МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

**О. М. Дубовий, Т. А. Янковець, С.О. Прокудін**

**Методичні вказівки**

**до виконання курсової роботи з дисципліни "Фізико-хімічні основи створення покриттів" та курсового проекту з дисципліни**

**"Технологія напилення покриттів"**

*Рекомендовано Методичною радою НУК*

Миколаїв 2006

УДК 621.792: 621.793 (076)

**Дубовий О.М., Янковець Т.А., Прокудін С.О..** Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни "Фізико хімічні основи створення покриттів" та курсового проекту з дис ципліни "Технологія напилення покриттів". ñ Миколаїв: НУК, 2006. ñ 52 с.

Подано загальні вимоги, теоретичні передумови та рекоменда ції щодо тематики, змісту, порядку виконання та структури курсо вої роботи з дисципліни "Фізико-хімічні основи створення покриттів" і курсового проекту з дисципліни "Технологія напилення покриттів".

Методичні вказівки призначені для студентів та магістрів спе ціальності 8.090103 "Композиційні та порошкові матеріали, по криття".

*Рецензент* канд. техн. наук Івлієв А.І.

© Видавництво НУК, 2006

2

**ВСТУП**

Захист деталей машин і металоконструкцій від корозії та зно су, підвищення довговічності машин та механізмів є однією з важ ливих міжнародних проблем. Близько 30 % щорічної виплавки ме талу або втрачається безповоротно у вигляді продуктів корозії та зносу, або перетворюється на металобрухт. Утрати робочого часу через поломки устаткування становить близько 80 % загаль ного часу простою. Витрати на експлуатацію наближаються до вартості самого устаткування.

Одним із основних ефективних напрямів боротьби з корозією та зносом є застосування захисних покриттів. Механічна міцність деталі гарантується за рахунок використання одного матеріалу, а опір дії зовнішніх факторів забезпечується локальним форму ванням на її поверхні тонких шарів зі спеціальними функціональ ними властивостями.

Серед різних технологій нанесення покриттів за останній час інтенсивного розвитку набула група газотермічних методів, із них найбільш універсальним є плазмовий.

*Плазмове напилення* ñ прогресивний технологічний процес нанесення покриттів. Під час плазмового напилення матеріал по криття у вигляді порошку або проволоки вводиться в плазмовий струмінь, де він інтенсивно нагрівається, плавиться, розпилюєть ся і при взаємодії з поверхнею деталі, що обробляється, утворює покриття.

Ефективність плазмового струменя і, головним чином, усього процесу напилення визначається його енергетичними характери-

3

стиками, тобто здатністю перетворювати електричну енергію на теплову та передавати її матеріалу, що наноситься. Подальше удосконалення плазмового напилення здійснюється переважно шляхом автоматизації процесу та оптимізації технологічних па раметрів.

Під час виконання курсової роботи і курсового проектування студенти набувають навичок моделювання технологічного про цесу напилення покриттів, аналізування отриманих результатів розрахунків, визначення й оптимізації технологічних параметрів плазмового нанесення покриттів, розробки технологічного проце су, проектування дільниці та окреслювання економічної ефектив ності розробленої технології.

**1. ЗАВДАННЯ ДО КУРСОВОЇ РОБОТИ "РОЗРАХУНОК І АНАЛІЗ ГАЗОДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПЛАЗМОВОГО СТРУМЕНЯ"**

Початкові дані завдання визначаються варіантом, номер яко го складається із трьох цифр (табл. 1.1).

*Таблиця 1.1.* **Варіанти завдань курсової роботи**

Перша цифра варіанта

| 1 |
| --- |
| 2 |
| 3 |
| 4 |
| 5 |
| 1 |
| 2 |
| 1 |

Азот (N2) Аргон (Ar) Гелій (He) Водень (H2)

(плазмоутворюючий газ) Повітря (0,79N2 +0,21О2)

ПН-14М;

*W*p = 7300 Вт Друга цифра варіанта

(тип плазмотрона) ПН-7; *W*p = 10500 Вт

Третя цифра

варіанта (тиск і ви трата плазмоутворю

*Р* = 405200 Па; *V*г = 0,0003 м3/с

ючого газу) 2 *Р* = 506500 Па; *V*г = 0,0004 м3/с

Наприклад, варіант № 412 розшифровує умови створення вод невої (H2) плазми (перша цифра 4) за допомогою плазмотрона ПН-14М зі значенням потужності, яка розсіюється у плазмотроні *W*p = 7300 Вт (друга цифра 1) та при заданих значеннях тиску і витрати плазмоутворюючого газу *Р* = 506500 Па, *V*г = 0,0004 м3/с (третя цифра 2).

Розрахунки здійснювати для таких значень електричної потуж ності, яка подається на плазмотрон, кВт: 20; 25; 30; 35; 40; 45; 50; 55; 60.

При цьому необхідно:

за допомогою програми (див. дод. А) отримати дані, побуду вати та проаналізувати графіки залежності ступеня однократної іонізації від середньомасової температури на зрізі сопла плазмо трона при заданих значеннях електричної потужності (див. дод. Б, рис.1);

5

за допомогою програми (див. дод. А) отримати дані, побуду вати та проаналізувати графік залежності питомої теплоємності плазмового струменя від його середньомасової температури на зрізі сопла плазмотрона при заданих значеннях електричної поту жності (для ступеня однократної іонізації α ≤ 0,95) (див. дод. Б, рис. 2);

за допомогою програми (див. дод. А) отримати значення зале жності швидкості плазмового струменя на зрізі сопла плазмотро на від середньомасової температури для таких витрат плазмоут ворюючого газу *V*г, м3/с: 3⋅10ñ4; 4⋅10ñ4; 5⋅10ñ4 та 6⋅10ñ4; побудувати та проаналізувати графіки отриманих залежностей (див. дод. Б, рис. 3);

розрахувати середньомасову температуру плазмового стру меня на зрізі сопла плазмотрона за питомим внеском енергії (ме тодика наведена у п.2.2) при заданих значеннях електричної по тужності; побудувати графіки залежності середньомасової тем ператури плазмового струменя на зрізі сопла плазмотрона, зна чення якої отримано за цією методикою та за методикою, що ос нована на законі збереження енергії від заданих значень електрич ної потужності; проаналізувати їх і дати пояснення щодо причин розбіжності значень (див. дод. Б, рис. 4);

дати порівняльну характеристику фізико-хімічних процесів, які відбуваються при плазмовому напилюванні порошків із мета лічних сплавів інертними газами і повітрям та проаналізувати їх вплив на фізико-механічні властивості покриттів.

Курсова робота оформлюється відповідно до вимог ЕСКД і ЕСТД. Обсяг пояснювальної записки 20Ö25 аркушів формату А4. Курсова робота захищається у встановлений керівником тер мін (початок ІІІ декади травня).

**2. РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ РОЗРАХУНКУ**

**ГАЗОДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПЛАЗМОВОГО СТРУМЕНЯ**

**2.1. Розрахунок середньомасової температури плазмового стру меня на зрізі сопла на основі закону збереження енергії**

Оптимізація процесу плазмового напилювання покриттів є визначальним чинником під час розробки технології. Оскільки його специфіка не дозволяє надійно визначити температуру стру меня на зрізі сопла плазмотрона *Т*з.с експериментально, то мате матичне моделювання набуває особливо важливого значення для оптимізації й автоматизації плазмового напилювання.

Температуру струменя на зрізі сопла плазмотрона здебільшого визначають експериментально (відносна похибка отриманих зна чень може перевищувати 30 %), або на основі термодинамічних розрахунків без урахування змін тиску *Р*пл, питомої теплоємності плазми *С*ргі ступеня іонізації α (дисоціації х). Усе це спотворює результати аналізу процесів тепломасопереносу й оптимізацію технології напилювання. Математичний опис процесів формування плазмового струменя в каналі технологічного плазмотрона, роз роблений на підставі сучасних уявлень про фізику плазми і на ос нові закону збереження енергії, являє собою систему чотирьох рів нянь виду:

2 ~~( 5)~~ 3г пл∝ = ~~+ −~~ ; (1)

*~~і~~ Р*

*c P*

*Р P*г

3

*R*

ε 3 3/2



*і R*

*е Р*

0

α

∝ = 3/2

+ +

2

*сP* ; (2) 2 г*K Т*

г

2пл 2

0

1 г пл 5 /2 пл 2 2 11600

α = 1 ;   ϕ = ⋅ − − −*Т*

*B*

3,2 10 ехр ; (3)

+

*B a T Р*

*B*

пл

7

*Р V cP P*

*Р V c*

~~+~~ + ~~~~ ~~~~ ∝ ~~− − +~~ ∝

г г г г

*Е РV X*

2~~з.с~~

г г ~~з.с~~ г г ~~p~~

*~~Т~~ ~~W W~~ RT* 0

*~~Т~~ R*

*K*

+

( ) 0, г 2 2 г 0

*е РV*

ϕ α

(4)

*K і*

= + α

де *T*з.с ñ температура плазми на зрізі сопла плазмотрона, К; *сP*г ñ питома теплоємність газу, кДж/ (кг⋅К); *e*0 ñ заряд електрона, Кл; *K* ñ стала Больцмана, Дж/К; ε0 ñ електрична стала, Ф/м; *R* ñ універсаль на газова стала, Дж/(моль⋅К); *і* ñ число ступенів вільності; ∝г ñ мо лярна маса газу плазми, кг/моль; ϕг ñ перший потенціал іонізації газу, В; *а* ñ коефіцієнт, залежить від положення елемента в періо дичній системі; *Е*г ñ енергія дисоціації газу, Дж; *Т*0, *Р* ñ початкові температура і тиск плазмоутворюючого газу, α ñ ступінь одно кратної іонізації плазмоутворюючого газу; *V*г ñ об'ємна витрата плазмоутворюючого газу, м3/с; *W* ñ електрична потужність, яка подається на плазмотрон, Вт; *W*p ñ потужність, яка розсіюється у плазмотроні, Вт; *W*p = *m*в*c*в*T*; *m*в ñ масова витрата охолоджую чої води, кг/с; *с*в ñ питома теплоємність води; *с*в = 4190 Дж/(кг⋅К); *Т* ñ зміна температури води на вході і виході із плазмотрона.

Розв'язання цієї системи методом ітерацій на ПЕОМ дозволяє установити уточнену залежність *Т*з.с, a від конструкції плазмо трона, роду і витрати плазмоутворюючого газу, а також величи ни потужності, яка подається на плазмотрон. Отримані результа ти узгоджуються з літературними й експериментальними даними. Експериментальна перевірка адекватності математичної моделі, що дозволяє визначити температуру плазмового струменя на зрі зі сопла плазмотрона (див. систему рівнянь (1)ñ(4)), зроблена ка лориметруванням на спеціально створеній установці, показала, що відносна похибка у визначенні *Т*з.с розрахунковим шляхом не перевищує 7 %. Якщо відома температура струменя на зрізі сопла плазмотрона, то можна розрахувати і швидкість струменя у тому ж місці за виразом

з.с 0 г з.с ∝ρ

*RT V*

υ = ,

*P S*

г 0

де ρ0 ñ густина газу плазми за нормальних умов, кг/м3; *Р*0 ñ тиск

8

навколишнього середовища, Па; S ñ площа перерізу сопла плаз мотрона, м2.

