

РЕФЕРАТ

наукової роботи

«Нелінійні механізми взаємодії і закономірності реакційного спікання дисперсно-зміцнених металевих сплавів»

на здобуття премії Президента України для молодих вчених 2021 року

Автор: Петраш Костянтин Миколайович, к.т.н., н.с.,
Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича
НАН України

Наукова робота присвячена комплексним теоретичним та експериментальним дослідженням закономірностей процесів сплавоутворення та формування властивостей металевих матеріалів при високоенергетичному реакційному спіканні, розуміння яких необхідне задля створення нового покоління жаростійких та жароміцних матеріалів аерокосмічної техніки для екстремальних умов експлуатації. Робота виконувалась в Інституті проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України у період 2013 -2020 рр.

Актуальність теми. Розвиток нових галузей техніки визначається, головним чином, досягненнями у сфері розробки нового покоління функціональних матеріалів. Зокрема, в області авіакосмічної техніки, особливо при створенні гіперзвукових літальних апаратів та космічних систем багаторазового використання, прогрес пов'язаний із розробкою нових жароміцних і жаростійких матеріалів. Для забезпечення більшої надійності теплозахисту таких систем в наш час намітилась тенденція розробки стільникових теплозахисних панелей із металевих сплавів. Найкращими їх представниками, як правило, є дисперсно-зміцнені сплави підвищеної пластичності. Іноземними фірмами Cabot, Inco, Fansteel, Sherritt-Gorden, Special Metals та ін. розроблено ряд таких сплавів, де основними зміцнювачами при високих температурах є оксиди рідкоземельних елементів (торію, лантану, ітрію та ін.). Переважна частина технологій отримання такого роду сплавів розроблена на основі механохімічного синтезу.

Однак, густина таких матеріалів є достатньо великою. Крім того, вони мають ряд недоліків, обумовлених технологічною спадковістю. Наприклад, тривале розмелювання, зазвичай, є причиною підвищеного вмісту домішок впровадження: вуглецю, азоту та кисню у вигляді оксидів. Вуглець в процесі спікання і термомеханічної обробки виділяється у вигляді карбідів по границям зерен, знижуючи цим пластичність матеріалу. Азот утворює нітриди, які, подібно карбідам, є причиною зниження пластичності сплаву. Оксиди, здебільшого хрому, що утворюються на поверхні частинок, перешкоджають дифузійній гомогенізації сплаву, що призводить до зниження його жаростійкості.

Тенденція до збільшення вмісту таких елементів, як алюміній, титан, цирконій та ін. при розробці закордонних дисперсно-зміцнених сплавів породжує інтерес до створення такого роду матеріалів методами реакційного спікання. Це дасть можливість відмовитися від процесу тривалого розмелювання і, відповідно, уникнути накопичення домішок впровадження, що в свою чергу дозволить збільшити вміст алюмінію при збереженні високої технологічної пластичності.

У випадку підвищеного вмісту реакційних компонентів, в першу чергу алюмінію і титану, виділяється велика кількість теплової енергії в процесі реакційного спікання за рахунок екзотермічних реакцій синтезу інтерметалідів. Це, в свою чергу, приводить як до прискорення процесів сплавоутворення, так і до негативних явищ типу теплового вибуху чи, відповідно, розуцільнення заготовки. Тому цілеспрямоване керування цими процесами є однією з важливих задач щодо досягнення активного ущільнення за рахунок теплової енергії, що виділяється при взаємодії.

Таким чином, основним завданням, що постає перед автором пропонованої роботи є теоретичне та експериментальне вивчення механізмів реакційної взаємодії для цілеспрямованого керування процесом спікання та розробка на цій основі дисперснозміцнених ніхромів з підвищеним вмістом алюмінію.

Метою роботи є встановлення закономірностей реакційного спікання металічних композицій з хімічно інертними добавками щодо основи та розробка жаростійких дисперсно-зміцнених ніхромів з покращеними властивостями.

