

4. Добровольский А. Г. Абразивная износостойкость материалов / А. Г. Добровольский, П. И. Кошеленко // Справочное пособие. – К.: «Тэхника», 1989. – 124 с.

**Bibliography (transliterated):** 1. Drozd M. P. Inzhenernye raschety uprugoplasticheskoy kontaktnoy deformacii M. P. Drozd, M. Matlin, Yu. I. Sidiyakin. – Moscow: Mashinostroenie, 1986. – 220 P. 2. Evdokimov V. D. Tehnologiya uprochneniya mashinostroitel'nyh materialov V. D. Evdokimov, L. P. Klimenko, A. N. Evdokimova Uchebnoe posobie-spravochnik. – 2-e izd-e. – Kiev. : ID «Professional, 2006. – 352 P. 3. Majboroda V. P. Skorostnoe deformirovanie konstrukcionnyh materialov V. P. Majboroda, A. P. Kravchuk, N. N. Holin. – Moscow: Mashinostroenie, 1986. – 264 P. 4. Dobrovol'skij A. G. Abrazivnaya iznosostojkost' materialov A. G. Dobrovol'skij, P. I. Koshelenko Spravochnoe posobie. – Kiev.: «Tehnika», 1989. – 124 P.

Поступила (received) 31.10.2014

УДК 621.73

**Р. С. НИКОЛЕНКО**, аспирант, ГВУЗ «ПГТУ», Мариуполь

## **ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫПУКЛЫХ ОСАДОЧНЫХ ВСТАВОК НА ЭНЕРГОСИЛОВЫЕ РЕЖИМЫ ПРИ ЭКСЦЕНТРИЧНОЙ ОСАДКЕ ЗАГОТОВОК РАЗЛИЧНОЙ ВЫСОТЫ**

Выполнено моделирование методом конечных элементов (МКЭ) процесса эксцентричной осадки выпуклыми вставками при фиксированном значении эксцентриситета вертикальных осей заготовки и инструмента. Исследование проводили с использованием пакета для конечно-элементного анализа Deform 3D. Получены графические зависимости силы осадки заготовки от степени обжатия, геометрических характеристик деформирующего инструмента и деформируемой заготовки при различных величинах эксцентриситета.

**Ключевые слова:** заготовка, профилирование, выпуклые вставки, эксцентриситет, усилие.

**Введение.** Внедрение предварительных профилирующих операций для достижения приближения формы заготовки к конфигурации поковки при штамповке [1] получило широкое распространение в современной кузнечно-штамповочной отрасли и весьма перспективно с точки зрения дальнейшего развития технологий. Подготовка формы заготовки позволяет перераспределить силовые режимы по переходам, улучшить заполнение ручьев, снизить давление на контакте инструмента и заготовки, обеспечив равномерное напряженно-деформированное состояние инструмента. Введение предварительного профилирования позволяет в 1,4...2,0 раза повысить стойкость окончательных ручьев штампов [2].

**Анализ последних исследований и публикаций.** Осадка выпуклыми продолговатыми вставками достаточно изучена как с точки зрения развития формоизменения [3], так и с точки зрения изменений напряженно-деформированного состояния [4]. Исследование процесса предварительного профилирования заготовок эксцентричной осадкой выпуклыми вставками перед последующей штамповкой проведены авторами в работах [5–7], где исследовано влияние формы деформирующего инструмента на напряженно-деформированное состояние (НДС) и приведены значения макропоказателей

формоизменения при различных геометрических характеристик бойков. В работе [8] установлено положительное влияние выбранной конфигурации выпуклых вставок при предварительном профилировании в технологии штамповки поковок пластин на силовые режимы при окончательном формоизменении. При этом профилировании выпуклыми вставками возможно осуществлять в широком диапазоне эксцентриситета внедрения бойков в заготовки с различным отношением высоты к диаметру. Однако, влияние геометрических характеристик заготовок, выпуклых осадочных вставок и величины эксцентриситета при профилирующей осадке до настоящего времени не изучено.

**Цель исследований.** Целью работы является изучение влияния геометрических параметров выпуклых осадочных продолговатых вставок при пластической осадке с нулевым и максимально доступным ( $1/4$  диаметра заготовки) эксцентриситетом внедрения данных плит в торец заготовки на энергосиловые показатели.

