

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ЛИТТЯ

Від ливарного виробництва залежить багато галузей сучасного виробництва, таких як, машинобудування, енергетика, верстатобудування, автомобілебудування тощо, тому оптимізація та прискорення будь-яких етапів цього виробництва є вкрай важливою та актуальною задачею. Одним з таких важливих етапів є проектування виливків та ливарних форм, а також підготовка серійного виробництва. Ці етапи потребують достатньо кваліфікованого персоналу та займають достатньо багато часу.

До останнього часу основою проектування всіх процесів ливарного виробництва була набута роками практична робота технологів та конструкторів, їх досвід і інтуїція ставали визначними факторами. Розрахунки часто займають багато часу, зазвичай якості та точності розрахунків залежить від людини, яка проектує і часто включає в себе не раціональні рішення, а лише ті які знає, або вміє використовувати конструктор який проектує.

При підготовці проектування технологічного процесу конструкторам і технологам доводиться приймати серйозні рішення. Для цього потрібно чітко уявляти фізичну картину процесу лиття та правильно використовувати теоретичні знання. Найчастіше існує дефіцит такої інформації: вона відсутня або її кількість просто недостатньо. Існують проблеми з гідродинамічним, тепловим і аналізом фазових перетворень, які в реальних умовах виробництва можуть повести себе не передбачувано навіть для досвідчених працівників і проектантів.

Сьогодення диктує нам все нові вимоги, відходити від знань та досвіду конкретної людини. Виробники все частіше переходять до розрахунків з використанням обчислюваної техніки, такий підхід дозволяє мати більш гнучкий підхід до процесу проектування виливка та ливарних форм, з можливістю коригування проектних рішень не в цеху, а на етапі математичної моделі. Для вирішення цих задач існують готові рішення від провідних компаній світу.

Створено багато систем моделювання в яких можна розраховувати, корегувати і моделювати, не тільки конструкцію виливка чи ливарної форми, але й технологічний процес виробництва. Для досягнення високих показників якості ливарної продукції в сучасних конкурентних умовах вже не достатньо, тільки великого практичного досвіду висококваліфікованих фахівців, але й потрібні сучасні високопродуктивні програмні засоби проектування ливарних виробів та моделювання технологічних процесів лиття металів.

Застосування систем автоматизованого моделювання ливарних процесів додатково дозволяє підприємству оптимізувати вже існуючі технології, температури, режими заливання, розміри і конфігурації ливникової системи, визначити потрібну кількість додатків. Застосування моделювання ливникової системи дозволяє зменшити кількість або взагалі відмовитися від виготовлення пробних прототипів виливка, що в свою чергу зменшує вартість його. Візуалізація фізичного процесу ливарної технології заповнення сплавом порожнин ливарної форми, охолодження і затвердіння металу, його короблення під дією термічних напружень дозволяє краще зрозуміти особливості таких процесів, більш ефективно управляти ними з метою зниження браку виливків.

Як правило, в сучасних системах проектування та моделювання процесу лиття використовують 3D моделі виливка та ливарної форми. Що дозволяє всебічно дослідити на екрані комп'ютера процеси, що приховані ливарною формою та візуалізувати сам процес. Більше того поєднання досвіду проектувальника та процесу моделювання лиття дозволяє уникнути помилок ще на етапі проектування [1].

Сучасні програмні засоби відрізняються за методом розрахунків при моделюванні. Вони базуються на трьох методах розрахунків:

- Метод скінченних елементів

- Метод скінченних об'ємів
- Метод скінченних різниць

Метод кінцевих різниць (МКР)— чисельні методи розв'язку інтегрально-диференціальних рівнянь алгебри, диференціального, інтегрального числення, оснований на заміні диференціальних операторів різницевиими операторами, інтегралів — сумами, а функцій неперервного аргументу— функціями дискретного аргументу. Така заміна приводить до системи, взагалі кажучи, нелінійних алгебраїчних рівнянь, які зрештою зводяться до лінійної системи деяким ітераційним методом [2].

