



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”



Інженерно-фізичний факультет
Кафедра високотемпературних матеріалів та порошкової металургії

Вплив хіміко-термічної обробки на структуру та властивості порошкових магнітно-м'яких матеріалів на основі заліза

Виконала роботу: Пилявська Є.О.

Керівник роботи: Мініцький А.В., к.т.н., доц.

Використання магнітно-м'яких матеріалів



електричні генератори



сердечники трансформаторів



сердечники дроселей



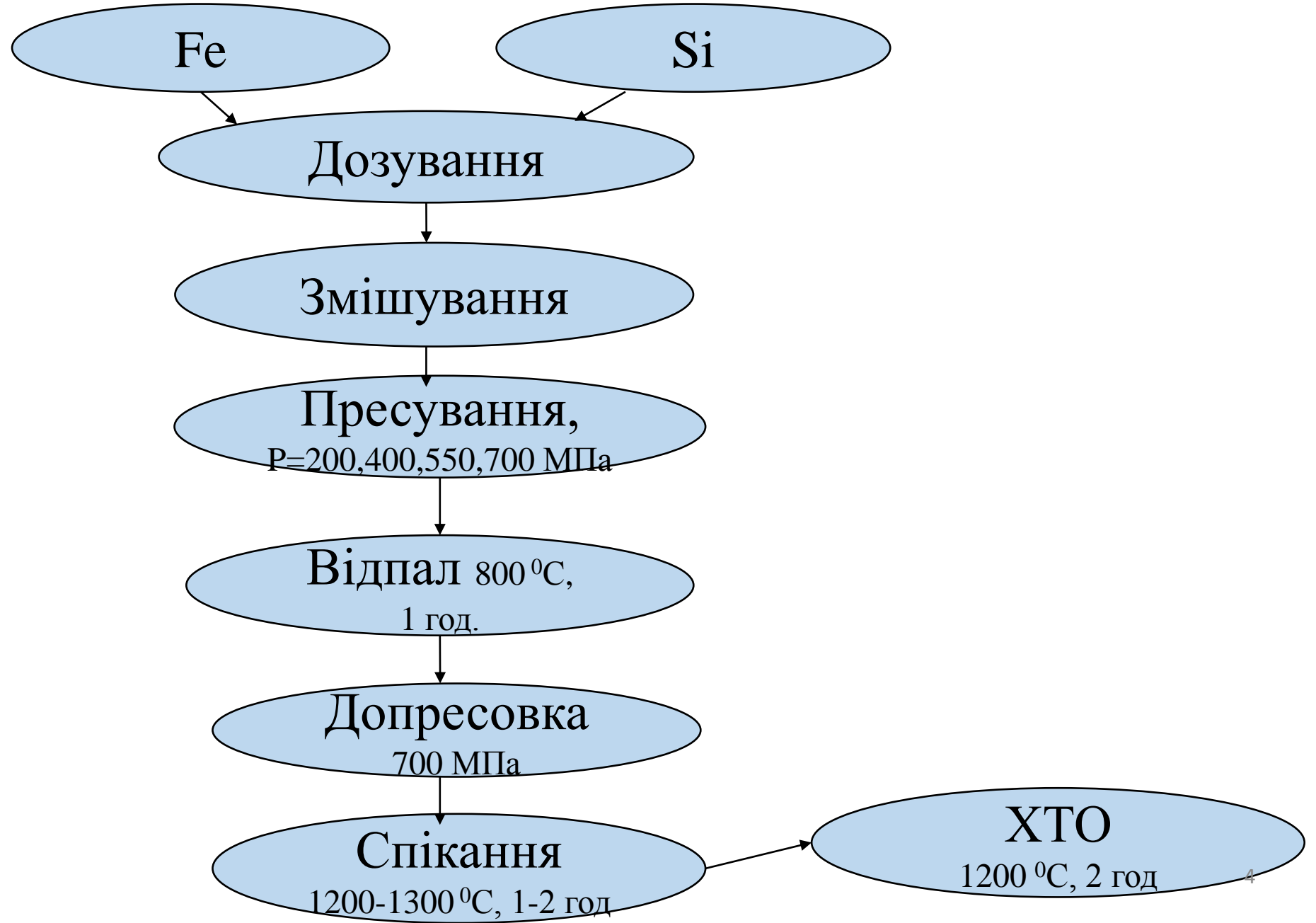
магнітопроводи

Метою даної роботи є вивчення впливу хіміко-термічної обробки на структуру та властивості порошкових магнітно-м'яких матеріалів на основі заліза

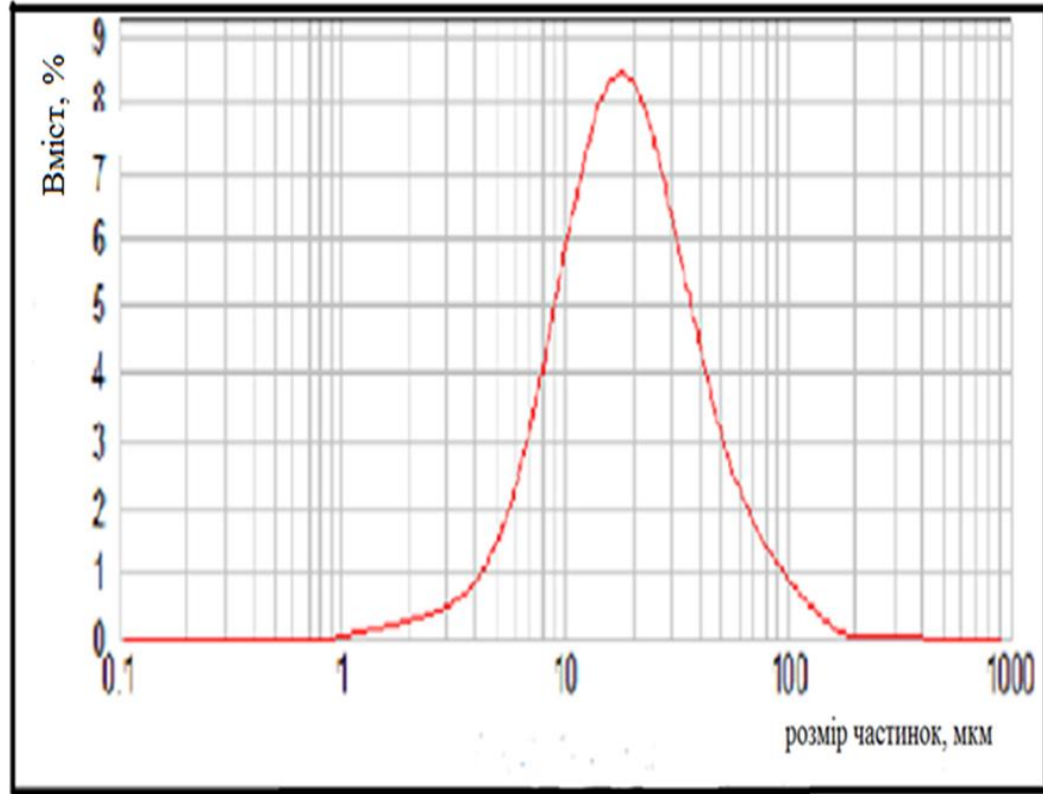
Для досягнення мети були поставлені наступні завдання:

