

УДК 621.73: 512.55(076)

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-РОЗРАХУНКОВИЙ АНАЛІЗ РОЗПОДІЛУ ВИСОТНИХ ДЕФОРМАЦІЙ ПРИ ОСАДЖУВАННІ ЗАГОТОВОК ВИПУКЛИМИ БОЙКАМИ РІЗНОГО РАДІУСУ

*Суглобов Роман Володимирович ст. викладач*  
*Кухар Володимир Валентинович д.т.н., доцент*  
*Тузенко Ольга Олександрівна к.т.н., доцент*  
*Бурко Вадим Анатолійович к.т.н., доцент*  
*ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»*

*Suglobov R.*

*Kukhar V.*

*Tuzenko O.*

*Burko V.*

*«Azov State Technical University»*

**Анотація:** із застосуванням експериментального методу шаруватих моделей проведено дослідження розподілу висотних деформацій по об'єму заготовок при осаджуванні випуклими бойками з варіюванням радіусу випуклості. На основі аналізу експериментальних даних розроблено математичну модель і програмне забезпечення, яке дозволяє прогнозувати розподіл висотних деформацій у будь-якій точці циліндричного зразка, що деформується випуклими та плоскими бойками. Програма дозволяє вибирати режим побудови моделі на основі декількох видів функціонального зв'язку геометричних факторів впливу на характер розподілу деформацій та виконувати прогноз по засобах кожної математичної моделі з побудовою графіків безперервних функцій. В результаті обчислювальних експериментів виявлено, що найбільш точні результати дає модель, заснована на ступеневої функції. Похибка розрахунків, виконаних для контрольних точок, у порівнянні з експериментальними даними не перевищила 9 %.

**Ключові слова:** профілювання заготовок, осаджування, випуклі та плоскі бойки, шаруваті зразки, висотна деформація, місцева деформація, розподіл висотних деформацій, функція зв'язку.

### **Постановка проблеми**

Структура більшості технологічних процесів кування і штампування містить операції попереднього підготовчого осаджування, що використовують для покращення структури металу та наближення форми заготовки до конфігурації поковки. Осаджування плоскими бойками вважають найбільш вивченим. Короткі теоретичні відомості про осаджування випуклими й увігнутими бойками містять класичні праці [1, 2], проте їх важко використовувати для точного прогнозування формозміни заготовок в технологічних розрахунках.

Відомо, що осаджування при куванні плоскими бойками не забезпечує проробку осьової зони заготовок біля приконтактних поверхонь [2–4], тому найчастішим браком кованих поковок є неповна заварка дефектів усадочного походження внаслідок недостатньої місцевої висотної деформації в зоні дефекту. Застосування випуклих бойків при осаджуванні супроводжується кращою проробкою металу в осьових приконтактних шарах з більш повною заваркою і закриттям усадочних дефектів ливарного походження [1, 3]. Моделей, що прогнозують проробку матеріалу по об'єму заготовки (злитка) в залежності від

технологічних та геометричних чинників процесу осаджування випуклими плитами до теперішнього часу не запропоновано.

### *Аналіз останніх досліджень і публікацій*

Широке поширення набули комбіновані процеси обробки металів тиском, коли злитки проковують на сляби, а потім отримують плити потрібної товщини [4–6]. Особливо великі пластини виготовляють куванням. Для отримання відносно широких плит або необхідного укову застосовують операцію осаджування. Внаслідок того, що процесу протяжки притаманна поздовжня і поперечна нерівномірність деформації, яка приводить до найбільшого подовження середніх шарів металу і супроводжується втратою матеріалу у вигляді кінцевих частин поковки, що видаляють, підготовка заготовок осаджуванням для зменшення нерівномірності деформації поковки стає актуальною та економічно виправданою операцією. При комбінованих методах виготовлення поволок відходи видаляються двічі або більшу кількість разів. У таких випадках осаджування випуклими подовженими (круглими) бойками та наступна протяжка спрофільованої заготовки є одним з способів зменшення відходів [3, 5].

