

Міністерство освіти і науки України
Запорізька державна інженерна академія

ЗВІТ

ПРО НАУКОВО-ТЕХНІЧНУ РОБОТУ

**РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ
ПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА КОМПОЗИЦІЙНИХ
МАТЕРІАЛІВ, СТІЙКИХ В УМОВАХ ДІЇ ВИСОКИХ
ТЕМПЕРАТУР ТА АГРЕСИВНИХ СЕРЕДОВИЩ,
ДЛЯ АВІАЦІЙНОЇ ТА КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ**

за договором №ДЗ/60-2015 від 30 жовтня 2015 р.

№ держреєстрації 011U004839

Керівник НДР

д.т.н., проф. кафедри Металургії

В.О. Скачков

Відповідальний виконавець НДР

к.т.н., доц. кафедри Металургії

О.Р. Бережна

Мета проведення науково-технічної роботи

Розроблення технології промислового виробництва жаростійких високоміцних композиційних матеріалів та виробів з них на основі вуглецевих волокон та карбідізованої вуглецевої матриці, а також кисневої і безкисневої кераміки

Основні завдання проведення науково-технічної роботи

- розробити моделі, алгоритми та створити комплекс комп'ютерних програм по прогнозуванню фізико – механічних характеристик багатокомпонентних композиційних матеріалів;
- вдосконалити гідростатичну установку, розробити технологію гідростатичного пресування керамічних виробів на основі карбідів, оксидів алюмінію, кремнію, цирконію;
- розробити технологію та режими спікання формовок;
- отримати дослідні зразки вуглецевих та керамічних композиційних матеріалів, дослідити їх механічні та фізичні характеристики;
- розробити технологічні регламенти для серійного випуску розроблених композиційних матеріалів та виробів з них;
- розробити технологічне завдання на проектування та виготовлення технологічної оснастки та устаткування для серійного виробництва вузлів і елементів з розроблених вуглецевих та керамічних матеріалів.

ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Створені композиційні матеріали повинні мати такі характеристики:

1) на основі кераміки:

- термостійкість – від 1600 до 2300 К;
- пористість – не більше 2%;
- більшу на відміну від відомих матеріалів міцність – на 20 ч 25%;
- високу стійкість до термічних ударів,

2) на основі силіційованих вуглець-вуглецевих композиційних матеріалів з захищеними вуглецевими волокнами:

- підвищену міцність – до 40%;
- підвищений модуль пружності – до 50%.

За результатами досліджень передбачається написання одного навчального посібника, однієї монографії, 12 наукових статей, участь у шести науково-практичних конференціях

Розроблено моделі і комп'ютерні програми для багатокomпонентних композиційних матеріалів:

- розрахунку модулів пружності та межі міцності;
- розрахунку коефіцієнтів тертя і зносу;
- розрахунку коефіцієнтів лінійного теплового розширення;
- розрахунку коефіцієнтів теплопровідності.

РОЗРОБЛЕННІ КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ:

- на основі силіційованих вуглець-вуглецевих композиційних матеріалів з захищеними вуглецевими волокнами

- підвищену міцність на 70%;
- підвищення модуля пружності на 90%;
- ерозійна стійкість $0,02 - 0,77 \cdot 10^{-4} \text{ г/(см}^2 \cdot \text{с)}$

- на основі інтерметалідів титану

- підвищену міцність на 20%;
- підвищення термостійкості на 300 К
по відношенню до сплавів на основі титану.

РОЗРОБЛЕННІ КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ:

- на основі кисневої кераміки

- термостійкість від 1600 до 2300 К;
- пористість не більше 2%;
- міцність на стиск 57...82МПа;
- високу стійкість до термічних ударів.

- на основі безкисневої кераміки

- термостійкість від 1600 до 2200 К;
- пористість не більше 1%;
- підвищену міцність на 20...25%;
- високу стійкість до термічних ударів.

