

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНБАСЬКА ДЕРЖАВНА МАШИНОБУДІВНА АКАДЕМІЯ**

СУМЕЦЬ АНДРІЙ ВІКТОРОВИЧ

УДК 621.387.143

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЛАЗМОВОГО РІЗАННЯ ЗА
РАХУНОК УДОСКОНАЛЕННЯ ПЛАЗМОТРОНІВ**

Спеціальність 05.03.06 – «Зварювання та споріднені процеси і технології»

**Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Краматорськ – 2018

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Донбаській державній машинобудівній академії (м. Краматорськ) Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Кассов Валерій Дмитрович,
Донбаська державна машинобудівна академія
(м. Краматорськ),
декан факультету машинобудування.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Єфіменко Микола Григорович,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»
(м. Харків), професор кафедри зварювання

кандидат технічних наук, доцент
Бурлака Володимир Володимирович,
ДВНЗ «Приазовський державний технічний
університет» (м. Маріуполь), доцент кафедри
систем автоматизації та електропривода

Захист відбудеться «25» січня 2019 р. об 13:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 12.105.02 з захисту дисертацій Донбаської державної машинобудівної академії: 84313, м. Краматорськ, вул. Академічна 72, ауд. 3308.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Донбаської державної машинобудівної академії за адресою: 84313, Донецька обл., м. Краматорськ, вул. Академічна, 72, корп. 1, або за web-адресою: <http://www.dgma.donetsk.ua/spetsializovana-vchena-rada-d12.105.02.html>.

Автореферат розісланий «21» грудня 2018 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради Д 12.105.02,
кандидат технічних наук, доцент



С.Л. Міранцов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Плазмове різання має певні переваги перед традиційними методами газополум'яного і кисневого різання. Перспективність цієї технології обумовлена високими енергетичними параметрами плазмової ріжучої дуги: об'ємна концентрація потужності досягає $100\text{--}150\text{ кВт/см}^3$, температура $(5\text{--}16)10^3\text{ К}$, швидкість витікання потоку плазми до 5000 м/с , питома щільність теплової потужності $(10\text{--}20)\text{ кВт/мм}^2$. Володіючи такими властивостями, плазмове різання є одним з найбільш ефективних засобів формуючого впливу на метали. Висока концентрація потужності, можливість керування процесом за рахунок зміни величини робочого струму або витрати плазмоутворюючого газу й, нарешті, можливість різання практично будь-яких металів надають цьому способу універсальних технологічних можливостей. Однак процес плазмового різання металів має й істотні обмеження, обумовлені зайвою складністю й матеріалоємністю плазморіжучої техніки, нерідко пов'язаної з невиправданою її універсалізацією за способами (ручна, машинна), діапазонами, товщинами, які розрізуються, енергетичними параметрами і т.п. Крім того серйозне встаткування, що випускається, для повітряно-плазмового різання металів плазмотронами із цирконієвими й гафнієвими катодними вставками, розробленими вітчизняними й закордонними фірмами має ряд недоліків: обмежене число включень, низькі робочі діапазони струму й напруги. Це приводить до зниження товщини металу, які розрізуються, швидкості різання й продуктивності. Тому є актуальним проведення комплексних теоретичних й експериментальних досліджень, що направлені на вивчення основних закономірностей плазмового різання металів великої товщини, розробку конструкцій високо ресурсних плазмотронів за рахунок використання порожнистих циліндричних «холодних» та «гарячих» катодів та розширення технологічних можливостей даного метода різання.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження, результати яких представлені в дисертаційній роботі, виконані в Донбаської державної машинобудівної академії у рамках держбюджетної науково-дослідної роботи «Удосконалення конструкції та технології підготовки виробництва підйомно-транспортних, будівельних і гірничих машин» (номер державної реєстрації 0115U004732), а також у відповідності з держбюджетними науково-дослідними роботами: «Теоретичні дослідження процесів плазмової, віброабразивної і гідроабразивної обробки, комп'ютерного синтезу оптимальних технологічних середовищ» (номер держ. реєстр. № 0104U000100); «Математичне й комп'ютерне моделювання процесів у розрядному каналі плазмотрона й процесів формування структури покриттів, отриманих при напиленні» (номер держ. реєстр. №0103U000425); «Теоретичне дослідження нагрівання газу в плазмотроні для газифікації вугілля й опалення казанів теплових електростанцій (ТЕС)» (номер держ. реєстр. №0107U000284).

Внесок автора, як виконавця, полягає в удосконаленні конструкцій високоресурсних плазмотронів для різання металів великої товщини, в оптимізації технологічних параметрів різання, у розробленні технологічних рекомендацій.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності й розширення технологічних можливостей плазмового різання металу за рахунок удосконалювання технології процесу й устаткування.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

– проаналізувати відомі теоретичні й експериментальні дослідження із плазмового різання металу великої товщини і виявити проблеми, пов'язані з підвищенням ефективності і якості процесу;

– провести дослідження плазмотронів для різання металу великої товщини і їх основних вузлів;

– створити високоресурсні плазмотрони для різання металу товщиною до 400 мм, що працюють з кисневмісним газом;

– розробити інженерну методику розрахунків високоресурсних плазмотронів для різання металу великої товщини з порожнистими циліндричними «холодними» і «гарячими» катодами, що працюють на кисневмісних газах;

– провести дослідження змін фазових та структурних перетворень, змін хімічного складу та механічних властивостей сталей при трьох видах термічного різання (аргоно-плазменого, повітряно-плазменого, киснево-флюсового різання);

– здійснити практичне застосування результатів досліджень.

Об'єкт дослідження – теплофізичні й фізико-механічні процеси при плазмовому різанні й роботі плазмотрона.

Предмет дослідження – параметри підвищення ефективності плазмового різання металу й роботи плазмотрона в системі джерело живлення – електрична дуга – метал, що ріжеться.

Методи дослідження. В основу теоретичних досліджень покладено основні положення теорії зварювальних процесів, теорії плазми, фізики твердого тіла, електротехніки, електрофізики а також аеродинаміки. Експериментальні дослідження проводилися на спеціальному плазмовому устаткуванні з використанням сучасної вимірювальної та реєструючої апаратури. Містять методи вимірювання змінення хімічного складу, механічних властивостей та фазових складових, металографії. Достовірність одержаних результатів підтверджується їх використанням на промислових підприємствах України.

Наукова новизна отриманих результатів. У даній роботі представлений комплекс фундаментальних і прикладних досліджень, пов'язаних з підвищенням ефективності технології плазмового різання металу й плазмового устаткування:

1. Дістав подальшого розвитку науково-прикладний напрямок: для підвищення ресурсу роботи й ефективності плазмотронів для різання необхідно застосовувати принцип розподілу прив'язки дуги по довжині розрядного каналу (для порожнистих «холодних» електродів) та по термохімічним вставкам (для термохімічних електродів).

2. Вперше встановлено, що для збільшення робочого струму дуги до 1000 А при різанні металу великої товщини (понад 150 мм) необхідно конструкція плазмотрону з порожнистим термоємисійним катодом із захистом аргонем низького тиску й створенням дифузійної прив'язки дуги.

3. Встановлено, що плазмотрон з порожнистим «холодним» електродом для підвищення ресурсу роботи, продуктивності і якості різання металу більшої товщини слід підключати на зворотну полярність. При цьому ресурс роботи електрода збільшується більш ніж у два рази, а продуктивність підвищується на 20-40% у порівнянні із промисловими плазмотронами при однаковій силі струму.

4. Набула подальшого розвитку методика розрахунків високо ресурсних плазмотронів яка враховує вплив і взаємозв'язок основних факторів і параметрів процесу з товщиною металу, що розрізається. Це дозволило сформулювати конструкційні рекомендації з створення плазмотронів з термохімічним та порожнистим «холодним» електродами.