Найбільш вивченим процесом деформування випуклим інструментом є протяжка, що представляє собою послідовне осаджування ділянок подовженої заготовки, причому випуклі бойки найбільш зручні при протяжці заготовки «на квадрат». У джерелі [7] виділені параметри, що впливають на співвідношення між поперечною і поздовжньою деформаціями. Це чинники форми заготовки (для циліндричних заготовок, відповідно, висота  $H_0$  та діаметр  $D_0$ ), ступінь обтиснення  $\varepsilon$ , радіус  $R$  випуклості бойків, температура деформації ( $t$ ), хімічний склад сталей тощо.

### *Невирішені частини проблеми*

При осаджуванні випуклим інструментом спостерігається висотна нерівномірність обтиснення вздовж контактних поверхонь, що призводить до роздачі заготовок (рис. 1). При цьому відбувається викривлення круглого поперечного перерізу як у контактних поверхонь, так і по решті перерізу. Таке осаджування забезпечує отримання відносно більш широких поволок у порівнянні з осаджуванням плоскими бойками і підвищує продуктивність подальшої протяжки. Використання операції в якості підготовчої при штампуванні сприяє кращому заповненню кутів рівчака при штампуванні поволок, прямокутних у плані.

Отже, встановлення функцій розподілу деформацій по перерізу заготовок при осаджуванні випуклими бойками в залежності від радіуса випуклості  $R$ , ступеня деформації  $\varepsilon$  і розмірів заготовки ( $H_0$  та  $D_0$ ) дозволить вирішувати питання вибору структури раціонального технологічного процесу і габаритів вихідних заготовок при профілюванні під штампування або при куванні поволок типу пластин. Досліди з осаджування свинцевих циліндричних зразків випуклими бойками показують, що пластична деформація відбувається нерівномірно по всіх трьох напрямках. Крім того, представляє інтерес величина проробки металу (місцева висотна ступінь деформації) у будь-якій довільній точці об'єму деформованої заготовки, визначена через радіальні координати:  $h_y$ ,  $r_x$  і  $\theta_r$  – поточні координати по висоті, радіусу і куту відповідно (див. рис. 1).

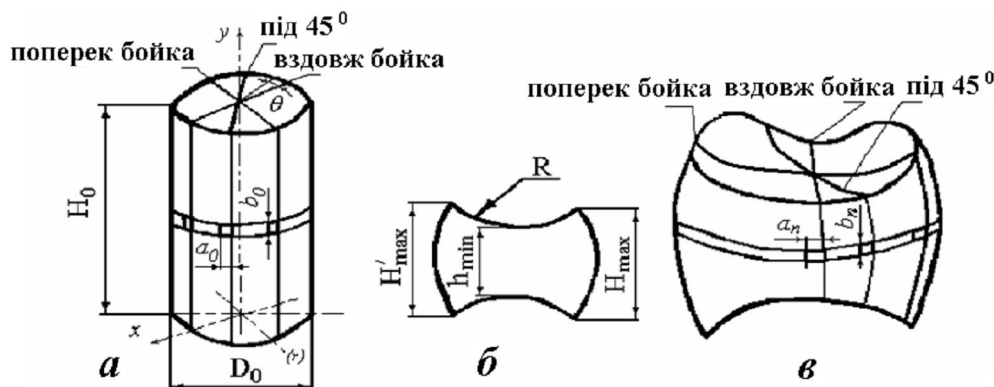


Рис. 1. Схема осаджування циліндричної заготовки випуклими бойками

Вид залежностей для різних параметрів формозміни не визначений однозначно і представляє різні математичні функції, які доцільно приймати, виходячи з характеру графіків, отриманих експериментально.

#### Мета досліджень

Метою роботи є експериментальне дослідження та розробка математичної моделі на основі декількох функцій для визначення розподілу висотних деформацій (проробки матеріалу) в будь-якій точці об'єму заготовки при осаджуванні бойками із різною величиною радіусу випуклості робочої поверхні.

