

- 351 p.
5. Physico-mathematical theory of material processing technology and mechanical engineering / Ed. F.V. Novikov and A.V. Yakimova. In the ten volumes. – Т. 1. «Mechanics of Materials Cutting». – Odessa: OSPU, 2002. – 580 p.
 6. Andilayah O.O. Mathe model viznachennya energoemnosti abrazivnoї obrobki that drain її zmen-shennya / O.O. Andilayah, I.V. Gershikov // News NTU «НПІ». Zbirnik naukovyi Pracuj. Seriya: mathe modelyuvannya in tehntsi that tehnologiyah. – Н.: NTU «НПІ». – 2012. – № 54 (960). – P. 3-13.
 7. The quality of the surface with diamond-abrasive machining / E.V. Ryzhov, A.A. Sagarda, V.B. Ilitsky, I.H. Chepovetsky. – К.: Science dumka, 1979. – 244 p.

Рецензент: А.А. Ищенко
д-р техн. наук, проф. ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 10.07.2013

УДК 621.73

Кухарь В.В.¹, Суглобов Р.В.², Каргин Б.С.³, Николенко Р.С.⁴, Мкртчян Е.А.⁵

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ ОСАДКЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ЗАГОТОВКИ КОНИЧЕСКИМИ ПЛИТАМИ

В статье приведены результаты моделирования процесса осадки заготовки коническими плитами методом конечных элементов. Определено напряжённо-деформированное состояние заготовки в зависимости от величины угла у основания конуса конических плит.

Ключевые слова: моделирование, заготовка, конусная плита, напряжённо-деформированное состояние.

Кухарь В.В., Суглобов Р.В., Каргин Б.С., Николенко Р.С., Мкртчян Е.А. Моделювання напружено-деформованого стану при осаджуванні циліндричної заготовки конічними плитами. У статті наведено результати моделювання процесу осаджування заготовки конусними плитами методом скінчених елементів. Визначено напружено-деформований стан заготовки залежно від величини кута біля основи конуса конічних плит.

Ключові слова: моделювання, заготовка, конусна плита, напружено-деформований стан.

V.V. Kuhar, R.V. Suglobov, B.S. Kargin, R.S. Nikolenko, E.A. Mkrтчan. Modeling of stress-strain state during upsetting of cylindrical billet by conical plates. The simulation of the process of forging upsetting of billets by the finite elements method is describes in the article. The stress-strain state of workpiece in depended from the range of angle near of the base of conical plates was determinate.

Keywords: The simulation, workpiece, conical plates, stress-strain state.

Постановка проблемы. В настоящее время разработано достаточно много способов предварительного профилирования заготовок перед последующей штамповкой или завершаю-

¹ канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

² ст. преп., ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

³ канд. техн. наук, профессор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

⁴ магистр, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

⁵ ассистент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

щими кузнечними операціями, призначеними для мінімізації об'єму металу, видаляемого з об'єкту, або оптимізації форми заготовки. К одним із достатньо перспективних способів можна віднести процес профілювання заготовок осадкою профільними плитами [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Геометрія плит може бути різною: вогнутою або сферическою форми [2-4], з отвором [2, 3, 5], коніческою форми [6], випуклою або подовженою [3, 7, 8]. Розглядаючи і вибираючи різну конфігурацію плит для попереднього профілювання заготовок перед штампуванням необхідно звертати увагу на напружено-деформоване стан (НДС) металу в ході процесу деформації, щоб попередити виникнення тріщин і розривів і виходу з ладу робочого інструмента, уникнути появи внутрішніх дефектів. Так в дослідженнях [9] встановлено вплив операції осадки плитами різної конфігурації на закриття осевих дефектів слитків, а в роботі [10] розпочато дослідження по моделюванню НДС при осадці заготовок профільними випуклими плитами з ексцентриситетом навантаження. Осадка заготовок коніческими плитами може бути використана як проміжний етап при виробництві поковок круглих в плані як в технологіях ковки, так і в процесах штампування. Відомо використання осадки коніческими плитами в методах визначення коефіцієнта контактної тертя, коли в залежності від кута конусності плит регулюють формування бокової поверхні заготовки [3]. Достатньо близькими до процесу деформації коніческими плитами є технології прошивки з ідентичною формою кінцевої частини прошивної, що відповідають початковим стадіям процесу осадки заготовок коніческими плитами [4]. Розглядаються операції [5] так само використовують для інтенсифікації процесів накоплення деформацій і проработки металу поковок відповідного призначення. Однак існуючі дослідження таких процесів не в повній мірі відображають формування заготовок, а характер зміни НДС в процесах осадки коніческою інструментом вивчений недостатньо. В свою чергу закономірності зміни НДС по ходу осадки коніческими плитами необхідні для вибору оптимальних режимів формування, що виключають порушення цілісності заготовок і оцінки проработки матеріалу для підвищення якості кованих поковок.

