

## ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА

УДК 621.9.048.4

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8\(39\).1.28-36](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8(39).1.28-36)

А.О. Сергєєв, асп., В.М. Боков, проф., канд. техн. наук, В.М. Шмельов, доц., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна  
e-mail: Viktor.alia.kntu@gmail.com

## Багатомодульна електроерозійна головка розмірної обробки дугою

Запропоновано концепцію багатомодульної електроерозійної головки розмірної обробки дугою, що включає склад, загальний технічний опис та схеми підключення модулів. Показано, що використання електроерозійної головки розмірної обробки дугою зі станцією робочої рідини та джерелом живлення технологічним струмом на базі настільного свердлувального верстата дозволяє розширити її технологічні можливості за рахунок використання багатомодульного принципу обробки без суттєвого підвищення вартості обладнання.

**електроерозійна головка, розмірна обробка дугою, настільний свердлувальний верстат, станція робочої рідини, джерело живлення технологічним струмом**

**Постановка проблеми.** В сучасних умовах на ремонтних заводах та майстернях існує потреба обробки різних деталей із важкооброблюваних матеріалів, наприклад, із сталі Г13, загартованих сталей та твердих сплавів. Для обробки отворів різної форми поперечного перерізу та порожнин, а також поверхонь тіл обертання в таких деталях, як правило використовують електроерозійні методи обробки, зокрема електроімпульсну обробку.

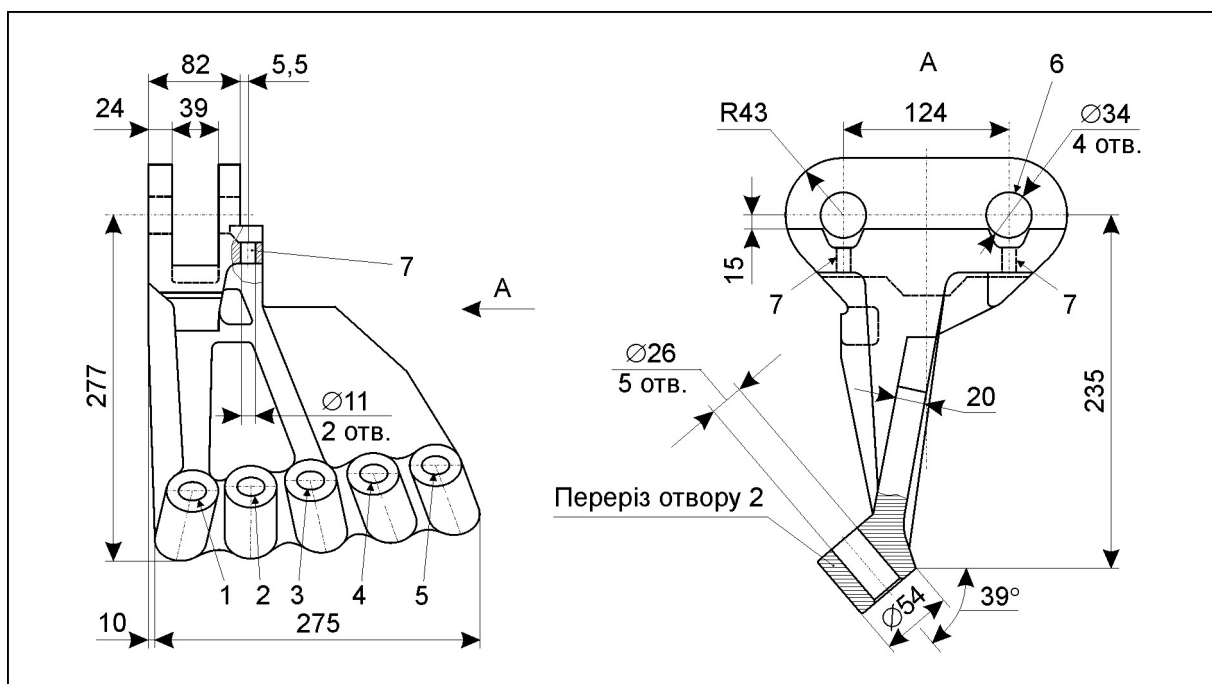
При реалізації електроімпульсної обробки процес супроводжується обов'язковими паузами, які негативно впливають на продуктивність обробки. Крім того, електроімпульсні верстати багато коштовні та призначені для виконання обмеженого виду робіт. Так, вони не здатні обробляти отвори та порожнини безпосередньо на великогабаритному виробу, що суттєво обмежує їх технологічні можливості. Саме тому для виконання ремонтних робіт електроімпульсні верстати застосовуються крайнє рідко.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** За роботами [1, с. 1-2; 2, с. 4-5; 3, с. 3; 4, с. 3-4; 5, с. 7] відомий спосіб розмірної обробки електричною дугою (РОД). Сутність РОД полягає в тому, що обробку здійснюють електричною дугою, яка горить поміж електродом-інструментом та електродом-заготовкою в поперечному потоці рідини при динамічному тиску потоку в зоні обробки не менше 1...2 кПа. Відмінною особливістю способу РОД, порівняно з електроімпульсною обробкою, є значно більш висока продуктивність обробки (приблизно на порядок та більше). Так, максимальне досягнуте значення продуктивності обробки способом РОД складає:

