

**Каразей В.Д.,
Соколан К.С.,
Решетник П.П.**

Хмельницький національний університет,
м. Хмельницький, Україна
E-mail: wkarazey@mai.ru

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ
ШТАМПУВАННЯ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ
«МУФТА» ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ
ПРОГРАМИ DEFORM**

УДК 621.777.4

Проектування технологічних процесів в сучасних CAD/CAM/CAE системах дозволяє скоротити витрати, що можуть виникнути у процесі виробництва, оскільки є можливість більш точно прогнозувати дефекти різного роду, що пов'язані із недосконалою технологією. Це дає можливість вивчити процеси деформування металів при різних видах руху інструментів, змінюючи умови тертя, моделі пластичності та реологічні характеристики матеріалу. Програма DEFORM призначена для аналізу тривимірної текучості металу при різних процесах обробки металів тиском. Використання програми дає можливість прогнозувати характер формозміни металів при обробці тиском, за рахунок чого суттєво знижуються витрати на експериментальні дослідження. Використання програми DEFORM дає можливість дослідження зміни величини переміщень та напружень, що виникали, в залежності від часу перебігу процесу.

Ключові слова: штампування видавлюванням, обробка тиском, моделювання, пуансон.

Вступ

Холодне об'ємне штампування є одним із прогресивних ресурсозберігаючих методів отримання виробів високої якості, при застосуванні якого витрати металу зменшуються у 2 ... 3 рази. Холодним об'ємним штампуванням отримують вироби з точністю до 8 - 9 квалітету та шорсткістю поверхні Ra 1,25 - 6,3 мкм, із високими і стабільними механічними властивостями, тобто покращується якість поковок в цілому, що призводить до зменшення припусків на подальшу обробку [1, 2].

Штампування видавлюванням застосовують для отримання поковок із низьковуглецевих та низьколегованих сталей, у яких сталей границя міцності на розрив (у стані поставки) не перевищує 600 МПа. Сталь для отримання хорошої мікроструктури підлягає термообробці – відпалюванню.

Застосування сучасних пакетів прикладних програм для проектування технологічних процесів для різних видів виробництв в основному орієнтовано на зменшення строків підготовки виробництва, відпрацювання технології, а також мінімізації фінансових витрат. Проектування технологічних процесів виготовлення заготовок в сучасних CAD/CAM/CAE системах дозволяє також скоротити витрати на виробництво готових деталей, оскільки сучасні інтерактивні технології дають можливість з більшою точністю прогнозувати дефекти заготовок різного роду.

Програма DEFORM [3, 4] призначена для аналізу тривимірної текучості металу при різних процесах обробки металів тиском. Використання програми дає можливість прогнозувати характер формозміни металів при обробці тиском, за рахунок чого суттєво знижуються витрати на експериментальні дослідження; також дає можливість вивчити процеси деформування металів при різних видах руху інструментів, змінюючи умови тертя, моделі пластичності та реологічні характеристики матеріалу.

Мета і постановка задачі

Метою роботи є дослідження технологічного процесу холодного видавлювання пустотілої заготовки деталі «Муфта M25 SP» із заданою конфігурацією та геометричними розмірами.

Результати дослідження

DEFORM – система кінцевого елементного моделювання, яка призначена для аналізу тривимірного потоку металу при різних процесах обробки металу тиском. Програма являє собою практичний і ефективний інструмент, що дозволяє прогнозувати характер формоутворення при операціях обробки металів тиском без значних витрат на експериментальні дослідження.

В даній програмі є можливість автоматичного розбиття сітки скінчених елементів під час моделювання (адаптивна побудова сітки). Генератор сіток дозволяє створювати сітку скінчених елементів, розміри яких в окремих частинах моделі будуть розрізнятися в залежності від специфіки процесу, що аналізується. Це значно понижує об'єм поставленої задачі та вимоги до апаратних засобів для їх розв'язання.

Важливою особливістю програми є те, що користувач може налаштувати щільність сітки і співвідношення розмірів кінцевих елементів при роботі у ручному режимі. Другою перевагою програми є можливість побудови геометричних моделей заготовок та інструменту без додаткових САД-систем.

Програма дозволяє моделювати пластичну текучість матеріалу для гарячих, напівгарячих та холодних процесів, причому це можуть бути як ізотермічні так і неізотермічні процеси. Теплопередача між об'єктами та всередині них може бути проаналізована як окремий процес або сумісно із процесом деформування по спряженій схемі. При розрахункові приймаються до уваги всі фактори, що впливають на процес штампування: конвекція, випромінювання, тепловиділення при фазових переходах та пластичних деформаціях; виділення теплоти при терті, втрати теплоти у зоні контакту між заготовкою та інструментом, вплив температури на коефіцієнт тертя і термомеханічні характеристики матеріалу, вплив тиску на трибологічні характеристики.

