

УДК 621.9.048.4

[https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.12\(43\).2.102-107](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.12(43).2.102-107)**В. М. Шмельов**, доц., канд. техн. наук*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна**e-mail: shmelyovvm@gmail.com*

Вилучення зламаного інструмента із застосуванням електроерозійної обробки

Запропоновано новий спосіб вилучення зламаного інструменту із застосуванням електроерозійної обробки. Процес вилучення здійснюють у два послідовні етапи. На першому етапі із застосуванням розмірної обробки електричною дугою отримують отвір не круглого (багатокутного) перерізу під ключ, а на другому – вставляють у отриманий отвір Г-подібний ключ та викручують зламану частину інструмента. Показано, що використання даного способу, порівняно з відомим, дозволяє у 4-5 рази збільшити продуктивність обробки, і у 2-3 рази знизити витрати на отримання електрод-інструментів.

електроерозійна головка, розмірна обробка дугою, настільний свердлувальний верстат, продуктивність обробки, електрод-інструменти

Постановка проблеми. На сучасних підприємствах при виконанні слюсарних робіт поломка мітчиків та іншого інструмента являє собою одну із причин браку деталей. Вона відбувається, головним чином, в наслідок помилок в прийомах роботи та неякісного підбору мітчиків. Іноді, але дуже рідко, вдається викрутити зламану частину мітчика з трьома рядами лез спеціальною триштирковою вилкою. А якщо із отвору сторчить обломок мітчика, частину, що виступає, намагаються захопити плоскогубцями або приварити до неї штир та викрутити. Для вилучення зламаного інструмента, що виготовлено із інструментальної сталі, застосовують послідовну термічну та механічну обробку. При цьому деталь зі зламаним мітчиком нагрівають до температури структурних змін, повільно охолоджують разом з піччю, а далі висвердлюють центральну частину і спеціальним конічним мітчиком викручують залишок. Іноді для вилучення осколків мітчика їх витравлюють розчином азотною кислоти. Процес продовжують декілька годин. Даний спосіб застосовують лише в тому випадку, коли кислота добре розчинює матеріал мітчика та незначно діє на матеріал деталі (наприклад, для алюмінієвих сплавів).

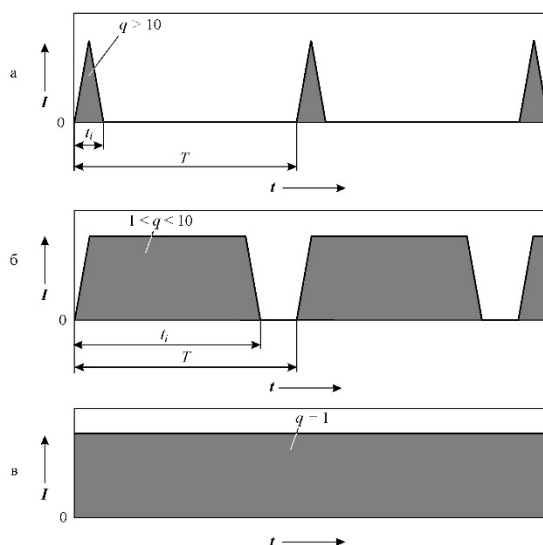
Однак, усі ці способи не є універсальними і не гарантують якісне вилучення зламаного інструмента із деталі. Як альтернативу можна розглянути способи електроерозійної обробки, що дозволяють більш ефективно видаляти зламаний інструмент з деталей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. До електроерозійної обробки, які можуть застосовуватися сьогодні для вилучення залишків зламаного інструмента, відносяться електроіскрова обробка, електроімпульсна обробка та розмірна обробка електричною дугою.

Електроіскрова обробка базується на використанні висококонцентрованих електричних розрядів для знімання матеріалу із заготовки, що обробляється [1, с. 1]. Електроіскрова обробка забезпечує використання електричної енергії безпосередньо для обробки деталей із будь-яких матеріалів, що проводять електричний струм, незалежно від їх фізико-хімічних властивостей, а також зміцнення та легування їх поверхонь.