**Изложение основного материала.** Исследование проводили с использованием пакета для конечно-элементного анализа Deform 3D (лицензия № 8145). Объектом моделирования был процесс осадки цилиндрической заготовки с диаметром  $D_0 = 50$  мм, высотой  $H_0 = 50$  мм и  $H_0 = 100$  мм (отношение  $H_0 / D_0 = 1,0$  и  $2,0$ ). Материал заготовки – сталь 45 (AISI 1045), при этом модель упрочнения, также как и граничные условия, предложенными пакетом. Температурные режимы принимали изотермическими, температура деформации  $1100^\circ\text{C}$ . Заданное количество конечных элементов составляло 10000 шт., однако после генерации сетки количество элементов было принято 7847 шт. Коэффициент контактного трения, согласно рекомендациям источника [9], принимали  $f = 0,3$ .

Моделировали процесс осадки заготовки до относительных степеней обжатия  $\varepsilon_h = (\Delta h / H_0) \times 100\% = 50\%$ , где  $\Delta h = (H_0 - H)$  – величина хода инструмента (абсолютное обжатие), мм, здесь  $H$  – минимальное расстояние между выпуклыми вставками после осадки (рис. 1). Значение эксцентриситета при осадке, т.е. несовпадение оси заготовки и вертикальной оси осадочных плит, принимали  $e = 0$  мм и  $e = 12,5$  мм (рис. 2). Для установления влияния геометрических параметров на энергосиловые показатели осадки рассматривали вариант деформирования с различным радиусом  $R$  выпуклости вставок и с ограничением высоты выпуклости профиля плиты от максимальной величины  $h_{p,max} = R$  до минимального значения  $h_{p,min} = R/4$ . Радиусы выпуклости вставок:  $R = 30$  мм;  $50$  мм;  $75$  мм и  $112,5$  мм, т.е. относительный радиус составлял  $R / D_0 = 0,6$ ;  $1,0$ ;  $1,5$  и  $2,25$ .

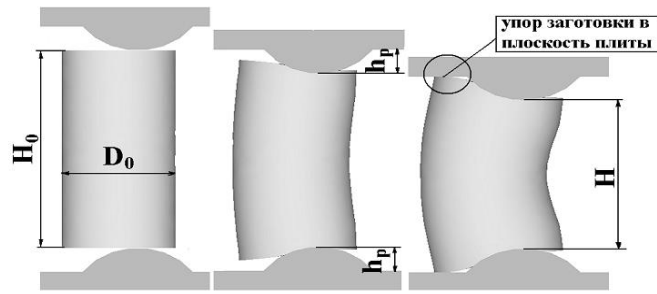


Рис. 1 – Процесс осадки с искусственным упором

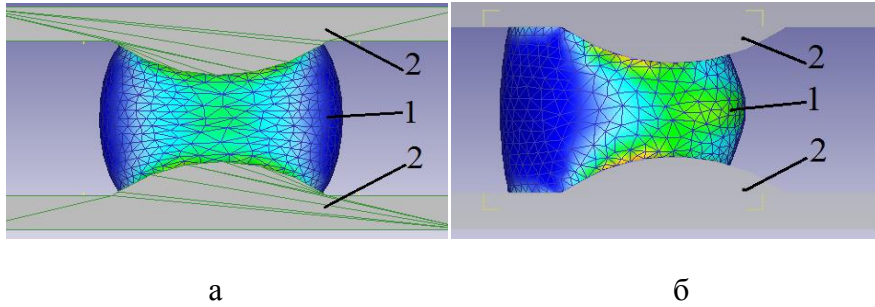


Рис. 2 – Твердотельная модель заготовки (1) после осадки выпуклыми бойками (2):  
а – без эксцентриситета  $e = 0$ ; б – с эксцентриситетом  $e = 0,25$

В пакете Deform были построены графики изменения силы осадки заготовок с различными значениями относительного радиуса  $R/D_0$  (рис. 3).

