**Осипенко Василь Іванович. Фізико-технологічні основи електроерозійного дротяного вирізання : дис... д-ра техн. наук: 05.03.07 / Національний технічний ун-т України "Київський політехнічний ін-т". - К., 2006.**

|  |  |
| --- | --- |
| |  | | --- | | Осипенко В. І. Фізико-технологічні основи електроерозійного дротяного вирізання. – Рукопис.  Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.03.07.– Процеси фізико-технічної обробки. – Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”. – Київ, 2006.  Дисертація присвячена розвитку фізико-технологічних основ ЕЕДВ шляхом отримання за умов ЕЕДВ розв’язків базових задач електроерозійної обробки, розробці науково обґрунтованої методології адекватного прогнозування динаміки розвитку і ефективного вдосконалення електричних, газогідродинамічних, теплових та механічних процесів у МЕП на основі концепції досягнення максимальних технологічних показників ЕЕДВ (продуктивність, точність, шорсткість) при зниженні загальної енергоємності технології за експлуатації існуючого та проектуванні нового обладнання. За результатами проведеного комплексу експериментальних та теоретичних досліджень сформульовано нові наукові положення щодо розуміння фізичних та технологічних закономірностей пробою робочої рідини, формування і керування параметрами висококонцентрованого джерела тепла на поверхні електродів та тепловими процесами в зоні його дії. На базі нових наукових положень запропонована концепція, розроблені базові технічні рішення, алгоритми керування енерговиділенням та створено експериментальний зразок принципово нового ГКІ з двома різнопараметровими силовими блоками, завдяки чому вдалося суттєво поліпшити ефективність та знизити енергоємність ерозійного руйнування металів розрядами малої тривалості та енергії. Досліджено особливості механізмів газогідродинамічних процесів у МЕП при наявності у воді домішок ПАР, встановлено вплив ПАР на динаміку розширення каналу іскрового розряду, умови теплообміну між ДЕІ і РР та, відповідно, тепловий стан локальної ділянки дроту. Створено технологічні основи керування впливом низької жорсткості дроту на точність чотирикоординатного ЕЕДВ як методу обробки. Запропонована, теоретично обґрунтована та експериментально адаптована технологія безелектролізного вирізання у водопровідній воді генераторами уніполярних імпульсів. Створено математичне описання ЕЕДВ як комплексного фізико-технологічного процесу та програмне забезпечення для комп’ютерного моделювання теплових, газогідродинамічних та механічних процесів у МЕП і на електродах. | |
| |  | | --- | | Сукупність представлених у дисертації результатів експериментальних та теоретичних досліджень процесу ЕЕДВ, нових наукових положень і технічних рішень, отриманих при розв’язанні за умов ЕЕДВ базових задач електроерозійної обробки, становить нове вирішення важливої науково-технічної проблеми зниження енергоємності ЕЕДВ як методу обробки та реалізації продуктивних безобривних прецизійних технологій вирізання на порівняно дешевому технологічному обладнанні за рахунок створеної науково обґрунтованої методології ефективного вдосконалення електричних, газогідродинамічних, теплових та механічних процесів у МЕП і вносить вагомий вклад у розвиток електроерозійних вирізних технологій. Найбільш істотні наукові результати і висновки дисертаційної роботи полягають у такому:   1. Проведеним комплексом експериментальних досліджень умов пробою МЕП отримано експериментальні статистичні моделі, які визначають залежність напруги пробою від фізичних факторів (геометрична величина МЕП, шорсткість взаємодіючих поверхонь електродів, електропровідність та ступінь забруднення робочої рідини продуктами ерозії, тиск та швидкість течії робочої рідини), що впливають на процес виникнення та розвитку каналу розряду в умовах ЕЕДВ. Встановлено ступінь впливу кожного фактора та їх комбінацій на величину напруги пробою МЕП. 2. Досліджено вплив величини міжелектродного проміжку на ефект ерозії та розподіл енергії розряду між електродами. Встановлено, що для кожного енергетичного режиму існує вузька (2 – 4 мкм) зона оптимальних величин МЕП, при яких спостерігається максимальна ерозійна руйнація анода. Зі