

## **Практична робота 1**

### **Установка програмного забезпечення Ansys LS-DYNA Student**

*Мета роботи – набутти практичних навиків з установки програми Ansys LS-DYNA Student.*

*Обладнання: комп'ютер, встановлене загальносистемне програмне забезпечення.*

Системні вимоги для Ansys LS-DYNA Student:

- Операційна система: Microsoft® Windows® 10 (64-розрядна версія)
- Тип процесора: клас робочої станції
- Мінімум рекомендується 4 ГБ оперативної пам'яті
- 25 ГБ місця на жорсткому диску
- Комп'ютер повинен мати фізичний диск C:/»
- Відеокарта та драйвер: Професійна робоча станція класу 3-D
- З підтримкою OpenGL

### **ХІД РОБОТИ:**

1. Ознайомитись із умовами користування Ansys LS-DYNA Student:  
<https://www.ansys.com/academic/students/ansys-ls-dyna-student>
2. Завантажити і встановити програму.
3. Перевірити правильність установки.

## **Практична робота 2**

### **Побудова геометрії та створення скінченно-елементної моделі різальної частини інструменту та заготовки в програмі Ansys LS-DYNA Student**

*Мета заняття – отримати навички моделювання процесу взаємодії  
різального клина інструмента із заготовкою.*

*Обладнання: комп'ютер, встановлене загальносистемне програмне  
забезпечення, встановлена програма Ansys LS-DYNA Student*

#### **ХІД РОБОТИ:**

##### **1. Повторити наступні дії.**



##### **Методика моделювання з використанням методу скінченних елементів і явної схеми розв'язання**

Першим етапом будь-якого завдання є створення геометричної моделі. В LS-DYNA геометрію можна створювати за допомогою спеціальних команд на інструментальній панелі в препроцесорі LSPrePost, а можна й імпортувати з таких відомих CAD-систем, як Компас3D, SolidWorks, ProEngineer, Unigraphics, Catia та безлічі інших. У цій методиці буде описано побудову геометрії, створення скінченно-елементної моделі та налаштування розв'язувача в препроцесорі LSPrePost. Для розрахункових моделей простої геометричної форми (циліндр, сфера, прямокутний паралелепіпед та ін.) немає необхідності будувати геометричну модель, а можна одразу перейти до побудови скінченно-елементної моделі. Наприклад, для заготовки в цьому завданні, яка має просту форму, етап побудови геометрії буде пропущено.

На другому етапі створюється розрахункова сітка для побудованої геометрії, від якості якої безпосередньо залежить точність розрахунків, що надає більшої важливості цьому етапу.

На третьому етапі здійснюється налаштування розрахункової моделі. Вказуються типи елементів, які використовуються під час моделювання, визначаються моделі матеріалів, які зв'язуються під час визначення частин. Задаються алгоритми контактної взаємодії заготовки та інструменту, а також самоконтакту для унеможливлення проникнення шару матеріалу, що знімається, у заготовку. Визначаються параметри руху різальної частини інструменту і обмежуються переміщення заготовки. Далі налаштовуються контрольні карти, в яких вказуються необхідні параметри розв'язання і контролюється стан елементів і контакту в процесі розв'язання. Для перегляду результату розрахунку необхідно вибрати формати файлів і параметри, що цікавлять, які будуть записуватися.

## Побудова геометрії різальної частини інструменту

Інструмент буде зображено частково і спрощено – тільки різальний клин. Для побудови геометрії інструменту необхідно запустити препроцесор LSPrePost версії не нижче 4.2. На панелі інструментів, розташованій праворуч, натисніть кнопку «Curve» , після цього відкриється додаткова інструментальна вкладка з набором кнопок побудови плоских і просторових кривих. У вкладці, що розкрилася, натисніть кнопку «Line» . З'явиться два вікна, у вікні «Create Line Segment», у випадаючому меню «Method» виберіть «Parameters», у полі «Start Point» і «End Point» вводяться координати X, Y, Z початку і кінця відрізка відповідно. Створимо перший відрізок із координатами 0, 0, 0 – 5, 1, 0 (див. рис. 2.1, а), для цього в поле «Start Point» введемо координати: за віссю X – 0, за віссю Y – 0, за віссю Z – 0; у полі «End Point» введемо координати: за віссю X – 5, за віссю Y – 1, за віссю Z – 0, і для підтвердження натиснемо кнопку «Apply». У графічному вікні має з'явитися відрізок. Аналогічним чином будуюмо три відрізки, що залишилися.

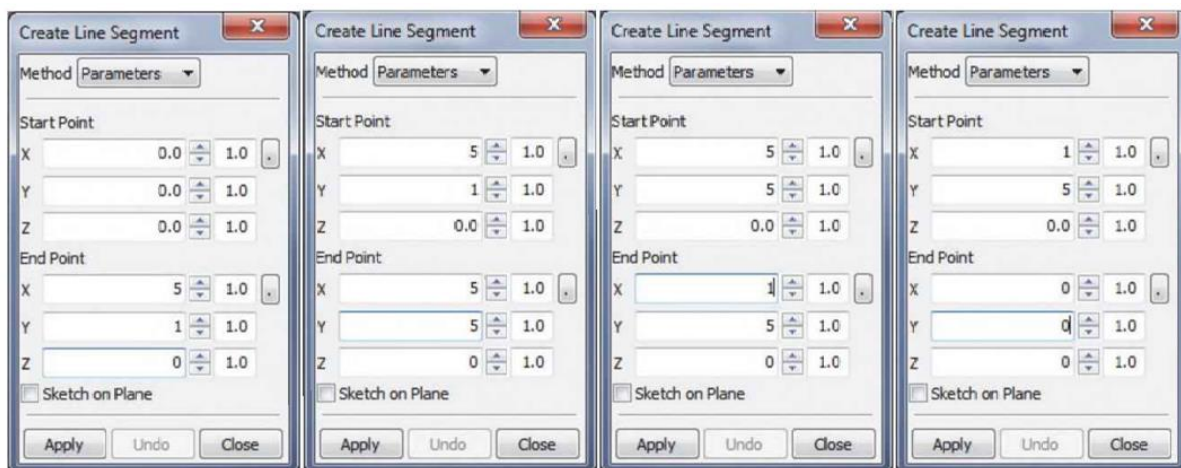



Рис. 2.1. Координати відрізків: а – перший відрізок; б – другий відрізок; в – третій відрізок; г – четвертий відрізок

Для більш наочного представлення отриманого ескізу на панелі «ISO View» (рис. 2.2) натисніть на площину XY (перша кнопка), а на нижньому кнопковому меню натисніть кнопку «Auto Center» . Кінцевий ескіз представлено на рис. 2.3.

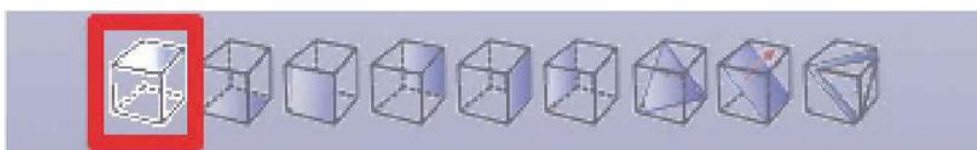




Рис. 2.2. Панель «ISO View»

Далі необхідно створити площину за створеним ескізом. Для цього на панелі інструментів, розташованій праворуч, натисніть кнопку «Surface» , після цього відкриється додаткова інструментальна вкладка з набором кнопок побудови різних поверхонь. У вкладці, що розкрилася, натисніть кнопку «Fill Plane» . Відкриється два вікна. Потім, послідовно, оберіть вказівником миші три відрізки ескізу, у результаті у вікні «Fill Plane» у полі «Shape List» мають з'явитися три вибрані відрізки, а ділянка, обмежена лініями ескізу, буде зафарбована рожевим кольором (рис. 2.4). Завершуємо створення площини кнопкою «Apply», при цьому область ескізу має змінити колір на зелений (рис. 2.5). Закриваємо вікно «Fill Plane» кнопкою «Close».

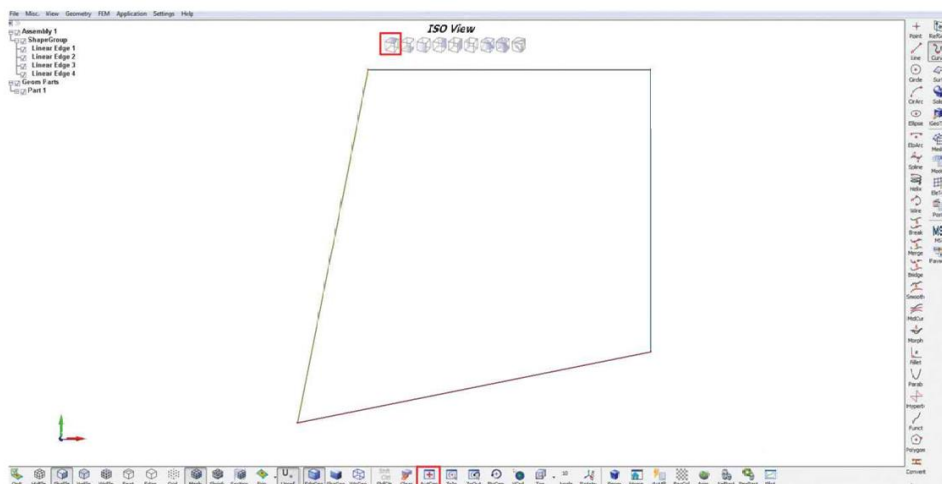


Рис. 2.3. Ескіз різальної частини інструменту

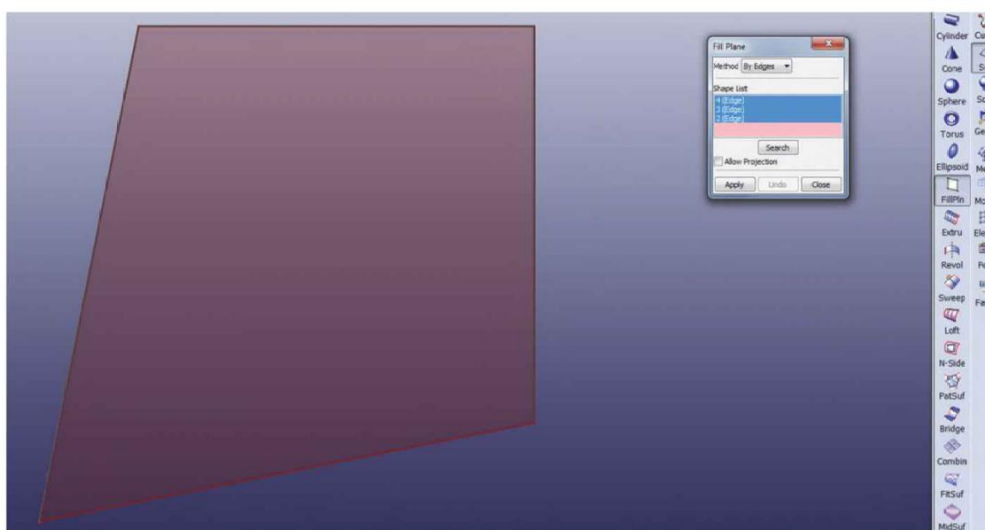


Рис. 2.4. Створення площини

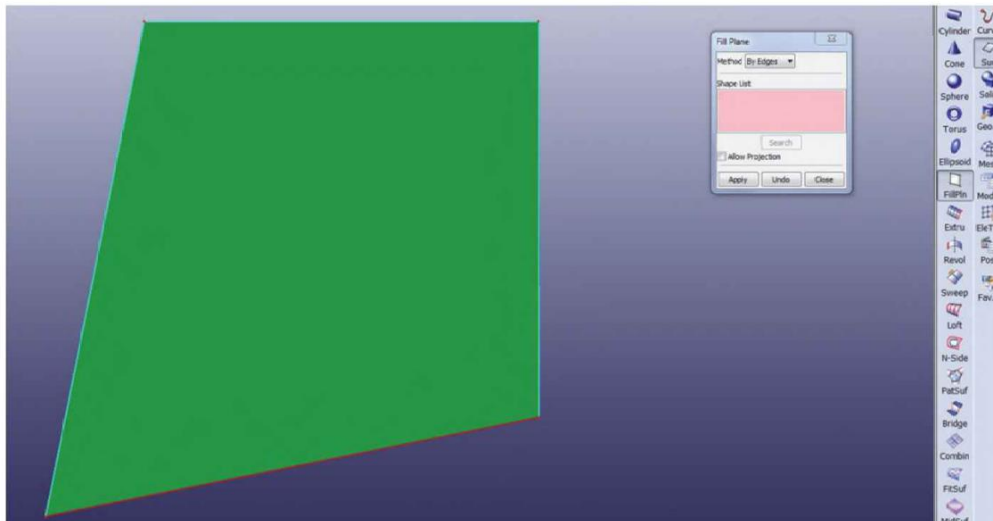


Рис. 2.5. Створена площина

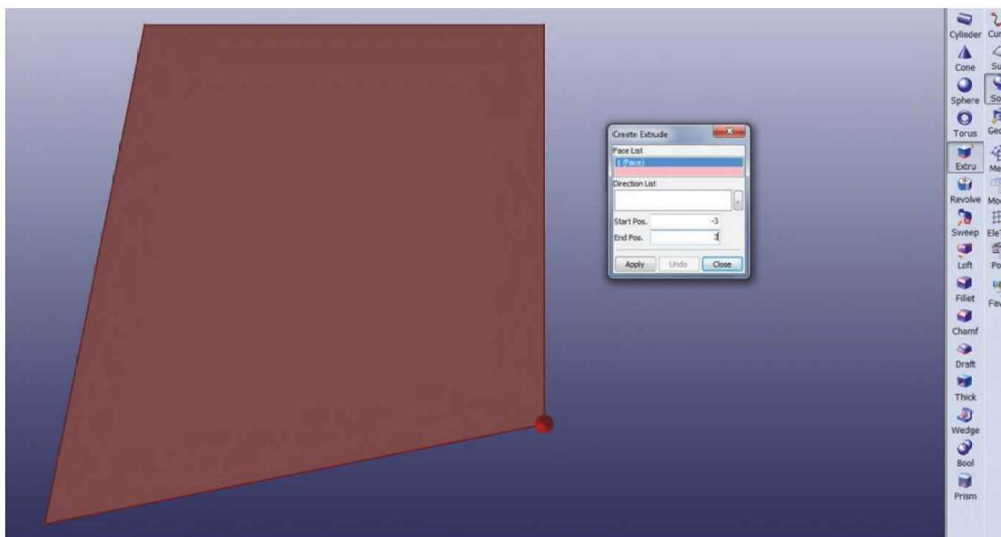




Рис. 2.6. Створення операції видавлювання

Для створення 3D-моделі різальної частини інструмента необхідно видавити побудовану площину в обидва напрямки, по 3 мм у кожен. Для цього на панелі інструментів, розташованій праворуч, натисніть кнопку «Solid» , після цього відкриється додаткова вкладка з набором кнопок побудови і редагування геометричних об'єктів. У вкладці, що розкрилася, натисніть кнопку «Extrude» , з'явиться два вікна. Клацанням лівої кнопки миші (ЛКМ) обираємо зелену ділянку ескізу, унаслідок чого у вікні «Create Extrude» у полі «Face List» має з'явитися обрана площина. У полі «Start Pos.» вводимо значення «-3», а в полі «End Pos.» вводимо значення «3» і натискаємо кнопку «Apply» (рис. 2.6). Закриваємо вікно «Create Extrude» кнопкою «Close».

## Створення скінченно-елементної моделі заготовки та інструменту

### Створення скінченно-елементної моделі інструменту

Для побудови скінченно-елементної моделі різальної частини інструменту за вже створеною геометричною моделлю натисніть на панелі інструментів, розміщеній праворуч, кнопку «Element and Mesh», після цього відкриється додаткова вкладка з набором кнопок побудови та редагування вузлів і елементів. У вкладці, що розкрилася, натисніть кнопку «Solid Mesher». Відкриється вікно «Solid Meshing» (рис. 2.7). Виберіть у графічному вікні геометрію різальної частини інструмента, клацнувши лівою кнопкою миші на геометрії різця, у результаті вона має змінити колір на сірий. У полі «Operation» має бути виділено пункт «Meshing», у полі розмір елемента «Elem Size» введіть значення – «1» і натисніть кнопку. У результаті буде створено попередню скінченно-елементну модель (рис. 2.8). Якщо отримана скінченно-елементна сітка влаштовує, то натискаємо кнопку «Асерт», якщо ні, то необхідно натиснути кнопку «Reject» і скоригувати налаштування.

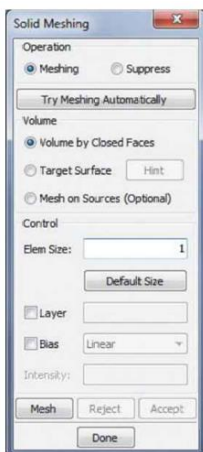


Рис. 2.7. Вікно «Solid Meshing»

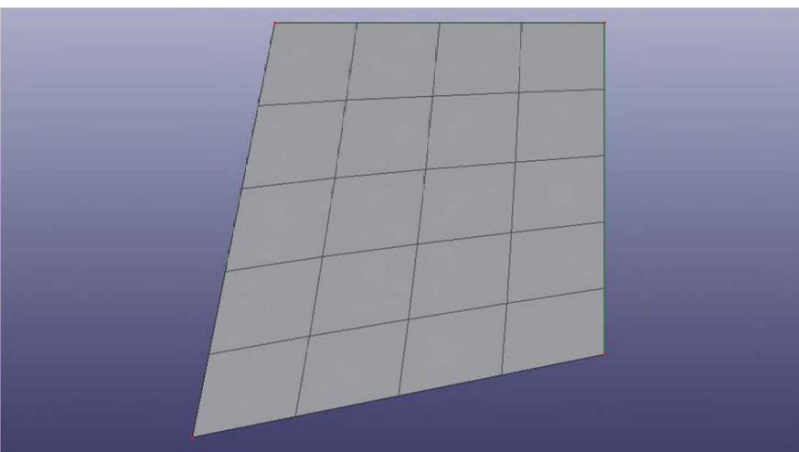


Рис. 2.8. Попередня скінченно-елементна модель

Далі в дереві моделі (ліва частина графічного вікна) потрібно видалити пункт «ShapeGroup», оскільки далі працюватимемо тільки зі скінченно-елементною моделлю, представленою на рис. 2.9.

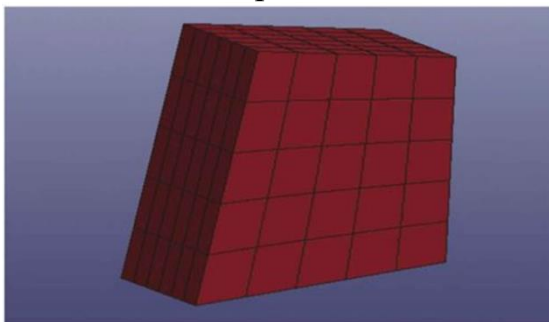


Рис. 2.9. Скінченно-елементна модель різальної частини інструменту

## Створення скінченно-елементної моделі заготовки

В якості заготовки буде прямокутний паралелепіпед з розмірами сторін 10\*5\*5 мм. Для побудови скінченно-елементної моделі заготовки натисніть на панелі інструментів, розташованій праворуч, кнопку «Element and Mesh», після цього відкриється додаткова вкладка з набором кнопок побудови та редагування вузлів і елементів. У вкладці, що розкрилася, натисніть кнопку «Shape Mesher», з'явиться два вікна. У вікні «Shape Mesher», у випадаючому меню «Entity» виберіть «Box\_Solid», у наступному рядку позначте опцію «Region», після цього залишиться ввести мінімальні та максимальні координати за трьома осями для побудови паралелепіпеда, а також число (опція «number») або розмір (опція «size») елементів для ребер паралелепіпеда відповідно до осей. Заповніть виділені поля вікна «Shape Mesher», як показано на рис. 2.10.

**Для поділу цілої та дробової частини числа необхідно використовувати крапку, а не кому!**

Натисніть кнопку «Create» і в графічному вікні відобразиться модель заготовки з побудованою сіткою (на даному етапі можна змінити кількість елементів, причому зміни відображатимуться у вікні побудови) див. рис. 2.11. Для збереження введених даних та побудови скінченно-елементної моделі заготовки натисніть кнопку «Accept».

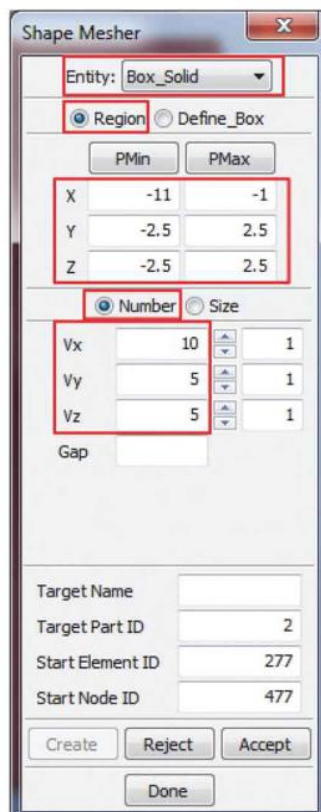


Рис. 2.10. Вікно «Shape Mesher»

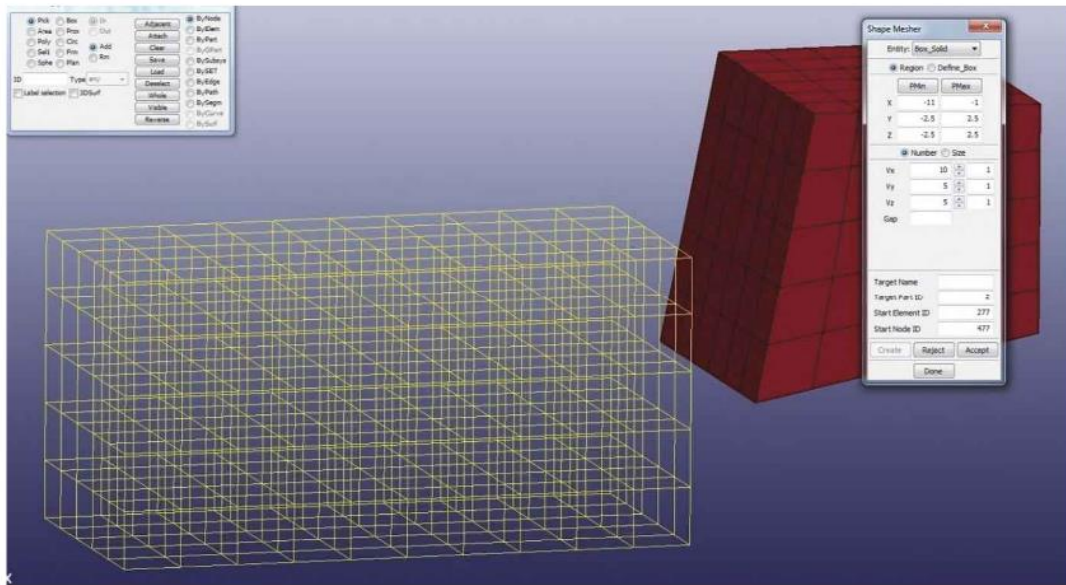


Рис. 2.11. Побудова скінченно-елементної моделі заготовки

Якщо допущено помилку або потрібно змінити розміри заготовки після попереднього перегляду (після натискання кнопки «Create»), то на цьому етапі це можна виправити, натиснувши на кнопку «Reject», далі ввести нові дані та знову натиснути кнопку «Create».

На рис. 2.12 представлено готову скінченно-елементну модель заготовки та інструменту.

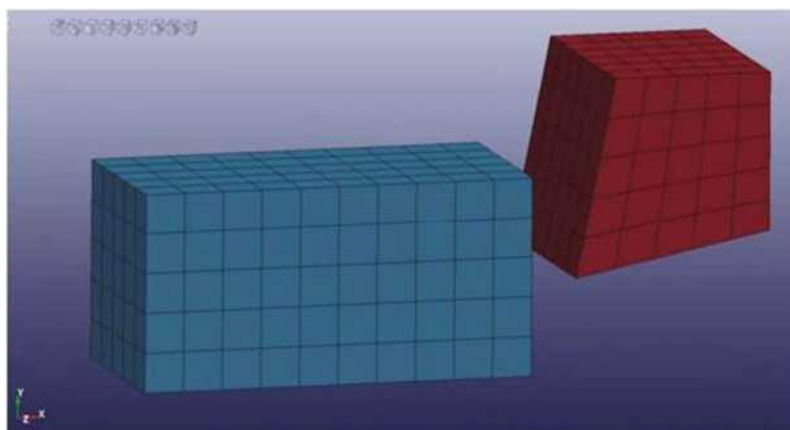


Рис. 2.12. Готова скінченно-елементна модель заготовки та інструменту



### Практична робота 3

#### Налаштування розрахункової моделі. Перегляд результату чисельного моделювання в програмі Ansys LS-DYNA Student

*Мета заняття – отримати навички моделювання процесу взаємодії різального клина інструмента із заготовкою.*

*Обладнання: комп'ютер, встановлене загальносистемне програмне забезпечення, встановлена програма Ansys LS-DYNA Student*

#### ХІД РОБОТИ:

##### 1. Повторити наступні дії.

##### Налаштування розрахункової моделі

Після створення скінченно-елементної моделі необхідно визначити: тип елемента, матеріал, частини, контакт, навантаження, обмеження та ін., – за допомогою введення ключових слів і карт. Подивитися опис ключових слів і карт можна в керівництві користувача (Keyword user's manual).

На панелі інструментів, розташованій праворуч, натисніть кнопку «Model and Part», після цього відкриється додаткова вкладка з набором кнопок різних операцій з моделлю і частинами моделі.

У вкладці, що розкрилася, натисніть кнопку «Keyword Managen і відкриється відповідне вікно (рис. 2.13). У вікні, що відкрилося, встановіть перемикач на «All» (рис. 2.13).

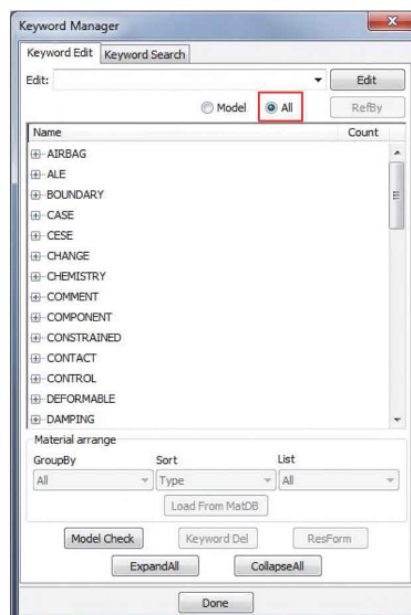


Рис. 2.13. Вікно «Keyword Manager»

## **Визначення типу використовуваних елементів**

Для визначення типу елемента потрібно задати секцію, що використовує ключове слово, яке починається з «SECTION», воно необхідне для формулювання кінцевих елементів, визначення правила інтегрування та характеристики поперечного перерізу.

У вікні «Keyword Manager» розкрийте гілку «SECTION». Для об'ємного восьмивузлового елемента використовується ключове слово «SECTION\_SOLID» (рис. 2.14), що дає змогу задавати характеристики поперечного перерізу для елемента суцільного середовища, для нього задається одна карта, в якій зазначено номер секції «1», опція формулювання елемента «2» (об'ємний S/R елемент з повною інтеграцією), тип елемента для задавання навколишнього середовища «0» (залишаємо значення за замовчуванням). Для збереження введених даних натисніть кнопку «Accept» і кнопкою «Done» закрийте вікно.



Рис. 2.14. Вікно «SECTION\_SOLID»

## **Визначення використовуваних моделей матеріалів**

Для додавання моделі матеріалу використовується ключове слово MAT, яке дозволяє додавати різні моделі матеріалів. У цьому завданні інструмент приймається абсолютно твердим тілом і буде описуватися моделлю матеріалу – RIGID. Для заготовки вибирається модель матеріалу – JOHNSON\_COOK.

**Модель матеріалу MATRIGID** застосовується для опису твердих тіл, деформації яких незначні і (або) ними можна знехтувати. Для даного матеріалу вказується:

- ідентифікатор матеріалу. Повинен бути обраний унікальний номер;
- масова густина матеріалу;
- модуль Юнга;
- коефіцієнт Пуассона.

А також вказуються додаткові обмеження:

- обмежується переміщення по осях Y, Z;
- обмежується обертання навколо осей X, Y, Z.

Заповнені карти ключового слова MAT RIGID із виділеними введеними вихідними даними представлені на рис. 2.15.



Рис. 2.15. Вікно «MAT RIGID»

### Модель матеріалу MAT\_JOHNSON\_COOK.

Модель пластичності Джонсона-Кука, що залежить від деформації і температури, іноді використовують у задачах, у яких швидкості деформації змінюються у великому діапазоні, а адіабатичне зростання температури через нагрівання під час пластичної деформації спричиняє зниження міцності матеріалу. У разі використання об'ємних елементів ця модель потребує рівняння стану.

У карту 1 матеріалу вводиться:

- ідентифікатор матеріалу у вигляді унікального номера;
- масова щільність матеріалу;
- модуль зсуву;
- модуль Юнга;
- коефіцієнт Пуассона.

У карти 2, 3, 4 вводяться компоненти виразу Джонсона (Johnson) і Кука (Cook), а також параметри руйнування, отримані експериментальним шляхом. Заповнені карти ключового слова MAT\_JOHNSON\_COOK представлені на рис. 2.16.

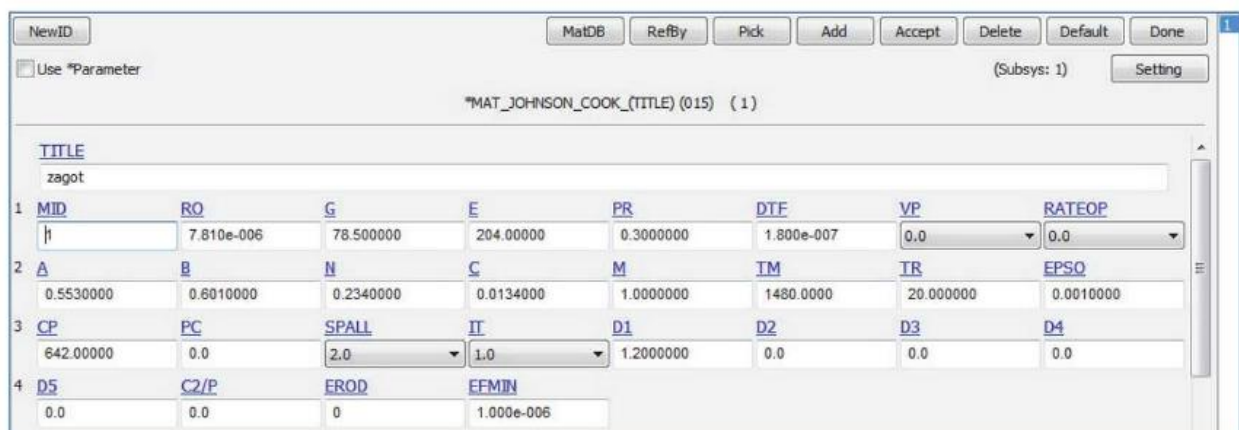


Рис. 2.16. Вікно «MAT\_JOHNSON\_COOK»

Модель матеріалу MAT\_THERMAL застосовують, щоб задавати

теплофізичні параметри матеріалів під час спільного міцність/тепло аналізу та під час суто теплового аналізу. Теплофізичні параметри потрібно задавати для всіх об'ємних і оболонкових елементів. Для балкових або дискретних елементів такі параметри задавати не потрібно, оскільки ці елементи не враховуються на тепловій стадії розрахунку.

На теплофізичні властивості посилаються за допомогою ідентифікаційного номера TMID, який ніяк не пов'язаний з номерами інших матеріалів MID, заданими в інших картах \*MAT\_.... В одному розрахунку номери TMID і MID можуть збігатися. Ці номери (TMID і MID) пов'язані через карту \*PART.

**MAT\_THERMAL\_ISOTROPIC** дозволяє задавати ізотропні теплофізичні властивості матеріалу.

У карту 1 матеріалу вводиться ідентифікатор матеріалу у вигляді унікального номера, інші налаштування залишаємо за замовчуванням.

У карту 2 матеріалу вводиться:

- HC - Теплоємність;
- TC - Теплопровідність.

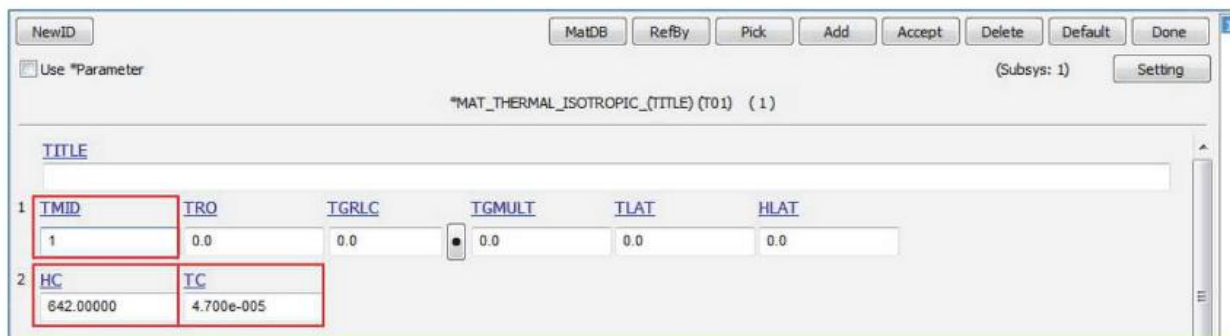


Рис. 2.17. Вікно «MAT\_THERMAL\_ISOTROPIC»

Заповнені карти ключового слова MAT\_THERMAL\_ISOTROPIC подано на рис. 2.17.

### Додавання рівняння стану

Під час використання моделі матеріалу MAT\_JOHNSON\_COOK потрібне рівняння стану.

Для додавання рівняння стану, яке може бути використано разом із підмножиною матеріалів, доступних для об'ємних елементів, використовується ключове слово EOS.

Додаємо ключове слово EOS\_LINEAR\_POLYNOMIAL, щоб задавати коефіцієнти для рівнянь стану у вигляді полінома. Заповнені карти ключового слова EOS\_LINEAR\_POLYNOMIAL представлено на рис. 2.18.

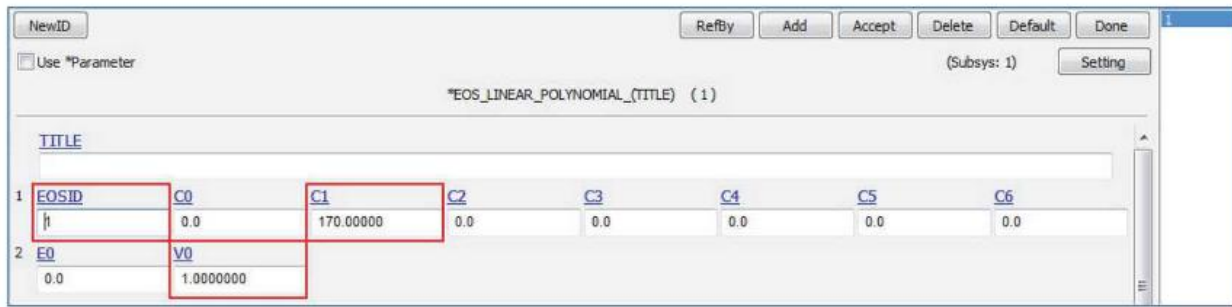


Рис. 2.18. Вікно «EOS\_LINEAR\_POLYNOMIAL»

### Додавання параметрів контролю спотворення

Ключове слово HOURGLASS призначене для задавання параметрів придушення спотворень форми елементів і об'ємної в'язкості. Використовується в ключовому слові PART. Заповнену карту ключового слова HOURGLASS представлено на рис. 2.19.