Метою нинішньої роботи є дослідження напружено-деформованого стану металу заготовки і силових режимів при осадці коніческими плитами з різним кутом при основі конуса α (рис. 1).

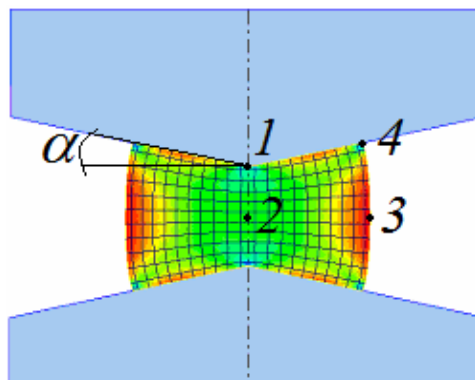


Рис. 1 – Моделювання процесу осадки циліндричної заготовки коніческими плитами

Виклад основного матеріалу. Теоретично і практично встановлено, що варіюючи кут конусності осадочних плит досягають рівномірної деформації заготовки без бочкообразування і ефекту вогнутості бокової поверхні, на чому базуються відомі методи визначення кута тертя і оцінки ефективності технологічних смазок [11, 12]. Незважаючи на раціональність заміни операції осадки плоскими плитами на осадку коніческою інструментом перед наступною обробкою, розглянуті прийоми не отримали широкого розповсюдження через недостатню вивченість формування і НДС.

Дослідження проводили, використовуючи пакет скінченно-елементного аналізу QForm. Об'єк-

том моделирования был процесс осадки цилиндрических заготовок (рис. 1) с начальным диаметром $D_0 = 25$ мм и $D_0 = 50$ мм и высотой $H_0 = 50$ мм (отношение $H_0/D_0 = 1,0$ и $H_0/D_0 = 2,0$). Для удобства отслеживания изменений интенсивностей деформаций ε_i и средних напряжений σ_{cp} на различных участках заготовки с ростом величины угла у основания конуса $\alpha = 12,5^\circ, 15^\circ, 17,5^\circ$, в компьютерной твердотельной модели выделяли характерные точки-маркеры (см. рис. 1), в которых проводили идентификацию НДС:

- точка № 1 – на контактной поверхности по оси симметрии плит (в плоскости максимального локального обжатия);
- точка № 2 – в центральной части заготовки на пересечении оси симметрии плит с горизонтальной осью симметрии заготовки;
- точка № 3 – на середине высоты боковой поверхности (по горизонтальной оси симметрии осажённой заготовки);
- точка № 4 – место контакта образующей боковой поверхности с осадочной плитой.

При этом σ_{cp} определяли как $\sigma_{cp} = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3$ или $\sigma_{cp} = (\sigma_\alpha + \sigma_\rho + \sigma_\theta)/3$, где $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – главные напряжения, МПа; $\sigma_\alpha, \sigma_\rho, \sigma_\theta$ – напряжения в цилиндрических координатах, МПа.

Материал заготовок – Сталь 45. Температурные условия принимали изотермическими, при этом температура деформации для Стали 45 – 1100 °С. Процесс осадки проводили до относительной степени обжатия $\varepsilon_h = (\Delta h / H_0) \times 100 \% = 50 \%$, где Δh – величина хода инструмента (абсолютное обжатие), мм. Коэффициент контактного трения при деформации, согласно рекомендациям источника [12], принимали $f = 0,32$.

В результате моделирования получены картины распределения средних напряжения σ_{cp} и интенсивностей деформации в заготовках при различных степенях деформации ε_h после осадки плитами с разными углами α при основании конуса. В качестве примера в табл. 1 приведены результаты моделирования в виде распределения σ_{cp} и ε_i по объёму заготовки, осажённой до конечной величины $\varepsilon_h = 50 \%$.

Таблица 1
Результаты моделирования осадки заготовки ($H_0 = 50$ мм, $D_0 = 50$ мм, $H_0/D_0 = 1,0$) коническими плитами до $\varepsilon_h = 50 \%$ (Материал – Сталь 45, при $t = 1100$ °С)

Угол конусности	$\angle\alpha = 12,5^\circ$	$\angle\alpha = 15^\circ$	$\angle\alpha = 17,5^\circ$
Интенсивность деформаций, ε_i			
Средние напряжения, σ_{cp} , МПа			

Аналогичным образом представлены результаты моделирования распределения ε_i и σ_{cp} по объёму заготовок с изменением угла α у основания конуса для $H_0/D_0 = 2,0$ (табл. 2).