Для одноатомних газів (Аr, Не) система рівнянь (1)ñ(4)має виг ляд:

2

8 г пл∝ = ~~−~~ ; (5)

*Р*

*с P*

*Р P*г

3

3

*R*

ε



3 3 /2

*R е Р*

0

α

∝ = 3/2

5

+

*сP* ; (6) 2 г*K Т*

г

2пл 2

0

1 г пл 5 /2 пл 2 2 11600

α = 1 ;   ϕ = ⋅ − − −*Т*

*B*

3,2 10 ехр ; (7)

+

*B a T Р*

*B*

пл

2 2 г 0 г з.с г г г ~~в в~~ 2~~з.с~~

*Р V cP P* .(8) +  ~~~~ ∝ ~~− − +~~ ∝*K іе РV*

*Р V c*

ϕ α

г г г= + α

*~~Т~~ ~~W~~ ~~m c~~ ~~T~~ RT* 0

*Т R*

( ) 0

Для азоту і водню при температурах вище 3000 К: *Р P*г г пл 32

10 ∝ = ~~−~~ ; (9)

*Р*

3

*c P*

*R*

ε



3 3 /2

*R е Р*

0

α

∝ = 3/2

7

+

*cP* ; (10) 2 г*K Т*

г

2пл 2

0

1 г пл 5 /2 пл 2 2 11600

α = 1 ;   ϕ = ⋅ − − −*Т*

*B*

3,2 10 ехр ; (11)

+

*B a T Р*

*B*

пл

*Р V cP P Р V c*

+   ∝ − − + ∝

г г г г з.с г г в в 2з.с

*Т W m c T RT* 0

*Т R*

( ) 0. 2 2 г г г 0 г *е РV*

(12)

*Е РV X*

+ + *K*

ϕ α = + α

*K і*

Для повітря при температурах вище 3000 К:

9

2

11 г пл∝ = ~~−~~ ; (13)

*Р*

*c P*

*Р P*г

3

3

*R*

ε



3 3/2

*R е Р*

0

α

∝ = 3/2

8

+

*cP* ; (14) 2 г*K Т*

г

2пл 2

0

1 г пл 5 /2 пл 2 2 11600

α = 1 ;   ϕ = ⋅ − − −*Т*

*B*

*B a T Р ехр*

+

3,2 10 ; (15) *B*

пл

*Р V сP P Р V c*

+   ∝ − − + ∝

г г г г з.с г г в в 2з.с

*Т W m c T RT* 0

*Т R*

(16)

( ) 0. 2 г г 2 г 0 г *е РV*

*Е РV X*

+ + *K*

ϕ α = + α

*K і*

Для того щоб привести вирази (5)ñ(16) до вигляду, зручного для розрахунків на ПЕОМ, необхідно скористатися теплофізич ними параметрами плазмоутворюючих газів.

Взагалі, останнє квадратне рівняння зручніше для розрахун ків на ПЕОМ подати у такому вигляді, як, наприклад, для Ar:

*Т*

пл

α =

3/2 3/2 *N e*

*А*

30

.

3

3 /2

*KR*

 α 

*W*

ε ~~− − ϕ~~

~~2,5 2~~

*~~c e~~*

0

*Р*

*PV*

г

пл г ~~0~~

*~~i~~*

*KT*

Витрата плазмоутворюючого газу в середньому становить (3...6)⋅10ñ4 м3/с (тиск 303900...506500 Па).

Електрична потужність, яка подається на плазмотрон, здебіль шого на практиці складає 20...60 кВт.

У рівняння (12), (16) входять ще ступінь дисоціації *X*, енергія дисоціації молекули газу *Е*г, втрати потужності в електродах (ка налі) плазмотрона *W*p, які необхідно визначити.

10

Ступінь дисоціації *X* визначається через константу рівноваги реакції дисоціації:

*K*

p . (17)

*X*+ = 4 p

*P k*

Константа рівноваги реакції дисоціації *K*р визначається в за лежності від термодинамічних властивостей плазмоутворюючо го газу.

Температура дисоціації залежить переважно від роду газу і його парціального тиску. Приймемо, що *Т* відповідає рівновазі реакції дисоціації, наприклад, азоту N↔2N. Тоді константа рів новаги, що залежить від тиску, визначиться з виразу

*K K Pn* p = *N* , (18)

де *KN* ñ константа рівноваги, виражена через мольні частки; *n* ñ збільшення числа молей газоподібних речовин у реакції; *Р* ñ загаль ний тиск системи, Па.

У даному випадку це тиск плазмоутворюючого газу. На прак тиці при стандартних (нормальних) умовах *K*р визначається з ви разу 0 0

*H K T T* = − ~~+~~ , (19)

*S*

19,15 19,15 lg

p

*T*

де *Н*0*Т* ñ зміна ентальпії при заданій температурі, Дж/моль; *S*0*Т* ñ зміна ентропії при заданій температурі, Дж/(моль⋅К). Для нестандартних умов вираз (19) набуде такого вигляду:

0 0

*H K T T* ,

p = − ~~+~~ − *S*

19,15 19,15 lg *T*

lgП

де П ñ поправка, яка враховує нестандартні умови. У даному ви падку П = *Р* ñ1 , тоді

*H K T T* lg 19,15 19,15 lg0 0

*P S*

p = − ~~+~~ − ,

*T*

де *Р* ñ тиск плазмоутворюючого газу, Па.

11

Для розрахунку *K*р користуються довідковими значеннями *Н*0298 і *S*0298 (за нормальних умов).

Зміна ентальпії визначиться за рівнянням Гесса:

0 *N*

*N*

2

1

= ∑( )( ) − ∑

0298 к.

0298 п.

*HT ni H n H* (20)

*i*

1

*ii* 1

= =

де *ni* ñ число молей відповідного газу; *N*1, *N*2 ñ кількість речовин (початкових, кінцевих).

Зміна ентропії визначиться за виразом

0 *N*

*N*

2

1

= ∑( )( ) − ∑

0298 к.

0298 п.

*ST niS n S* (21)

*i*

1

*ii* 1

= =

Підставляючи відповідні дані у рівняння (20) і (21), одержимо відповідні значення *Н* і *S* для двохатомних плазмоутворюючих газів. Досвід експлуатації різних плазмотронів, у тому числі при напилюванні в динамічному вакуумі, показав, що тиск плазмоут ворюючих газів у більшості випадків складає близько 4...5 атмос фер (405300...506625 Па). Тоді вираз для визначення константи рівноваги, що залежить від тиску, з урахуванням поправки набу де вигляду:

для азоту:

6,37 49295 lg P = − +

*K* ; (22)

*T*

для водню:

*K* 5,85 22765 lg P = − + ; (23)

*T*

*T*

для кисню:

6,80 26623 lg P = − +

*K* . (24)

*T*

Для визначення *K*р за формулою (1/8) визначимо *KN* і *n*. Кон станту рівноваги можна виразити через мольні частки: *KN* = 1. Збільшення кількості молей газоподібних речовин, що беруть участь у реакції, визначиться таким чином: *n* = 1.

Тоді, підставляючи відповідні значення *KN*, *P* і *n* у рівняння (18), одержимо значення *K*р = 5.

12

Якщо відомо *K*р, тоді за виразами (22)ñ(24) визначимо темпе ратури рівноваги дисоціації. Розрахунки дають наступні такі рів новажних температур дисоціації:

для азоту *Т* = 8700 К;

для водню *Т* = 4420 К;

для кисню *Т* = 4270 К;

для повітря *Т* = 7770 К.

Для приблизних розрахунків рівноважних температур дисоціа ції можна знехтувати втратою потужності, яка витрачається на дисоціацію. Однак ці втрати досить значні і з підвищенням темпе ратури збільшуються і вносять велику помилку у розрахунки. Для досить достовірних розрахунків третім членом рівнянь (12), (16) знехтувати не можна і для його визначення необхідно знати енер гію дисоціації молекули плазмоутворюючого газу.

Енергію дисоціації моля газу можна визначити з виразу *E RT*ln *p* 2 = (25)

*d K*

*dT*

Підставивши вирази (22)ñ(24) у (25) і здійснивши диференці ювання, отримаємо:

для азоту *Е* = 113378,5 *R*;

для водню *Е* = 52359,5 *R*;

для кисню *E* =59850,6 *R*.

Підставивши в отримані вирази значення універсальної газо вої постійний *R* і розділивши на число Авогадро *NA*, одержимо наступні значення енергії дисоціації молекул плазмоутворюючих газів:

для азоту *Е* = 15,65⋅10ñ19 Дж;

для водню *Е* = 7,23⋅10ñ19 Дж;

для кисню *Е* = 8,26⋅10ñ19 Дж;

для повітря *Е* = 0,21⋅8,26⋅10ñ19 + 0,79⋅15,65⋅10ñ19 = 14,10⋅10ñ19 Дж. Для визначення ступеня дисоціації як функції від температури необхідно визначити значення *K*р. Визначимо *K*р із виразів (22)ñ(24): для азоту 10 6,37 49295

p − + *K* = *T* ;

13

для водню 10 5,85 22765

p − + *K* = *T* ;

для кисню 10 6,80 26023

p − + *K* = *T* .

Підставляючи отримані значення *K*р у формулу (17), одержи мо вираз залежності ступеня дисоціації плазмоутворюючих газів від температури.

Втрати електричної потужності в електродах (каналі) плаз мотрона можна приблизно розрахувати, якщо прирівняти їх до втрат на нагрівання охолоджуючої води *W*p = *m*в*c*в*T*.

Для визначення втрат потужності в електродах (каналі) плаз мотрона необхідно знати витрату *m*в і зміну температури води на виході з плазмотрона *Т*.

У роботі (розрахунках) використовуються два типи плазмо тронів (ПН-14М і ПН-7), для яких характерні відповідні середні витрати для охолодження води 0,13 кг/с (8 л/хв) і 0,17 кг/с (10 л/хв). Зміни температури води відповідно такі: 13 і 15 К.

Розрахунки дають наступні значення *W*p: для ПН-14м ñ 7300 Вт; для ПН-7 ñ 10500 Вт.

