Робота для подачі на премію Президента України молодим ученим у 2021 р.

НЕЛІНІЙНІ МЕХАНІЗМИ ВЗАЄМОДІЇ ТА ЗАКОНОМІРНОСТІ РЕАКЦІЙНОГО СПІКАННЯ ДИСПЕРСНО-ЗМІЦНЕНИХ МЕТАЛЕВИХ СПЛАВІВ

ПЕТРАШ КОСТЯНТИН МИКОЛАЙОВИЧ

к.т.н., н.с. відділу № 18

КИЇВ 2021

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.

Мета і напрямки роботи

Мета – встановлення закономірностей реакційного спікання металічних композицій з хімічно інертними добавками щодо основи та розробка жаростійких дисперсно-зміцнених ніхромів.

Напрямки роботи

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 ніхрому, їх механічних і функціональних властивостей;

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

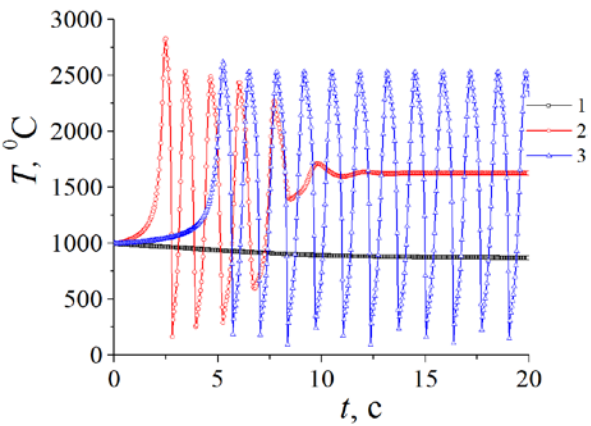
6. Розробка технології термореакційної пайки деталей із розроблених дисперсно-зміцнених ніхромів з метою виготовлення обємних і великогабаритних виробів типу кромки повітрозабірника гіперзвукового літака.

Об'єкт і предмет досліджень

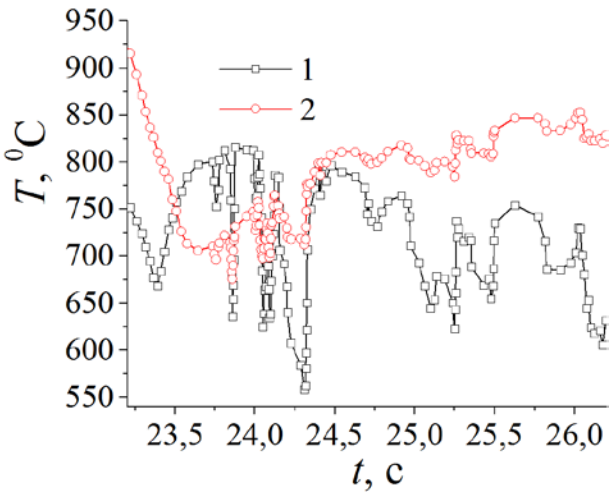
Предмет дослідження – реакційні порошкові композиції і матеріали на основі ніхромів, які дисперсно-зміцнені оксидом ітрію з підвищеним вмістом алюмінію та їх фізико-механічні і функціональні властивості.

Об'єкт дослідження – закономірності термокінетики реакційних процесів в порошкових реагуючих системах, механізми взаємодії і реакційного спікання з компонентами різної фізико-хімічної природи.

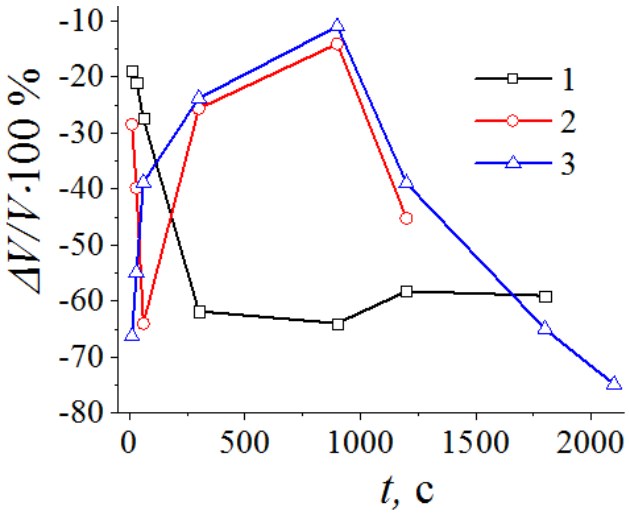
Приклади закономірностей



Теоретичні термокінетичні(Ti-Al)



Експериментальні термокінетичні (Ti-40Al)



Механізми усадки (Ni-67.5%Sn) + 5% об. CaF_2

Практичне значення одержаних результатів

Розроблено, технологію реакційного спікання порошкових пресовок жаростійких дисперсно-зміцнених сплавів ніхрому Ni-20Cr з вмістом алюмінію до 6 % і оксиду ітрію (Y_2O_3) до 1,5 %.

Відпрацьовано режими прокатки масивних заготовок.

Розроблено склади припоїв та відпрацьовано технологію термореакційної пайки для товстих заготовок, при виробництві макету повітрозбірника гіперзвукового літака.

Виготовлено макети повітрозабірника і теплозахисної стільникової панелі.

Властивості отриманих матеріалів в комплексі забезпечують працездатність теплозахисних конструкцій багаторазових космічних систем при аеродинамічному нагріві до 1200 ^{0}С.

