

# Наукова теорія пластичності і деформовності металів

Методичні вказівки для самостійної роботи

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Вінницький національний аграрний університет

Кафедра загальнотехнічних дисциплін та охорони праці

## НАУКОВА ТЕОРІЯ ПЛАСТИЧНОСТІ І ДЕФОРМОВНОСТІ МЕТАЛІВ

Методичні вказівки для самостійної роботи

для аспірантів

за напрямком підготовки

132 – «Матеріалознавство»

Затверджено

на засіданні навчально-методичної Ради

Вінницького національного аграрного

університету

протокол №6 від 7 грудня 2020 р.

Вінниця ВНАУ 2020

Методичні вказівки для самостійної роботи з дисципліни «Наукова теорія пластичності і деформовності металів» для аспірантів за напрямком підготовки 132 – «Матеріалознавство» / Укл.: Р. І. Сивк. – Вінниця: ВНАУ, 2020. - с.

Затверджено на засіданні кафедри  
загальнотехнічних дисциплін та охорони праці  
протокол №1 від 25 серпня 2020 р.

Укладач: Сивак Роман Іванович, д. т. н., доцент.

Відповідальний за випуск: Сивак Р. І., д. т. н., доцент

Навчально-методичне видання

© Р. І. Сивак

©Вінницький національний аграрний університет, 2020

# ЗМІСТ

## Вступ

1. Принцип роботи програмного комплексу DeForm-3D
2. Моделювання процесу зворотного видавлювання
  - 2.1. Створення геометрії заготовки
  - 2.2. Налаштування проекту
  - 2.3. Розрахунок процесу

## Список навчально-методичної літератури

## ВСТУП

За останні роки активний розвиток інформаційних технологій зробив можливим їх широке застосування в навчальному процесі при підготовці висококваліфікованих фахівців в області обробки металів тиском. В цьому методичному виданні представлено комп'ютерне моделювання процесу видавлювання металу, в умовах осесиметричної деформації за допомогою методу скінченних елементів в спеціалізованому програмному комплексі DEFORM. Моделюється процес зворотного видавлювання заготовки із сталі. За результатами моделювання будується графік зміни зусилля видавлювання в залежності від переміщення. Розглядаються основні стадії видавлювання. За картинам зміни координатної сітки проводиться аналіз закономірностей течії металу. За графіками розподілу інтенсивностей напружень і деформацій встановлюються зони інтенсивних зсувних деформацій і зони утрудненою деформації. На підставі графіків зміни зусиль пресування в залежності від переміщення інструменту, картин зміни координатних сіток, векторних полів переміщень і швидкостей, розподілу інтенсивностей напружень і деформацій проводиться аналіз напружено-деформованого стану та формулюються висновки про переваги і недоліки певних методів.

Порівняння результатів комп'ютерного моделювання з результатами аналітичних рішень і експериментальними даними показують, що моделювання в програмному комплексі DEFORM достовірно відтворює процес пресування металів. Метою навчально методичного видання є навчання студентів на прикладі процесу видавлювання навичкам використання комп'ютерного моделювання різноманітних процесів обробки металів тиском, аналізу результатів моделювання і використання результатів аналізу для проектування реальних технологічних процесів.

## 1. Принцип роботи програмного комплексу DeForm-3D

Яким чином створити і налагодити проект для системи DeForm-3D. Будемо розглядати універсальний варіант холодного або гарячого штампування з використанням універсального набору інструментів DeForm-3D Pre Processor. DeForm-3D є набором програм поєднаних разом єдиним протоколами обміну даних (рис. 1):

- Основна частина - DeForm-3D, це програма, яка взаємоінтегрує решту систем DeForm-3D
- Набір програм Pre Processor, які є різними варіантами конфігурації програми Pre Processor
- Програма Simulation, яка розраховує те що було створено в Pre Processor
- Програма Post Processor дозволяє інтерпретувати дані отримані розрахунок в Simulation

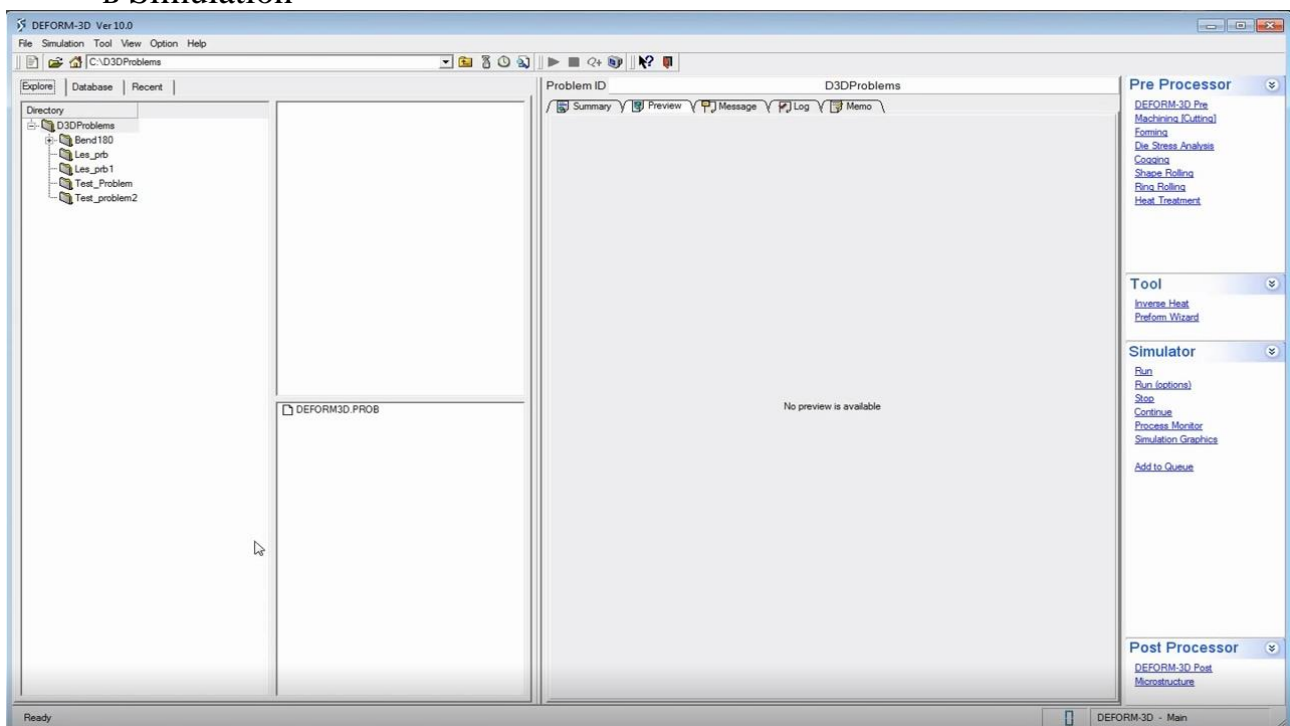


Рис. 1

В головному вікні розміщено набір директорій. Проекти зберігаються там в окремій папці. Кожен проект повинен мати свою унікальну назву. В одній папці не може зберігатися зразу два проекти.

Для створення нового проекту треба натиснути кнопку на панелі Problem Setup. За допомогою стандартного Pre Processor під вибраною директорією за умовчуванням (можна вказати кілька варіантів) створимо нову папку під певною назвою (рис. 2-4). І після цього запуситься вікно Pre Processor (рис. 5).