Для досягнення даної мети в роботі вирішувались наукові завдання:

1. Теоретична розробка термокінетичних моделей та вивчення кінетики процесів реакційної взаємодії в системах Ni-Al і Ti-Al на основі синергетичного підходу за допомогою комп'ютерного експерименту;

2. Експериментальне вивчення термокінетики та механізмів реакційної взаємодії, ініційованих контактним плавленням компонентів в евтектичних і перитектичних системах Ni-Al, Ti-Al, Ni-Ti, Ni-Sn, Cu-Ti та Cu-Sn;

3. Дослідження макрокінетики реакційного спікання порошкових композицій на основі металічних систем Ni-Sn, Cu-Sn, Cu-Al, Ni-Al з інертними і взаємодіючими добавками: CaF_2 , Y_2O_3 , ZrO_2 і Si_3N_4 ;

4. Розробка керованої технології реакційного спікання жароміцних дисперсно-зміцнених сплавів на основі ніхромів, їх механічних і функціональних властивостей;

5. Визначення комплексу фізико-механічних та функціональних властивостей розроблюваних жаростійких та жароміцних дисперсно-зміцнених ніхромів.

6. Розробка технології термореакційної пайки деталей із розроблених дисперсно-зміцнених ніхромів з метою виготовлення конструкцій кромки повітрязабірника гіперзвукового літака.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Вперше проведено моделювання процесу реакційної взаємодії в системах Ni-Al, як основній реакційній складовій розроблюваних жаростійких ніхромів, і Ti-Al, як перспективного припою для них, з урахуванням впливу температурної залежності рівноважної концентрації тугоплавкого компонента в перитектичній рідині на характер термокінетичної траєкторії. Встановлено діапазони значень керуючих параметрів (констант швидкостей процесів, температур ініціювання реакції і зовнішнього середовища), що визначають ту чи іншу термокінетичну траєкторію. Показано області існування термокінетичних коливань, режимів експоненціального росту температури, а також інших видів термокінетичного розвитку процесу. З'ясовано вплив температур ініціювання процесу та зовнішнього середовища, констант швидкостей процесів на теплову поведінку зазначених реакційних систем.

2. Вперше експериментально встановлено колективну природу взаємодії в порошкових реагуючих системах Ni-Al, Ti-Al, Ni-Ti, Ni-Sn, Cu-Ti, Cu-Sn за результатами дослідження термокінетики реакційних процесів, ініційованих контактним плавленням. Виявлено два механізми синтезу інтерметалідів у вказаних вище реакційних системах, один з яких – це саморозповсюджувальний рух фронту реакції, а інший – детонаційний механізм, за якого відбувається одночасно екзотермічний спалах у всьому об'ємі зразка.

3. Вперше експериментально підтверджено автоколивальні зміни температури в області твердорідкого стану досліджених у роботі систем. Також зафіксовано асинхронні зміни температури за довжиною зразків, починаючи від поверхні нагріву, що свідчить про хвильове поширення тепла. Розкрито, що поведінка реакційної системи може бути незалежною в різних локальних об'ємах порошкових заготовок, коли термокінетичні траєкторії в них суттєво різняться за своїм характером.

4. Вперше встановлено, що введення певної кількості хімічно інертних добавок Y_2O_3 , CaF_2 , ZrO_2 локалізує реакційні процеси, які є причиною появи пор великого розміру. А дрібні пори (вакансії), утворені за рахунок уніполярної дифузії, беруть участь у масопереносі і роблять можливим протікання процесу спікання на пізніх стадіях.

Практичне значення отриманих результатів

Розроблено технологію реакційного спікання порошкових пресовок дисперсно-зміцнених нікелевих сплавів та отримано, на основі неї, нові жаростійкі сплави ніхрому Ni-20Cr з вмістом алюмінію до 6 % і оксиду ітрію (Y_2O_3) до 1,5 %.

Відпрацьовано режими прокатки масивних заготовок товщиною близько 40 мм.

Розроблено склади припоїв та відпрацьовано технологію терморекційного паяння одержаних дисперсно-зміцнених ніхромів, яку успішно застосовано при пайці складових частин макету кромки повітрозбірника гіперзвукового літака.

Властивості отриманих матеріалів та виготовлених з них деталей забезпечують в комплексі працездатність теплозахисних конструкцій

багаторазових космічних систем і гіперзвукових літальних апаратів при аеродинамічному нагріві до 1200 °С.