Таблица 2

Результаты моделирования осадки заготовки ($H_0 = 50$ мм, $D_0 = 25$ мм, $H_0/D_0 = 2,0$) коническими плитами до $\varepsilon_n = 50\%$ (Материал – Сталь 45, при $t = 1100^\circ\text{C}$)

Угол конусности	$\angle\alpha = 12,5^\circ$	$\angle\alpha = 15^\circ$	$\angle\alpha = 17,5^\circ$
Интенсивность деформаций, ε_i			
Средние напряжения, σ_{cp} , МПа			

На основании полученных данных построены графики (рис. 2), которые показывают распределение НДС в выбранных для анализа точках заготовки.

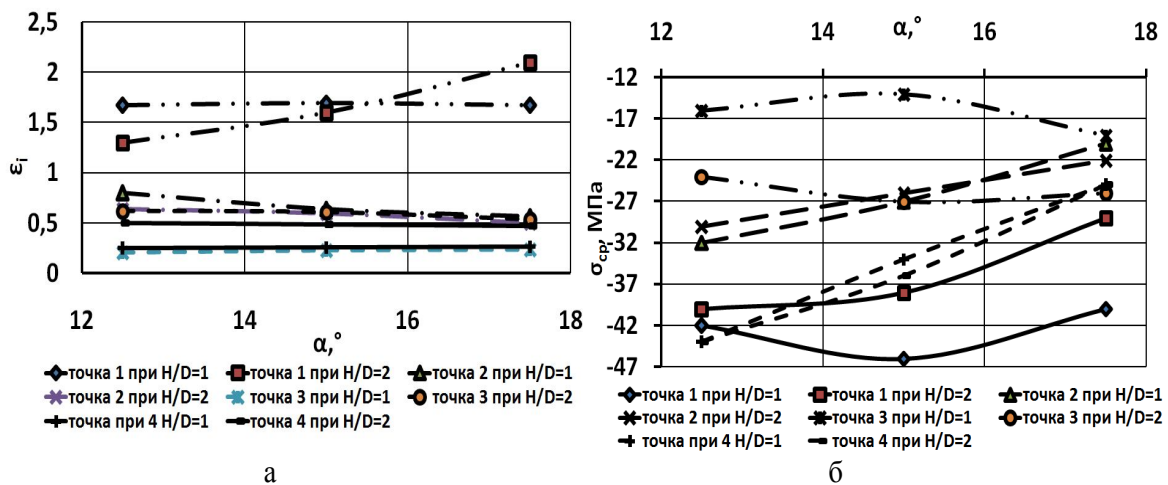


Рис. 2 – Зависимости распределения интенсивностей деформаций ε_i (а) и средних напряжений σ_{cp} (б) в процессе осадки цилиндрической заготовки коническими плитами от угла конусности

Анализируя графики зависимостей распределения средних напряжений (σ_{cp}) и интенсивностей деформаций (ε_i) от угла конусности выпуклых плит можно отметить, что с увеличением угла α у основания плит при $H_0/D_0 = 2,0$ в точке 1 происходит возрастание интенсивности деформации, а при $H_0/D_0 = 1,0$ изменение интенсивности деформации незначительно. На боковых поверхностях деформируемой цилиндрической заготовки (точка 3) возрастание величины угла α конусности осадочных плит приводит к изменению средних напряжения с максимумом в центре кривой при отношении $H_0/D_0 = 1$ и минимумом в центре кривой при $H_0/D_0 = 2$ (см. рис. 3). Интенсивность деформации в точке 2 при $H_0/D_0 = 1$ с увеличением угла α уменьшается, но остаётся большей, чем при $H_0/D_0 = 2$. В точке 4 изменение интенсивности деформаций при увеличении угла α для отношений $H_0/D_0 = 1$ и $H_0/D_0 = 2$ незначительно.

По результатам моделирования проведён анализ энергосиловых параметров деформирования цилиндрической заготовки и построены графики зависимости силы осадки (P) от угла α у основания конуса осадочных плит при различной относительной степени деформации от (рис. 3).