Практичне значення отриманих результатів полягає в наступному:

- в роботі вирішено комплекс завдань, пов'язаних з підвищенням ефективності плазмового різання металу за рахунок удосконалення конструкцій плазмотронів, матеріалів катодів і їх геометричних параметрів, умов роботи електродних вузлів плазмотронів;

- створені плазмотрони для різання металу з «холодними» і «гарячими» електродами потужністю від 40 до 300 кВт із поліпшеними енергетичними характеристиками й високою ефективністю. Тепловий ККД ріжучих плазмотронів з порожнистими «холодними» або «гарячими» електродами становить (80-95) %. Товщина металу, що розрізається – від 60 до 400 мм;

- розроблена інженерна методика розрахунків високоресурсних плазмотронів для різання з порожнистими циліндричними «холодними» і «гарячими» електродами, що працюють на кисневмісних газах;

- розроблена, досліджена і реалізована технологія плазмового різання металу плазмотроном з порожнистими «холодним» електродом на зворотній полярності. При цьому встановлено, що усередині металу, що розрізається, розміщується більш контрагована рухлива катодна пляма, яка поглиблюється в порожнину різку в п'ять разів більше, ніж в умовах прямої полярності;

- розроблені конструкції плазмотронів впроваджені в промислове випробування у ремонтно-механічному цеху ПрАТ «Северодонецьке об'єднання АЗОТ» (м. Северодонецьк) та ТОВ «Буддеталь» (м. Краматорськ). Вони застосовувалися при різанні сталей, найбільш

використовуваних на промислових підприємствах (ст. 3, ст. 20, сталь 45, 09Г2С, 17ГС) товщиною до 400 мм; високолегованих сталей (12Х18Н10Т, 17Х23Н18, 20Х13, 10Х17Н13М3Т) товщиною до 150 мм; кольорових металів та сплавів (алюмінію, міді, латуні, бронзи) і титану до 100 мм для різання круглого прокату (40ХН2МА) до 300 мм, поковок (сталь 45), до 200 мм; труб високого тиску з товщиною стінки до 40-50 мм (12Х18Н10Т, 12Х1МФ);

– результати роботи використано у навчальному процесі Донбаської державної машинобудівної академії (м. Краматорськ) при викладанні розділів дисципліни «Технологія виробництва підйомно-транспортних машин» для освітньо-професійного рівня «бакалавр», а також у курсовому і дипломному проектуванні й у науково-дослідній роботі магістрів при визначенні раціональних способів виготовлення деталей та їх вузлів.

Позитивною особливістю розроблених плазмотронів є можливість їх використання не тільки для реалізації різання металів, але й для плазмового напилення.

Особистий внесок автора. У представленій роботі внесок автора полягає в обґрунтуванні загальної концепції роботи, формулюванні мети й завдань дослідження, самостійному проведенні експериментальних і теоретичних досліджень створених конструкцій плазмотронів. Авторіві належать основні ідеї дисертації, положення, що виносяться на захист, а також загальні висновки й результати роботи.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертації доповідалися на всеукраїнських і міжнародних науково-технічних конференціях (МНТК): VI Міжнародна практична конференція – виставка, м. Санкт–Петербург, 13-16 квітня 2004 р.; IX Міжнародна практична конференція – виставка, м. Санкт–Петербург, 10-13 квітня 2007 р.; XI Всеукраїнська науково-практична конференція з міжнародною участю, 16 – 17 квітня 2008р.; Міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні матеріали і технології в металургії та машинобудуванні», м. Київ, 2007р.; XV Міжнародна науково-технічна конференція «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку», м. Краматорськ, 2017 р.

Публікації. Матеріали і основні положення дисертаційної роботи опубліковані в 11 друкованих працях: 5 статей у фахових виданнях України, одна з яких входить до міжнародної науко-метричної бази даних; 1 стаття у іншому виданні України; 5 тез – у збірниках матеріалів міжнародних науково-технічних конференцій.

Структура й обсяг роботи. Дисертаційна робота викладена на 187 сторінках машинописного тексту, складається з анотації із переліком праць, вступу, 5 розділів з опціональним формуванням списку використаних джерел (загалом 128 джерел), загальних висновків та 3 додатків. Об'єм основного тексту дисертації складає 130 сторінок друкованого тексту. Робота ілюстрована 7 таблицями та 104 рисунками.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульована мета роботи і визначені основні завдання, які необхідно вирішити для її досягнення. Визначено об'єкт, предмет і методи дослідження. Визначені наукова новизна, практичне значення отриманих результатів і особистий внесок здобувача.

У *першому розділі* наведено огляд відомих результатів теоретичних і експериментальних досліджень по використанню плазмотронів в процесі різання. За допомогою плазмового різання відбувається перетворення електричної енергії джерела струму в теплову енергію плазмової дуги, інтенсивне стискання її стовпа у формуючій камері й наскрізне проплавлення плазмовою дугою металу, що розрізується, з видуванням розплаву з порожнини різу. Напряга стислої плазмової дуги залежить від її довжини, розмірів каналу, стискаючого стовп, складу й витрат газового потоку. Плазмова дуга формується в плазмотроні, який складається із двох основних елементів: електрода й формуючого сопла. У соплі через канал пропускається стовп електричної дуги разом із плазмоутворюючим газом, що подається під певним тиском.

Теоретичною і методологічною основою досліджування слугували наукові і практичні розробки інституту електрозварювання ім. Є.О.Патона (м. Київ), Національного технічного університету України «Київського політехнічного інституту ім. Ігоря Сікорського» (м. Київ), Національного авіакосмічного університету ім. М.Є.Жуковського «Харківський авіаційний інститут» (м. Харків), Приазовського державного технічного університету (м. Маріуполь) та інших наукових центрів України, а також відомих закордонних виробників: Union Carbide (США), Messer Grissheim (Німеччина), Plasma Equipment (Англія), та інститутів зварювання Німеччини, Китаю, Японії, Польщі, Чехії та інших країн, які займаються сучасними плазмовими технологіями.

Розглянуті принципи і конструктивні схеми промислових плазмотронів, загальними недоліками яких є: низькі ресурс роботи (до 50 год), тепловий ККД (не більш 0,5-0,7), ефективний ККД нагріву речовини (30-40%). Встановлено, що найбільш перспективними плазмотронами, що вирішують проблему підвищення ефективності плазмових технологій в процесі різання, є плазмотрони з порожнистими циліндричними «холодними» катодами, однак і вони потребують поліпшення енергетичних характеристик: збільшення температури плазмового струменя або дуги, теплового ККД, ефективного ККД нагріву речовини, ресурсу роботи та зниженні енерговитрат. Вирішення цих питань вимагає проведення серйозних теоретичних і експериментальних досліджень.

Виходячи з результатів аналізу проблеми були сформульовані ціль та завдання досліджень. Рішенню встановленої наукової проблеми присвячені наступні глави дисертаційної роботи.

У другому розділі міститься опис експериментальної та дослідно-промислової установки, що складається з блоків електро-, газо-, водопостачання і піджигу дуги. Схема електроживлення, яка включає розділовий трансформатор (ТСЗВ-160/0,5) і тиристорний перетворювач, виконана на базі збудника машин постійного струму. Демпфуючий дросель, виготовлений у вигляді двох одношарових котушок, намотаних багатожильним ізольованим проводом на пластмасові каркаси й послідовно з'єднаних між собою. Індуктивність дроселя становила 0,197 мГн. Для зняття вольт-амперних характеристик досліджуваних плазмотронів передбачений рідинний реостат зі зміною активного опору в межах 0,2...0,6 Ом і резистори типу НФ-1АУЗ з сумарним опором 0,73 Ом, розділені на три секції: 0,365; 0,1825 і 0,1825 Ом, шунтування яких здійснюється за допомогою контактів однополюсних контакторів типу КП-604, керованих командо-апаратом. Для випробування плазмотронів промислових зразків використовувалися джерела електроживлення АПР-403. З метою збільшення робочого струму два джерела АПР-403 включалися паралельно. Автором був модернізований збудник дуги на базі ВІР-101УЗ, що забезпечує підпал дуги у всіх установках, призначених для плазмового різання. Інформаційно-обчислювальний комплекс експериментальної установки дозволяє незалежно від товщини металу, що розрізається і його асортименту, плазмотронів, що застосовуються, проводити оптимальну настройку режимів роботи плазмотрона і раціональної технології різання. Наведено методики проведення досліджень, вимірювань і оцінки похибок, а також опис контрольно-вимірювальних приладів, які використовуються при проведенні експериментальних досліджень.

