

manufactured and tested. The structural and technological solutions of joints that increase the carrying capacity from 90 to 130 % relative to the original method of connection are the results of experimental studies. Increase of interlayer structural strength is achieved through embedded connector. Technical recommendations on the adhesive sublayer on metal structural elements is offered; the conclusion about the impact on the viability of the joint is drawn as well.

*Keywords:* composite material, joint/compound, uneven tearing-off, carrying capacity.

Рецензент канд. техн. наук, доц. Нац. аерокосм. ун-та ім. Н.Е. Жуковського “ХАИ” Шевцова М.А.

Поступила в редакцію 16 юня 2014 г.

UDC 620.197.5+621.9.047

V.I. Osipenko, Dr. Eng., Prof.,  
A.P. Plakhotny, Ph.D., Assoc.Prof.,  
A.Yu. Denisenko, M.Sc. student,  
Cherkassy State Technological University

## IMPROVED METHODOLOGY FOR CALCULATING THE PROCESSES OF SURFACE ANODIC DISSOLUTION OF SPARK ERODED RECAST LAYER AT ELECTROCHEMICAL MACHINING WITH WIRE ELECTRODE

**Introduction.** The EDM in general and carved finishing by wire electrode in particular have become an alternative to mechanic processing in tool production, manufacturing of complex-shape parts of dies, molds, etc. With further development of EDM technology a pertinently urgent task, as for any other type of metal processing, relates to improving properties of the original surface. The most effective way to provide the required surface finish qualities represents combined use of consecutively applied electrical discharge technology and electrochemical treatment with wire electrode.

**Analysis of recent research and publications.** According to many researchers in the field [1, 2] the EDM process embodies a thermal one, when the material is removed by high energy electrical discharges. A concentrated heat flow directed onto a small workpiece surface area initiates both local melting and evaporation of the molten material. Depending on the time-dependent distribution of spark energy, only 10...20 % of the molten material is evaporated, and about 20...40 % is splashed out as a liquid from the wells under high pressure at breakdown path [3]. The remaining molten material solidifies and creates a white modified layer surface. This layer, specific with a high microhardness contains residual stresses, having a network of cracks and microfractures and usually consists of wire electrode transferred material, oxides and carbides. Moreover, that surface roughness is high and depends on the technological conditions of pulsed current EDM process. Thus, there exists a need for improving the surface texture and removing the surface layer, ameliorating therefore the product performances.

---

DOI: 10.15276/opus.1.43.2014.10

© V.I. Osipenko, A.P. Plakhotny, A.Yu. Denisenko, 2014

**The research goal** is to develop a refined calculation methods for estimating the quantification process of anodic dissolution when speaking about EDM modified surface layer with uneven thickness electrochemical characteristics, through introducing the factor of alternating electrochemical equivalent of surface material layer.

**Problem statement.**

Let the anode layer I (Fig. 2) of thickness  $h_1$  has a variable electrochemical equivalent  $K_v$ , alternating with the depth within values from  $K_1$  at  $y = 0$  up to  $K_2$  at  $|y| \geq h_1$ , that is

$$K_v = \begin{cases} K_1 + (K_2 - K_1) \frac{\xi}{h_1}, & \text{при } 0 \leq \xi \leq h_1; \\ K_2, & \text{при } |y| \geq h_1. \end{cases} \quad (1)$$

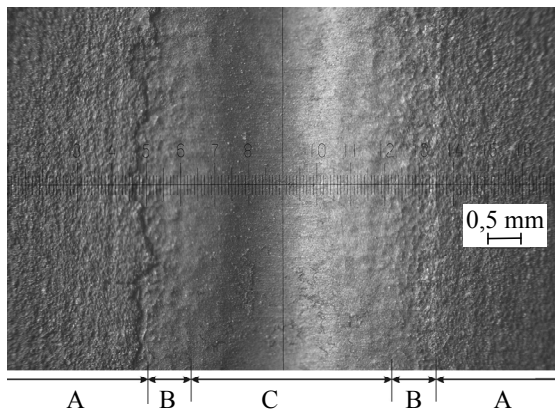


Fig. 1. Photo of the EDM machined part's surface groove obtained by further electrochemical dissolution of fixed wire electrode: Zone A — insoluble surface layer, zone B — semi-solved layer, Zone C — dissolved base material

