

УДК 621. 9. 048. 4

В.І.Носуленко, проф., докт. техн. наук, В.М.Шмельов, канд. техн. наук.

Кіровоградський національний технічний університет

Точність обробки за умов розмірної обробки електричною дугою

Описано особливості забезпечення необхідної точності за умов розмірної обробки електричною дугою (РОД). Показано, що спосіб РОД забезпечує необхідну точність виготовлення деталей машинобудування. Показано вплив основних технологічних характеристик процесу РОД та матеріалу електродів-інструментів на точність виготовлення деталей машинобудування.

точність виготовлення, електрична дуга, міжелектродний зазор, знос електрода-інструмента, динамічний тиск потоку робочої рідини, сила струму

В.И.Носуленко, В.Н.Шмельёв

Кировоградский национальный технический университет

Точность обработки в условиях размерной обработки электрической дугой

Описано особенности обеспечения необходимой точности в условиях размерной обработки электрической дугой. Показано, что способ размерной обработки электрической дугой обеспечивает необходимую точность изготовления деталей машиностроения. Показано влияние основных технологических характеристик процесса размерной обработки электрической дугой и материала электродов-инструментов на точность изготовления деталей машиностроения.

точность изготовления, электрическая дуга, межэлектродный зазор, износ электрода-инструмента, динамическое давление потока рабочей жидкости, сила тока

При виготовленні деталей машинобудування до них пред'являються певні вимоги по точності виготовлення. При виготовленні деталей простої форми з легкооброблюваних матеріалів доцільно застосовувати методи звичайної обробки різанням.

При виготовленні деталей складної форми з важкооброблюваних матеріалів застосування обробки різанням веде до зростання собівартості виготовлення таких деталей, адже потребує для цього дорогого інструменту, який повинен мати твердість вищу за твердість оброблюваного матеріалу, а також необхідно використовувати велику кількість переходів, операцій та різноманітне обладнання.

В цьому зв'язку помітний інтерес являє виготовлення таких деталей методами електроерозійної обробки (ЕЕО). Традиційні методи ЕЕО (електроіскрова та електроімпульсна обробка, вирізання електрод-дротиною) дозволяють виготовляти такі деталі з використанням значно меншої кількості переходів та операцій на одному обладнанні без потреби використання дорогого інструменту.

Однак, традиційні методи ЕЕО володіють порівняно низькою продуктивністю обробки.

Альтернативою таким методам є спосіб розмірної обробки електричною дугою (РОД), який забезпечує значно вищу продуктивність в 5-10 разів [1]. Тому постає питання можливості використання цього способу для виготовлення деталей складної форми з важкооброблюваних матеріалів. При цьому треба враховувати, що вартість і стійкість електродів-інструментів (ЕІ) значною мірою визначають ефективність і економічну доцільність реалізації способу РОД.

Важливим питанням при використанні способу РОД є забезпечення необхідної точності обробки, адже в процесі обробки можливе відхилення обробленої поверхні від вихідного профілю ЕІ, що залежить від різних факторів.

Відхилення обробленої поверхні від вихідного профілю ЕІ в загальному вигляді може бути представлено як сума чотирьох відхилень в заданому напрямку:

$$\Delta_{\text{сум}} = \Delta_{\text{г}} + \Delta_{\text{т}} + \Delta_{\text{нал}} + \Delta_{\text{пр}}, \quad (1)$$

де $\Delta_{\text{г}}$ – відхилення, що обумовлене неточністю виготовлення верстата і деформаціями його вузлів при роботі;

$\Delta_{\text{т}}$ – відхилення, що викликане тепловими деформаціями ЕІ і електрода-заготовки (ЕЗ);

$\Delta_{\text{нал}}$ – відхилення, яке обумовлене неточністю взаємного розташування (наладки) ЕІ і ЕЗ;

$\Delta_{\text{пр}}$ – відхилення, що пов'язане з процесом ерозії, та стійкістю ЕІ.