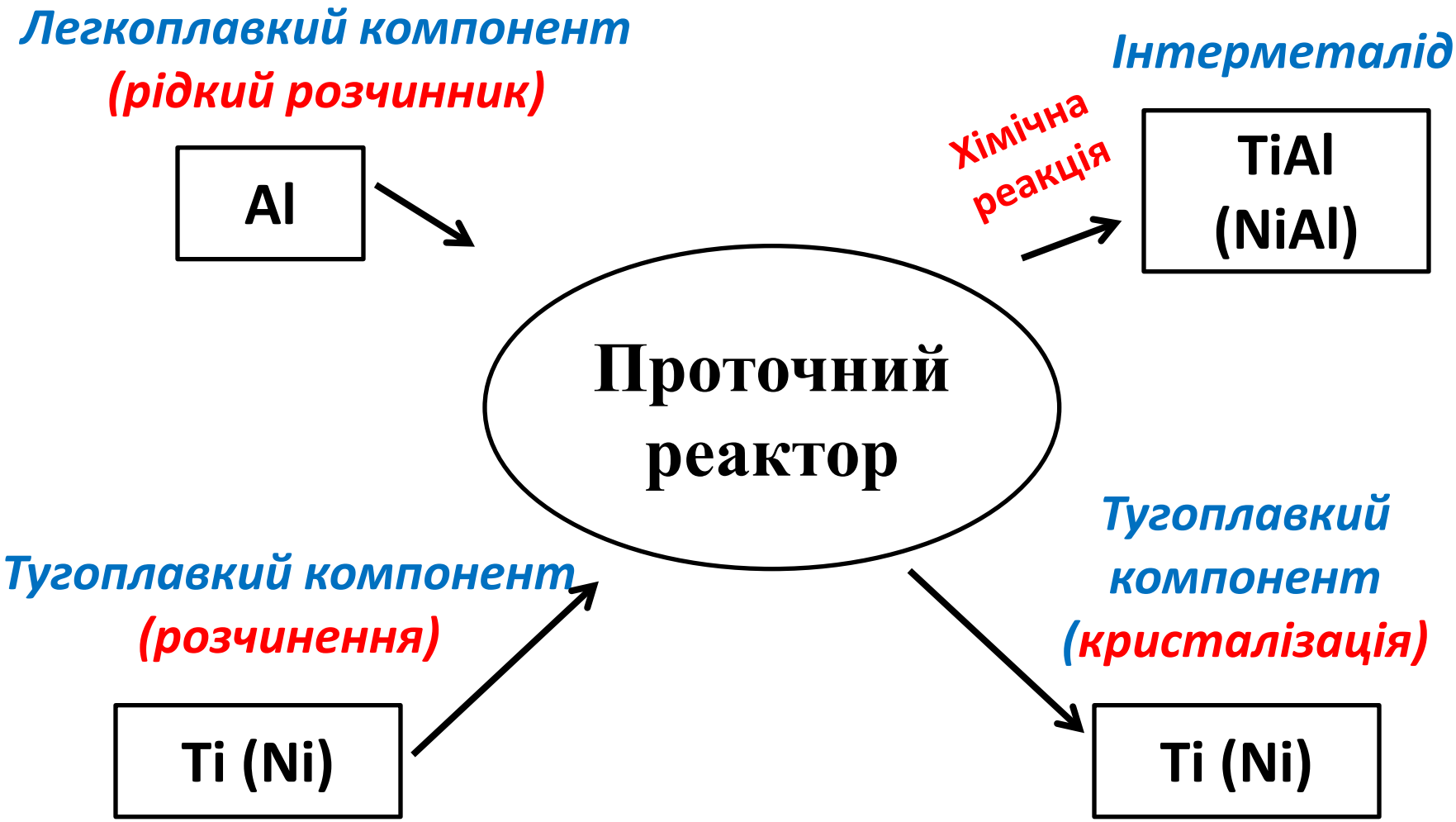
(Акт впровадження наукових та практичних результатів на ДП «КБ «Південне» від 25 травня 2017 р.).

Моделювання процесу

Ni, Al – реакційні компоненти розроблюваних ніхромів

Ti-Al – перспективні реакційні складові припоїв

Схематичне представлення процесу



Моделювання процесу

Термокінетична модель процесу

	Розчинення	Хімічна реакція	Криста-лізація	Тепло-провід-ність	Теплове випромі-нювання
$\frac{dX}{dt} =$	$k_1(a - X)$ $-$	$k_2 e^{\frac{-E}{RT}} X^m (1 - X)^n$ $-$	$k_3 \frac{X}{T}$		
$C\frac{dT}{dt} =$	$-k_1(a - X)h$ $+$	$k_2 e^{\frac{-E}{RT}} X^m (1 - X)^n H$ $+$	$k_3 \frac{X}{T} h$ $-$	$l(T - T_a)$ $-$	$\varepsilon\sigma T^4 + \varepsilon\sigma T_a^4$

X – концентрація компонента (**Ni** або **Ti**), що розчиняється в рідкому розплаві **Al**;

a(T) – рівноважна концентрація тугоплавкого компонента в розплаві;

h – ентальпія розчинення твердого компонента в розплаві;

H – ентальпія реакції синтезу;

C – теплоємність;

l – коефіцієнт теплопередачі;

k_1, k_2 , k_3– константи швидкостей розчинення, реакції синтезу і кристалізації;;

T - температура;

T_a – температура оточуючого середовища;

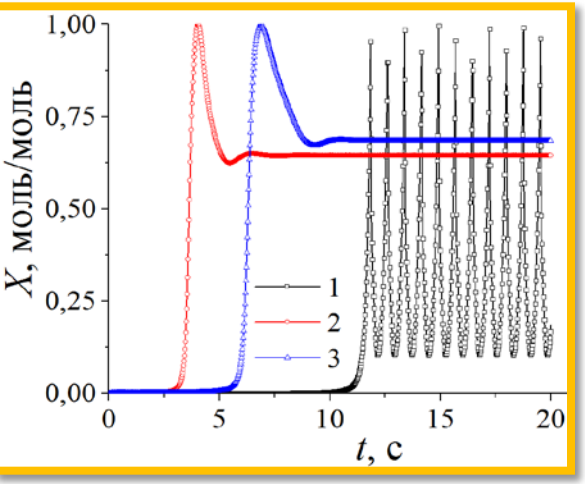
m, n – індекси при тугоплавкому і легкоплавкому елементах в утворюваному інтерметаліді;

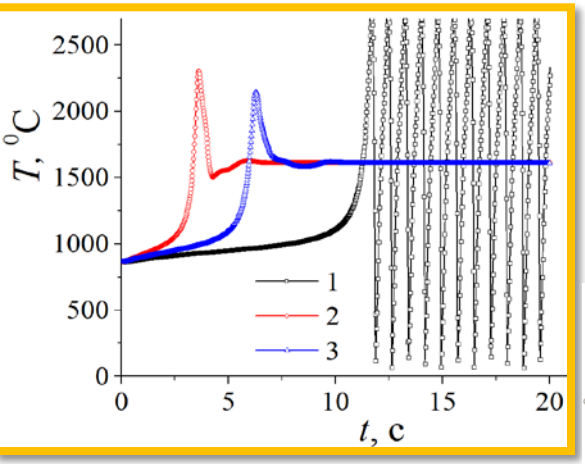
ε – степінь чорноти;

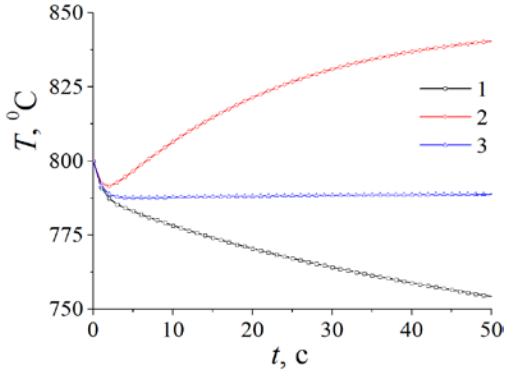
σ = $5{,}67\times10^{-18}$ Вт/(м^2*К^4) - постійна Стефана-Больцмана.

