

# ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ПОЯВЛЕНИЯ ПРОДОЛЬНОГО ИЗГИБА ПРИ ОСАДКЕ ВЫСОКИХ ЗАГОТОВОК ВЫПУКЛЫМИ РАДИУСНЫМИ БОЙКАМИ С ЭКСЦЕНТРИСИТЕТОМ НАГРУЗКИ В DEFORM 3D

Р. С. Николенко<sup>1,a</sup>, В. В. Кухарь<sup>1</sup>, А. А. Сидоров<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь, Украина.

<sup>2</sup> ООО «ТЕСИС», Россия, г. Москва

Данная статья посвящена исследованию влияния различных факторов на появление продольного изгиба в процессе осадки заготовки выпуклыми радиусными бойками с эксцентриситетом нагрузки. Исследование факторов, влияющих на изогнутость заготовки, является достаточно важным при составлении технологического процесса штамповки поковок сложной конфигурации и поковок с изогнутой осью с точки зрения ресурсосбережения и повышения конкурентоспособности выпускаемой продукции, когда необходимо достичь максимально близкого приближения формы заготовки к форме готового изделия. Исследование проводили путём моделирования процесса эксцентричной осадки в программном пакете для конечно-элементного анализа Deform 3D. По результатам исследования выявлены условия появления продольного изгиба относительно высокой заготовки при эксцентричной осадке.

## Введение

В современной кузнечно-штамповочной отрасли широко используют операции предварительного профилирования заготовок для приближения их формы к конфигурации поковки. Такая подготовка формы заготовки позволяет перераспределить силовые режимы по переходам, улучшить заполнение ручьев, снизить давления на контакте инструмента и заготовки, обеспечив равномерное напряженно-деформированное состояние штампов. Различные операции предварительного профилирования позволяют в 1,4...2,0 раза повысить стойкость окончательных ручьев штампов [1]. При предварительном профилировании заготовок эксцентричной осадкой выпуклыми бойками формоизменение металла сопровождается скольжением торцевых областей заготовки по поверхности бойков, в результате чего могут возникнуть нежелательные условия выскальзывания заготовки из рабочего пространства бойков.

Известны способы подготовки формы заготовки с использованием операции предварительного деформирования осадочными плитами или штамповыми вставками вогнутого или выпуклого профиля [2]. Осадка выпуклыми продолговатыми вставками достаточно изучена как с точки зрения формоизменения, так и с точки зрения изменения напряженно-деформированного состояния (НДС) [2–4]. Применение эксцентриситета при внедрении выпуклых штамповых вставок (бойков) в процессе осадки цилиндрических заготовок увеличивает варианты конфигураций предварительно профилированных заготовок, расширяя технологические возможности оборудования и номенклатуру штампуемых поковок.

## Ход исследования

Исследования предварительного профилирования заготовок при эксцентричной осадке выпуклыми вставками перед последующей штамповкой начаты авторами в работах [5, 6], где получены сведения об изменении НДС и показателей формы заготовок. Очевидно, что для различных технологий возможны разные варианты реализации профилирования выпуклыми вставками в широком диапазоне эксцентриситетов при осадке, радиусов выпуклости бойков, соотношений габаритов заготовки, степеней деформаций и т.д. При этом на формоизменение существенное влияние оказывают такие граничные условия на контакте заготовки с выпуклыми бойками, как фактор трения, значение которого в предыдущих исследованиях, выполненных в программных пакетах для конечно-элементного анализа, принимали фиксированным.

Целью исследования является определение условий появления продольного изгиба в процессе эксцентричной осадки выпуклыми радиусными бойками, который зависит от ряда факторов: отношение исходной высоты заготовки к исходному диаметру  $H_0/D_0$ , отношение радиуса выпуклости вставок деформирующего инструмента к исходному диаметру заготовки  $R/D_0$ , степень деформации  $\varepsilon_n$  и эксцентриситета нагрузки  $e/D_0$ .

Необходимость данного исследования обуславливается тем, что исследование факторов, влияющих на изогнутость заготовки, является достаточно важным при составлении технологического процесса штамповки поковок сложной конфигурации и поковок с изогнутой осью с точки зрения ресурсосбережения и повышения конкурентоспособности выпускаемой продукции, когда необходимо достичь максимально близкого приближения формы заготовки к форме готового изделия.