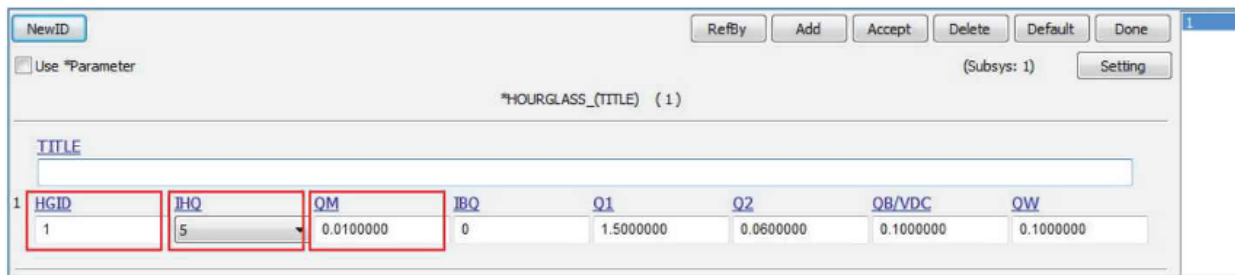


Рис. 2.19. Вікно «HOURGLASS»

### Визначення частин розрахункової моделі

Ключове слово PART дає змогу задавати так звані частини розрахункової моделі, тобто об'єднувати інформацію про матеріал, характеристики перерізу, вид контролю спотворення елементів на кшталт пісочного годинника, теплофізичні властивості та прапор-ознаку адаптивності частини.

Для інструмента вводимо (рис. 2.20):

- у полі «TITLE» назву частини – «Інструмент»;
- у полі PID – ідентифікатор частини – 1;
- у полі SECID – ідентифікатор розділу, що визначається в розділі «SECTION» – 1;
- у полі MID – ідентифікатор матеріалу, що визначається в розділі «MAT» – 2;
- у полі TMID – ідентифікатор теплофізичних властивостей матеріалу, що задається в розділі «MAT\_TERMAL» – 1.



Рис. 2.20. Вікно «PART» для інструменту

Для заготовки вводимо (рис. 2.21):

- у полі «TITLE» назву частини – «Заготовка»;
- у полі PID – ідентифікатор частини – 2;
- у полі SECID – ідентифікатор розділу, що визначається в розділі «SECTION» – 1;
- у полі MID – ідентифікатор матеріалу, що визначається в розділі «MAT» – 1;
- у полі EOSID – ідентифікатор рівняння стану, що визначається в розділі «EOS» – 1;
- у полі HGID – ідентифікатор контролю спотворення елементів за типом пісочного годинника за рахунок об'ємної в'язкості, який визначається в розділі «HOURLASS» – 1;
- у полі TMID – ідентифікатор теплофізичних властивостей матеріалу, що задається в розділі «MATTERMAL» – 1.

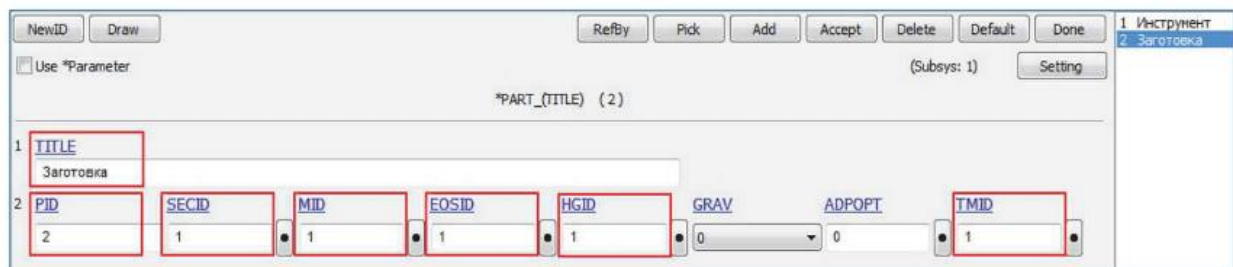


Рис. 2.21. Вікно «PART» для заготовки

### Створення вузлових наборів

Вузловий набір – це список вузлів, об'єднаних за певною ознакою або таких, що мають одне призначення. Вузлові набори використовують під час визначення алгоритму контактної взаємодії, для завдання навантаження, швидкості, переміщення, а також для накладення обмежень на розрахункову модель. Для створення набору вузлів використовується ключове слово SET\_NODE\_LIST. Заповнити карти цього ключового слова можна в ручному режимі, заповнюючи відповідні поля вікна «SET\_NODE\_LIST» (рис. 2.22). Під час заповнення необхідно знати номери вузлів, які мають одне призначення, що є дуже трудомістким процесом, тому в цій роботі заповнювати поля вікна

«SET\_NODE\_LIST» вручну не потрібно.

Більш ефективно заповнити ці поля можна в автоматизованому режимі. У цій роботі заповнювати ключове слово будемо в автоматизованому режимі з використанням команди «Create Entity» (рис. 2.23–2.29).

На панелі інструментів, розташованій праворуч, натисніть кнопку «Model and Part», після цього відкриється додаткова вкладка з набором кнопок різних операцій із моделлю та частинами моделі. У вкладці, що розкрилася, натисніть кнопку «Create Entity», з'явиться два вікна «Entity Selection» і «Entity Creation». У вікні «Entity Creation» (рис. 2.23) розкрийте гілку «Set Data» і виберіть пункт «\*SET\_NODE», при цьому права частина вікна змінить структуру. У правій верхній частині вікна «Entity Creation» переключіть перемикач із «Show» на «Cre» (рис. 2.23), при цьому вікно «Entity Selection» зміниться на вікно «Sel. Nodes», у якому встановіть перемикачі так, як показано на рис. 2.24. Клацніть ЛКМ по заготівці – усі вузли заготовки мають виділитися. Натисніть кнопку «Apply» у вікні «Entity Creation», у результаті буде створено набір із 396 вузлів з ідентифікатором «1» (рис. 2.25).

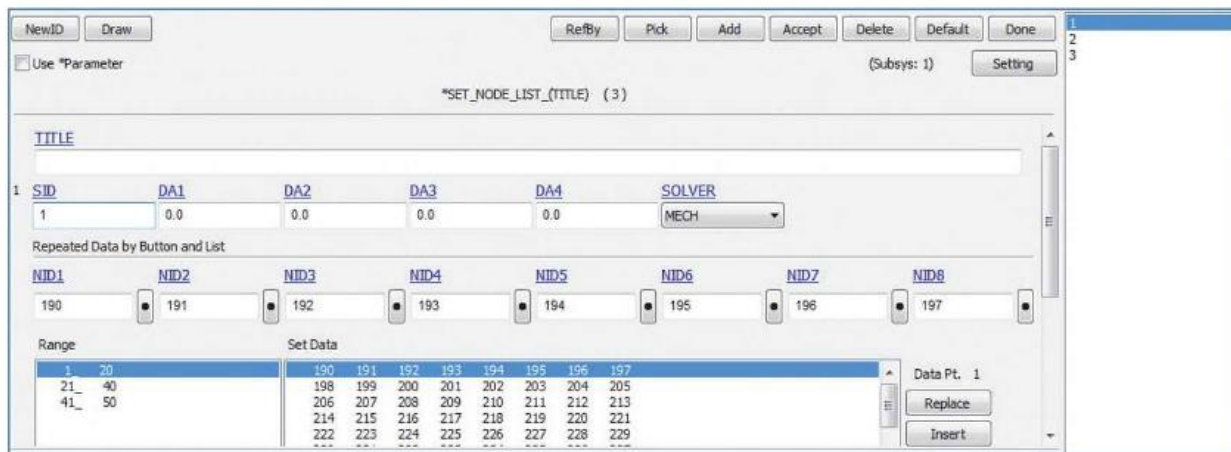


Рис. 2.22. Вікно « SET\_NODE\_LIST »

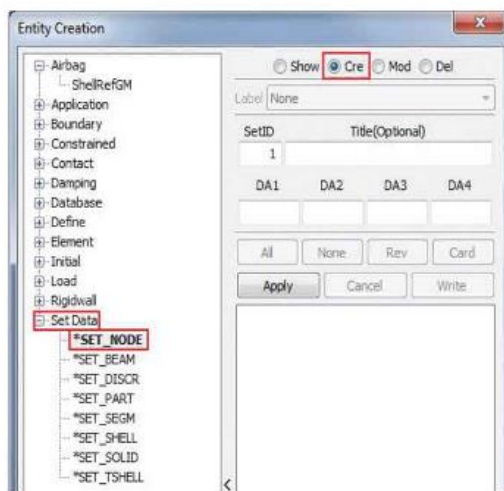


Рис. 2.23. Вікно «Create Entity»

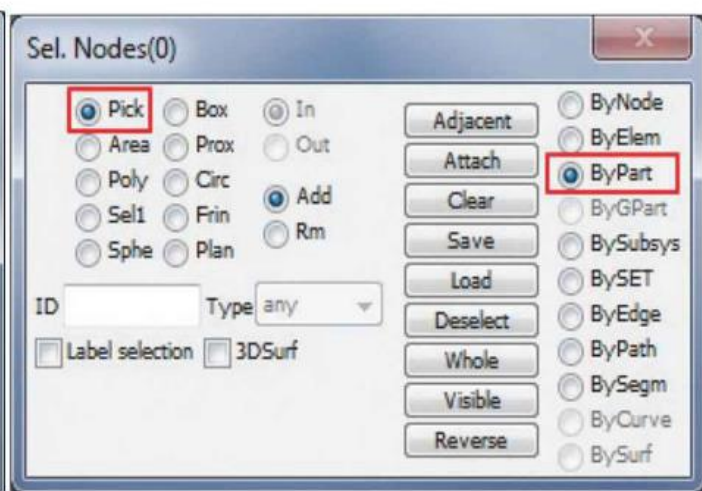


Рис. 2.24. Вікно «Sel. Nodes»

Для створення другого набору вузлів у вікні «Sel. Nodes» встановіть перемикачі, як показано на рис. 2.26, і оберіть курсором ділянку нижніх вузлів заготовки, клацнувши ЛКМ у точки 1 і 2, як показано на рис. 2.27. Вузли, що потрапили в обрану ділянку, будуть підсвічені. Натисніть кнопку «Apply» у вікні «Entity Creation», у результаті буде створено набір із 66 вузлів з ідентифікатором «2» (рис. 2.28).

Для створення третього набору вузлів у вікні «Sel. Nodes» встановіть перемикачі так, як показано на рис. 2.24. Клацніть ЛКМ на інструменті – усі вузли інструменту мають виділитися. Натисніть кнопку «Apply» у вікні «Entity Creation», у результаті буде створено набір із 256 вузлів з ідентифікатором «3» (рис. 2.29).

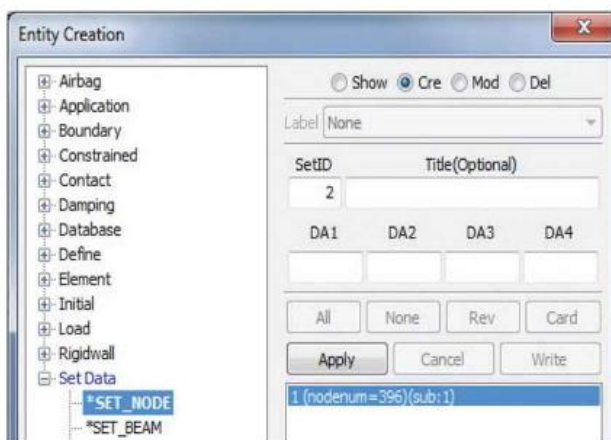


Рис. 2.25. Вікно «Create Entity»

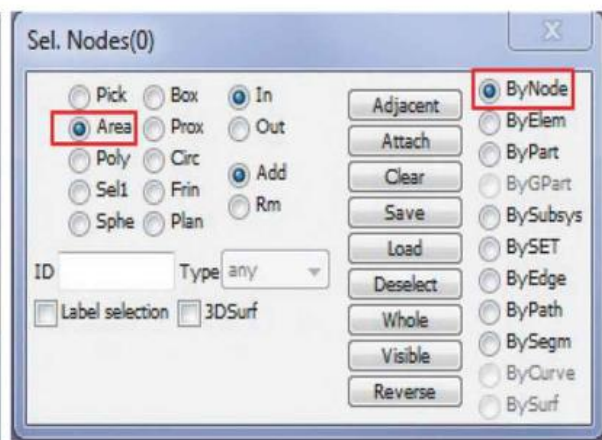


Рис. 2.26. Вікно «Sel. Nodes»

Щоб закрити вікно «Entity Creation», натисніть кнопку «Done» у нижній частині вікна.

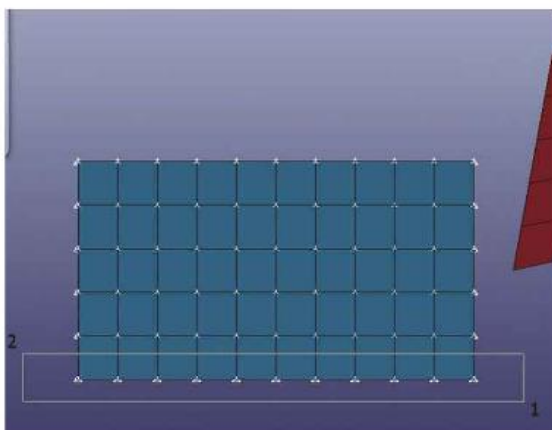


Рис. 2.27. Вибір нижніх вузлів заготовки

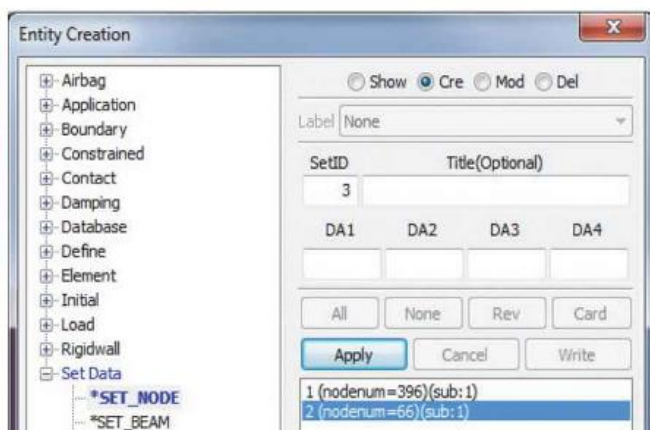


Рис. 2.28. Вікно «Create Entity»



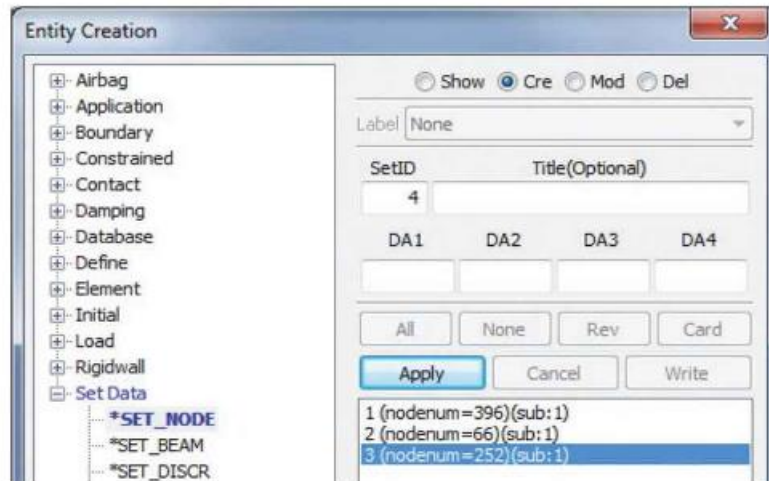


Рис. 2.29. Вікно «Create Entity»

### **Завдання алгоритму контактної взаємодії**

Ключове слово «CONTACT» призначене для задання способу обробки контактної взаємодії між частинами розрахункової моделі, що роз'єднуються, задається алгоритм контактної взаємодії між заготовкою та інструментом, а також самоконтакт для заготовки з метою унеможливити проникнення стружки в заготовку.

Створимо контакт заготовки та інструменту типу «вузли до поверхні» з можливістю видалення елементів. Для цього в гілці «CONTACT» виберіть ключове слово ERODING NODES TO SURFACE, ця опція вимикає перевірку взаємного впровадження на початку моделювання і призводить до появи контактних сил, що усувають взаємне проникнення, і подвійним клацанням ЛКМ відкрийте вікно налаштувань. У вікні, що відкрилося, насамперед потрібно заповнити поля, виділені червоним прямокутником (рис. 2.30). У карті 4 заповніть поля:

- SSID ідентифікатор підлеглого сегмента, набору вузлів, набору частин моделі, ставимо «1»;
- MSID ідентифікатор набору головних сегментів, набору частин, однієї частини або набору оболонкових елементів, ставимо «1»;
- SSTYP підлеглий сегмент («Slave segment») або тип набору вузлів, ставимо «4» – ідентифікатор набору вузлів;
- MSTYP тип набору головних сегментів («Master segment»), ставимо «3» – ідентифікатор частини.

Як «Master segment» вказується частина моделі, що належить інструменту; як «Slave segment» ідентифікатор набору вузлів, що належать заготовці.

У карті 5 вказується коефіцієнт статичного тертя і коефіцієнт в'язкого демпфірування.

Карта 6 залишається за замовчуванням.

У карті 7 вказується:

- опція симетрії площини ISYM = 0 вимкнена;
- опція зникнення/внутрішній вузол EROSOP = 1: збереження інформації здійснюється таким чином, що може статися зникнення контакту;
- обробка сусіднього матеріалу для об'ємних елементів IADJ = 1: грані об'ємного елемента враховуються, якщо вони розташовані на межі різних матеріалів.

Додаємо карту «Термал» і вводимо зазначені на рис. 2.30 дані.

Для збереження введених даних натискається кнопка «Асерт» і кнопкою «Done» закривається вікно.

4	SSID	MSID	SSTYP	MSTYP	SBOXID	MBOXID	SPR	MPR
4	1	1	4	3			0	0
5	FS	FD	DC	VC	VDC	PENCHK	BT	DT
5	0.2	0.0	0.0	0.0	20	0	0.0	1.0E+20
6	SFS	SFM	SST	MST	SFST	SFMT	FSF	VSF
6	0.5	0.5			1.0	1.0	1.0	1.0
7	ISYM	EROSOP	IADJ					
7	0	1	1					
<input checked="" type="checkbox"/> Thermal <input type="checkbox"/> T_Friction <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> AB <input type="checkbox"/> ABC <input type="checkbox"/> ABCD <input type="checkbox"/> ABCDE <input type="checkbox"/> ABCDEF								
8	CF	FRAD	HTC	LMIN	LMAX	ETOSLV	BC_FLG	ALGO
8	4.00e-008		4.700e-5	0.1	100	0.5		

Рис. 2.30. Вікно «CONTACT\_ERODING\_NODES\_TO\_SURFACE»

4	SSID	MSID	SSTYP	MSTYP	SBOXID	MBOXID	SPR	MPR
4	2	2	3	3			0	0
5	FS	FD	DC	VC	VDC	PENCHK	BT	DT
5	0.0	0.0	0.0	0.0	50	1	0.0	1.0E+20
6	SFS	SFM	SST	MST	SFST	SFMT	FSF	VSF
6	0.5	0.5			1.0	1.0	1.0	1.0
7	ISYM	EROSOP	IADJ					
7	0	1	1					
<input checked="" type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> AB <input type="checkbox"/> ABC <input type="checkbox"/> ABCD <input type="checkbox"/> ABCDE <input type="checkbox"/> ABCDEF								
8	SOFT	SOFSCL	LCIDAB	MAXPAR	SBOPT	DEPTH	BSORT	FRCFRQ
8	0	0.1	0	2	2.0	1		1

Рис. 2.31. Вікно «CONTACT\_ERODING\_SINGLE\_SURFACE»

Для визначення самоконтакту додаємо картку CONTACT\_ERODING\_SINGLE\_SURFACE та заповнюємо як представлено на рис. 2.31. Зберігаємо введені дані кнопкою «Асерт» та кнопкою «Done» закриваємо вікно.

## Завдання параметрів руху та обмежень

### Завдання кривої навантаження

Ключове слово «DEFINE» – дозволяє задати прямокутні області, координатні системи, що задають криві, таблиці та орієнтуючі вектори для різних цілей.

Для визначення кривої навантаження у галузі «DEFINE» вибираємо ключове слово «DEFINE\_CURVE» і створимо криву залежності швидкості руху від часу згідно з табл. 2.1.

Таблиця 2.1

### Вихідні дані для кривої навантаження

Номер точки кривої	Час, мс (поле «A1»)	Швидкість, мм/мс (поле «O1»)
1	0	0
2	0,02	-5
3	5	-5

У першій карті в полі «LCID» (ідентифікатор кривої, що задає) ставимо – «1» (рис. 2.32), далі задається крива, за даними таблиці 1, заповненням полів «A1» (значення по осі абсцис) і «O1» (значення по осі ординат).



Рис. 2.32. Вікно «DEFINE\_CURVE»

Задамо точку 1: у полі «A1» вводимо значення «0», у поле «O1» вводимо значення «0» і натискаємо кнопку (рис. 2.32), у полі, розташованому під полями «A1» та «1», з'явиться запис із координатами введеної точки.

Задамо точку 2: у полі "A1" вводимо значення "0,02", у поле "O1" вводимо значення "-5" і натискаємо кнопку (рис. 2.33).

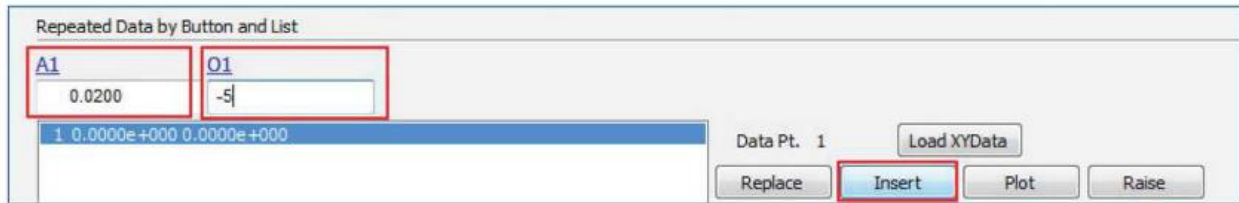


Рис. 2.33. Створення другої точки

Задамо точку 3: у полі «A1» вводимо значення «5», у полі «O1» вводимо значення «-5» та натискаємо кнопку «Insert» (рис. 2.34).

Зберігаємо введені дані кнопкою «Accept». На рис. 2.35 представлена заповнена карта DEFINE\_CURVE.

Закриваємо вікно кнопкою Done.

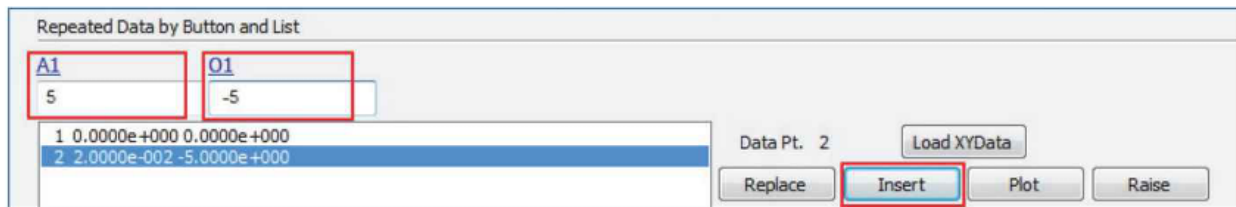


Рис. 2.34. Створення третьої точки

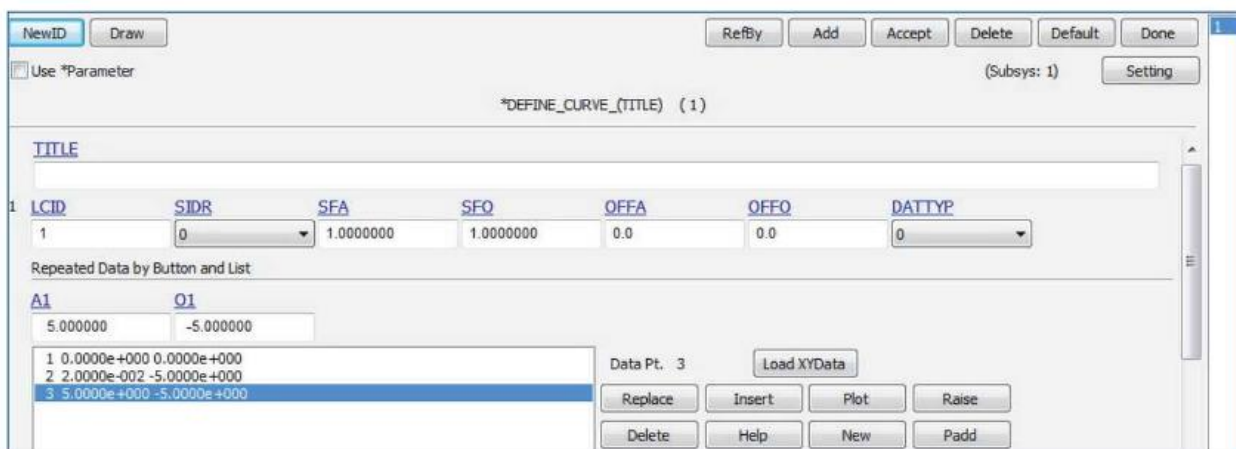


Рис. 2.35. Заповнене вікно «DEFINE\_CURVE»

### *Завдання параметрів руху інструменту*

Різальний клин інструмента повинен переміщатися по осі X зі певною швидкістю. Для завдання руху інструмента використовується ключове слово «BOUNDARY».

Розкриваємо гілку «BOUNDARY», подвійним натисканням ЛКМ вибираємо ключове слово «PRESCRIBED\_MOTION\_RIGID», у вікні, що з'явилося, зазначаємо такі значення, що наведені на рис. 2.36:

- PID – ідентифікатор частини розрахункової моделі;

- DOF – ступінь свободи, що застосовується, 1 – поступальний рух по осі X;
- VAD – прапор-ознака завдання швидкості/прискорення/переміщення, 0 – швидкість (тверді тіла і вузли);
- LCID – ідентифікатор задавальної кривої, для опису руху залежно від часу;
- SF – коефіцієнт перерахунку задавальної кривої;
- VID – ідентифікатор вектора, для значення DOF;
- DEATH – час, коли знімається задане обмеження/рух;
- BIRTH – час, коли задається рух/обмеження.



Рис. 2.36. Вікно «BOUNDARY\_PRESCRIBED\_MOTION\_RIGID»

Зберігаємо введені дані кнопкою «Ассерпт» та кнопкою «Done» закриваємо вікно.

### *Додаток обмежень на заготовку*

Далі необхідно обмежити переміщення заготовки, наклавши обмеження на набір вузлів №2. У вкладці "BOUNDARY", подвійним натисканням ЛКМ вибираємо ключове слово "SPC\_SET", у вікні вказуємо наступні значення, які наведені на рис. 2.37:

- NID/NSID. Ідентифікатор вузла чи набору вузлів, ставимо «2».
- DOFX. Ввести значення «1» для обмеження поступального руху у напрямку осі x;
- DOFY. Ввести значення «1» для обмеження поступального руху у напрямку осі y;
- DOFZ. Ввести значення «1» для обмеження поступального руху у напрямку осі z;
- DOFRX. Ввести значення "1" для обмеження обертального руху навколо осі x;
- DOFRY. Ввести значення «1» для обмеження обертального руху навколо осі y;
- DOFRZ. Ввести значення "1" для обмеження обертального руху навколо осі z.

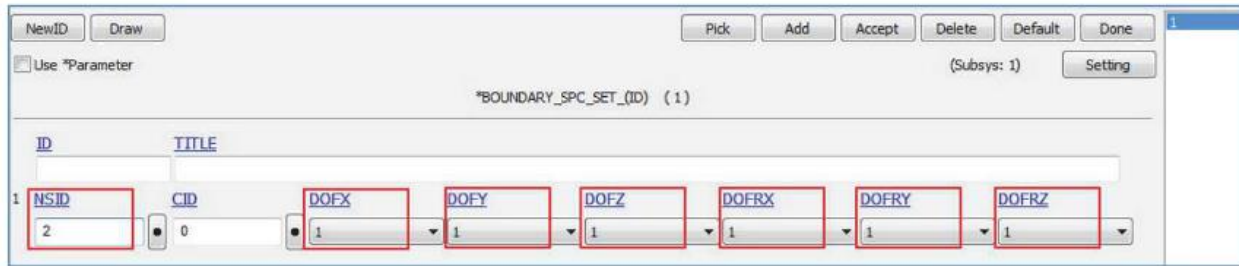


Рис. 2.37. Вікно «BOUNDARY\_SPC\_SET»

Зберігаємо введені дані кнопкою «Асепт» та кнопкою «Done» закриваємо вікно. Приховуємо вкладку "BOUNDARY".

### **Завдання початкової температури для теплового аналізу**

Для зазначення початкової температури розкриваємо гілку «INITIAL» і обираємо ключове слово «INITIAL\_TEMPERATURE\_SET», яке застосовується для завдання початкової температури у вузлах за допомогою ідентифікаторів вузлового набору або номерів вузлів. Ці початкові температури використовуються під час теплового аналізу або під час пов'язаного теплового аналізу та аналізу міцності. Вводимо значення температури в поле «TEMP», що дорівнює 20 °С, як показано на рис. 2.38.



Рис. 2.38. Вікно «INITIAL TEMPERATURE SET»

### **Завдання контрольних карт**

На вкладці ключового слова «CONTROL» вказуються карти для зміни значень за замовчуванням, наприклад, активувати такі опції розв'язання, як перерахунок маси елемента, адаптивна перебудова сітки та використання неявних методів розв'язання.

Ключове слово ENERGY призначене для того, щоб забезпечувати керуючі параметри для опцій розсіювання енергії:

- NIGEN – опція розрахунку енергії для процедури опрацювання спотворень елементів на кшталт пісочного годинника, ставимо значення «2» – енергію розраховуємо і включаємо в загальний баланс;

- RWEN – опція дисипації енергії, ставимо значення «2» – енергію розраховують і включають у загальний баланс;

- SLNTEN – опція дисипації енергії по межі ковзання контактів, ставимо

значення «2» – енергію розраховують і включають у загальний баланс;

- RYLEN – опція релеєвського розсіювання енергії, ставимо значення «2» – розсіювання енергії розраховують і включають у загальний баланс.

Заповнені поля ключового слова «CONTROL\_ENERGY» представлено на рис. 2.39.

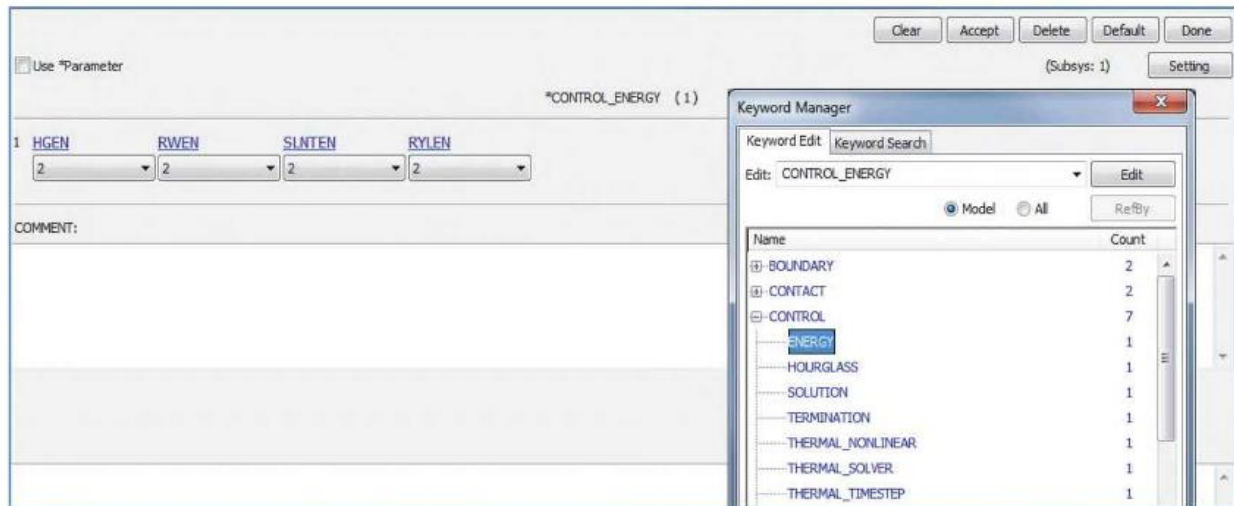


Рис. 2.39. Вікно «CONTROL\_ENERGY»

Ключове слово HOURGLASS дає змогу задавати параметри, які використовуються процедурою опрацювання спотворень форми елементів за типом пісочного годинника, для перевизначення значень за замовчуванням. Вводимо значення як на рис. 2.40:

- IHQ – тип в'язкості ставимо значення «5» – форма жорсткості перерізу за типом 3 (Фланаган-Беличко).

- QH – коефіцієнт за замовчуванням, ставимо значення «0.1».



Рис. 2.40. Вікно «CONTROL\_HOURGLASS»

Ключове слово SOLUTION задає процедуру виконання аналізу, якщо виконується тільки тепловий розрахунок або пов'язаний тепловий аналіз. У поле «SOLN» вводимо значення «2» – пов'язаний міцнісний і тепловий аналіз, інші поля залишаємо за замовчуванням (рис. 2.41).



Рис. 2.41. Вікно «CONTROL\_SOLUTION»

Ключове слово TERMINATION використовується для зазначення умов завершення виконання завдання, задаємо налаштування, показані на рис. 2.42. У полі «ENDTIM» вказуємо час завершення – 3 мілісекунди.



Рис. 2.42. Вікно «CONTROL\_TERMINATION»

Ключове слово «THERMAL\_SOLVER» дає змогу задавати параметри для нелінійного теплового або пов'язаного міцнісного і теплового аналізу. Задаємо налаштування, показані на рис. 2.43. REFMAX – максимальне число матричних перетворень на один крок за часом, ставимо значення «100», решта налаштувань залишаються за замовчуванням.



Рис. 2.43. Вікно «CONTROL\_THERMAL\_NONLINEAR»

Ключове слово «THERMAL\_SOLVER» призначене задавати опції для теплового розрахунку або для пов'язаного міцнісного/теплового аналізу.

Вводимо значення (рис. 2.44):

- ATYPE – тип теплового аналізу, ставимо значення «1» – аналіз перехідного режиму;
- RTYPE – тип теплової задачі, ставимо значення «2» – нелінійна задача з властивостями матеріалу, що відповідають середній температурі елемента;
- SOLVER – тип розв'язувача теплового аналізу, ставимо значення «3» – dscg – ітеративний метод сполучених градієнтів, діагонально масштабований;
- CGTOL – похибка збіжності для вирішувачів типу 3 і 4, ставимо значення « $1.0e^{-6}$ »;
- GPT – кількість точок Гауса, використовуваних в об'ємних елементах, ставимо значення «1» – використовується одноквадратура;



- FWORK – частка механічної роботи, перетвореної в теплоту, ставимо значення «0.9».

Інші налаштування залишаються за замовчуванням.



