

## ПРОЦЕССЫ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОСТРУКТУРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Понов А.В.*

МГТУ СТАНКИН, кафедра «Системы пластической деформации»

Научный руководитель: проф. Сосенушкин Е.Н.

В современной промышленности все более существенную роль играют новые материалы. Наиболее перспективными являются материалы с ультрамелкозернистой и наноструктурой.

Наноструктурные материалы это порошковые и кристаллические материалы, которые имеют характерные размеры элементов структуры в диапазоне  $10^{-9}$ – $10^{-7}$  м, соответствующие средним размерам атомов и молекул в обычных материалах. Обладая принципиально новыми уникально высокими свойствами нанокристаллические структуры могут обеспечить получение конструкционных материалов выгодно отличающихся от традиционных. В наноструктурных материалах часто изменяются фундаментальные, обычно структурно-нечувствительные характеристики, такие как модуль упругости; температура Кюри; теплоемкость; коэффициент объемного термического расширения; коэффициент граничной диффузии, что позволяет их легировать нерастворимыми или слабо растворимыми при обычных условиях элементами; повышаются микротвердость и прочностные характеристики.

Основным направлением получения ультрамелкозернистых и наноструктурных материалов остается порошковая металлургия. Одной из перспективных схем компактирования, по мнению авторов работы [1], является формирование заготовки осевым сжатием с одновременным созданием сдвигов слоев материала. Общими недостатками методов порошковой металлургии являются: остаточная пористость заготовок при компактировании и некоторое загрязнение образцов при подготовке порошков или их консолидации. Альтернативными методами, позволяющими избежать указанных недостатков, являются интенсивная пластическая деформация (ИПД) в виде равноканального углового прессования (РКУ- прессования) [2] и прессования в винтовой матрице [3].

Для предотвращения преждевременной поломки штампа и сокращения производственных затрат проводят моделирование условий работы инструмента и обрабатываемой заготовки. В ходе моделирования возможно обнаружение концентраторов напряжений в инструменте и закономерностей течения металла заготовки.

Схема деформирования при РКУ прессовании представлена на рис. 1 в разные временные моменты.

Моделирование процесса проводилось с помощью программного комплекса QFORM 3D. Прессованию подвергали медный прутки диаметром 16 мм в матрице с вертикальным разъемом, модель которой представлялась абсолютно жестким телом. Механическое поведение прутковой заготовки описывалось упругопластической моделью.

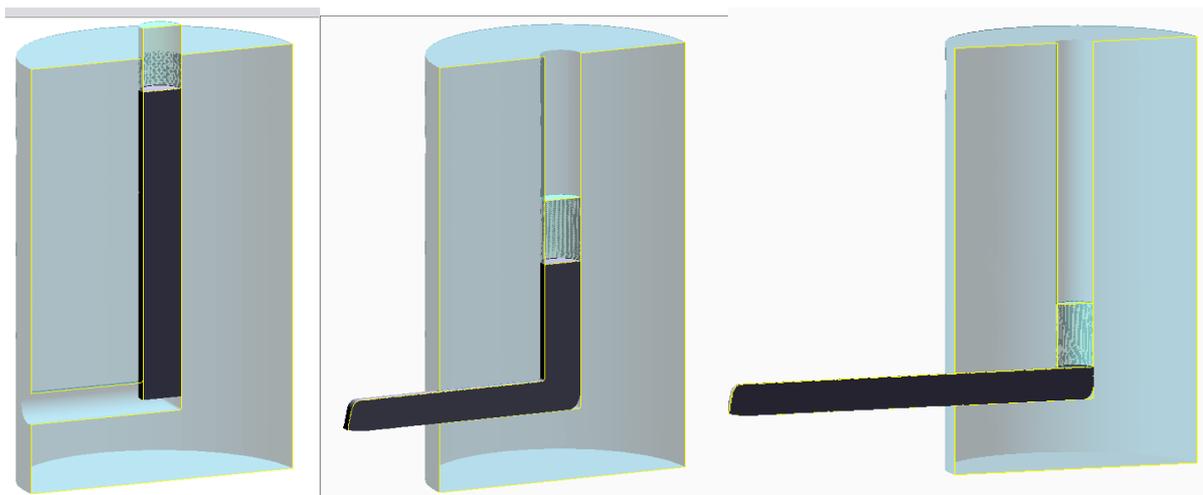


Рис. 1. Схема процесса равноканального углового прессования.

