

ние давления жидкости на внутреннюю поверхность заготовки приводит к значительному увеличению коэффициента раздачи при формоизменении в холодном состоянии.

Библиографический список

1. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке / В. П. Романовский. 6-е изд. перераб. и дополн. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд., 1979. – 520 с.
2. Аверкиев Ю. А. Холодная штамповка. Формоизменяющие операции / Ю. А. Аверкиев. – Изд-во Ростовского ун-та, 1984. – 288 с.
3. Ковка и штамповка: Справочник: В 4 т. Т. 4. Листовая штамповка / Под ред. А. Д. Матвеева; Ред. совет: Е. И. Семенов (предс.) и др. – М.: Машиностроение, 1985-1987. – 544 с.
4. Аверкиев Ю. А. Холодная штамповка. / Ю. А. Аверкиев, А. Ю. Аверкиев. – М.: Машиностроение, 1989. – 304 с.
5. Калюжный А. В. Интенсификация холодной раздачи трубчатых заготовок коническим пуансоном / Вестник НТУ «ХПИ», Серия «Но-

вые решения в современных технологиях». – Харьков. – 2013. – № 43. – С. 84-90.

6. Калюжный А. В. Интенсификация процесса раздачи осесимметричных заготовок / А. В. Калюжный, В. В. Пиманов, Я. С. Олександренко и др. // Обработка материалов давлением. Сборник научных трудов. – ДГМА. – Краматорск. – 2014. – № 1 (38). – С. 103-109.

7. Калюжный В. Л. Увеличение коэффициента раздачи при холодном формоизменении трубчатых заготовок / В. Л. Калюжный, С. Ф. Сабол, Я. С. Олександренко // Обработка материалов давлением. Сборник научных трудов. – ДГМА. – Краматорск. – 2015. – № 40. – С. 46-51.

8. Калюжный А. В. Использование давления жидкости при холодном формообразовании плоских фланцев на трубчатых заготовках / А. В. Калюжный, Д. С. Мехнин // Научные нотатки. Межвузовский сборник. – Луцк. – 2015. – Вып. 49. – С. 83-89.

Поступила 13.07.2015



УДК 669.18.026

Наука

Чухліб В. Л. /к. т. н./, Клемешов Є. С.
НМетАУ

Дия Х.
Політехніка Ченстоховська

Дослідження напружено-деформованого стану при осадці сталей та сплавів

В статті розглянуто дослідження впливу характеристик параметрів процесу осадки на схему напружено-деформованого стану заготовок зі сталей та сплавів за допомогою математичного моделювання. Іл. 6. Бібліогр.: 10 найм.

Ключові слова: осадка, сплав, розподілення деформацій, показник нерівномірності деформації

The article deals with the investigation of influence of characteristics of upsetting process parameters into the scheme of stress-strain state of samples from steels and alloys with the mathematical modeling.

Keywords: upsetting; alloy; distribution of strain; rate of strain non-uniformity

Постановка проблеми

Як відомо, операція осадки є не тільки кінцевою операцією, наприклад, для отримання плит або дисків, але також використовується як проміжна операція, наприклад, перед прошивкою та розкочуванням на оправці для отримання кі-

лець, бандажів та іншого, або, наприклад, перед операцією протяжки для виготовлення валів різного типу. При цьому, як проміжна операція, осадка використовується для знищення литої структури та поліпшення механічних властивостей металу. Поліпшити механічні власти-

вості металу можна зменшенням нерівномірності розподілення деформацій в об'ємі металу, однак досягти цього важко і це має важливу роль у виготовленні поковок.

Такі параметри осадки як сумарний ступінь деформації, фактор форми заготовки, міждеформаційна пауза, швидкість деформації та температура початку процесу осадки мають вплив на напружено-деформований стан поковки та, зокрема, на нерівномірність розподілення деформацій.