- для сталі 45 – 27300 мм<sup>3</sup>/хв.;
- для твердого сплаву ВК15 – 3700 мм<sup>3</sup>/хв.;
- для титанового сплаву ВТ3-1 – 8100 мм<sup>3</sup>/хв.;
- для нержавіючої сталі 1Х18Н9Т – 36000 мм<sup>3</sup>/хв.

В роботі [6] наводиться опис та технічні характеристики стаціонарних електроерозійних верстатів, що реалізують спосіб РОД. Типовий верстат РОД включає в себе: власне верстат, станцію робочої рідини, станцію гідроприводу, джерело живлення постійним технологічним струмом (звичайно, зварювальний випрямляч) та пульт керування. Саме тому, дані верстати масивні, складні у виготовленні, займають велику площу та багато коштовні, а для виконання ремонтних робіт використовуються лише деякі з них.

Так, колійний ремонтно-механічний завод ВАТ «ТРАНСМАШ», м. Дніпро, спеціалізується по ремонту колійних машин для формування шару гравію при прокладанні нової колії. Крім того, завод виготовляє багато різного інструмента для складання та розбирання рейок. В колійній машині для формування шару гравію робочими елементами є лапи, які закріплені на довгому замкнутому ланцюгу, що складається з окремих ланок. За формою лапа схожа на руку людини (рис. 1).



1...5 – отвори для встановлення твердосплавних «пальців»; 6 – чотири отвори, які підлягають розточуванню (шляхом прошивання на верстаті «Дуга 8Д») з діаметра 34 мм на діаметр 40 мм;  
7 – два наскрізних отвори, що підлягають прошиванню на верстаті «Дуга 8Д»

Рисунок 1 – Креслення деталі «Лапа»

Джерело: креслення ВАТ «ТРАНСМАШ» [6, с. 191]

Лапи та ланки ланцюгів працюють в умовах інтенсивного абразивного зносу, тому отвори для кріплення лап до ланок ланцюга із круглих ( $\varnothing 34$  мм) з часом перетворюються на овальні. Ремонт ланок полягає в розточуванні отворів до  $\varnothing 40$  мм. Проблемним питанням на заводі є, власне механічне розточування цих отворів, бо і лапи, і ланки виготовляються із важкооброблюваної сталі 110Г13Л. Застосування твердосплавного інструмента суттєво обмежено тим, що в процесі механічної обробки інструмент працює «на удар» та руйнується. Проблема розточування даних отворів була вирішена, коли завод придбав стаціонарний електроерозійний копіювально-прошивний верстат «Дуга 8Д» (рис. 2, а), що реалізує процес РОД. Порівняно з механічною обробкою твердосплавним інструментом, продуктивність обробки зросла у

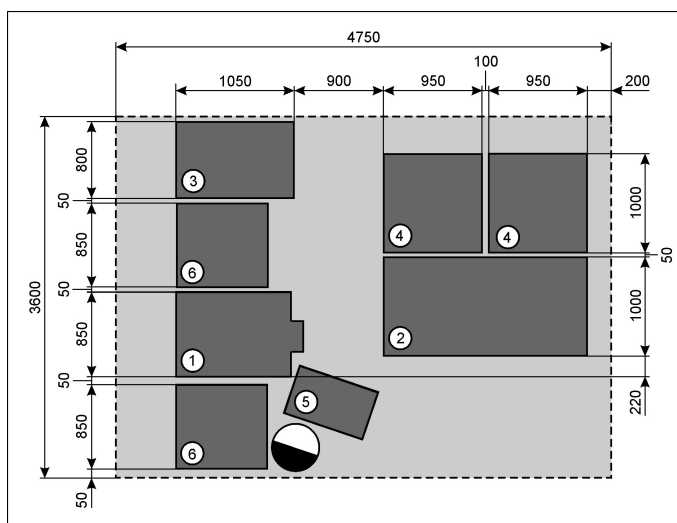
2 – 3 рази. Саме тому даний вид ремонту завод робить вже 19 років. Але вартість верстата та площа установки (17,1 м<sup>2</sup>) достатньо великі (рис. 2, б).