Скорость перемещения заготовки вдоль вертикальной оси задана равной 0,007 мм/сек. Важными для протекания процесса РКУ прессования является условие трения на контактной поверхности, от которого зависят основные параметры напряженного состояния в очаге пластической деформации и равномерность получаемой структуры. В схематизации использована кулоновская модель трения с коэффициентом трения  $\mu = 0,15$ .

Силовые параметры процесса иллюстрирует рис. 2. На начальном этапе сила прессования достигает максимума  $P=117\text{кН}$  на небольшом ходе, соответствующем переходу металла в очаге деформации в пластическое состояние, затем до завершения процесса прессования сила остается практически неизменной.

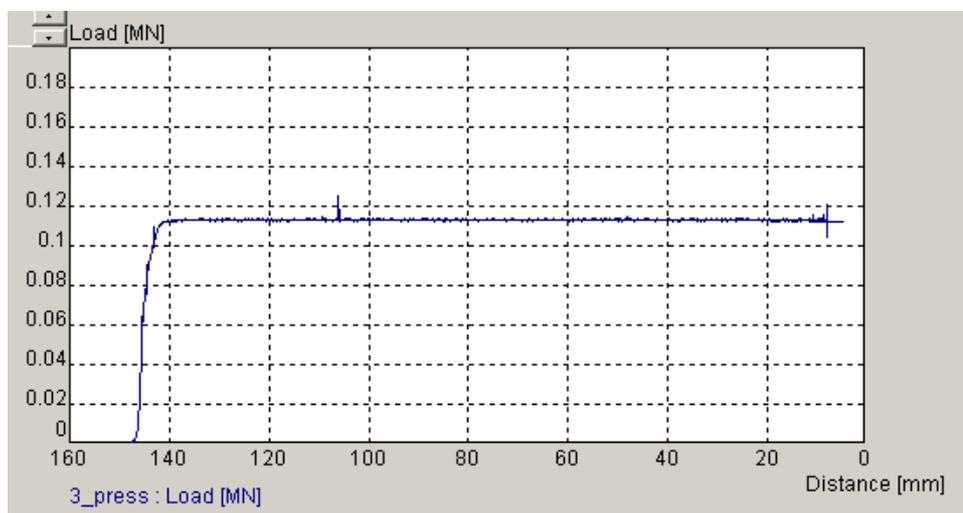


Рис. 2. График зависимости силы прессования от хода пуансона.

Для получения однородных наноструктур с большеугловыми границами зерен заготовки необходимо подвергнуть нескольким проходам РКУ прессования: от 4 до 8, с поворотами заготовки вокруг своей оси на  $90^\circ$  перед каждым последующим проходом. Использование такого приема ведет к восстановлению формы выделенного кубического элемента после  $2n$  ( $n$  - целое число) проходов через отверстие матрицы, что приводит к формированию однородной равноосной структуры. Это подтверждается в ходе моделирования процесса деформации эволюцией сетки конечных элементов с увеличением числа узлов в зависимости от номера прохода (рис. 3).

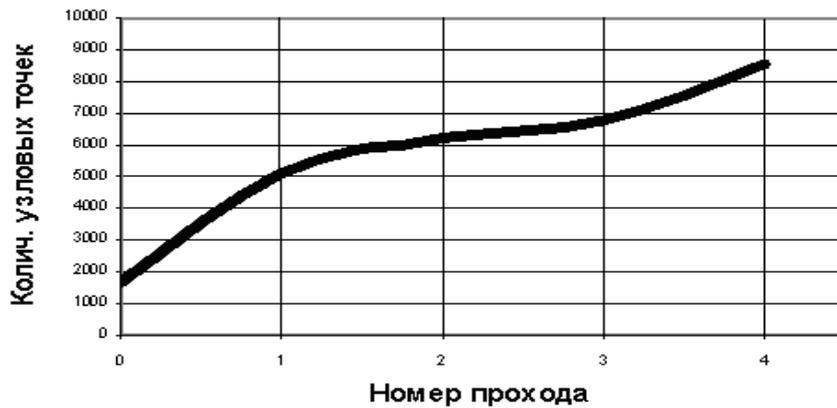


Рис. 3. Зависимость количества узловых точек от номера прохода

Поскольку при РКУ прессовании заготовка продавливается через пересекающиеся каналы несколько раз, то общая степень деформации может быть вычислена:

$$\varepsilon_n = n \Delta \varepsilon_i \quad (1)$$

где  $\Delta \varepsilon_i = \frac{2}{3} \operatorname{ctg} \left( \frac{\varphi}{2} \right) = \frac{p}{\sigma_s}$  - приращение степени деформации при сдвиге.

$p$  - приложенное давление, МПа;  $\sigma_s$  – напряжение течения, МПа.