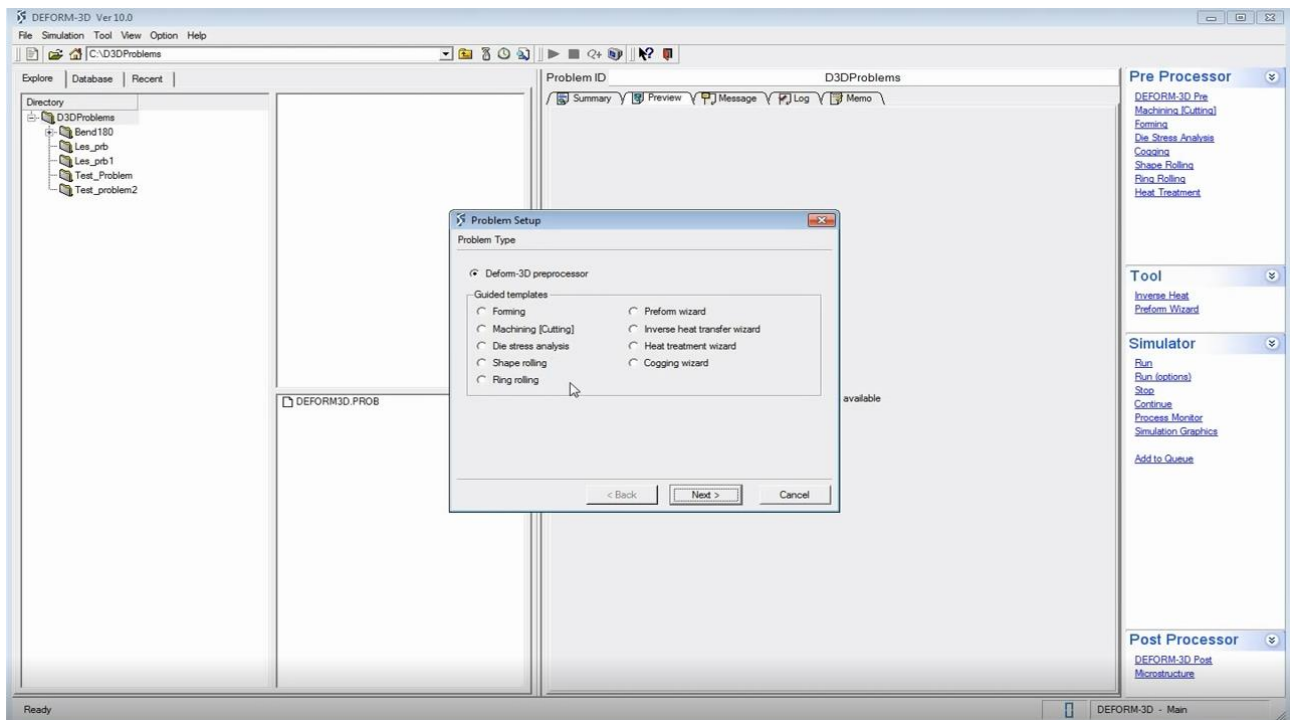


Рис.2

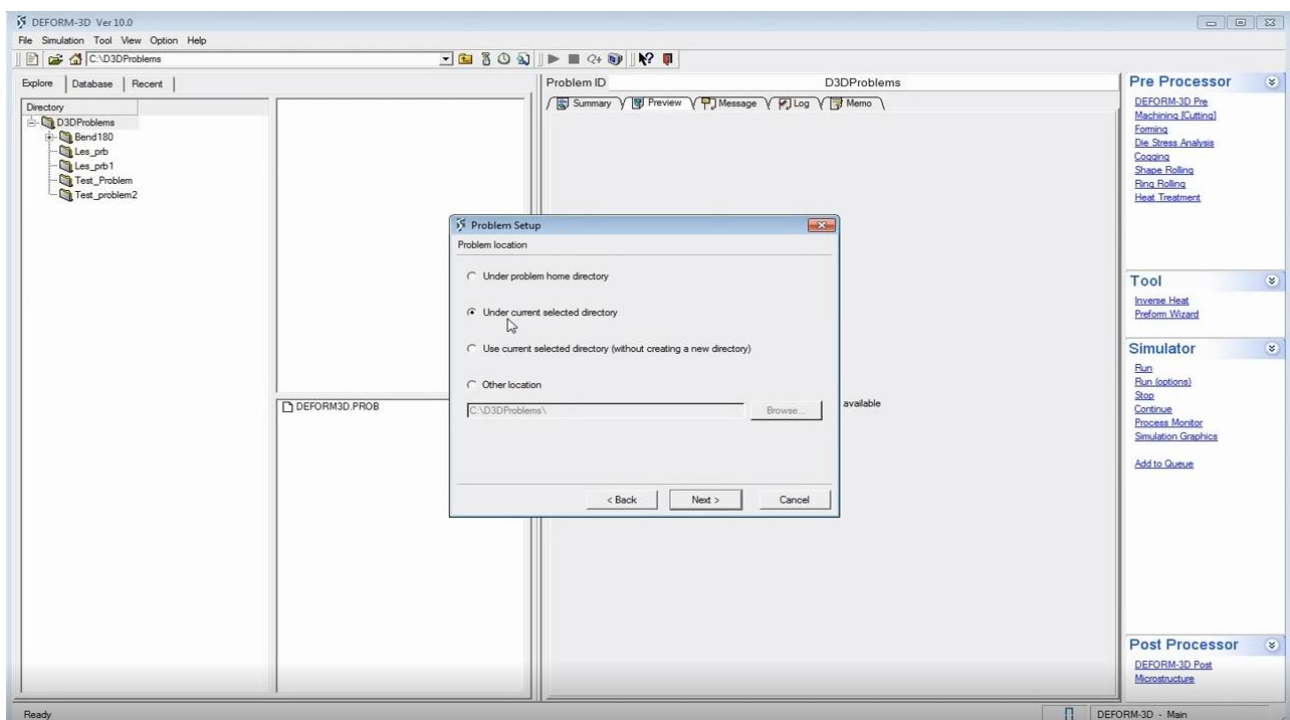


Рис. 3

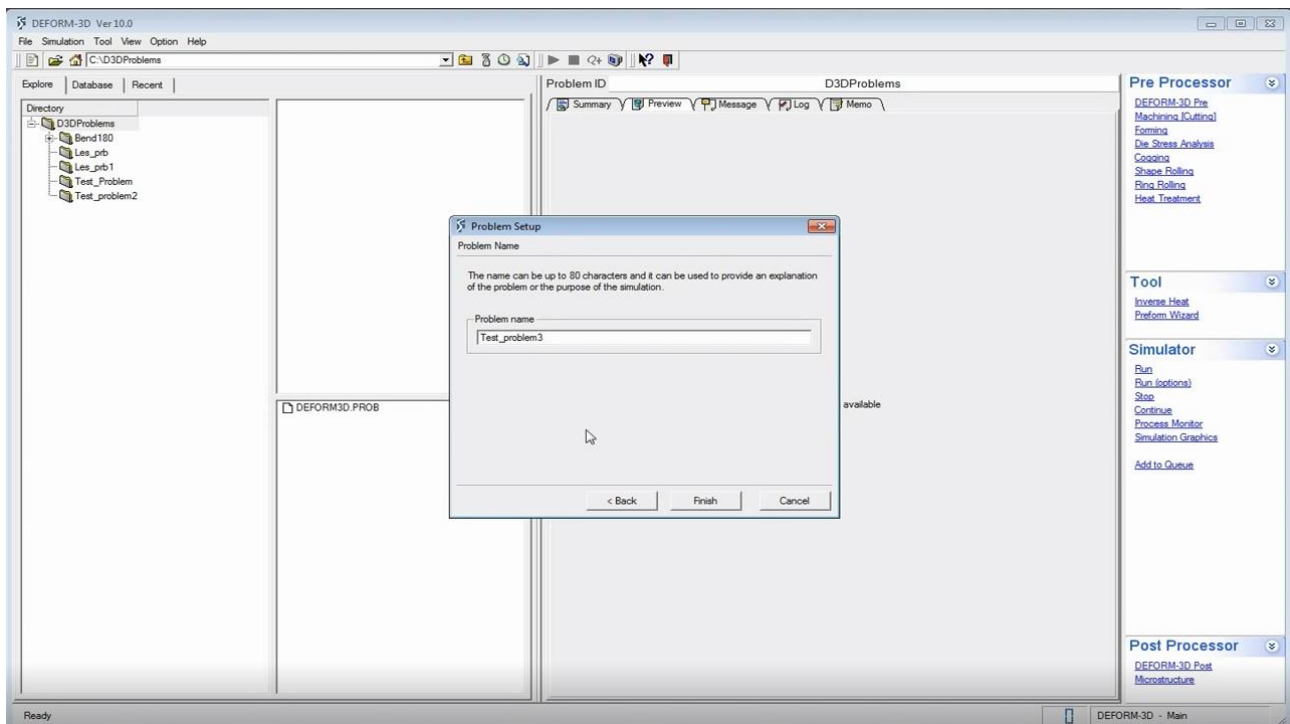


Рис. 4

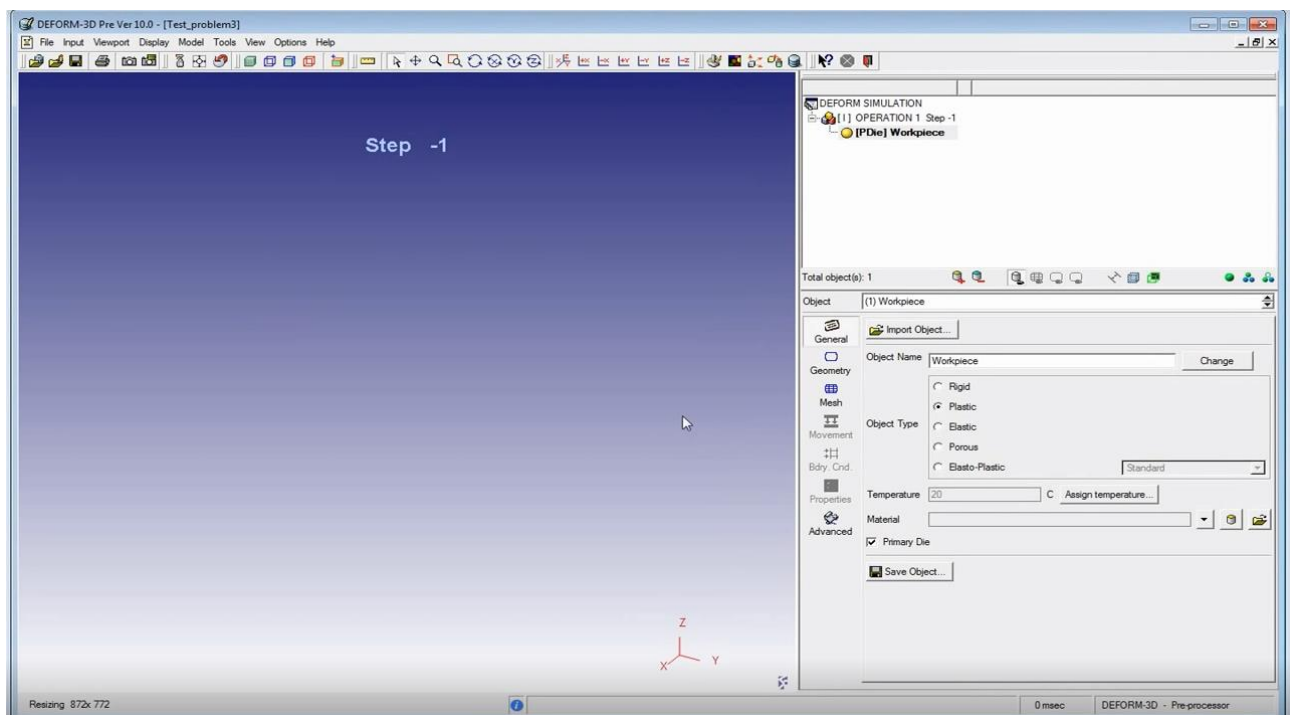


Рис. 5

Pre Processor дозволяє створювати проект і вказує що саме буде виконувати проект в ході Simulation.

Вікно розбивається на 3 частини:

1. Стандартна панель інструментів Windows
2. Вікно візуалізації
3. Вікно налаштувань об'єкту



- 3.1. Дерево об'єктів для кожної з операцій. Операцій може бути кілька. Після однієї маніпуляції із заготовкою передаємо на наступну операцію змінивши інструмент тощо.
- 3.2. Набір властивостей вибраного об'єкту.

## 2. Моделювання процесу зворотного видавлювання

### 2.1. Створення геометрії заготовки

Геометрію заготовки можна імпортувати (рис. 6), але оскільки заготовка це просте геометричне тіло можна скористатися можливостями, що надає DeForm. Обираємо циліндричну заготовку діаметром 160 мм, висотою 35 мм, збережемо за замовчуванням кількість секцій заготовки – 120 (рис. 7).

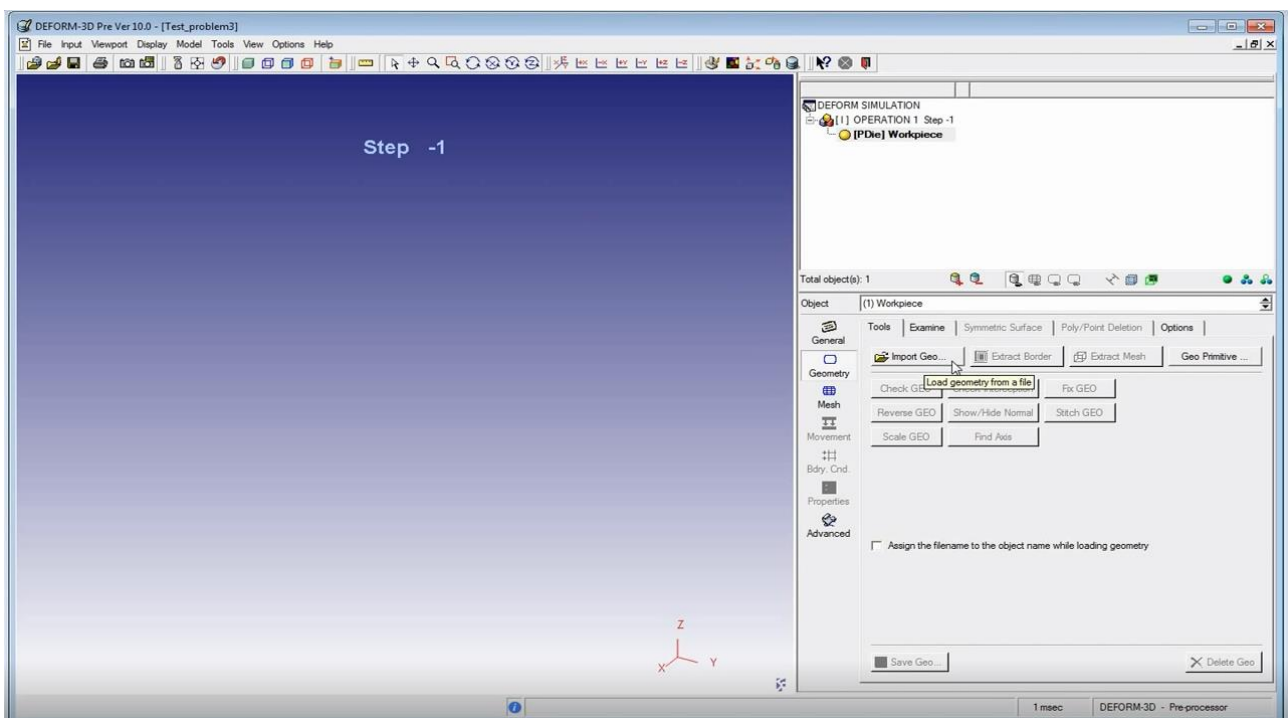


Рис. 6

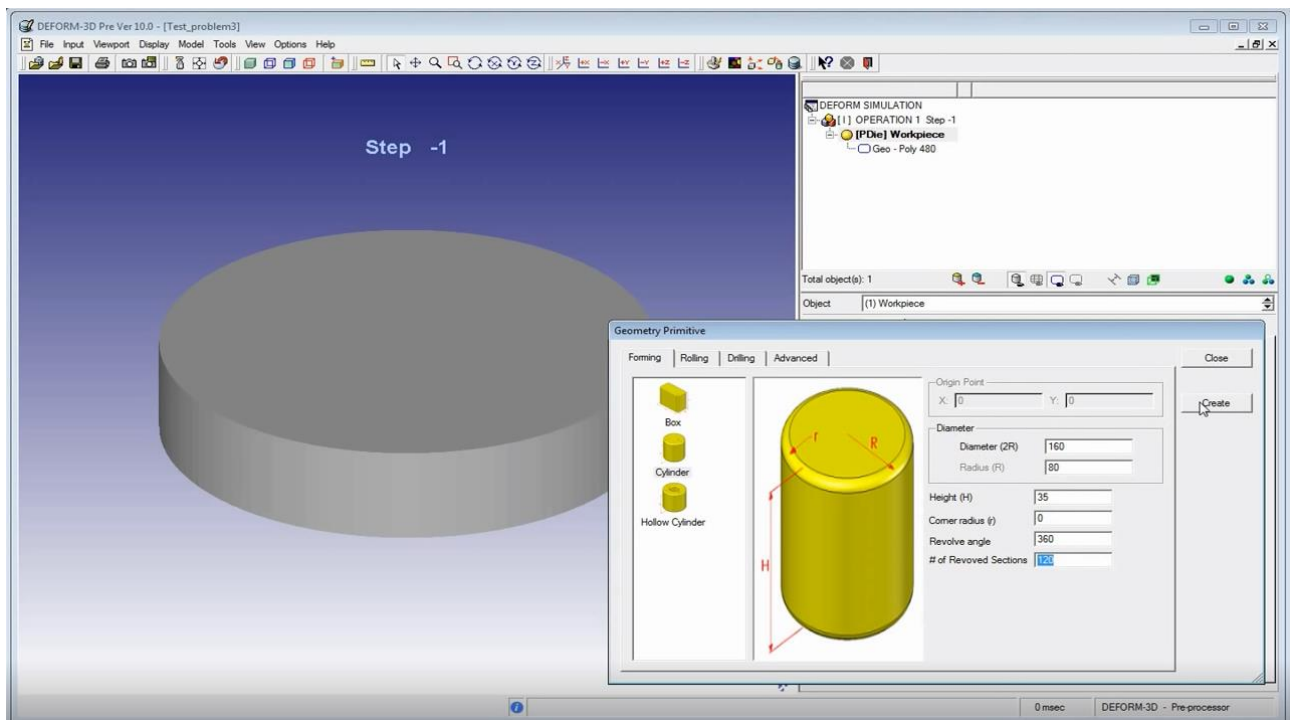


Рис. 7

З отриманою заготовкою будемо виконувати операцію зворотного видавлювання. Для того щоб здійснити цю операцію необхідно додати ще два об'єкта: пуансон і матрицю. Створюємо пуансон і матрицю (рис. 8). В дереві з'явилося 3 об'єкта.