#### Основні результати дослідження

Попередньо проводили осаджування свинцевих заготовок, що моделюють ковальські злитки (заготовки). Для універсалізації результатів досліджень в якості вихідних параметрів брали безрозмірні відносні габарити. Осаджували заготовки діаметром  $D_0 = 60$  мм та висотою  $H_0 = 60$  мм і 120 мм ( $H_0/D_0 = 1,0$  і  $2,0$ ), що представляють собою шаруваті моделі, які складаються з пластин товщиною  $5 \pm 0,05$  мм з нанесеними на них концентричними колами діаметром 10, 20, 30, 40 і 50 мм. Деформування проводили випуклими бойками з відносним показником  $R/D_0 = 0,83; 1,66; 1,87; \infty$  (плоскі бойки) до ступенів деформації  $\varepsilon = 10, 20, 30, 40, 50$  %.

Після деформування проводили вимірювання деформації пластин по висоті в різних напрямках від осі бойка (див. рис. 1), що відповідає кутовій координаті  $\theta_r$ . За результатами замірів будували графіки, типовий вигляд якого наведений на рис. 2, для подальшого автоматизованого підбору функціональних залежностей.

Для підбору математичної моделі, що найбільш адекватно описує закономірність розподілу висотних деформацій по об'єму заготовки від геометричних та технологічних чинників, використовували такі апроксимуючі функції:

- лінійну (поліном першого порядку):

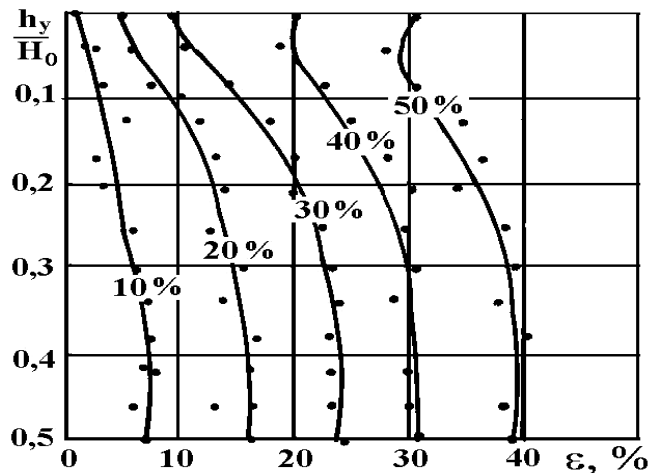
$$y(x) = a_0 + a_1x + \dots + a_jx_j;$$

- поліном 5-го порядку:

$$y(x) = a_0 + a_1x + \dots + a_5x_5^5;$$

- ступеневу залежність:

$$y(x) = a_0 x_1^{a_1} x_2^{a_2} \dots x_n^{a_n}.$$



**Рис. 2. Приклад експериментальних кривих, що відповідають розподілу локальних висотних деформацій  $\epsilon_{\text{лок}}$  по твірній зразка ( $r_x/R_0$ ) під кутом  $\theta_r = 45^\circ$  до осі бойка при  $R/D_0 = 0,83$**

Перед безпосередньою побудовою математичної моделі у програмному забезпеченні, що розроблене, вихідні дані необхідно: а) для лінійної моделі залишити без змін; б) для поліному  $n$ -го порядку всі фактори перед обробкою звести в ступінь, відповідну їх порядковому номеру; в) для ступеневої залежності виконати деякі перетворення, першим з яких є логарифмування:

$$\lg y = \lg a_0 + a_1 \lg x_1 + a_2 \lg x_2 + \dots + a_n \lg x_n \quad (1)$$

Позначимо  $\lg y = Y$ ,  $\lg a_0 = A_0$ ,  $\lg x_1 = X_1, \dots, \lg x_n = X_n$ , тоді отримаємо:

$$Y = A_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots + a_n X_n \quad (2)$$

Після визначення всіх коефіцієнтів слід виконати зворотні перетворення  $y = e^Y$ ;  $a_0 = e^{A_0}$  тощо. Всі розрахунки виконували в матричній формі, використовували метод найменших квадратів [8].