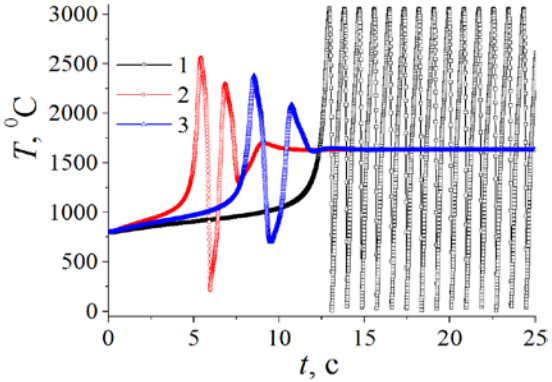
Моделювання процесу (система Ti-Al)

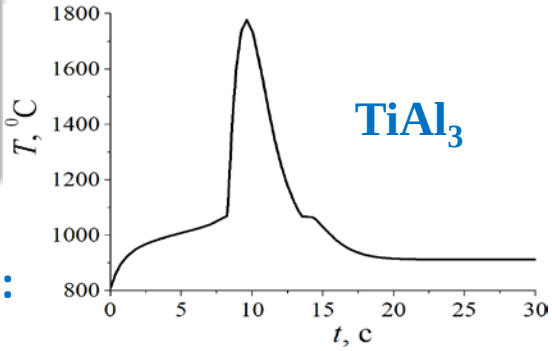
Термокінетичні залежності, отримані за моделями для системи Ti-Al







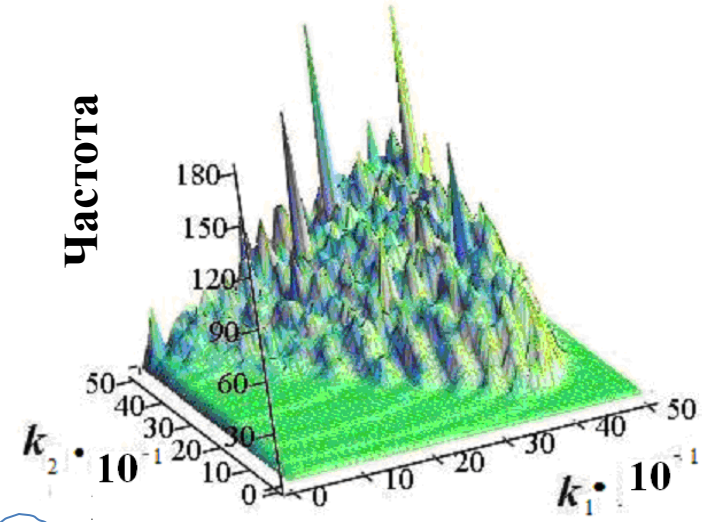




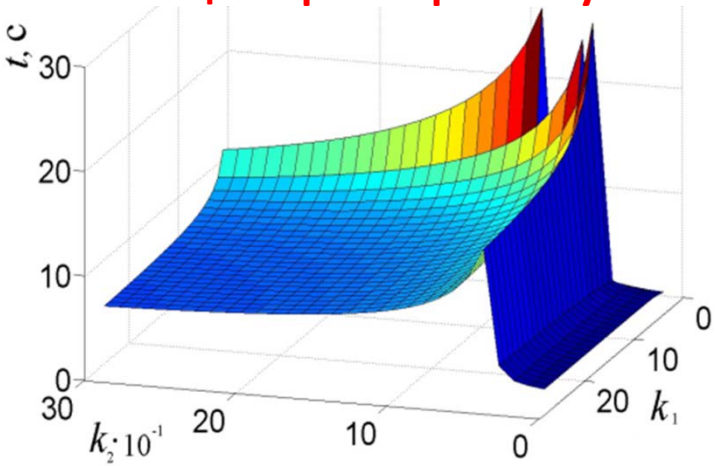
Інтерметалід, що синтезується в системі **Ti-Al:**

1 – TiAl; 2 – $TiAl_3$; 3 – Ti_3Al

Поверхня відображення частоти термокінетичних коливань

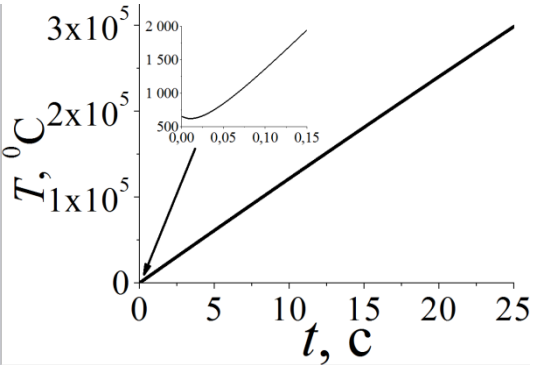


Поверхня часу встановлення стаціонарного режиму

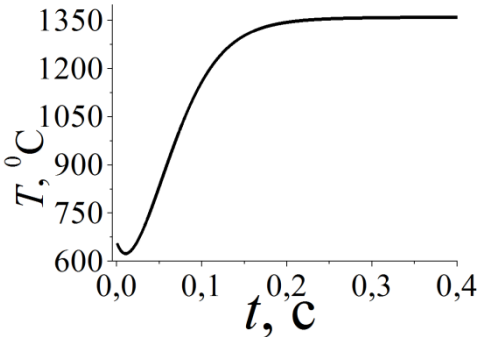


Моделювання процесу (система Ni-Al)

