

**Б.Б. Кришкін, доц., канд. техн. наук, В.Я. Мірзак, ст.викл., О.Е. Ставерська, А.О. Черпак, магістрантки**

*Кіровоградський національний технічний університет*

## Моделювання інтенсивності експлуатації пуансонів холодного видавлювання за допомогою програмного комплексу DEFORM v.10

У статті наведені результати моделювання температурного стану та напружень в пуансоні для зворотнього видавлювання корпусів спеціальних накладних гайок. На підставі результатів моделювання із застосуванням пакету програм DEFORM v.10 та результатів експериментального визначення навантажень на пуансони запропонована система плинного моніторингу довговічності інструменту **комп'ютерне моделювання, пуансон, температурне поле, зусилля, видавлювання, напруження**

Комп'ютерне моделювання процесів обробки металів тиском (ОМТ) дозволяє дослідникам вирішувати наступні завдання:

- а) оцінити виникаючі напруження і деформації, запобігти появі дефектів;
- б) виявити оптимальні параметри інструмента і заготовки для стабільного проходження деформування;
- в) змоделювати практично будь-який процес без проведення витратних експериментів.

Наприклад, при створенні штампу для якої-небудь формоутворюючої операції можна змоделювати зазначений штамп варіюванням різних геометричних і технологічних параметрів і підібрати такі їх значення, що забезпечують оптимальне заповнення порожнини штампу. Після цього можна виготовляти сам штамп. За допомогою моделювання можна визначити такі важливі параметри заготовки, як накопичена деформація, напруження, температура, напрям волокон, можливість руйнування заготовки, зношування інструменту тощо[1].

---

© Б.Б. Кришкін, В.Я. Мірзак, О.Е. Ставерська, А.О. Черпак, 2011

Сучасним способом моделювання складних процесів, що відбуваються в робочих деталях штамтів при їх динамічному навантаженні являється імітаційне моделювання за допомогою програмного комплексу DEFORM (версія v.10).

Програмний комплекс DEFORM розроблений в США компанією Scientific Forming Technology Corporation (SFTC) і призначений для моделювання технологічних процесів обробки металів тиском та термообробки [2]. Таким чином, створюється можливість перевірки розробленого технологічного процесу не експериментально, на реальному виробництві, а за допомогою комп'ютера. На жаль, дуже рідко вдається спроектувати ідеальне оснащення, що дозволяє відразу ж отримувати вироби необхідної якості і з необхідними експлуатаційними характеристиками. В більшості випадків технологічне оснащення доводиться допрацьовувати, змінювати геометрію формоутворюючих поверхонь, параметри процесу, а іноді і повністю переробляти технологію, що вимагає багато часу і великих витрат.

При роботі в програмі DEFORM (версія v.10) шляхом варіювання різних геометричних і технологічних параметрів процесу можна знаходити оптимальні умови

деформування для зниження зусилля, однорідного розподілу накопиченої деформації і температури. Крім того, за допомогою цього програмного комплексу можливо прогнозування виникнення різних дефектів як на заготовці, так і в штампі. Це особливо цінно при розробці інструменту, що працює в умовах значних силових і температурних дій, наприклад, для робочих деталей штампів холодного видавлювання сталевих виробів з великими степенями деформацій.

В ході проведених досліджень технологічні можливості програмного комплексу DEFORM були використані для оцінки температурного поля пуансона для зворотнього видавлювання корпусів накидних гайок, що виготовляються на ВАТ "Червона зірка" (м. Кіровоград).

На першому етапі дослідження виконали оцінку напружено-деформованого стану робочих деталей штампів для холодного видавлювання.

Об'єм досліджуваного інструменту був поділений на кінцеві елементи відповідної розмірності. Задаючи на кінцевих елементах кусочно-поліноміальними факторними функціями для апроксимації вектора переміщень, можна отримати систему рівнянь методом кінцевих елементів (МКЕ)[3]. Технологічне навантаження задавалося розподіленим по робочій поверхні інструменту. Закріплення вузлів моделі проводилося відповідно до конструктивних особливостей використовуваного штампів.

Загальноприйняте використання МКЕ пов'язане з мінімізацією потенційної енергії системи при відшукуванні вузлових значень вектора переміщень. Повна потенційна енергія пружної системи складається з енергії деформацій в тілі  $\Delta$  і енергій  $W$ , прикладених до системи зовнішніх сил [3]:

$$\Pi = \Delta + W \quad (1)$$

Однією з важливих вимог теореми про потенційну енергію є те, що шукані переміщення повинні задовольняти заданим значенням на межі.

