

Ю. В. БОНДАРЕНКО

## КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОСАДКИ ЗАГОТОВКИ ПЛОСКИМИ БОЙКАМИ

Досліджено вплив відносного обтиску, температури і швидкості деформування на показник зусилля осадки. Проведено моделювання процесу осадки заготовки на плоских бойках з впливом трьох факторів. За допомогою набору прикладних комп'ютерних програм: визначено коефіцієнти регресії, перевірено статистичну значимість коефіцієнтів регресії та перевірено отриману модель на адекватність; визначено оптимальні значення факторів у натуральних величинах. Визначено наявність зон інтенсивності деформування при осадці. Отримано регресійне рівняння моделювання, яке дозволяє отримувати показники зусилля осадки у натуральних одиницях.

**Ключові слова:** зусилля, осадка, моделювання, обтиск, температура, деформація.

**Вступ.** Осадка металу поковок плоскими бойками є найпростішою і найпоширенішою операцією обробки металів тиском. Переважна більшість ковальських злитків перед подальшим куванням проходить операцію осадки. Осадку використовують також при куванні дисків, валів із фланцями і т. п.. Крім цього, елементи осадки мають місце майже у всіх інших ковальських операціях, ковальській протяжці, перших стадіях видавлювання, пресування і прошивання в закритих матрицях, відкритого прошивання, першої стадії штампування тіл найрізноманітнішої форми [1].

Операція осадки має два самостійних значення:

- одержання в кованому виробі необхідних фізико-механічних властивостей;
- одержання поковки необхідних розмірів.

**Аналіз останніх досліджень.** Незважаючи на значний пласт дослідних робіт [2 – 5] з вивчення формозміни металу при виконанні осадки, можна відзначити, що більшість з них носять експериментальний характер. Експериментальні дослідження, при всій їх унікальності, не дозволяють отримувати поля напружень і деформацій, показники обтиску, температури та швидкості деформацій, в явному вигляді. І особливо це відноситься до дослідження марок сталей та титану спеціального призначення. Тому робота, що присвячена комп'ютерному моделюванню процесу осадки, є актуальною.

**Постановка задачі дослідження.** Мета роботи – комп'ютерне моделювання осадки циліндричної заготовки із титанового сплаву ВТ3-1 за допомогою спеціалізованого програмного комплексу Deform та аналіз технологічних параметрів процесу, що впливають на силу осадки. Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

- провести математичне планування експерименту за допомогою повного факторного експерименту;
- за допомогою набору прикладних комп'ютерних програм визначити коефіцієнти регресії, перевірити статистичну значимість коефіцієнтів регресії, перевірити отриману модель на адекватність, визначити оптимальні значення факторів у натуральних величинах;
- визначити наявність зон інтенсивності деформування при осадці;
- отримати рівняння, що показує залежність зусилля осадки від показників температури, обтиску та швидкості деформації.

Таблиця 1 – Досліджувані фактори, розрахункові рівні інтервалів варіювання, характер їх змін і схеми кодування

| Характеристики                     | Фактори             |               |                 |
|------------------------------------|---------------------|---------------|-----------------|
|                                    | $t, ^\circ\text{C}$ | $\varepsilon$ | $V, \text{м/с}$ |
| Код                                | $X_1$               | $X_2$         | $X_3$           |
| Основний рівень                    | 1000                | 0,5           | 0,5             |
| Інтервал варіювання                | 100                 | 0,25          | 0,8             |
| Нижній рівень (кодове значення –)  | 900                 | 0,3           | 0,1             |
| Верхній рівень (кодове значення +) | 1100                | 0,7           | 0,9             |

фактори, розрахункові рівні інтервалів варіювання, характер їх змін і схеми кодування наведені в табл. 1. Параметр оптимізації  $Y_1$  – це зусилля осадки.