Для вилучення зламаного інструмента можуть використовуватися різні прошивні електроіскрові верстати, наприклад, фірми «Sodick» [1, 48-49]. В процесі

прошивання руйнується зламана частина електрод-інструментом, виготовленим із круглої мідної трубки. Після прошивання, зламана частина розсипається на дрібні елементи та легко вилучається із деталі.



а – осцилограма електроіскрової обробки; б – осцилограма електроімпульсної обробки; в – осцилограма розмірної обробки дугою; I – сила технологічного струму; t – час обробки; T – період розряду; t_i – час тривалість розряду; q – шпаруватість введення енергії в зону обробки

Рисунок 1 – Характерний вигляд осцилограм для різних способів електроерозійної обробки металів
Джерело: розроблено автором

Електроіскрова обробка використовує в якості джерел живлення RC -генератори [2, с. 6]. Такі генератори створюють для обробки іскрові розряди. Енергія таких розрядів $W_i \approx 0,0003 \dots 2$ Дж, а їх тривалість $t_i \approx 10^{-4} \dots 10^{-5}$ с. Енергія в зону обробки вводиться дискретно із шпаруватістю $q > 10$ (рис. 1, а). Що призводить до низької продуктивності електроіскрової обробки. Продуктивності сягає декілька сотень $\text{мм}^3/\text{хв}$ за умов необхідних для руйнування зламанної частини інструмента.

Більшу продуктивність забезпечує електроімпульсна обробка, при якій у якості джерел живлення використовують генератори імпульсів [2, с. 6, 7]. Вони дозволяють вести обробку короточасними іскродуговими та дуговими розрядами. Тривалість таких імпульсів $t_i \approx 10^{-2} \dots 10^{-4}$ с з шпаруватістю $1 < q < 10$, що, в порівнянні з електроіскровим способом, забезпечує менші паузи (рис 1, б). Продуктивність обробки при електроімпульсній обробці становить декілька тисяч $\text{мм}^3/\text{хв}$.

В роботах [3-7] викладено спосіб розмірної обробки металів електричною дугою (РОД – розмірна обробка дугою), який застосовується для вилучення зламаного інструмента. При реалізації прошивання отвору здійснюється електричною дугою, що горить безперервно між електрод-інструментом (ЕІ) (мідною круглою трубкою) та електрод-заготовкою (ЕЗ) (зламанною частиною інструмента) в потоці робочої рідини. Джерелом живлення струмом верстатів РОД може слугувати зварювальний випрямляч. Використання зварювальних випрямлячів дозволяють вводити в зону обробки великі струми, що значно підвищує продуктивність обробки. При цьому продуктивність процесу збільшується, порівняно з електроімпульсною обробкою, в 8-10 разів. Таким чином, час прошивання отвору при РОД значно менший між при електроімпульсній обробці.

Вилучення зламаного інструмента здійснюється на установці РОД з використанням електроерозійної головки (рис. 2). Процес здійснюється шляхом прошивання глибокого круглого отвору в зламаній частині, після чого залишки зламаного інструменту кришаться на дрібні елементи, що дозволяє легко вилучається їх із отвору деталі. Установка створена на базі настільного свердлувального верстата [7, с.

202]. Вона не потребує внесення змін в конструкцію базового верстата, з ручним приводом шпинделя з електроерозійною головкою, має невисоку вартість і займає порівняно малу площу.



Рисунок 2 – Електроерозійний верстат з прошивною головкою на базі настільного свердлильного верстата

Джерело: розроблено автором

Оскільки висота зламаної частини інструмента може досягати 50 мм, об'єм металу, що підлягає електроерозії, є значним, а тому і необхідний час на прошивання отвору залишається достатньо значним.

