



**Національний Технічний  
Університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»  
Інженерно-фізичний факультет  
кафедра ВТМ та ПМ**



**Магістерська дисертація на тему:**

**ВПЛИВ ВИСОКОГО ТИСКУ НА СТРУКТУРУ ТА  
МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ  
КВАЗІКРИСТАЛІЧНОГО  $Al_{94}Fe_3Cr_3$  СПЛАВУ**

Автор:

студент групи ФК-51м

Гущик Д. В.

Науковий керівник:

д.т.н., проф. Юркова О. І.

# Актуальність досліджень

- Квазікристалічні сплави на основі Al належать до класу найновітніших металевих матеріалів. Зміцнення Al матриці квазікристалічними частинками робить Al-Fe-Cr сплави перспективними для застосування в легких інженерних конструкціях, насамперед, в авіації, аерокосмічній техніці, автотранспортній галузі. Вони показують чудові переваги механічних характеристик, що дозволяє поєднувати високу міцність і достатню пластичність при кімнатній і підвищеній температурі в порівнянні з однофазними квазікристалічними сплавами на основі Cu, які мають крихку природу.
- Умовою формування квазікристалічних фаз в цих сплавах є надвисокі ( $10^5 - 10^6$  K/c) швидкості охолодження розлаву і, тому, їх зазвичай отримують як напівфабрикат у вигляді пластівців або порошків.

**Проблема:** матеріалів метастабільна природа квазікристалічних Al-Fe-Cr частинок

Тому розробка методики наступної консолідації напівфабрикату в об'ємний матеріал/покриття має важливе значення для підвищення термостабільності структури та механічних властивостей.

**Метою роботи** є дослідження впливу високого тиску на структуру, фазовий склад та механічні властивості композиційного квазікристалічного  $\text{Al}_{94}\text{Fe}_3\text{Cr}_3$  сплаву.

**Об'єкт дослідження:** Квазікристалічний  $\text{Al}_{94}\text{Fe}_3\text{Cr}_3$  сплав, отриманий методом диспергування розплаву струменями води та консолідований під високим тиском

**Предмет дослідження:** формування структури, фазового складу та механічних властивостей композиційного квазікристалічного  $\text{Al}_{94}\text{Fe}_3\text{Cr}_3$  сплаву, консолідованого в умовах високого тиску.

# Методика досліджень

Диспергування розплаву струменями води з високим тиском  
Порошок квазікристалічного  $\text{Al}_{94}\text{Fe}_3\text{Cr}_3$   
сплаву

Дослідження структури та фазового складу  
(СЕМ, РФА)

Компактування в умовах  
квазігідростатичного стиску при 2,5; 4 та 6 ГПа

Дослідження структури  
та фазового складу  
(СЕМ, РФА)

Мікромеханічні  
випробування

Порівняння отриманих даних  
для різних тисків консолідації  
(2,5; 4 та 6 ГПа)

Визначення:

модуля Юнга  $E$ ;

мікротвердості  $HV$ ;

умовної границі плинності  $\sigma_{0,2}$ ;

границі пружності  $\sigma_e$ ;

характеристики пластичності  $\delta_H$

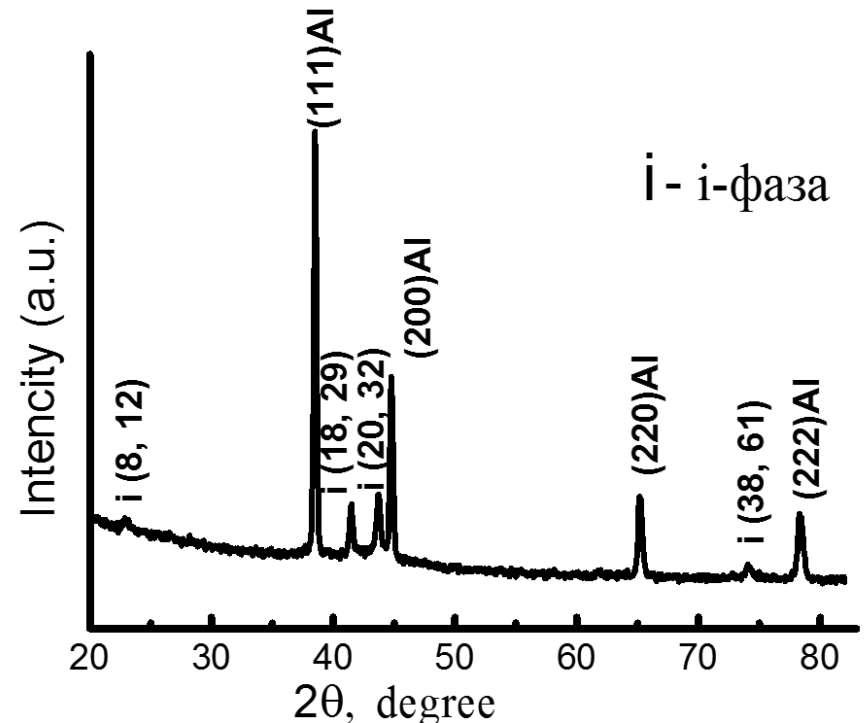
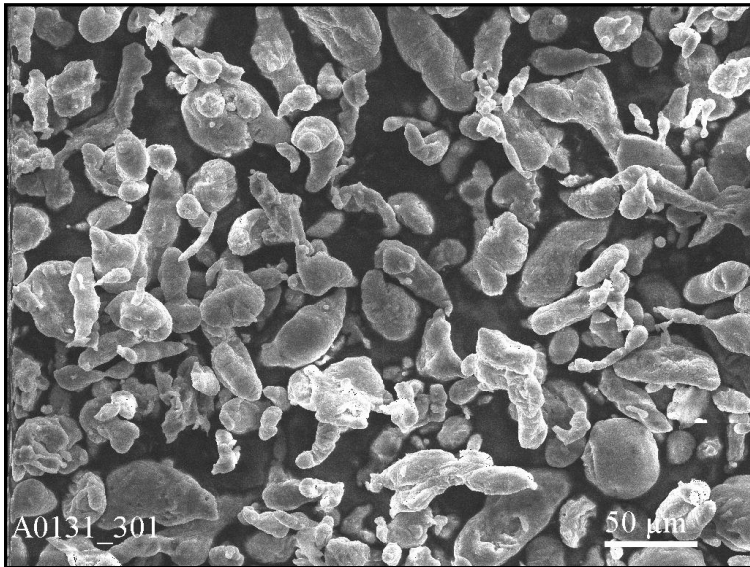
$$\delta_H = 1 - 14.3 \left( 1 - \nu - 2\nu^2 \right) \frac{HV}{E}$$