Після вибору плану перейшли безпосередньо до експерименту. Щоб виключити вплив систематичних помилок, викликаних зовнішніми умовами (наприклад, неточним контролем температури), рекомендується дослідити, задані планом експерименту, проводити рандомізовано у часі чи випадкової послідовності. Порядок проведення дослідів можна вибрати, наприклад, за таблицею випадкових чисел. У табл. 2 наведена спрощена матриця планування експерименту.

**Математична модель.** Для дослідження впливу відносного обтиску, температури і швидкості деформування на показники сили осадки проводили математичне планування експерименту за допомогою повного факторного експерименту.

В якості незалежних змінних були обрані температура деформування ( $X_1$ ), обтиск ( $X_2$ ) та швидкість деформації ( $X_3$ ). В якості вихідного матеріалу був обраний титан марки ВТ3-1 з розмірами  $D = 60$  мм та  $H = 90$  мм. Досліджувані

Таблиця 2 – Матриця планування експерименту

| № досліджу | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_1 \cdot x_2$ | $x_1 \cdot x_3$ | $x_2 \cdot x_3$ |
|------------|-------|-------|-------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1          | +     | +     | +     | +               | +               | +               |
| 2          | +     | +     | -     | +               | -               | -               |
| 3          | +     | -     | +     | -               | +               | -               |
| 4          | +     | -     | -     | -               | -               | +               |
| 5          | -     | +     | +     | -               | -               | +               |
| 6          | -     | +     | -     | -               | +               | -               |
| 7          | -     | -     | +     | +               | -               | -               |
| 8          | -     | -     | -     | +               | +               | +               |

нівського методу [6].

Таблиця 3 – результати дослідів зусилля осадки

| Дослід | $Y$ , МН | Дослід | $Y$ , МН |
|--------|----------|--------|----------|
| 1      | 0,714    | 5      | 0,164    |
| 2      | 1,81     | 6      | 0,389    |
| 3      | 0,209    | 7      | 0,0239   |
| 4      | 0,501    | 8      | 0,057    |

- в закодованому виді:

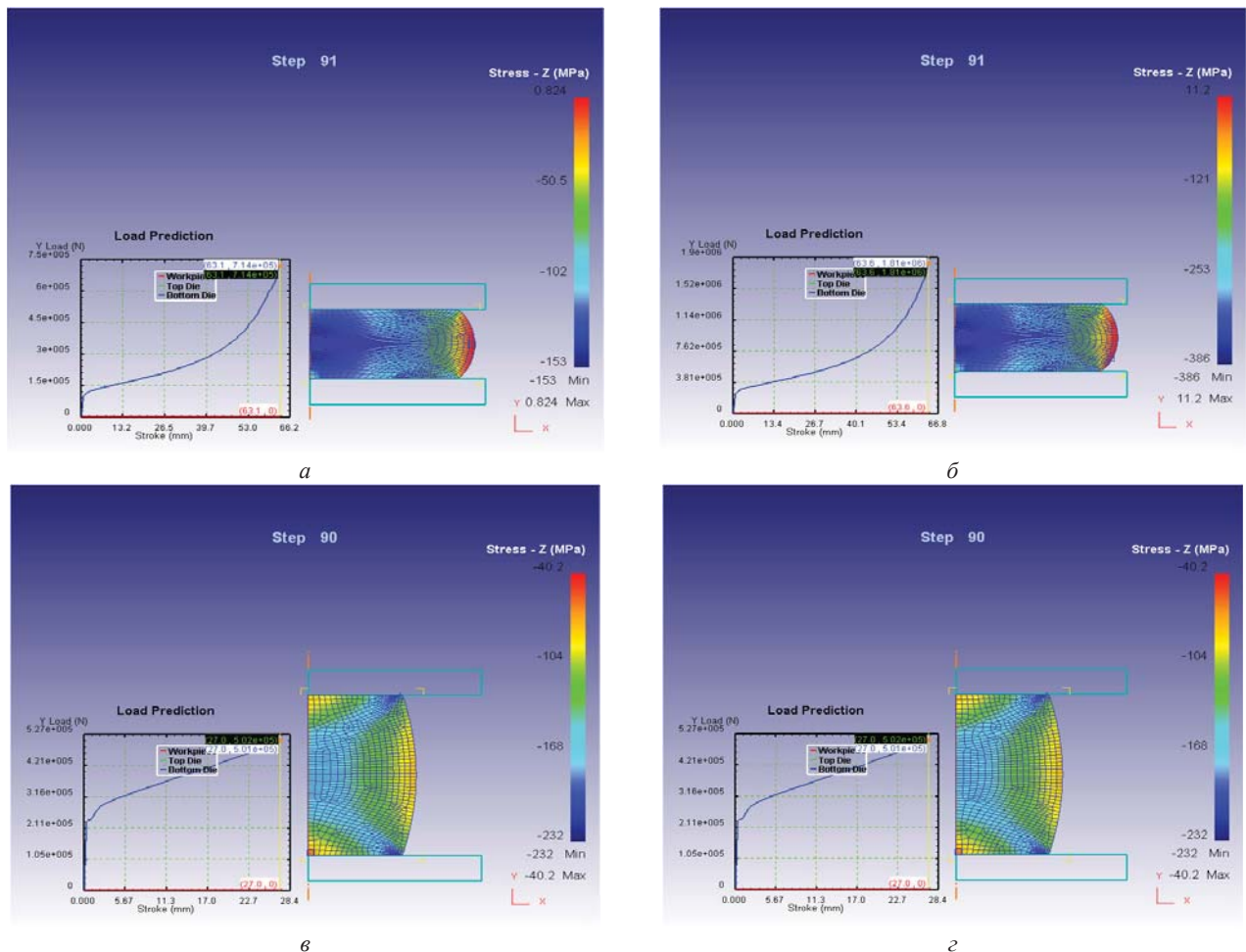
$$Y = 0,483 - 0,206x_1 + 0,286x_2 + 0,325x_3;$$