Более общее соотношение, позволяющее рассчитать степень деформации поковки после последовательных проходов имеет вид:

$$\varepsilon_n = n \left[ \frac{2 \operatorname{ctg}(\varphi/2 + \psi/2) + \psi \operatorname{cosec}(\varphi/2 + \psi/2)}{\sqrt{3}} \right] \quad (2)$$

где  $\psi$  - внешний угол,  $\varphi$  - внутренний угол, где  $n$  - число проходов.

Из соотношения (2) следует, что при наиболее часто используемых углах  $\varphi=90^\circ$  и  $\psi=20^\circ$  каждый проход соответствует добавочной степени деформации равной 1. На рис. 4 приведен график зависимости накопленной деформации от количества проходов. На рис. 5. представлены заготовка и образцы после разного количества проходов. Специфика схемы деформации приводит к искажениям концевой части образцов и образованию макродефектов в виде зажима на поверхности прутка после прохода через канал, не имеющего радиуса сопряжения между образующими поверхностями. К микродефектам относится неравномерность структуры в объеме прутка, что подтверждается результатами моделирования.

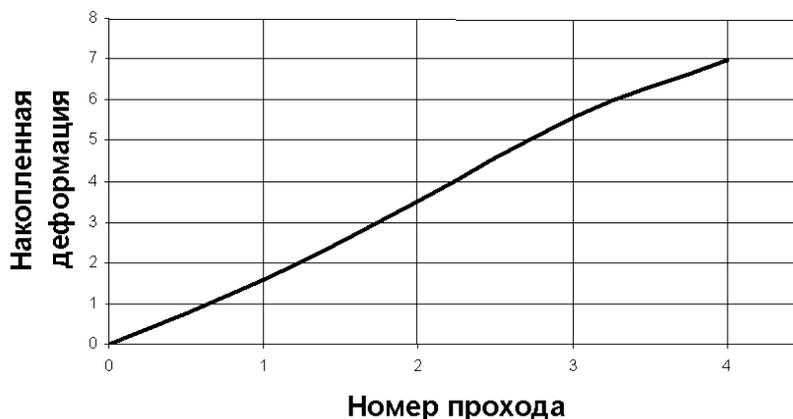


Рис. 4. Зависимость накопленной деформации  $\varepsilon_n$  от номера прохода  $n$