Відхилення $\Delta_{\text{г}}$ викликано геометричною неточністю верстату та деформаціями при його роботі. Похибки, що викликані неточністю виготовлення верстата, можуть бути оцінені за нормами на геометричну точність верстата і, наприклад, для середніх глибин прошивання при звичайній точності виготовлення електроерозійних копіювально-прошивних верстатів для горизонтальних розмірів складають 0,01мм. Похибки, які викликані деформаціями вузлів верстата при його роботі, визначаються жорсткістю стола, станини і інструментальної головки і при застосуванні раціональної конструкції не будуть перевищувати 0,02мм.

Похибки, що викликані тепловими деформаціями ЕІ та заготовки $\Delta_{\text{т}}$ можуть бути значно зменшені при охолодженні робочої рідини і аналогічно, як і при відомих способах ЕЕО [42, с.97], наприклад, при довжині обробленої поверхні 200мм орієнтовно складають 0,01мм.

Похибки, що викликані неточністю установки (наладки) ЕІ $\Delta_{\text{нал}}$, при застосуванні відповідних технологічних прийомів складають 0,01...0,02мм [2, с.98].

Похибки, що пов'язані з особливостями процесу ерозії $\Delta_{\text{пр}}$, обумовлені коливаннями величини міжелектродного зазору та зносом ЕІ. Коливання величини міжелектродного зазору пов'язані перш за все з коливаннями основних параметрів процесу (складу і швидкості потоку робочої рідини, напруги і струму обробки) на різних ділянках міжелектродного зазору і можуть досягати 0,05мм і більше. Відхилення, які викликані ерозійним зносом ЕІ, аналогічно як і при відомих способах ЕЕО, можуть бути заздалегідь враховані і шляхом раціональної побудови процесу обробки [195, с. 138] зведені до значень, що суттєво не впливають на точність обробки, наприклад, 0,02мм.

Фасонні поверхні, як відомо, задаються комбінацією горизонтальних та вертикальних розмірів. Відповідно, точність обробки визначається похибками цих розмірів. Сумарна похибка горизонтальних розмірів більше загальної похибки вертикальних розмірів [2, с. 100]. Тому точність обробки може бути визначена виходячи із сумарної похибки горизонтальних розмірів [2, с. 101] згідно виразу:

$$\Delta_{\text{сум}} = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \dots + \Delta_n^2}, \quad (2)$$

де $\Delta_1^2, \Delta_2^2, \Delta_3^2, \dots, \Delta_n^2$ - складові сумарної похибки.

Величина допуску на оброблену деталь повинна бути більшою можливих похибок процесу обробки $\Delta_{\text{сум}}$ і похибок розмірів ЕІ $\Delta_{\text{ел}}$, що виникають при його виготовленні. Тоді допуск на деталь може бути визначено [2, с.102] згідно виразу:

$$f = \sqrt{\Delta_{\text{сум}}^2 + \Delta_{\text{ел}}^2} . \quad (3)$$

Величину допуску на ЕІ доцільно вибирати в межах 30...50% від величини похибки, що виникає в процесі обробки [2, с. 102].

Помітно на точність виготовлення деталей впливає стійкість ЕІ в процесі обробки. Стійкість ЕІ є функцією таких параметрів процесу, як матеріал і полярність електродів, склад і динамічний тиск потоку робочої рідини, напруга і струм розряду, міжелектродний зазор, форма і розміри електродів, гідродинамічний режим течі робочої рідини, який змінюється на різних ділянках електрода і т. і.

ЕІ для РОД виготовляються з тих же матеріалів і забезпечують таку ж стійкість, як і при відомих способах ЕЕО. Зокрема, ЕІ можуть бути виготовлені із графітованих матеріалів, наприклад, марки МПГ-7, сталі, сірого чавуну, міді, латуні, алюмінієвих сплавів і т.і., а їх об'ємний знос може коливатись в межах від сотих і десятих часток відсотка до 100% і більше.

Звичайно металеві електроди мають порівняно невисоку стійкість (за виключенням електродів на основі вольфраму), їх об'ємний знос звичайно не менше 20...30% і тому застосування таких електродів доцільне лише в тих випадках, коли їх знос не впливає на точність отриманих деталей, наприклад, при прошиванні наскрізних отворів, або ж коли це викликано технологічною необхідністю. Так, наприклад, при обробці твердих сплавів ЕІ із сірого чавуну забезпечують добру якість і високу продуктивність процесу.