- Розробити такі порошкові магнітно-м'які матеріали, що мають низьку залишкову пористість разом з високими магнітними характеристиками. З цією метою дослідити умови одержання матеріалів легованих кремнієм і провести комплекс експериментів по визначенню оптимальних технологічних режимів формування матеріалів на основі таких порошоків залізу та кремнію
- Дослідити процеси формування та спікання порошкових матеріалів на залізній основі з метою одержання високощільних виробів з високими магнітними властивостями
- Дослідити вплив кремнію на структуру та магнітні властивості порошкових магнітно-м'яких матеріалів на основі заліза
- Дослідити вплив хіміко-термічного оброблення на структуру та магнітні властивості порошкових магнітно-м'яких матеріалів на основі заліза

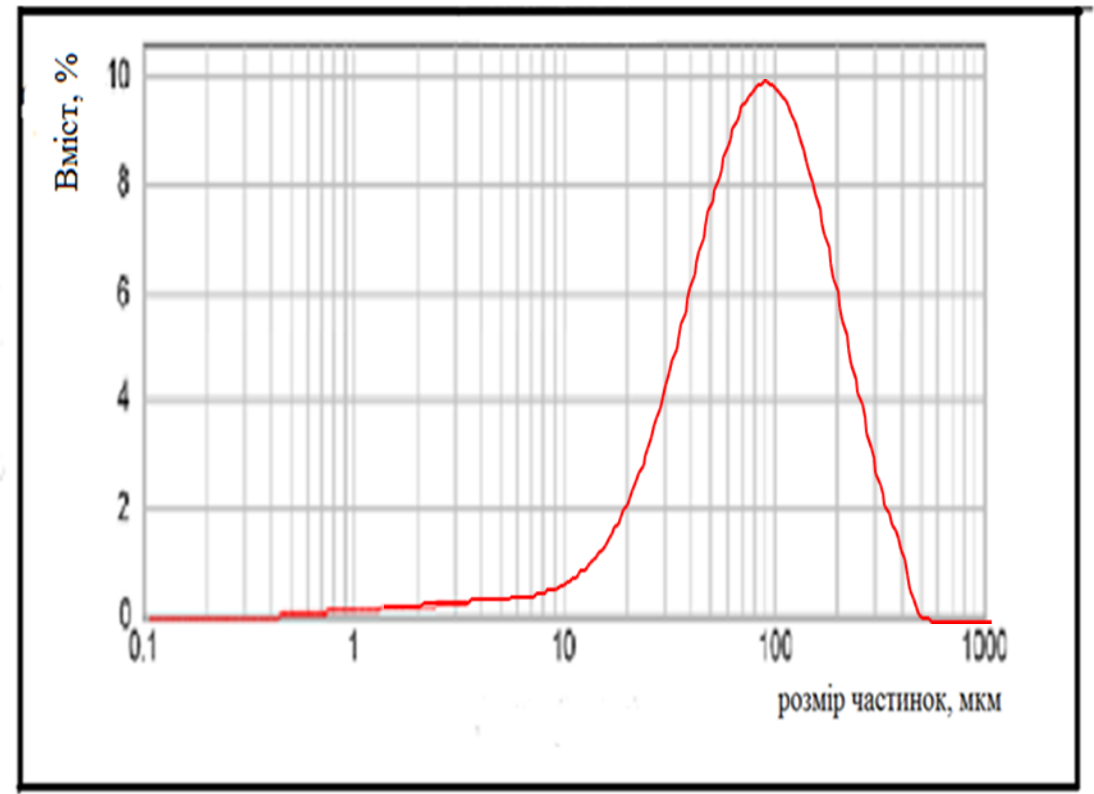
Технологічна схема



Розподілення частинок порошку за розміром

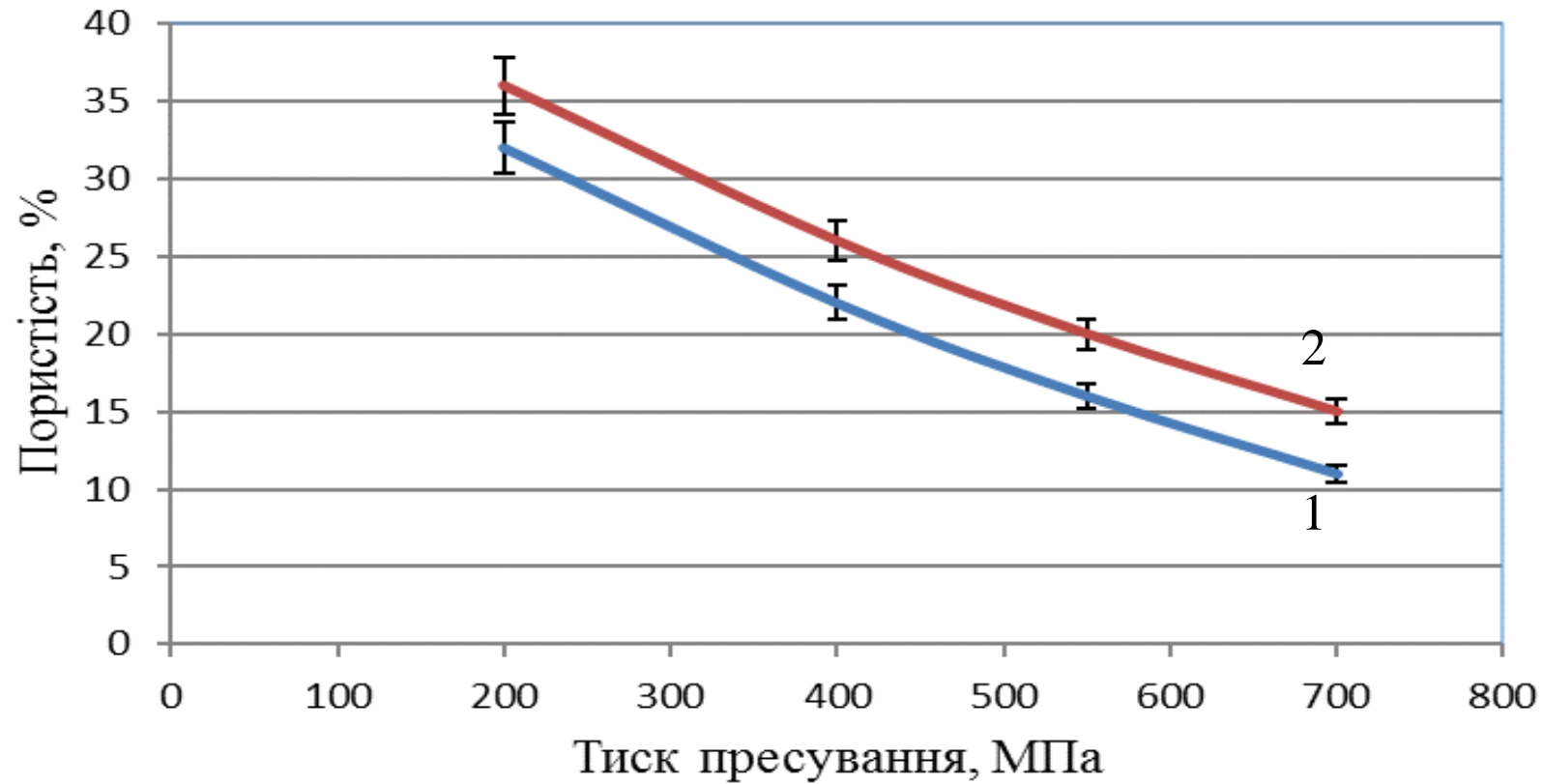


порошку кремнію



порошку заліза

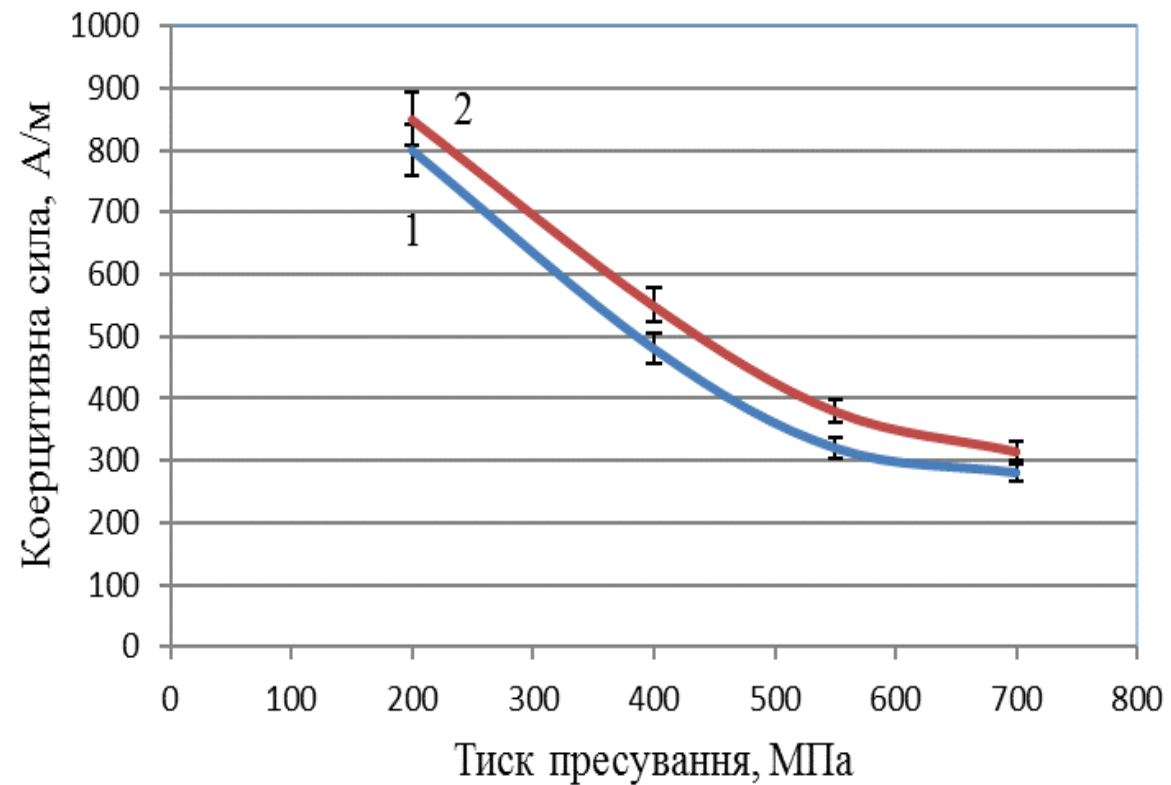
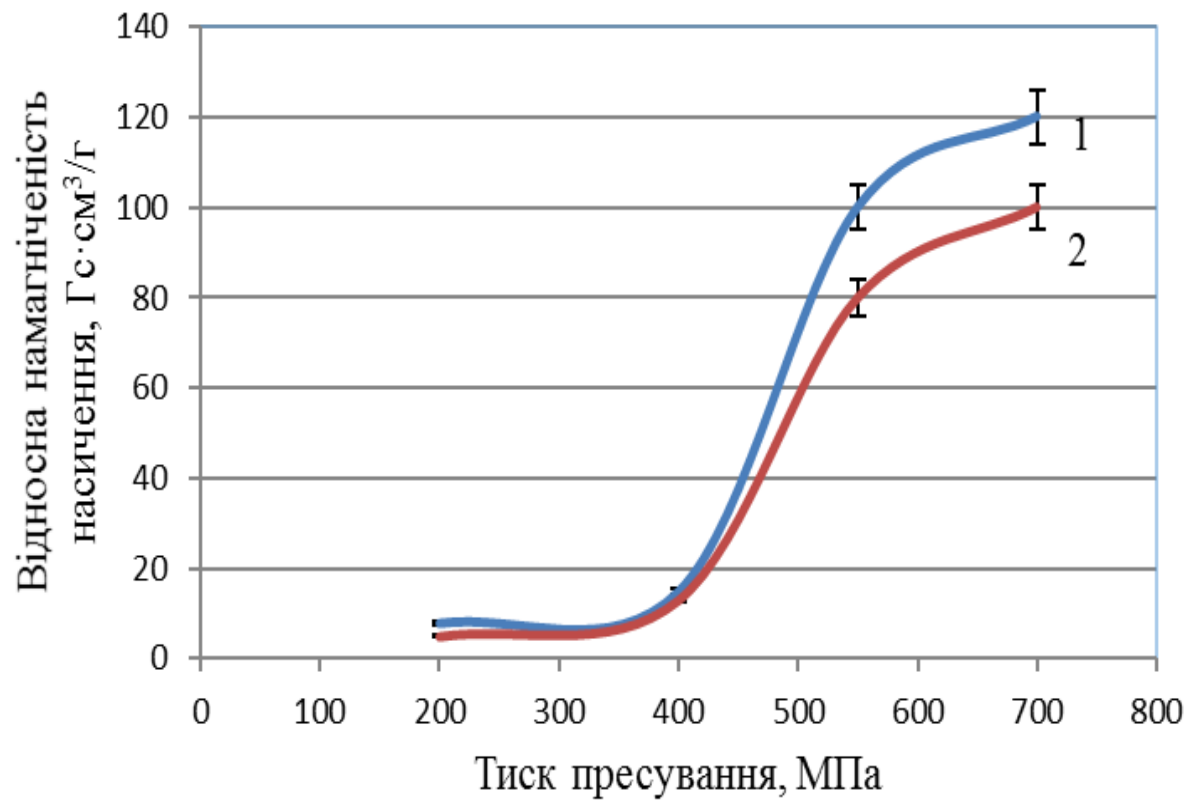
Залежність пористості зразків від тиску пресування



