元软件中的三维实体模型(见图1)。





图 1 有限元的几何模型 a) 坯料; b) 模具模型; c) 压头 Fig. 1 The finite element geometrical model

1.2 成形过程金属流动速度场

半固态 A Z91D 镁合金在所设计的模具中的触变 成形可以分为两个阶段[13]:第一阶段为被挤压的金 属首先从 40mm 直径的挤压筒中进入 20mm × 10mm 的圆柱孔; 金属完全充满 20mm ×10mm 圆 柱孔后开始向所设计的型腔中流动,进入第二阶段。

图 2 所示为 AZ91D 合金触变成形第一阶段金属 流动速度场的数值模拟结果,从左至右分别是压下 行程不断增加时的金属流动速度场情况。在这一阶 段,金属的成型其实是轴对称挤压变形,从图 2a 中 可以看到,金属在挤压筒内靠近模具出口端的地方 存在一个近似扇形的剧烈变形区和一个金属基本不 流动的 "死区"[13]。这个 "死区"可以使坯料表面 的氧化皮残留在挤压筒内,防止氧化皮进入制品内 部,因而是有利的。在第一阶段就要结束时,流动 金属的前端接触模具型腔的下底面、被下底面限制 只能向四周的型腔中流动,因而在下底面中心部位 形成一个很小的近似圆锥形突起的"新死区", 如图 2b 所示。



105

图 2 触变成形过程第一阶段金属流动速度场 Fig. 2 The flow velocity field in the first thixoforming process

为了分析触变成形第二阶段金属在型腔中的流 动速度情况,对变形体进行了水平剖分,图3就是 形腔中的金属流动速度的数值模拟结果。从图中可 以看到,金属在不同尺寸的型腔中的流动速度是不 均匀的,大尺寸的形腔中的金属流动更快。通过对 比图 3a、b 可以看出, 随着变形过程的不断进行, 被充满的大尺寸形腔内的金属流动速度几乎减小到 零,这也被触变成型的实验结果所证实。



图 3 触变成形过程第二阶段金属流动速度场 Fig. 3 The flow velocity field in the second thixoforming process

1.3 充型模拟结果与试验验证结果

在 DEFORM-3D[™]的前处理器中建立好几何模 型和物理模型(包括材料的材料特性、成形温度、 模具和坯料之间的摩擦关系等)以后,设定各种控 制参数,如非线性方程迭代解法、增量步长、网格 重画控制参数等等,同时保存好数据库文件、然后 就可以用求解器进行计算求解了。求解过程中 DE-FORM-3D[™]可以自动进行网格重画。求解结束后可 以用后处理器分析计算结果。图 4 所示是半固态 AZ91D 镁合金触变成形有限元模拟计算后的坯料形 状变化。图 4 中所对应的 a、b、c 的压下行程分别 是 34mm、46mm、54mm。



图 4 有限元计算后的坯料形状变化 Fig. 4 The shape change of the billet after finite element simulation

验证试验采用 A Z91D 镁合金加热到 570 时保 温 30min 制成半固态坯料, 然后在 WE-60 液压万能 试验机上进行半固态剪切流变性能试验。试验结果 如图 5 所示 (是触变成形后的部分实物照片)。从图 5 中可以看出,最佳保温时间是 30min~45min^[14]。 从图 4、图 5 的对比中可以看出,试验结果与模拟 结果基本吻合。



图 5 AZ91D 镁合金半固态坯料加热到 570 保温 不同时间时的触变成形后的照片 a) 保温 15min; b) 保温 60min; c) 保温 45min Fig 5 Some photos of the thixoformed parts of semi-solid AZ91D Magnesium alloy billet at 570 with different holding time

2 结 论

1) 对 AZ91D 镁合金半固态成形进行了三维刚 粘塑性有限元数值模拟,通过试验结果与模拟结果 对比,得出充型模拟结果和试验结果基本吻合。

2) AZ91D 镁合金半固态流动成形在 570 成型 时,随着半固态等温时间的增加,成形件的组织将 越来越细化、均匀,固相颗粒也会更加球化,液相 增加;存在临界成形力和最大成形力随着半固态等 温时间的延长而减小;最佳的半固态等温时间为 30min~45min。

