

УДК 533.9.07.001.24

РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ ПЛАЗМОТРОНА

Г. О. Ремізов ІФФ, НТУУ „КПІ”

Н. Ю. Готвянська, каф. АСОІУ, ФІОТ

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут»

Розроблено спеціальне програмне забезпечення розрахунку вольт-амперних характеристик металургійних плазмотронів. Програма працює в різних режимах, що дає можливість отримати інформацію при роботі плазмотронів з плазмовим електродом на аргоні, азоті та сумішах: аргон і азот, аргон і водень, аргон і гелій, тощо.

Разработано специальное программное обеспечение по расчету вольт-амперных характеристик металлургических плазмотронов. Программа работает в разных режимах, которые позволяют получить информацию при работе плазмотронов с плазменным электродом на аргоне, азоте и смесях: аргон и азот, аргон и водород, аргон и гелий, и т.п.

Especial software product was developed with the purpose of calculating volt-ampere characteristics of metallurgical plasmatrons. Program can work in different modes. It gives the opportunity to get information about functioning plasmatrons with plasma electrode during the argon-mode operation, nitrogen-mode operation, and different mixture operations: argon with nitrogen, argon with hydrogen, argon with helium, etc.

Нині важко знайти галузь металургії або хімії, де застосування плазмової техніки не мало б перспектив: рудна плавка, плавлення та рафінування металів і сплавів, процеси відновлення, нанесення покриттів і тугоплавких сполук. Одним з найпоширеніших приладів в металургійній технології є плазмотрон.

Плазмотрон – це технічний пристрій, в якому відбувається утворення і підтримка температури плазми, що використовується для обробки матеріалів або ж як джерело світла і тепла. Буквально, плазмотрон означає – генератор плазми.

Перші плазмотрони з'явилися в середині 20-ого сторіччя у зв'язку з появою стійких матеріалів в умовах високих температур, і розширенням виробництва тугоплавких металів. Іншою причиною виникнення плазмотронів стала елементарна потреба в джерелах тепла величезної потужності. Чудовими властивостями плазмотрона як інструмента сучасної технології є:

- отримання надвисоких температур (до 150000 °С, в середньому отримують 10000-30000 °С), що не можуть бути отримані при запалюванні хімічних палив;
- компактність і надійність;
- легке регулювання потужності, легкий пуск і зупинка робочого режиму плазмотрона.

В ІЕЗ ім. Е.О.Патона АН УРСР були створені металургійні плазмотрони змінного струму зі стрижневими і плазмовими електродами, у яких відсутні недоліки плазмотронів постійного струму. Крім того, застосування плазмотронів постійного струму в металургійній технології різко покращує екологічні умови.

В ІЕЗ ім. Е.О.Патона АН УРСР розроблено принципово новий спосіб підвищення ресурсу електродів і стабілізації горіння дуг – примусова генерація заряджених частинок у приелектродній області дуги. Сутність цього способу полягає в тому, що у приелектродній області основної дуги з допомогою незалежного плазмового джерела забезпечується така кількість заряджених частинок, яка необхідна для протікання струму. Таким джерелом слугує дуговий нагрівач газу невеликої потужності, що розміщується всередині основного порожнистого електроду. Електрод такого типу називається плазмовим. В цьому електроді газ, що проходить через допоміжну дугу, нагрівається до температури 10-12 тис. К і потрапляє в приелектродну область. Це гарантує наявність в приелектродній області такої кількості носіїв електрики (електронів та іонів), яка достатня для протікання струму дуги при порівняно низькій температурі поверхні електроду, а також іонізації приелектродної області в момент зміни полярності при роботі на змінному струмі.

Подача у приелектродну область квазінейтральної плазми забезпечує зменшення енергії, що виділяється на електроді, в результаті чого різко зменшується ерозія електроду і підвищується стабільність горіння дуги.

В якості плазмо утворюючого газу основної дуги можуть використовуватися аргон, азот, суміші аргону з азотом, гелієм, воднем, а також суміші природного газу з повітрям.