Для относительно низких заготовок с  $H_0/D_0 < 1,5$  продольный изгиб возникать не будет, а в процессе эксцентричной осадки наблюдается характерная неравномерность деформации с ярко-выраженным бочкообразованием.

Исследование проводили путём моделирования процесса эксцентричной осадки (рис. 1) в программном комплексе для конечно-элементного анализа Deform 3D (лицензия № 8145).

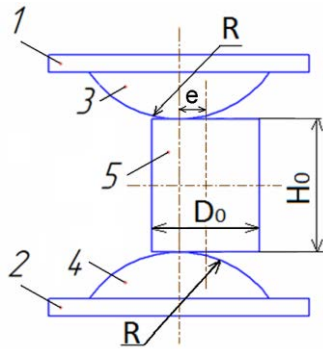


Рис. 1 – Схема выпуклых плит:

1-верхняя осадочная плита; 2- нижняя осадочная плита; 3-верхний выпуклый профиль; 4-нижний выпуклый профиль; 5-заготовка;  
 $R$  – радиус выпуклых плит;  $D_0$  – исходный диаметр заготовки;  $H_0$  – исходная высота заготовки;  $e$  – величина эксцентриситета

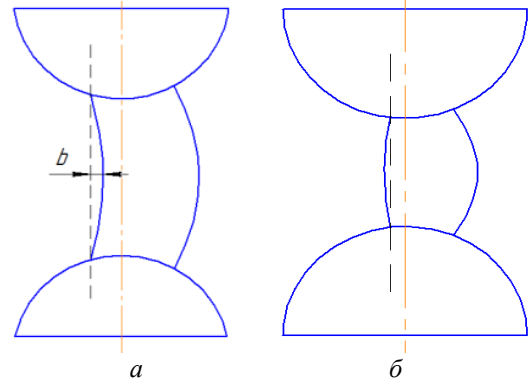


Рис. 2 – Появление продольного изгиба (а) и бочкообразования (б) в процессе осадки выпуклыми радиусными бойками с эксцентриситетом нагрузки:  $b$  – величина прогиба заготовки в процессе осадки

Материал заготовки – сталь 40, модель упрочнения взята в соответствии с условиями, предложенными пакетом. Температурные условия принимали изотермическими, температура деформации 1100 С. Моделировали осадку заготовок диаметром  $D_0 = 50$  мм, высотой от  $H_0 = 75$  мм до 100 мм с шагом 5 мм, т.е. соблюдали отношение  $H_0 / D_0 = 1,5 - 2,0$  с шагом 0,1. Виртуальное деформирование проводили при радиусах закругления выпуклых бойков  $R = 30; 50; 75$  и 112,5 мм, т.е. выдерживали отношение  $R / D_0 = 0,6; 1,0; 1,5$  и 2,25. При осадке обеспечивали эксцентриситет вертикальной оси выпуклых плит и заготовки  $e = 5$  мм; 7,5 мм и 12,5 мм, т.е. отношение  $e / D_0$  составляло соответственно 0,1; 0,15 и 0,25.

На рис. 3 – 5 показаны модели заготовок, осаженных до критической степени деформации  $\varepsilon_{кр}$ , при которой возникает продольный изгиб, при разном значении эксцентриситета и радиуса выпуклых плит.

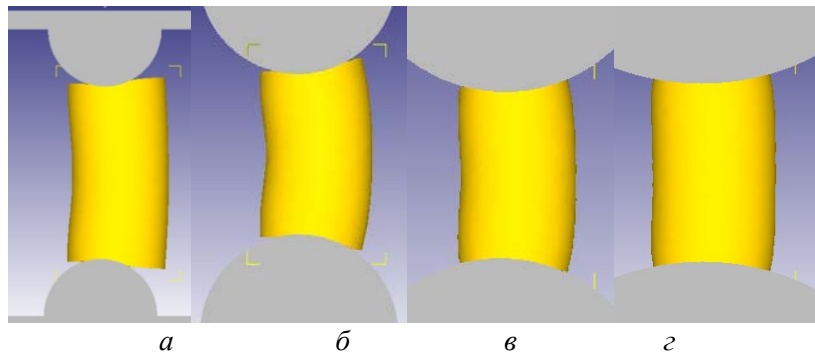


Рис. 3 – Осадка заготовки с высотой  $H_0 / D_0 = 2$  и  $e / D_0 = 0,1$ : а -  $R / D_0 = 0,6$ ;  
 б -  $R / D_0 = 1,0$ ; в -  $R / D_0 = 1,5$ ; г -  $R / D_0 = 2,25$

