



Тема роботи:

**ВПЛИВ ВМІСТУ БОРУ НА СТРУКТУРУ ТА
МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ
ВИСОКОЕНТРОПІЙНИХ AlNiCoFeCrTiB_x
ПОКРИТТІВ, ОТРИМАНИХ ЕЛЕКТРОННО-
ПРОМЕНЕВИМ МЕТОДОМ**

Виконав: студент групи ФК-71мп
Вітряк Т. В.

Керівник: професор, д.т.н.
Юркова О. І.

Актуальність теми

- Сучасний розвиток техніки висуває нові вимоги до деталей машин та механізмів, працюючих в екстремальних умовах експлуатації. Одним з ефективних методів підвищення фізико-механічних та експлуатаційних властивостей традиційних конструкційних матеріалів (сталей та сплавів) є нанесення захисних зміцнювальних покриттів з нових перспективних матеріалів. До таких матеріалів відносяться високоентропійні сплави (ВЕСи), які базуються на багатоконпонентних системах еквіатомного складу. Вони мають просту кристалічну структуру (тверді розчини заміщення переважно з ОЦК або ГЦК решіткою), що досягається за рахунок високого значення ентропії змішування.
- Зважаючи на обмежений характер відомостей щодо формування багатоконпонентних високоентропійних покриттів актуальним є дослідження впливу вмісту бору на структуру, фазовий склад та комплексу механічних властивостей $AlNiCoFeCrTiB_x$ покриттів

Метою роботи є дослідження впливу вмісту бору на формування фазового складу, структури та комплексу механічних властивостей $AlNiCoFeCrTiB_x$ ($0 \leq x \leq 1$) покриттів отриманих електронно-променеви́м наплавленням.

Об'єкт дослідження – багатоконпонентні металеві покриття системи $Al-Ni-Co-Fe-Cr-Ti-B_x$, де $x=0; 0,25; 0,5; 1$.

Основні завдання:

- Нанести багатоконпонентні високоентропійні $AlNiCoFeCrTiB_x$ покриття на сталеву підкладку методом електронно-променевого наплавлення .*
- Дослідити структуру фазовий склад та механічні властивості покриттів.*
- Встановити вплив концентрації бору на формування структури, фазового складу та комплексу механічних властивостей високоентропійних покриттів системи $Al-Ni-Co-Fe-Cr-Ti-B_x$.*

Умови отримання твердих розчинів у ВЕС

$$\Delta S_{mix} = R \cdot \ln(n), \quad \Delta S_{mix} > 12 \text{ Дж} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1};$$

$$\Delta H_{mix} = \sum_{i=1, i \neq j}^n \Omega_{ij} c_i c_j, \quad \Omega_{ij} = 4\Delta_{mix}^{AB}, \quad -22 < \Delta H_{mix} < 7 \text{ кДж/моль};$$

$$\delta = 100 \sqrt{\sum_{i=1}^n c_i (1 - r_i / \bar{r})^2}, \quad \delta < 8,5 \%;$$

$$\text{КВЕ} = \sum_{i=1}^n c_i (\text{КВЕ})_i \quad \delta \leq \text{КВЕ} \text{ формуються тверді розчини з ГЦК решіткою,}$$

КВЕ ≤ 6,87 формуються тверді розчини з ОЦК решіткою

Покриття	$\Delta S_{mix},$ Дж·моль ⁻¹ ·К ⁻¹	$\Delta H_{mix},$ кДж/моль	$\delta, \%$	КВЕ
AlCoNiFeCrTi	14,89	-21,11	7,22	6,66
AlCoNiFeCrTiB _{0,25}	15,64	-21,01	9,58	6,53
AlCoNiFeCrTiB _{0,5}	15,96	-20,86	11,37	6,40
AlCoNiFeCrTiB	16,17	-20,46	14,29	6,14

Методика експерименту

Матеріал дослідження:

Вихідна сировина (порошки Al, Ni, Co, Fe, Cr, Ti, B з чистотою 99,9%)

Дозування та змішування вихідних компонентів



Нанесення порошку на підкладку сталь 45



Електронно-променева плавка



Покриття



Мікрорентгеноспектральний
аналіз

Мікроструктурний аналіз (SEM)

