

# 工艺参数对 Ti75 合金筒形件旋压成形的影响

韩冬<sup>1</sup> 杨合<sup>1</sup> 詹梅<sup>1</sup> 牟少正<sup>2</sup> 杨廷涛<sup>2</sup>

(1 西北工业大学材料学院,西安 710072)

(2 西安航天动力机械厂,西安 710025)

**文 摘** 建立了 Ti75 合金筒形件旋压三维有限元模型,分析了旋压过程中应力应变的分布规律。得到了进给速率、减薄率和旋轮工作角三个关键工艺参数对旋压过程的影响规律:随着旋轮工作角、进给速率和减薄率的增加,旋压力和隆起高度均增大;等效塑性应变随着减薄率的增加而增大,随进给速率的增大而减少,进给速率超过 1 mm/s 时,等效塑性应变基本保持不变;工作角小于 20° 范围内变化时,最大等效塑性应变几乎不变,当旋轮工作角超过 25°,最大等效塑性应变迅速增大。

**关键词** Ti75 合金,旋压,有限元,模拟

## Influence of Process Parameters on Ti75 Alloy Tube Spinning

Han Dong<sup>1</sup> Yang He<sup>1</sup> Zhan mei<sup>1</sup> Mou Shaozheng<sup>2</sup> Yang Yantao<sup>2</sup>

(1 School of Materials Science and Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072)

(2 Xi'an Aerospace Power Machinery Factory, Xi'an 710025)

**Abstract** A 3D FEM model of Ti75 alloy tube spinning was established. The distribution regulation of stress and strain during spinning process was analyzed. The influences of feeding, reduction and angle of roller on spinning process were obtained. The force and piling distance of spinning increased with increasing roller angle, feeding speed and reduction ratio. The PEEQ increased with increasing reduction ratio, decreased with increasing feeding speed. The PEEQ is hardly changed when feeding speed is above 1mm/s. The PEEQ is almost constant when the roller angle are smaller than 20 degree. The PEEQ increased quickly with roller angle when the roller angle exceed 25 degree.

**Key words** Ti75 alloy, Spinning, FEM, Simulation

### 0 引言

钛合金具有密度低、比强度高、高温性能好、耐腐蚀等特点<sup>[1]</sup>,由于其在高温条件下与工具黏着性较大,流动性差,导热和润滑问题比较严重。旋压成形是加工薄壁筒形件的有效方法,对旋压成形过程进行理论分析,采用合理旋压工艺参数是获得高质量旋压件的关键<sup>[2-3]</sup>。

国内许多学者对钛合金旋压成形进行了相关研究。李启军利用 Ansys/ls-dyna 软件,对以 TC4 合金预成型锥形件的旋压过程进行了计算机模拟,并分析了工艺参数对旋压成形的影响规律<sup>[4]</sup>;吕昕宇<sup>[5]</sup>对 TC4 钛合金筒形件流动旋压及锥形件剪切旋压进行了三维弹塑性有限元模拟,得出了筒形件反旋压成形

时的旋压力;陈宇等人<sup>[6]</sup>对钛合金薄壁筒形件热旋成形技术研究,得出钛合金薄壁筒形件热旋成形的关键是保证金属旋压成形时变形流动的均匀性。杨英丽等<sup>[7]</sup>进行了 TC3 钛合金喷管旋压成形工艺研究。韩冬等<sup>[8]</sup>利用热旋成形技术,进行了大型钛筒热旋压成形,通过控制毛坯内外表面温度梯度解决了钛筒成型的内表面裂纹等缺陷。

本文通过 Ti75 筒形件强力旋压成形机理研究,对工艺参数的有限元模拟分析对于提高旋压成功率,缩短工艺试验时间、优化工艺参数提供科学的理论依据。

### 1 有限元模型的建立

为了简化模型,仅把坯料定义为变形体,把旋轮

收稿日期:2010-10-20;修回日期:2011-03-09

基金项目:国家“863 计划”(2008AA04Z122)资助

作者简介:韩冬,1966 年出生,研究员,博士,主要从事金属材料旋压技术研究。E-mail:handongxy@126.com

和芯模定义为解析性刚体。忽略重力、材料均匀性以及摩擦生热对旋压成形的影响<sup>[9-11]</sup>。700℃时不同应变速率下的真应力—应变关系如图1所示。对坯料进行网格材料均匀性以及摩擦生热对旋压成形的影响划分,单元类型选择六面体单元 C3D8R。

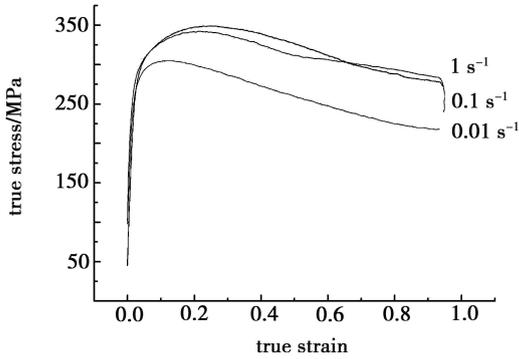


图1 材料塑性数据

Fig.1 Plasticity data of material

## 2 结果与讨论

### 2.1 应力分析

旋压过程中随着旋轮的进给,毛坯的应力是随着旋轮的进给而不断发生变化的,最大 Mises 应力始终位于旋轮与毛坯接触处的变形区。为了查看同一母线上已变形区、变形区和未变形区材料的应力情况,选取一母线(图2),此母线上的应力分布情况如图3(a)所示,可见同一母线上由已旋端向未旋端,Mises 应力在毛坯与旋轮接触处(变形区)急剧增大,已变形区和未变形区应力较小。

