

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторної роботи №4

„Розрахунково-експериментальне визначення режиму плазмового
різання металів з використанням ЕОМ”
з дисципліни “Термічне різання металів”
для студентів освітньої програми „Технології та устаткування
зварювання” всіх форм навчання

2016

Методичні вказівки до лабораторної роботи №4 „Розрахунково-експериментальне визначення режиму плазмового різання металів з використанням ЕОМ” з дисципліни “Термічне різання металів” для студентів освітньої програми „Технології та устаткування зварювання” всіх форм навчання / Укл.: О.Є. Капустян, С.П. Бережний. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2016 – 18 с.

Укладачі: О.Є. Капустян, старш. викладач,
С.П. Бережний, канд. техн. наук, доцент.
Рецензент: А.О. Шумілов, канд. техн. наук, доцент
Редактор: І.П. Аверченко
Відповідальний за випуск: О.Є. Капустян

Затверджено
на засіданні кафедри ОТЗВ
Протокол № 2
від 29.09.2016

Рекомендовано до видання
НМК ІФФ
Протокол № 2
від 11.10.2016

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ	4
1.1 Розрахунок параметрів режиму повітряно-плазмового різання..	5
1.2 Розрахунок режимів плазмового різання з використанням водневомістких газових сумішей	7
2 МЕТА РОБОТИ	9
3 ПІДГОТОВКА ДО РОБОТИ	9
4 МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ РОБОТИ	9
5 ЗМІСТ ЗВІТУ	10
6 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ	10
Додаток А Програма розрахунків на ЕОМ параметрів режиму різання "Плазмове різання"	11
Додаток Б Результати розрахунків на ЕОМ параметрів режиму різання	15
Додаток В Режими повітряно-плазмового різання металів апаратом УВІР-Київ4	17
Додаток Г Режими плазмового різання металів апаратом ОПР - 6М	18

ВСТУП

Плазмове різання металів (різання проникаючою плазмовою дугою) здійснюється шляхом виплавлення металу по лінії різку стисненою плазмовою дугою, стабілізованою кільцевим струменем газу. Такий спосіб різання можна використовувати при обробці будь-яких металевих матеріалів. Він відрізняється високою продуктивністю при різанні малих товщин. Тому, не дивлячись на високу вартість використовуваного обладнання, цей спосіб є більш економічним при різанні малої товщини (<100 мм) у порівнянні з кисневим і киснево-флюсовим різанням.

1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Прорізаюча здатність плазмової дуги і продуктивність процесу різання залежить від типу використовуваного плазмоутворюючого газу і параметрів режиму різання.

Для різання металів товщиною до 60 мм найбільш доцільно використовувати повітря як плазмоутворюючий газ. Повітряно-плазмове різання здійснюється за допомогою плазмотронів з цирконієвими або гафнієвими катодами, котрі можуть протягом довгого часу працювати в окислювальному середовищі при невеликих (до 300 А) силах струму. Для різання металів великих товщин їх застосовувати недоцільно в результаті інтенсивного руйнування катодів при підвищених силах струму.

Тому для різання металів товщиною понад 60 мм використовують переважно плазмотрони з вольфрамовим катодом, котрі працюють на азоті або в сумішах аргону з воднем.

Продуктивність процесу плазмового різання залежить, не тільки від виду плазмоутворюючого газу, а й від параметрів режиму.

Основними параметрами режиму різання металів газопроникаючою дугою є напруга на дузі, діаметр формуючого сопла, сила струму, витрата плазмоутворюючого газу і швидкість різання.

1.1 Розрахунок параметрів режиму повітряно-плазмового різання

Всі параметри режиму плазмового різання залежать від товщини розрізуваного металу. Залежність між товщиною розрізуваного металу і напругою на дузі може бути виражена через співвідношення:

$$U_d = \frac{A}{\sqrt{b}} + H \lg b, \quad (1.1)$$

де b - товщина металу (мм);

A і H - коефіцієнти, що залежать від типу плазмоутворюючого газу і його витрати (режиму стабілізації дуги):

- для нормальних режимів $A = 50$; $H = 80$;
- для жорстких режимів $A = 60$; $H = 100$.

Жорсткі режими стабілізації дуги, для котрих характерне використання сопел меншого діаметру і підвищена витрата газу, використовують для отримання різів малої ширини і з малою величиною відставання. При цьому напругу на дузі встановлюють на 20-30 % вищу, ніж при звичайних режимах різання. Тому, при жорстких режимах різання мають місце підвищені затрати енергії і плазмоутворюючих газів.

