

ISSN: 2304-4519
eISSN: 2312-0584

1 (13) 2016

Technological Complexes

scientific journal



<http://www.t-komplex.net.ua>

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ



ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

Виходить 2 рази на рік
Заснований у січні 2010 року

№ 1 (13) 2016

*Відповідальний редактор проф., д-р техн. наук, заслужений діяч науки і
техніки України – Б.О. Пальчевський*

ISSN 2304-4519
eISSN 2312-0584

Луцьк • Луцький НТУ • 2016

УДК 621.0

**Registered the State Committee for Information Policy, Television and
Radio Broadcasting of Ukraine.**

State registration certificate KB № 16542–5014 P.

Зареєстрований державним комітетом інформаційної політики,
телебачення та радіомовлення України.

Свідоцтво про державну реєстрацію KB № 16542–5014 P.

Publisher and Founder: Lutsk National Technical University

Видавець та засновник: Луцький національний технічний університет

Editorial office address:

Ukraine, 43018,

Lutsk, 56 Potebni str.

Lutsk National Technical University

Tel.: (0332) 76-73-95

E-mail: info@t-komplex.net.ua

pavp@lntu.edu.ua

Адреса редакції:

Україна, 43018,

м. Луцьк, вул. Потебні, 56

Луцький НТУ

Тел.: (0332) 76-73-95

E-mail: info@t-komplex.net.ua

pavp@lntu.edu.ua

Рекомендовано до друку рішенням Вченої ради Луцького НТУ
(протокол № 12 засідання від 24.05.2016)

**«Technological complexes» is a scientific specialized edition of Ukraine, where the
results of dissertations for scientific degree of PhD and candidate of science can
be published**

**(resolution of the Presidium of Higher Attestation Commission of Ukraine
№ 1-05/2 23.02.2011;**

Ministry of Education and Science of Ukraine order №747, 13.07.2015)

“Технологічні комплекси” є науковим фаховим виданням України, в якому
можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових
ступенів доктора та кандидата технічних наук

(постанова Президії ВАК України № 1-05/2 від 23.02.2011;

Наказ Міністерства освіти і науки України № 747 від 13.07.2015)

CONTENTS

MODELING, OPTIMIZATION, STRUCTURAL ANALYSIS AND SYNTHESIS OF TECHNOLOGICAL COMPLEXES

- Palchevskiy B.** Modeling, optimization, structural synthesis of technological equipment 5
- Gola A., Świć A.** Actual trends in manufacturing systems development 14
- Melnyk O., Firanskyy V.** Analysis of the technological component of information support of cad systems in machine building 24

DESIGN, ALGORITHMIZATION AND DIAGNOSIS OF TECHNOLOGICAL COMPLEX AUTOMATED CONTROL SYSTEMS

- Krestianpol O.** Principles modeling of complicated process of its automated design 33
- Osypenko V., Plakhotnyi O., Denysenko A.** Modeling of nozzle in jet pump mode for electrical discharge and electrochemical machining 40
- Palchevskiy B., Krestianpol O., Bondarchuk D.** Efficiency increasing of flexible production module For capping bottles 47
- Palchevskiy B., Velykyi O.** Methodology of automated defining of optimal terms in technological complex maintenance introduction 50
- Vlakh V., Pasika V.** Automated synthesis of mechanism of press of diecutting machine 57

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGICAL COMPLEXES IN VARIOUS INDUSTRIES

- Janczarek M.M.** Energy saving operation structures in terms of variable temperature atmospheric 64
- Krestyanpol L.** The developing of «smart packaging». The information technology use for the logistics 70
- Valetsky B.** Automatic packing of small hacksaw blades 75

DESIGN OF TECHNOLOGICAL COMPLEXES FUNCTIONAL ELEMENTS

- Dzhuguryan T., Marchuk I., Olexin M.** Forming geometrical parameters of surface rotation rings on grinding operations 80
- Stotsko Z., Rebot D., Topilnytskiy V.** Modeling and optimization of the parameters of loose environment vibratory separation 86
- Pasika V., Kazmirovych O.** Mathematical model of the mechanism of formation of paper piles of given volume of computing grouping device of sheet cutting machine 91

ЗМІСТ

МОДЕЛЮВАННЯ, ОПТИМІЗАЦІЯ, СТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ І СИНТЕЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

- Пальчевський Б.О.** Моделювання і оптимізаційний синтез структури технологічного устаткування
- Gola A., Świć A.** Aktualne kierunki rozwoju systemów produkcyjnych
- Мельник О.О., Фіранський В.Б.** Аналіз технологічної складової інформаційного забезпечення систем автоматизованого проектування в машинобудуванні

ПРОЕКТУВАННЯ, АЛГОРИТМІЗАЦІЯ І ДІАГНОСТИКА СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ КОМПЛЕКСАМИ

- Крестьянполь О.А.** Принципи моделювання складних технологічних систем при їх автоматизованому проектуванні
- Осипенко В.І., Плахотний О.П., Денисенко А.Ю.** Моделювання роботи сопла в режимі струменевого насоса для електроерозійної та електрохімічної обробки
- Пальчевський Б.О., Крестьянполь О.А., Бондарчук Д.В.** Підвищення ефективності гнучкого виробничого модуля Для закупорювання пляшок
- Пальчевський Б.О., Великий О.А.** Методика автоматизованого визначення оптимальних термінів обслуговування технологічних комплексів
- Влах В.В., Пасіка В.Р.** Автоматизований синтез механізму пресу штанцювального автомата