# Отримання та дослідження порошку квазікристалічного $\text{Al}_{94}\text{Fe}_3\text{Cr}_3$ сплаву

Диспергування розплаву струменями води з високим тиском (WA-N метод)

- розмір частинок  $\leq 40$  мкм;
- Температура 1573 К;
- $P=10$  Мпа
- $\text{pH} = 3,5$

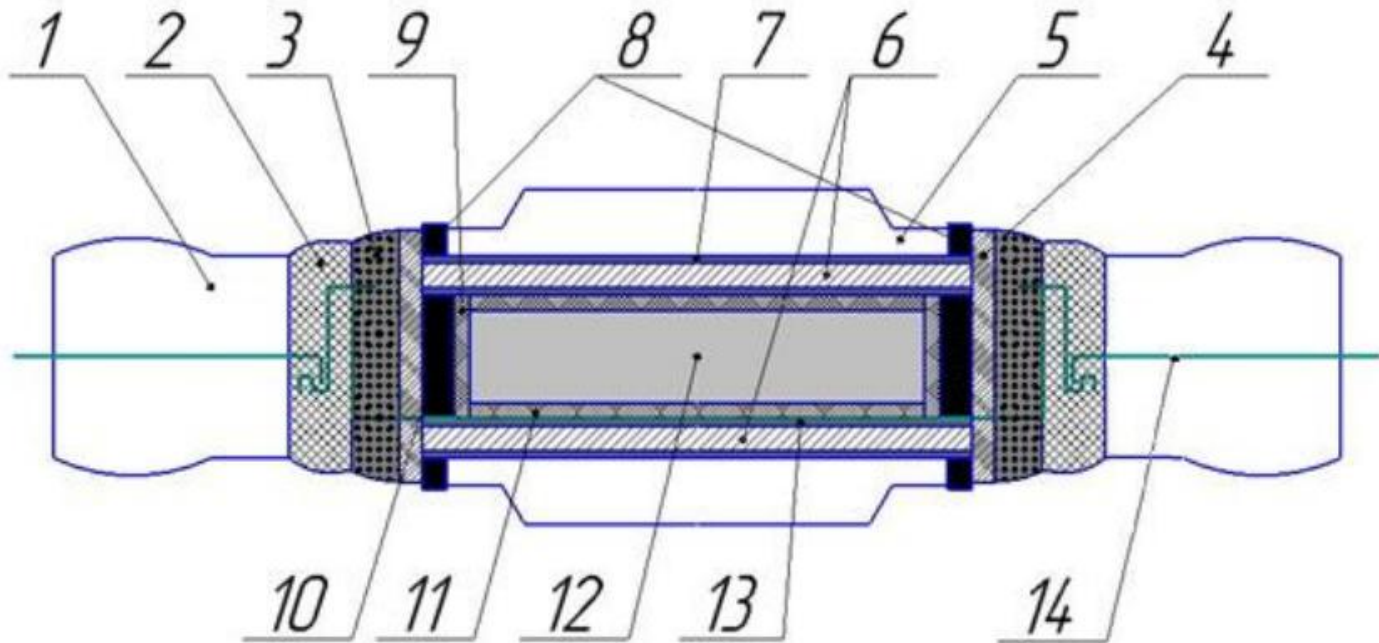
За даними РФА вміст квазікристалічної фази склав  $\sim 28-30\%$ .



порошок, отриманий за WA-N методом, має неправильну форму частинок і нерівний рельєф їх поверхні, що полегшує їх подальшу консолідацію шляхом пластичної деформації в умовах високого тиску

