

УДК 621.9.048.4

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2024.54.47-54>

**А.О. Сергеев**, 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*

## Удосконалення електроерозійної головки розмірної обробки дугою стрижнів на базі настільного свердлувального верстата

Запропонована нова електроерозійна головка розмірної обробки дугою стрижнів на базі настільного електроерозійного верстата, що постачається підкладною плитою, через яку робоча рідина, разом з продуктами ерозії, вилучається із зони обробки. Показано, що використання даної головки покращує її експлуатаційні характеристики та дозволяє вилучати продукти ерозії із зони обробки без застосування ручної праці.

**електроерозійна головка, продукти ерозії, розмірна обробка дугою, гідродинаміка, настільний свердлувальний верстат**

**Постановка проблеми.** На сучасних підприємствах застосовується різне обладнання для виготовлення стрижнів:

- гідравлічні преси для прямого видавлювання. Для забезпечення пластичності матеріалу, заготовку перед видавлювання, як правило, нагрівають, що потребує додаткового обладнання та коштів;

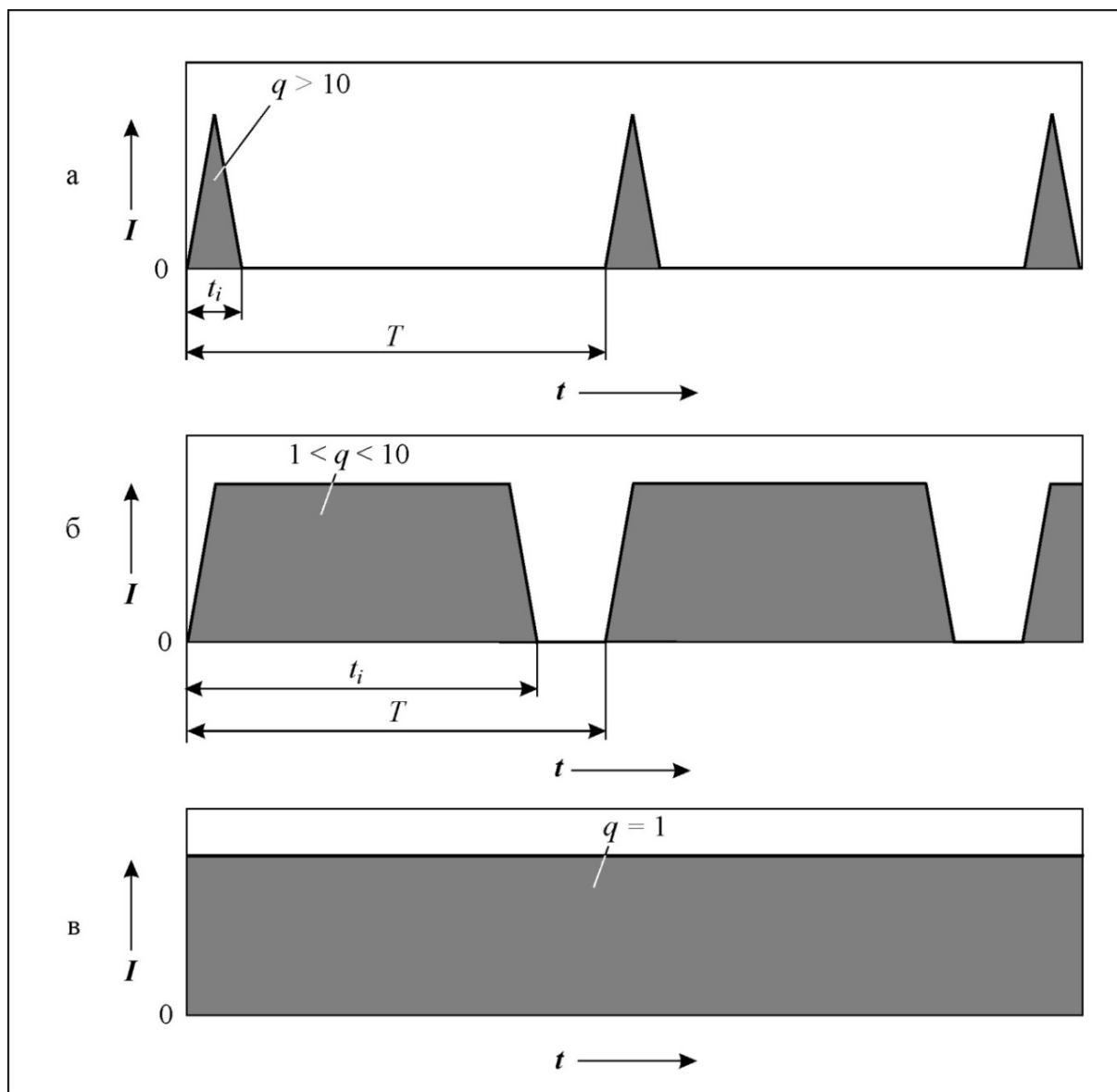
- металорізальні верстати. Так, токарні верстати використовують для обробки стрижнів круглого перерізу, а фрезерні – для фасонного. Однак, металорізальні верстати практично не застосовуються для виготовлення стрижнів із важкооброблюваних матеріалів, наприклад, сталі Г13, загартованих сталей, твердих сплавів.