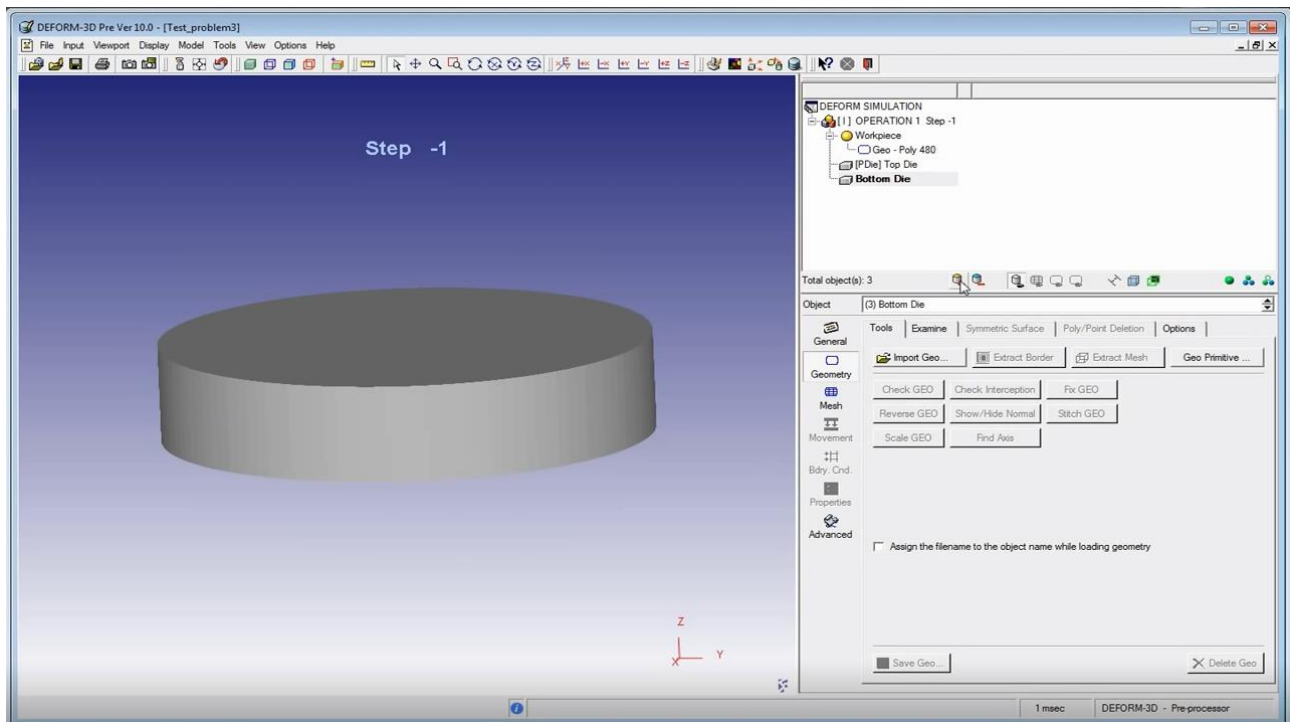


Рис. 8

Зверніть увагу що заготовка є пластичним об'єктом, в той час як пуансон і матриця є твердими недеформувемими об'єктами, тобто їх структура не буде змінюватися після взаємодії з іншими об'єктами.

Імпортуємо геометрію інструменту (пуансон і матриця). Пуансон і матриця перебувають в таких положеннях в яких вони і повинні бути на початку при виконанні робочої операції, тобто зворотного видавлювання (рис. 9).

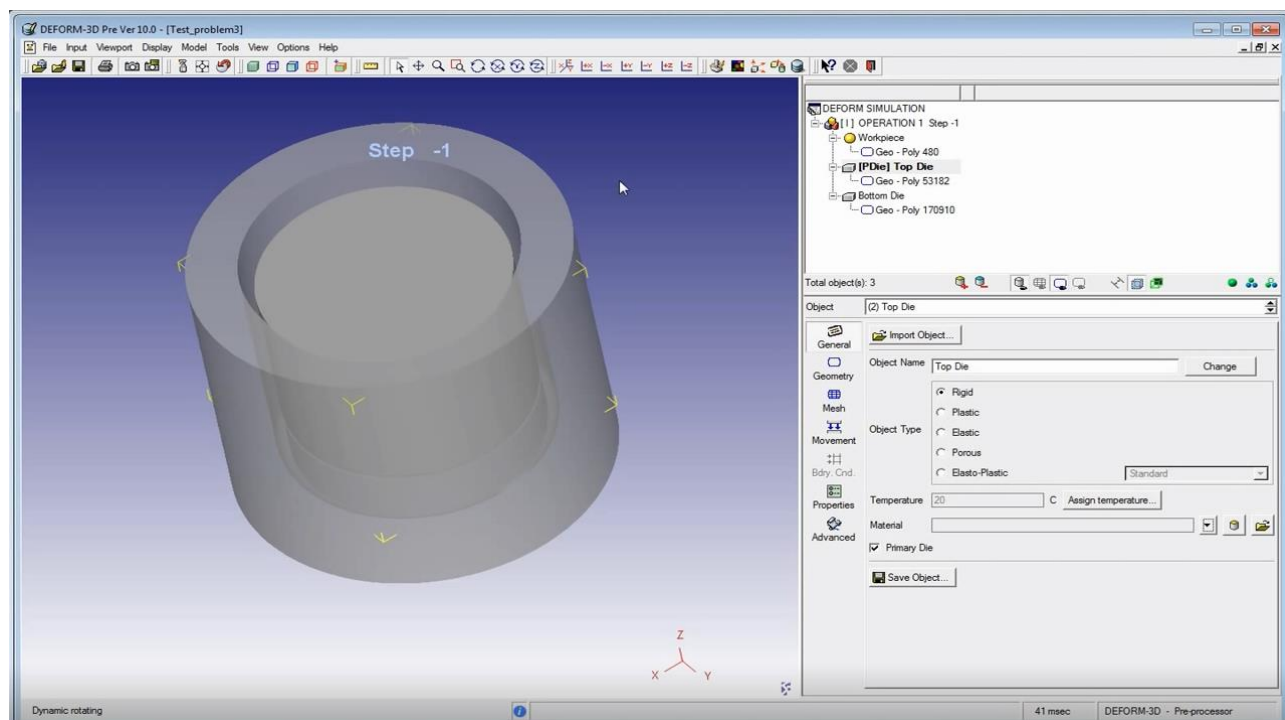


Рис. 9

### 3. Налаштування проекту

Починаємо з налаштувань заготовки. Вкладка Mesh є ключовою при роботі з будь-яким тілом крім твердого (рис. 10). Тут налаштовується кількість кінцевих елементів, на які буде розбита заготовка в ході розрахунку операції. За замовчуванням система пропонує кількість кінцевих елементів – 32000. Це непоганий варіант, але для складних розрахунків цього зазвичай недостатньо. Все ж погодимся з цією пропозицією, оскільки в іншому випадку процес розрахунку значно затягнеться. Налаштувати процес розбиття заготовки на кінцеві елементи можна достатньо детально, вказавши яким чином будуть розподілені кінцеві елементи по низці параметрів.

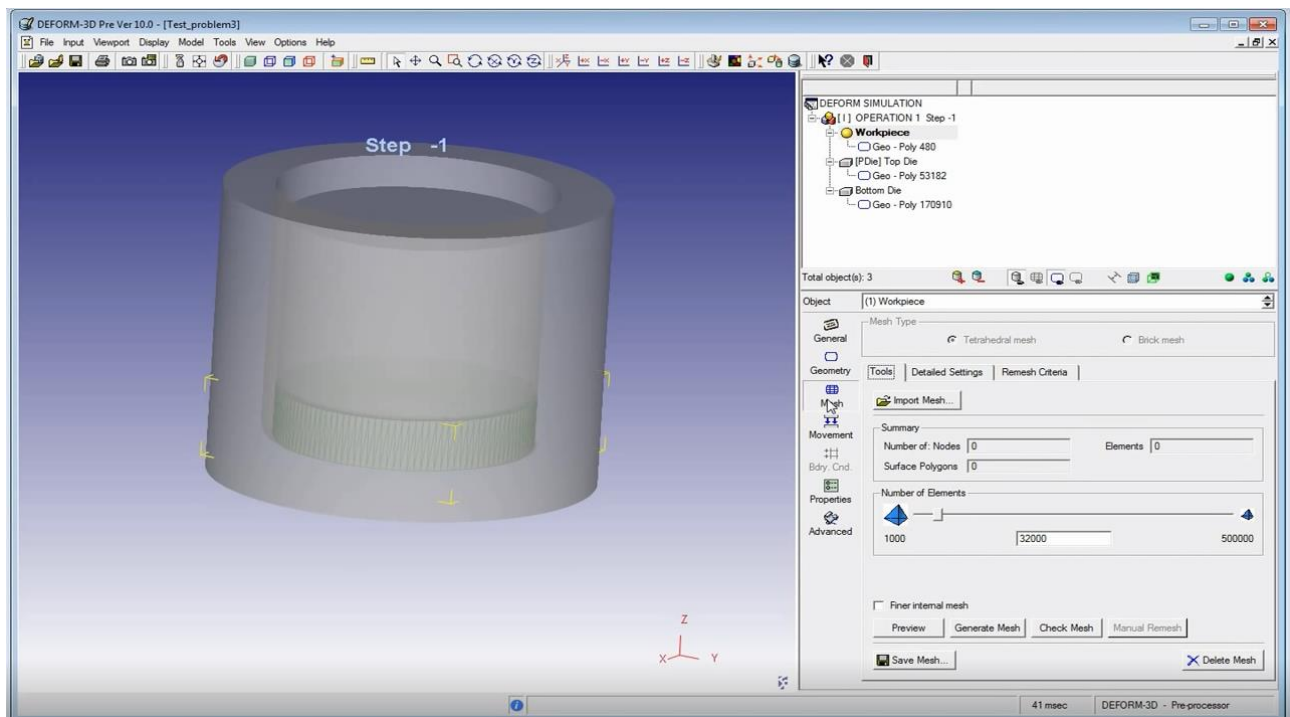


Рис. 10

Якщо після попереднього перегляд утворена сітка є задовільною, натискаємо Generate Mesh (рис. 11), після чого система починає розраховувати реальну сітку. Після того як закінчився розрахунок необхідно перевірити правильність виконання операції кнопкою Check Mesh (рис. 12). Якщо після цього з'являється повідомлення Mesh is Ok, можна продовжувати.