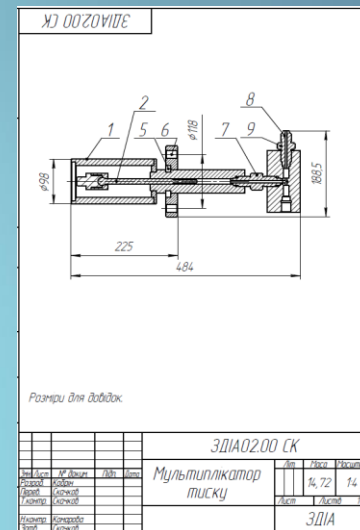
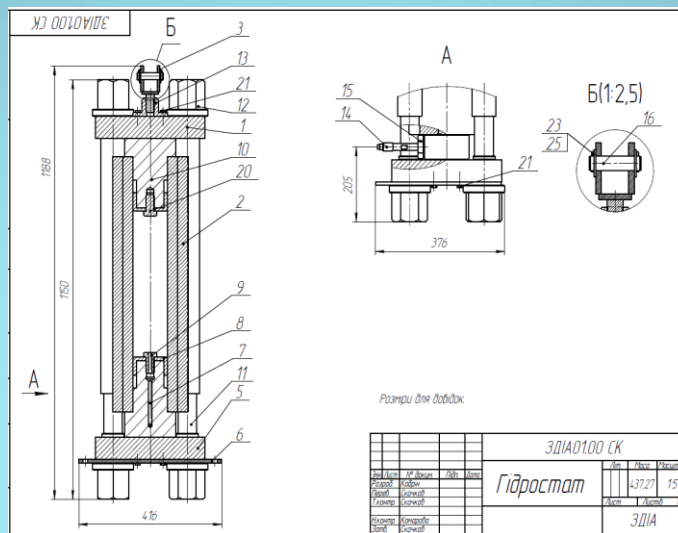
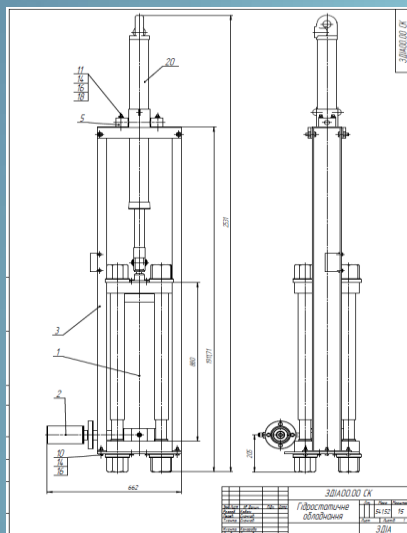
Розроблено комплект робочої конструкторської документації

ДЛЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ

Рамочне гідростатичне
устаткування

Гідростат ГС1-4-6

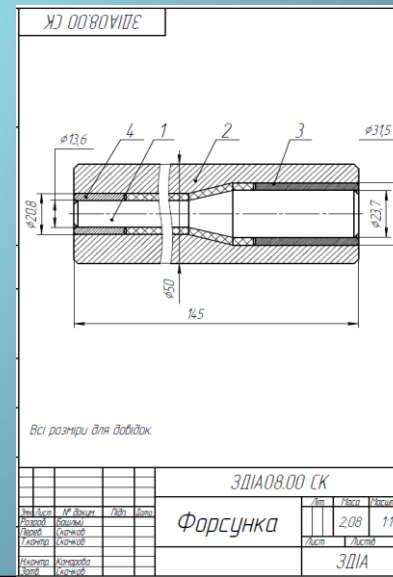
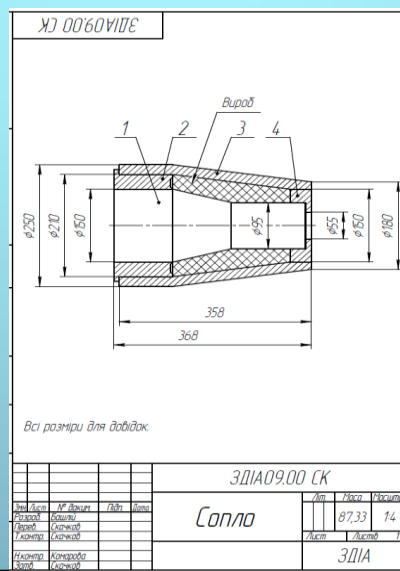
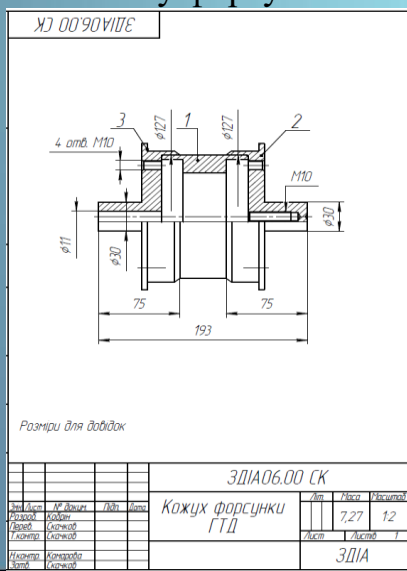
Мультиплікатор