Рис. 2.44. Вікно «CONTROL\_THERMAL\_SOLVER»

- Ключове слово «THERMAL\_TIMESTEP» використовується, щоб задавати параметри керування кроком рішення за часом для теплового розрахунку або для пов'язаного міцнісного/теплового аналізу.

- Задаємо налаштування, показані на рис. 2.45:

- ITS – початковий крок теплового розрахунку, ставимо значення «0.001»;

- TMIN – мінімальний крок теплового розрахунку, ставимо значення «1 .0e<sup>-7</sup>»;

- TMAX – максимальний крок теплового розрахунку, ставимо значення «0.0139»;

- DTEMP – максимальна зміна температури під час кожного кроку за часом, заданим, як зазначено вище, що зменшуватиме крок теплового розрахунку, ставимо значення «100».



Рис. 2.45. Вікно «CONTPOL\_THERMAL\_TIMESTEP»

### **Завдання вихідних файлів з інформацією про результати розрахунку**

Ключове слово "DATABASE" (БАЗА ДАНИХ) не є обов'язковим, проте завдання баз даних необхідне для отримання вихідних файлів з інформацією про результати розрахунку.

У Карті ASCII\_option (рис. 2.47) вибираються файли у форматі ASCII (якщо файл не заданий, він записуватися не буде), в які записуватиметься відповідна інформація, а також вказується інтервал запису даних.

Вибрані файли у форматі ASCII для цієї задачі:

- GLSTAT – запис глобальних даних (рис. 2.46, а);

- MATSUM – запис даних про енергію системи (рис. 2.46, б);

- RCFORC – запис даних про рівнодіючі сили на поверхні розділу (рис. 2.46, в).

GLSTAT		
кінетична енергія		
внутрішня енергія		
повна енергія		
відношення		
енергія сітки-перешкоди		
енергія пружини та демпфера	MATSUM	
енергія при спотвореннях форми елемента	кінетична енергія	
енергія демпфування	внутрішня енергія	
енергія ковзної поверхні розділу	енергія при спотвореннях форми елемента	
робота зовнішніх сил	імпульс z, y, z	
швидкість z, y, z	швидкість z, y, z жорсткого тіла	
крок рахунку за часом	повна кінетична енергія	RCFORC
ідентифікатор елемента, що визначає крок за часом	повна енергія при спотвореннях форми елемента	сила z, y, z

Рис. 2.46. Вихідні дані для файлів у форматі ASCII

Parameter	DT	BINARY	LCUR	IOOPT	OPTION1	OPTION2
<input checked="" type="checkbox"/> GLSTAT	0.003	0	0	1		
<input type="checkbox"/> GLSTAT_MASS_PROPERTIES	0.0	0	0	1		
<input type="checkbox"/> JNTFORC	0.0	0	0	1		
<input checked="" type="checkbox"/> MATSUM	0.003	0	0	1		
<input type="checkbox"/> MOVIE	0.0	0	0	1		
<input type="checkbox"/> MPGS	0.0	0	0	1		
<input type="checkbox"/> NCFORC	0.0	0	0	1		
<input type="checkbox"/> NODFOR	0.0	0	0	1		
<input type="checkbox"/> NODOUT	0.0	0	0	1	0	0
<input type="checkbox"/> RBDOUT	0.0	0	0	1		
<input checked="" type="checkbox"/> RCFORC	0.003	0	0	1		

Рис. 2.47. Вікно «DATABASE \_ ASCII \_ option»

Для перегляду результатів розрахунку необхідно задати ім'я файлу двійкових вихідних даних, у який записуватиметься відповідна інформація із заданим користувачем інтервалом запису.

Для розглянутої задачі обираються два файли – D3PLOT і D3THDT, які за замовчуванням матимуть імена D3PLOT і D3THDT відповідно.

Файл D3PLOT містить інформацію, необхідну для видачі даних на графік по всій тривимірній геометрії моделі. Ці дані можна видати на графік за допомогою постпроцесора LS-POST. Файл D3THDT містить дані про динаміку змін і для підмножини елементів, а також глобальні дані. Ці дані можна видати на графік за допомогою постпроцесора LS-POST.

Карти DATABASE\_BINARY\_D3PLOT і DATABASE\_BINARY\_D3THDT з усіма необхідними налаштуваннями наведено на рис. 2.48 і рис. 2.49 відповідно.



Рис. 2.48. Вікно «DATABASE\_BINARY\_D3PLOT»

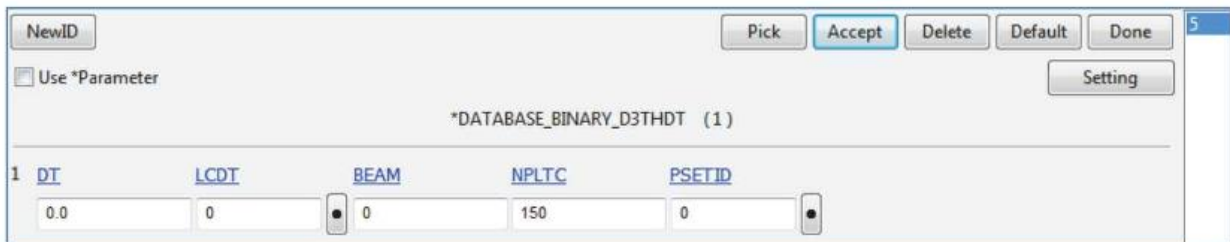


Рис. 2.49. Вікно «DATABASE\_BINARY\_D3THDT»

Після вказівки всіх налаштувань необхідно зберегти проект і запустити його на розрахунок.

### Збереження моделі

Для збереження моделі необхідно на стандартній панелі (у верхній частині робочого вікна) натиснути кнопку «File», потім навести курсор на пункт «Save» і в списку, що розкривається, вибрати рядок «Save Keyword», як показано на рис. 2.50. У вікні «Save Keyword» (див. мал. 2.51), що відкрилося, вкажіть шлях до робочої папки, в якій буде збережено файл моделі, введіть назву файлу «Cutting1.k» і натисніть кнопку «Save».

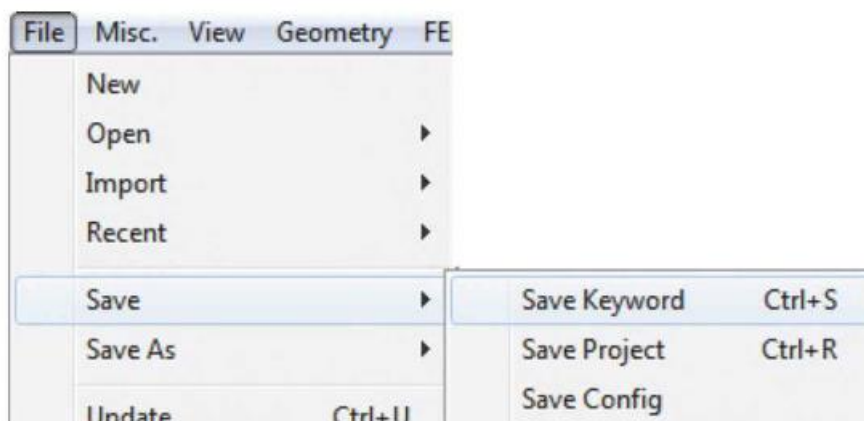


Рис. 2.50. Збереження моделі



Рис. 2.51. Вікно «Save Keyword»

### Запуск завдання на розрахунок

Для запуску задачі на розрахунок необхідно розкрити в меню «Пуск» гілку «ANSYS 15.0» і запустити додаток «Mechanical APDL Product Launcher 15.0» (рис. 2.52). У вікні, що відкрилося (рис. 2.53), виконуються такі налаштування:

- у полі «Simulation Environment» оберіть пункт «LS-DYNA Solver»;
- у полі «Working Directory» необхідно вказати адресу робочої папки, в яку будуть записуватися файли, що містять результати розрахунку, задані за допомогою ключового слова «DATABASE»;
- у полі «Keyword Input File» необхідно вказати адресу збереженого в п. 2.1.4 k-файлу з ім'ям «Cuttingl.k».

Після завдання зазначених налаштувань необхідно натиснути кнопку «Run» у нижній частині вікна, у результаті відкриється вікно, у якому відобразатиметься хід розв'язання.

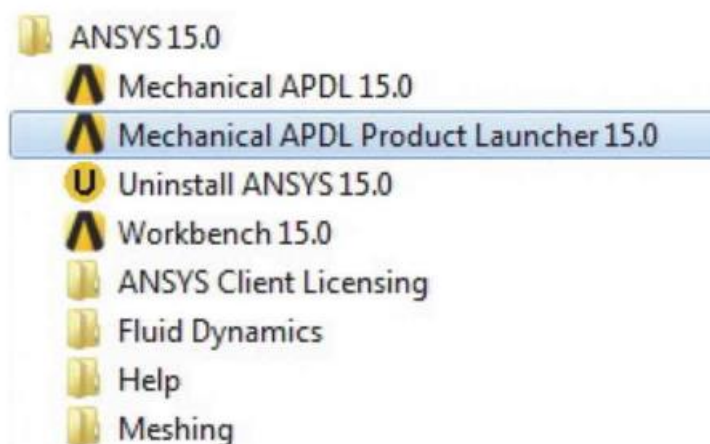


Рис. 2.52. Запуск програми «Mechanical APDL Product Launcher 15.0»

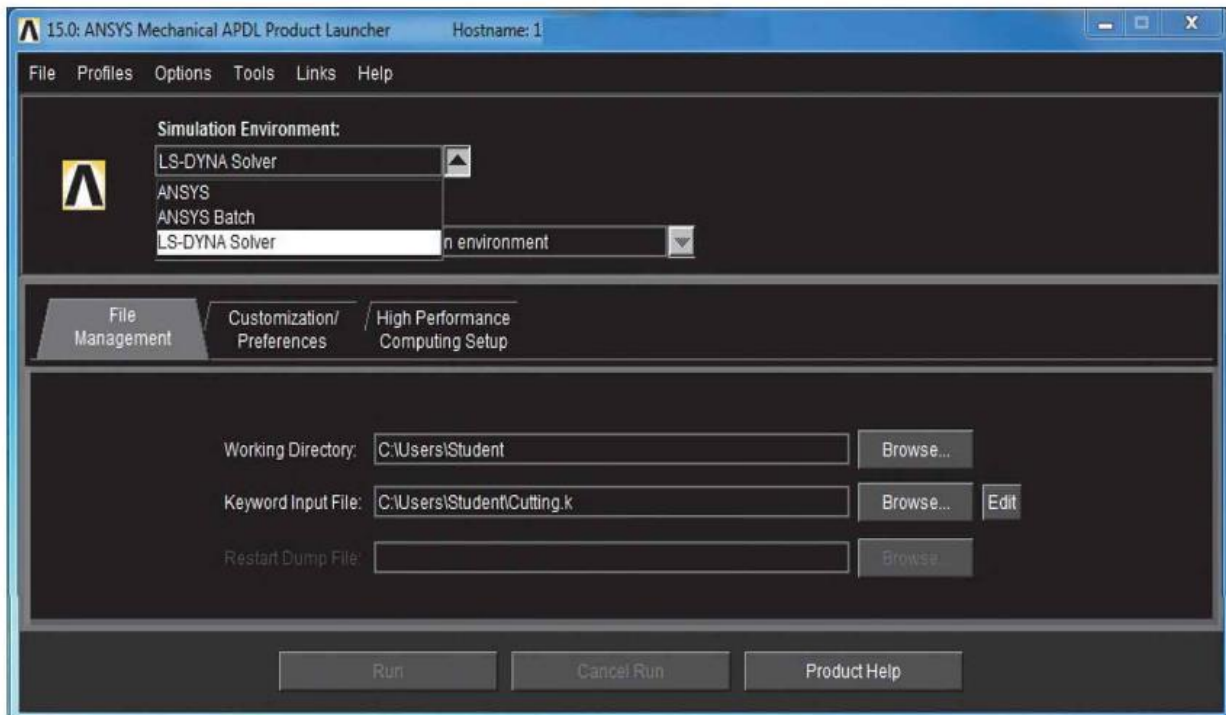


Рис. 2.53. Вікно «Mechanical APDL Product Launcher 15.0»

### Перегляд результатів розрахунку

Для перегляду результату розрахунку необхідно запустити програму LS-PrePost, далі на стандартній панелі натиснути кнопку «File», потім навести курсор на пункт «Open» і в списку, що розкривається, вибрати рядок «LS-DYNA Binary Plot» (див. рис. 2.54).

У вікні «Open File» (див. рис. 2.55), що відкрилося, вкажіть шлях до робочої папки, в яку записувалися результати розрахунку, потім виберіть файл «d3plot» і натисніть кнопку «Відкрити».

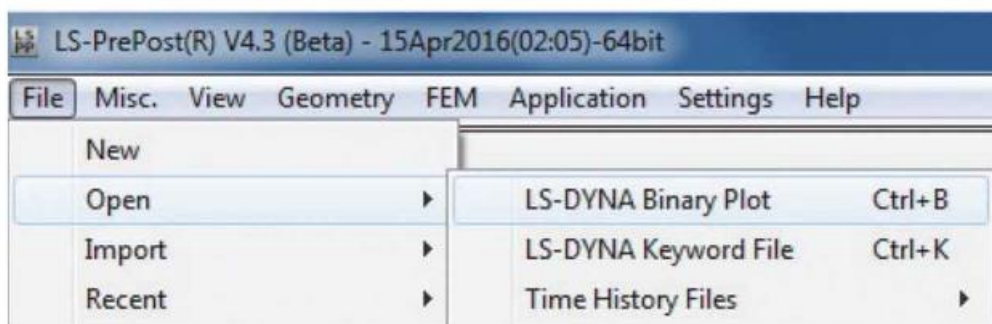


Рис. 2.54. Вибір типу файлу для відкриття

В результаті відкриється побудована раніше модель з можливістю анімації результату за допомогою вікна Animate (див. рис. 2.56). У цьому вікні є такі можливості:

- запуск анімації процесу;

- перемотування вперед і назад;
- зупинка анімації на потрібному етапі.

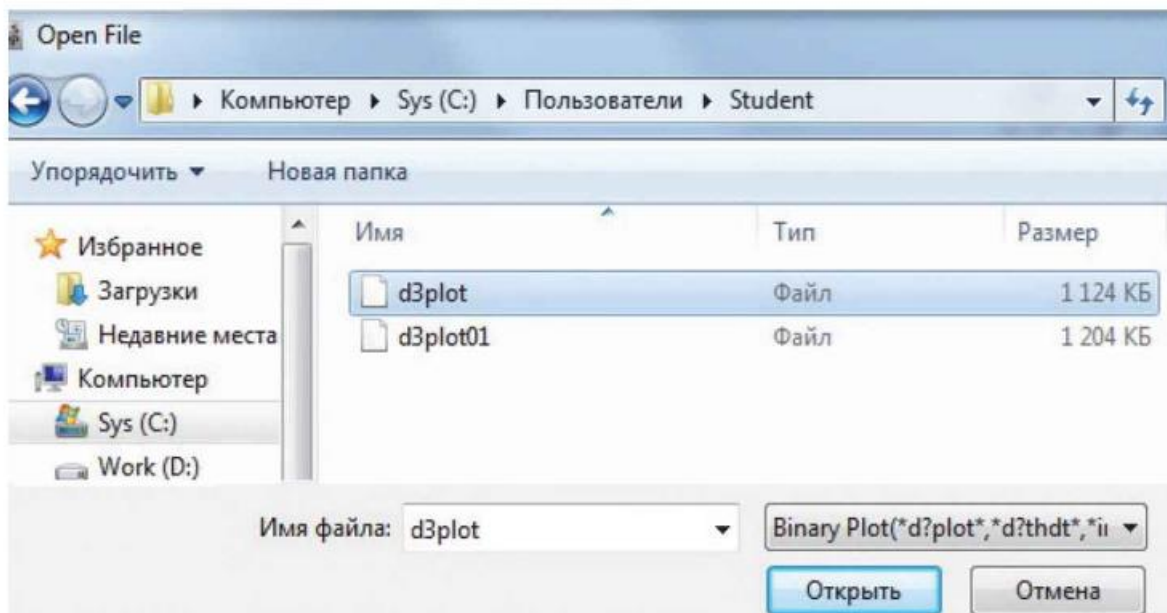


Рис. 2.55. Вікно «Open File»

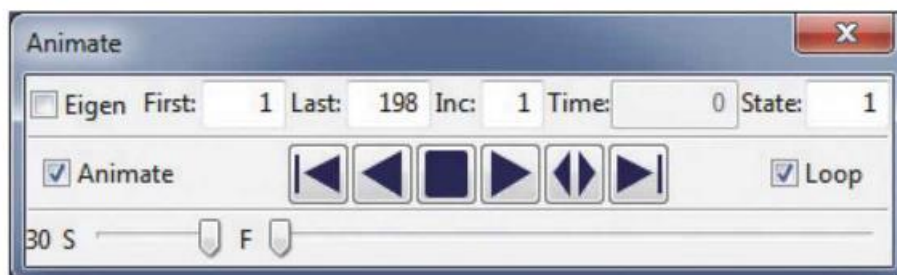


Рис. 2.56. Вікно «Animate»

Для відображення результатів розрахунку в потрібному вигляді необхідно натиснути кнопку «Post» на панелі інструментів, розташованій праворуч, після цього відкриється додаткова інструментальна вкладка з набором кнопок для отримання різних епюр, графіків та інших варіантів перегляду результату розрахунку.

Для перегляду полів розподілу необхідно натиснути кнопку «Fringe Component», у результаті відкриється відповідне вікно (див. рис. 2.57, а, б, в), яке дає змогу відображати розподіл напружень, деформацій, температури тощо. Після вибору відповідного пункту модель стане різнобарвною, де кожному кольору відповідає певне значення обраного параметра.

На рис. 2.57, а, б, в представлено необхідні установки для перегляду розподілу ефективної пластичної деформації, еквівалентної напруги за фон Мізесом і температури відповідно, а на рис. 2.58, а, б, в представлено

результати розподілу полів зазначених величин. Для більшої наочності й точності розрахунку представлені результати було виконано на моделі з розміром елемента 0,1 мм.

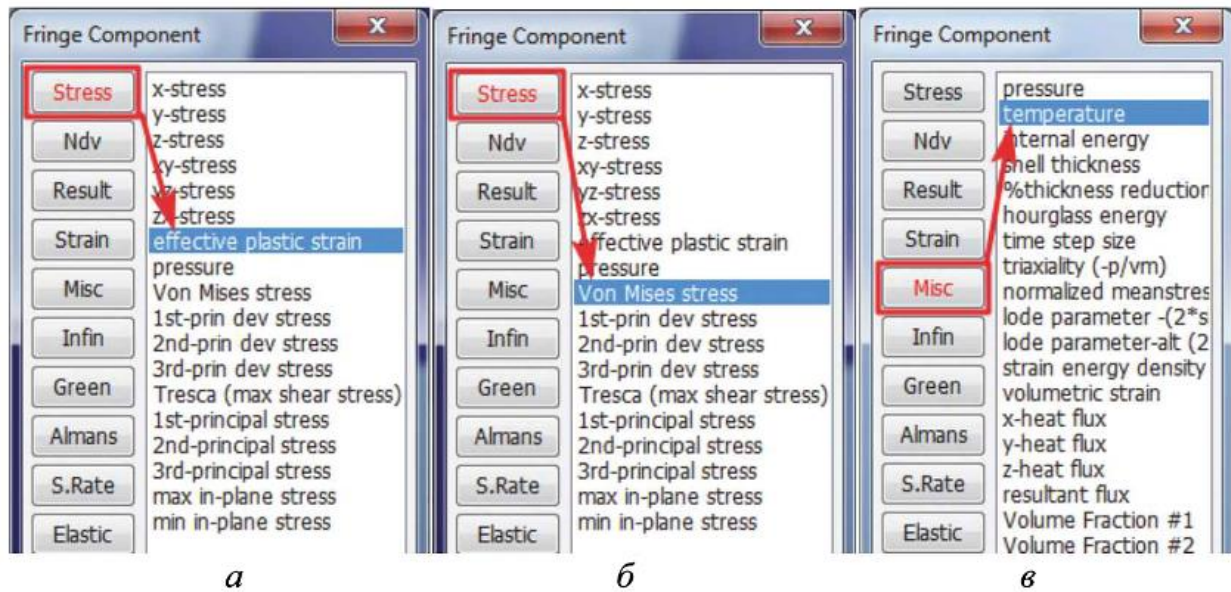


Рис. 2.57. Налаштування для перегляду результатів розподілу полів: а – ефективної пластичної деформації; б – еквівалентної напруги по Мізесу; в – температури

Найбільше значення полів пластичних деформацій  $\epsilon_{\max} = 1,27$  (див. рис. 2.58 а). Розподіл полів напруг показує, що максимальне напруження  $\sigma_{\max} = 400$  МПа (рис. 2.58, б). Найбільші напруження зосереджені у області утворення стружки. Найбільша температура спостерігається на лінії контакту різальної кромки інструменту із заготовкою і становить у середньому 110 °С (рис. 2.58, в).



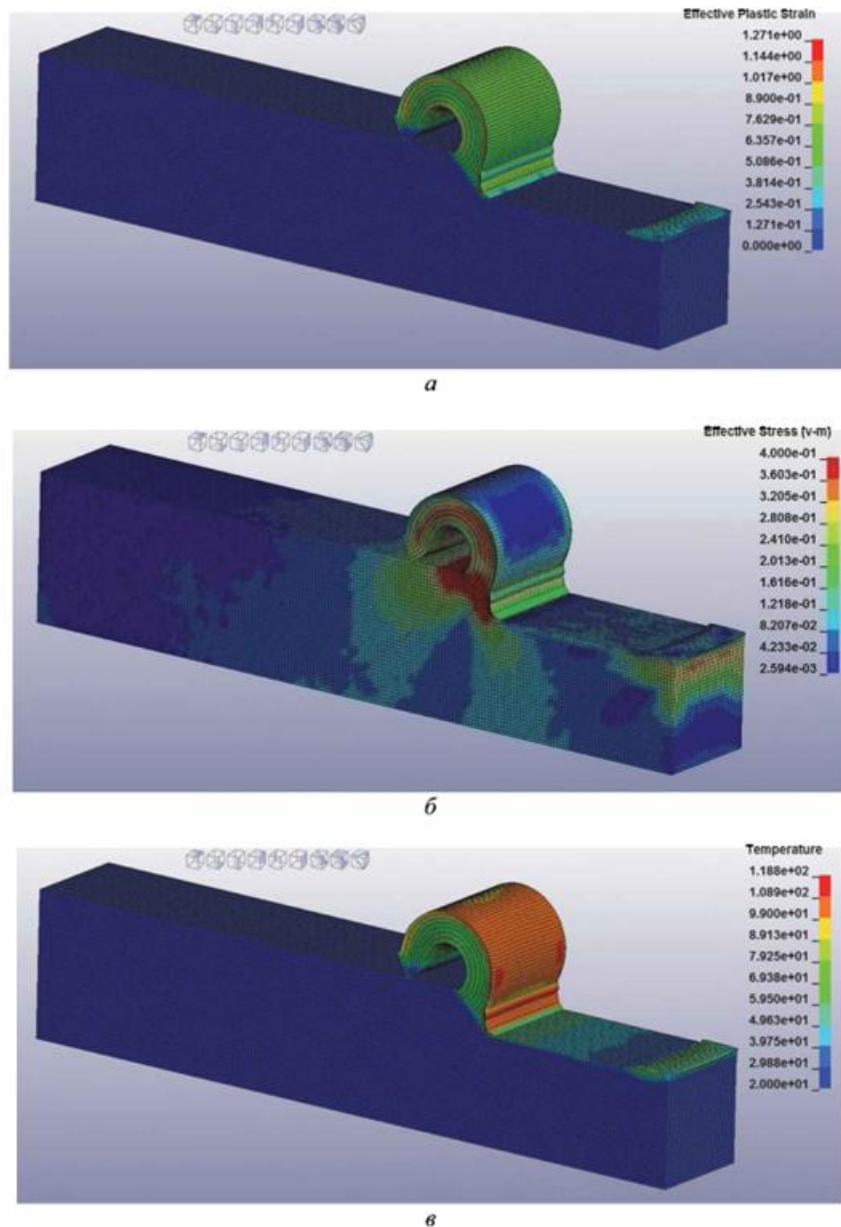


Рис. 2.58. Перегляд результатів розподілу полів: а – ефективно пластичної деформації; б – еквівалентної напруги за Мізесом; в – температури

Для побудови графіка результуючої сили різання натисніть кнопку «ASCII» на панелі інструментів, розташованій праворуч, у результаті відкриється вікно, представлене на рис. 2.59, а. У верхній частині вікна необхідно вибрати пункт «rforce», у результаті у вікні з'являться додаткові поля, потім натисніть кнопку «Load», що дасть змогу завантажити дані про сили, що діють у моделі (див. рис. 2.59, б). Поруч із пунктом «rforce» має з'явитися значок «[1]». У другому полі виберіть пункт «MA-1», а в полі нижче – результуючу силу і натисніть кнопку «Plot» (див. рис. 2.59, в). У результаті з'явиться графік результуючої сили різання (див. рис. 2.60).

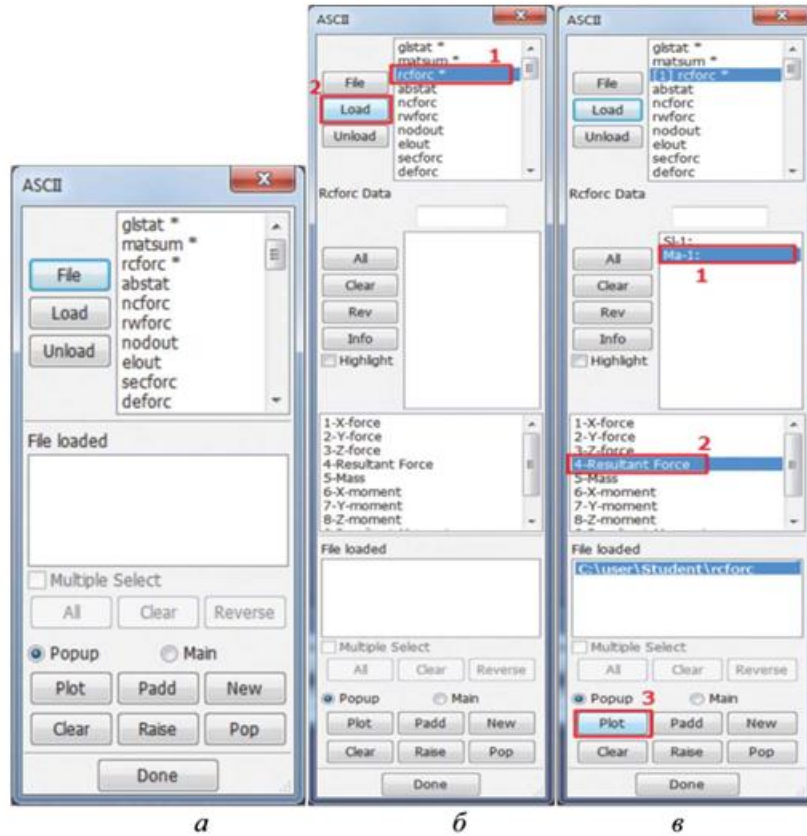


Рис. 2.59. Вікно "ASCII": а – загальний вигляд вікна; б – вибір та завантаження результатів розрахунку; в – побудова графіка

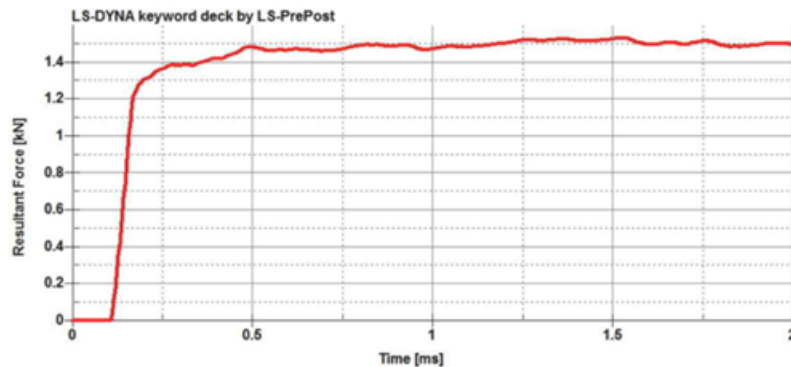


Рис. 2.60. Результуюча сила різання

Розрахункове значення результуючої сили різання  $F$  (рис. 2.60) становило 1,5 кН.

## **Практична робота 4**

### **Моделювання процесу взаємодії різального клина інструмента із заготівкою методом скінчених елементів за допомогою програми Ansys LS-DYNA Student**

*Мета заняття – отримати навички моделювання процесу взаємодії різального клина інструмента із заготівкою.*

*Обладнання: комп'ютер, встановлене загальносистемне програмне забезпечення, встановлена програма Ansys LS-DYNA Student*

#### **ХІД РОБОТИ:**

1. Виконати моделювання процесу взаємодії різального клина інструмента із заготівкою методом скінчених елементів (FEM) за методикою, описаною в попередніх практичних роботах.

Вихідні дані наведені у додатку.

2. За результатами моделювання підготувати звіт у документі Microsoft Office Word, що містить скріншоти робочого вікна програми LS-PrePost з описом представлених на них результатів.

Необхідно відобразити:

- розподіл полів пластичних деформацій;
- розподіл полів еквівалентних напружень за Мізесом;
- розподіл полів температур;
- графік результуючої сили різання.

3. Зробити висновки.

## **Практична робота 5**

### **Моделювання процесу взаємодії різального клина інструмента із заготовкою методом згладжених частинок за допомогою програми Ansys LS-DYNA Student**

*Мета заняття – отримати навички моделювання процесу взаємодії різального клина інструмента із заготовкою.*

*Обладнання: комп'ютер, встановлене загальносистемне програмне забезпечення, встановлена програма Ansys LS-DYNA Student*

#### **ХІД РОБОТИ:**

1. Виконати моделювання процесу взаємодії різального клина інструмента із заготовкою методом згладжених частинок (SPH).

Вихідні дані наведені у додатку.

2. За результатами моделювання підготувати звіт у документі Microsoft Office Word, що містить скріншоти робочого вікна програми LS-PrePost з описом представлених на них результатів.

Необхідно відобразити:

- розподіл полів пластичних деформацій;
- розподіл полів еквівалентних напружень за Мізесом;
- розподіл полів температур;
- графік результуючої сили різання.

3. Зробити висновки.

#### **Методика моделювання з використанням методу згладжених частинок і явної схеми розв'язання**

Під час моделювання з використанням методу згладжених частинок використовується побудована раніше скінченно–елементна модель, але модель заготовки змінюється на безсіткову. Необхідно перевизначити налаштування такі як: тип елемента, частини, контакт, обмеження. А також видалити контроль спотворення Hourglass.

#### **Створення безсіткової моделі заготовки**

Для побудови безсіткової моделі заготовки необхідно спочатку побудувати оболонку, а потім її заповнити частинками. Для побудови оболонки натисніть на панелі інструментів, розташованій праворуч, кнопку «Element and Mesh», після цього відкриється додаткова вкладка з набором кнопок побудови та редагування вузлів і елементів. У вкладці, що розкрилася, натисніть кнопку «Shape Mesher», з'явиться два вікна. У вікні «Shape Mesher», у спадному меню «Entity» виберіть «BoxShell», у наступному рядку відзначте опцію «Region»,

після цього залишиться ввести мінімальні та максимальні координати за трьома осями для побудови паралелепіпеда, а також число (опція «number») або розмір (опція «size») елементів для ребер паралелепіпеда відповідно до осей.



Рис. 2.61. Вікно «Shape Mesher»

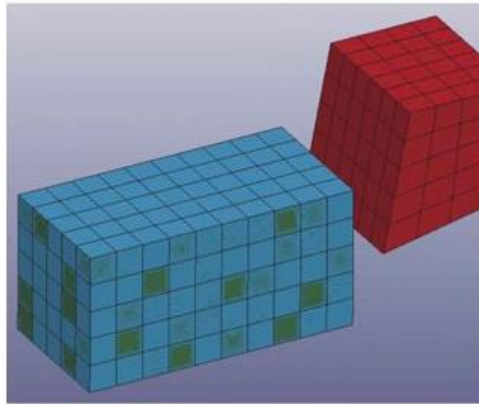


Рис. 2.62. Побудова оболонки

Заповніть виділені поля вікна «Shape Mesher» як показано на рис. 2.61. Натисніть кнопку «Create» і в графічному вікні відобразиться модель заготовки з побудованою сіткою. Для збереження введених даних і побудови скінченно-елементної моделі заготовки натисніть кнопку «Асепт». На рис. 2.62 представлено результат виконаної операції. Закриваємо діалогове вікно «Share Mesher», натиснувши на кнопку «Done».

Далі необхідно приховати кінцево-елементну модель заготовки. У дереві моделі (рис. 2.63) необхідно розкрити гілку «FEM» і зняти галочку з пункту 2, унаслідок чого проміжна модель набуде вигляду, як показано на рис. 2.64.



Рис. 2.63. Вікно Дерево моделі

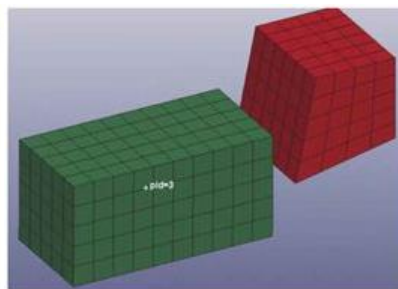


Рис. 2.64 Проміжна модель

Для заповнення побудованої оболонки частинками на панелі інструментів «Element and Mesh» ~ натисніть кнопку «SPH Generation» —, з'явиться два вікна. У вікні «SPH Generation», у розкритому меню

«Method» виберіть «Shell Volume», у полі «Num Particles Definition» вказуємо відстань між частинками за відповідними осями — у графі «PitX», «PitY», «PitZ» вводимо «0.25», після цього в поле «Density» вводимо густину створюваного матеріалу англійською розкладкою клавіатури — «7.81e-6» і натискаємо кнопку «Set Params» — рис. 2.65, а. Введені параметри з'являться в дужках після назви частини — рис. 2.65, б. У графічному вікні необхідно

клацнути лівою кнопкою миші на ділянці заготовки, і обрана частина відобразиться у верхній ділянці вікна «SPH Generation», рис. 2.65, в.

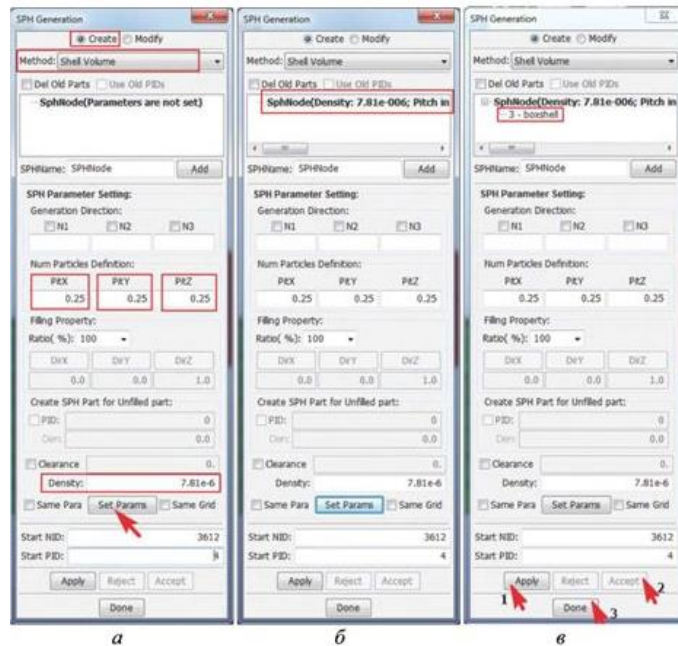


Рис. 2.65. Створення безсіткової моделі

Для того щоб застосувати введені налаштування натисніть кнопку «Apply». Для збереження отриманої безсіткової моделі заготовки натисніть кнопку «Асерт» і кнопкою «Done» закриваємо діалогове вікно «SPH Generation».