Рекомендовані діаметри формуючих каналів сопел для повітряно-плазмового різання металів різноманітної товщини приведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Діаметри формуючих каналів сопел для повітряно-плазмового різання металів.

Товщина металу, мм	Діаметр сопла, мм
< 15	2
16-30	2,5
31-50	3
51-70	3,5

Залежність величини сили струму плазмової дуги від діаметру формуючого каналу сопла при повітряно-плазмовому різанні можна виразити через співвідношення:

$$I = 100D_c A,$$

де D_c - діаметр сопла, мм.

Витрати плазмоутворюючого повітря залежать від діаметру каналу сопла і режиму стабілізації дуги.

Для нормальних режимів стабілізації дуги:

$$V_{\pi} = 5,5^2 D_c, \text{ л/хв.}$$

При жорстких режимах стабілізації витрата повітря збільшується на 25—30 % і досягає

$$V_{\pi} = 7^2 D_c, \text{ л/хв.}$$

Максимальну швидкість плазмового різання можна визначити із співвідношення:

$$W_{\max} = \frac{9I \cdot U_d}{D_c \cdot b \cdot q \cdot H_p}, \text{ см/с} \quad (1.2)$$

де U_d - напруга на дузі, В;

b - товщина металу, мм;

q - питома вага металу, г/см³;

H_p - ентальпія нагрівання і плавлення розрізуваного металу, кал/г.

Розрахункові величини питомої ваги і ентальпії різних типів металевих матеріалів приведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Величина ентальпії і питомої ваги конструкційних матеріалів

Матеріал	q , г/см ³	H_p , кал/г
Вуглецеві і низьколеговані сталі	7,8	320
Середньо- і високолеговані сталі	7,7	310
Мідь	8,6	330
Алюміній і його сплави	2,7	290

Для отримання різів високої якості фактичні величини швидкості різання ($W_{\text{різ}}$) зменшують порівняно з максимально можливим (табл. 1.3).

Програма розрахунків на ЕОМ параметрів режиму повітряно-

плазмового різання приведена в додатку А. Програма написана на мові Turbo Basic. Результати розрахунків приведені в додатку Б.

Таблиця 1.3 - Співвідношення між фактичною і максимальною швидкостями для різноманітних умов різання

Умови різання	$W_{\text{різ}} / W_{\text{max}}$
Заготівельне прямолінійне різання	0,9
Чистове прямолінійне різання	0,75
Заготівельне (чорнове) фігурне різання	0,8
Чистове фігурне різання	0,6

1.2 Розрахунок режимів плазмового різання з використанням водневомістких газових сумішів

Різання металів великих товщин здійснюється плазмотронами з вольфрамовими катодами при використанні в якості плазмоутворюючого газу чистого азоту, сумішів азоту з воднем і аргону з воднем.

Використання водневмістких сумішів забезпечує більш високий термічний ККД процесу різання і дає можливість різати метали більших товщин з більшими швидкостями.

Обумовлено це підвищеною напругою електричного поля у водневій плазмі, а також її більшою теплоємністю і теплопровідністю.

Напругу на дузі при різанні в водневомістких сумішах можна визначити згідно формули (1.1) при наступних величинах коефіцієнтів:

- для нормальних режимів $A = 50$; $H = 70$;
- для жорстких режимів $A = 60$; $H = 80$.

Рекомендовані діаметри формуючих сопел подані в таблиці 1.4.

Сила струму при цьому складає в середньому:

$$I = 130D_c A.$$

Оптимальна витрата водню для забезпечення високої ефективності перетворення електричної енергії в теплову складає:

$$V_{H_2} = 8 \cdot 10^{-2} I, \text{ л/хв}$$

Таблиця 1.4 - Розміри формуючих каналів сопел для різання в водневих сумішах.

Товщина металу (b), мм	Діаметр сопла (D _c), мм
<40	4
41 -60	4,5
61-80	5
81 - 100	5,5
101 - 120	6
121 - 160	6,5

Вміст аргону або азоту в складі суміші повинно в 2-3 рази перевищувати вміст водню.

$$V_{ap} = 2V_{H_2};$$

$$V_{az} = 3V_{H_2}.$$

При жорстких режимах стабілізації дуги витрату аргону і азоту збільшують в 1,25 рази порівняно з нормальними режимами.

Максимальну швидкість плазмового різання у водневих сумішах визначають із співвідношення (1.2), а робочі значення швидкостей знижують на 20 - 30 % порівняно з максимальними відповідно до рекомендацій таблиці 1.4.