**2.2. Розрахунок середньомасової температури плазмового стру меня на зрізі сопла плазмотрона за питомим внеском енергії**

Методика розрахунку середньомасової температури плазмо вого струменя на зрізі сопла плазмотрона за питомим внеском енергії полягає у наступному [10]. Оскільки струмінь утворюєть ся шляхом нагрівання за допомогою електричної дуги, величина питомого внеску енергії ε, кВт⋅год/м3, пов'язана із ентальпією спів відношенням

− 0

*H H*

ε = ,

3600 0

*V*

де *Н* ñ ентальпія плазмового струменя, кДж/кг; *Н*0 ñ ентальпія по чаткових плазмоутворюючих газів за стандартних умов, кДж/кг; *V*0 ñ питомий об'єм плазмоутворюючого газу, м3/кг. З іншого боку,

14

*W W*

− p

ε = ,

*V*

г

де *W* ñ електрична потужність, яка подається на плазмотрон, кВт; *W*p ñ потужність, яка розсіюється у плазмотроні, кВт; *V*г ñ витра та плазмоутворюючого газу, м3/год. *dH*

*с p* = , або

Якщо прирівняти ці вирази та взяти до уваги, що *dT* приблизно ∆*H* = ∆*Tс p*, тоді

− ∆ = ,

*T V*

p

0

*W W с V*

*p* г

де ∆*T* = *T*з.с ñ *T*0, *Т*0 ñ початкова температура плазмоутворюючо го газу, *Т*0 ≈ 293 К, *с*р ñ питома теплоємність газу, кДж/(кг⋅К). Звідси

*W W*

з.с 0 3600 0− = + ,

*Т Т V*

р

*с V*

p г

де *Т*0 ñ початкова температура плазмоутворюючого газу, К; *V*0 ñ питомий об'єм плазмоутворюючого газу, м/кг; *W* ñ електрична потужність, яка подається на плазмотрон, кВт; *W*p ñ потужність, яка розсіюється у плазмотроні, кВт; *с*р ñ питома теплоємність газу, кДж/кг⋅К; *V*г ñ витрата плазмоутворюючого газу, м3/год.

Програма для розрахунку середньомасової температури плаз мового струменя на зрізі сопла плазмотрона за питомим внеском енергії написана мовою Turbo Pascal і наведена у дод. А.

**3. ЗМІСТ ТА СТРУКТУРА КУРСОВОГО ПРОЕКТУ З ДИСЦИПЛІНИ "ТЕХНОЛОГІЯ НАПИЛЕННЯ ПОКРИТТІВ"**

**3.1. Задачі та приклади тем курсових проектів**

Курсове проектування з дисципліни "Технологія напилення покриттів" є першою роботою, пов'язаною з організацією техно логії напилення функціональних покриттів.

Проект складається з таких основних етапів:

вивчення та аналіз конструкції та умов роботи виробу; вибір методу, способу і обладнання для напилення покриттів; вибір типу, складу, конструкції покриття і його товщини; модернізація обладнання для напилення покриттів; розрахунок (вибір) режиму напилення функціонального по криття;

нормування технологічних операцій, визначення витрат ма теріалів;

призначення методів контролю якості покриттів, загальні ві домості про охорону праці та техніку безпеки;

розробка технологічної інструкції щодо напилення функціо нальних покриттів;

проектування дільниці для напилення покриттів;

формування, складання та розробка загальних висновків, спи ску літератури, додатків та креслень.

Курсовий проект оформлюється відповідно до вимог ЕСКД і ЕСТД обсягом 25Ö30 аркушів формату А4 пояснювальної за писки і двох аркушів креслення формату А1 і виконується у два етапи: перший ñ пояснювальна записка; другий ñ креслення.

Приклади тем курсових проектів наведені в табл. 3.1. Курсовий проект захищається у встановлений керівником термін.

*Таблиця 3.1.* **Приклади тем курсових проектів**

№

п/п 1.

| Тема |
| --- |

Розробка технології та модернізація обладнання для нанесення ущільнювальних покриттів на над роторні вставки ГТД газополуменевим напилюванням

Річна про грама, шт.

1500

16

*Продовж. табл. 3.1*

№

п/п 2.

| Тема |
| --- |
| Розробка технології та модернізація обладнання для виготовлення керамічних деталей плазмовим напилю ванням |
| Розробка технології та модернізація обладнання для напилення теплозахисних покриттів на соплові лопат ки ГТД плазмовим методом |
| Розробка технології та модернізація обладнання для відновлення колінчастих валів електродуговим напи люванням |
| Розробка технології та модернізація обладнання для нанесення ущільнюючих покриттів на надроторні вставки ГТД плазмовим методом |
| Розробка технології та модернізація обладнання для напилення зносостійких покриттів на кільця поршнів плазмовим методом |
| Розробка технології та модернізація обладнання для виготовлення прес-форми газополуменевим методом |
| Розробка технології та модернізація обладнання для газополуменевого напилення полімерних покриттів на вироби побутового призначення |
| Розробка технології та модернізація обладнання для відновлення автомобільних колінчастих валів газопо луменевим напилюванням |
| Розробка технології та модернізація обладнання для напилення металополімерних зносостійких покриттів електродуговим методом |

Річна про грама, шт.

3. 500 4. 300 5. 500

6. 50000 7. 300 8.

9. 300

10.

Розробка технології та модернізація обладнання для

11.

напилення конденсаційних покриттів на різальний інструмент

50000

**3.2. Зміст пояснювальної записки**

Вступ.

1. Аналіз конструкції та умов роботи виробу.

2. Вибір методу, способу і обладнання для напилення. Вибір і розрахунок типу, складу і товщини покриття.

17

3. Розрахунок технологічних параметрів напилення покриття. Розробка технологічної інструкції щодо напилення покриття. 4. Проектування дільниці для напилення покриттів. Розраху нок економічної ефективності застосування розробленої техноло гії напилення.

5. Призначення методів контролю якості, загальні відомості про охорону праці та техніку безпеки.

Загальні висновки.

Список джерел інформації.

Додатки.

Зміст креслень:

загальний вигляд деталі не більше 0,5 аркуша формату А1; складальне креслення вузла установки, плазмотрона, пальни ка, електродугового напилювача тощо і модернізованого вузла (деталі), 0,5 аркуша формату А1;

планування дільниці для нанесення покриттів, 1 аркуш фор мату А1.

***Вступ*** до пояснювальної записки повинен містити пояснення щодо призначення виробу, особливості його конструкції та умов роботи, доцільності напилення покриттів; відомості про стан та перспективи напилених покриттів щодо підвищення технічних ха рактеристик виробів; стисле обґрунтування та формування мети проектування.

***Аналіз конструкції та умов роботи виробу*** містить всебічний аналіз особливостей конструкції та умов роботи, що визначають вимоги до покриття.

***Вибір методу, способу і обладнання для напилення*** здійснюється у залежності від конструкції та умов роботи виробу, за [3, 11, 17]. Під час вибору методу і способу напилення функціонального

покриття рекомендується користуватися табл. 3.2. ***Вибір і розрахунок типу (конструкції), складу і товщини по криття*** визначається в залежності від умов роботи виробу та спо собу нанесення з урахуванням припусків на обробку напиленого шару [1, 3, 10, 16, 17].

***Розрахунок технологічних параметрів напилення покриття*** залежить від методу нанесення покриттів. Наприклад, далі наве дено розрахунок та оптимізація технологічних параметрів плаз мового напилення покриттів [1 ñ 3, 13, 17].

18

*Таблиця 3.2.* **Застосування методів напилення функціональних покриттів на робочі поверхні виробів**

Тип зíєднання деталей, виробів, інструменту

Методи нанесен ня захисного або відновлювально го покриття

| в  о  к  к  и  н  я  п  н  и  н  ш  а  з  д  і  п    ñ    л  а  В | ñ    л  а  в  ч  й  а  х  и  в  в  о  о  т  к  ч  ш  а  л  у  К | я  н  н  е  н  ь  л  і  щ  у    ñ    л  а  В | и  к  ч  а  Д  п  Т  в  Г  о  к  к    о  ,  н  и  у  р  с  о  р  т  а  о  с  ф  к  і  Ф | и  м  р  о  ф  і  н  ь  л  і  к  о  К | Д  Т  Г  и  к  т  а  п  о  Л | р  о  т  о  Д  р  Т  я  Г  н  р  н  о  е  т  н  а  ь  т  л  с  і  щ  У | и  б  у  р  т  і  н  ч  і  м  а  р  е  К | в    і  ,  т  н  с  е  о  д  м  у  ї  с  і  а  ц  с  к  у  у  п  р  т  р  с  о  н  К  о  к | т  н  е  м  у  р  т  с  н  І |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| + | ñ | + | ñ | ñ | ñ | ñ | ñ | + | + |
| + | ñ | + | ñ | ñ | ñ | ñ | ñ | + | ñ |
| + | + | + | + | + | + | + | + | ñ | + |

о

т

а

в

и

т

а

ь

л

р

у

к

а

п

а

Л

Газополуменевий + Електродуговий ñ Плазмовий ñ Конденсаційний ñ + ñ + ñ + ñ ñ ñ + ñ

***Розрахунок та оптимізація технологічних параметрів плаз мового напилення покриттів за допомогою математичної моделі.*** Визначення швидкості переміщення струменя вздовж (поперек) виро бу, частоти обертання виробу циліндричної форми, а також вибір ре жиму напилення розрахунковим методом та інші наведено у [1, 3, 10, 11, 17].

Режим плазмового напилення покриттів з різних матеріалів ви бирається головним чином експериментально. На практиці напилення покриттів здійснюють на великих електричних потужностях (часто понад 10...15 кВт) [3, 13, 14], що підвищує собівартість продукції. Ефективний ККД електричної потужності складає лише 7...10 % [6]. Це викликає потребу у зниженні енергетичних витрат при плазмо вому нанесенні покриттів.

Раціональніше оптимізувати процес, що дозволить знизити теплову потужність плазмового напилення, можна за допомогою математичних моделей з розрахунками на ПЕОМ.

Розроблено кілька моделей, які мають ряд припущень і дозво ляють розрахувати газодинамічні і теплофізичні параметри плазмо вого напилення, температуру й швидкість газу на зрізі сопла, тем пературу й швидкість частинок порошку в потоці плазми. Вплив припущень на результати розрахунків не однозначний і залежить від їх кількості і ступеня коректності. Оскільки на процес плазмо вого напилення покриттів впливають кілька десятків факторів,

19

що важко піддаються оптимізації, то можливість укладання уза гальненої математичної моделі, яка дозволить ефективно управ ляти процесом шляхом вибору і корегування більш точних моде лей окремих стадій напилювання, має велике теоретичне і прак тичне значення.

За основу узагальненої моделі прийнята математична модель двофазного плазмового струменя [4]. Вибрані рівняння (26)ñ(30), які дозволяють визначити температуру і швидкість плазмового струменя на зрізі сопла плазмотрона.