1 – Fe

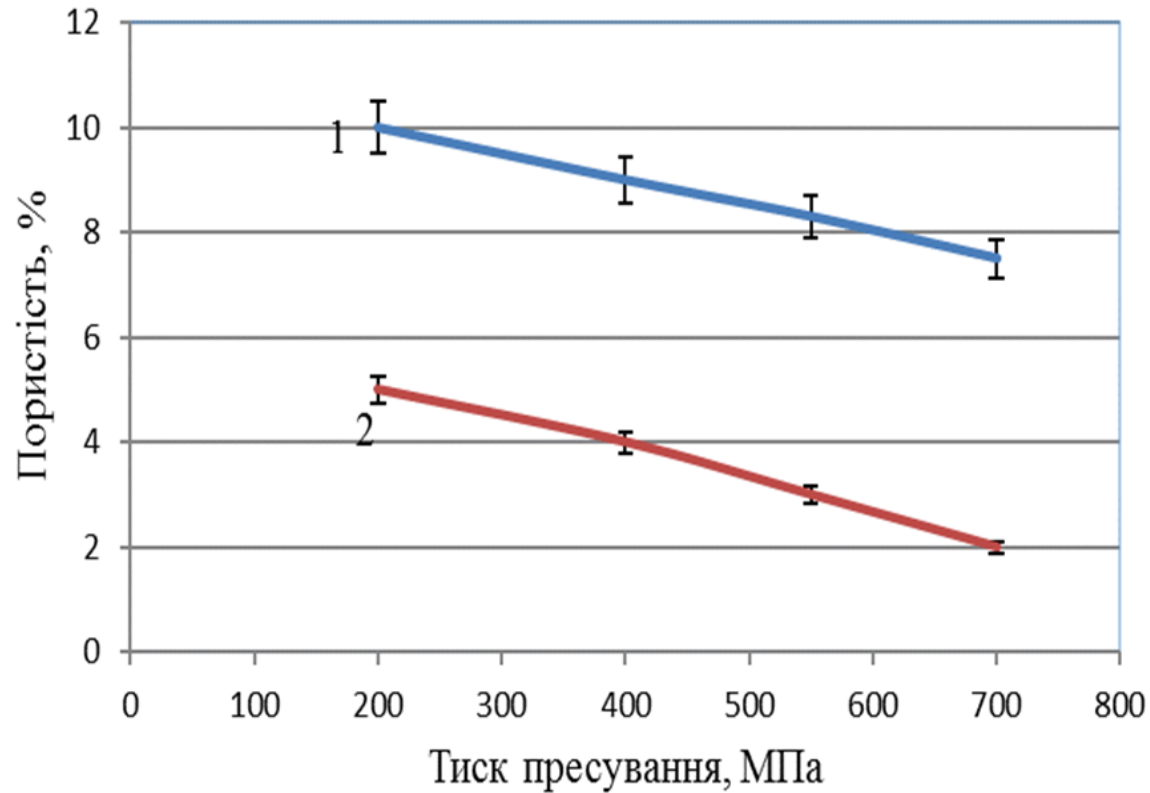
2 – Fe–Si (5 %)

Залежність магнітних характеристик від тиску пресування

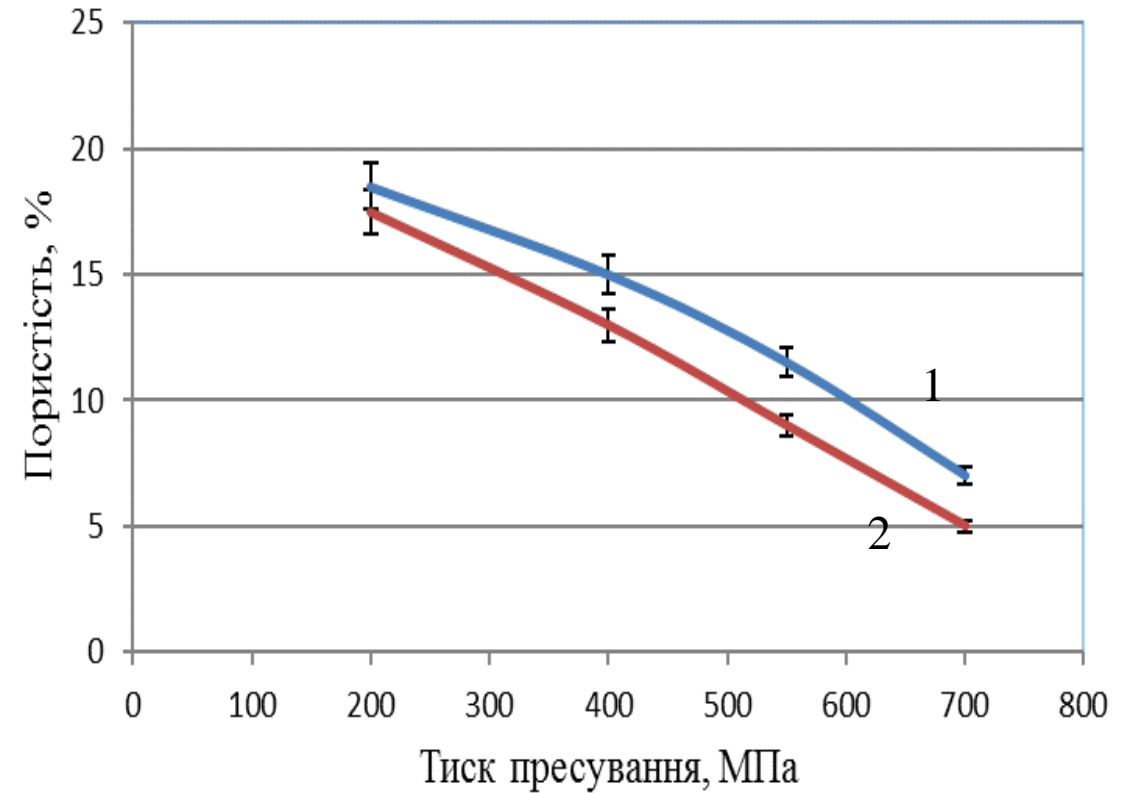


1 – Fe–Si (5%), 2 – Fe

Залежність пористості зразків від режимів виготовлення



1 – після відпалу та допресовки,
2 – після відпалу, допресовки та спікання
1300 °С.

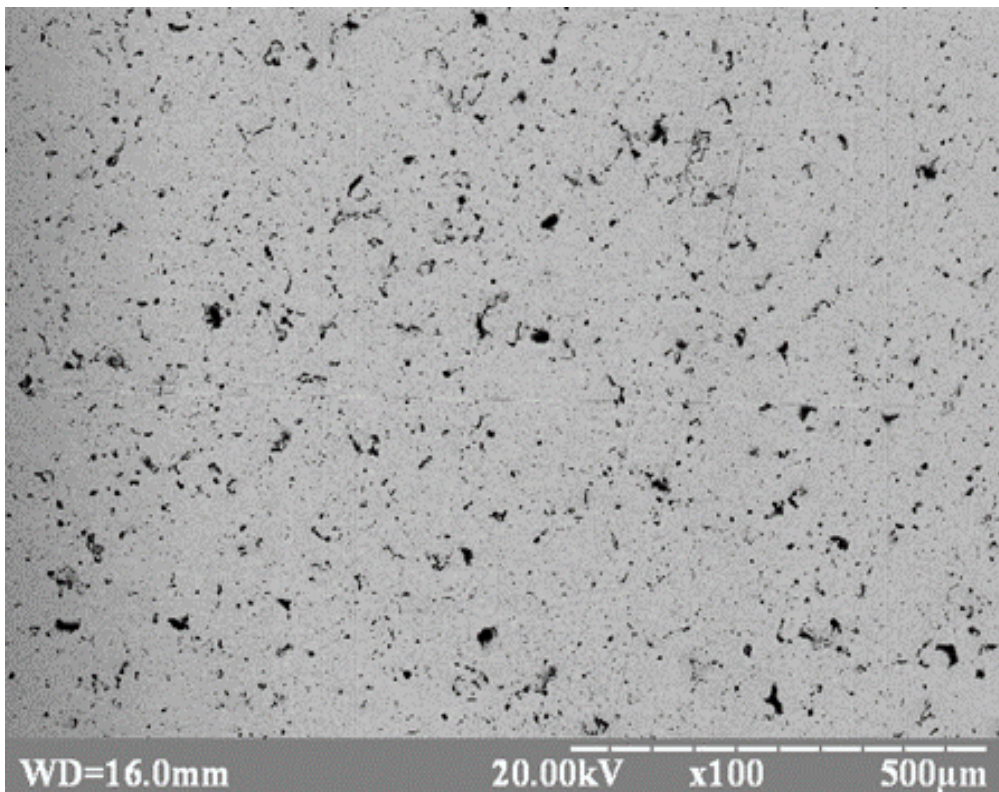


1 – 1250 °С (без допресовки),
2 – 1300 °С (без допресовки)