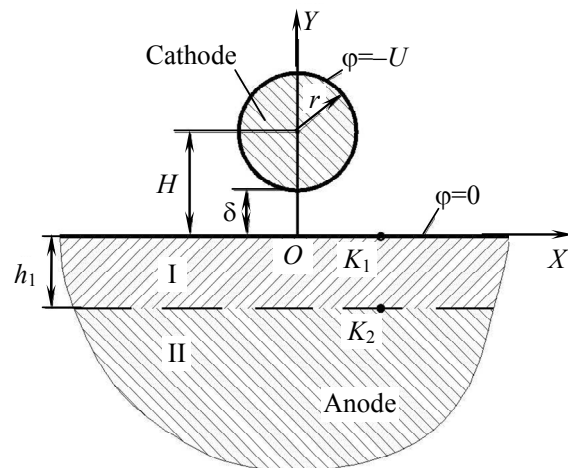


Fig. 2. Diagram of anode bilayer surface at electrochemical processing with wire cathode

With this  $K_v$  alternation rule change at the EDM layer — to — base part material border ( $y = h_1$ ) the electrochemical equivalents for areas I and II are the same. Then with depth increasing the  $K_v$  coefficient becomes a constant with value  $K_2$  characteristic for the processed piece base material. Let, while electrochemical dimensional treatment process, the anode surface dissolve, influenced by the electrostatic field of a round-section cathode having the radius  $r$ , distance from the anode  $H$  and spark gap  $\delta$  (Fig. 2).

Provided the cathode potential value is  $U$ , the field intensity distribution on the anode surface, according to formula [4]

$$E_y(x) \Big|_{y=0} = \frac{2aU}{\ln p} \frac{1}{x^2 + a^2}, \quad (2)$$

where  $a = \sqrt{H^2 - r^2}$ ;

$$p = \frac{a - \delta}{a + \delta}.$$

The electric field intensity component  $E_x$  along the axis  $OX$  can be neglected because of its small value compared to  $E_y$ .

The depth of the dissolved anode material at each point with coordinate  $x$

$$h(x,t) = K_v j(x) \Big|_{y=0} t = \frac{2K_v \kappa U a}{\ln p} \frac{1}{x^2 + a^2} t, \quad (3)$$

where  $j(x)$  — technological current density;

$t$  — dissolution delay;

$\kappa$  — electrolyte specific conductivity.

Equation (3) defines the curve 2 (Fig. 3) representing the groove profile at the given instance of dissolution time. Now we can find the coordinate  $x_1$  of the curve 2 intersection with the straight line 1, as boundary between areas I and II, described using the equation

$$h(x,t) = h_1. \quad (4)$$

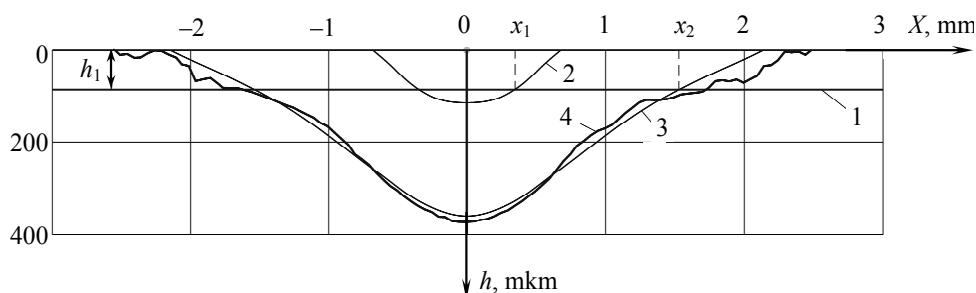


Fig. 3. Shape of grooves on the anode surface at electrochemical dissolution: 1 — border between areas I and II having different electrochemical equivalent; 2 — groove profile at the given moment  $t$  of dissolution delay; 3, 4 — calculated and experimentally obtained groove profile at the final instance  $t_2$  of dissolution delay