Основні переваги плазмотронів з плазмовим електродом – висока надійність і великий ресурс роботи, широкий діапазон регулювання струму, можливість роботи на змінному та постійному струмі при

надлишковому тиску в плавильній камері і розрідженні. Результати дослідів, що були проведені при струмах дуги 1...7 кА, підтвердили перевагу використання плазмового електроду в потужних плазмотронах.

Інститутом електрозварювання ім. Е. О. Патона АН УРСР був розроблений універсальний плазмотрон з плазмовим електродом, що може працювати як на постійному (до 10 кА), так і на змінному струмах у герметичних переплавних гарнісажних печах, а також у печах з керамічним тиглем. Експериментально встановлені характеристики трьохфазової групи плазмотронів у діапазоні струмів дуг 1...6 кА.

Ерозія електроду, який був виготовлений з вольфраму і міді, у діапазоні струмів 3...8 кА не перевищує 0,05 г/ч.

Коефіцієнт корисної дії плазмотрону 65...87%.

Однією з найбільш важливих характеристик металургійних плазмотронів є вольт-амперна характеристика (ВАХ).

Напруга на дузі залежить від багатьох факторів:

$$U_{\partial} = f(b, P, l_k, L_{\partial}, E_c, E_{\partial}, U_k, U_a, K_r) \quad (1)$$

де b – коефіцієнт, що враховує вплив виду плазмоутворюючого газу; I_{∂} – струм дуги; P – тиск газів у камері печі; l_k – заглиблення електроду у сопло; L_{∂} – довжина дуги (відстань від зрізу сопла до поверхні металічної ванни), мм; E_c, E_{∂} – градієнт напруги стовпа туги, що знаходиться в сопловому каналі і розташований у просторі між зрізом сопла і металічною ванною; U_k, U_a – падіння напруги (відповідно катодне і анодне); K_r – коефіцієнт, що враховує зростання напруги на дузі при збільшенні стиснення стовпа дуги плазмоутворюючим газом.

Форма ВАХ плазмотронів змінного струму практично не відрізняється від форми ВАХ плазмотронів постійного струму і підкоряється тим же закономірностям. Вольт-амперні характеристики плазмотронів з плазменним електродом – висхідні, їхня крутизна в залежності від періоду плавки, складу плазмоутворюючого газу середовища плавильного простору знаходиться в межах $(1,0...7,5) \cdot 10^{-2}$ В/А.

ВАХ плазмотронів з плазмовим електродом можна розрахувати з допомогою наступних емпіричних формул, В:

1) при роботі на аргоні та азоті:

$$U_{\partial} = 1,1 \left[(b \times I_{\partial}^m \cdot P_k^n) L_{\partial} + l_{\partial} E_c + c \right] \quad (2)$$

де b – коефіцієнт, рівний для аргону $(1,2...1,4) \cdot 10^{-5}$, для азоту - $(6...7) \cdot 10^{-4}$; P_k – тиск газів у камері (Па), в основному дорівнює $(1,2...1,5) \cdot 10^5$ Па; l_{∂} -

заглиблення основного електроду у соплі, мм (при I_d до 3000 А $l_s = 10...12$ мм; при $I_d > 3000$ А $l_s = 15...20$ мм); E_c – для аргону рівний 1,0 В/мм; для азота – 7,5 В/мм; c - коефіцієнт, що враховує анодне та катодне падіння напруги, при роботі на аргоні $c = 10$, при роботі на азоті $c = 15$; m, n – показники ступенів:

для аргону $m = 0,65...0,85$; $n = 0,43$;
 для азоту $m = 0,3...0,35$; $n = 0,8...0,85$;

2) при роботі аргону на сумішах з різноманітними газами:

$$U_{д.смеси} = U_{д.(A_2)} [10^2 \{ \Gamma \}]^{n_1} \quad (3)$$

де $\{ \Gamma \}$ – об'ємна доля газу в суміші його з аргоном; n_1 - показник ступеня, для $A_2 + N_2$ сумішей $n_1 = 0,12...0,17$; для $A_2 + He$ сумішей $n_1 = 0,05...0,08$; для $A_2 + H_2$ сумішей або сумішей аргону з природним газом $n_1 = 0,32...0,35$.