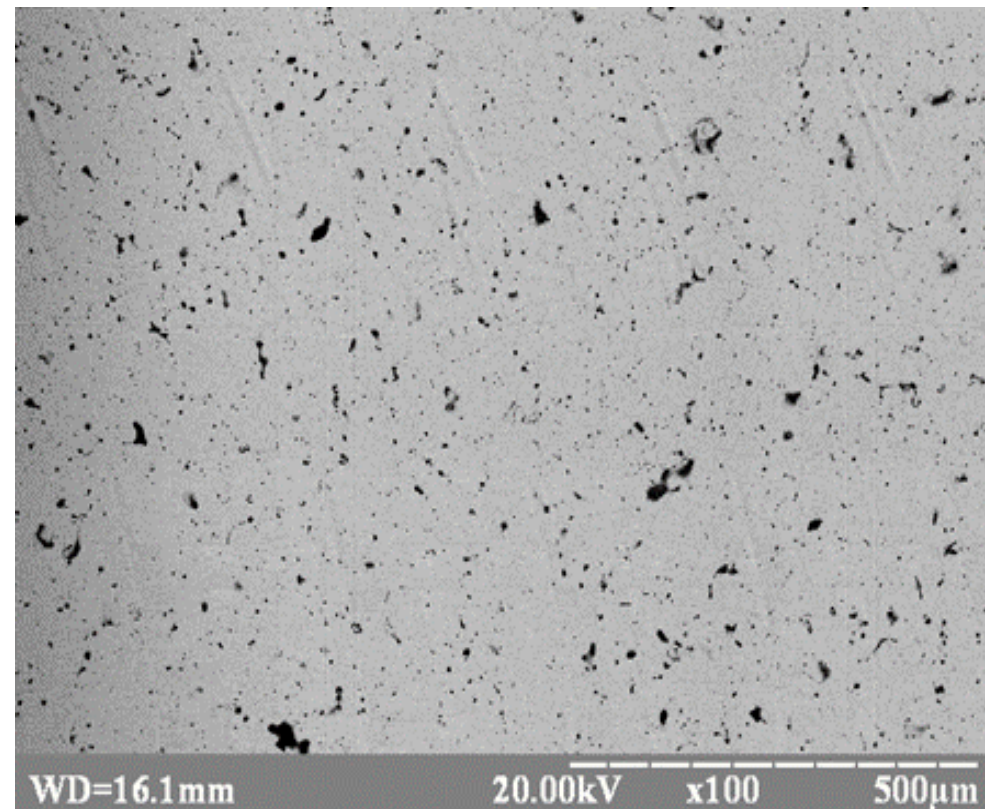
Магнітні характеристики та твердість матеріалів спечених у вакуумі

Температура, °С,	Склад	Відносна намагніченість насичення, Гс см ³ /г	Коерцитивна сила, А/м	Твердість, HRB
1250,1 година	Fe	120–130	400	40-50
	Fe-Si	130–140	360	60-70
1300,1 година	Fe	150–160	320	55-60
	Fe-Si	150–160	300	70-75
1300,2 години	Fe	150–160	320	-
	Fe-Si	160–170	280	-

Мікроструктура зразків залізо – кремній (5 %) після спікання за температур



1250 °C



1300 °C

Масовий склад хімічних елементів за температур 1250°C та 1300° С у вакуумі

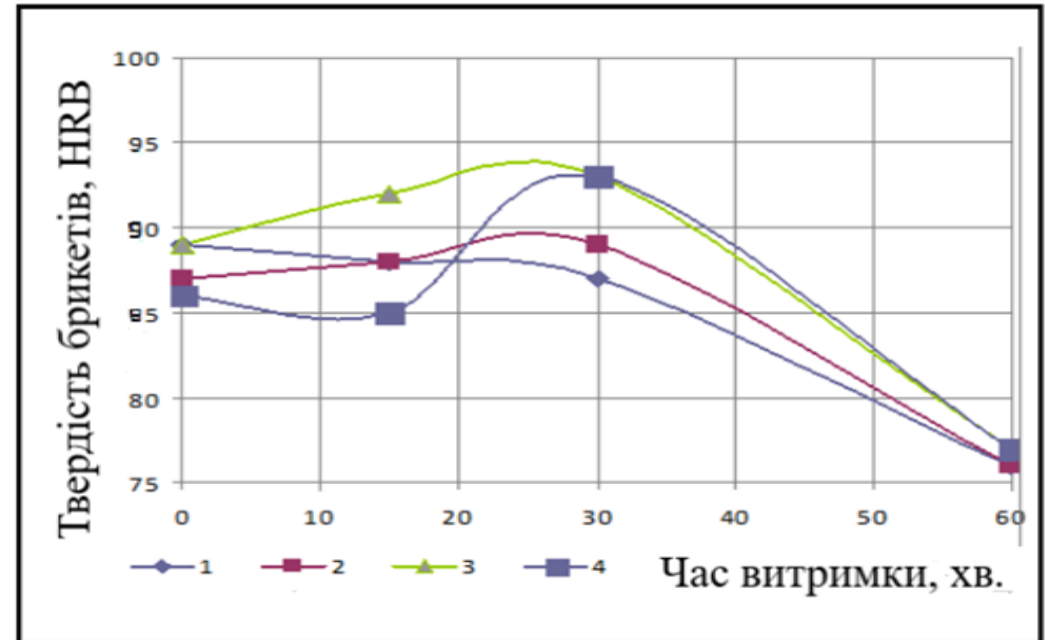
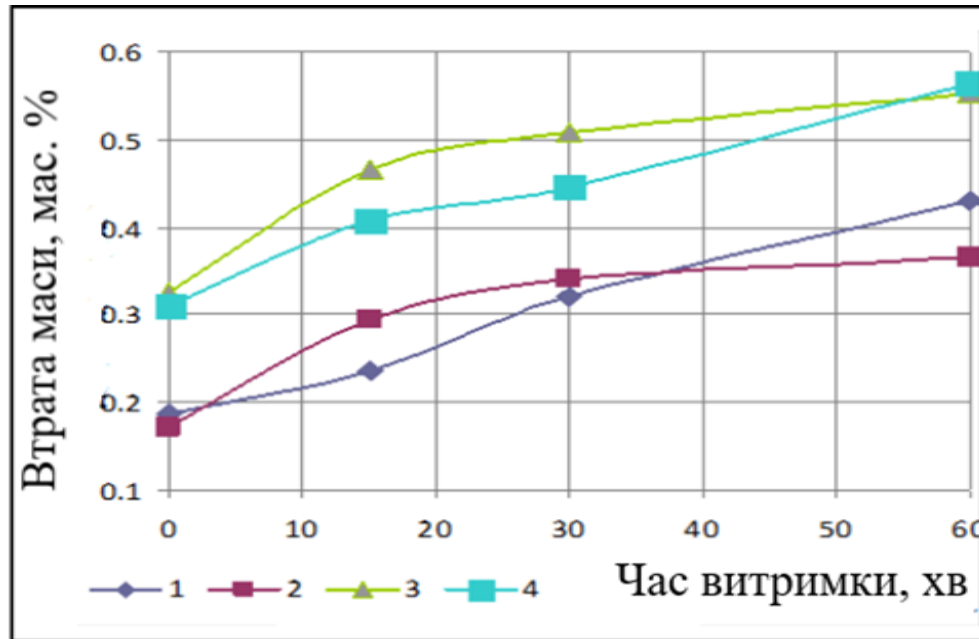
Елемент	Вміст, %	
	T= 1250,°C	T= 1300,°C
Si	0,484±0,120	2,122±0,163
Fe	97,540±0,172	97,077±0,139
Інші домішки	≈ 1,976	≈ 0,801