Тому, згідно вищесказаному, підвищення механічних властивостей металу в проміжних операціях, таких як осадка, завжди є актуальною проблемою досліджень процесів обробки металів тиском.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Осадка – це процес обробки металів тиском, який полягає у деформації між двома плоскопаралельними поверхнями циліндричної або призматичної заготовки, при якому зменшується її висота та збільшується поперечний переріз. Найбільш простою та широко застосованою при виготовленні крупних поковок є осадка плоскими плитами. Процес осадки є доволі вивченим процесом, і в деяких літературних джерелах [1, 2] представлено багато даних щодо розрахунку процесу формозміни металу або розрахунку силових параметрів, однак і в наш час проводиться багато досліджень по вдосконаленню технології процесу осадки для підвищення механічних властивостей металу. Також процес осадки використовується для вимірювання механічних властивостей так званими пластометричними методами тестування [3]. Вирішальну роль в форму-

ванні, необхідних споживачу, механічних властивостей надає виникаючий в процесі осадки напружено-деформований стан. В реальних умовах аналіз стану металу під час протікання процесу деформації є складним, а підчас є просто неможливим, однак з розвиненням систем чисельного моделювання та комп'ютерних технологій з'явився інструмент, який дозволяє проникнути всередину процесів під час їх безпосереднього протікання. Перевага комп'ютерного моделювання процесів перед звичайними експериментами полягає у швидкості та надійності отримання даних, як це представлено в [4]. Більшість програм, які застосовуються для вирішення задач, для розрахунку використовують метод кінцевих елементів або метод кінцевих об'ємів [5].

Сам по собі процес осадки має багато недоліків, таких як: велика сила деформації; значна ступінь бочкоутворення, метод вимірювання якої розглянуто в статті [6]; висока нерівномірність розподілення деформацій в об'ємі заготовки з формуванням зон ускладненої деформації. Згідно даним із джерел [7, 8], при осадці заготовок в них виникають різні зони деформації, показані на рис. 1.

Так, к робочому інструменту прилягають зони 1 – області ускладненої деформації, до них прилягають зони локалізованої деформації 2. На бокових поверхнях виникають зони 3, в яких виникають розтягуючі напруги. В центрі заготовки виникає зона 4 з рівномірним розподіленням найбільш високих показників деформації. Моделювання процесу утворення цих зон та порівняння даних моделювання з даними фізичного експерименту приведено в статті [9].