Тепер можна видалити непотрібні частини моделі. У дереві моделі (рис. 2.66) необхідно розкрити гілку «FEM» і видалити пункт 2 і 3, клацнувши правою кнопкою миші відповідний пункт і натиснувши кнопку «Delete». У результаті кінцева модель набуде вигляду як показано на рис. 2.67.

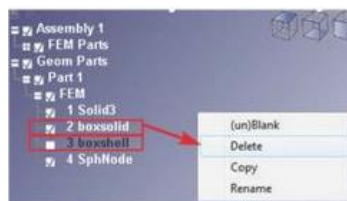


Рис. 2.66. Видалення пункту 2 і 3

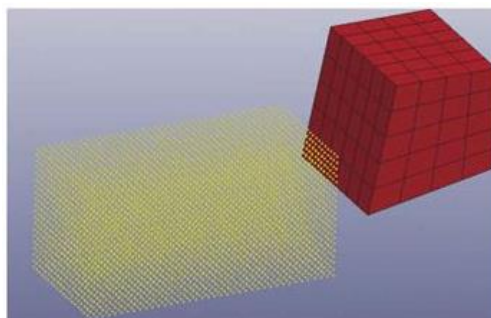


Рис. 2.67. Готова модель

Наступним етапом необхідно перевизначити налаштування такі як: тип елемента, частини, контакт, обмеження.

На панелі інструментів, розташованій праворуч, натисніть кнопку «Model and Part» – після цього відкриється додаткова вкладка з набором кнопок різних операцій з моделлю і частинами моделі. У вкладці, що розкрилася, натисніть кнопку «Keyword Manager» – і відкриється відповідне вікно (рис. 2.68). У вікні, що відкрилося, встановіть перемикач на «АН» (рис. 2.68).



Рис. 2.68. Вікно «Менеджер ключових слів»

### Визначення типу елемента

Для визначення типу елемента потрібно задати секцію, яка використовує ключове слово, що починається з «SECTION», воно необхідне для формулювання кінцевих елементів, визначення правила інтегрування і характеристики поперечного перерізу. Формулювання елементів інструменту залишається без зміни, а для формулювання елементів заготовки необхідно ввести нове ключове слово.

У вікні «Keyword Manager» розкрийте гілку «SECTION». Для частинок SPH використовується ключове слово «SECTION\_SPH» (рис. 2.69), що дає змогу задавати властивості перерізу для частинок SPH, для нього задають одну карту, в якій зазначають номер секції «2», а решту налаштувань залишають за замовчуванням.

*SECTION_SPH_(TITLE) (1)								
	TITLE	SECID	CSLH	HMIN	HMAX	SPHINI	DEATH	START
1		2	1.2000000	0.2000000	2.0000000	0.0	1.000e+020	0.0

Рис. 2.69. Вікно «SECTION\_SPH»

## Визначення частин

Далі необхідно перевизначити заготовку за допомогою ключового слова PART.

У вікні «Keyword Managen) розкрийте гілку «PART» і виберіть ключове слово «PART» (рис. 2.70). У вікні, що відривається, у правій частині вікна обираємо другий елемент у списку і вводимо налаштування (рис. 2.70):

- у полі «TITLE» назву частини – «Заготівля»;
- у полі PID – ідентифікатор частини – 2;
- у полі SECID – ідентифікатор розділу, що визначається в розділі «SECTION»–2;
- у полі MID – ідентифікатор матеріалу, який визначається в розділі «MAT» – 1;
- у полі EOSID – ідентифікатор рівняння стану, визначений у розділі «EOS» – 1;
- у полі HGID – ідентифікатор контролю спотворення елементів за типом пісочного годинника за рахунок об'ємної в'язкості, який визначається в розділі «HOURLGLASS» – 1;
- у полі TMID – ідентифікатор теплофізичних властивостей матеріалу, що задається в розділі «MAT\_TERMAL» – 1.



Рис. 2.70. Вікно «PART» для заготовки

Для збереження введених налаштувань натисніть кнопку «Асерт» і кнопкою «Done» закрийте вікно.

## Створення вузлових наборів

Далі необхідно перезадати набори вузлів для завдання контакту й обмеження переміщення заготовки.

На панелі інструментів, розташованій праворуч, натисніть кнопку

«Model and Part» «і., після цього відкриється додаткова вкладка з набором кнопок різних операцій з моделлю і частинами моделі. У вкладці, що розкрилася, натисніть кнопку «Create Entity», з'явиться два вікна «Entity Selection» і «Entity Creation». У вікні «Entity Creation» (рис. 2.71) розкрийте гілку «Set Data» і виберіть пункт «\*SET\_NODE», при цьому права частина вікна змінить структуру. У правій верхній частині вікна



«Entity Creation» встановить перемикач на «Show» і в полі нижче виберіть два набори вузлів, утримуючи клавішу «Ctrl», як показано на рис. 2.71. Встановить перемикач з «Show» на «Del», в результаті в полі нижче залишаться тільки вибрані раніше набори вузлів, повторно виберіть дані набори вузлів, утримуючи клавішу «Ctrl», як показано на рис. 2.72 і натисніть кнопку «Apply». Вибрані пункти буде видалено.

Тепер необхідно створити нові набори вузлів.

У правій верхній частині вікна «Entity Creation» переключіть перемикач на «Cre», а в полі «SetID» введіть значення «1» (рис. 2.73), при цьому вікно «Entity Selection» зміниться на вікно «Sel. Nodes», у якому встановить перемикачі так, як показано на рис. 2.74. Клацніть ЛКМ по заготівлі – усі вузли заготовки мають виділитися. Натисніть кнопку «Apply» у вікні «Entity Creation», у результаті буде створено набір із 16 000 вузлів з ідентифікатором «1» (рис. 2.75).

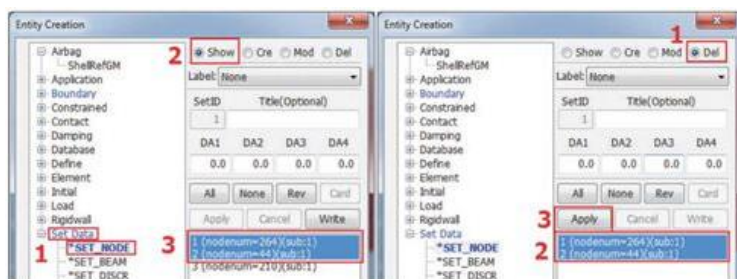


Рис. 2.71. Перегляд набору вузлів у вікні «Entity Creation»

Рис. 2.72. Видалення набору вузлів у вікні «Entity Creation»

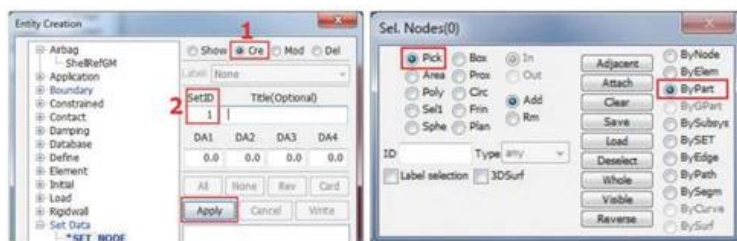


Рис. 2.73. Вікно «Create Entity»

Рис. 2.74. Вікно «Sel. Nodes»

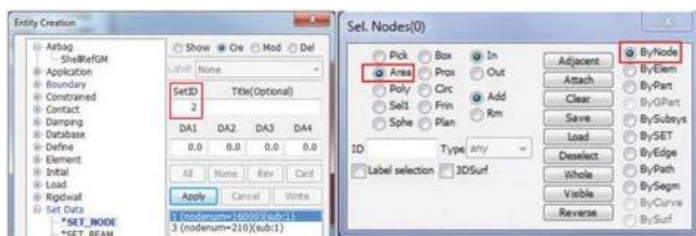


Рис. 2.75. Вікно «Create Entity»

Рис. 2.76. Вікно «Sel. Nodes»

Тепер необхідно створити нові набори вузлів.

У правій верхній частині вікна «Entity Creation» переключіть перемикач на «Cre», а в полі «SetID» введіть значення «1» (рис. 2.73), при цьому вікно «Entity Selection» зміниться на вікно «Sel. Nodes», у якому встановить перемикачі так,

як показано на рис. 2.74. Клацніть ЛКМ по заготівлі – усі вузли заготовки мають виділитися. Натисніть кнопку «Apply» у вікні «Entity Creation», у результаті буде створено набір із 16 000 вузлів з ідентифікатором «1» (рис. 2.75).

Для створення другого набору вузлів у вікні «Sel. Nodes» встановіть перемикачі, як показано на рис. 2.76, і оберіть курсором ділянку нижніх вузлів заготовки, клацнувши ЛКМ у точки 1 і 2, як показано на рис. 2.77. Вузли, що потрапили в обрану область, будуть підсвічені. У вікні «Entity Creation» у полі «SetID» введіть значення «2» (мал. 2.75) і натисніть кнопку «Apply», у результаті буде створено набір із 800 вузлів з ідентифікатором «2» (мал. 2.78).



Рис. 2.77. Вибір нижніх вузлів заготовки

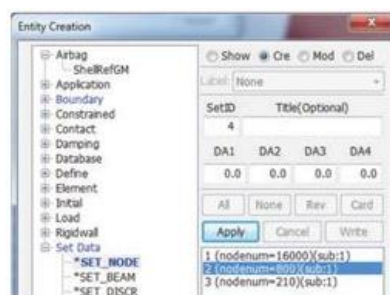


Рис. 2.78. Вікно «Create Entity»

Закриваємо вікно «Entity Creation» натиснувши на кнопку «Done».

### **Завдання нового алгоритму контактної взаємодії**

На наступному етапі необхідно змінити алгоритм контактної взаємодії, оскільки необхідність у контакті з можливістю видалення елементів зникає, оскільки модель частинок SPH має можливість руйнування через розрив зв'язку між елементами, а не видаленням елементів. З початку потрібно видалити попередні контакти. У вікні «Keyword Managen) встановіть перемикач на «Model» (рис. 2.68), потім розкрийте гілку «CONTACT» і видаліть два наявні контакти «CONTACT\_ERODING\_NODES\_TO\_SURFACE» і «CONTACT\_ERODING\_SINGLE\_SURFACE», натиснувши правою кнопкою миші по відповідному пункту і вибравши в контекстному меню команду «Delete by ids» (рис. 2.79)



Рис. 2.79. Видалення контактів

Створимо контакт заготовки та інструмента типу «вузли до поверхні». У вікні «Keyword Managen) встановить перемикач на «All» (рис. 2.68), потім розкрийте гілку «CONTACT», оберіть ключове слово AUTOMATIC\_NODES\_TO\_SURFACE, ця опція відключає перевірку взаємного впровадження на початку моделювання і призводить до появи контактних сил, що усувають взаємне впровадження, і подвійним клацанням ЛКМ відкрийте вікно налаштувань. У вікні, що відкрилося, насамперед потрібно заповнити поля, виділені червоним прямокутником (рис. 2.80). У карті 4 заповніть поля:

- SSID – ідентифікатор підлеглого сегмента, набору вузлів, набору частин моделі, ставимо – «1»;
- MSID – ідентифікатор набору головних сегментів, набору частин, однієї частини або набору оболонкових елементів, ставимо – «1»;
- SSTYP – підлеглий сегмент («Slave segment») або тип набору вузлів, ставимо – «4» – ідентифікатор набору вузлів;
- MSTYP – тип набору головних сегментів («Master segment»), ставимо – «3» – ідентифікатор частини.

Як «Master segment» вказується частина моделі, що належить інструменту; як «Slave segment» – ідентифікатор набору вузлів, що належать заготівлі.

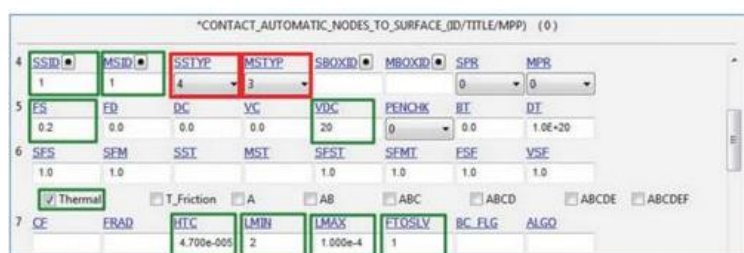


Рис. 2.80. Вікно CONTACT\_AUTOMATIC\_NODES\_TO\_SURFACE»

У карті 5 вказується коефіцієнт статичного тертя і коефіцієнт в'язкого демпфірування.

Карта 6 залишається за замовчуванням.

Додаємо карту «Thermal» і вводимо параметри, зазначені на рис. 2.80. Для збереження введених даних натискається кнопка «Ассерт» і кнопкою «Done» закривається вікно.

Після зазначення всіх необхідних налаштувань необхідно зберегти проєкт, як представлено в п. 2.1.4, і запустити на розрахунок див. п. 2.1.5.

### Перегляд результату розрахунку

Методику перегляду результатів розрахунку викладено в п. 2.1.6. Результати розрахунку методом згладжених частинок (SPH), представлені у вигляді розподілу полів ефективної пластичної деформації, еквівалентного напруження за Фон Міссом і температури, зображено на рис. 2.81, а, б, в, відповідно.

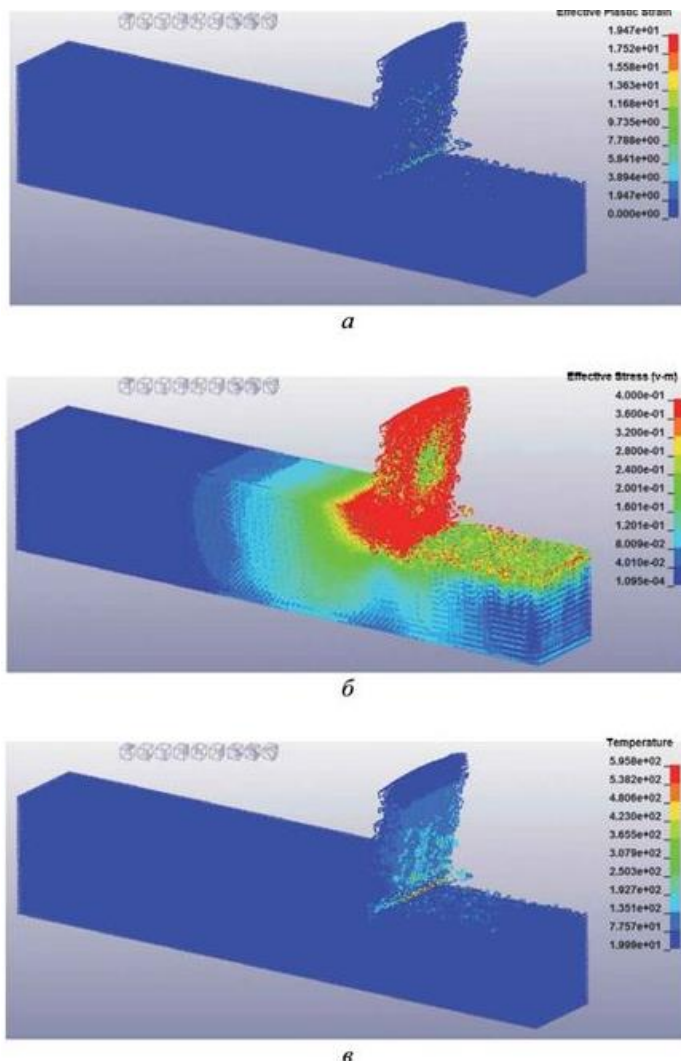


Рис. 2.81. Перегляд результатів розподілу нулів:  
а – ефективної пластичної деформації;  
б – еквівалентної напруги за Фон Міссом;  
в – температури

Найбільше значення полів пластичних деформацій  $\epsilon_{\max} = 10$  (див. рис. 2.81, а). Розподіл полів напружень показує, що максимальні напруження  $\sigma_{\max} = 400$  МПа (рис. 2.81, б). Найбільші напруження зосереджені в ділянці утворення стружки. Найбільша температура спостерігається на лінії контакту ріжучої кромки інструмента із заготовлею і становить у середньому  $135\text{ }^{\circ}\text{C}$  (рис. 2.81, в).

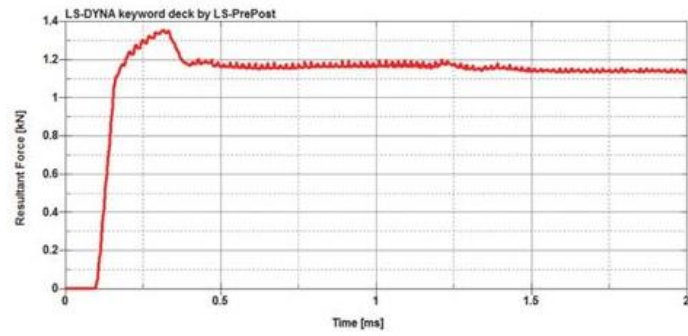


Рис. 2.82. Результуюча сила різання

Розрахункове значення результуючої сили різання  $F$  (рис. 2.82) становило 1,2 кН.

## **Практична робота 6**

### **Моделювання процесу взаємодії різального клина інструмента із заготовкою методом частинок Галеркіна за допомогою програми Ansys LS-DYNA Student**

*Мета заняття – отримати навички моделювання процесу взаємодії різального клина інструмента із заготовкою.*

*Обладнання: комп'ютер, встановлене загальносистемне програмне забезпечення, встановлена програма Ansys LS-DYNA Student*

#### **ХІД РОБОТИ:**

1. Виконати моделювання процесу взаємодії різального клина інструмента із заготовкою безсітковим методом частинок Галеркіна (EFG).

Вихідні дані наведені у додатку.

2. За результатами моделювання підготувати звіт у документі Microsoft Office Word, що містить скріншоти робочого вікна програми LS-PrePost з описом представлених на них результатів.

Необхідно відобразити:

- розподіл полів пластичних деформацій;
- розподіл полів еквівалентних напружень за Мізесом;
- розподіл полів температур;
- графік результуючої сили різання.

3. Порівняти отримані результати із результатами попередніх робіт та зробити висновки.

#### **Методика моделювання з використанням методу частинок Галеркіна та неявної схеми розв'язання**

При моделюванні з використанням методу частинок Галеркіна використовують неявну схему розв'язання. Як ріжуча частина інструмента виступатиме його поверхня, задана Shell-елементами.

#### ***Побудова геометрії ріжучої частини інструменту***

Перший етап побудови геометрії ріжучої частини інструменту представлений у п. 2.1.1, на другому етапі буде додано заокруглення ріжучої кромки. Для створення заокруглення необхідно на панелі інструментів «Solid» натиснути кнопку «Fillet», яка викличе діалогове вікно «Solid Fillet», у полі «Radius» вводимо значення «0.2», що буде відповідати радіусу 0,2 мм, і клацанням лівою кнопкою миші на різальній кромці інструменту вказуємо кромку для заокруглення, як показано на мал. 2.83, унаслідок цього в полі «Shape List» має з'явитися обрана кромка, а на геометрії з'явиться фантом створюваного заокруглення. Підтверджуємо введені зміни натисканням кнопки «Apply» і

закриваємо вікно «Solid Fillet» кнопкою «Close». Результат операції скруглення представлено на рис. 2.84.

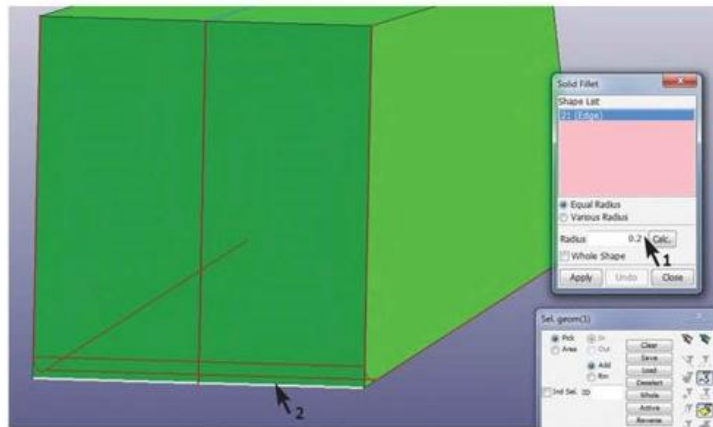


Рис. 2.83. Створення заокруглення ріжучої кромки

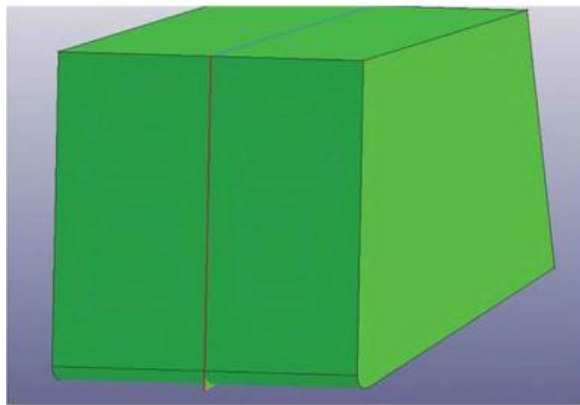


Рис. 2.84. Результат операції заокруглення

## **Створення скінченно–елементної моделі заготовки та інструменту**

### **Створення скінченно–елементної моделі інструменту**

Скінченно–елементна модель ріжучої частини інструменту буде являти собою оболонку. Для побудови якої на панелі інструментів, розташованій праворуч, натисніть кнопку «Element and Mesh», після цього відкриється додаткова вкладка з набором кнопок побудови та редагування вузлів і елементів. У вкладці, що розкрилася, натисніть кнопку «NlineM» і відкриється діалогове вікно «N–line Mesher» (рис. 2.85), у якому:

- у полі «Type» необхідно вибрати пункт «4 Lines Shell»;
- у полі «Mesh By» встановити перемикач на «Number of Elements»;
- у полі «Mesh Paramtrs» вказується кількість елементів на кожному відрізку, у полях «N1», «N2», «N3» і «N4» необхідно ввести значення «50», натиснути кнопку «Enter» після введення кожного значення;
- у полі «Part ID» ввести значення «1».

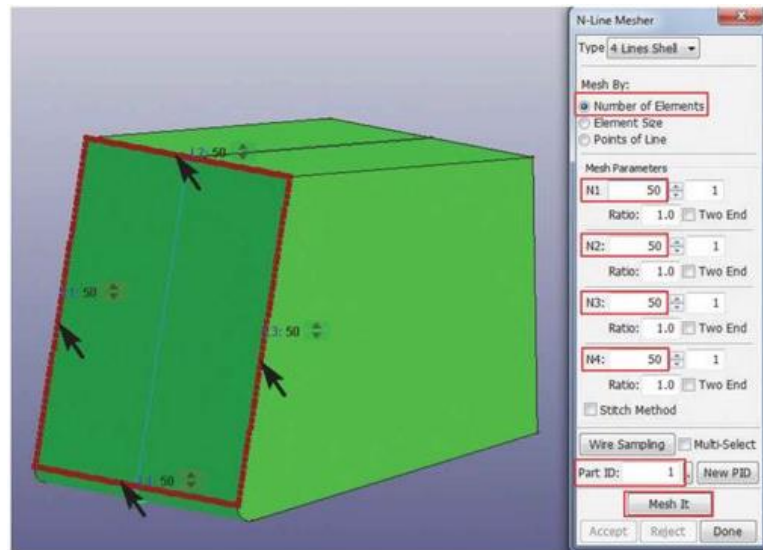


Рис. 2.85. Нанесення сітки на передню поверхню інструмента

На геометрії ріжучої частини необхідно послідовно вибрати чотири лінії, що обмежують передню поверхню інструмента, як показано на рис. 2.85. Після натискання кнопки «Mesh It» на передню поверхню інструмента буде нанесено кінцево елементну сітку і стане активною кнопка «Асерт», якщо вийшла необхідна сітка (рис. 2.86), то натискаємо кнопку «Асерт».

Далі подібним чином створюється сітка на задній поверхні інструмента (рис. 2.87).

Для створення сітки на заокругленні необхідно послідовно вибрати вагу чотири криві, як показано на рис. 2.88, і ввести в полях:

- «N1» – значення «10»;
- «N2» – значення «50»;
- «N3» – значення «10»;
- «N4» – значення «50»;
- у полі «Part ID» ввести значення «1».

Після введення кожного значення необхідно натискати кнопку «Enter». Закриваємо діалогове вікно «N-line Mesher» натиснувши на кнопку «Done».



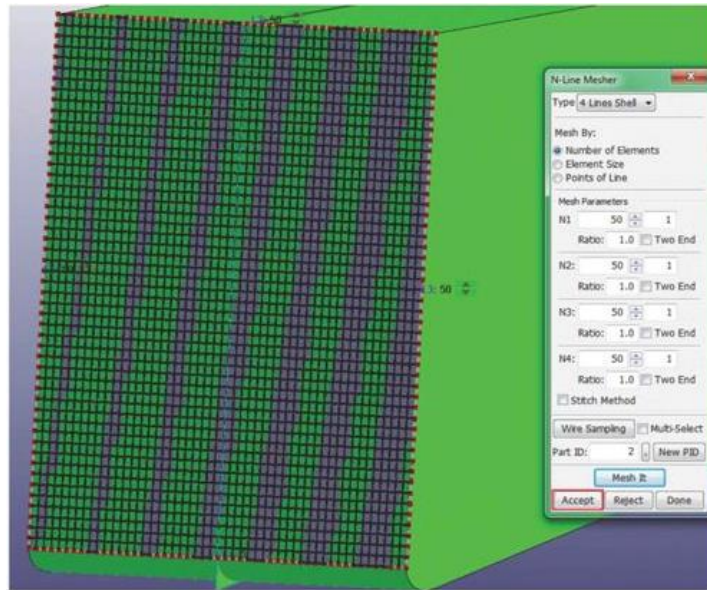


Рис. 2.86. Попередня сітка на передній поверхні інструмента

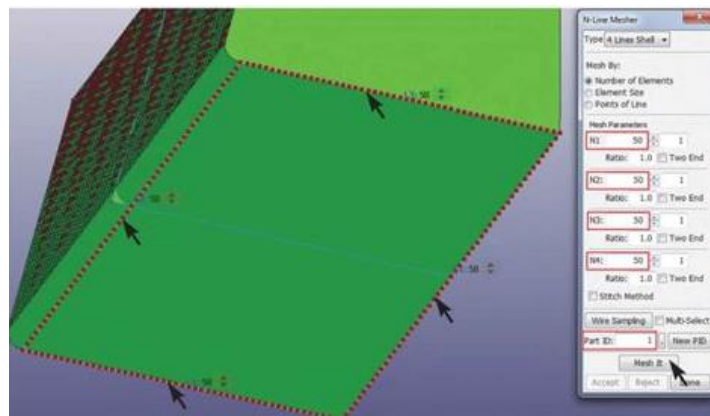


Рис. 2.87. Нанесення сітки на задню поверхню інструмента

Після побудови скінченно–елементної моделі різальної частини інструмента можна видалити зайві побудови. Для цього в дереві моделі (рис. 2.89) потрібно вибрати пункт «ShapeGroup» і, натиснувши правою кнопкою миші, вибрати команду «Delete».

У підсумку скінченно–елементна модель інструмента має виглядати так, як показано на рис. 2.90.

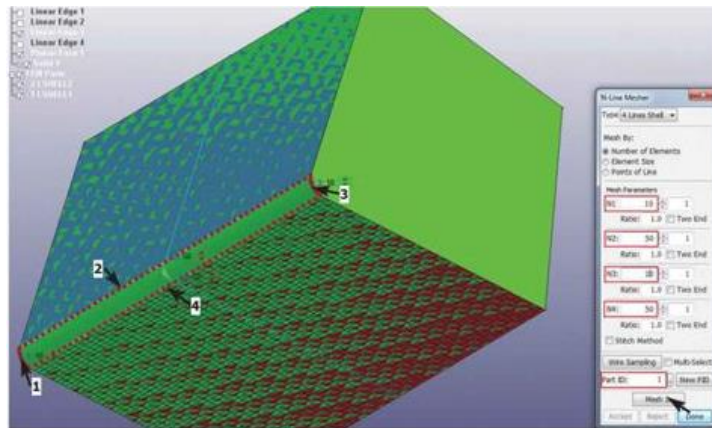


Рис. 2.88. Нанесення сітки на заокруглення

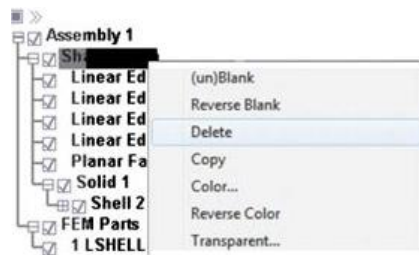


Рис. 2.89. Дерево моделі

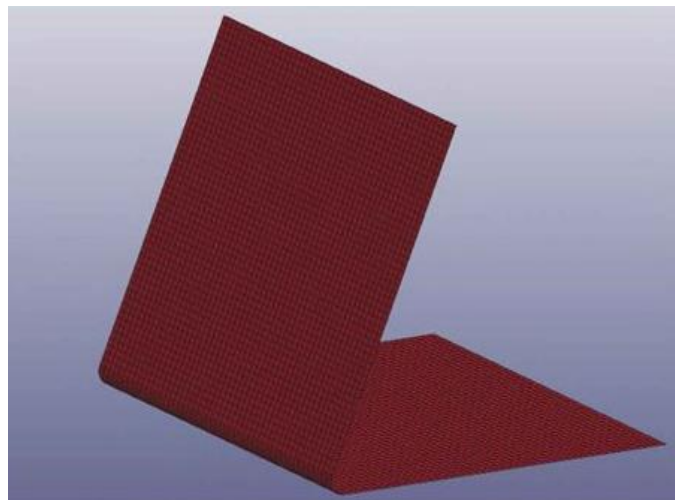


Рис. 2.90. Скінченно–елементна модель ріжучої частини інструмента

### Створення скінченно–елементної моделі заготовки

Під час моделювання з використанням методу частинок Галеркіна необхідно побудувати скінченно–елементну модель із «Tetra» – сіткою та вибрати відповідне формулювання елемента, як буде описано нижче. Заготовкою буде прямокутний паралелепіпед із розмірами сторін 20/4/3 мм. Для побудови скінченно–елементної моделі заготовки натисніть на панелі інструментів, розташованій праворуч, кнопку

«Element and Mesh», після цього відкриється додаткова вкладка з набором кнопок побудови та редагування вузлів і елементів. У вкладці, що розкрилася,

натисніть кнопку «Shape Mesher», з'явиться два вікна. У вікні «Shape Mesher», у спадному меню «Entity» виберіть

«Box\_Solid», у наступному рядку відзначте опцію «Region», після цього залишиться ввести мінімальні та максимальні координати за трьома осями для побудови паралелепіпеда, а також число (опція «number») або розмір (опція «size») елементів для ребер паралелепіпеда відповідно до осей. Заповніть виділені поля вікна «Shape Mesher» як показано на рис. 2.91.

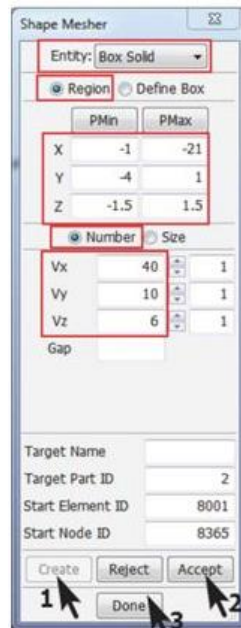


Рис. 2.91. Вікно «Shape Mesher»

Натисніть кнопку «Create» і в графічному вікні з'явиться модель заготовки з побудованою сіткою (на цьому етапі можна змінити число елементів, причому зміни відобразатимуться у вікні побудови). Для збереження введених даних і побудови скінченно-елементної моделі заготовки натисніть кнопку «Accept». На рис. 2.92 представлено результат цієї операції.

Далі створюється сітка на заготовці, що складається з тетра елементів. На панелі інструментів «Element and Mesh» натисніть кнопку «TetraM» і з'явиться вікно «Tetrahedron Mesher». У графічному вікні необхідно клацнути лівою кнопкою миші на заготовці, на заготовку буде нанесено попередню сітку (рис. 2.93), а у вікні «Tetrahedron Mesher» у полі

«Skin Remesh» з'являться мінімальні та максимальні розміри елементів сітки. Натискаємо кнопку «TetMesh» для створення тетра сітки та зберігаємо внесені зміни кнопкою «Accept». Закриваємо діалогове вікно «Tetrahedron Mesher» натиснувши на кнопку «Done».

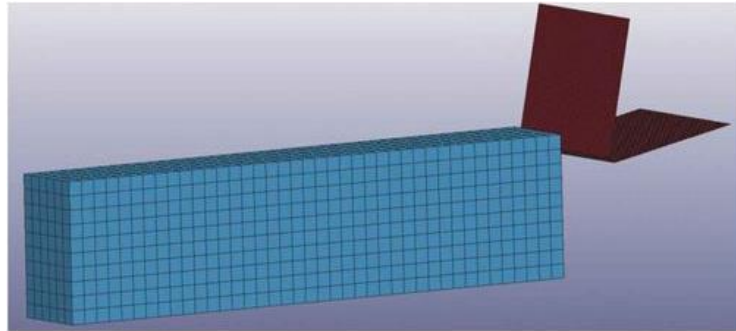


Рис. 2.92. Скінченно–елементна модель заготовки та інструмента

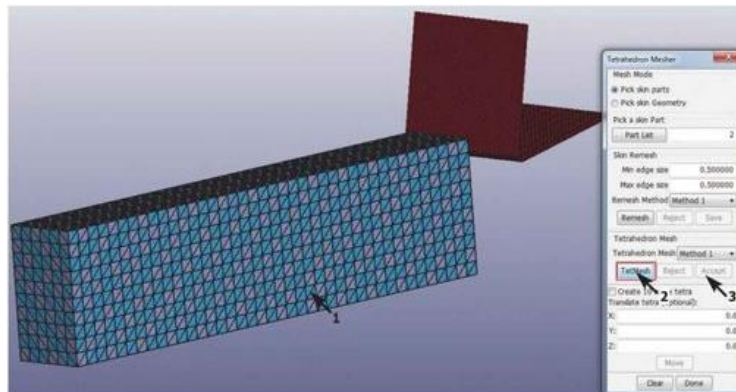


Рис. 2.93. Побудова тетра сітки

У дереві моделі видаляємо пункт «2 boxsolid» як показано на рис. 2.94. На рис. 2.95 представлено готову скінченно–елементну модель заготовки та інструмента.