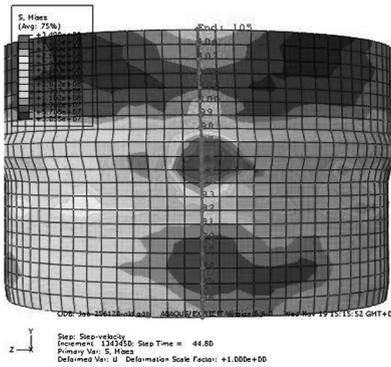
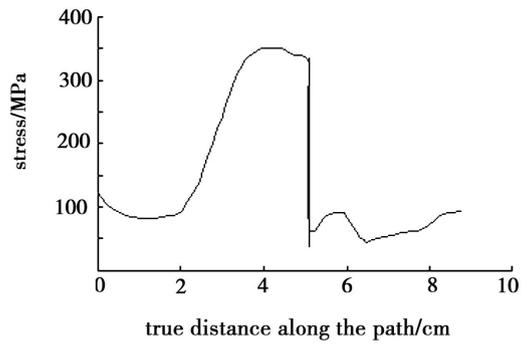


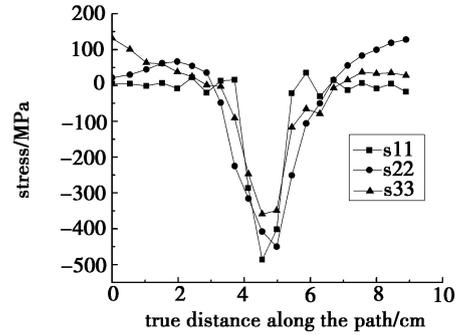
图2 应力显示路径

Fig.2 Path of stress display

从图3(b)可以看出,旋压的径向力(s11)只在毛坯与旋轮的接触区域较大,其他位置接近零,这是因为旋压径向力是旋轮对毛坯沿径向的压力,因此在毛坯未与旋轮接触处毛坯几乎不受旋轮的径向力。轴向力(s22)的最大值比径向力(s11)的最大值略小,但其作用范围比较广。在旋轮与毛坯接触处及其周围轴向力为压应力(负值),其他处旋压轴向力为拉应力(正值)。周向力(s33)在变形区域的分布规律与轴向力相似,其应力值比其他两向应力小。



(a) 路径上的 Mises 应力分布



(b) 三向应力分布

图3 同一母线上的应力分布情况

Fig.3 Stress distribution along same generatrix

### 2.2 应变分析

旋压成形是局部加载渐进成形的过程,变形金属会对其周围金属产生很大范围的影响<sup>[10-11]</sup>。随着旋压的进行,变形金属向轴向和周向流动。起旋时,旋轮正下方的金属发生塑性变形,旋轮前方的金属由于变形区金属的作用也产生了一定的弹塑性变形,发生隆起现象,隆起高度逐渐增大。变形的环向区域颜色逐渐加深(图4),即材料的等效塑性应变值逐渐增大。当旋压平稳后,材料的隆起高度平稳,等效塑性应变基本保持不变。

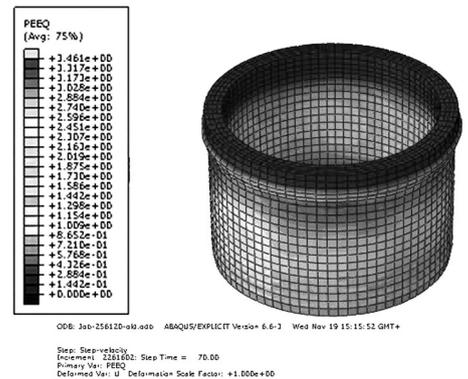


图4 等效塑性应变分布规律

Fig.4 PEEQ distribution in circumference direction

### 2.3 工艺参数的影响

不同工艺参数下旋压应力、应变和旋压力的分析

结果有助于改进工艺参数提高成形质量,对生产具有一定的指导意义。表1是模拟过程三个关键工艺参数的取值。芯模转速保持120 r/min,旋轮退出角为30°。

表1 模拟工艺参数

Tab.1 Technologic parameters of simulation

进给速率/mm·s <sup>-1</sup>	减薄率/%	旋轮工作角/(°)
0.5, 1.0, 1.5, 2.0	10, 20, 30, 40	15, 20, 25, 30