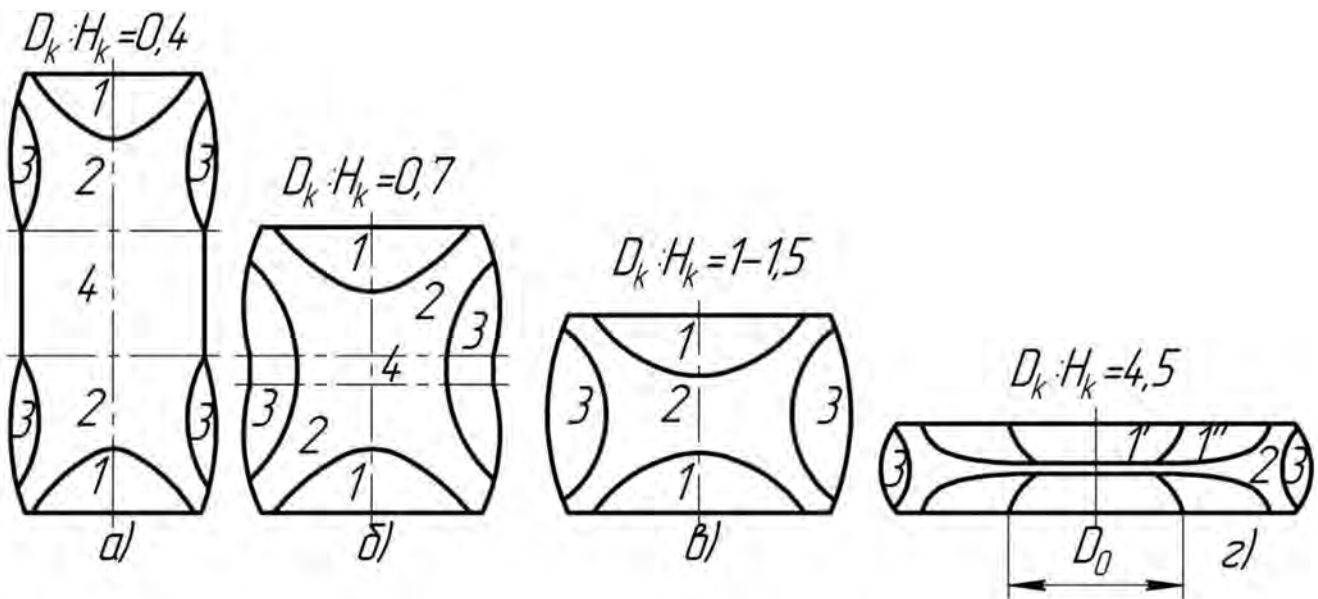


Рис. 1. Форма зон деформації в об'ємі металу при осадці високого зразка

Як відомо, зі збільшенням зон ускладненої деформації зростає і нерівномірність розподілення деформацій в об'ємі металу, тому в роботі [10] розглянуто можливі методи профілювання форми заготовок перед осадкою, такі як попередня деформація торців заготовки випуклими плитами, змащування торців заготовки, застосування спеціальних прокладок, попереднє профілювання заготовок на увігнуту бочку або профілювання торців заготовки на форму конусного або циліндричного уступу. Однак більшість цих методів мають специфічні недоліки або малоефективні.

Згідно усьому вище сказаному, вирішено дослідити вплив таких параметрів осадки як фактор форми та міждеформаційна пауза на рівномірність розподілення деформацій в об'ємі металу за допомогою комп'ютерного моделювання процесу осадки.

Мета роботи

Визначення впливу параметрів процесу осадки на напружено-деформований стан металу.

Матеріали та результати досліджень

Заготовками є циліндри діаметром 800 мм і висотою 200 мм, 400 мм та 800 мм, тобто відповідно до показника фактора форми (h / D), який дорівнює 0,25, 0,5 та 1.

Початкова температура процесу осадки складає 1140 °С. Для зменшення теплових витрат металу, робочий інструмент, тобто осадочні плити, підігріто до температури 300 °С. Сумарний ступінь деформації складає 70 %.

Іншим параметром процесу який варіювався, окрім фактора форми, був час міждеформаційної паузи, який складав 0 та 10 сек. У випадку процесу осадки з міждеформаційною паузою процес розділявся на 2 етапи, тобто осадка до 35 % сумарного ступеню деформації, потім міждеформаційна пауза, яка дорівнює 10 сек, та подальше обтиснення до 70 % сумарного ступеню деформації.

Також в даному дослідженні використано чотири сплави: Сталь 45, X18H10T, 4X5MФ1С та титановий сплав ВТ6.

За допомогою математичного моделювання у програмі Forge 2008®, для кожного сплаву було розраховано шість варіацій змінних (схеми деформації), тобто при значенні фактора форми 0,25, 0,5 та 1 було розраховано по два процеси з міждеформаційною паузою (t_n), яка дорівнює 0 та 10 сек.

Для оцінки рівномірності розподілення деформацій, яка представляє собою найменше відхилення показників еквівалентної деформації між собою в перерізі, був розрахований показник нерівномірності деформації K_n . Показник нерівномірності деформації може прийма-

ти значення не більше одиниці, так як є відношенням показників еквівалентної деформації в контрольних точках перерізу до максимального значення еквівалентної деформації в перерізі.

Щоб розглянути розподілення деформацій в металі було побудовано п'ять горизонтальних рівновіддалених перерізів по висоті заготовки, два з яких розташовано на контактній поверхні заготовки та робочого інструменту, та побудовано один вертикальний переріз. В кожному з п'яти перерізів було знайдено точку з максимальним значенням еквівалентної деформації і відносно неї побудовано 4 лінії, які розташовані під кутом 45° одна до одної та перетинаються в центрі перерізу. Далі на кожен ліній було нанесено 6 контрольних точок симетрично до точки з максимальним значенням та симетрично до центру перерізу. В горизонтальному перерізі проводилися лише дві лінії: вертикальну – співпадаючу з віссю деформації, та горизонтальну – на рівні половини висоти осадженої заготовки.

Розподілення деформацій в перерізах при осадці сталі 45 зображено на рис. 2 та рис. 3.

Більш детальний аналіз нерівномірності розподілення деформацій проведено за допомогою побудови графіків. На рис. 4 та 5 зображено показники нерівномірності деформації в контрольних точках на лініях перерізів при осадці сталі 45 та титанового сплаву ВТ6.