Результати досліджень застосовуються на ДП «КБ «Південне» при створенні перспективних конструкцій і виробів ракетно-космічної техніки, які працюють в умовах аеродинамічного нагріву в середовищі повітря за максимальних температур до 1200 °С (Акт впровадження наукових та практичних результатів від 25 травня 2017 р.).

Одержані результати мають важливе практичне значення для реалізації та розвитку в Україні науково-технічної бази по створенню нового покоління жаростійких та жароміцних матеріалів для екстремальних умов експлуатації. А це, в свою чергу, сприятиме прогресу в розробці та виробництві нових більш швидких та надійних багаторазових гіперзвукових літальних апаратів авіакосмічної техніки.

Кількість наукових публікацій за результатами досліджень по роботі «Нелінійні механізми взаємодії і закономірності реакційного спікання дисперсно-зміцнених металевих сплавів» складає 19 статей у вітчизняних та міжнародних фахових журналах, зокрема дві з яких в закордонних журналах з ненульовим імпаکت-фактором, що містяться в базі даних Scopus, і 19 тез доповідей на конференціях, 1 патент на корисну модель та 1 акт впровадження на ДП «КБ «Південне». Загальна кількість посилань на роботи автора складає: 16 (згідно бази даних Google Scholar, h-індекс – 2), 1 (згідно бази даних Scopus, h-індекс – 1) та 0 (згідно бази даних Web of Science, h-індекс – 0). Загальна кількість публікацій автора - 39.

Автор:

к.т.н., н.с. Петраш К.М.

**Перелік публікацій, що входять до наукової роботи
«Нелінійні механізми взаємодії і закономірності реакційного спікання дисперсно-
зміцнених металевих сплавів»**

Статті

1. **Petrash K.M.** The Role of Heat Transfer by Radiation in High-Temperature Reaction Synthesis of NiAl Intermetallide/ **K.M Petrash**, V.V Skorokhod, V.P Solntsev, T.O Solntseva // Powder Metallurgy and Metal Ceramics 56 (7-8), 393-398
2. Solntsev V.P. Development of a Precipitation-Hardened Nichrome Powder Alloy and Technique for Fabricating a Prototype Metallic Thermal Protection Structure / V/P Solntsev, I/A Husarova, G/A Frolov, T.O Solntseva, **K.M Petrash**, V.A Nazarenko, A.M Potapov, A.F Salenko, I.I Derevyanko, T.A Manko // Powder Metallurgy and Metal Ceramics 57 (11-12), 640-646
3. Solntsev V. Development of rolling modes for samples made from nichrome powder alloy and their testing at operating temperatures [Текст] / V.Solntsev, G.Frolov, L.Kravchuk, V.Nazarenko, I.Bilan, **K.Petrash**, I.Husarova, F.Potapov // International scientific journal “Machines. Technologies material”. – Sofia. – 2017. – p. 254-257.
4. Солнцев В.П. Термокинетика начальной стадии контактного плавления в перитектических системах с химическим соединением [Текст] / В.П. Солнцев, В.В. Скороход, **К.Н. Петраш**, А.М. Шахновский // Современные проблемы физического материаловедения. Труды Института проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины. Серия «Физико-химические основы технологии порошковых материалов», вып.22. – Киев. – 2013. – С. 181-185.
5. Солнцев В.П. Коллективные механизмы и влияние температуры иницирования и внешней среды при СВС на термокинетическое поведение реакционной системы [Текст] / В.П. Солнцев, В.В. Скороход, **К.Н. Петраш**, // Современные проблемы физического материаловедения. Труды Института проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины. Серия «Физико-химические основы технологии порошковых материалов», вып.23 Киев. – 2014. – С. 155-159.
6. Солнцев В.П. Термокинетика реакционных процессов, иницированных контактным плавлением в порошковых металлических смесях на основе никеля с алюминием [Текст] / В.П. Солнцев, В.В. Скороход, **К.Н. Петраш**, Т.А. Солнцева // Сборник научных трудов «Адгезия расплавов и пайка материалов», вып.47. – Киев. – 2014. – С. 25-34.
7. **Петраш К.Н.** Термокинетика процессов взаимодействия в системе титан-алюминий вблизи температур скрытого максимума [Текст] / **К.Н. Петраш**, В.П. Солнцев, В.В. Скороход // Математические модели и вычислительный эксперимент в материаловедении: Труды Института проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины, вып.17. – Киев. – 2015. – С. 96-102.
8. **Петраш К.Н.** Анализ возможных вариантов развития термокинетики процессов взаимодействия в системе титан-алюминий при динамическом изменении концентрации растворителя [Текст] / **К.Н. Петраш**, В.П. Солнцев, В.В. Скороход, Т.А. Солнцева // Математические модели и вычислительный эксперимент в материаловедении: Труды Института проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины, 2016.- вып. 18. – Киев. – 2016. – С. 17-22.
9. Солнцев В.П. Разработка жаропрочного сплава на основе ниобия для тепловой защиты изделий ракетно-космической техники [Текст] / В.П. Солнцев, В.В. Скороход, Г.А. Фролов, **К.Н. Петраш**, Т.А. Солнцева, А.М. Потапов, И.А. Гусарова // Вестник двигателестроения, № 2. – Запорожье. – 2016. – С. 198-205.
10. **Петраш К.Н.** Теоретическое исследование влияния величины константы скорости реакции образования интерметаллидов на термокинетическое поведение реакционной порошковой системы Ti-Al [Текст] / **К.Н. Петраш**, В.П. Солнцев, Т.А. Солнцева // Современные проблемы физического материаловедения. Труды Института проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины. Серия «Физико-химические основы технологии порошковых материалов», вып.25. – Киев. – 2016. – С. 98-104.
11. Гусарова І.О. Металеві матеріали для екстремальних умов експлуатації жаростійких конструкцій багаторазових літальних апаратів [Текст] / І.О.Гусарова, О.М.Потапов,