Для визначення температури та швидкості газу в кожному елементарному об'ємі були використані рівняння (35), (36), що наведені в [6, 12]. Рівняння, які входять до складу математичної моделі [4] і дозволяють визначити згадані параметри, містять в собі коефіцієнт абсолютної чорноти тіла, довідкові значення яко го для окремих матеріалів відрізняються інколи на порядок. Тому ці обставини, а також урахування сил аеродинамічного опору частинок порошку і обумовили використання рівнянь (35), (36).

Для визначення температури та швидкості частинок порош ку в кожному елементарному обўємі використані рівняння (37)ñ (42), які взяті із математичної моделі [4].

Таким чином, остаточно узагальнена і скорегована матема тична модель містить 17 рівнянь і має вигляд:

*Р* пл г пл 32 ~~( 5)~~ 3∝ = ~~+ −~~ ; (26)

*~~і~~ Р*

*R*

*c Р*

ε 

3 3/2

*і R*

*е Р*

0

α

∝ =− 3/2 + +

*c*

пл 2

2

2г( 1)

; (27)

2 *K Т*

г

0

*і*

α = 1 ; ) 11600

*B*

− ϕ = ⋅ − ; (28)

2 2

1 г пл 5 /2 г( 1) − −

+

*B a T Р ехр*

3,2 10 (

*і* −

*B*

*Р V c*

*Т*

*Р V c*

г( 1) *і*

+    ∝ − − + ∝ − −

г г пл

2 г г пл

*Т W W RT*

*Т RT*

г( 1)

*і p і*

г( 1)

0

0

2 2 г г г 0 г *е РV*

(29)

*Е РV X*

+ +

ϕ α

( ) 0; 1

*K*

*K*

= + α

20

*RT V*

ρ = − ; (30) *wі*

г( 1) г г

г0∝ *Т*

*Р S*

г 0

1

ζ +

г г( 1)1273 г( 1)

*і*

−

η = η ⋅ ; (31)

*і і*

− ζ + 273

*Т*

г( 1)

*і*

ρ = −

*d w*

−

ч г г( 1) Re ; (32) *і*

*i*

η

24

г

*і*

*CDi* = ; (33)

Re *Nu*

*i*

λг α = ; (34)

*Ti*

ч

*d*

ρ



3

ρ ∆ ⋅ ρ = − − *d*

*G*

*C x*

*w wDi i* ч г г( 1) 2 г

*і і*

3600 ехр ; (35)

*V*

г г

ч ч

 ρ ρ∆ ⋅ ρ

ч г г( 1) 32 12

*G Т Т*

*x*

α = − − *C d*

*Ті*

*i*

*і і*

ехр ; (36) 3600

*w c V*

г пл г г г ч ч

*і*

*Di*

*a* 18ч г 2ч ; (37) ρ =

*і*

*wi*

*d w* η

*i*

ч ч г 2ч

ρ =

*d С w*

*aі*

*Ti* ; (38)

6*Nu*

λ

г

[ ]  

 ∆ ∆ = − − ⋅ − − *аТх Т Т Тіі*

*і і і* ч г ч( 1) 1 ехр ; (39) [ ]     ∆ ∆ = − − ⋅ − − *ах*

*і*

*і і і* ч г ч( 1) 1 ехр ; (40)

*w w w*

*wi*

21

*w*ч*і* = *w*ч(*і*−1) + ∆*w*ч*і* ; (41)

*Т*ч*і* =*Т* ч(*і*−1) + ∆*Т* ч*і* . (42)

де *T*з.с ñ температура плазми на зрізі сопла плазмотрона, К; *ср*г ñ питома теплоємність газу, кДж/ (кг⋅К); *е*0 ñ заряд електрона, Кл; *K* ñ стала Больцмана, Дж/К; ε0 ñ електрична стала, Ф/м; *R* ñ універ сальна газова стала, Дж/(моль⋅К); *і* ñ кількість ступенів вільності; ∝г ñ молярна маса газу плазми, кг/моль; ϕг ñ перший потенціал іонізації газу, В; *а* ñ коефіцієнт, що залежить від положення елемен та в періодичній системі; *Е*г ñ енергія дисоціації газу, Дж; *Т*0, *Р* ñ початкові температура і тиск плазмоутворюючого газу, α ñ сту пінь однократної іонізації плазмоутворюючого газу; *V*г ñ об'ємна витрата плазмоутворюючого газу, м3/с; *W* ñ електрична потужність, яка подається на плазмотрон, Вт; *W*p ñ потужність, яка розсіюється у плазмотроні, Вт; *W*p = *m*в*c*в*T*; *m*в ñ масова витрата охолоджуючої води, кг/с; *с*в ñ питома теплоємність води, *с*в = 4190 Дж/(кг⋅К); *Т* ñ зміна температури води на вході і виході із плазмотрона; *Р*0 ñ тиск навколишнього середовища, Па; *S* ñ площа перерізу сопла плаз мотрона, м2; ∆*Т*ч*i* ñ зміна середньої температури частинки в *і*-му елементі, К; *Т*ч(*i*ñ1) середня температура частинки на вході в *і*-й елемент об'єму, К; *Т*г*і*ñ середня температура плазми в *і*-му еле менті об'єму, К; Nu ñ критерій Нуссельта; λг ñ теплопровідність плазми, Вт/(м⋅К); ∆*w*ч*i* ñ зміна середньої швидкості частинок, що вводяться в плазму, м/с; ∆*w*ч(*i*ñ1) ñ середня швидкість частинок на вході в *і*-й елемент об'єму, м/с; *w*г*i* ñ середня швидкість плазми в *і*-му елементі об'єму, м/с; η*і* ñ коефіцієнт динамічної в'язкості газу, Па⋅с; *w*0г ñ швидкість газу в перерізі введення порошку у потік, м/с; ρг ñ густина плазмоутворюючого газу, кг/м3; ρч ñ теоретична густи на матеріалу частинок, кг/м3; *G*г ñ витрата плазмоутворюючого газу, кг/год; *G*ч ñ витрата порошку (продуктивність процесу), кг/год; *СD* ñ коефіцієнт аеродинамічного опору частинок порошку; *d*ч ñ діаметр частинок порошку (дисперсність матеріалу), м; ∆*х* ñ шлях, який пройдено частинкою (дистанція напилення), м; *Т*г0 ñ початко ва температура газу, К; αТ ñ коефіцієнт тепловіддачі від газу до частинки, Вт/(м3⋅К); *С*пл ñ середня теплоємність плазмоутворю ючого газу при постійному тиску, кДж/(кг⋅К); *w*г ñ швидкість плаз моутворюючого газу, м/с.

22

За цією математичною моделлю здійснюється оптимізація параметрів нанесення покриттів. Оптимальна дистанція напилен ня (відстань від зрізу сопла до поверхні виробу) складає 0,100Ö0,300 м [13]. Дистанція напилення залежить від порошку, режиму напилення, конструктивних особливостей виробу та тех нічних характеристик установки плазмового напилення й плазмо трона.

Оптимальна дистанція нанесення покриттів фіксується в мо мент досягнення частинкою порошку температури плавлення за умови проплавлення 0,9 її маси. Це можна пояснити тим, що при нанесенні покриттів основою повної питомої енергії частинок є внутрішня складова.

На основі узагальненої математичної моделі складено програ му розрахунку та оптимізації технологічних параметрів напилен ня покриттів (див. дод. В). Для виконання розрахунків за допомо гою ПЕОМ необхідні такі початкові дані: вид плазмоутворюючо го газу;витрати газу *V*г і порошку *G*ч, кг/год; діаметр частинок порошку *d*ч, м; питома теплоємність порошку *с*ч, кДж/(кг⋅К); тем пература плавлення порошку *Т*пл, К; початковий тиск газу *Р*, Па; теоретична густина матеріалу частинок ρч, кг/м3.

***Розробка технологічної інструкції*** здійснюється відповідно до типових технологічних процесів та [3, 9].

***Проектування дільниці для напилення покриттів*** рекоменду ється здійснювати відповідно до [12, 17].

***Розрахунок економічної ефективності застосування розроб леної технології напилення*** приблизно визначається за методикою оцінки матеріальних витрат [17] та за допомогою методики ви значення економічної ефективності виробництва і застосування виробів зі зміцнюючими покриттями [2, 9, 10].

Закінчується пояснювальна записка ***загальними висновками***, у яких необхідно відобразити шляхи удосконалення розробленої технології.

23

**РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА**

1. *Білик І.І.* Технологія та обладнання напилених покриттів: Навч. посібник. ñ К.: ІВЦ "Видавництво "Політехніка", 2004. ñ 92 с. 2. *Борисов Ю.С., Борисова А.Л.* Плазменные порошковые по крытия. ñ К.: Техніка, 1986. ñ 224 с.

3. Газотермические покрытия из порошковых материалов. Спра вочник / *Ю.С. Борисов, Ю.А. Харламов, С.Л. Сидоренко, Е.Н. Арда товская* ñ К.: Наукова думка, 1987. ñ 544 с.

4. *Дубовой А.Н.* Математическая модель двухфазной плазмен ной струи // Автоматическая сварка. ñ 1999. ñ №11. ñ С. 26ñ28. 5. *Дубовой А.Н.* Разработка математической модели техноло гической плазменной струи// В кн.: Новые конструкционные ста ли и сплавы и методы их обработки для повышения надежности и долговечности изделий. Матер. к VI междунар. Науч.-технич. конф. ñ Запорожье: ЗГТУ, 1995. ñ Ч.1 ñ С. 88ñ90.

6. Компьютерное моделирование процессов плазменного на пыления покрытий / *С.П. Кундас, А.П. Достанко, А.Ф. Ильющен ко* и др. ñ Минск: Бестпринт, 1998. ñ 212 с.

7. *Кох Б.А.* Основы термодинамики металлургических про цессов сварки: Учебное пособие. ñ Л.: Судостроение. ñ 1975. ñ 240 с. 8. *Кузнецов В.Д., Пащенко В.М.,* Фізико-хімічні основи ство

рення покриттів: Навч. посібник. ñ К.: НМЦ ВО, 1999. ñ 176 с. 9. Методика определения экономической эффективности про изводства и применение изделий с упрочняющими покрытиями / *Н.И. Панащенко, Г.И. Трусов, Л.В. Шевчук* и др. ñ Киев, 1987. ñ 28 с. 10. Нанесення покриття: Навч. посібник / *В.М. Корж, В.Д. Куз нєцов, Ю.С. Борисов, К.А. Ющенко* / за ред. *К.А. Ющенка.* ñ К.: Арістей, 2005. ñ 204 с.

11. Плазменное напыление покрытий в производстве изделий электронной техники / *В.Н. Лясников, В.С. Украинский, Г.Ф. Бога тырев* ñ Саратов, изд-во Саратовского ун-та, 1985. ñ 199с.

12. Порошковая металлургия и напыленные покрытия // Под ред. *Б.С. Митина* ñ М.: Металлургия, 1987. ñ 792 с. 13. Расчет траектории, скорости и нагрева частиц в плазмен ных струях / *А.Ф. Ильющенко, В.А. Оковитый, С.Б. Соболевский* и др. // Математические модели физических процессов и их свойства: Тез. междунар. конф. JCMMP ñ 97. ñ Таганрог, 1997. ñ С. 50ñ51.