РОЗВИТОК ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ У РІЗНИХ ГАЛУЗЯХ ВИРОБНИЦТВА

- Janczarek M.M.** Energy saving operation structures in terms of variable temperature atmospheric
- Крестьянполь Л.Ю.** Розробка «smart packaging» з використанням інформаційних технологій та його застосування в логістичних системах
- Валецький Б.П.** Автоматизація процесу пакування малих полотен пил

ПРОЕКТУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

- Джугурян Т.Г., Марчук І.В., Олексин М.В.** Формування геометричних параметрів поверхонь обертання кілець на кругло-шліфувальних операціях
- Стоцько З.А., Ребот Д.П., Топільницький В.Г.** Моделювання та оптимізація параметрів вібраційної сепарації сипких середовищ
- Пасіка В.Р., Казьмірович О.Р.** Математична модель механізму формування стосів паперу заданого обсягу лічильно-групуючого пристрою аркушорізальної машини

UDC 532.525:533.697.5

Osypenko V., DThSc., Prof.,
Plakhotnyi O., Ph.D. in Engineering
Denysenko A.

Cherkasy State Technological University / Ukraine

MODELING OF NOZZLE IN JET PUMP MODE FOR ELECTRICAL DISCHARGE AND ELECTROCHEMICAL MACHINING

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СОПЛА В РЕЖИМІ СТРУМЕНЕВОГО НАСОСУ ДЛЯ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОЇ ТА ЕЛЕКТРОХІМІЧНОЇ ОБРОБКИ

Abstract: The subject of the study is a device - a nozzle for supplying the power fluid in the interelectrode gap during technological process of consistent electrical discharge and electrochemical machining by wire electrode. Suggested design eliminates the harmful phenomenon of air injection, provides the necessary flow rate of fluid coaxially with the wire electrode, stability and uniformity of the operating environment in the processing zone. The results of numerical modeling and experimental research of nozzle in jet pump mode with controlled supply of fluid through an additional channel of calculated cross section are given. Conducted practical testing of nozzle during electrical discharge and electrochemical machining showed productivity gains of material removal and quality of obtained workpiece surface.

Keywords: jet pump, nozzle, computational fluid dynamics, wire electrical discharge machining, wire electrode, electrochemical machining.

INTRODUCTION

Wire electrical discharge machining (WEDM) is a specialized thermal process that can accurately produce parts with complex shapes that have sharp edges, from material of different hardness, which are very difficult to be obtained through traditional methods of machining [1]. This practical technology uses common techniques of contactless material removal by erosion process under spark discharge. Over the years WEDM process is competitive and economical version, which fully meets the requirements of precision machining, short cycle time of fabrication operation.

Recently, WEDM potential acquired fuller usage in combined and hybrid technologies, which uses electric erosion along with other physical and chemical principles of material removal [1, 2]. Technology of consistent of electrical discharge and electrochemical machining of wire electrode is perspective, cost-effective and efficient [3]. After completion of cut electrical discharge operation without parts permutation and replacing the wire electrode in the processing area in the interelectrode space the electrolyte is submitted and electrochemical finishing of workpiece surface is taken under pulse current action. Managed anodic dissolution of the surface layers reduces surface roughness after electrical discharge machining considerably, removes upper molten layer and eliminates unwanted heat affected zone.

Power fluid (usually - water) for electrical discharge machining process is served coaxial to wire electrode of two chambers, lower and upper one

Анотація: Предметом дослідження роботи є пристрій – сопло для подачі робочої рідини в між-електродний проміжок при технологічному процесі послідовної електроерозійної та електрохімічної обробки дротяним електродом. Запропонована конструкція усуває шкідливе явище інжекції повітря, забезпечує необхідну швидкість потоку рідини коаксіально з дротяним електродом, стабільність та однорідність робочого середовища в зоні обробки. Наводяться результати чисельного моделювання та експериментальних досліджень роботи сопла в режимі струменевого насоса з контрольованою подачею рідини через додатковий канал розрахованого поперечного перерізу. Проведена практична апробація сопла в процесі електроерозійної та електрохімічної обробки показала підвищення продуктивності видалення матеріалу та якості отриманої поверхні деталі.

Ключові слова: струменевий насос, сопло, обчислювальна гідродинаміка, електроерозійна вирізна обробка, дротяний електрод, електрохімічна обробка.

ВСТУП

Електроерозійна вирізна обробка дротяним електродом (ЕЕВОДЕ) є спеціалізованим термічним процесом, здатним точно виготовити деталі складних форм, які мають гострі краї, з матеріалу різної твердості, що дуже важко можуть бути отримані за допомогою традиційних методів механічної обробки [1]. Ця практична технологія використовує загальновідому техніку безконтактного знімання матеріалу за рахунок ерозійних процесів при при іскрових розрядах. На протязі багатьох років процес ЕЕВОДЕ залишається конкурентним і економічним варіантом, який повністю задовольняє вимоги високоточної обробки, короткої тривалості циклу виготовлення деталей.

