

# MB26 镁合金复杂结构件等温模锻过程的数值模拟与缺陷控制

杜志惠<sup>1</sup> 张绪虎<sup>1</sup> 单德彬<sup>2</sup> 陈永来<sup>1</sup> 张宇玮<sup>1</sup>

(1 航天材料及工艺研究所,北京 100076)

(2 哈尔滨工业大学,哈尔滨 150080)

**文 摘** 采用 DEFORM-3D 有限元软件对 MB26 镁合金复杂结构件等温模锻工艺过程进行了数值模拟,直观地反映了锻件成形过程中的应力分布、金属流动趋势以及成形效果,分析了折叠、流线不顺等缺陷产生的原因。通过数值分析得出了合理的坯料形状、模具形式及成形工艺参数,消除了成形中可能出现的缺陷。

**关键词** 镁合金,等温锻造,数值模拟

## Numerical Simulation of Isothermal Forging Process of MB26 Magnesium Alloy

Du Zhihui<sup>1</sup> Zhang Xuhu<sup>1</sup> Shan Debin<sup>2</sup> Chen Yonglai<sup>1</sup> Zhang Yuwei<sup>1</sup>

(1 Aerospace Research Institute of Materials & Processing Technology, Beijing 100076)

(2 Harbin Institute of Technology, Harbin 150090)

**Abstract** The isothermal forging process of MB26 magnesium alloy was studied by one type of DEFORM-3D element analytical software. The results show visually the distribution of the stress, the trend of metal flow and the forming effect. The cause of typical forming defects, such as folding was found out. According to numerical analysis, the proper blank dimensions, die structure and process parameters were achieved. The forming defects were eliminated.

**Key words** MB26 magnesium alloy, Isothermal forging, Numerical simulation

### 0 引言

MB26 合金是在 MB15 合金基础上添加富 Y 混合稀土元素研制而成的新型镁合金,与 MB15 相比,该合金具有更好的室温和高温力学性能,是一种很有实用价值的高强镁合金<sup>[1]</sup>。但该合金锻造温度范围窄,自由锻造过程中易开裂,而等温锻造是提高合金流动性、降低变形抗力最有效的成形方法之一,可实现复杂构件的近净成形,大大提高材料利用率。MB26 结构件如图 1 所示。

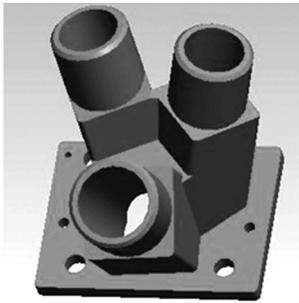


图 1 镁合金结构件

Fig. 1 Workpiece of magnesium alloy

该构件若采用一般机械加工工艺,毛坯约 5 kg,而成品仅 0.93 kg,80% 的毛坯材料作为切屑流失,造成金属浪费,大大增加生产成本。采用等温模锻成形是提高此类复杂结构件材料利用率和减少机械加工造成流线切断的有效方案<sup>[2]</sup>。本文利用有限元数值模拟,分析了等温模锻过程中缺陷(折叠、流线不顺)产生的原因及控制方法。

### 1 有限元模型建立

利用 DEFORM-3D 软件对该过程进行数值模拟。将材料热压缩模拟试验中得到的应力应变数据输入到 DEFORM 默认的材料库中,DEFORM 系列软件通过默认的流动应力模型  $\bar{\sigma} = \bar{\sigma}(\bar{\epsilon}, \dot{\bar{\epsilon}}, T)$ ,采用非线性回归算法可以自动计算出 MB26 镁合金的本构方程。模拟温度为 350℃,设定为等温环境,与外界无热交换。坯料与模具间摩擦模型采用剪切模型,摩擦因子定为 0.4,冲头为主动模具,速度设定为恒定。前处理中,坯料初始网格设定为 50 000 格,模拟装配模型如图 2 所示,整个模型包括冲头、导套、凹模以及坯料模型。