Програма розрахунків на ЕОМ параметрів режиму плазмового різання у водневомістких сумішах наведена в додатку А. Результати розрахунків приведені в додатку Б.

Для розрахунків параметрів режиму плазмового різання металу заданої товщини необхідно вибрати тип металу, тип плазмоутворюючого газу, режим стабілізації дуги і умови різання. Решту параметрів визначають відповідно до наведеної методики. Розрахована по цій методиці швидкість різання відповідає механізованим способам різання. При ручному різанні швидкості зменшуються в 1,5-3 рази у порівнянні з механізованим різанням.

Наведена розрахункова методика дозволяє орієнтовно оцінити і вибрати параметри режиму.

Остаточні значення параметрів режиму встановлюють тільки

після різання зразків і оцінки якості різу на встановлених режимах.

2 МЕТА РОБОТИ

Опанувати методику розрахунків на ЕОМ параметрів режиму плазмового різання металів і набути навички в її реалізації.

3 ПІДГОТОВКА ДО РОБОТИ

При підготовці до лабораторної роботи слід вивчити суть процесу плазмового різання і ознайомитись з основними розрахунковими формулами для визначення параметрів режиму. Ознайомитись з програмою розрахунків на ЕОМ параметрів режиму різання "Плазмове різання (uni2.exe)" і визначити конкретні значення параметрів режиму різання різних типів металів. Приготувати загальну частину звіту, в котрій привести назву і мету роботи, методику її виконання, розрахункові формули для визначення основних параметрів режиму.

4 МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Отримати вихідні дані для визначення параметрів режиму: товщину металу; умови різання (заготівельне прямолінійне, чистове прямолінійне, заготівельне фігурне, чистове фігурне різання).
2. Вибрати спосіб різання по типу використовуваного плазмотворюючого газу.
3. Отримати результати розрахунків для даних свого індивідуального завдання.
4. Розрахувати параметри режиму різання заготовок відповідно до заданих вихідних даних. Записати результати розрахунків у звіт по лабораторній роботі.

5. Проаналізувати, як відрізняються параметри режиму різання різних типів металів.

6. Порівняти розрахункові значення параметрів різання з практичними режимами різання на установках УВПР - Київ 4 і ОПР-6М, наведених в додатках В і Г. Зробити аналіз відмінностей розрахункових і практичних параметрів режиму.

7. Проаналізувати, як впливає на якість різання використання при роботі на зазначених установках розрахункових параметрів режиму замість параметрів, отриманих експериментальним шляхом.

5 ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Назва роботи.
2. Мета.
3. Методика виконання.
4. Розрахункові формули для визначення параметрів режиму.
5. Результати розрахунків режимів різання різних металів заданої товщини та аналіз їх відмінностей.
6. Практичні параметри режиму різання металів заданої товщини на установках УВПР – Київ4, ОПР -6М.
7. Аналіз відмінностей розрахункових і практичних параметрів
8. Висновки по роботі.

6 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Суть процесу плазмового різання металів.
2. Типи плазмоутворюючих газів, умови і межі їх використання.
3. Основні параметри режиму плазмового різання металів.
4. Вплив параметрів режиму на процес різання і якість різів.

Додаток А

Програма розрахунків на ЕОМ параметрів режиму різання "Плазмове різання"

Коефіцієнти

```
Dim kHp(4)
kHp (1)=320
kHp(2)=310
kHp(3)=330
kHp(4)=290
Dim kvidres(4)
kvidres(1)=0.9
kvidtcs(2) =0.75
kvidres(3) =0.8
kvidres(4) =0.6
```

..... Шапка.....

```
color 3.0
```

```
cls
```

```
print "Запорізький Національний Технічний Університет"
```

```
print " Кафедра Обладнання та технології"
```

```
print "зварювального виробництва"
```

```
print " Розрахунок режимів плазмового різання металів"
```

```
color 2,0
```

```
print
```

```
print
```

```
print
```

```
print
```