Форма для теплового
захисту форсунки

Форма для сопла-насадки

Форма для форсунки



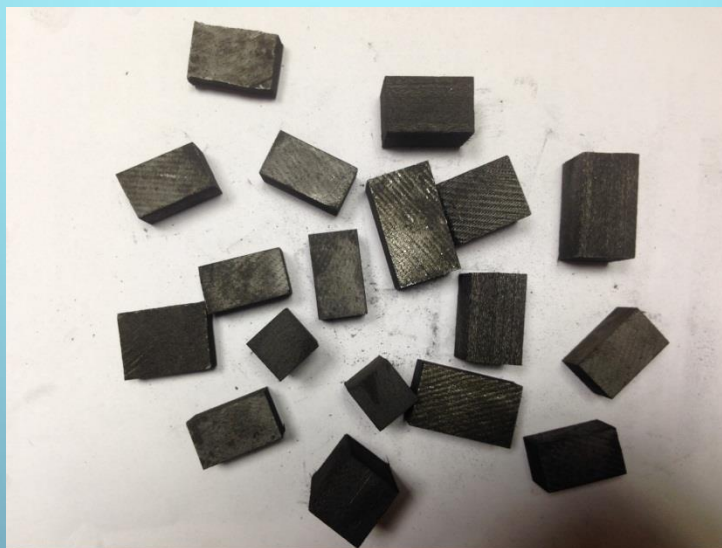
Виготовлено комплект технологічного оснащення



Розроблено технологічні регламенти та режими спікання формовок :

- інструкція на підготовку компонентів;
- технологічний регламент холодного ізостатичного пресування;
- технологічний регламент гарячого формування в режимі термохімічного пресування;
- технологічний регламент спікання заготовок при високих та надвисоких температурах;
- регламент температурно-часових режимів спікання безкисневої кераміки (SiC);
- маршрутна технологічна карта виготовлення пресс-форм з поліуретану;
- методика оцінки стійкості керамічних матеріалів в розплавах металів;
- методика дослідження ерозійної стійкості високотемпературних матеріалів у високоенергетичних потоках газу;

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ЗРАЗКИ



Межі міцності на стиск карбонізованих ВВКМ

№ з/п	Шири на зразка, мм	Довжина зразка, мм	Висота, мм	Напрямок зусилля, кут.град	Зусилля руйнування, кН	Межа міцності, МПа
1	22	31	19	90	70	102,6
2	21	36	19	90	72	95,2
3	21	34	19	90	72,5	101,0
4	19	27	22	0	17,5	34,1
5	19	38	22	0	22,5	32,8
6	19	36	22	0	24,4	36,6

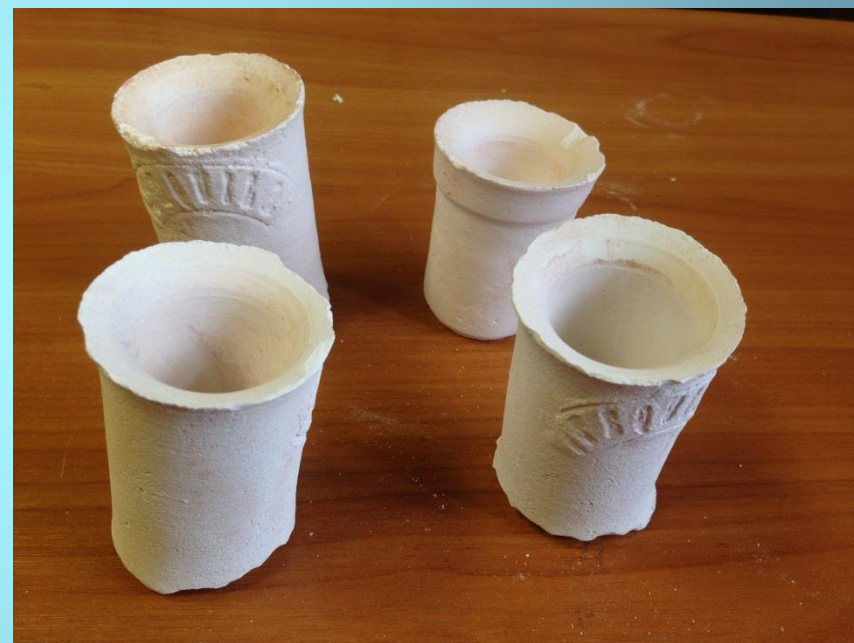
Межа міцності на стиск піроущільнених ВВКМ