зменшенням енергії імпульсу максимум ерозії на аноді зміщується в бік малих проміжків. Для енергії імпульсу 4 мДж оптимальний МЕП дорівнює 14 мкм, для енергії 10 мДж 21 мкм. Вплив величини МЕП може бути настільки суттєвим, що при зміні МЕП від максимального до мінімального значень ерозія анода змінюється в 1,5 – 2,5 рази. 3. Встановлено, що розподіл енергії одиничного іскрового розряду між катодом та анодом в діапазоні тривалості імпульсу 1 – 3,5 мкс та загальної енергії 1 – 10 мДж обумовлюється тривалістю розряду, геометричними розмірами МЕП та фізико-хімічними властивостями поверхневих шарів використаної пари електродів. При цьому теплофізичні властивості поверхневих шарів матеріалу електрода не тільки визначають ерозійну стійкість останнього, але й істотно впливають на розподіл енергії в МЕП. Експериментально визначені кількісні закономірності розподілу енергії іскрового розряду між електродами в залежності від тривалості імпульсу (1...3,5 мкс) і матеріалів поверхневих шарів електродів за умов, характерних для електроерозійного дротяного вирізання. Доведено, що при ЕЕДВ по сталі латунним дротяним електродом марки ДКРПМ ФКТЛ–63, латунним дротом фірми “AGIE” з цинковим покриттям, модифікованим латунним дротом з оксидним покриттям (пат. №32707А) для кожного електрода існує область параметрів режиму різання, що забезпечують максимальну теплову асиметрію одиничного іскрового розряду. 4. На основі чисельного розв’язання нелінійної задачі Стефана розроблена математична модель теплових процесів у зоні дії висококонцентрованого джерела тепла, яка дозволяє для відомих теплофізичних характеристик матеріалу заготовки виконати синтез поверхневого висококонцентрованого джерела, необхідного для досягнення максимальної ерозійної руйнації електрода, та визначити відповідні характеристики імпульсу технологічного струму. 5. Теоретично обґрунтовано та експериментально адаптовано новий спосіб керованої зміни просторово-енергетичних характеристик каналу іскрового розряду і, відповідно, параметрів руйнування електродів та глибини зони структурних змін, який базується на використанні в якості робочої рідини водних розчинів поверхнево-активних речовин. Доведено, що інтенсифікація післяпробійного розширення каналу відбувається за рахунок зниження динамічної в’язкості і величини поверхневого натягу води при наявності ПАР та додаткового відтискання границі каналу розряду в результаті взаємодії розсіяних електронів з утвореними на поверхні каналу полярними плівками ПАР. 6. Експериментально встановлено, що при зростанні діаметра каналу іскрового розряду з ~ 100 до ~ 200 мкм при енергії імпульсу ~ 2 – 10 мДж для пари електродів латунь-сталь зростають об’єми металу анода, що зазнав агрегатних змін (плавлення та випаровування), змінюються параметри механізму видалення продуктів ерозії з ерозійної лунки та їх фазовий склад. При фактичному збільшенні об’єму видаленого зі стального анода матеріалу зменшується висота облямовуючого валика, розміри та кількість викривлень дна лунки, а також зростає відношення діаметра до глибини лунки, що суттєво впливає на шорсткість поверхні. В результаті шорсткість поверхні сталі зменшується з Ra = 4,3 мкм до Ra = 2,3–2,5 мкм. 7. Розроблено принципово новий експериментальний ГКІ (МГКІ – 1М) з двома різнопараметровими силовими блоками та алгоритми керування їх роботою, які забезпечують практичне усунення аномальних (короткозамкнутих та фіктивних) імпульсів та керування градієнтом падіння струму заднього фронту розряду. Експериментально доведено, що існують умови, за яких градієнт падіння заднього фронту струму розряду (крутизна) впливає на величину долі розплавленого металу, що викидається з ерозійної лунки. За рахунок збільшення викиду рідкої фази об’єми ерозійних лунок на сталевому аноді зростають у середньому на 8 – 12 % при проходженні розряду у воді та на 20 – 26 % – у водному розчині ПАР амфолітного типу. При обробці у водному розчині ПАР амфолітного типу за рахунок підбору відповідних фізико-хімічних параметрів робочої рідини та керування заднім фронтом струму розряду було отримано коефіцієнт викиду металу (*Квик* ~ 0,77), що є абсолютно кращим результатом з відомих на 2004 р., за даними AGIE Company (~ 0,6, технологія eCut). 