

• знизить витрати на вдосконалення МТШ-90 та розширення температурних діапазонів.

Але недоліком нового визначення є збільшення невизначеності, пов'язане з експериментальним визначенням сталої Больцмана. За останніми публікаціями, це не має вплинути на точність вимірювання температури загалом, а лише будуть уточнені значення невизначеностей реперних точок під час побудови температурної шкали.

Висновки. В результаті проведеного дослідження можна зробити висновки. Нове визначення одиниці термодинамічної температури робить його незалежним від матеріальної субстанції, технічної реалізації, а також температури або температурного діапазону. Це уможливило вдосконалення температурних вимірювань в діапазоні, віддаленому від потрібної точки води, та підвищення точності цих вимірювань. Нове визначення Кельвіна сприятиме розвитку термодинамічних методів визначення одиниці температури та побудови температурної шкали, незалежних від

властивостей термометричної речовини, паралельно до методів, описаних в МТШ-90. У перспективі, нове визначення Кельвіна повинно привести до підвищення точності побудови та відтворення температурної шкали, до розширення її діапазону без серйозних економічних та організаційних наслідків для суспільства.

1. <http://www.bipm.org/en/CGPM/db/23/12>. 2. http://www.bipm.org/wg/CCT/TG-SI/Allowed/Documents/Report_to_CIPM_2.pdf/ 3. <http://www.temperatures.ru/kelvin/kelvin.php/> 4. C. Daussy, M. Guinet, A. Amy-Klein, K. Djerroud, Y. Hermier*, S. Briaudeau*, Ch. J. Bordé, and C. Chardonnet Phys. Rev. Lett. 98, 250801 (2007) [4 pages] / 5. Direct Determination of the Boltzmann Constant by an Optical Method. http://www.bipm.org/wg/CCT/TG-SI/Allowed/Documents/Report_to_CIPM_2.pdf. 6. No 0. Mohr Peter J., Taylor, Barry N.; Newell, David B. CODATA Recommended Values of the Fundamental Physical Constants: 2006// Rev. Mod. Phys. — 80. — (2008): 633–730.

УДК 620.179.13; 620.179.16; 532.519.633

ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ НЕОДНОРІДНОСТІ МАТЕРІАЛУ ШЛЯХОМ АНАЛІЗУ ТЕПЛОВОГО ВІДГУКУ НА ВУЗЬКОЗОННЕ ТЕПЛОВЕ ЗБУДЖЕННЯ

© Прохоренко Сергій, Кашипор Катерина, Микитин Ігор, Мац Кінга *, Возний Марьюш *, Панас Андрій **, 2012.

Національний університет “Львівська політехніка”, Львів, Україна

* Жешувський університет, Жешув, Польща

** Військово-технічна академія, Варшава, Польща

siergiej.prokhorenko@gmail.com; revenko.k@gmail.com

Розроблено та апробовано в числовому симуляційному, а також експериментальному (на двох незалежних комплектах обладнання) модельних експериментах концепт-схему оцінювання рівня неоднорідності матеріалу за допомогою аналізу теплового відгуку на вузькозонне теплове збудження.

Разработана и апробирована в численном симуляционном, а также экспериментальном (на двух независимых комплектах оборудования) модельных экспериментах концепт-схема оценки уровня неоднородности материала путем анализа теплового отклика на узкозонное тепловое возбуждение.

Concept scheme for evaluating the material heterogeneity by analyzing the thermal response of narrow-band thermal excitation have been developed and tested in the course of numerical simulation and experimental investigations when applying two different experimental setups.

Встановлення рівня однорідності стану поверхні є доволі значущим за сьогодишнього напрямку розвитку технології. Протягом останніх років швидкими темпами розвивається новий напрям науки та техніки –

створення та дослідження наноматеріалів. На ринок надходить широкий асортимент наноматеріалів та наноб'єктів, ведеться пошук способів створення та застосування нових структур наноматеріалів та нано-

об'єктів з унікальними характеристиками [1]. Для розвитку та використання конкурентоспроможних технологій потрібен системний підхід до науково-технічних засад, методології та методик вимірювання фізичних величин нанооб'єктів, зокрема негетерогенних композитних покриттів. Це зумовлено як активним впровадженням їх напружено-структурованих зміцнених зразків, так і тим, що використання структурованих покриттів може викликати і сенсорне навантаження, звісно, якщо належно відпрацьовано методику верифікації оцінки стану наявної робочої поверхні.