До недоліків методу слід віднести погану апроксимацію між складними областями, що не надто принципово для рівнянь теплопровідності, але досить істотно для рівномірності гідродинаміки. Крім того, метод погано працює в разі тонкостінних виливків, коли товщина стінки стає порівняною з кроком сітки.

Програмні засоби, що розроблені за цим методом - це **ESI | ProCAST** (Франція), **SOLIDCast** (США), **MagmaSoft** (Німеччина).

Метод скінченних об'ємів (МСО) — це чисельний метод інтегрування систем диференціальних рівнянь з частинними похідними. Під скінченним об'ємом мається на увазі невеликий об'єм навколо кожної вузлової точки сітки. У цьому методі інтеграли об'єму, які містять вирази з дивергенцією, перетворюються у поверхневі інтеграли за допомогою формули Остроградського. Потім ці вирази оцінюються як поверхневі потоки кожного скінченного об'єму. Оскільки потік, який входить у даний об'єм, є ідентичним до потоку, який виходить із суміжного об'єму, то ці методи є консервативними. Іншою перевагою МСО є те, що він легко формується для неструктурованої сітки [3].

Програмні засоби, що розроблені за цим методом – це **Flow-3D** (США), **LVM-Flow** (Росія)

Метод скінчених елементів (МСЕ) — числова техніка знаходження розв'язку інтегральних та диференціальних рівнянь у частинних похідних. Процес розв'язання побудований або на повному усуненні диференціального рівняння для стаціонарних задач, або на розкладі диференціальних рівнянь у частинних похідних в апроксимуючу систему звичайних диференціальних рівнянь, які потім розв'язуються використанням якої-небудь стандартної техніки, такої як метод Ейлера, Рунге-Кутти тощо [4].

Програмні засоби, що розроблені за цим методом – це **ESI | ProCAST**(Франція), **WinCast** (Німеччина), **СКМЛП «Полигон»** (Росія).

ProCAST і **СКМ ЛП «Полигон»** дає можливість моделювати наступні ливарні процеси:

- нагрівання форми під заливку;
- теплові процеси при затвердінні;
- утворення усадочних раковин та макропористої;
- утворення мікропористої;
- гідродинамічні процеси при заливанні;
- формування та розрахунок будь-яких критеріїв якості для прогнозування структур та механічних властивостей.

«Полигон», не забезпечує задовільних результатів при оперативному вирішенні виробничих задач. Складність полягає в тому, що використання МСЕ вимагає високої кваліфікації інженерів-технологів і великих витрат робочого часу при проведенні аналізу ливарної технології. Крім того, необхідне придбання високовартісного додаткового програмного забезпечення для генерації мереж кінцевих елементів.

МСО і МСЕ базуються на урівноваженому тепломасоперенесенні в інтегральному вигляді. Область, в якій вирішуються рівняння, розбивається на елементи, всередині яких будуються апроксимації функцій на основі базових функцій системи, визначених на елементі.

Наприклад при вирішенні завдання отримання тонкостінних виливків великих геометричних розмірів МСЕ забезпечує ряд переваг, оскільки дозволяє використовувати кінцеві елементи різної дискретності. Використання методу кінцевих різниць у подібних випадках призводить до збільшення кількості вузлів сітки та до більшої тривалості комп'ютерного розрахунку

Одною з головних переваг MCE - гарна апроксимація границь, а основні недоліки - необхідність у добротному генераторі кінцевих елементів, складність рівнянь та неможливість факторизації.

FLOW-3D CAST забезпечує повний процес моделювання потоку і термічний аналіз розчину для широкого спектру процесів лиття металів. Симуляції дають детальну інформацію щодо наповнення та затвердіння частини литого під час відстеження різноманітних дефектів, таких як різні види пористості, поверхневі оксиди, захоплене повітря та обвалені пухирці, термічні напружки та деформації тощо.

