

УДК 621.9.047

DOI:10.30987/2223-4608-2020-5-29-32

**С.Ю. Съянов**, к.т.н.,  
**А.М. Папикян**, ассистент  
(ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»,  
241035, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, д. 7)  
E-mail: serg620@ya.ru; Papikan-alina@mail.ru

## **Технологическое обеспечение параметров усталостной прочности и износостойкости деталей машин при электроэрозионной обработке**

*Представлены обобщенные результаты теоретических и экспериментальных исследований влияния условий электроэрозионной обработки на параметры усталостной прочности и износостойкости деталей машин. Приведены теоретические и эмпирические зависимости, описывающие взаимосвязь условий электроэрозионной обработки с параметрами усталостной прочности и износостойкости. Определена степень влияния режимов электроэрозионной обработки на параметры усталостной прочности и износостойкости.*

**Ключевые слова:** усталостная прочность; износостойкость; электроэрозионная обработка; длительность импульса; напряжение; сила тока.

**S.Yu. Siyanov**, Can. Sc. Tech.,  
**A.M. Papikyan**, Assistant  
(FSBEI HE "Bryansk State Technical University", 7, 50 October Years Boulevard, Bryansk, 241035)

## **Technological support of fatigue strength and wear-resistance parameters of machinery at electro-erosion treatment**

*The generalized results of theoretical and experimental investigations of electro-erosion treatment conditions impact upon parameters of fatigue strength and wear-resistance of machinery are presented. There are shown theoretical and empirical dependences describing a correlation of electro-erosion treatment conditions with the parameters of fatigue strength and wear-resistance. The degree of electro-erosion treatment mode impact upon parameters of fatigue strength and wear-resistance is defined.*

**Keywords:** fatigue strength; wear-resistance; electro-erosion treatment; pulse duration; voltage; current strength.

Основными причинами неисправностей большинства деталей машин являются изнашивание поверхностей деталей и поломка деталей вследствие усталостных разрушений, которые оцениваются параметрами износостойкости и усталостной прочности.

Параметры усталостной прочности и износостойкости определяются видом обработки поверхностей деталей машин. Одним из окончательных методов обработки деталей машин является электроэрозионная обработка.

Параметры усталостной прочности и изно-

стойкости деталей машин зависят от параметров качества поверхностного слоя: параметров шероховатости  $R_{max}$ ,  $R_p$ ,  $S_m$ ,  $t_m$ ; параметров волнистости  $Wz$ ; макроотклонений  $H_{max}$  и степени наклепа  $U_n$  [1, 2]. В свою очередь параметры качества поверхностного слоя зависят от условий электроэрозионной обработки (ЭЭО): технологического тока  $I$ , напряжения  $U$ , длительности импульса  $\tau$ , свойств материалов инструмента и заготовки, свойств диэлектрической жидкости [3, 4]. В совокупности это позволяет установить теоре-

тические зависимости параметров усталостной прочности и износостойкости от условий электроэрозионной обработки.

В результате проведенных теоретических исследований [1 – 4] были получены зависимости, описывающие взаимосвязь параметра усталостной прочности и комплексного показателя качества поверхности трения деталей, применяемого для оценки параметра износостойкости, с условиями ЭЭО:

– параметр усталостной прочности  $\sigma$ :

$$\sigma = 1 + \frac{1,86\gamma^{0,5}}{\sqrt[6]{(2\beta - 1)IU\eta\tau} \sqrt[6]{(4\beta + 1)c\rho T_{пл}}}$$

$$C = \frac{\left[ \sqrt[3]{\frac{I \cdot \tau \cdot \eta}{c \cdot \rho \cdot T}} \cdot \left( \sqrt[3]{U_{max}} - \sqrt[3]{U_{min}} \right) \cdot H_{max} \right]^{1/6}}{0,0005 \cdot \left( \frac{(2 \cdot \beta - 1) \cdot I \cdot U \cdot \eta \cdot \tau}{(4 \cdot \beta + 1) \cdot c \cdot \rho \cdot T_{пл}} \right)^{1/6} \cdot \left( \frac{\left( 10^{-3} \cdot \frac{A_n^{0,234} \cdot \Pi_n^{0,409}}{\Pi_d^{0,236}} \right) - H_n}{\left( 10^{-3} \cdot \frac{A_n^{0,234} \cdot \Pi_n^{0,409}}{\Pi_d^{0,236}} \right)} \right)^{2/3} \cdot \left( \frac{\delta_B - \delta^{ост}}{\delta_a} \right)^t}$$