В основі логіки методу найменших квадратів лежить прагнення підібрати такі оцінки  $\theta_0, \theta_1, \dots, \theta_p$  для невідомих значень параметрів функції регресії, відповідно  $\theta_0, \theta_1, \dots, \theta_p$ , при яких згладжені (регресійні) значення  $\theta_0 + \theta_1 x_1^{(1)} + \dots + \theta_p x_i^{(p)}$  результуючого показника якомога менше відрізнялися б від відповідних спостережених значень  $y_i$ . Сформулюємо математично цей принцип, вводячи в якості міри розбіжності згладженого й спостережуваного (в  $i$ -му спостереженні) значень результуючого показника різницю, що називають «нев'язкою» [8]:

$$\hat{\epsilon}_i = y_i - \hat{\theta}_0 - \hat{\theta}_1 x_i^{(1)} - \dots - \hat{\theta}_p x_i^{(p)} \quad (3)$$

Вочевидь, значення  $\theta_0, \theta_1, \dots, \theta_p$  слід підбирати таким чином, щоб мінімізувати деяку інтегральну (за всіма наявними спостереженнями) характеристику відхилів. За таку

інтегральну характеристику вирівнювання значень  $y_i$  за допомогою лінійної функції від  $x_i^{(1)}, x_i^{(2)}, \dots, x_i^{(p)}$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) приймають величину:

$$Q(\hat{\theta}_0, \hat{\theta}_1, \dots, \hat{\theta}_p) = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{\theta}_0 - \hat{\theta}_1 x_i^{(1)} - \dots - \hat{\theta}_p x_i^{(p)})^2 = \sum_{i=1}^n \hat{\varepsilon}_i^2 \quad (4)$$

Величина  $Q$  визначатиметься при заданій системі спостережень конкретним вибором значень оцінок параметрів  $\theta_0, \theta_1, \dots, \theta_p$ . Оцінювання за методом найменших квадратів (МНК)  $\theta_{0.МНК}, \theta_{1.МНК}, \dots, \theta_{p.МНК}$  підбирають таким чином, щоб мінімізувати величину  $Q$ , визначену співвідношенням (4), тобто

$$Q(\theta_{0.МНК}, \theta_{1.МНК}, \dots, \theta_{p.МНК}) = \min Q(\hat{\theta}_0, \hat{\theta}_1, \dots, \hat{\theta}_p) \quad (5)$$

У цьому випадку більш зручно виявляється матрична форма запису всіх необхідних умов і співвідношень, для якої вектор-стовпець відхилів:

$$\hat{\varepsilon} = Y - X \hat{\Theta} = (y_1 - \hat{\theta}_0 - \hat{\theta}_1 x_1^{(1)} - \dots - \hat{\theta}_p x_1^{(p)}, \dots, y_n - \hat{\theta}_0 - \hat{\theta}_1 x_n^{(1)} - \dots - \hat{\theta}_p x_n^{(p)}) \quad (6)$$

оптимізується (за  $\theta$ ). Тоді критерій методу найменших квадратів:

$$Q(\hat{\Theta}) = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{\theta}_0 - \hat{\theta}_1 x_i^{(1)} - \dots - \hat{\theta}_p x_i^{(p)})^2 = (Y - X \hat{\Theta})^T (Y - X \hat{\Theta}) \quad (7)$$

Перед тим, як виписати необхідні умови екстремуму функції  $Q(\theta)$  за  $\theta$ , перетворимо праву частину виразу (7):

$$Q(\hat{\Theta}) = Y^T Y - 2 \hat{\Theta}^T X^T Y + \hat{\Theta}^T X^T X \hat{\Theta} \quad (8)$$

У цьому перетворенні використовували правило транспонування добутку матриць, з урахуванням того, що  $\hat{\Theta}^T X^T Y$  – число, що збігається зі своїм транспонованим виразом  $Y^T X \hat{\Theta}$ .