Теоретичні модельні термокінетичні залежності для реакційної системи Ni-Al

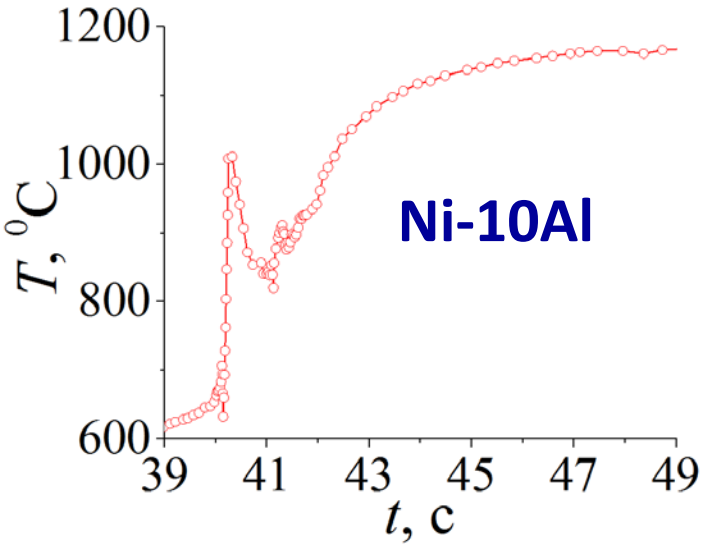


Без випромінювання

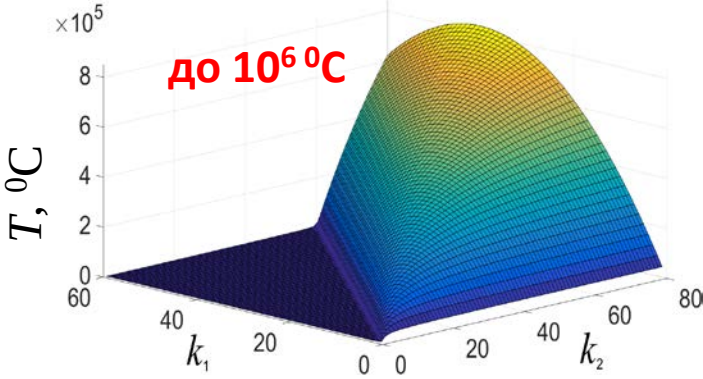


З випромінюванням

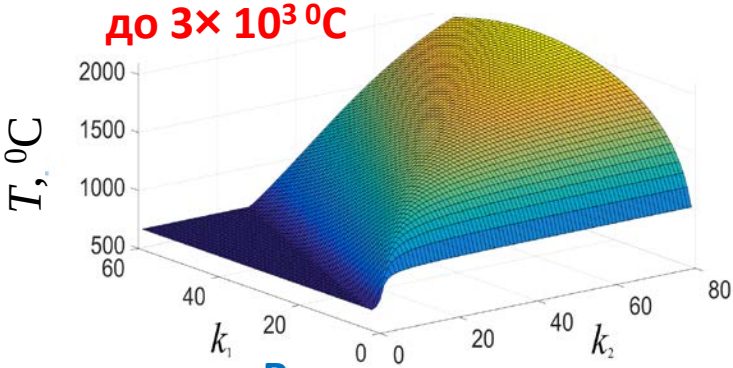
Експериментальна термокінетична залежність для реакційної системи Ni-10Al



Можливі значення максимальних температур в системі Ni-Al

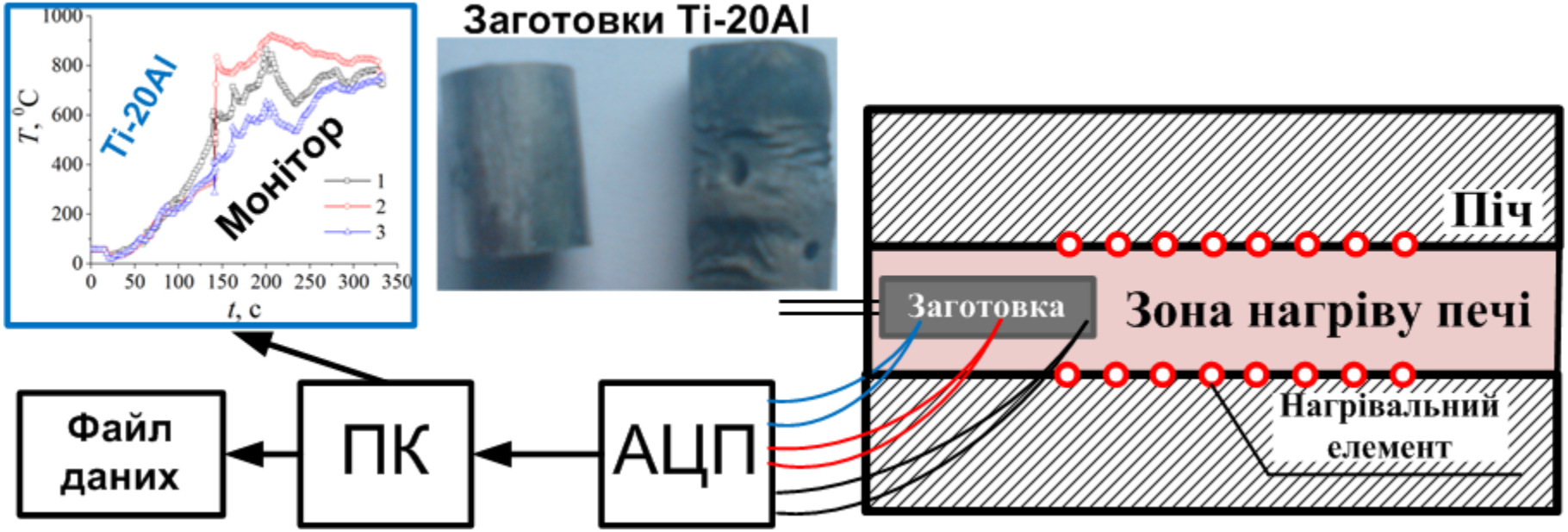


Не враховано теплове випромінювання



Враховано теплове випромінювання

Схема експериментів з вивчення термокінетики



Зразок в тримачі

Експериментальні дослідження

Вивчення термокінетики реакційного спікання

Представлено **результати дослідження експериментальної термокінетики**, що спостерігається при спіканні:

1) Порошкових реакційних складових розроблюваного сплаву за різних співвідношень компонентів

Ni-Al (Ni-10Al, Ni-17Al, Ni-33Al, Ni-42Al, Ni-47Al, Ni-65Al);

2) Реакційних систем, що розглядалися як перспективні для термореакційної пайки розроблюваних ніхромів

Ti-Al (Ti-20Al, Ti-40Al, Ti-62,7Al, Ti-75Al);

Ni-Ti (Ni-15Ti, Ni-85Ti);

Ni-Sn (Ni-20Sn, Ni-40Sn, Ni-67,5Sn);

Cu-Ti (Cu-15Ti);

Cu-Sn (Cu-15Sn).

