**Лушпенко Сергій Федорович. Математичне моделювання теплових процесів у керамічних та надтвердих матеріалах з ідентифікацією їх теплофізичних властивостей : Дис... д-ра наук: 05.14.06 - 2007.**

|  |  |
| --- | --- |
| |  | | --- | | Лушпенко С. Ф. Математичне моделювання теплових процесів у керамічних та надтвердих матеріалах з ідентифікацією їх теплофізичних властивостей. - Рукопис.  Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.14.06 - технічна теплофізика і промислова теплоенергетика. - Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України, Харків, 2007.  Дисертація присвячена дослідженню теплових процесів у нових конструкційних і інструментальних матеріалах за допомогою математичного моделювання (вирішення прямої задачі теплопровідності) та ідентифікації їх теплофізичних властивостей (оберненої задачі). Розв’язання прямої задачі спирається на перетворення математичної моделі підстановкою Кірхгофа та її скінченнорізницеву апроксимацію. При вирішенні оберненої задачі використовується метод автоматизованого підбору. Його стратегія спирається на пошук мінімуму різниці між температурами, отриманими з експерименту і моделюванням. Шукані теплофізичні характеристики задаються поліномами Чебишева, порядок та коефіцієнти яких є результатами пошуку. Ідентифіковані температурні залежності теплопровідності і теплоємності керамічних композитів, металевого скла і надтвердих матеріалів. Подальші математичні експерименти дозволили оцінити вплив теплових процесів на ефективність охолодження електронних плат і знайти раціональні режими заточення токарського інструменту. | |
| |  | | --- | | 1. Сформовано **комплексний підхід до теплофізичного дослідження**нових матеріалів, у якому прямі та обернені задачі теплопровідності розглядаються не як протилежності, а як частини єдиної експериментально-розрахункової технології, що взаємно доповнюють одна іншу. 2. Запропоновано **класифікацію і огляд методів розв’язання внутрішніх**в істотно зміненому та доповненому вигляді. Аргументовано показано, що для цілей комплексного теплофізичного дослідження нових матеріалів найбільш ефективними будуть екстремальні методи автоматизованого підбору з перетворенням математичної моделі. 3. Розроблено **метод автоматизованого підбору,** що може претендувати на новизну завдяки таким своїм відмітним ознакам:   вирішення пробної прямої задачі в рамках цього методу передбачається починати з *перетворення математичної моделі* за допомогою підстановок Кірхгофа та Гудмена;  *подання температурних залежностей* рекомендується здійснювати у вигляді одного (для теплопровідності) або двох (для теплоємності) відрізків поліномів Чебишева;  у процесі розв’язання оберненої задачі *підбираються не тільки значення коефіцієнтів поліноміальної апроксимації, але й ступінь полінома*;  *розв’язання супроводжується регуляризацією*, тобто крім відхилу мінімізується стабілізуючий функціонал і враховується ряд регуляризуючих обмежень, для чого застосовуються пошук мінімуму методом деформовного багатогранника та метод штрафних функцій;  передбачено заходи теплофізичного характеру для надійного *влучення в окіл глобального мінімуму* за допомогою попереднього вирішення оберненої задачі спрощеним аналітичним або численно-аналітичним методом;  структура методу обрана таким чином, щоб забезпечити оптимальне за швидкістю розв’язання задачі *засобами як цифрової, так й аналогової або гібридної обчислювальної техніки*.   1. Запропоновано вдосконалену **процедуру вирішення нелінійної** , що дозволила істотно спростити та прискорити моделювання як на завершальній стадії вивчення теплового процесу, так і при розв’язанні обернених задач теплопровідності. Для дискретизації математичної моделі обраний метод скінченних різниць, хоча і не виключається можливість використання інших методів. При цьому розрахунки опираються на   *неявну і явно-неявну схеми* та тих з них, які забезпечують другий порядок точності;  *широке застосування підстановок* Кірхгофа та Гудмена, підтримуване повним набором процедур прямого і оберненого перетворень моделі;  *метод ітерацій*, що дає можливість одержати більш стійке вирішення, ніж безітераційні підходи, а також скористатися верхньою або нижньою релаксацією та способами ітераційної регуляризації;  *керований підбор* оптимального коефіцієнта релаксації;  *дотримування схеми Зейделя*, що дає помітне прискорення розв’язання;  *обхід вузлів* скінченнорізницевої сітки від границі до центра поля;  *раціональний вибір* параметра в критерії зупину ітерацій;  *гнучкий підхід* до вибору схеми дискретизації та врахування нелінійностей, мірності постановки і технічних засобів проведення розрахунків;  *загущення сітки* поблизу границі, як ефективну альтернативу схемам другого порядку точності для приграничних вузлів.   