На стійкість і на характер зносу металевих електродів значно впливає полярність електродів. Наприклад, стійкість латунних електродів при обробці сталей при прямій полярності приблизно в три рази вища, ніж при зворотній. Різним при зміні полярності є також характер зносу металевих ЕІ.

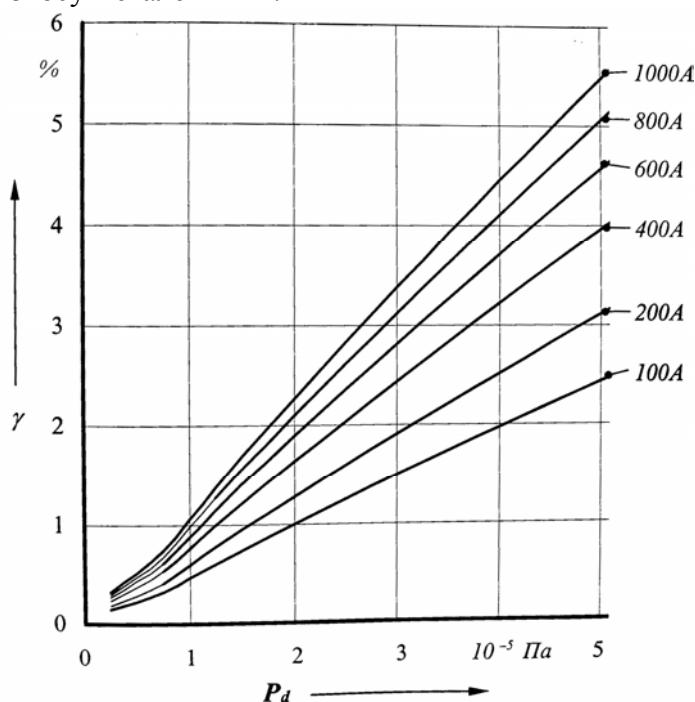


Рисунок 1 – Залежність об'ємного зносу γ ЕІ від I та P_d

Найбільш високу стійкість, аналогічно як і при відомих способах ЕЕО, забезпечують ЕІ із графітізованих матеріалів типу МПГ-7 при застосуванні в якості робочих середовищ нафтопродуктів (масло, гас і т.і.) і при зворотній полярності електродів. Це підтверджується рисунком 1, де показано залежність об'ємного зносу γ ЕІ з матеріалу марки МПГ-7 при обробці сталі 5ХНТ від I та P_d при застосуванні в якості робочого середовища гасу (50%) і масла "Індустріальне-12" (50%), при застосуванні ЕІ з матеріалу МПГ-7, при $I=100...1000A$, $P_d= 0,01...0,5MPa$ і при зворотній полярності електродів, що визначається за формулою, %:

$$\gamma = 4,56 \cdot 10^{-6} I^{0,35} P_d^{0,89} . \quad (4)$$

Отримана залежність показує, що знос ЕІ визначається перш за все динамічним тиском потоку рідини P_d і меншою мірою струмом обробки I .