24

14. РД 5.9910 ñ 91. Покрытия антифрикционные, износостой кие, коррозионностойкие. Нанесение покрытий методом напыле ния. Типовой технологический процесс. Введен 01.07.92.

15. Справочник по физике / *И.М. Дубровский, Б.В. Егоров, К.П. Рябошапка* ñ К.: Наукова думка. ñ 1986. ñ 560 с. 16. *Сухарев Э.А.* Технология и свойства защитных покрытий в машинах // Учебное пособие. ñ Ровно, 2004. ñ 182 с. 17. Технология нанесения газотермических порошковых покры тий / *А.Н. Дубовой, Э.Б. Хачатуров, С.А. Лой* // Учеб. Пособие ñ Николаев, 1986. ñ 66 с.

**ДОДАТКИ**

**Додаток А**

**Типова програма**

**розрахунків середньомасової температури плазмового струменя на зрізі сопла плазмотрона (для N2, Ar, He, H2, повітря)** name$ = "c:\result.txt"

OPEN name$ FOR OUTPUT AS #1

'data block

R = 8314

Ez = 1.602 \* 10 ^ -19

K = 1.38 \* 10 ^ -23

Eps = 8.85 \* 10 ^ -12

Tz = 298

Pz = 101300

S = .0000283#

Na = 6.02 \* 10 ^ 26

PRINT "Введіть значення Р"

INPUT P

PRINT "Введіть значення Vg"

INPUT Vg

PRINT #1, "P="; P, "Vg="; Vg

GOTO 8

1 'дані для азоту

I = 5

Mug = 14

Fig = 14.54

A = 1.5

Eg = 15.65 \* 10 ^ -19

Ro = 1.251

Cpl = 2000

GOTO 9

2 'дані для аpгону

I = 3

Mug = 39.95

Fig = 15.75

A = 4

26

Eg = 0

Ro = 1.784

Cpl = 520

GOTO 9

3 'дані для гелію

I = 3

Mug = 4

Fig = 24.59

A = 4

Eg = 0

Ro = .179

X = 0

Cpl = 5200

GOTO 9

4 'дані для водню

I = 5

Mug = 1

Fig = 13.59

A = 1

Eg = 7.23 \* 10 ^ -19

Ro = .09

Cpl = 29100

GOTO 9

5 'дані для повітря

I = 6

Mug = 14.42

Fig = 14.34

A = 1.74

Eg = 14.1 \* 10 ^ -19

Ro = 1.177

Cpl = 2306

GOTO 9

'end data

8 CLS

PRINT "Виберіть плазмоутворюючий газ" PRINT " азот (N2) ñ 1" PRINT " аpгон (Ar) ñ 2" PRINT " гелій (He) ñ 3" PRINT " водень (H2) ñ 4"

27

PRINT " повітря ñ 5"

INPUT Gp

IF Gp = 1 THEN 1

IF Gp = 2 THEN 2

IF Gp = 3 THEN 3

IF Gp = 4 THEN 4

IF Gp = 5 THEN 5

9

J = 0

M = 1

PRINT "Розрахунок термодинамічних параметрів плазми" PRINT

PRINT "Значення W, що вводиться повинно бути >15 "; INPUT " (Kw) W=", W1

W2 = W1

' для плазмотpону типу ПH-14м

Wp = 7300

10

INPUT "Введіть початкове значення ступеня іонізації (0...1) Al=", Al INPUT "Введіть початкове значення Tp>15000 Tp=", Tp Tp1 = Tp

15 W = W1 \* 1000 ñ Wp

20 Tp = Tp + 20

IF Gp = 1 THEN 21

IF Gp = 2 THEN 22

IF Gp = 3 THEN 22

IF Gp = 4 THEN 23

IF Gp = 5 THEN 24

21

'дані для азоту

D1 = 10 ^ (-49295 / Tp + 6.14)

D2 = 12 + D1

X = SQR(D1 / D2)

GOTO 25

22

'дані для аpгону и гелію

X = 0

GOTO 25

28

23

'дані для водню

D1 = 10 ^ (-22765 / Tp + 5.63)

D2 = 12 + D1

X = SQR(D1 / D2)

GOTO 25

24

'дані для повітря

D11 = 10 ^ (-26023 / Tp + 6.58)

D12 = 12 + D11

D21 = 10 ^ (-49295 / Tp + 6.14)

D22 = 12 + D21

X = .21 \* SQR(D11 / D12) + .79 \* SQR(D21 / D22) 'end data

25

IF M = 1 THEN Tip$ = " ПH-14м"

IF M = 2 THEN Tip$ = " ПH-7"

' розрахунок тиску в плазмі

So1 = (P / 3) \* (I + 5) ñ (2 / 3)

So2 = (Mug / R) \* Cpl \* P

Ppl = (P / 3) \* (I + 5) ñ (2 / 3) \* So2

' розрахунок теплоємності

D21# = (Ez ^ 3) \* (Al ^ 1.5) \* SQR(P)

D22# = K \* K \* Tp \* Tp \* (Eps ^ 1.5)

S3 = D21# / D22#

Cpl = R / (2 \* Mug) \* (I + 2 + S3)

' розрахунок ступеня іонізації

B = .032 \* A \* A \* (Tp ^ 2.5) / Ppl \* EXP(-11600 / Tp \* Fig) Al = SQR(B / (1 + B))

' розрахунок температури плазми

S41 = (Tz + (W \* R \* Tz) / (P \* Mug \* Vg \* Cpl)) \* Tp S42 = (Eg \* Na \* Tz \* X) / (Mug \* Cpl)

S43 = (2 \* Ez \* Na \* Tz \* Al \* Al) / (Mug \* Cpl \* (1 + Al)) Tpl = SQR(S41 ñ S42 ñ S43)

'pазpахунок швидкості плазми

Vcc = (R \* Tpl \* Ro \* Vg) / (Mug \* Pz \* S)

26 IF Tp > Tpl THEN Tp = Tp ñ 40

IF ABS(Tpl ñ Tp) < 50 THEN 30

GOTO 20

29

' вивід даних

30

' PRINT "Потужність, що підводиться до плазми (Kw) W="; W1 ' PRINT "Розрахункове значення температури плазми (K) Tpl="; ' PRINT USING "#####"; Tpl

' PRINT "Коефіцієнт іонізації ñ альфа , Al= "; ' PRINT USING "#.##"; Al

' PRINT "Тиск плазми Ppl=";

' PRINT USING "######.#"; Ppl

' PRINT "Теплоємність плазми Сpl= ";

' PRINT USING "####.#"; Cpl

' PRINT "Швидкість газу Vcc=";

' PRINT USING "######.#"; Vcc

' Вивід даних на прінтер

' PRINT "Вивести дані на принтер Y/N"

' INPUT Y$

' IF Y$ = "Y" THEN 35

' IF Y$ = "y" THEN 35

'GOTO 50

35

I1$ = "Термодинамічні параметри азотної плазми" I2$ = " Термодинамічні параметри аргонової плазми " I3$ = " Термодинамічні параметри гелевої плазми " I4$ = " Термодинамічні параметри водневої плазми " I5$ = " Термодинамічні параметри повітряної плазми "

IF J > 0 THEN 36

IF Gp = 1 THEN PRINT #1, I1$

IF Gp = 2 THEN PRINT #1, I2$

IF Gp = 3 THEN PRINT #1, I3$

IF Gp = 4 THEN PRINT #1, I4$

IF Gp = 5 THEN PRINT #1, I5$

36

PRINT #1, ; Tip$;

PRINT #1, " "; "W=";

PRINT #1, USING "##"; W1;

PRINT #1, " "; "Tpl=";

PRINT #1, USING "#####"; Tpl;

PRINT #1, " "; "Al=";

30

PRINT #1, ; USING "#.##"; Al; PRINT #1, " "; "Cpl=";

PRINT #1, USING "####"; Cpl; PRINT #1, " "; "Ppl=";

PRINT #1, USING "######"; Ppl; PRINT #1, " "; "Vcc=";

PRINT #1, USING "######.#"; Vcc J = J + 1

' Цикл варіювання потужності W1 = W1 + 5

IF W1 >= 65 THEN 40

GOTO 15

40

M = M + 1

IF M > 2 THEN 8

W1 = W2

Wp = 10500

Tp = Tp1

GOTO 15

50 CLOSE #1

END

**Б**

**к**

**о**

**т**

**а**

**д**

**о**

**Д**

**й е**

**т**

**с**

**о**

**н**

**ж**

**е**

**л**

**а**

**з**

**х**

0 0

62

0 0

52

0 0

42

0 0

32

0 0

22

0 0

12

0 0

02

0 0

0

8 1

0

00

6 1

00

0

4 1

000

2 1

0

0

0

0 1

0

00

8

К

,

и

м

з

а

л

п

а

ру

т

а

ре

п

м

е

Т

д

ів

и

м

з

а

л

п

і

т

с

о

н

м

є

о

л

п

е

т

ї о

м

о

т

и

п

ь

т

с

ін

ж

е

л

а

З

.

2

я

н

е

м

у

р

т

с

о

г

о

в

о

м

з

а

л

п

и

р

у

т

а

ре

п

м

е

т

ї

о

в

о

с

а

м

о

ь

н

а

н

о

р

т

о

м

з

а

л

п

а

л

п

о

с

і

з

і

р

з

а

н

**и**

**н**

**ч**

**і**

**фа**

**рг**

**ь**

**н**

**е**

**ж**

**а**

**рб**

**о**

**з**

**и**

**д**

**а**

**л**

**к**

**и**

**рП**

К· кг / Дж , плазм и теплоємність Питома

0

00

5 2

0

00

0 2

0

00

5 1

0

0

0

0 1

00

05

К

,

и

м

з

а

л

п

а

ру

т

а

ре

п

м

е

Т

.

с

и

Р

д

і

в

ї

і

ц

а

з

і

н

о

і

ї

о

н

т

а

р

к

о

н

д

о

я

н

е

п

у

т

с

ь

т

с

і

н

ж

е

л

а

З

.

1

д

е

ре

с

я

н

е

м

у

р

т

с

о

г

о

в

о

м

з

а

л

п

и

р

у

т

а

ре

п

м

е

т

ї

о

в

о

с

а

м

о

ь

н

д

а

н

о

р

т

о

м

з

а

л

п

а

л

п

о

с

і

з

і

р

з

а

н

1

8 ,

6 ,

4 ,

2 ,

0

.