Fe

Елемент	Вміст, %	
	T= 1250,°C	T=1300,°C
Si	5,018±0,173	4,840±0,109
Fe	94,532±0,177	94,275±0,118
Інші домішки	≈ 0,45	≈ 0,885

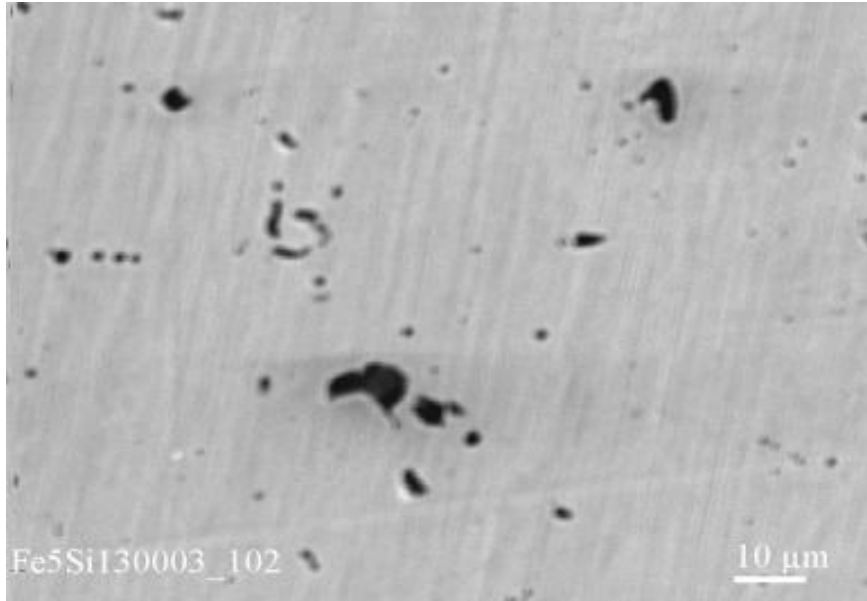
Fe-Si(5%)

Кінетика втрати маси зразків та твердості при спіканні у вакуумі за 1300 °С

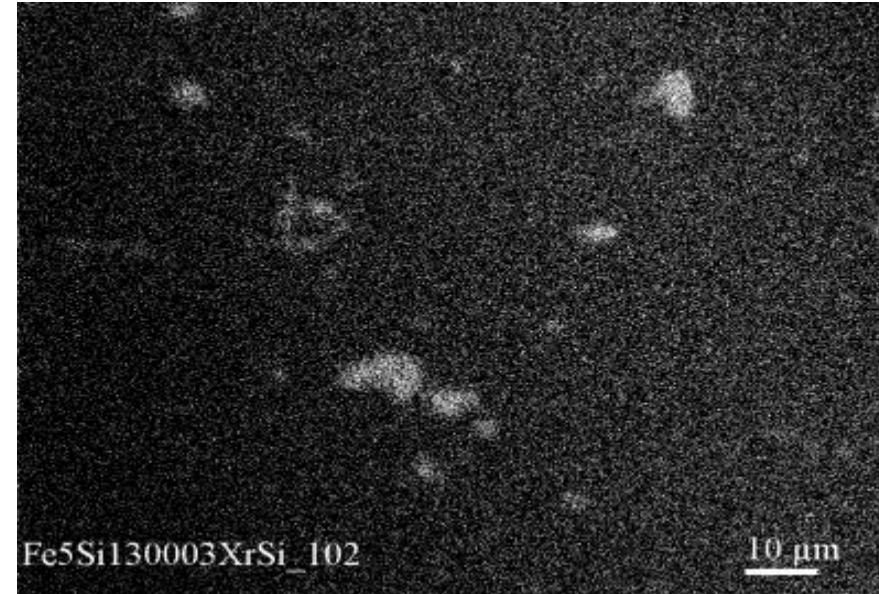


1,2- Fe; 3,4-Fe-Si

Розподіл кремнію у зразках на основі залізу спечених за 1300 °С у вакуумі



в електронних променях

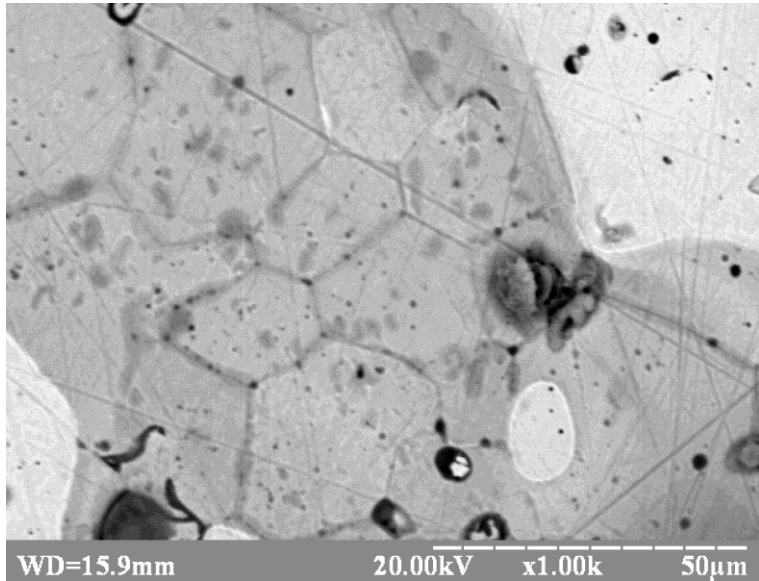


в характеристичних
променях кремнію

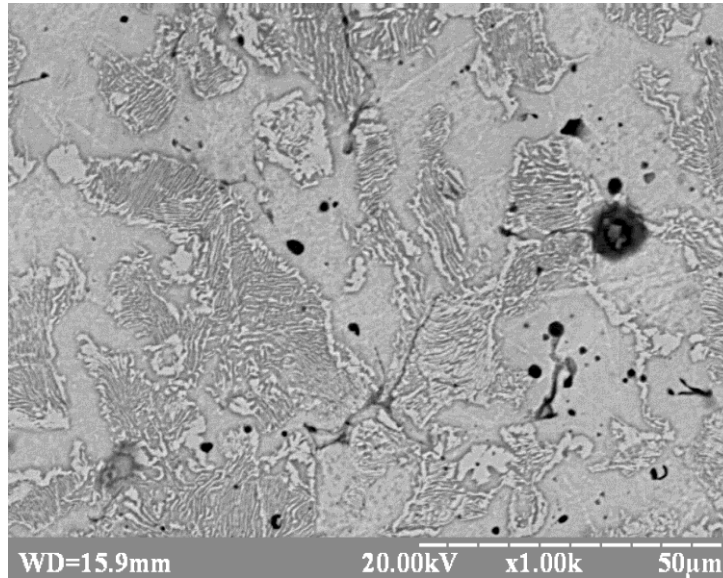
Магнітні характеристики та твердість матеріалів після ХТО

