

УДК 621.9.048

**В.І. Носуленко, проф., д-р техн. наук., П.М. Великий, інж., Ю.М. Гращенко асп.**  
*Кіровоградський національний технічний університет*

## Технологічні характеристики процесу поділу пруткового металу на мірні заготовки способом розмірної обробки електричною дугою

Описано технологічні характеристики процесу поділу пруткового металу на мірні заготовки способом розмірної обробки електричною дугою тонкостінним видовженим пластинчатої форми електродом-інструментом, зокрема продуктивність, шорсткість обробленої поверхні і знос електрода-інструмента. Визначено вплив змінних факторів, таких як сила струму, статичний тиск рідини і робоча напруга, на продуктивність процесу, шорсткість обробленої поверхні, знос електрода-інструмента, та визначено основні керуючі фактори. Побудовано математичні моделі та графіки залежності технологічних характеристик від основних керуючих факторів, якими є сила струму  $I$  та статичний тиск рідини  $P_s$ .

**поділ, спосіб, обробка електричною дугою, технологічні характеристики, продуктивність, шорсткість, знос електрода-інструмента**

До 90% пруткового прокату, що надходить на машинобудівні підприємства, підлягає поділу на мірні заготовки. Для цього застосовують різання на сортових ножицях, різання на пресах в штампах, холодне ламання, різання на металоріжучому обладнанні, різання на пилках тертя, вогневе різання, електричні способи різання. Перераховані способи поділу не дозволяють одночасно отримати високу продуктивність процесу та забезпечити достатньо високу точність розмірів і незначну шорсткість обробленої поверхні, особливо при поділі важкооброблюваних металів [1].

В цьому зв'язку науковий і практичний інтерес являє процес розмірної обробки електричною дугою (РОД), який відрізняється високою продуктивністю та забезпечує достатньо високу точність розмірів і незначну шорсткість обробленої поверхні та, при необхідності, може забезпечити відсутність зони термічного впливу, зокрема за умов поділу пруткового металу на мірні заготовки [1].

Опис технологічних прийомів і послідовність технологічної схеми поділу представлено в роботі [1], проте невизначеними залишаються якісні і кількісні технологічні характеристики, дослідження і опис яких дозволить ефективно реалізувати запропонований процес.

В цьому зв'язку для розробки та реалізації конкретних технологічних процесів, необхідно визначити технологічні характеристики процесу поділу пруткового металу способом РОД, зокрема, продуктивність процесу  $M$ , шорсткість обробленої поверхні  $R_a$ , знос електрода-інструмента (EI) залежно від статичного тиску робочої рідини на вході в міжелектродний зазор  $P_s$  та сили струму  $I$ . Для цього доцільно використати математичне моделювання і статистичні методи планування та обробки результатів експериментів.

При цьому треба враховувати, що геометричні і енергетичні характеристики дуги, фізичний механізм процесу і технологічні характеристики РОД визначаються перш за все такими факторами як матеріал і полярність електродів, склад і динамічний

тиск потоку робочої рідини в зоні обробки, міжелектродний зазор, струм і напруга дуги. Склад робочої рідини, матеріал і полярність електродів в умовах РОД визначаються технологічною і експлуатаційною доцільністю і отже є заданими. Міжелектродний зазор коливається у вузьких межах, складає 0,1...0,2 мм і, в першому наближенні, може розглядатись як фактор, що помітно не впливає на характеристики процесу. Напруга при заданих умовах процесу (матеріал і полярність електродів, склад робочої рідини, приблизно постійна величина міжелектродного зазору) повністю визначається струмом і динамічним тиском потоку робочої рідини в зоні обробки. Таким чином, основними факторами, що обумовлюють геометричні та енергетичні характеристики дуги, фізичний механізм процесу і технологічні характеристики РОД, є струм і динамічний тиск потоку робочої рідини в зоні обробки. Саме тому надалі геометричні і енергетичні характеристики дуги, фізичний механізм процесу і технологічні характеристики РОД будуть, перш за все, розглядатись як функція цих двох незалежних змінних – струму  $I$  і динамічного тиску потоку робочої рідини  $P_d$  в зоні обробки.