Supposing (3) equal to (4), we obtain

$$t_1(x) = \frac{h_1 \ln p(x^2 + a^2)}{2K_v \kappa U a}. \quad (5)$$

Here we shall determine the dissolution time value at that the coordinate  $x_1$  is found at characteristic positions. When  $x_1 = 0$  the moment, for which the surface EDM-modified layer will be dissolved at the  $x = 0$  point is:

$$t_1(0) = \frac{h_1 \ln p a}{2K_v \kappa U}. \quad (6)$$

So we can find the  $x_2$  coordinate (Fig. 3) of the surface layer dissolution boundary point for the final time instance  $t_2$ . Let  $x_2 = \alpha a$ . We determine  $\alpha$ , at that  $t_1(x) = t_2$ :

$$t_1(\alpha a) = \frac{h_1 \ln a^2(1 + \alpha^2)}{2K_v \kappa U a}.$$

Where from

$$\alpha = \sqrt{\frac{t_2 2K_v \kappa U}{h_1 a \ln p} - 1}. \quad (7)$$

Thus  $\alpha$  represents an important parameter characterizing the width (along the anode surface) of the removed EDM-modified layer.

To find the groove maximum depth  $h$ , we divide into  $h$  two terms in areas I and II:

$$h = h_I + h_{II}, \quad (8)$$

$$\text{where } h_1 = K_{\text{mean}} \frac{2\kappa U}{a \ln p} t_1(0) = h_1, \quad (9)$$

$$K_{\text{mean}} = \left( K_1 + (K_2 - K_1) \frac{\xi}{h_1} \right) \Big|_{\xi = \frac{1}{2} h_1}, \quad (10)$$

$$h_{\text{II}} = K_2 \frac{2\kappa U}{a \ln p} (t_2 - t_1(0)). \quad (11)$$

Next, we define the quantity of material removed during  $t_2$  current action time that characterizes the productivity of electrochemical dimensional treatment process. Now we shall find the area of the dissolved material per unit of the anode thickness:

$$S = S_I + S_{\text{II}}, \quad (12)$$

where  $S_I$  — substance dissolved within area I;

$S_{\text{II}}$  — substance dissolved within area II.

$$S_I = 2 \int_0^{\infty} K_{\text{mean}} \frac{2a\kappa U}{\ln p} \frac{1}{x^2 + a^2} t_2 dx - 2 \int_0^{x_2} K_2 \frac{2a\kappa U}{\ln p} \frac{1}{x^2 + a^2} t_2 dx.$$

either

$$S_I = 4 \frac{\kappa U}{\ln p} \left( K_{\text{mean}} \frac{\pi}{2} - K_2 \arctg \frac{x_2}{a} \right) t_2. \quad (13)$$

The component

$$S_{\text{II}} = 2 \int_0^{x_2} K_2 \frac{2\kappa U}{\ln p} \frac{1}{x^2 + a^2} t_2 dx,$$

either

$$S_{\text{II}} = \frac{4K_2\kappa U}{\ln p} t_2 \arctg \frac{x_2}{a}. \quad (14)$$

Dissolved matter volume:

$$V = SL, \quad (15)$$

where  $L$  — anode (workpiece) thickness.

**Results.** To correlate the analytic model with a real process of wire electrode electrochemical treatment, we effected series of experiments. The experimental study goal was to determine the geometrical parameters of grooves originated through processed pieces' surface layers electrochemical dissolution when wire-electrode being at fixed position.

The workpiece surface of 11,5 mm thickness (steel H12F1) has been preliminary modified as a result of three-fold electrical wire processing. Technological modes at first process approach: 100...130 A current amplitude, pulse current of 3,2 ms, frequency 22 kHz. The second approach, respectively: amplitude of 50...80A, duration 3,2 ms, frequency 22 kHz. The third one: amplitude 50 A, duration 2,5 ms, frequency 44 kHz. The final thickness of the EDM-modified layer ranged 30...50 mm.

The electrochemical dissolution has been carried out within 1 M NaCl electrolyte environment at 37...42 °C. For cathodes we used the brass wire (DKRPM FKTL63) of 0,2 mm diameter. The spark gap varied within 0,2...0,4 mm; voltage supplied to inter-electrode gap, varied within 4...12 V; electrical pulses duration: 0,02...2 ms intermittency factor 25...50 %, total electrochemical dissolution time amounted to 240...900 s.