- в натуральному виді:

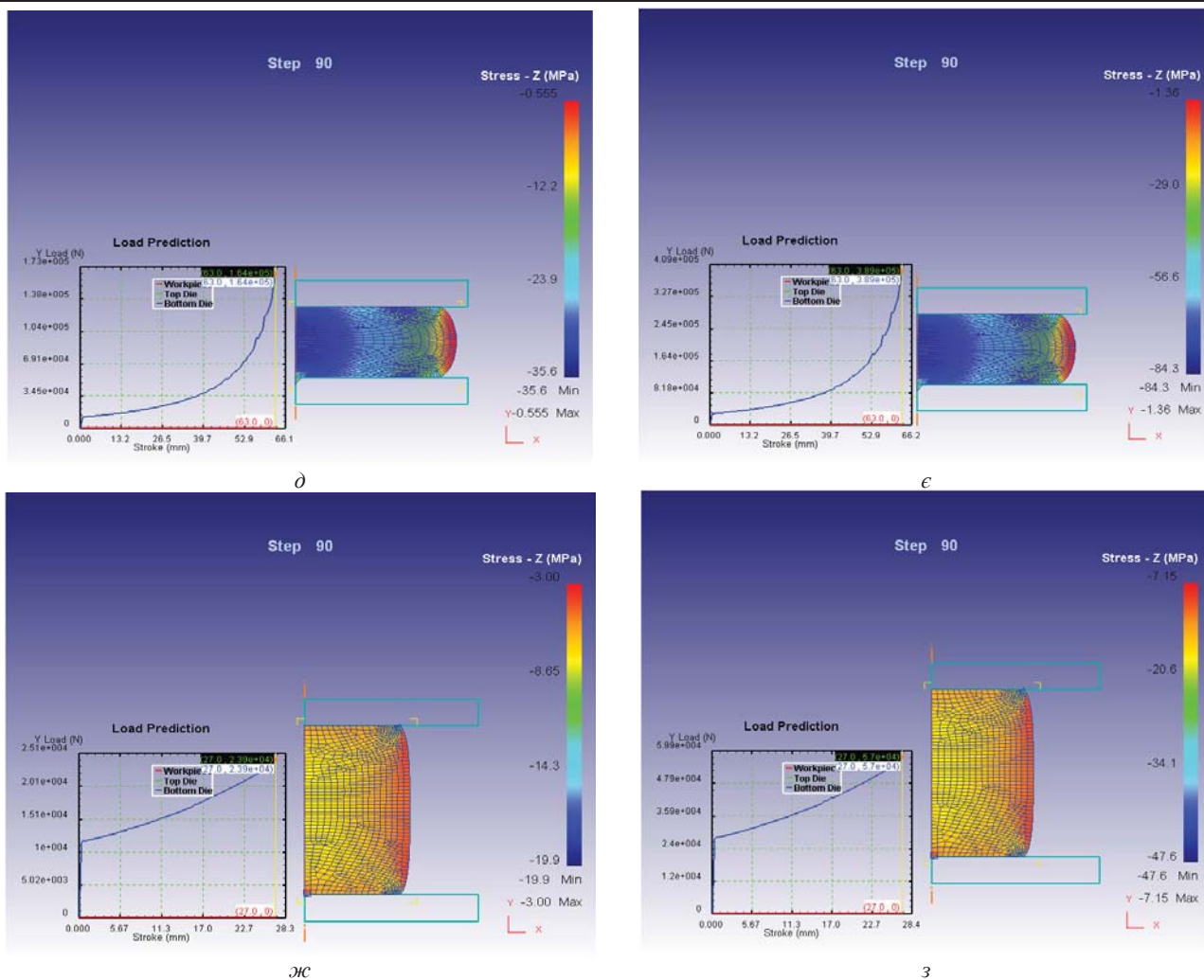
$$Y = 0,483 - 0,00206x_1 + 2,06 + 1,43x_2 - 0,715 + 0,81x_3 - 0,41.$$