Крім того, для ремонтних робіт використовуються переносні електроерозійні машини та головки, що реалізують процес РОД

Так за роботою [6, с. 120-139] відома переносна електроерозійна машина «Дуга 23М» (рис. 3), що реалізує процес РОД. Вона використовується на судноремонтному заводі для прошивання отворів Ø25 мм на вертикальній циліндричній поверхні великогабаритної деталі, що виготовлена із листової маломагнітної сталі 45Г17Ю3, товщиною 6 – 8 мм. З метою забезпечення мобільності користування, основні елементи машини та прилади поміщені у перевізний контейнер (рис. 4).



а

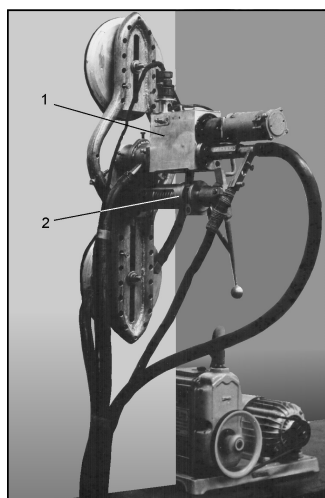


б

1 – верстат; 2 – станція робочої рідини; 3 – станція гідроприводу; 4 – зварювальний випрямляч; 5 – пульт керування; 6 – дві підставки

Рисунок 2 – Оператор ВАТ «ТРАНСМАШ» прошиває отвори діаметром 40 мм а деталі «Лапа» на електроерозійному верстаті «Дуга 8Д», що реалізує процес РОД: а – загальний вид верстата; б – план-схема установки

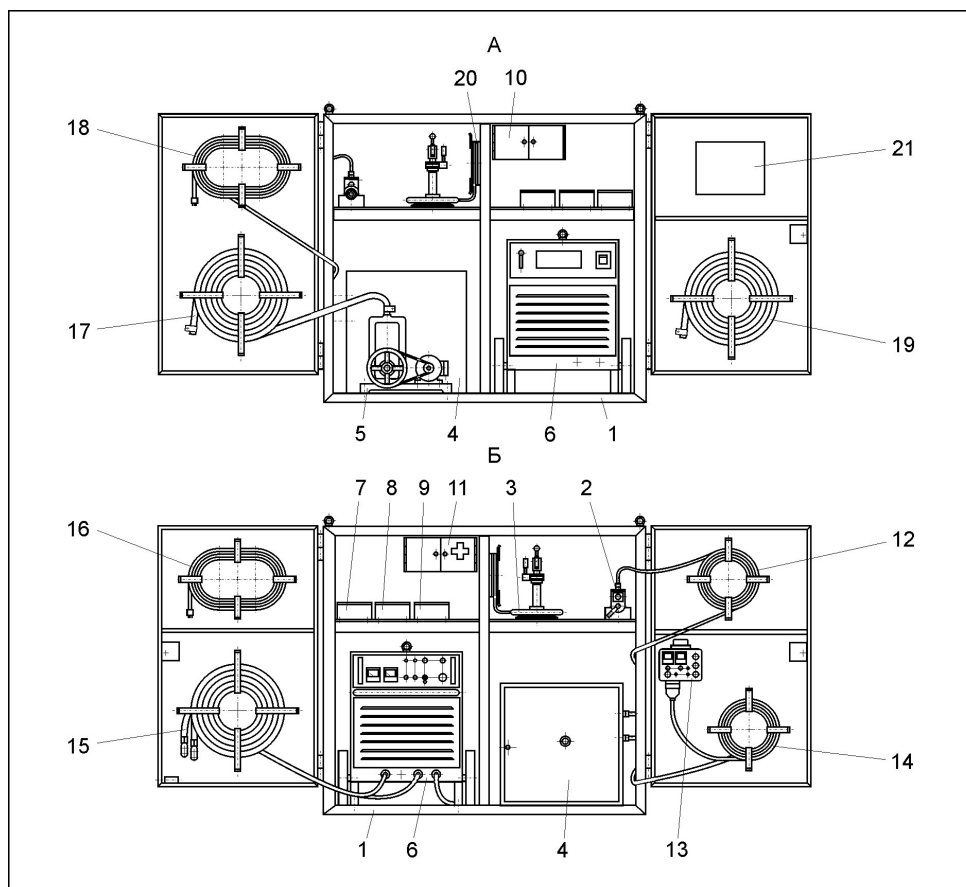
Джерело: розробка автора Бокова В.М.