В.П.Солнцев, Г.О.Фролов, **К.М. Петраш**, Т.А.Манько // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки», випуск № 58.–Луцьк. – 2017. –С.104-111.

12. Гусарова И.А. Разработка порошкового сплава на основе никрома и технологии изготовления жаростойких конструкций возвращаемых аэрокосмических аппаратов [Текст] / И.А. Гусарова, А.М. Потапов, В.П. Солнцев, Т.А. Солнцева, **К.Н. Петраш**, В.А. Назаренко, Г.А. Фролов, Т.А. Манько // Вестник Двигателестроения. – Запорожье. – 2017. – С. 158-163.

13. **Петраш К.Н.** Моделирование термокинетики синтеза интерметаллидов в реакционной системе Ti-Al при переносе тепла за счет теплопроводности и излучения [Текст] / **К.Н. Петраш**, В.П. Солнцев, Т.А. Солнцева // Математические модели и вычислительный эксперимент в материаловедении: Труды Института проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины, - вып. 19. – Киев. – 2017. – С. 111-119.

14. **Петраш К.Н.** Влияние характера переноса тепла на термокинетические траектории процес сов синтеза интерметаллидов NiAl₃ и Ni₃Al [Текст] / **К.Н. Петраш**, В.П. Солнцев, Т.А. Солнцева // Математические модели и вычислительный эксперимент в материаловедении: Труды Института проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины, - вып. 20. – Киев. – 2018. – С. 110-114.

15. Солнцев В. П. Математичне моделювання необоротного процесу термічного розкладу CrO₃ в суміші з хромом в атмосфері повітря [Текст] / В.П. Солнцев, А. М. Шахновський, А. В. Хаметова, **К.М. Петраш** // Математические модели и вычислительный эксперимент в материаловедении: Труды Института проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины, - вып. 20. – Киев. – 2018. – С. 23-27.

16. Shakhnovsky A. M. ON JUSTIFICATION OF CHOICE OF NUMERICAL METHODS IN MODELLING THE PROCESS OF THERMAL DECOMPOSITION OF CHROME TRIOXIDE MIXED WITH CHROME / Shakhnovsky A. M., Solntsev V. P., **Petrash K. M.**, Terekh T. Yu. // Збірник наукових статей сьомої міжнародної науково-практичної конференції «Комп'ютерне моделювання в хімії та технологіях і системах сталого розвитку». – Київ-2019. – С. 53-57.

