

УДК 621.787.4

В.А. ГОЛЕНКОВ, С.Ю. РАДЧЕНКО, Д.О. ДОРОХОВ

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ВАЛКОВОЙ ШТАМПОВКИ

*Рассмотрены особенности математического моделирования упрочняющей валковой штамповки. Приводится описание математической модели. Представлены результаты моделирования в виде картины напряженного состояния и изменения параметра Удквиста с ростом числа проходов.*

**Ключевые слова:** упрочнение, валковая штамповка, математическая модель, метод конечных элементов, параметр Удквиста.

*Special feature of mathematical design by the method of hardening rolls stamping has been considerate in this work. The mathematical design will be compared there. The results of the mathematical design has been present as a picture of tension state and change by Odqvist parameter with growth of the number of passages.*

**Key words:** hardening, rolls stamping, mathematical design, finite element method (analysis), Odqvist parameter.

Процессы обработки металлов давлением сложны и многообразны, разработка новых схем и технологии в данной области - весьма дорогостоящие проекты. При этом не всегда гарантирован положительный экономический эффект и возможность реального использования в производстве. Отсюда возникает необходимость построения и исследования математических моделей того или иного процесса. На современном этапе развития технологии моделирования ведущие позиции занимает метод конечных элементов (МКЭ).

На данный момент актуально исследование процессов интенсивной пластической деформации и упрочняющих технологий поверхностной пластической обработки с точки зрения их математического моделирования. Так, процесс упрочняющей валковой штамповки (ВШ) основывается на комплексном локальном деформировании очага деформации и сочетает в одном технологическом процессе интенсивную пластическую деформацию (ИПД) и поверхностную пластическую деформацию (ППД), что предопределяет преимущество его использования в машиностроении для создания осесимметричных изделий с качественно новыми эксплуатационными свойствами. На рисунке 1 представлена одна из возможных схем упрочняющей ВШ для получения осесимметричных изделий с градиентной от наружной поверхности структурой. [1, 2]

Расчетная схема моделируемого процесса представлена на рис. 2. После внедрения инструмента 2 в тело заготовки по траектории 4а он поднимается. Деформацию осуществляет валковая матрица 3 по пути 5. Затем формирующий инструмент 2 перемещается согласно 4б, и операции повторяются. После прохождения рабочей длины заготовки инструмент начинает перемещаться в противоположном направлении, таким образом моделируется возвратно-поступательное перемещение заготовки 6.

Математическое описание процесса проводили с использованием вариационного принципа [3]:

$$\begin{aligned} \iiint_{V(t)} \delta \nabla \mathbf{v} \cdot (\boldsymbol{\sigma} - \mathbf{d} \cdot \boldsymbol{\sigma} - \boldsymbol{\sigma} \cdot \boldsymbol{\omega} + \mathbf{w} \cdot \boldsymbol{\sigma} - \boldsymbol{\sigma} \cdot \mathbf{w} + (\nabla \cdot \mathbf{v}) \boldsymbol{\sigma}) dV = \\ = \dot{\mathbf{Q}} \cdot \delta \dot{\mathbf{q}} + \iint_{S(t)} \delta \mathbf{v}_i \cdot (\mathbf{p} + \mathbf{p}(\nabla \cdot \mathbf{v} - \mathbf{n} \cdot \mathbf{d} \cdot \mathbf{n})) dS, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\boldsymbol{\sigma}$ ,  $\mathbf{d}$ ,  $\boldsymbol{\omega}$  – тензоры истинного напряжения Коши, деформации скорости и вихря;  
 $\mathbf{p}$ ,  $\mathbf{n}$  - давление и внешняя нормаль, относящиеся к актуальной поверхности контакта  $S(t)$ ;