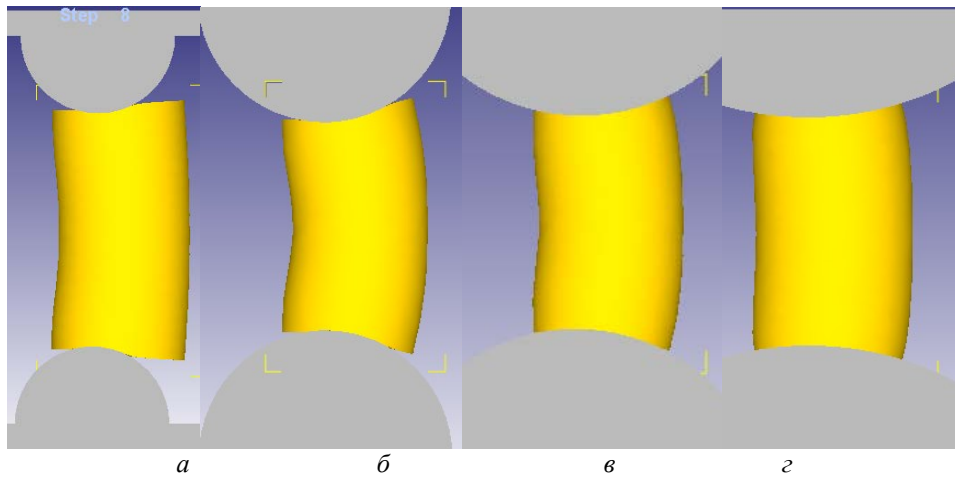


Рис. 4 – Осадка заготовки с высотой  $H_0/D_0 = 2$  и  $e/D_0 = 0,15$ : а -  $R/D_0 = 0,6$ ;  
 б -  $R/D_0 = 1,0$ ; в -  $R/D_0 = 1,5$ ; г -  $R/D_0 = 2,25$

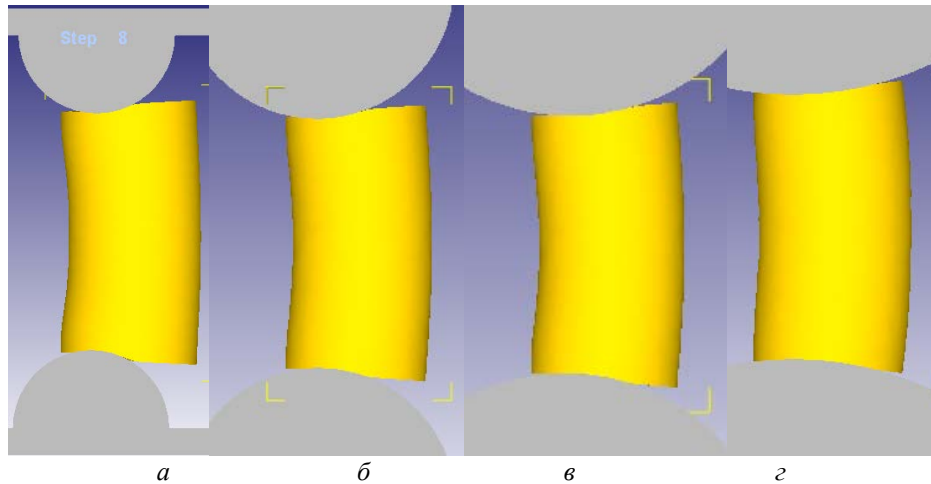


Рис. 5 – Осадка заготовки до с высотой  $H_0/D_0 = 2$  и  $e/D_0 = 0,25$ : а -  $R/D_0 = 0,6$ ;  
 б -  $R/D_0 = 1,0$ ; в -  $R/D_0 = 1,5$ ; г -  $R/D_0 = 2,25$

