

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»



МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра конструювання, технічної естетики і дизайну

С.О. Федоряченко
О.М. Твердохліб
Д.В. Гаркавенко

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання курсової роботи
з дисципліни «Комп'ютерний дизайн матеріалів»
для здобувачів ступеня магістра спеціальності 132 Матеріалознавство

Дніпро
НТУ «ДП»
2024

Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Комп'ютерний дизайн матеріалів» для здобувачів ступеня магістра спеціальності 132 Матеріалознавство / уклад.: С.О. Федоряченко, О.М. Твердохліб, Д.В. Гаркавенко; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2024 – 26 с.

Укладачі:

С.О. Федоряченко, канд. техн. наук

О.М. Твердохліб, ст. викладач

Д.В. Гаркавенко, асистент

Затверджено науково-методичною комісією спеціальності 132 Матеріалознавство (протокол № 6 від 03.04.2024) за поданням кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну (протокол № 15 від 02.04.2024).

Методичні вказівки містять опис методики виконання курсової роботи з дисципліни «Комп'ютерний дизайн матеріалів» здобувачами ступеня магістра спеціальності 132 Матеріалознавство.

Орієнтовано на активізацію навчальної діяльності здобувачів та закріплення практичних навичок із зазначеної дисципліни.

Відповідальний за випуск завідувач кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну С. О. Федоряченко, канд. техн. наук, доц

Вступ

Методичні вказівки призначені для студентів спеціальності 132 Матеріалознавство у рамках виконання курсової роботи із «Комп'ютерний дизайн матеріалів».

Під час підготовки до виконання курсової роботи необхідно встановити ПЗ Transvalor Thercast (клієнт-версію програми) із налаштуванням підключення до серверу, які можна отримати за запитом на електронну адресу fedoriachenko.s.o@nmu.one

Для виконання курсової роботи використовуйте вихідні дані, надані викладачем.

Приклад розрахунку лиття злитку із сталі 40CrMnMoS8-6 (40CMD8) наведено у даному методичному матеріалі.

Загальні вимоги до виконання курсової роботи, що мають забезпечити максимальну оцінку:

- повна відповідність звіту про виконання курсової роботи методичним рекомендаціям;
- володіння теоретичним матеріалом про предмет досліджень;
- загальна та професійна грамотність, лаконізм і логічна послідовність викладу матеріалу;
- відповідність оформлення матеріалів курсової роботи по повноті створеного проєкту;

За дистанційної форми навчання студенти завантажують підготовлені проєкти до серверу згідно із клієнтським підключення або шляхом доєднання через інтерфейс AnyDesk. За очної і дистанційної форми навчання курсова робота оцінюється максимально у 100 балів за такими критеріями:

- коректно підготовлена та верфікована ливарна модель – 25 балів;
- проведений програмний розрахунок однією та більше ітерацій моделювання – 30 балів;

- сформовані та інтерпретовані результати моделювання за доступними фізико-механічними характеристиками продукту – 30 балів;
- оформлення результатів відповідно до вимог і захист – 15 балів.

1. Проектування процесу із застосуванням Transvalor Thercast

Для вирішення задачі необхідно використовувати попередньо визначений шаблон моделювання із локальною сітчастою зоною для отримання кращих результатів. Доцільно використовувати симетричну геометрію, щоб зменшити час обчислення та визначити мінімальне початкове наповнення та властивості наповнення ливарної форми.

На першому етапі визначається тип обчислення та вибір критеріїв працездатності моделі, встановлюються датчики та налаштування зберігання результатів.

Процес лиття містить об'єкт «Metal», який представляє злиток, елемент «Refractory», шість об'єктів «Ingot Mold», які створили форму для зливка, об'єкт «Vermiculite» та об'єкт «Exothermic Powder» (рис. 1.1).

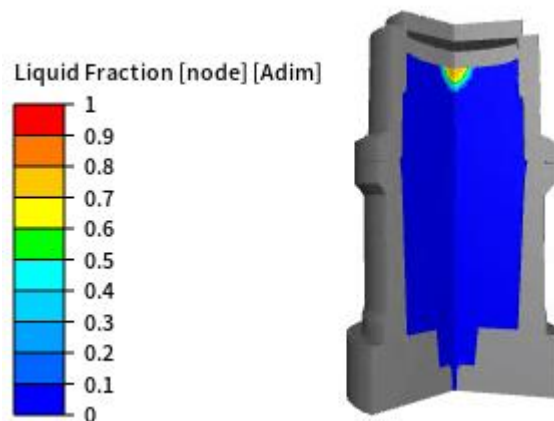


Рисунок 1.1

Вибрані одиниці необхідно перевірити, щоб переконатися, що налаштування узгоджене. Виберіть меню «Settings» в Backstage та перевірте вибрані одиниці:

Localization Options

Language

English

Units

m-Pa-SI

Рисунок 1.2

Виберіть головне меню в Backstage та оберіть опцію Ingot Casting . Виберіть шаблон Ingot Casting Bottom Pouring (рис. 1.3):

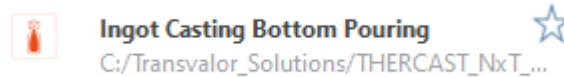


Рисунок 1.3

Виберіть вкладку «Process» на стрічці. Перейменуйте стадію «Ingot Casting - Bottom Pouring» на «Ingot 65t Thermomechanics», двічі обравши на ньому (рис. 1.4):



Рисунок 1.4

Шаблон процесу складається з одного або кількох етапів, які містять об'єкти з властивостями. Багато параметрів попередньо встановлені та можуть бути змінені. Типовими властивостями об'єктів є, наприклад, матеріал або тип обчислень, які будуть застосовані. Типовими властивостями етапу є, наприклад, попередньо встановлений теплообмін між об'єктами.