Рентгеноструктурний
аналіз

Дифрактометр: RIGAKU Ultima IV

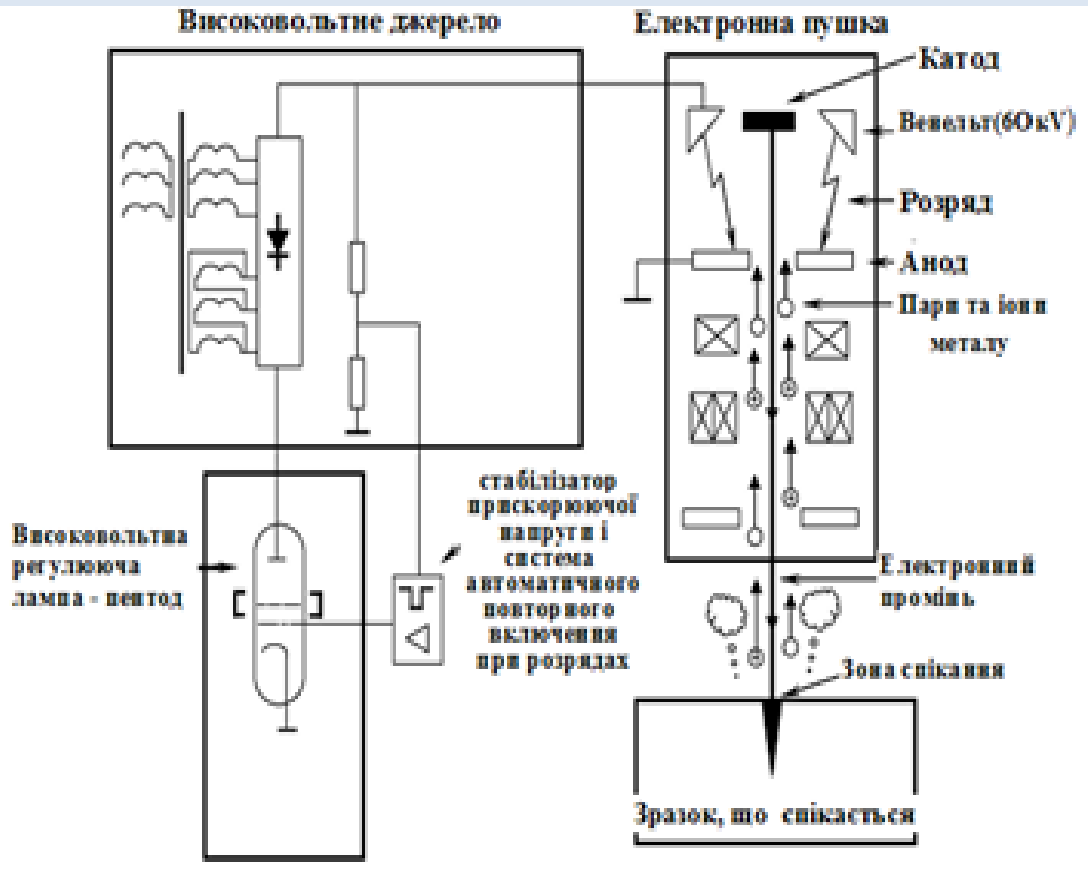
Дюраметричні
вимірювання

ПМТ-3

Скануючий електронний мікроскоп:

Selmi PЭM-106И

Електронно-променева установка “ЕЛА-6”



Метод електронно-променевого наплавлення покриттів має такі переваги:

а) високий ККД (95 %);

б) можливість точного дозування потужності електронного променя, а значить і можливість тонко корегувати температуру поверхні оброблюваної деталі;

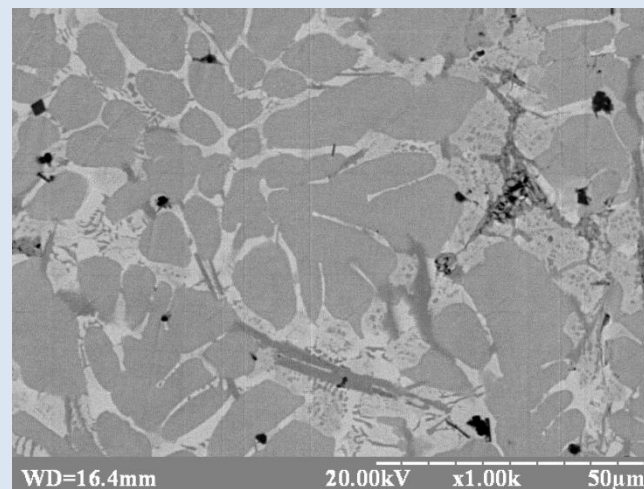
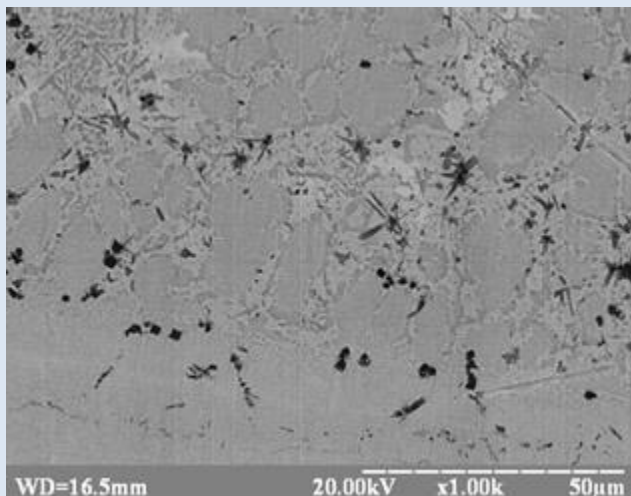
в) швидке та легке керування електронним променем та можливість повної автоматизації процесу.

Мікроструктура $AlNiFeCoCrTiB_x$ покриттів

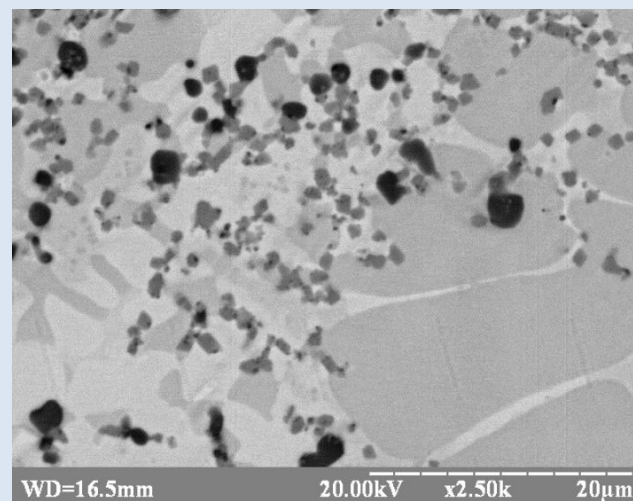
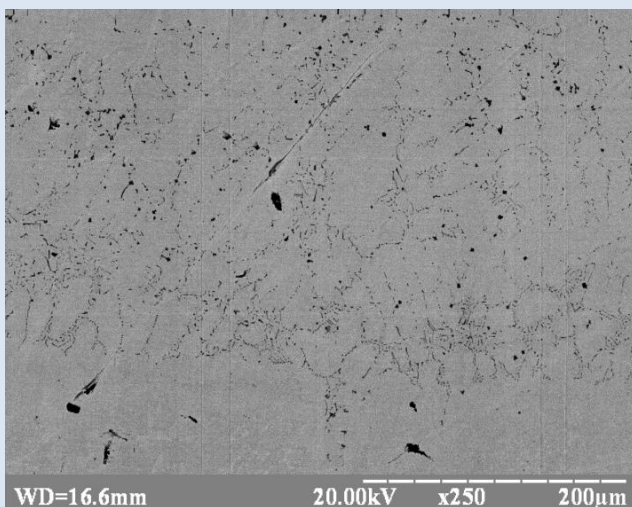
($x = 0; 0,25; 0,5; 1$)