У реалізованій матриці планування отримані наступні результати (табл. 3).

Результати моделювання в програмі Deform 2D представлені на рис. 1 та рис. 2.



Рису. 1– Результати моделювання з дослідження зусилля осадки: а – за дослідом 1; б – за дослідом 2; в – за дослідом 3; г – за дослідом 4.



Рису. 2 – Результати моделування з дослідження зусилля осадки: *д* – за дослідом 5; *е* – за дослідом 6; *ж* – за дослідом 7; *з* – за дослідом 8.

В результаті розробленого моделування можна визначити існування трьох зон інтенсивності деформації при осадці.

I. Зона найбільш інтенсивної деформації (червоні та оранжеві зони).

II. Зона помірної деформації (жовті, зелені і блакитні зони), в осьовому перерізі заготовки має хрестоподібну форму; в цій зоні спостерігається найбільш інтенсивна деформація.

III. Зона складної деформації (фіолетові та сині зони, що прилягають до бойків) [7].

**Результати подальших досліджень.** Використовуючи пакет програм MatLab, побудовані тривимірні моделі, які спрощують дослідження залежності між групою факторів та зусиллям осадки (рис. 3).

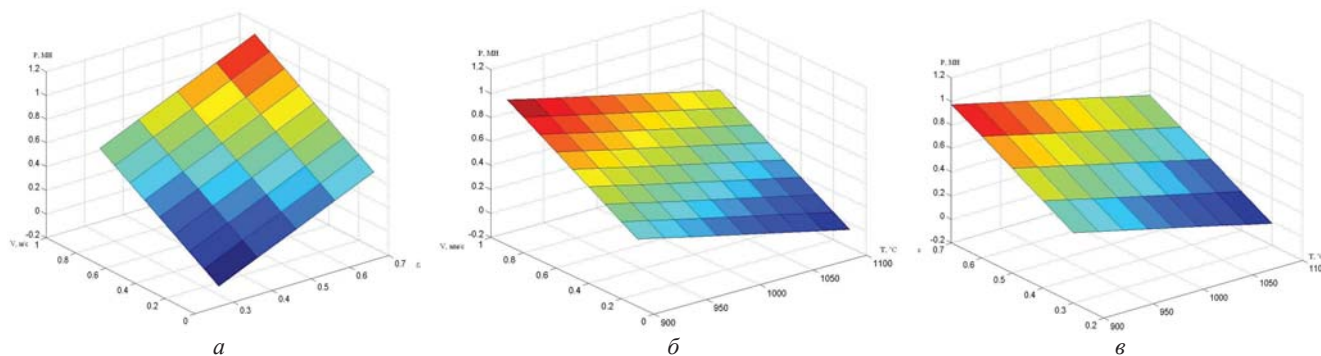


Рис. 3 – Графічні залежності впливу зусилля осадки на наступні характеристики: *а* – обтиску і швидкості деформування металу; *б* – температури і швидкості деформування металу; *в* – обтиску і температури металу.

З аналізу рис. 3 можна побачити, що відносний обтиск має більший вплив на силу осадки ніж температура або швидкість деформування. Оптимальний показник зусилля осадки 0,1 МН досягається при температурі 1050°С, відносному обтиску 0,35 та швидкості деформації 0,3 м/с.



**Висновки.** За допомогою спеціалізованого програмного комплексу DEFORM 2D, який призначений для моделювання процесів обробки металів тиском, було проведено моделювання процесу осадки заготовки на плоских бойках з впливом трьох факторів: відносного обтиску, температури і швидкості деформування. Аналіз результатів моделювання показав, що відносний обтиск має більший вплив на силу осадки ніж температура або швидкість деформування.

В результаті проведеного дослідження розроблено регресійне рівняння моделювання, яке дозволяє отримувати показники зусилля осадки у натуральних одиницях:

$$Y = 0,483 - 0,00206x_1 + 2,06 + 1,43x_2 - 0,715 + 0,81x_3 - 0,41$$

**Список літератури:** 1. *Сторожев М.В., Попов Е.А.* Теория обработки металлов давлением // М.: Машиностроение. – 1971. – С. 424. 2. *Шнейберг А.М., Михаленко Ф.П., Щербатов Д.А.* Экспериментальные исследования предельной пластичности при осадке без кручения и с кручением // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2012. – № 1. – С. 18 – 24. 3. *Тюрин В.А., Савонькин М.Б.* Стадийность процесса и потокораспределение при осадке плитам с осевым отверстием // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2009. – № 3. – С. 17 – 20. 4. *Воронцов А.Л.* Пластическое течение при осадке полых заготовок // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2007. – № 1. – С. 3 – 8. 5. *Гринкевич В.А., Чухлеб В.Л., Сальников А.С., Тумко А.Н., Ашкелянец А.В., Банашек Г.* Исследование различных схем осадки на прессе заготовки сплава ЭИ698-ВД путем математического моделирования // Обработка материалов давлением. – 2013. – № 4 (37). – С. 3 – 7. 6. Таблицы планов эксперимента для факторных и полиномиальных моделей. – М.: Металлургия, 1982. – С. 752. 7. *Данченко В.Н., Миленин А.А., Кузьменко В.И., Гринкевич В.А.* Компьютерное моделирование процессов обработки металлов давлением // Численные методы: сборник научных трудов. – Днепропетровск: Системные технологии. – 2005. – С. 443.