У випадку одночасної роботи трьох і більше плазмотронів на загальну металічну ванну, коли відстань між продольними вісями сусідніх плазмотронів не перевищує 8-10 діаметрів сопла, при розрахунках U_d по (1) показник ступеня символу I_d маємо прийняти рівним 0,73.

На основі залежностей (1), (2) розраховується напруга дуги при різних значеннях L_d, b, I_d, m і будується графік $U_d = f(I_d)$. За вольт-амперною характеристикою обирається також джерело живлення.

По мірі зростання довжин дуги – зростають втрати енергії зі стовпів, що веде до пониження ККД процесу нагріву металу. Тому довжина дуги плазмотрону може бути обрана, виходячи з наступних умов, мм:

$$I_{дi}^{n_2} < L_{дi} < I_{дi}^{n_3} \quad (4)$$

де n_2, n_3 – показники ступенів: $n_2 = 0,63...0,65$;
 $n_3 = 0,7...0,75$.

При багатоплазмотронному переплаві оптимальна відстань між плазмотронами залежить від сили струму дуг і обирається згідно наступним рекомендаціям, мм:

$$I_{д}^{0,68} < L_{nl-nl} < I_{д}^{0,75} \quad (5)$$

Для автоматизації процесу розрахунку електричних параметрів роботи плазмотрона, а також для більш досконалого та точного пошуку

Аргон; $l_3 = 10 \text{ мм}$; $E_c = 1 \text{ В/мм}$; $P_k = 1.4 \cdot 10^5 \text{ Па}$; $L_0 = 250-180-120 \text{ мм}$; $c = 10$; $n = 0.43$.

Таблиця 1

Вхідні дані для розрахунків

I, A	$L_d, \text{мм}$	L_e	b	m	U_d, B
1	2	3	4	5	6
6000	250	20	1,4	0,65	212,5
		20	1,2	0,7	270,7
		20	1,4	0,7	310,3
		20	1,2	0,65	186,9
5000	250	20	1,4	0,65	192,5
		20	1,2	0,7	242,2
		20	1,4	0,7	277,1
		20	1,2	0,65	169,7
4000	250	20	1,4	0,65	170,9
		20	1,2	0,7	212
		20	1,4	0,7	241,8
		20	1,2	0,65	151,2
3000	250	10	1,4	0,65	136,4
		10	1,2	0,7	168,3
		10	1,4	0,7	192,7
		10	1,2	0,65	120,1
2000	250	10	1,4	0,65	109,9
		10	1,2	0,7	132,2
		10	1,4	0,7	150,5
		10	1,2	0,65	97,3
1000	250	10	1,4	0,65	78
		10	1,2	0,7	89,8
		10	1,4	0,7	101,1
		10	1,2	0,65	70
6000	180	20	1,4	0,65	162,2
		20	1,2	0,7	204,2
		20	1,4	0,7	232,7
		20	1,2	0,65	143,8
5000	180	20	1,4	0,65	147,8
		20	1,2	0,7	183,6
		20	1,4	0,7	208,8
		20	1,2	0,65	131,4
4000	180	20	1,4	0,65	132,3
		20	1,2	0,7	161,9
		20	1,4	0,7	183,3
		20	1,2	0,65	118,1

Продовження таблиці 1					
1	2	3	4	5	6
3000	180	10	1,4	0,65	104,4
		10	1,2	0,7	127,4
		10	1,4	0,7	144,9
		10	1,2	0,65	92,6
2000	180	10	1,4	0,65	85,3
		10	1,2	0,7	101,3
		10	1,4	0,7	114,5
		10	1,2	0,65	76,2
1000	180	10	1,4	0,65	62,3
		10	1,2	0,7	70,8
		10	1,4	0,7	79
		10	1,2	0,65	56,6
6000	120	20	1,4	0,65	119,2
		20	1,2	0,7	147,1
		20	1,4	0,7	166,1
		20	1,2	0,65	106,9
5000	120	20	1,4	0,65	109,5
		20	1,2	0,7	133,4
		20	1,4	0,7	150,2
		20	1,2	0,65	98,6
4000	120	20	1,4	0,65	99,2
		20	1,2	0,7	118,9
		20	1,4	0,7	133,2
		20	1,2	0,65	89,7
3000	120	10	1,4	0,65	76,9
		10	1,2	0,7	92,2
		10	1,4	0,7	103,9
		10	1,2	0,65	69,1
2000	120	10	1,4	0,65	64,2
		10	1,2	0,7	74,9
		10	1,4	0,7	83,7
		10	1,2	0,65	58,2
1000	120	10	1,4	0,65	48,9
		10	1,2	0,7	54,6
		10	1,4	0,7	60
		10	1,2	0,65	45