Засипка	Склад	Коерцитивна сила, (А/м)	Відносна намагніченість насичення, (Гс·см ³ /Г)	Твердість, HRB
SiO ₂ - 98% + Si 2%	Fe	210	170–175	65
	Fe-Si	240	160–170	70
Si + AlF ₃	Fe	300	140–150	86,5
	Fe-Si	280	150–160	74,75
SiC + AlF ₃ – 0,5 %	Fe	320	120–130	80
	Fe-Si	320	110-120	80

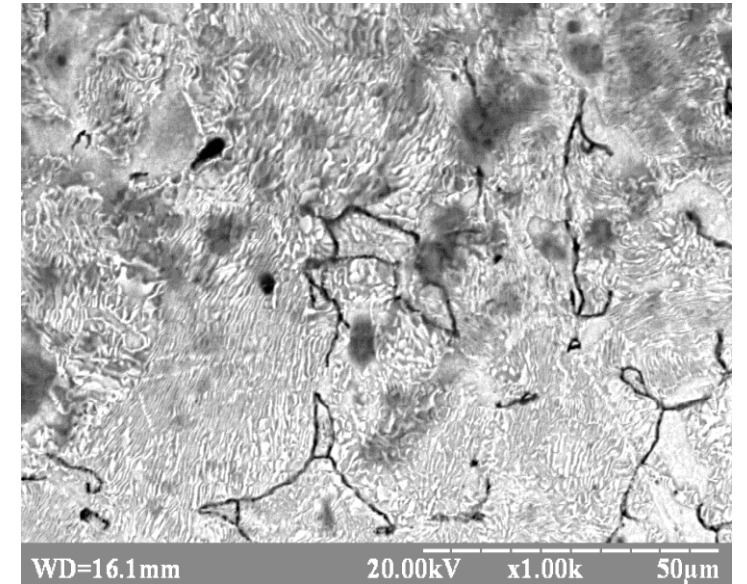
Мікроструктура зразків після хіміко-термічного оброблення в різних середовищах



$\text{SiO}_2 + \text{Si}(2\%)$



$\text{Si} + \text{AlF}_3$



$\text{SiC} + \text{AlF}_3$

Хімічний склад за $T=1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ за різного хімічного складу засипок при ХТО

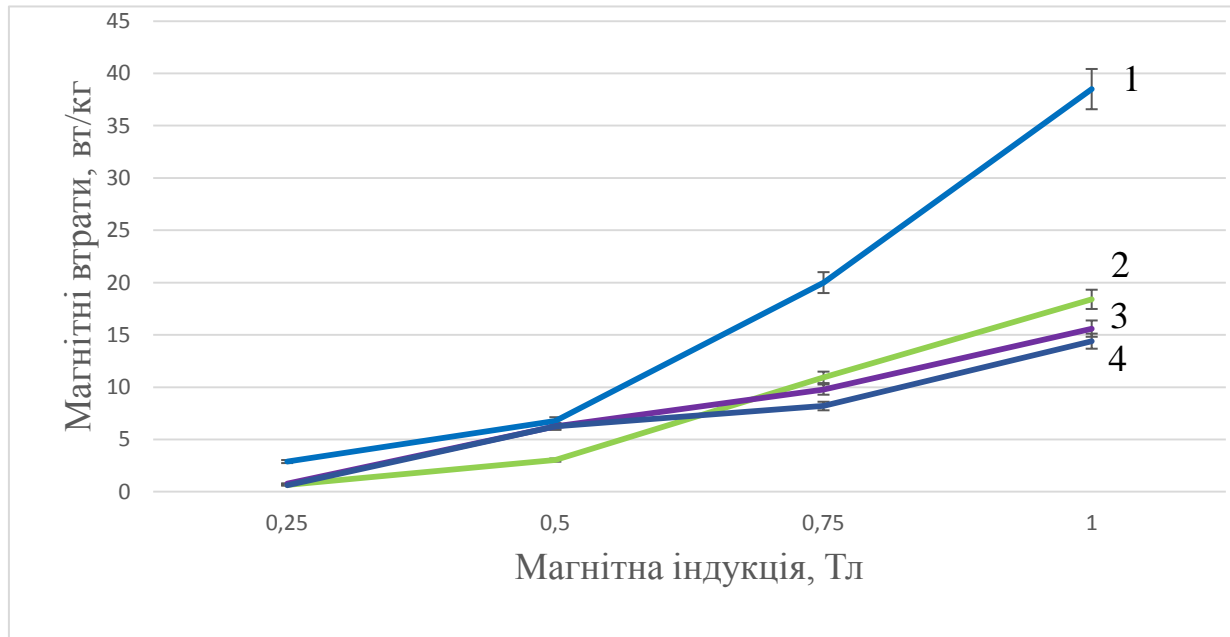
Засипка	Елемент	Мас.доля,%
SiO ₂ +Si(2%)	Si	25.687±0.084
	Fe	73.842±0.130
	Та інші домішки	≈ 0,471
Si+AlF ₃	Si	41.486±0.113
	Fe	56.468±0.121
	Та інші домішки	≈2,046
SiC+AlF ₃	Si	36.120±0.099
	Fe	62.804±0.102
	Та інші домішки	≈1,076

Fe

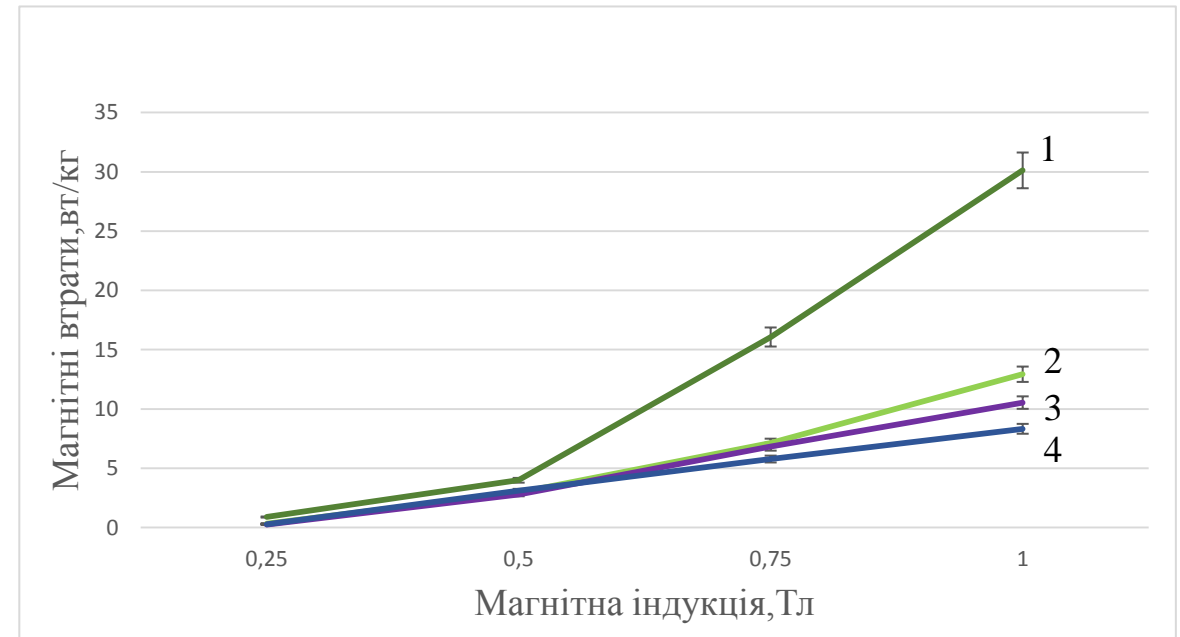
Засипка	Елемент	Мас.доля,%
SiO ₂ +Si(2%)	Si	6.430±0.091
	Fe	92.209±0.122
	Та інші домішки	≈1,361
Si+AlF ₃	Si	4.999±0.054
	Fe	94.297±0.094
	Та інші домішки	≈ 0,704
SiC+AlF ₃	Si	3.129±0.042
	Fe	96.726±0.086
	Та інші домішки	≈0,145