Зазначимо, що швидкість потоку робочої рідини є недостатньо зручним та визначеним параметром для поточного контролю та керування характеристиками процесу. Тому для заданих умов експерименту, замість динамічного тиску потоку  $P_d$  доцільно користуватись статичним тиском робочої рідини на вході в міжелектродний зазор  $P_s$ , який легко контролюється і опосередковано визначає динамічний тиск потоку  $P_d$ .

Осцилограма зазначеного процесу приведена на рис. 1, яка підтверджує його стабільність.

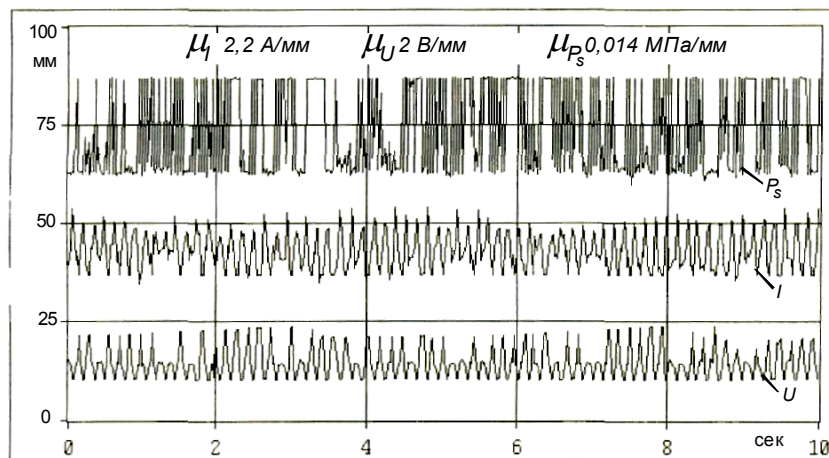


Рисунок 1 – Осцилограма струму, напруги і статичного тиску рідини

Дослідження поділу прутка на мірні заготовки тонкостінним видовженим пластинчатої форми ЕІ виконувалося у визначеній послідовності на універсальному копіювально-прошивному верстаті “Дуга-8Г” і сконструйованому та виготовленому пристрої. Умови експерименту: матеріал заготовки Сталь 20, та діаметр 20мм; матеріал ЕІ – графіт МПГ 7, при товщині 3мм; полярність електродів зворотна. Проведено серію експериментів при варіюванні керуючих факторів  $P_s$  та  $I$  на трьох рівнях, на підставі яких, з використанням методів статистичного аналізу, отримано математичні моделі, які показують вплив зазначених факторів обробки на продуктивність, шорсткість та знос ЕІ в умовах поділу пруткового металу на мірні заготовки способом РОД. Межі варіювання керуючих факторів обумовлені потребою забезпечити якість обробленої поверхні деталей.

Планування експерименту, статистична обробка отриманих результатів, побудова та аналіз математичних моделей виконані за допомогою програмного пакету STATISTICA 6.0, зокрема таких модулів як Планування експерименту, Основні статистики і таблиці, Множинна регресія, Нелінійне оцінювання.

На рис. 2 показано ступінь впливу на продуктивність процесу  $M$  змінних факторів: сили струму  $I = 50 \dots 200$  А, статичного тиску рідини  $P_s = 0,6 \dots 1$  МПа, робочої напруги  $U = 25 \dots 30$  В.