Серед усіх сплавів та варіюванні схем деформації, тобто при всіх комбінаціях h / D та t_n , найменшу нерівномірність деформації, майже у всіх випадках, мала сталь 45, як видно з рис. 3а-д. Сталь 45 майже при всіх схемах деформації мала найвищі значення показника нерівномірності деформації (наближені до одиниці), та також мала менш вигнуті лінії на графіках (рис. 3а-д), наприклад, у порівнянні зі сплавом ВТ6 (рис. 3е-к).

Для двох сталей 4X5MФ1С та X18H10T, які були застосовані при математичному моделюванні процесу осадки, також було побудовано графіки та розглянуто нерівномірність розподілення деформацій. Однак ці сталі мали менші значення показника нерівномірності деформації ніж у сталі 45, окрім випадку осадки при $h / D = 1$ та $t_n = 10$ сек, коли сталь 4X5MФ1С мала вищі показники K_n ніж усі інші сплави. У всіх комбінаціях h / D та t_n титановий сплав ВТ6 мав найменші значення K_n , що свідчить про велику нерівномірність розподілення деформацій як у перерізах, так і у всьому об'ємі металу.

Також слід звернути увагу на вплив h / D та t_n на нерівномірність розподілення деформацій в об'ємі металу. Фактор форми має вирішальний вплив на нерівномірність розподілу деформацій в металі, так як зі збільшенням відношен-