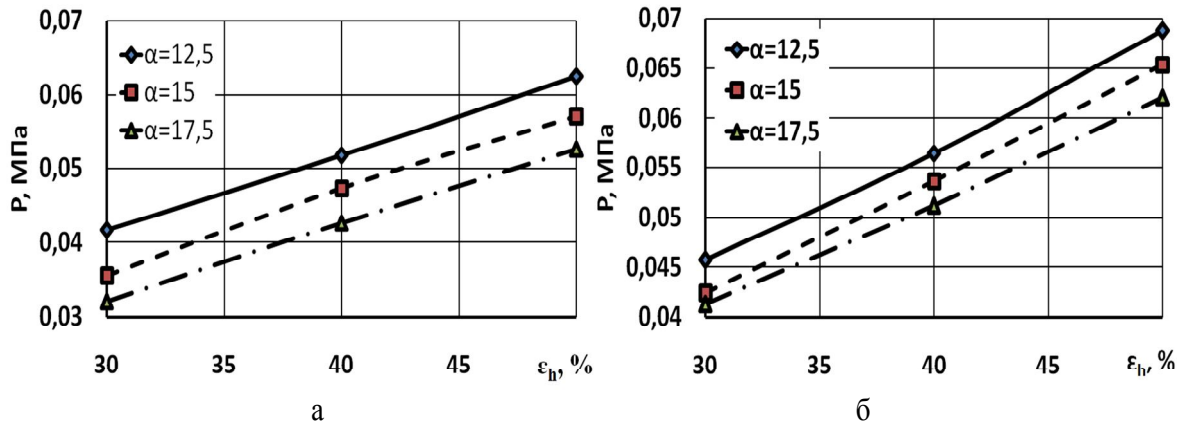


Рис. 3 – Графики зависимости силы осадки (P) при различных углах (α) у основания конуса осадочных плит от относительной степени деформации (ε_h) для заготовок с отношением $H_0/D_0 = 1,0$ (а) и $H_0/D_0 = 2,0$ (б)

Анализируя данные графики (рис. 3) можно отметить обратную зависимость силы осадки (P) от угла α у основания конуса. Увеличение угла α приводит к понижению силы осадки независимо от отношения H_0/D_0 . Очевидно, что максимальная сила деформирования наблюдается для заготовок с $H_0/D_0 = 2$ при осадке до относительной степени деформации $\varepsilon_h = 50\%$ с углом у основания конуса $\alpha = 12,5^\circ$.

Выводы

Таким образом установлено, что с увеличением угла α у основания конуса интенсивность деформации локализуется в осевой зоне заготовки, а с увеличением соотношения H_0/D_0 наблюдается перенос акцента значений параметров НДС от осевой зоны к контактной поверхности. Это приводит к эффекту вогнутости бокового пофиля образующей осажённого полуфабриката. Показано, что увеличение угла конусности сопровождается равномерным распределением средних напряжений по всей периферии заготовки.

Список используемых источников:

1. Гринкевич В.А. Бесштамповое профилирование на прессах с повышением точности формоизменения на окончательных операциях / В.А. Гринкевич, В.В. Кухарь, К.К. Диамантопуло // Кузнечно-штамповочное пр-во. Обработка материалов давлением. – 2010. – №5. – С. 19-23.
2. Тарновский И.Я. Свободная ковка на прессах / И.Я. Тарновский, В.Н. Трубин, М.Г. Златкин. – М.: Машиностроение, 1967. – 328 с.
3. Ковка слитков на прессах / Л.Н. Соколов [и др.]; под ред. Л.Н. Соколова. – К.: Техніка, 1984. – 127 с.
4. Володин И.М. Сравнительный анализ традиционных и новых технологических процессов изготовления поковок с развитым фланцем / И.М. Володин, С.А. Бирюков // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: зб. наук. пр. – Краматорськ, 2006. – С. 284-287.
5. Алієв І.С. Вплив геометричних параметрів заготовки на утворення утяжини при осадці диска на плиті з отвором / І.С. Алієв, О.Є. Марков, С.В. Янчук та ін. // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: зб. наук. пр. – Краматорськ, 2007. – С. 188-191.
6. Алиев И.С. Влияние операции выворота поковки коническими плитами на распределение деформаций / И.С. Алиев, О.Е. Марков, Я.Г. Жбанков, С.А. Близнюк // Обработка матери-