У третьому розділі наведено результати розробки конструкцій плазмотронів для різання металу великої товщини, які працюють на агресивних газах з термостійкими, порожнистими і комбінованими електродами, а також методику розрахунку їх основних параметрів (при зміні електричної потужності, витрат газу, діаметра сопла), яка базується на результатах узагальнення досліджень провідних вітчизняних та зарубіжних авторів. При цьому враховувалися наступні вимоги: надійність запалювання і стабільність горіння плазмової дуги за технологічними умовами і режимами роботи; ефективність охолодження деталей, схильних до високих температур; простота конструкції і технологічність у виготовленні; зручність в експлуатації. Розробка конструкції ріжучого плазмотрона виконувалася на основі вихідних даних, які визначаються не тільки розглянутими вимогами, але і технологічними та експлуатаційними особливостями застосування плазмотрона у виробничих умовах, до яких слід віднести: товщину і вид металу, який розрізується, що визначає потужність плазмової дуги і діапазон зміни цієї потужності; параметри і можливі витрати плазмоутворюючого (іноді основного та захисного) газу і охолоджувальної води; максимальний за технологічними умовами ресурс роботи електродної системи; використовуване джерело живлення і основні його характеристики; особливі

вимоги до охорони праці при роботі ріжучого плазмотрона у виробничих умовах. При конструюванні плазмотронів для різання металів великої товщини пред'являвся також і ряд спеціальних вимог: стійкість електродної системи при великій кількості запусків за рахунок використання мідних порожнистих електродів, що працюють в «холодному» режимі або в розрядному каналі оптимальної аеродинаміки течії газу. Крім того, плазмовий потік, який закінчується через сопловий отвір, повинен максимально виплавляти метал і видаляти його з порожнини різу, а в процесі плазмового різання необхідно проводити пробивання отворів в металі для інтенсивного викиду розплавлених частинок в бік плазмотрону. Також необхідно враховувати ресурс роботи плазмотрону, зокрема його електродних вузлів. У розроблюваних плазмотронах для різання металу великої товщини виділяли три ділянки дуги, які характеризуються різними параметрами стану. Перша ділянка – електрод (катод) сопло; другий – від місця прив'язки допоміжної дуги до сопла до виходу з сопла; третій – від сопла до поверхні металу, що розрізається. Основні параметри плазмової дуги: ентальпія, щільність, тиск, швидкість руху на кожній ділянці визначали при спільному рішенні рівнянь збереження енергії в адіабатному процесі та сталості витрати. На рис. 1 а, б наведено результати розрахунків за отриманими залежностями. Вибраний діапазон зміни параметрів охоплює найбільш можливі режими роботи розроблювальних плазмотронів для різання: потужність від 100-300 кВт, струм плазмової дуги 300-800 А, витрата робочого газу до 4 м/с, товщина металу, що розрізає від 60 до 400 мм.

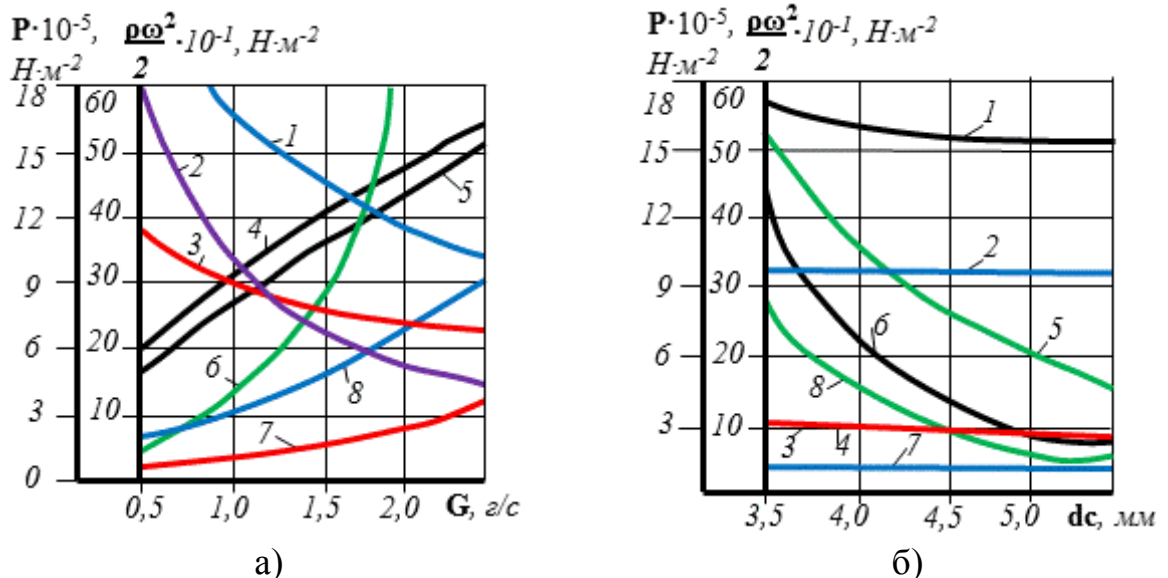


Рис. 1. Зміна параметрів потоку плазми від витрати робочого газу G , г/с (а) та від діаметра сопла d_c , мм (б): 1 – середньомасова температура ($T \cdot 10^{-3}$, К); 2 – питома ентальпія ($i \cdot 10^{-4}$, Дж·кг⁻¹); 3 – швидкість потоку ($\omega \cdot 10^{-3}$, м·с⁻¹); 4 – сила тиску ($G \cdot \omega_2$, Н); 5 – швидкісний напір ($(\rho_2 \omega_2^2 / 2) \cdot 10^{-1}$, Н·м⁻²); 6 – щільність в розрядному каналі ($\rho_1 \cdot 10^{-2}$, кг·м⁻³); 7 – щільність потоку на виході з сопла ($\rho_1 \cdot 10^{-2}$, кг·м⁻³); 8 – тиск в розрядному каналі ($P_1 \cdot 10^{-5}$, Н·м⁻²)

Проведені дослідження показали, що при збільшенні потужності плазмотрону зростають: i , P_1 , ω_2 , $G\omega_2$, $\rho_2\omega_2^2/2$. Підвищується також середньомасова температура, однак щільність плазми всередині розрядного каналу і на виході з сопла зменшується (рис. 1 а). Збільшення G (рис. 1 б) призводить до зниження i , T_1 , ω_2 , однак P_1 , ρ_2 , $\rho_2\omega_2^2/2$, $G\omega_2$ зростають.

При збільшенні витрати плазмоутворюючого газу (повітря) відбувається зниження швидкості витікання плазмового потоку. Це стає можливим при постійній потужності і заданому діаметрі сопла d_c , оскільки відбувається одночасне зростання тиску і щільності нагрівання газу. Причому інтенсивність росту ρ_1 вище інтенсивності росту P_1 . В результаті відношення P_1/ρ_1 із збільшенням G зменшується, а, отже, зменшується ω_2 . Збільшення діаметра сопла d_c плазмотрона призводить до зменшення всіх газодинамічних параметрів потоку плазми.

Були отримані рекомендації та емпіричні залежності для вибору геометрії розрядного каналу, діаметру катодних вставок і прикатодної секції. Структура прикатодної області для плазмотронів з термоемісійними електродами дозволила розрахувати геометрію розрізного каналу з урахуванням нагріву і охолодження катода плазмотрона при його роботі, це дозволило розробити плазмотрони з різним типом електроду (табл. 1).

Таблиця 1

Технічні характеристики розроблених плазмотронів для різання металів

Тип електроду	Потужність, кВт	Номинальний струм, А	Розхід робочого газу, г/с	Розхід захисного газу, %	Товщина матеріалу, який ріжеться	Швидкість різання, м/мин	Діаметр сопла, мм	
Термоемісійний	1	40	400	0,5–1 (аргон)	–	60	0,7	3,5
	2	40	300	0,8–1 (повітря)	–	60	0,7	3,5
	3	70	500	1–1,5 (кисень)	2–3 від витрат робочого газу	80	0,65	3,5
	4	60	500	1–1,5 (кисень)	–	100	0,50	3,0
Порожнстий	5	300	800	1–4,0 (повітря)	2–3 від витрат робочого газу	400	0,20	4,5
	6	200	700	1–4,0 (повітря)	–	200	0,25	4,0

Примітка: 1 – 4 – «гарячий» електрод, 5 – комбінований електрод, 6 – «холодний» електрод

Плазмотрон з термоємисійним електродом містить катодний вузол 1 і сопло 2 (рис. 2).

