

*НАБОКА О.В., ФАДЕЄВ В.А., ЄВСЮКОВА Ф.М.*

#### **ФАКТОРИ ВПЛИВУ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ СУЧАСНОЇ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОЇ ОБРОБКИ.**

У статті описані фактори росту ефективності обробки виробів на електроерозійному обладнанні, завдяки застосування лінійних приводів з високою динамічною точністю. Також в роботі досліджено міжелектродний проміжок в зоні обробки, його вплив на оптимальні енергетичні режими та максимальне знімання матеріалу. Електрод подається в зону іскроутворення в 5-10 разів частіше, відносна тривалість у декілька разів більше, ніж у верстатах з КПП-приводами. Видалення шламу за рахунок помпового ефекту від швидких переміщень електрода замість прокачування. Застосування лінійних двигунів, сервоприводів, прецизійних датчиків лінійного положення, пристрою автоматичного заправлення дроту, пошуку отвору, запобігання обриву дроту - збільшить продуктивність дротово-вирізної обробки на 40-100%. Проведено порівняльний аналіз продуктивності обробки деталей на обладнанні із застосуванням лінійних і КПП (кульово-гвинтової пари) приводів.

**Ключові слова:** дротово-вирізна обробка матеріалів, лінійний привід, електрод, зона обробки, міжелектродний проміжок, продуктивність.

*NAVOKA O.V., FADEEV V.A., YEVSUKOVA F.M.*

#### **FACTORS INFLUENCING THE EFFICIENCY OF MODERN ELECTRO-EROSION PROCESSING.**

The article describes the factors of increasing the efficiency of processing products on EDM equipment, due to the use of linear drives with high dynamic accuracy. Also, the inter-electrode gap in the processing zone, its influence on optimal energy regimes and maximum material removal was investigated in the work. The electrode is fed into the spark formation zone 5-10 times more often, the relative duration is several times longer than in machines with KGP drives. Sludge removal due to the pumping effect from rapid movements of the electrode instead of pumping. The use of linear motors, servo drives, precision linear position sensors, devices for automatic wire feeding, hole search, wire breakage prevention - will increase the productivity of wire-cutting processing by 40-100%. A comparative analysis of the performance of parts processing on equipment with the use of linear and KGP (ball-screw pairs) drives was carried out.

**Keywords:** wire-cut processing of materials, linear drive, electrode, processing zone, inter-electrode gap, productivity.

**1. Вступ.** У зв'язку з розвитком обробки металів тиском, точного лиття, широким використанням пластичних мас у багато разів збільшилася потреба в штампах, прес-формах й інших виробках з деталями складної форми, обробка яких досить трудомістка й складна. У деяких сучасних машинах і приладах іноді зустрічаються деталі, які не можуть бути оброблені механічними методами (наприклад, отвори й фасонні прорізи особливо малих розмірів, сполучні канали у важкодоступних місцях і т.п.). Для обробки жароміцних, нержавіючих, магнітних й інших важкооброблюваних сталей, а також твердих сплавів, напівпровідникових матеріалів, рубінів, фериту, кварцу й інших матеріалів, деталей складної форми з успіхом використовуються електрохімічні й електрофізичні методи розмірної обробки.