Крім того, необхідно враховувати, що великий знос електрод-інструмента з мідного, який завжди перевищує 30 %, суттєво підвищує вартість обробки.

За роботами [7, 8] відомо, що найбільшу електроерозійну стійкість при РОД металів забезпечують графітові ЕІ: їх лінійний знос може бути значно меншим 1 %. Показано, що малий знос графітового ЕІ при РОД пов'язаний з утворенням та його поверхні двофазного металографітового шару, що в процесі обробки постійно поновлюється. Цей шар сприймає теплове навантаження від горіння дуги.

Слід відмітити, що використання малозносних графітових електрод-інструментів для РОД отвору в зламаній частині інструмента утруднюється проблемою їх виготовлення: малий діаметр, велика довжина.

Дослідження показали, що для покращення експлуатаційних характеристик вилучення зламаного інструменту методами електроерозійної обробки необхідно: забезпечити найбільшу продуктивність обробки; для зменшення часу обробки необхідно суттєво зменшити глибину обробки (це дозволить використовувати короткі графітові ЕІ для багаторазового застосування); для зменшення глибини обробки необхідно запропонувати інший принцип вилучення зламаного інструмента. В цьому зв'язку, певний практичний інтерес являє новий спосіб вилучення зламаного інструменту із застосуванням електроерозійної обробки, який враховує наведені вище особливості. Такий спосіб не був об'єктом дослідження.

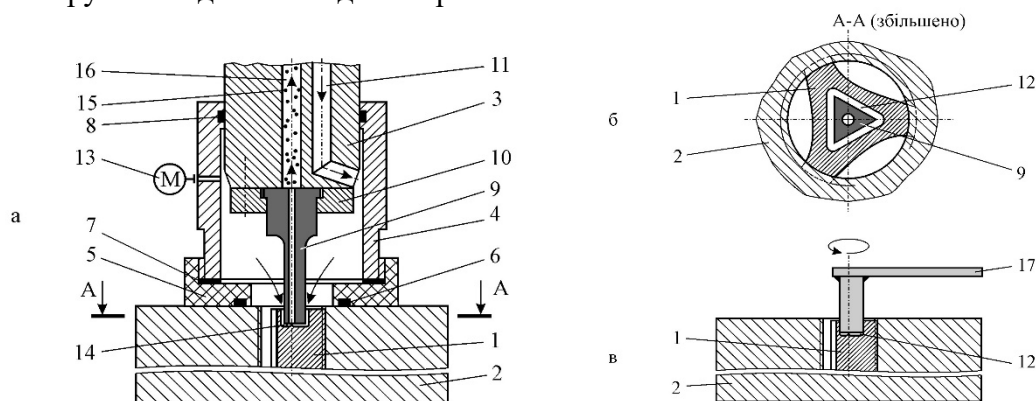
Постановка завдання. Метою дослідження є поліпшення експлуатаційних характеристик способу вилучення зламаного інструменту методами електроерозійної обробки за рахунок застосування запропонованого принципу вилучення.

Виклад основного матеріалу. В новому способі вилучення зламаного інструменту способом РОД пропонується процес вилучення виконувати послідовно у два етапи. Перший етап: з використанням графітового ЕІ, який встановлений в електроерозійну головку РОД отримують отвір під ключ не круглого (багатокутного) перерізу. Другий етап: вставляють у отриманий в мітчику отвір Г-подібний ключ та викручують його зламану частину. Процес видалення зламаної частини мітчика 1 показано на рисунку 3.

На першому етапі деталь 2 із зламаною частиною мітчика 1 закріплюють на столі настільного свердлувального верстата. В патрон верстата встановлюється електроерозійна головка, яка включає в себе електродотримач 3, рухому герметизовану

камеру 4, із закріпленим на ній електроізолятором 5 та гумовими ущільнювачами 6, 7, 8. Графітовий ЕІ 9 кріплять у електродотримачі 3 тримачем 10. Відносно ЕІ 9 позиціонують деталь 2 із зламаною частиною мітчика 1 та фіксують на столі верстата.