17. Шахновський А. М. ОСОБЛИВОСТІ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТЕРМОКІНЕТИКИ ОКИСНЕННЯ НІКЕЛЮ / Шахновський А. М. , Солнцев В. П., Тесенчук А. О., **Петраш К. М.** // Збірник наукових статей сьомої міжнародної науково-практичної конференції «Комп'ютерне моделювання в хімії та технологіях і системах сталого розвитку». – Київ-2019. – С. 217-221

18. Шахновський А. М. МАКРОКІНЕТИКА ОКИСНЕННЯ ПОРИСТОГО КОБАЛЬТА ТА МОДЕЛЮВАННЯ ЦЬОГО ПРОЦЕСУ В НЕІЗОТЕРМІЧНИХ УМОВАХ / Шахновський А. М., Солнцев В. П., Яновець Н. О., **Петраш К. М.** // Збірник наукових статей сьомої міжнародної науково-практичної конференції «Комп'ютерне моделювання в хімії та технологіях і системах сталого розвитку». – Київ-2019. – С. 221-225.

19. Solntsev V. P. SIMULATION OF THERMOKINETICS OF THE REACTIVE SINTERING PROCESS IN A POWDER NICKEL - ALUMINUM MIXTURE / V. P. Solntsev, **Petrash K. M.**, A. M. Shakhnovsky, T. Yu. Terekh // Збірник наукових статей восьмої міжнародної науково-практичної конференції «Комп'ютерне моделювання в хімії та технологіях і системах сталого розвитку». – Київ-2020. – С. 126-132.

Матеріали конференцій

1. Солнцев В.П. Моделирование термокинетических процессов инициированных контактным плавлением и растворением твердого компонента в жидком расплаве в перитектических системах с химическим соединением [Текст] / В.П. Солнцев, **К.Н. Петраш**, А.М. Шахновский // Матеріали Другої Міжнародної науково-технічної конференції «Обчислювальний інтелект (ОІ-2013)». – Черкаси. – 2013. – С. 424-425.

2. Солнцев В.П. К моделированию процессов контактного плавления в перитектических системах с химическим соединением [Текст] / В.П. Солнцев, **К.Н. Петраш**, А.М. Шахновский // Збірка тез доповідей V Міжнародної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених з хімії та хімічної технології. – Київ. – 2014. – С. 219.

3. Солнцев В.П. Особенности реакционного спекания композиций, содержащих тугоплавкий инертный компонент [Текст] / В.П. Солнцев, В.В. Скороход, **К.Н. Петраш**, Т.А. Солнцева // Тр. IV Межд. конф. «Материаловедение тугоплавких соединений». – Киев. – 2014. – С. 38.

4. Солнцев В.П. Исследование термокинетики синтеза интерметаллидов на основе методов вычислительного эксперимента [Текст] / В.П. Солнцев, В.В. Скороход, **К.Н. Петраш**, А.М. Шахновский // Комп'ютерне моделювання в хімії, технологіях і системах сталого розвитку – КМХТ-2014. – Киев. – 2014. – С. 172-177.

5. **Петраш К.Н.** Компьютерное моделирование термокинетического поведения реакционной системы в случае нелинейной аппроксимирующей функции в зависимости от растворения тугоплавкого компонента в расплаве [Текст] / К.Н. Петраш, В.П. Солнцев // Матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Хімія та сучасні технології», тези доповідей, Т.1. – Дніпропетровськ. – 2015. – С. 99-100.

6. Солнцев В.П. Теоретические и экспериментальные исследования термокинетики синтеза интерметаллидов [Текст] / В.П. Солнцев, **К.Н. Петраш**, Т.А. Солнцева, В.В. Скороход // Матеріали XIV Всеукраїнської науково-практичної конференції «Спеціальна металургія: вчора, сьогодні, завтра». – Київ. – 2016. – С. 926-932.

7. **Петраш К.Н.** Компьютерное моделирование особенностей протекания процессов контактного плавления в перитектических системах с химическим соединением [Текст] / К.Н. Петраш, В.П. Солнцев // Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції “Обчислювальний інтелект”. – Черкаси. – 2015. – С. 322-323.