Шаблон Ingot Casting містить 1 металевий предмет і 1 вогнетривкий матеріал. Для поточного етапу необхідні 6 об'єктів Ingot Mold, а також вогнетривкий об'єкт. Ви можете додати їх за допомогою параметра Duplicate. Для цього виберіть вкладку View на стрічці та відкрийте вікно Objects, обравши правою кнопкою миші в графічному поданні (рис. 1.5):

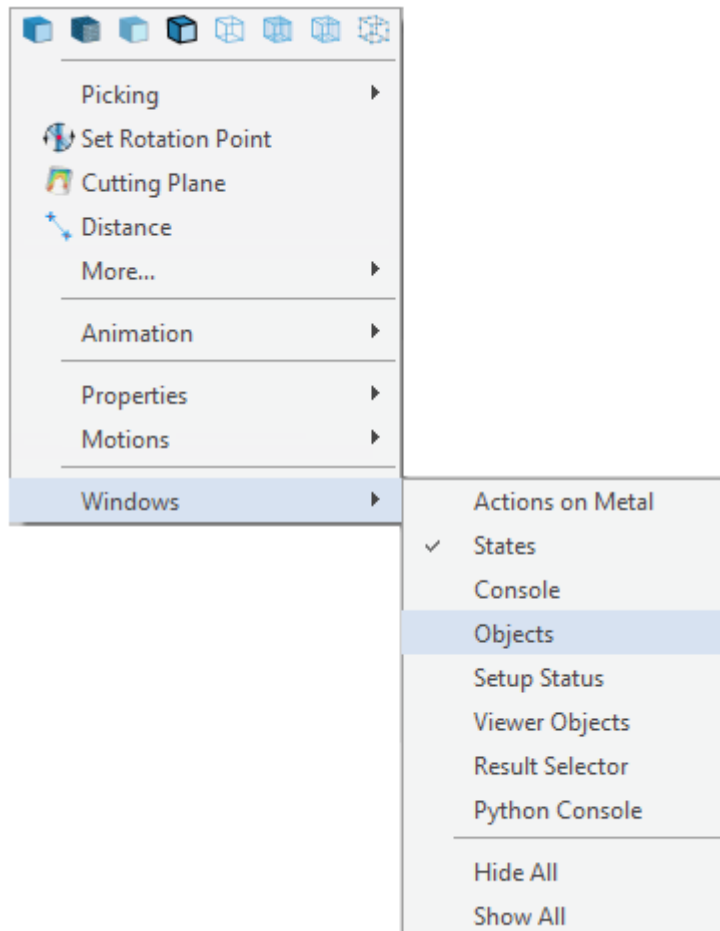


Рисунок 1.5

У вікні Objects:

- Перейменуйте об'єкт Ingot Mold на Ingot Mold 1, двічі обравши на його назві.
- Натисніть на Duplicate.
- Повторіть ту саму дію 4 рази, щоб отримати 6 об'єктів Ingot Mold.
- Перейменуйте об'єкт Refractory на Refractory 1.
- Натисніть Duplicate, щоб створити об'єкт Refractory 2.
- Двічі клацніть об'єкт Ingot Mold 6 і перейменуйте його у Vermiculite.

Це виглядає наступним чином:



Рисунок 1.6

Порядок об'єктів такий: металевий об'єкт завжди є першим у списку. Список об'єктів організований відповідно до правила: за об'єктами, що контактують із деталлю, слідують об'єкти, які з нею не контактують.

2. ЗАВАНТАЖЕННЯ ГЕОМЕТРІЙ ОБ'ЄКТІВ

Підтримуються такі формати файлів сітки: *.stl, *.step, *.patran, *.nastran, *.dxf, *.x_t, *.igs, *.iges, *.polyx, *.solidx, *.unv, файли поверхневої та об'ємної сітки.

Власні формати TRANSVALOR: *.dou (поверхнева сітка) і *.may (об'ємна сітка), а також *.in3 (файл результатів REM3D®), *.fg3 (файл результатів FORGE®) і *.th3 (файл результатів THERCAST®).

Також можна будувати геометрії, залежно від їх складності, безпосередньо в графічному інтерфейсі. Виберіть об'єкт Metal у вікні Objects.

Відкрийте вікно Actions on Metal, обравши правою кнопкою миші в графічному поданні:

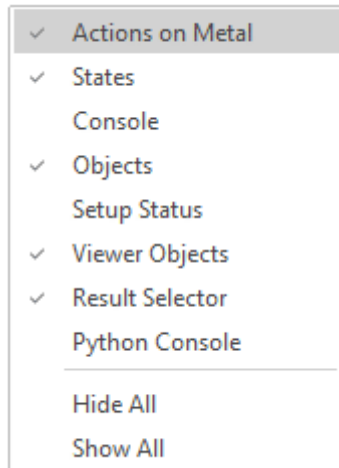


Рисунок 2.1

Далі, необхідно виконати наступні операції

- На вкладці Geometry вікна Actions on Metal виберіть дію «Імпортувати».
- Виберіть Store як джерело імпорту.
- Виберіть групу Tutorials.
- Виберіть розкривне меню Tags та фільтр Ingot Casting 65t.
- Двічі клацніть на Ingot Casting Metal #1:



Далі, виберіть об'єкт Refractory 1 і завантажте. Повторіть операцію із об'єктами Riser Insulator, Ingot Mold, Vermiculite, Exothermic Powder.

Якщо ви завантажили сітку з розширенням *.may для визначення геометрії одного з цих об'єктів (крім об'єкта Metal), можливо, вона містить значення, що визначають його температуру. Щоб встановити іншу температуру, скористайтесь властивостями об'єкта та встановіть нову температуру. Завантажена геометрія матиме вигляд:



Рисунок 2.2

3. Визначення властивостей металу

Геометрії, розроблені в сторонньому програмному забезпеченні, зазвичай не забезпечують достатньої якості для моделювання. Вони не повинні мати жодних дефектів, таких як отвори, складки чи будь-які топологічні проблеми з точки зору скінчено-елементної сітки. Вони повинні бути з'єднані або замкнуті, тобто мати єдине топологічне об'єднання. Як наслідок, вони не мають містити незамкнуті межі. Внутрішні або здвоєні поверхні необхідно очистити, якщо вони походять від поверхні, яка була спільною для двох різних об'єктів у файлі CAD.

Щоб переконатися, що поверхнева сітка не має дефектів, у вікні Result Selector доступні аргументи Holes, Folds та Surface Shape Factor.