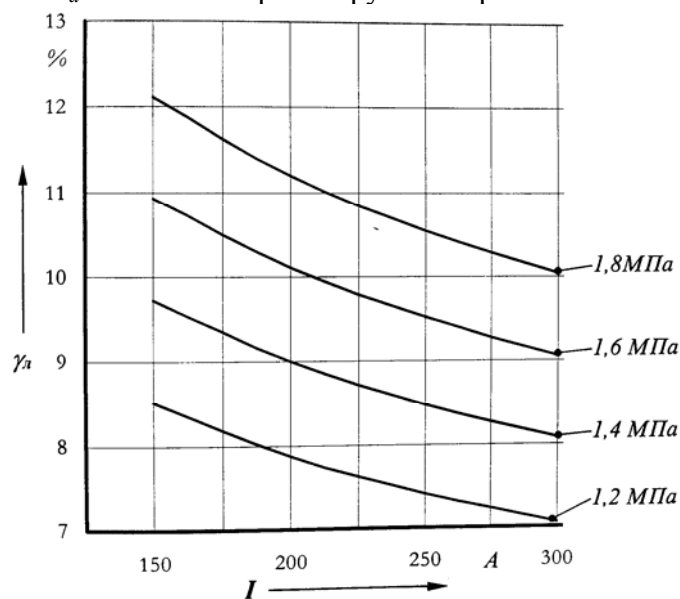


Рисунок 2 – Залежність лінійного зносу γ_n ЕІ від I та P_s для сплаву ВТЗ-1

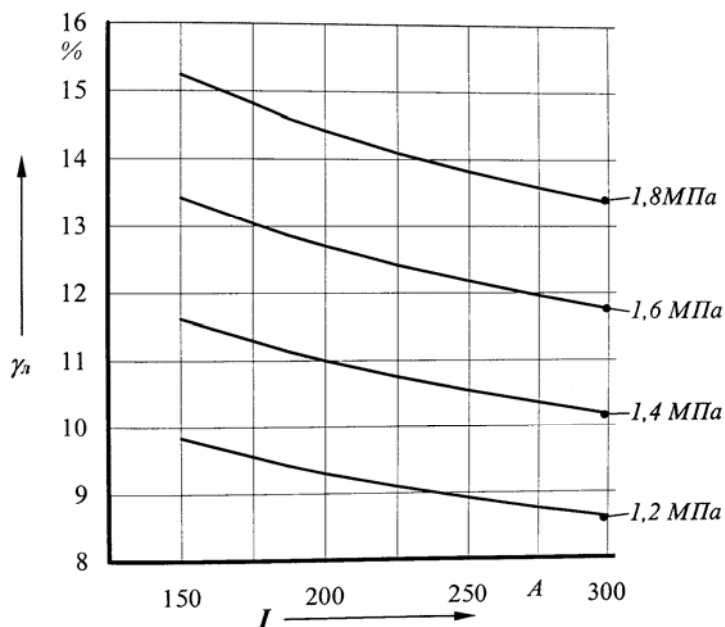


Рисунок 3 – Залежність лінійного зносу γ_n ЕІ від I та P_s для сталі 45

На рисунках 2 і 3 показано залежності лінійного зносу γ_L ЕІ з матеріалу марки МПГ-7 від I та P_s відповідно для сплаву ВТЗ-1 і сталі 45 при використанні в якості робочого середовища водопровідної води, які визначаються відповідно за формулами, %:

$$\gamma_L = 1,69 \cdot 10^{-4} I^{-0,27} P_s^{0,87}, \quad (5)$$

$$\gamma_L = 6,39 \cdot 10^{-6} I^{-0,19} P_s^{1,08}. \quad (6)$$

Отримані графіки підтверджують помітну залежність зносу ЕІ від статичного тиску робочої рідини P_s і менше — від струму обробки I . При цьому в зазначеному діапазоні режимів обробки лінійний знос ЕІ при обробці сплаву ВТЗ-1 порівняно зі сталлю 45 в 1,1... 1,2 рази менше.

Профіль формоутворюючої поверхні ЕІ будується згідно технологічних схем формоутворення, режимів обробки та схеми утворення міжелектродних зазорів. Розрахунок геометричної (розмірної) корекції ЕІ з врахуванням міжелектродного зазору, шорсткості поверхні та товщини зони термічного впливу здійснюється згідно існуючих методик ЕЕО [3, с. 101...110]. При реалізації технологічної схеми формоутворення по принципу прошивання з об'ємним копіюванням форми ЕІ можна виділити дві характерні групи ЕІ: для отримання наскрізних отворів і для профілювання поверхонь об'ємного фасонного профілю. ЕІ для отримання наскрізних отворів виготовляються у вигляді стержнів, поперечні перерізи яких являють собою еквіваленти відповідних перерізів отвору, який отримують; при цьому відстань між поверхнею ЕІ та стінками отвору, що отримують, дорівнює міжелектродному зазору. При одержанні фасонних об'ємних поверхонь контури профілю ЕІ є еквідистантами відповідних контурів оброблених поверхонь, окреслених на відстані міжелектродного зазору.