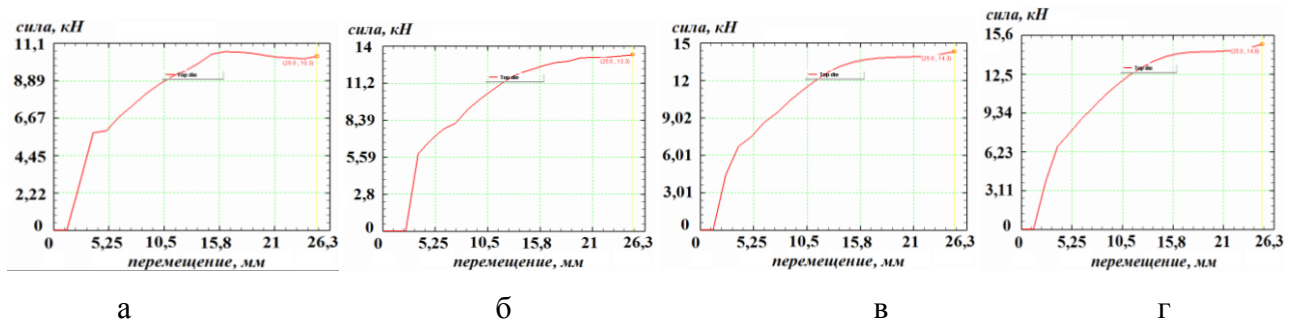


Рис. 3 – Графики изменения силы осадки заготовки с  $H_0 = 50$  без эксцентриситета при  $h_{p,max} = R$ : а –  $R/D_0 = 0,6$ ; б –  $R/D_0 = 1,0$ ; в –  $R/D_0 = 1,5$ ; г –  $R/D_0 = 2,25$

В дальнейшем результаты моделирования были сведены в обобщённые графические зависимости силовых режимов осадки без эксцентриситета (рис. 4) и с эксцентриситетом (рис. 5) от степени обжатия.

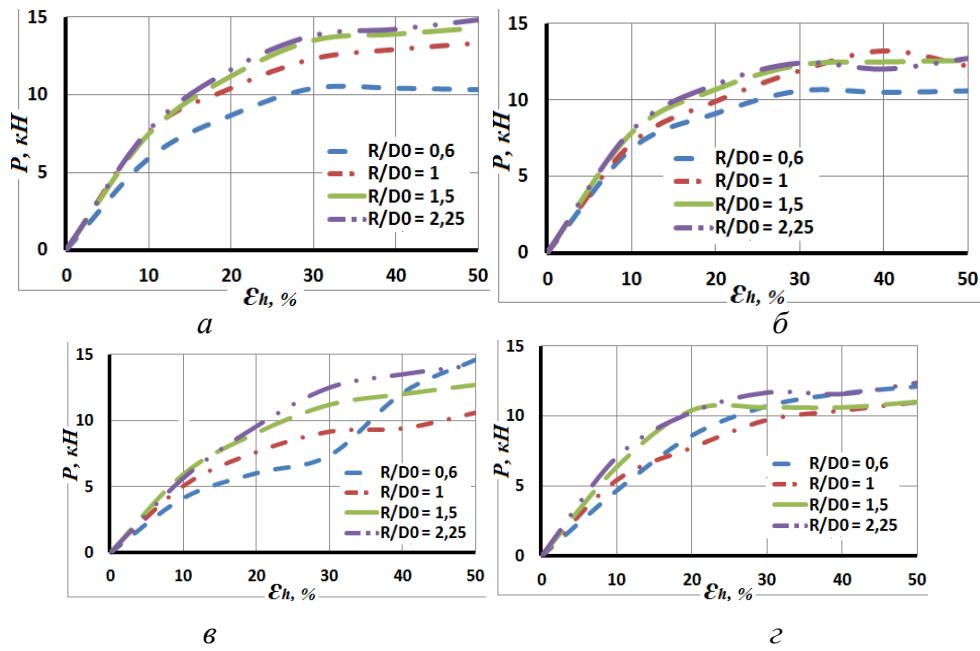


Рис. 4 – Графики зависимости силы осадки  $P$  от степени деформации  $\varepsilon_h$  при отсутствии эксцентриситета ( $e = 0$ ): а –  $h_{p.max} = R, H_0/D_0 = 1$ ; б –  $h_{p.max} = R, H_0/D_0 = 2$ ;  
 в –  $h_{p.min} = R/4, H_0/D_0 = 1$ ; г –  $h_{p.min} = R/4, H_0/D_0 = 2$