Останнім часом потенціал ЕЕВОДЕ набув повнішого використання в комбінованих та гібридних технологіях, де наряду з електроерозією використовуються інші фізико-хімічні принципи видалення матеріалу [1, 2]. Перспективною, економічно вигідною та ефективною є технологія послідовної електроерозійної та електрохімічної обробки дротяним електродом [3]. Після виконання вирізної електроерозійної операції без перестановки деталі та без заміни дротяного електроду в зону обробки в міжелектродний проміжок подається електроліт і під дією імпульсного струму відбувається електрохімічне фінішування поверхні деталі. Кероване анодне розчинення поверхневих шарів значно зменшує шорсткість поверхні після електроерозійної обробки, видаляє верхній переплавлений шар, усуває небажані зони термічного впливу.

Робоча рідина (найчастіше – вода) для процесу електроерозійної обробки подається коаксіально

and is equipped with nozzles (Fig. 2). Technological operation occurs in the bath so that the parts and nozzles are completely immersed in the power fluid. Constant improvement of nozzle design ([4], etc.) is intended to perform the basic function of nozzles - forming of stable narrow water flow of high that penetrates into thin interelectrode space and effectively removes erosion.

In the next operation on the technology of wire dimensional electrochemical machining (WDEM) parts and nozzles are not immersed into the fluid and electrolyte stream from the upper nozzle is fed into the operating region. Hydrodynamic stream parameters are determined by depending on the composition of electrolyte, concentration, modes of electrical impulses [5], and most importantly, must be precisely met along the entire height of the working unit of wire electrode and throughout the processing cycle for a given trajectory on the workpiece surface.

Calculations and modeling of electrochemical dissolution processes in laminar and turbulent conditions of electrolyte stream clearly indicate the scope of strict number observations of Schmidt and Sherwood for the effective control of diffusion, convection and migration of ions [6]. Particularly stable distribution of flow field in the interelectrode space should be provided for NaNO_3 electrolyte which is extremely sensitive to the formation and lifecycle of the passivating film on the surface of the steel anodes by changing the speed of the electrolyte [7].

The operating practice of nozzle on modes typical of WDEM showed that during processing can be occurred the issue of formation of air traps within the electrolyte. It is connected with injection phenomenon i.e. tightening air into nozzle, which changes the direction of the fluid, disturbs stability and uniformity of the jet at the outlet of the nozzle (Fig. 1). It is unacceptable to technological system operation.

Overcoming the problem is to solve the problem of engineering modifications of the internal structure of the nozzle in relation to solving a scientific problem - numerical simulation and optimization of hydrodynamic flows inside the nozzle for the complete elimination of harmful effects and ensure the stability of the jet at the outlet of the nozzle.

дротяному електроду з двох камер, нижньої і верхньої, оснащених соплами (рис.2). Технологічна операція відбувається у ванні так, що деталь і сопла повністю занурені в робочу рідину. Постійне вдосконалення конструкції сопел ([4] та ін.) має на меті виконання основної функції сопел – формування стабільного вузького струменя води високого тиску, який проникає в тонкий міжелектродний проміжок і ефективно видаляє продукти ерозії.

При наступній операції по технології електрохімічної розмірної обробки дротяним електродом (ЕХРОДЕ) деталь і сопла не занурюються в рідину, а струмінь електроліту з верхнього сопла подається в зону обробки. Гідродинамічні параметри струменю визначаються в залежності від складу електроліту, концентрації, режимів електричних імпульсів [5], і головне, повинні бути точно дотримані вздовж всієї висоти робочої частини дротяного електроду та на протязі всього циклу обробки по заданій траєкторії на поверхні деталі. Розрахунки та моделювання процесів електрохімічного розчинення при ламінарному та турбулентному режимах течії електроліту чітко вказують на строгі рамки дотримання чисел Шмідта та Шервуда для ефективного контролю дифузії, конвекції та міграції іонів [6]. Особливо стабільний розподіл поля швидкостей потоку в міжелектродному проміжку має бути забезпечений для електроліту NaNO_3 , який є надзвичайно чутливим до утворення та часу існування пасивуючих плівок на поверхні сталевих анодів при зміні швидкості руху електроліту [7].

Практика експлуатації сопла на режимах характерних для ЕХРОДЕ показала, що під час обробки може виникати проблема утворення бульбашок повітря всередині потоку електроліту. Це пов'язано з явищем інжекції, тобто затягуванням повітря в сопло, що змінює напрям руху рідини, порушує стабільність та однорідність струменю на виході із сопла (рис.1). Для роботи технологічної системи це неприпустимо.

Подолання проблеми полягає у вирішенні інженерної задачі модифікації конструкції внутрішньої будови сопла у взаємозв'язку з вирішенням наукової задачі – чисельному моделюванні і оптимізації гідродинамічних потоків всередині сопла для повного усунення шкідливих явищ і забезпечення стабільності струменю на виході із сопла.

