

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Магістерська дисертація

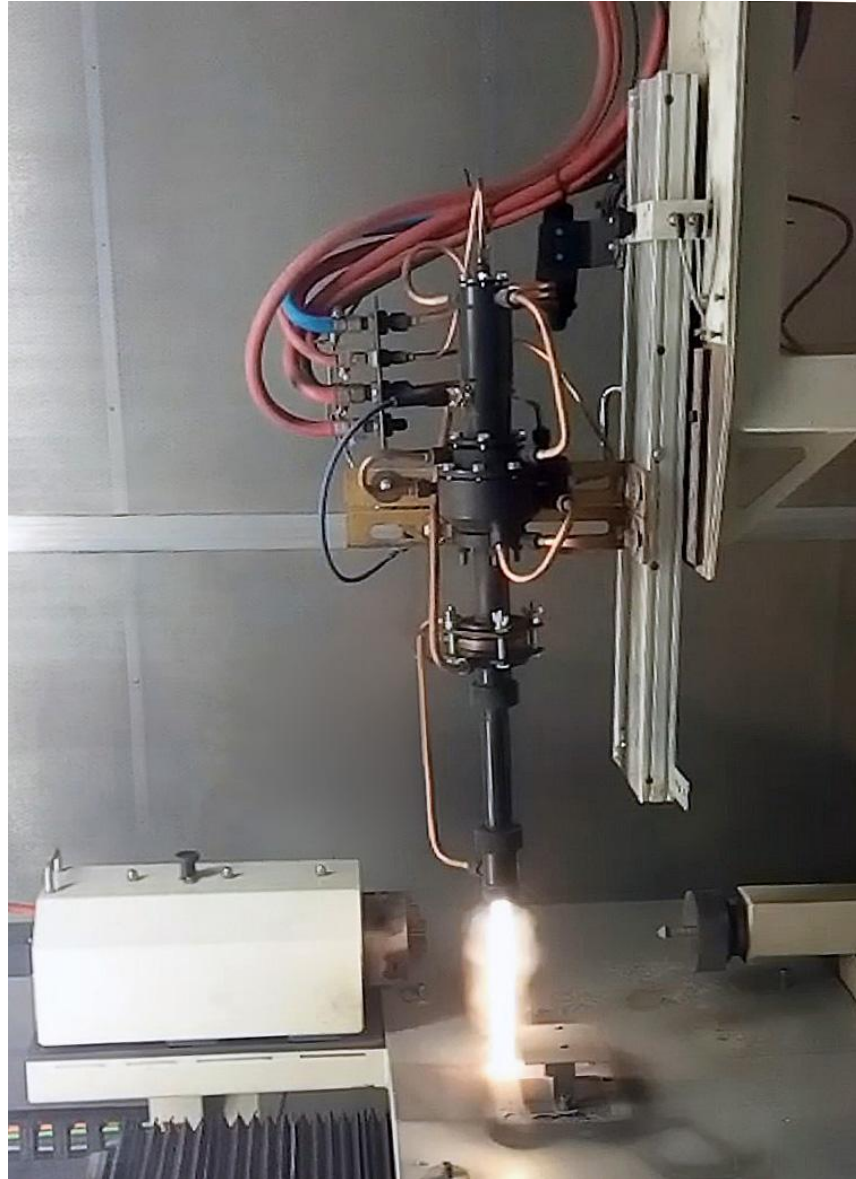
на тему: **Властивості композиційних покриттів на основі Al_2O_3 ,
модифікованих Al та Ti**

Виконав: студент VI курсу, групи ФК-51м, Тітков Євгеній Петрович

Науковий керівник: к.т.н., ст. викл. Троснікова І.Ю

1

Багатокамерна детонаційна установка



Параметри

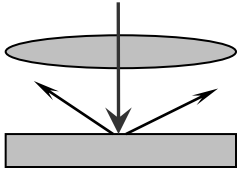
- Потужність: <500 Вт
- Частота детонації: 20-30 Гц
- Витрати газів, м3/ч:
 - Кисень – 5...8,5
 - LPG – 1...1,7
- Тиск газів в подаючих магістралях : 2,5 атм
- Безперервна подача газів та порошку
- Коефіцієнт використання матеріалів, %
 - Метали\сплави – 80
 - Кераміка – 55
 - Металокераміка – 70
- Продуктивність наплення, кг/год:
 - Метали – 1,0-3,0
 - Кераміка – 0,5-1,0
 - Металокераміка – 1,0-2,0

Характеристики отримуваних покриттів

- Пористість, %
 - Кераміка <2
 - Металокераміка <1
 - Метали\сплави <0,5
- Твердість, HV_{0,3}
 - Кераміка 1000-1400
 - Металокераміка 900-1200
 - Метали\сплави 300-900
- Адгезія до 90 МПа

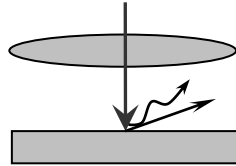
2 Методи дослідження

Оптична мікроскопія



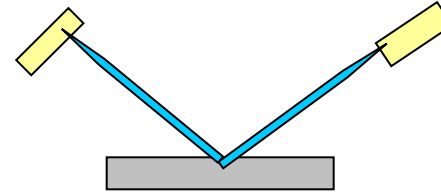
- товщина покриття;
- структурні зміни;
- мікротріщини (розподіл, розмір)
- пористість;
- наявність фазових виділень;
- інтегральна мікротвердість;
- мікротвердість окремих структурних компонентів.