Далі герметизовану камеру 4 руками опускають у низ до щільного контакту електроізолятора 5 з поверхнею деталі 2 і фіксують притисками. Вмикають станцію робочої рідини для подачі у внутрішню порожнину герметизованої камери 4 крізь отвір 11 робочої рідини в електродотримачі 3, вмикають джерело живлення постійним струмом та прошивають багатокутного отвору 12 під ключ 17 коротким графітовим ЕІ 9 шляхом ручної подачі шпинделя верстата.



а – схема формування отвору під ключ з використанням електроерозійної головки для РОД;
б – переріз А-А у збільшеному масштабі електрод-інструмента та отвору в зламаному мітчику;
в – схема викручування зламаного інструмента Г-подібним ключем

Рисунок 3 – Схема реалізації способу вилучення зламаного інструменту (мітчика) із застосуванням електроерозійної обробки

Джерело: розроблено автором.

Тиск робочої рідини в середині герметизованої камері 4 контролюють за допомогою манометричного показчика 13, величину сили струму контролюють за допомогою амперметра, а глибини на яку здійснюється прошивання за допомогою годинникового індикатора (на схемах не показано).

Під час обробки електрична дуга 14 горить між поверхнею ЕІ 9 та торцевою частиною отвору 12. Продукти ерозії 15 вилучаються із зони обробки потоком робочої рідини крізь канал 16. Режим обробки підбирають такими, при яких виступ в центральній частині отвору 12 не утворюється. За даними роботи [2, с. 125-129], зазначений режим відповідає максимальній силі струму, мінімально діаметру технологічного отвору в ЕІ для видалення робочої рідини з продуктами ерозії, підвищеній напрузі на електродах, а також мінімально допустимому статичному тиску робочої рідини, який забезпечує сталість процесу обробки. За таких умов продукти ерозії на вході в технологічний отвір в ЕІ створюють струмопровідні «містки» спонукаючи виникнення довгих дуг, що руйнують виступ. Забезпечуючи умови протікання процесу прошивання отвору без утворення виступу та використання Г-подібного ключа дає змогу зменшити глибину обробки отвору електроерозією в 4-5 разів, тим самим зменшити час обробки. До того ж, для прошивання отвору 12 меншої глибини потрібно виготовляти короткі та технологічні у виробленні графітові ЕІ 9.

Форма перерізу отвору 12 буде залежить від типу зламаного інструмента. Наприклад, для мітчиків з трьома лезами доцільно застосовувати ЕІ трикутної форма перерізу, а з чотирма лезами, відповідно квадратної. За допомогою цього способу можна вилучати зламані гвинти. При цьому доцільна форма перерізу отвору у формі шестикутника.

Лінійний знос графітових ЕІ 9 (зазвичай не перевищує 1 %) при використанні в якості робочої рідини суміші мастила і гасу у рівних пропорціях. Що дозволяє багаторазово використовувати графітовий ЕІ 9.

Для викручування зламаного мітчика 1 в отриманий, способом РОД, отвір 12 вставляють Г-подібний ключ 17 і обертають проти годинникової стрілки, якщо мітчик був для нарізування «правої» різьби, а якщо для отримання «лівої» різьби обертають за годинниковою стрілкою.

Проведено серію експериментів по дослідженні продуктивності M процесу РОД в залежності від сили технологічного струму I і статичного тиску робочої рідини P_s в результаті чого отримано математичну модель:

$$M = 1,323 \cdot I^{1,519} \cdot P_s^{-1,738} \quad (1)$$

Графік залежності продуктивності M процесу РОД від сили технологічного струму I і статичного тиску робочої рідини P_s показано на рисунку 4.