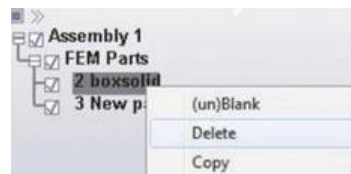


Рис. 2.94. Дерево моделі

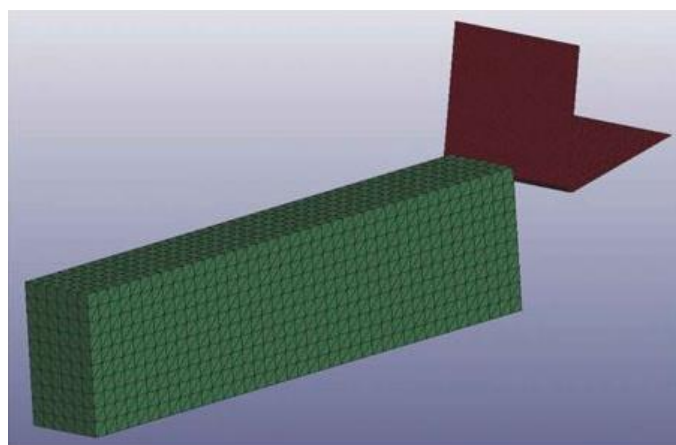


Рис. 2.95. Готова модель заготовки та інструмента

### **Налаштування розрахункової моделі**

Після створення скінченно-елементної моделі необхідно визначити: тип елемента, матеріал, частини, контакт, навантаження, обмеження та ін., за допомогою введення ключових слів і карт.

На панелі інструментів, розташованій праворуч, натисніть кнопку «Model and Part», після цього відкриється додаткова вкладка з набором кнопок різних операцій з моделлю і частинами моделі. У вкладці, що розкрилася, натисніть кнопку «Keyword Manager» і відкриється відповідне вікно. У вікні, що відкрилося, встановіть перемикач на «All» (рис. 2.96).



Рис. 2.96. Вікно «Keyword Manager»

### **Визначення типу використовуваних елементів**

Для визначення типу елемента потрібно задати секцію, яка використовує ключове слово, що починається з «SECTION», воно необхідне для формулювання кінцевих елементів, визначення правила інтегрування та характеристики поперечного перерізу.

У вікні «Keyword Manager» розкрийте гілку «SECTION». Для формулювання оболонкових елементів інструменту використовується ключове слово «SECTION\_SHELL» (рис. 2.97), що дає змогу задавати властивості поперечного перерізу для оболонкових елементів, для нього задасться одна карта, в якій зазначено номер секції «2», опцію формулювання елемента «2» (елемент Беличко–Цая) та число точок інтегрування «2».



Рис. 2.97. Вікно «SECTION\_SHELL»

Для формулювання елементів заготовки використовується ключове слово «SECTION\_SOLID\_EFG» (рис. 2.98), що дає змогу задавати властивості поперечного перерізу для елемента суцільного середовища, для нього задають одну карту, у якій зазначають номер секції «3», опцію формулювання елемента «41» (безсеточне об'ємне формулювання), тип елемента для задавання довкілля «0» (залишаємо значення за замовчуванням).



Рис. 2.98. Вікно «SECTION\_SOLID\_EFG»

### Визначення використовуваних моделей матеріалів

Для додавання моделі матеріалу використовується ключове слово MAT, яке дозволяє додавати різні моделі матеріалів. У цьому завданні інструмент приймається абсолютно твердим тілом і буде описуватися моделлю матеріалу – RIGID. Для заготовки обирається модель матеріалу – PIECEWISE\_LINEAR\_PLASTICITY, яка вимагає створення кривої залежності між ефективною напругою та ефективною пластичною деформацією.

Модель матеріалу MAT\_RIGID застосовується для опису твердих тіл, деформації яких незначні і (або) ними можна знехтувати. Для цього матеріалу вказуються:

- ідентифікатор матеріалу (має бути обраний унікальний номер);
- масова щільність матеріалу;
- модуль Юнга;
- коефіцієнт Пуассона.

Також вказуються додаткові обмеження:

- обмежується переміщення по осях Y, Z; – обмежується обертання навколо осей X, Y, Z.

Заповнені карти ключового слова MAT\_RIGID із виділеними введеними вихідними даними подано на рис. 2.99.

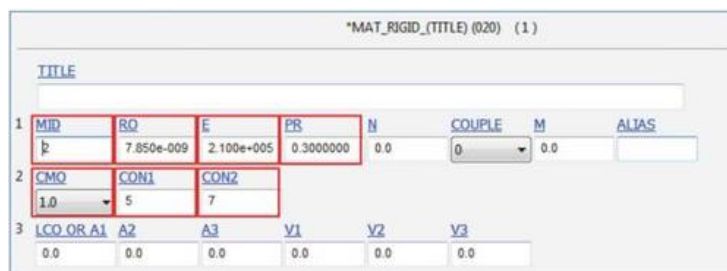


Рис. 2.99. Вікно «MAT\_RIGID»

Для заготовки вибирається модель матеріалу MAT\_PIECEWISE\_LINEAR\_PLASTICITY. За допомогою цієї моделі можна задати пружнопластичний матеріал з довільною залежністю між напругою і деформацією, а також довільною залежністю від швидкості деформації. Крім того, можна задати критерій руйнування або на основі пластичної деформації, або на основі мінімального кроку за часом. Але, перш ніж додати модель матеріалу заготовки, необхідно створити криву залежності між ефективною напругою та ефективною пластичною деформацією. Для створення цієї кривої в гілці «DEFINE» вибираємо ключове слово «DEFINE\_CURVE» і заповнюємо згідно з табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Початкові дані для кривої залежності між ефективною напругою та ефективною пластичною деформацією

Номер точки кривої	Деформація (поле «A1»)	Напруга (поле «O1»)
1	0	400
2	0,005	450
3	0,02	455
4	0.1	600
5	0,2	800
6	0,5	1000
7	1	1200
8	2	1400
9	3	1450
10	12	1500

У першій карті в полі «LCID» (ідентифікатор задаючої кривої) ставимо – «33» (рис. 2.100), далі задається крива, за даними табл. 2.2, заповненням полів «A1» (значення по осі абсцис) і «O1» (значення по осі ординат).

Після введення всіх значень зберігаємо введені дані кнопкою «Ассерпт». На рис. 2.100 представлено заповнену карту «DEFINE\_CURVE» для кривої залежності між ефективною напругою та ефективною пластичною деформацією. Закриваємо вікно кнопкою «Done».

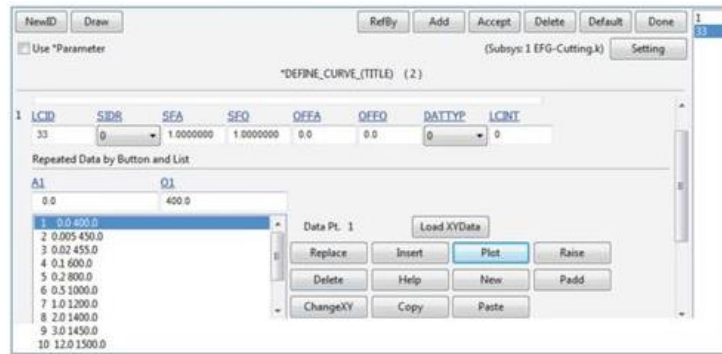


Рис. 2.100. Заповнене вікно «DEFINE\_CURVE» для кривої залежності між ефективною напругою та ефективною пластичною деформацією

Далі додається модель матеріалу MAT\_PIECEWISE\_LINEAR\_PLASTICITY.

У карті 1 матеріалу вводяться:

- ідентифікатор матеріалу у вигляді унікального номера;
- масова щільність матеріалу;
- модуль Юнга;
- коефіцієнт Пуассона; – межа плинності.

У карті 2 вказується ідентифікатор задавальної кривої, яка визначає залежність між ефективною напругою та ефективною пластичною деформацією. Якщо швидкість деформації стає меншою за мінімальне значення, то для неї використовується крива залежності між напругою та ефективною пластичною деформацією, що відповідає мініимальному значенню швидкості деформації. Аналогічно, якщо швидкість деформації стає більшою за максимальне значення, то для неї використовується крива, що відповідає максимальному значенню швидкості деформації. А також задається формулювання впливу швидкості деформації.

Заповнені карти ключового слова MAT\_PIECEWISE\_LINEAR\_PLASTICITY подано на рис. 2.101.

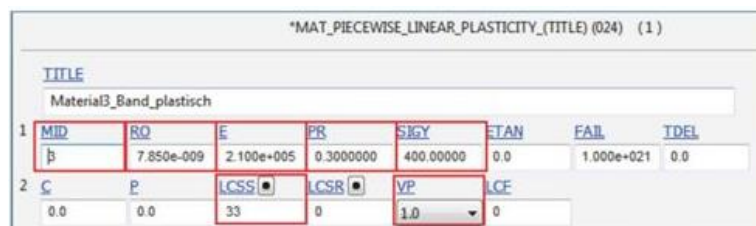


Рис. 2.101. Вікно «MAT\_PIECEWISE\_LINEAR\_PLASTICITY»

### Завдання контрольних карт

На вкладці ключового слова «CONTROL» вказуються карти для зміни значень за замовчуванням, наприклад, активувати такі опції розв'язання, як перерахунок маси елемента, адаптивна перебудова сітки та використання неявних методів розв'язання.

Ключове слово «ACCURACY» дає змогу задавати параметри контролю, які



можуть збільшити точність розрахунків.

Карта «CONTROL\_ACCURACY» представлена на рис. 2.102.



Рис. 2.102. Вікно «CONTROL\_ACCURACY»

Ключове слово «ADAPTIVE» дає змогу активувати адаптивну перебудову сітки. Частина моделі, сітка яких перебудовується адаптивно, задаються картою «PART».

У першій карті цього ключового слова заповнюються поля:

- ADPFREQ – проміжок часу між адаптивними перебудовами сітки;
- ADPTOL – похибка (у градусах) для змінної ADPOPT (див. далі), значення для якої прийнято рівними 1 або 2. Якщо значення параметра ADPOPT дорівнює 8, то в цьому випадку ADPTOL визначає характерний розмір елемента;
- ADPOPT – Адаптивні опції, значення «7» означає тривимірну гадаптивну перебудову сітки для об'ємних елементів. У процесі адаптивної перебудови сітки використовується об'ємний елемент типу 13, чотиригранник. Створюється повністю нова сітка, яка ініціалізується зі старої сітки за допомогою методу найменших квадратів. Наразі розмір сітки визначається довжиною мінімальної та максимальної сторін елемента, що задаються при введенні ключового слова «CONTROL\_REMESHING». Ця опція перебуває в розробці, і немає впевненості в її надійності під час використання для складної геометрії, але в цьому завданні вона працює цілком надійно.

У другій карті заповнюються поля:

- ADPSIZE – Мінімальний розмір елемента, який має бути подрібнений з урахуванням його довжини;
- ADPENE – Подрібнення сітки, коли контактні поверхні наближаються або впроваджуються в поверхню інструменту залежно від того, чи є значення ADPENE позитивним (наближення) або негативним (впровадження) відповідно. Адаптивне уточнення для інструменту засноване на його кривизні. Якщо значення змінної ADPENE є позитивним, то подрібнення сітки відбувається до контакту.

Заповнену карту «CONTROL\_ADAPTIVE» представлено на рисунку 2.103.

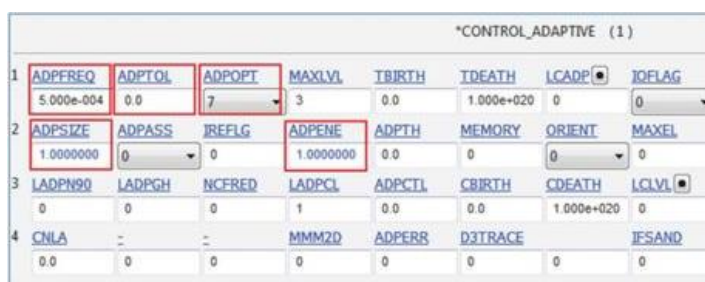


Рис. 2.103. Вікно «CONTROL\_ADAPTIVE»

Ключове слово «CONTROL\_CONTACT» використовується для зміни значень, що задаються за замовчуванням для розрахунків із контактними поверхнями. У карті 1 заповнюється поле «SLSFAC» – штрафний коефіцієнт перерахунку для алгоритму контактної взаємодії зі ковзанням, а решта налаштувань залишаються за замовчуванням (рис. 2.104).

Ключове слово ENERGY призначене для того, щоб забезпечувати керуючі параметри для опцій розсіювання енергії:

- HIGEN – опція розрахунку енергії для процедури опрацювання спотворень елементів на кшталт пісочного годинника, ставимо значення «2» – енергію розраховуємо і включаємо в загальний баланс;
- RWEN – опція дисипації енергії, ставимо значення «2» – енергію розраховують і включають у загальний баланс;
- SLNTEN – опція дисипації енергії на межі ковзання контактів, ставимо значення «2» – енергія розраховується і включається в загальний баланс;
- RYLEN – опція релеївського розсіювання енергії, ставимо значення «2» – розсіювання енергії розраховується і включається в загальний баланс. Заповнені поля ключового слова «CONTROL\_ENERGY» представлені на рис. 2.105.

*CONTROL_CONTACT (1)								
1	SLSFAC	RWPNAL	ISLCHK	SHLTHK	PENOPT	THKCHG	ORLEN	ENMASS
	2.5000000	0.0	1	0	1	0	1	0
2	USRSTR	USRFRG	NSBCS	INTERM	XPENE	SSTHK	ECDI	TIEDPRJ
	0	0	0	0	4.0000000	0	0	0
3	SFRIC	DFRIC	EDC	VFC	IH	TH_SF	PEN_SF	
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
4	IGNORE	ERCENG	SKIPRWG	OUTSEG	SPOTSTP	SPOTDEL	SPOTHIN	
	0	0	0	0	0	0	0.0	
5	ISYM	NSEROD	RWGAPS	RWGDTH	RWKSE	ICOV	SWRADE	ITHOFF
	0	0	1	0.0	1.0000000	0	0.0	0
6	SHLEDG	PSTIFF	ITHCNT	TDCNOF	ETALL	UNUSED	SHLTRW	
	0	0	0	0	0	0	0.0	

Рис. 2.104. Вікно «CONTROL\_CONTACT»

*CONTROL_ENERGY (1)				
1	HGEN	RWEN	SLNTEN	RYLEN
	2	2	2	2

Рис. 2.105. Вікно «CONTROL\_ENERGY»

Ключове слово HOURGLASS дає змогу задавати параметри, які використовуються процедурою опрацювання спотворень форми елементів за типом пісочного годинника, для перевизначення значень за замовчуванням. Вводимо значення як на рис. 2.106:

- INQ–тип в'язкості ставимо значення «6» – форма жорсткості перерізу Беличко – Біндемана, що відповідає використанню гіпотези плоских перерізів, тільки для двовимірних і тривимірних об'ємних елементів. Ця форма доступна

для явних і неявних

методів розв'язання. Насправді, тип 6 є обов'язковим для неявних опцій. – QH– коефіцієнт за замовчуванням, ставимо значення «0.1».



Рис. 2.106. Вікно «CONTROL\_HOURGLASS»

Ключове слово IMPLICIT\_AUTO потрібне для того, щоб задавати параметри для автоматичного вибору кроку розв'язання за часом під час використання неявного методу аналізу. У цьому ключовому слові присутня одна карта, в якій заповнюються поля (рис. 2.107):

- IAUTO – Прапор–ознака автоматичного вибору кроку рішення за часом, ставимо значення «1» – автоматично обирається величина кроку за часом;
- ITEOPT – Оптимальне число рівноважних ітерацій на один крок розв'язання, ставимо значення «20»;
- ITEWIN – Допустиме ітераційне вікно. Якщо число ітерацій за проміжок часу ITEWIN не перевищує значення змінної ITEOPT, то величина кроку не змінюється, ставимо значення «4»;
- DTMIN – Мінімально допустима величина кроку за часом. Якщо крок виявляється меншим за значення параметра DTMIN, рахунок припиняється з видаванням повідомлення про помилку, ставимо значення «0.0»;
- DTMAX – Максимально допустимий крок за часом, ставимо значення «2.0e-4».



Рис. 2.107. Вікно «CONTROL\_IMPLICIT\_AUTO»

Ключове слово «IMPLICIT\_DYNAMICS» необхідне, щоб активувати динамічний аналіз, що виконується неявним методом, і задавати параметри інтегрування за часом. У полі «IMASS» задається тип неявного аналізу – значення «1» відповідає динамічному аналізу з використанням схеми інтегрування за часом Ньюмарка. Інші поля залишаються за замовчуванням (рис. 2.108).

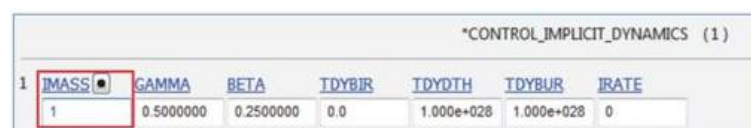


Рис. 2.108. Вікно «CONTROL\_IMPLICIT\_DYNAMICS»

Ключове слово «IMPLICIT\_GENERAL» необхідне, щоб задавати контрольні

параметри для неявної схеми розрахунку. У полі «IMFLAG» задається прапор-ознака перемикавання Неявна/Явна схема розрахунку – значення «1» відповідає неявній схемі розрахунку, а в полі «DT0» – розмір початкового кроку за часом для неявної схеми розрахунку (рис. 2.109).



Рис. 2.109. Вікно «CONTROL\_IMPLICIT\_GENERAL»

Ключове слово «IMPLICIT\_SOLUTION» використовується для задання керуючих карт при неявному розрахунку. Ці карти вказують, яке рішення потрібне, лінійне чи нелінійне. Якщо рішення нелінійне, встановлюються параметри для контролю неявного нелінійного рішення. Заповнюються поля (рис. 2.110):

- NSOLVR – Метод рішення для неявного аналізу, ставимо значення «2» – нелінійний з модифікацією BFGS;
- ILIMIT – Число ітерацій між автоматичними перевизначеннями жорсткості, ставимо значення «4»;
- MAXREF – Граничне число модифікацій жорсткості за один крок рішення за часом, ставимо значення «7»;
- DNORM – Норма переміщення для контролю збіжності, ставимо значення «1» – збільшення щодо переміщення за поточний крок;
- ISTIF – Прапор-ознака формування початкової жорсткості, ставимо значення «0»;
- NLPRINT – Прапор-ознака друку нелінійного розв'язувача, ставимо значення «2» – видати інформацію у файли messag, d3hsp.

Ключове слово «OUTPUT» дає змогу встановлювати різні вихідні параметри. Це ключове слово не керує такою, наприклад, інформацією, яка стосується тензорів деформацій і напружень і записується в двійкову базу даних. У полі «NPROT» – придушення друку вихідного файлу під час фази введення даних, вводимо значення «1» – не друкуються значення вузлових координат, в'язкість елементів, задання твердої стінки та початкові швидкості (рис. 2.111).

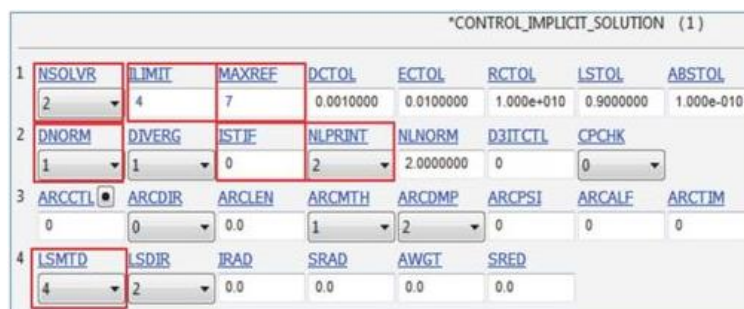


Рис. 2.110. Вікно «CONTROL\_IMPLICIT\_SOLUTION»



Рис. 2.111. Вікно «CONTROL\_OUTPUT»

Ключове слово «REMESHING\_EFG» забезпечує управління перебудовою сітки. Розмір елемента для тривимірної адаптивної перебудови задається сіткою на поверхні об'ємної частини моделі; перебудову можна активізувати на основі критеріїв, пов'язаних зі зменшенням об'єму елемента, збільшенням його маси або мінімальним розміром кроку розв'язання за часом (рис. 2.112).

У полі «RMIN» вказується мінімальний розмір поверхневої сітки, яка має бути перебудована.

У полі RMAX вказується максимальний розмір перебудовуваної сітки.



Рис. 2.112. Вікно «CONTROL\_RHMESHING\_EFG»

Ключове слово «SOLID» дає змогу керувати параметрами об'ємних елементів, заповнюємо поля (рис. 2.113):

- ESORT – Автоматичне сортування чотиригранних і п'ятигранних елементів для обробки вироджених шестигранних елементів як чотиригранних і п'ятигранних об'ємних елементів відповідно, вводимо значення «1» – повне сортування;

- FMATRIX – використовуваний за замовчуванням метод розрахунку матриці деформаційних градієнтів, вводимо значення «2» – пряме обчислення матриці F;

- NIPTETS – число точок інтегрування для квадратичних чотиригранних елементів, вводимо значення «5».



Рис. 2.113. Вікно «CONTROL\_SOLID»

Ключове слово «TERMINATION» використовується для зазначення умов завершення виконання завдання, задаємо налаштування, показані на рис. 2.114. У полі «ENDTIM» – вказуємо час завершення – 0,05 секунди. На рис. 2.115

представлено всі ключові слова в гілці «CONTROL».



Рис. 2.114. Вікно «CONTROL\_TERMINATION»

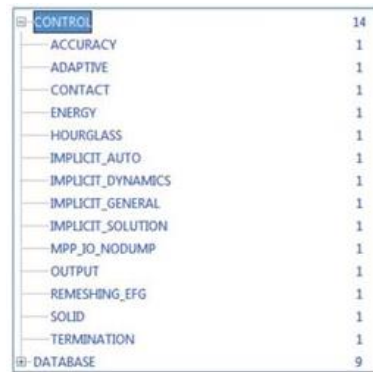


Рис. 2.115. Гілка «CONTROL»

### Визначення частин

Для визначення частин моделі використовується ключове слово PART. Для інструмента вводимо (перший рядок у правій частині вікна) налаштування, показані на рис. 2.116:

- у полі «TITLE» назву частини – «Tool»;
- у полі PID – ідентифікатор частини – 1;
- у полі SECID – ідентифікатор розділу, що визначається в розділі «РОЗДІЛ» – 2;
- у полі MID – ідентифікатор матеріалу, який визначається в розділі «МАТ» – 2.



Рис. 2.116. Вікно «PART» для інструмента

Для заготовки вводимо (рис. 2.117):

- у полі «TITLE» назву частини – «Workpiece»;
- у полі PID – ідентифікатор частини – 3;
- у полі SECID – ідентифікатор розділу, що визначається в розділі «РОЗДІЛ» – 3;
- у полі MID – ідентифікатор матеріалу, який визначається в розділі «МАТ» – 3;

- у полі ADPOPT – тип адаптивної перебудови сітки елементів, вводимо значення – 2.



Рис. 2.117 Вікно «PART» для заготовки

### Завдання параметрів руху та обмежень

#### Завдання кривої навантаження

Для визначення кривої навантаження в гілці «DEFINE» обираємо ключове слово «DEFINE\_CURVE» і створимо криву залежності швидкості руху ріжучої частини інструмента від часу згідно з табл. 2.3. У першій карті в полі «LCID» (ідентифікатор задаючої кривої) ставимо – «1» (рис. 2.118), далі задається крива, за даними таблиці 1, заповненням полів «A1» (значення по осі абсцис) і «O1» (значення по осі ординат).

Таблиця 2.3

Вихідні дані для кривої навантаження

Номер точки кривої	Час, с (поле «A1»)	Швидкість, мм/с (поле «O1»)
1	0	0
2	0,01	300
3	0,12	300

Задамо точку 1: у полі «A1» вводимо значення «0», у полі «O1» вводимо значення «0» і натискаємо кнопку **Insert** (мал. 2.118), у полі, розташованому під полями «A1» і «O1», з'явиться запис із координатами введеної точки.

Задамо точку 2: у полі «A1» вводимо значення «0,01», у полі «O1» вводимо значення «300» і натискаємо кнопку **Insert** (рис. 2.119).



Рис. 2.118. Вікно «DEFINE\_CURVE»



Рис. 2.119. Створення другої точки

Задамо точку 3: у полі «A1» вводимо значення «0.12», у полі «O1» вводимо значення «300» і натискаємо кнопку **Insert** (рис. 2.120).

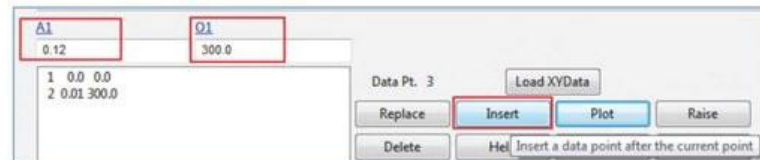


Рис. 2.120. Створення третьої точки

Зберігаємо введені дані кнопкою «Асерт». На рис. 2.121 представлено заповнену карту «DEFINE\_CURVE».

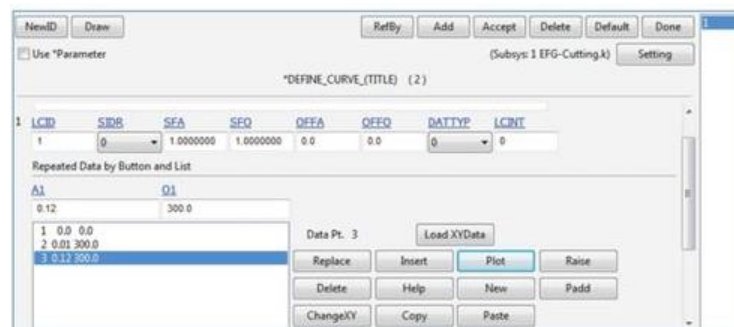


Рис. 2.121. Заповнення вікна «DEFINE\_CURVE»

### *Визначення параметрів руху інструменту*

Задамо рух інструменту, використовуючи криву навантаження, для цього розкриваємо вкладку «BOUNDARY», подвійним натисканням ЛКМ обираємо ключове слово «PRESCRIBED\_MOTION\_RIGID», у вікні, що з'явилося, вказуємо такі значення, які наведено на рис. 2.122:

- PID – ідентифікатор частини розрахункової моделі;
- DOF – ступінь свободи, що застосовується, 1 – поступальний рух по осі X;
- VAD – прапор-ознака завдання швидкості/прискорення/переміщення, 0 – швидкість (тверді тіла і вузли);
- LCID – ідентифікатор задавальної кривої, для опису руху залежно від часу;
- SF – коефіцієнт перерахунку задавальної кривої;
- VID – ідентифікатор вектора, для значення DOF;
- BIRTH – час коли знімається задане обмеження/рух;
- BIRTH – час, коли задається рух/обмеження.





Рис. 2.122. Вікно «BOUNDARY\_PRESCRIBED\_MOTION\_RIGID»

Зберігаємо введені дані кнопкою «Accept» і кнопкою «Done» закриваємо вікно.

Приховуємо гілку «BOUNDARY».

### Накладення обмежень на заготовку

Далі необхідно обмежити переміщення заготовки, наклавши обмеження на нижню поверхню. У вкладці «CONSTRAINED», подвійним натисканням ЛКМ обираємо ключове слово «GLOBAL», яке дає змогу задавати глобальну площину граничних умов обмежень.

У вікні, що з'явилося, вказуємо такі значення, які наведено на рис. 2.123:

- TC – обмеження поступального руху, вводимо значення «7» для обмеження переміщень по осях x, y, z;
- RC – обмеження обертального руху, вводимо значення «7» для обмеження обертання навколо осей x, y, z;
- DIR – напрямок нормалі, вводимо значення «2» – глобальна ось y;
- X – зміщення за координатою x, вводимо значення «-14»; – Y – зміщення за координатою y, вводимо значення «-4»; – Z – зміщення за координатою z, вводимо значення «0». Зберігаємо введені дані кнопкою «Accept» і кнопкою «Done» закриваємо вікно. Приховуємо гілку «CONSTRAINED».



Рис. 2.123. Вікно «CONSTRAINED\_GLOBAL»

### Завдання алгоритму контактної взаємодії

Створимо контакт заготовки та інструмента типу «поверхня до поверхні». Для цього в гілці «CONTACT» виберіть ключове слово

FORMING\_SURFACE\_TO\_SURFACE\_MORTAR і подвійним клацанням ЛКМ відкрийте вікно налаштувань. Контакти цього типу використовуються

головним чином для моделювання процесів обробки металів тиском. Не потрібно пов'язаної сітки для головної (інструментальної) сторони контакту, але орієнтація сітки повинна бути в тому ж напрямку. Усі ці контактні взаємодії

засновані на типі контакту AUTOMATIC і, отже, даватимуть кращі результати порівняно з вихідним контактом двох поверхонь.

У вікні, що відкрилося, насамперед потрібно заповнити поля, виділені червоним прямокутником (рис. 2.124). У карті 4 заповніть поля:

- SSID – ідентифікатор підлеглого сегмента, набору вузлів, набору частин моделі, ставимо – «3»;
- MSID – ідентифікатор набору головних сегментів, набору частин, однієї частини або набору оболонкових елементів, ставимо – «1»;
- SSTYP – підлеглий сегмент («Slave segment») або тип набору кутів, ставимо – «3» – ідентифікатор набору вузлів;
- MSTYP – тип набору головних сегментів («Master segment»), ставимо – «3» – ідентифікатор частини.

Як «Master segment» вказується частина моделі, що належить інструменту; як «Slave segment» – ідентифікатор набору вузлів, що належать заготівлі.

У карті 5 вказується коефіцієнт статичного тертя. Карти 6,9, 10 і 11 заповнюються згідно з рис. 2.124.

Для збереження введених даних натискається кнопка «Accept» і кнопкою «Done» закривається вікно.

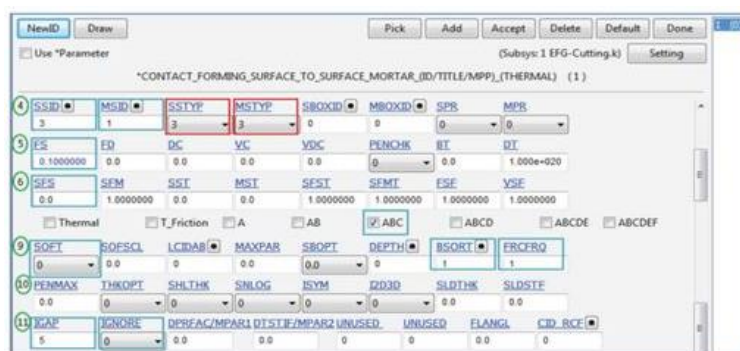


Рис. 2.124. Вікно  
«CONTACT\_FORMING\_SURFACE\_TO\_SURFACE\_MORTAR»

### Створення змінних

Ключове слово \*PARAMETER дає змогу задавати числові значення для імен параметрів, на які є посилання у файлі вхідних даних. Формулювання параметра, якщо воно використовується, має розташовуватися на початку вхідного файлу після ключового слова \*KEYWORD.

Таблиця 2.4

Змінні, що використовуються

№	Позначення змінної (поле «PRMRI»)	Значення (поле «VALI»)
П/П		
1	R tend	5.0e-2

2	R dtout	2.0e-4
3	R dtimpl	2.0e-4
4	R dtadpf	1.0e-3
5	R rmin	0.15
6	R rmax	2.25
7	R adpene	1.0
8	R dist	9.0

Для введення в задачу параметрів необхідно розкрити вкладку ключового слова «PARAMETER», подвійним натисканням ЛФМ обираємо ключове слово «PARAMETER», у вікні, що з'явилося (мал. 2.125), у полі «PRMR1» зазначаємо позначення змінної, а в полі «VAL1» – значення цієї змінної згідно з табл. 2.4 і зберігаємо введені значення для кожної змінної кнопкою **Insert**.

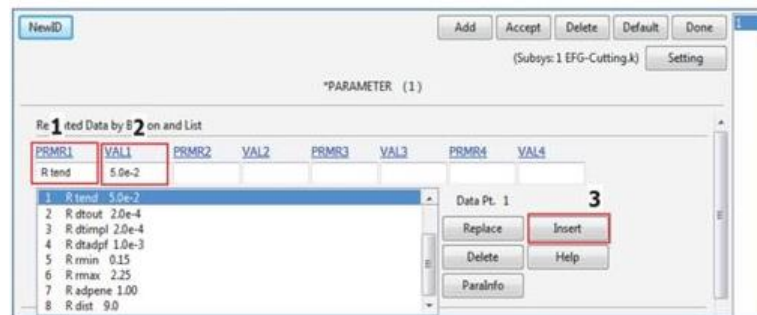


Рис. 2.125. Вікно «PARAMETER \_ PARAMETER»

Для збереження зазначених змінних та їхніх значень натисніть кнопку «Ассерт» і кнопкою «Done» закрийте вікно.

### **Завдання вихідних файлів з інформацією про результати розрахунку**

У Карті ASCII option (мал. 2.126) обирають файли у форматі ASCII (якщо файл не задано, його не записуватимуть), у які записуватимуть відповідну інформацію, а також вказують інтервал запису даних.

Обрані файли у форматі ASCII для задачі, що розглядається:

- BNDOUT – зусилля і значення енергії, задані у вигляді граничних умов (рис. 2.126, а);
- GLSTAT – глобальні дані (рис. 2.126, б);
- MATSUM – енергія системи (рис. 2.126, в);
- RBDOUT – дані про жорсткі тіла (рис. 2.126, г);
- RCFORC – дані про рівнодіючі сили на поверхні розділу (рис. 2.126, д);
- SLEOUT – дані про енергію на поверхнях ковзання двох матеріалів (рис. 2.126, е).

Для перегляду результатів розрахунку необхідно задати ім'я файлу двійкових вихідних даних, у який записуватиметься відповідна інформація із заданим

користувачем інтервалом запису.

Для даної задачі обираються 3 файли – BINARY\_D3PLOT, BINARY\_INTFOR і FORMAT, які за замовчуванням матимуть імена D3PLOT, INTFOR і FORMAT, відповідно.

Файли BINARY\_D3PLOT і BINARY\_INTFOR містять інформацію, необхідну для видачі даних на графік по всій тривимірній геометрії моделі. Ці дані можна видати на графік за допомогою постпроцесора LS-POST. Файл FORMAT використовується під час завдання формату виведення для бінарних файлів.

Карти DATABASE\_BINARY\_D3PLOT, DATABASE\_BINARY\_

INTFOR і DATABASE\_FORMAT з усіма необхідними налаштуваннями представлено на рис. 2.128, 2.129 і 2.130, відповідно.

	GLSTAT	
	кінетична енергія	
	внутрішня енергія	
	повна енергія	
	відношення	
	енергія сітки-перешкоди	MATSUM
	енергія пружини та демпфера	кінетична енергія
	енергія при спотвореннях форми елемента	внутрішня енергія
	енергія демпфірування	енергія при спотвореннях форми елемента
	енергія ковзної поверхні розділу	імпульс z, y, z
	робота зовнішніх сил	швидкість z, y, z жорсткого тіла
	швидкість z, y, z	повна кінетична енергія
BNDOUT	крок рахунку за часом	повна внутрішня енергія
сила z, y, z	ідентифікатор елемента, що визначає крок за часом	повна енергія при спотвореннях форми елемента
<b>а</b>	<b>б</b>	<b>в</b>

Рис. 2.126 (початок). Вихідні дані для файлів у форматі ASCII Рис.

RBDOUT		SLEOUT
зміщення z, y, z		енергія підлеглого елемента
швидкість z, y, z	RCFORC	енергія головного елемента
прискорення z, y, z	сила z, y, z	
<b>Г</b>	<b>Д</b>	<b>Є</b>

2.126 (закінчення). Вихідні дані для файлів у форматі ASCII

Рис. 2.127. Вікно «DATABASE\_ASCII\_option»

Рис. 2.128. Вікно «DATABASE\_BINARY\_D3PLOT»

Рис. 2.129. Вікно «DATABASE\_BINARY\_INTFOR»

Рис. 2.130. Вікно «DATABASE\_FORMAT»

Список використаних ключових слів представлено на рис. 2.131.