**2. Аналіз літератури.** Для вирішення проблем, що пов'язані з обробкою цих виробів можливо використання сучасного електроерозійного обладнання з лінійними приводами, що мають високу динамічну точність. Для підвищення якості та продуктивності обробки прецизійних деталей в електроерозійних верстатах використовується КЧПУ - генератор LQW серії, жорсткий диск і рідкокристалічний монітор з сенсорним управлінням. КЧПУ-генератори - перші ЧПУ-системи, здатні безпосередньо працювати з твердотільними 3D-моделями. Завдяки тому, що керуюча програма будується автоматично безпосередньо по конструкторській 3D-моделі, нові системи КЧПУ дозволяють обійтися без контурного програмування на верстаті або зовнішньому комп'ютері. Виключається людський чинник і ризик помилки оператора. Дані 3-мірних твердотілих моделей можуть імпортуватися безпосередньо в КЧПУ-генератор, де вони автоматично перетворюються в оптимізовані управляючі ЧПУ-програми, без яких-небудь додаткових пристроїв. Всі параметри обробки автоматично додаються в контурну програму, що економить і час, і витрати. КЧПУ дозволяє виконати візуалізацію програми в 3D-просторі, забезпечуючи можливість попередньої перевірки, що гарантує точні і надійні результати. А застосування лінійних двигунів, сервоприводів, прецизійних датчиків лінійного положення, пристрою автоматичного заправлення дроту, пошуку отвору, запобігання обриву дроту - збільшить продуктивність дротово-вирізної обробки на 40-100%.

**3. Методи дослідження.** Лінійні повідні істотно спростили конструкцію, значно підвищивши надійність і довговічність верстатів. Нами було досліджено три головних фактора росту ефективності завдяки застосування лінійних приводів:

- 1) Стабільно оптимальний міжелектродний проміжок, досягнутий завдяки найвищій динамічній точності лінійного приводу дозволяє отримати, у результаті, оптимальні енергетичні режими й максимальне знімання;
- 2) Електрод подається в зону іскроутворення в 5-10 разів частіше, відносна тривалість у декілька разів більше, ніж у верстатах з КПП-приводами;
- 3) Видалення шламу за рахунок помпового ефекту від швидких переміщень електрода замість прокачування.

Завдяки високій динамічній точності лінійного приводу досягнутий оптимальний проміжок в зоні обробки (величину оптимального проміжку задає в електроерозійних верстатах система комп'ютерного ЧПУ, розраховуючи його за станом проміжку і даними "бази знань" електроерозійної обробки) - це оптимальні енергетичні режими іскроутворення і, в результаті, найбільш продуктивна і якісна обробка при найменшому зносі електрода.

© О.В. Набока, В.А. Фадєєв, Ф.М. Євсюкова, 2023

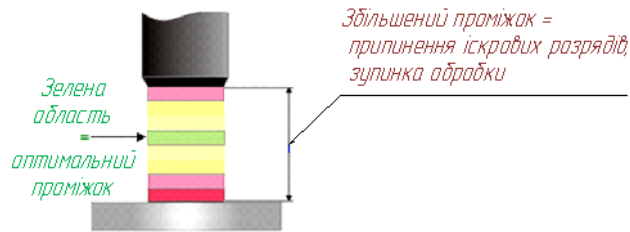


Рис. 1 – Збільшений міжелектродний проміжок

У міру збільшення проміжку число іскрових розрядів падає. На певній величині проміжку обробка зупиняється.

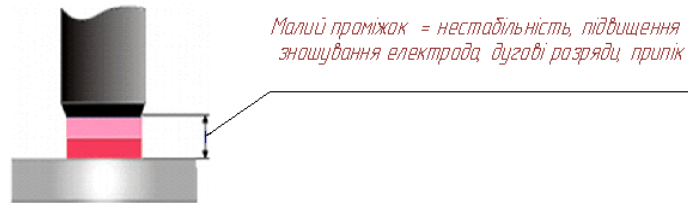


Рис. 2 – Зменшений міжелектродний проміжок

У міру зменшення міжелектродного проміжку ефективність розрядів падає (розряди через гази), знос електроду зростає, на певній величині проміжку виникають дугові розряди, що наводить до псування електроду і деталі.