Матриця жорсткості системи може бути обчислена так:

$$[K] = \int_V [B]^T [D][B] dW, \quad (2)$$

де  $[D]$  - матриця пружних характеристик матеріалу;

$[B]$  - матриця, отримана диференціюванням функцій форми елемента.

При рішенні осесиметричних завдань зручніше використовувати компоненти тензорів напруження і деформацій в циліндричній системі координат:

$$\{\sigma\} = [D]\{\epsilon\} - [D]\{\epsilon_0\}, \quad (3)$$

де  $\{\epsilon_0\}$  - вектор початкової деформації, викликаної тепловою дією :

$$\{\epsilon_0\} = [D]\{\epsilon\} - [D]\{\epsilon_0\}.$$

Відповідно до зазначених вище принципів була розроблена послідовність технологічних переходів холодного видавлювання. Вихідна заготовка і вид напівфабрикату після штампування представлені на рис. 1.

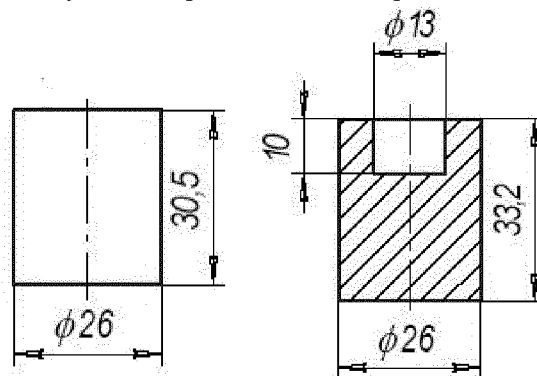


Рисунок 1- Вихідна заготовка (ліворуч), напівфабрикат після першого переходу (праворуч)

Вид деформованої координатної сітки після проведення процесу видавлювання представлений на рис. 2. За даними експериментальних досліджень за допомогою програмного комплексу DEFORM була також розроблена сітка кінцевих елементів і виконана попередня оцінка деформованості матеріалу на першому переході холодного видавлювання (рис. 3).

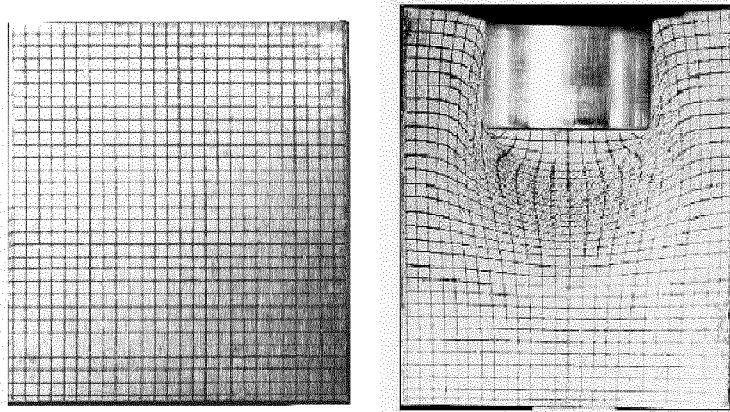


Рисунок 2 – Зміни координатної сітки на недеформованому (ліворуч) та деформованому (праворуч) зразку

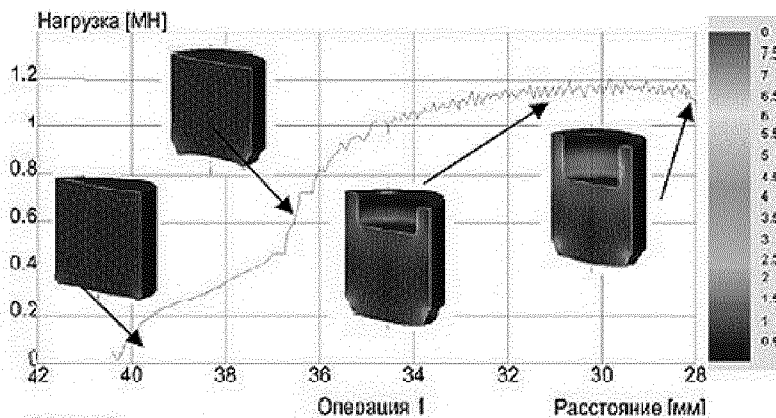


Рисунок 3 – Візуальна оцінка інтенсивності формозміни матеріалу під час холодного видавлювання

Напруження в елементах можуть бути обчислені відповідно до закону Гука:

$$\{\varepsilon_0\} = \beta \Delta T \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{Bmatrix}, \quad (4)$$

де  $\beta$  - коефіцієнт теплового розширення.