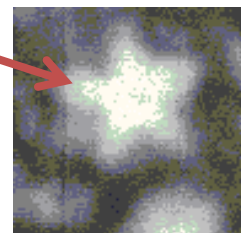
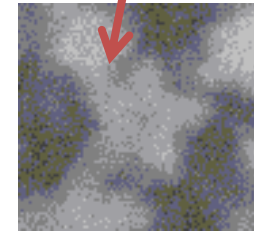
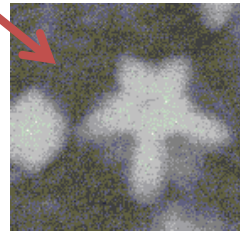
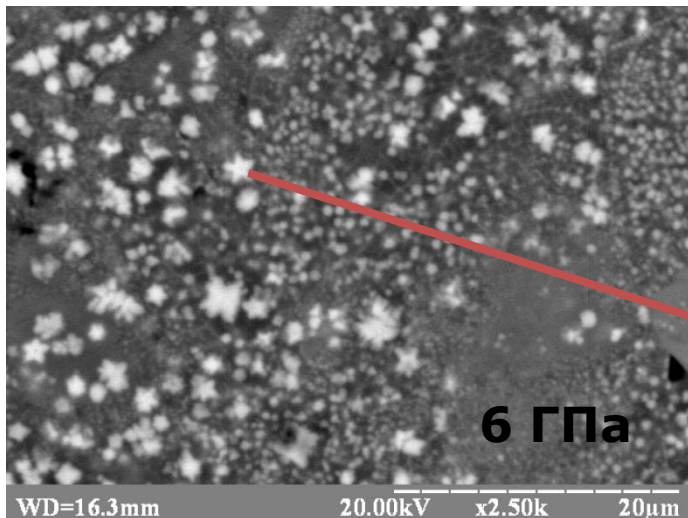
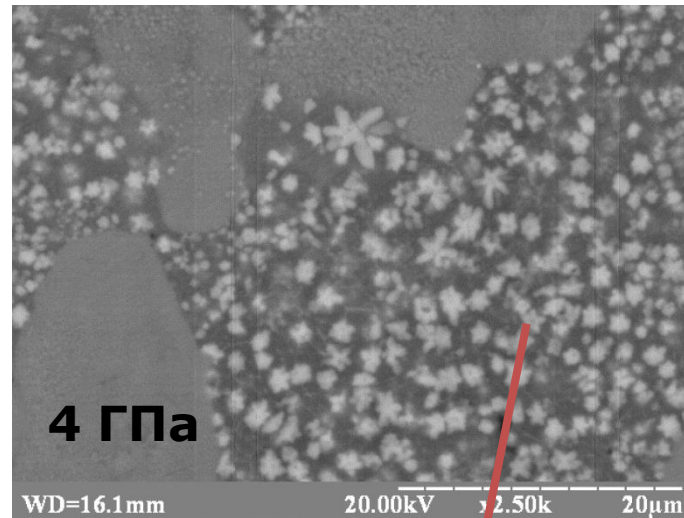
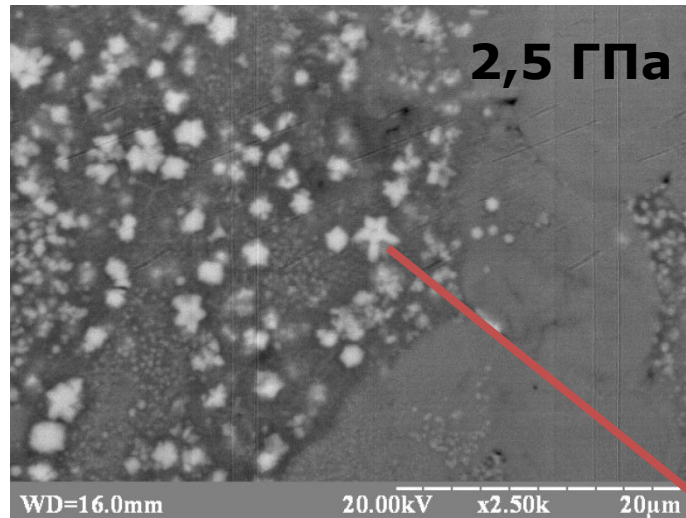
## Консолідація квазікристалічного $\text{Al}_{94}\text{Fe}_3\text{Cr}_3$ сплаву

Компактні зразки виготовляли в умовах квазігідростатичного стискання у комірках високого тиску при кімнатній температурі (без нагрівання) під тиском 2,5; 4 та 6 ГПа.



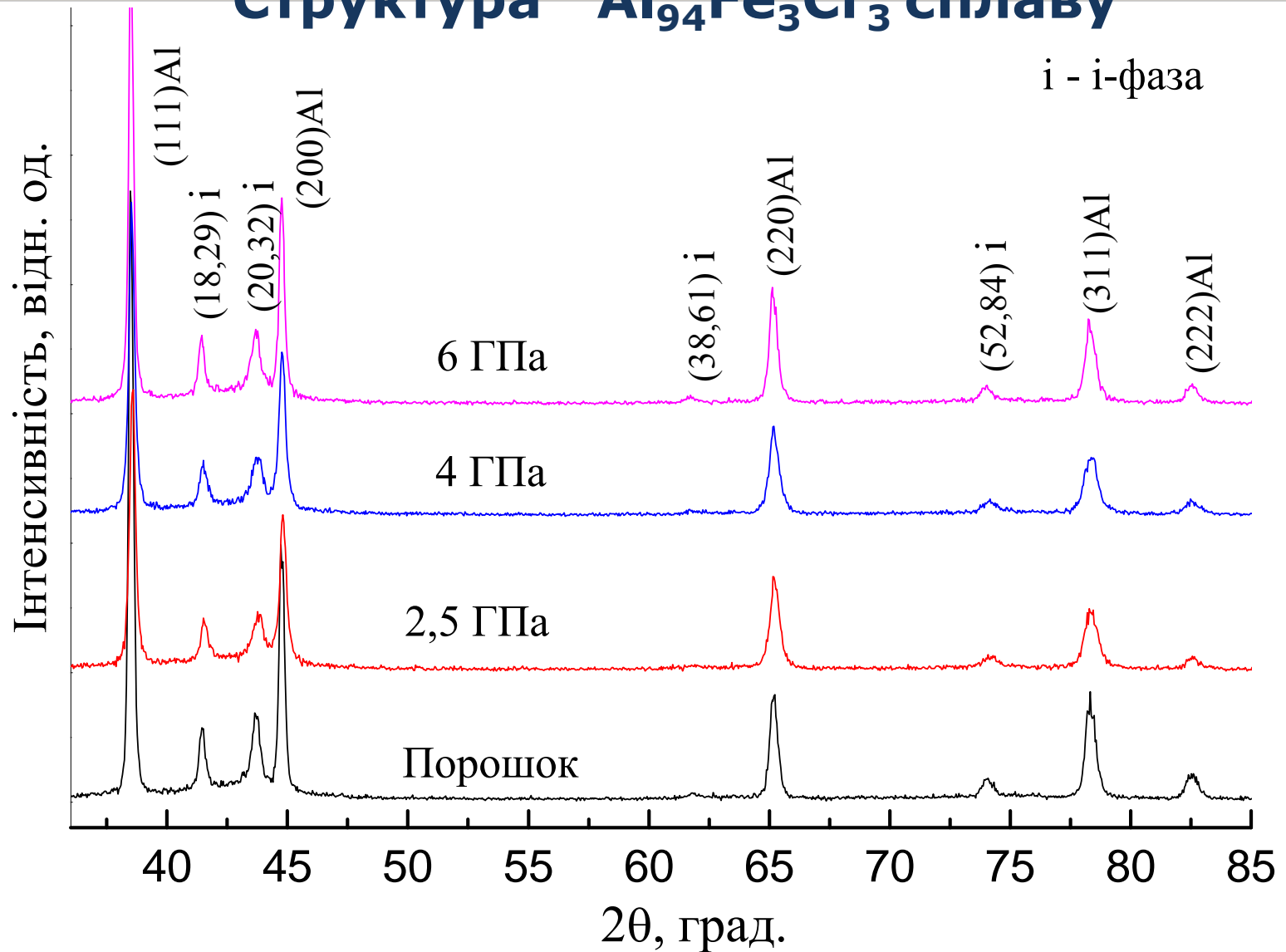
1 – тороїдне кільце; 2 – зовнішня втулка; 3 – внутрішня втулка; 4 – теплоізоляційна втулка 5 – теплоізоляційний диск; 6 – композиційний дисковий нагрівач; 7 – графітовий диск; 8 – струмопровідне кільце; 9 – ізоляційна внутрішня втулка; 10 – трубчатий нагрівач; 11 – ізоляційний внутрішній диск; 12 – пресовка з порошку; 13 – графітовий диск; 14 – термопара