В цьому зв'язку, певний практичний інтерес являють електроерозійні верстати, як більш універсальні та надійні.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** До електроерозійних верстатів, які можуть застосовуватися сьогодні для виготовлення стрижнів, відносяться електроіскрові верстати, електроімпульсні верстати та верстати для розмірної обробки електричною дугою (РОД – розмірна обробка дугою).

Сучасні електроіскрові верстати [1, див. центральну кольорову вставку між сторінками 48-49] мають безазорні високоточні двигуни руху електродів, забезпечують дзеркальні технології обробки, мають систему нанозносу електродів-інструментів та власні системи комп'ютерних програм. Вони дуже досконалі, але використовують в якості джерел живлення  $RC$ -генератори [2, с. 6]. Дані генератори забезпечують обробку виключно іскровими розрядами з енергією  $W_i$  від 0,0003 до 2 Дж та тривалістю  $t_i$  від  $10^{-4}$  до  $10^{-5}$  с. Електрична енергія вводиться в робочу зону невеликими порціями (дискретно) зі шпаруватістю  $q > 10$  (рис. 1, а). Саме тому продуктивність електроіскрової обробки дуже низька та не перевищує декілька сотень  $\text{мм}^3/\text{хв.}$  на чорнових режимах. Процес виготовлення стрижня на електроіскровому верстаті здійснюється у ванні без прокачування робочої рідини через центральний отвір

в електроді-інструменті, або при слабкому прокачуванні (статичний тиск рідини не перевищує 0,1 МПа). Продукти ерозії електродів осаджуються у ванну, накопичуються там та періодично вилучаються.



а – електроіскрова обробка; б – електроімпульсна обробка; в – розмірна обробка дугою;  
 $I$  – сила струму;  $t$  – час;  $T$  – період розряду;  $t_i$  – час існування (тривалість) розряду;  
 $q$  – шпаруватість введення енергії

Рисунок 1 – Схеми осцилограм різних способів електроерозійної обробки

Джерело: розроблено авторами

Більш продуктивними є електроімпульсні верстати, які в якості джерел живлення використовують спеціальні генератори імпульсів [2, с. 6, 7]. Вони ведуть обробку стрижнів короткочасними іскродуговими та дуговими розрядами з тривалістю імпульсу  $t_i$  від  $10^{-2}$  до  $10^{-4}$  с та шпаруватістю  $1 < q < 10$ , тобто із значно меншими паузами (рис 1, б). Продуктивність електроімпульсної обробки досягає декілька тисяч  $\text{мм}^3/\text{хв}$ . Але наявність пауз в підведенні енергії в зону обробки свідчить про те, що продуктивність електроімпульсної обробки не є найбільшою.

За роботами [3–8] відомі верстати, що реалізують спосіб РОД, які можуть бути застосовані для виготовлення стрижнів. Процес обробки стрижня здійснюється електричною дугою, яка безперервно (без пауз) горить між графітовим електродом-інструментом та електродом-заготовкою в поперечному потоці робочої рідини. В якості джерел живлення постійним технологічним струмом використовуються звичайні зварювальні випрямлячі. Вони дозволяють безперервно вводити в зону обробки великі потужності технологічного струму і тим самим позитивно впливають на продуктивність обробки. Так, продуктивність процесу РОД стрижня може у 8–0 разів перевищувати продуктивність електроімпульсної обробки. Отже, порівняно з електроімпульсними верстатами, час обробки стрижня на верстаті, що реалізує спосіб РОД, значно менший.