Інструмент може бути нерухомим або переміщуватися у будь-якому напрямку залежно від параметрів заданого устаткування. Також інструмент може бути абсолютно жорстким або пружним, що деформується. Є можливість аналізу міцності штампу, однокроковий алгоритм дозволяє це зробити як для жорсткого, так і пружного інструменту на кожному крокові процесу. Кінцеві елементи та моделі матеріалів дозволяють відслідковувати місця руйнування матеріалів. Для складних процесів присутня можливість задавати параметри багатоперехідних процесів.

Для запуску процесу моделювання необхідні такі вихідні дані:

- опис об'єкту – геометричні параметри, параметри сітки кінцевих елементів, температура процесу, матеріал об'єкту;
- дані матеріалу об'єкту – дані, що описують поведінку матеріалу в умовах, в яких буде моделюватися віртуальний процес;
- умови взаємодії об'єктів - параметри, що описують взаємодію об'єктів, включаючи характер взаємодії, тертя і теплопередачу між ними;
- управління моделюванням, тобто вибір методів рішення, за допомогою яких програма буде знаходити розв'язок системи кінцево-елементних рівнянь, а також умови стану середовища процесу, кількість кроків моделювання;
- властивості матеріалу – властивості, що описують фізичні процеси, що проходять в матеріалі під час міжфазового перетворення при моделюванні термічної обробки.

На рис. 1 зображено головний інтерфейс програми.

Система DEFORM складається з трьох основних компонентів:

- *PreProcessor* (Препроцесор) використовується для створення, збору чи зміни інформації, необхідної для проведення розрахунків і для створення файлу бази даних для розрахунку;
- *Simulator* (Процесор) необхідний для проведення розрахунку і запису отриманих результатів в кінцевий файл бази даних. Разом з вирішенням задачі працює система перерозподілу елементів, яка при необхідності може створити нову сітку скінченних елементів. Одночасно відбувається запис інформації про статус рішення, в тому числі і помилки, в файли з розрішенням MSG і .LOG.
- *PostProcessor* (Постпроцесор) необхідний для зчитування бази даних після завершення моделювання і відображення результатів в вигляді графіків, а також витяг числових даних.

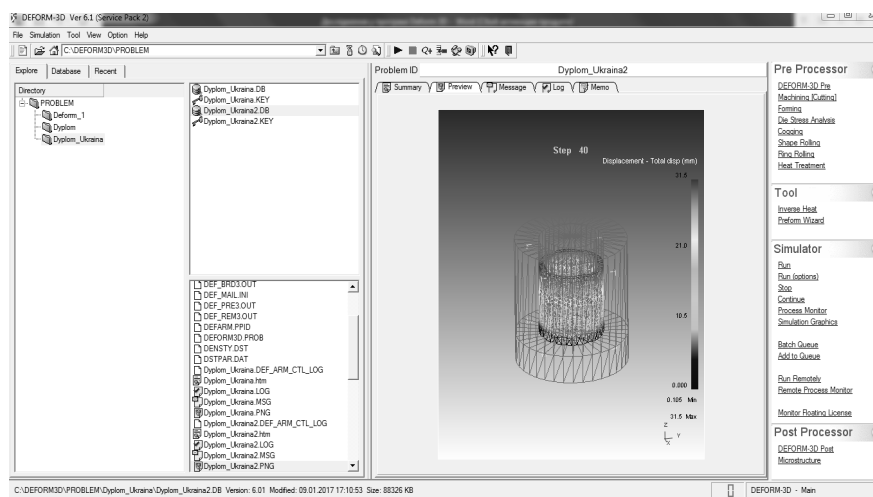


Рис. 1 – Інтерфейс програми DEFORM

При використанні першої підпрограми (препроцесор) задаємо основні компоненти процесу видавлювання та визначаємо геометричні параметри складових частин.

Модель симуляції складається з верхнього інструменту (пуансона), заготовки, що буде деформуватися, та матриці.

Важливо відмітити, що для успішної симуляції пуансон та матрицю ми вказуємо як тверді та жорсткі елементи, а заготовку як пластичний елемент.

Далі вибираємо з бази матеріалів необхідний матеріал заготовки (в даному випадку AISI 1013 Machining, по своїх властивостях відповідає Сталі 20), та температуру обробки (100 °C).

Рух пуансона окреслимо його переміщенням у напрямку осі (-Z) зі сталою швидкістю (0,5 мм/с). Матриця в свою чергу закріплена жорстко і є нерухомою.

