

УДК 621.77.043

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КРУЧЕНИЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Лавриненков А.Д., Злочевская Н.К., Рогожа О.О.
КПИ им. Игоря Сикорского, г. Киев, Украина

Методы интенсивной пластической деформации (ИПД), которые заключаются в деформации заготовки с большими степенями деформации при температурах (0,3-0,4) $T_{пл}$ и высоком давлении, позволяют получать объемные беспористые металлические наноматериалы [1].

Методы ИПД должны давать возможность формировать однородную по всему объему заготовки наноструктуру. К настоящему времени разработано несколько схем ИПД: кручение под высоким давлением (КВД) равноканальное угловое (РКУ) прессования; всестороннее ковки; многоосевая деформация; знакопеременный изгиб; аккумулятивная прокатка; винтовое прессования и др. [1].

Сущность этих методов заключается в многократной интенсивной пластической деформации сдвигом обрабатываемых материалов. Использование интенсивной пластической деформации позволяет, наряду с уменьшением среднего размера зерен, получать образцы с практически беспористой структурой материала, чего не удастся достичь компактированием нанопорошков. Обычные методы деформации (прокатка, волочение, прессование и др.), в конечном счете, приводят к уменьшению поперечного сечения заготовки и не позволяют достигать высоких степеней измельчения зерна.

Интенсивная пластическая деформация кручением (ИПДК) - это метод ИПД, при котором заготовки, обычно имеют форму диска диаметром 10-20 мм и толщиной до 2 мм, для формирования мелкозернистой структуры подвергаются деформации сдвигом за счет реализации кручения в условиях высокого приложенного гидростатического давления (до 10 ГПа). Заготовка помещается на плоские бойки (рис. 1) или внутрь полости, изготовленной в бойках, и к ней подается давление величиной от 1 до 10 ГПа. Пластическая деформация кручением образца осуществляется за счет вращения одного из бойков. [2].

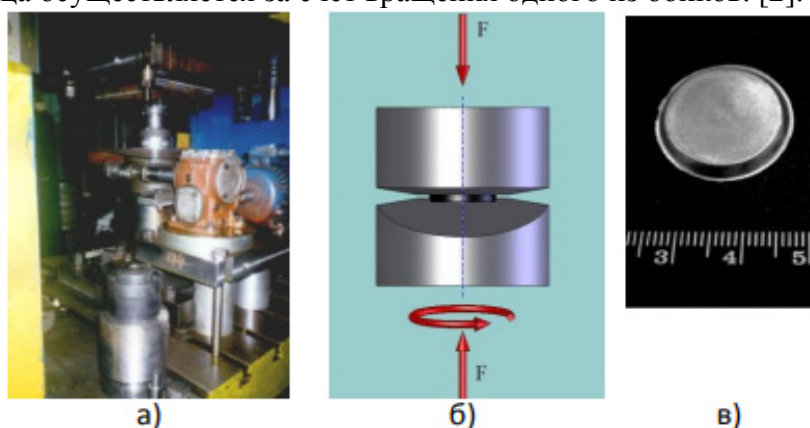


Рис. 1. Обработка методом ИПДК: а – вид установки ИПДК; б – схема обработки ИПДК; в – вид образца после обработки ИПДК.

Деформирования заготовки проводят на бойках Бриджмена с приложением удельного давления 3-6 ГПа. Затем проводят вращения подвижного бойка относительно своей оси со скоростью 0,02-1,5 об / мин. В процессе вращения бойка осуществляют циклическое

изменение удельного давления на 10-20% от текущего значения с частотой 0,1-1,5 установленной скорости вращения бойка. Циклическое приложение нагрузки при ИПД кручением обеспечивает однородную микроструктуру и повышает прочность и микротвердость материала заготовки.

Недостатки метода:

а) деформация максимальная на боковой поверхности диска, на оси вращения она равна нулю;

б) жесткие ограничения, накладываемые методом на форму заготовок, при деформации кручением под давлением они имеют форму тонких дисков;

в) размеры образцов серьезно ограничены оборудованием для кручения под давлением.