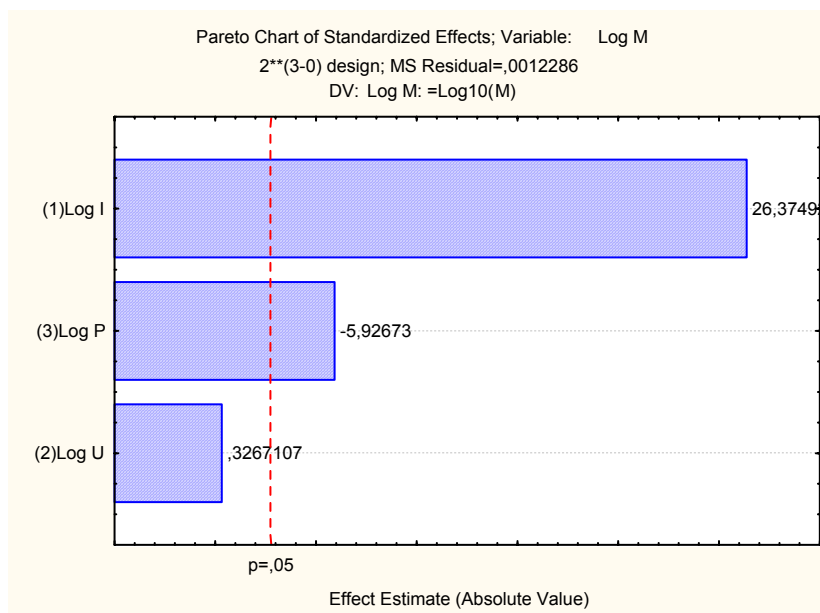


Рисунок 2 – Вплив змінних факторів на продуктивність процесу поділу  $M$

Рівняння регресії згідно коефіцієнтів:

$$y_1(M) = -0,47 + 0,97x_1 + 0,012x_2 - 0,22x_3. \quad (1)$$

Відповідно, математична модель в функції трьох факторів,  $\text{мм}^2/\text{хв}$ :

$$M = 0,34I^{1,086}U^{0,1}P_s^{-0,66}. \quad (2)$$

Згідно перевірки моделі за t-критерієм значущими факторами є сила технологічного струму  $I$  та статичний тиск рідини  $P_s$ . Отже, основними керуючими факторами, що впливають на продуктивність процесу, є сила технологічного струму  $I = 50 \dots 200$  А,  $P_s = 0,6 \dots 1$  МПа. На практиці для визначення продуктивності в залежності від режиму обробки доцільно користуватись графіками в функції двох факторів, якими об'єктивно є  $I$  та  $P_s$ . Побудовано матрицю плану  $2^2$  з для двох факторів:  $I = 50 \dots 200$  А та  $P_s = 0,6 \dots 1$  МПа.

На рис. 3 показано графік продуктивності в залежності від сили струму та статичного тиску рідини, побудований за формулою,  $\text{мм}^2/\text{хв}$ .

$$M = 0,5I^{1,08}P_s^{-0,66}. \quad (3)$$

Продуктивність обробки прямо пропорційна силі струму і зменшується із підвищенням тиску робочої рідини. При силі струму 200 А досягає  $220 \text{ мм}^2/\text{хв}$ .

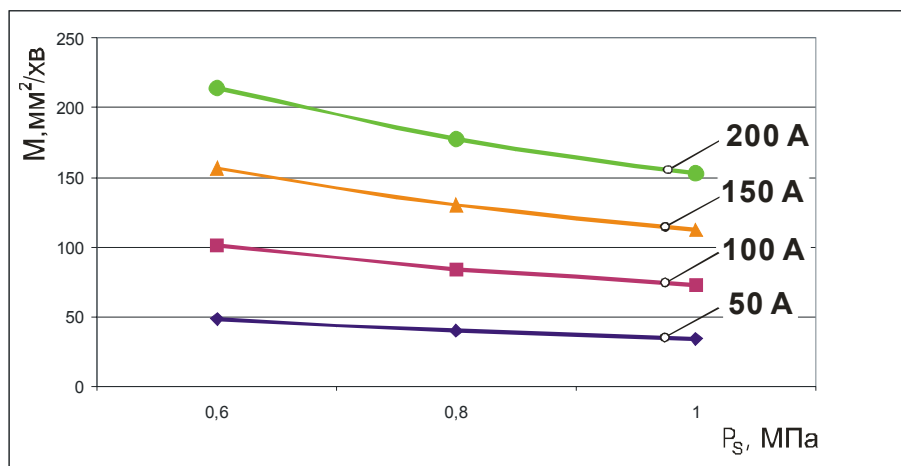


Рисунок 3 – Графік залежності продуктивності процесу від технологічного струму I та статичного тиску рідини Ps