Name	Count
BOUNDARY	1
CONSTRAINED	1
CONTACT	1
CONTROL	14
DATABASE	9
ASCII_option	6
BINARY_OPTION	1
BINARY_INTFOR	1
FORMAT	1
DEFINE	2
ELEMENT	14553
KEYWORD	1
MAT	2
NODE	7871
PARAMETER	1
PART	2
SECTION	2
TITLE	1

Рис. 2.131. Список використаних ключових слів

Після зазначення всіх необхідних налаштувань необхідно зберегти проєкт, як представлено в п. 2.1.4, закрити вікно програми LS-PrePost і відкрити за допомогою текстового редактора збережений к-файл. У вікні текстового редактора, що відкрилося, необхідно знайти карту ключового слова «CONTROL\_REMESHING\_EFG» і ввести наприкінці другого рядка значення «1», як представлено в додатку 2. Далі необхідно зберегти зміни в текстовому редакторі та запустити к-файл на розрахунок див. п. 2.1.5.

### Перегляд результату розрахунку

Методику перегляду результатів розрахунку викладено в п. 2.1.6. Результати розрахунку безсіточним методом частинок Гальоркіна (EFG) з адаптивною перебудовою сітки, що подано у вигляді розподілу полів ефективної пластичної деформації та еквівалентного напруження за Фон Мізесом, зображено на рис. 2.132, а, б. відповідно.

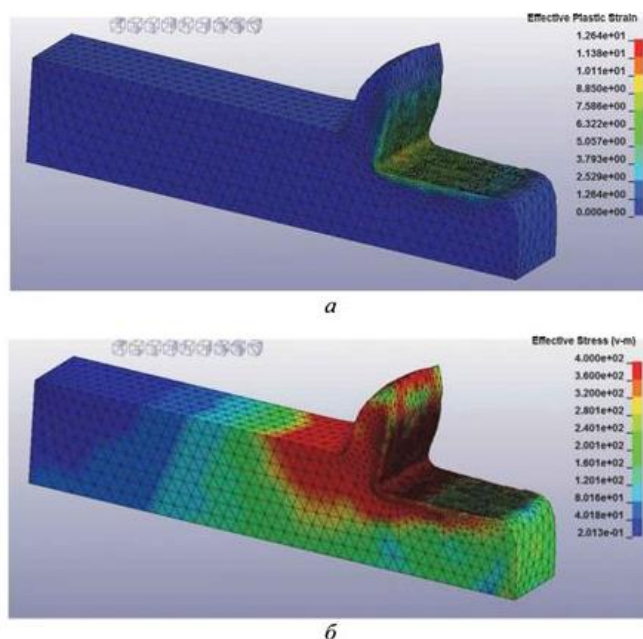


Рис. 2.132. Перегляд результатів розподілу полів: а – ефективної пластичної деформації; б – еквівалентної напруги за Мізесом

Найбільше значення полів пластичних деформацій  $\epsilon_{\max} = 11$  (див. рис. 2.132, *а*). Розподіл полів напружень показує, що максимальні напруження  $\sigma_{\max} = 400$  МПа (рис. 2.132, *б*). Найбільші напруження зосереджені в ділянці утворення стружки.

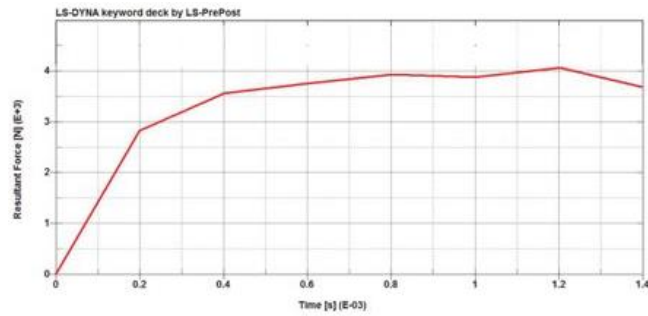


Рис. 2.133. Результуюча сила різання

Розрахункове значення результуючої сили різання  $F$  (рис. 2.133) становило 3,8 кН.

## **Практичні роботи 7-8**

### **Моделювання процесу точіння методом скінченних елементів за допомогою програми Ansys LS-DYNA Student**

*Мета заняття – отримати навички моделювання процесу взаємодії різального клина інструмента із заготівкою.*

*Обладнання: комп'ютер, встановлене загальносистемне програмне забезпечення, встановлена програма Ansys LS-DYNA Student*

#### **ХІД РОБОТИ:**

**1. Згідно нижченаведених методичних вказівок за індивідуальним варіантом виконати чисельне моделювання процесу точіння методом скінченних елементів за допомогою програми Ansys LS-DYNA Student.**

### **ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ТОЧІННЯ**

#### **Методика чисельного моделювання процесу точіння**

Під час моделювання процесу точіння порядок побудови розрахункової моделі загалом аналогічний методиці, описаній у попередніх роботах. Інструмент створюється спрощено і являє собою тільки різальну частину, яка потрапляє в контакт із заготівкою. Заготівка являє собою циліндр. Пристосування являє собою тонкий диск. Воно необхідне для додання обертання заготівці.

#### **Побудова геометрії різальної частини інструменту**

Інструмент буде зображено частково і спрощено – тільки різальний клин. Для побудови геометрії інструменту необхідно запуснути препроцесор LSPrePost версії не нижче 4.2. На панелі інструментів, розташованій праворуч, натисніть кнопку «Curve», після цього відкриється додаткова інструментальна вкладка з набором кнопок побудови плоских і просторових кривих. У вкладці, що розкрилася, натисніть кнопку «Line». З'явиться два вікна, у вікні «Create Line Segment», у випадаючому меню «Method» виберіть «Parameters», у полі «Start Point» і «End Point» вводяться координати X, Y, Z початку і кінця відрізка відповідно.



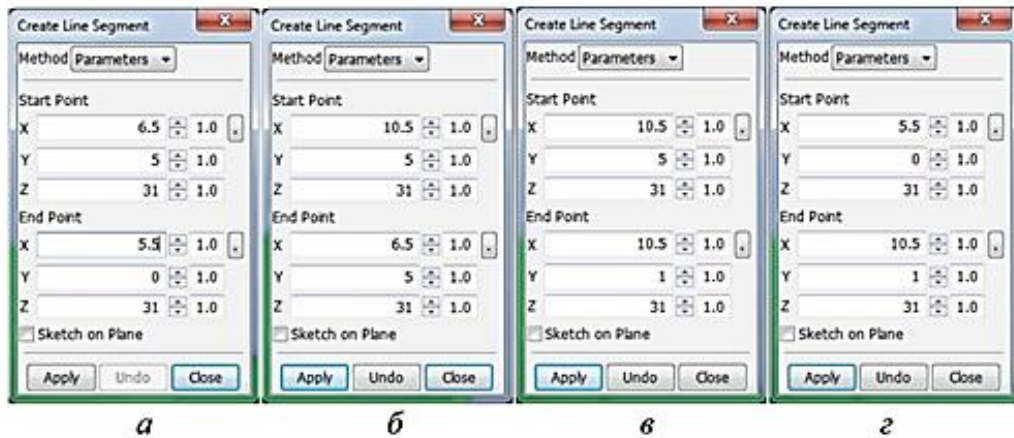


Рис. 3.1. Координати відрізків:

а – 1-й відрізок; б – 2-й відрізок; в – 3-й відрізок; г – 4-й відрізок

У графічному вікні має з'явитися відрізок. Аналогічним чином будуюмо три відрізки, що залишилися, як показано на рис. 3.1, б-г.

Створимо перший відрізок із координатами 6.5;5;31–5.5;0;31 (див. рис. 3.1, а), для цього в полі «Start Point» введемо координати: за віссю X – 6.5, за віссю Y – 5, за віссю Z – 31; у поле «End Point» введемо координати: за віссю X – 5.5, за віссю Y – 0, за віссю Z – 31, і для підтвердження натиснемо кнопку «Apply».

Для більш наочного представлення отриманого ескізу на панелі «ISO View» (рис. 3.2) натисніть на площину XY (перша кнопка), а на нижньому кнопковому меню натисніть кнопку «Auto Center». Кінцевий ескіз представлено на рис. 3.3.



Рис. 3.2. Панель «ISO View»

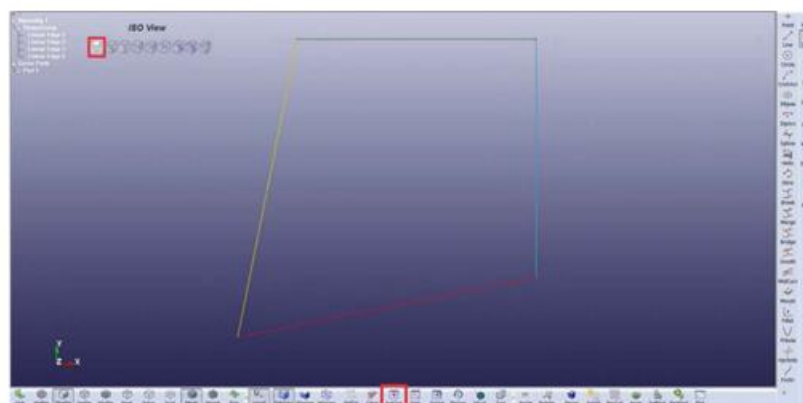


Рис. 3.3. Ескіз різальної частини інструменту

Далі необхідно створити площину за створеним ескізом. Для цього на панелі інструментів, розташованій праворуч, натисніть кнопку «Surface», після цього відкриється додаткова інструментальна вкладка з набором кнопок

побудови різних поверхонь. У вкладці, що розкрилася, натисніть кнопку «Fill Plane». Відкриється два вікна. Потім, послідовно, оберіть вказівником миші три відрізки ескізу, у результаті у вікні «Fill Plane» у полі «Shape List» мають з'явитися три вибрані відрізки, а ділянка, обмежена лініями ескізу, буде зафарбована рожевим кольором (рис. 3.4). Завершуємо створення площини кнопкою «Apply», при цьому область ескізу має змінити колір на зелений (рис. 3.5). Закриваємо вікно «Fill Plane» кнопкою «Close».

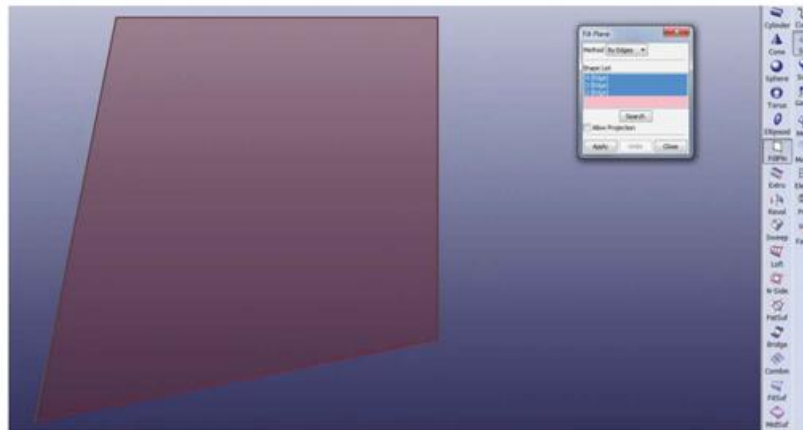


Рис. 3.4. Створення площини

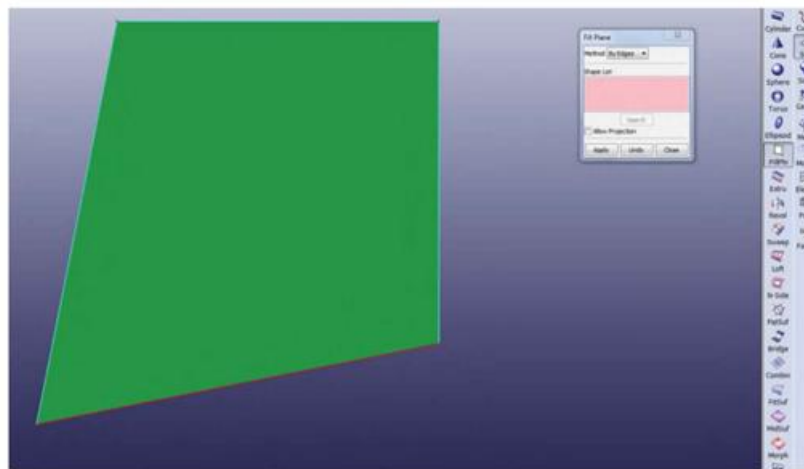


Рис. 3.5. Створена площина

Для створення 3D-моделі різальної частини інструмента необхідно витиснути побудовану площину на 5 мм. Для цього на панелі інструментів, розташованій праворуч, натисніть кнопку «Solid», після цього відкриється додаткова вкладка з набором кнопок побудови і редагування геометричних об'єктів. У вкладці, що розкрилася, натисніть кнопку «Extrude», з'явиться два вікна. Клацанням лівої кнопки миші обираємо зелену ділянку ескізу, в результаті у вікні «Create Extrude» в полі «Face List» має з'явитися обрана площина. У полі «Start Pos.» вводимо значення «1», а в полі «End Pos.» вводимо значення «6» і натискаємо кнопку «Apply» (рис. 3.6). Закриваємо вікно «Create Extrude» кнопкою «Close».

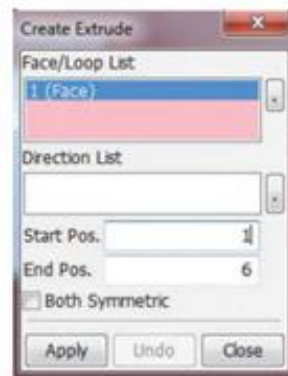


Рис. 3.6. Створення операції видавлювання

### **Створення скінченно–елементної моделі різальної частини інструменту**

На панелі інструментів, розташованій праворуч, натисніть кнопку «Element and Mesh», після цього відкриється додаткова вкладка з набором кнопок побудови та редагування вузлів і елементів. У вкладці, що розкрилася, натисніть кнопку «Solid Mesher». Відкриється вікно «Solid Meshing» (рис. 3.7). Виберіть у графічному вікні геометрію різальної частини інструмента, клацнувши лівою кнопкою миші на геометрії різця, в результаті вона повинна змінити колір на сірий.

У полі «Operation» має бути виділено пункт «Meshing», у полі розмір елемента «Elem Size» введіть значення – «0.5» і натисніть кнопку «Try meshing automatically». У результаті буде створено попередню скінченно-елементну модель (рис. 3.8). Якщо отримана скінченно-елементна сітка влаштовує, то натискаємо кнопку «Accept», якщо не влаштовує, то необхідно натиснути кнопку «Reject» і скоригувати налаштування. Закриваємо діалогове вікно «Solid Mesher» натиснувши на кнопку «Done».

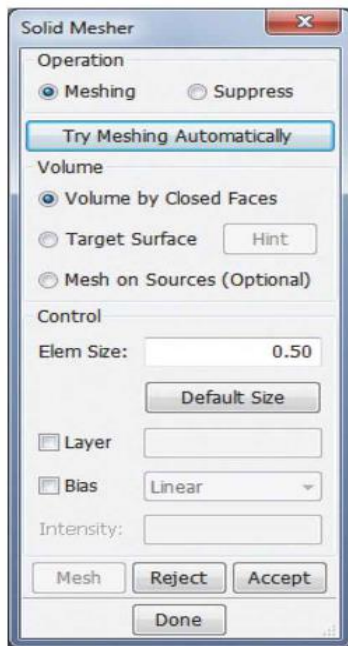


Рис. 3.7. Вікно «Solid Meshing»

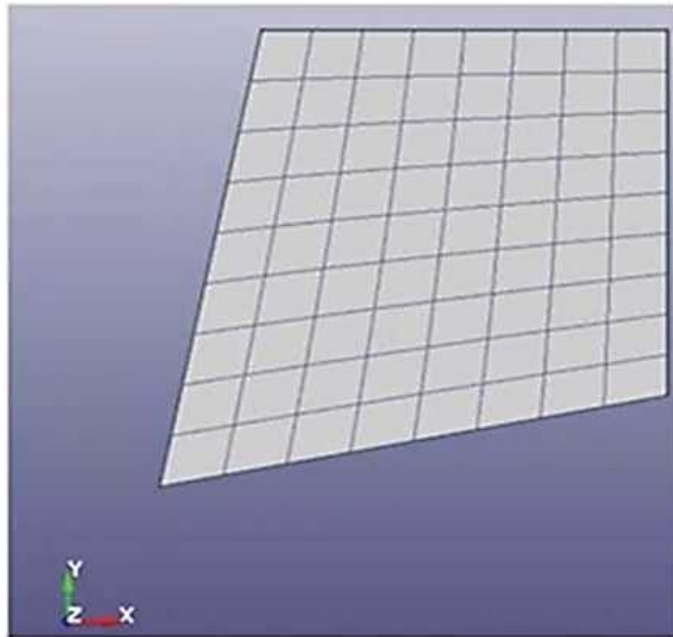


Рис. 3.8. Попередня скінченно–елементна модель

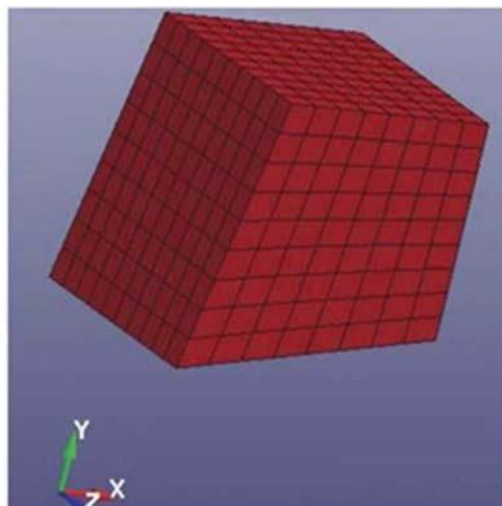


Рис. 3.9. Скінченно–елементна модель різальної частини інструмента

Далі в дереві моделі (ліва частина графічного вікна) потрібно видалити пункт «ShapeGroup», оскільки далі працюватимемо тільки зі скінченно-елементною моделлю інструмента, представленою на рис. 3.9. Для видалення цього пункту необхідно клацнути правою кнопкою миші по відповідному пункту і вибрати в контекстному меню команду «Delete» (див. рис. 3.10).

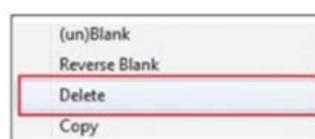


Рис. 3.10. Контекстне меню

### **Побудова геометрії пристосування і заготовки**

На панелі інструментів, розташованій праворуч, натисніть кнопку «Solid», після цього відкриється додаткова інструментальна вкладка з набором кнопок для побудови твердих тіл і операцій з ними. У вкладці, що розкрилася, натисніть кнопку «Cylinder». З'явиться два вікна, у вікні «Create Cylinder» необхідно вказати радіус, початкову і кінцеву точки геометричної області циліндра. Розміри пристосування представлені на рис. 3.11, після введення даних у відповідні поля необхідно натиснути кнопку «Apply». Розміри заготовки представлені на рис. 3.12. Заповнивши необхідні поля, необхідно також натиснути кнопку «Apply» і закрити вікно кнопкою «Close».

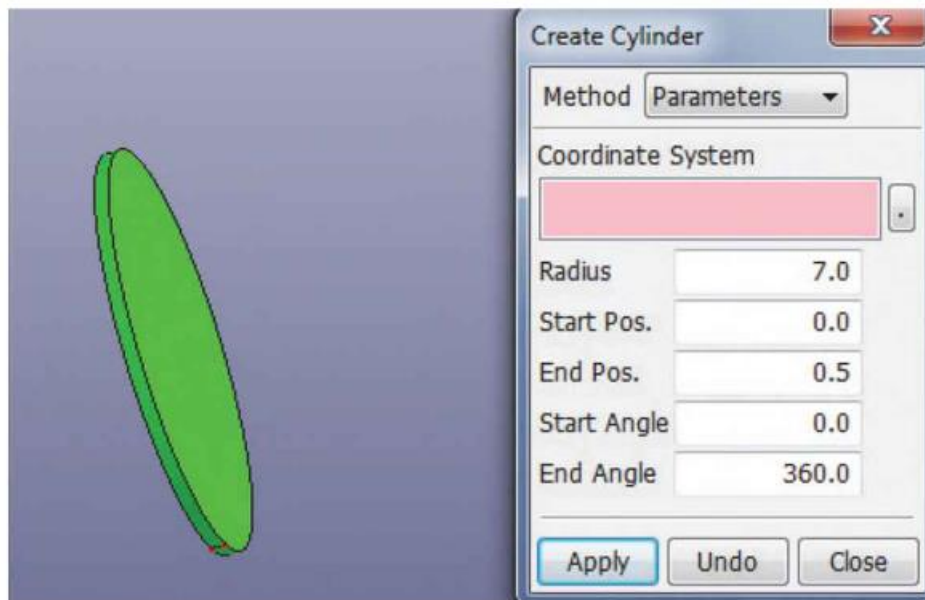
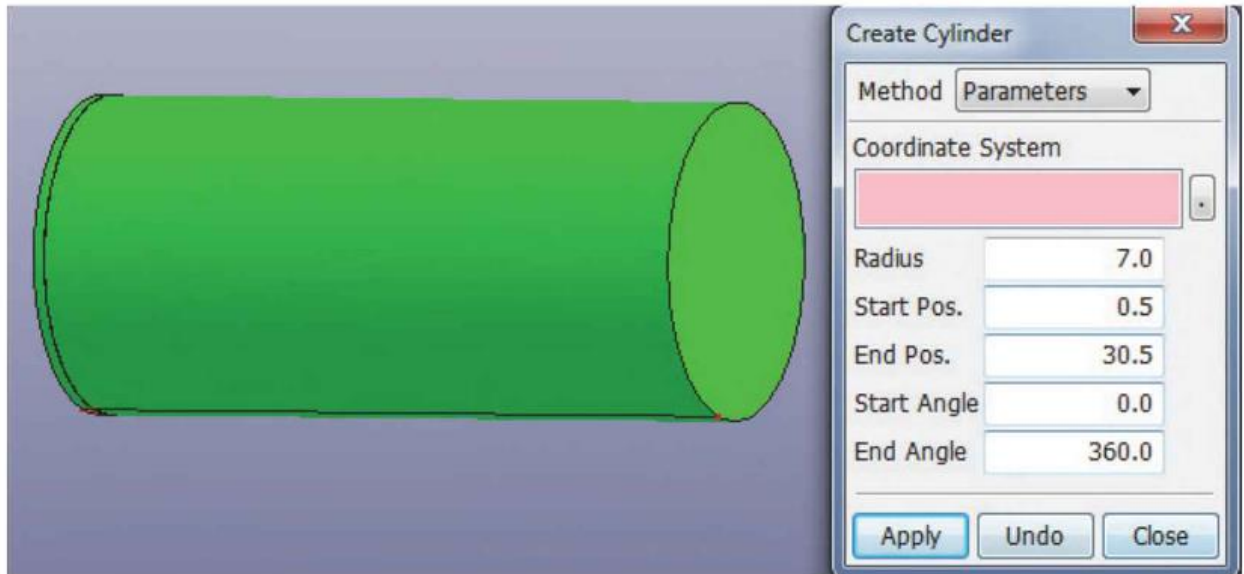


Рис. 3.11. Створення першого циліндра



**Рис. 3.12. Створення другого циліндра**  
**Створення скінченно–елементної моделі пристосування і заготовки**

На панелі інструментів, розташованій праворуч, натисніть кнопку «Element and Mesh», після цього відкриється додаткова вкладка з набором кнопок побудови та редагування вузлів і елементів. У вкладці, що розкрилася, натисніть кнопку «Solid Mesher». Відкриється вікно «Solid Mesher» (рис. 3.13). Виберіть у графічному вікні геометрію заготовки, клацнувши лівою кнопкою миші на побудованому циліндрі, унаслідок чого вона має змінити колір на сірий. У полі «Operation» має бути виділено пункт «Meshing», у полі розмір елемента «Elem Size» введіть значення – «0.25» і натисніть кнопку «Try meshing automaticaly». У результаті буде створено попередню скінченно-елементну модель (рис. 3.14). Якщо отримана скінченно-елементна сітка влаштовує, то натискаємо кнопку «Ассерт», якщо не влаштовує, то необхідно натиснути кнопку «Reject» і скоригувати налаштування. Закриваємо діалогове вікно «Solid Mesher» натиснувши на кнопку «Done».

Далі в дереві моделі (ліва частина графічного вікна) потрібно видалити пункт «ShapeGroup», оскільки далі працюватимемо тільки зі скінченно-елементною моделлю інструмента, представленою на рис. 3.15. Для видалення цього пункту необхідно клацнути правою кнопкою миші відповідним пунктом і вибрати в контекстному меню команду «Delete» (див. рис. 3.10).

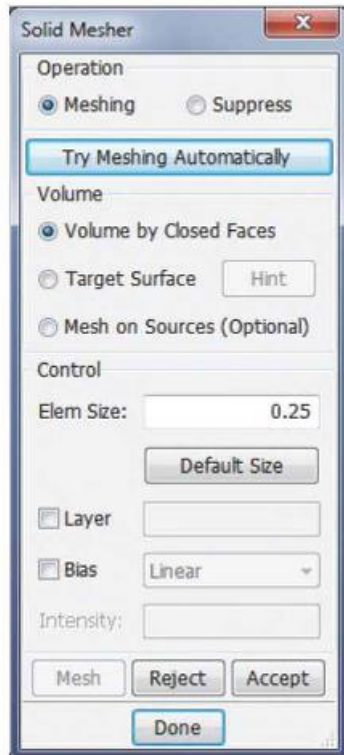


Рис. 3.13. Вікно «Solid Meshing»

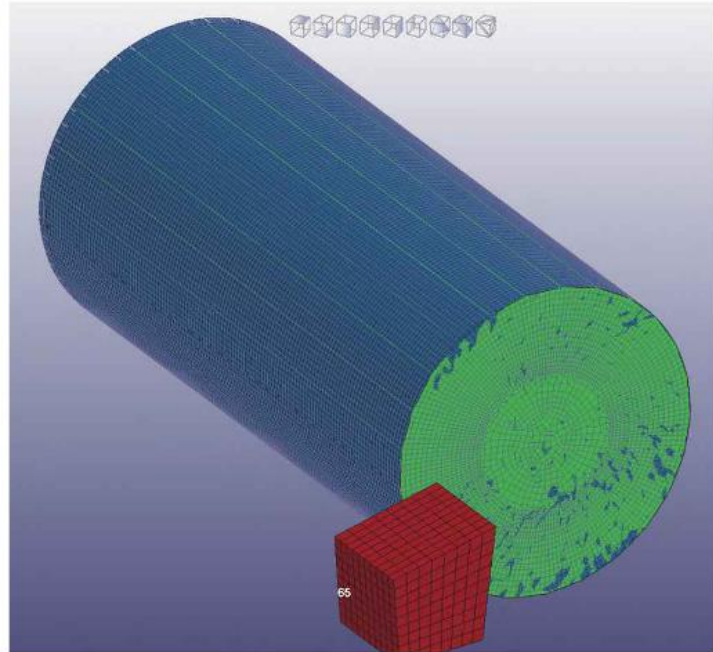


Рис. 3.14. Попередня скінченно-елементна модель

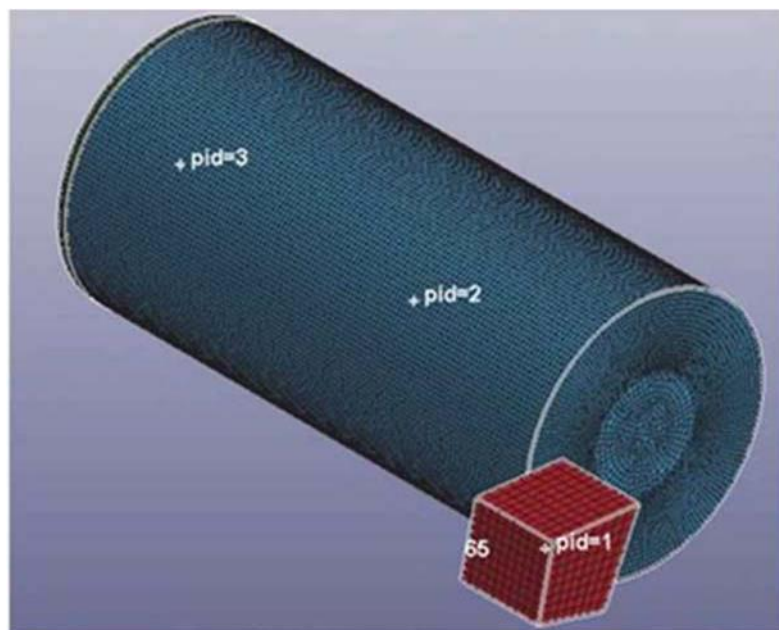


Рис. 3.15. Скінченно-елементна модель

### **Налаштування розрахункової моделі**

Після створення скінченно-елементної моделі необхідно визначити: тип елемента, матеріал, частини, контакт, навантаження, обмеження та ін., за допомогою введення ключових слів і карт. Подивитися опис ключових слів і

карт можна в керівництві користувача (Keyword user's manual).

На панелі інструментів, розташованій праворуч, натисніть кнопку «Model and Part», після цього відкриється додаткова вкладка з набором кнопок різних операцій з моделлю і частинами моделі. У вкладці, що розкрилася, натисніть кнопку «Keyword Manager» і відкриється відповідне вікно (рис. 3.16). У вікні, що відкрилося, встановіть перемикач на «All» (рис. 3.16).

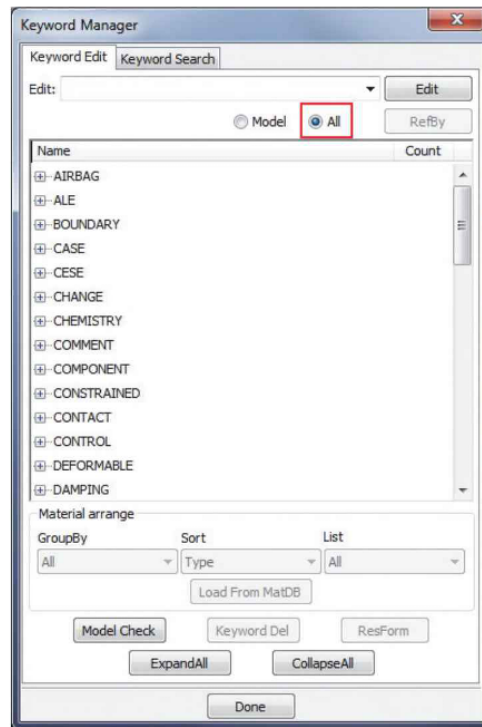


Рис. 3.16. Вікно «Keyword Manager»

### **Визначення типу використовуваних елементів**

Для визначення типу елемента потрібно задати секцію, що використовує ключове слово, яке починається з «SECTION», воно необхідне для формулювання кінцевих елементів, визначення правила інтегрування та характеристики поперечного перерізу.

У вікні «Keyword Manager» розкрийте гілку «SECTION». Для об'ємного восьмивузлового елемента використовується ключове слово «SECTION\_SOLID» (рис. 3.17), що дає змогу задавати характеристики поперечного перерізу для елемента суцільного середовища, для нього задають одну карту, у якій зазначають номер секції «1», опцію формулювання елемента «2» (об'ємний S/R–елемент з повною інтеграцією), тип елемента для задавання навколишнього середовища «0» (залишаємо значення за замовчуванням).





Рис. 3.17 Вікно «SECTION\_SOLID»

### Визначення використовуваних моделей матеріалів

Для додавання моделі матеріалу використовується ключове слово MAT, яке дозволяє додавати різні моделі матеріалів. У цій задачі інструмент і пристосування приймається абсолютно твердим тілом і буде описуватися моделлю матеріалу – RIGID. Для заготовки вибирається модель матеріалу – JOHNSON\_COOK.

Модель матеріалу MAT\_RIGID застосовується для опису твердих тіл, деформації яких незначні і (або) ними можна знехтувати.

Для цього матеріалу вказуються:

- ідентифікатор матеріалу. Повинен бути обраний унікальний номер;
- масова щільність матеріалу;
- модуль Юнга;
- коефіцієнт Пуассона.

А також вказуються додаткові обмеження:

- обмежується переміщення по осях Y, Z;
- обмежується обертання навколо осей X, Y, Z.

Заповнені карти ключового слова MAT\_RIGID для інструмента з виділеними введеними вихідними даними подано на рис. 3.18. Після заповнення необхідних полів необхідно натиснути кнопку «Accept» для збереження даних, а потім кнопку «NewID» у лівій верхній частині вікна для створення карти ключового слова MAT\_RIGID для пристосування з виділеними введеними початковими даними, що подано на рис. 3.19.

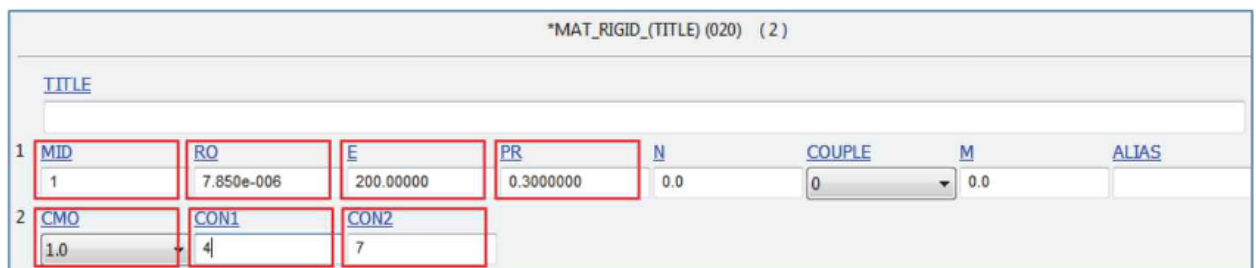


Рис. 3.18. Вікно «MAT\_RIGID для інструменту»

	MID	RO	E	PR	N	COUPLE	M	ALIAS
1	3	7.850e-006	200.00000	0.3000000	0.0	0	0.0	
2	CMO	CON1	CON2					
	1.0	7	4					
3	LCO OR A1	A2	A3	V1	V2	V3		
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Рис. 3.19. Вікно «MAT\_RIGID» для пристосування

Модель матеріалу MAT\_JOHNSON\_COOK використовується як матеріал заготовки. Модель пластичності Джонсона-Кука, що залежить від деформації і температури, іноді використовується в задачах, у яких швидкості деформації змінюються у великому діапазоні, а адіабатичне зростання температури через нагрівання під час пластичної деформації викликає зниження міцності матеріалу. У разі використання об'ємних елементів ця модель потребує рівняння стану.

У карту 1 матеріалу вводяться:

- ідентифікатор матеріалу у вигляді унікального номера;
- масова щільність матеріалу;
- модуль зсуву;
- модуль Юнга;
- коефіцієнт Пуассона.

В карти 2, 3, 4 вводяться компоненти виразу Джонсона (Johnson) і Кука (Cook), а також параметри руйнування, отримані експериментальним шляхом.

Заповнені карти ключового слова MAT\_JOHNSON\_COOK подано на рис. 3.20.