Вектор-стовпчик, пов'язаний з тепловим розширенням, в остаточному виді представлено так:

$$\{f_{th}\} = \frac{\beta E \Delta T}{1 - 2\mu} [B]^T \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{Bmatrix} 2\eta r F, \quad (5)$$

де  $E$  - модуль пружності матеріалу;

$\mu$  - коефіцієнт Пуассона;

$F$  - площа поперечного перерізу елемента.

Попередньо було прийнято, що розрахунок параметрів напружено-деформованого стану (НДС) робочих деталей штампу для холодного видавлювання згідно МКЕ можна виконати за умов наступних допущень:

- сили, діючі на елемент, приводяться до вузлових точок;
- обчислення переміщень отримуються шляхом вирішення системи алгебраїчних рівнянь, що відповідають умові рівноваги усіх вузлових точок під дією зовнішніх і внутрішніх сил, викликаних переміщенням вузлів;
- деформації елементів визначаються за обчисленими вузловими переміщеннями;
- напруження в елементах визначаються з використанням закону Гука;
- граничні умови призводять до умов відсутності переміщень у вузлах по будь-якому з напрямів;
- фізичні характеристики матеріалу передбачаються залежними від температури:  $\lambda(T)$ ;  $\nu(T)$ ;  $E(T)$ ;
- температурні дії враховуються по заданих змінах температури в елементах у вигляді початкової деформації шляхом обчислення додаткових вузлових сил і внесення відповідних поправок в значення деформацій в елементах;
- сили тяжіння і інерційні сили не враховуються.

Нижче наводяться результати розрахунків температурного напруження і теплових деформацій пуансона для зворотного видавлювання деталі. Отримані значення радіальних  $\sigma_{rr}$ , осьових  $\sigma_{zz}$ , окружних  $\sigma_{\theta\theta}$  і дотичних  $\tau_{rz}$  напружень (див. рис. 4). Знак напружень дозволяє визначити області розтягування (+) або стискування (-) в об'ємі інструменту, що важливе для подальшої оцінки його довговічності.

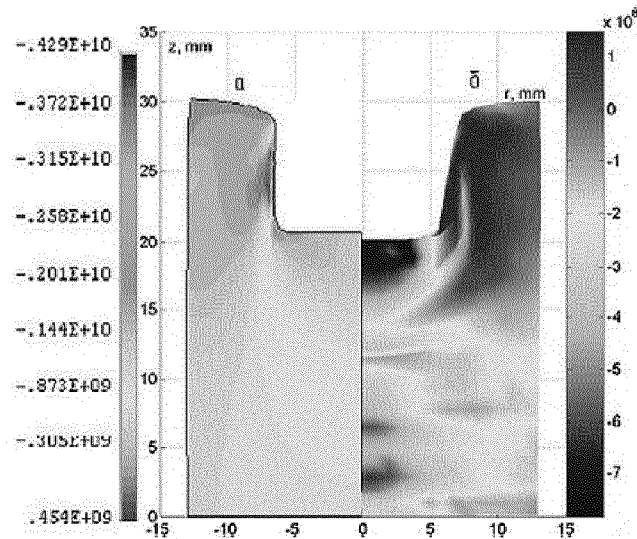


Рисунок 4 – Розподіл інтенсивності напружень у заготовці після видавлювання

На рис. 5 показані переміщення вузлів, викликані тепловим розширенням металу пуансона.

Контакт пуансона з металом заготовки відбувається при одночасній дії технологічного навантаження, тому необхідно було виконати аналіз НДС від спільної дії теплового і механічного навантажень. Рис. 6 ілюструє розподіл температур в об'ємі пуансона від вищезгаданих факторів.

Як видно, концентрація напруження має місце на ділянках переходу від бічної поверхні до опорної частини пуансона. При цьому максимальні значення напруження

складають: осьових - 154,2 МПа (стискуючі напруження); радіальних - 135,1 МПа (стискуючі напруження); дотичних - 695,7 МПа (напруження розтягу).