8. На основі експериментальних досліджень характеру утворення та виносу з МЕП газопарових бульбашок уточнено механізм теплообміну на поверхні ерозійної лунки після закінчення імпульсу струму шляхом установлення долі теплообміну кипінням. Доведено, що в діапазоні швидкості обтікання поверхні лунки робочою рідиною 0 – 5 м/с коефіцієнт теплообміну при кипінні в залежності від температури поверхні може бути в 10 – 100 разів вище за коефіцієнт конвективного теплообміну. 9. Досліджені гідродинамічні особливості обтікання ДЕІ при використанні в якості робочої рідини водних розчинів ПАР. Встановлено, що домішки ПАР призводять до зменшення в 1,5–2 рази гідравлічного опору щілинного зазору за рахунок ламініризації пограничного шару та зменшення в’язкості рідини. В результаті необхідна швидкість потоку промивання МЕП досягається при більш низьких тисках у гідросистемі верстата. 10. Шляхом математичного та експериментального моделювання досліджені умови, за яких можливе нагрівання локальної ділянки дроту до температур, при яких напруга від натягу перевищує межу міцності матеріалу дроту. На основі розробленої методології створено та апробовано базові експериментальні статистичні моделі, які дозволяють на етапі проектування технологічного процесу вирізання розрахувати поєднання параметрів обробки (тривалість імпульсу, амплітуду робочого струму, частоту слідування імпульсів, кількість імпульсів в групі, тривалість групової паузи, гідродинамічні умови та величину МЕП), що забезпечують імовірність безобривного різання на рівні 95 % при максимальній для обраного типу верстата, генератора технологічного струму та матеріалів електродів продуктивності процесу. 11. Аналітичним шляхом отримано рівняння для розрахунку викривлень ДЕІ від дії зусиль, що виникають при різанні, для випадку чотирикоординатної електроерозійної обробки. Це дозволило шляхом урахування викривлення ДЕІ в будь-якому довільному перетині різу вдосконалити аналітичні методи розрахунку спотворень траєкторії різу при чотирикоординатному ЕЕДВ та підвищити за рахунок синтезу спеціальних траєкторій руху приводів подачі точність чотирикоординатного ЕЕДВ повного зйому з ± 0,05 до ± 0,02 мм без використання систем зворотного зв’язку по величині прогину ДЕІ. 12. Теоретично обґрунтовано та експериментально доведено можливість використання систем катодного захисту для безелектролізної електроерозійної обробки з використанням серійних генераторів квазіуніполярних імпульсів. Отримано формули для визначення величини захисного потенціалу, який забезпечить безелектролізне ЕЕДВ і тим самим виготовлення високоякісних деталей з високими показниками міцності і точності поверхні. 13. Розроблене математичне описання фізико-технологічних процесів ЕЕДВ та програмне забезпечення для комп’ютерного моделювання та розрахунків дозволяють швидко та в достатній мірі адекватності прогнозувати кількісні параметри електричних, теплових, газогідродинамічних та механічних процесів ЕЕДВ, взаємопов’язаних через робочу зону, та визначати їх вплив на кінцеві показники процесу: продуктивність вирізання, точність контуру, шорсткість та якість отриманих поверхонь. Програмне забезпечення має зручний інтерфейс для роботи в операційних системах Windows 9x/NT/2000, орієнтоване на САПР AutoCAD фірми “Autodesk” та мову програмування СЧПК вітчизняних електроерозійних вирізних верстатів моделі СЕЛД. 14. Математичне описання фізико-технологічних процесів ЕЕДВ є науковою основою САПР технологій, технічних рішень прийнятих при проектуванні основних технологічних систем, базових алгоритмів роботи СЧПК та алгоритмів керування енерговиділенням генератора МГКІ–1 дослідного зразка першого вітчизняного чотирикоординатного ЕЕВВ на лінійних приводах з газовим змащенням напрямних СЕЛД 04, розробленого ТОВ “Араміс” в 2004 р. Крім того окремі результати досліджень впроваджено на 5 підприємствах України та 1 підприємстві Росії (підтверджено відповідними актами (додатки А - Є)), що забезпечило покращення на 20 – 100 % кінцевих показників обробки на порівняно недорогому обладнанні, яке не комплектується системами адаптивного керування процесом вирізання. | |