

До питання про комп'ютерне моделювання ливарних процесів

В статті виконано огляд найбільш відомих програмних продуктів, які використовуються для комп'ютерного моделювання в ливарному виробництві.
комп'ютерне моделювання, відливки, приклад

Науково-технічний прогрес в ливарному виробництві, як і в інших галузях народного господарства, здійснюється в наш час в значній мірі завдяки все більш широкому використанню сучасної комп'ютерної техніки та відповідного програмного забезпечення. Однак цей прогрес міг би бути більш інтенсивним, якби не певне запізнення у використанні сучасних досягнень науки і техніки в навчальному процесі та у виробництві через недостатню інформованість науково-технічної громадськості. Метою даної роботи є огляд сучасних досягнень в області комп'ютерної техніки стосовно ливарного виробництва.

Конструктори і технологи, які займаються підготовкою технологічного процесу лиття металів, стикаються з необхідністю прийняття рішень в умовах нестачі інформації про фізичну картину процесу. При цьому спроектувати ефективний технологічний процес і отримати продукцію високої якості вдається далеко не завжди, навіть коли цю роботу виконують висококваліфіковані фахівці. Застосування систем, що дозволяють «заглянути» у сам процес лиття, візуалізувати і зрозуміти його природу, дасть можливість значно удосконалити процес проектування і виробництва відливків, скоротивши витрати ресурсів – металу, робочого часу, електроенергії.

Таку можливість надають програмні продукти, призначені спеціально для аналізу процесу лиття металів. Ряд зарубіжних і вітчизняних фірм працюють над створенням і вдосконаленням цих програм. Відзначимо як найбільш розвинені і відомі такі системи, як MagmaSoft, ProCast, ПОЛИГОН та LVMFlow.

Програми для моделювання ливарних процесів в основному розрізняються ступенем повноти факторів, що враховуються при моделюванні, і, відповідно, вартістю. Друга суттєва відмінність пов'язана з методами отримання і розв'язання різницевої рівнянь: рівняння тепломасопереносу можуть бути записані в диференціальному або інтегральному вигляді. Розв'язання цих рівнянь базується на методах скінченних різниць, скінченних елементів та скінченних об'ємів.

Метод скінченних різниць (МСР) базується на рівняннях в диференціальній формі. Як правило, вони будуються на ортогональних сітках (прямокутній, циліндричній), що дозволяє звести розв'язок багатовимірної задачі до виконання послідовності одновимірних завдань, а значить істотно спростити і прискорити розв'язання загальної системи рівнянь. До недоліків методу слід віднести погану апроксимацію меж складних областей, що не дуже принципово для рівнянь теплопровідності, але досить істотно для рівнянь гідродинаміки. Крім того, метод погано працює у разі тонкостінних відливків, коли товщина стінок стає рівною кроку сітки [1].

Методи скінченних елементів (МСЕ) і скінченних об'ємів (МСО) базуються на інтегральних рівняннях тепломасопереносу. Область, в якій розв'язуються рівняння,

розбивається на елементи, всередині яких будуються апроксиманти функцій на основі системи базисних функцій, визначених на елементі. Проектуючи інтегральні рівняння на ці базиси, отримують систему різницевого рівнянь.

При використанні МСР система різницевого рівнянь набуває складності, яка полягає у потребі значно більшого часу на розрахунок та більш потужний ПК. Одне з головних достоїнств МСЕ – висока точність розрахункових даних на межі скінченнорізницевого елементів, а основні недоліки – необхідність в добротному генераторі скінченних елементів і складність рівнянь [1].

Розглянемо найпоширеніші системи, які використовуються в ливарному виробництві.

MagmaSoft – німецький моделюючий пакет, що базується на МСР, один з перших комерційних ливарних пакетів, який фактично вперше продемонстрував, що можливо серйозно моделювати складні ливарні процеси на достатньо високому рівні. Система має заслужену позитивну репутацію. До найбільш сильних її сторін можна віднести можливість задавати достатньо велику кількість початкових параметрів, які на рівні критеріального аналізу дозволяють прогнозувати різні властивості – структуру, механічні характеристики тощо.