..... Запит даних

```
1
```

```
print "Тип розрезаемого металла."
```

```
print "1. Углеродистые и низколегированные стали"
```

```
print "2. Средне и высоколегированные стали"
```

```
print "3. Медь"
```

```
print "4. Алюминий и его сплавы"
```

```
input "Выберите тип металла (1—4):";Hp
```

```
if Hp>4 or Hp<1 then beep:go to 1
```

```
2
```

```

print
input  "Введите толщину разрезаемого металла (в мм)";trm
print

3
print  "1. Заготовительная прямолинейная резка."
print  "2. Чистовая прямолинейная резка."
print  "3. Заготовительная фигурная резка."
print  "4. Чистовая фигурная резка."
input  "Вид резки"; vidrez
if vidrez<1 or vidrez>4 then beep:goto 3
print
4
print  "1. Воздушно—плазменная"
print  "2. Плазменная резка в водородосодержащих смесях"
input  "Способ резки по типу плазмообразующего газа:";sr
if sr<1 or sr>2 then beep: goto 4
print
5
print  "1. Нормальный"
print  "2. Жесткий"
input  "Режим стабилизации дуги:";rsd
if rsd<1 or rsd>2 then beep:goto 5
print
.....Обработка даних.....
if khp(Hp)=320 then q=7.8
if khp(Hp)=310 then q=7.7
if khp(Hp)=330 then q=8.6
if khp(Hp)=290 then q=2.7
if sr = 1 then
    if trm=<15      then Dc=2.5
    if trm>=16 and  if trm=<30 then Dc=3
    if trm>=31 and  if trm=<50 then Dc=3
    if trm>=51 and  if trm=<70 then Dc=3.5
I=100*Dc
if rsd=1 then
A=50: H=80
Vp=(5. 5^2) * Dc

```

```

else
A=60: H=100
Vp=(7^2) * Dc
end if
Vd=A/SQR(trm) +H*log10(trm)
Wmax=( ( 9 * 1 * Vd) / ( Dc * trm * q * kHp(Hp) ) )
Wriz=Wmax * Kvidres(vidrez)
.....Вивід даних.....
Print  "Результаты расчета"
Print  "Напряжение на дуге";Vd;" (B) "
Print  "Диаметр сопла";Dc;" (мм)"
Print  "Сила тока: ";I;" (A) "
Print  "Скорость резки: ";Wriz;" (см/с)"
else
.....Розрахунок для воденьмістких сумішей.....
.....Визначення діаметру сопла
Dc.....
if trm=<40      then Dc=4
            if trm>=41   and    if trm=<60 then Dc=4.5
            if trm>=61   and    if trm=<80 then Dc=5
            if trm>=81   and    if trm=<100 then Dc=5.5
            if trm>=101  and    if trm=<120 then Dc=6
            if trm>=121  and    if trm=<160 then Dc=6.5

I=130*Dc
if rsd=1 then
A=60: H=70
Vp=(5. 5^2) * Dc
else
A=60: H=80
Vp=(7^2) * Dc
end if
.....Формули для розрахунку.....
Vh=8*(10^(-2))*1
Var=2 * Vh
Vaz=3 * Vh
Vd=A/SQR(trm) +H*log10(trm)
Wmax=( ( 9 * 1 * Vd) / ( Dc * trm * q * kHp(Hp) ) )
Wriz=Wmax * Kvidres(vidrez)

```

```

.....Вивід даних.....
Print  "Результаты расчета"
Print  "Напряжение на дуге: ";Vd;" (В) "
Print  "Диаметр сопла: ";Dc;" (мм)"
Print  "Сила тока: ";I;" (А) "
Print  "Расход водорода: ";Vh;" (л/мин) "
Print  "Расход аргона: ";Var;" (л/мин) "
Print  "Расход азота: ";Vaz
Print  "Скорость резки: ";Wriz;" (см/с)"
end if
..... Вивід даних на принтер.....
?
?
?
Print  "1.  Да"
Print  "2.  Нет"
Input
if pr=1 then goto 16 else end
16
LPrint  "Запорожский Государственный Технический Университет"
LPrint  "Кафедра Оборудование и технология сварочного
производства"
LPrint  "  Расчет режимов плазменной резки металлов"
If sr=2 then
LPrint  "Напряжение на дуге: ";Vd;" (В) "
LPrint  "Диаметр сопла: " ; Dc;" (мм) "
LPrint  "Сила тока: " ;I;" (А) "
LPrint  "Расход водорода: ";Vh;" (л/мин) "
LPrint  "Расход аргона: ";Var;" (л/мин) "
LPrint  "Расход азота: ";Vaz
LPrint  "Скорость резки: "; Wriz;" (см/с) "
else
LPrint  "Напряжение на дуге: ";Vd;" (В) "
LPrint  "Диаметр сопла: " ; Dc;" (мм) "
LPrint  "Сила тока: " ;I;" (А) "
LPrint  "Скорость резки: "; Wriz;" (см/с) "
end if
end