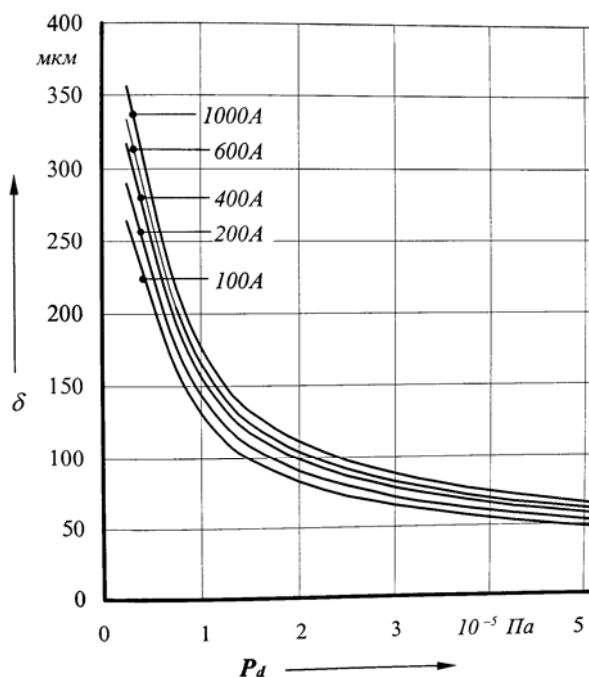


Рисунок 4 – Залежність міжелектродного зазору δ ЕІ від I та P_d

Міжелектродний зазор в умовах РОД є функцією таких параметрів, як матеріал і полярність електродів, склад і динамічний тиск потоку робочої рідини, напруга і струм розряду, гідравлічний режим течі робочої рідини. На рисунку 4 показано залежність величини міжелектродного зазору від I і P_d при обробці сталі 5ХНТ ЕІ із матеріалу МПГ-7 при напрузі на дузі $U=40$ В, при використанні в якості робочої рідини гасу

(50%) і масла “Індустріальне-І2” (50%), при $I=100\dots400\text{А}$, $P_d=0,01\dots0,5\text{МПа}$ і при зворотній полярності електродів, що визначається за формулою, мкм:

$$\delta = 29195,12I^{0,13}P_d^{-0,54}. \quad (7)$$

На рисунках 5 і 6 показано залежність міжелектродного зазору δ від струму I і статичного тиску робочої рідини P_s на вході в міжелектродний зазор відповідно для сплаву ВТЗ-1 і сталі 45, що визначаються відповідно за формулами, мкм:

$$\delta = 2336,92I^{0,31}P_s^{-0,3}, \quad (8)$$

$$\delta = 1,57 \cdot 10^6 I^{0,2}P_s^{-0,72}. \quad (9)$$

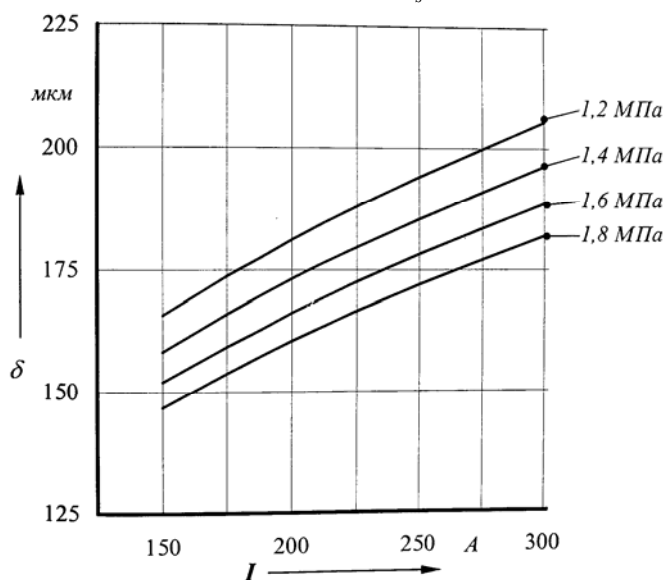


Рисунок 5 – Залежність міжелектродного зазору δ ЕІ від I та P_s для сплаву ВТЗ-1

Оптимальною є реалізація процесу при мінімальних міжелектродних зазорах. Проте при цьому різко зростає тиск робочої рідини, що не бажано. Звичайно величина міжелектродного зазору коливається в межах 0,1...0,2мм.

