МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторної роботи №3
з дисципліни “Термічне різання металів”
для студентів напряму підготовки 6.050504
“Зварювання” усіх форм навчання

2016

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Методичні вказівки до лабораторної роботи №3 з дисципліни “Термічне різання металів” для студентів напряму підготовки 6.050504 “Зварювання” усіх форм навчання / Укл. О.Є. Капустян, С.П. Бережний. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2016 – 14 с.

Укладачі: О.Є. Капустян, старш. викладач,
С.П. Бережний, канд. техн. наук, доцент.
Рецензент: А.О. Шумілов , канд. техн. наук, доцент

Відповідальний за випуск: О.Є. Капустян

Затверджено
на засіданні кафедри ОТЗВ
Протокол № 7 від 26.04.2016

Затверджено
на засіданні НМК ІФФ
Протокол № 9 від 12.05.2016

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

ЗМІСТ

ВСТУП 4
1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ 5
2 МЕТА РОБОТИ 10
3 ПІДГОТОВКА ДО РОБОТИ 10
4 МАТЕРІАЛИ ТА ОБЛАДНАННЯ 11
5 МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ РОБОТИ 11
6 ЗМІСТ ЗВІТУ 13
7 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ 13
8 ВКАЗІВКИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ 13
ЛІТЕРАТУРА 14

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

ВСТУП

Плазмове оброблення набуло поширення внаслідок високої за промисловими стандартами температури плазми (~ 104 К), великого діапазону регулювання потужності і можливості зосередження потоку плазми на виробі, що обробляється. При цьому ефекти плазмової обробки досягаються як тепловою, так і механічною дією плазми (бомбардуванням виробу частками плазми, що рухається з дуже високою швидкістю, — так званий швидкісний натиск плазмового потоку).

Питома потужність, що передається поверхні матеріалу плазмовою дугою, сягає 105…106 Вт/см², в разі використання плазмового струменя вона становить 103…104 Вт/см². В той же час тепловий потік, якщо це необхідно, можливо розосередити, забезпечуючи «м'який» рівномірний нагрів поверхні, що використовується при наплавленні чи нанесенні покриттів.

При плазмовому обробленні змінюється форма, розміри, структура матеріалу, що оброблюється або стан його поверхні. Плазмове оброблення включає: розділове і поверхневе різання, нанесення покриттів,наплавлення, зварювання, руйнування гірських порід (плазмове буріння), активування поверхні, а також, плазмово-дугове «стругання» і рафінування (оплавлення).

Різання металів та виготовлення отворів (лазерне свердління) здійснюється стисненою плазмовою дугою, яка горить між анодом (металом, що підлягає розрізанню) і катодом плазмового пальника . Стабілізація і стискування струменевого каналу дуги, що підвищує її температуру, здійснюються соплом пальника і обдуванням дуги потоком плазмоутворюючого газу (Ar, N_2, H_2, NH_4 та їх суміші). Для інтенсифікації різання металів використовується хімічно активна плазма. Наприклад, при різанні повітряною плазмою O_2 окислення металу дає додатковий енергетичний вклад в процес різання. Плазмовою дугою ріжуть нержавіючі і хромонікелеві сталі, Cu, Al та інші метали і сплави, що не піддаються кисневому різанню. Висока продуктивність плазмового різання дозволяє застосовувати її в потокових безперервних виробничих процесах. Потужність установок досягає 150 кВт. Неелектропровідні матеріали (бетони, граніти,

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

тонколистові органічні матеріали) обробляють плазмовим струменем (дуга горить в соплі плазмового пальника між його електродами).

Плазмове різання – один із найпоширеніших способів термічного різання матеріалів. За допомогою цього способу можна різати як вуглецеві, так і високолеговані сталі, чавуни й кольорові метали. Ефективність і продуктивність процесу різання залежить від конструкції стабілізуючої системи плазмо-дугових головок, потужності установки й типу плазмоутворюючого газу. Найбільш ефективними й продуктивними при різанні металу малих і середніх товщин є установки з повітряною стабілізацією дуги.