8. Солнцев В.П. Термокинетика реакционных процессов, инициированных контактным плавлением в порошковых металлических смесях на основе меди с титаном при наличии несмачиваемой добавки [Текст] / В.П. Солнцев, В.В. Скороход, **К.Н. Петраш** // Матеріали V міжнародної наукової конференції «Матеріали для роботи в екстремальних умовах». – Київ. – 2015. – С. 73-76.

9. Солнцев В.П. Получение дисперсноупрочненных нихромов и особенности их термомеханической обработки [Текст] / В. П. Солнцев, В.А. Назаренко, **К.Н. Петраш**, Г.А. Фролов, Т.А. Солнцева, В.С. Воропаев, А.Д. Костенко, И.А. Гусарова, А.М. Потапов // Матеріали 6-й международной конференции «Космические технологии: настоящее и будущее». – Днепр. – 2017. – С. 78.

10. Husarova I. Dispersion reinforced alloys for operation under extreme conditions of high temperature plasma [Текст] / I. Husarova, V. Solntsev, A. Potapov, T. Solntseva, **К. Petrash**, G. Frolov // JRC conference and workshop reports “Materials resistant to extreme conditions for future energy systems”. – Kyiv. – 2017. – p. 60.

11. **Петраш К.Н.** Синергетическая модель синтеза интерметаллидов и влияние характера переноса тепла на термокинетическую траекторию процесса [Текст] / **К.Н. Петраш**, В.П. Солнцев, Т.А. Солнцева // Матеріали XI Міжнародної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Перспективні технології на основі новітніх фізико-матеріалознавчих досліджень та комп'ютерного конструювання матеріалів». – Київ. – 2018. – С. 259-261.

12. **Петраш К.М.** Прикладні застосування інтелектуальних обчислень у вивченні реакційних процесів синтезу інтерметалідів в рамках синергетичного підходу [Текст] / **К.М. Петраш**, **В.П. Солнцев**, Т.О. Солнцева // Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції «Обчислювальний інтелект». – Ужгород. – 2019. – С. 263-264.

13. Solntsev V.P. Dispersion Strengthened by the Yttrium Nanoxide Nickel Alloys, Technology Features and Properties [Текст] / V.P Solntsev., V.A. Nazarenko, T.O. Solntseva, **К.М. Petrash**, Y.F. Lugovskoi, M.P. Brodnikovskiy, M.V. Minakov // Матеріали конференції «Функціональні матеріали для інноваційної енергетики». – Київ. – 2019. – с. 90.

14. **Petrash K.** Modern trends in the development of heat resistant nickel alloys and technologies of manufacturing of heat-protective structures for shuttlecrafts [Текст] / **К. Petrash**, V. Solntsev, M. Shtern, T. Solntseva, V. Nazarenko, M. Brodnikovskyy, Y. Lugovskoi // 7th International conference “Space technologies: present and future”. – Dnipro. – 2019. – p. 168.

15. **A.Teshenchuk** HIGH TEMPERATURE OXIDATION OF POROUS NICKEL AND SIMULATION OF THE MECHANISMS OF IRREVERSIBLE PROCESSES OF ITS COMBUSTION IN THE ATMOSPHERE [Текст] / **A.Teshenchuk, V.Solntsev, A.Shakhnovsky, K.Petrash** // 7th International conference “Space technologies: present and future”. – Dnipro. – 2019. – p. 174.

16. Солнцев В.П. Особенности неравновесных процессов при реакционном спекании и их значение в повышении пластичности и других свойств порошковых материалов [Текст] / В.П. Солнцев, В.В. Скороход, Т.А. Солнцева, **К.Н. Петраш** // Межд. Науч. чтения им. чл.-корр. РАН И.А.Одинга «Механические свойства современных конструкционных материалов». – Москва. – 2014. – С. 273-274.

17. Солнцев В.П. О синергетическом механизме теплового взрыва при синтезе интерметаллидов [Текст] / В.П. Солнцев, А.М. Шахновский, **К.Н. Петраш**, В.В. Скороход // Труды XXVII международной научной конференции «Математические методы в технике и технологиях». – Саратов. – 2014. – С. 31-32.