Кручение под давлением чистых металлов приводит к формированию равномерной структуры со средним размером зерен 50-100 Нм. Размер образцов деформации обычно не превышает 20 мм в диаметре и 1 мм по высоте. После деформации высота образцов уменьшается до 0,2-0,5 мм. Существенное измельчение структуры наблюдается уже после деформации на пол-оборота, но для создания однородных зерен может быть значительно меньше.

При моделировании для компенсации искажения сетки происходит ее перестройка с сохранением первоначального объема заготовки. Моделирование процесса кручения под давлением происходило в 2 этапа (рис. 2):

- осадка заготовки для максимального контакта заготовки с рабочей зоной матрицы;
- кручение заготовки под давлением, которое создается пуансоном.

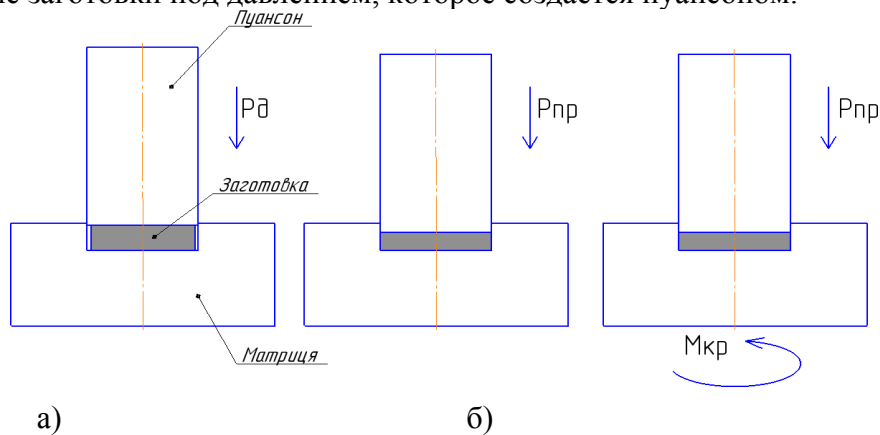


Рис. 2. Схема процесса перед осадкой (а) после осадки (б); кручение под давлением (в): P_d - усилие деформирования при осадке; $P_{пр}$ - усилие прижима пуансоном заготовки; $M_{кр}$ - момент необходим для кручения заготовки.

Таблица

Параметры процесса кручения под давлением

Материал заготовки	АД0
Диаметр заготовки, мм	8
Высота заготовки, мм	3
Тип операции	Деформация с учетом тепловых процессов
Температура заготовки T , °С	20
Скорость вращения матрицы, об/мин	2
Контакт инструмента с заготовкой	Условие слипания
Усилие прижима пуансоном, кН	100кН

Для создания значительных сдвиговых деформаций по высоте заготовки, кроме момента, нужно давить на заготовку с усилием при котором средние напряжения в заготовке будут достигать от 1 до 5 ГПа (в зависимости от материала). В нашем случае при действии пуансона на заготовку усилиям 10т возникают средние напряжения в пределы 1800-1900 МПа.

Деформация заготовки происходит за счет приложения крутящего момента на матрицу.

При увеличении степени деформации происходит рост температуры заготовки (рис. 3), что приводит к уменьшению крутящего момента (рис. 4), который необходим для осуществления деформации (рис. 4).