Вивчення макрокінетики реакційного спікання

Представлено **результати вивчення закономірностей спікання** за різних температур, тривалості спікання і пористості сирих пресовок:

чистих подвійних реакційних систем

Ni-(20%, 25%, 36%, 50%, 67,5%, 75%, 80%)**Sn**, **Cu**-10%**Sn**, **Cu**-(20%, 30%, 85%)**Al**

Цих систем і системи Ni-Al з різним вмістом домішок:

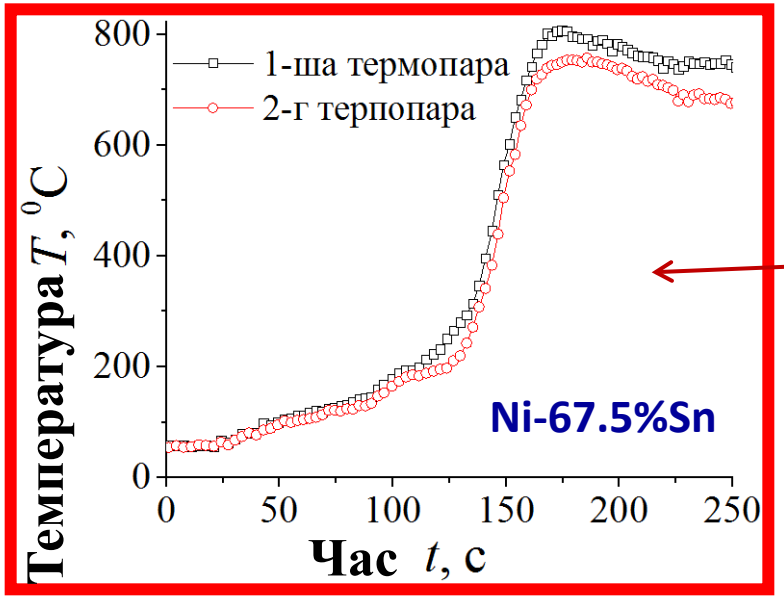
1. **Інертних не змочуваних** (CaF_2, Y_2O_3, ZrO_2)

2. **Слабо взаємодіючих** (Y_2O_3 в системах з алюмінієм і міддю)

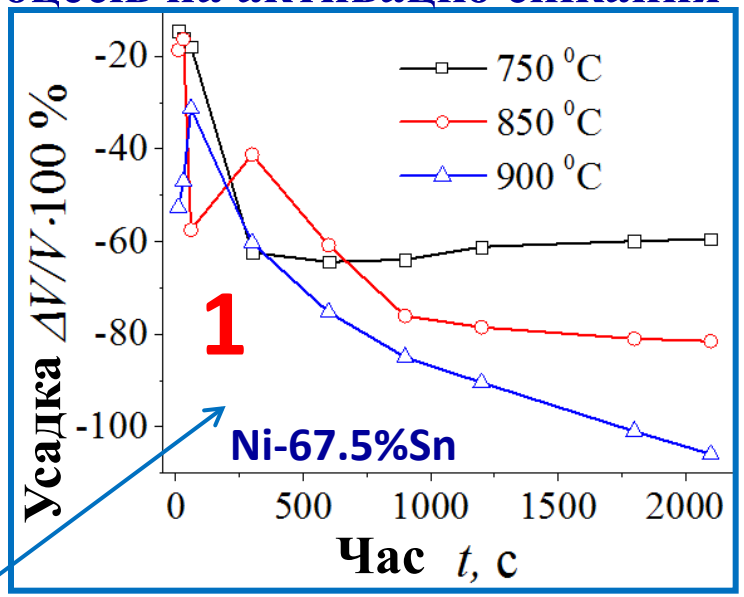
3. **Сильно взаємодіючих** (Si_3N_4, Y_2O_3 в системах титану з алюмінієм без розчинення тугоплавкої складової) домішок

Експериментальні дослідження

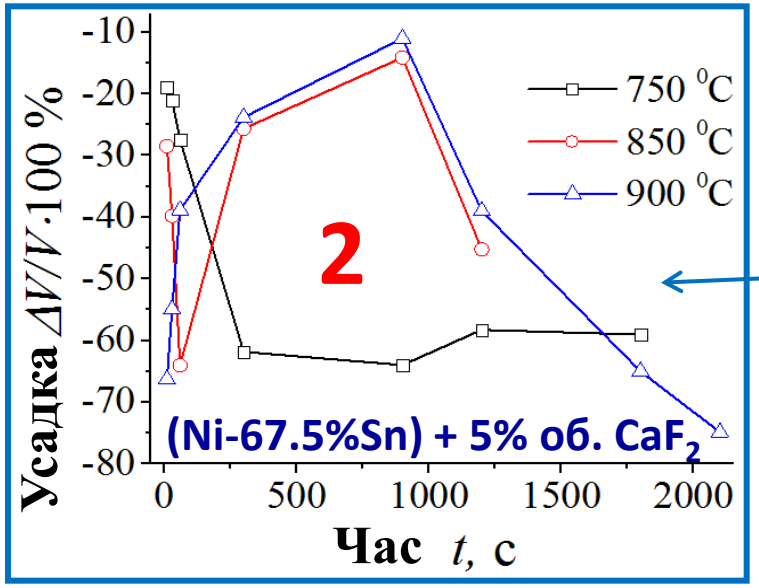
Основна ідея та мета експериментальних досліджень – навчитися спрямовувати енергію реакційних процесів на активацію спікання