Необхідні умови, яким задовольняють рішення оптимізаційної задачі (5) та отримують диференціюванням правої частини (7) по  $\theta_0, \theta_1, \dots, \theta_p$ . Система рівнянь щодо  $\theta_0, \theta_1, \dots, \theta_p$  в матричному позначенні похідної:

$$\frac{\partial Q(\hat{\Theta})}{\partial \hat{\Theta}} = \left( \frac{\partial Q(\hat{\Theta})}{\partial \hat{\theta}_0}, \frac{\partial Q(\hat{\Theta})}{\partial \hat{\theta}_1}, \dots, \frac{\partial Q(\hat{\Theta})}{\partial \hat{\theta}_p} \right)^T \quad \text{або} \quad \frac{\partial Q(\hat{\Theta})}{\partial \hat{\Theta}} = -2 X^T Y + 2 X^T X \hat{\Theta} = 0_{p+1}. \quad (9)$$

У формулі (9)  $0_{p+1}$  – це вектор-стовпець розмірності  $p+1$ , який складається з одних нулів.

Вирішуючи систему рівнянь (9) відносно  $\theta$ , отримуємо:

$$X^T X \hat{\Theta} = X^T Y$$

отже:

$$\hat{\Theta}_{МНК} = (X^T X)^{-1} X^T Y$$

Після побудови моделі проводили перевірку її похибки:

- для лінійної моделі за наступною формулою:

$$\Delta = \sum_i^n (a_0 + a_1 x_{1,i} + \dots + a_j x_{j,i} - y_i)^2 \quad (10)$$

- для полінома n-го порядку за наступною формулою:

$$\Delta = \sum_i^n (a_0 + a_1 x_{1,i}^1 + \dots + a_j x_{j,i}^j - y_i)^2 \quad (11)$$

- для ступеневої моделі за наступною формулою:

$$\Delta = \sum_i^n (a_0 x_{1,i}^{a_1} \dots x_{j,i}^{a_j} - y_i)^2 \quad (12)$$

Якщо середня квадратична похибка  $\sigma = \sqrt{\Delta/n}$  мала у порівнянні з  $y_{max}$ , то для більшості технічних задач така апроксимація припустима (адекватна).

На підставі викладеної методики (1) – (12) розроблено програмний продукт в середовищі Delphi, який, після введення даних з визначенням кількості факторів і числа експериментів, дозволяє проводити їх аналіз й обирати режим побудови математичної моделі й виконувати прогноз по засобах кожної моделі (рис. 3) з побудовою графіка, що відображає безперервну функцію (рис. 4). Розроблена математична модель і програмне забезпечення дозволяють прогнозувати розподіл висотних деформацій у будь-якій координаті циліндричного зразка, що деформується випуклими бойками. В результаті обчислювальних експериментів виявлено, що найбільш точні результати дає модель, заснована на ступеневої функції.

The screenshot shows the 'Обработка металла давлением' software interface. It features a menu bar (Файл, Вид, Сервис, Справка), a toolbar, and a main window divided into several sections. The 'Данные области исследования' section contains a table with columns: №, Названия, Еобщ, R/D, r/R, Нрп, Q. The 'Результат анализа данных по средствам модели' section contains a larger table with columns: №, Названия, Елок, Еобщ, R/D, r/R, Нрп, Q. The right sidebar contains model parameters and options.

