**Ісаєв Костянтин Борисович. Теплофізичні характеристики композиційних матеріалів у широких діапазонах температур і швидкостей нагріву : Дис... д-ра наук: 05.14.06 – 2006**

|  |  |
| --- | --- |
| |  | | --- | | **Ісаєв К.Б. Теплофізичні характеристики композиційних матеріалів у широких діапазонах температур і швидкостей нагріву.** – Рукопис.  Дисертація на здобуття наукового ступеню доктора технічних наук за спеціальністю 05.14.06 – технічна теплофізика та промислова теплоенергетика. – Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ, 2006.  У дисертаційній роботі розроблено комплексний підхід до визначення коефіцієнта теплопровідності різноманітних матеріалів на базі експериментального температурного поля в зразках цих матеріалів і двох методик розвязання оберненої (коефіцієнтної) задачі теплопровідності. Розроблено математичну модель теплопереносу в теплозахисних матеріалах з органічною матрицею, у якій враховується процес деструкції звязуючого і поглинання теплоти газоподібними продуктами цього процесу. Густина матеріалу в зоні деструкції звязуючого описується квадратичною функцією температури. Вплив швидкості нагрівання враховано уведенням температур початку і закінчення деструкції звязуючого, що є функціями цієї швидкості. Для квазістаціонарного режиму нагрівання матеріалів (сталість температури поверхні зразка і швидкості її руху) отримано аналітичний розвязок прямої нелінійної задачі теплопровідності в неявному вигляді в інтегральній формі з урахуванням внутрішніх стоків (джерел) теплоти, на базі якого розроблено методику визначення коефіцієнта теплопровідності матеріалів. Для її реалізації необхідний вимір зміни температури у часі в одному перетині зразка. Розроблено і захищено патентами конструкції теплоприймача – зразка досліджуваного матеріалу з термопарами і відповідною теплоізоляцією для визначення одномірних температурних полів у зразках твердих, надтвердих, теплозахисних, порошкових та інших матеріалів. Досліджено вплив різних чинників на теплофізичні характеристики більш як три десятки композиційних матеріалів, зразки яких випробувані за різних умов однобічного нагрівання (конвективний, радіаційний, контактний) з різною швидкістю в широкому діапазоні температур. На базі комплексного підходу визначення коефіцієнта теплопровідності матеріалів розроблено автоматизований комплекс. Створено Базу даних теплофізичних характеристик теплозахисних матеріалів і температурних полів у їх зразках. | |
| |  | | --- | | 1. Узагальнений досвід визначення коефіцієнта теплопровідності матеріалів за допомогою розвязання ОкЗТ, у результаті чого було розроблено **комплексний підхід** до визначення коефіцієнта теплопровідності практично будь-яких матеріалів в умовах однобічного нагрівання в широких діапазонах температур і швидкостей нагрівання.  2. **Вперше** отримано розвязання нелінійного рівняння теплопровідності для квазістаціонарного режиму нагрівання для релаксаційної моделі переносу теплоти, що дозволило оцінити граничну швидкість нагрівання, при якій ще можна не враховувати скінченність швидкості поширення теплоти. Наприклад, для міді (*k0* = 396 Вт/(м К)) гранична швидкість нагрівання оцінена в 2.9\*1016К/с, а для поліметилметакрилату (*k0* = 0.2 Вт/(м К)) – 4.2\*1012К/с.  3. Розроблено математичну модель теплопереносу в ТЗМ з органічною матрицею, у якій враховуються процеси розкладання звязуючого і поглинання теплоти газоподібними продуктами цього розкладання. Густина матеріалу в зоні деструкції звязки є квадратичною функцією температури, а вплив швидкості нагрівання враховано уведенням температур початку і закінчення деструкції звязки, що є функціями швидкості нагрівання.  4. **Вперше** для квазістаціонарного режиму нагрівання напівобмеженого тіла отримано аналітичний розвязок прямої нелінійної задачі теплопровідності з урахуванням внутрішніх стоків (джерел) теплоти, на базі якого розроблено методику розвязання ОкЗТ, для реалізації якої необхідно вимірювання зміни температури як функції часу в одному перетині зразка.  5. За допомогою розробленого комплексного підходу вперше проведено **широкомасштабне дослідження** впливу різноманітних чинників (швидкість нагрівання, тип звязуючого, природа і структура наповнювача і т.