№ з/п	Шири на зразка, мм	Довжина зразка, мм	Висота, мм	Напрямок зусилля, кут.град	Зусилля руйнування, кН	Межа міцності, МПа
1	16	25	17	90	50,8	127,0
2	16	29	17	90	65,6	141,4
3	16	29	17	90	67,2	144,8
4	17	28	16	0	25,7	54,0
5	17	28	16	0	21,0	44,1
6	17	28	16	0	23,0	48,3

Межа міцності на стиск силіційованих ВВКМ

№ з/п	Ширина зразка, мм	Довжина зразка, мм	Висота, мм	Напрямок зусилля, кут.град	Зусилля руйнування, кН	Межа міцності, МПа
1	20,5	22,6	11,5	90	98,0	211,5
2	19	20	12	90	89,0	234,7
3	19	22	12	90	93,0	222,5
4	12	29	20	0	6,0	17,2
5	12	28,5	22	0	5,9	16,9
6	11	30	23	0	5,0	15,2

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ЗРАЗКИ



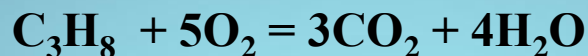
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИПРОБУВАННЯ НА СТІЙКІСТЬ В РОЗПЛАВАХ



ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИПРОБУВАННЯ НА ТЕРМОСТІЙКІСТЬ



МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ЕРОЗІЙНОЇ СТІЙКОСТІ У ПОТОКАХ ГАЗУ



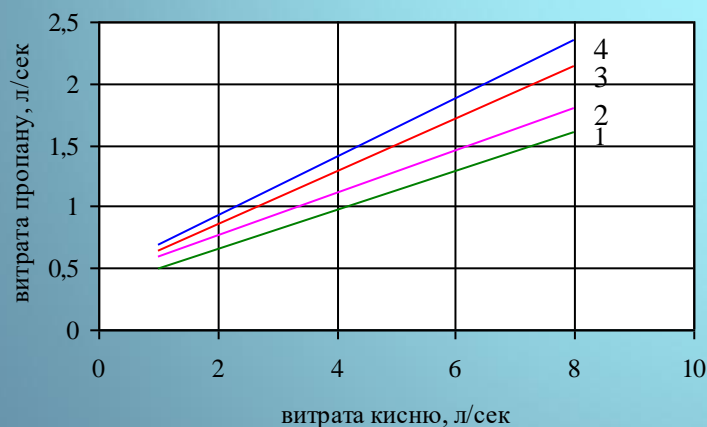
Відносний відновний потенціал

$$N^B = \frac{Q_{\text{C}_3\text{H}_8} - \frac{1}{5} Q_{\text{O}_2}}{Q_{\text{C}_3\text{H}_8} + \frac{6}{5} Q_{\text{O}_2}}$$

Відносний окислювальний потенціал

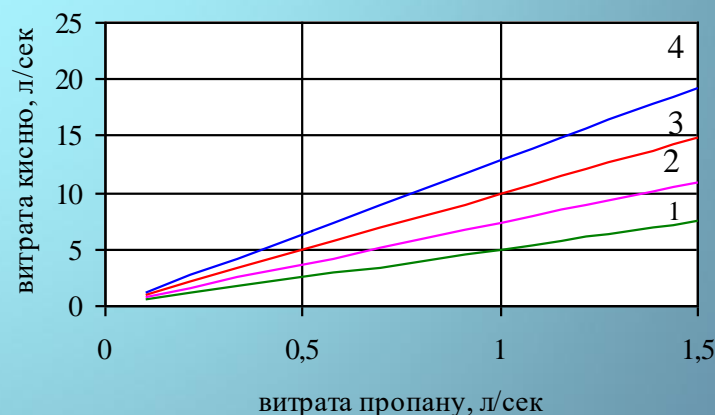
$$N^O = \frac{Q_{\text{O}_2} - 5Q_{\text{C}_3\text{H}_8}}{2Q_{\text{C}_3\text{H}_8} + Q_{\text{O}_2}}$$