На рис. 4 показано ступінь впливу на шорсткість Ra змінних факторів: сили струму I = 50...200 A, статичного тиску рідини Ps = 0,6...1 МПа, робочої напруги U = 25...30 В.

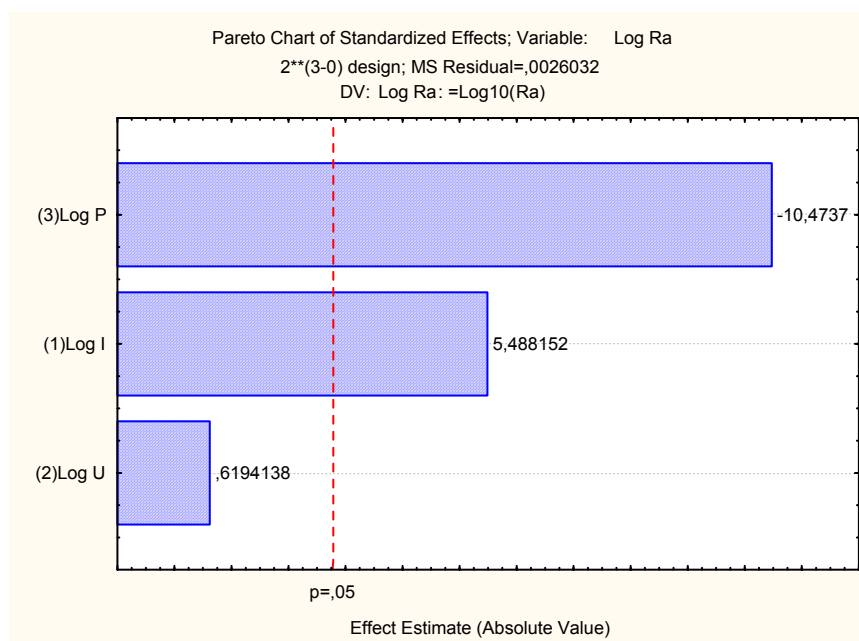


Рисунок 4 – Вплив змінних факторів на шорсткість обробленої поверхні Ra

Рівняння згідно коефіцієнтів регресії:

$$y_2(Ra) = 0,092 + 0,46x_1 + 0,52x_2 - 0,87x_3. \quad (4)$$

Математична модель в функції трьох факторів, мкм:

$$Ra = 1,24I^{0,33}U^{0,28}P_s^{-1,7}. \quad (5)$$

Згідно перевірки моделі за t-критерієм значущими факторами є сила технологічного струму I та статичний тиск рідини Ps. Отже, основними керуючими

факторами, що впливають на шорсткість обробленої поверхні, є сила технологічного струму  $I = 50 \dots 200$  А,  $P_s = 0,6 \dots 1$  МПа. Побудовано матрицю плану  $2^2$  з для двох факторів:  $I = 50 \dots 200$  А та  $P_s = 0,6 \dots 1$  МПа.

На рис. 5 показано графік шорсткості в залежності від сили струму та статичного тиску рідини, побудований за формулою, мкм

$$Ra = 3,39I^{0,32}P_s^{1,66} \quad (6)$$

На рис. 5 показано що шорсткість обробленої поверхні прутка  $Ra$ , зменшується при збільшенні тиску робочої рідини та зменшенні сили струму.