Відкрийте вікно Result Selector, обравши правою кнопкою миші в графічному поданні.

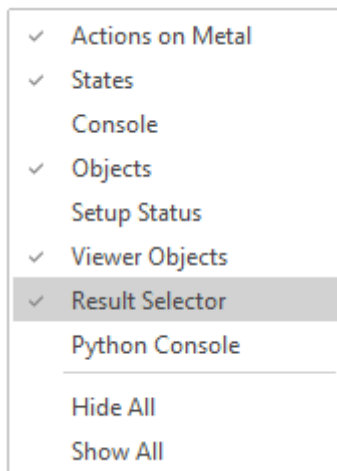


Рисунок 3.1

Двічі клацніть один із цих аргументів і спостерігайте за результатами аналізу.

Якщо аналіз виявить значення за замовчуванням (результат, відмінний від нуля наприкінці діагностики аргументів Holes і Folds, і більше значення, ніж 0,4 для аргументу коефіцієнта форми поверхні), параметри відновлення сітки необхідно змінити в функціях Local Repair і Global Repair. Якщо сітка не має стандартних параметрів, її можна об'єднати в об'єм.

Також необхідно підготувати сітку, щоб покращити її якість і дозволити вирішувачу обчислювати процес з більшою точністю та швидкістю. Підшва злитка буде мати більш дрібну сітку для кращої обробки потоку матеріалу. Щоб локально визначити розмір сітки, відмінний від глобального, можливо використовувати набір інтерфейсу управління параметрами сітки.

Для зміни налаштувань сітки необхідно виконати операції за наступною послідовністю:

- Обрати металевий предмет.
- У вікні Actions on Metal виберіть вкладку Meshing та дію Generate.
- Надати дозвіл параметрам Merge Tolerance Factor і Size Factor та встановити стандартні значення.
- Встановіть у полі Patch Angle Tolerance значення 1,0.
- Встановіть у полі Minimum Mesh Size значення 0,003.

- Увімкніть параметри Generate Surface Mesh та Generate Volume Mesh.
- Виберіть User Value у контекстному меню Constant та введіть значення 0,03.

Завжди рекомендується прогресивний тип сітки. Рекомендується максимальне співвідношення 1:2 між розмірами сітки, призначеними для двох послідовних наборів інтерфейсів.

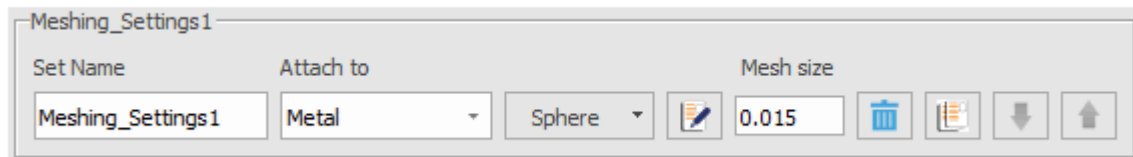


Рисунок 3.2

Після конфігурації сфера буде розташована наступним чином:

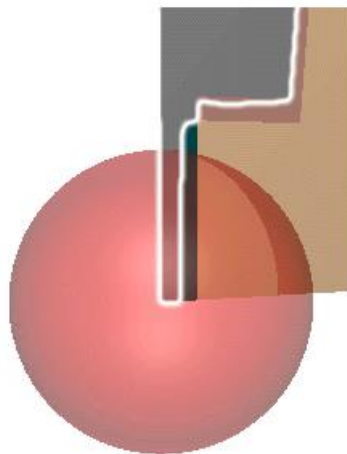


Рисунок 3.3

Об'єкт Metal матиме розмір сітки 0,03, за винятком його частини, що міститься в сфері, яка матиме розмір сітки 0,015.

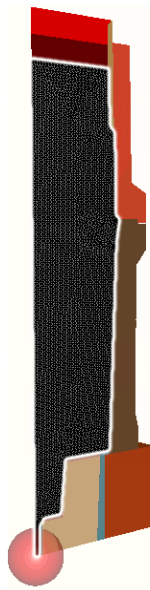


Рисунок 3.4

Наступним кроком, необхідно перевірити якість об'ємної сітки. Для виконання цього аналізу доступний аргумент Volume Shape Factor.

Відкрийте вікно вибору результатів, обравши правою кнопкою миші в графічному поданні та вибравши його.

Відобразіть скалярний коефіцієнт форми об'єму, двічі обравши його. Мінімальне значення має бути більше 0,005.

Можна створити площини симетрії реплікації, щоб збільшити швидкість обчислень. Кількість вузлів і елементів сітки значно зменшується завдяки використанню площин симетрії, що скорочує час обчислень.

Площини симетрії мають бути визначені на об'єкті Metal і будуть автоматично застосовані до інших об'єктів.

Щоб уникнути проблем під час розрахунку, радимо не працювати з перерізами, меншими за 15°.

У вікні Actions on Metal (оберіть метал у графічному вікні, щоб увімкнути його):

- Оберіть вкладку Meshing у вікні Actions on Metal.
- Потім виберіть опцію Symmetries.
- Натисніть Add Plane.

- Натисніть на поверхню об'єкту Metal, як показано:



Рисунок 3.5

Повторіть ту саму дію, щоб додати другу площину симетрії на протилежній стороні, як показано нижче.

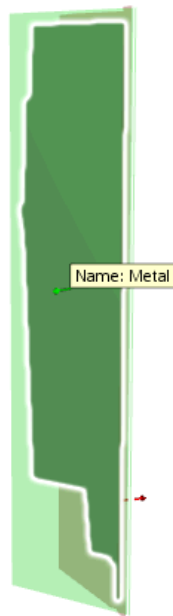


Рисунок 3.6

Для вибору матеріалу лиття необхідно виконати наступні кроки.

- Виберіть вкладку Properties у вкладці Actions on Metal.
- Натисніть Import Material.

- Виберіть Store як джерело імпорту.
- Виберіть групу Part.
- Виберіть матеріал 40cmd8.
- Натисніть Select.