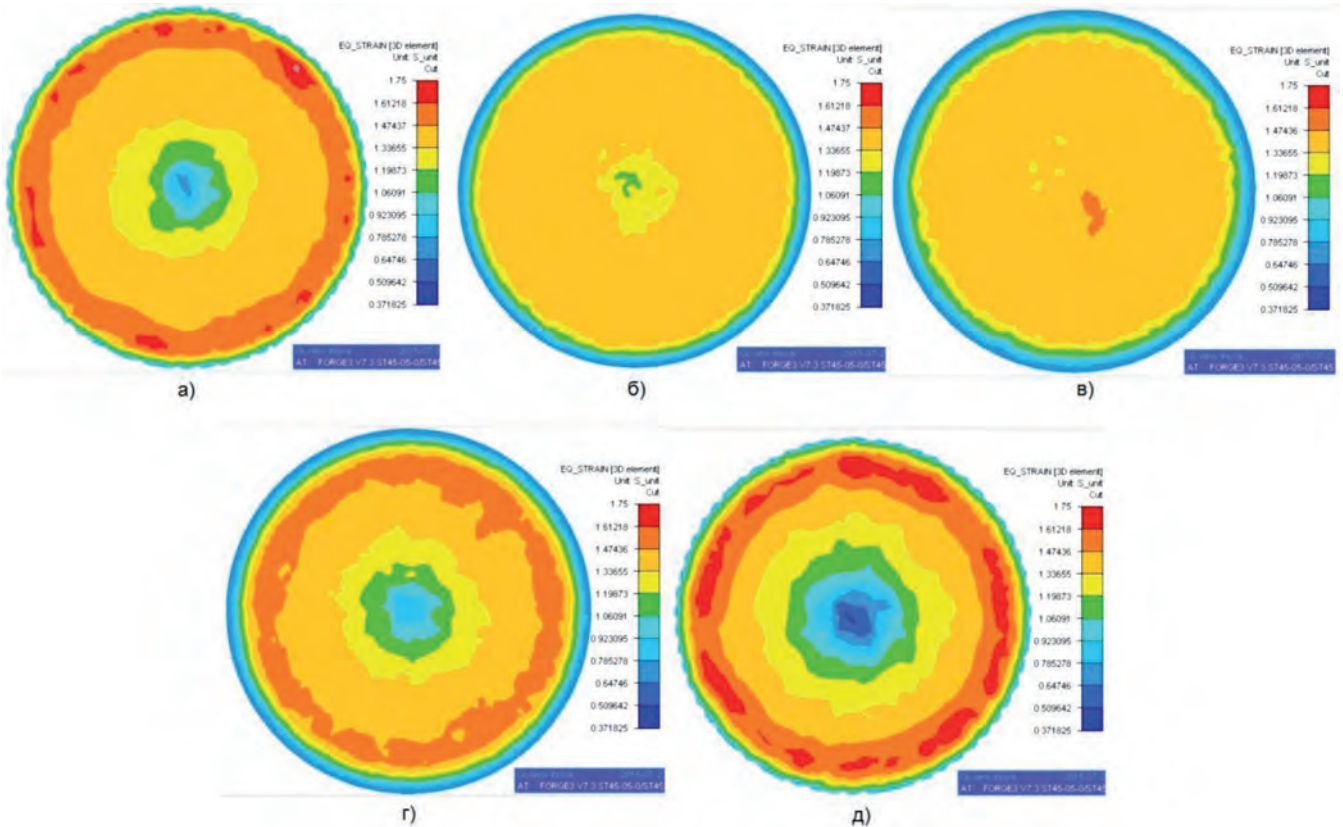


Рис. 2. Розподілення деформацій в горизонтальних перерізах заготовки при осадці сталі 45; $h/D = 0,5$; $t_{\text{н}} = 10$ сек

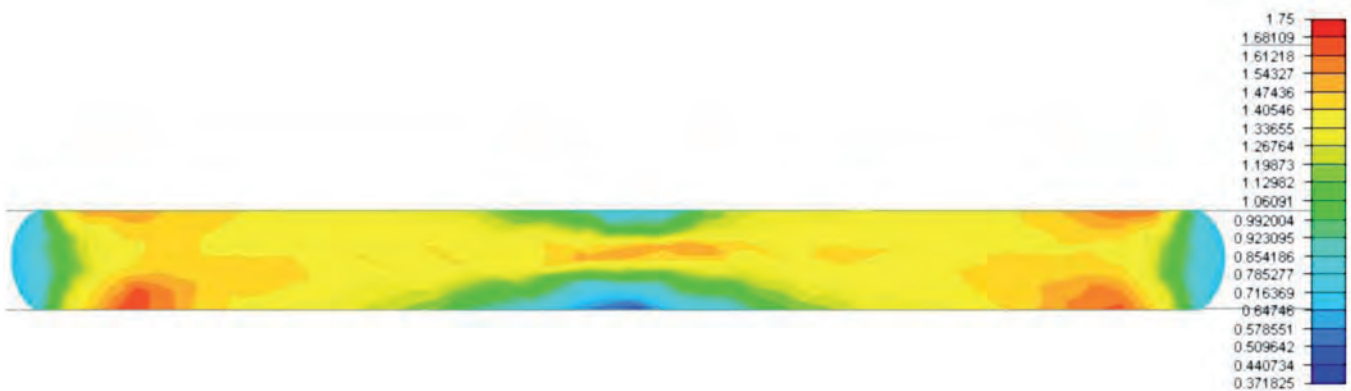


Рис. 3. Розподілення деформацій в вертикальному перерізі заготовки при осадці сталі 45; $h/D = 0,5$; $t_{\text{н}} = 10$ сек

ня h/D зростає і протяжність зон прилипання, що збільшує об'ємну нерівномірність деформації (рис. 5а, в).

Із появою паузи між обтисненнями, у верхній частині металу вирівнюється температура, що пов'язано з перериванням контакту металу з деформуючим інструментом, та розподіл деформацій стає менш нерівномірним (рис. 6). На рис. 6 зображено розподілення деформацій у вертикальному перерізі при осадці титанового сплаву VT6 при $h/D = 0,5, 1$ та $t_{\text{н}} = 0$ та 10 сек.

Висновки

1. Осадка є важливою як кінцевою, так і проміжною операцією, і має великий вплив на меха-

нічні властивості металу перед механічною обробкою або подальшою обробкою тиском, тому в даній роботі розглянуто вплив фактора форми та міждеформаційної паузи на нерівномірність розподілення деформацій в металі.

2. Великий вплив на нерівномірність деформації має фактор форми. Чим менший фактор форми, тим менше нерівномірність розподілення деформацій. Оптимальним фактором форми для усіх досліджених в даній роботі сплавів є відношення $h/D = 0,25$, так як при осадці з цим відношенням забезпечується мінімальна нерівномірність розподілу деформацій.