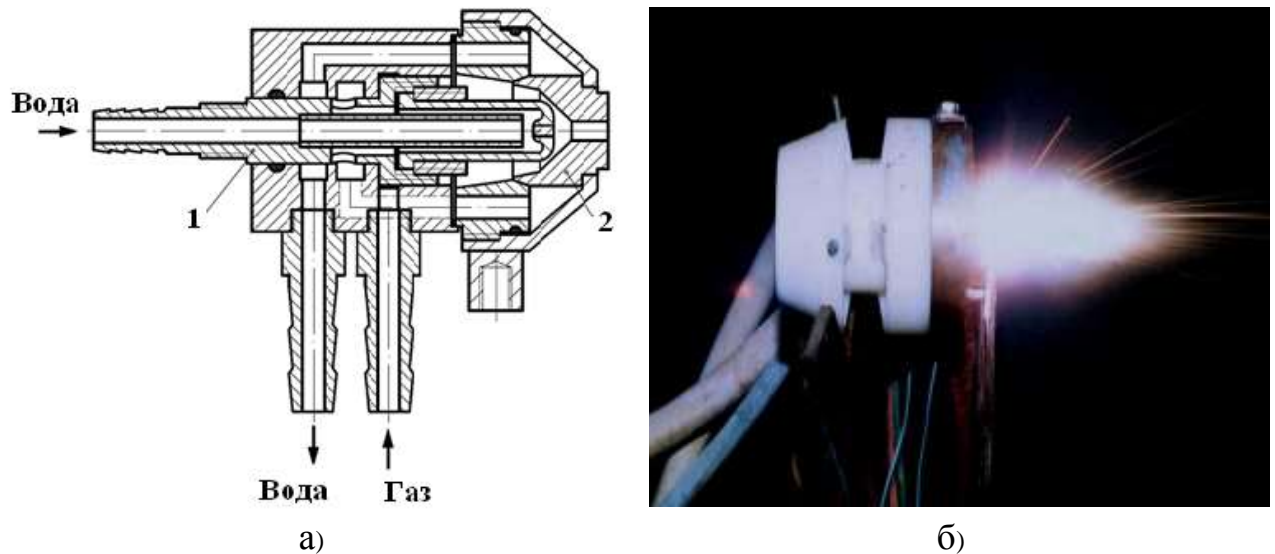


Рис. 2. Конструктивна схема (а) та зовнішній вид (б) плазмотрону з термоємисійним електродом

Катодний вузол плазмотрону складається з водоохолоджуваного корпусу, в якому закріплена мідна обойма з термохімічною катодною вставкою з цирконію або гафнію. На зовнішній поверхні корпусу виконана гвинтова нарізка, якою служить завихрювач газу. Через неї плазмоутворюючий газ (повітря) заходить у дуговий канал і стабілізує катодну прив'язку дуги на термохімічному катоді, що значно підвищує ресурс роботи катоду. Сопловий електрод плазмотрону виконується з матеріалу з високою теплопровідністю (міді). Між внутрішнім (катодом) і сопловим електродами створюється постійний зазор. Електричний пробій цього зазору (з допомогою осцилятора) викликає спочатку протікання струму чергової дуги, яка потім переходить в робочу ріжучу дугу.

Плазмотрон з порожнистим «холодним» електродом (рис. 3) складається з електродного 1 і соплового 2 вузлів, розділених завихрювальною камерою 3 для введення повітря. Відділ електроду містить мідний порожнистий електрод запресований в корпус який охолоджується водою. У внутрішній частині електрода розташоване різьблення і додаткова камера для додаткової подачі газу (~10% від основного), що локалізує катодну прив'язку дуги. Різьба розщепляє опорну пляму дуги і вона розпадається на кілька мікроплям. Це зменшує нагрівання порожнини і збільшує термін служби електроду (катоду), при цьому струм дуги може досягати 700А. Дуга подовжується в розрядному каналі електроду. Це призводить до зростання напруги дуги та збільшення потужності плазмотрону на 10-15%. Так само мідний наскрізний катод може працювати виключно плазмотрону, як на хімічно активних Ag, N, H, так і на агресивних газах O_2 , CO_2 , повітря.

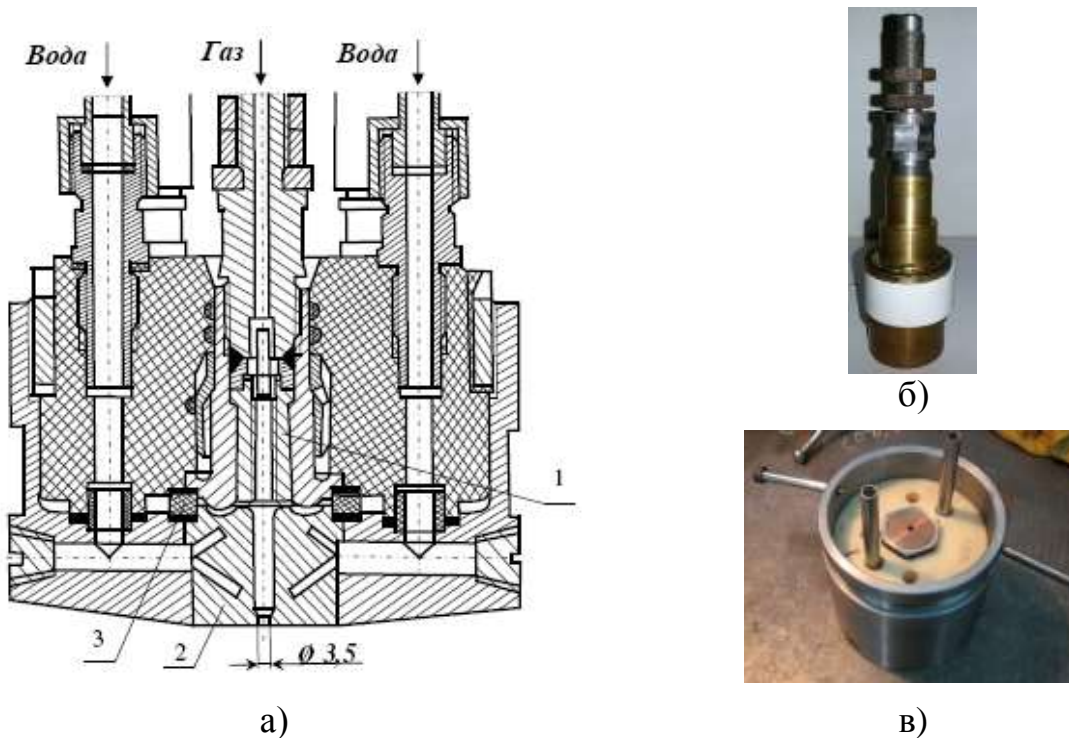


Рис. 3. Конструктивна схема плазмотрону з порожнистим електродом (а), електродний вузол (б) та плазмотрон (в) у зборі

Сопловий вузол складається з основи з розташованими в ній каналами для подачі і відведення охолоджуючої води і соплової мідної охолоджуваної секції, в якій розташований наскрізний канал. При розрахунку катодного вузла розроблялася схема безперервного руху прив'язки дуги по порожнині «холодного» електроду. Різьба електроду відриває плазмовий потік за кожен різбову впадину. Ця екстремальна зона сприяє зміні частоти ритму дуги, що зменшує її температурні та швидкісні параметри. Дуга шунтується в сприятливих умовах, її основна пляма розпадається на кілька частин. Різьбова нарізка сприяє цьому процесу.

У *четвертому розділі* наведено експериментальні та теоретичні дослідження створених плазмотронів. Вони представлені електричними, тепловими та ерозійними характеристиками. В основу досліджень був покладено електричний вузол плазмотрону з порожнистим електродом (рис. 4).

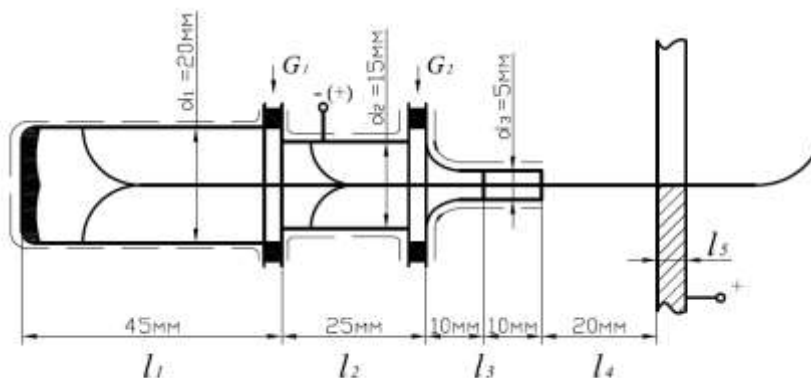


Рис. 4. Електричний вузол експериментального плазмотрону

В даній схемі застосований спосіб розподілу прив'язки дуги за довжиною розрядного каналу. Він має п'ять характерних ділянок дуги. Зміна довжини дуги в кожній з цих ділянок при незмінній довжині дуги на інших ділянках дозволяє визначити величину напруженості електричного поля по зміні величини загальної напруги на дузі в залежності від режимів роботи плазмотрона і геометрії розрядного каналу. Для прикладу з урахуванням площі вихідного отвору сопла F , щільності плазми на виході з сопла ρ_2 , щільності витікання плазмової дуги з сопла плазмотрона ω_2 , показника адіабати K , тиска в розрядному каналі і на виході з сопла P_1 , P_2 та щільність плазми в розрядному каналі ρ_1 відповідно наведено рівняння сталості витрати газу для плазмової дуги на виході із сопла :