1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Процес плазмового різання заснований на використанні плазмової дуги, що горить у середовищі атмосферного повітря. Суть процесу різання полягає в місцевому виплавленні металу стисненою плазмовою дугою й видуванні розплавленого металу з утворенням порожнини розрізу при переміщенні плазмотрона відносно поверхні деталі, що розрізається.

До комплекту обладнання для плазмово-дугового різання входять: різак (плазмотрон), пульт керування, джерело живлення дуги, балони з плазмоутворюючими газами, механізм для переміщення плазмотрона вздовж лінії різання.

Різак складається з електродного та соплового вузлів. Плазмотрони бувають з осьовою і вихровою подачею газів для стискання дуги. Осьова подача плазмоутворюючого газу використовується в широких соплах. При вихровій подачі газ вводять у зону катода і стовпа дуги по каналах, розташованих по дотичній до стінок дугової камери плазмотрона. При цьому в камері створюється вихровий потік газу із спіральним рухом. Вихрова подача газу забезпечує його перемішування в стовпі дуги й рівномірність газової оболонки навколо стовпа.

При осьовій подачі газу кінець вольфрамового електрода діаметром від 2 до 6 мм і довжиною до 100-150 мм загострюють під кутом 20-30°, а при вихровій подачі газу — на кінці електрода є змінні газові катоди.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Охолоджують плазмотрони водою, а в плазмотронах невеликої потужності — стисненим повітрям. Використовують також ріжучі плазмотрони з плівковими катодами. Здатність утворювати плівку на катоді мають цирконій і гафній. Такий катод може тривалий час працювати в окислювальному середовищі, наприклад, у стисненому повітрі.

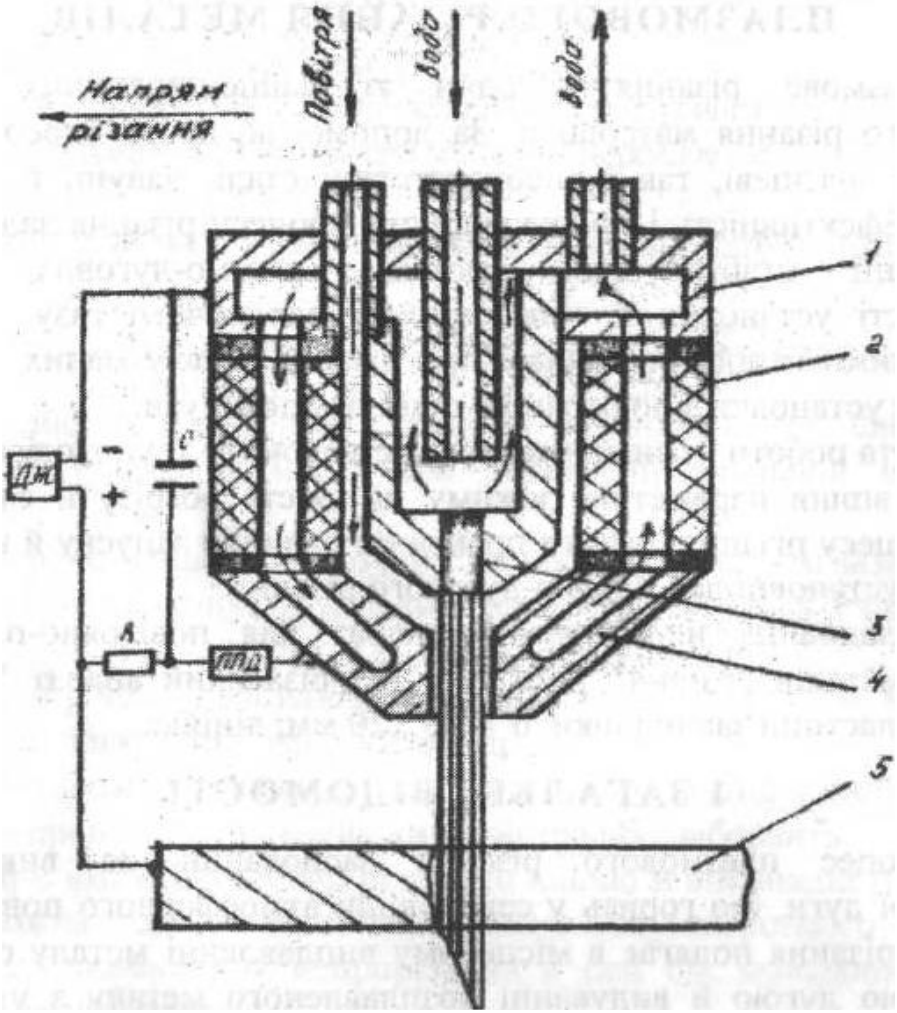
Інтенсивність спрацювання катодних вставок та електродів залежить від сили робочого струму. Тривалість роботи катода не перевищує 4-6 год. Велике значення має конструкція сопла. Чим менший діаметр сопла і більша його довжина, тим вища концентрація енергії. Але діаметр і довжина сопла зумовлені силою робочого струму і витратами газів. Якщо діаметр сопла дуже малий або довжина його дуже велика, то можливе виникнення подвійної дуги, при якій ріжуча дуга розпадається на дві частини. Одна дуга горить між катодом і внутрішньою поверхньою сопла, а друга — між зовнішньою поверхнею сопла і розрізуваним металом. Подвійна дуга може горіти одночасно з ріжучою (не тривалий час) і поза зоною захисного газу від чого метал кромок забруднюється і підплавлюється. Щоб уникнути подвійної дуги необхідно плавно збільшити робочий струм. Це досягається магнітними, тиристорними та іншими пристроями.