1 – інструментальна головка з електромеханічним приводом; 2 – механізм позиціонування електрода-інструмента

Рисунок 3 – Переносна електроерозійна машина «Дуга 23М» в робочому стані [6]

Джерело: розробка автора Бокова В. М.



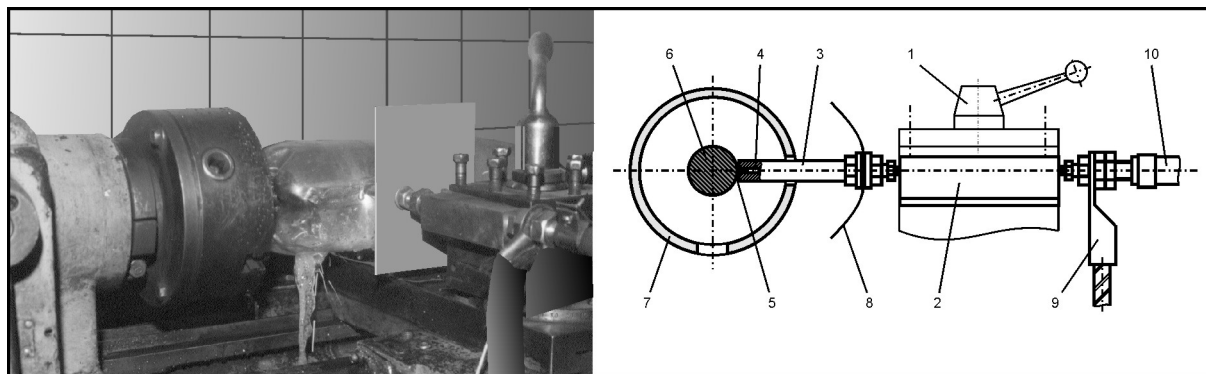
- 1 – контейнер; 2 – інструментальна головка; 3 – механізм позиціонування електрода-інструмента; 4 – електрошафа; 5 – вакуумний насос; 6 – зварювальний випрямляч; 7 – ящик з технологічним інструментом; 8 – ящик з запасними та змінними деталями машини, що швидко зношуються; 9 – ящик з графітовими електродами-інструментами; 10 – шафа для техдокументації; 11 – аптечка; 12 – електрокабель живлення електродвигуна механізму переміщення штока; 13 – переносний пульт керування; 14 – електрокабель переносного блоку керування; 15 – два електрокабеля живлення машини технологічним струмом; 16 – рукав дренажу робочої рідини; 17 – рукав вакуумнаосу; 18 – електрокабель живлення установки (~380 В); 19 – рукав для нагнітання робочої рідини; 20 – електрокабель заземлення; 21 – інструкція щодо експлуатації установки та правилам техніки безпеки

Рисунок 4 – Перевізний контейнер з відкритими передніми (вид А) та задніми (вид Б) дверцями  
Джерело: розробка автора Бокова В. М. [6]

Прикладом застосування електроерозійної головки «Дуга 40» (рис. 5) для РОД тіл обертання може служити робота [6, с. 168-183]. Дана головка змонтована на токарному верстаті 16К20 замість різця. Обробка здійснюється переважно графітовими циліндричними електродами-інструментами 3. Робочою рідиною є технічна вода, але краще змащувальна охолоджувальна рідина, яка подається крізь центральний отвір 4 в електроді-інструменті 3 під технологічним тиском. Для запобігання попадання робочої рідини в струминному режимі на оператора, робоча зона головки закрыта прозорою камерою 7. Головка постачається автономною станцією робочої рідини та джерелом живлення постійним технологічним струмом. Головка має ручний привод осьової та радіальної подачі електрода-інструмента 3.