ProCast – американський скінченноелементний пакет, який за об'єктивними показниками є більш потужним, ніж MagmaSoft, оскільки, окрім власне переваг елементного підходу, в ProCast використовуються складніші і більш універсальні моделі, що істотно підвищує точність розрахунків [2]. У ProCast моделюються теплові, гідродинамічні і деформаційні процеси, а також процеси структуроутворення. До головних достоїнств цього пакету слід віднести можливість врахування складних теплових граничних умов, переміщення об'єктів складної реології при деформаційних розрахунках.

Досвід практичного застосування систем автоматичного моделювання ливарних процесів показав, що програмні продукти зарубіжних виробників не набули серйозного практичного поширення через високу ціну програм, а також відсутність в більшості випадків вітчизняномовного інтерфейсу і бази даних по матеріалах і сплавах, які регламентовані ГОСТ та ДСТУ.

ПОЛИГОН – російський скінченноелементний продукт, який почали створювати в кінці 80-х років в ЦНДІМатеріалів на замовлення Міністерства оборонної промисловості. У цій системі розв'язуються задачі моделювання гідродинамічних, теплових і усадочно-фільтраційних процесів. Методами критеріального аналізу розв'язуються задачі щодо прогнозу міцності, твердості, структурних параметрів, розмиву форм тощо. До суттєвих переваг програми, окрім застосування МСЕ, слід віднести можливість врахування складних фізичних моделей теплових процесів і граничних умов, а також можливість повномасштабного розв'язання задачі утворення усадочних дефектів.

LVMFlow – розроблена в Росії система комп'ютерного 3D-моделювання ливарних процесів, яка дозволяє автоматизувати робоче місце технолога-ливарника і знизити витрати часу і коштів на підготовку виробництва нових відливків. Програмний комплекс LVMFlow є результатом подальших досліджень і розробок в області комп'ютерного моделювання ливарних процесів. Система дуже проста в освоєнні і використанні, вона є відносно недорогою в порівнянні з іншими [3].

Сфера застосування пакету за способами лиття включає лиття по витоплюваних моделях, лиття у пісчано-глинясті форми, в кокіль, в оболонкові форми, лиття під тиском тощо.

В якості прикладу розглянемо процес моделювання лиття відливка корпусу відцентрового насосу двосторонньої дії Д320-50 (рис. 1, а) із сірого чавуну СЧ-20, для

якого було побудовано в програмному продукті геометричного моделювання SolidWorks тривимірну модель. Програма дала змогу з високою точністю розрахувати масу відливка з ливниковою системою, яка становила 184 кг. Лімітуючою ланкою ливникової системи був прийнятий стояк із середнім діаметром 65 мм. На основі моделі відливка побудовані його формуючі елементи (стержень та верхня і нижня напівформи).

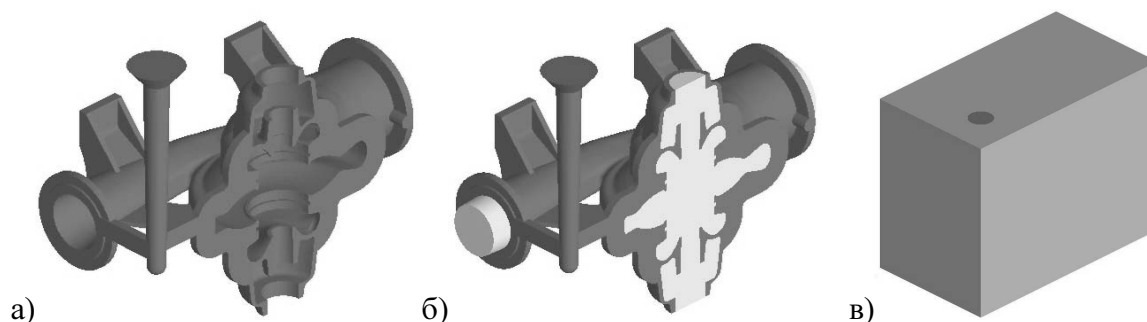


Рисунок 1 – Відлинок корпусу відцентрового насоса ДЗ20-50 (а), відлинок зі стержем (б), відлинок у формі (в), імпортовані в систему моделювання ливарних процесів LVMFlow

На першому етапі комп'ютерного моделювання ливарної технології («3D-ІМПОРТ») імпортується виконана в системі геометричної побудови точна просторова модель відливка та його формуючих елементів (див. рис. 1, а, б, в). Для формування геометричного образу відливка, його формуючих елементів і допоміжного оснащення можна користуватися сучасними системами геометричного моделювання (SolidWorks , Catia, КОМПАС). Для зв'язку з системами геометричного моделювання розроблений конвертер, який дозволяє перетворювати файли форматів цих програм у внутрішній формат LVMFlow. Кожен елемент розрахункової моделі повинен мати відповідно різний колір. Це необхідно для того, щоб на наступних етапах була можливість для кожного з них задати відповідний матеріал. Також треба обрати необхідну систему одиниць вимірювання (міліметри або дюйми) і задати відливу необхідну орієнтацію у просторі за допомогою кутів Ейлера.