- лов давлением: сб. науч. тр. – Краматорск: ДГМА, 2010. – №3 (24). – С. 64-68.
7. Иванушкин П.Ф. Рациональные методыковки толстых пластин / П.Ф. Иванушкин, Н.Т. Костюченко // Обработка металлов давлением: сб. науч. тр. – М.: Металлургия, 1969. – Вып. XVIII. – С. 178-183.
 8. Пат. 44484 Україна, МПК(2009) В 21 К 1/00, В 21 J 5/00. Спосіб штампування поковок пластин / В.В. Кухар, В.А. Бурко, О.О. Лаврентік, А.В. Дубініна. – № 200902832; заявл. 26.03.2009; опубл. 12.10.2009, Бюл. № 19. – 5 с.:іл.
 9. Марков О.Е. Влияние операций осадки на закрытие осевых дефектов слитков / О.Е. Марков // Кузнечно-штамповочное пр-во. Обработка материалов давлением. – 2012. – №6. – С. 20-25.
 10. Кухарь В. В. Исследование напряженно-деформированного состояния заготовок при профилировании выпуклыми плитами с эксцентриситетом нагрузки / В.В. Кухарь, Р.С. Николенко // Проблемы трибологии (Problems of Tribology). – 2012. – № 3. – С. 132-136.
 11. Громов Н.П. Теория обработки металлов давлением / Н.П. Громов. – М.: Металлургия. 1967. – 340 с.
 12. Грудев А.П. Трение и смазки при обработке металлов давлением: справочник / А.П. Грудев, Ю. В. Зильберг, В.Т. Тилик. – М.: Металлургия, 1982. – 312 с.

Bibliography:

1. V.A. Grinkevich. Dieless profiling by press with rise of exactness of form changing during the finished modes / V.A. Grinkevich, V.V. Kukhar', K.K. Diamantopulo // Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. Obrab. materialov davleniem. – 2010. – № 5. – P. 19-23. (Rus.)
2. I.Ya. Tarnovskij. Free Forging by Presses / I.Ya. Tarnovskij, V.N. Trubin, M.G. Zlatkin. – М.: Mashinostroenie, 1967. – 328 p. (Rus.)
3. Forging of ingots by presses / L.N. Sokolov [i dr.]; pod red. L.N. Sokolova. – К.: Tekhnika, 1984. – 127 p. (Rus.)
4. I.M. Volodin. Comparable analyze of traditional and new technologic processes of producing of forging-parts with developed flange / I.M. Volodin, S.A. Birukov // Sovershenstvovanie protsessov i oborudovaniya obrabotki davleniem v metallurgii i mashinostroenii: sb. nauch. tr. – Kramatorsk, 2006. – P. 284-287. (Rus.)
5. I.S. Aliev. Influence of geometrical parameters of the workpiece on the creating of heavier defect during upsetting of the disk on the plate with opening / I.S. Aliev, O.E. Markov, S.V. Yanchuk i dr. // sovershenstvovanie protsessov i oborudovaniya obrabotki davleniem v metallurgii i mashinostroenii: sb. nauch. tr. – Kramatorsk, 2007. – P. 188-191. (Ukr.)
6. I.S. Aliev. Influence of operation of seamy side forging by conical plates on the distribution of deformation / I.S. Aliev, O.E. Markov, Ya.G. Zhibankov, S.A. Bliznyuk // Obrabotka materialov davleniem: sb.nauch.tr. – Kramatorsk: DGMA, 2010. – №3 (24). – P. 64-68. (Rus.)
7. P.F. Ivanushkin. Rational methods of forging of thick plates / P.F. Ivanushkin, N.T. Kostyuchenko // Obrabotka metallovdavleniem: sb. nauch. tr. – М.: Metallurgiya, 1969. – Vyp. XVIII. – P. 178-183. (Rus.)
8. Pat. 44484 Ukraine, МПК (2009) В 21 К 1/00, В 21 J 5/00. Method of die-forging of plates forging parts / V.V. Kukhar', V.A. Burko, O.O. Lavrentik, A.V. Dubinina. – № 200902832; zayav. 26.03.2009; opubl. 12.10. 2009, Byul. № 19. – 5 p.: il. (Ukr.)
9. O.E. Markov. Influence of forging upsetting mode of the closing of axe defect of ingots // Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. Obrab. materialov davleniem. – 2012. – №6. – P. 20-25. (Rus.)
10. V.V. Kukhar'. Researching of stress-deformed state of billets during profiling by convex plates with excentrical force attaching / V.V. Kukhar', R.S. Nikolenko // Problemi tribologii (Problems of Tribology). – 2012. – № 3. – P. 132-136. (Rus.)
11. N.P. Gromov. Theory of metal forming by pressure / N.P. Gromov. – М.: Metallurgiya. 1967. – 340 p. (Rus.)
12. A.P. Grudev. Friction and lubricants in metal forming by pressure: reference book / A.P. Grudev, Yu.V. Zil'berg, V.T. Tilik. – М.: Metallurgiya, 1982. – 312 p. (Rus.)