Розрахунки та виготовлення ЕІ для РОД здійснюється, певною мірою, як при відомих способах ЕЕО [3, с.131...188].

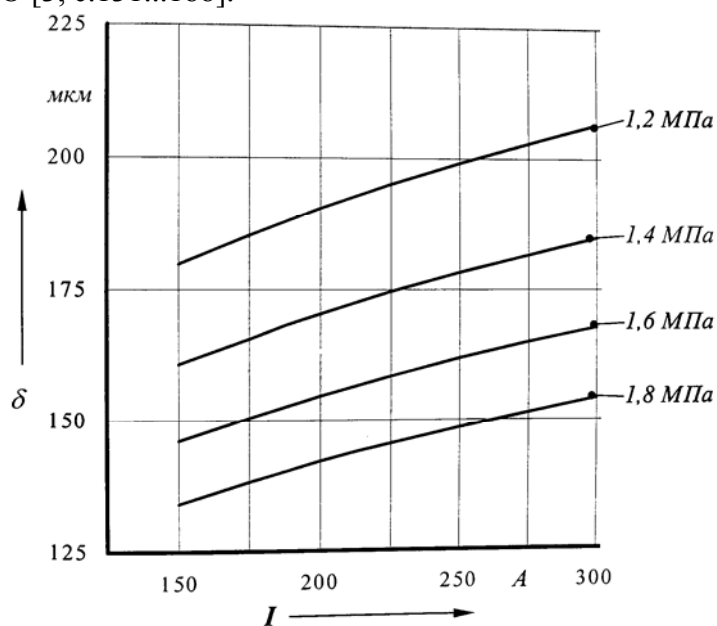


Рисунок 6 – Залежність міжелектродного зазору δ ЕІ від I та P_s для сталі 45

Враховуючи вище зазначене, точність обробки за умов РОД стосовно копіювально-прошивних операцій при розмірах оброблених поверхонь до 100мм коливається в межах 0,02...0,2мм, що відповідає звичайній точності інструментальних робіт. Отже, в загальному підсумку, треба зазначити, що спосіб РОД являє собою високоефективну альтернативу традиційним способам обробки різанням та ЕЕО при виготовленні деталей складної форми з важкооброблюваних матеріалів, адже дозволяє виготовляти їх з високою продуктивністю та з необхідною точністю обробки.

Список літератури

1. Носуленко В. І. Розмірна обробка металів електричною дугою: Автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.03.07. /Кіровоградський держ. техн. ун-т. – К., 1999. – 32 с.
2. Левинсон Е. М. Электроразрядная обработка металлов / Левинсон Е. М. и др. – Л.: Машиностроение, 1975.
3. Лившиц А.Л. Электроэрозионная и электрохимическая обработка. Часть 1./ Под ред. Лившица А.Л., Рома А.М. – М.: НИИМАШ, 1980. – 224 с.

Viktor Nosulenko, Vitaly Shmelyov

Kirovograd national technical university

Accuracy of processing in the conditions of dimensional processing by an electric arch

Investigation of possibilities of the method of dimensional processing of an electric arc to obtain the mechanical parts of the complex form of difficult materials with the necessary requirements of accuracy.

Describes the research of different factors on the accuracy of machining. It is shown that the accuracy of manufacturing of details influenced by factors such as: the accuracy of the equipment; thermal deformations of the electrode and the detail; the inaccuracy of the mutual location of the electrode and the detail; the processes related to erosion. When designing the electrode-tool, you need to take into account its depreciation during the manufacture of detail and interelectrode gap between the electrode-tool and a detail. It is shown the influence of main technological characteristics of the process of depreciation of the electrode-tool, and interelectrode gap between the electrode-tool and a detail.

Accuracy of processing in the conditions dimensional processing electric arc varies in the range of 0.02...0,2mm, which corresponds to the usual precision instrumental works, so it can effectively be used in the manufacture of complex components of difficult materials.

precision manufacturing, electric arc, interelectrode gap, depreciation of the electrode-tool, the dynamic pressure of the working fluid flow, current strength

Одержано 31.10.13