	MID	RO	G	E	PR	DTE	VP	RATEOP
1	2	7.810e-006	78.50000	204.00000	0.3000000	1.800e-007	0.0	0.0
2	A	B	N	C	M	TM	TR	EPSO
	0.5530000	0.6010000	0.2340000	0.0134000	1.0000000	1480.0000	20.000000	0.0010000
3	CP	PC	SPALL	IT	D1	D2	D3	D4
	642.00000	0.0	2.0	1.0	1.2000000	0.0	0.0	0.0
4	DS	C2/P	EROD	EFMIN				
	0.0	0.0	0	1.000e-006				

Рис. 3.20. Вікно «MAT\_JOHNSON\_COOK»

Модель матеріалу MAT\_THERMAL застосовують, щоб задавати теплофізичні параметри матеріалів під час спільного міцність/тепло аналізу та під час суто теплового аналізу. Теплофізичні параметри повинні задаватися для всіх об'ємних і оболонкових елементів. Для балкових або дискретних елементів такі параметри задавати не потрібно, оскільки ці елементи не враховуються на

тепловій стадії розрахунку.

На теплофізичні властивості посилаються за допомогою ідентифікаційного номера TMID, який ніяк не пов'язаний з номерами інших матеріалів MID, заданими в інших картах \*MAT\_.... В одному розрахунку номери TMID і MID можуть збігатися. Ці номери (TMID і MID) пов'язані через карту \*PART.

MAT\_THERMAL\_ISOTROPIC дає змогу задавати ізотропні теплофізичні властивості матеріалу.

У карту 1 матеріалу вводиться ідентифікатор матеріалу у вигляді унікального номера, інші налаштування залишаємо за замовчуванням.

У карту 2 матеріалу вводиться:

- HC – теплоємність;
- TC – теплопровідність.

Заповнені карти ключового слова MAT\_THERMAL\_ISOTROPIC подано на рис. 3.21.

*MAT_THERMAL_ISOTROPIC_(TITLE) (T01) (1)						
TITLE						
1	TMID	TRO	TGRCL	TGMULT	TLAT	HLAT
	1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	HC	TC				
	642.00000	4.700e-005				

Рис. 3.21. Вікно «MAT\_THERMAL\_ISOTROPIC»

### Додавання рівняння стану

Під час використання моделі матеріалу MAT\_JOHNSON\_COOK потрібне рівняння стану. Тому додаємо ключове слово EOS\_LINEAR\_POLYNOMIAL, щоб задавати коефіцієнти для рівнянь стану у вигляді полінома.

Заповнені карти ключового слова EOS\_LINEAR\_POLYNOMIAL подано на рис. 3.22.

*EOS_LINEAR_POLYNOMIAL_(TITLE) (1)								
TITLE								
1	EOSID	C0	C1	C2	C3	C4	C5	C6
	1	0.0	170.00000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	E0	V0						
	0.0	1.0000000						

Рис. 3.22. Вікно «EOS\_LINEAR\_POLYNOMIAL»

### Додавання параметрів контролю спотворення

Ключове слово HOURGLASS призначене для задавання параметрів уникнення спотворень форми елементів і об'ємної в'язкості. Використовується в ключовому слові PART.

Заповнену карту ключового слова HOURGLASS подано на рис. 3.23.

Рис. 3.23. Вікно «HOURGLASS»

### Визначення частин розрахункової моделі

Ключове слово PART дає змогу задавати так звані частини розрахункової моделі, тобто об'єднувати інформацію про матеріал, характеристики перерізу, вид контролю спотворення елементів на кшталт пісочного годинника, теплофізичні властивості та прапор-ознаку адаптивності частини.

Для інструмента вводимо (рис. 3.24):

- у полі «TITLE» назву частини – «Tool»;
- у полі PID – ідентифікатор частини – 1;
- у полі SECID – ідентифікатор розділу, який визначається в розділі «SECTION» – 1;
- у полі MID – ідентифікатор матеріалу, який визначається в розділі «MAT» – 1;
- у полі TMID – ідентифікатор теплофізичних властивостей матеріалу, що задається в розділі «MATTERMAL» – 1.

Рис. 3.24. Вікно «PART» для інструменту

Після заповнення необхідних полів необхідно натиснути кнопку «Ассерт» для збереження даних, а потім у правій верхній частині вікна вибрати другий рядок і ввести для заготовки (рис. 3.25):

- у полі «TITLE» назва частини – «Zagot»;
- у полі PID – ідентифікатор частини – 2;
- у полі SECID – ідентифікатор розділу, який визначається в розділі

«SECTION»–1;

- у полі MID – ідентифікатор матеріалу, який визначається в розділі «MAT» – 2;

- у полі EOSID – ідентифікатор рівняння стану, який визначається в розділі «EOS» – 1;

- у полі HGID – ідентифікатор контролю спотворення елементів за типом пісочного годинника за рахунок об'ємної в'язкості, який визначається в розділі «HOURLASS» – 1;

- у полі TMID – ідентифікатор теплофізичних властивостей матеріалу, що задається в розділі «MAT\_TERMAL» – 1.

Рис. 3.25 Вікно «PART» для заготовки

Після заповнення необхідних полів необхідно натиснути кнопку «Ассерт» для збереження даних, а потім у правій верхній частині вікна вибрати третій рядок і ввести для пристосування (рис. 3.26):

- у полі «TITLE» назву частини – «Prisposob»;

- у полі PID – ідентифікатор частини – 3;

- у полі SECID – ідентифікатор розділу, який визначається в розділі «SECTION» – 1;

- у полі MID – ідентифікатор матеріалу, який визначається в розділі «MAT» – 3;

- у полі TMID – ідентифікатор теплофізичних властивостей матеріалу, що задається в розділі «MAT\_TERMAL» – 1.

Рис. 3.26. Вікно «PART» для пристосування

### Створення вузлових наборів

Далі необхідно створити набори вузлів для задавання контакту, навантаження й обмежень із використанням ключового слова SET\_NODE

LIST. Заповнити карти цього ключового слова можна в ручному режимі, заповнюючи відповідні поля вікна «SET\_NODE\_LIST», а можна в автоматизованому режимі. У цій роботі заповнювати ключове слово будемо в автоматизованому режимі з використанням команди «Create Entity» (рис. 3.27–3.29).

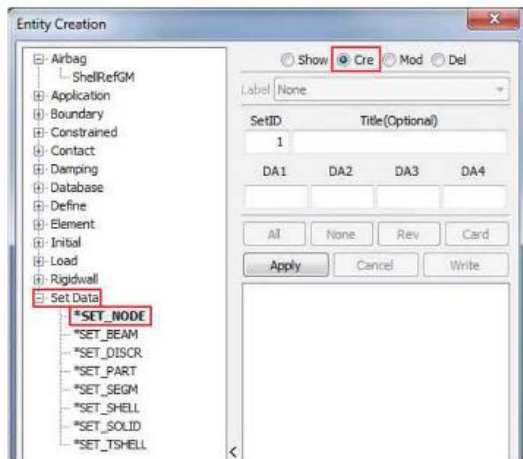


Рис. 3.27. Вікно «Create entity»

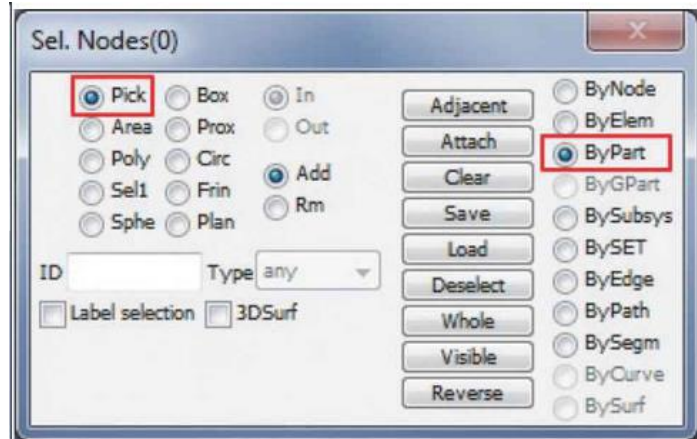


Рис. 3.28. Вікно «Sel. Nodes»

На панелі інструментів, розташованій праворуч, натисніть кнопку «Model and Part», після цього відкриється додаткова вкладка з набором кнопок різних операцій з моделлю і частинами моделі. У вкладці, що розкрилася, натисніть кнопку «Create Entity», з'явиться два вікна «Entity Selection» і «Entity Creation». У вікні «Entity Creation» (рис. 3.27) розкрийте гілку «Set Data» і виберіть пункт «\*SET\_NODE», при цьому права частина вікна змінить структуру. У правій верхній частині вікна «Entity Creation» переключіть перемикач із «Show» на «Cre» (рис. 3.27), при цьому вікно «Entity Selection» зміниться на вікно «Sel. Nodes», у якому встановіть перемикачі так, як показано на рис. 3.28. Клацніть ЛКМ по заготівці – усі вузли заготовки мають виділитися. Натисніть кнопку «Apply» у вікні «Entity Creation», у результаті буде створено набір із 429318 вузлів з ідентифікатором «1» (рис. 3.29).

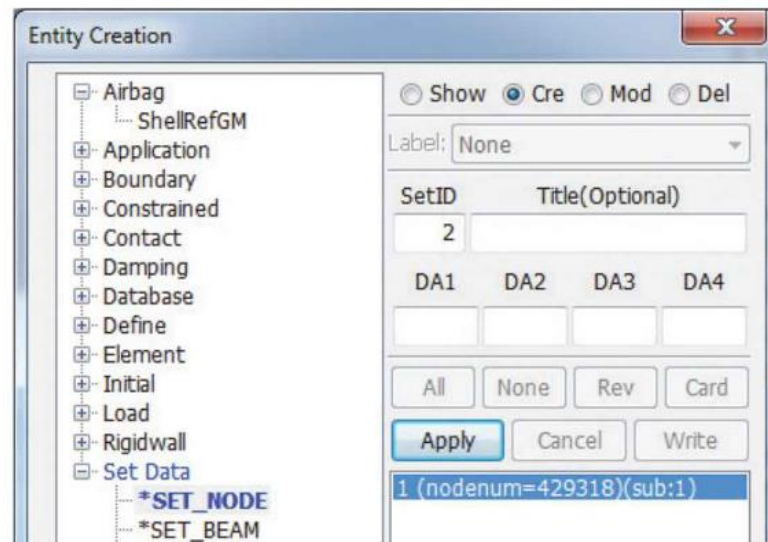


Рис. 3.29. Вікно «Create Entity»

Для закриття вікна «Entity Creation» натисніть кнопку «Done» у нижній частині вікна.

### **Завдання алгоритму контактної взаємодії**

Ключове слово «CONTACT», призначене для завдання способу оброблення контактної взаємодії між частинами розрахункової моделі. Задається алгоритм контактної взаємодії між заготівкою та інструментом, а також самоконтакт для заготівки з метою унеможливити можливе проникнення стружки в заготівку.

Створимо контакт заготовки та інструменту типу «вузли до поверхні» з можливістю видалення елементів. Для цього в гілці «CONTACT» оберіть ключове слово `ERODING_NODES_TO_SURFACE`, ця опція відключає перевірку взаємного проникнення на початку моделювання і призводить до появи контактних сил, що усувають взаємне проникнення. Подвійним клацанням ЛКМ відкрийте вікно налаштувань. У вікні, що відкрилося, насамперед потрібно заповнити поля, виділені червоним прямокутником (рис. 3.30). У карті 4 заповніть поля:

- `SSID` – ідентифікатор підлеглого сегмента, набору вузлів, набору частин моделі, ставимо – «1»;
- `MSID` – ідентифікатор набору головних сегментів, набору частин, однієї частини або набору оболонкових елементів, ставимо – «1»;
- `SSTYP` – підлеглий сегмент («Slave segment») або тип набору вузлів, ставимо – «4» – ідентифікатор набору вузлів;
- `MSTYP` – тип набору головних сегментів («Master segment»), ставимо – «3» – ідентифікатор частини.

Row	Field	Value
4	SSID	1
4	MSID	1
4	SSTYP	4
4	MSTYP	3
4	SBOXID	
4	MBOXID	
4	SPR	0
4	MPR	0
5	FS	0.2
5	FD	0.0
5	DC	0.0
5	VC	0.0
5	VDC	20
5	PENCHK	0
5	BT	0.0
5	DT	1.0E+20
6	SFS	1.0
6	SFM	1.0
6	SST	
6	MST	
6	SFST	1.0
6	SFMT	1.0
6	FSF	1.0
6	VSE	1.0
7	ISYM	0
7	EROSOP	1
7	IADJ	1
7	Thermal	<input checked="" type="checkbox"/>
7	T_Friction	<input type="checkbox"/>
7	A	<input type="checkbox"/>
7	AB	<input type="checkbox"/>
7	ABC	<input type="checkbox"/>
7	ABCD	<input type="checkbox"/>
7	ABCDE	<input type="checkbox"/>
7	ABCDEF	<input type="checkbox"/>
8	CF	
8	FRAD	
8	HTC	4.700e-005
8	LMIN	2
8	LMAX	1.00e+004
8	FTOSLV	1
8	BC_FLG	
8	ALGO	

Рис. 3.30. Вікно «CONTACT\_ERODING\_NODES\_TO\_SURFACE»

Як «Master segment» вказується частина моделі, що належить інструменту; як «Slave segment» – ідентифікатор набору вузлів, що належать заготівці.

У карті 5 вказується коефіцієнт статичного тертя і коефіцієнт в'язкого демпфування.

Карта 6 залишається за замовчуванням. У карті 7 вказується:

- опція симетрії площини ISYM = 0 – вимкнена;
- опція зникнення/внутрішній вузол EROSOP = 1: збереження інформації здійснюється таким чином, що може відбутися зникнення контакту;
- обробка сусіднього матеріалу для об'ємних елементів IADJ = 1: грані об'ємного елемента враховуються, якщо вони розташовані на межі різних матеріалів.

Додаємо карту «Thermal» і вводимо зазначені на рис. 30 дані.

Для збереження введених даних натискається кнопка «Ассерт» і кнопкою «Done» закривається вікно.

Для визначення самоконтакту додаємо карту CONTACT\_ERODING\_SINGLE\_SURFACE і заповнюємо як представлено на рис. 3.31.



Рис. 3.31. Вікно «CONTACT\_ERODING\_SINGLE\_SURFACE»

Зберігаємо введені дані кнопкою «Ассерт» і кнопкою «Done» закриваємо вікно.

### Завдання параметрів руху та обмежень

#### Завдання кривої переміщення інструменту

Ключове слово «DEFINE» дає змогу задати прямокутні області, координатні системи, визначальні криві, таблиці та орієнтувальні вектори для різних цілей.

Для завдання поступального руху різальної частини інструмента необхідно визначити криву навантаження, для цього в гілці «DEFINE» вибираємо ключове слово «DEFINE\_CURVE» і створимо криву залежності швидкості від часу згідно з табл. 3.1.

У першій карті в полі «LCID» (ідентифікатор визначальної кривої) ставимо «1» (рис. 3.32), далі задають криву за даними табл. 3.1, заповнюючи поля «A1» (значення за віссю абсцис) і «O1» (значення за віссю ординат).

Таблиця 3.1

Вихідні дані для кривої навантаження

Номер точки кривої	Час, с (поле «A1»)	Швидкість, м/с (поле «O1»)
1	0	0
2	0,02	-5
3	1000	-5

Задамо точку 1: у полі «A1» вводимо значення «0», у полі «O1» вводимо

значення «0» і натискаємо кнопку «Insert» (рис. 3.32), у полі, розташованому під полями «A1» і «O1», з'явиться запис із координатами введеної точки.



Рис. 3.32 Вікно «DEFINE CURVE»

Задамо точку 2: у полі «A1» вводимо значення «0,02», у полі «O1» вводимо значення «-5» і натискаємо кнопку «Insert» (рис. 3.33).

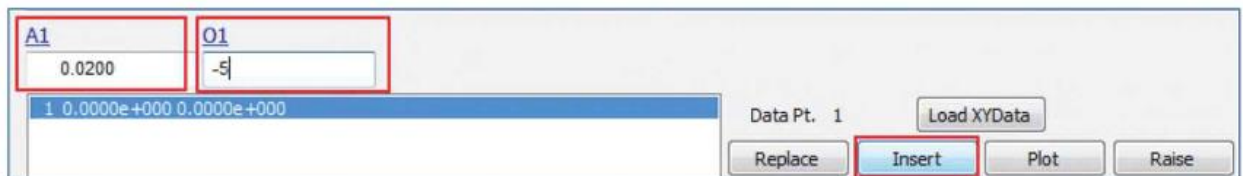


Рис. 3.33. Створення другої точки

Задамо точку 3: у полі «A1» вводимо значення «5», у полі «O1» вводимо значення «-5» і натискаємо кнопку «Insert» (рис. 3.34).

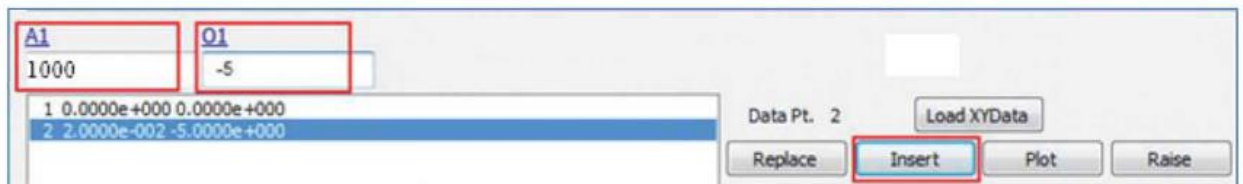


Рис. 3.34. Створення третьої точки

Зберігаємо введені дані кнопкою «Ассерпт». На рис. 3.35 представлена заповнена карта «DEFINE\_CURVE».



Рис. 3.35 Заповнене вікно «DEFINE\_CURVE»

### Завдання кривої обертання пристосування

Для завдання обертання пристосування необхідно визначити криву навантаження, для цього в лівій верхній частині вікна «DEFINE\_CURVE» необхідно натиснути кнопку «NewID». Створимо криву залежності кутової швидкості від часу згідно з табл. 3.2.

Таблица 3.2

Вихідні дані для кривої навантаження

Номер точки кривої	Час, с (поле «A1»)	Кутова швидкість, рад/мс (поле «O1»)
1	0	0
2	0,01	6,2
3	10	6,2

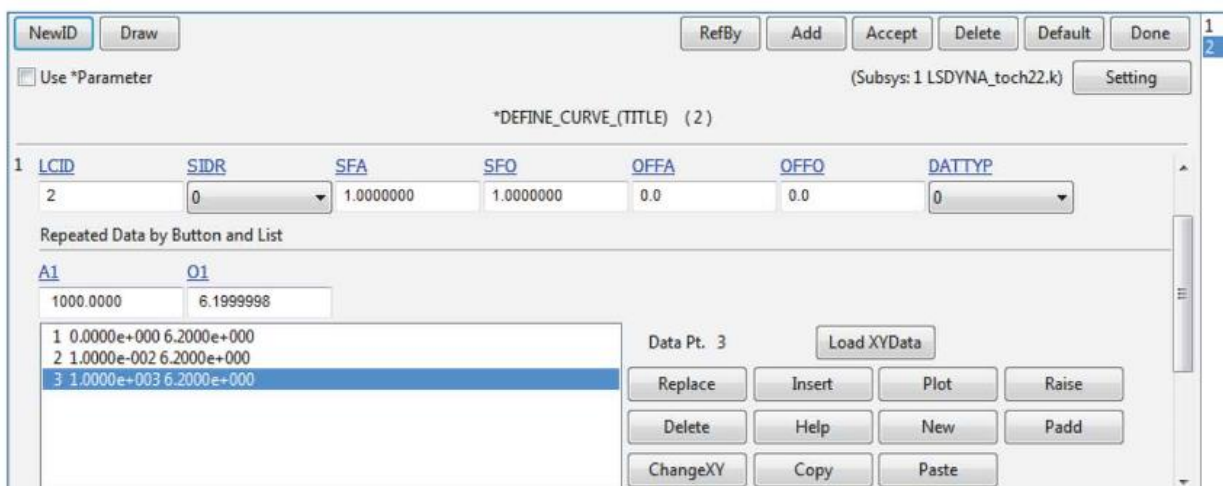


Рис. 3.36. Заповнене вікно «DEFINE\_CURVE»

Зберігаємо введені дані кнопкою «Асерт». На рис. 3.36 представлена заповнена карта «DEFINE\_CURVE».

Закриваємо вікно кнопкою «Done».

### **Завдання швидкості переміщення інструменту**

Ключове слово «BOUNDARY» дає можливість задати рух вузлів на границі.

Задамо рух інструменту, використовуючи криву навантаження, для цього розкриваємо вкладку «BOUNDARY», подвійним натисканням ЛКМ обираємо ключове слово «PRESCRIBED\_MOTION\_RIGID». У вікні, що з'явилося, вказуємо значення, які наведено на рис. 3.37:

- PID – ідентифікатор частини розрахункової моделі;
- DOF – ступінь свободи, що застосовується, 3 – поступальний рух по осі Z;
- VAD – прапор–ознака завдання швидкості/прискорення/переміщення, 0 – швидкість (тверді тіла і вузли);
- LCID – ідентифікатор визначальної кривої, для опису руху залежно від часу;
- SF – коефіцієнт перерахунку визначальної кривої – 0.4;
- VID – ідентифікатор вектора, для значення DOF;
- DEATH – час, коли знімається задане обмеження/рух;
- BIRTH – час, коли задається рух/обмеження. Зберігаємо введені дані кнопкою «Асерт».

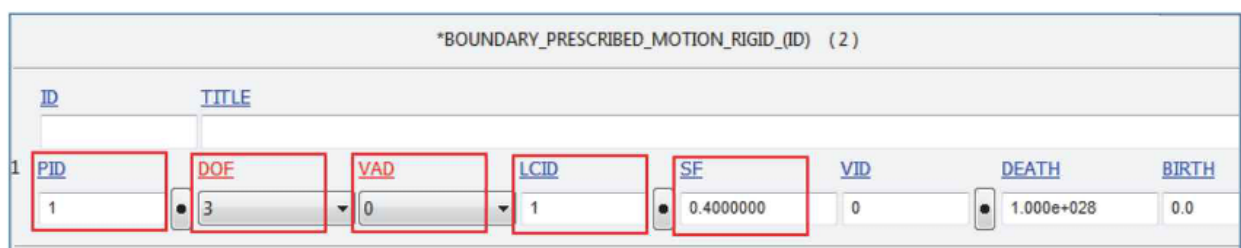


Рис. 3.37. Вікно «BOUNDARY\_PRESCRIBED\_MOTION\_RIGID»

### **Завдання обертального руху пристосування**

Далі задамо обертальний рух пристосуванню, використовуючи криву навантаження, для цього в лівій верхній частині вікна «DEFINE\_CURVE» необхідно натиснути кнопку «NewID» і вводимо значення, представлені на рис. 3.38:

- PID – ідентифікатор частини розрахункової моделі;

- DOF – застосований ступінь свободи, 7 – обертальний рух навколо осі Z;
- VAD – прапор-ознака завдання швидкості /прискорення /переміщення, 0 – швидкість (тверді тіла і вузли);
- LCID – ідентифікатор визначальної кривої, для опису руху залежно від часу;
- SF – коефіцієнт перерахунку визначальної кривої;
- VID – ідентифікатор вектора, для значення DOF;
- DEATH – час, коли знімається задане обмеження/рух;
- BIRTH – час, коли задається рух/обмеження.

Зберігаємо введені дані кнопкою «Асепт» і кнопкою «Done» закриваємо вікно.

Звертаємо вкладку «BOUNDARY».

ID	TITLE	PID	DOF	VAD	LCID	SF	VID	DEATH	BIRTH
1		3	7	0	2	1.0000000	0	1.000e+028	0.0

Рис. 3.38. Вікно «BOUNDARY\_PRESCRIBED\_MOTION\_RIGID»

### **Завдання початкової температури для теплового аналізу**

Для зазначення початкової температури розкриваємо гілку «INITIAL» і обираємо ключове слово «INITIAL\_TEMPERATURE\_SET», яке застосовується для завдання початкової температури у вузлах за допомогою ідентифікаторів вузлового набору або номерів вузлів. Ці початкові температури використовуються під час теплового аналізу або під час пов'язаного теплового та аналізу міцності. Вводимо значення температури в поле «TEMP», що дорівнює 20 °C, як показано на рис. 3.39.

NSID	TEMP	LOC	
1	p	20.000000	0

Рис. 3.39. Вікно «INITIAL\_TEMPERATURE\_SET»

Зберігаємо введені дані кнопкою «Асепт» і кнопкою «Done» закриваємо вікно.

### Завдання контрольних карт

На вкладці ключового слова «CONTROL» вказуються карти для зміни значень за замовчуванням, наприклад, для активації таких опцій розв'язання, як перерахунок маси елемента, адаптивна перебудова сітки та використання неявних методів розв'язання.

Ключове слово ENERGY призначене для того, щоб забезпечувати керуючі параметри для опцій розсіювання енергії:

- HIGEN – опція розрахунку енергії для процедури опрацювання спотворень елементів на кшталт пісочного годинника, ставимо значення «2» – енергія розраховується і включається в загальний баланс;

- RWEN – опція дисипації енергії в кам'яній кладці, ставимо значення «2» – енергію розраховується і включається в загальний баланс;

- SLNTEN – опція дисипації енергії на межі ковзання контактів, ставимо значення «2» – енергія розраховується і включається в загальний баланс;

- RYLEN – опція релеївського розсіювання енергії, ставимо значення «2» – розсіювання енергії розраховується і включається у загальний баланс.

Заповнені поля ключового слова «CONTROL\_ENERGY» подано на рис. 3.40.

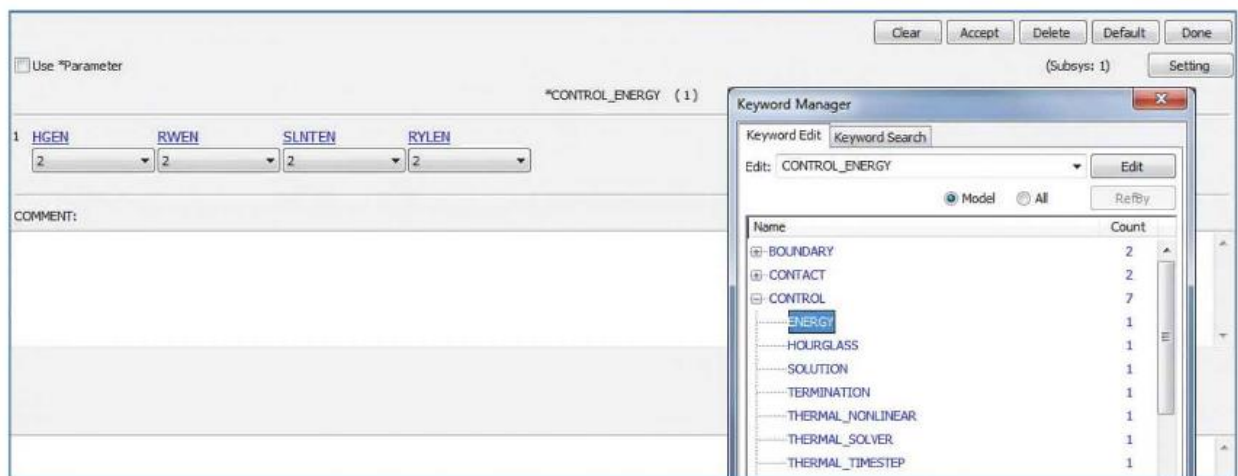


Рис. 3.40. Вікно «CONTROL\_ENERGY»

Ключове слово HOURGLASS дає змогу задавати параметри, які використовуються процедурою опрацювання спотворень форми елементів за типом пісочного годинника, для перевизначення значень за замовчуванням. Вводимо значення як на рис. 3.41:

- INQ – тип в'язкості ставимо значення «5» – форма жорсткості перерізу за типом 3 (Фланаган – Беличко);

- QN – коефіцієнт за замовчуванням, ставимо значення «0.1».

*CONTROL_HOURLASS (1)					
1	<table><tr><td>IHQ</td><td>OH</td></tr><tr><td>5</td><td>0.1000000</td></tr></table>	IHQ	OH	5	0.1000000
IHQ	OH				
5	0.1000000				

Рис. 3.41. Вікно «CONTROL\_HOURLASS»

Ключове слово SOLUTION задає процедуру виконання аналізу, якщо виконується тільки тепловий розрахунок або пов'язаний тепловий аналіз. У поле «SOLN» вводимо значення «2» – пов'язаний міцнісний і тепловий аналіз, інші поля залишаємо за замовчуванням (рис. 3.42).

*CONTROL_SOLUTION (1)									
1	<table><tr><td>SOLN</td><td>NLQ</td><td>ISNAN</td><td>LCINT</td></tr><tr><td>2</td><td>0</td><td>0</td><td>100</td></tr></table>	SOLN	NLQ	ISNAN	LCINT	2	0	0	100
SOLN	NLQ	ISNAN	LCINT						
2	0	0	100						

Рис. 3.42. Вікно «CONTROL\_SOLUTION»

Ключове слово TERMINATION використовується для зазначення умов завершення виконання завдання, Задаємо налаштування, показані на рис. 3.43. У полі «ENDTIM» – вказуємо час завершення – 8 мс.

*CONTROL_TERMINATION (1)											
1	<table><tr><td>ENDTIM</td><td>ENDCYC</td><td>DTMIN</td><td>ENDENG</td><td>ENDMAS</td></tr><tr><td>8.0000000</td><td>0</td><td>0.0</td><td>0.0</td><td>0.0</td></tr></table>	ENDTIM	ENDCYC	DTMIN	ENDENG	ENDMAS	8.0000000	0	0.0	0.0	0.0
ENDTIM	ENDCYC	DTMIN	ENDENG	ENDMAS							
8.0000000	0	0.0	0.0	0.0							

Рис. 3.43. Вікно «CONTROL\_TERMINATION»

Ключове слово «THERMAL\_NONLINEAR» дає змогу задавати параметри для нелінійного теплового або пов'язаного міцнісного і теплового аналізу. Задаємо налаштування, показані на рис. 3.44.

REEMAX – максимальне число матричних перетворень на один крок за часом, ставимо значення «100», інші налаштування залишаються за замовчуванням.

*CONTROL_THERMAL_NONLINEAR (1)															
1	<table><tr><td>REEMAX</td><td>TOL</td><td>DCP</td><td>LUMPBC</td><td>THLSTL</td><td>NLTHPR</td><td>PHCHPN</td></tr><tr><td>100</td><td>0.0</td><td>1.0</td><td>0</td><td>0.0</td><td>0</td><td>0.0</td></tr></table>	REEMAX	TOL	DCP	LUMPBC	THLSTL	NLTHPR	PHCHPN	100	0.0	1.0	0	0.0	0	0.0
REEMAX	TOL	DCP	LUMPBC	THLSTL	NLTHPR	PHCHPN									
100	0.0	1.0	0	0.0	0	0.0									

Рис. 3.44. Вікно «CONTROL\_THERMAL\_NONLINEAR»

Ключове слово «THERMAL\_SOLVER» призначене задавати опції для теплового розрахунку або для пов'язаного міцнісного/теплового аналізу.

Вводимо значення (рис. 3.45):

- ATYPE – тип теплового аналізу, ставимо значення «1» – аналіз перехідного режиму;
- PTYPE – тип теплової задачі, ставимо значення «2» – нелінійна задача з властивостями матеріалу, що відповідають середній температурі елемента;
- SOLVER – тип вирішувача теплового аналізу, ставимо значення «3» – dscg – ітеративний метод спряжених градієнтів, діагонально масштабований;
- CGTOL – похибка збіжності для вирішувачів типу 3 і 4, ставимо значення «1.0e-6»;
- GPT – число точок Гауса, що використовуються в об'ємних елементах, ставимо значення «1» – використовується односточкова квадратура;
- FWORK – частка механічної роботи, що перетворюється на теплоту, ставимо значення «0.9».

Інші налаштування залишаються за замовчуванням.



*CONTROL_THERMAL_SOLVER (1)								
1	ATYPE	PTYPE	SOLVER	CGTOL	GPT	EQHEAT	FWORK	SBC
	1	2	3	1.000e-006	1	1.0000000	0.9000000	0.0
2	MSGVL	MAXITR	ABSTOL	RELTOL	OMEGA	UNUSED	UNUSED	TSF
	0	500	1.000e-010	1.000e-004	1.0000000	0	0	1.0000000

Рис. 3.45. Вікно «CONTROL\_THERMAL\_SOLVER»

Ключове слово «THERMAL\_TIMESTEP» використовується для задавання параметрів керування кроком рішення за часом для теплового розрахунку або для пов'язаного міцнісного/теплового аналізу.

Задаємо налаштування показані на рис. 46:

- ITS – початковий крок теплового розрахунку, ставимо значення «0.001»;
- TMIN – мінімальний крок теплового розрахунку, ставимо значення «1.0e-7»;
- TMAX – максимальний крок теплового розрахунку, ставимо значення «0.0139»;
- DTEMP – максимальна зміна температури під час кожного кроку за часом, заданим, як зазначено вище, що зменшуватиме крок теплового розрахунку, ставимо значення «100».



*CONTROL_THERMAL_TIMESTEP (1)								
1	TS	TIP	ITS	TMIN	TMAX	DTEMP	TSCP	LCTS
	0	0.5000000	0.0010000	1.000e-007	0.0139000	100.000000	0.5000000	0

Рис. 3.46. Вікно «CONTROL\_THERMAL\_TIMESTEP»



## Закріплення заготовки в пристосуванні

Щоб з'єднати частину пристосування і заготовку можна використовувати різні алгоритми контактної взаємодії.

Якщо вузли заготовки і пристосування збігаються, то їх можна з'єднати іншим способом – об'єднанням вузлів.

Для цього на панелі команд, розташованій праворуч, натисніть кнопку «Element Tools», відкриється додаткова розширена вкладка з набором команд для роботи з елементами вузлами. У вкладці, що розкрилася, натисніть кнопку «Duplicate Nodes», з'явиться два вікна. У вікні «Duplicate Nodes» натисніть кнопку «Show Dup Nodes» (рис. 3.47). Після натискання на кнопку буде здійснено пошук однакових вузлів, і вузли, що збігаються, будуть виділені жовтим кольором, як показано на рис. 3.48.

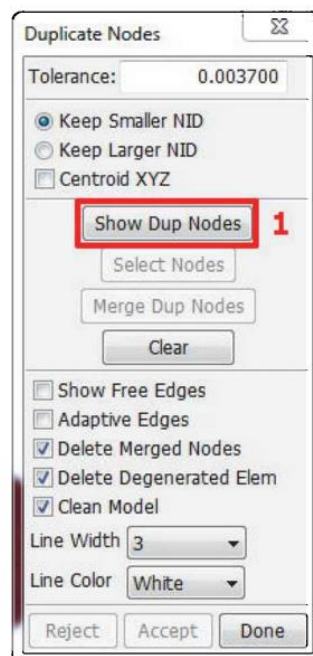


Рис. 3.47. Вікно «Show Dup Nodes»

При цьому у вікні «Duplicate Nodes» кнопка «Show Dup Nodes» стане неактивною, а кнопка «Merge Dup Nodes» стане активною (рис. 3.49). Натисніть на кнопку «Merge Dup Nodes», унаслідок цього виділені вузли, що збігаються, буде з'єднано, а кнопка «Accept» стане активною.



Рис. 3.48. Виділені вузли

Для збереження об'єднання вузлів натисніть на кнопку «Accept» (рис. 3.49). Закрийте вікно «Duplicate Nodes» кнопкою «Done».