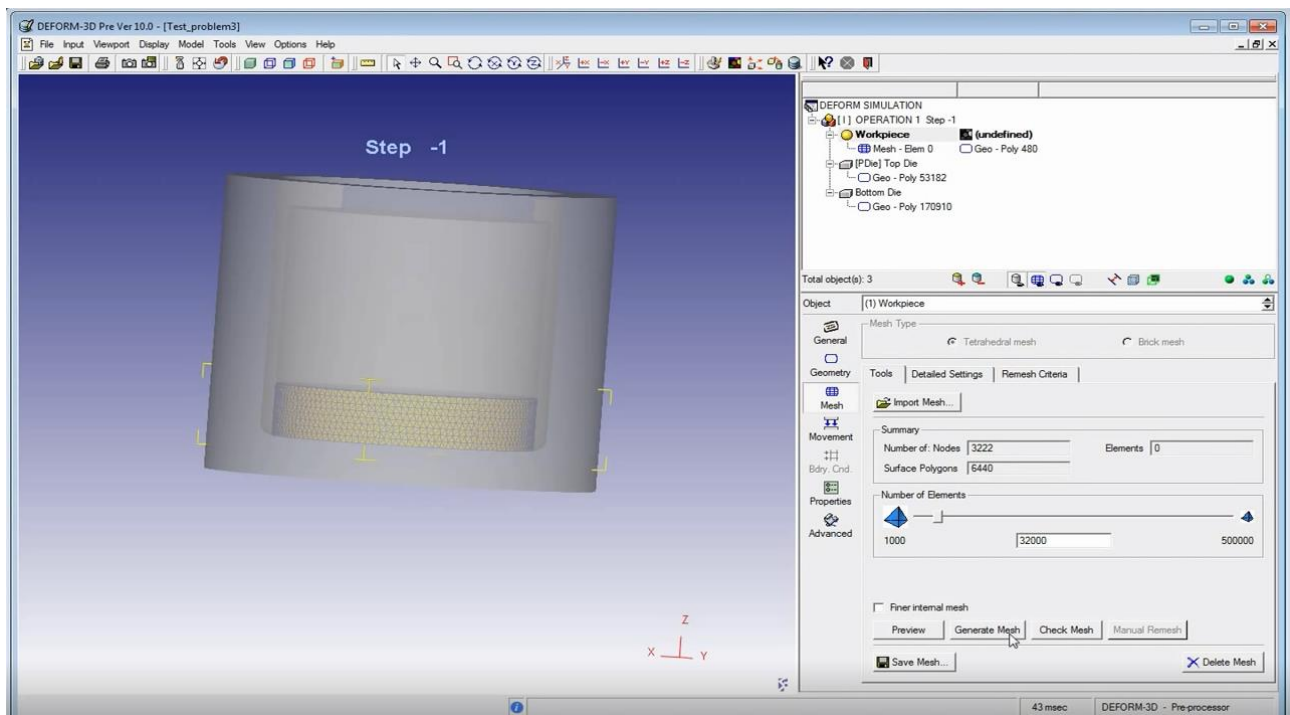


Рис. 11

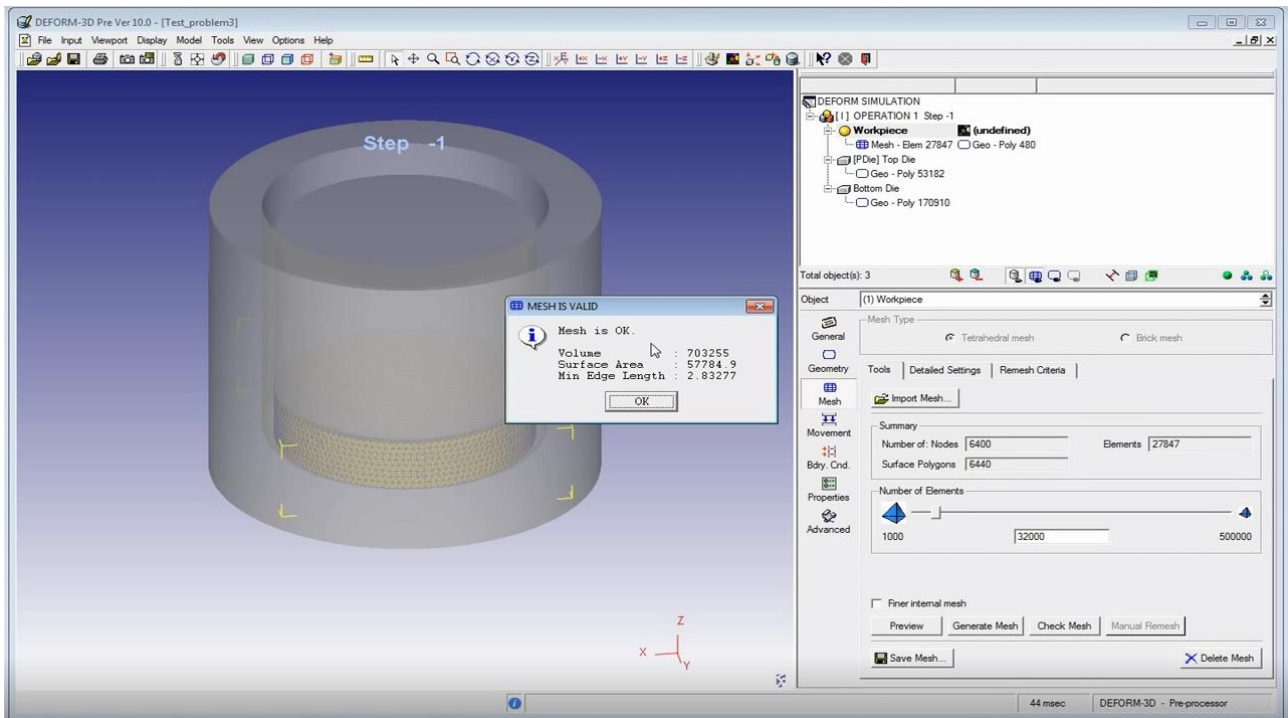


Рис. 12

Наступний крок – задання руху пуансона. Для цього натискаємо Movement і задаємо яким чином буде рухатися пуансон (рис. 13). Рухатися він буде по осі  $-z$  зі швидкістю 10 мм/с.

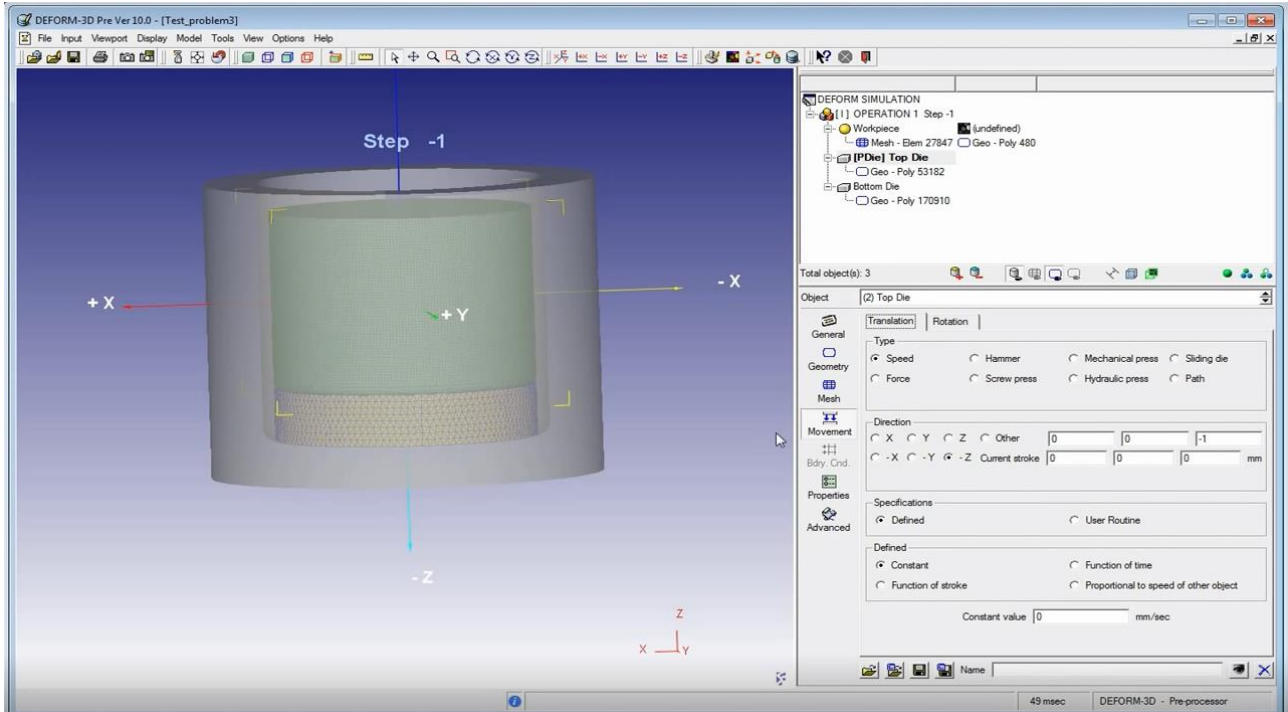


Рис. 13

Останнє що необхідно зробити це повернутись до заготовки і увімкнути компенсацію об'єму Properties (рис. 14), оскільки під час деформування може виникнути ситуація коли частина об'єму може бути втрачена в ході перерахунку,



тому що в ході ітераційного процесу похибки неминучі. Система буде займатися втратами об'єму в результаті похибок розрахунку. Вибираємо максимально можливе поглинання і розраховуємо об'єм заготовки (рис. 15). Тепер система буде підтримувати вказаний об'єм.

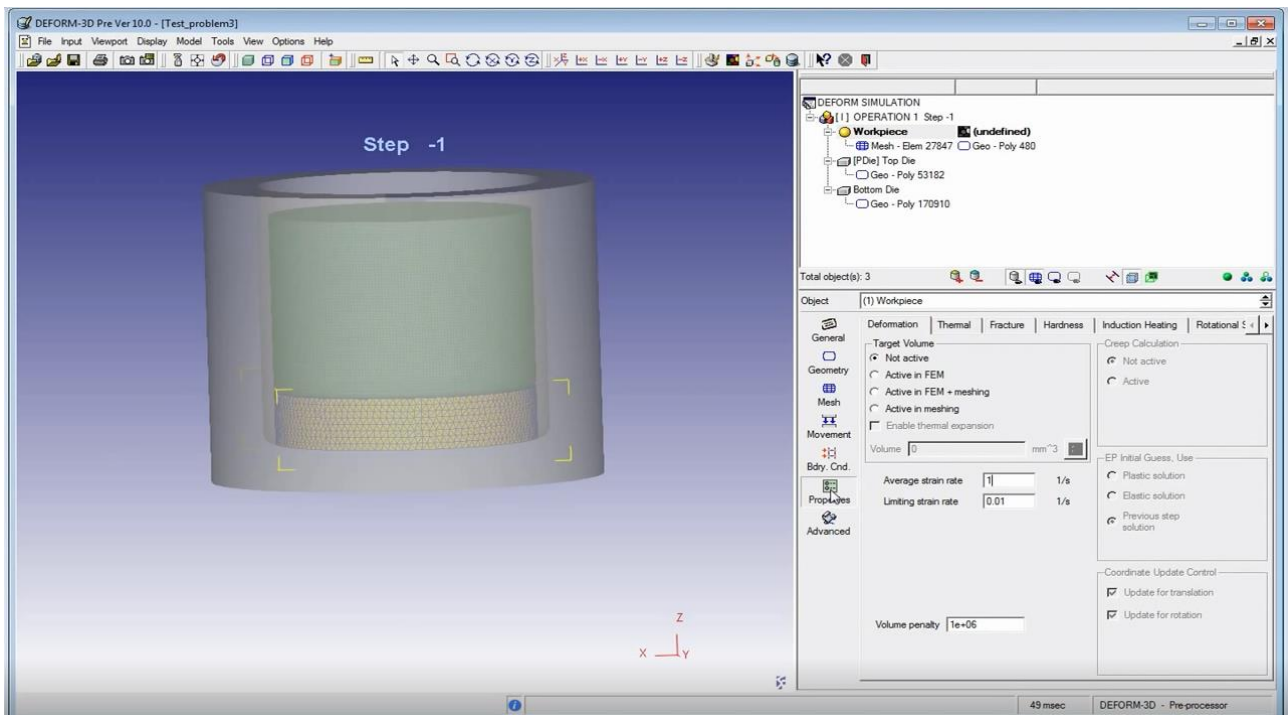


Рис. 14

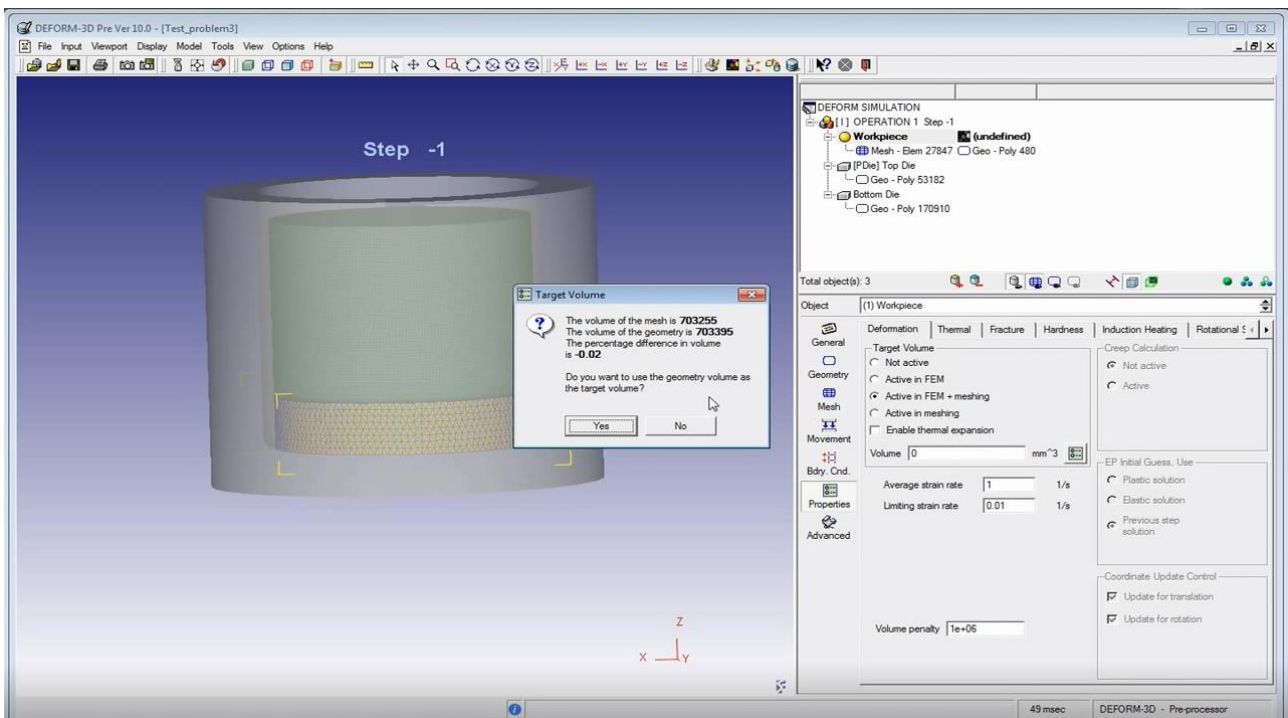


Рис. 15

Наступний крок – це необхідно вказати температуру заготовки і матеріал (рис. 16). Виберемо сталь, яка дозволяє вести розрахунок при 1200<sup>0</sup>C. І назначимо температуру (рис. 17).