Upon comparing the calculated and experimentally determined grooves' sizes we arrived to refine the numerical values of the steel surface layers electrochemical dissolution coefficients obtained under different technological conditions of processing.

**Conclusion.** Thus the suggested improved method of calculating the quantitative parameters of anodic dissolution process when EDM-modified surface layers having electrochemical properties non-uniform considering the thickness, allows to refine accurate values of the steel surface layers electrochemical dissolution coefficients and therefore can serve to a significant increase in the accuracy of calculating the wire electrode-assisted electrochemical surface modification process parameters.

#### Literature

1. Ramasawmy, H. Investigation of the relationship between the white layer thickness and 3D surface texture parameters in the die sinking EDM process / H. Ramasawmy, L. Blunt, K.P. Rajurkar // Precision Engineering. — 2005. — Vol. 29, Iss. 4. — PP. 479 — 490.
2. Puri, A.B. Modeling and analysis of white layer depth in a wire-cut EDM process through response surface methodology / A.B. Puri, B. Bhattacharyya // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. — 2005. — Vol. 25, Iss. 3-4. — PP. 301 — 307.
3. Моделювання теплових процесів руйнації електродів розрядами, характерними для електроерозійного дротяного вирізання / В.І. Осипенко, О.П. Плахотний, Л.Г. Полонський, А.Я. Степчин // Вісник ЖДТУ. — 2006. — № 4(39). — С. 63 — 70.
4. Житников, В.П. Импульсная электрохимическая размерная обработка [Текст]: монография / В.П. Житников, А.Н. Зайцев. — М.: Машиностроение, 2008. — 413 с.

#### References

1. Ramasawmy, H. Investigation of the relationship between the white layer thickness and 3D surface texture parameters in the die sinking EDM process / H. Ramasawmy, L. Blunt, K.P. Rajurkar // Precision Engineering. — 2005. — Vol. 29, Iss. 4. — pp. 479 — 490.
2. Puri, A.B. Modeling and analysis of white layer depth in a wire-cut EDM process through response surface methodology / A.B. Puri, B. Bhattacharyya // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. — 2005. — Vol. 25, Iss. 3-4. — pp. 301 — 307.
3. Osypenko, V.I. Modeliuvannia teplovykh protsesiv ruinatsii elektrodiv rozriadamy, kharakternymy dlia elektroeroziinoho drotianoho vyrizannia [Modeling of heat processes taking place in electrode destruction by discharges typical of electroerosive wire cutting] / V.I. Osypenko, O.P. Plakhotnyi, L.H. Polonskyi, A.Ya. Stepchyn // Visnyk ZhDTU [Bulletin of ZhSTU] — 2006. — # 4(39). — pp. 63 — 70.
4. Zhitnikov, V.P. Impul'snaya elektrokhimicheskaya razmernaya obrabotka [Tekst]: monografiya [Pulse electrochemical machining [Text]: monograph] / V.P. Zhitnikov, A.N. Zaytsev. — Moscow, 2008. — 413 p.

#### АНОТАЦІЯ / АННОТАЦИЯ / ABSTRACT

*В.І. Осипенко, О.П. Плахотний, А.Ю. Денисенко.* **Вдосконалення методики розрахунку процесів анодного розчинення поверхневого електроерозійно зміненого шару при електрохімічній обробці дротяним електродом.** Поверхня, отримана в результаті електроерозійної вирізної обробки дротяним електродом, вимагає додаткових фінішних операцій. Розмірна електрохімічна обробка є одним із способів, який дозволяє поліпшити остаточний вигляд оброблених сталей. Метою є кероване, бажано повне, електрохімічне розчинення поверхневого білого шару, що покращує експлуатаційні якості поверхні. Уточнюється математична модель для розрахунку процесу електрохімічної обробки дротяним електродом і узгоджується з експериментальними дослідженнями анодних процесів розчинення модифікованого шару. Порівняння експериментальних і розрахункових даних дає можливість уточнити чисельні значення коефіцієнтів електрохімічного розчинення поверхневих шарів сталі, отриманих за різних технологічних умов електроерозійної обробки. Результати сприяють розширенню впровадження на практиці комбінованої технології послідовного застосування електроерозійної та електрохімічної обробок дротяним електродом.