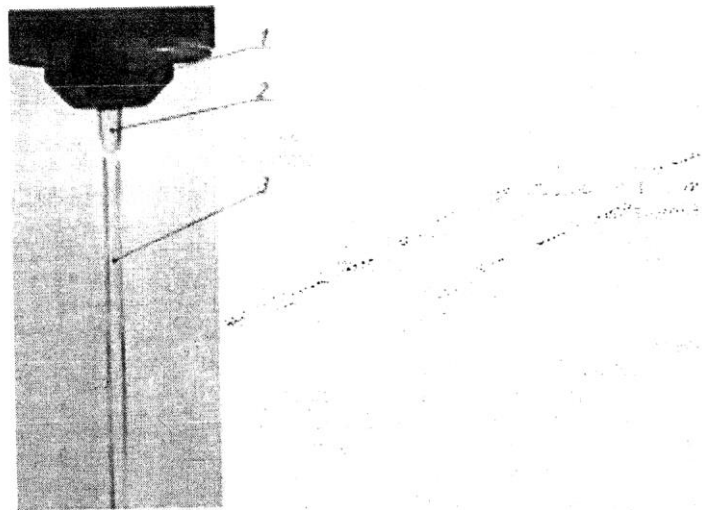


Fig. 1 – The air bubble inside the jet at the outlet of the nozzle indicates of harmful air injection phenomenon, that destabilizes the fluid flow parameters / Повітряна бульбашка всередині струменю на виході із сопла свідчить про шкідливе явище інжекції повітря, яке дестабілізує параметри потоку рідини: 1 – nozzle / сопло; 2 – bubble / бульбашка; 3 – jet / струмінь

THE PURPOSE OF THE WORK

The purpose is in providing of set hydrodynamic regime of power fluid feed in the processing area for two consecutive technological processes - WEDM and WDEM by modifying the nozzle design on the basis of calculations of its operation.

THE MAIN ARTICLE

Nozzle (Fig. 2) for a consistent electrical discharge and electrochemical wire machining is placed in the upper chamber of EDM machine, which serves concurrently as a nozzle cap 3. It consists of the internal flow generator 8 and the outer part 10. In the centre of flow generator 8 is channel 6 along which the wire electrode 5 is fed. The power fluid through the inlet port 1 is fed to the chamber 2, where through channels 9 is passed into the outside nozzle part 10 and then through the excretory channel 11 under the pressure is fed outside as a jet, coaxial to wire electrode 5.

МЕТА РОБОТИ

Мета роботи полягає в забезпеченні заданих гідродинамічних режимів подачі робочої рідини в зону обробки для двох послідовних технологічних процесів – ЕЕВОДЕ та ЕХРОДЕ шляхом модифікації конструкції сопла на основі проведених розрахунків його роботи.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ

Сопло (рис. 2) для послідовної електроерозійної та електрохімічної дрітної обробки розміщується у верхній камері електроерозійного верстату, яка служить одночасно кришкою сопла 3. Воно складається з внутрішнього формувача потоку 8 та зовнішньої частини 10. В центрі формувача потоку 8 знаходиться канал 6 вздовж якого подається дріт-електрод 5. Робоча рідина через впускний отвір 1 подається до камери 2, звідки через канали 9 проходить у зовнішню частину сопла 10 і надалі через вивідні канали 11 під тиском виводиться назовні у вигляді струменя, коаксіально дріту-електроду 5.

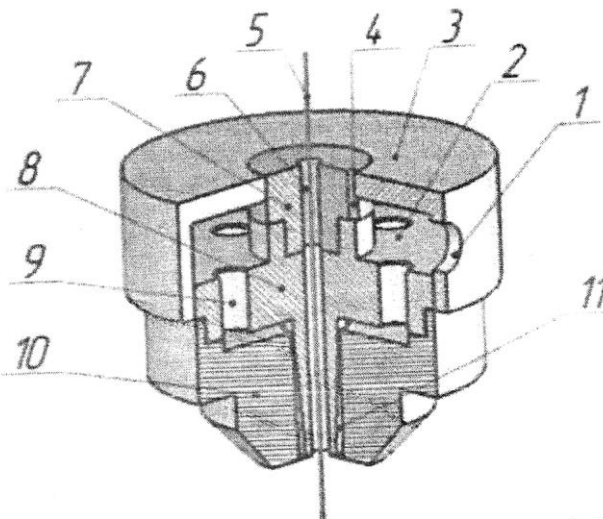


Fig. 2 – Nozzle structure diagram / Схема пристрою сопла: 1 – inlet port / впускний отвір; 2 – camera inside of the nozzle / камера в середині сопла; 3 – lid nozzle / кришка сопла; 4 – additional channel (groove) / додатковий канал (паз); 5 – wire-electrode tool (WET) / дріт-електрод інструмент (ДЕІ); 6 – WET delivery port / канал подачі ДЕІ; 7 – variable insert with groove / змінна вставка з пазом; 8 – internal flow conditioner / внутрішній формувач потоку; 9 – distributing canals of internal flow conditioner 8 / розподільчі канали внутрішнього формувача потоку 8; 10 – the outer part of the nozzle / зовнішня частина сопла; 11 – exit channel of nozzle / канал виходу із сопла

The configuration of parts of the nozzle that form an exit channel 11, create conditions similar to the operating modes of the jet pumps with nozzle ring [9, 10]. In the result of injection, air is sucked into the nozzle through the channel 6 and forcibly enters into the output stream, breaking its stability. Simulation showed that by changing the geometry of the exit section within the adherence of required hydrodynamic parameters of operation air injection could not be liquidated completely. Therefore, it is decided to hold a design improvement so that to replace air injection to injection of the power fluid. Modification of the nozzle is as follows.