где  $I$  – сила тока, А;  $\eta$  – коэффициента полезного использования энергии импульса;  $\tau$  – длительность импульсов, мкс;  $c$  – удельная теплоемкость материала, Дж/кг·°С;  $\rho$  – плотность материала кг/м<sup>3</sup>;  $T$  – температура плавления материала, °С;  $U_{max}$  – максимальное напряжение при обработке, В;  $U_{min}$  – минимальное напряжение при обработке, В;  $A_n$  – энергия импульса, Дж;  $\Pi_d$  – коэффициент фазовых превращений Палатника материала детали, Дж·Вт/м<sup>4</sup>;  $\Pi_n$  – коэффициент фазовых превращений Палатника материала инструмента, Дж·Вт/м<sup>4</sup>;  $\delta_B$  – временное сопротивление разрушению, МПа;  $\delta_a$  – действующее значение амплитудного напряжения на поверхности трения, МПа;  $t$  – параметр фрикционной усталости при упругом контакте,  $H_{max}$  – макроотклонение поверхности, м;  $H_n$  – микротвердость наклепанного слоя, МПа;  $\delta^{ост}$  – остаточные напряжения второго рода, МПа.

На рис. 1 приведены теоретические зависимости и экспериментальные данные показателя усталостной прочности от режимов ЭЭО.

При математической обработке и сравнении теоретических данных и результатов экспериментальных исследований (см. рис. 1) был получен коэффициент  $\gamma$ , учитывающий условия ЭЭО, который получился равным 0,32. Данный коэффициент позволяет уточнить теоретическую зависимость для определения параметра усталостной прочности.

В результате проведения полнофакторного

где  $\gamma$  – коэффициент, учитывающий режимы ЭЭО, который необходимо определить в результате экспериментальных исследований;  $\beta$  – коэффициента перекрытия лунок (можно принять равным 1,57);  $I$  – сила тока, А;  $U$  – напряжение, подаваемое на электроды, В;  $\eta$  – коэффициента полезного использования энергии импульса;  $\tau$  – длительность импульсов, мкс;  $c$  – удельная теплоемкость материала, Дж/кг·°С;  $\rho$  – плотность материала, кг/м<sup>3</sup>;  $T_{пл}$  – температура плавления материала, °С.

– комплексный показатель качества поверхности трения деталей  $C$  [1]:

эксперимента и дальнейшей его математической и статистической обработки были получены эмпирические зависимости для определения параметра усталостной прочности и комплексного показателя качества поверхности трения деталей от режимов электроэрозионной обработки:

– параметр усталостной прочности:

$$\sigma = 2,391 \cdot I^{0,4175} \tau^{0,4175} U^{-2,940}$$

где  $I$  – сила тока (10...30 А);  $U$  – напряжение, подаваемое на электрод (30...50 В);  $\tau$  – длительность импульсов (8...16 мкс);

– комплексный показатель качества поверхности трения деталей:

$$C = 2,1794 \cdot I^{-0,214} \tau^{-0,174} U^{-0,291}$$

где  $I$  – сила тока (10... 30 А);  $U$  – напряжение, подаваемое на электрод (30...50 В);  $\tau$  – длительность импульсов (8...16 мкс).

Сравнивая данные теоретических и экспериментальных исследований взаимосвязи параметра усталостной прочности и комплексного показателя качества поверхности трения деталей с режимами ЭЭО (рис. 2, рис. 3), можно сделать вывод, что теоретические и экспериментальные данные отличаются менее, чем на 25 %. Также на основании полученных результатов можно оценить степень влияния режимов ЭЭО на параметр усталостной прочности и комплексный показатель качества поверхности трения деталей (табл. 1).

1. Взаимосвязь эксплуатационных параметров с условиями электроэрозионной обработки

Условия обработки	Эксплуатационные параметры	
	$C$	$\sigma$
Энергия импульсов	+*	+*
Сила тока	+*	+*
Напряжение	-*	-*

Примечания: 1. Знак «+» обозначает, что увеличение (или уменьшение) данного условия обработки способствует уменьшению или увеличению определенного эксплуатационного параметра.  
 2. Знак «-» обозначает, что увеличение (или уменьшение) данного условия обработки способствует увеличению или уменьшению определенного эксплуатационного параметра.  
 3. Знаком «\*» помечены условия обработки, оказывающие основное влияние на определенный эксплуатационный параметр.