Після визначення типу можна вибрати критерії для обчислення. Ці критерії дозволяють прогнозувати якість литого продукту. Для визначення критеріїв обчислення необхідно виконати наступні операції:

- Оберіть Criteria.
- Увімкніть параметри за Solidification Local Time, Solidification Starting Time, Porosity Computation (Niyama), Ghost Lines Computation (Suzuki) та Open Shrinkage Computation.
- Увімкніть опцію Local Deformation Computation та встановіть для поля Minimum Temperature значення 1400, а для поля Maximum Temperature — 1450.
- Увімкніть параметр Hot Tearing Criterion (Yamanaka) і залиште значення за замовчуванням для параметрів Low Solid Fraction та High Solid Fraction (0,9 і 0,98).

Визначення початкової кількості металу вже повинне бути присутнім та визначено у виливниці перед заповненням. Це початкове заповнення визначається в нижній частині виливниці. Для цього:

- Виберіть вкладку Filling.
- Натисніть Define Initial Filling
- Натисніть Add a New Set та оберіть Cylinder

Ця область з'являється у вікні Actions on Metal:

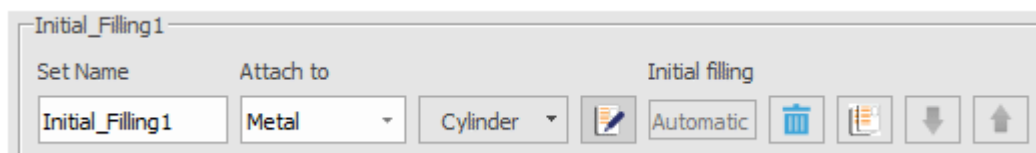


Рисунок 3.7

Введіть на стрічці такі значення:

Point X:	0	Height:	0.5
Point Y:	0	External Diameter:	1
Point Z:	-0.9	Internal Diameter:	0
Base Center		Height and Diameter	

Рисунок 3.8

Визначення властивостей наповнення дозволяє визначити вхідні параметри рідкого металу під час фази заповнення (значення витрати, тип теплообміну, умови зупинки), а також визначення теплових і механічних умов під час стадії охолодження та після вивільнення.

Перший крок полягає у визначенні порогу рідкого металу:

- Натисніть Define Filling Properties.
- Натисніть Add a New Set та виберіть Plane.

Ця область з'явиться у вікні:

Filling Properties1		
Set Name	Attach to	Inner gate(s)
☒ Filling Properties1	Metal	Plane
Attribute Values		

Рисунок 3.9

Натисніть на нижню частину злитка, як показано тут:



Рисунок 3.10

Другий крок полягає у визначенні умов наповнення, охолодження та струшування.

Під час наповнення:

- Натисніть Attribute Values.
- Виберіть вкладку During Filling.
- Нехай як тип заповнення буде обрано Constant.
- Визначте швидкість потоку до $0,00034868 \text{ м}^3/\text{с}$.
- Налаштуйте параметри Heat Transfer Type і Stop на значення за замовчуванням:

During Filling ...	... After Filling ...	... After Shake-out (optional)
--> Filling Type		
Constant		
Flow Rate		
0.00034868		
--> Heat Transfer Type		
Imposed Temperature		
Imposed Temperature Mode		
Initial Temperature		
--> Stop on		
Filling		
Filling Rate (%)		
99.9		

Рисунок 3.11

Термічні граничні умови відповідають значенню поля початкової температури металевго об'єкта. Наповнення буде відбуватися до досягнення 99,9% злитка. Після завершення наповнення починається охолодження.

Після наповнення форми не буде виконуватись процес теплопередачі. Термічні умови, що застосовуються після заповнення, є адіабатичними. Значення зберігаються за замовчуванням.

Для налаштування:

- Виберіть вкладку After Filling.
- Оберіть Thermal Conditions

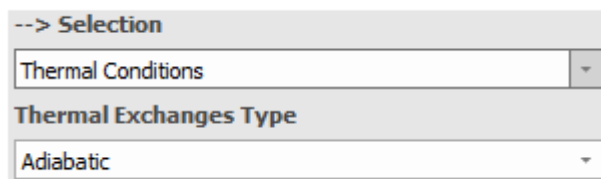


Рисунок 3.12

На цьому етапі система живлення не моделюється. Необхідно застосувати механічні умови, щоб запобігти випорожненню злитка після наповнення. Якщо ні, то метал буде витікати під дією тяжіння з нижньої частини злитка до того, як будуть досягнуті умови зупинки. Щоб уникнути цього, буде введено постійну нульову швидкість:

- Виберіть Mechanical conditions в меню Selection .
- Зберігайте такі значення за замовчуванням:

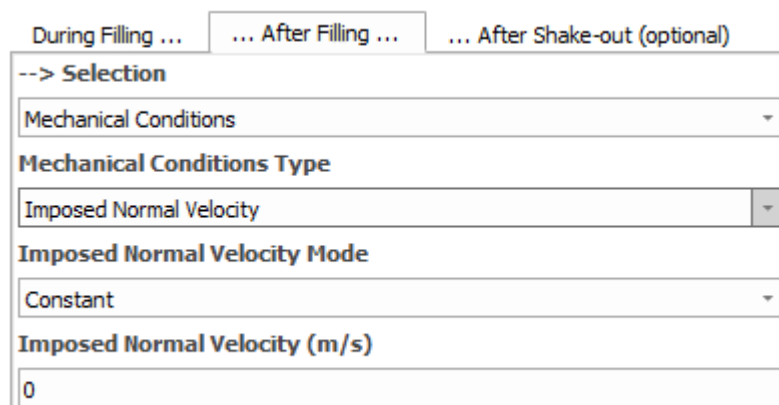


Рисунок 3.13

Умови вивільнення продукту, визначені на рівні порогу, мають тенденцію до того, що передача тепла та механічні умови не існують:

- Виберіть вкладку After Shake-out .
- Зберігайте такі значення за замовчуванням:

The image shows two separate settings panels. The top panel is for 'Thermal Conditions' and has a dropdown menu set to 'Adiabatic'. The bottom panel is for 'Mechanical Conditions' and has a dropdown menu set to 'No Pressure'. Both panels have a title bar and a dropdown arrow on the right side of the title bar.