参考文献

- [1] 廖敦明,林汉同等. 镁合金半固态铸造工艺及其数值模 拟研究进展. 特种铸造及有色合金,2002年. (压铸专 刊):275~278
- [2] 高志强,王云华,苏华钦.半固态合金触变铸造数值模 拟方法的研究.特种铸造及有色合金,1997.(6):8~12
- [3] 沈健,谢水生,石力开.半固态金属加工工艺过程的模 拟进展.稀有金属,1999.23(6):431~435
- [4] 高志强等.半固态合金触变铸造数值模拟方法的研究.特别铸造及有色合金,1997.(6):8~12
- [5] D H Kirkwood, P J Ward. Modeling of thixotropic breakdown. The 8th S2P International Conferences, 2004, Limassol, Cyprus, 2004
- [6] Dominique Bouchard, Jos é Colbert, Fr él éric Pineau. Characterization of contact heat transfer coefficients and mathematical modeling of a semi-solid aluminium die casting. The 8th S2P International Conferences, 2004, Limassol, Cyprus, 2004
- [7] C G Kanga, H K Jung, K W Jung. Thixoforming of an aluminum component with a die designed by process simulation. Journal of materials processing technology, 2001. (111):37~41
- [8] G Fang ,L P Lei ,P Zeng. Three-dimensional rigid-plastic finite element simulation for the two-roll crosswedge rolling process. Journal of materials processing technology. 2002. 149, 245 ~ 249
- [9] Xinggang LI, Shuisheng XIE, Yunxi JIANG. Rigid-Viscoplastic finite element analysis on semi-solid thixoforming automobile wheel of AZ91D magnesium alloy. The 8th S2P International Conferences, 2004, Limassol, Cyprus, 2004

- [10] Jerzy Petera, Monika Kotynia. The finite element model of non-isothermal semi-solid fluid flow. International Journal of Heat and Mass Transfer. 2004. 47, 1483 ~ 1498
- [11] N Tonmukayakul, Q Y Pan, A N Alexandrou, D Apelian. Transient flow characteristics and properties of semi-solid aluminum alloy A356. The 8th S2P Interna-

tional Conferences ,2004 ,Limassol ,Cyprus ,2004

- [12] 姜巨福.新 SIMA 法制备 AZ91D 半固态坯及其触变模 锻研究.博士学位论文.2005.(6):89~90
- [13] 潘洪平.半固态 AlSi7Mg 合金触变成形的实验研究. 博士后毕业论文.2002.(11):77~88
- [14] 郑小平. AZ91D 镁合金半固态触变成形工艺研究. 工 学硕士学位论文. 2005. (6):38~54

Numerical simulation of semi-solid AZ91D magnesium alloy thixoforming

YAN Hong-hua¹ ZHENG Xiao-ping³

(School of Material Science and Engineering, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150040 China) WANG Hai-bo²

(School of Application Science and Technology, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080 China)

Abstract: The author of this paper using the commercial Finite element software DEFORM3DTM, for the simulation of deformation in the semi-solid state magnesium alloy AZ91D. This paper used home-made mould to test thixo-processing property of AZ91D magnesium alloys at 570 with different holding time. Simulation results are compared with experimental results, the optimal thixoforming processing parameters were obtained, and the dependability of numerical simulation results were validated at certain extant.

Key words: AZ91D magnesium alloy; thixoforming; numerical simulation; finite element

(上接第 99 页)

Study on two-stage deformation of the AZ31 alloy

ZHANG Xing ZHANG Zhi-min WANG Zhi-wen

(Department of Materials Science and Engineering, North University of China Taiyuan 030051 China)

Abstract : The two-stage deformation was processed to AZ31 alloy as cast at different parameter condition, and structure evolution and mechanical property was analyzed. The results indicate that the grain of AZ31 alloy as cast will be fined by the two-stage extrusion deformation, and its size can decreases from about 100μ m to 3μ m. The strength of AZ31 alloy can be raised by the two-stage deformation, up to 390MPa, this is about double than as cast structure. At the same time, the prolongation rate is more than 10 % by the two-stage deformation.

Key words: magnesium alloys; two-stage deformation; strengthening