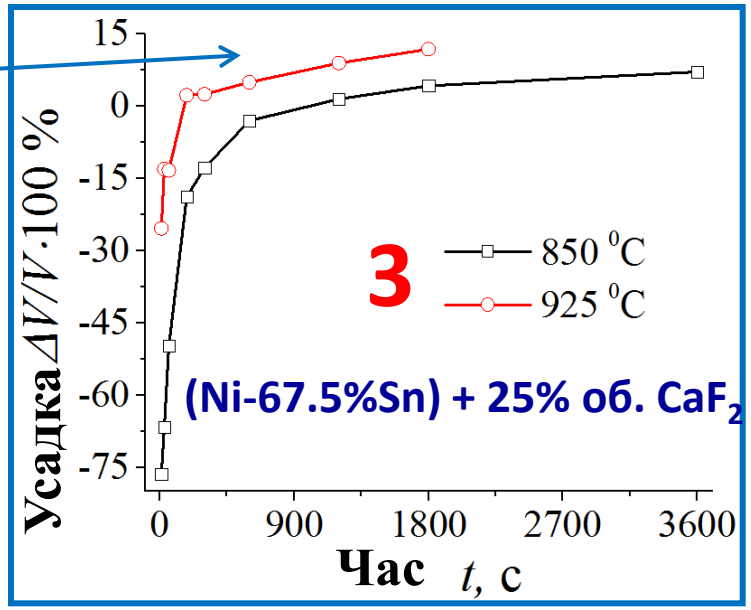


термокінетика спікання



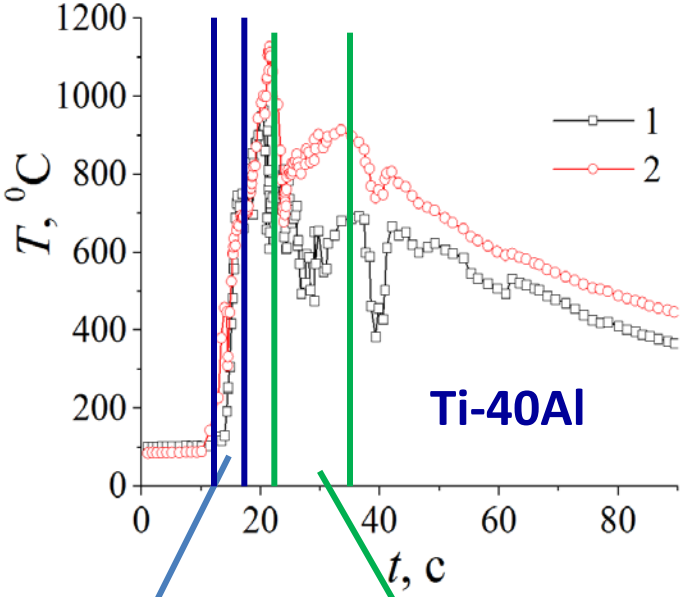
1, 2, 3 – макрокінетика спікання

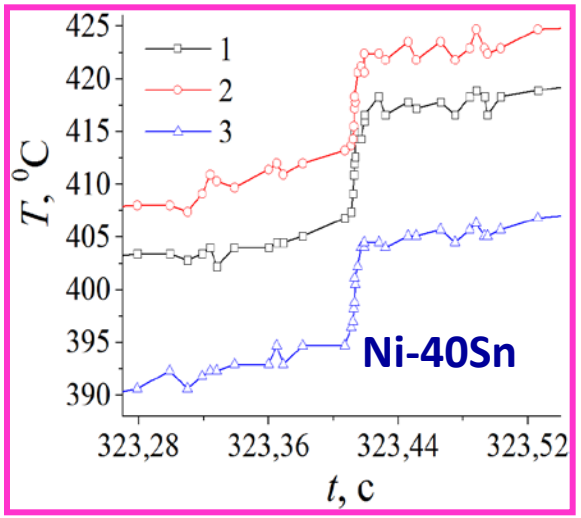




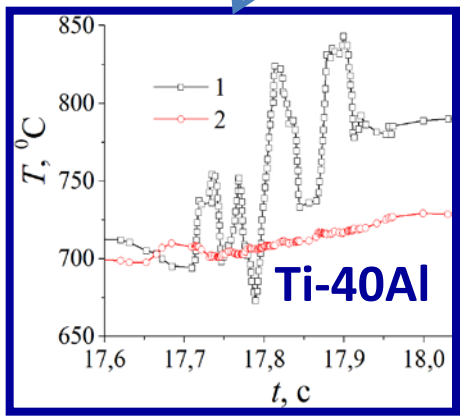
Експериментальні дослідження

Вивчення термокінетики можливих перспективних систем для пайки деталей розроблюваних дисперсно-зміцнених ніхромів