Перехідна зона

Біля поверхні



$AlNiCoFeCrTi$



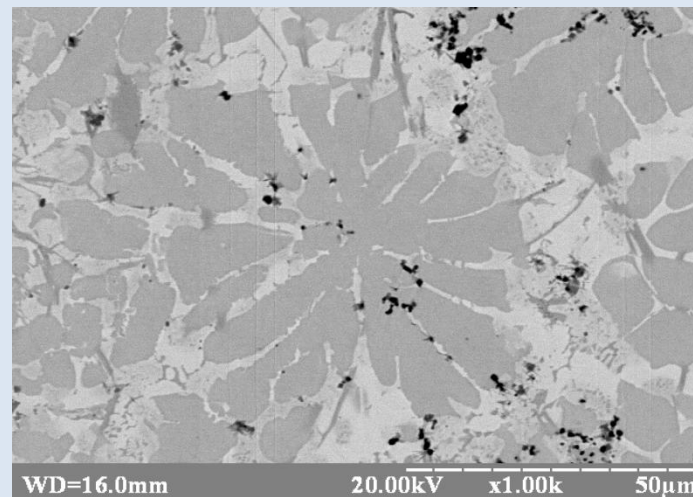
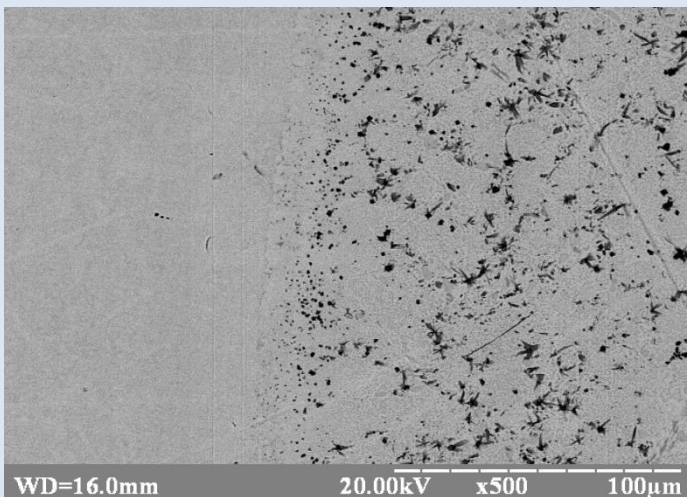
$AlNiCoFeCrTi_{0,25}$

Мікроструктура $AlNiFeCoCrTiB_x$ покриттів

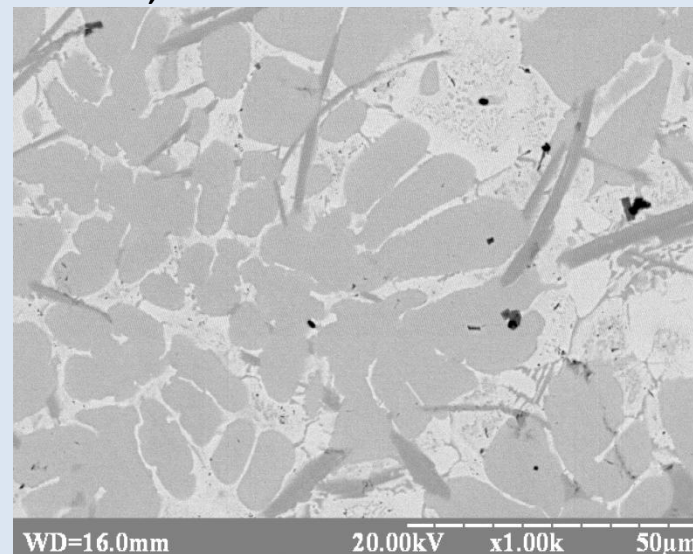
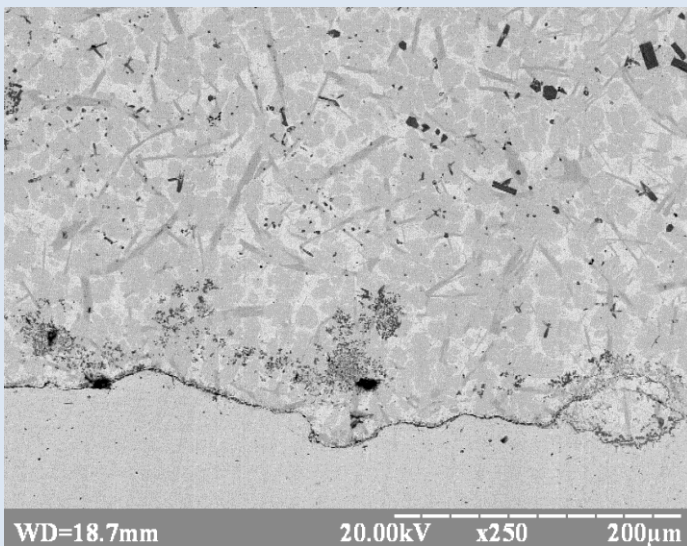
($x = 0; 0,25; 0,5; 1$)