Згідно наведених вище даних, які вводяться в програму, будується сімейство графіків за всіма можливими варіантами (при певних фіксованих значеннях струму та довжини дуги йде перебір параметрів і згідно них обчислюється значення напруги). Після виконання процедури побудови графіки аналізуються з метою пошуку верхньої та нижньої межі, що визначають границі робочої області, обчисливши яку програма переходить до пошуку робочої точки. Всі побудови та результати розрахунків

візуалізовані на екрані разом з виведеними координатами робочої точки. Демонстрація роботи програми згідно наведених вище вхідних даних приведена на рис.2.

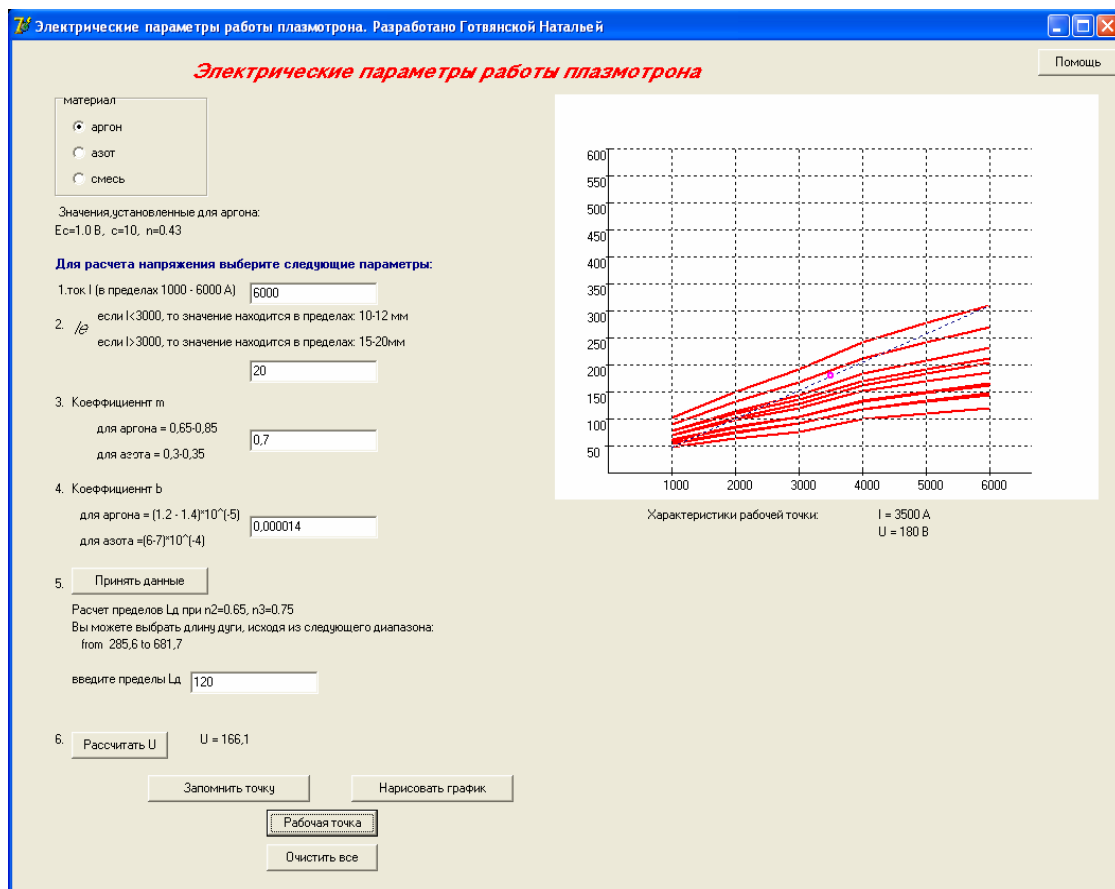


Рис. 2 Демонстрація роботи програми

Вище було зазначено, що програма дає можливість розрахунку при роботі на різних сумішах. Всі обчислення при цьому проводяться аналогічно, тільки спочатку обчислюється напруга при роботі на аргоні, а вже потім – з урахуванням додатково введених параметрів – обчислюється напруга при роботі на певній суміші. Щоб продемонструвати дану можливість наведемо уривок з обчислень (одну ітерацію) при розрахунку ВАХ роботи плазматрона на суміші аргону з гелієм. Вхідні дані приведено в таблиці 2.