За роботою [6, с. 187] відома електроерозійна головка розмірної обробки дугою зі станцією робочої рідини та джерелом живлення технологічним струмом на базі настільного свердлувального верстата (рис. 6). Вона проста за конструкцією, не

потребує модернізації базового верстата, використовує ручний привод подачі електрода-інструмента, мало коштовна та займає малу площу.



1 – різцетримач; 2 – електродотримач; 3 – електрод-інструмент; 4 – центральний отвір в електроді-інструменті; 5 – торцевий зазор; 6 – електрод-заготовка (тіло обертання); 7 – прозора камера; 8 – екран; 9 – струмовідвід; 10 – напірний рукав робочої рідини

Рисунок 5 – Електроерозійна головка «Дуга 40» до токарного верстата для РОД тіл обертання:

а – головка в дії; б - схема

*Джерело: розробка автора Бокова В.М.*

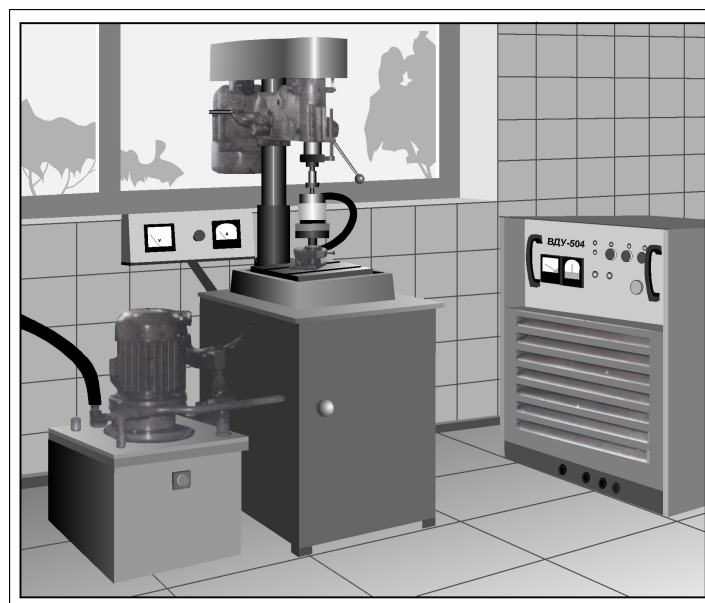


Рисунок 6 – Електроерозійна прошивна головка, що створена на базі настільного свердлувального верстата

*Джерело: розробка автора Бокова В.М.*

Однак відома головка має вузьке технологічне призначення. Вона застосовується переважно для обробки отворів та порожнин у відносно невеликих деталях. В той же час є потреба в обробці дугою тіл обертання із важкооброблюваних матеріалів (наприклад, із сталі Г13, загартованих сталей, твердих сплавів тощо), обробці отворів в великогабаритних деталях, зокрема із товстолистової сталі. Саме тому застосування головки на ремонтних заводах та майстернях обмежено.

**Постановка завдання.** Із викладеного вище виходить, що для умов ремонтних заводів та майстерень доцільно мати електроерозійне обладнання з широкими

технологічними можливостями. Крім того, воно повинно бути простим у виготовленні, займати невелику площу та мало коштувати.

В цьому зв'язку, певний практичний інтерес являє можливість застосування багатомодульного обладнання. Така можливість не була об'єктом дослідження.

Метою дослідження є розширення технологічних можливостей головки без суттєвого підвищення її вартості за рахунок застосування багатомодульного обладнання.

Для досягнення поставленої мети необхідно розробити концепцію електроерозійної багатомодульної головки розмірної обробки дугою, що включає склад, загальний технічний опис та схеми підключення модулів.

**Виклад основного матеріалу.** Загальним для усіх розглянутих вище електроерозійних головок та переносних машин є те, що всі вони мають станцію робочої рідини та джерело живлення технологічним струмом. Якщо прийняти до уваги, що для умов ремонтних заводів та майстерень найбільш підходить електроерозійна головка, що створена на базі настільного свердлувального верстата (рис. 7), то взявши її за основу та зробивши її багатомодульною, можна досягнути поставленої мети.