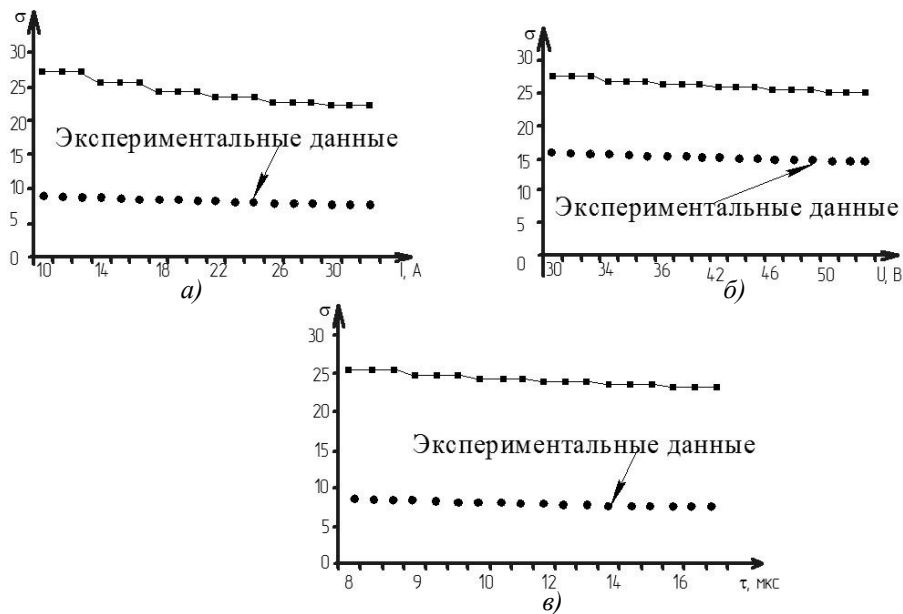


Рис. 1. Теоретическая зависимость и экспериментальные данные показателя усталостной прочности от режимов ЭЭО:

а – показателя усталостной прочности от силы тока; б – показателя усталостной прочности от напряжения; в – показателя усталостной прочности от длительности импульса

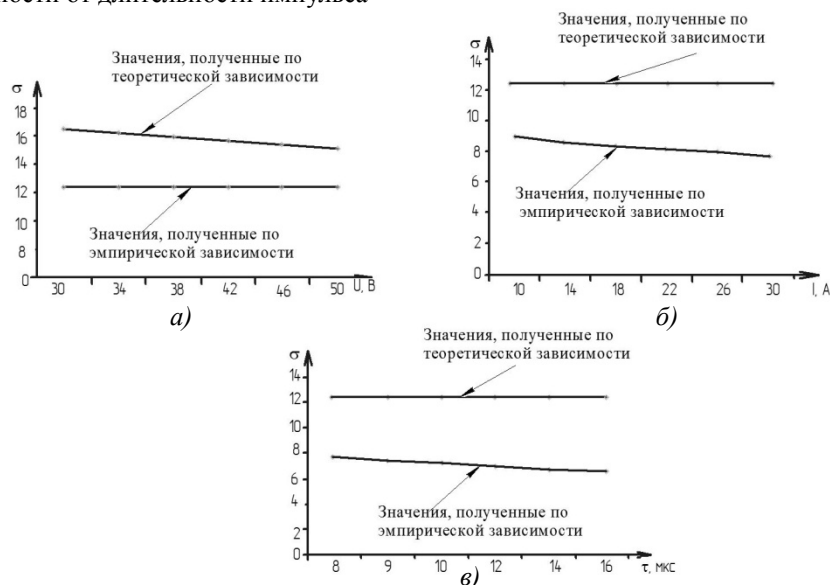


Рис. 2. Данные теоретических и экспериментальных исследований параметра усталостной прочности в зависимости от режимов ЭЭО:

а – напряжения; б – силы тока; в – длительности импульса

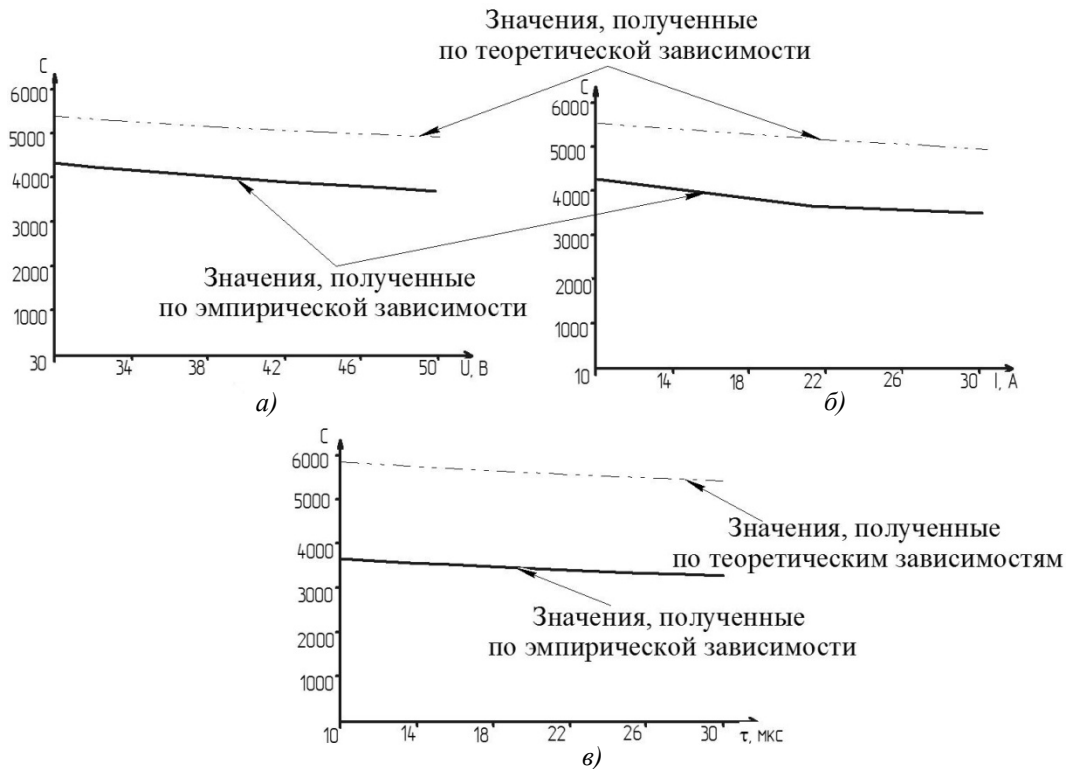


Рис. 3. Теоретическая зависимость и эмпирические данные комплексного показателя качества поверхности трения деталей от режимов ЭЭО:

*a* – напряжения;

*б* – силы тока;

*в* – длительности импульса

Все это позволит еще на стадии технологической подготовки производства определять режимы ЭЭО в зависимости от требуемых параметра усталостной прочности и комплексного показателя качества поверхности трения деталей, что в свою очередь позволит сократить время технологической подготовки производства и снизить количество неисправностей деталей машин по причине их усталостного разрушения или износа поверхностей.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Суслов, А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. – М.: Машиностроение, 2000. – 320 с.
2. Технологическое обеспечение и повышение эксплуатационных свойств деталей и их соединений / А.Г. Суслов, В.П. Федоров, О.А. Горленко [и др.]; под общей ред. А.Г. Суслова. – М.: Машиностроение, 2006. – 448 с.
3. Сьянов, С.Ю. Технологическое управление параметрами качества поверхностного слоя деталей машин при электроэрозионной обработке // Научноёмкие технологии в машиностроении. – 2014. – №6 (36). – С. 24-29.

4. Syanov S.Yu. Theoretical determination of surface layer quality characteristics of workpieces, tool electrode wear and efficiency of spark eroding – In the collection: Proceedings of 2015 International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems, – pp. 1 - 4, – 2015 .

### REFERENCES

1. Suslov, A.G. *Quality of Machinery Surface Layer*. – М.: Mechanical Engineering, 2000. – pp. 320.
2. *Technological Support and Operation Properties Increase of Parts and Their Units* / A.G. Suslov, V.P. Fyodorov, O.A. Gorlenko [et al.]; under the general editorship of A.G. Suslov. – М.: Mechanical Engineering, 2006. – pp. 448.
3. Siyanov, S.Yu. Technological control of quality parameters of machinery surface layer at electro-erosion treatment // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. – 2014. – No.6 (36). – pp. 24-29.
4. Syanov S.Yu. Theoretical determination of surface layer quality characteristics of workpieces, tool electrode wear and efficiency of spark eroding – In the collection: Proceedings of 2015 International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems, – pp. 1 - 4, – 2015.

Рецензент д.т.н. С.Г. Бишутин