Витрати кисню і пропану для різних значень відновного потенціалу



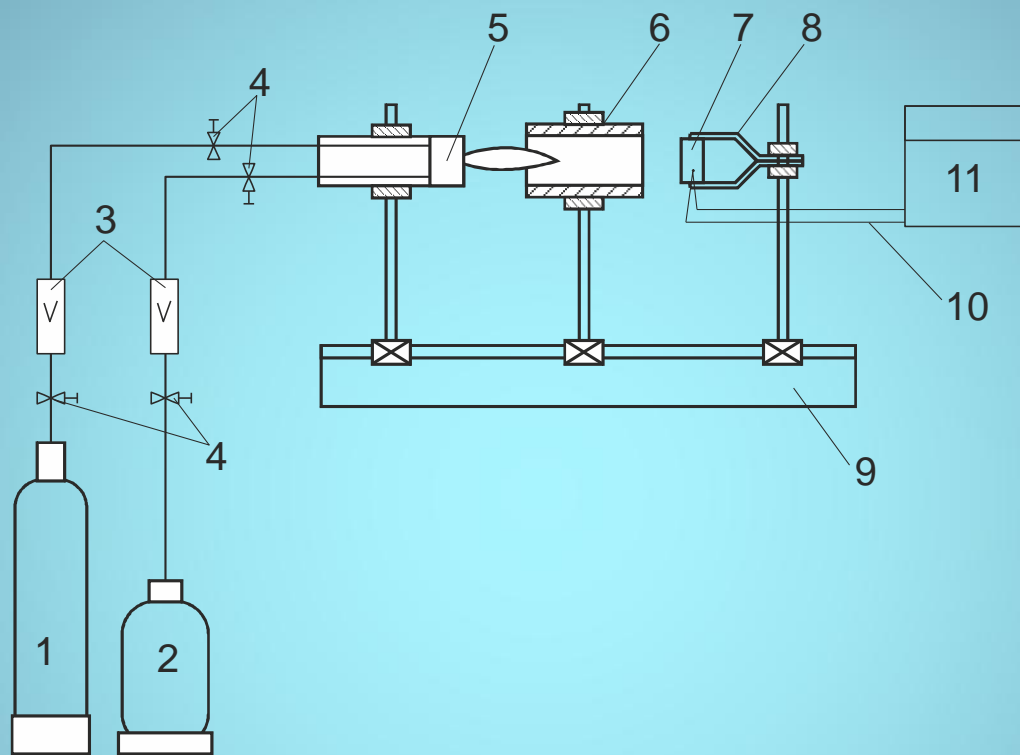
1 – $N^B = 0$; 2 – $N^B = 0,05$;
3 – $N^B = 0,10$; 4 – $N^B = 0,15$

Витрати пропану і кисню для різних значень окислювального потенціалу



1 – $N^O = 0$; 2 – $N^O = 0,05$;
3 – $N^O = 0,10$; 4 – $N^O = 0,15$

Схема установки для визначення зносу термокавітаційного у високотемпературних потоках газу



1 - балон з киснем;
2 - балон з пропаном;
3 - ротаметри;
4 - вентилі;
5 - пальник;

6 - керамічний екран;
7 - зразок;
8 - фіксатор зразка;
9 - основа;
10 - термопара ВР5/20;
11 - КСП- 10.