Thermal Conditions
Thermal Exchanges Type
Adiabatic

Mechanical Conditions
Mechanical Conditions Type
No Pressure

Рисунок 3.14

Для налаштувань параметрів лиття необхідно встановити цифрові датчики у моделі. Датчики являють собою числові термопари, які визначаються на об'ємній сітці обраного об'єкта. Вони можуть бути прикріплені до об'єкта чи ні. Якщо вони прикріплені до об'єкта, вони є датчиками руху. Вони вираховуються різними полями: приростами обчислення, часом, просторовими координатами, температурою, рідкою фракцією, швидкістю наповнення тощо.

Щоб виконати обчислення, необхідно ввімкнути параметр Sensors Computation (вікно Actions на Ingot 65t Thermomechanics > вкладка Parameters > Features).

Натисніть вкладку Advanced та оберіть Sensors. Оберіть командою Pick на сітці металевого об'єкта точки розміщення датчиків. Датчики можуть бути розташовані відповідно до наступних координат, які можна безпосередньо змінити в таблиці:

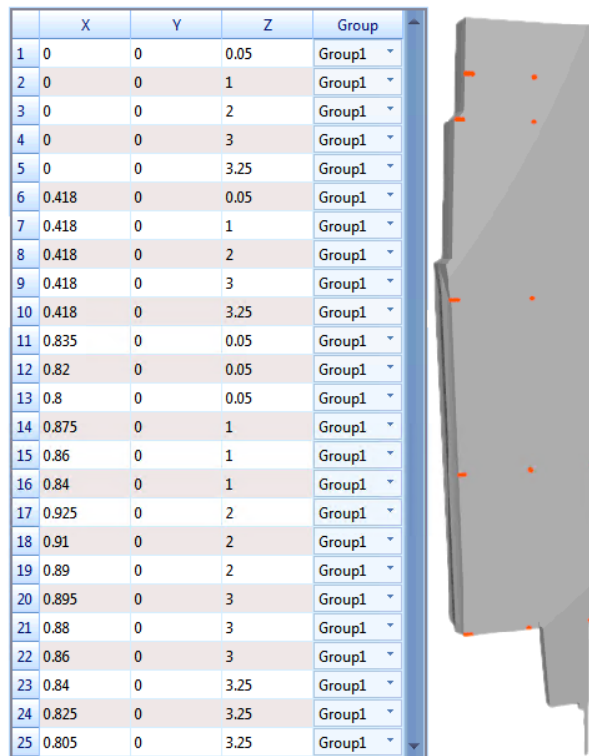


Рисунок 3.15

4 Визначення форм, ізоляторів і термоізоляційних матеріалів

Усі об'єкти, завантажені зі сховища, мають атрибути матеріалу за замовчуванням. Треба модифікувати лише матеріал теплоізоляції та Ingot Mold Матеріали, які за замовчуванням віднесені до інших об'єктів, будуть збережені. Для цього:

- Виберіть об'єкт Vermiculite.
- Виберіть вкладку Properties.
- Натисніть Import Material.
- Виберіть Store як джерело імпорту.
- Виберіть групу Mold.
- Виберіть теплоізоляційний матеріал.
- Натисніть Select.
- Виберіть об'єкт Ingot Mold 5.

- Виберіть вкладку Properties.
- Натисніть Import Material.
- Виберіть Store як джерело імпорту.
- Виберіть групу Mold.
- Виберіть матеріал Cast Iron.
- Натисніть Select.

5 Визначення параметрів екзотермічного порошку

Виконання поєднання геометрії в сітку виконується у наступній послідовності:

- Виберіть об'єкт Exothermic Powder.
- Надайте дозвіл параметрам Merge Tolerance Factor і Size Factor та встановіть стандартні значення.
- Встановіть у полі Patch Angle Tolerance значення 1.
- Встановіть у полі Minimum Mesh Size значення 0,003.
- Увімкніть параметри Generate Surface Mesh та Generate Volume Mesh .
- Виберіть User Value у контекстному меню Constant та введіть значення 0,03.

На об'єкті Exothermic Powder можна виконати кілька типів обчислень. За замовчуванням обчислення є тепловим, а об'єкт вважається жорстким. Ми повинні виконати термомеханічний розрахунок:

- Виберіть вкладку Properties.
- Натисніть Computational Options.
- Увімкніть опцію Mechanics.

Визначення критеріїв перетворення можна виконувати під час обчислень:

- Виберіть вкладку Remeshing у вікні Actions on Metal.
- Оберіть параметр Trigger Criteria.
- Увімкніть параметр Remeshing.

- Встановіть для параметра Remeshing Period значення за замовчуванням 1000.

- Встановіть параметр Minimum Quality на величину 0,1.

- Увімкніть параметр Use Initial Mesh Size.

Повторне регенерування сітки заготовки забезпечує збереження якості, коли вона пройшла тривалу трансформацію. Ливарна модель буде глобально перебудована.

У цьому прикладі моделювання можна вибрати один або кілька критеріїв ініціювання для повторної перебудови сітки. Визначення екзотермічної реакції визначається за 4 критеріями: час струшування, час початку реакції, тривалість реакції та ентальпія реакції. Налаштування відбувається у наступній послідовності:

- Натисніть вкладку Kinematics.

- Натисніть Define Exothermic Reaction.

- Для команди At End of Filling встановити поле Drop-off.

- Визначте для поля Reaction Starting Time After Drop off значення 0,0 с.

- Визначте для поля Reaction Duration значення 900 с.

- Встановіть у полі Specific Enthalpy of Reaction значення не більше, ніж 4 000 000 Дж/кг.

Розрахунок теплообміну між порошком і навколишнім середовищем відбувається адіабатично. Для їх визначення буде використовуватися набір інтерфейсів Box без встановлення конкретних механічних умов. Для цього необхідно виконати операції у наступній послідовності:

- Оберіть вкладку Advanced.

- Оберіть опцію Define Other Set Exchanges.

- Натисніть Add a New Set і виберіть Box.