Скануюча електронна мікроскопія



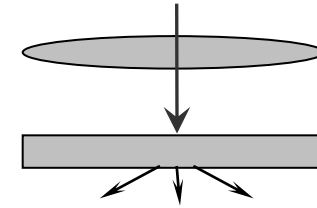
- хімічний склад в локальних точках структурних складових;
- хімічний склад по границям структурних складових;
- хімічний склад по лінії з'єднання покриття з підложкою;
- розмір, розподіл, та склад фазових виділень.

Рентгеноструктурний фазовий аналіз



- Фазовий склад покриттів:
- масова частка структурних складових;
 - тип та параметри кристалічної ґратки ;
 - напруження I роду.

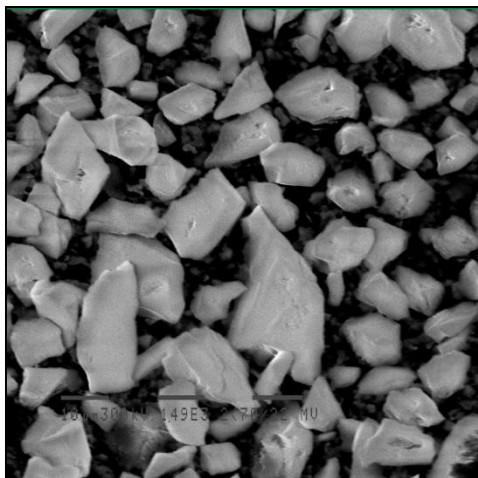
Трансмісійна електронна мікроскопія



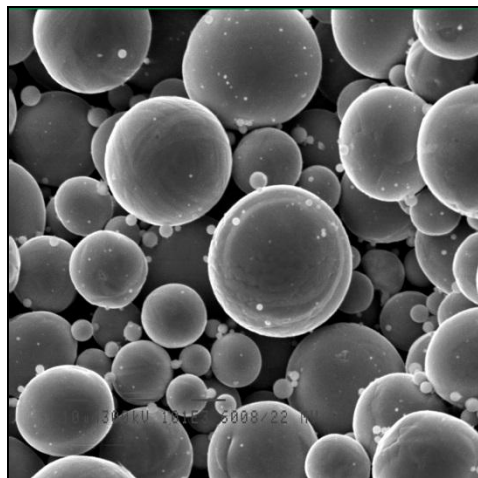
- щільність дислокацій;
- субструктура;
- розмір, розподіл та склад фазових виділень;
- сегрегації.

3

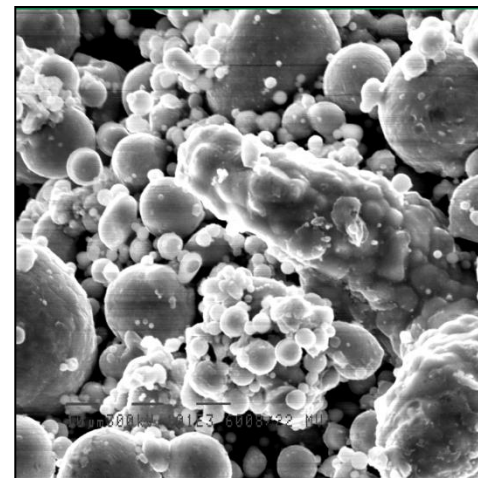
Матеріали для детонаційного напилення



Amperit 740.0 (Al₂O₃)



Ti



Al

ТЕХНОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ

№	Порошок	Підложка	Довжина / діаметр ствола пушки, мм / мм	Використання порошку, кг/год	Відношення окиснювача до пального газу	
					1 камера	2 камера
1	Al ₂ O ₃ +5% Ti	Титан	500/16	0,5 (80)	5,38	5,0
2	Al ₂ O ₃ +5% Al	Алюміній			5,38	5,0

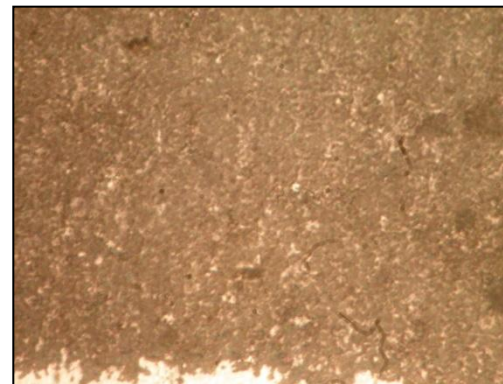
Покриття нанесені кумулятивно – детонаційним методом з частотою детонації 20 Гц; відстань до зразка 55 мм; швидкість руху 1500 мм/хв і з однаковою кількістю проходів.