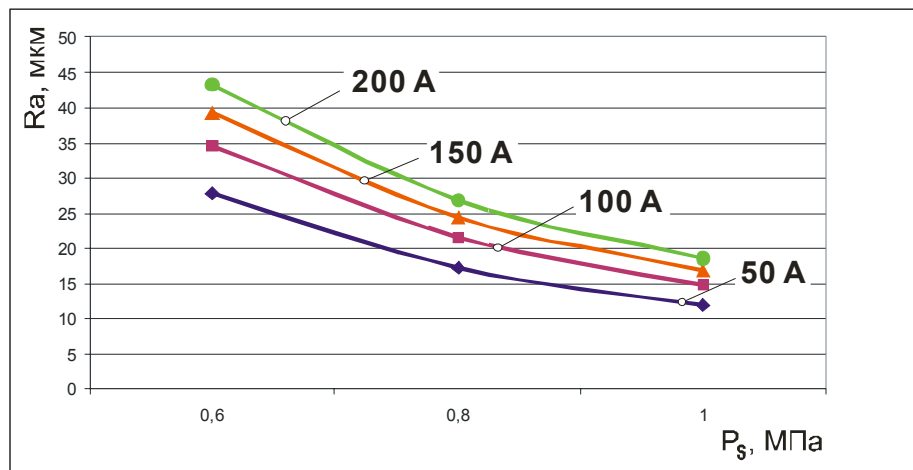


Рисунок 5 – Графік залежності шорсткості обробленої поверхні від технологічного струму  $I$  та статичного тиску рідини  $P_s$

На рис. 6 показано ступінь впливу на знос EI змінних факторів: сили струму  $I = 50 \dots 200$  А, статичного тиску рідини  $P_s = 0,6 \dots 1$  МПа, робочої напруги  $U = 25 \dots 30$  В.

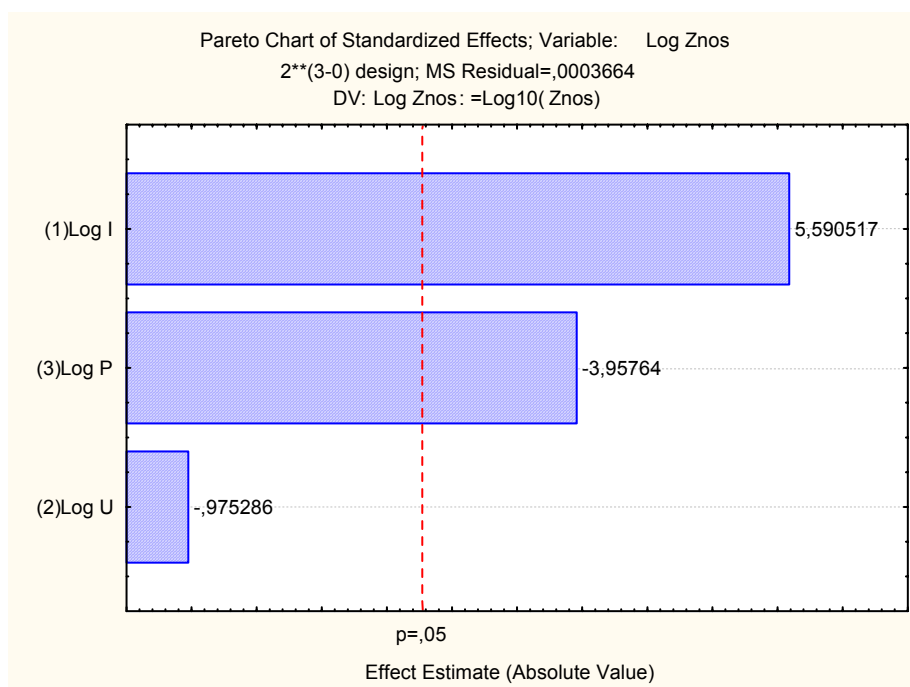


Рисунок 6 – Вплив змінних факторів на знос EI

Рівняння згідно коефіцієнтів регресії:

$$y_3(\gamma) = 0,425 + 0,78x_1 - 0,135x_2 - 0,55x_3. \quad (7)$$

Математична модель в функції трьох факторів, %

$$\gamma = 2,66I^{0,126}U^{-0,167}P_s^{-0,24}. \quad (8)$$

Згідно перевірки моделі за t-критерієм значущими факторами є сила технологічного струму  $I$  та статичний тиск рідини  $P_s$ . Отже, основними керуючими факторами, що впливають на знос ЕІ, є сила технологічного струму  $I = 50 \dots 200$  А,  $P_s = 0,6 \dots 1$  МПа. Побудовано матрицю плану  $2^2$  з для двох факторів:  $I = 50 \dots 200$  А та  $P_s = 0,6 \dots 1$  МПа.

З графіка на рис. 7 видно, що із підвищенням тиску робочої рідини і зменшені сили струму знос ЕІ зменшується. Графік зносу ЕІ при поділі прутка в залежності від статичного тиску рідини  $P_s$  та сили струму  $I$ , побудовано за формулою, %

$$\gamma = 1,62I^{0,114}P_s^{-0,175}. \quad (9)$$

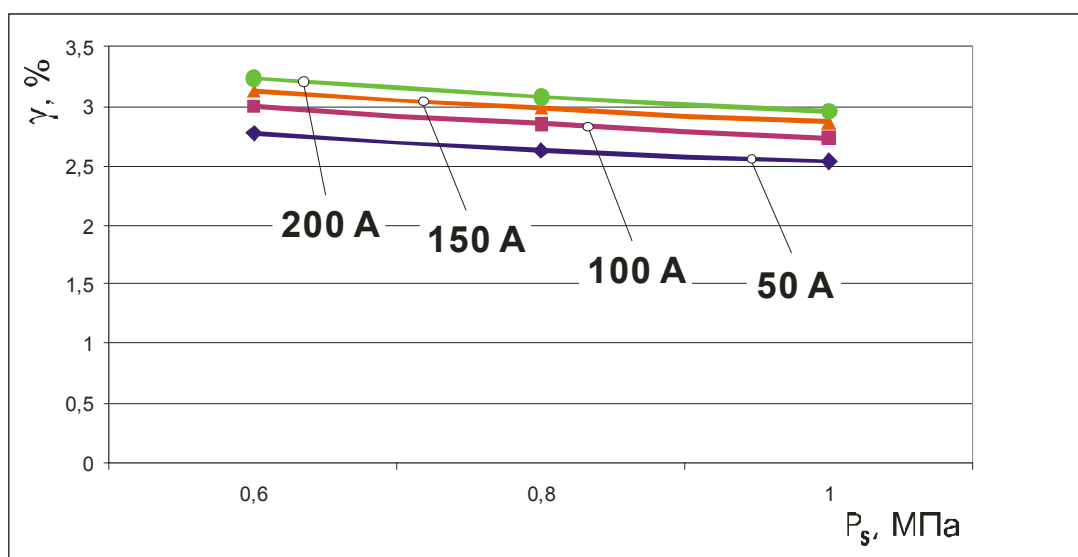


Рисунок 7 – Графік залежності зносу електрода-інструмента від технологічного струму  $I$  та статичного тиску рідини  $P_s$

Таким чином, при заданому значенні шорсткості обробленої поверхні  $R_a$ , за величиною сили струму  $I$  і тиском  $P_s$  визначають продуктивність  $M$  і час обробки, розраховують знос ЕІ.

Досліджені і описані технологічні характеристики поділу пруткового металу на мірні заготовки способом РОД із застосуванням тонкостінного видовженого пластинчастої форми ЕІ в функції основних керуючих факторів дозволяють здійснити розробку технологічних процесів, виконати розрахунки продуктивності, трудомісткості, стійкості інструменту, керувати якістю отриманих деталей.