Ця область з'являється у вікні Actions on Exothermic Powder:

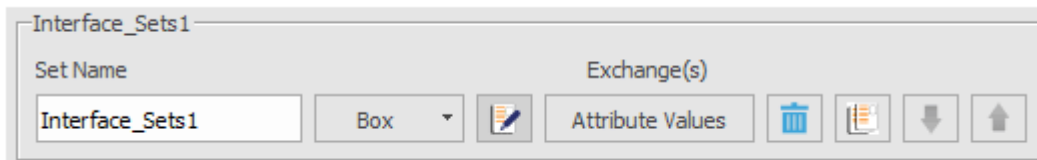


Рисунок 5.1

Створений розрахунковий домен автоматично охоплює весь порошок всередині моделі.

6 Визначення параметрів моделювання

Параметри, які будуть встановлені в цьому розділі, це – початкові температури деталі та прес-форм, взаємодія між різними об'єктами, тертя, теплопередача та глобальні параметри моделювання, такі як керування дискретністю та умови зупинки.

Температуру частини або всіх прес-форм можна визначити двома різними способами. Якщо температуру визначено як параметр симуляції, то встановлені значення будуть застосовані до всіх об'єктів. Це визначає значення кількох об'єктів в одній операції. Якщо температура визначена на рівні об'єкта, саме це значення буде враховано, якщо воно було введене та верифіковане.

Щоб визначити температуру на рівні симуляції, оберіть у фоновому режимі графічного перегляду Parameters та виберіть дію Global Temperature. Щоб визначити температуру на рівні об'єкта, виберіть об'єкт, потім вкладку Properties, потім дію Thermal Data та введіть значення.

Температура деталі може бути абсолютною або відносною за умови наявності перегріву:

- Оберіть на фоні графічного перегляду розрахунковий етап.
- Виберіть вкладку Parameters.
- Натисніть Global Temperature.
- Виберіть Temperature в полі Metal Temperature.
- Встановіть значення 1550°C.

- Встановіть значення температури Mold(s) Temperature на 20°C.

Налаштування функцій дискретності, гравітації, аналізу контактної відстані, обчислення датчиків та прикладених сил виконується наступній послідовності:

- Виберіть дію «Функції».
- Встановіть значення параметрів за замовчуванням:

Рисунок 6.1

Для зупинки обчислення доступні багато умов, зокрема налаштування параметрів Maximum Time, End Temperature та Maximum Number Increment.

Обчислення буде зупинено, як тільки буде досягнуто одну з цих умов. Для налаштувань необхідно виконати умови у наступній послідовності:

- Обрати команду Stop Conditions.
- Установити значення поля Maximum Time (с) рівним 72000.
- У контекстному меню End Temperature виберіть Custom.
- Встановити у полі Temperature Value значення 600.
- У полі Max Increment Number встановити значення 1000000.

Під час обчислення розв'язувач зберігає деякі результати відповідно до певних правил, які визначенні налаштуваннями.

Зберігання може керуватися наповненням і/або часом, бути постійним або змінним, і керуватися цими двома критеріями одночасно.

Для налаштувань режимів зберігання результатів необхідно виконати наступні дії:

- Обрати команду Storage.
- Вимкнути опцію Constant Filling Step Storage.
- Обрати Define Tabulated Data.

Для виконання задачі введіть наступні значення:

	Filling min	Filling max	Storage Steps
1	0	2	0.25
2	2	10	2
3	10	100	10
4	100		

Рисунок 6.2

Для налаштування зберігання результатів на етапі розрахунку охолодження об'єкту моделювання:

- Вимкніть опцію Constant Time Step Storage.
- Оберіть Define Tabulated Data.

Для виконання задачі введіть наступні значення:

	Time min	Time max	Storage Steps
1	0	18000	900
2	18000	72000	1800
3	72000		

Рисунок 6.3

Вирішення задачі тертя продукту виконується на основі моделі Constant Coulomb Friction та є визначеною за замовчуванням для всіх об'єктів.

Для визначення теплообміну між компонентами системи доступно декілька моделей. Вибір моделі залежить від типу обраного об'єкта. Визначення теплообміну об'єктами виконується у наступній послідовності:

- Виберіть вкладку Properties.
- Оберіть один із шаблонів:
 - Виділіть діапазон таблиці, утримуючи клавішу Ctrl.
 - Виберіть групу Interface.

Теплообмін повинен бути встановлений таким чином:

	Poudre exothermique	Vermiculite	Ingot Mold 5	Ingot Mold 4	Ingot Mold 3
Vermiculite	Sand_vs_Mold.tef				
Ingot Mold 5	Sand_vs_Mold.tef	Mold_vs_Mold.tef			
Ingot Mold 4	Sand_vs_Mold.tef	Mold_vs_Mold.tef	Mold_vs_Mold.tef		
Ingot Mold 3	Sand_vs_Mold.tef	Mold_vs_Mold.tef	Mold_vs_Mold.tef	Mold_vs_Mold.tef	
Ingot Mold 2	Sand_vs_Mold.tef	Mold_vs_Mold.tef	Mold_vs_Mold.tef	Mold_vs_Mold.tef	Mold_vs_Mold.tef
Ingot Mold 1	Sand_vs_Mold.tef	Mold_vs_Mold.tef	Mold_vs_Mold.tef	Mold_vs_Mold.tef	Mold_vs_Mold.tef
Refractory 2	Sand_vs_Mold.tef	Mold_vs_Mold.tef	Sand_vs_Mold.tef	Sand_vs_Mold.tef	Sand_vs_Mold.tef
Isolant de masselotte	Sand_vs_Mold.tef	Mold_vs_Mold.tef	Sand_vs_Mold.tef	Sand_vs_Mold.tef	Sand_vs_Mold.tef
Refractory 1	Sand_vs_Mold.tef	Mold_vs_Mold.tef	Sand_vs_Mold.tef	Sand_vs_Mold.tef	Sand_vs_Mold.tef
Métal	Metal_vs_Powder.tef	Metal_vs_Mold_Air_Gap_Dep...	Metal_vs_Mold_Air_Gap_Dep...	Metal_vs_Mold_Air_Gap_Dep...	Metal_vs_Mold_Air_Gap_Dep...