№	Названия	Еобщ	R/D	r/R	Нрп	Q
10		0,85	0,5	1	1	

№	Названия	Елок	Еобщ	R/D	r/R	Нрп	Q
1		-9,66506288720791	10	1,66	0,165	0,01	0,01
2		-8,62242887689297	10	1,66	0,33	0,01	0,01
3		-5,66932104303066	10	1,66	0,5	0,01	0,01
4		-0,28135727121059	10	1,66	0,66	0,01	0,01
5		9,14502717779453	10	1,66	0,83	0,01	0,01
6		23,343505876525	10	1,66	1	0,01	0,01
7		-3,33172915651028	20	1,66	0,165	0,01	0,01
8		-2,28909538461392	20	1,66	0,33	0,01	0,01
9		0,664012443248385	20	1,66	0,5	0,01	0,01
10		6,05197669790562	20	1,66	0,66	0,01	0,01
11		15,4783611469107	20	1,66	0,83	0,01	0,01
12		29,6768398456412	20	1,66	1	0,01	0,01
13		3,00160362051304	30	1,66	0,165	0,01	0,01
14		4,04423763082798	30	1,66	0,33	0,01	0,01
15		6,99734546469028	30	1,66	0,5	0,01	0,01
16		12,3863092365104	30	1,66	0,66	0,01	0,01
17		21,8116932086783	30	1,66	0,83	0,01	0,01
18		36,010170000602	30	1,66	1	0,01	0,01

Рис. 3. Табличне відображення результатів у закладці програми «Прогноз по засобах моделі»

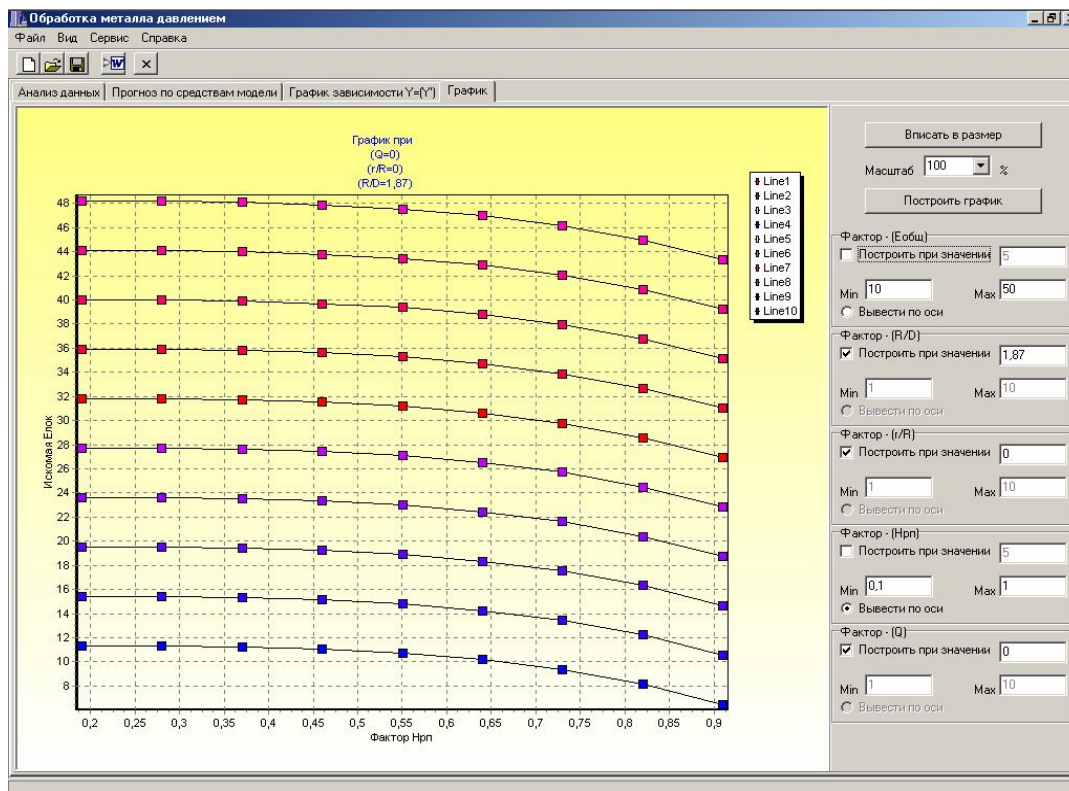


Рис. 4. Приклад побудови графіка по засобах моделі

Похибка розрахунків, виконаних для контрольних точок зразків  $H_0/D_0 = 2,0$  при  $R/D_0 = 1,87$  і  $1,66$  (по середині висоти зразків  $h_y/H_0 = 0,5$ , кут  $\theta_r = 45^\circ$  до осі осаджувальних бойків), і на осі зразків, і на їх поверхні, що утворює, в порівнянні з експериментальними даними, склала не більше 9 %.