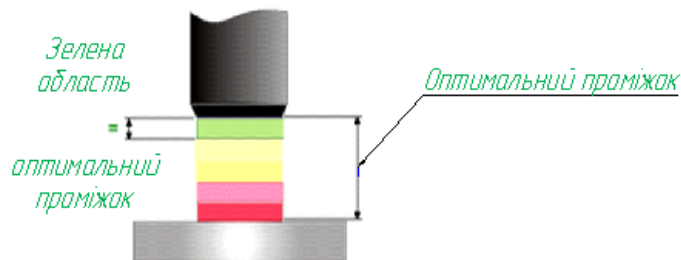


Рис.3 – Оптимальний міжелектродний проміжок

Унікальна сервосистема коректує положення електроду відповідно до команд КЧПУ 500 разів в секунду!

Також за рахунок вживання лінійного приводу відбувається скорочення часу релаксацій (відведення електроду). Електрод подається в зону іскроутворення в 5-10 разів частіше, за рахунок цього відносна тривалість робочого циклу у декілька разів більше, ніж у верстатах з КПП-приводами.

Видалення шламу відбувається за рахунок помпового ефекту від швидких переміщень електроду замість прокачування.

4. Результати дослідження. Якби удалося вести процес при постійній енергії імпульсів, то продуктивність можна було б оцінити як множення енергії імпульсів на їх частоту. На практиці умови протікання кожного окремого імпульсу можуть відрізнятися із-за відмінностей в стані міжелектродного проміжку і розміру проміжку, невідповідності між числом імпульсів, вироблених генератором і реалізуємих в проміжку, а також із-за інших причин. При розрахунку продуктивності:

$$Q = \psi A_{\text{и}} f,$$

де  $A_{\text{и}}$  - енергія імпульсу;  $\psi$  - коефіцієнт, що враховує кількість неробочих імпульсів:  $\psi = f / f_{\text{г.и}}$  (тут  $f_{\text{г.и}}$  - частота імпульсів, що виробляється генератором;  $f$  - частота імпульсів, що викликають ерозію). Таким чином, підвищити продуктивність можна, якщо підібрати оптимальне поєднання чинників, що дозволяють збільшити долю корисної енергії імпульсу, його потужність і частоту дотримання робочих імпульсів. Для цього необхідно досягти оптимального співвідношення між максимальним значенням сили струму  $I_{\text{max}}$  в імпульсі і його тривалістю  $\tau_{\text{и}}$ . Наприклад, в разі режимів обробки з середньою силою струму 10... 100 А найбільша продуктивність може бути досягнута при співвідношенні  $I_{\text{max}} / \tau_{\text{и}} = 5...8$  МА/с.

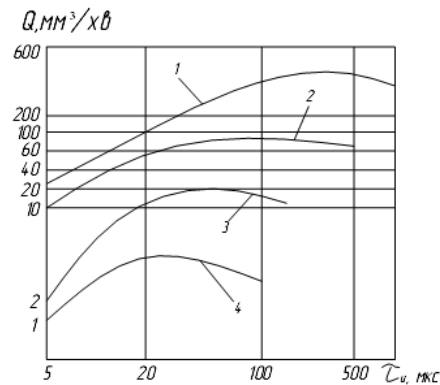


Рис. 4 – Залежності продуктивності  $Q$  від тривалості імпульсу  $\tau_{и}$ : крива 1 ( $I = 15$  А), крива 2 ( $I = 8$  А), крива 3 ( $I = 4$  А)

Проведено порівняльний аналіз продуктивності обробки деталей на обладнанні із застосуванням лінійних і КГП (кульково-гвинтової пари) приводів. При обробці використовувались мідні, графітові, латунні електроди. Тож продуктивність обробки при використанні лінійних приводів значно вища за продуктивність обробки на електроерозійному обладнанні з КГП.

