

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДВУХПЕРЕХОДНОЙ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ГАЗОВОЙ ФОРМОВКИ ДЕТАЛИ ТИПА «ПОЛУСФЕРА» В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ DEFORM 2D

А.А. Шитиков

МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия

Расчет параметров технологического процесса штамповки производится на основании реологической модели сплава ВТ6, представленной на рис.1.

Для моделирования процесса формовки выбраны графики, соответствующие среднему размеру зерна 11,5 мкм.

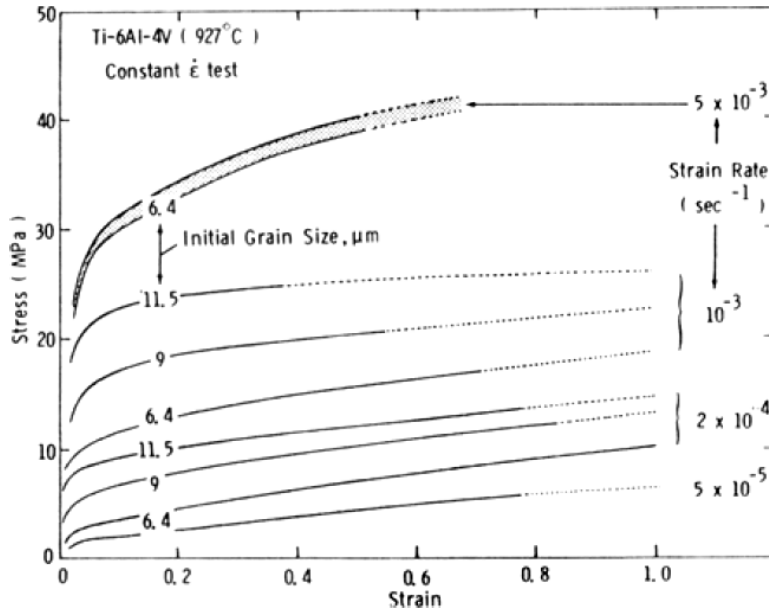


Рис.1 Реологическая модель сплава ВТ6 в состоянии сверхпластичности [1]

## Условие стабильности сверхпластической деформации

Для того чтобы металл имел сверхпластические свойства необходимо чтобы он обладал повышенной чувствительностью к скорости деформации, т.е. выполнялось ограничение на коэффициент скоростного упрочнения [2]

$$m = \frac{\dot{\epsilon}}{\sigma} \cdot \frac{\partial \sigma}{\partial \dot{\epsilon}} \geq 0.3$$

На рис.2 представлена зависимость  $m(\epsilon, \dot{\epsilon})$ , вычисленная на основании принятой модели сплава ВТ6.

Как видно из рис.2, максимальная скорость деформации не должна превышать  $\dot{\epsilon}_{max} = 0,001 \text{ c}^{-1}$ .

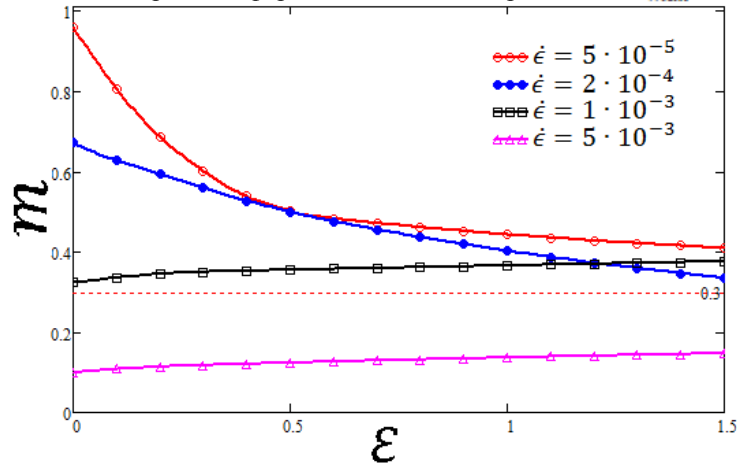


Рис.2 Коэффициент скоростного упрочнения сплава ВТ6, вычисленный для принятой модели материала

## Выбор закона изменения давления формовки

Время протекания процесса штамповки будет наименьшим, если давление газа при формовке изменять таким образом, чтобы максимальная скорость деформации в заготовке была близка к предельно допустимой ( $0,001 \text{ c}^{-1}$ ) но не превышала ее.

Для определения оптимального закона регулировки давления в процессе формовки была написана подпрограмма, которая адаптивно изменяет граничные условия задачи - давление на поверхность заготовки.

На каждом шаге расчета давление рабочей среды корректируется пропорционально отношению между максимальной скоростью деформации, вычисленной на текущем шаге и заданной скоростью деформации.

$$p_i = p_{i-1} - \left(1 - \frac{\dot{\epsilon}_{max}}{0,001}\right) \cdot \Delta p_{max}$$

Кроме этого программа вычисляет среднюю скорость деформации в элементах заготовки, а также учитывает уменьшение силы прижима фланца с ростом давления в полости штампа.

Данная подпрограмма позволяет определить такой закон изменения давления формовки чтобы, с одной стороны, обеспечить сверхпластические режимы деформации, а с другой стороны, добиться максимальной производительности промышленной установки.

#### Допущения при постановке задачи

- Процесс предполагается изотермическим (тепловая задача не решалась)
- Модель материала - вязкопластическая
- НДС предполагается осесимметричным
- Моделирование процесса рекристаллизации и ее влияние на напряжение текучести не проводилось
- Предполагается, что трение заготовка-штамп подчиняется закону Кулона  $\mu = 0,3$  [3]

#### Результаты моделирования

Накопленные деформации и контур заготовки после первого перехода формовки представлены на рис.3.