Fe —Si
(5%)

Залежність загальних магнітних втрат від індукції у змінному магнітному полі за частоти 50 Гц

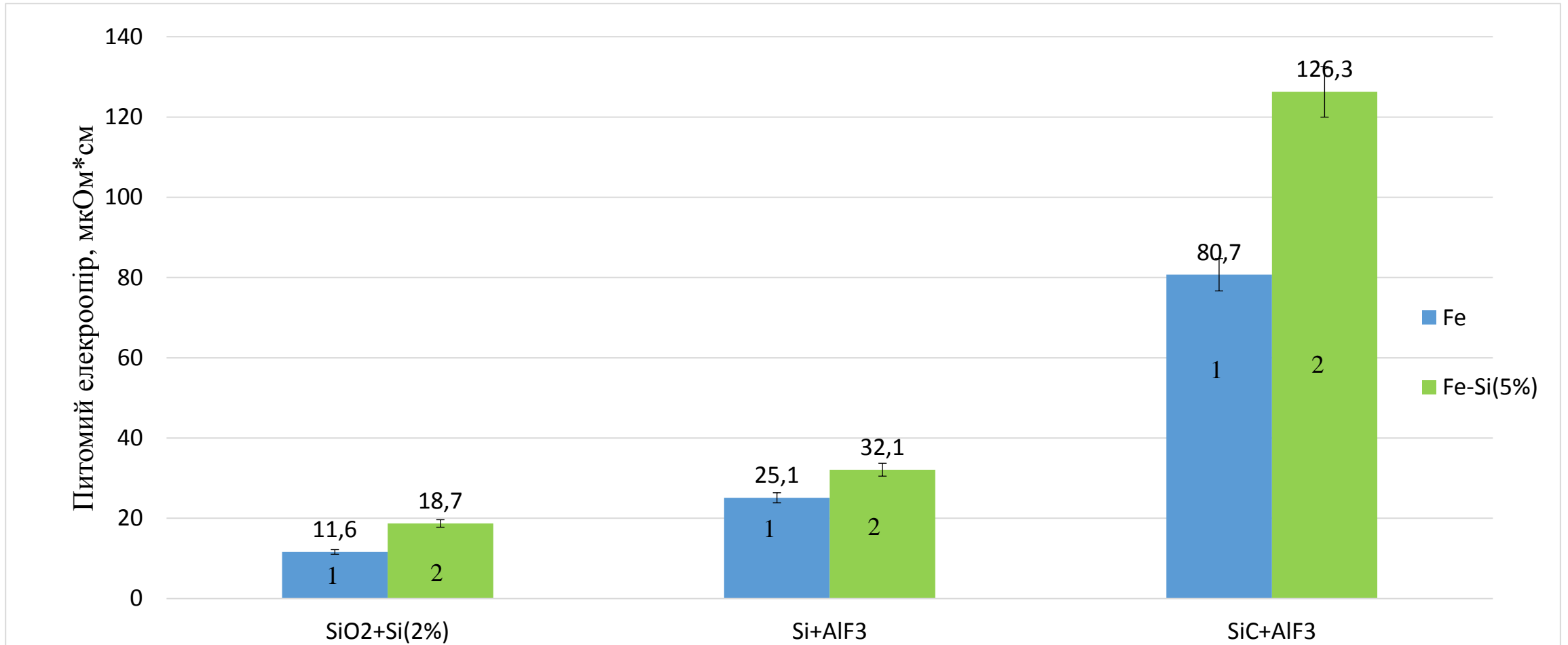


1 – Fe; 2 – після насичення $\text{SiO}_2+\text{Si}(2\%)$;
 3 – після насичення $\text{Si}+\text{AlF}_3$;
 4 – після насичення $\text{SiC}+\text{AlF}_3$



1 – Fe-Si(5%); 2 – після насичення $\text{SiO}_2+\text{Si}(2\%)$;
 3 – після насичення $\text{Si}+\text{AlF}_3$;
 4 – після насичення $\text{SiC}+\text{AlF}_3$

Питомий електричний опір зразків Fe та Fe-Si (5%) після силіціювання у різних середовищах



ВИСНОВКИ

В результаті дипломної роботи було отримано порошковий магнітно-м'який матеріал на основі залізу легованого кремнієм. Досліджено вплив хіміко-термічної обробки на структуру, хімічний склад та властивості порошкових магнітно-м'яких матеріалів на основі заліза. За результатами досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Встановлено, що добавка кремнію до залізного порошку приводить до збільшення загальної пористості на 3–5 % на всьому діапазоні тисків пресування.
2. Досліджено вплив пористості на магнітні характеристики матеріалу. Зменшення пористості до 10–12 % приводить до зростання магнітних характеристик – відносної намагніченості насичення до 100–120 Гс·см³/Г, коерцитивної сили до 280–320 А/м. Встановлено, що допресовка зразків при тиску 700 МПа після відпалу вирівнює щільність попередньо спресованих при різних тисках зразків, їх пористість складає 7,5 – 10 %.
3. Досліджено вплив температури спікання на пористість залізокремністих матеріалів. Встановлено, що мінімум пористості для зразків спресованих при тиску 700 МПа, після спікання складає 4–5 % для температури 1300 °С.

ВИСНОВКИ

4. Дослідження магнітних характеристик матеріалів спечених при різних температурах показало, що при температурі 1300 °С спостерігаються більш високі значення магнітних властивостей: відносна намагніченість насичення 160–170 Гс·см³/г та коерцитивна сила 280–300 А/м.
5. Встановлено перерозподіл кремнію між залізними зразками в процесі вакуумного спікання та вивчено кінетику втрати маси зразків та зниження твердості при спіканні.
6. Досліджено процес силіціювання порошкових залізокремністих матеріалів та вивчено вплив хімічного складу кремніймістких засипок на структуру, магнітні властивості та питомий електричний опір у постійних та змінних полях. Показано перспективність використання засипки із SiO₂ - 98% + Si 2% для отримання матеріалів з високими значеннями намагніченості насичення та водночас низькими загальними магнітними втратами при перемагнічуванні 12–18 Вт/кг.

Дякую за увагу!