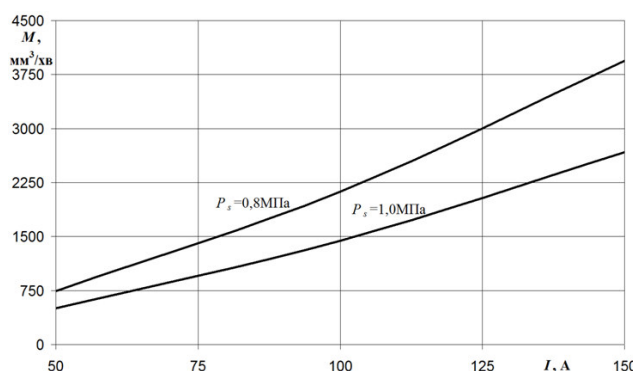


Рисунок 4 – Графік залежності продуктивності M процесу РОД від сили технологічного струму I і статичного тиску робочої рідини P_s

Для прикладу розглянемо видалення зламаного мітчика для нарізання різьби М14. Зазвичай злам мітчика відбувається в області переходу від різьбової частини мітчика до циліндричної частини по канавкам для відводу стружки. Для мітчика М14 довжину зламаного мітчика в середньому 30мм. Для видалення мітчика електроіскровою обробкою може бути використана мідна трубка зовнішнім діаметром 8мм і товщиною стінки 1мм, при цьому площа обробки становитиме 22мм², при довжині 30мм необхідно видалити 660мм³ металу мітчика, з урахуванням зносу трубчастого електрода 60-80% від глибини обробки необхідно використати електрод робоча частина якого повинна бути не меншою 55мм. Зважаючи на продуктивність обробки, в зазначених умовах в залежності від режиму обробки, межах 30...200мм³/хв [9], час обробки сягатиме від 4 до 22хв. При електроімпульсній обробці, зважаючи на більшу продуктивність обробки 3-5разів, час обробки може сягати 1,5...4хв.

При застосуванні запропонованого способу видалення зламаного інструмента способом РОД в мітчику достатньо виготовити глухий отвір трикутної форми з довжиною сторони трикутника 6мм і глибиною 6мм, відповідно площа обробки сягатиме 15,6мм², а об'єм металу, який необхідно видалити 93,6 мм³. При обробці струмом 100А продуктивність обробки сягатиме в межах 1500...1700мм³/хв [7, с. 121], теоретичний час обробки складатиме 0,06хв. Навіть зважаючи на характеристики електроерозійної головки РОД АМН-1 [10] з максимальною швидкістю прошивання 20мм/хв час обробки на глибину 6мм сягатиме 0,3хв, що більш ніж в 4 рази швидше ніж при електроімпульсній обробці.

Висновки. 1. Запропоновано та розроблено новий спосіб вилучення зламаного інструмента способом РОД, та описано принцип його реалізації.

2. Дослідження показали, що використання запропонованого способу вилучення зламаного інструменту дозволяє у 4-5 рази збільшити продуктивність обробки, і у 2-3 рази знизити витрати на отримання електрод-інструментів.

Список літератури

1. Ставицкий Б. И. Из истории электроискровой обработки материалов. Х. : ПРАТ «Полиграф сервис», 2013. 104 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. Київ : НТУУ «КПІ», 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. Носуленко В. І., Шмельов В. М. Розмірна обробка металів електричною дугою : навчальний посібник. Кропивницький : ПП «Ексклюзив-Систем», 2017. 256 с.
8. Боков В. М., Маркашова Л. И. Электроэрозионная стойкость графитовых электродов-инструментов при размерной обработке металлов электрической дугой. *Автоматическая сварка*. 2002. № 6. С. 45–48.
9. Maurya S. K., Campatelli G., Veracini M., Arcioni M., Clori D. Balancing productivity and sustainability in EDM: A comprehensive analysis of energy consumption and electrode degradation. *Machines*. 2023. 13(6). 469.