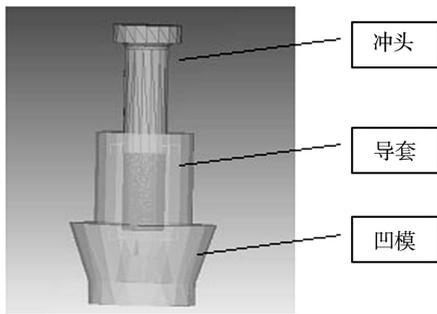


图2 数值模拟用模型装配图

Fig. 2 Assembly diagram of model for numerical simulation

## 2 模拟方案设定

根据成形零件的形状确定终锻模具,利用冲头下压完成零件的成形。为了解整个坯料填充模腔的过程是否合理,设定了不同的坯料形状、导套形状以及下压方案进行模拟。成形方案如表1所示。坯料形状如图3所示。

表1 成形方案

Tab.1 Forming cases

方案	坯料形状	导套形状	冲头下压速率/ $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$	下压方案
1	阶梯形	方导套	2	一次成形
2	圆柱形	方导套	2	一次成形
3	圆柱形	圆导套	2	一次成形
4	圆柱形	圆导套	2	二次成形

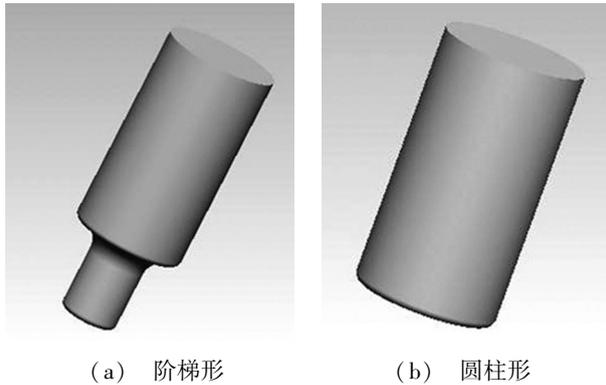


图3 坯料形状

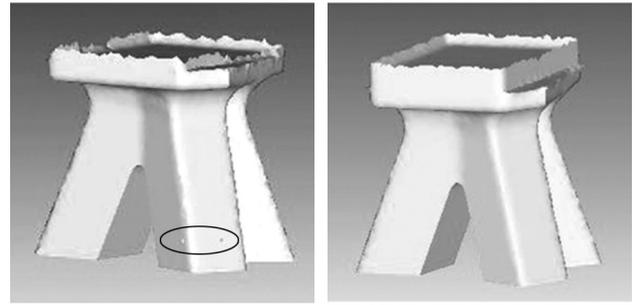
Fig. 3 Billet dimensions

## 3 等温锻造数值模拟分析

### 3.1 折叠缺陷的产生与消除

图4分别为采用方案1和方案2所最终成形的零件,由图4可见,两种方案最终成形零件外形一致,完全充满了模腔。但是,阶梯形坯料在三个接头底部出现折叠缺陷,如图4(a)所示。图5为阶梯形坯料下压过程中不同时期的坯料填充情况,可清楚看到折叠缺陷产生的全过程。这主要是由于阶梯形坯料在成形过程中,坯料上、下两部分截面差别过大,导致在材料充满三个管道时,上部向下流的金属不是以墩粗方式充填,而是与已流入型腔的金属汇流而形成了折