Рисунок 6.4

	Ingot Mold 2	Ingot Mold 1	Refractory 2	Isolant de masselotte	Refractory 1
Vermiculite					
Ingot Mold 5					
Ingot Mold 4					
Ingot Mold 3					
Ingot Mold 2					
Ingot Mold 1	Mold_vs_Mold.tef				
Refractory 2	Sand_vs_Mold.tef	Sand_vs_Mold.tef			
Isolant de masselotte	Sand_vs_Mold.tef	Sand_vs_Mold.tef	Sand_vs_Mold.tef		
Refractory 1	Sand_vs_Mold.tef	Sand_vs_Mold.tef	Sand_vs_Mold.tef	Sand_vs_Mold.tef	
Métal	Metal_vs_Mold_Air_Gap_Dep...	Metal_vs_Mold_Air_Gap_Dep...	Metal_vs_Sand_Air_Gap_Dep...	Metal_vs_Insulator_Air_Gap...	Metal_vs_Sand_Air_Gap_Dep...

Рисунок 6.5

Прийняте допущення, що теплообмін між металом і навколишнім середовищем відсутній. До всього металевому об'єкта буде застосовано адіабатичний стан. Умови теплопередачі при контакті металу з формами будуть переважати над умовами з навколишнім середовищем.

Розрахунковий домен охоплює весь металевий об'єкт, але умова застосовуватиметься лише там, де метал контактує з повітрям. Ця умова не застосовується, коли екзотермічний порошок контактує з металом. Налаштування теплообміну виконується у наступній послідовності:

- Виберіть Free Surface Heat Transfer на вкладці Properties у вікні Actions on Ingot 65t Thermomechanics.
- Виберіть Direct у меню Heat Transfer Mode.
- Оберіть опцію Convection+Radiation (Standard) в меню Heat Transfer Type.
- У меню Heat Transfer Coefficient Mode оберіть Constant.
- Надайте полю Heat Transfer Coefficient (Вт/(м².К)) значення 12,0, а полю External Temperature (°C) — 20.

Перш ніж зберегти свій проект, необхідно контролювати стан налаштування Setup Status.

Ця операція дає змогу перевірити, чи виконано основні елементи налаштування моделі. Наприклад, якщо металу не встановлено опис матеріалу, буде видано помилку.

Щоб відобразити вікно стану налаштування, оберіть правою кнопкою миші в графічному поданні:

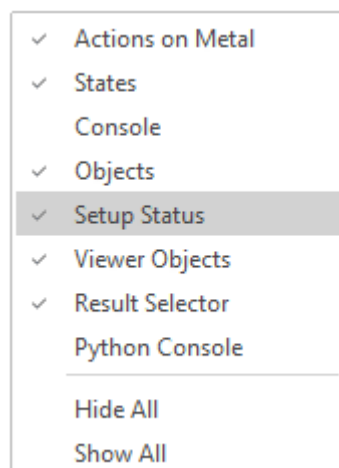


Рисунок 6.6

Запуск обчислення виконується у наступній послідовності:

- Оберіть вкладку View.

- Виберіть вкладку Computations у вікні Actions on Ingot 65t Thermomechanics.

- Виберіть дію Computation Management.

Якщо необхідно, позначте Ingot 65t Thermomechanics у вікні Computations. У полі Number of Core(s) введіть значення від 16 до 32.

7 Аналіз результатів

Заключним етапом є встановлення параметрів для відображення результатів розрахунку. В рамках виконання курсової роботи необхідно відобразити результати датчиків та вивести, зокрема частку рідкого продукту та графік охолодження, параметри пористості (модель Niyama, сепарації - Suzuki, утворення гарячих розривів та тріщин – модель Yamanaka).

Після того, як перший крок обчислення буде збережено, програма перейде в режим аналізу.

Так як температура є індикатором про надмірну локальну температуру або занадто швидкого охолодження в якості прикладу можливо вивести параметри температури, які надалі необхідно співвіднести із кінетичними діаграмами металу, який використовується для моделювання процесу лиття.

Для виведення параметру температури необхідно виконати наступні дії:

- Оберіть Analysis, щоб перейти в режим аналізу.
- Натисніть Enable Symmetry на вкладці View.
- Установіть у полі Repeats значення 7.

Відкрийте вікно вибору результатів, обравши правою кнопкою миші в графічному поданні та оберіть скаляр Temperature у списку Part results.

Спостерігайте за зміною температури в зливку.

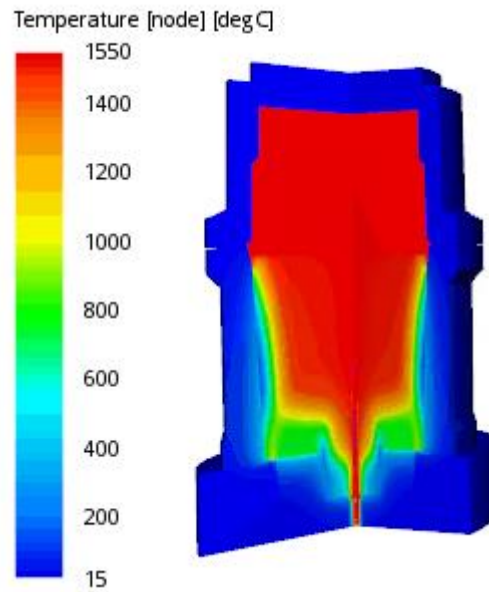
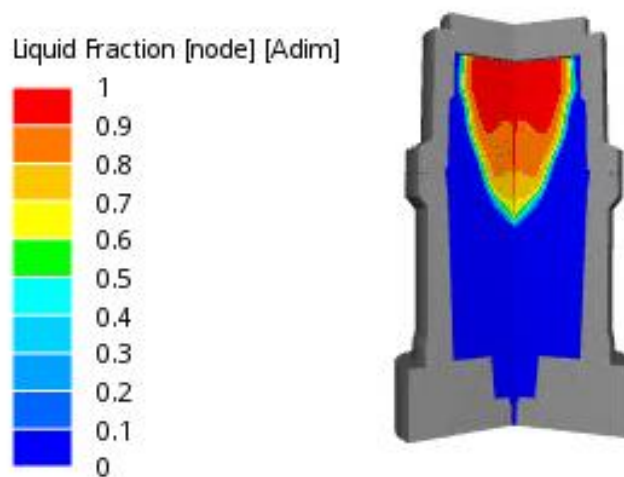


Рисунок 7.1

Розвиток рідкої фракції з плином часу дає змогу спостерігати прогрес кристалізації. Для виведення результатів розрахунку рідкої фракції необхідно обрати металевий предмет та перейти до скаляру Liquid Fraction у списку Part Results.