Програма DEFORM виконує симуляцію і розрахунки поступово, крок за кроком. Найважливіший і, водночас, кінцевий етап внесення даних - це розрахунок кількості кроків симуляції та інших чинників, що характеризують ці кроки.

Після успішної генерації бази даних для розрахунку зберігаємо її для подальшого використання, відкривши підпрограму *Симулятор*.

Час розрахунку може бути різний (залежить від складності процесу, кількості скінченних елементів тощо).

По завершенні обрахунків можемо переглянути симуляцію у постпроцесорі. На рисунках 2 і 3 зображено початкове положення пуансона (початок симуляції) та кінцеве положення пуансона (кінець симуляції).

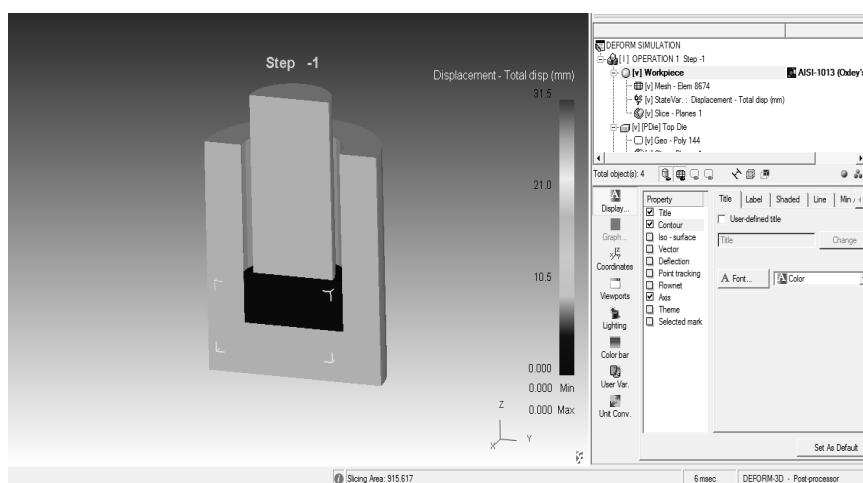


Рис. 2 – Початкове положення пуансона

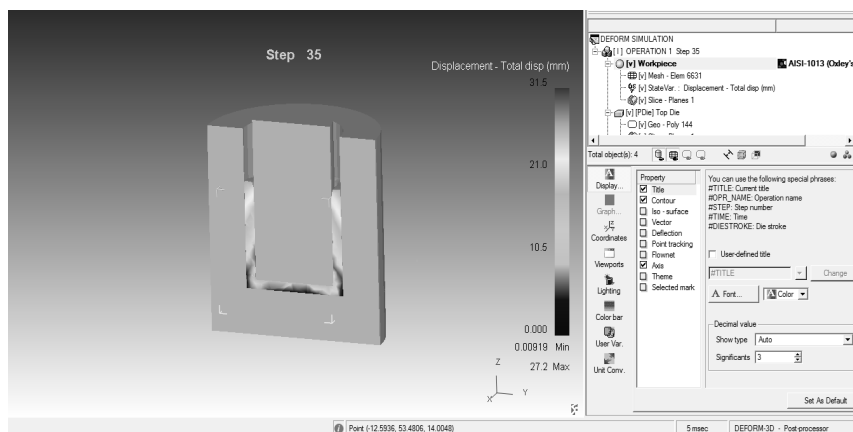


Рис. 3 – Кінцеве положення пуансона

Також програма DEFORM дає можливість дослідження зміни величин переміщень та напружень, що виникали, в залежності від часу перебігу процесу.

Розглянемо епюру переміщень та графік переміщень заданих точок, що виникли в процесі видавлювання (рис. 4). Графік ілюструє зміну положення точок в часі.

Як видно із епюри, дно муфти зазнало певної деформації. Маючи змогу відслідкувати рух будь-якої точки, та знаючи її чисельне переміщення, можна спрогнозувати та покращити сам процес видавлювання.