*Ключові слова:* електрохімічна розмірна обробка, дротяний електрод, електроерозійна вирізна обробка, коефіцієнт електрохімічного розчинення.

*В.И. Осипенко, А.П. Плахотный, А.Ю. Денисенко.* **Усовершенствование методики расчета процессов анодного растворения поверхностного электроэрозионно измененного слоя при электрохимической обработке проволочным электродом.** Поверхность, полученная в результате электроэрозионной вырезной обработки проволочным электродом, требует дополнительных финишных операций. Размерная электрохимическая обработка является одним из способов, который позволяет улучшить окончательный вид обработанных сталей. Целью является управляемое, желательное полное, электрохимическое растворение поверхностного белого слоя, улучшающее эксплуатационные качества поверхности. Уточняется математическая модель расчета процесса электрохимической

обработки проволочным электродом и согласуется с экспериментальными исследованиями анодных процессов растворения модифицированного слоя. Сравнение экспериментальных и расчетных данных позволяет уточнить численные значения коэффициентов электрохимического растворения поверхностных слоев стали, полученных при различных технологических условиях электроэрозионной обработки. Результаты способствуют расширению внедрения на практике комбинированной технологии последовательного применения электроэрозионной и электрохимической обработок проволочным электродом.

*Ключевые слова:* электрохимическая размерная обработка, проволочный электрод, электроэрозионная вырезная обработка, коэффициент электрохимического растворения.

*V.I. Osipenko, A.P. Plakhotny, A.Yu. Denisenko. Improved methodology for calculating the processes of surface anodic dissolution of spark eroded recast layer at electrochemical machining with wire electrode.* The wire electro discharge machining (WEDM) process produces surfaces that require some kind of finishing operation. The precision electrochemical machining is one of techniques used mainly to improve the steels' appearance. It is also desirable to remove the white uppermost recast layer (produced by the WEDM process) so as to improve the surface functional performance. The paper develops a mathematical model for wire electrochemical machining and employs this model in the experimental validation of the modified layer anodic dissolution processes. The effected comparison of experimental and calculated data for the first time allows specifying the numerical values of the electrochemical dissolution rate as to surface layers of steel obtained under different conditions of electrical discharge machining. The results obtained contribute to the extended practical implementation of the combined technologies when wire electro discharge and wire electrochemical machining. consecutively applied

*Keywords:* precision electrochemical machining, wire electrode, wire electrical discharge machining, rate of electrochemical dissolution.

Reviewer Dr. techn. sciences, Prof. of Odesa nat. polytechnic univ. Suryaninov N.G.

Received May 5, 2014

УДК 621.924.06.-229.331

**А.В. Усов**, д-р техн. наук, проф.,  
**А.А. Якимов**, канд. техн. наук, доц.,  
Одес. нац. политехн. ун-т

## ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ РЕЗОНАНСЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ КУСОЧНО-ПОСТОЯННОМ ВОЗБУЖДЕНИИ УПРУГОЙ СИСТЕМЫ ШЛИФОВАЛЬНОГО СТАНКА

**Введение.** Физико-механические свойства поверхностного слоя шлифованных деталей в значительной степени определяют долговечность их работы. Поверхностный слой обрабатываемой детали в процессе шлифования подвергается тепловому воздействию, приводящему к изменению его физико-механического состояния. Для снижения температуры при шлифовании успешно применяются прерывистые круги [1]. Однако прерываемость процесса резания может способствовать развитию значительных колебаний упругой системы станка, приводящих к формированию волнистости обрабатываемой поверхности. Периодичность изменения контакта круга с деталью при прерывистом шлифовании приводит к периодическому изменению жесткости упругой системы станка. В связи с этим возникла необходимость выявить условия, приводящие к параметрической неустойчивости станка при прерывистом шлифовании.

DOI: 10.15276/opr.1.43.2014.11

© А.В. Усов, А.А. Якимов, 2014