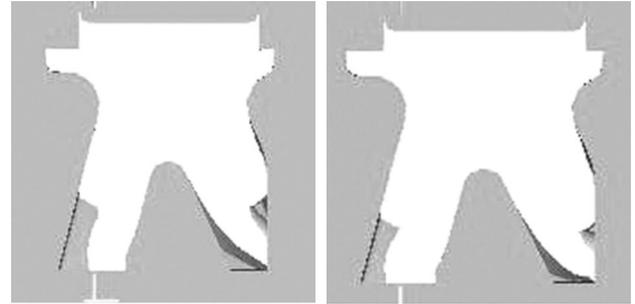
叠。由此可见采用圆柱形坯料作为初始坯料更为合理。



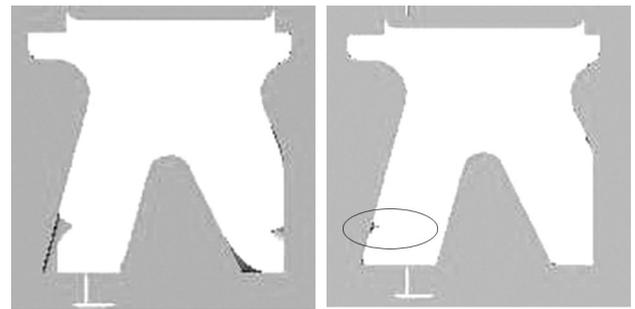
(a) 阶梯型坯料 (b) 圆柱型坯料

图4 方案1与方案2最终成形零件示意图

Fig. 4 Schematic diagrams for final molding parts of cases 1 and 2



(a) 下压到265步 (b) 下压到275步



(c) 下压到285步 (d) 下压到295步

图5 阶梯形坯料折叠产生过程

Fig. 5 Forming process of fold in ladder-shape billet

### 3.2 流线不顺的产生与消除

图6、图7分别为方案2、3在不同下压时间下的等效应力分布图。可见方案3的总下压时间为66s,相对于方案2整个锻压过程要短一些,这主要是由于坯料和导套之间的截面都为圆形,缺少了方案2的墩粗过程。同时减小了坯料与冲头之间的传力面积,有效的减小了载荷,且成形零件形状完整。可见,导套形状应选择圆形更有利于模锻成形,但在整个充填过程中,腹板的成形是在三个接头充型过程中完成的,使得在腹板已经成形后,依然有大量金属向下流入模腔,导致成形腹板处金属流线被切断形成穿流,如图8所示。而采用方案4分布成形零件,即先成形出三个接头部分,而后成形腹板。成形接头部分过程与方案3相似,只是在成形过程中少了成形腹板的过程,因此整个变形所用的时间更短,成形时的载荷分布状况基本相同,在填充接头末端角部时,载荷急剧