Оптимізовані імітаційні конструкції скорочують час розробки на заводі, прискорюють час на ринку та пришвидшують вихід продукції. FLOW-3D CAST дає змогу моделям заощаджувати на проектних та технологічних витратах при впровадженні нових процесів виливки або сплавів.

Також присутня можливість використання хмарного обчислювального центру який надає за окрему плату компанія виробник [5,6].

ProCAST система працює під ОС UNIX, MS Windows і дозволяє моделювати практично всі варіанти ливарної технології, включаючи вільне лиття у формі, лиття під низьким та високим тиском, виготовлення по виплавленим моделям тощо. Геометрія виливок може бути самої складною. В повному обсязі розроблено інструментарій моделювання ливарних процесів і розробленні технологій, так як даний програмний продукт протягом 20 років розроблявся і тестувався на реальних виробничих процесах за допомогою підприємств і академічних організацій рис.1.

ProCAST складається з постійно доповнюється набору модулів і інструментів. Широко представлена база матеріалів сталей, чавунів та сплавів на основі Al, Co, Cu, Mg, Ni, Ti і Zn і має можливість доповнюватись користувачем [7].

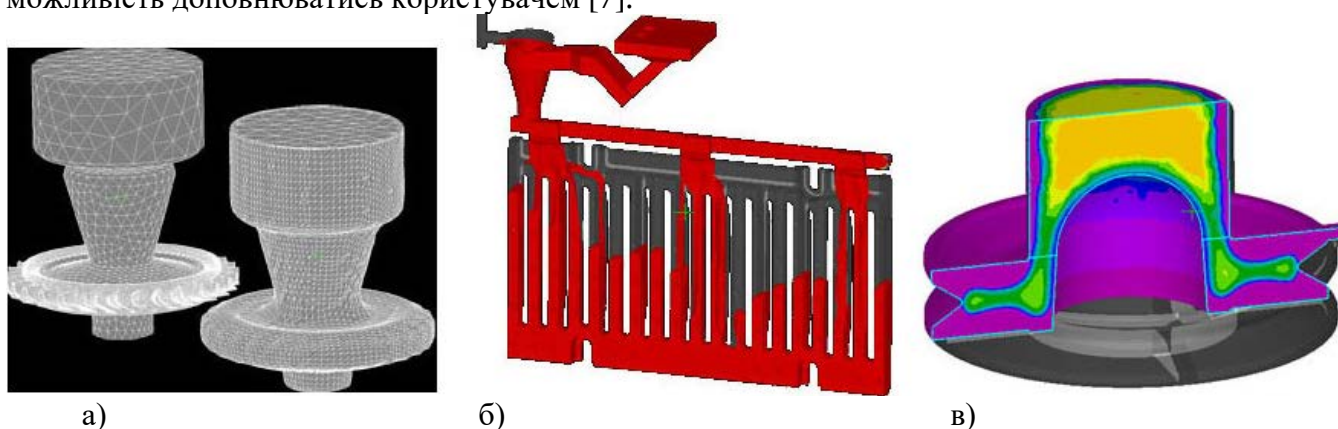


Рис.1. Візуалізація процеси в ProCAST: а) сіткова модель, б) заповнення форми сплавом, в) температурні поля виливка

QuikCAST це швидке і ефективне рішення для аналізу і оцінки всього процесу лиття. Інструмент моделює основні процеси: заповнення, затвердіння, пористості, в тому числі при пластичному моделюванні і виготовленні на піскодувні машині.

При моделюванні в QuikCAST враховується зворотний тиск повітря, фільтрувальні сітки, нерівності форми, зміни температур, покриття заготовки, гравітація, що дозволяє з високою точністю моделювати ливарні процеси, від лиття в землю до лиття під високим або низьким тиском.