4 Вивчення структури покриттів

Товщина покриттів, пористість, об'ємна доля ламелей, мікротвердість



№1

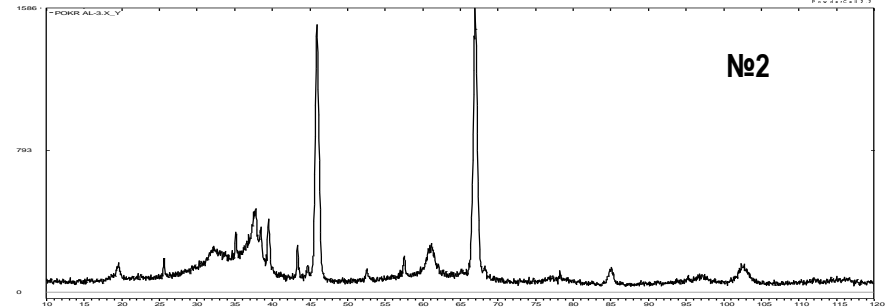
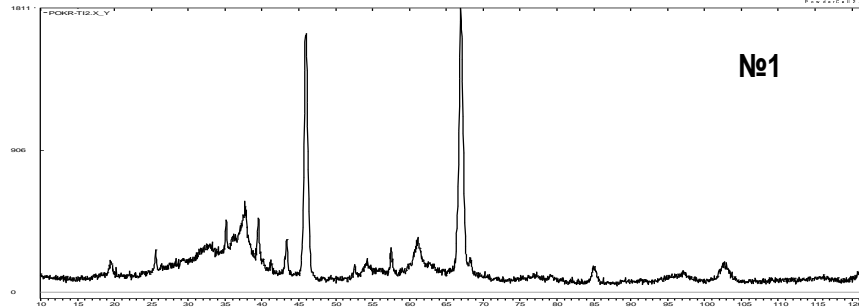


№2

№	Покриття (підложка)	Товщина покриття, мкм	Пористість, %	Об'ємна частка ламелей, %	Інтегральна мікротвердість (HV _{0,3}), МПа
1	Al ₂ O ₃ + 5% Ti (титанова підложка)	100...230	0,7...1,5	4,5...5	9660...13770
2	Al ₂ O ₃ + 5% Al (алюмінієва підложка)	90...225	1,9...2,5	1,9...2,5	7900...10250

Вивчення фазового складу покриттів рентгеноструктурним фазовим аналізом

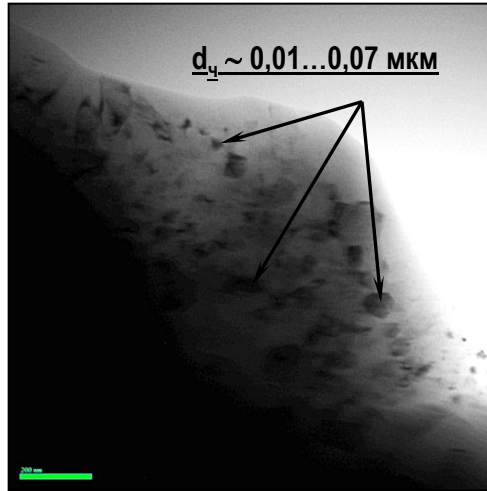
ПОКРИТТЯ:



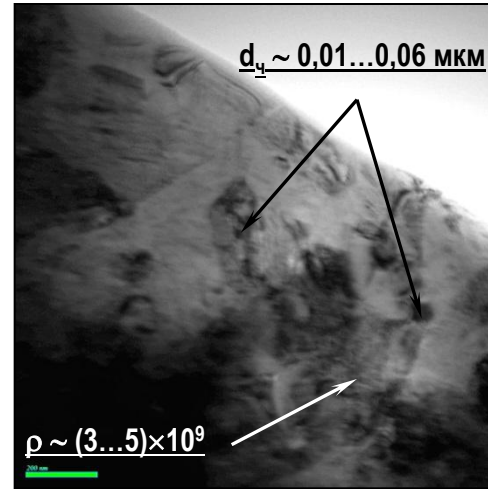
№	Покриття (підложка)	Фазовий склад, % мас.			
		$\text{Al}_{2,66}\text{O}_4$	Al_2O_3	AlTi_3	Al
1	$\text{Al}_2\text{O}_3 + 5\% \text{Ti}$ (підложка Ti)	67,0	18,0	15,0	-
2	$\text{Al}_2\text{O}_3 + 5\% \text{Al}$ (підложка Al)	69,0	15,2	-	15,8