上升,完成填充。但由于没有了腹板位置的分流金属,导致整个充型过程的载荷与方案3相比,最大载

荷更大,如图9所示,对模具的压力更大。但可有效避免流线不顺的缺陷,如图10所示。

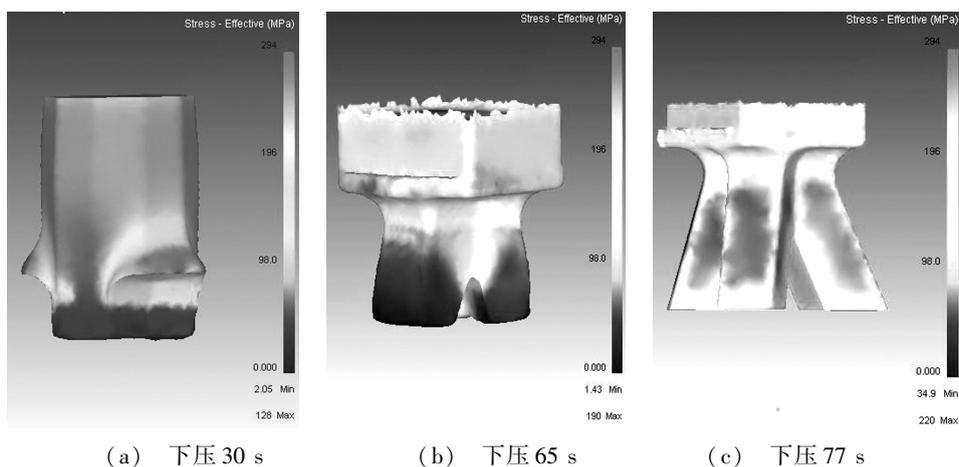


图6 方案2在不同时间下等效应力分布

Fig. 6 Distribution of equivalent stress for case 2 at various times

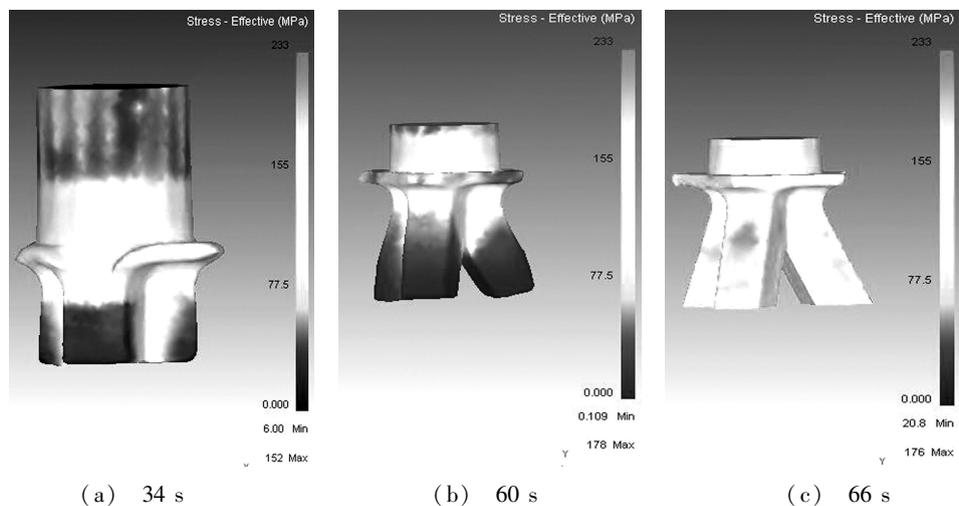


图7 方案3在不同时间的等效应力分布

Fig. 7 Distribution of equivalent stress for case 3 at various times

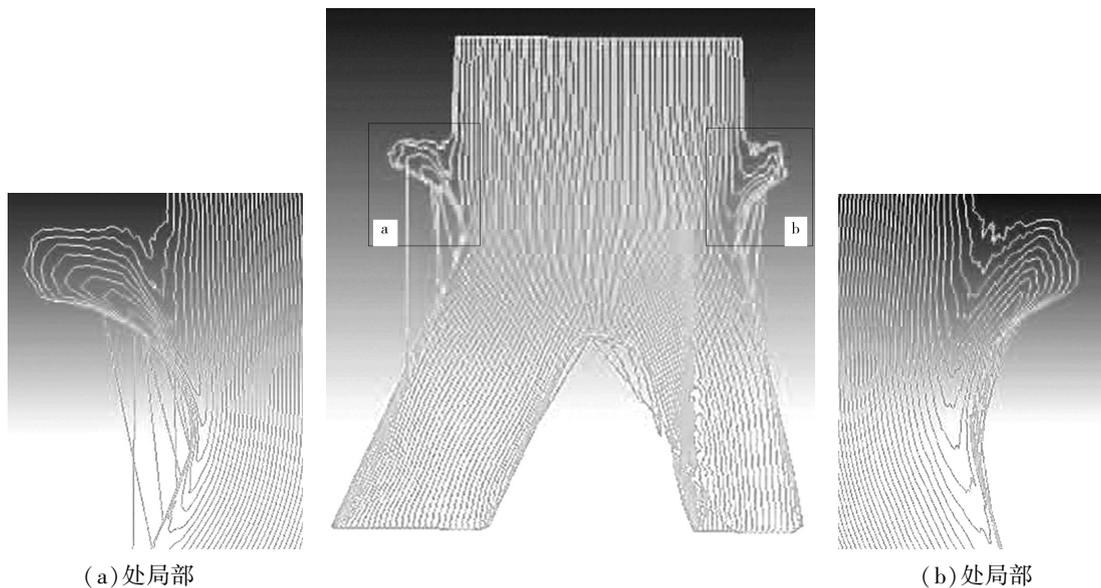


图8 方案3成形流线情况

Fig. 8 Streamline for molding of case 3

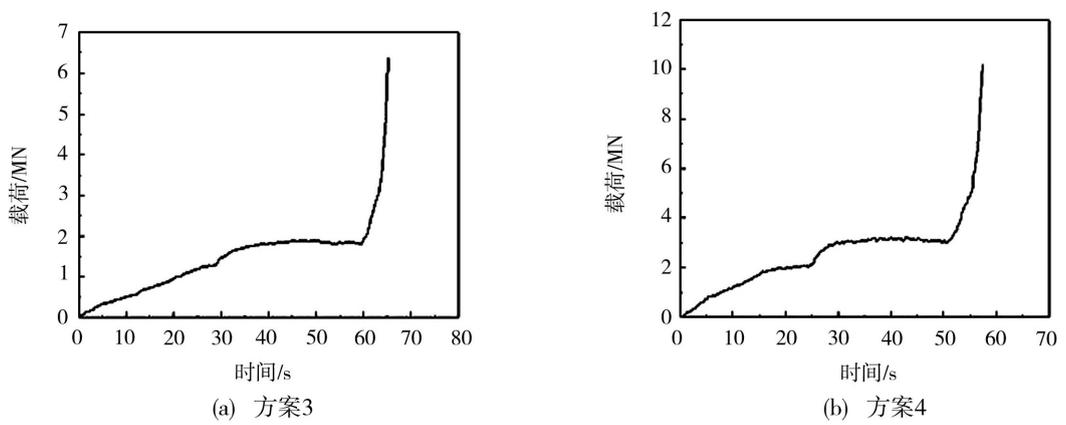


图9 方案3、4的时间加载曲线