The internal flow conditioner is equipped with a variable insert 7 with an additional groove 4. Conditioner and insertion interconnected by thread. This allows using one nozzle for different pressures with replacing only the insert 7. And now the main part of power fluid from the chamber 2 through channel 9 goes into the outer part of the nozzle 10 and then goes through the exit channel 11. The other, much less part of liquid under pressure goes

Конфігурація частин сопла, що формують канал виходу 11, створюють умови подібні до режимів роботи струменевих насосів з кільцевим соплом [9, 10]. В результаті явища інжекції повітря через канал 6 затягується в сопло і примусово попадає у вихідний струмінь, порушуючи його стабільність. Моделювання показало, що зміною геометрії вихідних частин сопла в межах дотримання необхідних гідродинамічних параметрів роботи не вдається повністю позбутися інжекції повітря. Тому вирішено провести удосконалення конструкції так, щоб замінити інжекцію повітря на інжекцію робочої рідини. Модифікація сопла полягає в наступному.

Внутрішній формувач потоку комплектується змінною вставкою 7 з додатковим пазом 4. Формувач і вставка з'єднані між собою за допомогою різьби. Це дає змогу використовувати одне сопло для різних тисків з заміною лише вставки 7. Тепер основна частина робочої рідини з камери 2 через канали 9 проходить у зовнішню частину сопла 10 і надалі через вивідні канали 11. А інша, значно менша, частина рідини під дією тиску виходить через додатковий паз

through an additional groove 4, calculated cross section onto the lid surface 3 and through channel 6 enters into the working area, thus replacing the physical phenomenon of air injection in the injection of fluid and avoiding excessive spreading of liquid on the lid surface 3. The groove is to smooth out the fluid pressure in the nozzle and ensures the availability of controlled fluid volume of the upper nozzle lid. The value of the groove should be selected depending on the pressure and speed of the fluid supplied to the nozzle.

Simulation of hydrodynamic processes within the nozzle was carried out to determine the geometric design parameters that would provide guaranteed compliance of needed regimes for the formation of the output stream for WEDM and WDEM technologies, had resistance to possible errors in the manufacturing of main parts of the nozzle and pressure fluctuations of power fluid at the output. Research was conducted among modern CFD software packs of computational hydrodynamics.

Applied mathematical model of fluid medium state inside the nozzle is based on the numerical solution of the system of hydrodynamic equations for Newtonian incompressible fluids. It is accounted laminar, turbulent and transitional modes by Reynolds-averaged Navier-Stokes equations (RANS equations). It was used averaged by small-time effect of turbulence on the flow parameters and large-temporal changes, averaged over small-time of hydrodynamic parameters flow components (pressure, velocity) reflected by the introduction of the relevant derivatives over time. As a result, in equations additional terms appeared - RANS equations, and to close this system transfer equations of turbulence kinetic energy and its dissipation within the $k-\epsilon$ model of turbulence are used similarly [8]. Mass transfer processes under the assumption of their minor impact and cavitation phenomenon because of the absence of conditions for their occurrence in value range of studied parameters are not included. Physical fluid properties (viscosity, density etc.) were set by equal value of the physical properties of aqueous electrolyte solutions NaNO_3 and NaCl -30% concentrations at a temperature of 30-45 °C. As the boundary conditions during numerical experiments overpressure at the nozzle inlet was set, at the output was set environmental pressure.

Visual representation of the characteristic pressure distribution, obtained in the calculation of the fluid is shown in Fig. 3. Similarly fluid velocity fields inside the nozzle and in its output are obtained. Analysis of the results makes it possible to identify "critical" places of design, in terms of the uniformity of the fluid, to provide set mode of outflow from nozzle with changing design parameters and pressure at the inlet. On the output of SEI delivery port (Fig. 3, b) there is dilution region with lower pressure 101325 Pa. This means that the fluid is sucked in SEI delivery port, i.e. injection phenomenon takes place. Quantitatively, it is possible to estimate it by the flow of fluid in annular section channel around SEI. Such values of fluid should be provided by additional groove 4 (Fig. 2, Fig. 3, a) to infill channel with SEI fluid and to prevent an air inhaling. Thus, criterion for calculating the geometric parameters of the additional groove depending on the input pressure and configuration of nozzle parts that create the injection processes is obtained.

4, розрахованого поперечного перетину на поверхню кришки 3 і через канал 6 потрапляє в робочу зону, тим самим замінюючи фізичне явище інжекції повітря на інжекцію рідини та уникаючи надмірного розтікання рідини по поверхні кришки 3. Паз служить для вирівнювання тиску рідини в соплі і забезпечує наявність контрольованого об'єму рідини над верхньою кришкою сопла. Величину паза необхідно вибирати в залежності від тиску та швидкості руху рідини, що подається в сопло.

Моделювання гідродинамічних процесів всередині сопла здійснювалось з метою встановлення геометричних параметрів конструкції, які б гарантовано забезпечували дотримання потрібних режимів формування вихідного струменя для технологій ЕЕВОДЕ і ЕХРОДЕ, мали стійкість до можливих похибок виготовлення складових частин сопла та флуктуацій тиску робочої рідини на вході. Дослідження проводились в середовищі сучасних CFD програмних пакетів обчислювальної гідродинаміки.