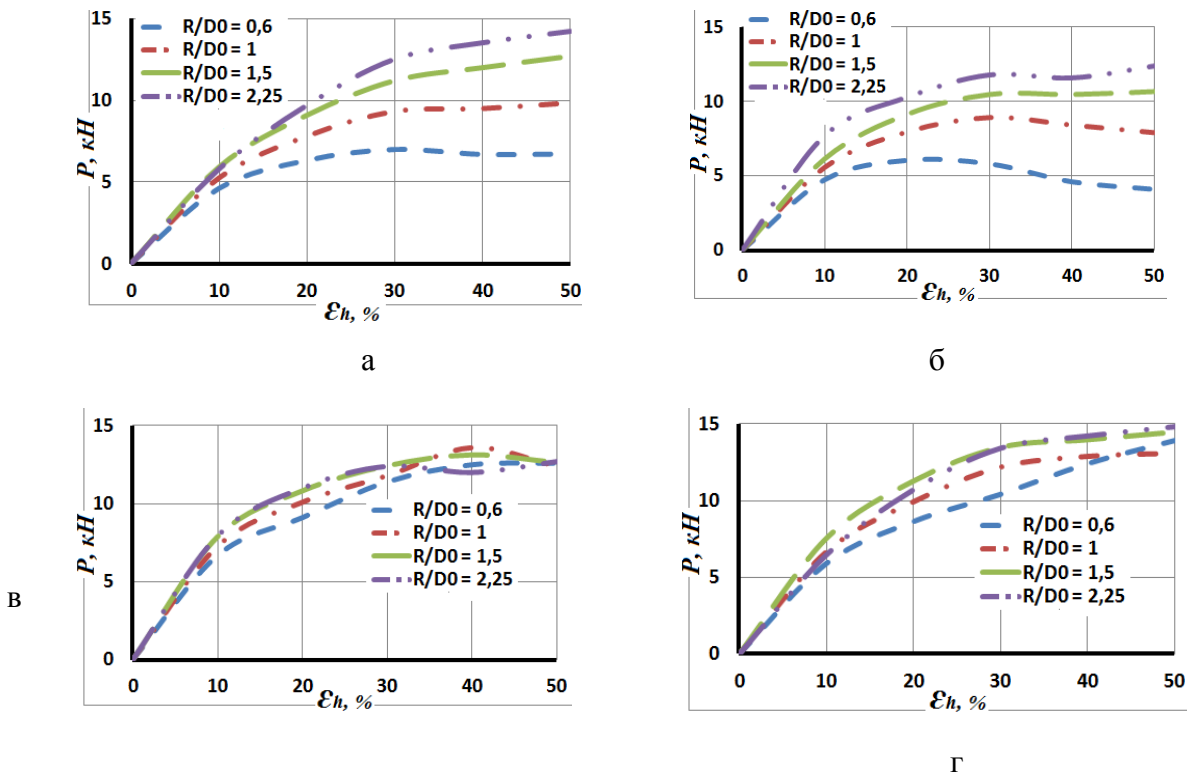


Рис. 5 – Графики зависимости силы осадки  $P$  от степени деформации  $\varepsilon_h$  с максимальным значением эксцентриситета ( $e = 0,25D_0$ ): а –  $h_{p.max} = R, H_0/D_0 = 1$ ; б –  $h_{p.max} = R, H_0/D_0 = 2$ ;  
 в –  $h_{p.min} = R/4, H_0/D_0 = 1$ ; г –  $h_{p.min} = R/4, H_0/D_0 = 2$

Из графиков, представленных на рис. 4 и рис. 5 видно, что применение искусственного ограничения выпуклости профиля плиты от максимального  $h_{p,max} = R$  до минимального значения  $h_{p,min} = R/4$  приводит к возрастанию необходимой силы для осадки при значениях  $R/D_0 = 0,6$  и  $1,0$ . Это связано с возникновением дополнительных поверхностей контакта заготовки с плоскостью плиты при  $h_{p,min} = R/4$ , т.е. с увеличением площади контактной поверхности. При значениях  $R/D_0 = 1,5$  и  $2,25$ , в случае ограничения профиля плиты, контакта заготовки с плоской поверхностью деформирующего инструмента не возникает.