Таким чином, концептуально задача вирішується у відомій електроерозійній головці розмірної обробки дугою (модуль 1) зі станцією робочої рідини та джерелом живлення технологічним струмом на базі настільного свердлувального верстата за рахунок того, що стіл для верстата виконано у вигляді контейнера, в якому зберігаються один або два додаткові мобільні модулі іншого технологічного призначення, наприклад модуль 2 для розмірної обробки дугою тіл обертання, що встановлюється на токарний верстат замість різця, та модуль 3 для розмірної обробки дугою отворів у великогабаритних деталях, що виконано автономно у вигляді переносної електроерозійної машини, причому усі модулі живляться від однієї станції робочої рідини та одного джерела живлення технологічним струмом, але працюють не одночасно.

Пояснення щодо підключення багатомодульної електроерозійної головки наводиться на рисунку 7.

Електроерозійна головка 1, як модуль М1, призначена переважно для розмірної обробки дугою отворів та порожнин у відносно невеликих деталях. Вона працює на базі настільного свердлувального верстата 2. Стіл для верстата 2 виконано у вигляді контейнера 3, в якому зберігаються два додаткові мобільні модулі іншого технологічного призначення, наприклад модуль М2 для розмірної обробки дугою тіл обертання, що встановлюється на токарний верстат 4 замість різця у вигляді електроерозійної головки (на кресленні показано умовно), та модуль М3 для розмірної обробки дугою отворів у великогабаритних деталях 5, що виконано автономно у вигляді переносної електроерозійної машини (на кресленні показано умовно). Крім того, в контейнері 3 монтується станція робочої рідини 6 та джерело живлення технологічним струмом 7.

Для розмірної обробки дугою отворів та порожнин у відносно невеликих деталях, електроерозійну головку 1, як модуль М1, підключають до станції робочої рідини 6 та джерела живлення технологічним струмом 7 так, як показано на фіг. 1. При цьому кран К2, що стоїть на магістралі 8, в якій робоча рідина знаходиться під технологічним тиском (звичайно від 0,3 до 1,5 МПа), закривають, кран К1 відкривають, а рубильник Р, що керує силовим струмом, вмикають. При обробці дугою робоча рідина рухається за замкнутою траєкторією: бак – напірні магістралі 8, 9, 10, 11, 12 –

герметична камера модуля М1 – зливні магістралі 13, 14, 15, 16 – фільтр для відокремлювання продуктів ерозії від робочої рідини (на кресленні не показано) – бак.