Однак, відомі верстати для РОД стрижнів мають велику вартість та займають велику площу, а тому не можуть бути застосовні на ремонтних заводах та майстернях.

Відомі електроерозійні головки розмірної обробки дугою для металорізального обладнання [2, с. 277]. Вони мають невелику вартість та займають невелику площу, але не забезпечують якісну і точну обробку стрижнів. Це пов'язано з тим, що робоча рідина разом з продуктами ерозії рухається в торцевому міжелектродному зазорі за напрямком від периферії до центру електрода-інструмента – зворотне прокачування. Як наслідок цього, бічний міжелектродний зазор в напрямку течії рідини безперервно збільшується, бічна поверхня стрижня формується конусоподібною, а її шорсткість зростає.

За роботою [1, с. 187-189] відома електроерозійна головка розмірної обробки дугою на базі настільного свердлувального верстата (рис. 2). При обробці стрижнів вона переналагоджується зі зворотнього на пряме прокачування, при якому робоча рідина в торцевому міжелектродному зазорі рухається за напрямком від центру до периферії електрода-інструмента. В наслідок того, що продукти ерозії не попадають в бічний міжелектродний зазор, стрижень формується циліндричної форми, а шорсткість обробленої бічної поверхні помітно зменшується.

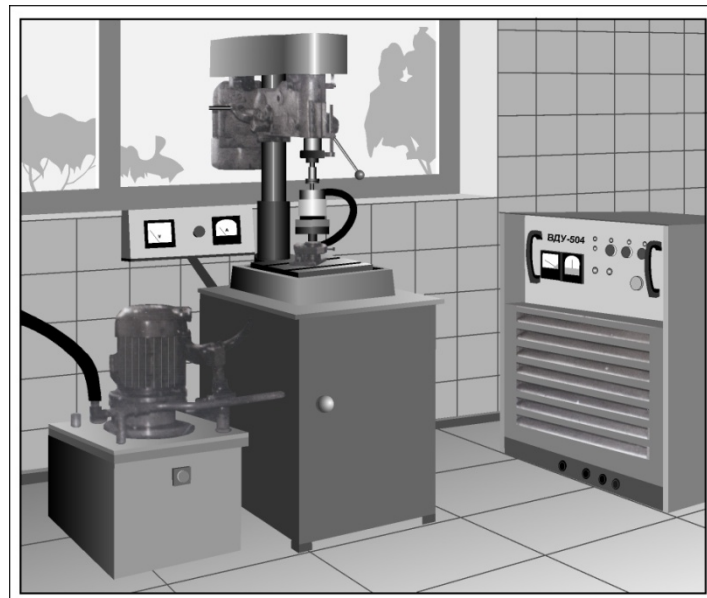


Рисунок 2 – Електроерозійна прошивна головка, що створена на базі настільного свердлувального верстата

*Джерело: розробка автора Бокова В. М.*

Однак при експлуатації відомої електроерозійної головки продукти ерозії не вилучаються із герметичної камері, а накопичуються в ній. Останнє пов'язано з тим, що рівень забору робочої рідини разом з продуктами ерозії в герметичній камері головки знаходиться значно вище рівня торцевого міжелектродного зазору і продуктам ерозії для вилучення необхідно рухатись вгору. На частку в герметичній камері головки діє, з одного боку, сила ваги  $G$ , що спрямована вниз, а з другого – сила гідродинамічного тиску  $F_v$  та сила Архімеда  $N$ , що спрямовані вгору (рис. 3).

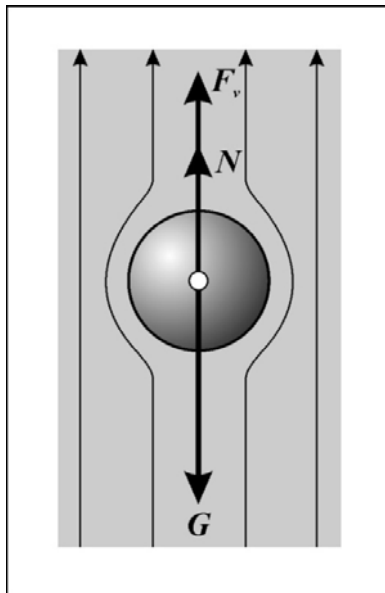


Рисунок 3 – Схема сил, що діють на металеву частку в герметичній камері електроерозійної головки при РОД стрижня