Програмне забезпечення SOLIDCast, яке використовує зручне програмне забезпечення, імітує декілька типів відливання з насиченими функціями, лиття в кокіль; лиття в землю; лиття по виплавленим моделях; будь-які інші види гравітаційної заливки; лиття в нахилених і поворотних формах; лиття під низьким тиском. SOLIDCast має свою базу даних металів та матеріалів, яка відкрита для доповнень та змін. До SOLIDCast додаються два додаткових модуля: FLOWCast і OPTICast.

FLOWCast - модуль розрахунку гідродинаміки, який дозволяє побачити на екрані монітора, як розплавлений метал проходить через ливникову систему і заповнює форму. Моделює конвекцію, передачу та випромінювання тепла в порожнинах форми. Це дозволяє запобігати і

виправляти такі недоліки, передчасна кристалізацію та перегрівання форм, поява оксидних плівок або ерозія форм за високої швидкості течії металу.

OPTICast - модуль оптимізації технологій. В якості змінних параметрів можуть бути температури металу та форми, тривалість заливки, розміри прибутку, тиск виливка та ін.

WinCast (назва програми під Windows) або Simtec (назва програми під Unix) - програма для моделювання процесів литва металевих матеріалів в широкому діапазоні технологій. Програма відноситься до класу важких МСЕ аналізу і працює дуже ефективно в автомобільній і авіаційній промисловості.

WinCast складається з декількох програмних модулів, які запускаються в роботу незалежно, послідовно або паралельно, і забезпечують підготовку даних, обчислення і представлення результатів розрахунку. Модульна структура дає користувачеві можливість вибірково працювати тільки з тими модулями, які необхідні для вирішення приватної поточного завдання.

У різних модулях WinCast проводить гідродинамічний і теплової аналізи процесів заповнення розплавленим металом форми і подальшого затвердіння, розраховує залишкові напруги і викривлення виливки, а також прогнозує мікроструктуру і розподіл фаз і, як наслідок, розподіл механічних властивостей [8,9].

MAGMASOFT - це всеосяжний та ефективний інструмент оптимізації для покращення якості металоабразивного матеріалу, оптимізації умов процесу та зниження виробничих витрат. Отже, використовуючи методологію віртуального проектування експериментів та автономної оптимізації, можна створити надійні параметри процесу та оптимізовані макетування ливарних матеріалів для всіх литих матеріалів та процесів, включаючи термічну обробку та металургійну обробку плавки, одночасно ефективно та всебічно рис.2.

За допомогою автономної інженерії, моделювання з MAGMASOFT можуть бути використані в автоматизованому плані віртуального тестування для одночасного виконання різних цілей та якості. Діапазон результатів включає залишкові напруги та спотворення, формування мікроструктури та локальні властивості.

Висновки

В результаті проведеного аналізу програмних продуктів для моделювання процесів лиття можна виділити продукти, які базуються на методі кінцевих об'ємів та методі скінченних елементів. Дані продукти мають переваги в точності та достовірності кінцевих результатів, оскільки ґрунтуються на наборах вихідних даних що задовольняють вимогам алгоритмів вирішення рівнянь як термодинаміки, так і гідродинаміки.

Список використаних джерел

1. Карпюк Д.В Мельник О.О. Використання САЕ систем для підбору живильника виливка. Матеріали Всеукраїнської науково - технічної конференції молодих вчених та студентів «Інновації молоді – машинобудуванню 2017», секція «Технологія машинобудування», 21-31 травня 2017 р. м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2017
2. https://uk.wikipedia.org/wiki/Метод_скінченних_різниць
3. https://uk.wikipedia.org/wiki/Метод_скінченних_об'ємів
4. https://uk.wikipedia.org/wiki/Метод_скінчених_елементів
5. <http://www.flow3d.ru/pdfs/tm63r.pdf>
6. <http://lvmflow.ru/>
7. <http://www.ruscastings.ru>
8. http://flow3d.com/pdfs/tp/cast_tp/FloSciBib6-06.pdf Bib6-06.pdf
9. <https://www.flow3d.com/wp-content/uploads/2014/08/Modeling-of-Casting-Processes-State-of-the-Art-Computational-Techniques.pdf>