**Bibliography (transliterated):** 1. Storozhev, M. V., and E. A. Popov. *Teoriya obrabotki metallov davleniem*. Moscow: Mashynostroenie, 1971. Print. 2. Shnejberg, A. M., F. P. Mihalenko and D. A. Shherbatov. "Experimental'nye issledovanija predel'noj plastichnosti pri osadke bez kruchenija i s krucheniem." *Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem*. No. 1. 2012. 18–24. Print. 3. Tjurin, V. A., and M. B. Savon'kin. "Stadijnost' processa i potokoraspredelenie pri osadke plitami s osevim otverstiem." *Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem*. No. 3. 2009. 17–20. Print. 4. Voroncov, A. L. "Plasticheskoe techenie pri osadke polyh zagotovok." *Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem*. No. 1. 2007. 3–8. Print. 5. Grinkevich, V. A., et al. "Issledovanie razlichnyh shem osadki na presse zagotovki splava EI698-VD putjom matematicheskogo modelirovanija." *Obrabotka materialov davleniem*. No. 4 (37). 2013. 3–7. Print. 6. Tablicy planov experimenta faktornyh i polinomial'nyh modelej. Moscow: Metallurgija, 1982. Print. 7. Danchenko, V. N., et al. *Komp'uternoe modelirovanie processov obrabotki metallov davleniem. Chyslennye metody: sbornyk nauchnyh trydov*. Dnepropetrovsk: Sistemnye tehnologii, 2005. Print.

Надійшла (received) 25.09.2015

**Бондаренко Юлія Володимирівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри обробки металів тиском, Запорізька державна інженерна академія: пр. Леніна, 226, м. Запоріжжя, Україна 69000, e-mail: bond.1984@mail.ru, тел.: 067-76-75-350.

**Бондаренко Юлія Владимировна** – кандидат технических наук, доцент кафедры обработки металлов давлением, Запорожская государственная инженерная академия: пр. Ленина, 226, г. Запорожье, Украина 69000, e-mail: bond.1984@mail.ru, тел.: 067-76-75-350.

**Bondarenko Jylia Vladimirovna** – Candidate of Technical Science, Associate Professor, Department of working metals by pressure, Zaporozhye State Engineering Academy, Lenina ave. 226, Zaporozhye, Ukraine, 69000, E-mail: bond.1984@mail.ru, tel.: 067-76-75-350.

УДК 389.14+658.16(075.8)

**С. О. ВАМБОЛЬ, І. В. МІЩЕНКО, В. В. ВАМБОЛЬ, О. М. КОНДРАТЕНКО**

## АПРОКСИМАЦІЯ ЗАКОНУ РОЗПОДІЛУ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ ЗА ДОПОМОГОЮ БЕТА-РОЗПОДІЛУ. ЧАСТИНА 2

Досліджено особливості бета-розподілу та обґрунтування його застосування для апроксимації закону розподілу емпіричних даних у порівнянні з іншими видами законів розподілу взагалі та практичне використання такого розподілу для випадку геометричних характеристик тіл кочення підшипників. Проаналізовано спеціалізовану науково-технічну і довідникову літературу, методи математичної статистики, теорії ймовірностей, чисельні. У даній частині дослідження подано описання системи кривих Пірсона як математичної бази бета-розподілу, особливості застосування узагальненого бета-розподілу до об'єкту дослідження, а також проаналізовано придатність нормального закону розподілу за оцінками коефіцієнтів асиметрії та ексцесу, початкових і центральних моментів неперервних розподілів.

**Ключові слова:** похибки вимірювання, емпіричний розподіл, нормальний розподіл, бета-розподіл, розподіли Пірсона, апроксимація.

**Вступ.** Аналіз і оцінювання *похибок вимірювання*, які являють собою величини, що характеризують недосконалість вимірювання, є одним з розділів *метрології*. Закономірність прояву *випадкових похибок*, як додатних, так і від'ємних, виявляється лише при достатньо великій кількості вимірювань. За деяких умов *розподіл випадкових похибок* підкоряється *нормальному розподілу*. Однак при виявленні факту невідповідності *емпіричного розподілу* нормальному стає питання пошуку або підбору такого розподілу, який за певними критеріями точніше описує *емпіричний розподіл*. Вибір найбільш *близького закону розподілу* до *істинного* серед десятків існуючих *типових розподілів* здійснюється на основі аналізу *гістограми* та *моментних оцінок*, потім здійснюється перевірка *гіпотези* про відповідність *емпіричного розподілу* до *теоретичного*, що при підтвердженні гіпотези дає розв'язання *задачі апроксимації*, яке у деяких випадках досягається перебиранням різних законів розподілу за