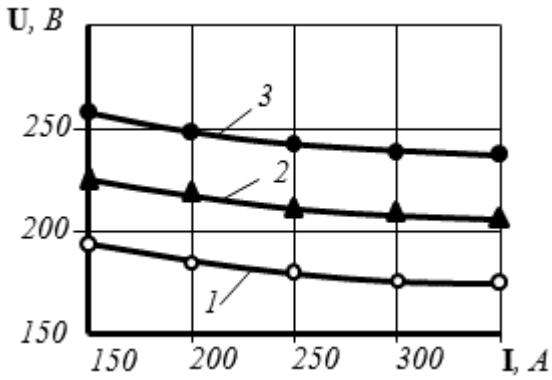
$$G = F \cdot \rho_2 \cdot \omega_2, \quad (1)$$

де

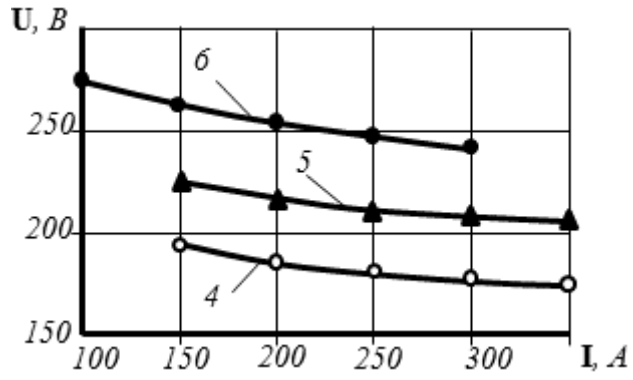
$$\omega_2 = \sqrt{\frac{2K}{K-1} \cdot \frac{P_1}{\rho_1} \left[1 - \frac{P_2}{P_1} \right]^{\frac{K-1}{K}}}.$$

Залежність електричної потужності плазмотрона від факторів, що впливають (витрата плазмоутворюючого газу, діаметр й довжина циліндричної ділянки сопла, відстань від зрізу сопла до металу, що розрізається) досліджувались з використанням вольтамперних характеристик. В якості прикладу наведено вольтамперні характеристики плазмотрону з порожнистим електродом (рис. 5).

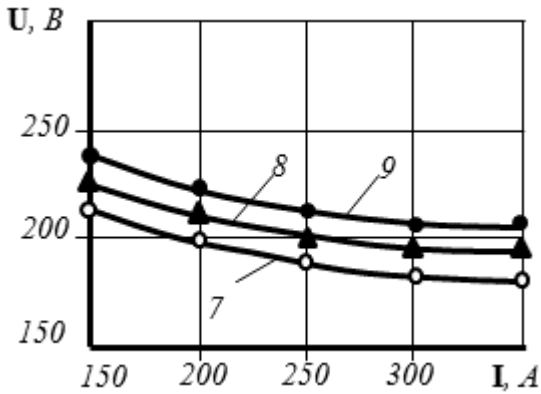
Під час дослідження ерозійних характеристик електродів плазмотрону, обрана фізична модель ерозії в плямах дуги, тобто в місці контакту дуги до електрода. Встановлено, що питома ерозія порожнього мідного електрода, що складається з двох ділянок, становить $10^{-9} - 10^{-10}$ кг/Кл. Електрод на ерозію випробовувався при силі струму від 200 до 800 А. Експерименти для кожного значення струму тривалістю не менше 30 хв повторювалися тричі. При цьому електрод зважувався на демпферних терезах (з точністю до 10^{-7} кг) до початку і після закінчення експерименту. Були отримані залежності питомої ерозії полого мідного електрода від струму дуги, як з поділом на дві ділянки, так і без поділу (рис. 6).



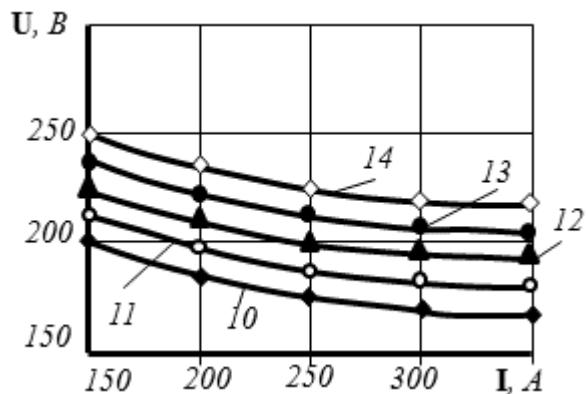
а)



б)

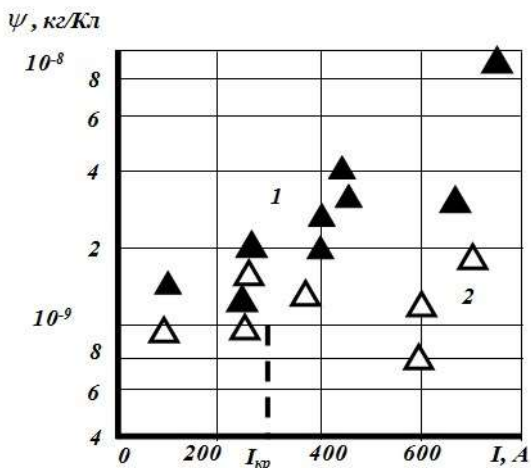


в)

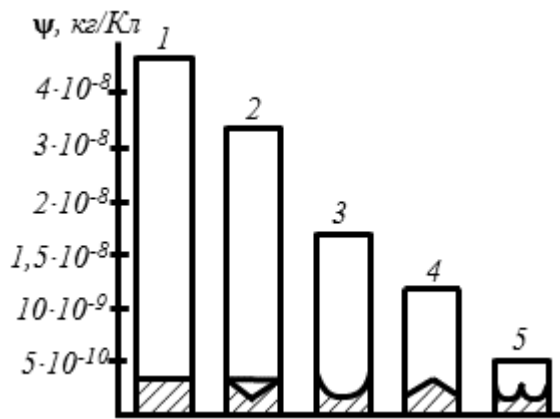


г)

Рис. 5. Вольтамперні характеристики плазмотрона, отримані при витраті плазмоутворюючого газу (повітря) (а): 1 – 0,54 м/с; 2 – 0,9 м/с; 3 – 1,25 м/с; діаметр циліндричного сопла ділянки (б): 4 – 5 мм; 5 – 4 мм; 6 – 3 мм; довжині циліндричної ділянки сопла (в): 7 – 5 мм; 8 – 8 мм; 9 – 10 мм; відстані від зрізу сопла до розрізається металу (г): 10 – 5 мм; 11 – 10 мм; 12 – 15 мм; 13 – 20 мм; 14 – 25 мм



а)



б)

Рис. 6. Ерозія полого мідного катоду в повітрі від сили струму (а) та від геометрії дна мідного електроду: $G = 0,85 \cdot 10^{-3}$ кг/с, $d = 5 \cdot 10^{-3}$ м; 1 – полий катод без поділення на ділянки; 2 – полий катод з поділенням на дві ділянки

Для виявлення раціональної геометрії розрядної камери досліджувалась питома ерозія мідного електроду при різних конфігураціях його днища (рис. 6 б). Найменше значення питомої ерозії забезпечується при наявності в центрі днища гострокінцевого виступу з плавним криволінійним переходом до бокової внутрішньої поверхні електроду, що підтвердило дослідження. Зіставлення результатів проведених досліджень показують, що ерозія електроду залежить від наступних факторів: оптимальна товщина стінки електроду, полярності горіння дуги, напрямок крутки опорної плями дуги, напрямок подачі охолоджуючої води. Для її зменшення були прийняті кращі значення: оптимальна товщина стінки електроду, при якій забезпечується її найменше зношення, зворотна полярність горіння дуги, узгоджений напрямок газодинамічного та електромагнітного переміщення опорної плями дуги, протікання охолоджуючої води від електроду до сопла.

У н'ятому розділі продемонстровано переваги створених плазмотронів і результати їх практичного застосування.

Дані конструкції плазмотронів пройшли промислове випробування у ремонтно-механічному цеху ПрАТ «Сєверодонецьке об'єднання АЗОТ» (м. Сєверодонецьк) та ТОВ «Буддеталь» (м. Краматорськ). Вони застосовувалися при різанні сталей (ст. 3, ст. 20, сталь 45, 09Г2С, 17ГС) товщиною до 400 мм; високолегованих сталей (12Х18Н10Т, 17Х23Н18, 20Х13, 10Х17Н13М3Т) товщиною до 150 мм; кольорових металів і сплавів (алюмінію, міді, латуні, бронзи) і титану довжиною 100 мм; для різання круглого прокату (40ХН2МА) до 300 мм, поковок (сталь 45) до 200 мм; труб високого тиску з товщиною стінки до 40-50 мм (12Х18Н10Т, 12Х1МФ), чавуна СЧ20. Результати досліджень представлені на рис. 7, 8 та в табл. 2, 3.