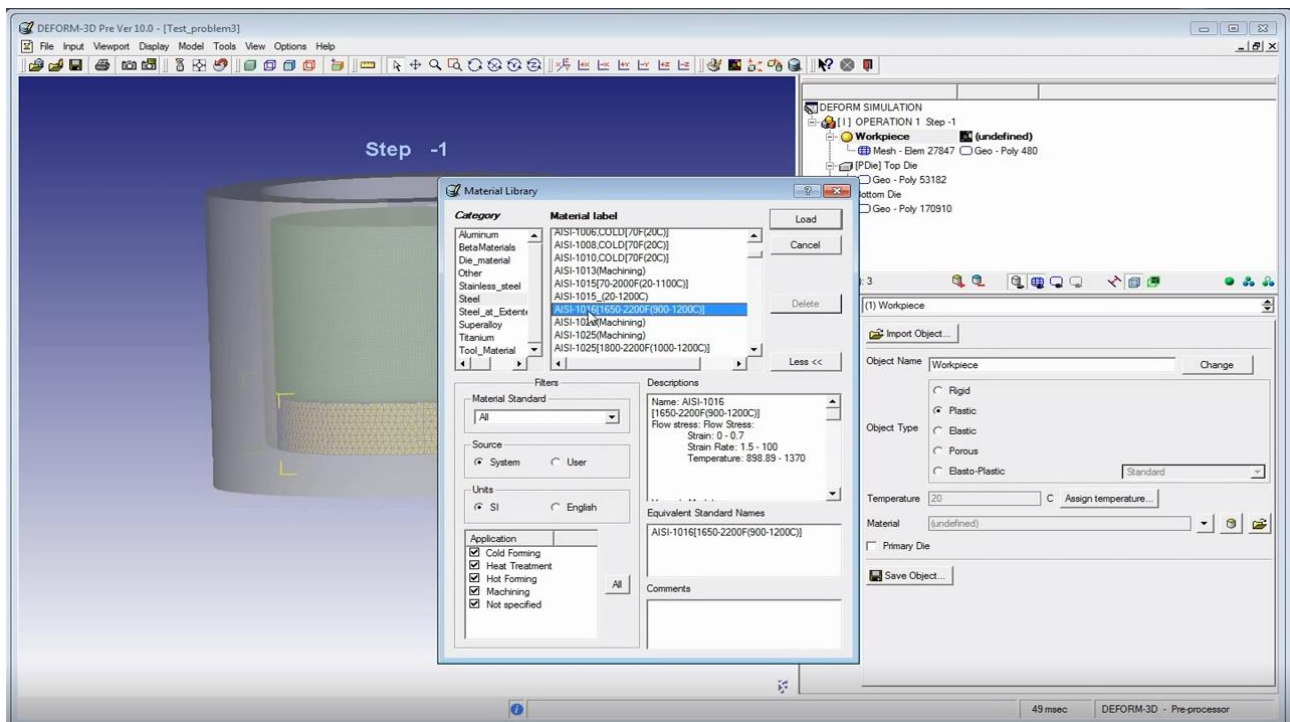


Рис. 16

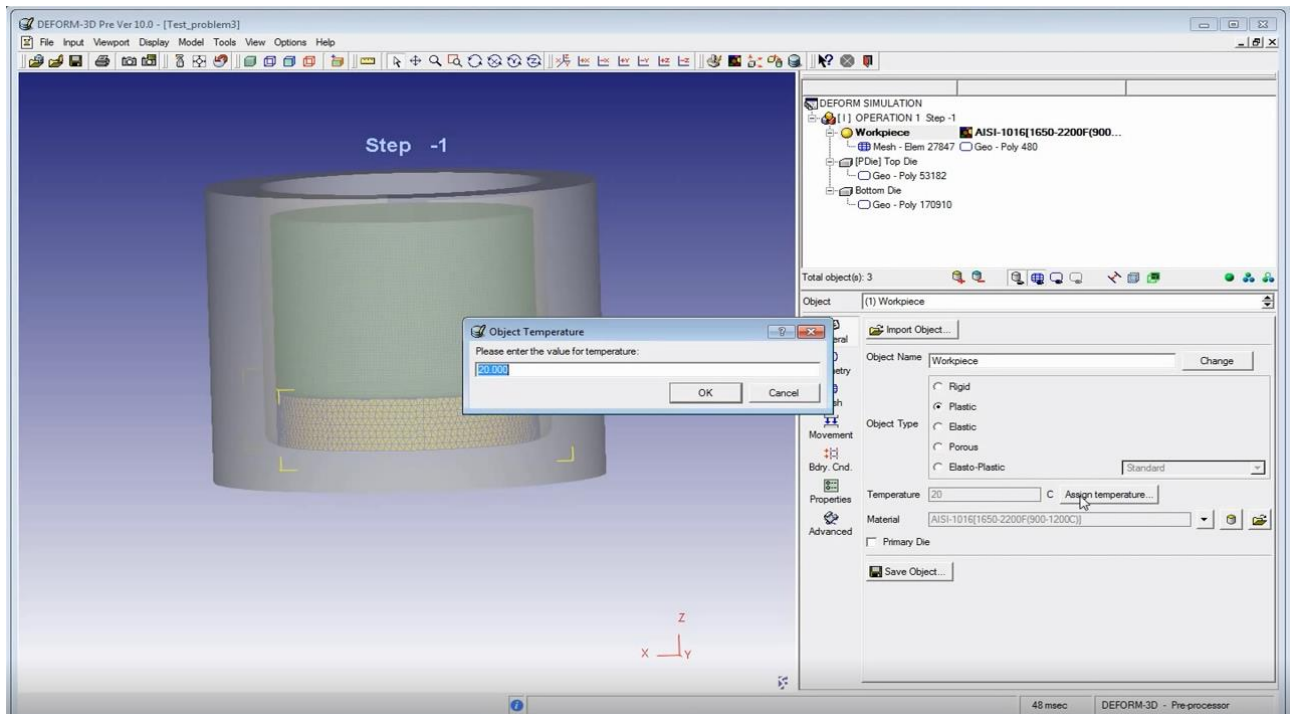


Рис. 17

Таким чином, створення оснащення завершено. Для того, щоб заставити створене оснащення працювати заходимо на Inter Object (рис. 18). Система запитає про можливість додавання стандартних міжоб'єктних зав'язків. Якщо

все зроблено правильно то система автоматично додасть зв'язки до пуансона і матриці із заготовкою.

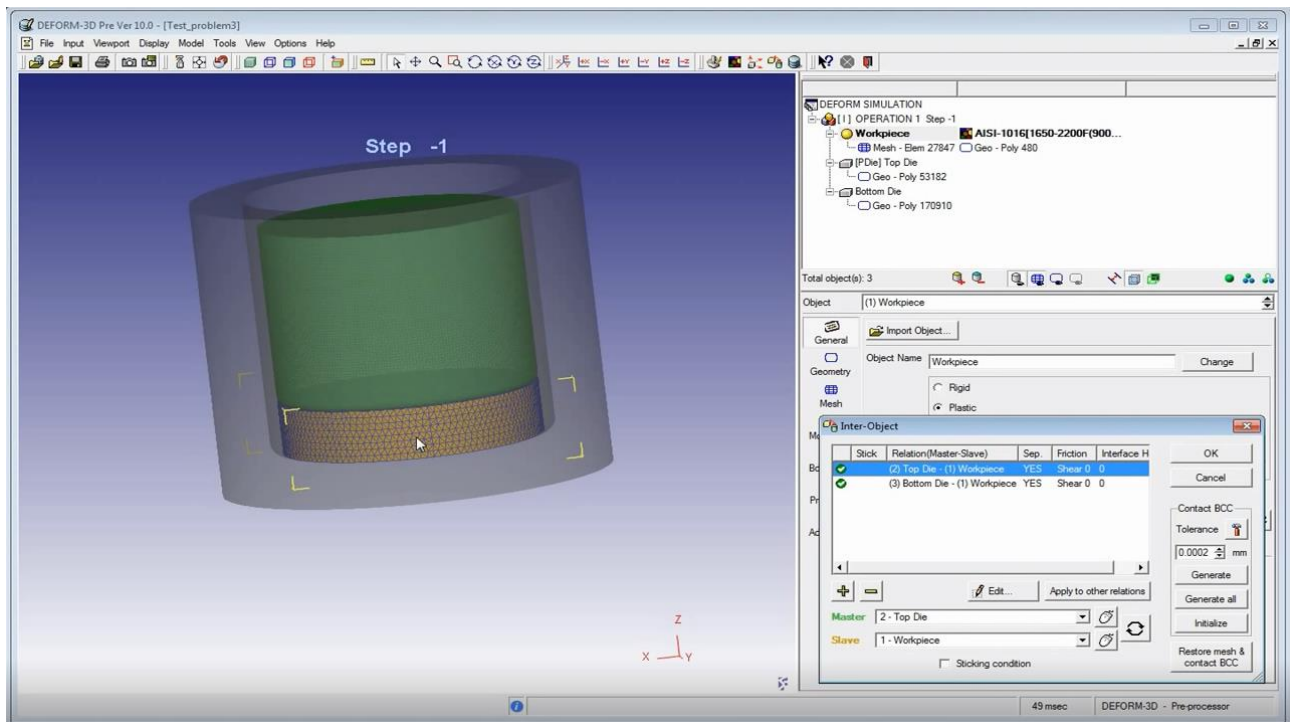


Рис. 18

Також в цьому вікні присутні налаштування тертя, тобто тертя між заготовкою і матрицею та заготовкою і пуансоном. Кнопкою Edit заходимо в налаштування (рис. 19) і вказуємо тип тертя. Приймаємо коефіцієнт тертя – 0,7. Натискання кнопки Apply to other relations дозволить застосувати автоматично налаштування тертя до всіх зав'язків.