Перехідна зона

Біля поверхні

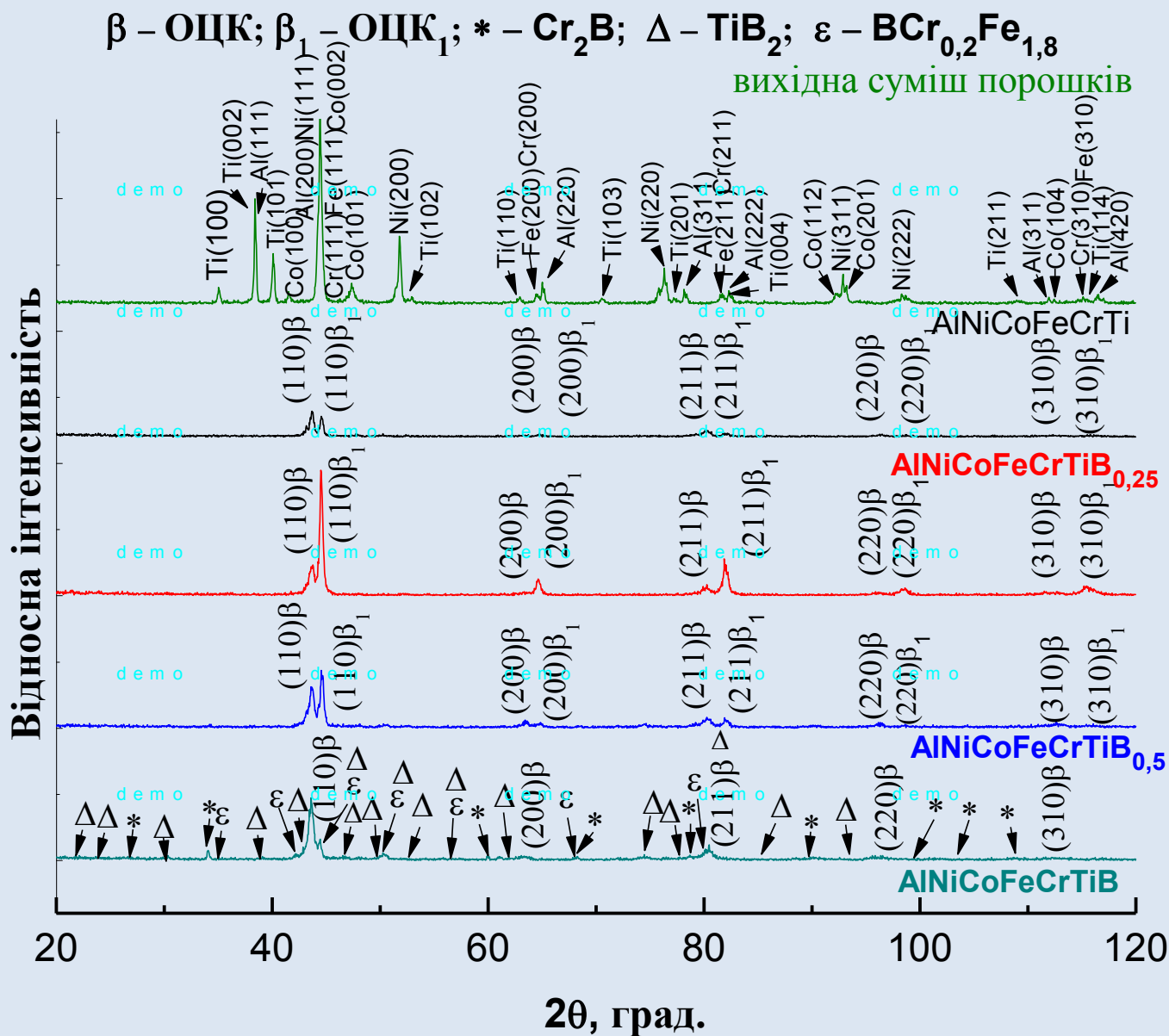


$AlNiCoFeCrTiB_{0,5}$



$AlNiCoFeCrTiB$

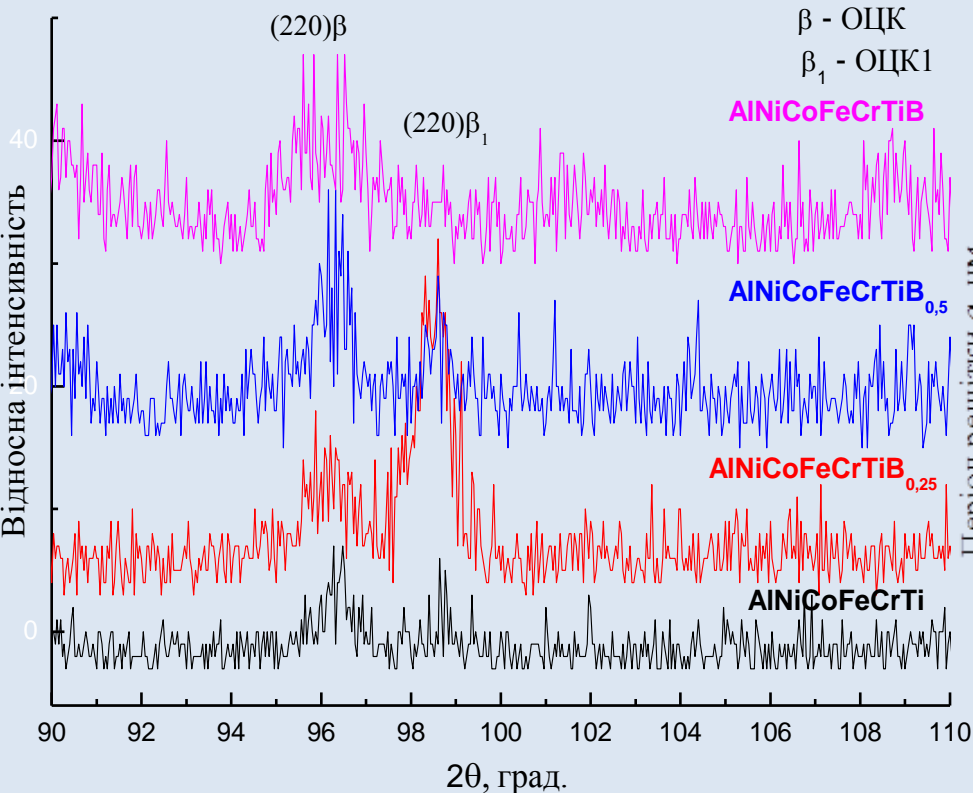
Спектри рентгенівської дифракції AlNiFeCoCrTiB_x покриттів (x= 0; 0.25; 0.5; 1)