3. Поява міждеформаційної паузи при осадці, та її збільшення, призводить до великої не-

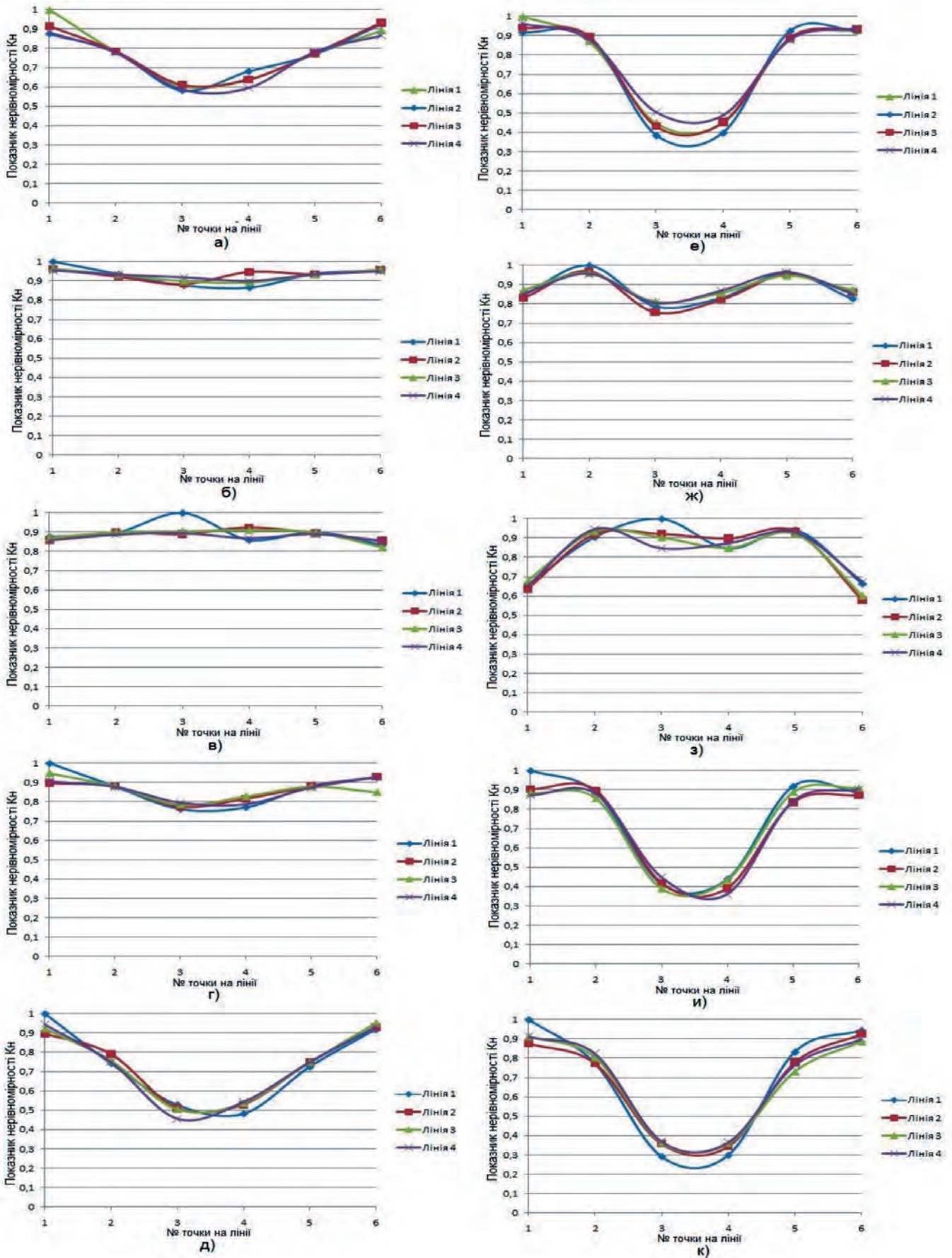


Рис. 4. Розподілення показника нерівномірності деформації в перерізах по висоті при осадці:
 а-д – сталі 45; е-к – титанового сплаву ВТ6; $h / D = 0,5$; $t_{II} = 10$ сек