Джерело: розроблено авторами

Рівновага цих сил визначається умовою (1):

$$F_v = G - N. \quad (1)$$

Як бачимо, для того, щоб частка рухалася в камері у напрямку знизу вгору, треба перебороти силу ваги силою гідродинамічного тиску  $F_v$ . В свою чергу, гідродинамічний тиск потоку в каналі характеризується швидкістю робочої рідини. Отже, існує така критична швидкість робочої рідини  $V_{кр}$ , нижче якої продукти ерозії не вилучаються із герметичної камери. За даними роботи [2], критичну швидкість можна визначити за формулою (2)

$$V_{кр} = \sqrt{\frac{8Rg}{3C_x} \left( \frac{K_n \rho_n}{\rho_{жс}} - 1 \right)}, \quad (2)$$

де  $R$  – радіус частки, м;

$g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$\rho_n$  – густина компактного матеріалу, із якого отримано частку, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{жс}$  – густина робочої рідини, кг/м<sup>3</sup>;

$C_x$  – коефіцієнт лобового опору частки;

$K_n$  – коефіцієнт, що враховує зміну густини частки.

В роботі [7] показано, що в широкому діапазоні зміни вихідних параметрів, критична швидкість робочої рідини складає 0,5 м/с. Однак, в герметичній камері головки робоча рідина рухається із значно меншою швидкістю, тобто гідродинамічна складова руху частки в камері відсутня. Тому, після обробки кожного стрижня оператору необхідно очищувати герметичну камеру від продуктів ерозії, що дуже незручно та займає багато часу.

**Постановка завдання.** Із викладеного вище виходить, що для покращення експлуатаційних характеристик відомої електроерозійної головки розмірної обробки стрижнів дугою на базі настільного свердлувального верстата, треба створити такі умови обробки, при яких продукти ерозії вилучались би з герметичної камери автоматично (без застосування ручної праці), тобто забезпечити головку такою можливістю. Така головка не була об'єктом дослідження.

Метою дослідження є покращення експлуатаційних характеристик електроерозійної головки при розмірній обробці дугою стрижнів за рахунок створення умов для вилучення продуктів ерозії із зони обробки.

Для досягнення поставленої мети необхідно запропонувати нову конструкцію електроерозійної обробки для РОД стрижнів на базі настільного свердлувального верстата та описати принцип її роботи.

**Виклад основного матеріалу.** Нова електроерозійна головка (рис. 4) розмірної обробки дугою стрижнів 1 на базі настільного свердлувального верстата постачається підкладною плитою 8, через яку робоча рідина, разом з продуктами ерозії 16, вилучаються із зони обробки.

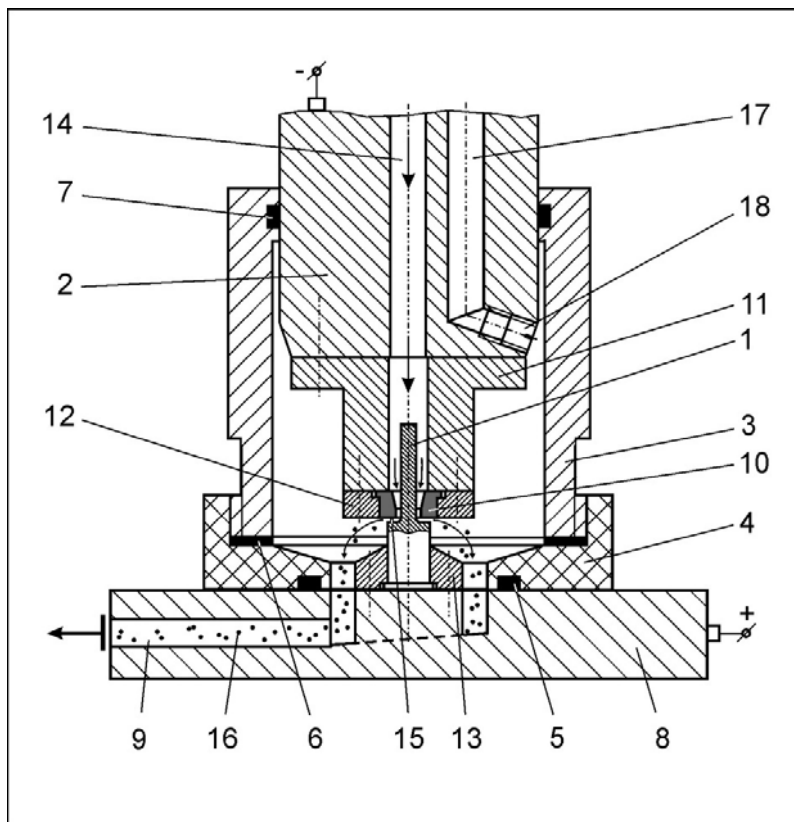


Рисунок 4 – Схема розмірної обробки дугою стрижня на електроерозійній головці, що пропонується