Було встановлено, що максимальні значення деформацій в радіальному і осьовому напрямках складають відповідно  $58,53 \cdot 10^{-4}$  і  $60,85 \cdot 10^{-4}$  мм.

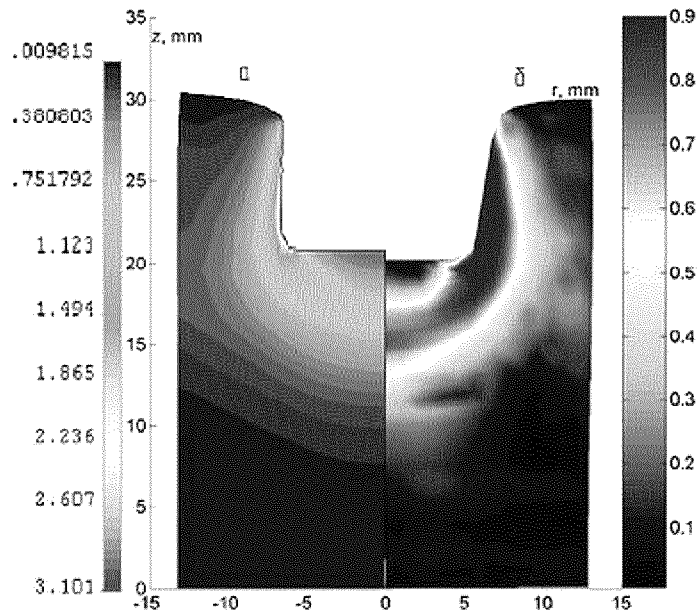


Рисунок 5 – Розподіл інтенсивності деформацій у заготовці після видавлювання

Аналіз показує, що деформації, викликані тепловим розширенням металу пуансона, складають 1,29 мкм, а від спільної дії теплового і механічного навантажень 60,85 мкм. Теплові поля у момент контакту пуансона з нагрітим металом (див. рис. 6), а також схеми НДС дозволяють виділити ділянки, що працюють в несприятливих термосилових умовах. Однією з таких ділянок є ділянка бічної поверхні поблизу переходу до частини радіусу пуансона, а також сама частина радіусу поблизу торця пуансона. Тут відбувається найбільше прогрівання приповерхневих шарів, пов'язане з інтенсивним плином металу, що деформується, а також ця зона відрізняється високими значеннями виникаючого напруження.

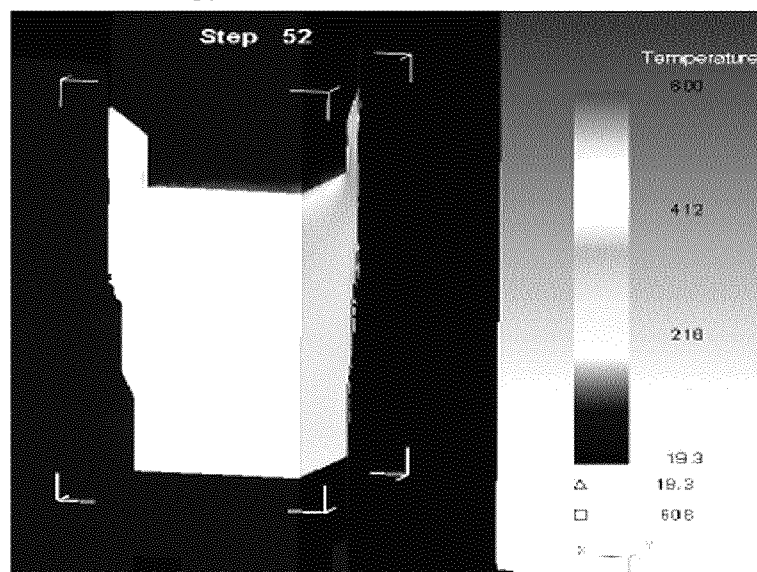


Рисунок 6 – Візуальна оцінка інтенсивності нагрівання пуансона під час видавлювання

На другому етапі досліджень за допомогою програмного комплексу DEFORM (v.10) виконали моделювання температурних полів в пуансоні при одночасній оцінці основного деформуючого зусилля. Експериментальні дані, що стосуються зусилля технологічного переходу зворотного видавлювання співставляли з отриманими даними технологічного навантаження на пуансон за допомогою цифрового вимірювача деформації ИДЦ - 1м. Підсумковий графік представлений на рис. 7.