Одним з методів такої верифікації стану, достовірним з погляду метрологічної достовірності, є використання аналізу змін теплового потоку зсередини досліджуваних об'єктів, зумовленого попереднім зонним впровадженням потоку робочої речовини (ПРР) контрольованих енергетичних та топологічних параметрів на аналізоване покриття. Це можливо з огляду на те, що тип матеріалу наночастинок та їх концентрація істотно впливають на теплофізичні властивості композитного матеріалу [2], котрий є інклудованим. Останнє дає змогу простежити зміни стану регіону їх розташування, котрий можна використати як чутливий елемент.

Ми здійснили спробу практичної реалізації цього методологічного підходу, як ПРР використавши потік повітря, але у разі потреби можна змінити саму робочу речовину.

Мета. Метою статті є показ можливості відстеження неоднорідностей поверхневих структур дією на них потоком гарячого повітря і фіксації енергетичної післядії тепловізією камерою.

Постановка проблеми. Упровадження в експлуатацію напружено-структурованих нанокомпозитних покриттів потребує комплексного підходу до методик встановлення та визначення топологічного розподілу фізичних та метрологічних величин досліджуваних багатошарових плівкових матеріалів. Переважна більшість систем локального енергопідведення, що використовуються для визначення локальної структурної неоднорідності поверхневих чи приповерхневих шарів, містить обмеження. Вони опрацьовані під електропровідні немагнітні та феромагнітні матеріали (основні – метод термоелектричного та вихорострумового дослідження).

Принцип функціонування запропонованої устави (рис. 1) полягатиме в тому, що визначатиметься локальна енергетична післядія, спрямована на досліджувану поверхню з багатошарових плівкових мате-

ріалів. Зокрема, планується аналіз поширення (сліду) теплового поля за контрольованого фокусованого тепловпливу ПРР на досліджувану поверхню. Формулювання завдання полягало у припущенні, що аналіз особливостей поширення теплового поля поверхнею (тепловий слід після проходження енерговпливної устави) дасть змогу створити та апробувати систему контролю неоднорідності характеристик теплопровідного контакту з підкладковим матеріалом, а також термодинамічних характеристик матеріалу поверхневих структур, реалізовану за допомогою термічного збудження, системою підпровадження ПРР (тепловій хвилі, внаслідок контакту теплоносія з поверхнею).

На рис. 1 показано, що в зонах однорідних поверхневих структур (N) тепловий слід від впливу ПРР має інший розмір та глибину проникнення, ніж слід в зонах, що містять включення та інші неоднорідності.

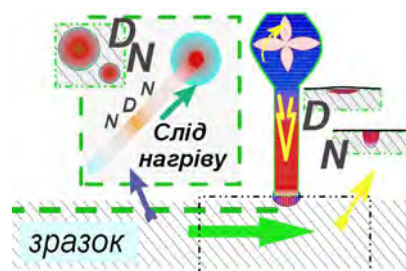


Рис. 1. Концепт-схема експерименту (з поперечною та поздовжньою виносками характерних зон зареєстрованого теплового потоку): N – "тепловий слід" від дії ПРР на однорідну поверхневу структуру; D – "тепловий слід" для поверхневої структури, що містить включення

Моделний вислід сенсовності раніше поданого концептуального припущення проводився з використанням програмного пакета числового моделювання ComSol (рис. 2, 3) [3]. Для спрощення розрахунку припустили, що температурне поле у дослідному об'ємі сформоване ламінарним потоком ПРР. Тобто на поверхню модельованого зразка подавався ламінарний тепловий потік, теплопередача котрого описується граничними умовами третього роду. У процесі модельного вислуду задавали значення коефіцієнта теплового потоку, що характеризує інтенсивність теплообміну між поверхнею тіла та навколишнім середовищем, і температуру теплового потоку. Також задано швидкість ламінарного потоку, яка відповідала швидкості, реально продукуюваної використовуюваною паяльною станцією. Враховано перенесення тепла в тілі та міжповерхневе випромінювання, яке характеризувалося коефіцієнтом поверхневого випромінювання.