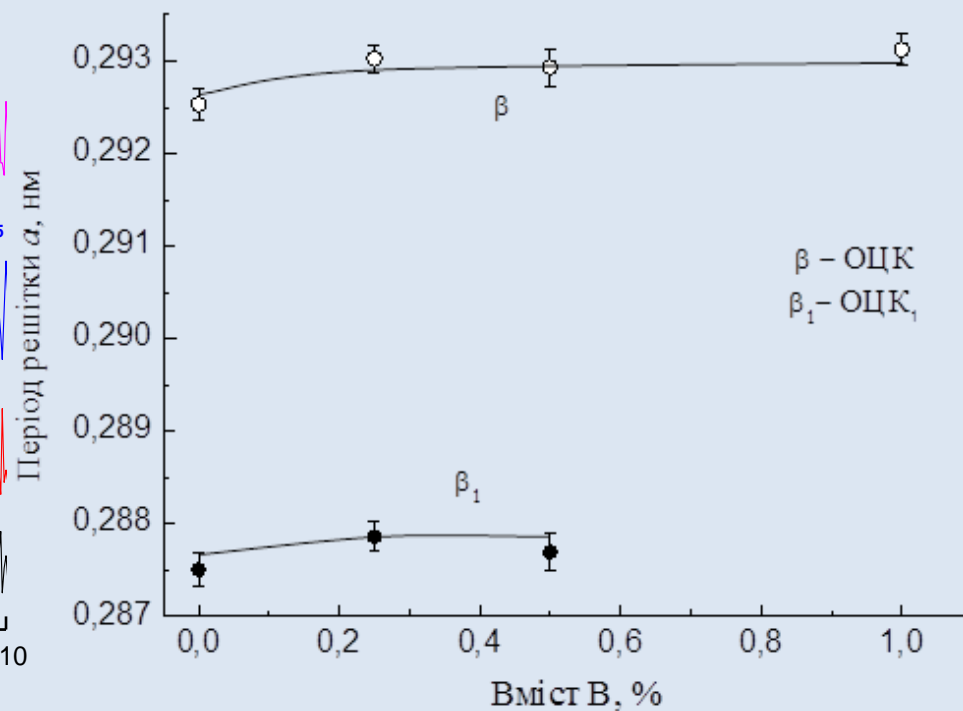
**Тип та параметр кристалічної решітки
покривів системи Al-Ni-Fe-Co-Cr-Ti-B_x
(x= 0; 0,25; 0,5; 1)**

Покриття	Структура	Період кристалічної решітки, нм
AlNiCoFeCrTi	ОЦК	0,29253
	ОЦК ₁	0,2875
AlCoNiFeCrTiB _{0,25}	ОЦК	0,29303
	ОЦК ₁	0,28786
AlCoNiFeCrTiB _{0,5}	ОЦК	0,29293
	ОЦК ₁	0,28769
AlCoNiFeCrTiB	ОЦК	0,29312

Вплив вмісту бору на період кристалічної решітки Al-Ni-Fe-Co-Cr-Ti-B_x (x=0; 0,25; 0,5; 1) покриттів