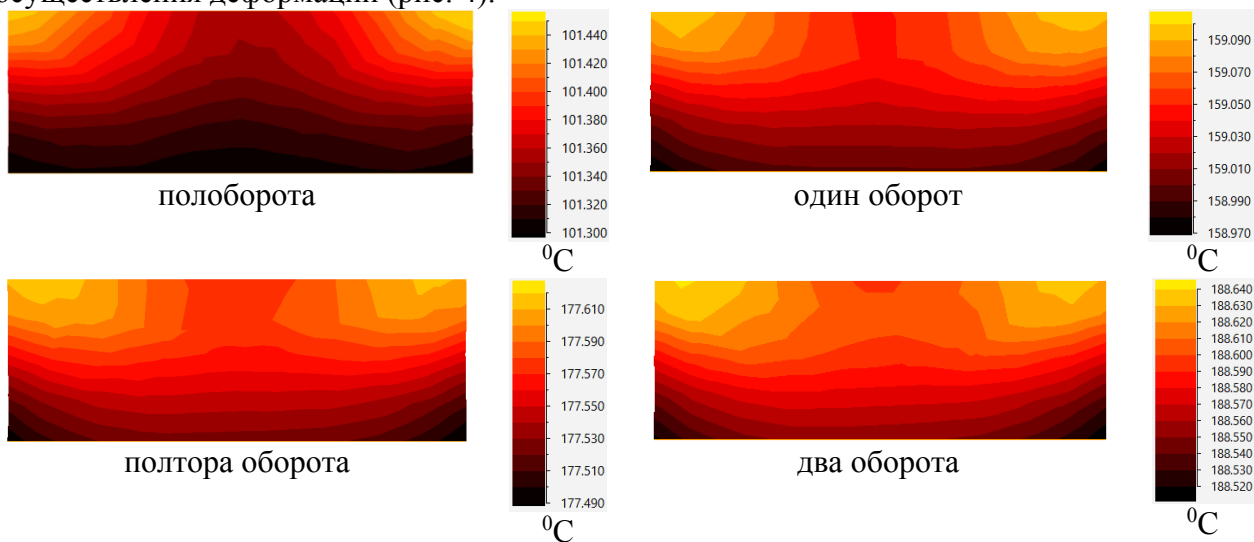


Рис. 3. Распределение температуры образца в зависимости от числа оборотов.

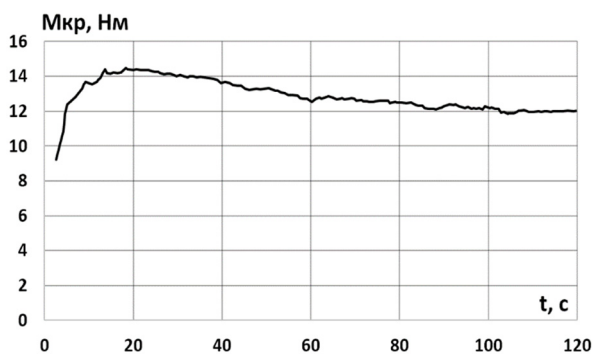


Рис. 4. Момент, необходимый для осуществления вращения матрицы

При увеличении числа оборотов происходит проработки материала по глубине (рис. 5) несмотря на то, что происходит повышение температуры.

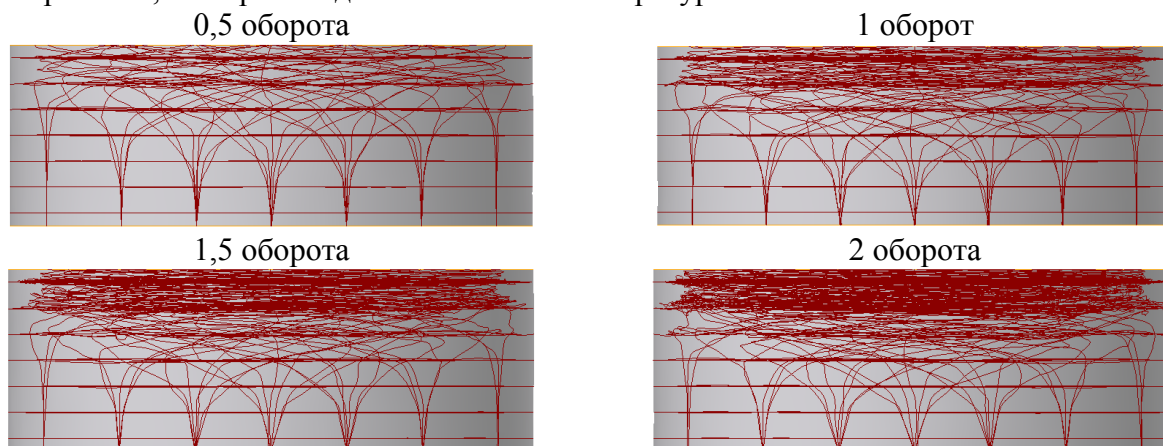


Рис. 5. Распределение трассирующих линий в зависимости от числа оборотов.

Замер напружень після моделювання проводився в діаметральному напрямленні і по висоті заготовки (рис.6).