На другому етапі («ПОЧАТКОВІ УМОВИ») над імпортованою в попередньому модулі моделлю виконуються операції по переведенню її в розрахункову: задається дискретність ячеек або їх кількість, розміри розрахункової області, кути нахилу форми, граничні умови, матеріал для кожного з елементів форми. Система має банк теплофізичних властивостей матеріалів, а також діаграм стану сплавів. У банк матеріалів занесені формувальні, вогнетривкі, ізоляційні матеріали та метали, які найбільш часто використовуються на підприємствах. Банк властивостей відкритий для користувача і дозволяє його наповнювати властивостями тих сплавів, з якими працюють на даному підприємстві. База даних використовує хімічний склад для кожного матеріалу. Всі теплові дані визначені як функції від температури. Завершальним кроком на цьому етапі є задання ливникових і підживлюючих точок, випорів, термопар, ТЕНів та холодильників, протипригарних фарб, а також моделей розподілу температур, дефектів та теплопереносу.

На завершальному етапі («ПОВНА ЗАДАЧА») виконується повна візуалізація процесу від початку заповнення до кінця затвердіння з повним контролем над процесом. LVMFlow – це програма для конструювання і візуалізації ливникової системи. Технолог-ливарник може за короткий час розглянути різні варіанти і знайти правильний вибір для кожного конкретного відливка. LVMFlow заснований на прогресивних теоріях течії рідини і теплопереносу. В ході моделювання затвердіння

відливка технолог спостерігає динаміку процесу за всіма характеристиками моделі і в будь-якому перерізі відливка є можливість спостереження полів швидкості, векторів швидкості і тиску, температури, пористості і фазового складу затверділого відливка. Система також надає користувачеві "рентгенівські знімки" за трьома проекціям і, крім того, організована імітація роботи термопар, які можна встановити в довільних точках розрахункової області і визначити точки термічних і кінетичних кривих. Різні поля можна спостерігати в будь-якому ракурсі.

У «ПОВНІЙ ЗАДАЧІ» необхідно тільки задати параметри заливки за допомогою напору, коефіцієнта опору та величини потоку або діаметра струменя металу. Після всіх розглянутих операцій можна починати розрахунок.

Для моделювання корпусу відцентрового насосу були використані дані, які занесені до табл. 1,2 і 3.

Таблиця 1 – Параметри розрахункової області

Розміри розрахункової області, мм			Сітка		
x	y	z	Розмір ячейки, мм	Кількість ячеек моделі	Кількість ячеек відливка
1400	800	1100	4	19250000	403804

Таблиця 2 – Матеріали та їх початкова температура

Сплав		Стержень		Формувальна суміш	
Назва	t, °C	Назва	t, °C	Назва	t, °C
СЧ-20	1250	Alfaset	15	№2 (волога)	15

Таблиця 3 – Параметри заливки

Напір, мм	Коеф. опору	Кут нахилу ковша, °	Потік, кг/с	Діаметр струменя, мм
150	0,9	15	7,2	30

Далі розглянемо процес моделювання заповнення та затвердіння відливка (рис. 2, 3).