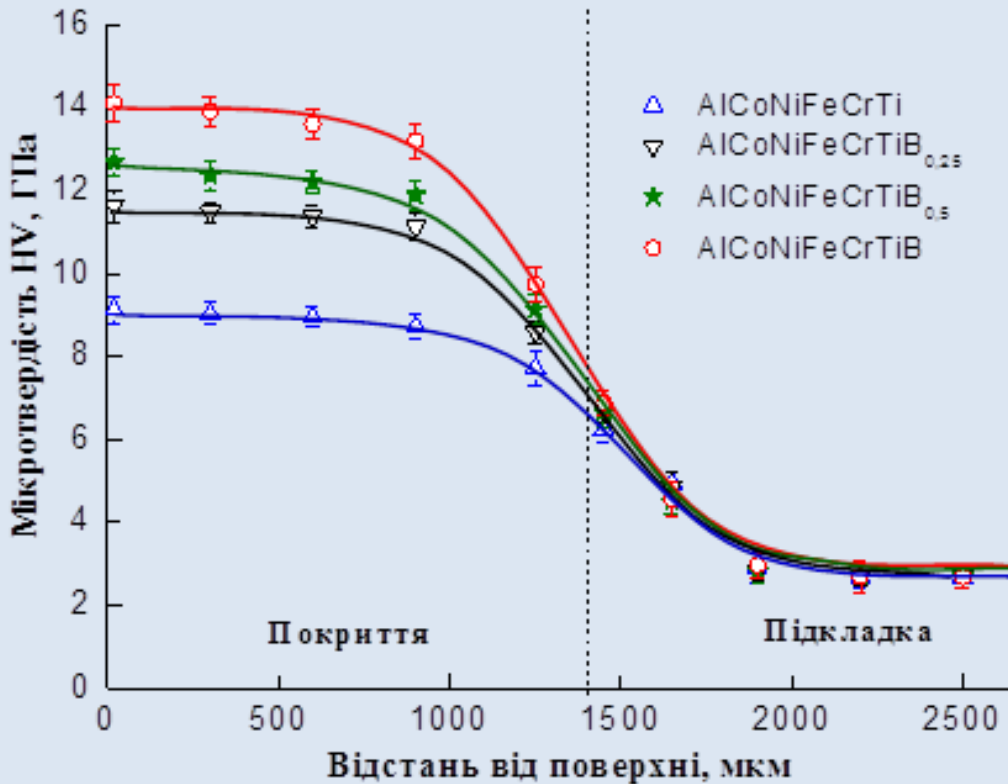


Вплив вмісту бору на положення дифракційних максимумів AlCoNiFeCrTiB_x покриттів

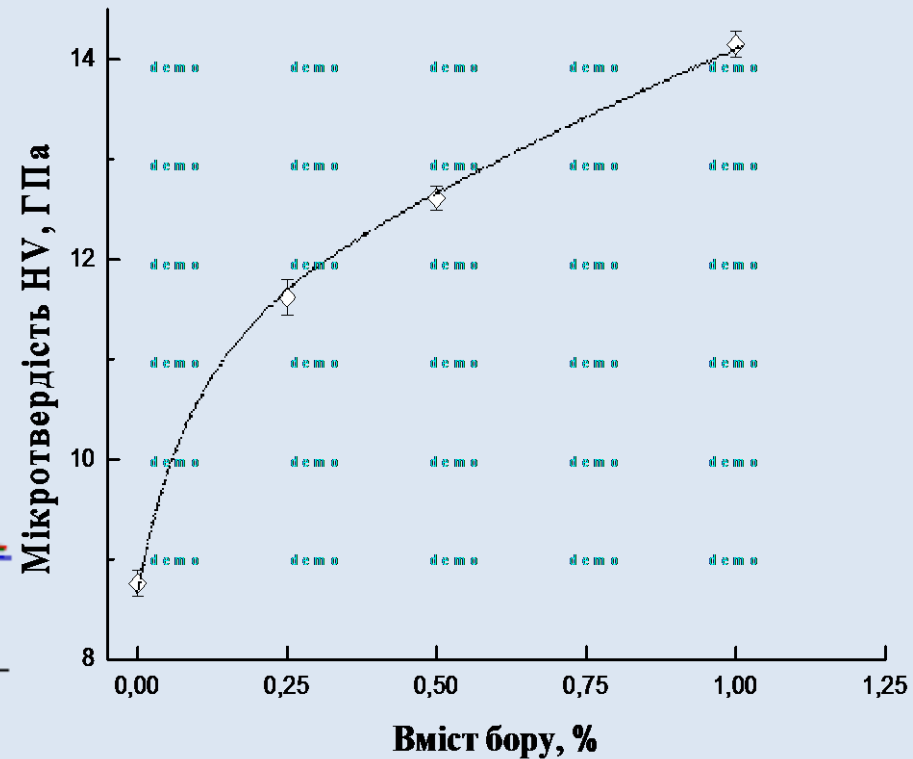


Вплив вмісту бору на період кристалічної решітки ОЦК і ОЦК₁ твердих розчинів AlCoNiFeCrTiB_x покриттів

Механічні властивості покриттів системи $Al-Ni-Fe-Co-Cr-Ti-B_x$ (де $x=0; 0,25; 0,5; 1$), після наплавлення