Для плазмово-дугового різання використовують джерела живлення дуги постійного струму з крутоспадаючими вольт-амперними характеристиками. Для різання металів великої товщини (понад 80 мм) використовують тільки спеціальні джерела живлення з підвищеною напругою холостого ходу.

Плазмотрон становить собою пристрій (рис. 1.1), що складається з катодного вузла 1 з електродною вставкою 3 з гафнію або цирконію. Обтискування плазмової дуги здійснюється за допомогою формуючого каналу сопла 4. Сопло і катодний вузол розділено діелектричною вставкою 2 і охолоджується проточною водою. На електрод подається негативний потенціал від джерела живлення, на виріб 5, і на сопло - позитивний. Для збудження дуги між електродом плазмотрону і металом, що розрізається спочатку за допомогою блока підпалу запалюється допоміжна дута між електродом і соплом плазмотрона, яка видувається у вигляді плазмового факела завдовжки 15 – 25 мм. При дотику факела допоміжної дути металу виникає ріжуча дуга між електродом

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

плазмотрона і металом, допоміжна дуга при цьому автоматично вимикається.



1 – катодний вузол; 2 – ізолятор; 3 – катод; 4 – формуюче сопло; 5 – виріб;

ДЖ – джерело живлення; R – баластний опір; ППД – пристрій підпалу дуги; С – фільтр захисту джерела

Рисунок 1.1 – Схема підключення плазмотрона для повітряно-плазмового різання

Ефективність і якість процесу плазмового різання металів залежить від типу й потужності обладнання, що використовується

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

конструкції різака, форми й розмірів його стабілізуючої системи, електричних параметрів режиму, складу й витрати плазмоутворюючих газів.

Збільшення напруги на дузі підвищує її прорізну здатність і дає можливість обробляти метал більшої товщини.

Із збільшенням сили струму зростає кількість теплоти, що її вводять дугою в зону розрізу, внаслідок чого швидкість різання зростає.