Fig. 9 Temporal loading curves for cases 3 and 4

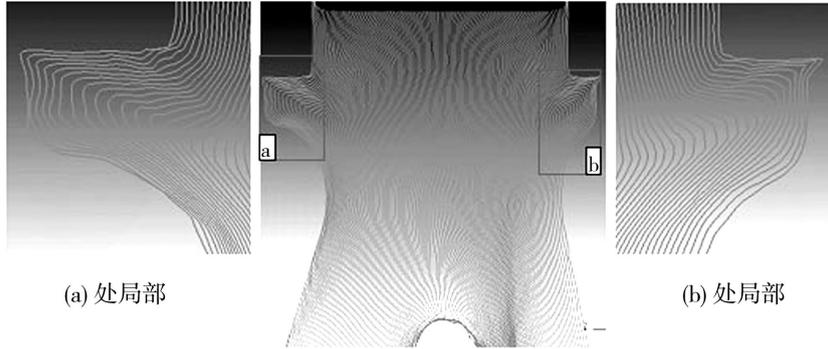


图10 方案4成形流线情况

Fig. 10 Streamline for molding of case 4

#### 4 结论

(1) 采用 DEFORM-3D 软件模拟了 MB26 镁合金构件的等温锻造工艺,很好地展示了构件的变形过程,直观地反映了构件的变形流动趋势和成形结果。

(2) 采用有限元模拟方法可以成功地预报工艺缺陷,便于分析缺陷形成机理并提出预防办法,为工艺参数的选取和坯料形状尺寸设计提供了理论依据。

(3) 模拟结果显示,该工艺预制坯形状设计合

理,工艺参数选取适当,工件成形结果良好,可以满足工艺要求。

#### 参考文献

- [1] 马洪涛. MB26 合金超塑变形过程中显微组织变化及超塑变形机制[J]. 兵器材料科学与工程, 1998, 21(6): 6
- [2] 张宏伟. 模具设计对铝合金模锻件金属流线的影响[J]. 轻合金加工技术, 2003, 31(6): 32-33

(编辑 李洪泉)