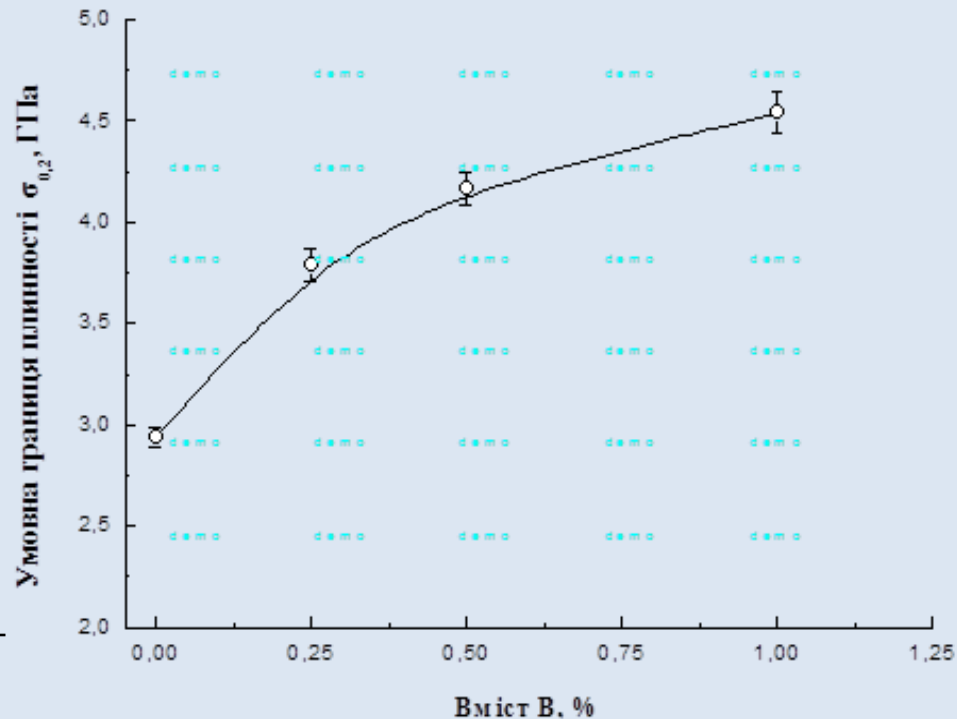
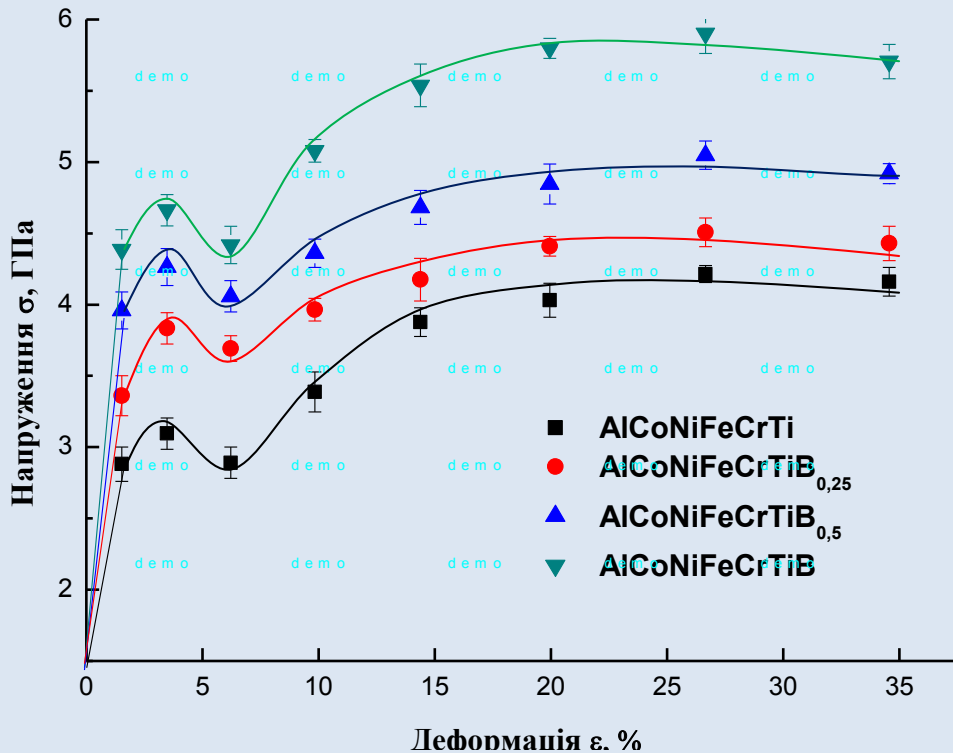


Мікротвердість AlCoNiFeCrTiB_x покриттів



Вплив вмісту бору на мікротвердість HV AlCoNiFeCrTiB_x покриттів

Механічні властивості покриттів



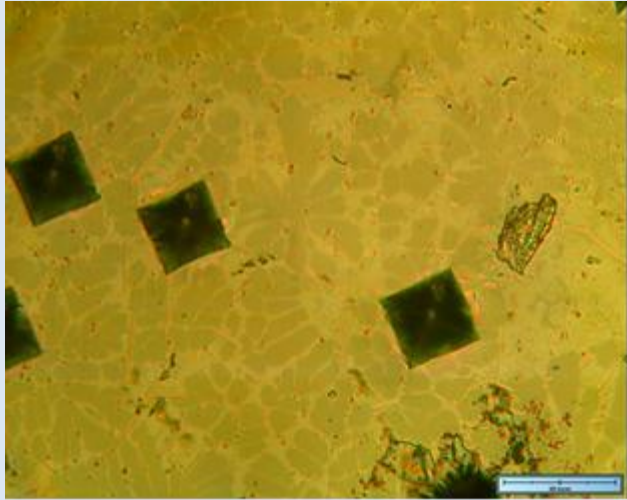
Крива деформації « $\sigma - \varepsilon$ » AlCoNiFeCrTiB_x покриттів

Вплив вмісту бору на умовну границю

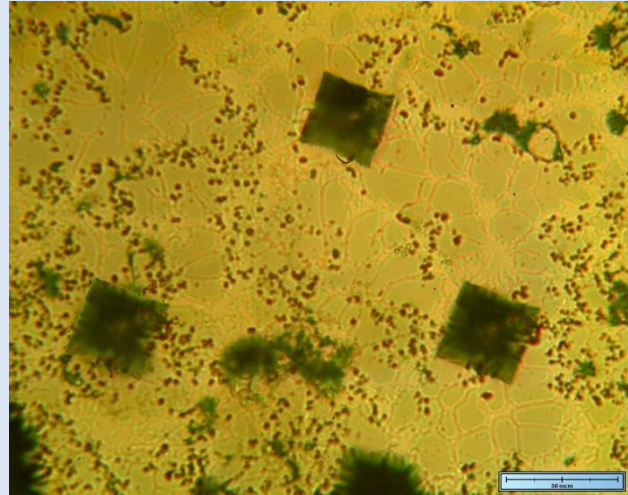
плинності $\sigma_{0,2}$ AlCoNiFeCrTiB_x покриттів

Покриття	HV, ГПа	Верхня границя текучості σ_s^h , ГПа	Нижня границя текучості σ_s^l , ГПа	Умова границя плинності $\sigma_{0,2}$, ГПа
AlCoNiFeCrTi	8,76±0,13	3,10	2,89	2,94
AlCoNiFeCrTiB _{0,25}	11,62±0,18	3,83	3,69	3,79
AlCoNiFeCrTiB _{0,5}	12,61±0,12	4,26	4,06	4,17
AlCoNiFeCrTiB	14,15±0,13	4,66	4,42	4,54