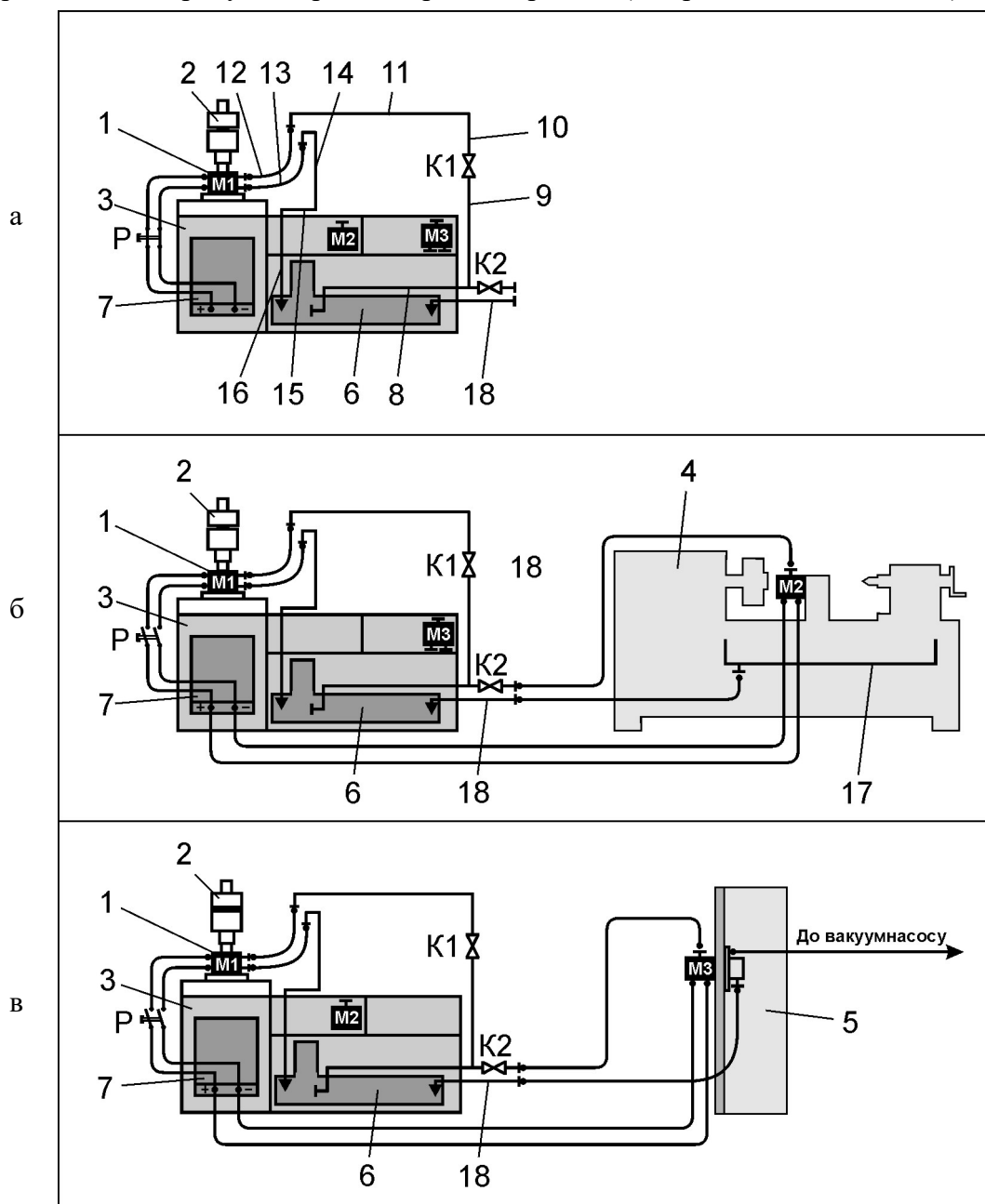


Рисунок 7 – Схеми підключення багатомодульної електроерозійної головки, що пропонується, до станції робочої рідини та джерела живлення технологічним струмом: а – коли працює тільки модуль 1, а модуль 2 та модуль 3 відключені; б – коли працює тільки модуль 2, а модуль 1 та модуль 3 відключені; в – коли працює тільки модуль 3, а модуль 1 та модуль 2 відключені

Джерело: розробка авторів

Для розмірної обробки дугою тіл обертання, із контейнера 3 виймають модуль М2, встановлюють його на токарний верстат замість різця і підключають до станції робочої рідини 6 та джерела живлення технологічним струмом 7 так, як показано на фіг. 2. При цьому кран К1 закривають, кран К2 відкривають, а рубильник Р вимикають.

Вилучення відпрацьованої робочої рідини з піддону 17 токарного верстата в бак здійснюється через зливну магістраль 18.

Для розмірної обробки дугою отворів у великогабаритної деталі 5, із контейнера 3 виймають модуль МЗ, встановлюють його на деталі 5 за допомогою вакуумних захватів (на кресленні не показано) і підключають до станції робочої рідини 6 та джерела живлення технологічним струмом 7 так, як показано на фіг. 3. При цьому кран К1 закривають, кран К2 відкривають, а рубильник Р вимикають.

Як бачимо, усі три модулі живляться від однієї станції робочої рідини 6 та одного джерела живлення 7, але працюють не одночасно.

Слід відмітити, якщо усі три модуля мають ручну подачу електрода-інструмента, вони можуть використовувати один переносний малогабаритний пульт керування (на кресленнях не показано).

**Висновки.** Розроблено концепцію електроерозійної багатомодульної головки розмірної обробки дугою, що включає склад, загальний технічний опис та схеми підключення модулів. Показано, що використання електроерозійної головки розмірної обробки дугою зі станцією робочої рідини та джерелом живлення технологічним струмом на базі настільного свердлувального верстата дозволяє розширити її технологічні можливості за рахунок використання багатомодульного принципу обробки без суттєвого підвищення вартості обладнання.

## Список літератури

1. Носуленко В. І. Розмірна обробка металів електричною дугою: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук: 05.03.07 . Київ, 1999. 36 с.
2. Боков В. М. Розмірне формоутворення поверхонь електричною дугою: монографія. Кіровоград: Поліграфічно-видавничий центр ТОВ «Імекс ЛТД», 2002 . 300 с.
3. Боков В.М., Попова М.І. Обробка отворів електричною дугою: монографія. Кіровоград: Поліграфічно-видавничий центр ТОВ «Імекс ЛТД», 2014 . 160 с.
4. Боков В. М., Сіса О. Ф. Оброблюваність матеріалів електричною дугою: монографія . Кіровоград: Поліграфічно-видавничий центр ТОВ «Імекс ЛТД», 2013 . 172 с.
5. Боков В. М. Фізичні процеси спец технологій. Експериментальні дослідження : навч. посіб. Кропивницький: Поліграфічно-видавничий центр ТОВ «Імекс ЛТД», 2022 . 625 с.
6. Боков В. М. Технологія розмірної обробки дугою. Історичний нарис, верстати . Кропивницький: ПП «Ексклюзив-Систем», 2020. 316 с.