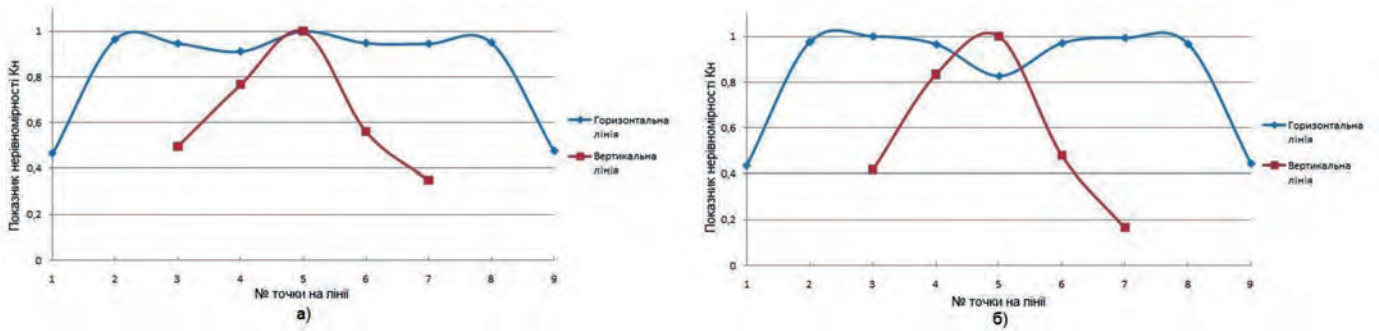


Рис. 5. Розподілення показника нерівномірності деформації в вертикальному перерізі при осадці: а – сталі 45; б – титанового сплаву ВТ6; $h / D = 0,5$; $t_H = 10$ сек