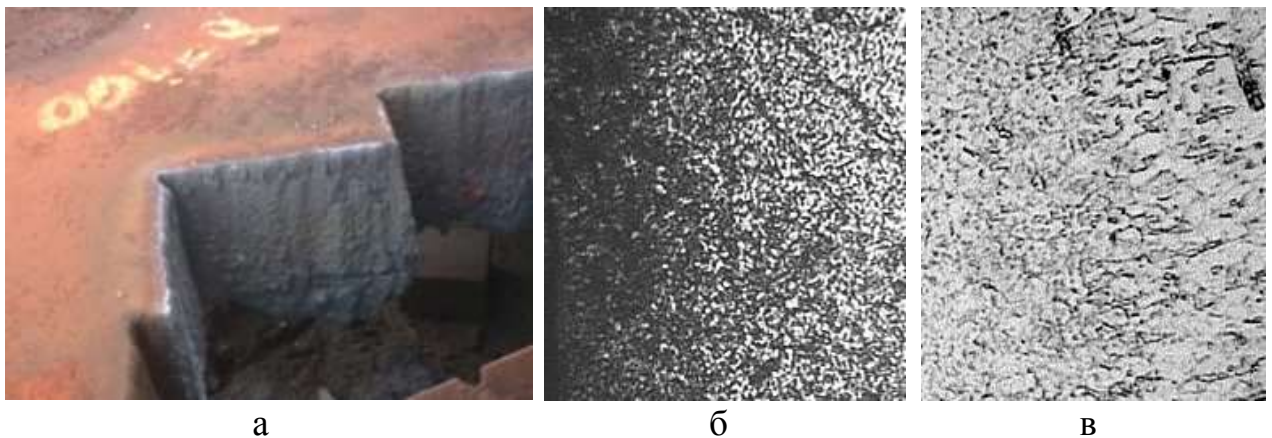


Рис.7 Зразок різку листового прокату 12Х18Н10Т ($I=650$ А; $d_c=3$ мм) товщиною 100 мм (а) та мікроструктура оплавленої (б) і перехідної (в) ділянки ($\times 250$)

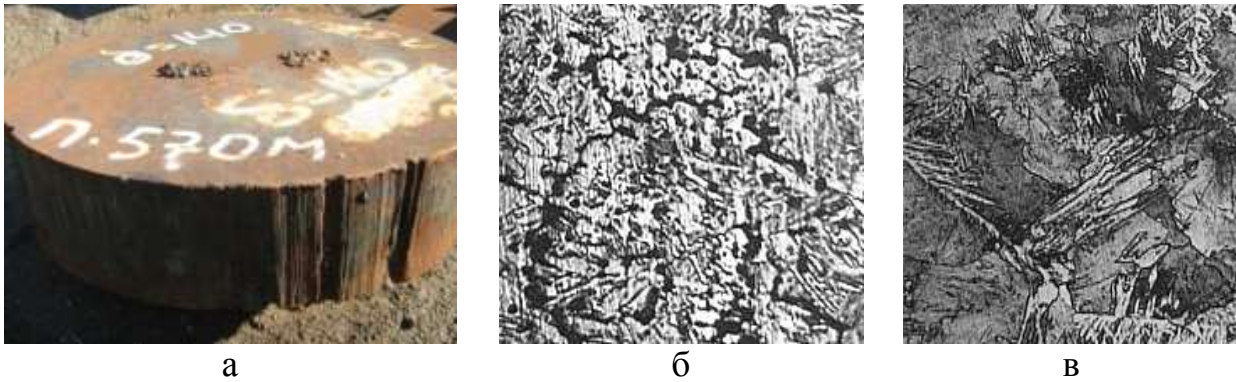


Рис.8. Зразок різку листового прокату Ст 3 ($I=650$ А; $d_c=3$ мм) товщиною 140 мм (а) та мікроструктура оплавленої (б) і перехідної (в) ділянки ($\times 250$)

Таблиця 2

Вплив способу різання на глибину термічно оброблених шарів

Глибина термічно оброблених шарів, мм		Марки сталі										
		3 сл.	40	У10	09Г2С	40Х	30Х13	X12М Ф	30ХМ А	25Х1 МФ	08Х18 Н10Т	03Х17 Н14М 3
Аргоно-плазмова Плазмотрон 1	ОУ	0,08	0,45	0,10	0,08	0,04	0,15	0,40	0,20	0,13	0,35	0,90
	ПУ	2,00	3,00	2,50	1,70	2,30	1,05	0,40	0,70	1,10	2,10	1,60
	Σ	2,08	3,45	2,60	1,78	2,34	1,20	0,80	0,90	1,23	2,45	2,50
Повітряно-плазмова Плазмотрон 5	ОУ	0,18	0,80	0,10	0,15	0,15	0,08	0,35	0,15	0,13	0,14	0,40
	ПУ	1,50	0,60	1,80	0,60	1,50	0,13	0,15	0,10	1,60	1,03	1,04
	Σ	1,68	1,40	1,90	0,75	1,65	0,21	0,50	0,25	1,73	1,17	1,44
Киснево – флюсова	ОУ	0,10	0,25	0,05	0,50	0,40	0,13	0,58	0,15	0,18	0,43	2,72
	ПУ	1,50	7,00	1,40	2,00	1,70	2,15	1,70	3,20	1,70	4,30	3,30
	Σ	1,60	7,25	1,45	2,50	2,10	2,28	2,28	3,35	1,88	4,73	6,02

Примітка: ОУ – глибина оплавленої ділянки, мм; ПУ – глибина перехідної ділянки, мм; Σ – сума ОУ и ПУ

Таблиця 3

Вплив способу різання на мікротвердість

Мікротвердість, кг/мм ²		Марки сталі										
		3 сл.	40	У10	09Г2С	40Х	30Х13	X12М Ф	30ХМ А	25Х1М Ф	08Х18 Н10Т	03Х17 Н14М 3
Аргоно-плазмова Плазмотрон 1	ОУ	420	572	900	383	514	724	724	385	350	383	380
	ПУ	290	350	510	270	260	640	642	350	240	236	297
	ОМ	180	263	330	210	226	270	350	227	232	220	254
Повітряно-плазмова Плазмотрон 5	ОУ	170	572	420	193	420	824	950	383	350	272	254
	ПУ	220	322	380	200	380	640	642	383	237	274	254
	ОМ	180	263	330	210	226	270	350	227	232	220	254
Киснево – флюсова	ОУ	193	322	824	181	464	642	724	383	420	383	274
	ПУ	210	275	500	160	350	724	946	350	382	279	274
	ОМ	180	263	330	210	226	270	350	227	232	220	254

Примітка: ОУ – глибина оплавленої ділянки, мм; ПУ – глибина перехідної ділянки, мм; ОМ – основний метал.

Впровадження результатів роботи в промислових умовах дозволило отримати економічний ефект у сумі 121 тис. грн.. у цінах 2017 року.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В дисертації виконано нові науково-обґрунтовані розробки в галузі плазмового різання металу, що забезпечують вирішення важливої науково-технічної проблеми – підвищення ефективності та розширення технологічної можливості плазмового різання на підставі розробки конструкторсько-технологічних рекомендацій при створенні плазмотронів для різання металу великої товщини.

1 Створено плазмотрони для різання металу товщиною до 400 мм потужністю від 40 до 300 кВт.

2 Для різання металу великої товщини (понад 100 мм) розроблено секційний плазмотрон с порожнистим електродом, у циліндричній порожнині якого розташовані термостійкі вставки (з вольфраму), захищені від ерозії робочого газу (повітря) аргоном низького тиску, що сприяє утворенню дифузійної прив'язки дуги та підвищенню струму дуги понад 800 А.

3 Для підвищення ресурсу роботи та ефективності порожнистого «холодного» електроду в плазмотроні для різання використано спосіб розподілу прив'язки дуги вздовж розрядного каналу електроду. При струмі дуги 700 А питома ерозія порожнистого мідного електроду склала ($10^{-9} - 10^{-10}$) кг/Кл, що на порядок нижче відомих даних.

4 Застосування принципу примусового розщеплення прив'язки дуги між термостійкими вставками привело до якісно нових залежностей потоку тепла та потенціалу, та дозволило збільшити потужність плазмотрону і ресурс роботи катоду (в залежності від струму дуги в два рази та більше).