## References

1. Nosulenko, V.I. (1999). Rozmirna obrobka metaliv elektrychnoiu duhoiu [Dimensional processing of metals with an electric arc] : *Extended abstract of doctor's thesis* . Kyiv [in Ukrainian].
2. Bokov, V.M. (2002). *Rozmirne formoutvorennia poverkhon elektrychnoiu duhoiu [Dimensional shaping of surfaces by an electric arc]*. Kirovohrad: Polihrafichno-vydavnychiy tsentr TOV «Imeks LTD» [in Ukrainian].
3. Bokov, V.M. & Popova, M.I. (2014). *Obrobka otvoriv elektrychnoiu duhoiu [Treatment of holes with an electric arc]*. Kirovohrad: Polihrafichno-vydavnychiy tsentr TOV «Imeks LTD» [in Ukrainian].
4. Bokov, V.M. & Sisa, O.F. (2013). *Obrobliuvanist materialiv elektrychnoiu duhoiu [Processing of materials with an electric arc]*. Kirovohrad: Polihrafichno-vydavnychiy tsentr TOV «Imeks LTD» [in Ukrainian].
5. Bokov, V.M. (2022). *Fizychni protsesy spets tekhnolohii. Eksperymentalni doslidzhennia [Physical processes of special technologies. Experimental studies]* . Kropyvnytskyi: Polihrafichno-vydavnychiy tsentr TOV «Imeks LTD» [in Ukrainian].
6. Bokov, V.M. (2020). *Tekhnolohiia rozmirnoi obrobky duhoiu. Istorychnyi narys, verstaty [Technology of dimensional processing with an arc]*. Kropyvnytskyi: PP «Ekskliuzyv-System» [in Ukrainian].

**Anton Sergeev**, graduate-student, **Viktor Bokov**, Prof., PhD tech. sci., **Vitaly Shmelov**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.



*Central Ukrainian National Technical University, Kropivnitskiy, Ukraine*

### **Multi-Module Electroerosion Head for arc Dimensional Processing**

In modern conditions at repair plants and workshops, there is a need to process various parts from hard-to-machine materials, for example, from G13 steel, hardened steels and hard alloys. When implementing electropulse processing, the process is accompanied by mandatory pauses that negatively affect processing performance. A distinctive feature of the arc dimensional processing method, compared to electric pulse processing, is a significantly higher processing productivity (approximately by an order of magnitude or more), but stationary machines are massive, difficult to manufacture, occupy a large area and are very expensive. Therefore, only some of them are used for repair work. In addition, portable EDM machines and heads implementing the ROD process are used for repair work, but they have a narrow technological purpose.

The purpose of the research is to expand the technological capabilities of the head without significantly increasing its cost due to the use of multi-module equipment.

Conceptually, the problem is solved in a well-known electroerosion head of arc dimensional processing (module 1) with a working fluid station and a power source with technological current based on a desktop drilling machine due to the fact that the table for the machine is made in the form of a container in which one or two additional mobile modules are stored of another technological purpose, for example, module 2 for dimensional arc processing of bodies of rotation, which is installed on a lathe instead of a cutter, and module 3 for dimensional arc processing of holes in large-sized parts, which is made autonomously in the form of a portable EDM machine, and all modules are powered by one working fluid station and one power source with process current, but do not work simultaneously.

The concept of the electroerosion multi-module head for dimensional processing of the arc, which includes the composition, general technical description and module connection diagrams, has been developed. It is shown that the use of an EDM head for dimensional processing with an arc with a working fluid station and a power source with a technological current based on a desktop drilling machine allows you to expand its technological capabilities due to the use of a multi-module processing principle without significantly increasing the cost of equipment.

**EDM head, dimensional arc processing, desktop drilling machine, working fluid station, process current power source**

*Одержано (Received) 25.08.2023*

*Прорецензовано (Reviewed) 14.09.2023*

*Прийнято до друку (Approved) 30.10.2023*