*Джерело: розроблено авторами.*

Головка включає в себе електродотримач 2, рухому герметичну камеру 3, електроізолятор 4, ущільнення 5, 6, 7 та підкладну плиту 8 з каналом 9 для вилучення робочої рідини, разом з продуктами ерозії, із зони обробки, тобто із герметичної камери 3. Для обробки стрижня 1 герметичну камеру 3 руками піднімають вгору та на електродотримачі 2 закріплюють графітовий електрод-інструмент 10 за допомогою плити 11 та тримача 12. На підкладній плиті 8 закріплюють заготовку стрижня 1 за допомогою тримача 13, позиціонують заготовку відносно електрода-інструмента 10 та закріплюють підкладну плиту 8 відносно стола верстата (стіл не показано). Далі камеру 3 руками переміщують вниз до контакту електроізолятора 4 з горизонтальною поверхнею підкладної плити 8. Включають насос подачі робочої рідини у внутрішню порожнину камери 3 через отвір 14 в електродотримачі 2, джерело живлення постійним технологічним струмом (звичайно зварювальний випрямляч) та ведуть обробку стрижня 1 з використанням ручної подачі електрода-інструмента 10 (механізм подачі не показано).

В процесі обробки електрична дуга 15, що стиснута потужним поперечним потоком робочої рідини, безперервно горить між торцевими поверхнями електрода-інструмента 10 та стрижня 1, а гідродинамічний потік вилучає продукти ерозії із зони обробки. Під дією сили тяжіння продукти ерозії 16 (металевий порошок) падають вниз та через канал 9, в якому швидкість потоку достатня, повністю вилучаються із головки в фільтр, а очищена робоча рідина повертається в бак.

Слід відмітити, що канал 17 головки, який призначено для подачі робочої рідини в герметичну камеру 3 при зворотному прокачуванні, попередньо закривають пробкою 18.

**Висновки.** Запропоновано нову конструкцію електроерозійної головки для РОД стрижнів на базі настільного свердлувального верстата та описано принцип її роботи. Показано, що її використання покращує експлуатаційні характеристики та дозволяє вилучати продукти ерозії із зони обробки без застосування ручної праці.

## Список літератури

1. Боков В. М. Технологія розмірної обробки дугою. Історичний нарис, верстати. Кропивницький: ПП «Ексклюзив-Систем», 2020. 316 с.
2. Боков В. М. Розмірне формоутворення поверхонь електричною дугою: монографія. Кіровоград : Поліграфічно-видавничий центр ТОВ «Імекс ЛТД», 2002 300 с.
3. Носуленко В. І. Розмірна обробка металів електричною дугою: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.03.07 / НТУУ «КПІ» Київ, 1999. 36 с.
4. Боков В. М., Попова М. І. Обробка отворів електричною дугою: монографія. Кіровоград : Поліграфічно-видавничий центр ТОВ «Імекс ЛТД», 2014 160 с.
5. Боков В. М., Сіса О. Ф. Оброблюваність матеріалів електричною дугою : монографія. Кіровоград : Поліграфічно-видавничий центр ТОВ «Імекс ЛТД», 2013. 172 с.
6. Боков В. М. Фізичні процеси спец технологій. Експериментальні дослідження. Збірник статей: навчальний посібник . Кропивницький : Поліграфічно-видавничий центр ТОВ «Імекс ЛТД», 2022. 625 с.
7. Боков В. М. Розмірна обробка електричною дугою кувальних штампів : монографія. Кіровоград : Поліграфічно-видавничий центр ТОВ «Імекс. ЛТД», 2012. 178 с.