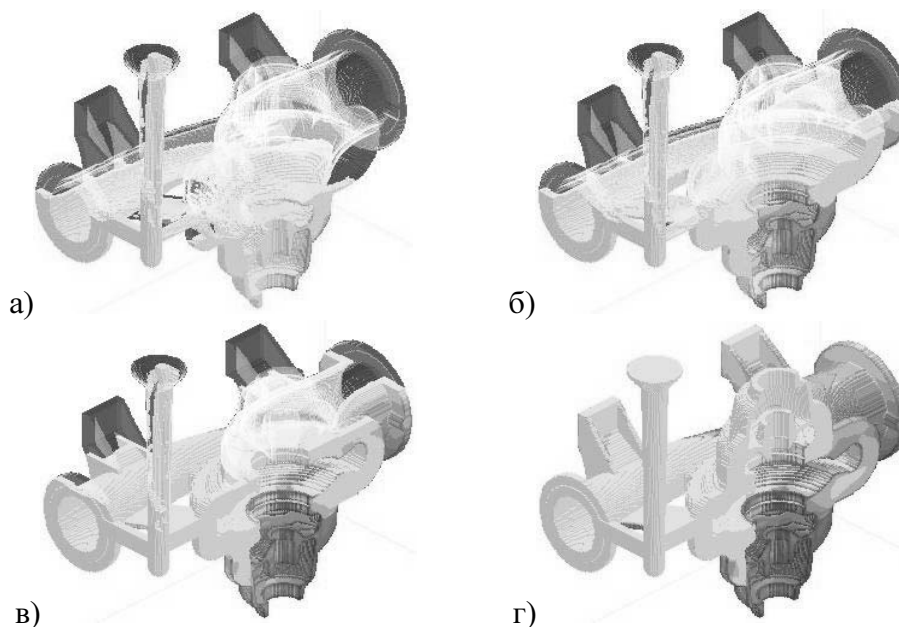


Рисунок 2 – Візуалізація процесу заповнення порожнини форми на 25% (а), 50% (б), 75% (в), 100% (г)

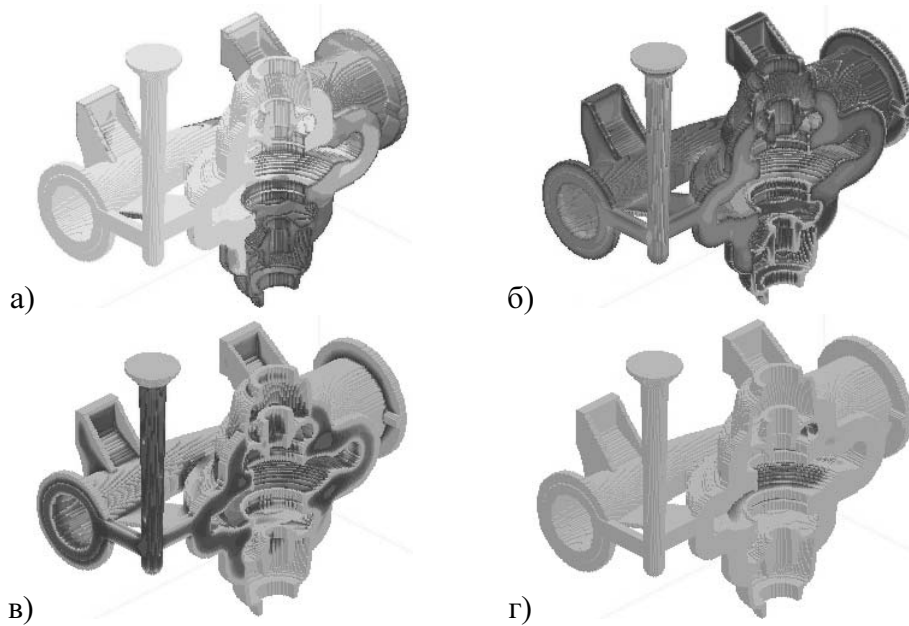


Рисунок 3 – Візуалізація процесу затвердіння відливка по відсотку рідкої фази: 95,2% (а), 75,7% (б), 39,9% (в), 11,3% (г)

Після завершення розрахунку можна оглянути отримані результуючі поля: усадки, критерію Ніяма (характер мікропористості), ступення ліквідації, часу затвердіння, теплового модуля, а також проглянути всі дефекти у місцевих розрізах по трьох проекціях (рис. 4) і в рентгенівському тривимірному виді (рис. 5).