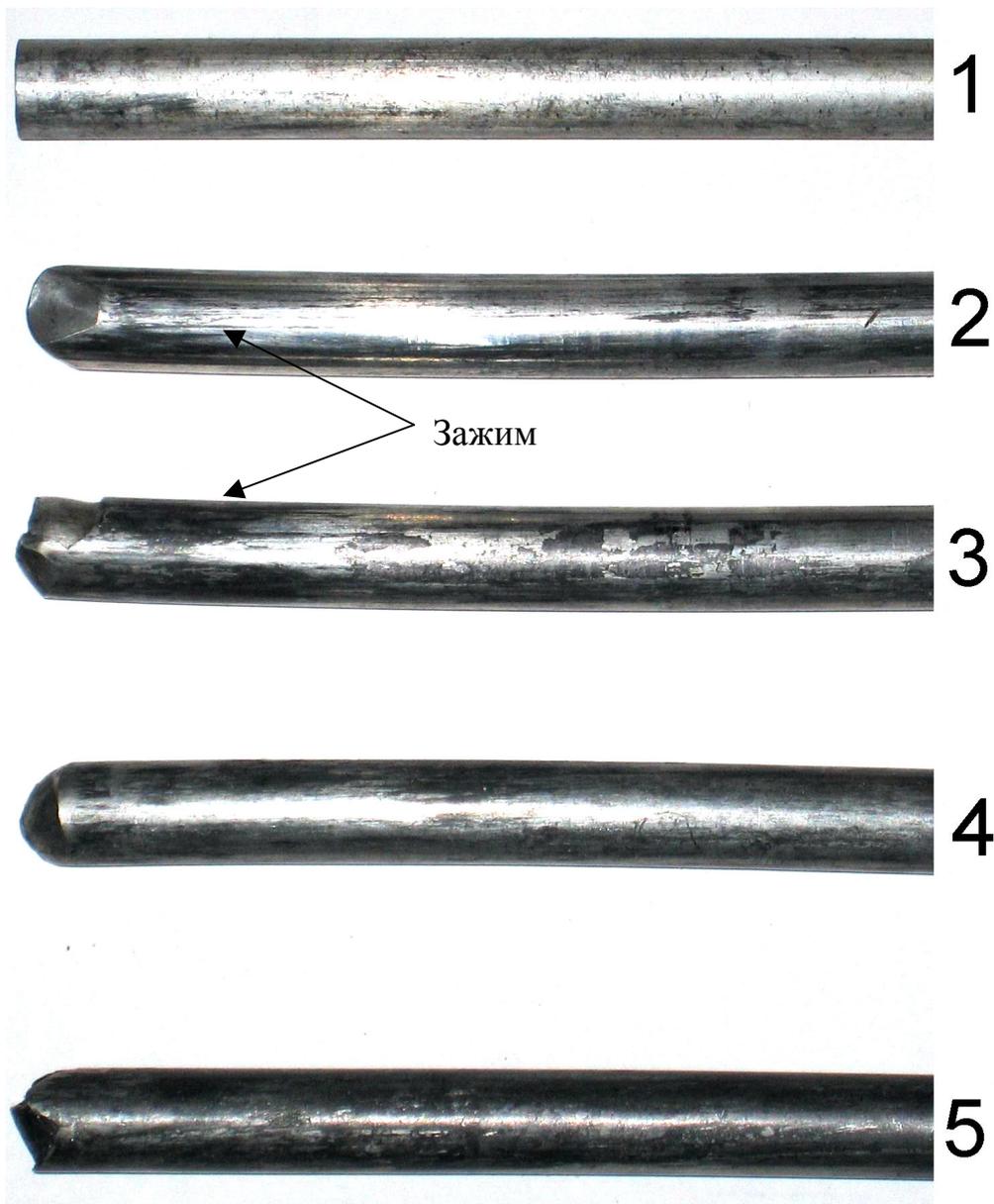


Рис. 5. Образцы после РКУ прессования: 1- заготовка; 2- первый проход; 3- второй проход; 4- третий проход; 5- четвертый проход.

При прессовании в винтовой матрице заготовку продавливают через канал, состоящий из 3-х участков: заходного, винтового и калибрующего, геометрические параметры которых одинаковы. Угол наклона винтовой линии  $\beta$ , в наиболее удаленной от оси матрицы, к направлению прессования является основной характеристикой винтового участка, по рекомендациям авторов работы [4]  $\beta=45..60^\circ$ . При прохождении заготовки через матрицу происходит закручивание потока металла с последующим выпрямлением, что ведет к изменению его структуры и свойств с сохранением первоначальной геометрии. Для заготовок прямоугольного сечения эквивалентная деформация за один проход рассчитывается:

$$\varepsilon_{i \max} = \operatorname{tg}(\beta); \quad \varepsilon_{i \min} = 0,4 + 0,1 * \operatorname{tg}(\beta) \quad (3)$$

Минимальной деформации подвержено волокно вблизи оси заготовки, максимальной сдвиговой деформации - узкие слои, наиболее удаленные от оси. Эквивалентная деформация за один проход  $\varepsilon_i=1$ , что соответствует значению деформации за один проход при РКУ прессовании. Проработка структуры всего поперечного сечения требует многократного деформирования заготовки в винтовом канале матрицы.

Этапы моделирования прессования через матрицу с винтовым каналом представлены на рис. 6. Отсутствие противодействия приводит к искажению формы переднего участка заготовки, связанного со смятием угловых элементов сечения и неполным заполнением канала металла.