**Выводы.** Таким образом, с использованием МКЭ изучено влияние геометрических параметров и высоты заготовок при осадке выпуклыми вставками (бойками) с эксцентриситетом внедрения в торцы заготовок и без него. Выявлено, что ограничение выпуклости профиля приводит к возрастанию площади контакта деформированной заготовки с радиусными вставками, что приведёт к возрастанию силы осадки. Увеличение радиусности значения  $R/D_0$  для выпуклых вставок также приводит к возрастанию силы деформирования. Исследование силовых режимов на операциях предварительного профилирования позволит, в перспективе, уточнить методику выбора прессового оборудования по предельной номинальной силе и допускаемым нагрузкам в исполнительном механизме при автоматических режимах многоручьевого штамповки с совмещением профилирующих и штамповочных операций за один ход прессы.

**Список литературы.** 1. Технологія кування / Л. М. Соколов, І. С. Алієв, О. Є. Марков, Л. І. Алієва. – Краматорськ: ДДМА, 2011. – 268 с. 2. Довнар С. А. Термомеханіка упрочнення і руйнування штампів об'ємної штамповки / С. А. Довнар. – М.: Машиностроєння, 1975. – 254 с. 3. Кухарь В. В. Моделирование формоизменения металла при осадке цилиндрических заготовок выпуклыми продолговатыми плитами / В. В. Кухарь, С. А. Короткий, В. А. Бурко // Вісник Хмельницького нац. ун-ту. – Хмельницький, 2008. – № 5. – С. 204–208. 4. Кухарь В. В. Влияние радиусности выпуклых продолговатых осадочных плит на деформированное состояние и степень использования запаса пластичности при кузнечной осадке / В. В. Кухарь // Обработка материалов давлением: сб. науч. тр. / ДГМА. – Краматорск, 2012. – № 1 (30). – С. 105–111. 5. Кухарь В. В. Исследование напряженно-деформированного состояния заготовок при профилировании выпуклыми плитами с эксцентриситетом нагрузки / В. В. Кухарь, Р. С. Николенко // Проблеми трибології (Problems of Tribology). – 2012. – № 3. – С. 132–136. 6. Кухарь В. В. Исследование формоизменения заготовок при профилировании выпуклыми плитами с эксцентриситетом нагрузки / В. В. Кухарь, Б. С. Каргин, Р. С. Николенко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ»: Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ», 2012. – № 46. – С. 71–76. 7. Кухарь В. В. Анализ процесса осадки заготовок коническими плитами методом смещённых объёмов / В. В. Кухарь, Р. В. Суглобов, Б. С. Каргин, Р. С. Николенко // Захист металургійних машин від поломок: Зб. Наук. Пр. – Маріуполь, 2012. № 14. – С. 63–66. 8. Кухарь В. В. Расширение технологических возможностей и преимущества предварительного профилирования выпуклыми вставками в процессе горячей объёмной штамповки поковок пластин / В. В. Кухарь, Р. С. Николенко, Р. В. Суглобов // Известия МГТУ «МАМИ»: Научный рецензируемый журнал. Серия 2. Технология машиностроения и материалы. – М., МГТУ «МАМИ», 2013. – №2(16), т.2. – С. 71–76.

9. Грудев А. П. Трение и смазки при обработке металлов давлением: справочник / А. П. Грудев, Ю. В. Зильберг, В. Т. Тилик. – М.: Metallurgija, 1982. – 312 с.

