

УДК 621.73.042; 621.974.82

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА РОТАЦИОННОГО ОБЖАТИЯ В УСЛОВИЯХ БОЛЬШИХ ДЕФОРМАЦИЙ

Р. Н. АСФАНДИЯРОВ<sup>1</sup>, Г. И. РААБ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>a.r.n@list.ru, <sup>2</sup>giraab@mail.ru

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Поступила в редакцию 26.04.2016

**Аннотация.** Приведены результаты компьютерного моделирования процесса ротационнойковки с использованием фигурных бойков при заданных ( $45^\circ$ – $90^\circ$ ) углах поворота заготовки перед каждым циклом обработки. На основе полученных результатов сделаны выводы о рациональности применения ротационнойковки для получения однородного деформированного состояния с уровнем накопленной деформации  $\epsilon \geq 1,0$ , при уменьшении поперечного сечения заготовки не превышает 30% от исходного, что важно для последующих этапов обработки с целью накопления больших уровней деформации без активной редукации исходного сечения.

**Ключевые слова:** ротационное обжатие; компьютерное моделирование; однородная деформация; пластическая обработка; медь.

Ротационное обжатие (РО) как метод точной пластической обработки металлов давлением получил широкое распространение в начале 40-х гг. XX века. РО используют при изготовлении осесимметричных заготовок постоянного и переменного сечения в условиях горячей деформации, также РО применяют для изготовления калиброванных прутков в условиях холодной и теплой деформации, в том числе и для формирования более высоких механических свойств.

Ротационно- и радиально-обжимные машины применяются для обработки изделий, имеющих очень широкий диапазон размеров. Так на ротационно-обжимных машинах обрабатывают изделия диаметром от 0,15 мм (сплошного профиля) до 320 мм (трубы); на радиально-обжимных машинах – сплошные профили диаметром до 400 мм и полые диаметром до 600 мм. Отличительной особенностью процесса является прерывистое и локальное приложение сил, что позволяет увеличить деформационную способность материалов, в частности труднодеформируемых сплавов, в 2,5–3 раза [1]. В этом смысле РО является инкрементальным методом, при котором общая деформация происходит многими маленькими шагами. Инкрементальные методы имеют преимущества относительно непрерывного метода, так как они позволяют осуществить более однородное деформирование материала. Кроме

того, РО позволяет накапливать большую степень деформации, так как потенциал изменения формы материала используется по всему поперечному сечению. Второе преимущество инкрементальной деформации состоит в том, что трение минимизируется [2]. Инструмент имеет кратковременный контакт с заготовкой. Во время этого контакта происходят небольшие сдвиги между деталью и инструментом, поэтому при деформации ротационнойковкой смазку, как правило, не используют. В процессе обработки заготовка вытягивается преимущественно в направлении продольной оси. Структура материала после такой обработки отличается вытянутостью зерен вдоль оси вытяжки и соответствует субструктурному типу с высокой долей малоугловых границ [3]. Материалы с таким типом структуры обычно характеризуются высокой анизотропией свойств и пониженной пластичностью, особенно после холодной обработки, что ограничивает сферу применения данного метода. Однако можно предположить, что, используя определенные режимы ротационного обжатия, можно достичь высоких значений накопленной деформации и сформировать тем самым ультрамелкозернистую структуру с большеугловыми границами зерен. Таким образом, ротационнаяковка имеет потенциал как метод интенсивной пластической деформации (ИПД). Известно, что

получение ультрамелкозернистого (УМЗ) состояний методами интенсивной пластической деформации (ИПД) позволяет значительно повысить эксплуатационные свойства различных металлов и сплавов [4].

Одна из областей промышленности, для которой РО представляет большой научно-практический интерес – изготовление кабельной продукции и проводов контактных сетей. Наиболее распространенным материалом для контактного провода в России остается твердотянутая электролитическая медь, содержащая не более 0,1 % примесей. Поэтому в данной работе был исследован процесс РО меди.

Целью настоящей работы является исследование температурно-силовых параметров РО, а также характера течения и распределения накопленной деформации на примере РО медного сплава фигурными бойками в условиях больших деформаций.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводилось с помощью конечно-элементного моделирования в программном комплексе DEFORM-3D. Для создания геометрических моделей использовался программный продукт КОМПАС 3D. Исходная заготовка была диаметром 12 мм, длиной 70 мм из медного сплава Cu2 (рис. 1). Исследовались фигурные бойки.