с

е

іо нізац ії однократн ої Ступінь

0

0

0

0

и

Р

ре

с

32

***2***

0

0

0

0

0

0

0

***1***

0

0

7

0

6

0

5

0

4

0

3

0

2

0

1

0

т

В

к

,

ь

т

с

і н

ж

ут

о

П

и

р

у

т

а

р

е

п

м

е

т

ї

о

в

о

с

а

м

о

ь

н

д

е

р

е

с

ь

т

с

ін

ж

е

л

а

З

.

4

,

а

н

о

р

т

о

м

з

а

л

п

а

л

п

о

с

і

з

і

р

з

а

н

я

н

е

м

у

р

т

с

о

г

о

в

о

і

т

с

о

н

ж

у

т

о

п

д

і

в

,

и

м

а

к

и

д

о

т

е

м

и

м

и

н

з

і

р

а

з

ї о

н

а

в

о

:

ус

е

цо

рп

;

ї

іг

р

е

н

е

я

н

н

е

ж

е

р

е

бз

у

н

о

к

а

з

і в

о

н

с

о

а

н

а

к

и

д

о

т

е

ї

іг

р

е

н

е

м

о

к

с

е

н

в

м

и

м

о

т

и

п

а

з

а

к

и

д

о

т

е

м

ñ

*2*

0

0

00

0

0

57

0

0

05

0

0

52

0

0

00

00

57

00

05

00

52

.

си

мз

а

х

а

р

м

ñ

2

К, температура Середноьмасова 1

0 002

***1***

***2***

***3***

0

0

8

1

***4***

1

0 061

1

0 041

1

0 0

2

1

0 001

0 08

0 06

0 04

0 0

0

0 6

00

0

0 5

00

0

0 4

00

0

0 3

00

0

0 2

00

0

0 1

0

К

,

и

м

з

а

л

п

а

р у

т

а

ре

п

м

е

Т

Р

я

н

е

м

у

р

т

с

о

г

о

в

о

м

з

а

л

п

і

т

с

о

к

д

и

в

ш

ь

т

с

ін

ж

е

л

а

З

.

3

.

с

и

л

п

о

г

о

в

о

м

з

а

л

п

и

р

у

т

а

р

е

п

м

е

т

ї

о

в

о

с

а

м

о

ь

н

д

е

р

е

с

д

ів

з

о

р

х

а

т

а

р

т

и

в

и

р

п

а

н

о

р

т

о

м

з

а

л

п

а

л

п

о

с

і

з

і

р

з

а

н

я

н

е

м

у

р

:

с

/

3

м

,

у

з

а

г

*1*

6 0

0

0

,

0

ñ

*4*

;

5

0

0

0

,

0

ñ

*3*

;

4

0

0

0

,

0

ñ

*2*

;

3

0

0

0

,

0

ñ

*1*

с/м, сопла зрізі на плазми Швидкість

т

с

Р

33

**Додаток В**

**Програма розрахунку та оптимізації технологічних параметрів напилення покриттів**

unit CountNew;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs, StdCtrls, ExtCtrls,Math, Mask, Buttons;

type

TForm1 = class(TForm)

GroupBox1: TGroupBox;

Label2: TLabel;

MEOsK: TMaskEdit;

MEStK: TMaskEdit;

Label3: TLabel;

Label4: TLabel;

Label5: TLabel;

Label6: TLabel;

MER: TMaskEdit;

Label7: TLabel;

Label8: TLabel;

MEOsEz: TMaskEdit;

Label9: TLabel;

MEStEz: TMaskEdit;

Label10: TLabel;

Label11: TLabel;

Label12: TLabel;

MEP0: TMaskEdit;

Label14: TLabel;

MEOsEpsilon: TMaskEdit;

Label17: TLabel;

MEStEpsilon: TMaskEdit;

Image3: TImage;

Label15: TLabel;

Label16: TLabel;

34

Label18: TLabel;

MEOsNa: TMaskEdit; Label19: TLabel;

Label20: TLabel;

Label21: TLabel;

MENu: TMaskEdit; Label22: TLabel;

Label23: TLabel;

MEStNa: TMaskEdit; GroupBox2: TGroupBox; Label1: TLabel;

Label24: TLabel;

METz: TMaskEdit;

Label26: TLabel;

Label27: TLabel;

MES: TMaskEdit;

Label28: TLabel;

GroupBox3: TGroupBox; CBTipPl: TComboBox; Label29: TLabel;

Label30: TLabel;

Label31: TLabel;

Label32: TLabel;

MEWp: TMaskEdit; Label33: TLabel;

CBGas: TComboBox; GroupBox4: TGroupBox; Label34: TLabel;

Image1: TImage;

MEMug: TMaskEdit; Label35: TLabel;

Image2: TImage;

MEFig: TMaskEdit; Label36: TLabel;

MEA: TMaskEdit;

Label37: TLabel;

Label38: TLabel;

Label39: TLabel;

Label40: TLabel;

35

MEOsEg: TMaskEdit; Label41: TLabel;

MEStEg: TMaskEdit; Label42: TLabel;

Image4: TImage;

MEEta: TMaskEdit; Label43: TLabel;

Image5: TImage;

MERo: TMaskEdit; Label44: TLabel;

Label45: TLabel;

Label46: TLabel;

Label47: TLabel;

MECpl: TMaskEdit; Label48: TLabel;

Label49: TLabel;

MEI: TMaskEdit;

Label50: TLabel;

Image6: TImage;

MELambda: TMaskEdit; Label51: TLabel;

Label52: TLabel;

Image7: TImage;

MEOsNu: TMaskEdit; Label53: TLabel;

MEStNu: TMaskEdit; Label13: TLabel;

Label25: TLabel;

Label54: TLabel;

Label55: TLabel;

MEW1: TMaskEdit; MEW2: TMaskEdit; MEWStep: TMaskEdit; Label56: TLabel;

Label57: TLabel;

MEP: TMaskEdit;

Label58: TLabel;

Label59: TLabel;

Label60: TLabel;

36

Label61: TLabel; MEVg: TMaskEdit; Label62: TLabel; Image8: TImage;

MEAlfa: TMaskEdit; Label63: TLabel; METp: TMaskEdit; Label64: TLabel; Label65: TLabel; Label66: TLabel; Label67: TLabel; MEX1: TMaskEdit; MEX2: TMaskEdit; MEStepX: TMaskEdit; Label68: TLabel; Label69: TLabel; Label70: TLabel; MEGch: TMaskEdit; Label71: TLabel; Label72: TLabel; Label73: TLabel; MECch: TMaskEdit; Label74: TLabel; Label75: TLabel; Image9: TImage;

MERoCh: TMaskEdit; Label76: TLabel; Label77: TLabel; Label78: TLabel; MEDch: TMaskEdit; Label82: TLabel; Image10: TImage; Label83: TLabel; Label84: TLabel; ENazM: TEdit;

Label85: TLabel; Label86: TLabel; METm: TMaskEdit; Label87: TLabel;

37

Label88: TLabel;

Label89: TLabel;

Label90: TLabel;

MEWch: TMaskEdit;

BBCount: TBitBtn;

procedure Count;

procedure CBTipPlChange(Sender: TObject);

procedure CBGasChange(Sender: TObject);

procedure FormCreate(Sender: TObject);

procedure BBCountClick(Sender: TObject);

procedure MERKeyDown(Sender: TObject; var Key: Word;

Shift: TShiftState);

private

{ Private declarations }

public

{ Public declarations }

end;

var

Form1: TForm1;

implementation

var F1,F2,F3: TextFile;

NazPlaz: String;

{$R \*.dfm}

procedure TForm1.FormCreate(Sender: TObject);

begin

NazPlaz:='азотной';

end;

procedure TForm1.Count;

var R,K,Ez,Pz,Eps,Na,Nu,Tz,S,Wp :Real; //константи

Mug,Fig,A,Eg,Eta,Ro,Cpl0,I,Lam,Nug,X :Real; //залежить від P,Al,Vg,Dch,Gch,Roch,Cch,Tp0 :Real; //задається

Wat,WStep,Ppl,B,S41,S42,S43,S44,Tpl,Vcc,Wc1,Cplp,Alp,Wg0,Wg,N1,Tg,iX,X1,X2,Delx, Aw,DelW,At,DelT,Tc0,DelT0,DelT0O,Wc0 :Real; //розрахункові величини

38

Npp,Npp01,iX01,Wg01,Tg01,Wc01,Tc01,Npp02,iX02,Wg02,Tg02,Wc02,Tc02,Npp03, iX03,Wg03,Tg03,Wc03,Tc03,Npp04,iX04,Wg04,Tg04,Wc04,Tc04: Real; //оптимізація Cikl: Boolean;

N0,Tg0,W,W2,WO :Real;

//Ciklw,W,W2 :Word;

begin

//фізичні постійні

R:=StrToFloatDef(Trim(MER.Text),0);

K:=StrToFloatDef(Trim(MEOsK.Text),0)\*IntPower(10,StrToIntDef(Trim(MEStK.Text),0)); Ez:=StrToFloatDef(Trim(MEOsEz.Text),0)\*IntPower(10,StrToIntDef(Trim(MEStEz.Text),0)); Pz:=StrToFloatDef(Trim(MEP0.Text),0);

Eps:=StrToFloatDef(Trim(MEOsEpsilon.Text),0)\*IntPower(10,StrToIntDef(Trim(MEStEpsilon.Text),0)); Na:=StrToFloatDef(Trim(MEOsNa.Text),0)\*IntPower(10,StrToIntDef(Trim(MEStNa.Text),0)); Nu:=StrToFloatDef(Trim(MENu.Text),0);

//постійні

Tz:=StrToFloatDef(Trim(METz.Text),0); S:=StrToFloatDef(Trim(MES.Text),0);

//задається

P:=StrToFloatDef(Trim(MEP.Text),0);

Al:=StrToFloatDef(Trim(MEAlfa.Text),0);

Tp0:=StrToFloatDef(Trim(METp.Text),0);

W:=StrToFloatDef(Trim(MEW1.Text),0);

W2:=StrToFloatDef(Trim(MEW2.Text),0);

WStep:=StrToFloatDef(Trim(MEWStep.Text),0);

Vg:=StrToFloatDef(Trim(MEVg.Text),0);

//залежить від газу

Mug:=StrToFloatDef(Trim(MEMug.Text),0);

I:=StrToFloatDef(Trim(MEI.Text),0);

Fig:=StrToFloatDef(Trim(MEFig.Text),0);

A:=StrToFloatDef(Trim(MEA.Text),0);

Eg:=StrToFloatDef(Trim(MEOsEg.Text),0)\*IntPower(10,StrToIntDef(Trim(MEStEg.Text),0)); Cpl0:=StrToFloatDef(Trim(MECpl.Text),0);

Ro:=StrToFloatDef(Trim(MERo.Text),0);

Nug:=StrToFloatDef(Trim(MEOsNu.Text),0)\*IntPower(10,StrToIntDef(Trim(MEStNu.Text),0)); Eta:=StrToFloatDef(Trim(MEEta.Text),0);