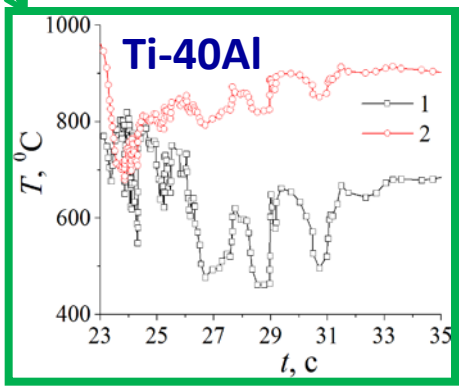




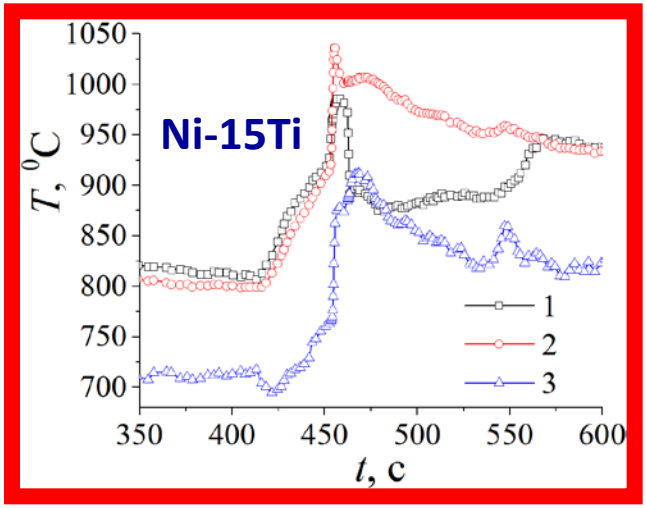
Детонація



Незалежна поведінка



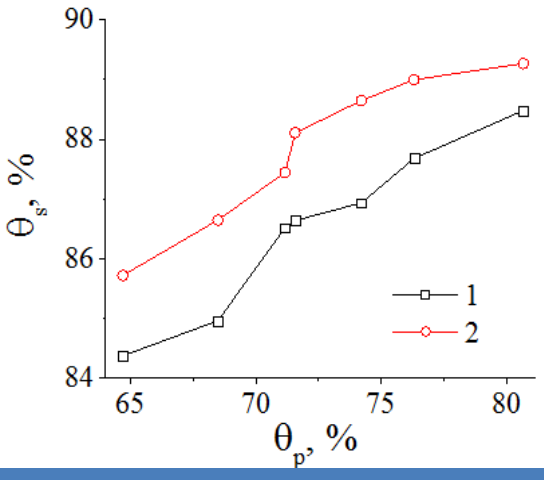
Синхронна поведінка

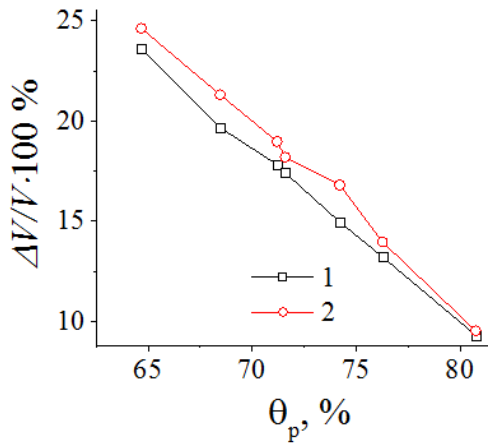


СВС

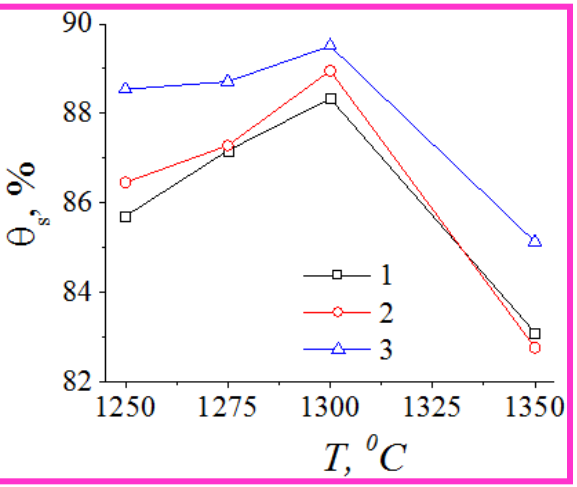
Розробка дисперсно-зміцнених ніхромів

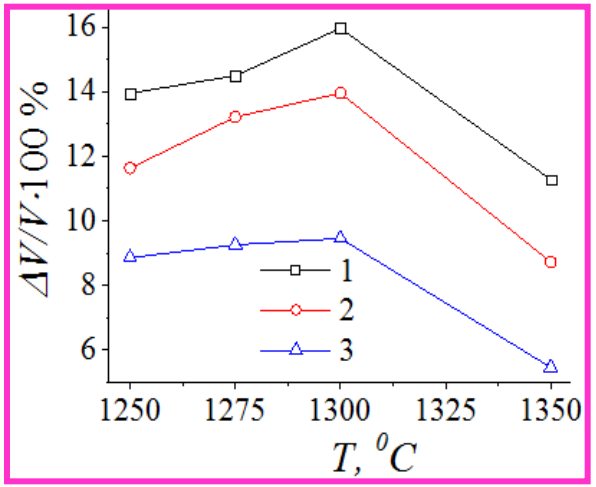
Залежність відносної густини (а) і усадки (б) ніхромових заготовок з 6 % Al від відносної густини пресовок: 1 – 1275 °С; 2 – 1300 °С



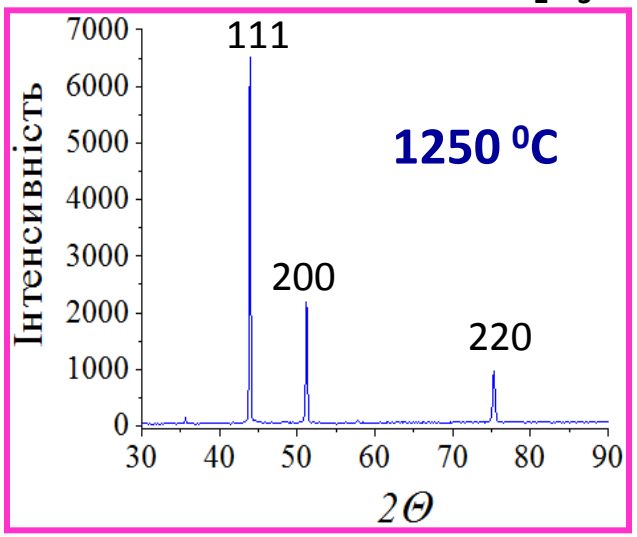


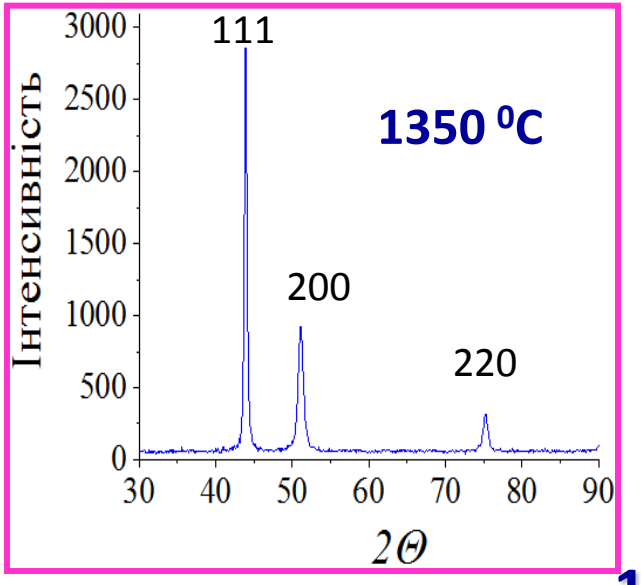
Спікання системи Ni-20%Cr-5.7%Al-1,5%Y_2O_3 протягом 1 год із відносною густиною пресовок: 1 – 74,5 %; 2 – 76,5 %; 3 – 81 %





Рентгенограми спеченого сплаву **Ni-20%Cr-5.7%Al-1,5%Y_2O_3**





Практичні результати

Розроблено три жароміцні та жаростійкі дисперсно-зміцнені сплави на основі ніхрому для температур до 1200 ^{0}C

Характеристика	**T °C**	**ЮИПМ-1200** (попередній аналог)	**Ni-20Cr-3Al-1,5Y_2O_3**	**Ni-20Cr-5,7Al-1,5Y_2O_3**
Густина, кг/м^3		8300	7950	7503
Границя міцності при розтягуванні, $\sigma_{в,}$ МПа	20	738	1020	1021
	800	237	542	578
	1100	45	-	-
	1200	-	40	48
Границя плиності, $\sigma_{0,2}$, МПа	20	364	624	713
	800	228	457	286
	1100	40	-	
	1200	-	35	-