References

1. Stavytskyi, B. I. (2013). *From the history of electro-erosive material processing*. Polihraf Servis. 104 p. [in Russian].
2. Bokov, V. M. (2002). *Dimensional formation of surfaces by electric arc: Monograph*. Imeks. 300 p. [in Ukrainian].
3. Nosulenko, V. I. (1999). *Dimensional processing of metals by electric arc: Doctoral thesis abstract*. NTUU KPI. 36 p. [in Ukrainian].
4. Bokov, V. M., & Popova, M. I. (2014). *Hole processing by electric arc: Monograph*. Imeks. 160 p. [in Ukrainian].
5. Bokov, V. M., & Sisa, O. F. (2013). *Machinability of materials by electric arc: Monograph*. Imeks LTD Publishing Center. 172 p. [in Ukrainian].
6. Bokov, V. M. (2022). *Physical processes of special technologies. Experimental research: Collection of articles, textbook*. Imeks LTD Publishing Center. 625 p. [in Ukrainian].
7. Nosulenko, V. I., & Shmelov, V. M. (2017). *Dimensional processing of metals by electric arc: Textbook*. Ekskliuziv-System Publishing. 256 p. [in Ukrainian].
8. Bokov, V. M., & Markashova, L. I. (2002). *Electro-erosive resistance of graphite tool-electrodes during dimensional processing of metals by electric arc*. *Avtomaticeskaya Svarka*, 6, 45–48 [in Russian].
9. Maurya, S. K., Campatelli, G., Veracini, M., Arcioni, M., & Clori, D. (2023). Balancing productivity and sustainability in EDM: A comprehensive analysis of energy consumption and electrode degradation. *Machines*, 13(6), 469.

Vitalii Shmelov, Assoc. Prof., PhD

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Extraction of a Broken Tool with the Use of Electroerosion Processing

At modern enterprises, when performing locksmith work, the breakdown of taps and other tools is one of the reasons for the lack of parts. It occurs, mainly, as a result of errors in work methods and poor selection of taps. Known methods of mechanical extraction of a broken tool are not universal and do not guarantee high-quality extraction. In this regard, the methods of electroerosion processing are of some practical interest, as they are more universal and reliable.

EDM methods that can be used today to remove the remains of a broken tool include EDM, EDM, and EDM. It is shown that the most productive method is the method of dimensional processing of metals using an electric arc (ARC). Its performance is 8-10 times higher than the performance of electric pulse processing. That is why the well-known method of removing a broken tool is carried out with the help of an EDM head, which implements the ROD method. The head is created on the basis of a desktop drilling machine. Round electrodes-tools made of a copper tube are used to stitch the hole in the broken part of the tool.

However, since the height of the broken part of the tool can reach 50 mm, the volume of metal to be destroyed is large, and therefore the time spent on piercing the hole remains quite significant. In addition, the large linear wear of the copper electrode-tool significantly affects the cost of processing, and the use of low-wear graphite electrodes-tools for ROD of the hole in the broken part of the tool is complicated by the problem of their manufacture: small diameter, long length.

The purpose of the study is to improve the operational characteristics of the method of extracting a broken tool with the use of electroerosion processing due to the application of another extraction principle. In the new method of removing a broken tool using electroerosion treatment, the process is proposed to be carried out in two stages. At the first stage, with the help of an EDM head for ROD, a shallow recess of a non-round (triangular, quadrilateral or hexagonal) section is formed for the metal cutting machine. The process is carried out with a short graphite electrode-tool. On the second, an L-shaped key is inserted into the recess and the broken part is unscrewed by rotating it. It is shown that its use improves operational characteristics and allows to reduce processing time by 4-5 times, and to reduce the cost of tool electrodes by 2-3 times.

EDM head, dimensional arc machining, bench drilling machine, machining performance, tool electrodes

Одержано (Received) 13.10.2025

Прорецензовано (Reviewed) 20.10.2025

Прийнято до друку (Approved) 28.10.2025