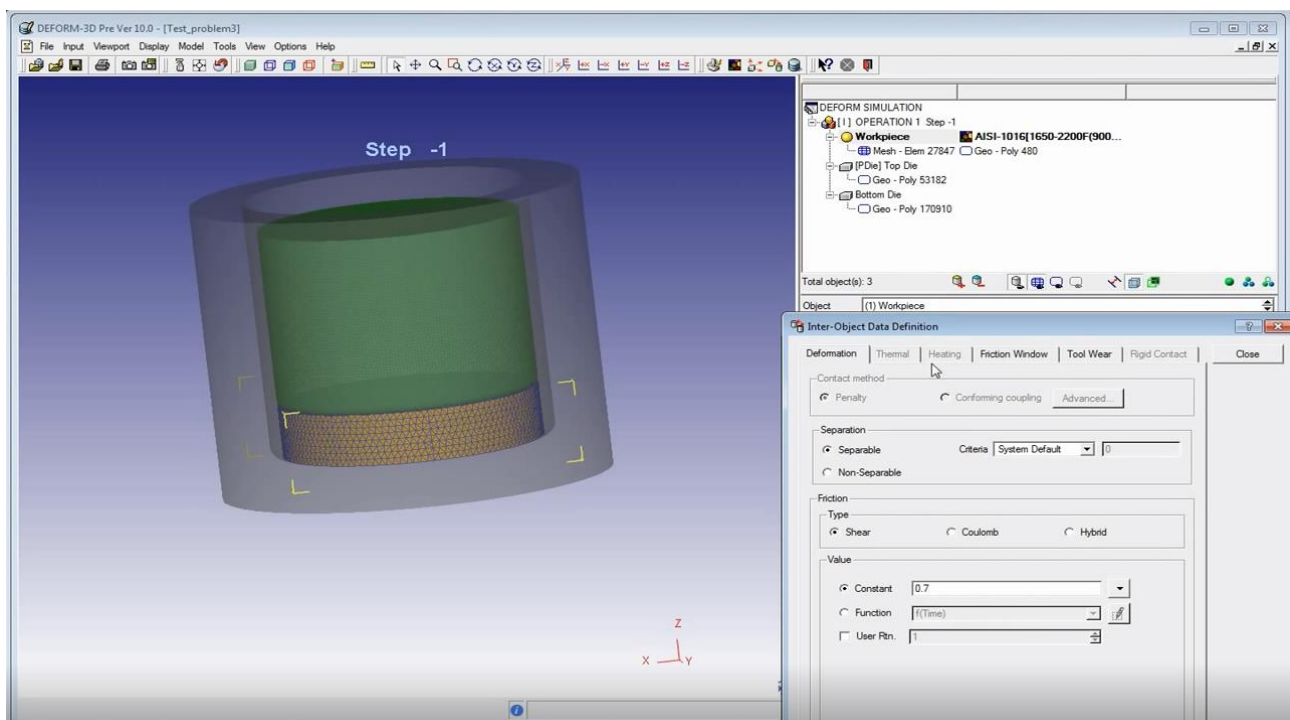




Рис. 19

Залишається вказати контакт між інструментом і заготовкою, натиснувши кнопку Tolerance (рис. 20). Таким чином автоматично розраховуються допуски і натисненням кнопки Generate all генеруються всі зв'язки. Якщо все зроблено правильно на поверхнях контакту з'являться зелені і сині точки, які візуалізують зони контакту (рис. 20) і система побачила що інструмент торкається заготовки.

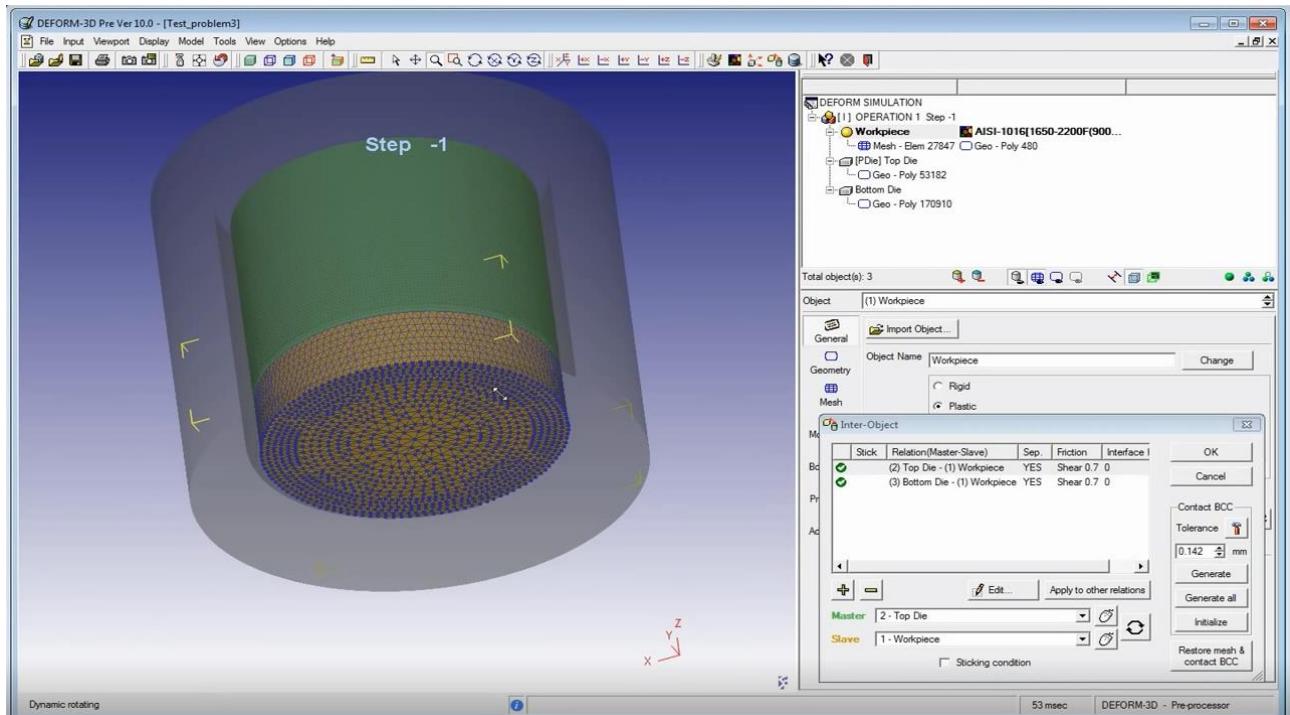


Рис. 20

На цьому закінчується початковий етап, в якому було задано матеріал, сітку, компенсацію об'єму, швидкість руху пуансона. Тепер необхідно налаштувати операцію в цілому. В розділі Simulation Controls дати назву симуляції і поточній операції (рис. 21). Наступний крок – це налаштування системи виміру. Обираємо – систему SI. Також обираємо тип розподілу деформації. Обираємо – Lagrangian Incremental.

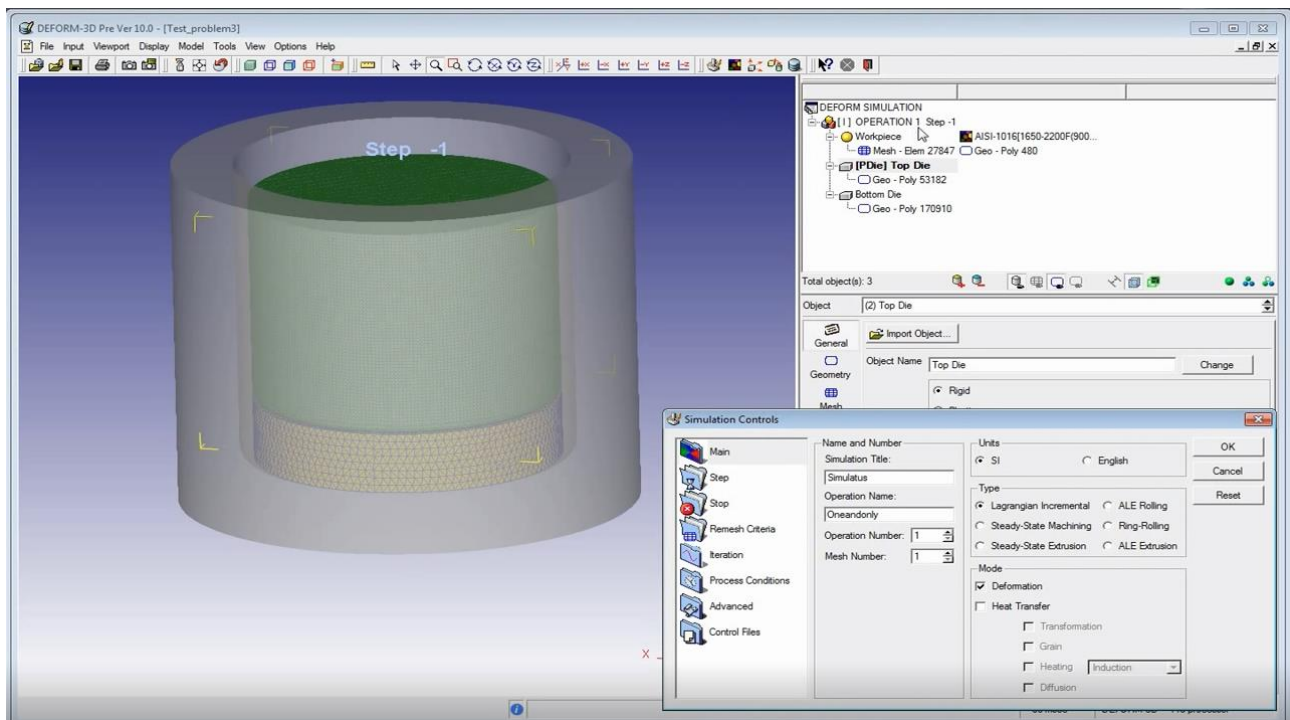


Рис. 21

Далі налаштовуємо кроки деформування (рис. 22). Кроки деформування мають кілька параметрів. Стартовий крок нумерується як номер -1. Кількість кроків це та кількість ітерацій, що відбудеться в ході симуляції. Нехай це буде – 100. Параметр Step Increment to Save це параметр яким визначається через скільки кроків буде зберігатися інформація для обробки в Post Processor.

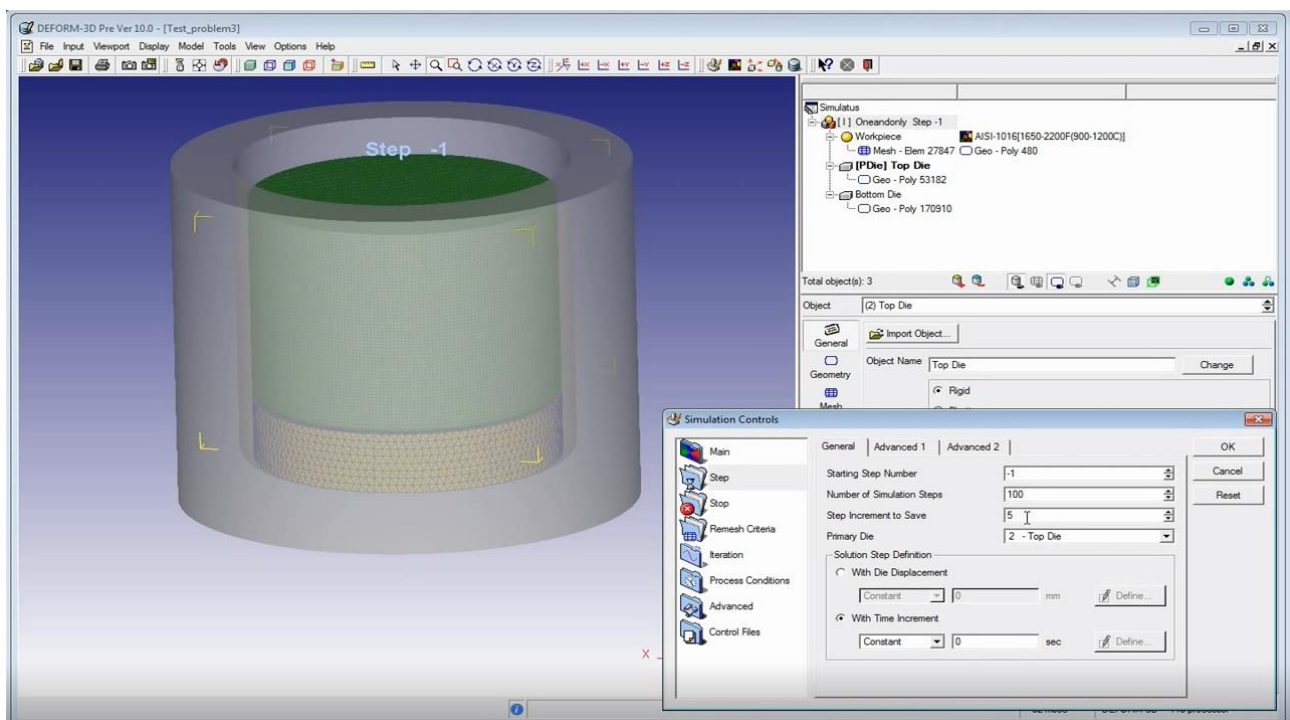


Рис. 22

Вкладка Stop вказує при яких умовах зупиняється процес. Зупинимо операцію коли пуансон пройде 30 мм (рис. 23). При цьому на вкладці Step відмітимо що зміщення пуансона на кожному кроці має складати 0,34 мм. Це дещо перевищує заданий критерій зупинки, але буде відповідати тому щоб пуансон дійшов практично до дна матриці. Таким чином, якщо все налаштовано правильно, операція буде закінчена дещо раніше чим пройде 100 кроків.