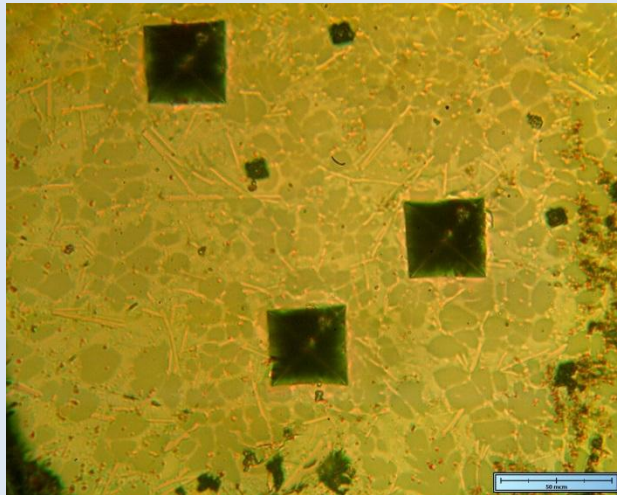
Відбитки пірамідок за Віккерсом при навантаженні 10 Н



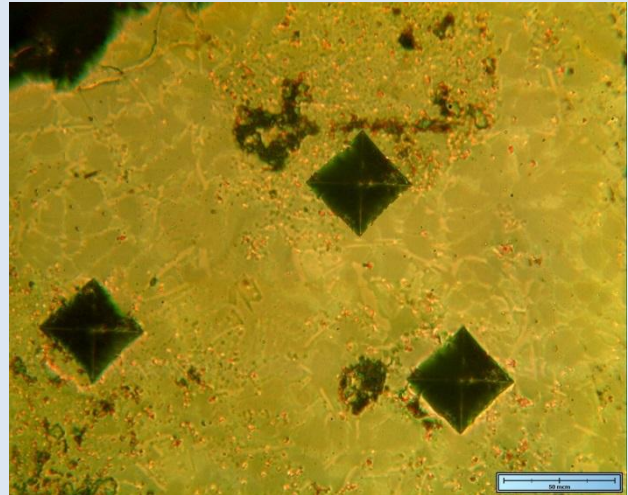
AlCoNiFeCrTi



AlCoNiFeCrTiB_{0,25}



AlCoNiFeCrTiB_{0,5}



AlCoNiFeCrTiB

Висновки

У ході виконання даної роботи було отримано чотири високоентропійних AlCoNiFeCrTi ; $\text{AlCoNiFeCrTiB}_{0,25}$; $\text{AlCoNiFeCrTiB}_{0,5}$ та AlCoNiFeCrTiB покриття методом електронно-променевого наплавлення на підкладку (сталь 45). Проведено аналіз структури покриттів на скануючому електронному мікроскопі, встановлено хімічний склад, виконано рентгенографічні дослідження та дюраметричні вимірювання.

1. Методом електронно-променевого наплавлення з багатокомпонентних сумішей порошків системи $\text{Al-Co-Ni-Fe-Cr-Ti-B}_x$ ($x = 0; 0,25; 0,5$ та 1 моль) отримано високоентропійні покриття на сталі 45 та вивчено вплив концентрації бору на їх структуру, фазовий склад та мікротвердість.

2. Встановлено, що високоентропійні $\text{AlCoNiFeCrTiB}_{x=0-1}$ покриття складаються з 2-х твердих розчинів заміщення з ОЦК структурою, які містять всі компоненти вихідних порошкових сумішей та відрізняються періодами кристалічних ґраток. Зі збільшенням вмісту бору до $x = 1$ фазовий склад змінюється і в AlCoNiFeCrTiB покритті спостерігається формування одного ОЦК твердого розчину та боридів Cr_2B ; TiB_2 ; $\text{BCr}_{0,2}\text{Fe}_{1,8}$ у наслідку наявності надлишку атомів бору, що не розчиняються в порожнинах ОЦК кристалічної ґратки твердого розчину.

3. Встановлено, що в отриманих багатокомпонентних AlCoNiFeCrTiB_x покриттях спостерігається дендритний характер кристалізації. Мікроструктура наплавлених покриттів змінюється за відстанню від підкладки до поверхні, при чому біля підкладки відбувається формування більш дрібної структури, що пояснюється різними швидкостями охолодження: підкладка слугує кращим провідником тепла ніж повітря, а отже швидше його відводить. Показано, що розподіл хімічних елементів в об'ємі покриттів відрізняється від номінального складу та є неоднорідним.

4. Встановлено істотний вплив вмісту бору на мікротвердість AlCoNiFeCrTiB_x покриттів: за відсутності бору мікротвердість AlCoNiFeCrTi покриття становить $8,7 \pm 0,13$ ГПа, а мікротвердість $\text{AlCoNiFeCrTiB}_{0,25}$, $\text{AlCoNiFeCrTiB}_{0,5}$ і AlCoNiFeCrTiB покриттів збільшується до $12,8 \pm 0,12$ і $14,2 \pm 0,13$ ГПа, відповідно. Бор, як елемент проникнення, додатково спотворює кристалічну ґратку твердих розчинів покриттів, крім того, збільшення вмісту бору до 1 моля викликає формування боридів, що значно підвищує твердість покриття.

5. Показано що з додаванням в покриття бору величина границі плинності $\sigma_{0,2}$ збільшується від 2,94 до 4,54 ГПа за рахунок додавання бору. Встановлено що при випробуванні покриттів на в'язкість руйнування при навантаженні на індентор від 2 Н до 10 Н тріщини не утворюються, що свідчить про здатність матеріалу покриттів протидіяти крихкому руйнуванню, а саме, гальмувати розвиток крихких тріщин.