Застосована математична модель стану текучого середовища всередині сопла ґрунтується на чисельному розв'язку системи рівнянь гідродинаміки для нестисливої ньютонівської рідини. Враховані ламінарні, турбулентні та перехідні режими шляхом усереднення по Рейнольдсу рівнянь Нав'є – Стокса. Використовувався усереднений по малому масштабу часу вплив турбулентності на параметри потоку, а великомасштабні часові зміни, усереднені по малому масштабу часу складових гідродинамічних параметрів потоку (тиску, швидкості), враховані шляхом введення в розгляд відповідних похідних по часу. В результаті в рівняннях з'явилися додаткові доданки – напруження по Рейнольдсу, і для замкнення цієї системи використані рівняння переносу кінетичної енергії турбулентності і її дисипації в рамках $k-\epsilon$ моделі турбулентності, аналогічно [8]. Не враховані процеси тепломасопереносу за припущенням їх незначного впливу та кавітаційні явища по причині відсутності умов для їх виникнення в діапазоні значень досліджуваних параметрів. Фізичні властивості рідини (в'язкість, густина і т.п.) задавалися рівним значенням фізичних властивостей водних розчинів електролітів NaNO_3 та NaCl -30% концентрації при температурі 30-45 °C. В якості граничних умов при проведенні чисельного експерименту задавався надлишковий тиск на вході сопла, на виході – тиск оточуючого середовища.

Візуальне представлення характерного розподілу тиску, отриманого в процесі розрахунку руху рідини, наведено на рис. 3. Аналогічно отримані поля швидкостей рідини всередині сопла і на його виході. Аналіз результатів дає можливість виявити "критичні" місця конструкції, з точки зору рівномірності руху рідини; забезпечити заданий режим виходу струменя із сопла зі зміною конструктивних параметрів та величини тиску на вході. Так на виході з каналу подачі ДЕІ (рис. 3, б) спостерігається область розрідження з тиском меншим 101325 Па. Це означає, що рідина затягується по каналу подачі ДЕІ, тобто має місце явище інжекції. Кількісно його можна оцінити за витратою рідини по перерізу кільцевого каналу навколо ДЕІ. Саме таке значення витрати рідини повинен забезпечувати додатковий паз 4 (рис.2, рис. 3, а) для заповнення каналу з ДЕІ рідиною і запобігання затягуванню повітря. Таким чином отримано критерій для розрахунку геометричних параметрів додаткового паза в залежності від вхідного тиску та конфігурації частин сопла, які створюють інжекційні процеси.

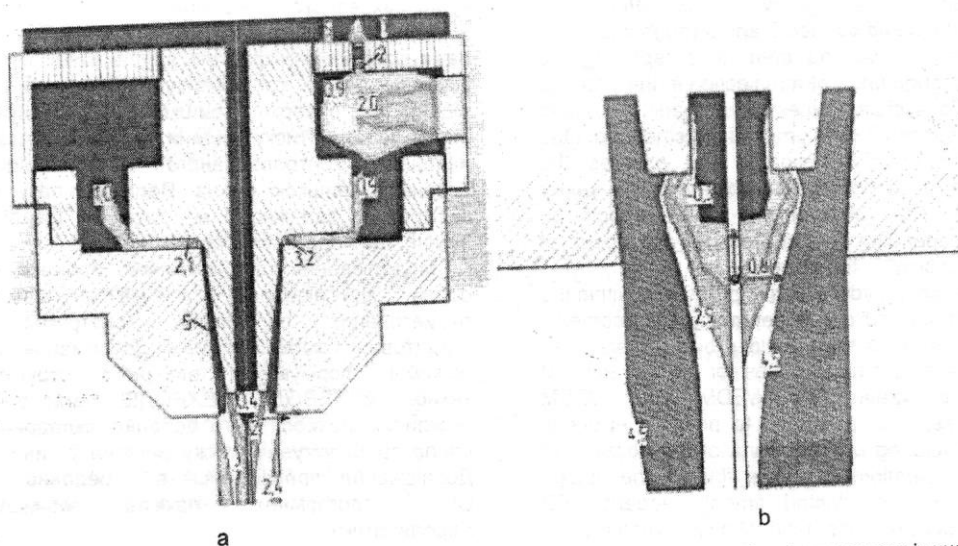


Fig. 3 – Visualization of the results of numerical modeling of fluid flow in the nozzle / Візуалізація результатів чисельного моделювання руху рідини в соплі: а - the internal geometry of nozzle, velocity field (m / s) / внутрішня геометрія сопла поле швидкостей, (м/с); б - exit area of jet from nozzle - distribution of excess pressure, (kPa) / область виходу струменя із сопла – розподіл надлишкового тиску, (кПа)

A number of calculations are carried out and square value of cross-section of an additional channel for different configurations of the internal structure of the nozzle and inlet supply pressure of electrolyte are set. They are specific to the system in WDEM mode.

To verify received data and to refine the calculation model, series of experimental measurements are carried out. Additional groove 4 was blocked, on top of the SEI input channel feed sampling tube are attached hermetically, the other end of which is submerged in a separate container with controlled volume of liquid. During feeding a fluid to nozzle inlet with a given excess pressure flow rate was measured (by weight) that was sucked down through the sampling tube and liquid flow at the outlet of the nozzle. Calculated and experimental results for the nozzle design (Figure 2) are shown in Table 1. Differences within an acceptable engineering accuracy are taken.