### Висновки

Аналізуючи вищевикладене, слід зробити наступні висновки:

1. Для опису кінцевої формозміни заготовок, що осаджуються випуклими і плоскими бойками, найбільш відповідною є ступенева модель функціональної залежності проробки металу по об'єму від режимів технологічного процесу, форми інструменту і заготовки. Модель дозволяє визначати локальну висотну ступінь деформації в будь-якій координаті заготовки у циліндричних координатах.

2. Розроблене програмне забезпечення для автоматизації розрахунку проробки металу в залежності від технологічних та геометричних чинників процесу осаджування заготовок випуклими бойками. Програмні засоби істотно спрощують розрахунки і дозволяє прогнозувати проробку металу в будь-якої координаті заготовки.

3. Максимальне відхилення розрахункових (за розробленою моделлю) і експериментальних даних склало 9 %, що є цілком задовільним. У перспективі точність моделі може бути підвищена за рахунок підбору спеціальних функцій (ступеневих з дробом, тригонометричних тощо) і за рахунок збільшення обсягу вибірки експериментальних даних.

### Список літератури

1. Охрименко Я. М. Теория процессов ковки / Я. М. Охрименко, В. А. Тюрин. – М.: Высш. шк., 1977. – 295 с.

2. *Сторожев М. В. Теория обработки металлов давлением / М. В. Сторожев, Е. А. Попов. – М.: Машиностроение. – 1977. – 424 с.*
3. *Ковка слитков на прессах / Л. Н. Соколов, Н. М. Золотухин, В. Н. Ефимов, Е. А. Мацегора, О. М. Шинкаренко // Под ред. Л. Н. Соколова. – К.: Техника, 1984. – 127 с.*
4. *Марков О. Е. Распределение деформаций при ковке плит / О. Е. Марков, Л. Н. Соколов // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні. – Краматорськ-Слов'янськ. – 2000. – С. 276-278.*
5. *Сравнительный анализ вариантов изготовления поковок типа пластин / Л. Н. Соколов, О. Е. Марков, М. В. Протеняк, В. М. Олешко // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні. – Краматорськ-Хмельницький. – 2002. – С. 75-80.*
6. *Влияние формы бойков на устранение осевых дефектов слитков при ковке крупных поковок / Л. Н. Соколов, О. Е. Марков, В. М. Олешко и др. // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні. – Краматорськ. – 2004. – С. 290-295.*
7. *Тарновский И. Я. Свободная ковка на прессах / И. Я. Тарновский, В. Н. Трубин, М. Г. Златкин. – М.: Машиностроение, 1967. – 328 с.*
8. *Новицкий П. В. Оценка погрешностей результатов измерений / П. В. Новицкий, И. А. Зограф. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 248 с.*