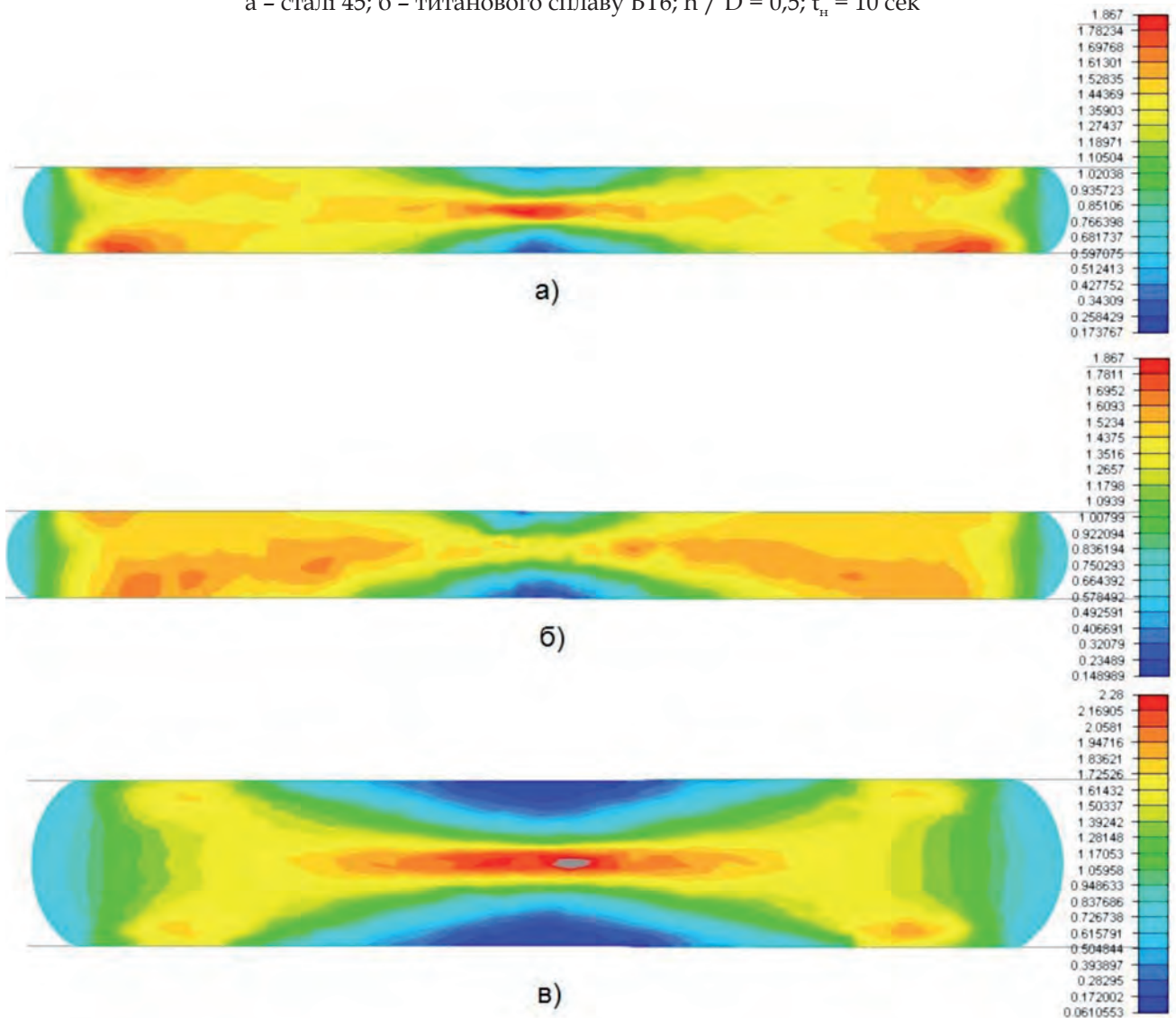


Рис. 6. Розподілення деформацій при осадці титанового сплаву ВТ6: а – $h / D = 0,5$ та $t_H = 0$ сек; б – $h / D = 0,5$ та $t_H = 10$ сек; в – $h / D = 1$ та $t_H = 0$ сек

рівномірності деформації в об'ємі металу, однак пауза також дозволяє отримати меншу нерівномірність розподілу деформацій у верхній частині осадженої заготовки.

Бібліографічний список

1. Охрименко Я. М. Технология кузнечно-штамповочного производства. Учебник для ву-

зов. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1976. – 206-219 с.

2. Ковка и штамповка: Справочник. В 4-х т. / [Ред. совет: Е. И. Семенов (пред.) и др.]. – М.: Машиностроение, 1985 – Т. 1. Материалы и нагрев. Оборудование. Ковка / Под ред. Е. И. Семенова, 1985. – 568 с., ил.

ПРОКАТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

3. Plastometric testing of 20MnB4 and 30MnB4 microadditional cold upsetting steels and C45 and C70 high-carbon steels / S. Sawicki, H. Dyja, A. Kawalek // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 10: в 2 ч. Ч. 2. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2014. – 205 с.

4. Выбор оптимального способа изготовления поковок с использованием компьютерных программ / А. Ф. Фомичев, С. Ю. Панин // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. – 2014. – № 8. – С. 31-34.

5. Моделирование методом конечных элементов напряженно деформированного состояния заготовки при протяжке в трапецевидных бойках / Н. Т. Смайлова, С. А. Машеков, А. Е. Нуртузаев // Тяжелое машиностроение. – 2013. – № 10. – С. 42-46.

6. Михаличев В. М. Усовершенствование экспериментально-аналитической методики исследования напряженно-деформированного состояния боковой поверхности цилиндрических образцов при осесимметричной осадке /

В. М. Михаличев, Ю. В. Добранюк, Е. А. Трач // Наукові праці ВНТУ. – 2011. – № 4. – С. 1-8.

7. Охрименко Я. М. Технология кузнечно-штамповочного производства. – М.: Машиностроение, 1966. – 601 с.

8. Теория процессовковки. Учеб. пособие для вузов / Я. М. Охрименко, В. А. Тюрин. – М.: Высшая школа, 1977. – 295 с.

9. Исследование состояния металла при осесимметричной осадке средствами компьютерных технологий / Ю. М. Антощенко, И. М. Таупек [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://econf.rae.ru/article/8617>.

10. Определение рациональных параметров профилированных заготовок, подвергаемых осадке плоскими плитами / Я. Г. Жбанков, О. Е. Марков, Р. И. Сивак // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. – 2013. – № 8. – С. 8-15.

Поступила 02.09.2015

Metallurgical and Mining Industry

www.metaljournal.com.ua