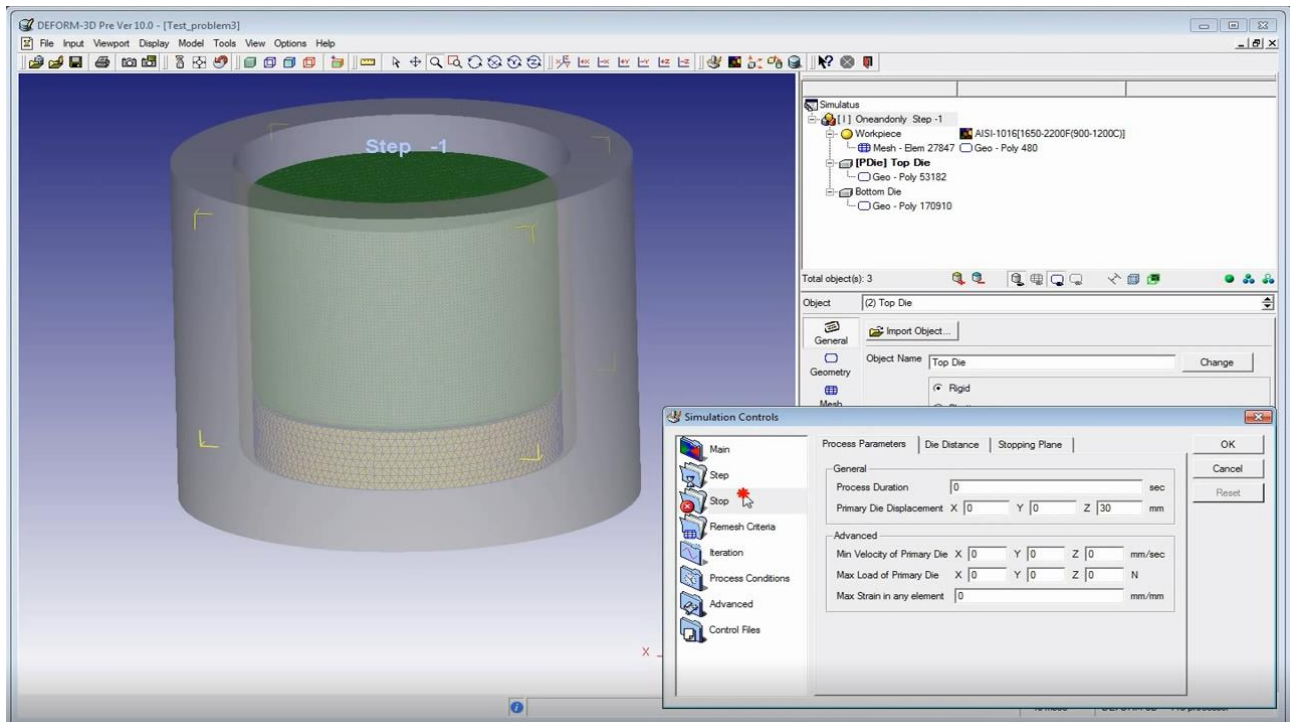


Рис. 23

В умовах процесу потрібно задати температуру (рис. 24).

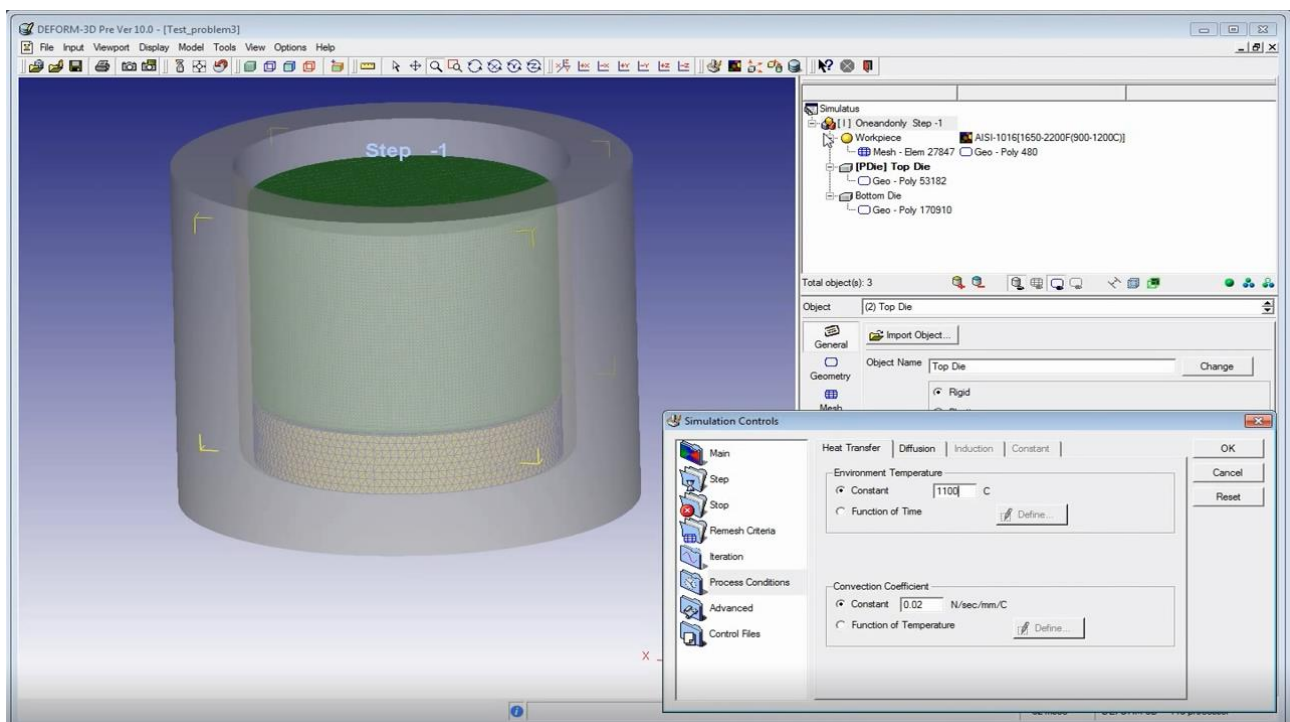


Рис. 24

Тепер необхідно перевірити чи можливо згенерувати базу даних (рис. 25). Якщо скрізь навпроти пунктів помічено зеленим і з'явився напис Database can be generated це означає що задача виконана правильно.

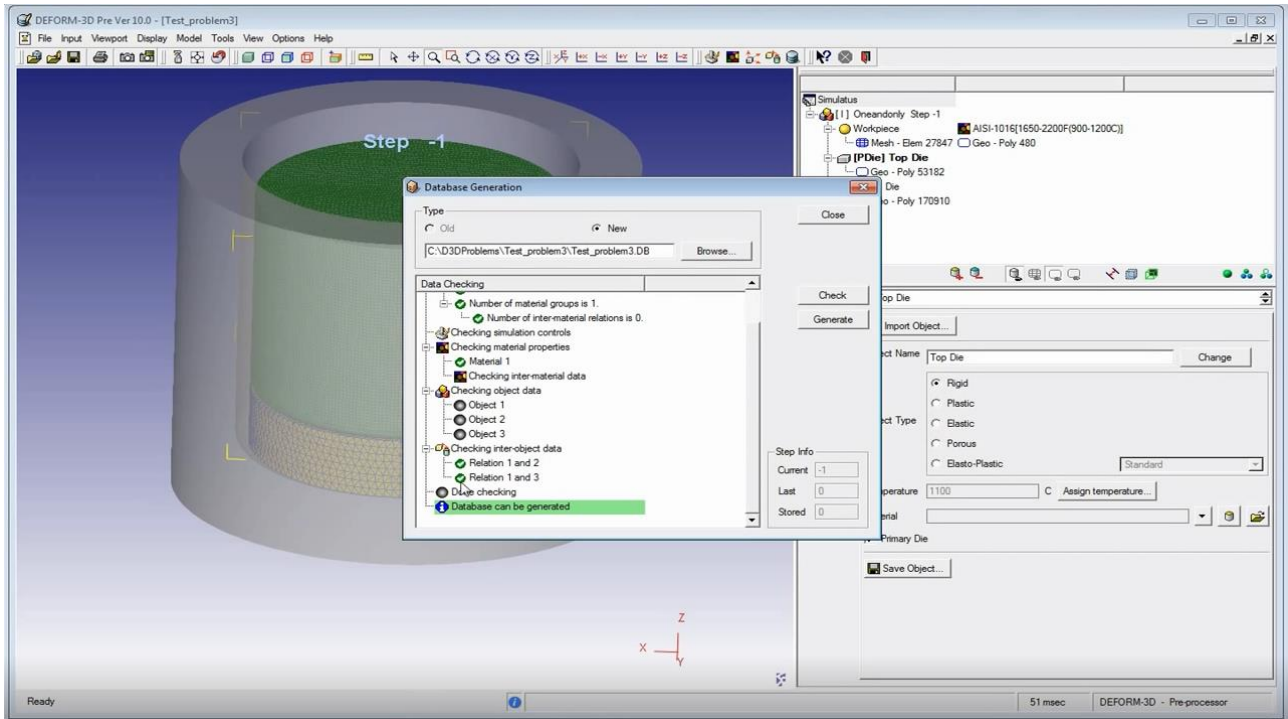


Рис. 25

Якщо після натиснення кнопки Generate з'являється напис Done writing database це означає, що процес відбувся успішно і все збережено (рис. 26).

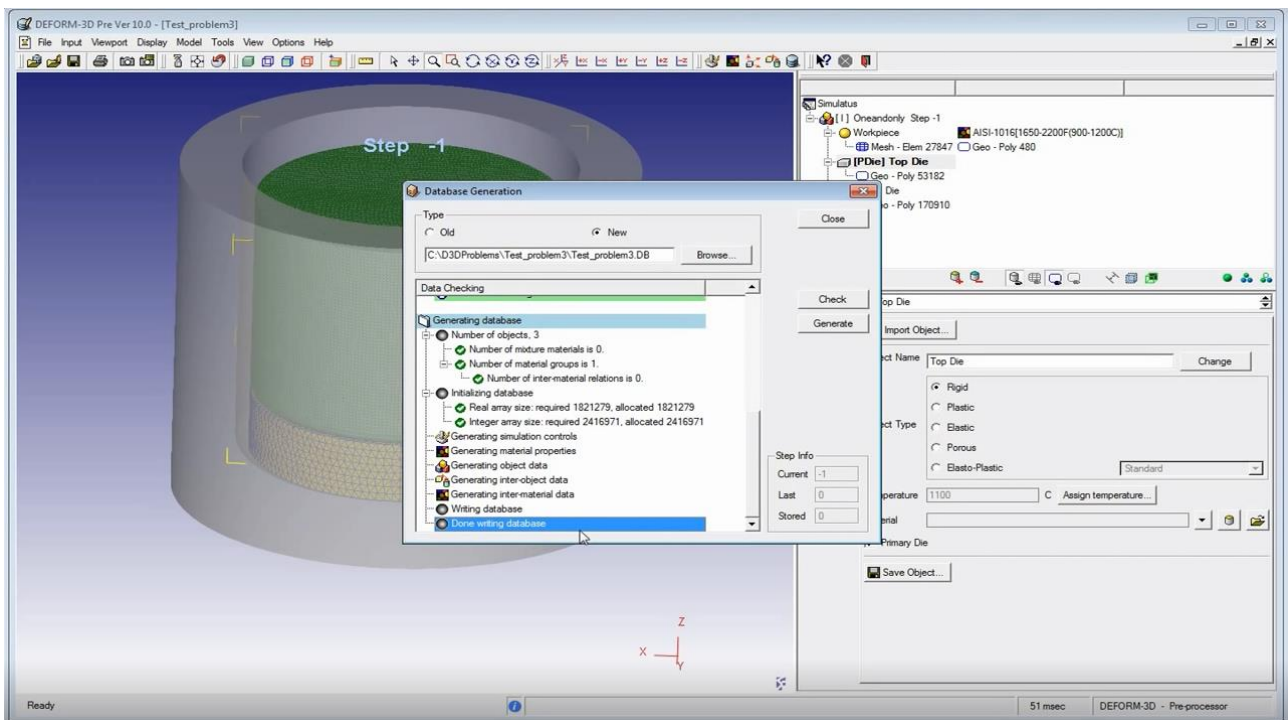




Рис. 26

Тепер зберігаємо налаштування Pre Processor і виходимо. В Pre Processor показані попередній перегляд операції і сформований системою набір файлів (рис. 27).