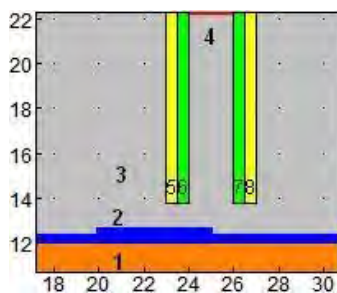


Рис. 2. Схема модельного експерименту, з виділенням зони еквівалентної теплопровідності:

- 1 – сталь марки st17Г1С;
- 2 – пергаментний папір (технічна калька);
- 3 – повітряний прошарок;
- 4 – вхідний отвір дюзи - джерела ПРР;
- 5,8 – зовнішній край сопла - сталь;
- 6,7 – внутрішня частина сопла – кераміка

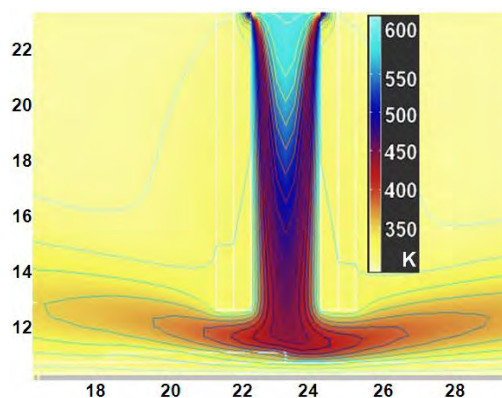
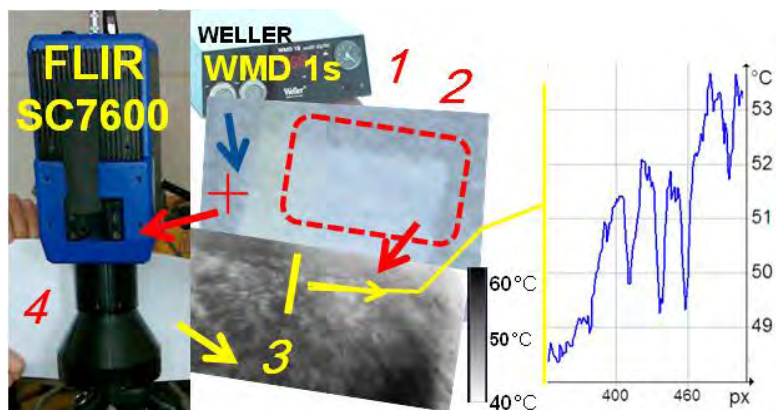


Рис. 3. Модель розподілу теплового поля при контакті ПРР з поверхнею, що містить неоднорідність



А



В

Рис. 4. Фотосхема експерименту. Розміри діагностичного IR-поля (4): А – 40х30 мм; В – 9.6х7.2 мм

Як експериментальний зразок (див. рис. 2 та рис. 4.(А,В), 2) використовували сталь марки st17Г1С товщиною 15 мм, покриту пергаментним папером (технічною калькою). Для зміни теплопровідних характеристик кальки її товщину кроково змінено введенням еталонних неоднорідностей, якими слугували зразки тієї самої кальки, поміщені під її суцільну поверхню. Модельні зразки вибрано із матеріалу, що наближено відтворював би реально експлуатовані матеріали, тобто з тих композицій матеріалів, що мають подібну різницю теплопровідних характеристик між матеріалом підкладки та покриттям. Попереднє оцінювання згаданих теплопровідних характеристик проведено з використанням методики імпульсного визначення теплопровідності.

Опис експерименту. Здійснено два незалежних експерименти з відстеження локалізації областей

поверхневого шару, що містять контрольні еталонні неоднорідності теплопровідних характеристик.