Проведено ряд розрахунків та встановлено значення площі поперечного перерізу додаткового каналу для різних конфігурацій внутрішньої будови сопла та вхідних тисків подачі електроліту, характерних для роботи системи в режимі ЕХРОДЕ.

Для перевірки отриманих даних та уточнення розрахункової моделі проведено серію експериментальних вимірювань. Додатковий паз 4 був перекритий, зверху на вхід каналу подачі ДЕІ герметично прикріплена забірна трубка, інший кінець якої занурений в окрему ємність з контрольованим об'ємом рідини. При подачі на вхід сопла рідини із заданим надлишковим тиском вимірювалися витрати рідини (шляхом зважування), що засмоктувалась через забірну трубку, та витрати рідини на виході із сопла. Розрахункові та експериментальні результати для конструкції сопла (рис.2) приведені в таблиці 1. Отримані розбіжності в межах допустимої інженерної точності.

Table 1

Comparison of the calculated and experimental results / Порівняння розрахункових та експериментальних результатів

Specifications / Характеристики		The numerical values / Числові значення				
Excessive inlet pressure, atm / Надлишковий тиск на вході, атм		0,2	0,3	0,4	0,45	0,5
Expenses on the output of the nozzle Q_{output} , l / min Витрати на виході із сопла $Q_{\text{вих}}$, л/хв	calculation / розрахунок	0,72	0,9	1,03	1,14	1,2
	experiment / експеримент	0,7	0,96	1,1	1,16	1,24
	error, % похибка, %	+3	-6	-6,3	-2	-3
Expenses through additional channel Q_{groove} , l / min Витрати через додатковий канал $Q_{\text{паз}}$, л/хв	calculation / розрахунок	0,014	0,016	0,022	0,027	0,029
	experiment / експеримент	0,016	0,017	0,024	0,029	0,031
	error, % похибка, %	-12,5	-6	-8	-7	-6

A number of computational experiments to identify places in the nozzle design of the most "sensitive" in terms of maintaining given hydrodynamic modes to errors by manufacturing in

Проведено ряд обчислювальних експериментів по виявленню місць в конструкції сопла найбільш "чутливих", з точки зору збереження заданих гідродинамічних режимів, до похибок при виготовленні

order to establish reasonable requirements for precision in design documentation are held.

In particular established, that variations in surface roughness of nozzle parts in calculations under the applicable model did not lead to significant changes in the output parameters (Table 2).

з метою встановлення обґрунтованих вимог по точності в конструкторській документації.

Зокрема встановлено, що варіації шорсткості поверхні деталей сопла при розрахунках в рамках застосованої моделі не призвели до суттєвих змін у вихідних параметрах (табл.2).

Table 2

Dependence of fluid flow from the surface roughness of nozzle parts

Excess pressure at the inlet P , atm / Надлишковий тиск на вході P , атм	0,2	0,3	0,4	0,45	0,5
The numerical value of expenses, l/min / Числові значення витрат, л/хв					
Perfect surface / Ідеальна поверхня	0,72	0,9	1,03	1,14	1,2
Roughness $R_z=10 \mu\text{m}$ / Шорсткість $R_z=10 \text{ мкм}$	0,72	0,9	1,03	1,14	1,2
Roughness $R_z=20 \mu\text{m}$ / Шорсткість $R_z=20 \text{ мкм}$	0,73	0,91	1,03	1,15	1,2

A range of test calculations of hydraulic processing characteristics of the received internal geometry of the nozzle is done on the mode of high input pressure typical to nozzle operation at WEDM technology to determine the exact hydrodynamic parameters of the fluid jet at the outlet of the nozzle directed to interelectrode gap for removing the products of erosion.

Practical testing of the nozzle during electrical discharge and electrochemical machining is conducted. During EDM processing was observed effective removal of products of erosion from interelectrode gap that ensured increasing of cutting speed. And in the process of the next electrochemical machining is received steady even jet of electrolyte around the wire electrode across height-anode parts, which in turn had a positive impact on the quality of finish surface of parts.

CONCLUSIONS

1. On the basis of the calculated and experimental researches the design of the nozzle is set, which provides the necessary hydrodynamic characteristics of the jetting of power fluid into the processing area at consecutive WEDM and WDEM technologies.
2. Patentable is a design solution with additional channel of calculation cross section that completely eliminates the air injection and stabilizes the output jet.
3. Design modeling technique is developed on basis of methods of computational fluid dynamics (CFD methods), which increases the productivity and design accuracy of feed units of power fluid for technological processes significantly.

REFERENCES

- [1]. Ho K., Newman S., Rahimifard S., Allen R. (2004) – State of the art in wire electrical discharge machining (WEDM). International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 44, N.12, p. 1247–1259.
- [2]. Ghodsiyeh D., Golshan A., Shirvanehdeh J. (2013) – Review on Current Research Trends in Wire Electrical Discharge Machining (WEDM). Indian Journal of Science & Technology, Vol. 6, N. 2, p. 4128–4140.
- [3]. Osipenko V., Plakhotny A., Denisenko A. (2014) – Improved methodology for calculating the processes of surface anodic dissolution of spark eroded recast layer at electrochemical machining with wire

Виконано комплекс перевірочних розрахунків гідравлічних характеристик роботи отриманої внутрішньої геометрії сопла на режимах підвищеного вхідного тиску, типових для експлуатації сопла при технології ЕЕВОДЕ з метою встановлення точних гідродинамічних параметрів струменю рідини на виході із сопла, спрямованого в міжелектродний проміжок для видалення продуктів ерозії.