Дослідження експериментальних зразків у високоенергетичних потоках газів



Експериментальні випробування
в відновлювальному полум'ї



Експериментальні випробування
в нейтральному полум'ї



Експериментальні випробування
в окислювальному полум'ї

Ерозійна стійкість карбонізований ВВКМ

№ з/п	Площа поверхні, см ²	Маса, г		Напрямок потоку, кут.град	Швидкість потоку, м/с	Час випробувань, с	Потенціал, %			Віднесення маси, 10 ⁴ г/см ² ·с
		до випробування	після випробування				Відновний	Стехіометричний	Окислювальний	
1	9,0	22,22	22,19	90	15,6	120	-	0	-	0,276
2	10,6	8,27	8,26	45	17,7	120	10	-	-	0,078
3	8,0	6,30	6,29	90	18,1	120	15	-	-	0,105
4	10,6	3,96	3,93	45	18,2	120	-	-	10	0,236
5	13,3	9,18	9,15	90	18,2	120	-	-	10	0,187

Ерозійна стійкість піроугільнених ВВКМ

№ з/п	Площа поверхні, см ²	Маса, г		Напрямок потоку, кут.град	Швидкість потоку, м/с	Час випробувань, с	Потенціал, %			Віднесення маси, 10 ⁴ г/см ² ·с
		до випробування	після випробування				Відновний	Стехіометричний	Окислювальний	
1	9,2	16,40	16,37	45	18,2	180	-	-	10	0,177
2	9,4	16,86	16,83	90	15,6	180	-	0	-	0,176
3	10,8	18,76	18,71	90	19,1	180	-	-	15	0,205
4	7,8	14,11	14,14	45	18,1	180	15	-	-	0,213
5	10,2	18,13	18,10	90	17,7	180	10	-	-	0,163
6	9,2	16,43	16,41	45	17,7	120	10	-	-	0,160

Ерозійна стійкість силіційованих ВВКМ

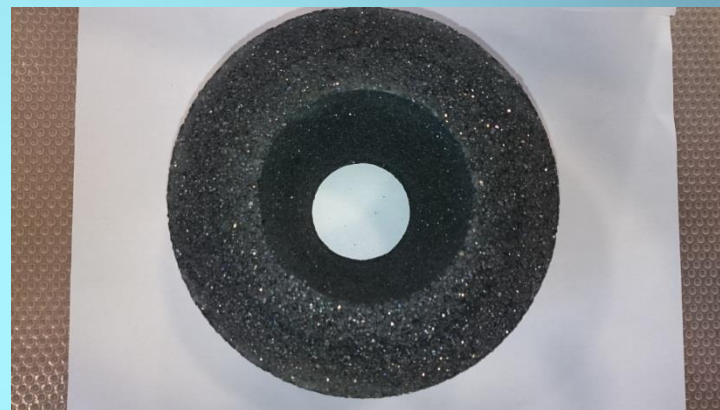
№ з/п	Площа поверхні, см ²	Маса, г		Напрямок потоку, кут.град	Швидкість потоку, м/с	Час випробувань, с	Потенціал, %			Віднесення маси, 10 ⁴ г/см ² ·с
		до випробування	після випробування				Відновний	Стехіометричний	Окислювальний	
1	12,8	22,94	22,92	90	15,6	180	-	0	-	0,077
2	15,2	23,31	23,30	45	17,7	180	10	-	-	0,067
3	13,7	19,53	19,58	90	18,1	180	15	-	-	0,022
4	11,7	14,16	14,14	45	15,6	180	-	0	-	0,081
5	19,6	26,51	26,49	90	18,2	180	-	-	10	0,057
6	18,9	27,56	27,52	45	19,1	180	-	-	15	0,117

ВИГОТОВЛЕНО ДОСЛІДНІ ПАРТІЇ ЗРАЗКІВ

Виготовлено дослідну партію тиглів



**Виготовлено сопла-насадка на основі
самозв'язанного карбиду кремнію**



Тепловий захист форсунки



Сопла для МБЛЗ



РОЗРОБЛЕННО ТЕХНОЛОГІЧНІ СХЕМИ ДІЛЯНОК

- технологічна схема ділянки ВВКМ з піролітичним ущільненням;
- технологічна схема ділянки по виробництву силіційованих ВВКМ на основі волокон із захисними покриттями;
- технологічна схема ділянки по виробництву композиційних матеріалів на основі оксиду цирконію;
- технологічна схема ділянки по виробництву композиційних матеріалів на основі безкисневих компонентів з ущільнюючим просоченням;
- паспорт ділянки з виробництва високотемпературних виробів кафедри металургії.