5 Встановлено, що розроблений плазмотрон із порожнистим «холодним» електродом при різанні металу на зворотні полярності підвищує ресурс роботи електроду більше ніж вдвічі, а продуктивність на 20–40%.

6 Розроблена інженерна методика розрахунку високоресурсних плазмотронів для різання з порожнистими циліндричними «холодними» та «гарячими» електродами, що працюють на кисневмісних газах.

7 Встановлено, що тепловий ККД ріжучого плазмотрону залежить від відстані сопла до розрізуваного металу, полярності горіння, довжини каналу сопла та витрати плазмоутворюючого газу.

8 Встановлено, що енерговитрати на один погонний метр різку для плазмотронів із порожнистими та термостійкими електродами практично однакові та зростають зі збільшенням товщини різку.

9 Проведені металографічні дослідження вимірювання мікротвердості, дослідження структури та змін хімічного складу в зоні хімічного впливу в 11 марках сталі при використанні аргано-плазмового, повітряно-плазмового, киснево-флюсового різання. Встановлено, що глибина зони термічного

впливу, отриманого від повітряно-плазменого різання, менше у порівнянні з іншими видами при різанні металів великої товщини.

10 Розроблені конструкції плазмотронів пройшли промислове випробування у ремонтно-механічному цеху ПрАТ «Севєродонецьке об'єднання АЗОТ» (м. Севєродонецьк) та ТОВ «Буддеталь» (м. Краматорськ). Вони застосовувалися при різанні сталей (ст. 3, ст. 20, сталь 45, 09Г2С, 17ГС) товщиною до 400 мм; високолегованих сталей (12Х18Н10Т, 17Х23Н18, 20Х13, 10Х17Н13М3Т) товщиною до 150 мм; кольорових металів та сплавів (алюмінію, міді, латуні, бронзи) і титану до 100 мм для різання круглого прокату (40ХН2МА) до 300 мм, поковок (сталь 45), до 200 мм; труб високого тиску з товщиною стінки до 40-50 мм (12Х18Н10Т, 12Х1МФ). Отримано економічний ефект у сумі 121 тис. грн. у цінах 2017 року.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у фахових виданнях та виданнях, включених до НБД:

1. **Сумець А. В., Кассов В. Д.** Закономерности структурообразования зоны термического влияния при термической резке металлов /А. В. Сумець, В. Д. Кассов. // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – 2017. – Вып. 77. – С.166–170. [e-LIBRARY, index COPERNICUS] [Фахове видання]

Особистий внесок здобувача: провів експериментальні дослідження структури та змін хімічного складу в зоні термічного впливу.

2. Дзюба В. Л. Результаты исследований по созданию плазмотрона для резки / В. Л. Дзюба, К. А. Корсунов, **А. В. Сумець** // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2008. – С.13 – 19. [Фахове видання]

Особистий внесок здобувача: провів експериментальні дослідження створеного нового плазмотрону для різки і обґрунтував конструкції його електродних вузлів.

3. Дзюба В. Л. Результаты исследований плазмотрона для резки металла / В. Л. Дзюба, К. А. Корсунов, **А. В. Сумець** // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2009. – № 8 (138) – С. 54 – 62. [Фахове видання]

Особистий внесок здобувача: прийняв участь у розробці плазмотрона з порожнистим електродом і термохімічними вставками. Обґрунтував підвищення ККД плазмотрона цієї конструкції.

4. Дзюба В. Л. Повышение эффективности работы электродуговых плазмотронов / В. Л. Дзюба, К. А. Корсунов, **А. В. Сумець** // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2009. – № 11 (141). – Ч. 2. – С. 81 – 86. [Фахове видання]

Особистий внесок здобувача: провів експериментальні дослідження з підвищення ресурсу та ефективності роботи порожнистого «холодного» електроду плазмотрону.

5. Дзюба В. Л. Конструктивные особенности электродных узлов режущих плазмотронов / В. Л. Дзюба, К. А. Корсунов, **А. В. Сумец** // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2009. – № 9 (139). – С. 37–44. [Фахове видання]

Особистий внесок здобувача: приймав участь у розробці інженерної методики розрахунку високоресурсних плазмотронів з порожнистими циліндричними «холодними» та «гарячими» електродами, що працюють на кисневих газах.

Статті в інших виданнях:

6. **Сумец А. В.** Основные направления повышения эффективности плазменной резки / А.В. Сумец.// Научный Вестник ДГМА: сб. науч. тр. – Краматорск: ДГМА, 2016.–№3(21Е).–С. 34–37.

[http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/science_vesnik/%E2%84%963\(21%D0%95\)_2016/nomer_3\(21E\)_2016.html](http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/science_vesnik/%E2%84%963(21%D0%95)_2016/nomer_3(21E)_2016.html)

7. **Сумец А.В.** Металлофизические аспекты структурообразования в процессе высокотемпературной резки стали / А.В. Сумец. // Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. Матеріали XV Міжнародної науко-технічної конференції.– Краматорськ: ДДМА, 2017.– С.86–87.

8. Дзюба В. Л. Плазмотрон для резки металла обратной полярности / В. Л. Дзюба, К. А. Корсунов, **А. В. Сумец** // Современные материалы и технологии в металлургии и машиностроении: Международная научно-техническая конференция., 2007 г.: тезисы докладов. – К.: Ред. журн. Процессы литья, 2007. – С. 107–109

Особистий внесок здобувача: досліджував роботу плазмотрону з порожнистим «холодним» електродом на зворотній полярності.

9. **Сумец А. В.** Высокоресурсный плазмотрон для резки металлов больших толщин / А. В. Сумец, Е. Ю. Мягченко. // XI Всеукраїнська науково-практична конференція з міжнародною участю, 16 – 17 квітня. 2008р.: тези доповідей. – Сєверодонецьк, 2008. – 185 с.

Особистий внесок здобувача: приймав участь у виготовленні основних вузлів плазмотрону, експериментальна перевірка його роботи. Участь в експерименті по різки металів великих товщин.

10. Дзюба В. Л. Высокоресурсный плазмотрон для напыления, резки и упрочнения поверхности / В. Л. Дзюба, К. А. Корсунов, Е. Ю. Мягченко, **А. В. Сумец** // 9 Международная практическая конференция, 10 – 13 апреля 2007г.: тезисы докладов – Санкт-Петербург: СПб ГПУ, 2007. – Ч. 1. – С. 79 – 85.

Особистий внесок здобувача: експериментально досліджував роботу плазмотрону для напилення, різки, зміцнювання поверхні. Обробка результатів експерименту.

11. Корсунов К. А. Плазмотрон для напыления с «холодным» катодом / К. А. Корсунов, В. А. Волков, Н. А. Подгорная, **А. В. Сумец** // 6

Международная практическая конференция – выставка, 13 – 16 апреля 2004г.: тезисы докладов. – Санкт–петербург: СПб ГПУ, 2004. – С. 194 – 196.

Особистий внесок здобувача: приймав участь у розробці плазмотрону для напилення з «холодним» катодом і обробці результатів експерименту.

АНОТАЦІЯ

Сумець А.В. Підвищення ефективності плазмової різки за рахунок удосконалення плазмотронів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальність 05.03.06 – «Зварювання та споріднені процеси і технології» – Донбаська державна машинобудівна академія, Краматорськ, 2018.