Дослідження методом трансмісійної електронної мікроскопії покриттів №1 $\text{Al}_2\text{O}_3 + 5\% \text{Ti}$ (підложка Ti)

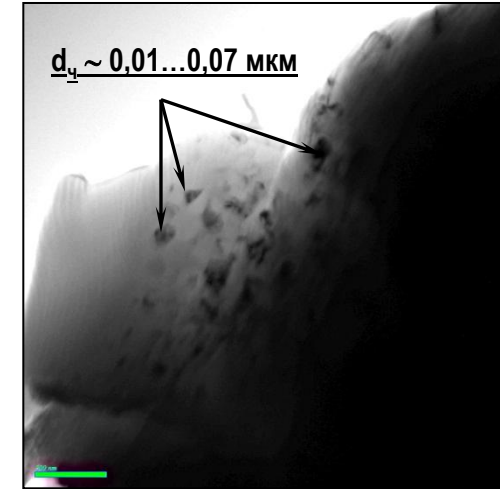
Покриття



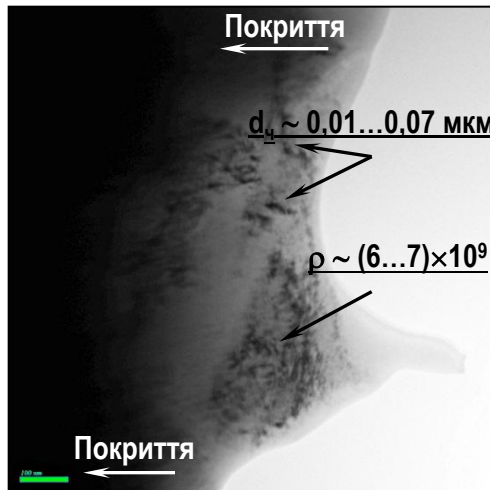
Покриття



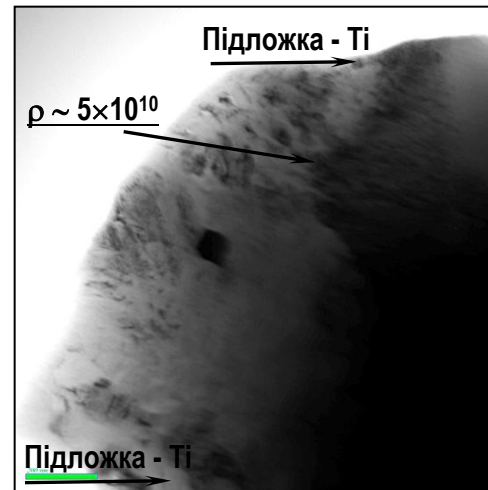
Покриття



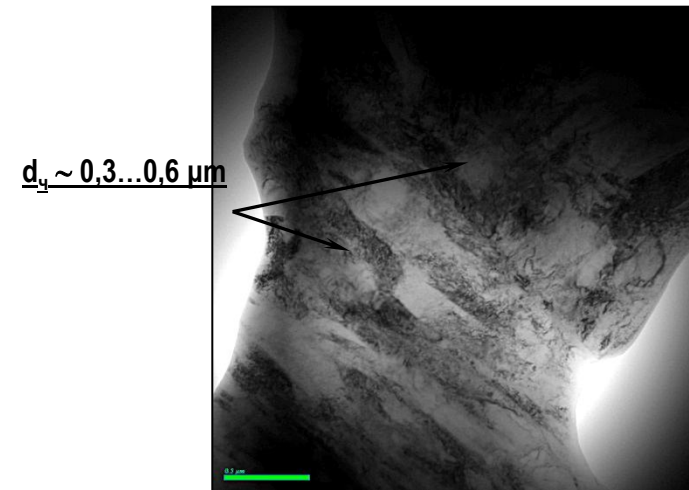
Зона контакту



Підложка - Ti



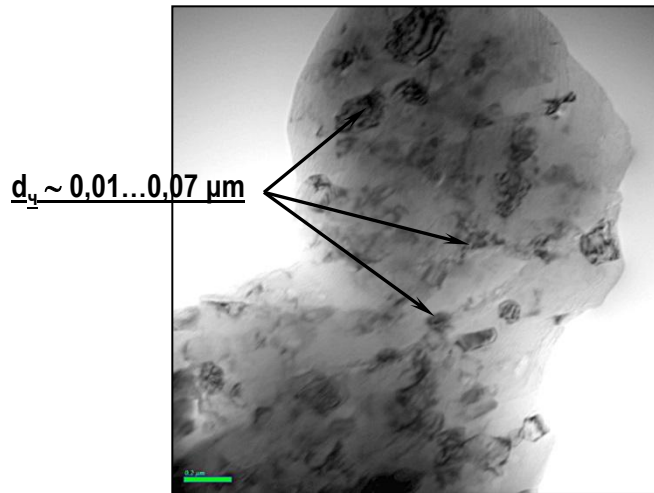
Підложка



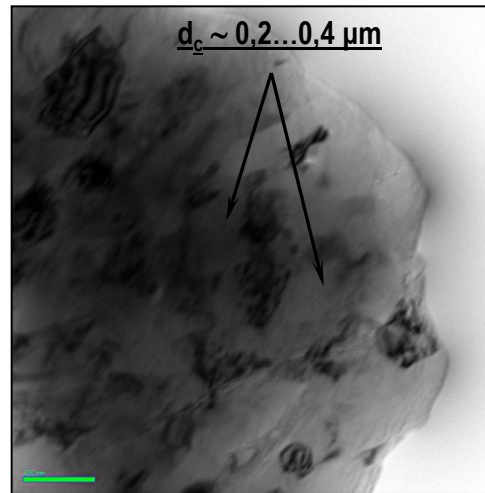
7

Дослідження методом трансмісійної електронної мікроскопії покриттів №2 $\text{Al}_2\text{O}_3 + 5\% \text{Al}$ (підложка Al)