Дана розробка загалом значно спрощує розрахунки і робить вихідні дані більш точними та надійними.

Програмне забезпечення автоматизації процесу розрахунку електричних параметрів роботи плазматрона може використовуватись при виконанні курсових та дипломних проектів за спеціальністю – спеціальна металургія, а також може з успіхом застосовуватись фахівцями суміжних спеціальностей.

Вхідні дані

I, A	$L_d, мм$	l_e	b	m
6000	120	15	0,12	0,75
5000		15	0,12	0,75
4000		15	0,12	0,75
3000		10	0,12	0,75
2000		10	0,12	0,75
1000		10	0,12	0,75
6000	180	15	0,12	0,75
5000		15	0,12	0,75
4000		15	0,12	0,75
3000		10	0,12	0,75
2000		10	0,12	0,75
1000		10	0,12	0,75

Результат даної ітерації наведено на рис.3

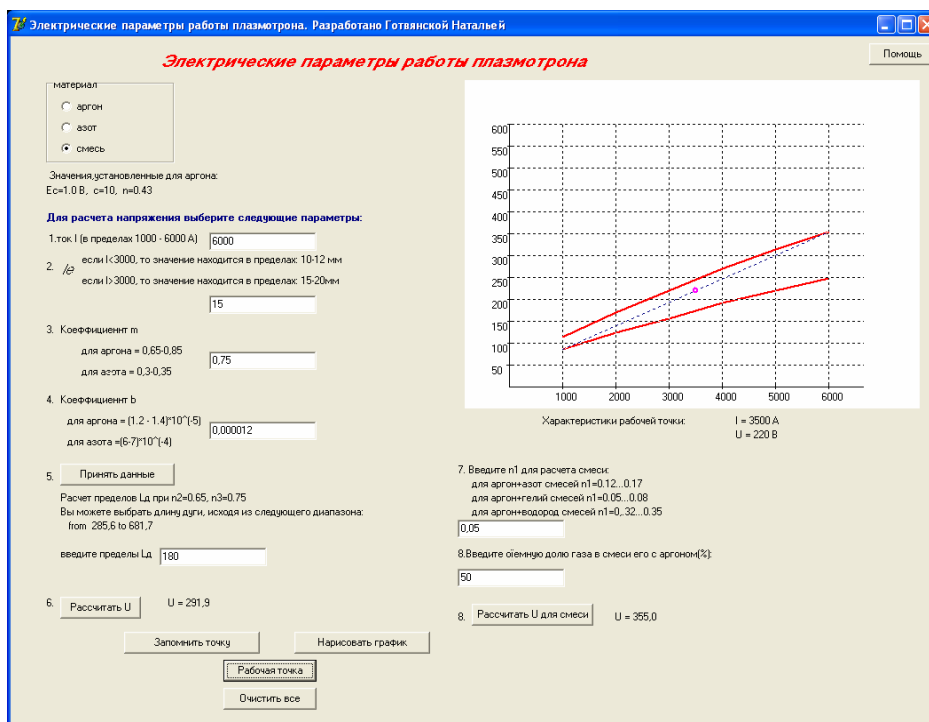


Рис.3 Демонстрація роботи програми

Література

1. Плазмово-плавильна ливарна установка. Конструювання та розрахунки: Навч.-метод., посіб./ Уклад. Г.О.Ремізов, К.М.Гриненко – Н: ІВЦ „Політехніка”, 2002. – 60с.