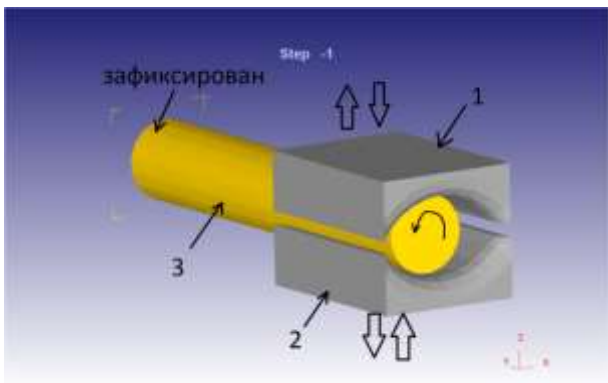


Рис. 1. Принципиальная схема моделирования РО:

1 – верхний боек, 2 – нижний боек, 3 – заготовка

Граничные условия, допущения и параметры, принятые при моделировании:

- инструмент – абсолютно жесткое тело, заготовка – пластическое тело;
- заготовка разбита на 80000 конечных элементов;
- температура заготовки 20°C;
- фактор трения между инструментами и заготовкой  $f=0,2$ ;

– степень обжатия за один ход бойков  $e \sim 20\%$ ;

– свободный конец заготовки зафиксирован в процессе деформирования.

Технологическая последовательность математического моделирования: первый цикл – осадка заготовки бойками, далее кантовка на 90°C (рис. 2) и осадка до получения квадратного сечения. Далее заготовку поворачивать перед каждым последующим ходом бойков на угол  $45^{\circ} \pm 5^{\circ}$  либо  $90^{\circ} \pm 5^{\circ}$  относительно продольной оси. Обработку проводить до получения сечения диаметром  $\sim 10$  мм за четыре–пять циклов обжатия.

Относительную или геометрическую степень деформации рассчитываем по формуле:

$$\varepsilon = \frac{F_1 - F_2}{F_1} = \frac{d_1^2 - d_2^2}{d_1^2} = \frac{144 - 100}{144} = 0,305,$$

где  $F_1$  и  $F_2$  – площади поперечного сечения соответственно заготовки и поковки.

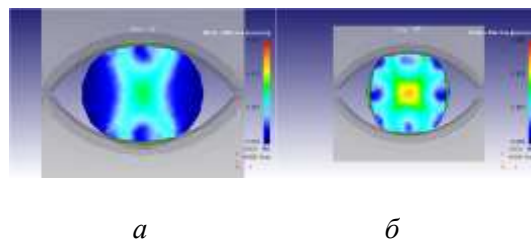


Рис. 2. Картина деформированного состояния после поворота заготовки на 90°:

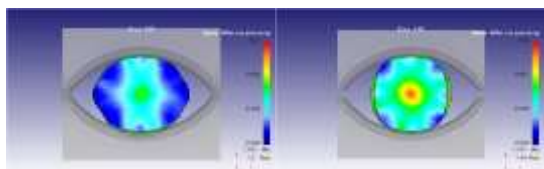
а – до деформации, б – после деформации

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В ходе моделирования было исследовано напряженно-деформированное, а так же тепловое состояние заготовки в процессе пластической обработки.

Первые два цикла обжатия показывают, что деформация в центре заготовки заметно выше, чем в периферийной области (рис. 3). В периферийной области даже присутствуют участки с незначительной деформацией, близкой к 0.

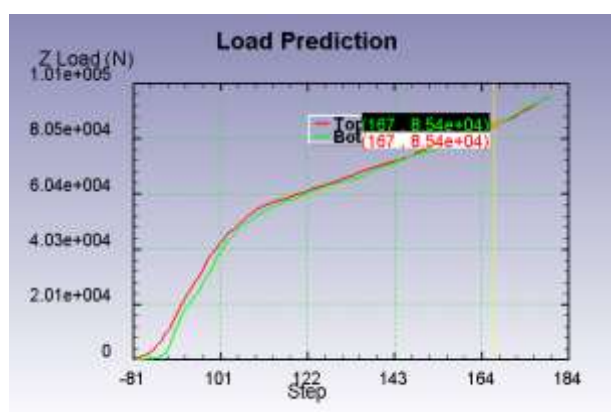
Дальнейшая деформация с предварительной кантовкой заготовки на  $45^{\circ}$ – $90^{\circ}$  приводит к заметному выравниванию деформированного состояния заготовки (рис. 3). При этом поперечное сечение заготовки приближается к кругу. Площадь конечного сечения составляет около 70% от исходной, а средняя накопленная деформация после седьмого обжатия составляет около  $e=1,25$ .