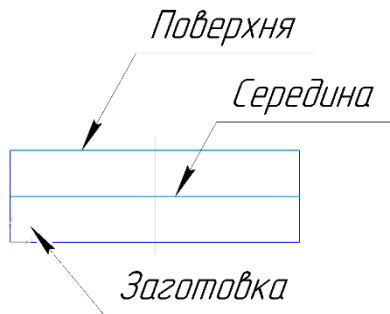


Рис. 6. Схема вимірювання в діаметральному напрямленні

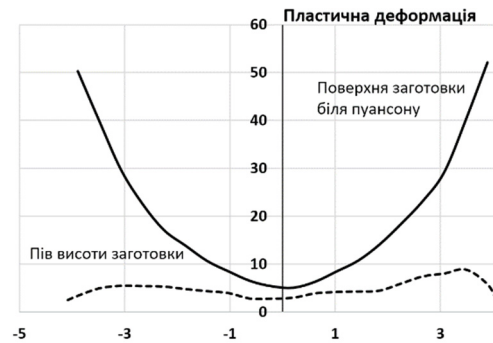


Рис. 7. Розподілення деформації на поверхні заготовки (суцільна лінія) і по середній лінії (пунктирна лінія)

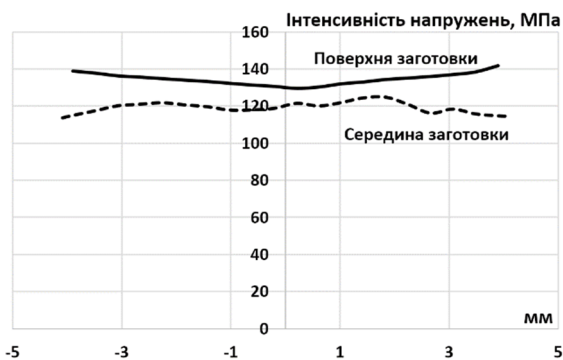


Рис. 8. Розподілення інтенсивності напружень на поверхні заготовки (контактуючі поверхності з пуансоном) і на половині висоти заготовки

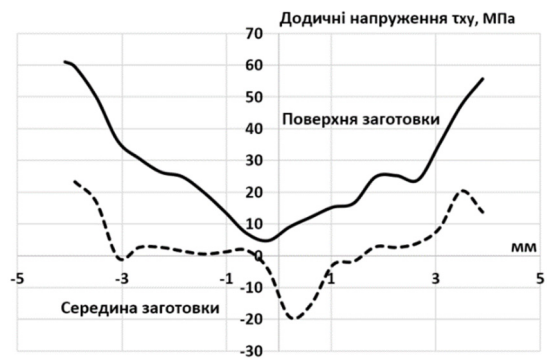


Рис. 9. Розподілення касательних напружень тху на поверхні заготовки і по середині заготовки

Из рис. 7 и 9 видно, что максимальные деформации соответствуют периферии образца на поверхности. После двух оборотов центральная часть также деформируется, но значительно меньше от периферии. Для более равномерное деформации заготовки по высоте необходимо выбирать схему моделирования, при которой линия разреза будет проходить по середине высоты заготовки.

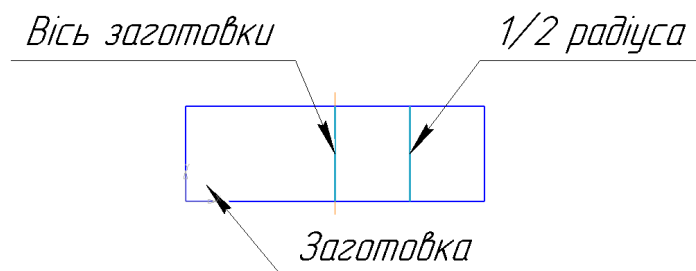


Рис. 10. Схема вимірювання по висоті.