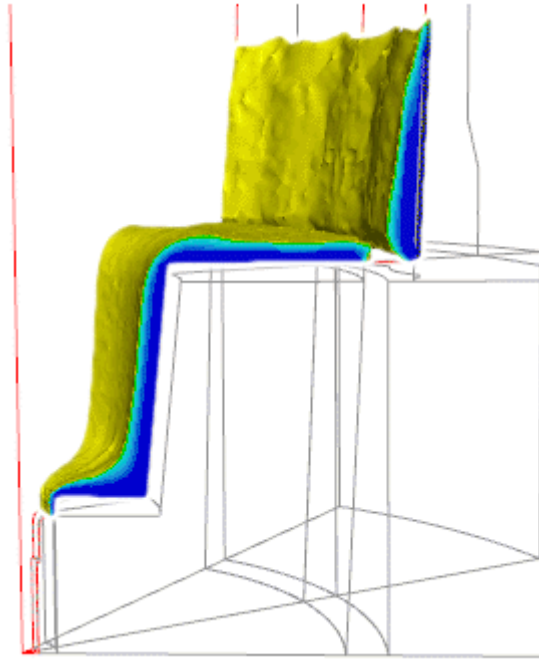


Рисунок 7.2

Графіки змінних дають цінну інформацію про термомеханічну історію перетворення виливка. Ця інформація збирається та зберігається під час обчислень у файлах *.VTF. Дані зберігаються як дані про температуру або тверду фракцію, а також дані, що стосуються всього процесу (швидкість потоку, мінімальна температура, використання процесора тощо).

Щоб створити діаграму даних, записаних датчиками необхідно обрати меню Insert та вибрати один із датчиків із меню Source.

Приклад виведення результатів виглядає наступним чином:

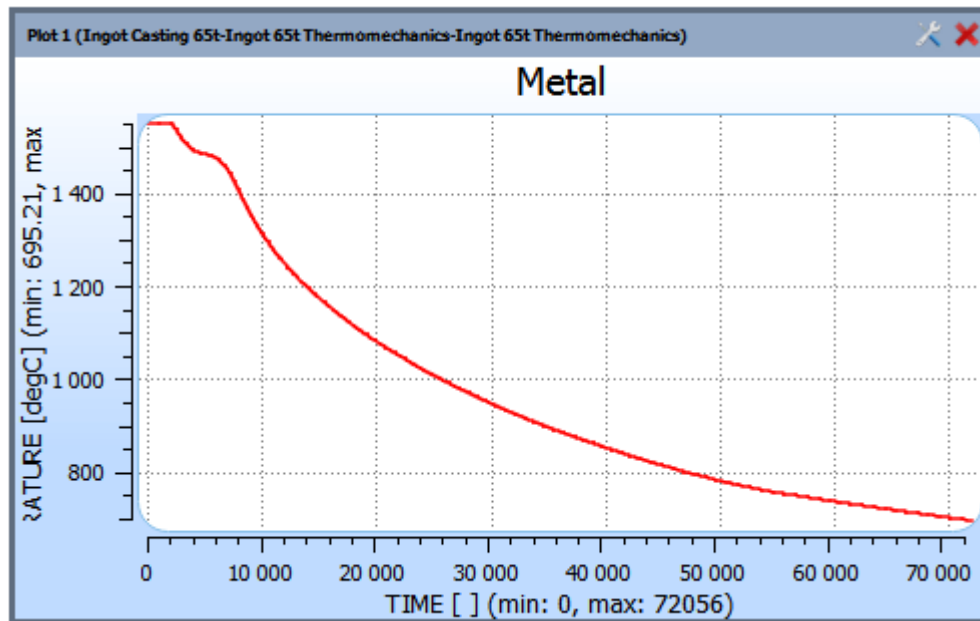


Рисунок 7.3

При виконанні курсової роботи до результатів звіту необхідно додати діаграми ТТТ-ССТ, графіки температури та рідкої фракції, графіки розподілу тріщинуватості виливки та прогнозовану мікроструктури за вмістом фериту, бейніту, аустенту.

Звіт оформити у вигляді матеріалів презентації із посиланням на файл моделі.

Список літератури

[1] E. Hachem, Stabilized finite element method for heat transfer and turbulent flow inside industrial furnaces. Thèse de doctorat, Ecole des Mines de Paris, 2009.

[2] G. François, Éléments finis stabilisés pour le remplissage en fonderie à haut Reynolds. Thèse de doctorat, Ecole des Mines de Paris, 2011.

[3] B. Rivaux, Simulation 3D éléments finis des macroségrégations en peau induites par déformations thermomécaniques lors de la solidification d'alliages métalliques, Thèse de doctorat, Ecole des Mines de Paris, 2011.

[4] U. Ghia, K. Ghia et C. Shin, High-Re Solutions for Incompressible Flow Using the Navier-Stokes Equations and a Multigrid Method. *Journal of Computational Physics*, vol. 48, 1982, pp. 387–411.

[5] E. Erturk, T. Corke et C. Gökçöl, Numerical solutions of 2-D steady incompressible driven cavity flow at high Reynolds numbers. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, vol. 48, 2005, pp. 747–774.

[6] W. Liu, Finite Element Modeling of macrosegregation and thermomechanical phenomena in solidification processes, Thèse de doctorat, Ecole des Mines de Paris, 2005.

[7] B. Rivaux, Simulation 3D éléments finis des macroségrégations en peau induites par déformations thermomécaniques lors de la solidification d'alliages métalliques, Thèse de doctorat, Ecole des Mines de Paris, 2011

[8] J. A. Dantzig and M. Rappaz, *Solidification*, EPFL Press, 2009