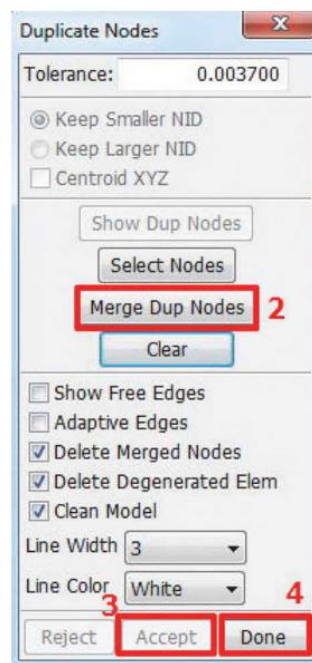


Рис. 3.49. Вікно «Show Dup Nodes»

### **Завдання вихідних файлів з інформацією про результати розрахунку**

Ключове слово «**DATABASE**» (база даних) не є обов'язковим, однак завдання баз даних необхідне для отримання вихідних файлів з інформацією про результати розрахунку.

У Карті ASCII\_option (рис. 3.51) обирають файли у форматі ASCII (якщо файл не задано, його не записуватимуть), у які записуватимуть відповідну інформацію, а також вказують інтервал запису даних.

Обрані файли у форматі ASCII для задачі, що розглядається:  
- GLSTAT – запис глобальних даних (рис. 3.50, а);

- MATSUM – запис даних про енергію системи (рис. 3.50, б);
- RCFORC – запис даних про рівнодіючі сили на поверхні розділу (рис. 3.50, в).

GLSTAT		
кінетична енергія		
внутрішня енергія		
повна енергія		
відношення		
енергія сітки-перешкоди		
енергія пружини та демпфера	MATSUM	
енергія при спотвореннях форми елемента	кінетична енергія	
енергія демпфування	внутрішня енергія	
енергія ковзної поверхні розділу	енергія при спотвореннях форми елемента	
робота зовнішніх сил	імпульс z, y, z	
швидкість z, y, z	швидкість z, y, z жорсткого тіла	
крок рахунку за часом	повна кінетична енергія	RCFORC
ідентифікатор елемента, що визначає крок за часом	повна енергія при спотвореннях форми елемента	сила z, y, z

Рис. 3.50. Вихідні дані для файлів у форматі ASCII

Для перегляду результатів розрахунку необхідно задати ім'я файлу двійкових вихідних даних, у який записуватиметься відповідна інформація із заданим користувачем інтервалом запису.

Для цієї задачі обираються 2 файли – D3PLOT і D3THDT, які за замовчуванням матимуть імена D3PLOT і D3THDT відповідно.

Файл D3PLOT містить інформацію, необхідну для видачі даних на графік по всій тривимірній геометрії моделі. Ці дані можна видати на графік за допомогою постпроцесора LS-POST. Файл D3THDT містить дані про динаміку змін і для підмножини елементів, а також глобальні дані. Ці дані можна видати на графік за допомогою постпроцесора LS-POST.

Option	DT	BINARY	LCUR	IOOPT
<input checked="" type="checkbox"/> GLSTAT	0.003	0	0	1
<input type="checkbox"/> GLSTAT_MASS_PROPERTIES	0.0	0	0	1
<input type="checkbox"/> JNTFORC	0.0	0	0	1
<input checked="" type="checkbox"/> MATSUM	0.003	0	0	1
<input type="checkbox"/> MOVIE	0.0	0	0	1
<input type="checkbox"/> MPGS	0.0	0	0	1
<input type="checkbox"/> NCFORC	0.0	0	0	1
<input type="checkbox"/> NODFOR	0.0	0	0	1
<input type="checkbox"/> NODOUT	0.0	0	0	1
<input type="checkbox"/> RBDOUT	0.0	0	0	1
<input checked="" type="checkbox"/> RCFORC	0.003	0	0	1

Рис. 3.51. Вікно «DATABASE\_ASCII\_option»

Карти DATABASE\_BINARY\_D3PLOT і DATABASE\_BINARY\_D3THDT з усіма необхідними налаштуваннями наведено на рис. 3.52 і 3.53 відповідно.

Option	DT	LCDT	BEAM	NPLTC	PSETID	IOOPT
1	0.0200000	0	0	0	0	
2						0

Рис. 3.52. Вікно «DATABASE\_BINARY\_D3PLOT»



Рис. 3.53. Вікно «DATABASE\_BINARY\_D3THDT»

Після зазначення всіх необхідних налаштувань необхідно зберегти проєкт, як представлено в п. 2.1.4, і запустити на розрахунок див. п. 2.1.5.

### Перегляд результату чисельного моделювання процесу точіння

Методика перегляду результатів розрахунку викладена в п. 2.1.6. Як метод моделювання обрано метод скінченних елементів, оскільки він є продуктивнішим порівняно з методом згладжених частинок і, на відміну від безсіткового методу частинок Галеркіна, дає змогу аналізувати температуру в зоні різання.

Під час моделювання процесу точіння використовували модель Джонсона-Кука (Johnson-Cook), яка, на відміну від спрощеної моделі кінематичного зміцнення, дає змогу досліджувати конкретні марки матеріалів (у нашому випадку сталь 45).

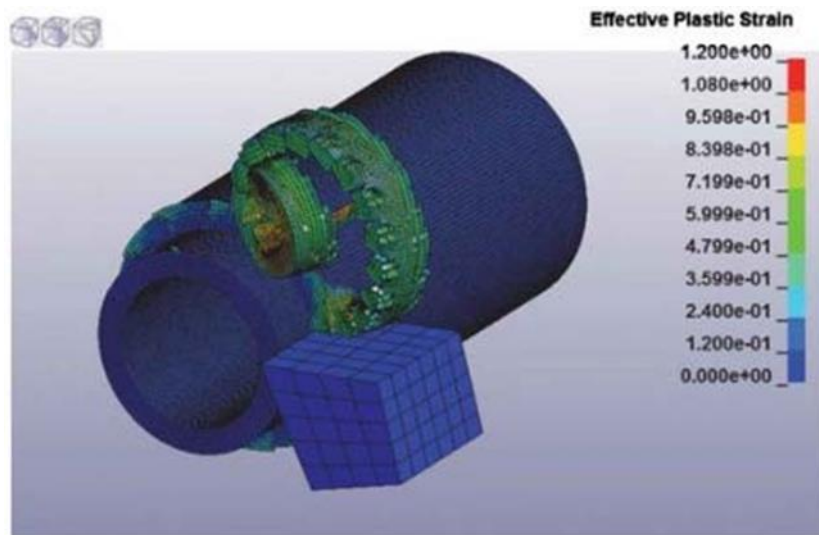


Рис. 3.54. Розподіл полів пластичних деформацій

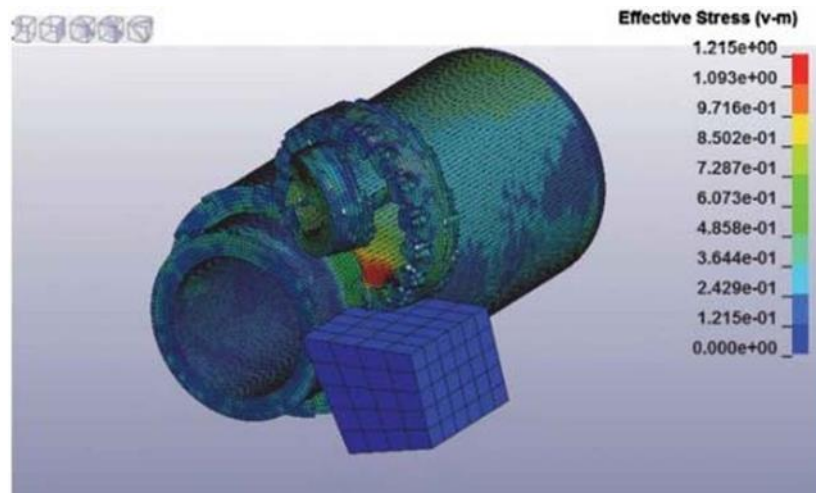


Рис. 3.55. Розподіл полів напружень

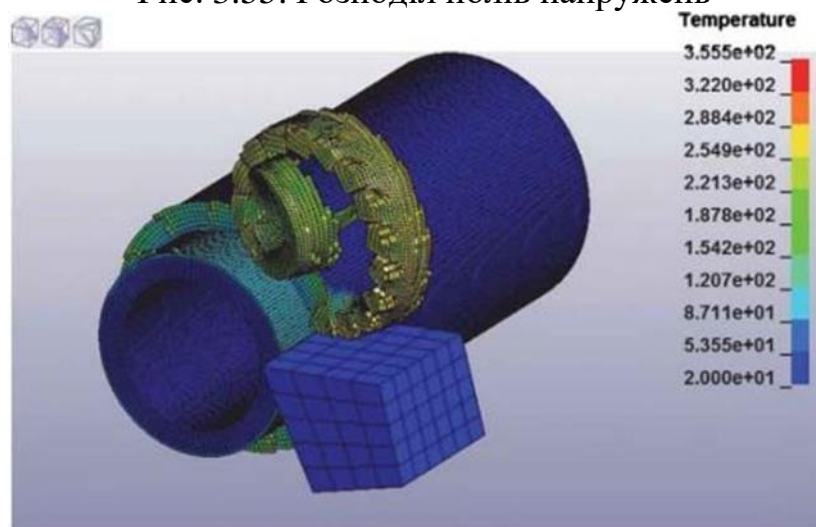


Рис. 3.56. Розподіл полів температури

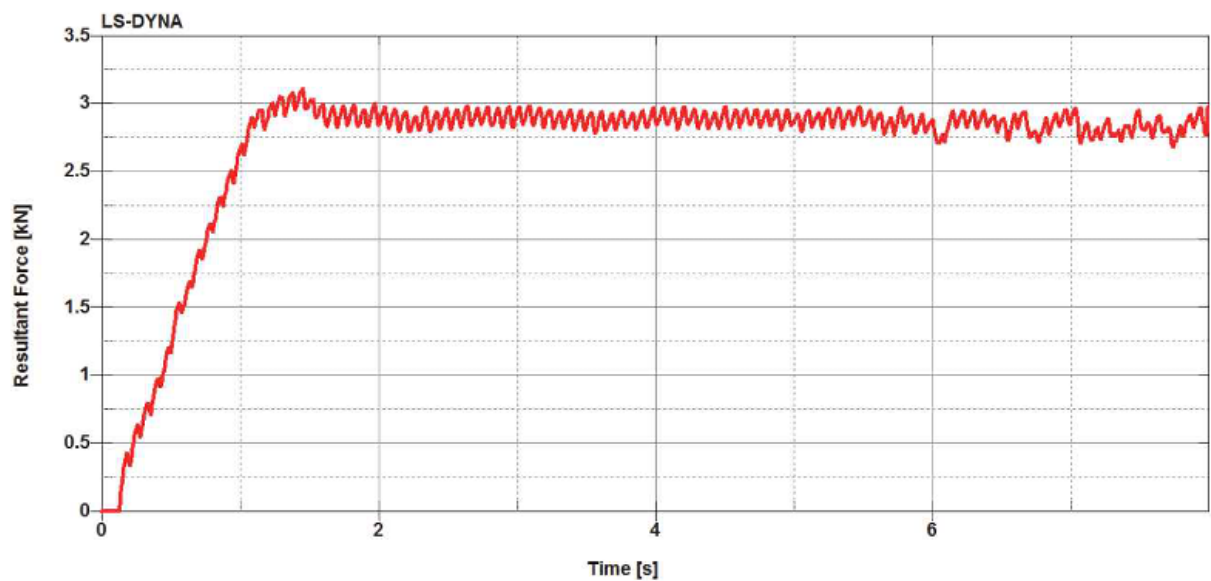


Рис. 3.57. Результуюча сила різання

За результатами чисельного моделювання процесу точіння методом

скінченних елементів було отримано:

- поля розподілу пластичних деформацій, максимальні пластичні деформації становили 1,2 (рис. 3.54);
- поля розподілу напружень, максимальні напруження – 1215 МПа (рис. 3.55);
- поля розподілу температури, максимальна температура становила 320 °С (рис. 3.56);
- графік результуючої сили різання, яка склала 2,8 кН (рис. 3.57).

#### **Завдання:**

1. Виконати моделювання процесу точіння методом скінченних елементів (FEM).

Вихідні дані наведені у додатку.

2. За результатами моделювання підготувати звіт у документі Microsoft Office Word, що містить скріншоти робочого вікна програми LS-PrePost з описом представлених на них результатів. У звіті необхідно відобразити такі результати:

- розподіл полів пластичних деформацій;
- розподіл полів еквівалентних напружень за Мізесом;
- розподіл полів температур;
- графік результуючої сили різання.

3. Зробити висновки.

## ДОДАТОК

### Вихідні дані для завдань

Вихідні дані для практичних робіт подано в табл. 4.1 і 4.2 відповідно і містять у собі:

- розміри оброблюваної заготовки (завдання № 1), що являє собою прямокутний паралелепіпед:  $d$  – довжина,  $ш$  – ширина,  $в$  – висота;
- глибина різання  $t$ ;
- радіус при вершині різця  $r$  (див. рис. 4.1);
- розмір елемента сітки (для методу скінченних елементів)  $sel_{ел}$ ;
- відстань між частинками (для безсіткового методу SPH)  $sel_{ч}$ ;
- номер матеріалу заготовки МАТ№ згідно з табл. 4.3;
- передній кут різця  $\gamma$  (див. рис. 4.1);
- задній кут різця  $\alpha$  (див. рис. 4.1);
- швидкість переміщення інструменту  $v_{інстр}$ ;
- розміри циліндричної заготовки (завдання №2):  $d$  – діаметр,  $l$  – довжина;
- подача  $S$ ;
- кутова швидкість обертання циліндричної заготовки  $\omega$ .

Фізичні властивості матеріалів подано в табл. 4.3.

Параметри рівняння Джонсона – Кука представлені в табл. 4.4.

Параметри руйнування для рівняння Джонсона – Кука в табл. 4.5.

Під час побудови моделі з адаптивною перебудовою сітки (використовується під час моделювання безсітковим методом частинок Гальоркіна (EFG)) максимальний початковий розмір елемента приймають таким, що дорівнює 1 мм, а мінімальний розмір приймають таким, що дорівнює величині  $sel_{ел}$ .

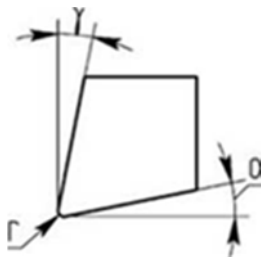


Рис. 4.1. Геометрія різального клина інструмента



Таблиця 4.1

Вихідні дані для практичних робіт № 4-6

Варіант, №	д*ш*в, мм	t, мм	r, мм	sel <sub>ел</sub> , мм	sel <sub>ч</sub> , мм	МАТ№	γ, °	α, °	V <sub>інстр</sub> , м/с
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	15x5x5x5	1,4	0,2	0,2	0,08	3	11	5	3
2	10x3x6	1,6	0,1	0,25	0,1	4	5	11	2,5
3	20x5x5	1,2	0,15	0,2	0,09	6	0	5	4
4	25x5x6	1,6	0,3	0,3	0,12	7	-5	11	4,5
5	20x3x6	1,7	0,1	0,25	0,11	11	11	5	4
6	30x4x5	1,4	0,12	0,25	0,12	17	5	11	5
7	30x4x6	1,5	0,1	0,25	0,125	18	0	5	4,5
8	25x6x6	1,15	0,14	0,175	0,07	10	-5	11	4
9	15x6x6	1	0,16	0,1	0,05	22	11	5	3,5
10	30x5x5	1,35	0,18	0,2	0,1	23	5	11	6
11	12x4x5	0,8	0,2	0,1	0,06	25	0	5	2,5
12	11x3x6	1,2	0,22	0,175	0,07	24	-5	11	3
13	22x3x4	1,4	0,25	0,2	0,09	19	11	5	4,5
14	25x4x6	1,6	0,2	0,25	0,1	21	5	11	5
15	24x3x6	1,45	0,1	0,2	0,09	33	0	5	5,5
16	28x4x5	1,1	0,2	0,175	0,08	26	-5	11	6
17	26x4x6	1,55	0,22	0,2	0,1	12	11	5	5,5
18	23x5x6	1,65	0,18	0,25	0,11	21	5	11	5
19	16x3x6	1,25	0,16	0,1	0,06	13	0	5	4
20	26x4x5	1,2	0,14	0,2	0,09	15	-5	11	4,5
21	17x5x5x5	1,1	0,15	0,175	0,08	14	11	5	3,5
22	12x3x6	1	0,12	0,1	0,05	11	5	И	3
23	21x3x5	0,8	0,1	0,1	0,06	4	0	5	5
24	22x5x6	1,4	0,2	0,2	0,11	6	-5	11	4
25	20x3x5	1,5	0,18	0,175	0,08	11	11	5	6
26	27x4x5	1,3	0,22	0,2	0,1	18	5	И	5,5
27	27x3x6	1,6	0,14	0,25	0,12	10	0	5	5
28	24x4x6	1,6	0,1	0,2	0,1	23	-5	11	4,5
29	17x6x6	1,4	0,2	0,175	0,08	25	11	5	3,5
30	29x5x5x5	1	0,12	0,1	0,06	26	5	И	5
31	12x4x5	0,9	0,2	0,25	0,125	17	0	5	3,5
32	11x3x6	1	0,1	0,2	0,08	18	-5	11	3
33	22x3x4	1,1	0,15	0,25	0,1	10	11	5	5
34	25x4x6	1,2	0,3	0,2	0,09	22	5	И	6
35	24x3x6	1,3	0,1	0,3	0,12	23	0	5	5,5
36	28x4x5	1,4	0,12	0,25	0,11	25	-5	И	5,5
37	26x4x6	1,5	0,1	0,25	0,12	24	11	5	5
38	23x5x6	1,6	0,14	0,25	0,125	19	5	11	4,5
39	16x3x6	1,4	0,16	0,175	0,07	21	0	5	4
40	26x4x5	1,3	0,18	0,1	0,05	33	-5	И	4,5
41	17x5x5x5	1,2	0,2	0,2	0,1	26	11	5	3,5
42	12x3x6	1,1	0,22	0,1	0,06	12	5	11	4
43	12x4x5	1	0,25	0,175	0,07	21	0	5	3

44	11x3x6	0.9	0.2	0.2	0.09	13	-5	11	3
45	22x3x4	0.8	0,1	0.25	0.1	15	11	5	4.5
46	25x4x6	1	0.15	0.2	0,09	14	5	11	5.5
47	24x3x6	1.2	0,3	0.2	0.1	11	0	5	5
48	28x4x5	1.4	0.1	0.175	0.08	4	-5	И	6
49	26x4x6	1.6	0.12	0.1	0.06	6	0	5	5
50	23x5x6	1,1	0,1	0.2	0,1	17	-5	11	4,5

Таблиця 4.2

Вихідні дані для практичних робіт № 7-8

Варіант. №	d*l, мм	t, мм	r, мм	sel <sub>ел</sub> , мм	МАТ№	γ, °	α, °	S, мм/об	w, рад/с
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	15x15	2	0.2	0.2	3	11	5	1.8	63
2	10x30	2	0.1	0.25	4	5	11	2	80
3	20x15	3	0.15	0.2	6	0	5	1.9	90
4	15x25	2.5	0.3	0.2	7	-5	11	1.8	100
5	14x28	2.1	0.1	0.25	11	11	5	1.7	АЛЕ
6	16x27	2.3	0.12	0.25	17	5	И	1.5	115
7	13x31	1.5	0,1	0,25	18	0	5	1,6	105
8	14x29	1.8	0.14	0.175	10	-5	11	1.8	95
9	15x28	1.9	0.16	0.15	22	11	5	2	85
10	16x27	1,9	0.18	0.2	23	5	11	1.9	80
11	17x26	2,1	0,2	0.15	25	0	5	1.8	10
12	18x25	1.6	0.22	0,175	24	-5	И	1,7	63
13	19x24	2	0.25	0.2	19	11	5	1.5	80
14	20x23	2.3	0,2	0.25	21	5	11	1.6	90
15	21x22	2,2	0.1	0,2	33	0	5	1,8	100
16	22x25	2,5	0,2	0,175	26	-5	И	2	ПО
17	22x29	2,1	0,22	0.2	12	11	5	1,9	115
18	20x21	2,3	0,18	0.25	21	5	11	1.8	105
19	19x20	1,5	0,16	0.15	13	0	5	1,7	95
20	18x22	1,8	0,14	0.2	15	-5	11	1.5	85
21	15x15	1.9	0,15	0,175	14	11	5	1,6	80
22	10x30	1.9	0.12	0.15	11	5	11	1.8	10
23	20x15	2,1	0.1	0.15	4	0	5	2	63
24	15x25	1,6	0,2	0.2	6	-5	И	1,9	80
25	14x28	1.9	0,18	0,175	11	11	5	1,8	90
26	16x27	2	0,22	0,2	18	5	11	1,7	100
27	13x31	1,7	0,14	0,25	10	0	5	1,5	ПО
28	14x29	2,5	0,1	0.2	23	-5	11	1,6	115
29	15x28	2,1	0,2	0,175	25	11	5	1,8	105
30	16x27	2.3	0.12	0.15	26	5	11	2	95
31	17x26	1.5	0.2	0.25	17	0	5	1.9	85
32	18x25	1.8	0,1	0.2	18	-5	11	1.8	80
33	19x24	1.9	0.15	0.25	10	11	5	1.7	10

34	20x23	1.9	0.3	0.2	22	5	11	1.5	63
35	21x22	2,1	0.1	0,3	23	0	5	1.6	80
36	22x25	1,6	0,12	0.25	25	-5	11	1.8	90
37	22x29	2,1	0,1	0.25	24	11	5	2	100
38	20x21	1,8	0,14	0.25	19	5	11	1.9	ПО
39	19x20	1,9	0.16	0.175	21	0	5	1,8	115
40	18x22	2,5	0.18	0.15	33	-5	11	1.7	105
41	15x15	2.1	0.2	0.2	26	11	5	1.8	95
42	10x30	2,3	0,22	0,15	12	5	11	2	85
43	20x15	1,5	0,25	0.175	21	0	5	1,9	80
44	15x25	1,8	0,2	0.2	13	-5	11	1.8	10
45	14x28	1,9	0,1	0,25	15	11	5	1,7	63
46	16x27	1,9	0,15	0.2	14	5	11	1,5	80
47	13x31	2,1	0,3	0,2	11	0	5	1,6	90
48	14x29	1.6	0,1	0,175	4	-5	11	1,8	100
49	15x28	1.2	0.12	0.15	6	0	5	2	ПО
50	16x27	1.3	0,1	0.2	17	-5	11	1.9	115

Таблиця 4.3

### Фізичні властивості матеріалів

МАТ №	Марка матеріалу (аналог)	Щільність, (кг/м <sup>3</sup> )	E, ГПа	G, ГПа	Коефіцієнт Пуассона	Тимчасовий опір, МПа	Межа текучості, МПа
1	Низьковуглецева сталь	7890	211.9	82,2	0.29	330	200
2	Arмох 570Т	7890	-	-	-	-	-
3	5ХЗМ2Ф (S-7 TOOL STEEL)	7833	207	80	0,28	700	460
4	Сплав ВСтЗсп ГОСТ 14637 (ASTM A-36)	7850	194	79,3	0.26	370	250
5	Сталь І7Г1С (ST355)	7850	200	77	0.28	520	340
6	Сталь 60 (AISI 1060)	7800	204	79	0.29	670	402
7	Сталь 45 (AISI 1045)	7850	200	78	0.29	600	353
8	Сталь 80 (AISI 1080)	7780	210	81	0.3	1100	900
9	Сталь 50ХМ (AISI 4150)	7810	216	88	0.3	1080	885
10	AISI 12L14	7870	193	77.2	0.25	380	280
11	40Х2Н2МА (AISI 4340)	7800	205	80	0.29	1080	930
13	Сталь 12Х18Н10Т (НВ160)	7920	198	77.2	0.3	529	235
14	Сплав ВТ22 (HRC4I)	4620	110.2	41	0.32	1400	1200
15	Сплав ВТ1-0(ІВ 160)	4500	112	39.2	0.365	530	410
17	Сталь 15ЮА	7850	201	78	0.3	400	280
18	Сталь 50	7810	216	88	0.3	760	530
19	АМг4,5 (А1-5083)	2680	71	27	0,32	350	190
20	А1-7039	2800	72	29	0,31	390	268
21	АДЗЗТ6(А1-6061-6ХНВ95)	2700	68,9	27	0.32	310	276
22	ВЧ50	7200	170	70	0.25	500	320
23	Алюмінієвий сплав	2700	0.69	26,5	0,33	250	170
24	В95-Т6(А1-7075-Т651)	2850	71.7	27	0,32	572	503

*Комп'ютерне моделювання процесів обробки конструкційних матеріалів  
Завдання для практичних робіт*

25	В95–Т6 (АІ–7075–Т6)	2850	72	27	0,32	545	480
26	Латунь Л70	8700	100,2	37,3	0,35	340	130
27	30 ХГСА	7850	215	84	0,3	1100	830
29	Мель (99,99 %)	8940	125	46,4	0,34	220	80
30	Нікель 200	8900	205	73	0,26	400	148
31	Д16Т (АІ–2024–7351)	2800	71	27	0,33	440	300
32	Д16Т3 (АІ–2024–Т3)	2800	71	27	0,33	470	325
33	АД35–Т6 (АІ–6082–Т6)	2700	71	26,5	0,33	280	245
34	ВНЖ 90 (0,07Ni; 0.03Fe)	17000	–	–	–	882	660
35	ТІ6А14У	4420	112	–	–	850	640

Таблиця 4.4

Параметри рівняння Джонсона – Кука

МАТ №	Марка матеріалу (аналог)	Параметр						
		A, МПа	B, МПа	n	C	m	T <sub>m</sub> , K	T <sub>r</sub> , K
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Низьковуглецева сталь	175	380	0,32	0.0600	0.550	1811	293
2	Армох 570Т	2030	568	1,000	0.0300	1.000	1800	293
3	5ХЗМ2Ф (S–7 TOOL STEEL)	250	525	0,328	0.0162	0.917	1763	293
		<b>1540</b>	<b>477</b>	<b>0.180</b>	<b>0,0120</b>	<b>1,000</b>		
4	Сплав ВСтЗсп (ASTM A–36)	<b>286</b>	<b>500</b>	<b>0.228</b>	<b>0.0171</b>	<b>0.917</b>	1773	293
		286,1	500,1	0.228	0.9168	1.000		
5	Сталь І7Г1С (ST355)	409	807	0,730	0.0500	1.000	1800	293
6	Сталь 60 (AISI 1060)	350	275	0.360	0,0220	1.000	1811	293
7	Сталь 45 (AISI 1045)	553	600	0,234	0.0260	1.000	1733	293
8	Сталь 80 (AISI 1080)	525	3590	0,668	0.0290	0.753	1783	293
9	Сталь 50ХМ (AISI 4150)	999,7	1785	0,000	0.8500	1.000		293
10	AISI 12L14	429.4	243,0	0,087	0.8741	1.000		293
11	40Х2Н2МА (AISI 4340)	792	510	0.260	0.0140	1.030	1793	293
		1579	1316	0,50	0.0028	0.850		
		2100	1750	0,650	0.0028	0.750		
12	Сталь 45(11 В 140)	410	280	0,470	0.0037	1.100		293
13	Сталь І2ХІ8НІ0Т (НВ 160)	280	1215	0.430	0.0310	1,150		293
14	Сплав ВТ22 (І1RC4І)	845	660	0,080	0.0240	1.200		293
15	Сплав ВТ 1–0 (ІВ 160)	120	895	0.390	0.0066	0.850		293
16	Сплав Рс–8і	560	625	0,500	0.0200	1.000		293
17	Сталь 15ЮА	300	500	0.400	0.0170	1.000	1733	293
18	Сталь 50	792	510	0,260	0.0140	1.000	1811	293
19	АМг4.5 (АІ–5083)	<b>170</b>	<b>425</b>	<b>0.420</b>	<b>0.0335</b>	<b>1.225</b>	933	298
		270	470	0.600	0.0105	1.200		
20	АІ–7039	<b>180</b>	<b>510</b>	<b>0,220</b>	<b>0.0265</b>	<b>0,875</b>	993	298
		220	500	0.220	0.0160	0.905		
		337	343	0,410	0.0100	1.000		
21	АД33Т6 (ЛІ– 6061–Т6)	324	114	0.420	0.0020	1.340	925	293

22	ВЧ50	525	650	0,6	0.0205	1.0	1000	298
23	Алюмінієвий сплав	60	500	0,300	0.0200	1.000	925	293
24	В95–ТІ (АІ–7075–Т651)	527	575	0,720	0.0170	1.610		293
25	В95–Т6 (АІ–7075–Т6)	546	678	0,710	0,0240	1,560		293
26	Латунь Л70	112	505	0,420	0.0090	1.680	1303	293
27	30 ХГСА	1680	500	0.500	0.0150	1.000		293
28	АК–25	700	475	0,297	0.0150	1.000		293
29	СПІ21	1000	500	0,250	0.0220	1.000		293
30	Мідь (99.99 %)	90	292	0.310	0.0250	1.090	1356	293
31	Нікель 200	163	648	0.330	0.0060	1.440	1726	293
32	Д16Т (АІ–2024–Т351)	265	426	0,340	0.0150	1.000	775	293
33	Д16Т3 (АІ–2024–Т3)	369	684	0.73	0.0083	1.7		293
34	АД35–Т6 (АІ 6082–Т6)	428.5	327.7	1,008	0,00747	1.310	855	293
35	ВНЖ90 (0,07Мі;0.03Рс)	1506	177	0.12	0.0160	1.000	1723	293
36	ТІ6АІ4У	782.7	795.4	0.280	0.0280	1.000	1933	293
		896	656	0,500	0,0128	0.800		
		1098	1092	0.930	0.014	1.100		

Таблиця 4.5

Параметри руйнування для рівняння Джонсона – Кука

МАТ №	Марка матеріалу (аналог)	Параметр							
		Рівняння Джонсона – Кука					Рівняння Мі – Грюнагпсна		
		D1	D2	D3	D4	D5	C, м/с	γ	S
1	Низьковуглецева сталь	-2.20	5.43	-0.47	0.016	0.63			
3	5ХЗМ2Ф (S-7 TOOL)	-0.80	2.10	-0.50	0.002	0.61	4570	2.17	1.490
4	Сплав ВСтЗсп ГОСТ 14637 (ASTM A-36)	0.402	1.107	1.899	0.0096	0.3			
6	Сталь 60 (AISI 1060)	-0.80	2.10	-0.50	0,002	0.61	3075	1.59	1.294
7	Сталь 45 (AISI 1045)	0.06	3.31	1.96	0.002	0.58			
10	AISI 12L14	0.243	1.242	-2.525	0.0035	0.25			
11	40X2H2MA (AISI 4340)	0,05	3,44	2,12	0.002	0.61	3850	1.71	1.354
12	Сталь 45(11 В 140)	0	1.3	-0.17	0.063	2.8			
13	Сталь 12X1811 ЮТ (НВ 160)	0	1.15	-0,1	-0.015	-0.5			
14	Сплав ВТ22 (НЯС4П)	0	0.1	0,53	0,134	22.9			
15	Сплав ВТ1-0 (НВ 160)	0	2.5	-0.4	0	4.5			
17	Сталь 15ЮА	0.06	3.31	1,96	0.002	0.50	4570	1.93	1.490
18	Сталь 50	-0.80	2.10	-0,50	0.002	0,61	3075	1.59	1,290
19	АМг4.5 (ЛІ–5083)	0.18	0.39	-2.24	0.000	0.00			
21	АД33Т6 ГОСТ 4784–97 (АІ–6061–Т6)	-0.77	1.45	-0.47	0.000	1.60	5386	1.99	1.339
22	ВЧ50	0.029	0,44	-1,5	0	0			
23	Алюмінієвий сплав	0,14	0.14	1.50	0.000	0,00			
24	В95–ТІ (АІ–7075–Т651)	0.110	0.572	3.446	0.016	1.099			
25	В95–Т6 (АІ–7075–Т6)	-0.068	0.451	-0.952	0.036	0,697			

*Комп'ютерне моделювання процесів обробки конструкційних матеріалів*  
*Завдання для практичних робіт*

26	Латунь Л70	0,54	4.89	-3,03	0.014	1.12	3720	1.66	1.328
33	Д16ТЗ (АІ-2024-ТЗ)	0.112	0.123	1.50	0.007	0.00			
	А1-1183	0,07	1,25	1,14	0,147	0,00			
	Карбід ХV	0.00	0.01	1.67	0,000	0.00			
	ВТ-20 (титан)	-0.095	0.25	-0.50	0.014	0.00			
	30 ХГСА						4570	2.17	1.490
	АК-25						4570	2.17	1.490
	СП21	0,54	4.89	-3,03	0.014	1.12	4570	2.17	1.490

## **КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ**

1. Які існують методи розв'язання рівнянь динаміки?
2. У чому полягає суть методу центральних різниць?
3. Назвіть критерій стійкого рішення.
4. Область застосування програмного комплексу LS–DYNA.
5. Які існують чисельні методи розрахунку?
6. У чому полягає суть методу скінченних елементів?
7. У чому полягає суть методу згладжених частинок?
8. У чому полягає суть методу частинок Галеркіна?
9. Назвіть основні етапи моделювання.
10. Які формати підтримує програмний комплекс LS–DYNA для імпорту геометрії?
11. Назвіть основні способи створення скінченно–елементної сітки.
12. У чому полягає суть явного методу динаміки?
13. У чому особливість введення за допомогою ключових слів?
14. Назвіть основні ключові слова, що використовуються під час моделювання процесів різання.
15. Які ключові слова використовуються для накладення обмежень на заготовку?
16. Які ключові слова використовуються для надання руху інструменту?
17. Які ключові слова використовуються для управління виведенням результатів?
18. Які ключові слова використовуються для завершення роботи?
19. Які ключові слова використовуються для визначення геометрії?
20. Які ключові слова використовуються для завдання результатів?
21. Які кінцеві елементи присутні в програмному комплексі LS–DYNA?
22. Що таке просторова дискретизація?
23. Назвіть основні типи контактної взаємодії для моделювання процесів різання.
24. У чому суть контакту, заснованого на штрафі?
25. Як обирається крок інтегрування?
26. Як можна змінити часовий крок?
27. Назвіть основні моделі матеріалів, що застосовуються для моделювання процесів різання.
28. Для яких цілей використовується модель матеріалу MAT\_ADD\_EROSION?
29. Для яких елементів моделі використовується модель матеріалу MAT RIGID?

30. Що таке рівняння стану?
31. Які існують моделі руйнування матеріалу?
32. Які існують правила вибору одиниць вимірювання?
33. У чому полягає управління за допомогою перемикачів?
34. Який порядок створення сіткової геометрії?
35. Які існують параметри спотворення форми елементів?
36. Які характеристики моделей матеріалів найважливіші під час моделювання процесів різання?
37. Порівняйте безсеточний метод SPH і метод кінцевих елементів.
38. У чому полягає суть адаптивної перебудови сітки?
39. Які задаються параметри для адаптивної перебудови сітки?
40. Які існують типи обмежень і способи їх застосування?
41. Які існують способи докладання навантаження?
42. Що таке абсолютно тверді тіла?
43. Для яких цілей використовують абсолютно тверді тіла?
44. Які ключові слова використовуються для завдання початкових умов?
45. У чому основні відмінності явного методу динаміки від неявного?
46. Які типи елементів застосовують під час моделювання процесів різання?
47. Які способи завдання руху твердого тіла ви знаєте?
48. Як зберегти проект? Як запустити завдання на розрахунок?
49. Що необхідно зробити, щоб запустити анімацію результату розрахунку?
50. Як побудувати графік результуючої сили різання?