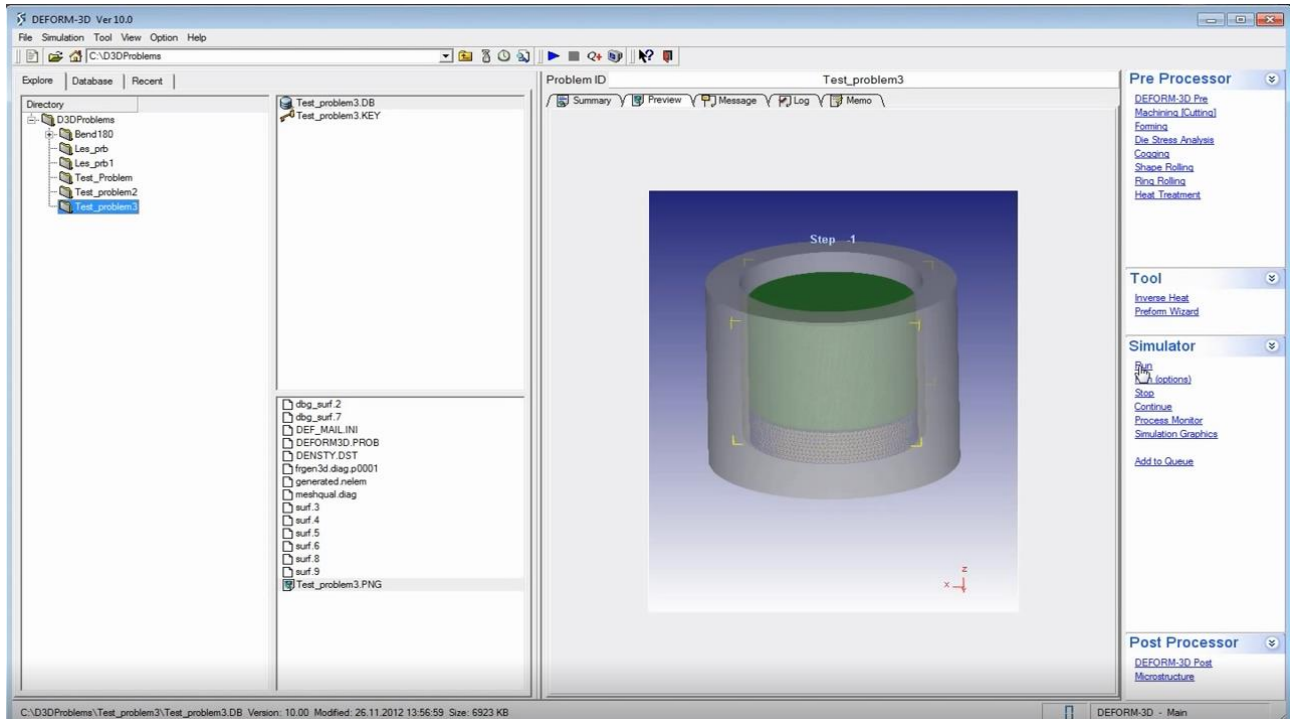


Рис. 27

### 2.3. Розрахунок процесу

Запустити розрахунок поточної проблеми можна натиснувши на кнопку Start на панелі або на кнопку Run в розділі Simulator. В розділі Message система буде виводити набір повідомлень які будуть відображати те що відбувається із заготовкою в ході розрахунку. В меню Simulation пункт Simulation Graphics дозволяє спостерігати за процесом зі сторони. Для цього достатньо приховати зайві інструменти, наприклад - матрицю (рис. 28). І тоді можна спостерігати за деформуванням заготовки (рис. 29). Система буде автоматично відслідковувати процес деформування. За допомогою кнопки Select Database Step можна візуалізувати певний крок (рис. 30).

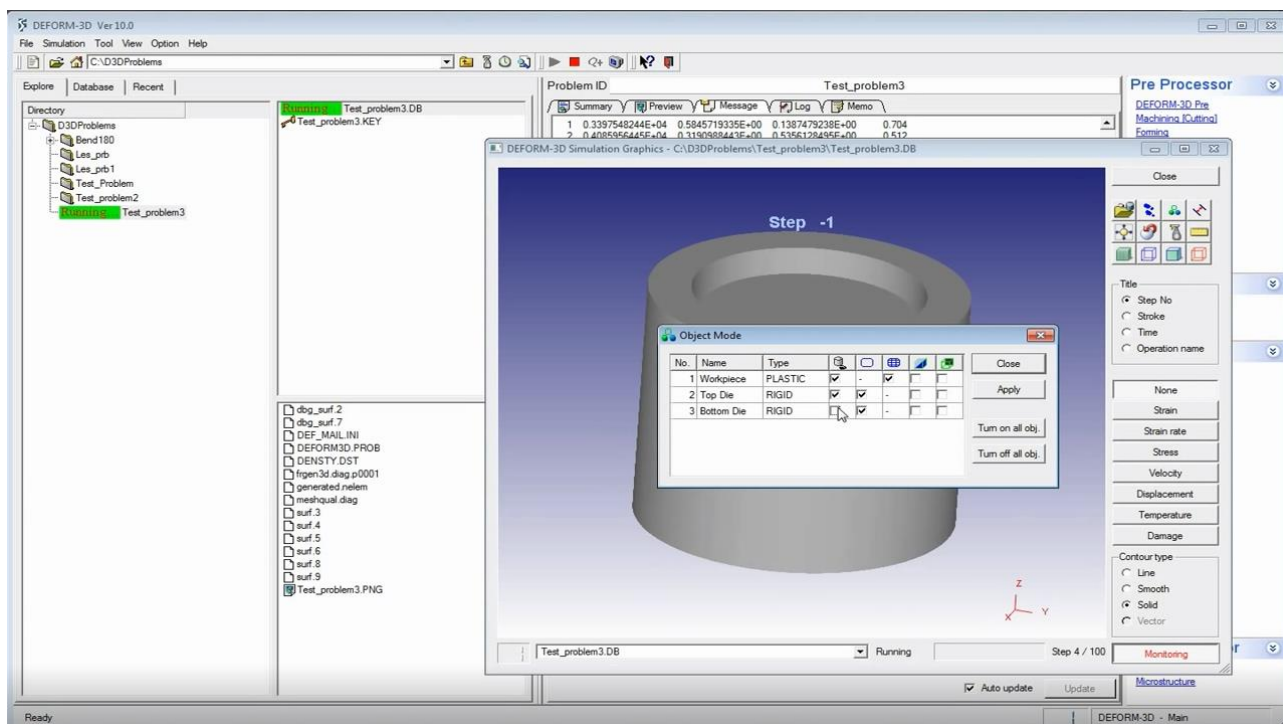


Рис. 28

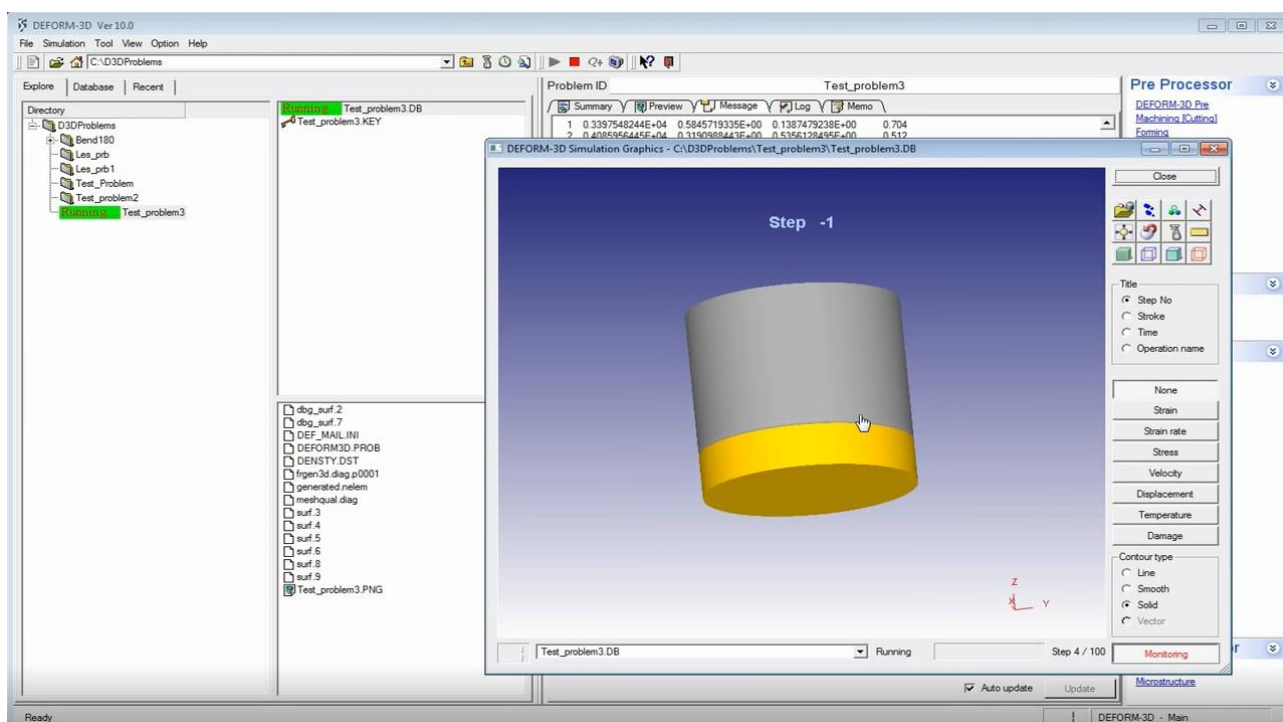


Рис. 29

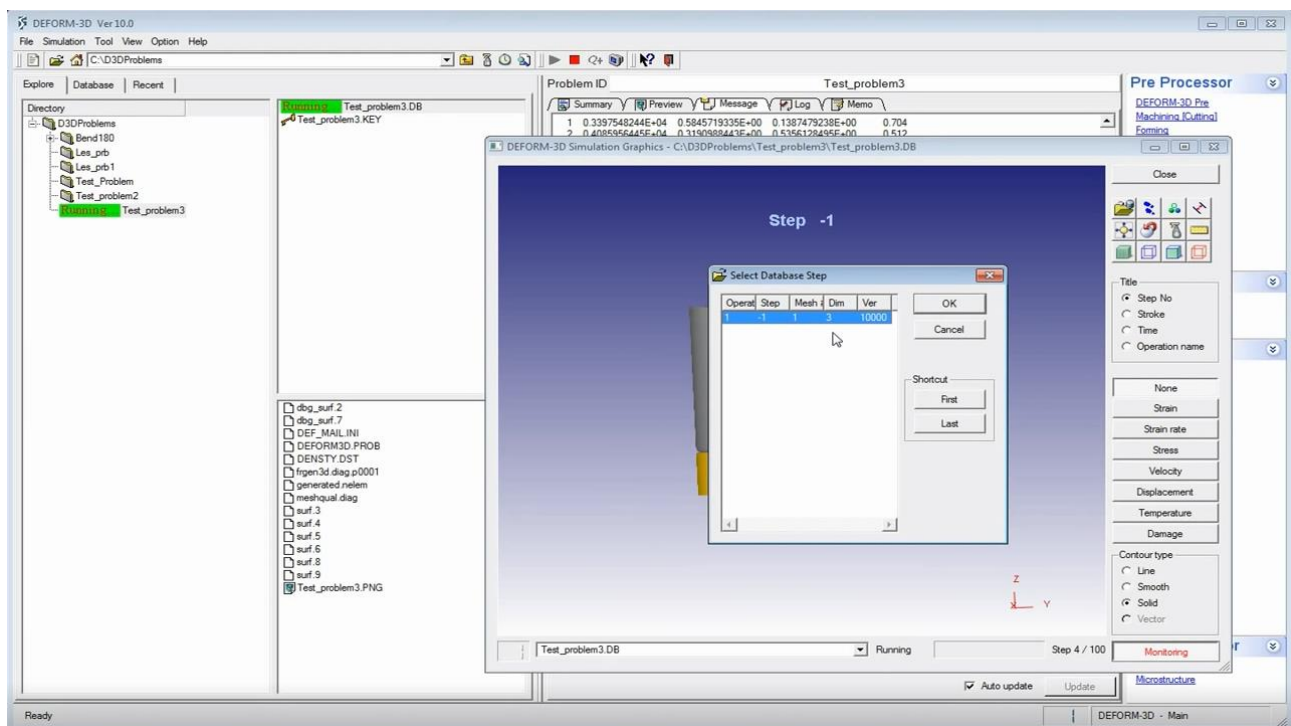


Рис. 30

### **Список навчально-методичної літератури**

1. Паршин В. С. Практическое руководство к программному комплексу DEFORM-3D: учебное пособие / В. С. Паршин, А. П. Карамышев, И. И. Некрасов, Ю. Б. Чечулин // УрФУ, 2010. – 265 с.
2. Перлин, И.Л. Теория прессования металлов [Текст]/И.Л. Перлин, Л.Х. Райтбарг - М.: Металлургия, 1975. - 448 с.
3. Щерба, В.Н. Прессование алюминиевых сплавов [Текст]/В.Н. Щерба - М.: Интермет Инжиниринг, 2001. - 768с.
4. Быков, А.П. Прессование [Текст]/А.П. Быков, В.Р. Каргин, Б.В. Каргин - Самара: Самар, гос. аэрокосм, ун-т, 2010. - 146 с.
5. Харламов, А.А. DEFORM-2D: лабораторные работы [Текст]/А.А. Харламов - М.: Артех, 2000. - 93 с.
6. Харламов, А.А. Deform - программный комплекс для моделирования процессов обработки металлов давлением [Текст]/А.А. Харламов, А. Уваров//САПР и графика, 2003, №6
7. Сидоров, А. Настоящее и будущее моделирования процессов ОМД [Текст]/А. Сидоров//САПР и графика, 2007, №10