

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Патоки Віктора Івановича «Дослідження параметрів випаровування тугоплавких металів та їх сплавів у надвисокому вакуумі», подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла

Тугоплавкі метали та їх сплави є перспективними конструкційними матеріалами для створення сучасних ефективних енергетичних систем, таких як термоемісійні перетворювачі теплової енергії на електричну та термоядерні реактори. Підвищення робочої температури цих конструкцій забезпечує зростання коефіцієнта корисної дії, але існує межа, за якою матеріали не тільки втрачають свою міцність, а й навіть первісну масу через явище сублімації. Тому експериментальне дослідження параметрів випаровування тугоплавких металів та їх сплавів, представлене в дисертаційній роботі В.І. Патоки, є **актуальним**. Дисертаційна робота проводилася за програмою основних напрямів наукових досліджень Інституту металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України в межах держбюджетних науково-дослідних тем НАН України та проекту УНТЦ.

Сформульовані в дисертації В. І. Патоки наукові положення та висновки є цілком **обґрунтованими**. Вони базуються на ретельному доборі сучасних методів дослідження, значному обсязі отриманих результатів експерименту і сумлінному їх аналізі. Висока **достовірність висновків**, сформульованих на підставі результатів роботи, обумовлена проведенням експериментів у надвисокому вакуумі (до  $10^{-11}$  торр), високою чутливістю і роздільною здатністю застосованих методів дослідження та несуперечливістю даних, отриманих різними методами. В роботі використано широкий набір експериментальної техніки: диференційний метод Ленгмюра (випаровування з відкритої поверхні); мікрогравіметрична методика; мас-спектрометрична методика; рентгеноструктурний аналіз та рентгеноспектральний мікроаналіз; метод позитронної спектроскопії. Комплексний підхід до застосування в рецензованій дисертації методичних засобів обумовлює **надійність** результатів.

**Новизна** результатів, наведених в дисертаційній роботі, визначається тим, що більшість з них одержана вперше або відтворює раніше відомі дані з більшою вірогідністю. Найбільш суттєвими результатами є такі:

- Вперше реалізовано методику одержання надійних експериментальних даних щодо параметрів сублімації тугоплавких перехідних металів та їх сплавів, яка поєднує умови надвисокого вакууму з екстремально високими температурами (до 3200°C).
- Отримано надійні дані щодо параметрів сублімації більшості тугоплавких металів та їх сплавів (W, Mo, Re, Ir, Os), а також Pt та Fe при різних ступенях їх чистоти. З точки зору наукової цінності особливо важливими є результати, отримані на монокристалічних зразках.
- Показано, що основний вплив на сублімаційні властивості досліджених в роботі кристалів тугоплавких металів чинять домішки вуглецю.
- Запропоновано оригінальну методику одночасного визначення дифузійної рухливості і швидкостей випаровування легуючих елементів сплавів.

Наукові положення і висновки дисертаційної роботи **повністю викладено** у 36 публікаціях, серед яких 3 препринти, 3 авторських свідоцтва і 18 статей у фахових виданнях, що реферуються (з них 5 входять до наукометричних баз даних Web of Science та/або Scopus). Матеріали дисертації пройшли серйозну апробацію на багатьох міжнародних та вітчизняних наукових конференціях і семінарах, на які було представлено 12 доповідей. Опубліковані наукові праці, що викладають матеріали дисертації, їх кількість, обсяг, рівень видання та особистий внесок здобувача безперечно відповідають вимогам, встановленим для присудження наукового ступеня. Зміст **автореферату** є ідентичним основним положенням дисертації.

Дисертаційна робота В.І. Патоки складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків і списку літератури. Матеріали дисертації викладено на 166 сторінках тексту з 39 рисунками і 26 таблицями. Бібліографія включає 161 найменування, серед яких 137 посилань на праці інших авторів. Дисертаційну роботу написано ясною, логічною мовою, оформлено згідно з вимогами ДАК.



У **вступі** обґрунтовано актуальність і мету дослідження, сформульовані задачі дисертаційної роботи, а також приведено у стислій формі основні наукові результати та їх практичне значення. **Перший розділ** містить критичний огляд сучасного стану знань про моделі та механізми випаровування, особливості кінетики фазових перетворень конденсат–пар; описано найбільш уживані методики експерименту. Наголошено на низькому рівні надійності більшості даних отриманих раніше в неналежних вакуумних умовах. У **другому розділі** подано опис застосованих в роботі експериментальних методів, оригінальної надвисоковакуумної камери і процедур приготування зразків. У **третьому і четвертому розділах** представлено результати вимірювання параметрів сублімації Mo, Re, Ir, Os і W при різних вмістах втілених домішок C, O, N, H. Виявлено, що найбільш небезпечною домішкою щодо зростання швидкості сублімації матриці є C. Аналізуються можливі механізми впливу цієї домішки на параметри сублімації матриці. У **п'ятому розділі** описано розроблений автором метод визначення констант випаровування і рухливості атомів заміщення і результати його застосування до системи Pt-Fe. У **останньому розділі «Основні результати та висновки»** підсумовані головні наукові результати роботи і надані практичні рекомендації щодо очищення тугоплавких металів від забруднень.

До роботи слід зробити такі **зауваження**:

1. Вимірювані параметри сублімації визначаються елементним складом поверхні досліджуваних зразків. Проте в рецензованій роботі наводяться дані про домішки, властиві об'єму.

2. Значення усіх фізичних величин слід було б наводити в єдиній системі одиниць, наприклад: вакуум – або в Па, або в торр (порівн. с.с. 6, 10 і 7, 9, 13 автореферату); теплоту сублімації – або в ккал/(г-атом), або в кДж/моль (порівн. с.с. 7, 13, 18 і 15 автореферату). Є порушення порядку нумерації рисунків у авторефераті: після рис. 17 наступні рисунки ідуть під №№ 20, 21.

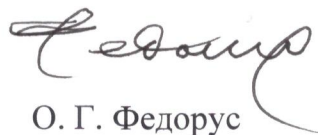
3. Є неточності у цитуванні деяких матеріалів. Так, на с. 25 приведено посилання [96] на *перший* опис методики знеуглецювання (1974 р.), проте рекомендацію щодо такої методики було опубліковано ще у 1961 р. [J. A. Becker, E. J. Becker, and R. G. Brandes, J.Appl.Phys. **32** (1961) 411-423].

В цілому розглядувана дисертаційна робота є **завершеним дослідженням з актуальної теми**, як з наукової, так і з практичної точок зору. Висловлені вище зауваження не знижують моєї високої оцінки цієї роботи, в якій отримано нові науково обґрунтовані результати, що в сукупності розкривають механізми впливу домішок на сублімаційні властивості тугоплавких металів, і **можуть бути використані** при конструюванні приладів сучасної енергетики.

На підставі викладеного вважаю, що рецензована робота В. І. Патоки «Дослідження параметрів випаровування тугоплавких металів та їх сплавів у надвисокому вакуумі» за своїм обсягом і методичним та науковим рівнем повністю відповідає вимогам МОН України, які встановлені для кандидатських дисертацій, а її автор заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла.

Офіційний опонент:

Провідний науковий співробітник  
Інституту фізики НАН України,  
доктор фізико-математичних наук

  
О. Г. Федорус

Підпис О. Г. Федоруса засвідчую:

Учений секретар  
Інституту фізики НАН України,  
кандидат фізико-математичних наук



 В. С. Манжара

14 грудня 2020 р.