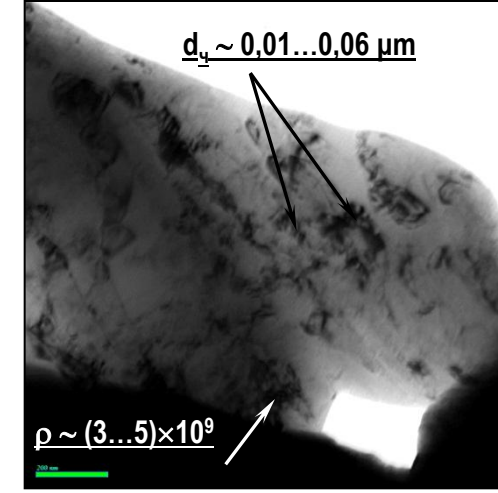
Покриття



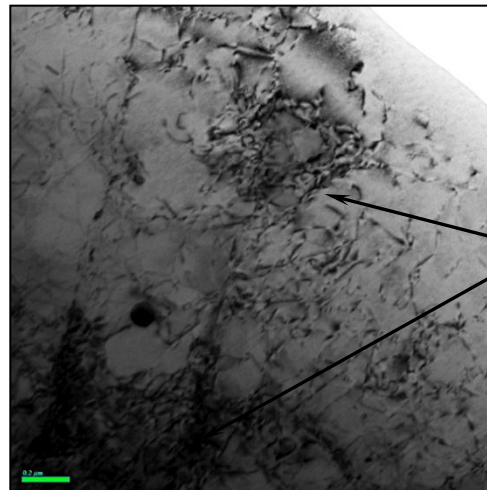
Покриття



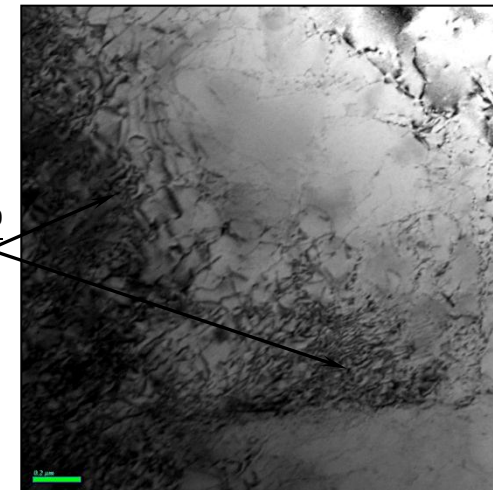
Покриття



Зона контакту



Підложка

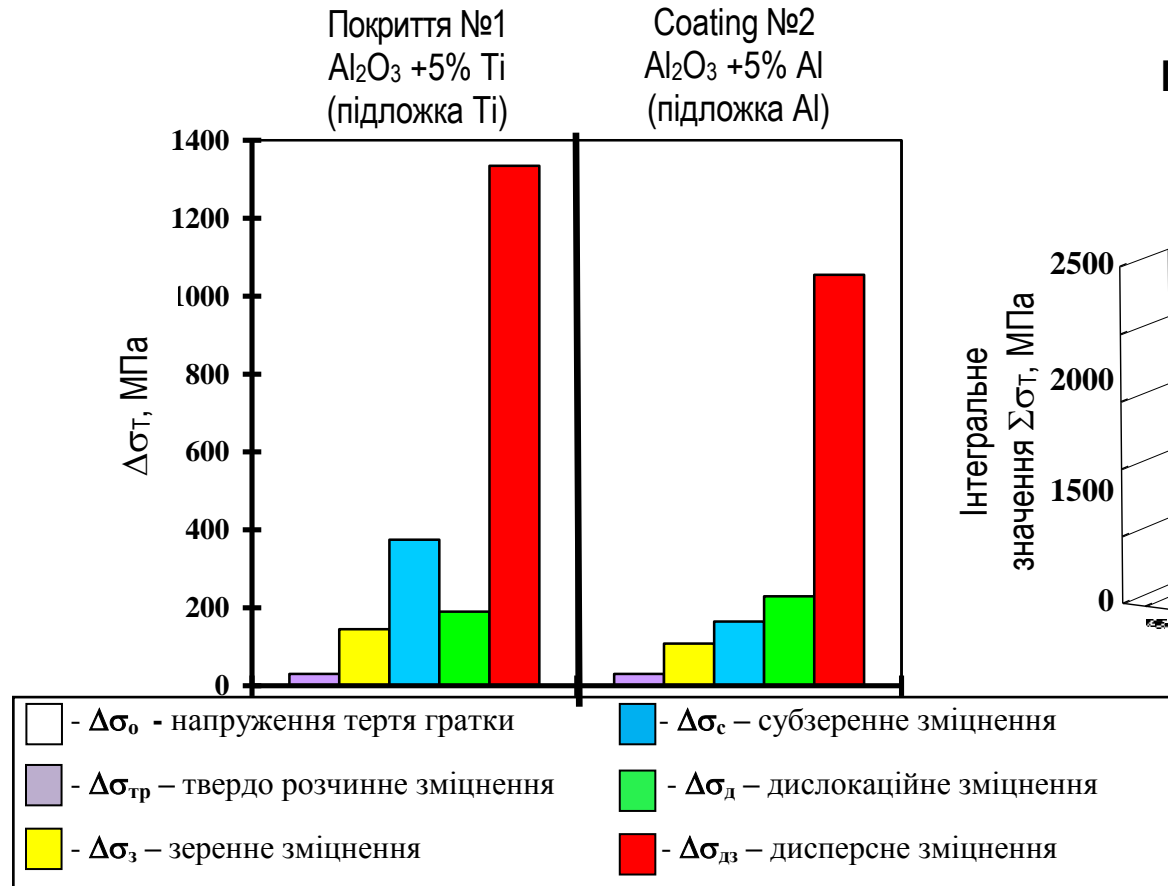


Параметри структури отримані методами електронної мікроскопії

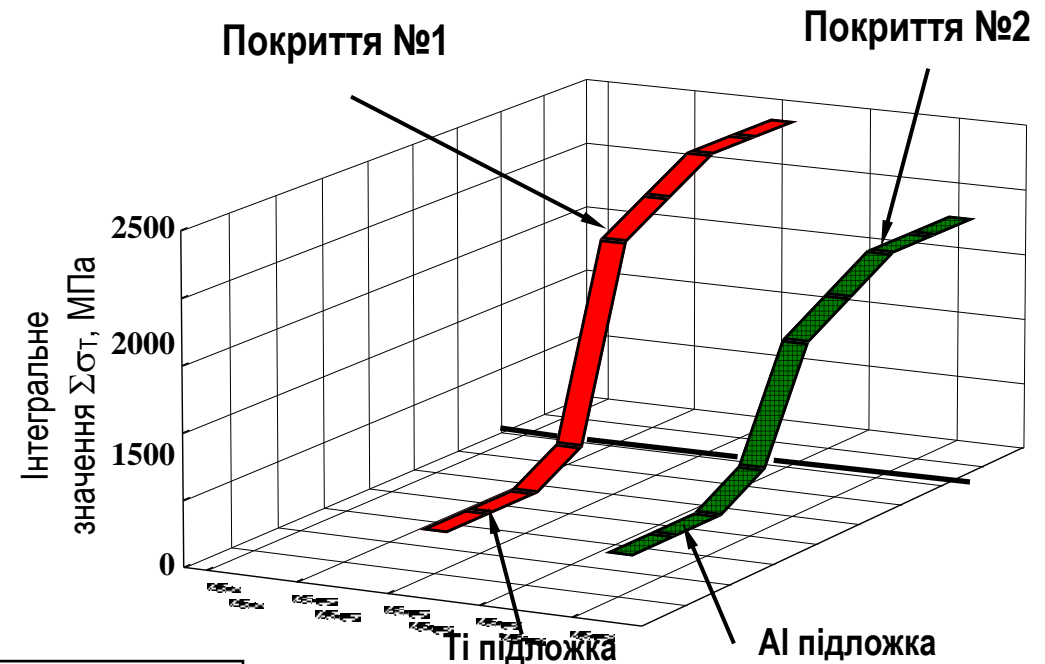
	Покриття $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Ti} / \text{Al}$	
	№1 - $\text{Al}_2\text{O}_3 + 5\% \text{Ti}$ (Ti підложка)	№2 - $\text{Al}_2\text{O}_3 + 5\% \text{Al}$ (Al підложка)
Структурні параметри	$\text{Al}_{2,66}\text{O}_4 \sim 67,0\%$ $\text{Al}_2\text{O}_3 \sim 18\%$ $\text{AlTi}_3 \sim 15\%$	$\text{Al}_{2,66}\text{O}_4 \sim 69,0\%$ $\text{Al}_2\text{O}_3 \sim 15,2\%$ $\text{Al} \sim 15,8\%$
HV, МПа	9660...13770	7900...10250
D_3 , мкм	1,5...3,5	1,0...4,5
d_c , мкм	0,1...0,4	0,1...0,6
d_ψ , мкм	0,01...0,1	0,01...0,12
λ , мкм	0,015...0,05	0,015...0,05
ρ , см^{-2} (покриття)	$3 \dots 5 \times 10^9$	$2 \dots 3 \times 10^9$
ρ , см^{-2} (лінія контакту)	$6 \dots 7 \times 10^{10}$ (покриття) 5×10^{10} (Ti підложка)	$5 \dots 6 \times 10^9$ (покриття) $4 \dots 5 \times 10^{10}$ (Al підложка)
ρ , см^{-2} (підложка)	$6 \dots 7 \times 10^{10}$	$2 \dots 3 \times 10^{10}$