**Bibliography (transliterated):** 1. Tehnologija kuvanja L. M. Sokolov, I. S. Aliev, O. Є. Markov, L. I. Alieva. – Kramators'k : DDMA, 2011. – 268 p. 2. Dovnar S. A. Termomehanika uprochnenija i razrushenija shtampov ob"yomnoi shtampovki S. A. Dovnar. – Moscow: Mashinostroenie, 1975. – 254 p. 3. Kuhar' V. V. Modelirovanie formoizmenenija metalla pri osadke cilindricheskikh zagotovok vypuklymi prodolgovatymi plitami V. V. Kuhar', S. A. Korotkii, V. A. Burko Visnik Hmel'nic'kogo nac. un-tu. – Hmel'nic'kii, 2008. – No 5. – P. 204–208. 4. Kuhar' V. V. Vlijanie radiusnosti vypuklykh prodolgovatykh osadochnykh plit na deformirovannoe sostojanie i stepen' ispol'zovanija zapasa plastichnosti pri kuznechnoi osadke V. V. Kuhar' Obrabotka materialov davleniem: sb. nauch. tr. DGMA. – Kramatorsk, 2012. – No 1 (30). – P. 105–111. 5. Kuhar' V. V. Issledovanie naprjazhenno–deformirovannogo sostojanija zagotovok pri profilirovanii vypuklymi plitami s yekscentrisitetom nagruzki V. V. Kuhar', R. S. Nikolenko Problemi tribologii (Problems of Tribology). – 2012. – No 3. – P. 132–136. 6. Kuhar' V. V. Issledovanie formoizmenenija zagotovok pri profilirovanii vypuklymi plitami s yekscentrisitetom nagruzki V. V. Kuhar', B. S. Kargin, R. S. Nikolenko Visnik Nacional'nogo tehničnogo universitetu «HPI»: Zbirnik naukovih prac'. Tematichnii vipusk: Novi rishennja v suchasnihi tehnologijah. – Kharkov: NTU «HPI», 2012. – No 46. – P. 71–76. 7. Kuhar' V. V. Analiz processa osadki zagotovok konicheskimi plitami metodom smeshyonnykh ob"yomov V. V. Kuhar', R. V. Suglobov, B. S. Kargin, R. S. Nikolenko Zahist metalurgiih mashin vid polomok: Zb. Nauk. Pr. – Mariupol', 2012. No 14. – P. 63–66. 8. Kuhar' V.V. Rasshirenie tehnologicheskikh vozmozhnostei i preimushstva predvaritel'nogo profilirovanija vypuklymi vstavkami v processe gorjachei ob"yomnoi shtampovki pokovok plastin V.V. Kuhar', R.S. Nikolenko, R.V. Suglobov Izvestija MGTU «MAMI»: Nauchnyi recenziruemyi zhurnal. Serija 2. Tehnologija mashinostroenija i materialy. – Moscow, MGTU «MAMI», 2013. – No2(16), t.2. – p. 71–76. 9. Grudev A. P. Trenie i smazki pri obrabotke metallov davleniem: spravochnik A. P. Grudev, YU. V. Zil'berg, V. T. Tilik. – Moscow: Metallurgija, 1982. – 312 p.

Поступила (received) 28.10.2014

УДК 621.7.011

**В. А. ОГОРОДНИКОВ**, докт. техн. наук, зав. каф., ВНТУ;

**А. В. ГРУШКО**, докт. техн. наук, дир. ИнМАД ВНТУ;

**А. В. ГУЦАЛЮК**, аспирант, ВНТУ, Винница

## **ВЫБОР КРИТЕРИЕВ ДЕФОРМИРУЕМОСТИ ПРИ ОЦЕНКЕ ИСПОЛЬЗОВАННОГО РЕСУРСА ПЛАСТИЧНОСТИ В ПРОЦЕССАХ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ**

Приведены результаты исследований пластичности металлов при объемном напряженном состоянии. Показано влияние инвариантов тензора напряжений на пластичность. При этом процесс нагружения образцов рассматривается в пространстве трех безразмерных инвариантных характеристик напряженно-деформированного состояния. Показано, что на пластичность оказывает влияние первая и вторая производная от показателей напряженного состояния. Показано также, что критерии деформируемости, основанные на линейной теории накопления повреждений, дают существенное отклонение между результатами расчета и экспериментом.

**Ключевые слова:** критерий, кривизна пути деформирования, ресурс пластичности, траектория деформирования

**Введение.** При изготовлении заготовок методами обработки давлением на поверхности, или в середине деформируемого металла могут возникать макротрещины, или напротив запас пластичности используется недостаточно.

---

© В. А. Огородников, А. В. Грушко, А. В. Гуцалюк, 2014