### References

1. *Okhrimenko Ya. M., Tyurin V. A. Teoriia protsessov kovki, M., Vyssh. shk., 1977, 295 p.*
2. *Storozhev M. V., Popov E. A. Teoriia obrabotki metallov davleniim, M., Mashinostroeniie, 1977, 424 p.*
3. *Sokolov L. N., Zolotukhin N. M., Efimov V. N., Matsegora E. A., Shinkarenko O. M., Pod red. L. N. Sokolova, K., Tekhnika, 1984. – 127 s.*
4. *Markov O. E., Sokolov L. N. Raspredeleniie deformatsii pri kovke plit, Udoskonalennia protsesiv i obladnannia obrobky tyskom v metalurgii i ma-shynobuduvanni, Kramatorsk-Sloviansk, 2000, P. 276-278.*
5. *Sokolov L. N., Markov O. E., Protenyak M. V., Oleshko V.M. Sravnitelnyi analiz variantov izgotovleniia pokovok tipa plastin, Udoskonalennia protsesiv i obladnannia obrobky tyskom v metalurgii i mashynobuduvanni, Kramatorsk-Khmelnytskii, 2002, P. 75-80.*
6. *Sokolov L. N., Markov O. E., Oleshko V. M. i dr. Vliianiie formy boikov na ustraneniie osevyikh defektov slitkov pri kovke krupnyikh pokovok, Udoskonalennia protsesiv i obladnannia obrobky tyskom v metalurgii i mashynobuduvanni, Kramatorsk, 2004, P. 290-295.*
7. *Tarnovskii I. Ya., Trubin V. N., Zlatkin M. G. Svobodnaia kovka na presse, M., Mashynostroenie, 1967, 328 p.*
8. *Novitskii P. V., Zograf I. A. Otsenka pogreshnostei rezultatov izmerenii, L., Energoatomizdat, 1985, 248 p.*

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-РАСЧЕТНЫЙ АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫСОТНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ ОСАДКЕ ЗАГОТОВОК ВЫПУКЛЫМИ БОЙКАМИ РАЗЛИЧНОГО РАДИУСА

**Аннотация:** с использованием экспериментального метода слоистых моделей проведено исследование распределения высотных деформаций по объему заготовок при осадке выпуклыми бойками с варьированием радиуса выпуклости. На основе анализа экспериментальных данных разработана математическая модель и программное обеспечение, позволяющее прогнозировать распределение высотных деформаций в любой точке цилиндрического образца, деформируемого выпуклыми и плоскими бойками. Программа позволяет выбирать режим построения модели на основе нескольких видов функциональной связи влияющих геометрических факторов на характер распределения деформаций и выполнять прогноз по средствам каждой математической модели с построением графиков непрерывных функций. В результате вычислительных экспериментов выявлено, что наиболее точные результаты дает модель, основанная на степенной функции. Погрешность расчетов, выполненных для контрольных точек, по сравнению с экспериментальными данными не превысила 9 %.

**Ключевые слова:** профилирование заготовок, осадка, выпуклые и плоские бойки, слоистые образцы, высотная деформация, местная деформация, распределение деформаций, функция связи.



## EXPERIMENTAL-ACCOUNTING ANALYSIS OF DISTRIBUTION OF ELEVATED DEFORMATION AT UPSETTING OF BILLETS BY CONVEX DIES WITH DIFFERENT RADIUS

**Summary:** necessary of receiving of knowledge about strain working of metal of billet at upsetting by dies with different radius of convex surface is grounded for choice of rational mode of technique design for open forging and volumetric die-forging. Researching of distribution of elevated deformation by volume of billets was conduct at upsetting by convex dies with variation of radius rate of convex working surface and using of experimental method of layered blank examples. The lead-antimony alloy with properties simulation of alloyed carbon steel during hot deformation was used like material for physic model of heated billets. The support of post-fixing facility and clock type indicator were used for measuring of layers thickness of blank examples and for calculating of local degree of deformations. The mathematic model and program tool for prognoses of distribution of elevated deformation at any coordinate of cylindrical billet that deformed by convex and flat dies were carry out on the base of analyzing of received experimental results. The program allowing to choice a regimes of building of model on the base of few types of functional connection between influenced geometric parameters and lows of distribution of local deformation in deformed billet for executing of prognoses with visualization of results by resource of each mathematical model with creating of graphics of continuous functions. There are shown into results of counted experiments about most accuracy calculation gives mathematical models based on degree function. This is allowing using of model for analyzing and prognoses of rate of elevated deformation at any coordinate of volume of billet depended from parameters like relation between high and diameter of billet, common degree of upsetting, relative radius of die surface. The error of calculation executed for control points with comparable to experimental data not exceeding 9 %.

**Keywords:** profiling of billets, upsetting, convex and flat dies, layered billet examples, elevated deformation, local deformation, distribution of deformation, function of connection.