По результатам моделирования проведён анализ факторов, влияющих на условие появления продольного изгиба и построены графики зависимости критической степени деформации  $\mathcal{E}_{кр}$  при которой возникает изгиб заготовки от величины размеров исходной заготовки  $H_0/D_0$ , эксцентриситета нагрузки  $e/D_0$  и радиуса выпуклой части рабочего инструмента  $R/D_0$  (рис. 6)

Изгиб при осадке заготовки будет сохраняться только для условий  $R/D_0 = 0,6$ , в других случаях ( $R/D_0 = 1; 1,5; 2,25$ ) продольный изгиб будет сохраняться до определённой степени деформации, достигнув которой, заготовка будет приобретать бочкообразную форму.

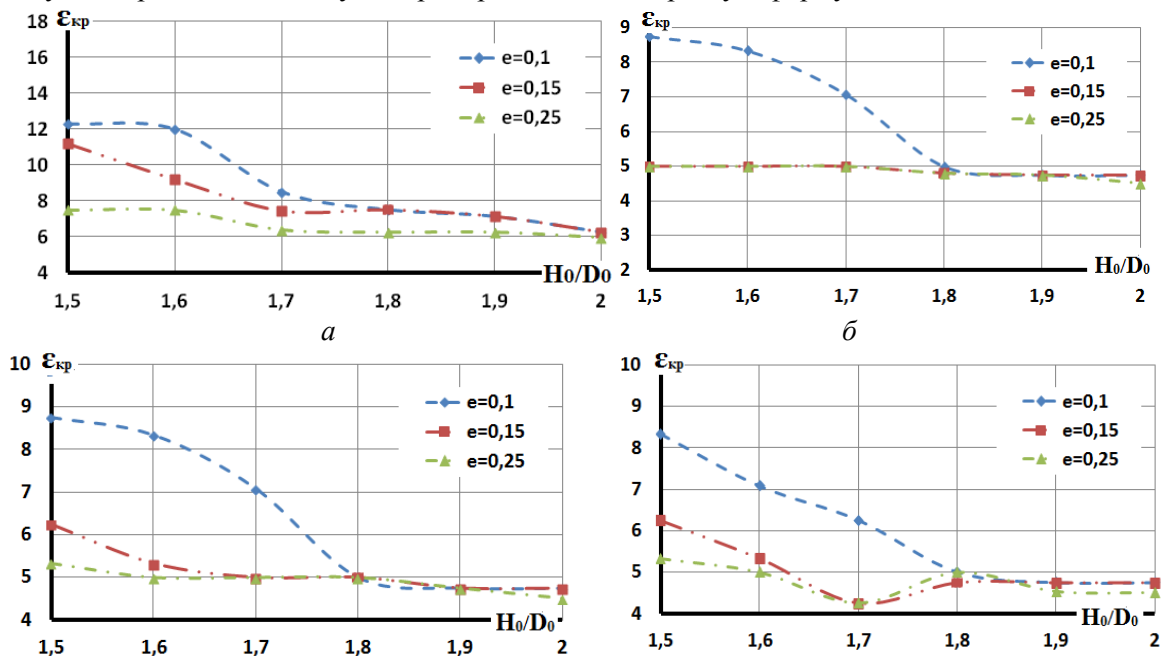


Рис. 6 – Степень деформации при которой возникает скольжение: а -  $R/D_0=0,6$ ; б -  $R/D_0=1$ ; в -  $R/D_0=1,5$ ; г -  $R/D_0=2,25$

По результатам моделирования построены графические зависимости появления бочкообразования от геометрических параметров заготовки и деформирующего инструмента и от эксцентриситета нагрузки (рис. 7).