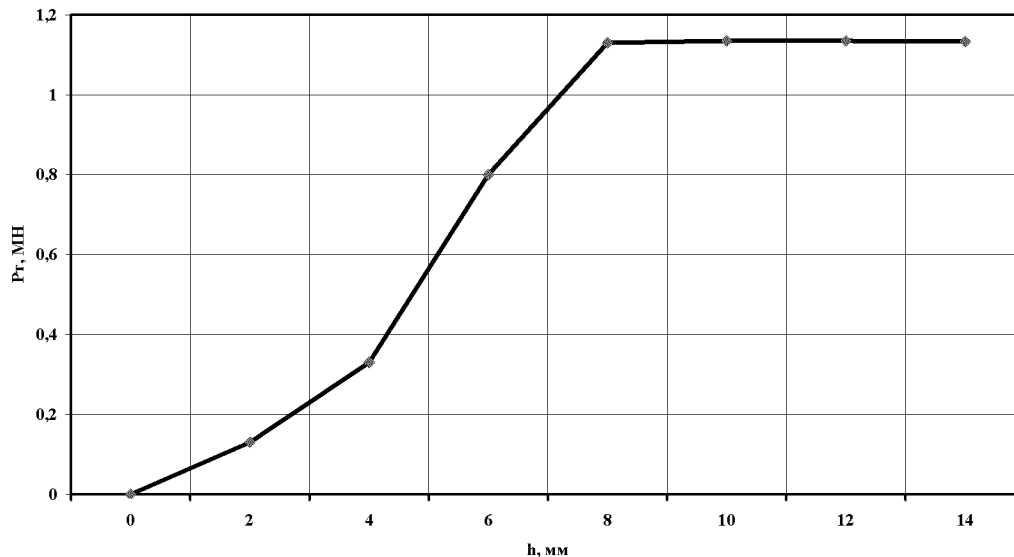


Рисунок 7 – Експериментальний графік технологічного зусилля видавлювання

Таким чином, використання програмного комплексу DEFORM (v.10) дозволяє візуалізувати процеси, що відбуваються в контактних шарах робочого інструменту при холодному видавлюванні, а також швидко і точно оцінювати навантаження на нього від усіх чинників, що впливають на довговічність. Представлена методика може використовуватися при поточному моніторингу стійкості високонавантажених деталей штампів холодного видавлювання на заводах сільгоспмашинобудування.

## Список літератури

1. Рагулин А.В. и др. Разработка технологических процессов холодной объёмной штамповки с использованием конечно-элементной системы DEFORM-2D // Тези доповідей Міжнародної науково-технічної конференції «Автомобиле- и тракторостроение в России». М.: МГТУ «МАМИ», 2006. - С. 132-135.
2. Харламов А.А. Моделирование обработки металлов давлением с помощью комплекса DEFORM //САПР и графика. – 2005, №5. – С. 2-4.
3. Автоматизированная система DEFORM-2D для расчёта формоизменения в процессе штамповки на основе метода конечных элементов/ Г.Я. Гун и др. // Кузнечно-штамповочное производство, 1992.- №9-10, С. 4-7.
4. Пучкова И. В. Совершенствование технологии холодной объёмной штамповки // Мавлютовські читання: Всеросійська молодіжна наукова конференція: Зб. праць у 5 т. - Уфа: УГАТУ, 2009. Том 2.- С. 213-215.

*Б. Крѣшкін, В. Мирзак, О. Ставерская, А. Чернак*

**Моделювання інтенсивності експлуатації пуансонів холодного видавлювання з допомогою програмного комплексу DEFORM v.10**

В статті приведені результати моделювання температурного стану і напружень в пуансоні для зворотного видавлювання корпусів спеціальних накладних гаек. На основі результатів моделювання з використанням пакета програм DEFORM v.10 і даних експериментального

определения нагрузок на пуансоны предложена система текущего мониторинга долговечности инструмента

*B. Kryshkin, W. Mirzak, O. Staverskaya, A. Cherpak*

**Design of the intensity of exploitation of puncheons of the cold squeezing out by means of programmatic complex DEFORM v.10**

In the article results over of design of the temperature state and stresses of puncheon are brought for the reverse squeezing out of corps of heads of special nuts. On the basis of results of design with the use of package of softwares of DEFORM v.10 and data of experimental determination of loading on puncheons the system of the current monitoring of longevity of instrument is offered

Одержано 18.10.11