Експериментальна установка (рис. 4) складена із таких вузлів:

- генератор потоку робочої речовини (ПРР), яким слугували відповідні паяльні станції: "Lukey-702" — (рис. 4, А. 1) та "Weller WMD 1s" — (рис. 4. В. 1);
- досліджуваний зразок та топологічне (оптичне) представлення модельних неоднорідностей (рис. 4 (А, В), 2);
- відповідні реєстратори температурного поля (рис. 4, А.3- "FLUKE Ti25"; рис. 4, В.3 - "FLIR SC7600");
- отримане тепловізійне (інфрачервоне) зображення (рис. 4 (А, В), 4).

Варіант досліджень –А– (рис. 4. А). Як генератор ПРР використано паяльну станцію гарячого

повітря Lukey-702. Станція працює з продуктивністю подання повітря 120 л/хв і дає можливість контролю температури PPP. Для експерименту потік повітря нагріто до 610 K та як формувач потоку використано дюзу діаметром 0,6 мм. Для реєстрації температурного поля використано тепловізор Fluke-Ti25, закріплений над експериментальним зразком. Для фіксації змін температурного поля (рис. 4, А. 4) вимірювання проводили у 154K-діапазоні температур.

Варіант досліджень –В– (рис. 4. В) відрізнявся від попереднього тим, що як генератор PPP використано паяльну станцію гарячого повітря WELLER WMD-1s (продуктивність подання PPP — 10 л/хв з температурою 673 K) та пристрій тепловізійної аквізиції FLIR SC7600 (вимірювання виконано у 20 K - діапазоні температур). Для наочності ≤ 4 -градусний стрибок реєстрованого температурного поля (що виник внаслідок зміни товщини поверхневого шару) наведено у числовому поданні, що відповідає розподілу температур, який відзначено вздовж відтинка на IR-представленні (рис. 4, В. 3).

Висновок. Розроблено та апробовано в числовому симуляційному та експериментальному (на двох незалежних комплектах обладнання) модельних експериментах концепт-схему оцінювання рівня неоднорідності матеріалу шляхом аналізу теплового відгуку на вузькозонне теплове збудження. Моделювання можливості оцінки зонної дії потоку робочої речовини контрольованих енергетичних та топологічних параметрів на аналізоване покриття з метою визначення термодинамічних параметрів здійснено з використанням матеріалів із теплопровідними харак-

теристиками, близькими до характеристик реально експлуатованих матеріалів. Порівняння задовільного корелювання результатів сліду тепловізійного аналізу зони енерговпливу з топологічним розташуванням модельних неоднорідностей дає змогу прийняти рішення щодо сенсовності подальшого опрацювання методики оцінювання рівня неоднорідності матеріалу за допомогою застосування аналізу змін (внаслідок вузькозонного теплового збудження) теплофізичних властивостей композитного матеріалу.

Дослідження проведено відповідно до проекту "Сучасні технології матеріалів, використовуваних в авіаційно-космічній промисловості", № POIG.01.01.02-00-015/08-00 оперативної програми "Інноваційна економіка" (ОП). Проект фінансує спільно Європейський Союз через Європейський фонд регіонального розвитку.

1. Дьяченко С.С., Пономаренко И.В., Золотко В.А. Возможности получения наноструктуры в массивных изделиях и влияние наноструктурирования на их свойства // ФІП ФІП PSE. – 2009. – Т. 7, № 4. – С. 385 – 396. 2. Ісаєв К. Б. Теплофізичні характеристики композиційних матеріалів у широких діапазонах температур і швидкостей нагріву: автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.14.06 / К.Б. Ісаєв; Ін-т проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України – К., 2006. – 44 с. [Електронний ресурс] – Режим доступу до інформації: <http://www.lib.ua-ru.net/diss/cont/348815.html> - 2.03.2012. 3. Офіційний сайт COMSOL Multiphysics. [Електронний ресурс] – Режим доступу до інформації: <http://www.comsol.com/products/heat-transfer> – 02.06.2012.