Аналітичні оцінки інтегрального зміцнення покриттів

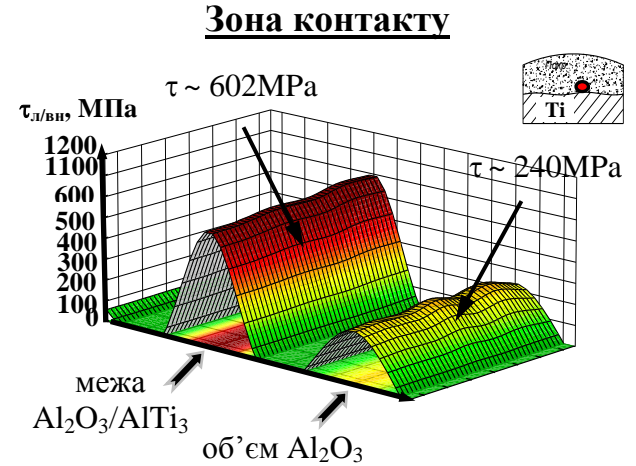
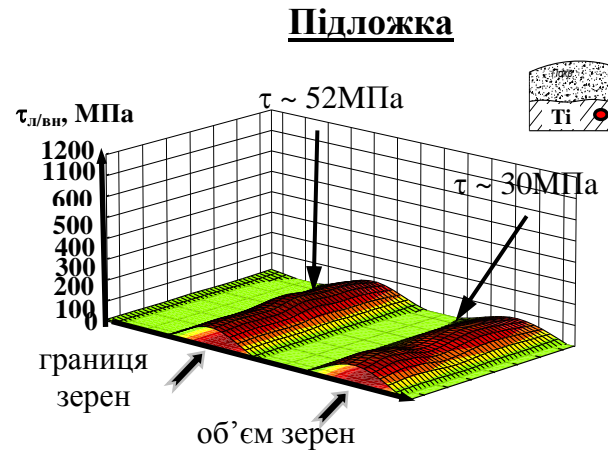
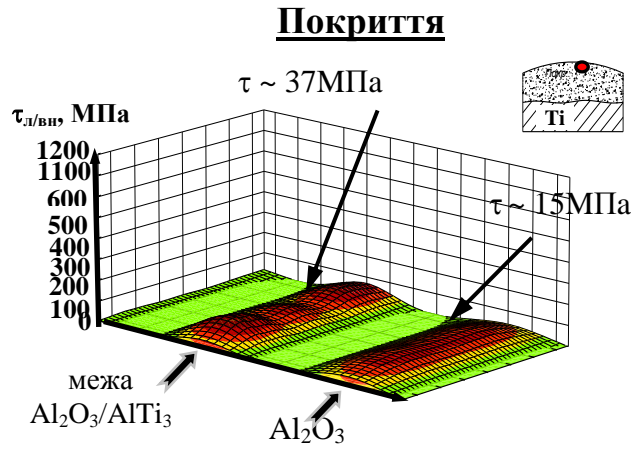
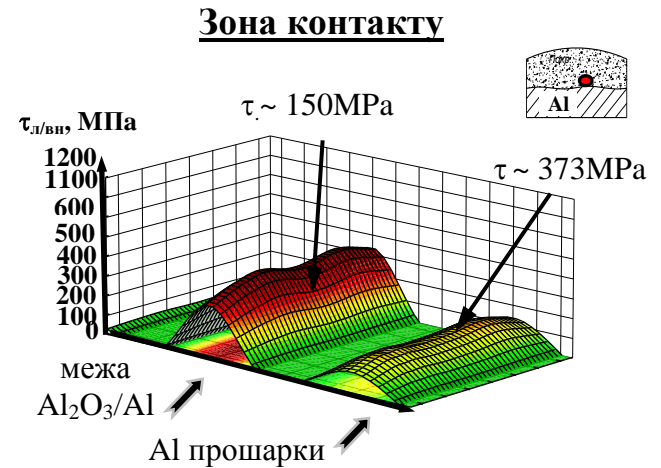
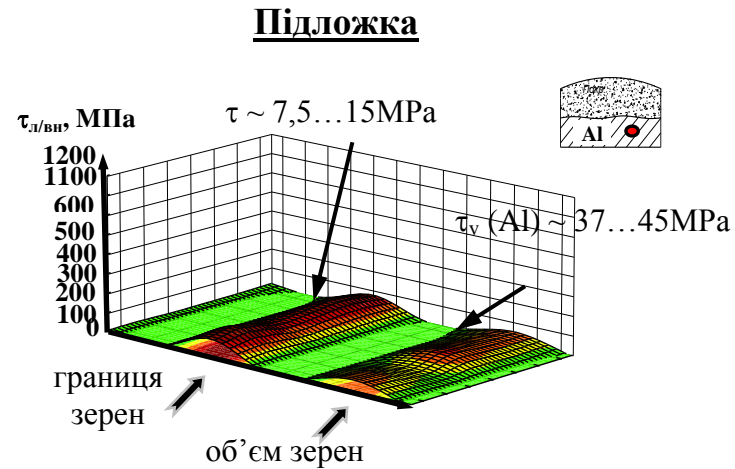
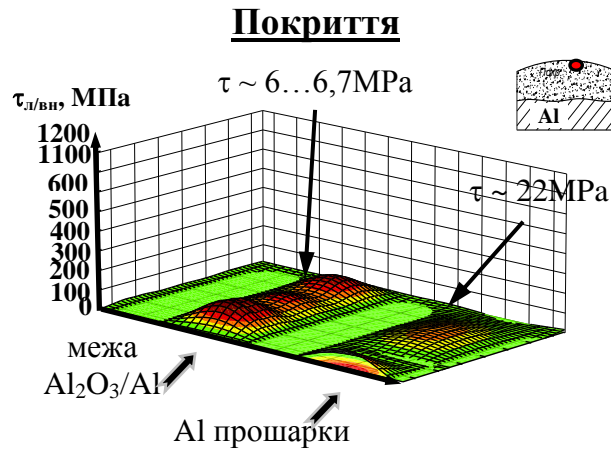
Диференційований вклад структурних складових в розрахункове значення інтегрального зміцнення



Загальне інтегральне значення зміцнення



Результати показали, що в отриманих покриттях Al₂O₃ + 5 % Ti (mode №1) та Al₂O₃ + 5 % Al (mode №2) загальне інтегральне значення зміцнення становить ΣΔσ_T = 2370 МПа та ΣΔσ_T = 2050 МПа відповідно . В обох випадках максимальний внесок в інтегральне значення зміцнення вносить дисперсне зміцнення: Δσ_{дз} = 1334 МПа (№1) та Δσ_{дз} = 1070 МПа (№2).

Покриття №1 (Підложка Ti)**Покриття №2 (підложка Al)**

Аналітично – розрахункові оцінки локальних внутрішніх напружень ($\tau_{л/вн}$) показали щр в обох покриттях спостерігається низький рівень локальних внутрішніх напружень без різких градієнтів ($\tau_{л/вн} \sim 45...670 \text{ МПа}$), що забезпечує низьку схильність таких покриттів до утворення тріщин та, відповідно, отримання якісних покриттів з високими експлуатаційними властивостями.

- ◆ Досліджено покриття систем $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Ti}$ та $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Al}$, отриманих з використанням багатокамерної детонаційної установки.
- ◆ Технологія кумулятивно – детонаційного напилення покриттів дозволяє отримувати якісні покриття з низькою пористістю, без відшарувань від підложки.
- ◆ Аналітичні оцінки інтегрального зміцнення покриттів показали що найбільший внесок створює дисперсне зміцнення .
- ◆ Встановлено, що покриття мають високі механічні властивості та тріщиностійкість за рахунок формування дріброзернистої зеренної та субзеренної структури та рівномірному розподілу фаз і дислокаційної щільності.