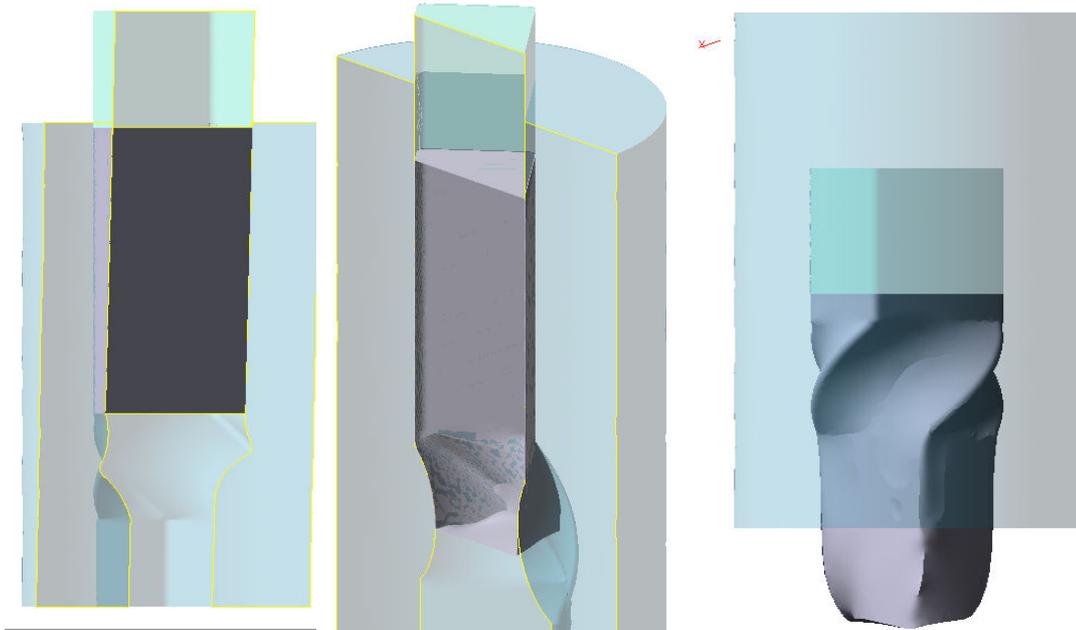


Рис. 6. Схема прохождения потока материала через винтовой канал при моделировании процесса.

Как показало моделирование (рис. 7), при прохождении потоком металла разных участков матрицы изменяется сила деформирования, на первом этапе сила возрастает до создания в металле напряжений, равных напряжениям течения, а при прохождении винтового участка стабилизируется. На входе металла в калибрующий участок матрицы сила возрастает до максимального значения  $P=125\text{кН}$ . Это объясняется спрямлением заготовки и возрастанием сил трения при увеличении протяженности контактных поверхностей.

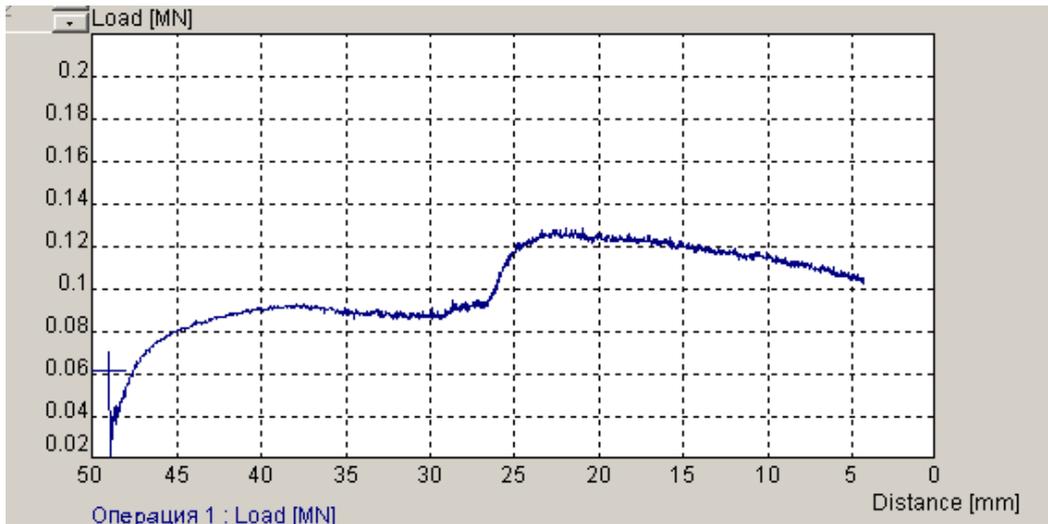


Рис. 7. График изменения силы деформирования от величины хода пуансона

Вывод.

Для создания нанокристаллических структур металлов обладающих уникальными свойствами перспективными являются процессы интенсивной пластической деформации, такие как равноканальное угловое прессование и прессование с использованием винтовой матрицы.

Литература:

1. Дмитриев А.М., Коробова Н.В. Специализированные гидравлические прессы для производство нанопорошковых заготовок.// В сб научных трудов Кузнечно-штамповочное производство: перспективы и развитие.- Екатеринбург: ГОУ ВПО «УГТУ-УПИ», 2005г.- с. 382-385.
2. Бердин В.К., Смоляков А.А., Ахунова А.Х. Численное моделирование интенсивного пластического деформирования меди равноканальным угловым прессованием.// Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением.- №4.-2006г.-с.17-22.
3. Бейгельзимер Я.Е., Сынков С.Г., Орлов Д.В., Решето А.В. Винтовая экструзия.// КШП. ОМД.-№6.-2004г.-с.15-22.
4. Бейгельзимер Я. Е., Кулаков Н. С. Исследование деформированного состояния металла при винтовом прессовании.// Сборник трудов магистрантов 2005 Донецкого национального технического университета. Выпуск 2. - Донецк, ДонНТУ Министерства образования и науки Украины, 2005.