# Мікроструктура консолідованого $\text{Al}_{94}\text{Fe}_3\text{Cr}_3$ сплаву



Деякі з частинок мають форму п'ятикутних зірочок, що, очевидно, є виявленням симетрії 5-го порядку пакування атомів в ікосаедричному квазікристалі

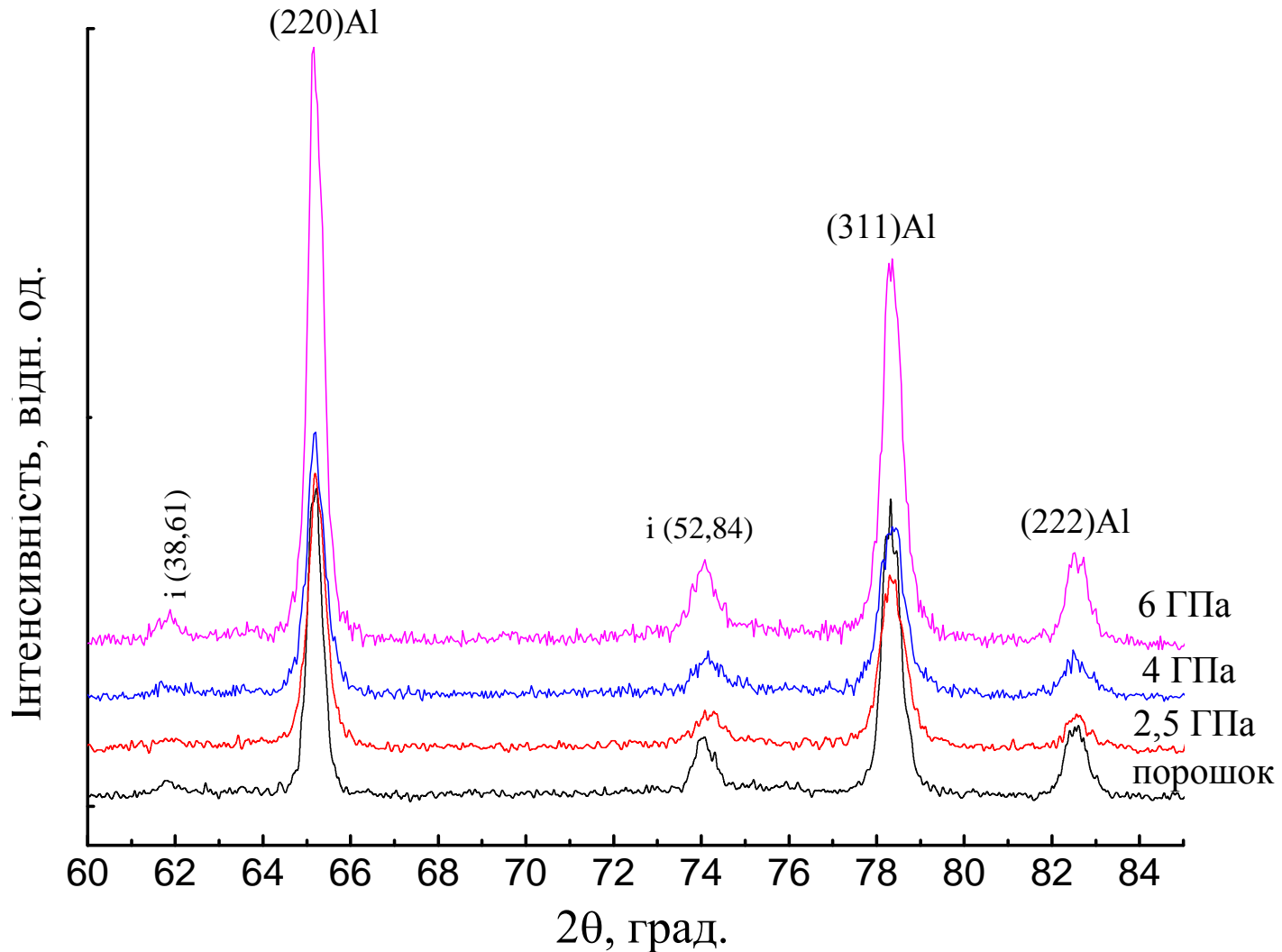
# Структура $\text{Al}_{94}\text{Fe}_3\text{Cr}_3$ сплаву