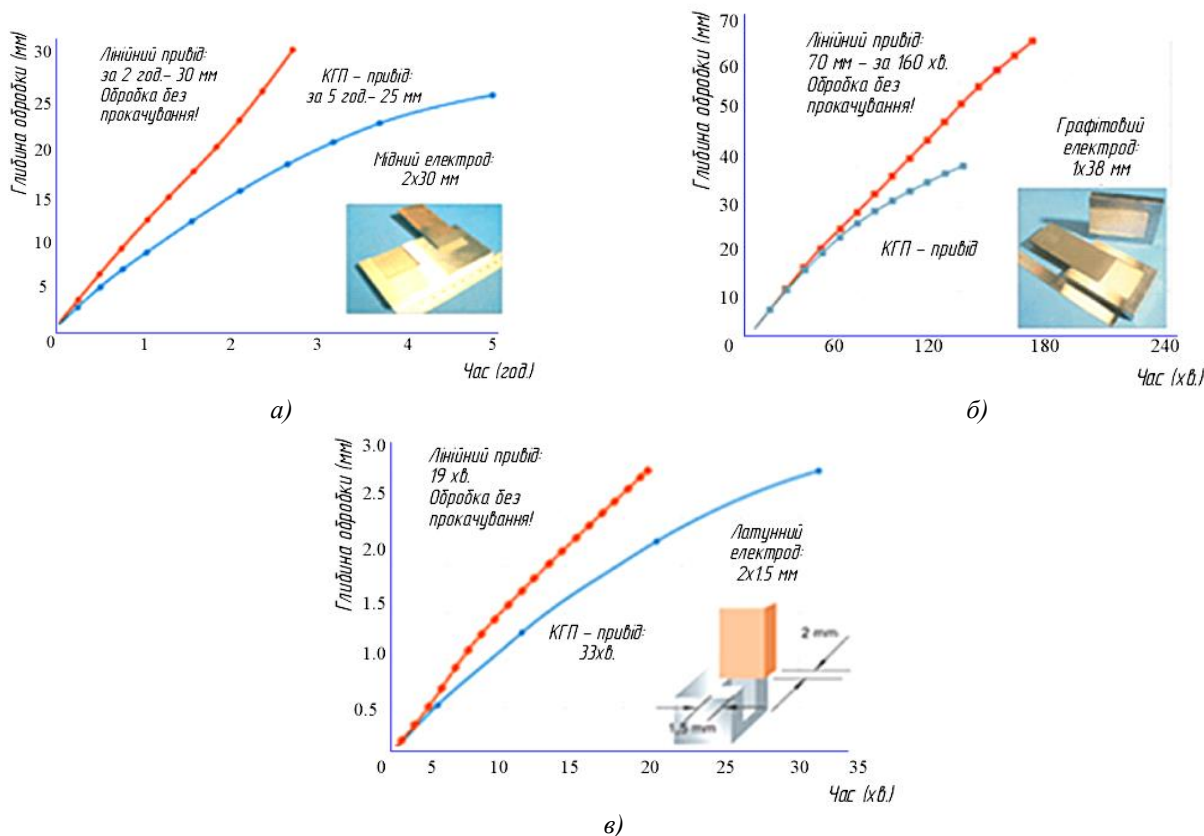


Рис. 5 – Порівняльний аналіз продуктивності обробки деталей різної глибини із застосуванням лінійних і КГП - приводів:

а) глибина обробки = 30 мм, б) глибина обробки = 70 мм, в) глибина обробки = 3 мм

**5. Висновки.** Метою роботи є підвищення ефективності електроерозійної обробки, що включає використання сучасних лінійних приводів з високою динамічною точністю в електроерозійних процесах. Для цього вирішені питання: оптимізації енергетичних режимів іскрових розрядів. Підвищення продуктивності можливо досягти оптимальним поєднанням чинників, що дозволяють збільшити долю корисної енергії імпульсу, його потужність і частоту дотримання робочих імпульсів. Для цього необхідно оптимальне співвідношення між максимальним значенням сили струму  $I_{max}$  в імпульсі і його тривалістю  $\tau_{и}$ . Визначена тривалість робочого циклу у декілька разів більше, ніж у верстатах з КГП-приводами.