Підвищення витрати плазмоутворюючого газу робить дугу жорсткішою. При цьому анодна пляма розміщується ближче до нижньої кромки листа, збільшується прорізна здатність дуги, а викривлення поверхні оплавлення (відставання) зменшується.

Із збільшенням тиску плазмоутворюючого газу зростає й швидкість витікання плазмового струменя, зменшується товщина прошарку розплавленого металу на поверхні розрізу, поліпшується теплопередача від плазмового потоку до поверхні металу, що розрізається.

Однак при значному збільшенні витрати плазмоутворюючого газу і сталій електричній потужності дуги, температура плазмового струменя зменшується, що негативно позначиться на якості розрізу. При завищених витратах плазмоутворюючого газу станеться порушення стабільності процесу та обрив плазмової дуги.

Із збільшенням швидкості переміщення плазмотрона відносно виробу анодна пляма дуги зміщується ближче до верхньої кромки розрізу. При цьому матиме місце більше відхилення плазмового струменю в бік, зворотний напряму переміщення плазмотрона, що призведе до значного викривлення поверхні оплавлення в зоні розрізу, тобто до виникнення "відставання".

Чим вища швидкість різання, тим більше відставання, тобто тим нижча якість розрізу. Проте із збільшенням швидкості різання зменшуються втрати теплоти за рахунок відведення тепла в периферійні частини виробу і збільшується термічний ККД процесу різання (η), що становить відношення кількості теплоти, яка йде на виплавлення металу по лінії розрізу, до загальної кількості теплоти, яка виділяється в плазмовій дузі:

$$h = \frac{wdbg\left[C(T_{пл} - T_0) + L\right]}{IU},$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

де w – швидкість різання, см/с;

d – товщина металу, що розрізається см;

b – середнє значення ширини розрізу, см;

g – густина металу, г/см^3;

C – теплоємність металу в інтервалі температур від T_o до $T_{пл}$, Дж/(г °С);

$T_{пл}$ – температура плавлення металу, °С;

T_o – вихідна температура металу, що розрізається, °С;

L – прихована теплота плавлення, Дж/г ;

I – сила струму при різанні, А;

U – напруга на дузі, В.

З формули видно, що за інших рівних умов ККД процесу різання має збільшуватися прямо пропорційно швидкості різання. Проте насправді ця залежність має складніший характер, бо з підвищенням швидкості різання зменшується ширина розрізу. При збільшенні швидкості різання знижується також погонна енергія і при деяких значеннях погонної енергії не вистачає для забезпечення наскрізного прорізування металу.

Основні теплофізичні дані найпоширеніших матеріалів наведено в таблиці. 1.1.

Таблиця 1.1 – Теплофізичні характеристики матеріалів

Матеріал	C, Дж/(г °С)	γ, г/см^3	$T_{пл}$ °С	L, Дж/г
Маловуглецеві й низьколеговані сталі	0,63	7,85	1520	272
Високолеговані нержавіючі сталі	0,58	7,8	1480	276
Мідь	0,42	8,9	1080	176
Алюміній	1,00	2,7	660	356

Для виконання різальних робіт фактичну швидкість різання беруть рівною 0,5....0,9 від максимально можливої швидкості, при якій досягають наскрізного прорізування металу. Чим вищі вимоги до якості й чистоти прорізу, тим при менших значеннях швидкостей ведеться процес різання, тим вищі енергетичні затрати на виконання прорізу. У лабораторній роботі для повітряно-плазмового різання металів використовується установка "Київ-4" А1612.У4. Для механізації процесу різання плазмовий різак цієї установки закріплений на переносному газорізальному апараті "Райдуга".

Апарат А1612.У4 призначений для ручного й машинного повітряно-плазмового різання чорних і кольорових металів завтовшки

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

до 80 мм. Апарат складається з силової шафи, пульта управління й плазмотрона. Для роботи в ручному режимі підключають плазмотрон ВПР-9А.