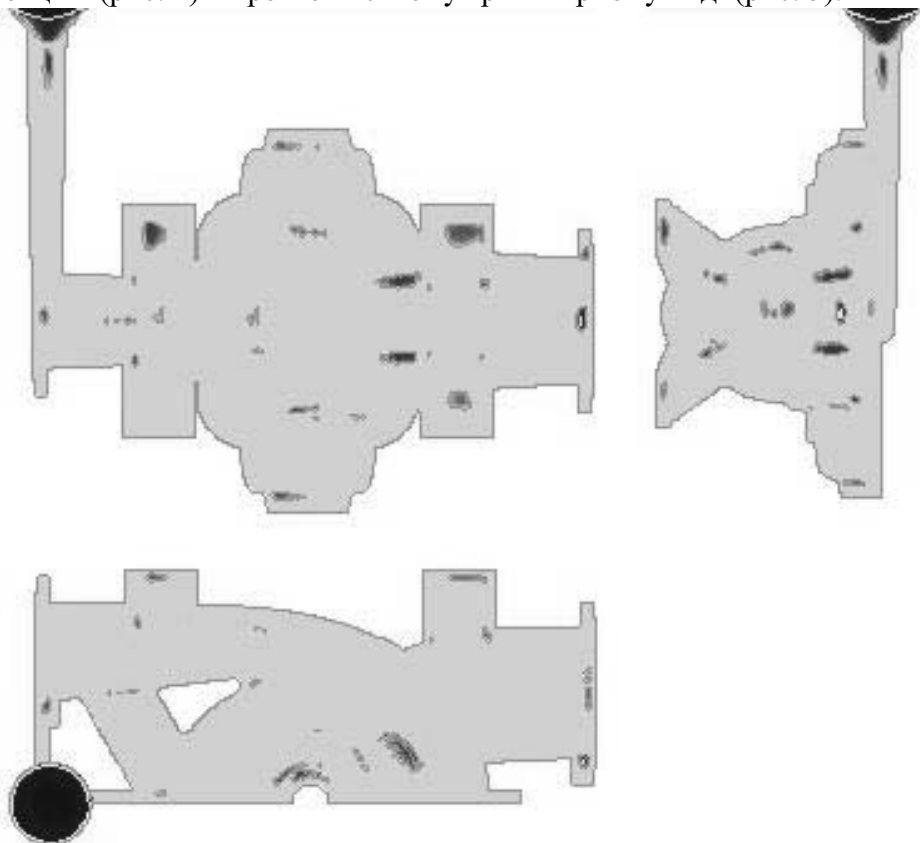


Рис.унок 4 – Дефекти у відливку в місцевих розрізах по трьох проекціях



Рисунок 5 – Дефекти у відливку в прозорому виді

Проаналізувавши отримані результати, можна зробити висновок про те, що випадково вибрані технологічні параметри лиття більш-менш відповідають вимогам. Про це свідчать такі отримані дані: середнє значення усадочних дефектів у відливку з ливниковою системою – 0,87%. Основна частина дефектів знаходиться в ливниковій чаші і стояку. Дефекти не потрапили у припуск на механічну обробку. За рахунок економії ресурсів і підвищення продуктивності система повністю окупається протягом 1-2 років. Достовірність отримуваних результатів можна оцінювати з ймовірністю 90-95% [4], що підтвердив досвід практичного використання програми.

Висновок. Викладений матеріал демонструє ефективність застосування програм, що моделюють процеси лиття металів. Вони дозволяють створити оптимальну конструкцію ливникової системи на стадії проектування і обійтися без дорогих операцій доведення технології і зміни оснащення безпосередньо в процесі організації виробництва деталі.

Застосування програми дозволяє зберегти 17% використовуваної електроенергії, збільшити коефіцієнт використання металу на 7% за рахунок зниження ваги відливка і ливникової системи, знизити відсоток браку, скоротити час процесу, а отже, підвищити продуктивність підприємства.

Список літератури

1. Турищев В. Моделирование литейных процессов: что выбрать? / Владислав Турищев // CADmaster. – 2005. – № 2. – С. 33-35.
2. Девятов С. ProCast – виртуальное моделирование литейных технологий. Для тех, кто привык быть впереди / Сергей Девятов // CADmaster. – 2006. – № 5. – С. 36-43.
3. Девятов С. Прогрессивные методы в литейной технологии – моделирование и анализ / Сергей Девятов // CADmaster. – 2003. – № 2. – С. 19-23.
4. Севастьянов Л. Компьютерный анализ процесса литья металлов: экономия ресурсов / Леонид Севастьянов, Геннадий Пономаренко // САПР и графика. – 2001. – № 4. – С. 16-20.

В статье выполнен обзор наиболее известных программных продуктов, которые используются для компьютерного моделирования в литейном производстве.

The review of the most known software products which are utilized for a computer design in a casting production is executed in the article.