Видалення шламу відбувається за рахунок помпового ефекту від швидких переміщень електроду замість прокачування. Лінійний привід не лише забезпечує в 1,5 ~ 3 рази більшу швидкість вирізання, але і дозволяє обробляти на глибину, недоступну для електроерозійних верстатів із звичайними приводами.

### Список літератури

1. Амитан Г. Л., Барон Ю. М. и др. Справочник по электрохимическим и электрофизическим методом обработки. / Под общ. ред. Волосатова В. А. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1988. – 719 с.
2. Киселев М. Г. Электроэрозионная обработка материалов: Учебно-методическое пособие, -Мн.: УП "Технопринт", 2004. – 112 с.
3. Думпе В. Э. Электроэрозионная обработка деталей, К., "Техника", 1975. – 144с.
4. Артамонов Б. А., Волков Ю. С. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов. – М. Высш. шк., 1983. – 247 с.
5. Мицкевич М. К., Бушик А. И. и др. Электроэрозионная обработка металлов, М.: Наука и техника, 1988. – 216 с.
6. [http:// www. Sodick.ru](http://www.Sodick.ru)
7. [http:// www. mashizdat.ru](http://www.mashizdat.ru)
8. Москаленко В. В. Электрический привод. Учебное пособие для электротехн. спец. – М.: Высш. шк., 1991. – 430 с.
9. Сандлер А. С. Электропривод и автоматизация металлорежущих станков. Учебное пособие для вузов. М., "Выш. школа", 1972. – 440с.

### References (transliterated)

1. Amitan G. L., Baron Yu. M. et al. Handbook of electrochemical and electrophysical processing methods. / Under the total. ed. Volosatova V. A. - L.: Mashinostroyeniye, Leningrad. department, 1988. - 719 p.
2. Kiselev M. G. Electroerosive processing of materials: Educational and methodical manual, -Mn.: UE "Technoprint", 2004. - 112 p.
3. Dumpe V. E. Electroerosive machining of parts, K., "Technique", 1975. - 144p.
4. Artamonov B. A., Volkov Yu. S. Electrophysical and electrochemical methods of processing materials. - M. Higher. school, 1983. - 247 p.
5. Mitskevich M. K., Bushik A. I. et al. Electroerosive processing of metals, Moscow: Nauka i Tekhnika, 1988. – 216 p.
6. [http:// www. Sodick.ru](http://www.Sodick.ru)
7. [http:// www. mashizdat.ru](http://www.mashizdat.ru)
8. Moskalenko VV Electric drive. Textbook for electrical engineering. specialist. - M.: Higher. school, 1991. - 430 p.
9. Sandler A. S. Electric drive and automation of metal-cutting machines. Textbook for universities. M., "High School", 1972. – 440p.

### Відомості про авторів/ About the Authors

**Набока Олена Володимирівна ( Naboka Olena )** – кандидат технічних наук, професор кафедри «Технологія машинобудування та металорізальні верстати» Навчально-наукового інституту механічної інженерії і транспорту Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна, тел...: + 380 50 986 50 27, e-mail: [namirauza@gmail.com](mailto:namirauza@gmail.com), ORCID: 0000-0003-3997-5481

**Фадеев Валерій Андрійович ( Fadeev Valeri )** – доктор технічних наук, професор кафедри «Технологія машинобудування та металорізальні верстати» Навчально-наукового інституту механічної інженерії і транспорту Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна, тел...: + 380 50 323 64 18, e-mail: [fadeev@fed.com.ua](mailto:fadeev@fed.com.ua), ORCID: 0000-0003-2535-9039

**Євсюкова Фатима Магаметбієвна (Yevsiukova Fatyma)** – доцент кафедри «Технологія машинобудування та металорізальні верстати» Навчально-наукового інституту механічної інженерії і транспорту Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна, тел...: + 380 97 941 22 99, e-mail: [fatimaevsukova@gmail.com](mailto:fatimaevsukova@gmail.com), ORCID: 0000-0002-9764-4106