Основні технічні дані апарата наведено в таблиці 1.2

Таблиця 1.2 – Основні технічні дані апарата "Київ-4" АІ612 .У4

Найменування параметра	Значення для різання	
	ручного	машинного
Напруга мережі трифазного струму, В	380	380
Споживана потужність, кВА ККД	60	73
Напруга холостого ходу, В	0,9	0,9
Витрата повітря, $м^3$/год	120 – 180	140 – 220
Максимальна товщина, що розрізається, мм:	4,8 – 2,5	2,5 – 3
сталь	70	80
алюміній	60	70
мідь	40	50

2 МЕТА РОБОТИ

Вивчити техніку та технологію різання, вплив параметрів режиму на якість розрізу й ефективний ККД процесу різання; набути практичні навички запуску й виконання робіт на установці для плазмо-дугового різання.

3 ПІДГОТОВКА ДО РОБОТИ

Готуючись до лабораторної роботи, потрібно вивчити правила безпечного виконання робіт з плазмо-дугового різання, засвоїти суть процесу та основні технічні дані установки для повітряно-плазмового різання.

До заняття має бути підготовлена загальна частина звіту, у якій наводиться назва роботи, мета, методика проведення її, схема підключення плазмотрона й основні технічні дані установки.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

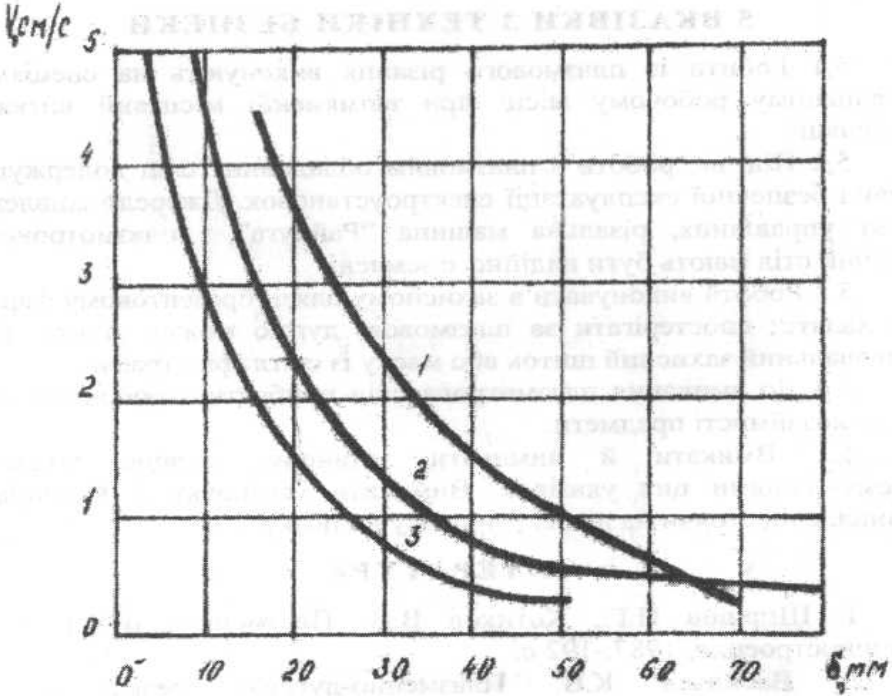
4 МАТЕРІАЛИ ТА ОБЛАДНАННЯ

1. Апарат для повітряно-плазмового різання металів "Київ-4" А1612.У4;
2. Газорізальний апарат "Райдуга";
3. Сталеві пластини завширшки d = 15 – 20 мм;
4. Лінійка.