Lam:=StrToFloatDef(Trim(MELambda.Text),0);

39

//залежить від плазмотрону

Wp:=StrToFloatDef(Trim(MEWp.Text),0);

//розрахунок

DelT0O:=1000000; Npp04:=0; iX04:=0; Wg04:=0; Tg04:=0; Wc04:=0; Tc04:=0; while W<=W2 do begin

Cikl:=False;

While Cikl=False do begin

Tp0:=Tp0+20;

if CBGas.ItemIndex=0 then begin //азот

X:=Sqrt(Power(10,((-49295/Tp0+6.14)))/(12+Power(10,((-49295/Tp0+6.14))))); end;

if (CBGas.ItemIndex=1) or (CBGas.ItemIndex=2) or (CBGas.ItemIndex=5) then X:=0; //аргон гелій інший

if CBGas.ItemIndex=3 then begin //водень

X:=Sqrt(Power(10,((-22765/Tp0+5.63)))/(12+Power(10,((-22765/Tp0+5.63))))); end;

if CBGas.ItemIndex=4 then begin //повітря

X:=0.21\*(Sqrt(Power(10,((-26023/Tp0+6.58)))/(12+Power(10,((-26023/ Tp0+6.58))))))+0.79\*(Sqrt(Power(10,((-49295/Tp0+6.14)))/(12+Power(10,((-49295/ Tp0+6.14))))));

end;

Ppl:=(P/3)\*(I+5)-((2\*Mug)/(3\*R)\*Cpl0\*P);

Cpl0:=R/(2\*Mug)\*(I+2+((IntPower(Ez,3)\*Power(Al,1.5)\*Sqrt(P))/ (IntPower(K,2)\*IntPower(Tp0,2)\*Power(Eps,1.5))));

B:=0.032\*A\*A\*Power(Tp0,2.5)\*Power(Ppl,-1)\*Exp(-11600\*Fig/Tp0); Al:=Sqrt(B/(1+B));

Wat:=W\*1000-Wp;

S41:=(Tz+(Wat\*R\*Tz)/(P\*Mug\*Vg\*Cpl0))\*Tp0;

S42:=(Eg\*Na\*Tz\*X)/(Mug\*Cpl0);

S43:=(2\*Ez\*Na\*Tz\*Al\*Al)/(Mug\*Cpl0\*(1+Al));

if (S41-S42-S43)<0 then begin

W:=W+WStep; Continue;

end;

Tpl:=Sqrt(S41-S42-S43);

Vcc:=(R\*Tpl\*Ro\*Vg)/(Mug\*Pz\*S);

if Tp0>Tpl then Tp0:=Tp0-40;

if Abs(Tpl-Tp0)<50 then begin

Tpl:=Round(Tpl);

40

Alp:=SimpleRoundTo(Al,-2);

Cplp:=Round(Cpl0);

Ppl:=Round(Ppl);

Vcc:=SimpleRoundTo(Vcc,-1);

Writeln(F1, Format(' W= %5.1f', [W]), Format(' Tpl= %5g', [Tpl]), Format(' Al= %2f', [Alp]), Format(' Cpl= %3g', [Cplp]), Format(' Ppl= %6g', [Ppl]), Format(' Vcc= %6.1f', [Vcc]) );

iX:=StrToFloatDef(Trim(MEWch.Text),0);

X1:=StrToFloatDef(Trim(MEX1.Text),0);

X2:=StrToFloatDef(Trim(MEX2.Text),0);

DelX:=StrToFloatDef(Trim(MEStepX.Text),0);

Tc0:=Tz;

Npp01:=0; iX01:=0; Wg01:=0; Tg01:=0; Wc01:=0; Tc01:=0;

Npp02:=0; iX02:=0; Wg02:=0; Tg02:=0; Wc02:=0; Tc02:=0;

Npp03:=0; iX03:=0; Wg03:=0; Tg03:=0; Wc03:=0; Tc03:=0;

DelT0:=1000000;

Npp:=0;

N0:=Nug; Tg0:=Tpl; Wg0:=Vcc; Tg:=Tpl;

X2:=X2+DelX;

Wc0:=StrToFloatDef(Trim(MEWch.Text),0);

Writeln(F2, 'Потужнiсть ', Format('%5.1f', [W]), ' кВт');

Writeln(F2, '-----------------------------------------------------------------------------'); Writeln(F2, '№ пп| Вiдстань вiд |Швидкiсть газу|Температура|Швидкiсть части нок| Температура ');

Writeln(F2, ' |зрiзу сопла, м| м/с (Wг) |газу,К (Tг)| м/с (Wч) |частинок,К (Tч)'); Writeln(F2, '-----------------------------------------------------------------------------'); repeat

N1:=N0\*Sqrt(Tg/273)\*((1+(Eta/273))/(1+(Eta/Tg))); {1}

S41:=StrToFloatDef(Trim(MEGch.Text),0);

S42:=StrToFloatDef(Trim(MERoch.Text),0);

S43:=StrToFloatDef(Trim(MEDch.Text),0);

Wg:=Wg0\*Exp((-S41/(3600\*Vg\*Ro))\*Sqrt((3\*Ro\*(24/((S43\*Ro\*Wg0)/N1))\*iX)/ (2\*S42\*S43))); {2}

Tg:=Tg0\*Exp((-(12\*(Nu\*Lam/S43)\*S41)/(Wg\*Cpl0\*3600\*Vg\*Ro))\*Sqrt(2\*iX/ (3\*Ro\*S42\*(24/((S43\*Ro\*Wg0)/N1))\*S43))); {3}

Aw:=(S43\*S43\*S42\*Wg)/(18\*N1); {4}

DelW:=(Wg-Wc0)\*(1-Exp(-iX/Aw)); {5}

Wc1:=Wc0+DelW; {6}

Wc0:=Wc1;

41

S41:=StrToFloatDef(Trim(MECch.Text),0);

At:=(S43\*S43\*S41\*S42\*Wg)/(6\*Nu\*Lam); {7}

DelT:=(Tg-Tc0)\*(1-Exp(-iX/At)); {8}

Tc0:=Tc0+Delt; {9}

if Wc1>Wc01 then begin

Npp01:=Npp; iX01:=iX; Wg01:=Wg; Tg01:=Tg; Wc01:=Wc1; Tc01:=Tc0; end;

if Tc0>Tc02 then begin

Npp02:=Npp; iX02:=iX; Wg02:=Wg; Tg02:=Tg; Wc02:=Wc1; Tc02:=Tc0; end;

if (Abs(Tc0-StrToFloatDef(Trim(METm.Text),0))<DelT0) and (Tc0- StrToFloatDef(Trim(METm.Text),0)>0) then begin

DelT0:=Abs(Tc0-StrToFloatDef(Trim(METm.Text),0));

Npp03:=Npp; iX03:=iX; Wg03:=Wg; Tg03:=Tg; Wc03:=Wc1; Tc03:=Tc0; if DelT0<DelT0O then begin

DelT0O:=DelT0; WO:=W;

Npp04:=Npp; iX04:=iX; Wg04:=Wg; Tg04:=Tg; Wc04:=Wc1; Tc04:=Tc0; end;

end;

if (iX>=X1) and (iX<=X2) then begin

Writeln(F2, Format('%4g', [Npp]),'| ',Format('%5.3f', [iX]),' | ',Format('%6.1f', [Wg]),' | ',Format('%5.0f', [Tg]),' | ',Format('%8.3f', [Wc1]),' | ',Format('%7.1f', [Tc0]),' '); end;

iX:=iX+DelX;

Npp:=Npp+1;

//Tg0:=Tg; N0:=N1; Wg0:=Wg;

until iX>X2;

break;

end;

end;

Writeln(F3, Format('%4g', [Npp01]),'| ',Format('%5.1f', [W]),' | ',Format('%5.3f', [iX01]),' | ',Format(' %6.1f', [Wg01]),' | ',Format('%5.0f', [Tg01]),' | ',Format('%8.3f', [Wc01]),' | ',Format('%7.1f', [Tc01]),' ');

Writeln(F3, Format('%4g', [Npp02]),'| | ',Format('%5.3f', [iX02]),' | ',Format (' %6.1f', [Wg02]),' | ',Format('%5.0f', [Tg02]),' | ',Format('%8.3f', [Wc02]),' | ',Format('%7.1f', [Tc02]),' ');

Writeln(F3, Format('%4g', [Npp03]),'| | ',Format('%5.3f', [iX03]),' | ',Format (' %6.1f', [Wg03]),' | ',Format('%5.0f', [Tg03]),' | ',Format('%8.3f', [Wc03]),' | ',Format('%7.1f', [Tc03]),' ');

42

Writeln(F3, '----------------------------------------------------------------------------------------'); W:=W+WStep;

if W>W2 then break;

end;

Writeln(F3,' Мiнiмальна потужнiсть оптимiзацiйного процесу'); Writeln(F3, '----------------------------------------------------------------------------------------'); Writeln(F3, '№ пп|Потужнiсть| Вiдстань вiд |Швидкiсть газу|Температура|Швидкiсть частинок| Температура ');

Writeln(F3, ' | кВт |зрiзу сопла, м| м/с (Wг) |газу,К (Tг)| м/с (Wч) |частинок,К (Tч)');

Writeln(F3, '----------------------------------------------------------------------------------------'); Writeln(F3, Format('%4g', [Npp04]),'| ',Format('%5.1f', [WO]),' | ',Format('%5.3f', [iX04]),' | ',Format(' %6.1f', [Wg04]),' | ',Format('%5.0f', [Tg04]),' | ',Format('%8.3f', [Wc04]),' | ',Format('%7.1f', [Tc04]));

Writeln(F3, '----------------------------------------------------------------------------------------'); end;

procedure TForm1.BBCountClick(Sender: TObject);

var str :String;

begin

GetDir(0, str);

str:=str+'\result1.txt';

AssignFile(F1, str);

rewrite(F1);

GetDir(0, str);

str:=str+'\result2.txt';

AssignFile(F2, str);

rewrite(F2);

GetDir(0, str);

str:=str+'\result3.txt';

AssignFile(F3, str);

rewrite(F3);

Writeln(F1, 'Термодинамiчнi параметри ', NazPlaz, ' плазми');

Writeln(F1, 'Тип плазмотрону ', CBTipPl.Text);

Writeln(F2,' Результати розрахунку швидкостi та температури газу i порошку');

Writeln(F2, ENazM.Text, ' температура плавлiння ', METm.Text, ' K'); Writeln(F3,' Результати оптимiзацiї процесу'); Writeln(F3, ENazM.Text, ' температура плавлiння ', METm.Text, ' K');

43

Writeln(F3, '----------------------------------------------------------------------------------------'); Writeln(F3, '№ пп|Потужнiсть| Вiдстань вiд |Швидкiсть газу|Температура|Швидкiсть частинок| Температура ');