Отримані технологічні характеристики процесу поділу: Продуктивність процесу поділу при силі струму  $I = 50$  А, складає  $M = 30 \dots 50$  мм<sup>2</sup>/хв.; при  $I = 100$  А,  $M = 70 \dots 100$  мм<sup>2</sup>/хв.; при  $I = 150$  А,  $M = 110 \dots 160$  мм<sup>2</sup>/хв.; при  $I = 200$  А, продуктивність знаходиться в межах  $M = 150 \dots 220$  мм<sup>2</sup>/хв, зростає при збільшені сили струму і

зменшені тиску робочої рідини. Шорсткість обробленої поверхні заготовок при статичному тиску рідини  $P_s = 0,6$  МПа, складає  $Ra\ 27...44$  мкм; при  $P_s = 0,8$  МПа,  $Ra\ 17...27$  мкм; при  $P_s = 1$  МПа,  $Ra\ 11...19$  мкм, зростає при збільшенні сили струму і зменшенні тиску робочої рідини. Знос ЕІ при силі струму  $I = 50$  А, знаходиться в межах  $\gamma = 2,5...2,8\%$ ; при  $I = 100$  А,  $\gamma = 2,7...3\%$ ; при  $I = 150$  А,  $\gamma = 2,8...3,1\%$ ; при  $I = 200$  А,  $\gamma = 2,9...3,3\%$ , збільшується при збільшенні сили струму і зменшенні тиску робочої рідини. Забезпечена більш висока продуктивність в порівнянні з відомим електроерозійним процесом різання дротиною.

## Список літератури

1. Фотеев Н.К. Технология электроэрозионной обработки. – М.: Машиностроение, 1980, 184 с. ил.
2. Носуленко В.И. Электрическая дуга в поперечном потоке среды-диэлектрика как источник тепла для новых технологий // Электронная обработка материалов.- 2005.- №2.
3. Носуленко В.И. Розмірна обробка металів електричною дугою: Автореф. дис. д-ра техн. наук: Кіровоградський держ. техн. університет. Київ, 1999.
4. Носуленко В.І., Великий П.М., Гаращенко Ю.М. Поділ пруткового металу на мірні заготовки способом розмірної обробки дугою //Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету / Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин / - Вип. 38. - Кіровоград: КНТУ, 2008. – С. 109-113.

*В. Носуленко, П.Великий, Ю. Гаращенко*

**Технологические характеристики процесса деления пруткового металла на мерные заготовки способом размерной обработки электрической дугой**

Описаны технологические характеристики процесса деления пруткового металла на мерные заготовки способом размерной обработки электрической дугой тонкостенным удлиненным пластинчатой формы электродом-инструментом, в частности производительность, шероховатость обработанной поверхности и износ электрода-инструмента. Определенно влияние переменных факторов, таких как сила тока, статическое давление жидкости и рабочее напряжение, на производительность процесса, шероховатость обработанной поверхности, износ электрода-инструмента, и определено основные управляющие факторы. Построены математические модели и графики зависимости технологических характеристик от основных управляющих факторов, которыми является сила тока  $I$  и статическое давление жидкости  $P_s$ .

*V. Nosulenko, P. Velikiy, Y. Garashenko*

**Technological descriptions of process division of twig metal on the measured purveyances by the method of dimensional arc treatment**

Technological descriptions of process of division metal of small twig are described on the measured purveyances by the method of dimensional arc treatment thin-walled extended plate form by an electrode-instrument, in particular the productivity, roughness of the treated surface and tearing down of electrode-instrument. Certainly poured in variable factors, such as strength of current, static pressure of liquid and working tension, on the productivity of process, roughness of the treated surface, tearing down of electrode-instrument, and certainly basic managing factors. Mathematical models and graphic arts dependence of technological descriptions from basic managing factors, which strength of current  $I$  and static pressure of liquid of  $P_s$ , are built.

Одержано 18.09.09