Дисертація присвячена підвищенню ефективності та розширенню технологічних можливостей плазмової різки. Огляд відомих результатів досліджень плазмотронів для різання показав, що стримуючим фактором підвищення їх ефективності є низькі енергетичні характеристики: ресурс роботи, теплової ККД, ефективний ККД нагріву речовини і високі енерговитрати. Найбільш перспективними плазмотронами, що вирішують проблему ефективності плазмотронних технологій різки є плазмотрони з порожнистими циліндричними «холодними і гарячими» катодами, однак і вони потребують поліпшення енергетичних характеристик, що вимагає проведення серйозних теоретичних і експериментальних досліджень. Пошук шляхів вирішення даних проблем дозволив виявити конструктивні рішення та умови, що сприяють підвищенню ресурсу роботи і ефективності плазмотронів з порожнистими циліндричними «холодними і гарячими» катодами, що працюють на кисневмісних газах, за рахунок примусового розподілу катодної прив'язки дуги. Це дозволило створити новий клас плазмотронів для різання металів товщиною до 400 мм потужністю від 40 до 300 кВт. При цьому питома ерозія мідного полого катода при струмі дуги 700 А склала ($10^{-9} - 10^{-10}$) кг/Кл, що на порядок нижче відомих даних. Вперше для різання металів великої товщини (понад 100 мм) розроблений секціонований плазмотрон з порожнистим електродом в якому розташовані термоємні вставки (з вольфраму) захищені від ерозії робочого газу (повітря) аргоном низького тиску, що сприяє утворенню дифузною прив'язки дуги та підвищення струму дуги понад 800 А. Установлено, що розроблений плазмотрон з порожнистим «холодним» електродом при різанні металу на зворотній полярності збільшує ресурс роботи електрода більш ніж у два рази, а продуктивність на 20–40%. З урахуванням власних дослідних даних і результатів досліджень інших авторів встановлено, що тепловий ККД різального плазмотрона залежить від відстані сопла до металу, що розрізається, полярності горіння, довжини каналу сопла і витрати плазмоутворюючого газу. Енерговитрати на один погонний метр різку для плазмотронів з порожнистими і термохімічними електродами практично

однакові і зростають зі збільшенням товщини різання металу. Розроблена інженерна методика розрахунку високоресурсних плазмотронів для різання з порожнистими циліндричними «холодними і гарячими» електродами, які працюють на кисневмісних газах. Дані конструкції плазмотронів пройшли промислове випробування на ПрАТ «Севєродонецьке об'єднання АЗОТ» м. Северодонецьк та ТОВ «Буддеталь» м. Краматорськ. Вони застосовувалися при різанні сталей (ст. 3, ст. 20, сталь 45, 09Г2С, 17ГС) товщиною до 400 мм; високолегованих сталей (12Х18Н10Т, 17Х23Н18, 20Х13, 10Х17Н13М3Т) товщиною до 150 мм; кольорових металів і сплавів (алюмінію, міді, латуні, бронзи) і титану завтовшки 100 мм; для різання круглого прокату (40ХН2МА) до 300 мм, поковок (сталь 45) до 200 мм; труб високого тиску з товщиною стінки до 40–50 мм (ст. 12Х18Н10Т, 12Х1МФ).

Ключові слова: анод, катод, ККД, питома ерозія, плазмова дуга, плазмотрон, полярність горіння, порожнистий «холодний» і «гарячий» катод, потужність, продуктивність, ресурс роботи.

АННОТАЦІЯ

Сумец Андрей Викторович. Повышение эффективности плазменной резки за счет усовершенствования плазмотронов. Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.03.06 – «Сварка и родственные процессы» – Донбасская государственная машиностроительная академия, Краматорск, 2018.

Диссертация посвящена повышению эффективности и расширению технологических возможностей плазменной резки. Обзор известных результатов исследований плазмотронов для резки показал, что сдерживающим фактором в повышении их эффективности являются низкие энергетические характеристики: ресурс работы, тепловой КПД, эффективный КПД нагрева вещества и высокие энергозатраты. Наиболее перспективными плазмотронами, решающими проблему эффективности плазмотронных технологий резки являются плазмотроны с полыми цилиндрическими «холодными» и «горячими» катодами, однако и они нуждаются в улучшении энергетических характеристик, что требует проведения серьезных теоретических и экспериментальных исследований. Поиск путей разрешения данных проблем позволил выявить конструктивные решения и условия, способствующие повышению ресурса работы и эффективности плазмотронов с полыми цилиндрическими «холодными» и «горячими» катодами, работающих на кислородосодержащих газах, за счет принудительного распределения катодной привязки дуги. Это позволило создать новый класс плазмотронов для резки металлов толщиной до 400 мм мощностью от 40 до 300 кВт. При этом удельная эрозия медного полого катода при токе дуги 700 А составила ($10^{-9} - 10^{-10}$) кг/Кл, что на порядок ниже известных данных. Впервые для резки металлов больших толщин

(свыше 100 мм) разработан секционированный плазматрон с полым электродом, в котором расположены термоэмиссионные вставки (из вольфрама) защищенные от эрозии рабочего газа (воздуха) аргоном низкого давления, что способствует образованию диффузной привязки дуги и повышению тока дуги свыше 800 А. Установлено, что разработанный плазматрон с полым «холодным» электродом при резке металла на обратной полярности повышает ресурс работы электрода более чем в два раза, а производительность на 20 – 40%. С учетом собственных опытных данных и результатов исследований других авторов установлено, что тепловой КПД режущего плазматрона зависит от расстояния сопла до разрезаемого металла, полярности горения, длины канала сопла и расхода плазмообразующего газа. Энергозатраты на один погонный метр реза для плазматронов с полыми и термохимическими электродами практически одинаковы и возрастают с увеличением толщины реза металла. Разработана инженерная методика расчета высокоресурсных плазматронов для резки с полыми цилиндрическими «холодными» и «горячими» электродами, работающими на кислородосодержащих газах. Данные конструкции плазматронов прошли промышленное апробирование.

Ключевые слова: анод, катод, КПД, мощность, плазменная дуга, плазматрон, полый «холодный» и «горячий» катод, полярность горения, производительность, ресурс работы, удельная эрозия.

SUMMARY

Sumets A. Increasing the efficiency of plasma arc cutting due to the improvement of Plasmatrons. – Qualifying scientific work on the rights of manuscripts.

Thesis for a Candidate Degree in specialty 05.03.06 – "Welding and Related Processes and Technologies" – Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, 2018.

The dissertation is dedicated to upgrading the efficiency and extending the technological capabilities of plasma arc cutting. The review of the known results of research of Plasmatrons for cutting revealed that the limiting factor in increasing their performance capability are low energy characteristics, i.e. operational life, thermal efficiency, effective efficiency in heating of materials and high power consumption. The most potentially productive Plasmatrons solving the problem of plasma arc cutting technologies are those equipped with hollow “cold” and “hot” cylindrical cathodes. Nevertheless, they also need to improve the energy characteristics, which require significant theoretical research and experimental studies. Searching the ways to solve these problems has revealed some design decisions and conditions, which contribute to increasing the operational life and efficiency of Plasmatrons with hollow “cold” and “hot” cylindrical cathodes operating on oxygen-containing gases due to the forced distribution in the cathode

binding of the arc. This allowed us to create a new class of Plasmatrons for cutting metals up to 400 mm in thickness with a capacity of 40 to 300 kW. In this case, the specific erosion of the copper hollow cathode with an arc current of 700 A was ($10^9 - 10^{10}$) kg / Kl, which is substantially lower than the known data. For the first time, a sectioned Plasmatron with a hollow electrode has been developed for cutting metals of a large thickness (more than 100 mm), where are available the thermionic inserts (made of Tungsten), which are protected from the erosion of the working gas (air) with low pressure argon, that contributes to the formation of a diffuse arc binding and the increase of the arc current above 800 A. It has been established that the developed Plasmatron with the hollow "cold" electrode during cutting the metal on the reverse polarity increases the electrode operational life more than twice, and the productivity by 20-40%. Taking into account own research data and results of researches of other authors it has been established that the thermal efficiency of the cutting Plasmatron depends on the distance of the nozzle to the metal being cut, the polarity of combustion, the length of the nozzle channel and the flow of plasma gas. Energy costs per linear meter of cutting for Plasmatrons with the hollow and thermochemical electrodes are almost identical and go up with increasing of the metal cutting thickness. An engineering design procedure was developed for the cutting Plasmatrons, equipped with the hollow "cold" and "hot" cylindrical cathodes and operating on oxygen-containing gases, which have a long operational life. The Plasmatrons of such construction type were industrially tested at PrJSC "Severodonetsk Azot Association" in Severodonetsk and at LLC "BUDDETAL" in Kramatorsk. They were used when cutting steels (st. 3, st. 20, steel 45, 09Г2С, 17ГС) in thickness up to 400 mm; high-alloy steels (12X18H10T, 17X23H18, 20X13, 10X17H13M3T) in thickness up to 150 mm; non-ferrous metals and alloys (Aluminum, Copper, Brass, Bronze) and Titanium in thickness up to 100 mm; for cutting round steel bar (40XH2MA) up to 300 mm thick, forgings (steel 45) up to 200 mm thick; high-pressure pipes with wall thickness of 40-50 mm (12H18N10T, 12X1MΦ).

Key words: anode, cathode, efficiency, specific erosion, plasma arc, Plasmatron, polarity of combustion, hollow «cold» and «hot» cathode, capacity, operational life.

Підп. до друку 05.12.2018 Формат 60×90,1/16
Ум. друк. арк. 1,3. Обл.-вид. арк. 0,9.
Тираж 120 пр. Зам. № 107

Видавець і виготівник
Донбаська державна машинобудівна академія
84313, м. Краматорськ, вул. Академічна, 72.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК №1633 від 24.12.2003