Проведена практична апробація сопла в процесі електроерозійної та електрохімічної обробки. При електроерозійній обробці спостерігалось ефективне видалення продуктів ерозії з міжелектродного проміжку, що забезпечило підвищення швидкості різання. А при наступній електрохімічній обробці отримано стабільний рівномірний струмінь електроліту навколо дріт'яного електроду по всій висоті деталі-аноду, що в свою чергу позитивно вплинуло на якість фінішної поверхні деталі.

ВИСНОВКИ

1. На основі розрахункових та експериментальних досліджень запропоновано конструкцію сопла, яке забезпечує необхідні гідродинамічні характеристики подачі струменя робочої рідини в зону обробки при послідовних технологіях ЕЕВОДЕ та ЕХРОДЕ.
2. Патентоспроможним є конструкційне рішення з додатковим каналом розрахованого поперечного перерізу, що повністю усуває інжекцію повітря і стабілізує вихідний струмінь.
3. Розроблено розрахункову методику моделювання на основі методів обчислювальної гідродинаміки (CFD методів), яка суттєво підвищує продуктивність і точність проектування пристроїв подачі робочої рідини для технологічних процесів.

БІБЛІОГРАФІЧНІ ПОСИЛАННЯ

- [1]. Ho K., Newman S., Rahimifard S., Allen R. (2004) – State of the art in wire electrical discharge machining (WEDM). International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 44, N.12, pg. 1247–1259.
- [2]. Ghodsiyeh D., Golshan A., Shirvanehdeh J. A. (2013) – Review on Current Research Trends in Wire Electrical Discharge Machining (WEDM). Indian Journal of Science & Technology, Vol. 6, N. 2, pg. 4128–4140.
- [3]. Osipenko V. I., Plakhotny A. P., Denisenko A. Y. (2014) – Improved methodology for calculating the processes of surface anodic dissolution of spark eroded recast layer at electrochemical machining with wire electrode. Праці Одеського політехнічного університету.

electrode. Writings of the Odessa Polytechnic University. – №1, p. 55–60.

- [4]. Yamada H., Koba R., Magara T., Akiyoshi M. (2006) – Working liquid ejector of wire electric discharge machine. U.S. Patent No 7 078 645.
- [5]. Bannard J. (1977) – Effect of flow on the dissolution efficiency of mild steel during ECM. *Journal of Applied Electrochemistry*, Vol. 7, N. 3, p. 267–270.
- [6]. Nelissen G., Van Den Bossche B., Deconinck J., Van Theemsche A., Dan C. (2003) – Laminar and turbulent mass transfer simulations in a parallel plate reactor. *Journal of applied electrochemistry*, Vol. 33, N. 10, p. 863–873.
- [7]. Van Damme S., Nelissen G., Van Den Bossche B., Deconinck J. (2006) – Numerical model for predicting the efficiency behaviour during pulsed electrochemical machining of steel in NaNO_3 . *Journal of applied electrochemistry*, Vol. 36, N. 1, p. 1–10.
- [8]. Lomakin V., Chaburko P. (2014) – Effect of geometric shape of the nozzle of jet pump on its performance. *Science and education. Bauman MSTU. Electronic journal.* – № 12, p. 210–219.
- [9]. Laman, B. (1988) – Water-jet pumps and machines. – L.: Mechanical engineering. Leningrad department. – 256 p.
- [10]. Kim S., Kwon S. (2006) – Experimental determination of geometric parameters for an annular injection type supersonic ejector. *Journal of fluids engineering*, Vol. 128, N. 6, p. 1164–1171.

– № 1, C. 55–60.

- [4]. Yamada H., Koba R., Magara T., Akiyoshi M. (2006) – Working liquid ejector of wire electric discharge machine. U.S. Patent No 7 078 645.
- [5]. Bannard J. (1977) – Effect of flow on the dissolution efficiency of mild steel during ECM. *Journal of Applied Electrochemistry*, Vol. 7, N. 3, pg. 267–270.
- [6]. Nelissen G., Van Den Bossche B., Deconinck J., Van Theemsche A., Dan C. (2003) – Laminar and turbulent mass transfer simulations in a parallel plate reactor. *Journal of applied electrochemistry*, Vol. 33, N. 10, pg. 863–873.
- [7]. Van Damme S., Nelissen G., Van Den Bossche B., Deconinck J. (2006) – Numerical model for predicting the efficiency behaviour during pulsed electrochemical machining of steel in NaNO_3 . *Journal of applied electrochemistry*, Vol. 36, N. 1, pg. 1–10.
- [8]. Ломакин В.О., Чабурко П. С. (2014) – Влияние геометрической формы сопла струйного насоса на его характеристики, Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон.журн. – № 12, С. 210–219.
- [9]. Лямаев Б. Ф. (1988) – Гидроструйные насосы и установки. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние – 256 с.
- [10]. Kim S., Kwon S. (2006) – Experimental determination of geometric parameters for an annular injection type supersonic ejector. *Journal of fluids engineering*, Vol. 128, N. 6, pg. 1164–1171.