### 2.3.1 旋轮工作角的影响

旋轮工作角影响旋压成形过程。在旋轮圆角半径、进给速率、减薄率等参数一定的条件下,分析了旋轮工作角对旋压力、等效塑性应变和旋压过程材料的隆起高度的影响(图5)。随着旋轮工作角的增大旋压力增大,工作角在20°~25°旋压力变化较大。旋轮工作角小于20°时,最大等效塑性应变几乎不变,当旋轮工作角超过25°最大等效塑性应变迅速增大。旋轮工作角在15°~30°材料的隆起高度随着工作角的增大呈线性增加关系。这是因为旋轮工作角越大,在旋压过程中毛坯与旋轮前锥面的接触面积越大(即受力面积越大),导致旋压力增大,旋轮对前方金属的影响越明显,造成隆起高度增大。

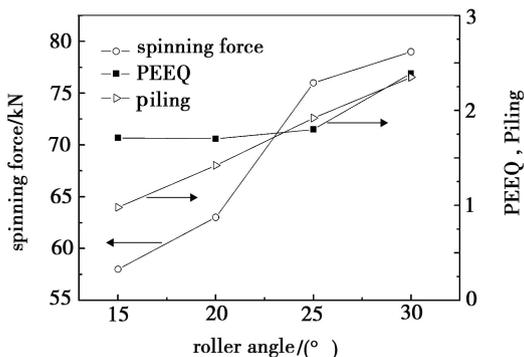


图5 旋轮工作角对旋压成形的影响

Fig.5 Influence of different angles on spinning

### 2.3.2 进给速率的影响

进给速率影响旋压加工的效率,在机床转速一定的情况下,旋压的进给比决定着旋轮的进给速率。旋压时进给比的大小对旋压件表面质量有重要的影响。

一般情况下,增大进给比旋压件的表面质量会降低,材料的隆起也会增大。由于此模拟把旋压过程看作一准静态过程,因此进给速率并未对隆起高度产生影响。图6是进给速率对旋压力和等效塑性应变的影响。旋压力随着进给速率的增加而增大,这是因为增大进给速率即增加了材料的变形速率,因此变形抗力增大。等效塑性应变随着进给速率的增大而减少。进给速率超过1 mm/s时,等效塑性应变基本保持不变。这是由于当进给速率增大时,旋轮前方的金属受到已变形区金属的作用还未充分变形就被压入旋轮下方,进给速率在一定范围内增大时,旋轮对前方金属的影响范围基本不变。

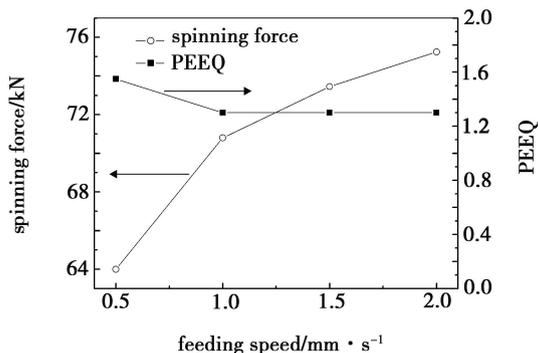


图6 进给速率对旋压成形的影响

Fig.6 Influence of different feeding speed

### 2.3.3 减薄率的影响

在旋压过程中大的道次减薄率可以减少旋压道次提高旋压效率,但减薄率增大会引起旋压力增大,材料流动困难产生堆积使旋压无法进行。图7是减薄率对旋压成形的影响。

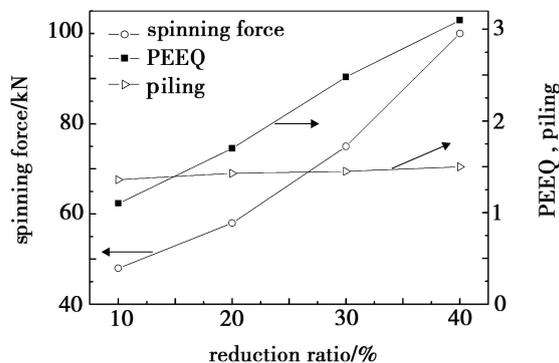


图7 减薄率对旋压成形的影响

Fig.7 Influence of different reduction on spinning

从图7可以看出,随着减薄率的增大,旋压力、等效塑性应变和隆起高度均增加。其中减薄率在20%~30%隆起高度的变化平缓,说明道次减薄率可以在此范围内适当调整。

## 3 结论

对旋压过程中材料的应力应变进行分析:最大应力始终位于旋轮与毛坯接触处的变形区,轴向方向既有拉应力又有压应力,径向应力最大,切向应力最小;变形金属向轴向和周向流动,材料在旋轮前方产生隆起,当旋压进入平稳后,等效塑性应变基本保持不变。

得到了工艺参数的改变对旋压过程的影响规律,结果表明,随着旋轮工作角的增大,旋压力和隆起高度均增大。工作角小于20°范围内变化时,最大等效塑性应变几乎不变,当旋轮工作角超过25°最大等效塑性应变迅速增大;进给速率增大会使旋压力增加,进给速率超过1 mm/s时,等效塑性应变基本保持不变;减薄率增大会使旋压力、等效塑性应变和隆起高度均增大,其中道次减薄率在20%~30%内对隆起高度的变化相对较小。

(下转第56页)