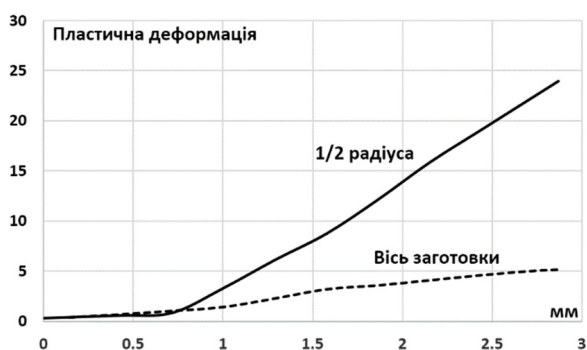


Рис. 11. Распределение пластической деформации

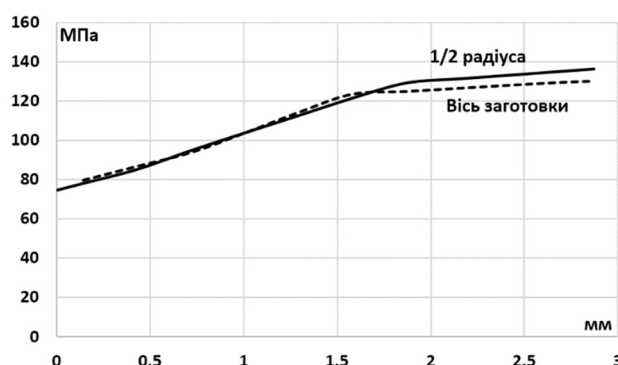


Рис. 12. Інтенсивність напружень

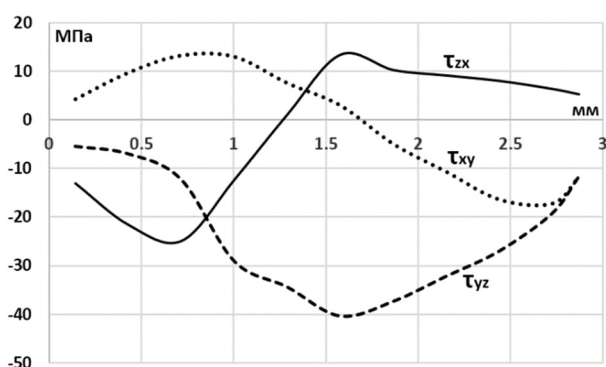


Рис. 13. Распределение касательных напряжений по центру заготовки

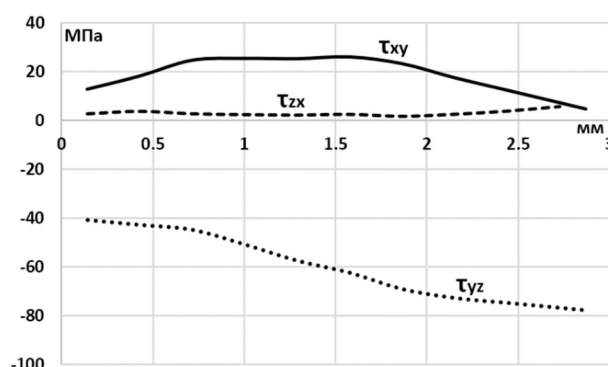


Рис. 14. Распределение касательных напряжений по 1/2 заготовки.

Из рис. 11 видно, интенсивная пластическая деформация начинается с 0,8 мм от полости в матрице. По оси пластическая деформация есть, хотя и в среднем в 5 раз меньше чем на расстоянии $\frac{1}{2}$ диаметра от оси. По оси градиент касательных напряжений больше чем на $\frac{1}{2}$ диаметра от оси.

При моделировании кручение под давлением мы видим, что при увеличении числа оборотов происходит более глубинное приработки материала. Увеличивается температура и уменьшается крутящий момент. Также для лучшей проработки структуры материала по оси заготовки необходимо осуществлять полных 1 или 2 оборота. Для более равномерной деформации образцов при схеме деформирования представленной на рис. 2 высота образцов не должна превышать 1-1,5 мм или применять схему с разъемом по середине высоты образца (при такой схеме высоту заготовки можно увеличить минимум в 2 раза).

Список использованных источников

3. Рудской А.И., Коджаспиров Г.Е. Технологические основы получения ультрамелкозернистых металлов: учебное пособие для вузов по направлению подготовки "Металлургия, машиностроение и материалобработка" / Санкт-Петербургский государственный политехнический университет. — Изд. 2.
4. Бобрук, Е. В. Б72 Современные методы деформационно-термической обработки: от традиционных материалов до наноструктурных: учебное пособие / Е. В. Бобрук, И. П. Семенова, Р.З. Валиев; Уфимск. гос. авиац. техн. унт. – Уфа: Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т, 2015. – 112 с.