1. На основі методу автоматизованого підбору розроблений оптимизований за швидкодією регуляризуючий **метод аналітичного наближення дискретно заданих функцій**. 2. Отримані шляхом обробки даних багатоваріантного теплофізичного експерименту раніше недосліджені **температурні залежності теплопровідності нових композиційних керамічних матеріалів** на основі оксиду алюмінію та діоксиду кремнію. На базі цих даних розроблено оптимальний за своїми теплоізоляційними і механічними властивостями склад безвипалювальної кераміки. 3. У результаті обробки даних ретельно підготовленого теплофізичного експерименту ідентифіковані ніким раніше невивчені **аморфних металевих сплавів** кобальту з залізом, хромом, кремнієм і бором () та заліза з нікелем і бором (). 4. Уточнені та розраховані для більш широкого, ніж в опублікованих раніше джерелах, діапазону температур **залежності теплопровідності і теплоємності надтвердих полікристалічних матеріалів** на основі синтетичних алмазів та нітриду бору від температури. 5. Внаслідок продовження комплексного теплофізичного дослідження кераміки та виробів з неї отримані дані, що характеризують **зміну температурного поля охолоджуваної плати** залежно від інтенсивності охолодження. Це дозволило вибрати раціональну конструкцію та робочі параметри системи рідинного охолодження елементів . 6. **Моделювання двовимірних нестаціонарних полів у матеріалах, що шліфуються,** дало багато корисної інформації про динаміку температур у недоступних для виміру точках зони різання. Аналіз цих даних привів до оцінки ступеня впливу теплових факторів на процес шліфування твердих матеріалів, що дозволило оптимізувати режимні параметри цього процесу з продуктивності та енергозбереження. 7. Розрахунковим шляхом визначені **тривимірні нестаціонарні температурні поля в різальних елементах двох типів** - у вигляді штучного алмазу з циліндричною оправкою та у формі двошарової пластини. Розрахунки за допомогою розробленої програми та пакета PHOENICS показали, як прогрівається надтвердий матеріал, що шліфується, протягом декількох проходів шліфувального круга, де і коли градієнти температур досягають своїх максимальних значень. 8. Розроблений у ході виконання дисертації комплексний підхід до теплофізичного дослідження нових матеріалів має чітку практичну спрямованість. Більшість методичних розробок автора реалізовано у вигляді готових до використання комп'ютерних програм з дружнім інтерфейсом для введення даних та аналізу одержуваних результатів. Крім того, запропоновано цілий ряд аналогових та гібридних схем проведення обчислень. **Аналоговий прилад «Пошук»**, на який отримане авторське посвідчення, протягом багатьох років використовується як для налагодження елементів методу автоматизованого підбору, так і для практичної ідентифікації теплофізичних характеристик. 9. Отримані в роботі результати довідкового характеру, наприклад теплофізичні характеристики нових матеріалів, були опубліковані у вигляді таблиць, графіків та аналітичних залежностей. Ці дані і велика кількість інформації з інших джерел були поміщені в спеціально розроблену для цієї мети **базу даних про твердих, рідких та газоподібних тіл EXPODATA**, зручну для перегляду, поповнення та практичного використання при розрахунках. 10. Розроблено **програму для інформаційно-обчислювального супроводу теплофізичного експерименту MEASURES,** що успішно експлуатується понад 10 років у декількох підрозділах і була передана в інші організації як корисний інструмент для візуалізації ходу проведення експерименту та здійснення метрологічних і суміжних обчислювальних робіт. На завод «Електроважмаш» (Харків) вона служить для функціональної діагностики системи охолодження потужних електрогенераторів і метрологічної атестації вимірювальної системи, що підтверджується актом про використання. 11. **Комплекс програм для теплового проектування електронних модулів з рідинним охолодженням SBORKA** був переданий у проектні організації в порядку виконання укладених з ними господарських договорів. За результатами тривимірного моделювання теплових процесів у модулі та гідравлічних процесів у системі охолодження вдалося вибрати раціональне компонування системи для надійного забезпечення номінального температурного режиму . 12. **Впроваджені у виробництво розрахункові методики і програмні засоби** для теплофізичного дослідження процесів шліфування твердих матеріалів і визначення їх теплофізичних властивостей. Вони використовуються в дослідницькій і навчальній практиці в Національному технічному університеті «» та інших організаціях. | |