Спектри рентгенівської дифракції  $\text{Al}_{94}\text{Fe}_3\text{Cr}_3$  сплаву у вигляді порошку та компактованого під високим тиском: 2,5; 4; 6 ГПа

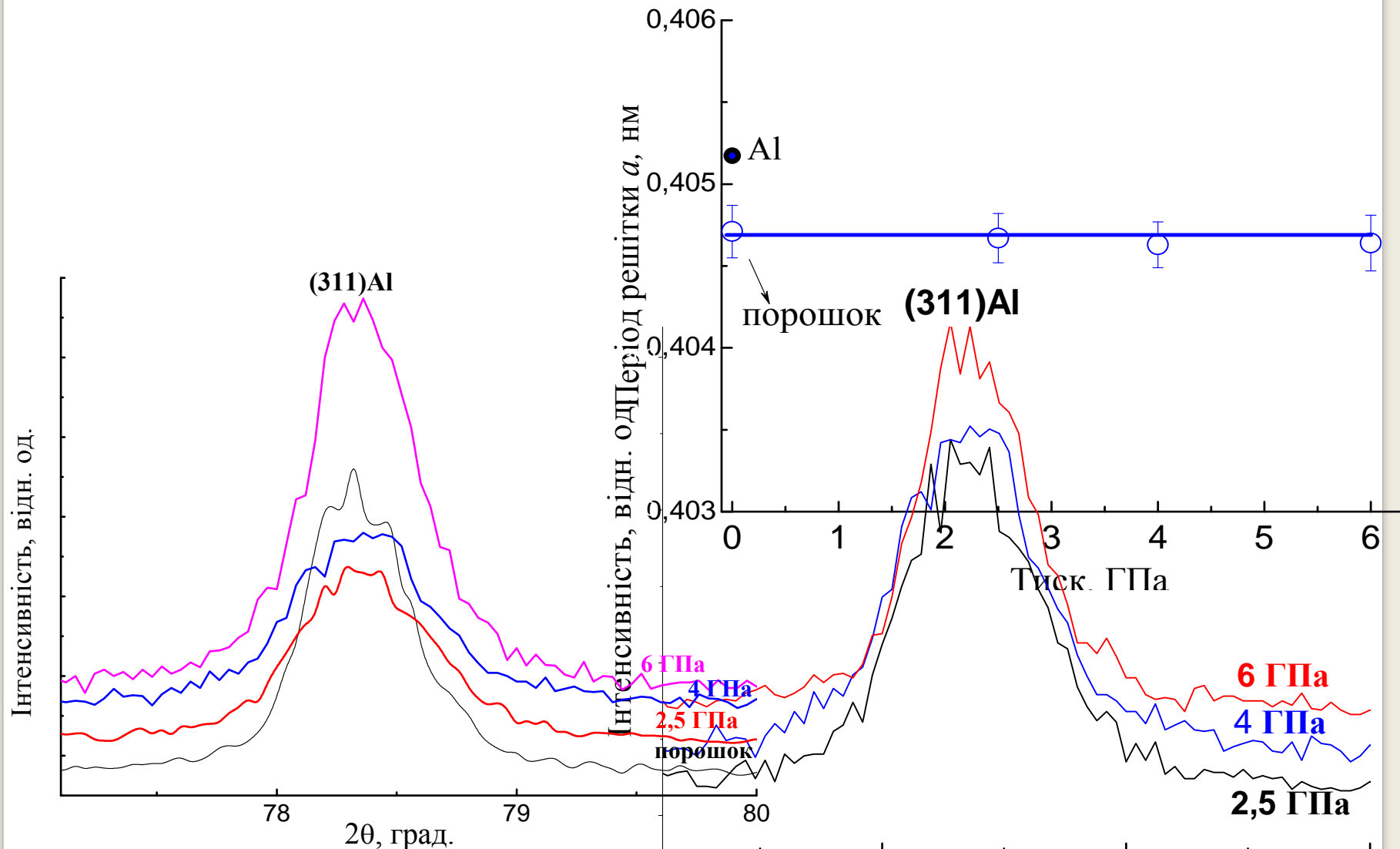


# Структура $\text{Al}_{94}\text{Fe}_3\text{Cr}_3$ сплаву



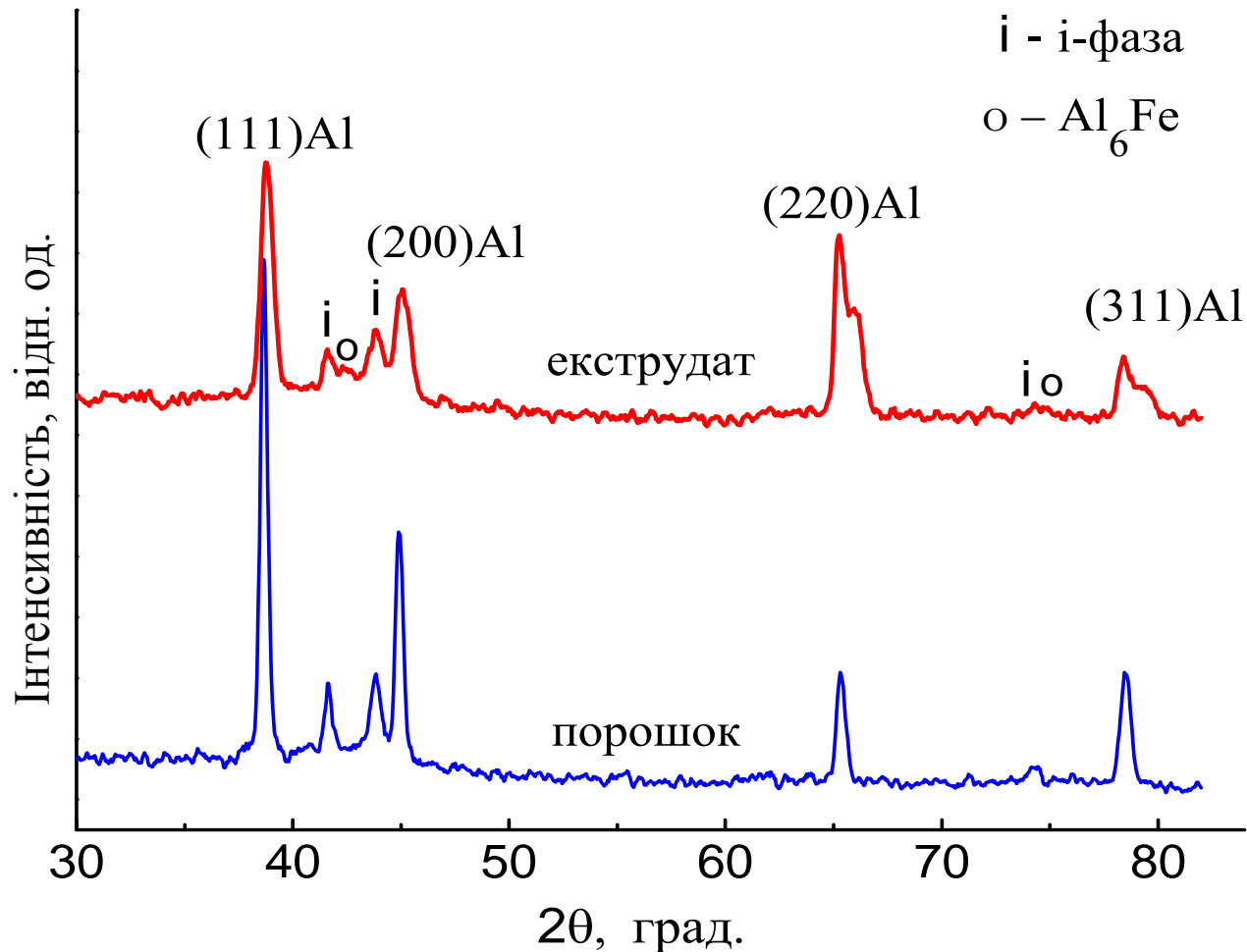
Фрагменти спектрів рентгенівської дифракції порошкового сплаву  $\text{Al}_{94}\text{Fe}_3\text{Cr}_3$  до та після консолідації в умовах високого тиску

# Структура $\text{Al}_{94}\text{Fe}_3\text{Cr}_3$ сплаву



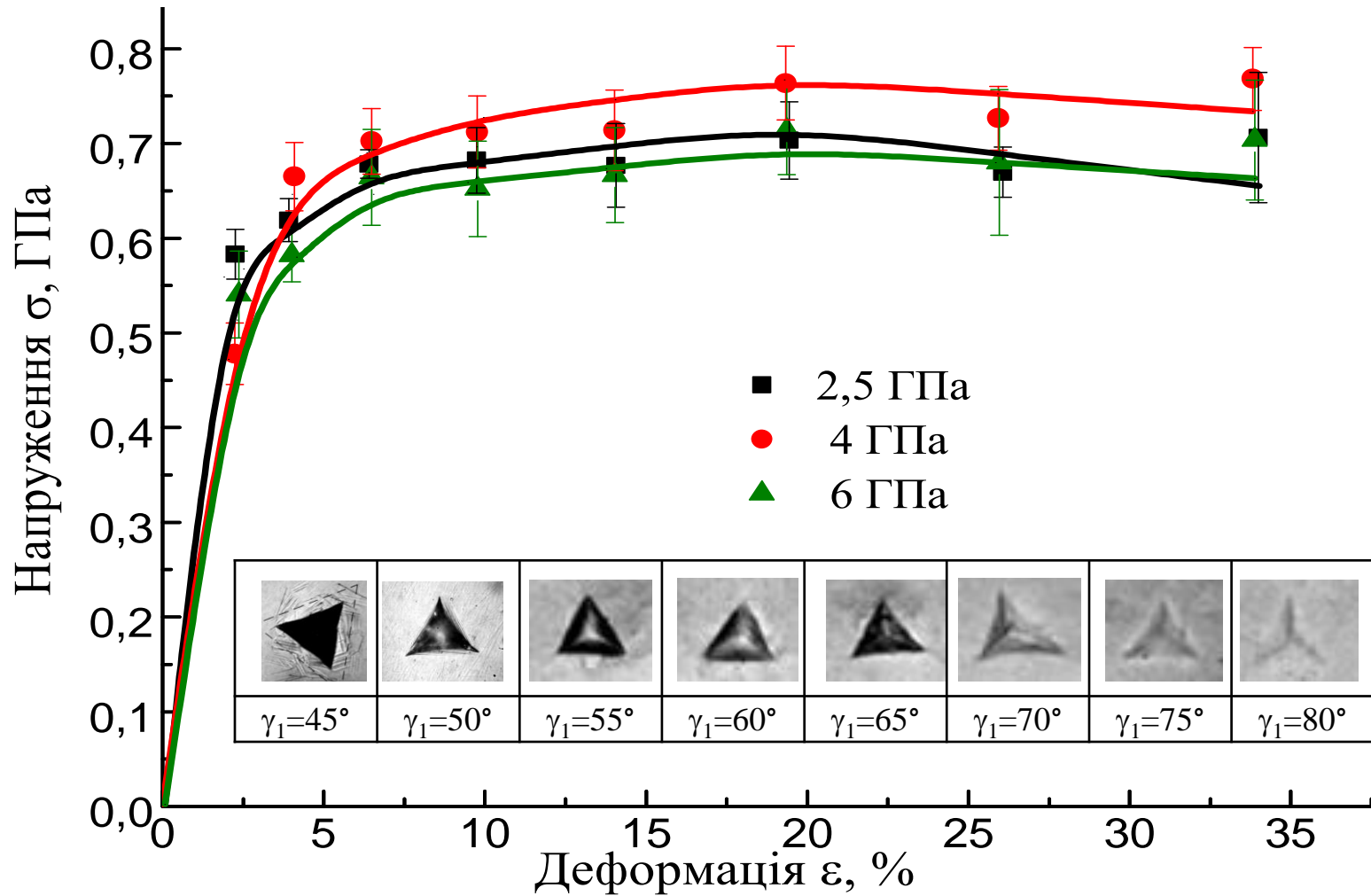
Зміна періоду решітки твердого розчину  $\alpha$ -Al порошкового сплаву  $\text{Al}_{94}\text{Fe}_3\text{Cr}_3$  до та після консолідації в умовах високого тиску