Накопленные деформации и контур заготовки после окончательной формовки приведены на рис.4.

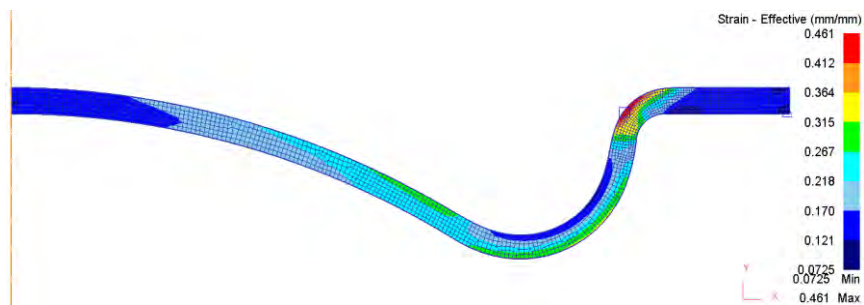


Рис.3 Накопленные деформации и контур заготовки после предварительной формовки

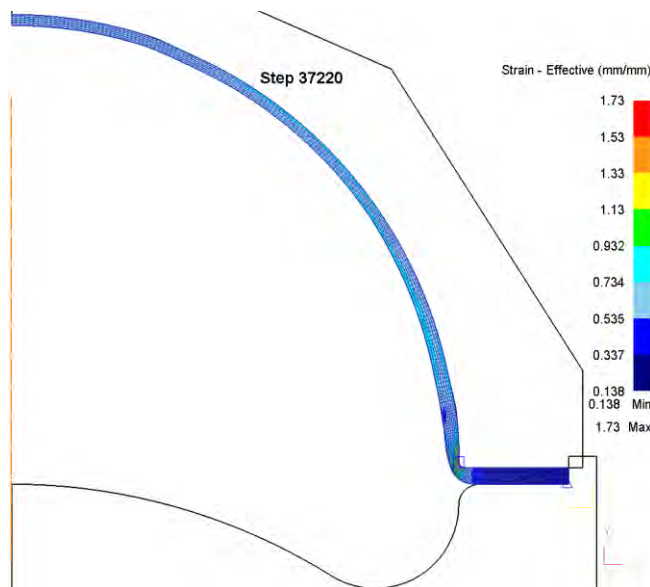


Рис.4 Контур заготовки после окончательной формовки

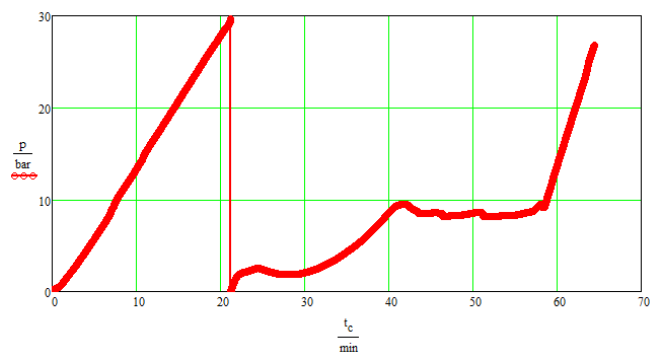


Рис.5 Автоматически определенный закон изменения давления формовки

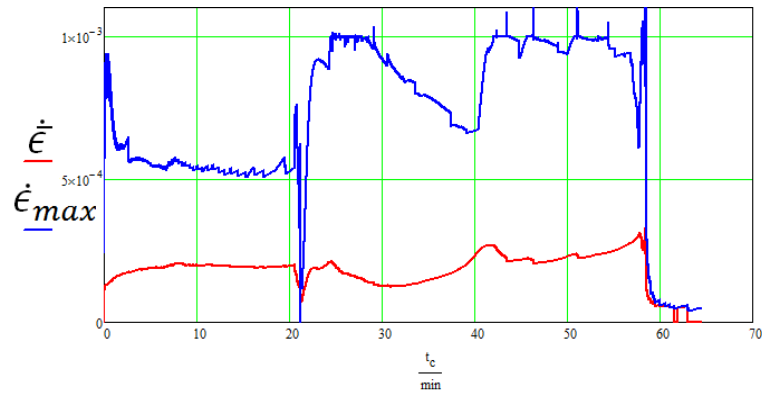


Рис.6 Изменение средней и максимальной скоростей деформации в элементах заготовки во время процесса формовки

Автоматически определенный закон изменения давления газа показан на рис.5. Точность работы алгоритма адаптивной регуляции давления можно оценить по рис.6. Как видно из рис.6, превышения максимальной скорости деформации уровня  $0,001 \text{ с}^{-1}$  не наблюдается на временных интервалах, превышающих один шаг расчета (принят  $0,1 \text{ с}$ ).

#### Список литературы

1. Ghosh A.K., Hamilton C.H. Influences of material parameters and microstructure on superplastic forming. Metallurgical transactions A, vol. 13 A may 1982, p. 733-743
2. Langdon T.G. Seventy-five years of superplasticity: historic developments and new opportunities. J Mater Sci. 2009 vol. 44, p. 5998-6010
3. Filice L., Gagliardi F., Lazzaro S., Rocco C. FE simulation and experimental considerations on Ti alloy superplastic forming for aerospace applications. Int J Mater Form 2010 vol. 3, p. 41-46.