## References

1. Bokov, V. M. (2020). *Technology of dimensional arc processing. Historical essay, machine tools*. Kropivnitskiy: PP «Eksklyuziv-Sistem» [in Ukrainian].
2. Bokov, V. M. (2002). *Dimensional shaping of surfaces by electric arc*. Kirovograd: Poligrafichno-vidavnicхий tsentr TOV «Imeks LTD» [in Ukrainian].
3. Nosulenko, V. I. (1999). *Dimensional processing of metals by electric arc*. Extended abstract of candidate's thesis. NTUU «KPI» Kiyiv [in Ukrainian].
4. Bokov, V. M. & Popova, M. I. (2014). *Processing of holes by electric arc*. Kirovograd: Poligrafichno-vidavnicхий tsentr TOV «Imeks LTD» [in Ukrainian].
5. Bokov, V. M. & SIsa, O. F. (2013). *Machinability of materials by electric arc*. Kirovograd: Poligrafichno-vidavnicхий tsentr TOV «Imeks LTD» [in Ukrainian].
6. Bokov, V. M. (2022). Physical processes of special technologies. Experimental studies. *Zbirnik statey: navchalnyi posibnik*. Kropivnitskiy: Poligrafichno-vidavnicхий tsentr TOV «Imeks LTD» [in Ukrainian].
7. Bokov, V. M. (2012). *Rozmlrna obrobka elektrichnoyu dugoyu kuvalnih shtamplv*. Kirovograd: Poligrafichno-vidavnicхий tsentr TOV «Imeks – LTD» [in Ukrainian].

**Anton Serheiev**, post-graduate, **Viktor Bokov**, Prof., PhD tech. sci., **Vitaly Shmelov**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

*Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine*

### **Improvement of the EDM Head for DIMENSIONAL Treatment of Rods with an Arc on the Basis of a Desktop Drilling Machine**

Modern enterprises use various equipment for the production of rods, for example, hydraulic presses for direct extrusion and metal cutting machines. However, this equipment is not used for the production of rods from hard-to-process materials. In this regard, EDM machines are of some practical interest, as they are more universal and reliable.

Electroerosion machines that can be used for the manufacture of rods include electric spark machines, electric pulse machines and machines for dimensional processing by electric arc (ROD - dimensional processing by arc). It is shown that the most productive machines are those implementing the ROD method. However, known machines for ROD rods have a high cost and occupy a large area, and therefore cannot be applied in repair factories and workshops.

There are well-known electroerosion heads for dimensional treatment with an arc for metal-cutting equipment. They have a low cost and occupy a small area, but do not provide high-quality and accurate processing of rods. This is due to the fact that the working fluid together with erosion products moves in the end interelectrode gap in the direction from the periphery to the center of the electrode-tool - reverse pumping. As a result of this, the lateral interelectrode gap in the direction of the liquid flow continuously increases, the lateral surface of the rod is shaped like a cone, and its roughness increases.

A well-known electroerosion head for dimensional processing with an arc based on a desktop drilling machine. When processing rods, it is adjusted from reverse to direct pumping, in which the working fluid in the end interelectrode gap moves in the direction from the center to the periphery of the electrode-tool. As a result of the fact that the erosion products do not fall into the lateral interelectrode gap, the rod is formed in a cylindrical shape, and the roughness of the treated side surface is noticeably reduced. However, during operation of the known EDM head, the erosion products are not removed from the sealed chamber, but accumulate in it. The latter is due to the fact that the level of intake of the working fluid together with the erosion products in the sealed chamber of the head is much higher than the level of the end interelectrode gap and the erosion products must move upwards. Since there is no hydrodynamic component of upward movement of the particle in the hermetic chamber, after processing each rod, the operator must clean the chamber from erosion products, which is very inconvenient and time-consuming.

The purpose of the study is to improve the operational characteristics of the EDM head during ROD of rods due to the creation of conditions for the removal of erosion products from the processing zone.

The proposed new EDM head for dimensional treatment of rod arcs on the basis of a table-top drilling machine is supplied with a backing plate through which the working fluid, together with the erosion products, are removed from the treatment zone. Under the influence of gravity, erosion products (metal powder) fall down, and through a channel in which the flow rate is sufficient, are completely removed from the head to the filter, and the purified working fluid is returned to the tank. It is shown that the use of such a head improves

operational characteristics and allows the removal of erosion products from the processing area without the use of manual labor.

**EDM head, erosion products, arc dimensional processing, hydrodynamics, desktop drilling machine**

*Одержано (Received) 25.05.2024*

*Прорецензовано (Reviewed) 26.11.2024*

*Прийнято до друку (Approved) 02.12.2024*