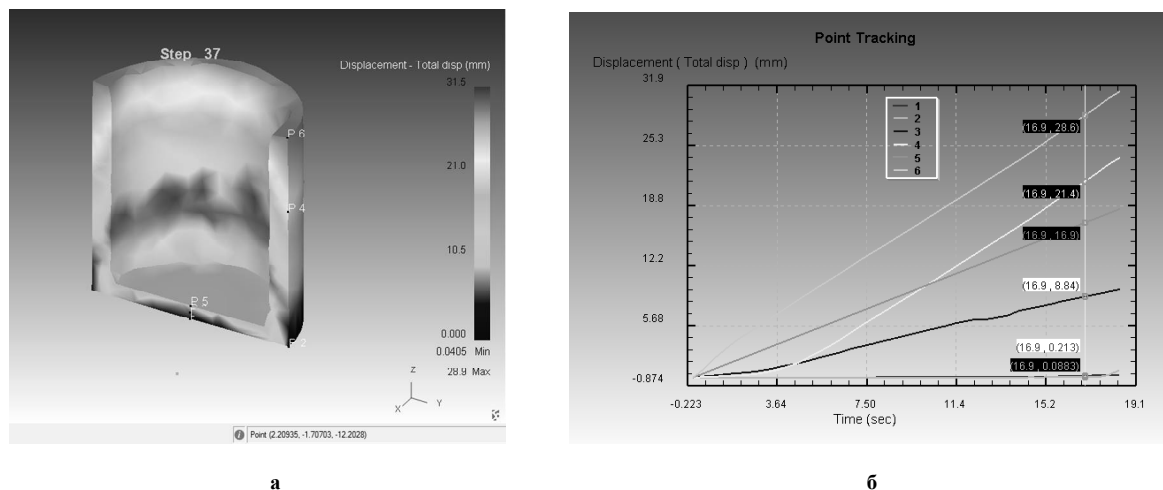


Рис. 4 – Дослідження зміни величини переміщень та напружень:
а – еюра переміщень;
б – графік залежності величини переміщення від часу симуляції

Розглянемо також епюру напружень та графік зміни напружень відносно часу (рис. 5).

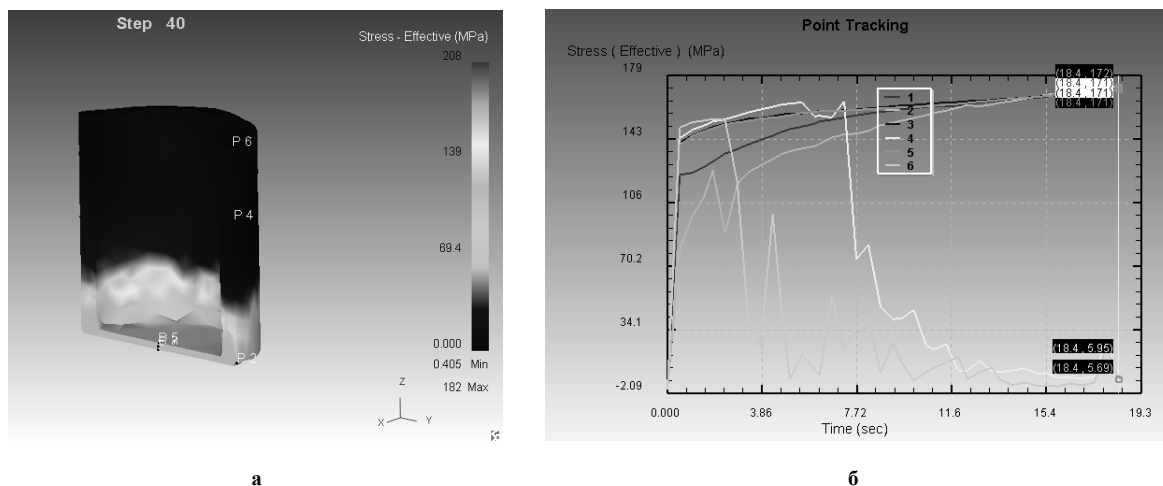


Рис. 5 – Дослідження зміни величини напружень:
а – еюра напружень;
б – графік залежності величини напруження від часу симуляції

Найбільші напруження виникли в заготовці збоку, тому що при стисканні циліндра змінюється його форма на бочкоподібну. Але в даному випадку стінки матриці не дають металу рухатися в горизонтальному напрямку і він змушений підійматися вгору. Уже пізніше, коли певна частина металу уже піднялася вгору, напруження концентруються на дні заготовки і, як наслідок, найбільша деформація стається саме всередині при стінках дна.

На рис. 6 показано результат деформування заготовки.

Аналіз результатів моделювання в DEFORM-3D показав, що на початкових стадіях процесу в центрі заготовки спостерігаються напруження стискання, а на поверхні – розтягування. В процесі деформування в результаті руху матеріалу до стінок матриці, коли метал затікає в порожнину між матрицею та пуансоном, залишаються напруження стискання.

В процесі деформування заготовки в деталі виявляється дефект на кромці заглиблення із-за появи напружень розтягу.