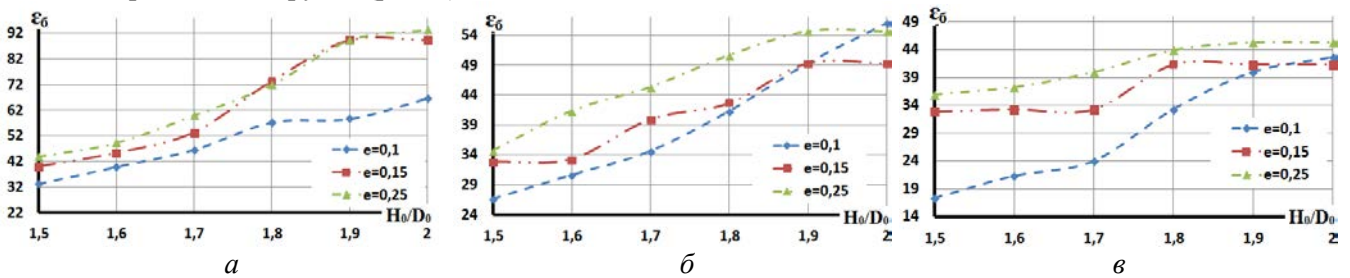


Рис. 7 – Степень деформации при которой возникает бочкообразование: а -  $R/D_0=0,6$ ; б -  $R/D_0=1$ ; в -  $R/D_0=1,5$ ;

Из графиков видно, что сам процесс возникновения продольного изгиба для заготовок с  $H_0/D_0 > 1,5$  происходит при малых степенях деформации и при минимальном значении эксцентриситета  $e/D_0 = 0,1$ . При осадке заготовок с высотой  $H_0/D_0 = 1,5 - 2$ ;  $e/D_0 = 0,1$  наблюдается минимальный продольный изгиб на малых степенях деформации, который полностью исчезает при повышении степени деформации, и заготовка приобретает выраженную бочкообразную форму. С увеличением значения  $H_0/D_0$  и  $e/D_0$  возрастает и степень деформации при которой исчезает продольный изгиб.

## Выводы

1. Выявлены условия появления продольного изгиба относительно высокой заготовки при эксцентричной осадке выпуклыми радиусными бойками с применением пакета для конечно-элементного анализа Deform 3D.
2. Установлено, что появление продольного изгиба возможно при условии  $H_0/D_0 > 1,5$  и  $R/D_0 = 0,6; 1; 1,5$ . При  $R/D_0 = 2,25$  продольный изгиб возникает, но дуга изгиба минимальна и исчезает при незначительном увеличении степени деформации.
3. С увеличением значения  $H_0/D_0$ , критическая степень деформации при которой возникает продольный изгиб уменьшается, а значение эксцентриситета  $e/D_0 = 0,1$  не оказывает влияния на изменение критической степени деформации.
4. В перспективе, полученные данные могут быть положены в методику расчёта заготовки и технологических режимов штамповки поковок с изогнутой осью на основе предварительного профилирования заготовки выпуклыми радиусными бойками.

## Список литературы

- Довнар С.А. Термомеханика упрочнения и разрушения штампов объёмной штамповки. М.: Машиностроение, 1975. 254 с.
- Гринкевич В.А., Кухарь В.В., Краев М.В., Бурко В.А. Анализ пластического формоизменения в частных задачахковки и штамповки: монография / Мариуполь: изд-во ЗАО «Газета «Приазовский рабочий», 2011. 336 с.
- Кухарь В.В., Короткий С.А., Бурко В.А. Моделирование формоизменения металла при осадке цилиндрических заготовок выпуклыми продолговатыми плитами // Вісник Хмельницького нац. ун-ту. – Хмельницький. 2008. № 5. С. 204–208.
- Кухарь В.В. Влияние радиусности выпуклых продолговатых осадочных плит на деформированное состояние и степень использования запаса пластичности при кузнечной осадке // Обработка материалов давлением: сб. науч. тр. / ДГМА. Краматорск. 2012. № 1 (30). С. 105–111.
- Кухарь В.В., Николенко Р.С. Исследование напряженно-деформированного состояния заготовок при профилировании выпуклыми плитами с эксцентриситетом нагрузки // Проблеми трибології (Problems of Tribology). 2012. № 3. С. 132–136.
- Кухарь В.В., Каргин Б.С., Николенко Р.С. Исследование формоизменения заготовок при профилировании выпуклыми плитами с эксцентриситетом нагрузки // Вісник Національного технічного університету «ХПІ»: Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». 2012. № 46. С. 71–76.