Writeln(F3, ' | кВт |зрiзу сопла, м| м/с (Wг) |газу,К (Tг)| м/с (Wч) |частинок,К (Tч)');

Writeln(F3, '----------------------------------------------------------------------------------------'); Count;

CloseFile(F1); CloseFile(F2); CloseFile(F3);

MessageDlg('Розрахунок закінчено', mtInformation, [mbOk], 0); Application.Terminate;

end;

procedure TForm1.CBTipPlChange(Sender: TObject);

begin

if CBTipPl.ItemIndex=0 then MEWp.Text:=' 7300';

if CBTipPl.ItemIndex=1 then MEWp.Text:='10500';

if CBTipPl.ItemIndex=2 then MEWp.Text:=' 0';

MEWp.SetFocus;

end;

procedure TForm1.CBGasChange(Sender: TObject);

begin

if CBGas.ItemIndex=0 then begin //азот

MEMug.Text:='14,00'; MEFig.Text:='14,45';

MEA.Text:='1,5'; MEOsEg.Text:='15,65'; MEStEg.Text:='-19'; MEStEg.Visible:=True; Label41.Visible:=True;

MEEta.Text:='113,50'; MERo.Text:='1,251'; MECpl.Text:=' 2000'; MEI.Text:='5'; MELambda.Text:='0,0241';

MEOsNu.Text:='16,5'; MEStNu.Text:='-6';

NazPlaz:='азотної';

end;

if CBGas.ItemIndex=1 then begin //аргон

MEMug.Text:='39,95'; MEFig.Text:='15,75';

MEA.Text:='4,0'; MEOsEg.Text:='0,00'; MEStEg.Visible:=False; Label41.Visible:=False;

MEEta.Text:='128,00'; MERo.Text:='1,784'; MECpl.Text:=' 520'; MEI.Text:='3'; MELambda.Text:='0,0163';

MEOsNu.Text:='21,1'; MEStNu.Text:='-6';

44

NazPlaz:='аргонової';

end;

if CBGas.ItemIndex=2 then begin //гелій

MEMug.Text:=' 4,00'; MEFig.Text:='24,59';

MEA.Text:='4,0'; MEOsEg.Text:='0,00'; MEStEg.Visible:=False; Label41.Visible:=False;

MEEta.Text:=' 6,03'; MERo.Text:='0,179'; MECpl.Text:=' 5200'; MEI.Text:='3'; MELambda.Text:='0,1400';

MEOsNu.Text:='18,8'; MEStNu.Text:='-6';

NazPlaz:='гелієвой';

end;

if CBGas.ItemIndex=3 then begin //водень

MEMug.Text:=' 1,00'; MEFig.Text:='13,59';

MEA.Text:='1,0'; MEOsEg.Text:=' 7,23'; MEStEg.Text:='-19'; MEStEg.Visible:=True; Label41.Visible:=True;

MEEta.Text:=' 29,6'; MERo.Text:='0,090'; MECpl.Text:='29100'; MEI.Text:='5'; MELambda.Text:='0,1700';

MEOsNu.Text:=' 8,5'; MEStNu.Text:='-6';

NazPlaz:='водневой';

end;

if CBGas.ItemIndex=4 then begin //повітря

MEMug.Text:='14,42'; MEFig.Text:='14,34';

MEA.Text:='1,74'; MEOsEg.Text:='14,10'; MEStEg.Text:='-19'; MEStEg.Visible:=True; Label41.Visible:=True;

MEEta.Text:='116,9'; MERo.Text:='1,177'; MECpl.Text:=' 2306';

MEI.Text:='6'; MELambda.Text:='0,0240';

MEOsNu.Text:='17,1'; MEStNu.Text:='-6';

NazPlaz:='повітряної';

end;

if CBGas.ItemIndex=6 then NazPlaz:=''; //інший

MEMug.SetFocus;

end;

procedure TForm1.MERKeyDown(Sender: TObject; var Key: Word; Shift: TShiftState);

begin

if Key=VK\_RETURN then begin

if Sender=MER then MEOsK.SetFocus;

if Sender=MEOsK then MEStK.SetFocus;

if Sender=MEStK then MEOsEz.SetFocus;

45

if Sender=MEOsEz then MEStEz.SetFocus;

if Sender=MEStEz then MEP0.SetFocus;

if Sender=MEP0 then MEOsEpsilon.SetFocus;

if Sender=MEOsEpsilon then MEStEpsilon.SetFocus;

if Sender=MEStEpsilon then MEOsNa.SetFocus;

if Sender=MEOsNa then MEStNa.SetFocus;

if Sender=MEStNa then MENu.SetFocus;

if Sender=MENu then METz.SetFocus;

if Sender=METz then MEWch.SetFocus;

if Sender=MEWch then MES.SetFocus;

if Sender=MES then CBTipPl.SetFocus;

if Sender=CBTipPl then MEWp.SetFocus;

if Sender=MEWp then MEW1.SetFocus;

if Sender=MEW1 then MEW2.SetFocus;

if Sender=MEW2 then MEWStep.SetFocus;

if Sender=MEWStep then MEX1.SetFocus;

if Sender=MEX1 then MEX2.SetFocus;

if Sender=MEX2 then MEStepX.SetFocus;

if Sender=MEStepX then CBGas.SetFocus;

if Sender=CBGas then MEMug.SetFocus;

if Sender=MEMug then MEFig.SetFocus;

if Sender=MEFig then MEA.SetFocus;

if Sender=MEA then MEOsEg.SetFocus;

if Sender=MEOsEg then begin

if (CBGas.ItemIndex=1) or (CBGas.ItemIndex=1) then MEEta.SetFocus else MEStEg.SetFocus;

end;

if Sender=MEStEg then MEEta.SetFocus;

if Sender=MEEta then MERo.SetFocus;

if Sender=MERo then MECpl.SetFocus;

if Sender=MECpl then MEI.SetFocus;

if Sender=MEI then MELambda.SetFocus;

if Sender=MELambda then MEOsNu.SetFocus;

if Sender=MEOsNu then MEStNu.SetFocus;

if Sender=MEStNu then MEP.SetFocus;

if Sender=MEP then MEVg.SetFocus;

if Sender=MEVg then MEAlfa.SetFocus;

if Sender=MEAlfa then METp.SetFocus;

if Sender=METp then MEGch.SetFocus;

46

if Sender=MEGch then MECch.SetFocus; if Sender=MECch then MERoch.SetFocus; if Sender=MERoch then MEDch.SetFocus; if Sender=MEDch then ENazM.SetFocus; if Sender=ENazM then METm.SetFocus; if Sender=METm then BBCount.SetFocus; end;

end;

end.

**ЗМІСТ**

Вступ...................................................................................... 3 1. Завдання до курсової роботи "Розрахунок і аналіз га зодинамічних параметрів плазмового струменя"..................... 5 2. Розробка алгоритмів розрахунку газодинамічних па раметрів плазмового струменя.................................................. 7 2.1. Розрахунок середньомасової температури плазмо вого струменя на зрізі сопла на основі закону збереження енергії............................................................................................ 7 2.2. Розрахунок середньомасової температури плазмо вого струменя на зрізі сопла плазмотрона за питомим внеском енергії............................................................................. 14 3. Зміст та структура курсового проекту з дисципліни "Технологія нанесення покриттів".............................................. 16 3.1. Задачі та приклади тем курсових проектів................. 16 3.2. Зміст пояснювальної записки........................................ 17 Рекомендована література.................................................. 24 Додаток А. Типова програма розрахунків середньома сової температури плазмового струменя на зрізі сопла плаз мотрона (для N2, Ar, He, H2, повітря)....................................... 26 Додаток Б. Приклади зображень графічних залежно стей................................................................................................ 32 Додаток В. Програма розрахунку та оптимізації техно логічних параметрів напилення покриттів................................ 33

*Навчальне видання*

Дубовий Олександр Миколайович,

Янковець Тетяна Анатоліївна,

Прокудін Степан Олександрович

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**до виконання курсової роботи з дисципліни**

**"Фізико-хімічні основи створення покриттів"**

**та курсового проекту з дисципліни**

**"Технологія напилення покриттів"**

*Навчальний посібник*

(*українською мовою*)

Комп'ютерна правка *І.Ю. Цицюра*

Комп'ютерна верстка *В.Г. Мазанко*

Макетування *В.Г. Мазанко*

Коректор *М.О. Паненко*

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 2506 від 25.05.2006 р.

Підписано до друку 17.10.06. Папір офсетний. Формат 60⋅84/16. Друк офсетний. Гарнітура "Таймс". Ум. друк. арк. 2,8. Обл.-вид. арк. 3,0. Тираж 100 прим. Вид № 32. Зам. № 289. Ціна договірна

Видавець і виготівник Національний університет кораблебудування, 54002, м. Миколаїв, вул. Скороходова, 5

НУК

¬»ƒ¿¬Õ»÷“¬Œ Õ¿÷²ŒÕ¿À‹ÕŒÃŒ ”Õ²¬Å–—»“Å“”

Œ–¿£ÀÅ£”ƒ”¬¿ÕÕfl

***Шановні панове!***

Запрошуємо Вас ознайомитись з можливостями книжкового ви давництва, висококваліфіковані спеціалісти якого забезпечать опе ративне та якісне виконання замовлення будь-якого рівня складності.

Наш головний принцип ñ задовольнити потреби замовника в повному комплексі поліграфічних послуг, починаючи з розробки та підготовки оригіналу-макета, що виконується на базі IBM PС, і за кінчуючи друком на офсетних машинах.

Крім цього, ми маємо повний комплекс післядрукарського об ладнання, що дає можливість виконувати:

🖉 аркушепідбір;

🖉 брошурування на скобу, клей;

🖉 порізку на гільйотинах;

🖉 ламінування.

Видавництво також оснащено сучасним цифровим дублікатором фірми "Duplo" формату А3, що дає можливість тиражувати зі швид кістю до 130 копій за хвилину.

Для постійних клієнтів ñ гнучка система знижок.

Отже, якщо вам потрібно надрукувати ***підручники, книги, бро шури, журнали, каталоги, рекламні листівки, прайс-листи, блан ки, візитні картки,*** ñ *ми до Ваших послуг.*

© Õ‡ˆ³ÓÌ‡Î¸ÌËÈ ÛÌ³‚ÂðÒËÚÂÚ ÍÓð‡·ÎÂ·Û‰Û‚‡ÌÌˇ

✁ ”Íð‡øÌ‡, 54002, Ï. ÃËÍÓÎ‡ø‚, ‚ÛÎ. —ÍÓðÓıÓ‰Ó‚‡, 5,

‚Ë‰‡‚ÌËˆÚ‚Ó Õ”

👓 8(0512) 47-83-86; 39-81-42, 39-73-39, fax 8(0512) 42-46-52; Å-mail: publishing@usmtu.edu.ua

Äëÿ íîòàòîê

Äëÿ íîòàòîê