5 МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вивчити порядок запуску в роботу апарата "Київ-4".
2. Намітити три значення технологічної швидкості різання на 10, 30 і 50 % менші від максимально можливої. Настроїти апарат "Райдуга" на пересування із заданими значеними технологічної швидкості різання.
3. Покласти пластини на стіл, підвести плазмотрон.
4. Подати стиснене повітря й воду в апарат, перевіривши герметичність комунікацій і плазмотрона, а також параметри тиску води й повітря в мережі та витрати води.
5. Установити потрібну швидкість машинного різання (швидкість переміщення різака). Швидкість вибирають залежно від виду й товщини металу, що розрізається та потрібної якості прорізу. Максимально можливі швидкості різання металу заданої товщини можуть бути вибрані відповідно до рис. 5.1. щоб дістати якісні прорізи, технологічна швидкість різання має бути встановлена на 10 – 50 % нижча від максимально можливої.
6. Виставити плазмотрон вертикально (вісь сопла має бути перпендикулярна до площини листа, що розрізається) на віддалі 8 – 12 мм від поверхні листа.
7. Подати електроживлення на апарат, увімкнувши автоматичний вимикач (загоряється лампа "Мережа" на апараті й пульті).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



1 – алюміній; 2 – сталь; 3 – мідь

Рисунок 5.1 – Максимально можливі швидкості різання різних матеріалів на установці "Київ-4"

8. Регулятором "Витрати повітря" до запалювання дуги встановити початковий тиск повітря за манометром 0,24 МПа (на пульті загоряється лампа "Готовність").

9. Натиснути кнопку "Пуск" і після запалювання ріжучої дуги та повного встановлення робочого режиму плавно розпочати переміщення різака.

10. Після виконання прорізу потрібних розмірів, щоб припинити процес різання, треба натиснути кнопку "Стоп".

11. Виконати прорізи при зазначених показниках технологічної швидкості різання й постійній витраті плазмоутворюючого газу P = 0,2 МПа.

12. Виміряти відставання при різанні й середню ширину прорізу на кожному режимі. Обчислити термічний ККД процесу різання.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

13. Провести три прорізи на одній з технологічних швидкостей при тиску повітря 0,20 і 0,28 МПа. Визначити відставання й термічний ККД процесу різання.

6 ЗМІСТ ЗВІТУ

1 Зазначити мету роботи, описати методику їх, виконання.

2 Навести схему й технічні дані установки.

3 Описати виконані дослідження, навести графічні залежності відставання при різанні й термічного ККД від швидкості різання та тиску плазмоутворюючого газу.

4 Зробити висновки про вплив параметрів режиму на якість різання й ефективність процесів

7 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Суть процесу плазмового різання, його переваги і недоліки.
2. Які матеріали доцільно розрізати плазмовим способом?
3. Які гази необхідно використовувати при плазмовому різанні?
4. Конструкція і принцип дії плазмотрона.
5. Як визначається термічний ККД процесу різання? Якими технологічними прийомами його можна регулювати?
6. Від чого і як залежать швидкості різання різних матеріалів при плазмовому різанні.

8 ВКАЗІВКИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

1 Роботи із плазмового різання виконують на спеціально обладнаному робочому місці при ввімкненій місцевий витяжній вентиляції.

2 Під час роботи з плазмовим обладнання слід додержуватися правил безпечної експлуатації електроустановок. Джерело живлення,

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

пульт управління, різальна машина "Райдуга" з плазмотроном і робочий стіл мають бути надійно заземлені.

3 Роботи виконувати в захисному одязі (брезентовому фартусі або халаті); спостерігати за плазмовою дугою можна тільки через зварювальний захисний щиток або маску із світлофільтрами.

4 До вмикання плазмотрона слід прибрати з робочого місця всі легкозаймисті предмети.

5 Вмикати й вимикати установку суворо згідно з рекомендаціями цих вказівок. Вимикати установку й виконувати різання, слід стоячи на діелектричному килимку.

ЛІТЕРАТУРА

1 Ширшов И. Г., Котиков В. Н. Плазменная резка. – Л.: Машиностроение, 1987. – 192 с.

2. Васильев К. В. Плазменно-дуговая резка. – М.: Машиностроение, 1974. – 111 с.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com