**Рис. 3.** Картины деформированного состояния при последовательной обработке РО: а – 45°, б – 90°

Следует отметить, что при уменьшении площади поперечного сечения со значения 144 мм<sup>2</sup> до 100 мм<sup>2</sup> (на 30% – относительная геометрическая деформация) удается получить средний уровень накопленной деформации

Максимальное усилие, возникающее в процессе РК данной заготовки, составляет 8–10 кН (рис. 4).



**Рис. 4.** График усилий, возникающих при РК

РК моделировалась при комнатной температуре, деформационный разогрев за 5 циклов обработки составил 15 °С.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В результате проведенных исследований показано, что при взаимно перпендикулярном обжати фигурными бойками исходно круглого сечения медной заготовки в центре накопленная деформация заметно выше, чем в периферийной области (см. рис. 2). Так в периферийной области присутствуют участки с незначительной деформацией, близкой к 0 при  $\epsilon=0,4$  в центре заготовки.

2. Средняя накопленная деформация заготовки после 5 ходов бойков составила  $\epsilon=1,0$ .

3. Максимальная накопленная деформация на любой стадии обработки имеет наибольшее значение в центре заготовки, что характерно для процессов свободной осадки.

Компьютерное моделирование было выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 14-19-01062), выделенного ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет».

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Радюченко Ю. С. Ротационное обжатие. М.: Машиностроение, 1972. 176 с. [Yu. S. Radyuchenko, Rotary swaging. Moscow: Mashinostroenie, 1972. 176 p. (in Russian).]
2. Асфандияров Р. Н., Рааб Г. И., Семенов В. И. Исследование потенциала ротационного обжати как метода интенсивной пластической деформации // Нефтегазовые технологии и новые материалы проблемы и решения. 2015. Выпуск 4(9). С. 381-387. [R. N. Asfandiyarov, G. I. Raab, V. I. Semenov, Study of the potential of rotary swaging as a method of severe plastic deformation // Oil-and-Gas Technologies and Novel Materials. Problems and Solutions. Collection of papers. 2015. Issue 4(9). p. 381-387 (in Russian).]
3. Тюрин В. А., Лазоркин В. А., Поспелов И. А. и др. Ковка на радиально-обжимных машинах // М.: Машиностроение, 1990. 256 с. [V. A. Tyurin, V. A. Lazorkin, I. A. Pospelov, et al. Forging on Radially Swaging Machines. Moscow: Mashinostroenie, 1990. 256 p. (in Russian).]
4. Валиев Р. З., Александров И. В. Объемные наноструктурные металлические материалы: получение, структура и свойства М.: Академкнига, 2007. 398 с. [R. Z. Valiev, I. V. Alexandrov, Bulk Nanostructured Metallic Materials: Processing, Structure and Properties. Moscow: Akademkniga, 2007. 398 p. (in Russian).]

## ОБ АВТОРАХ

**АСФАНДИЯРОВ Рашид Наилевич**, каф. нанотехнологий. Дипл. инж.-технолог по спец. «Машины и технологии обработки металлов давлением» (УГАТУ, 2014).

**РААБ Георгий Иосифович**, в.н.с., зав. лаб. ИПД Института физики перспективных материалов Дипл. инж.-мех. (УАИ, 1977). Д-р техн. наук (Москва, 2010). Иссл. в обл. обработки металлов давлением.

**METADATA**

**Title:** Investigation of the method of rotary swaging under the conditions of large strains.

**Authors:** R. N. Asfandiyarov, G. I. Raab

**Affiliation:**

Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

**Email:** a.r.n@list.ru, giraab@mail.ru

**Language:** Russian.

**Source:** Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 20, no. 3 (73), pp. 3-6, 2016. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

**Abstract:** The results of computer simulation of rotary forging using figure dies at given (45°- 90°) angles of rotation of the workpiece prior to each treatment cycle are presented. On the basis of the obtained results the conclusions were made about the rational use of rotary forging for production of a homogeneous strain with the level of accumulated strain of  $\epsilon \geq 1,0$ , when necking the workpiece does not exceed 30% of the original, which is important for subsequent processing steps in order to accumulate high levels of deformation without the active reduction of the original section.

**Key words:** Rotary forging; computer simulation; uniform strain; plastic processing; copper.

**About authors:**

**ASFANDIYAROV Rashid Nailevich**, master of the chair of nanotechnologies, dipl. Engineer, specialist in metal pressure treatment (USATU, 2014).

**RAAB Georgy Iosifovich.**, leading researcher, head of the SPD laboratory of the Institute of Physics of Advanced Materials of USATU, dipl. mechanical engineer (UAI, 1977). Doctor in technical sciences (Moscow, 2010). Investigations in the sphere of metals pressure treatment.