# Структура $\text{Al}_{94}\text{Fe}_3\text{Cr}_3$ сплаву, консолідованого екструзією



Спектри рентгенівської дифракції  $\text{Al}_{94}\text{Fe}_3\text{Cr}_3$  сплаву у вигляді порошку та після компактування екструзією під комплексною дією високого тиску та температури

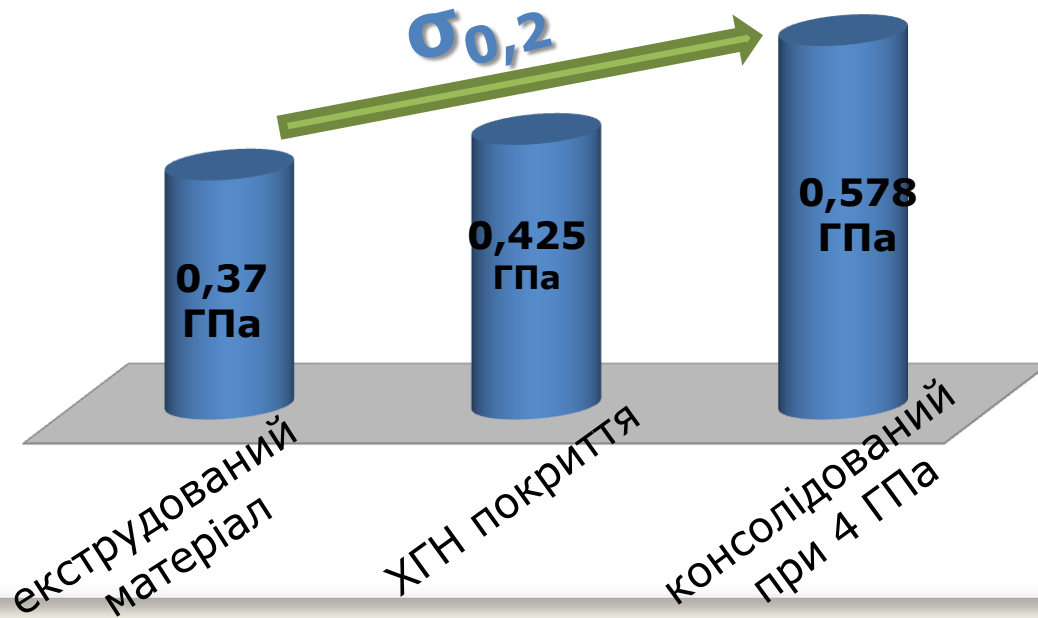
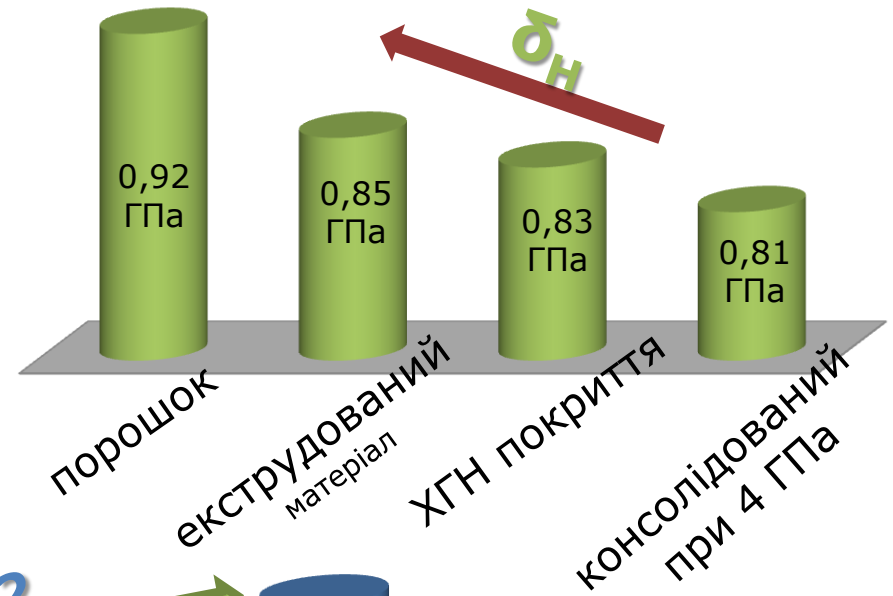
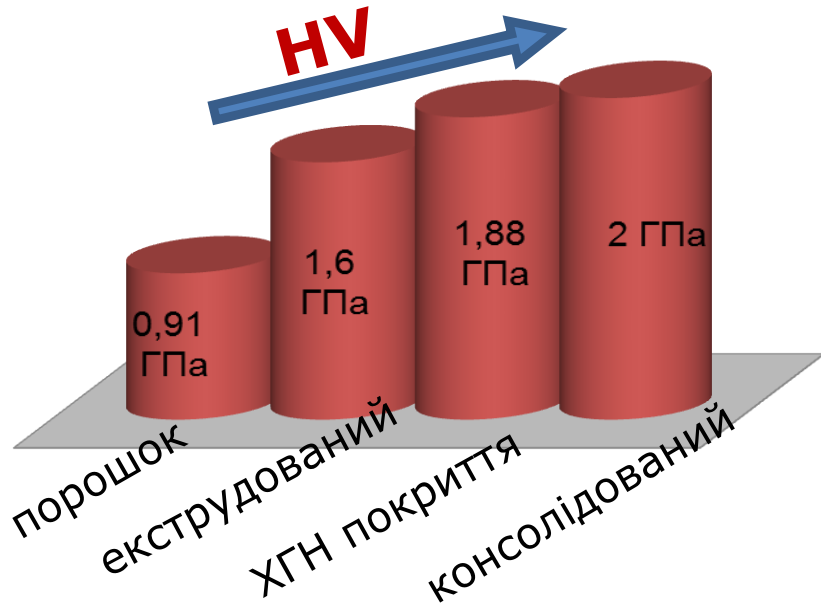
# Криві «напруження – деформація» $\text{Al}_{94}\text{Fe}_3\text{Cr}_3$ сплаву після компактування під тиском 2,5; 4; 6 ГПа