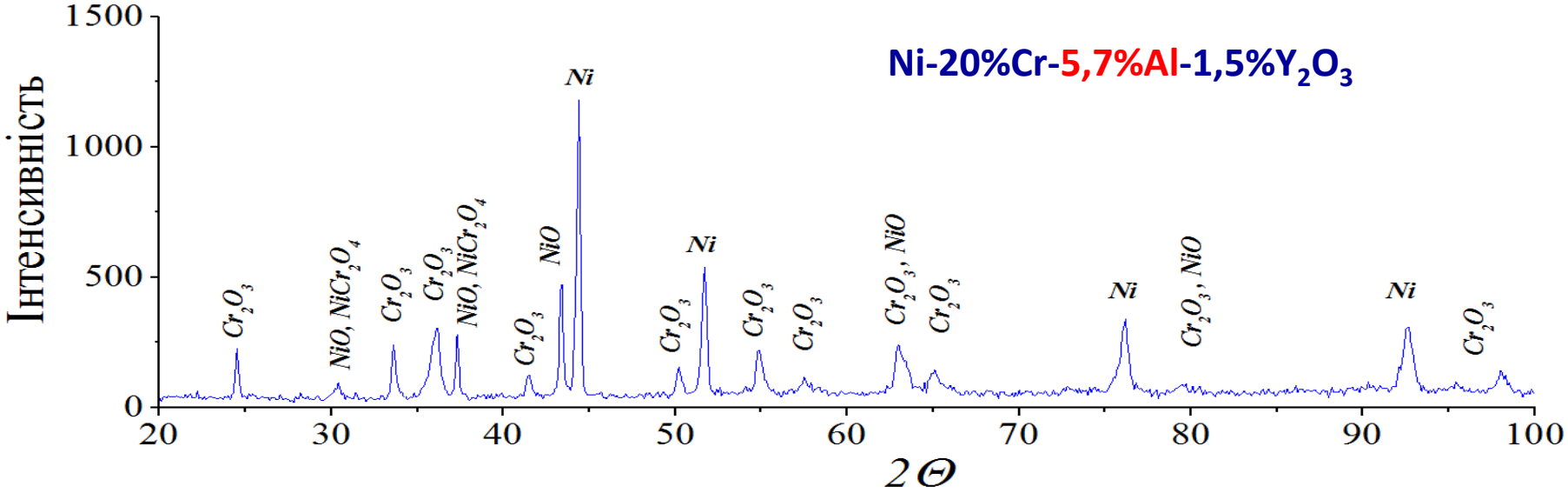
Практичні результати

Розроблено два жароміцні та жаростійкі дисперсно-зміцнені сплави на основі ніхрому для температур до 1200 ^{0}C

Характеристика	T °C	ЮИПМ-1200 (попередній аналог)	Ni-20Cr-3Al-1,5Y_2O_3	Ni-20Cr-5,7Al-1,5Y_2O_3
Відносне видовження, δ%	20	36,5	21	17,6
	800	36,7	18,1	0,2
	1100	32,8	18	
	1200	-	18	20,1
Відносне звуження, ψ%	20	34,2	22	14
	800	32,6	19	-
	1100	19,0	-	0,2
	1200	-	20	-

Практичні результати

Рентгенограми продуктів окиснення розроблених сплавів

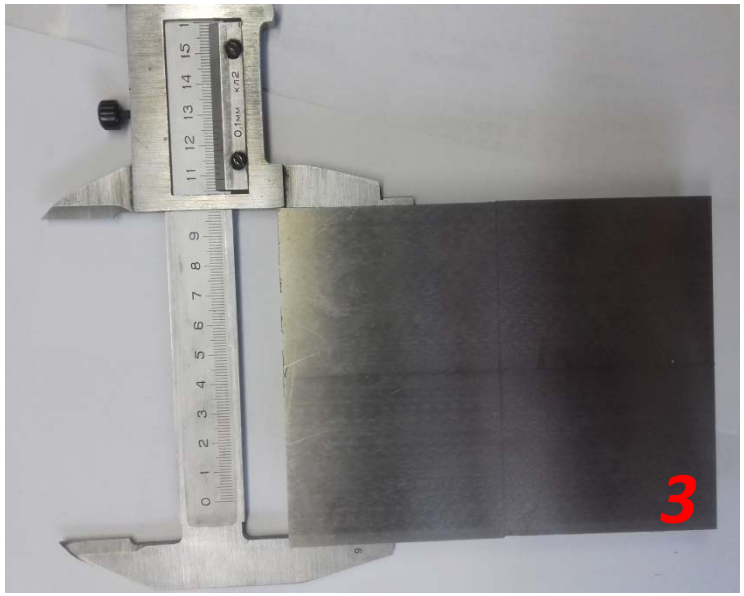


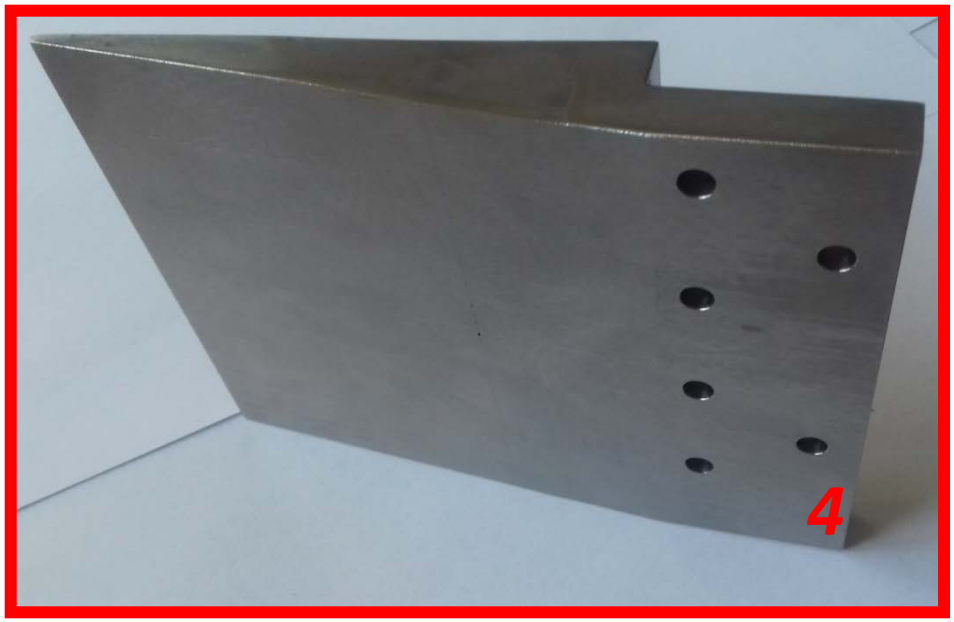
Практичні результати

Макет кромки повітрозабірника гіперзвукового літака зі сплаву

$Ni\text{-}20Cr\text{-}3Al\text{-}1{,}5Y_2O_3$

1, 2, 3,4 – послідовність збору заготовок у виріб





Патенти

Пат. № 115259 Україна, МПК С22С 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.

Публікації

Статей – 19

Тез – 19

Доповідей на конференціях - 6

Акт впровадження на ДП КБ "Південне"

Участь в грантах та господарчих договорах

Результати досліджень було використано при виконанні двох господарчих договорів з КБ "Південне" та закордонного гранту Super light-weight thermal protection system for space application - P626. Project manager: Frolov Gennady Aleksandrovich (2014-2016 pp)

Робота для подачі на премію Президента України молодим ученим у 2021 р.

НЕЛІНІЙНІ МЕХАНІЗМИ ВЗАЄМОДІЇ ТА ЗАКОНОМІРНОСТІ РЕАКЦІЙНОГО СПІКАННЯ ДИСПЕРСНО-ЗМІЦНЕНИХ МЕТАЛЕВИХ СПЛАВІВ

Дякую за увагу

ПЕТРАШ КОСТЯНТИН МИКОЛАЙОВИЧ

к.т.н., н.с. відділу № 18

КИЇВ 2021