д.) на ТФХ ТЗМ з органічною матрицею, у результаті якого **уперше** встановлено, що:  –зі збільшенням швидкості *однобічного нагрівання* значення температур початку і закінчення деструкції звязуючого зростають до визначеного значення цієї швидкості. Граничною швидкістю нагрівання для ТЗМ із фенольною матрицею є ~100 К/с, а для матеріалів із эпоксидною – ~10 К/с. При досягненні цієї швидкості нагрівання процес термічного розкладання звязуючого більш не зміщується в область високих температур;  – для квазістаціонарного режиму нагрівання і високих швидкостей нагрівання (більш 100 К/с) має місце приблизна рівність температур, при яких швидкість нагрівання максимальна, а коефіцієнт теплопровідності ТЗМ мінімальний, за винятком матеріалів із кремнієорганічним звязуючим;  – відтворені залежності питомої об'ємної теплоємності від температури і швидкості нагрівання для ТЗМ із фенольною матрицею і різноманітною природою наповнювача – кремнезем, азбест і вуглець. Для ТЗМ із эпоксидною матрицею – тільки з кремнеземним наповнювачем;  – основний вплив на величину коефіцієнта теплопровідності ТЗМ із фенольною матрицею здійснює питома обємна теплоємність. Вплив стоків теплоти на *k*(*T*)цих матеріалів виявляється при температурах більше 800 С. Для эпоксидного склопластика навпаки – переважний вплив здійснюють стоки теплоти, тому що у цього звязуючого більше питома теплота деструкції і коефіцієнт газифікації в порівнянні з фенольним звязуючим;  – збільшення коефіцієнта газифікації звязуючого призводить до росту значень середнього ефективного коефіцієнту теплопровідності розплаву склопластиків, а збільшення вмісту фенольного звязуючого викликає протилежний ефект;  – порівняння експериментальних і розрахункових температурних полів із використанням відтворених у роботі ТФХ ТЗМ показало незначну розбіжність (10-12 %) цих даних. ТФХ ТЗМ, які отримані на стадії нагрівання, можна використовувати і на стадії охолодження тільки при незначній швидкості охолодження. При різкому охолодженні зразків ТЗМ має місце істотне завищення розрахункових температур.  6. За допомогою розробленого в дисертації комплексного підходу **вперше**:  – досліджено вплив **порошкових домішок** з Al2O3, SiС і муліту на ТФХ композицій на основі алюміній-кремнієвого **сплаву АЛ25**в діапазоні 20–400 С. На *cp*(*T*) композитів практично не впливає введення цих домішок, але спричинює зменшенню *k*(*T*), причому це зменшення стає більш великим із збільшенням температури. Це обумовлено тим, що теплопровідність вказаних вище домішок у декілька разів нижче цієї характеристики АЛ25. Різке зменшення значень коефіцієнта теплопровідності з ростом температури для композитів із Al2O3 і SiС викликано різким падінням (у 3-4 рази) значень цієї характеристики домішок із температурою. Для композита з мулітом таке різке зменшення теплопровідності відсутне;  – визначено температурні залежності **питомої теплоємності** (до 2500 С) і **коефіцієнта теплопровідності** (до 2000 С) **ВВКМ**. Встановлено, що питомі теплоємності ВВКМ і графіту практично однакові, а коефіцієнт теплопровідності ВВКМ істотно нижчий за цю характеристику графіту (для ПРОГ-2400 – приблизно в 3 рази при 2000 С). Причому, якщо для графіту *k*(*T*) зменшується із зростанням температури, то для ВВКМ має місце протилежна картина через велику кількість піровуглицю у складі цього композита;  – визначено ТФХ **g-сплаву**на основі**алюмініду титана**в діапазоні 20–400 С. Додавання 31 % Al до Ti призводить до росту питомої теплоємності титанового сплаву на ~15 %, що пояснюється більш високою теплоємністю Al, а коефіцієнт теплопровідності при цьому зменшується приблизно на 35 %;  – визначено ТФХ високопористих**електросталеплавильних і доменних шлаків**в діапазоні 20–1000 С. Встановлено, що збільшення густини обох шлаків призводить до зменшення їхньої питомої теплоємності. Це обумовлено відмінністю різних сполук і структурних утворень, які формуються за різною густиною шлаку. Значення *k*(*T*) доменного шлаку вище значень цієї характеристики сталеплавильного шлаку, що пояснюється наявністю в ньому більшої кількості окису кальцію (приблизно в два рази), а також тим, що коефіцієнт теплопровідності CaО при кімнатній температурі в 30 разів більше цієї характеристики SiO2, яка є основою сталеплавильного шлаку.  7. Розроблено **методику** визначення коефіцієнта теплопровідності **надтвердих матеріалів**, що за своєю суттю близька до методів неруйнівного контролю. Визначено температурну залежність коефіцієнта теплопровідності композита алмаз-SiС в діапазоні 20–400 С. Хоча у матеріалі усього 11 % SiС, проте його прошарки блокують контакти між частинками і, з огляду на те, що його коефіцієнт теплопровідності майже в 15 разів менше цієї характеристики штучного алмазу, в цілому для композита алмаз-SiС коефіцієнт теплопровідності істотно менше в порівнянні з чистим алмазом.  8. Розроблено і захищено патентами **конструкції теплоприймача** – зразка досліджуваного матеріалу з термопарами і відповідною теплоізоляцією для визначення одномірних температурних полів у зразках компактних, надтвердих, теплозахисних, порошкових і інших матеріалів.  9. На базі представленого в роботі комплексного підходу визначення коефіцієнта теплопровідності матеріалів розроблено **автоматизований комплекс**.  10. **Вперше** створено Базу даних теплофізичних характеристик ТЗМ з органічною матрицею і температурних полів в зразках цих ТЗМ, випробуваних у різних умовах однобічного нагрівання, що моделюють експлуатаційні. | |