Основним видом дефектів, що знижують якість і технологічні можливості процесу видавлювання є похибки форми у вигляді утяжин, що виникають при поздовжньому видавлюванні муфти.

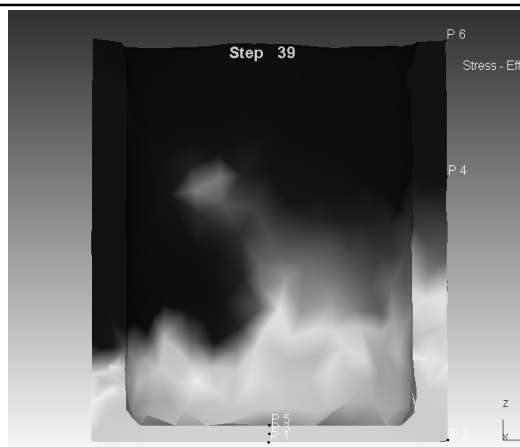


Рис. 6 – Здеформована поверхня заготовки

При поздовжньому видавлюванні заготовки муфти утяжина у вигляді зазору між заготовкою й торцем пуансона з'являється внаслідок нерівномірності витікання металу і спостерігається на заключних стадіях процесу. Дефект збільшується пропорційно зменшенню стінки дна заготовки, що призводить до порушення технічних умов виробу та розмірів, що задаються робочим кресленням. На початку руху пуансона матеріал заповнює порожнину штампа, при досягненні стінок матриці матеріал рухається вгору, огинаючи пуансон, і заповнює порожнину між пуансоном і матрицею.

Результати використання моделювання в DEFORM-3D дозволяють оцінити фізико-механічний стан деформованого металу.

Висновки

Аналіз результатів моделювання в DEFORM-3D показав, що на початкових стадіях процесу в центрі заготовки спостерігаються напруження стискання, а на поверхні – напруження розтягування. В процесі деформування, в результаті руху матеріалу до стінок матриці, напруження трансформуються в напруження стискання.

При різній товщині дна деталі сила, що необхідна для видавлювання, залишається практично однаковою для всіх досліджуваних розмірів.

При зменшенні товщини дна деталі проявляється дефект типу «утяжина», збільшення дефекту відбувається пропорційно зменшенню стінки дна.

Для запобігання появи утяжини необхідно забезпечити переміщення матриці в напрямку, протилежному витіканню металу.

Література

1. Колмогоров В.Л. Механика обработки металлов давлением. Екатеринбург: Изд-во Уральского ГТУ, 2001. – 836 с.
2. Шестаков Н.А. Расчеты процессов обработки металлов давлением. Решение задач энергетическим методом: Учебное пособие. – М.: МГИУ, 2008. – 344 с.
3. Паршин В.С. Практическое руководство к программному комплексу DEFORM -3D: Учебное пособие. Екатеринбург: УрФу, 2010. – 122 с.
4. Автоматизированная система DEFORM -3D для расчета формоизменения в процессе штамповки на основе метода конечных элементов / Г.Я Гун, С.А. Стебунов, А.И. Лишний // Кузнечно-штамповочное производство. – 1992 – №9-10. – С. 4-7.

Поступила в редакцію 21.04.2017

Karazey V.D., Sokolan K.S., Reshetnik P.P. **Research of the stamping process of “coupling” component billet using DEFORM program.**

Designing technological processes using modern CAD/CAM/CAE systems allows reducing costs that can appear during production process, since there is a possibility of more precise forecasting of defects of different type, which are connected with imperfect technology. It gives a possibility to study processes of metal deformation under different types of instrument movement by changing friction conditions, plasticity model and rheological characteristics of the material. DEFORM program is intended for analysis of three-dimensional yield of metal under different process of metal forming operation. Usage of the program gives a possibility to forecast the character of metal forming during forming operation, and due to this fact, costs of experimental researches are considerably reduced. Using DEFORM program allows to research changes of movement and stresses values that appeared depending on time of process running.

Key words: extruding, forming operation, modelling, stamping punch.

References

1. Kolmogorov V.L. Mechanics of metal forming. Ekaterinburg: publ. of Ural STU, 2001. 836 p.
2. Shestakov N.A. Calculations of metal forming processes. Solutions of tasks by energy methods: Teaching aid. M.: MSIU, 2008. 344 p.
3. Parshin V.S. Practical manual to DEFORM -3D program complex: Teaching aid. Ekaterinburg, Ur-Phu, 2010. 122 p.
4. DEFORM -3D computer-based system for calculating forming during stamping process on the basis of finite element method / G.Ya. Gun, S.A. Stebunov, A.I. Lishniy. Press forging production, 1992, №9-10, p. 4-7.