18. Солнцев В.П. Особенности термомеханической обработки дисперсноупрочненных нихромов и их свойства [Текст] / В.П. Солнцев, В.В. Скороход, В.А. Назаренко, **К.Н. Петраш**, Н.П. Бродниковский, Ю.Ф. Луговской, Т.А. Солнцева // Международные Научные чтения им. чл.-корр. РАН И.А. Одинга «Механические свойства современных конструкционных материалов». – Москва. – 2016. – С. 119.

19. Solntsev V.P. Current trends in creating a new generation of heat-resistant metal powder materials for thermal protection of reusable space [Текст] / V.P. Solntsev; V.V. Skorokhod; G.A. Frolov; **K.N. Petrash**, T.A. Solntseva; A.M. Potapov; I.A. Gusarova // Advanced composite materials: production, testing, applications | EMRS. – Warsaw. – 2016. – p. 47.

Патенти

33. Патент на корисну модель № 115259 Україна, МПК C22C 19/05. Спосіб одержання жаростійкого сплаву / В.П. Солнцев, В.В. Скороход, Т.О. Солнцева, **К.М. Петраш**, Г.О. Фролов, І.О. Гусарова, О.М. Потапов, Ю.М. Литвиненко, заявник і патентовласник Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України - № u201610602; заявлено 20.10.2016; опубл. 10.04.2017, Бюл.№ 7.

Данні про цитування праць виконавця, які ввійшли до представленої роботи
«Нелінійні механізми взаємодії і закономірності реакційного спікання дисперсно-зміцнених металевих сплавів»

Автор: Петраш Костянтин Миколайович, к.т.н., н.с., Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України

№ п.п.	Назва статті (монографії), автори, назва видання, рік, том, сторінка або DOI	Web of Science	Scopus	Google Scholar
1	Development of rolling modes for samples made from nichrome powder alloy and their testing at operating temperatures [Текст] / V.Solntsev, G.Frolov, L.Kravchuk, V.Nazarenko, I.Bilan, K.Petrash , I.Husarova, F.Potapov // Internation scientific journal "Machines. Technologies material". – Sofia. – 2017. – p. 254-257.			5
2	Features of Reacting sintering of compositions containing refractory inert components /VP Solntsev, VV Skorokhod, KN Petrash, TA Solntseva //Материаловедение тугоплавких соединений: сб. наук. тр. IV Межд. конф., К. 2014/ - С. 37.			3
3	О синергетическом механизме теплового взрыва при синтезе интерметаллидов [Текст] / В.П. Солнцев, А.М. Шахновский, К.Н. Петраш , В.В. Скороход // Труды XXVII международной научной конференции «Математические методы в технике и технологиях». – Саратов. – 2014. – С. 31-32.			2
4	Термокинетика реакционных процессов, инициированных контактным плавлением в порошковых металлических смесях на основе никеля с алюминием [Текст] / В.П. Солнцев, В.В. Скороход, К.Н. Петраш , Т.А. Солнцева // Сборник научных трудов «Адгезия расплавов и пайка материалов», вып.47. – Киев. – 2014. – С. 25-34.			2
5	Thermokinetics of primary phase of contact melting in peritectic systems with chemical combination / VP Solntsev, VV Skorohod, K.M Petrash , AM Shahnovkyu //Modern problems of material physics, 181-185			2
6	ON JUSTIFICATION OF CHOICE OF NUMERICAL METHODS IN MODELLING THE PROCESS OF THERMAL DECOMPOSITION OF CHROME TRIOXIDE MIXED WITH CHROME / Shakhnovsky A. M., Solntsev V. P., Petrash K. M. , Terekh T. Yu. // Збірник наукових статей сьомої міжнародної науково-практичної конференції «Комп'ютерне моделювання в хімії та технологіях і системах сталого розвитку». – Київ-2019. – С. 53-57.			1
7	Development of a Precipitation-Hardened Nichrome Powder Alloy and Technique for Fabricating a Prototype Metallic Thermal Protection Structure / V/P Solntsev, I/A Husarova, G/A Frolov, T.O Solntseva, K.M Petrash , V.A Nazarenko, A.M Potapov, A.F Salenko, I.I Derevyanko, T.A Manko // Powder Metallurgy and Metal Ceramics 57 (11-12), 640-646		1	1

Загальна кількість цитувань		0	1	16
h-індекс робіт		0	1	2