```

Додаток Б

Результати розрахунків на ЕОМ параметрів режиму різання

Повітряно – плазмового

Запорізький Національний Технічний Університет

Кафедра Обладнання та технології зварювального виробництва

Розрахунок режимів плазмового різання металів

Тип металу, що розрізається:

1. Вуглецеві і низьколеговані сталі
2. Середньо- і високолеговані сталі
3. Мідь
4. Алюміній і його сплави

Виберіть тип металу (1 -4):? 3

Введіть товщину металу, що розрізає (в мм):? 50

1. Заготівельна прямолінійна різка
2. Чистова прямолінійна різка
3. Заготівельне фігурне різання
4. Чистове фігурне різання

Вид різання:? 4

1. Повітряно-плазмове
2. Плазмова різка у воденьмістких сумішах

Спосіб різання по типу плазмоутворюючого газу:? 1

1. Нормальний
2. Жорсткий

Режим стабілізації дуги:? 2

Результати розрахунку

Напруга на дузі: 178.3822784423828 (В)

Діаметр сопла: 3 (мм)

Сила струму: 300 (см / с)

Швидкість різання: .6788332462310791 (см / с)

Плазмового у водневомістких сумішах

Запорізький Національний Технічний Університет

Кафедра Обладнання та технології зварювального виробництва

Розрахунок режимів плазмового різання металів

Тип металу, що розрізається:

1. Вуглецеві і низьколеговані сталі
2. Середньо- і високолеговані сталі
3. Мідь
4. Алюміній і його сплави

Виберіть тип металу (1 -4):? 1

Введіть товщину металу, що розрізає (в мм):? 20

1. Заготівельне прямолінійна різка
2. Чистове прямолінійна різка
3. Заготівельне фігурне різання
4. Чистове фігурне різання

Вид різання:? 2

1. Повітряно-плазмове
2. Плазмова різка у водневомістких сумішах

Спосіб різання по типу плазмоутворюючого газу:? 2

1. Нормальний
2. Жорсткий

Режим стабілізації дуги:? 1

Результати розрахунку

Напруга на дузі: 102.25244140625 (в)

Діаметр сопла: 4 (мм)

Сила струму: 520 (см / с)

Витрата водню: 41.59999847412109 (л / хв)

Витрата аргону: 83.19999694824219 (л / хв)

Витрата азоту: 124.7999954223633

Швидкість різання: 1.797406196594238 (см / с)

Додаток В

Режими повітряно-плазмового різання металів апаратом УВПр-Київ4

Товщина металу, мм	Діаметр сопла, мм	Сила струму, А	Витрати повітря, л/хв	Напруга, В	Швидкість різання, м/хв
Високо- легована сталь					
5 - 15	2	150-200	70	170-180	1.8-1.0
5 - 15	3	250-300	40-50	140-160	5.6-2.6
16-30	2.5	200-250	70	180-200	1.0-0.6
16-30	3	250-300	40-50	160-180	2.2-1.0
31 -50	3	280-300	70	200-220	0.6-0.25
31 - 50	3	250-300	40-50	170-190	1.0-0.3
Алюміній і його сплави					
5-15	2	120-200	70	170-180	2-1
5-5	3	250-300	40-50	140-160	6-3
16-30	2.5	200-250	70	180-200	1.2-0.7
16 -30	3	250-300	40-50	160-180	2.5-1.3
31-50	3	280-300	70	200-220	0.7-0.3
31-50	3	280-300	40-50	170-190	1.2-0.6
Мідь					
10	3	300	40-60	160-180	3.0
30	3	300	40-60	160-180	0.7
50	3	300	40-60	160-180	0.3

Додаток Г

Режими плазмового різання металів апаратом ОПР - 6М

Товщина металу, мм	Діаметр сопла, мм	Сила струму, А	Витрати л/хв		Напруга, В	Швид- кість різання м/хв
			азоту	водню		
Високо- легована сталь						
20	3	360	80	-	120-180	1.7
40	4	520	75	20	130-140	1.2
60	4.5	580	70	30	140-145	0.7
80	5	640	70	40	140-145	0.45
100	6	720	75	45	145-50	0.3
Алюміній						
30	4	500	75	20	130-140	4.2
50	4	520	75	25	135-145	2.2
70	4	550	75	30	140-150	1.3
90	5	650	75	40	150-160	0.9
130	5	720	75	45	160-165	0.5