## Механічні властивості $Al_{94}Fe_3Cr_3$ сплаву

Параметр Матеріал	Модуль Юнга $E$ , ГПа	Мікротвер- дість HV, ГПа	Характерис- тика пластич- ності $\delta_H$	Умовна границя плинності $\sigma_{0,2}$ , ГПа	Границя пружно- сті $\sigma_e$ , МПа
Порошок	–	$0,91 \pm 0,03$	0,92	–	–
Консолідова- ний при 2,5 ГПа	$85 \pm 5$	$1,84 \pm 0,06$	0,85	0,565	0,315
Консолідова- ний при 4 ГПа	$71 \pm 7$	$2,00 \pm 0,05$	0,81	0,578	0,327
Консолідова- ний при 6 ГПа	$69 \pm 8$	$1,94 \pm 0,06$	0,80	0,585	0,330
Екструдо- ваний	$72,0 \pm 6$	$1,6 \pm 0,04$	0,83	0,370	–
Консолідова- ний ХГН	$87,7 \pm 5,5$	$1,88 \pm 0,05$	0,83	0,425	–

# Механічні властивості $Al_{94}Fe_3Cr_3$ сплаву



## ВИСНОВКИ

1. На прикладі  $\text{Al}_{94}\text{Fe}_3\text{Cr}_3$  сплаву вперше експериментально обґрунтовано ефективність застосування консолідації в умовах високого тиску при кімнатній температурі щодо збереження метастабільної квазікристалічної і-фази. Показано, що високий тиск, величина якого становить 2,5; 4 та 6 ГПа не впливає на фазовий склад сплаву після компактування, про що свідчить збереження квазікристалічної і-фази в  $\text{Al}_{94}\text{Fe}_3\text{Cr}_3$  сплаві.
2. Показано, що консолідація в умовах високого тиску, яка відбувається при низькій температурі (293 К) на відміну від процесу консолідації порошкового сплаву шляхом одноосьової деформації екструзією, яку здійснюють при підвищених температурах (653 К), сприяє збереженню вмісту метастабільної квазікристалічної фази в алюмінієвій матриці.

## ВИСНОВКИ

3. Встановлено, що деформаційне зміцнення  $\text{Al}_{94}\text{Fe}_3\text{Cr}_3$  сплаву в процесі консолідації при високому тиску призводить до істотного збільшення його характеристик міцності. Перевищуючи мікротвердість  $HV$  вихідних порошків на 100-120%, мікротвердість порошкового  $\text{Al}_{94}\text{Fe}_3\text{Cr}_3$  сплаву, консолідованого при високих тисках, досягає 2 ГПа. Крім того, умовна границя плинності  $\sigma_{0,2}$  знаходиться у межах 0,565-0,585 ГПа, а границя пружності,  $\sigma_e$ , у межах 0,315-0,330 ГПа, що вище характеристик міцності сплаву після консолідації теплою екструзією та холодним газодинамічним напиленням.

4. Не зважаючи на істотне деформаційне зміцнення, характеристика пластичності  $\delta_H$   $\text{Al}_{94}\text{Fe}_3\text{Cr}_3$  сплаву, консолідованого в умовах високого тиску, виявляється на 8% меншою від цього параметру для вихідного порошку, залишаючись наближеною до критичного значення ( $\delta_H = 0,90$ ), що свідчить про пластичну поведінку матеріалу в умовах розтягнення та згину.

5. Розроблені заходи, що забезпечують здорові умови праці, та засади забезпечення безпеки в надзвичайній ситуації.



**ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!**